



**SOĞUKTA DÖKÜLEN BETONARME
ELEMENLERDE ÇEKME ETKİSİ ALTINDAKİ
BAĞ KUVVETİ-KAYMA İLİŞKİSİNİN
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Burak GEDİK

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

**2020
Her hakkı saklıdır.**



**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SOĞUKTA DÖKÜLEN BETONARME ELEMANLARDA ÇEKME ETKİSİ
ALTINDAKİ BAĞ KUVVETİ-KAYMA İLİŞKİSİNİN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

Burak GEDİK

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Dilek OKUYUCU

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Erzurum

2020

Her hakkı saklıdır

T.C.
ERZURUM TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ ONAY FORMU

SOĞUKTA DÖKÜLEN BETONARME ELEMANLARDA ÇEKME ETKİSİ
ALTINDAKİ BAĞ KUVVETİ-KAYMA İLİŞKİSİNİN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Dilek OKUYUCU danışmanlığında, Burak GEDİK tarafından hazırlanan bu çalışma 20 / 04 / 2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **Oy birliği ile** kabul edilmiştir.

Başkan	: Prof. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL	İmza	:
Üye	: Prof. Dr. İlker KAZAZ	İmza	:
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Dilek OKUYUCU	İmza	:

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Prof. Dr. Arzu GÖRMEZ
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması tarafından nolu proje ile desteklenmiştir.

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.

20 / 04 / 2020

Burak GEDİK

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SOĞUKTA DÖKÜLEN BETONARME ELEMANLARDA ÇEKME ETKİSİ ALTINDAKİ BAĞ KUVVETİ-KAYMA İLİŞKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Burak GEDİK

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Dilek OKUYUCU

Betonarme imalat Türkiye’ de en çok tercih edilen yapısal imalat türüdür. Teknik olarak başarılı bir imalatın yapılması uygun atmosferik koşullara bağlıdır. Bu nedenle, karasal iklimin hüküm sürdüğü bölgelerde uzun ve soğuk kış koşullarının yaşanması nedeniyle betonarme imalat sezonu oldukça kısa sürmektedir. Kısa imalat sezonu sektör ve sosyal çevre için pek çok sorunu beraberinde getirmektedir. Kışın betonarme imalatın en önemli belirsizliği, betonarmenin temel unsuru olan beton ve çelik arasındaki tutunmanın tam olarak sağlanıp sağlanmadığıdır. Bu konuda literatürdeki bilgi eksikliği dikkate alınarak, bu tez çalışması kapsamında soğukta dökülmüş betonarme elemanların çekme etkisi altındaki aderans davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma, ilerleyen dönemlerde yapılması planlanan soğukta dökülmüş betonarme yapısal taşıyıcı elemanların mekanik davranışlarının deneysel olarak incelenmesi çalışmasının birinci basamağı olarak gerçekleştirilmiştir. Araştırma sürecinde öncelikle aderans davranışının inceleneceği numune tasarımı yapılmış, kurgulanan deney düzeneği pilot testler yapılarak doğrulanmıştır. Gerçek kış koşullarında, antifriz katkı ve sıcak bakım etkilerinin incelenmesine olanak sağlayan numuneler imal edilmiş ve deneye tabi tutulmuştur. Deplasman kontrollü olarak yapılan deneyde aderans numunesinin ortasından geçen çelik çubuğa çekme uygulanarak beton-çelik arasında tutunma davranışı incelenmiştir. Çalışma neticesinde, bakım çadırı içerisinde imalatı yapılmak kaydıyla kışın dökülen antifriz katkılı betondan imal edilen numunelere sıcak bakım uygulanmadan; antifriz katkısız betondan imal edilen numunelere ise sıcak bakım uygulanmak suretiyle yaz koşullarında imalatı yapılan numunelere çok yakın aderans davranışı tesis edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

2020, 219 sayfa

Anahtar Kelimeler: Soğukta Dökülen Beton, Betonarme, Bağ Kuvveti-Kayma Davranışı, Eksenel Çekme, Deneysel İnceleme

ABSTRACT

MS. Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE BOND-SLIP BEHAVIOUR OF REINFORCED CONCRETE MEMBERS WHICH ARE CAST-IN COLD WEATHER AND SUBJECTED TO AXIAL TENSION

Burak GEDİK

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

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Dilek OKUYUCU

Reinforced concrete (RC) is the most preferred structural element production type in Turkey. Technically successful manufacturing depends on favorable atmospheric conditions. For this reason, due to long and cold winter conditions in the regions where the terrestrial climate prevails, the RC manufacturing season is rather short. The short manufacturing season brings with it many problems for the industry and the social environment. The most important uncertainty of RC manufacturing in winter is whether the bond between concrete and steel, *which is the main issue of RC*, can be fully achieved. Considering the lack of knowledge in the literature on this subject, the bond behavior under the tensile effect of RC elements poured in cold was investigated experimentally within the scope of herein thesis. The study was carried out as the first step of the experimental investigation of the mechanical behavior of the cold cast RC structural elements planned to be carried out in the future. During the research process, the sample design, in which bond behavior was examined, was made and the experimental setup was verified by conducting pilot tests. In real winter conditions, samples that allow antifreeze additive and hot maintenance effects to be examined were produced and tested. In the displacement-controlled experiment, the bond behavior between the concrete and steel was examined by applying tensile force on the steel bar passing through the middle of the adherence sample. As the main result of the research; together with the prerequisite of production in the maintenance tent. specimens produced by cold cast concrete with antifreeze admixture and lack of hot maintenance and the specimens cast by normal concrete but with the application of the hot maintenance can provide very similar bond behaviour compared to that of the specimens cast in summer conditions.

2020, 219 pages

Keywords: Cold Weather Concrete, Reinforced Concrete, Bond-Slip Behaviour, Axial Tension, Experimental Investigation

TEŞEKKÜR

Tez süresi boyunca bilgisini, ilgisini ve zamanını benden esirgemeyen; sürecin her aşamasında gösterdiği anlayış ve sabır için minnettar olduğum; duyduğu güvenle, beni her zorluğun üstesinden gelebileceğime inandıran değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Dilek OKUYUCU' ya teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması kapsamında teçhizat temini için desteğini esirgemeyen Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dekan'ı Prof. Dr. Ali Fatih YETİM hocamıza teşekkürlerimi borç bilirim.

Tezin deneysel çalışmalarında bana yardımcı olan İnşaat Mühendisleri Muhammet ŞAHİN, Burak ŞAHİN, D.Burak ÖZDOĞAN ve Ahmet Yasir KANBUR' a teşekkür ederim.

Deneysel çalışma için materyal temininde desteklerini esirgemeyen Erzurum Büyük Şehir Belediyesi İnşaat Yatırım Şube Müdürü Erdem OKÇU' ya ve Erzurum Teknik Üniversitesi Yapı İşleri Daire Başkanı Ali ÇELİK' e teşekkür ederim.

Son olarak bana hayatım boyunca her daim maddi ve manevi olarak destek veren, yanımda olan aileme teşekkür ederim.

Burak GEDİK

Nisan / 2020

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
2.1. Soğuk Hava Koşulları Altında Beton ve Betonarme İmalatına İlişkin Çalışmalar....	5
2.2. Beton-Donatı Arasındaki Bağ Kuvvetinin İncelenmesini Konu Alan Çalışmalar .	10
3. MATERYAL ve YÖNTEM	16
3.1. Soğukta Beton İmalatı.....	16
3.1.1. Beton Sıcaklığının Belirlenmesi Deneyi.....	19
3.1.1.1. Taze Beton Sıcaklığının Belirlenmesi.....	20
3.1.1.2. Karışım Suyu Sıcaklığının Belirlenmesi	22
3.1.2. Gerçek Kış Şartlarında Beton Dökümü.....	24
3.1.2.1. Yaz Şartlarında Beton Dökümü	27
3.1.2.2. Kış Şartlarında Beton Dökümü	29
3.2. Bağ Kuvveti-Kayma İlişkisi Deney Numunelerinin Üretilmesi	35
3.2.1. Birinci Tip Deney Numunesi	35
3.2.2. İkinci Tip Deney Numunesi	38
3.2.3. Üçüncü Tip Deney Numunesi.....	41
3.2.3.1. Termokupl Sensör Ölçüm Kontrolleri	43
3.2.3.2. YAZ Grubu Aderans Numunesi İmalatı	48
3.2.3.3. Kış Grubu Aderans Numunesi İmalatı.....	49
3.2.3.3.1. KA Grubu Aderans Numunesi İmalatı.....	51
3.2.3.3.2. KN Grubu Aderans Numunesi İmalatı.....	53

3.2.3.3.3. KNB Grubu Aderans Numunesi İmalatı	55
3.2.3.3.4. KAB Grubu Aderans Numunesi İmalatı	56
3.2.3.3.5. KA-2 Grubu Aderans Numunesi İmalatı	58
3.3. Deney Düzenineğinin ve Aderans Numunelerinin Hazırlanması	59
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	64
4.1. Gerçek Kış Şartlarında Beton Dökümü.....	64
4.2. Laboratuvar Şartlarında Bağ Kuvveti-Kayma İlişkisi Deneyleri.....	67
4.2.1. Birinci Tip Deney Numunesi	67
4.2.2. İkinci Tip Deney Numunesi	81
4.2.3. Üçüncü Tip Deney Numunesi.....	100
4.2.3.1. Aderans Pilot Deneyi	101
4.2.3.2. Yaz Grubu Aderans Numunesi İmalatına İlişkin Bulgular	102
4.2.3.3. Kış Dökümü Uygulaması	110
4.2.3.3.1. KA Grubu Aderans Numunesi İmalatına İlişkin Bulgular.....	110
4.2.3.3.2. KN Grubu Aderans Numunesi İmalatı.....	120
4.2.3.3.3. KNB Grubu Aderans Numunesi İmalatına İlişkin Gözlemler	129
4.2.3.3.4. KAB Grubu Aderans Numunesi İmalatına İlişkin Bulgular	139
4.2.3.3.5. KA-2 Grubu Aderans Numunesi İmalatına İlişkin Bulgular	148
4.2.3.4. Genel Değerlendirme	156
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	180
KAYNAKLAR	183
EKLER.....	188
EK-1	188
EK-2	191
EK-3	194
ÖZGEÇMİŞ.....	195

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
°C	Santigrat derece
m	Metre
cm	Santimetre
mm	Milimetre
sn	Saniye
kg	Kilogram
T	Taze beton sıcaklığı (°C)
T _a	Agrega sıcaklığı (°C)
T _c	Çimento sıcaklığı (°C)
T _w	Su sıcaklığı (°C)
W _a	Agreganın kuru kütlesi (kg)
W _c	Çimentonun kütlesi (kg)
W _w	Su kütlesi (kg)
W _{wa}	T _a Sıcaklığındaki agregaya üzerindeki serbest su ve agregata tarafından emilen suyun kütlesi (kg)
ε	Birim şekil değiştirme
σ	Gerilme
σ _s	Çelik çekme gerilme
L	Boy
ΔL	Boy değişimi
kN	KiloNewton
MPa	Megapascal
f _{ck}	Betonun karakteristik aksenal basınç dayanımı
f _{ctk}	Betonun karakteristik aksenal çekme dayanımı

Kısaltmalar

TBDY	Türkiye bina deprem yönetmeliği
TC	Thermocouple
CJC	Cold joint compensation
PC	Potansiyometrik cetvel
3D	Üç boyutlu
LVDT	Linear Variable Differential Transformer



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Beton Üretim-Döküm-Uygulama şeması	18
Şekil 3.2 Malzeme ağırlıkları, (a) su ağırlığı, (b) çimento ağırlığı, (c) iri agrega ağırlığı, (d) ince agrega ağırlığı.....	21
Şekil 3.3 Malzeme sıcaklıkları, (a) su sıcaklığı, (b) çimento sıcaklığı, (c) ince agrega sıcaklığı, (d)) iri agrega sıcaklığı	21
Şekil 3.4 Numune-2 taze beton sıcaklık ölçümü (22,1°C).....	23
Şekil 3.5 Deneylede kullanılan elektronik termometre tipleri; (a) elektronik göstergeli saplama termometre, (b) ve (c) TFA marka elektronik termometre.....	25
Şekil 3.6 Numune muhafaza alanı	25
Şekil 3.7 (a) ve (b) Doğal kış koşullarına bırakılan beton numune kalıpları	26
Şekil 3.8 (a) Beton dökümü sırasında elektronik termometre yerleşimi, (b) Laboratuvar ortamında yapılan döküm.	28
Şekil 3.9 Kış şartlarında bekletilen kalıbın buzlanması	29
Şekil 3. 10 Atmosferik kış şartlarında yapılan döküm.....	30
Şekil 3.11 Numunelerin kış şartlarından korunması, (a) numunenin sargılanmış görüntüsü, (b) numunenin muhafaza alanına yerleştirilmiş görüntüsü.	31
Şekil 3.12 Kış şartlarında kalıptan çıkarılan beton numuneler	32
Şekil 3.13 Kış ve yaz şartlarında beton dökümü beton sıcaklık ölçümlerinin karşılaştırması.....	33
Şekil 3.14 (a) Basınç cihazı teknik özellikleri görseli (anonim, erişim tarihi : 12.04.2019), (b) cihaz görseli.	34
Şekil 3.15 Birinci tip deney numunesi kalıpları.....	36
Şekil 3.16 (a) ve (b) boşluklu numunede boşluk kalıbı hazırlık aşamaları.....	37
Şekil 3.17 (a) Boşluklu numune detayı (b) Kalıptan çıkarılan birinci tip deney numuneleri	38
Şekil 3.18 Numune hazırlığı, (a) birer metrelik boruların 50 cm olarak ayarlanması, (b) kalıp olarak kullanılacak boruların kesim işlemi uygulanması, (c) ve (d) donatılarda aderanssız bölge oluşturulması.	39

Şekil 3.19 (a) Ahşap kapak kesim işlemi, (b) ahşap kapakların donatıya yerleştirilmesi, (c) ahşap kapağın donatı ile birlikte kalıba sabitlenmesi.....	39
Şekil 3.20 İkinci tip deney numunesi beton dökümünden görüntüler	40
Şekil 3.21 (a) Aderans numunelerinin kalıptan çıkarılması (b) Numunelere kür işleminin uygulanması.....	40
Şekil 3.22 (a) Termokupl ölçüm testi, (b) termokupl ölçüm değerleri (1. kanal CJC, 2. kanal termokupl).....	44
Şekil 3.23 Termokupl sensör testi için beton numune sıcaklık takibi.....	45
Şekil 3.24 Taze beton içerisindeki donatının sıcaklık takibi	45
Şekil 3.25 Atmosferik Koşullarda Sıcaklık Takibi	46
Şekil 3.26 Termokupl ara bağlantı elemanı (8 kanallı).....	46
Şekil 3.27 Üçüncü tip numune sıcaklık ölçüm şeması.....	47
Şekil 3.28 Donatı ortasına termokupl yerleştirilmesi.....	47
Şekil 3.29 Beton dökümü sırasında termokupl yerleşimi	48
Şekil 3.30 YAZ grubu numunelerinin prize bırakılması.....	48
Şekil 3.31 Kış grubu aderans numunesi muhafaza alanı.....	50
Şekil 3.32 Beton mikseri yalıtım uygulaması	50
Şekil 3.33 KA grubu numune imalatı	52
Şekil 3.34 KA grubu numunelerin atmosferik koşullarda bekletilmesi.....	52
Şekil 3.35 Mikserin dış ortama taşınması	53
Şekil 3.36 KN grubu beton numunesi	54
Şekil 3.37 KN grubu deney numuneleri.....	55
Şekil 3.38 Muhafaza alanında kullanılan ısıtıcı	55
Şekil 3.39 KNB grubu deney numuneleri	56
Şekil 3.40 KAB grubu numune muhafaza alanı.....	57
Şekil 3.41 Aderans kırılma mekaniği için boru analogisi.....	59

Şekil 3.42 (a) Dinamik veri toplama ünitesi (16 kanallı), (b) ölçüme ait genel numune deney düzeneği görseli	61
Şekil 3.43 Yükleme düzeneği ve veri toplama sistemine ait genel bir görüntü.....	61
Şekil 3.44 Çekme cihazı teknik özellikleri (anonim, utest malzeme test cihazları, erişim tarihi: 20.05.2019)	62
Şekil 3.45 Aderans numunesi sensör yerleşim planı.....	62
Şekil 4.1 Yaz şartlarında beton dökümüne ait sıcaklık parametreleri.....	64
Şekil 4.2 Kış şartlarında beton dökümüne ait sıcaklık ölçüm değerleri.....	65
Şekil 4.3 Gerçek kış şartlarında dökülen numunelerin gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi	66
Şekil 4.4 Boşluklu numuneye ait gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi	68
Şekil 4.5 Boşluksuz numuneye ait gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi.....	69
Şekil 4.6 Boşluklu ve boşluksuz numuneye ait gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi.....	69
Şekil 4.7 Birinci tip deney numunesine ait çelik donatılar ve boşluklu numune gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi	71
Şekil 4.8 Birinci tip deney numunesine ait çelik donatılar ve boşluksuz numune gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi	71
Şekil 4.9 (a) Boşluklu ve boşluksuz silindir numune çekme deneyi, (b) Çelik çekme deneyi.	73
Şekil 4.10 Birinci tip deney numunesine ait tüm çelik donatıların çekme testi sonuçları	74
Şekil 4.11 Boşluksuz Numune-1' e ait yük-birim şekil değiştirme ilişkisi	75
Şekil 4.12 Boşluksuz Numune-1 kırılma şekli.....	76
Şekil 4.13 Boşluksuz Numune-2' ye ait gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi	76
Şekil 4.14 Donatısı Yağlamış Numune' ye ait gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi ..	77
Şekil 4.15 Yağlı Numune deney sonu kırılma mekanizması	78
Şekil 4.16 Boşluklu Numune-1' e ait gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi	79
Şekil 4.17 Boşluklu Numune-2' ye ait gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi	79

Şekil 4.18 (a) ve (b) Birinci tip deney numunelerine mürekkep enjekte edilmesi.....	80
Şekil 4.19 (a) Boşluklu-1 numune içi çatlak detayı, (b) Boşluklu-2 numune içi çatlak detayı, (c) Boşluksuz-1 numune içi çatlak detayı.....	80
Şekil 4.20 (a) Boşluksuz-2 numune içi çatlak detayı, (b) Yağlı numune içi çatlak detayı	81
Şekil 4.21 Birinci tip deney numuneleri içi çatlak detayı	81
Şekil 4.22 (a) Ø14/3 Numunesinin düzeneğe alınması, (b) Ø14/3 Numunesinin ilk boy ölçümü	83
Şekil 4.23 (a) ve (b) Ø14/3 Numune deformasyonu, (c) Ø14/3 numunesine ait deney ekran görüntüsü	83
Şekil 4.24 Ø14/3 numunesi - Ø14/3 çelik donatı arasındaki gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi	84
Şekil 4.25 (a) Ø16/3 Numunesi deney aşaması, (b) Ø16/3 Numunesi deformasyonu ...	85
Şekil 4.26 Ø16/3 numunesi - Ø16/3 çelik donatı arasındaki gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi	86
Şekil 4.27 (a) Ø14/1 Numunesi deney aşaması, (b) betonda meydana gelen kırılmalar, (c) beton içerisinde kullanılan donatının kırılma görseli.	87
Şekil 4.28 Ø14/1 Numunesine ait çatlak oluşum deseni.....	88
Şekil 4.29 Ø14/1 numunesi - Ø14/1 çelik donatı arasındaki gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi	89
Şekil 4.30 Ø14/1 Betonarme numunenin beton yüzeyinin gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi	89
Şekil 4.31 (a) Ø14/2 Numunesi deney aşaması, (b) betonda meydana gelen kırılmalar, (c) beton içerisinde kullanılan donatının kırılma görseli.	90
Şekil 4.32 Ø14/1 Numunesine ait çatlak oluşum deseni.....	91
Şekil 4.33 Ø14/2 numunesi - Ø14/2 çelik donatı arasındaki gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi	92
Şekil 4.34 Ø14/2 Betonarme numunenin beton yüzeyinin gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi	93

Şekil 4.35 (a) Ø16/1 Numunesi deney aşaması, (b) betonda meydana gelen kırılmalar, (c) beton içerisinde kullanılan donatının kırılma görseli.	94
Şekil 4.36 Ø16/1 Numunesine ait çatlak oluşum deseni.....	94
Şekil 4.37 Ø16/1 numunesi - Ø16/1 çelik donatı arasındaki gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi	95
Şekil 4.38 Ø16/1 betonarme numunenin beton yüzeyinin gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi	96
Şekil 4.39 (a) Ø16/2 Numunesi deney aşaması, (b) betonda meydana gelen kırılmalar, (c) beton içerisinde kullanılan donatının kırılma görseli.	97
Şekil 4.40 Ø16/2 Numunesine ait çatlak oluşum deseni.....	97
Şekil 4.41 Ø16/1 numunesi - Ø16/1 çelik donatı arasındaki gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi	98
Şekil 4.42 Ø16/2 betonarme numunenin beton yüzeyinin gerilme -birim şekil değiştirme ilişkisi	99
Şekil 4.43 Beklenen Kırılma Mekanizması (Thompson, Jirsa, Breen, and Klingler, 2002)	100
Şekil 4.44 (a) YAZ_1 pilot numunesi aderans deneyi öncesi, (b) YAZ_1 pilot numunesi aderans deneyi sonrası, (c) YAZ_2 pilot numunesi aderans deneyi öncesi, (d) YAZ_2 pilot numunesi aderans deneyi sonrası görüntüsü.....	101
Şekil 4.45 Yaz aderans numunesi sıcaklık değişim grafiği	102
Şekil 4.46 (a) YAZ_3 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) YAZ_3 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüsü.	104
Şekil 4.47 (a) YAZ_4 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) ve (c) YAZ_4 numunesi aderans deneyi sırası, (d) YAZ_4 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri.	105
Şekil 4.48 (a) YAZ_5 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) YAZ_5 numunesi aderans deneyi sırası, (c) YAZ_5 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri.	106
Şekil 4.49 (a) YAZ_6 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) YAZ_6 numunesi aderans deneyi sırası, (c) YAZ_6 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri.	107

Şekil 4.50 Yaz grubu aderans numunesi çelik gerilme-birim şekil değiştirme grafiği. 108	108
Şekil 4.51 Yaz grubu aderans numunesi çatlak detayı..... 108	108
Şekil 4.52 Yaz grubu numuneleri aderans gerilmesi-birim sıyrılma grafiği..... 109	109
Şekil 4.53 KA-aderans numunesi sıcaklık değişim grafiği..... 110	110
Şekil 4.54 (a) KA_1 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KA_1 numunesi aderans deneyi sırası, (c) KA_1 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri. 112	112
Şekil 4.55 (a) KA_2 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KA_2 numunesi aderans deneyi sırası, (c) KA_2 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri. 113	113
Şekil 4.56 (a) KA_3 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KA_3 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüsü. 114	114
Şekil 4.57 (a) KA_4 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KA_4 numunesi aderans deneyi sırası, (c) KA_4 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri. 115	115
Şekil 4.58 (a) KA_5 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KA_5 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüsü..... 116	116
Şekil 4.59 (a) KA_6 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KA_6 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüsü..... 117	117
Şekil 4.60 KA grubu aderans numunesi çelik gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.. 118	118
Şekil 4.61 KA grubu numunesi içi çatlak detayı..... 119	119
Şekil 4.62 KA grubu numuneleri aderans gerilmesi-birim sıyrılma grafiği 119	119
Şekil 4.63 KN grubu aderans numunesi sıcaklık değişim grafiği..... 120	120
Şekil 4.64 (a) KN_1 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KN_1 numunesi aderans deneyi sırası, (c) KN_1 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri. 122	122
Şekil 4.65 (a) KN_2 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KN_2 numunesi aderans deneyi sırası, (c) KN_2 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri. 123	123
Şekil 4.66 (a) KN_3 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KN_3 numunesi aderans deneyi sırası, (c) KN_3 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri. 124	124
Şekil 4.67 (a) KN_4 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KN_4 numunesi aderans deneyi sırası, (c) KN_4 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri. 125	125

Şekil 4.68 (a) KN_5 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KN_5 numunesi aderans deneyi sırası, (c) KN_5 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri.	126
Şekil 4.69 KN grubu aderans numunesi çelik gerilme-birim şekil değiştirme grafiği..	127
Şekil 4.70 KN grubu numunesi içi çatlak detayı.....	128
Şekil 4.71 Yaz grubu numuneleri aderans gerilmesi-birim sıyrılma grafiği.....	129
Şekil 4.72 KNB grubu aderans numunesi sıcaklık değişim grafiği	130
Şekil 4.73 (a) KNB_1 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KNB_1 numunesi aderans deneyi sırası, (c) KNB_1 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri.....	131
Şekil 4.74 (a) KNB_2 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KNB_2 numunesi aderans deney sonrası görüntüleri.....	132
Şekil 4.75 (a) KNB_3 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KNB_3 numunesi aderans deneyi sırası, (c) KNB_3 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri.....	133
Şekil 4.76 (a) KNB_4 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KNB_4 numunesi aderans deneyi sırası, (c) KNB_4 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri.....	134
Şekil 4.77 (a) KNB_5 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KNB_5 numunesi aderans deney sonrası görüntüleri.....	135
Şekil 4.78 (a) KNB_6 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KNB_6 numunesi aderans deneyi sırası, (c) KNB_6 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri.....	136
Şekil 4.79 KNB grubu aderans numunesi çelik gerilme-birim şekil değiştirme grafiği	137
Şekil 4.80 KNB grubu numunesi içi çatlak detayı.....	138
Şekil 4.81 KNB grubu numuneleri aderans gerilmesi-birim sıyrılma grafiği.....	138
Şekil 4.82 KAB grubu aderans numunesi sıcaklık değişim grafiği	139
Şekil 4.83 (a) KAB_1 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KAB_1 numunesi aderans deney sonrası görüntüleri.....	141
Şekil 4.84 (a) KAB_2 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KAB_2 numunesi aderans deneyi sırası, (c) KAB_2 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri.....	142
Şekil 4.85 (a) KAB_3 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KAB_3 numunesi aderans deneyi sırası, (c) KAB_3 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri.....	143

Şekil 4.86 (a) KAB_4 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KAB_4 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri.....	144
Şekil 4.87 (a) KAB_5 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KAB_5 numunesi aderans deneyi sonrası, (c) KAB_5 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri.....	145
Şekil 4.88 KAB grubu aderans numunesi çelik gerilme-birim şekil değiştirme grafiği	146
Şekil 4.89 KAB grubu numunesi içi çatlak detayı.....	147
Şekil 4.90 KAB grubu numuneleri aderans gerilmesi-birim sıyrılma grafiği.....	147
Şekil 4.91 KA2 grubu aderans numunesi sıcaklık değişim grafiği	148
Şekil 4.92 (a) KA2_1 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KA2_1 numunesi aderans deneyi sonrası, (c) KA2_1 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri.	150
Şekil 4.93 (a) KA2_2 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KA2_2 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri.....	151
Şekil 4.94 (a) KA2_3 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KA2_3 numunesi aderans deneyi sonrası, (c) KA2_3 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri	152
Şekil 4.95 (a) KA2_4 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KA2_4 numunesi aderans deneyi sonrası, (c) KA2_4 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri	153
Şekil 4.96 KA2-aderans numunesi çelik gerilme-birim şekil değiştirme grafiği	154
Şekil 4.97 KA2 grubu numunesi içi çatlak detayı.....	155
Şekil 4.98 KA2 grubu numuneleri aderans gerilmesi-birim sıyrılma grafiği.	155
Şekil 4.99 Çekme etkisi altında oluşan kuvvetler (Celep, 2013).	157
Şekil 4.100 Donatı etrafındaki betonda meydana gelen çatlamlar ve gerilme durumu (Kazaz, 2012).....	157
Şekil 4.101 Eksenel çekme taşıyan çatlaksız betonarme numunede gerilme dağılımı (Celep, 2013)	158
Şekil 4.102 Çekme etkisi altındaki beton için σ - ϵ davranışı (Gopinath, vd. 2009).	165
Şekil 4.103 Halka-çekme davranışı için modeller (Thomson vd. 2002).....	170

Şekil 4.104 Muhtelif aderans modelleri ile deneysel veri karşılaştırması (Tepfers, 1973) ve (Gambarova vd., 1998).....	171
Şekil 4.105 Tüm numune grupları için beton çekme gerilmesi – birim sıyrılma (slip) dağılımı özeti.....	174
Şekil 4.106 Numune grupları için temsili beton çekme gerilmesi-birim şekil değiştirme ilişkileri.....	175
Şekil 4.107 Numune gruplarının ortalama sıcaklık grafiği.....	176
Şekil 4.108 Beton dökümü sonrası zamana bağlı sıcaklık ölçümü (Stormer, 1970)	177
Şekil 4.109 Denge sıcaklığına bağlı performans değerlendirme grafiği	178
Şekil 4.110 Üçüncü tip deney numunesine ait her grubu kapsayan çatlak detayı	179

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Erzurum İli 2012-2018 yılları arasında aylık ortalama sıcaklık (°C) değerleri (MGM, 2019).....	1
Çizelge 1.2 Erzurum İli 2012-2018 yılları arasında en düşük sıcaklık (°C) değerleri (MGM, 2019).....	1
Çizelge 3.1 C30 sınıfı beton karışım oranları	19
Çizelge 3.2 Bağıntı 3.1 parametreleri ve açıklamaları	20
Çizelge 3.3 Bağıntı 3.1 kullanılarak Numune-1 beton sıcaklığının hesaplanması	22
Çizelge 3.4 Karışım suyu sıcaklığı belirlenmesi deneyine ait malzeme ağılıkları ve sıcaklıkları	23
Çizelge 3.5 Gerçek kış koşullarında beton dökümü çalışmasında kullanılan malzeme, teçhizat tablosu	25
Çizelge 3.6 Yaz şartlarında beton dökümünde ölçülen kalıp sıcaklıkları	27
Çizelge 3.7 Yaz şartlarında beton dökümüne ait malzeme sıcaklıkları (°C).....	27
Çizelge 3.8 Yaz şartlarında beton dökümü anında kaydedilen veriler.....	28
Çizelge 3.9 Kış şartlarında yapılan dökümde ölçülen kalıp sıcaklıkları	29
Çizelge 3.10 Kış şartlarında beton dökümü anında kaydedilen veriler	30
Çizelge 3.11 Gerçek kış koşullarında beton dökümü uygulamasına ait numune adlandırılması	34
Çizelge 3.12 Gerçek kış koşullarında beton dökümü uygulamasına ait basınç dayanım sonuçları	34
Çizelge 3.13 C25 sınıfı beton karışım oranları	42
Çizelge 3.14 Araştırmada kullanılacak nihai aderans deney numunesi grupları	42
Çizelge 3.15 KA grubu numune beton dökümü anında kaydedilen veriler	52
Çizelge 3.16 KN grubu numune beton dökümü anında kaydedilen veriler	54
Çizelge 3.17 KNB grubu numune beton dökümü anında kaydedilen veriler	56
Çizelge 3.18 KAB grubu numune beton dökümü anında kaydedilen veriler	57
Çizelge 3.18 KA-2 grubu numune beton dökümü anında kaydedilen veriler	58
Çizelge 4.1 Birinci tip deney numunesine ait 7 günlük küp numune basınç dayanımı testi sonuçları	67
Çizelge 4.2 Boşluklu numuneye ait çekme deneyinden elde edilen sonuçlar.....	68
Çizelge 4.3 Boşluksuz numuneye ait çekme deneyinden elde edilen sonuçlar	69
Çizelge 4.4 Birinci tip deney numunesine ait donatı çekme testi sonuçları.....	70

Çizelge 4.5 Birinci tip deney numunesine ait 28 günlük basınç dayanımı testi sonuçları	73
Çizelge 4.6 Boşluksuz Numune-1 numunesine ait çekme deneyinden elde edilen sonuçlar	75
Çizelge 4.7 Boşluksuz Numune-2 numunesine ait çekme deneyinden elde edilen sonuçlar	76
Çizelge 4.8 Donatısı Yağlanmış Numune'ye ait çekme deneyinden elde edilen sonuçlar	77
Çizelge 4.9 Boşluklu Numune-1' e ait çekme deneyinden elde edilen sonuçlar	78
Çizelge 4.10 Boşluklu Numune-2'ye ait çekme deneyinden elde edilen sonuçlar	79
Çizelge 4.11 Ø14/3 numunesi ve Ø14/3 çelik donatısına ait çekme deneyinden elde edilen sonuçlar	84
Çizelge 4.12 Ø16/3 numunesi ve Ø16/3 çelik donatısına ait çekme deneyinden elde edilen sonuçlar	85
Çizelge 4. 13 İkinci tip deney numunesine ait 28 günlük küp numune basınç dayanımları	86
Çizelge 4.14 Ø14/1 Numunesi eksenel çekme deneyine ait teknik bilgiler.....	88
Çizelge 4.15 Ø14/1 numunesi ve Ø14/1 çelik donatısına ait çekme deneyinden elde edilen sonuçlar	88
Çizelge 4.16 Ø14/2 Numunesi eksenel çekme deneyine ait teknik bilgiler.....	91
Çizelge 4.17 Ø14/2 numunesi ve Ø14/2 çelik donatısına ait çekme deneyinden elde edilen sonuçlar	92
Çizelge 4.18 Ø16/1 Numunesi eksenel çekme deneyine ait teknik bilgiler.....	95
Çizelge 4.19 Ø16/1 numunesi ve Ø16/1 çelik donatısına ait çekme deneyinden elde edilen sonuçlar	95
Çizelge 4.20 Ø16/2 Numunesi eksenel çekme deneyine ait teknik bilgiler.....	97
Çizelge 4.21 Ø16/2 numunesi ve Ø16/2 çelik donatısına ait çekme deneyinden elde edilen sonuçlar	98
Çizelge 4.22 Yaz grubu aderans numunesine ait basınç dayanımı testi sonuçları.....	103
Çizelge 4.23 Yaz grubu aderans numunelerine ait eksenel çekme testi sonuçları.....	107
Çizelge 4.24 KA grubu aderans numunesi basınç dayanımı testi sonuçları	111
Çizelge 4.25 KA grubu aderans numunelerine ait eksenel çekme testi sonuçları	118
Çizelge 4.26 KN grubu aderans numunesi basınç dayanımı testi sonuçları	121
Çizelge 4.27 KN grubu aderans numunelerine ait eksenel çekme testi sonuçları	127

Çizelge 4.28 KNB grubu aderans numunesi basınç dayanımı testi sonuçları.....	130
Çizelge 4.29 KNB grubu aderans numunelerine ait eksenel çekme testi sonuçları.....	137
Çizelge 4.30 KAB grubu aderans numunesi basınç dayanımı testi sonuçları.....	140
Çizelge 4.31 KAB grubu aderans numunelerine ait eksenel çekme testi sonuçları.....	146
Çizelge 4.32 KA-2 grubu aderans numunesi basınç dayanımı testi sonuçları.....	149
Çizelge 4.33 KA2 grubu aderans numunelerine ait eksenel çekme testi sonuçları	154
Çizelge 4.34 Tüm deney grupları için genel değerlendirme tablosu	159
Çizelge 4.35 Deney verisi üzerinden (Thomson vd., 2002) çalışmasında sunulan aderans modelleri karşılaştırması.....	172



1. GİRİŞ

1. GİRİŞ

Betonarme imalat Türkiye’ de en çok tercih edilen bina türü imalat yöntemi olarak bilinmektedir. Bu yöntemle, termal genişleme katsayıları birbirine çok yakın olan çelik ve beton malzeme bir arada kullanılarak taşıyıcı eleman olarak tanımlanan kolon, kiriş ve döşeme oluşturur. İmalat sürecinde bakıma ihtiyacı olan beton, yetersiz kür koşullarına karşı son derece hassas bir malzemedir. Bu nedenledir ki; ilgili ulusal standardımız hava sıcaklığının ard arda 3 gün +5 °C’ nin altına düştüğü koşulları anormal hava koşulları olarak tanımlamakta ve hava sıcaklığının belirtilen koşulların altına indiği dönemlerde anormal hava koşulları çerçevesinde özel önlemler alınarak beton dökümü yapılması ön görülmektedir. Meteoroloji 12. Bölge Müdürlüğü ile yapılan resmi yazışma neticesinde elde edilen veriler, Çizelge 1.1 ve Çizelge 1.2’ de görüldüğü üzere Erzurum iline ait 2012-2018 yılları arasında aylık ortalama sıcaklık ve yıllar arasında en düşük sıcaklık tablosu sunulmuştur (Meteoroloji 12 Bölge Müdürlüğü (MGM), 2019).

Çizelge 1.1 Erzurum İli 2012-2018 yılları arasında aylık ortalama sıcaklık (°C) değerleri (MGM, 2019)

Yıl/Ay	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2012	-	-	-	-	-	-	-	-	-		7.2	-3.0
2013	-9.6	-4.7	1.0	8.6	13.7	17.2	21.1	20.9	15.2	7.2	3.6	-11.4
2014	-7.7	-4.9	3.7	8.7	12.9	16.9	22.4	22.9	16.4	9.6	1.4	0.2
2015	-8.2	-5.2	0.5	6.2	11.5	17.4	21.8	22.2	18.5	10.0	2.7	-7.8
2016	-8.0	-3.7	1.9	8.3	11.3	17.1	19.8	22.4	13.8	9.3	-0.6	-9.5
2017	-11.5	-10.7	-0.5	6.3	11.2	16.4	22.1	22.7	18.6	8.3	2.4	-2.1
2018	-5.5	-3.1	5.2	8.5	11.9	15.5	20.5	20.6	16.5	10.8	3.2	-2.3

Çizelge 1.2 Erzurum İli 2012-2018 yılları arasında en düşük sıcaklık (°C) değerleri (MGM, 2019)

Yıl/Ay	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-8.0	-16.5
2013	-30.4	-20.2	-20.6	-3.9	1.8	3.0	0.0	0.0	-0.3	-5.2	-8.7	-23.3
2014	-24.8	-21.8	-8.8	-8.2	0.3	2.9	8.5	9.9	-0.3	-3.4	-8.6	-10.9
2015	-25.0	-20.9	-16.8	-5.9	-1.7	4.1	6.9	8.1	6.1	-1.2	-9.4	-17.4
2016	-33.8	-23.4	-11.7	-8.2	0.9	4.4	5.0	9.9	-1.0	-3.9	-14.4	-32.0
2017	-27.2	-26.5	-15.8	-7.6	1.2	2.6	9.1	9.4	3.1	-2.3	-11.2	-13.3
2018	-18.4	-18.9	-11.4	-7.9	4.6	4.7	7.7	8.8	3.3	-3.4	-6.7	-32.4

1. GİRİŞ

Çizelge 1.1 ve Çizelge 1.2 incelendiğinde Erzurum İli yaklaşık olarak 6 ay boyunca +5°C' nin altında hava sıcaklığı seyretmektedir.

Kış mevsiminin uzun ve soğuk geçtiği bölgelerde inşaat sezonunun çok kısa sürmesi ekonomik, teknik ve sosyal sorunlara sebep olmaktadır. İnşaat sektörü, ülke genelinde olduğu gibi Doğu Anadolu Bölgesi'nde de pek çok sektörle birlikte çalışan lokomotif bir sektördür ve uzun süren kış mevsiminde inşaat işlerinin durması bölge ekonomisini olumsuz yönde etkilemektedir. İnşaat sektöründe faal olan nitelikli iş gücü havaların soğuması ile birlikte mevsimlik çalışmalar için sıcak bölgelere göç etmekte, bu durum pek çok aile için sosyal sorunlar doğurmaktadır (KUDAKA, 2014).

Ülkemizde kışın genel olarak inşaat işleri, ***daha da özel olarak betonarme imalat***, dururken dünyanın benzer iklimin hüküm sürdüğü Kuzey Avrupa ülkeleri, Kanada, A.B.D., Rusya gibi bölgelerinde kışın beton dökümü yapıldığı bilinmektedir. Yapılan incelemeler neticesinde bu ülkelerde kışın beton dökümü için özel önlemler alındığı görülmektedir. Literatürde soğuk hava koşullarında *salt beton* üretimine ilişkin çok sayıda çalışma bulunurken; yapılan imalat ile başarılı bir ***betonarme eleman üretimi*** yapılıp yapılmadığı hususunun deneysel olarak yeterince irdelenmediği kanaatine ulaşılmıştır. Zira, soğuk havada betonarme eleman üretimi sürecinde beton-çelik-kalıp-atmosfer arasındaki ısı transferi mekanizmalarının deneysel olarak incelenmediği sürece problemin çözümüne ilişkin teknik çalışma yapılamayacağı düşünülmektedir. Bu noktadan hareketle; gerçek kış koşullarında beton dökümüne ilişkin çalışmalar ile soğukta dökülmüş betonarme elemanlarda çekme etkisi altında beton ile donatı arasındaki bağ kuvvetinin deneysel olarak incelenmesine yönelik araştırmalar yapılmasının gerekli olduğuna karar verilmiştir. Erişime açık literatürde bu konuda yapılmış herhangi bir çalışmaya rastlanamamıştır.

Öte yandan, akademide üretilecek bilginin toplumsal ihtiyaçları karşılar nitelikte olması son derece önemlidir. Bu yaklaşımla; yurtiçi ve yurtdışından 23.761 kişinin katılım sağladığı ve 11-14 Nisan 2019 tarihleri arasında TÜYAP – Erzurum Recep Tayyip Erdoğan Fuar Merkezi'nde düzenlenen Doğu Anadolu – Erzurum İnşaat, Yapı, İnşaat Malzemeleri, Tesisat, Isıtma, Soğutma, Havalandırma, Doğalgaz ve Teknolojileri Fuarı'nda kışın beton dökümü ve betonarme imalat üzerine bir algı anketi uygulaması

1. GİRİŞ

gerçekleştirilmiştir. Anket sonuçları, kışın beton dökümüne ilişkin teknolojiye Erzurum ili gibi soğuk bölgelerde ihtiyaç duyulduğunu ve bölgesel inşaat sektörünün bu yönde bir talebi olduğunu ortaya koymuştur (Gedik vd. 2020).

Gerek literatürde soğuk hava koşullarında dökülen betonarme yapısal elemanların mekanik davranışlarının incelenmesini konu edinen deneysel çalışmaların eksikliği gerekse bölgesel inşaat sektörünün soğuk havada betonarme imalat yapımına ilişkin yöntem geliştirilmesine olan talebi dikkate alınarak bir dizi deneysel çalışma kurgulanmıştır. Betonarme yapısal taşıyıcı sistem oluşturmanın birinci koşulu beton ile donatı çeliği arasında tam tutunma; yani aderansın sağlanmasıdır. Bu noktada, aderans kavramına yakından bakılmasında yarar görülmektedir.

Betonarmenin temel prensibi; beton ile çeliğin beraber çalışarak yük aktarım mekanizması oluşturması olarak tanımlanabilir. Birlikte yük taşıyabilecek şekilde bir araya gelen beton ve çelik arasında, yük taşıma sırasında herhangi bir rölatif yer değiştirme olmaması gerekmektedir. Donatının betondan sıyrılması, betonarme elemanın istenilen taşıma yükü kapasitesini karşılayamamasına, yani düşük yükler altında göçmesine neden olmaktadır. Bu nedenle, betonarme elemanların tam kapasite kullanılması için donatıyı saran betonun, donatı ile kenetlenmesi gerekmektedir.

Betonarme elemanlar, üzerlerinde bulunan mevcut yükler ve deprem kuvvetinin oluşturduğu etki ile şekil değiştirirler. Bu esnada donatı ile beton arasında gerilme geçişi meydana gelmektedir. İki eleman arasında sıyrılma olmadan bu tür gerilme geçişlerinin ortaya çıkması *aderans* olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde, TBDY, 2007’ de ilk olarak “*etriye, çiroz ve döşeme donatısı haricinde düz donatı kullanılmaz*” ibaresi; TBDY, 2018’ de betonarme taşıyıcı elemanlarda “*TS 708’de verilen B420C ve B500C nervürlü donatı çelikleri kullanılacaktır*” ibaresi ile sınırlandırması neticesinde; betonarme yapılarda nervürlü donatı kullanılması zorunlu hale getirilmiştir. Bu nedenle, taşıyıcı elemanlarda kullanılan nervürlü donatılarda meydana gelecek yük geçişi, nervür etrafında oluşan gerilme bileşkesi olarak ortaya çıkan kayma gerilmeleri tarafından aderansı sağlamakta olup; bu kayma gerilmeleri eşdeğer kayma gerilmelerine dönüştürülerek *aderans gerilmesi* olarak tanımlanmaktadır (Celep, 2013).

1. GİRİŞ

Normal hava koşullarında yapılan imalat ile betonarme elemanlarda yeterli aderansın sağlandığı kabul edilmektedir. Kış koşullarında yapılacak imalat ile betonarme elemanlarda tesis edilecek aderansın incelenmesi ve normal hava koşullarında yapılan imalatla kıyaslanması gerekmektedir. Öyle ki; soğuk hava koşullarında imal edilen betonarme elemanların aderans davranışı anlaşılmadan; yapısal taşıyıcı elemanlar üzerinde mekanik incelemeler yapmanın teknik olarak doğru olmayacağı düşünülmektedir. Bu nedendir ki; kurgulanan deneysel çalışmanın birinci aşamasının soğuk havada dökülen betonarme elemanlarda çekme etkisi altındaki aderans davranışının incelenmesine yönelik deneysel bir çalışma olması gerektiğine karar verilmiş ve konu bu tez çalışması dahilinde ele alınmıştır.

Kurgulanan tezin temel amacı, mekanik olarak yeterli dayanım ve davranışa sahip betonarme elemanların kışın üretilebilmeleri için yöntem önerisi getirmek ve bu bilgiyi inşaat sektörümüzün ve uluslararası literatürün kullanımına sunmaktır. Tez sonucunda üretilecek bilginin ile kışın betonarme inşaat sezonunun uzatılabilmesi; ilgili ekonomik, teknik ve sosyal sorunlara çözümler getirilebilmesi amacıyla hizmet eder nitelikte olması amaçlanmıştır. Buna ek olarak; kışın betonarme imalat/onarım yapılmasına acilen ihtiyaç duyulabilecek durumlar (deprem, vb.) için teknik bilgi üretilmiş olması amacı da ayrıca dikkate alınmıştır.

Tez kapsamında soğuk hava koşullarında imalatı gerçekleştirilen betonarme numunelerde; çekme etkisi altında donatı ile beton arasındaki bağ kuvveti (aderans) davranışı deneysel olarak araştırılmıştır. İlk aşamada anormal hava koşulları olarak tabir edilen gerçek kış koşullarında beton dökümü uygulaması için TS 1248' in belirlediği şartlar doğrultusunda muhtelif deneyler yapılmıştır. Araştırmanın ikinci aşamasında çekme etkisi altındaki aderansın incelenmesine uygun test numuneleri ile yükleme ve ölçüm sistemleri üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deneysel yöntem geliştirme çalışması tamamlandıktan sonra; gerçek kış koşullarında dökümü yapılan aderans numuneleri deneye tabi tutulmuş; döküm sürecindeki sıcaklık ölçümleri, çatlak oluşum süreçleri ve sıyırılma(*slip*), vb. parametreler üzerinden performans değerlendirmeleri yapılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümde genel olarak tez konusuna ilişkin ulusal ve uluslararası literatürde yayımlanmış olan çalışmalar derlenmiştir. Yayımlanan bu çalışmalar iki başlık olarak gruplandırılmıştır. Birinci kısımda, soğuk hava koşulları altında beton ve betonarme imalata ilişkin çalışmalara yer verilirken; ikinci bölümde betonarme aderansın deneysel olarak incelenmesine yönelik çalışmalar derlenmiştir.

2.1. Soğuk Hava Koşulları Altında Beton ve Betonarme İmalatına İlişkin Çalışmalar

Soğuk hava koşullarında yapılan beton dökümüne ilişkin çalışmaların bulunduğu ve bunların önemli bir kısmının kimyasal katkıların (antifriz) beton dayanımı ve davranışı üzerindeki etkisinin incelenmesine dair çalışmalar olduğu görülmüştür. Nmai (1998), Ryou vd. (2012), Nassif vd., (2013) Zhou vd. (2018), Karhonen (1990), Karhonen (1992) yayınları söz konusu çalışmalara örnek gösterilebilecek teknik metinlerdir.

Mironov ve Krylov (1956), çalışmasında -20 °C civarındaki atmosferik sıcaklıklarda farklı klorür tuzlarının kullanılarak beton dökülebildiği ifade edilmektedir. Burada CaCl₂' nin hidratasyonu hızlandırırken NaCl türü tuzların hidratasyon hızını kontrol ettiği ifade edilmektedir. Tuz içerikli betonların soğuk olarak karıştırılabileceği, soğuk havada taşınıp dökülebileceği belirtilmekle birlikte, bu tuzlar kullanılsa bile betonun atmosfer ile temasının belirli süre kesilmesi ve korunması gerektiği belirtilmektedir. Donmaya karşı önlem olarak karışımda çimento miktarının ağırlıkça belirli yüzdesi (~%2-%10) olarak tuz kullanılmasının en önemli gerekçesi olarak tuzun ucuz bir malzeme olması gösterilmektedir. Fakat zamanla klorür içeriğinin çelik donatıyı korozyona uğrattığı keşfedilmiştir.

Stormer (1970), çalışmasına özel bir parantez açmak gerekir. Çalışma Amerikan Ordusu Soğuk Bölgeler Araştırma ve Mühendislik Laboratuvarı (*U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, USA CRREL*) imkânları kullanılmak suretiyle asker-mühendis Carl D. Stormer tarafından gerçekleştirilmiştir. (*Literatürde soğukta beton dökümü ile ilgili pek çok çalışmanın askeri birimler tarafından yapıldığını görmek mümkündür.*) Çalışmada dona yol açacak kadar soğuk havalarda beton

2.KAYNAK ÖZETLERİ

dökümünün; karışım suyunun donma noktasını düşürerek beton dökümü esnasındaki atmosfer koşullarına bağlı olarak donmanın engellenmesi ile gerçekleştirilebileceği hipotezinden hareketle deneysel bir araştırma yapılmıştır. Karışım suyunun donma noktasını düşürmek için farklı molar konsantrasyon ve miktarlarda tuzlar (kalsiyum klorür ve sodyum klorür) kullanılması yoluna gidilmiştir. Stormer (1970) çalışmasında Rus araştırmacıların bu alanda 1950' li yıllardan itibaren çalışmaları olduğu, çoğunluğunun Rusça olup sınırlı sayıda İngilizce tercümesi olan çalışmalardan Mironov ve Krylov(1956) çalışmasına özel olarak yer verildiği görülmektedir.

Swift vd (1992), çalışmalarında donma sıcaklığında gömülen çeliğin etrafında dökümü gerçekleştirilen taze betonda buz oluşup oluşmadığını belirlemek için analitik ve sonlu eleman analizleri yöntemini kullanmışlardır. Oluşan buzun kalınlığı ve donma zamanları da incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda oluşan muhtemel olumsuz etkilerin yanısıra çözüm yolları tartışılmıştır. Analitik çalışmaları takiben deneysel çalışmalar da yapılmıştır.Yapılan çalışmalar doğrultusunda yüzeyde oluşan geçici buzlanmaların ihmal edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Schroeder ve Wood (1996), çalışmasında klorür içermeyen bu maddelere örnek olarak amonyak, kalsiyum nitrat, kalsiyum nitrit, sodyum nitrat, sodyum nitrit, sodyum sülfat, potasyum hidrat ve üre gibi maddeleri sıralamaktadırlar. Klorür içeriğinin donatı korozyonuna olan etkisini inceleyen güncel çalışmalara örnek olarak Gao vd. (2019), Oliviera ve Cascudo (2018), Liu vd. (2016) çalışmalarını göstermek mümkündür.

Nmai (1998), çalışmasında soğuk havada beton dökümü için yüksek performanslı beton karışımlarının üretiminde dikkate alınması gereken tasarım hususlarını kısaca ele almıştır. Sodyum siyanat içeren ve plastik halde -7°C'ye kadar düşük ortam sıcaklıklarında donmaya karşı koruma sağlayan, klorür olmayan bir hızlandırıcı ile işlenen yüksek performanslı soğuk hava beton karışımları için performans verileri sunulmuştur.

Eker (2009), metninden edinilen teknik bilgi; deniz suyuna maruz kalan betonlarda, beton içerisine nüfuz eden klorür iyonlarının donatı çeliği yüzeyinde oluşmuş bulunan pasif oksit filminin bozulmasına neden olarak çelik donatının şiddetli

2.KAYNAK ÖZETLERİ

korozyonuna neden olabileceğini ifade etmektedir. Öyle ki; 1 m³ beton içerisinde yaklaşık 0.7-1.2 kg arasında klorür bulunmasının korozyonun devamı için uygun bir ortam sağlayacağı belirtilmektedir. Hal böyleyken; soğukta dökümü yapılan betonarme elemanların beton karışımı içerisinde antifriz katkı olarak klorür içerikli maddelerin kullanılmasının uygun olmadığı açıktır. Bu husustan hareketle; “klorür” içeriği olmayan beton kimyasallarının bulunması ve betonda kullanımının araştırılması konusuna yönelme olmuştur.

Yi vd. (2011), çalışmalarında donma hasarını önlemek için erken yaş beton dayanımının en kısa sürede kazanılması için bir tahmin metodu amaçlamışlardır. Betonun erken yaş dayanımında donma hasarının oluşmasının nedenini ve erken yaşta donma hasarına uğrayan betonun basınç deneyi altındaki durumu incelenmiştir.

Çullu ve Arslan (2014), çalışmalarında aşındırıcı koşulların soğuk havada üretilen betonun mekanik ve fiziksel özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Antifrizde katkı maddesi olarak %30 kalsiyum nitrat ve %5 hidroksietilamin karışımı kullanılmıştır. Hazırlanan beton numuneler kalıplara yerleştirildikten sonra sıfırın altında çeşitli sıcaklıklarda donmaya maruz bırakılmıştır. Numuneler iki gün sonra dondurucudan çıkartılarak 28 gün boyunca kür işlemi uygulanmıştır. Kür işlemi ile birlikte çeşitli aşındırıcı asit maddeleri ile beton aşındırıcı etkiye maruz bırakılmış olup, kullanılan katkı maddelerinin beton üzerinde çeşitli olumlu ve olumsuz etkileri gözlenmiş ve betonun mekanik ve fiziksel özelliklerini aşındırıcı maddeler olumsuz etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.

Liu vd (2015), doğal ortamdaki sıcaklık değişimi, parçalı uygunluk metodunun uygulanmasıyla doğal ortamdaki sıcaklık spektrumunun tahmin etmek için bu çalışmayı yapmışlardır. Ölçüm verilerine dayandırılan bu yerel yöntem, beton termal parametrelerinin çözümü için önerilmiştir. Sonuçlar, beton ve doğal ortamın sıcaklık değişiminin periyodik olarak değiştiğini ve sıcaklığın teorik hareket ve tepki spektrumlarının ölçülen sonuçlarla iyi bir şekilde uyduğunu göstermiştir.

Erişime açık literatürde incelenen çalışmaların neredeyse tamamının soğuk hava koşullarında hedeflenen dayanım ve dayanıklılığa sahip **düz beton** imalatına ilişkin

2.KAYNAK ÖZETLERİ

olduğunu söylemek mümkündür. Bununla birlikte, soğuk hava koşullarında dökülen betonarme elemanlarda aderansın incelendiği çalışmalara erişim amacıyla yapılan literatür taramasında kısıtlı sayıda yapısal eleman davranışının incelendiği çalışmaya erişim sağlanmıştır.

Karbhari ve Eckel (1994), çalışmalarında kompozit malzemelerle (*karbon fiber ve cam fiber takviyeli şeritler*) mantolanmış kolonların soğuk havaya maruz kalmaları halindeki yapısal davranışlarını incelemiştir. Numune üretimi normal hava sıcaklıklarında yapılmış olup, sargılamanın kolon güçlendirmesi amacıyla yapıldığı ifade edilmektedir. Bu şekilde imal edilen kolonların yaklaşık -17,3 °C ortam sıcaklığına maruz bırakıldıktan sonra mekanik davranışlarının incelendiği ve sonuçta sıcaklığın düşmesi ile birlikte beton dayanımında ve eleman rijitliğinde artış olduğu sonucuna ulaşıldığı ifade edilmiştir.

Korhonen (1999), tabi olduğu yönetmelikler ışığında yazdığı bu raporda soğuk havada beton dökümünde dikkat edilmesi gereken kurallar, uygulanması mümkün yöntemler ve beton bakım şartları hakkında detaylı bilgiler sunmuştur.

Montejo vd. (2008), çalışmalarında -40 °C ila 20 °C arasındaki sıcaklıklara maruz bıraktıkları (*normal atmosferik koşullarda dökümü yapılmış*) tam ölçekli dairesel kolonların tersinir-tekrarlı yükler altındaki davranışlarını incelemiştir. Araştırma sonucunda donma sıcaklıklarında test edilen betonarme elemanların deformasyon kapasitelerinin önemli ölçüde düştüğü sonucuna ulaşıldığı ifade edilmiştir. Montejo vd. (2009), çalışmasında ise düşük atmosferik sıcaklıklara (-36 °C ila 22 °C arası) maruz kalan betonarme köprü taşıyıcı kolonlarının mekanik davranışlarını 6 adet yarım ölçekli deney numunesi üzerinde incelemiştir. Çalışmanın bir önceki Montejo vd. (2008), çalışmalarının devamı niteliğinde olduğuna vurgu yaparak, tersinir-tekrarlı yükler altında soğuk havaya maruz kolonların eğilme dayanımlarının ve başlangıç rijitliklerinin arttığını bununla birlikte deformasyon kapasitelerinde azalma olduğu sonucuna ulaştıklarına yer vermişlerdir.

Diao vd. (2011) çalışmalarında donatı korozyonuna uğratılmış betonarme kirişlerin donma-çözünme çevrimlerine maruz bırakıldıktan sonraki mekanik

2.KAYNAK ÖZETLERİ

davranışlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Kullanılan deney numuneleri normal hava koşullarında imal edilmiştir. Korozyonla birlikte, donma – çözünme etkisine maruz kalan **(soğuk bölge iklimi bu şekilde benzeştirilmeye çalışılmıştır.)** betonarme kirişlerin eğilme momenti kapasitelerinde %4 oranında düşüş olduğunu ve bu azalmanın devamlı (sustained) yüklere maruz kalan kirişlerde daha ani olarak gözlemlenebileceği sonucuna ulaştıkları ifade edilmiştir.

Saiedi vd. (2013) çalışmasında devamlı (sustained) yüklere maruz kalan, CFRP çubuklar kullanılarak ön germeli olarak imal edilen ön üretimli kirişlerin düşük sıcaklıklar (-27 °C) altındaki mekanik davranışlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Numuneler normal hava koşullarında imal edilmişlerdir. Deneysel araştırma sonucunda, soğuk havaya maruz bırakılan kirişlerin eğilme momenti taşıma kapasitesinde düşüş (%19) gözlenmekle birlikte; göçme mekanizmalarının eğilmeden (flexural failure) aderans göçmesine (bond failure) doğru değişim gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Demirboğa vd. (2014), çalışmalarında soğuk hava koşullarında betona üre ilave edilmesi konusunda odaklanmışlardır. Bu metotun avantajlarından birtanesi, düşük sıcaklıkta taze beton dökümü gerçekleştirildikten sonra bakım işleminin basitleştirilmesi olarak belirtilmiştir. Bu yöntem ile beton kürünü tamamlayana kadar beton içerisindeki suyu muhafaza etmek amacıyla buharlaşmayı önlemek için bir tabaka oluşturulmuştur. Çeşitli üre miktarına bağlı olarak farklı hava sıcaklıklarında 7, 14 ve 28. günde betonda dayanım testleri yapılmıştır. Ürenin soğuk havada imal edilen beton üzerinde ki dayanımı hakkında araştırma yapmışlar ve herhangi bir koruma olmadan -5 °C' ye kadar diğer koruma yöntemlerine alternatif olarak üre kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Korhonen (2015), çalışmasında soğuk havanın Amerika Birleşik Devletleri'nin kuzey bölgelerinde inşaat sürecini olumsuz etkilediğini belirtmiştir. Yıllar boyunca ABD ordu mühendisleri, soğuk havada beton üretimi için çeşitli formülasyonlar geliştirdikleri belirtmiştir. Fakat standartların eksikliğinden dolayı üretilen yöntemler ticari olarak kullanıma sunulamamıştır. Bu eksikliklerden dolayı şu anda kullanılan yöntemler ve bunlara alternatif metotlar sunulmuştur. Gelişen teknoloji ile birkaç yıl sonra soğuk havada beton dökümü uygulamasının yaygınlaşacağı hakkında vaat verilmiştir.

2.2. Beton-Donatı Arasındaki Bağ Kuvvetinin İncelenmesini Konu Alan Çalışmalar

Betonarme aderansın deneysel olarak incelenmesi deneysel yapı mekaniği çalışmaları arasında oldukça zor bir çalışma alanı olarak genel kabul görmektedir. Erişim sağlanabilen literatürde, betonarme elemanlarda aderans davranışının farklı deneysel yöntemlerle incelendiği çalışmalar bu bölümde özetlenmektedir.

Mirza ve Houde (1979), beton dayanımı, beton örtüsü kalınlığı ve yükleme seviyesi parametrelerine bağlı olarak bağ gerilmesi-sıyrılma ilişkisini tanımlamak için deneysel olarak çalışmışlar ve sonlu elemanlar analizlerinde kullanılmak üzere bağıntı üretmişlerdir.

Yerlici vd. (1995), çalışmasında yüksek dayanımlı beton elemanlarda kenetlenme özellikleri incelenmiş olup sonuçları normal dayanımlı beton elemanınki ile karşılaştırmışlardır. Çalışma kapsamında 42 adet beton eleman üzerinde aksel ve dış merkezli çekip çıkarma deneyi yapılmıştır. Bu deneylerde nervürlü donatı kullanılmış olup, çeşitli değişkenlerle (kenetlenme boyu, donatı çapı, beton örtüsü kalınlığı vb.) beton-donatı arasındaki sıyrılma değerleri ölçülmüştür.

Benmokrane vd. (1996), çalışmasında çelik ankraj ile çimento esaslı cam elyaf takviyeli plastik (GFRP) ankrajın yük taşıma kapasitesi ve bağ kuvveti deneysel olarak karşılaştırmışlardır. Laboratuvar ve saha deneyleri sonucunda GFRP ankrajın sıyrılması çelik ankrajdan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun temel sebebi GFRP ankrajının elastik modülün düşük olmasıyla ilişkilendirilmiştir.

Fu ve Chung (1997), su/çimento oranını artırarak donatı-beton arasındaki bağ kuvvetini çekip çıkarma (pull-out) yöntemini kullanarak deneysel olarak araştırmışlardır. Bunun yanı sıra deneylerde ıslak yüzeyli donatı ve kuru yüzeyli donatının bağ kuvvetine etkisi de araştırılmıştır.

Lee vd. (2002), çeşitli su/çimento oranına ve farklı çapta donatılara sahip olan numunelerin içine gömülü donatılar, elektrikli korozyon yöntemiyle korozyona uğratıldıktan sonra çekip çıkarma deneyi ile donatı-beton arasındaki bağ kuvvetini

2.KAYNAK ÖZETLERİ

araştırmışlardır. Deneysel yöntemin yanı sıra sonlu eleman modeli analizini uygulayarak deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Galeota vd. (2002), çalışmasında çeşitli çapta nervürlü donatıların yüksek dayanımlı hafif beton tarafından sarılarak elde edilen bir grup betonarme eleman lokal korozyona maruz bırakılmışlardır. Diğer bir grup betonarme eleman ise daha hızlı bir şekilde korozyona maruz bırakılmıştır. Bu iki grup betonarme eleman tek eksenli çekme testine tabi tutularak donatı-beton arasındaki aderansın korozyonla etkisi araştırılmıştır.

Türk ve Yıldırım (2003), çalışmasındaki öncelikli amaç donatı-beton arasındaki bağ kuvvetini araştırmaktır. Yaklaşık 30 Mpa dayanıma sahip 9 betonarme kiriş numunesi test edilmiştir. Kirişin ortasında iki donatı bindirmeli olarak yerleştirilmiş ve bu şekilde betonarme elemanlar elde edilmiştir. Deneylerde değişken donatı çapları kullanılmış ve yapılan deneyler sonucunda donatı çapının artışı, beton ile donatı arasındaki bağ kuvvetinin artmasında etkili olduğunu ifade etmişlerdir.

Kankam (2004), makine ve atıl durumda olan araçlardan geri dönüşüm olarak elde edilen hurda metallerin haddelenerek inşaat donatısına dönüştürülüp kullanılmasından dolayı, bu çalışmada hurda metallerden elde edilen donatı ile beton-donatı aderansı deneysel olarak araştırmıştır. Deney iki yöntemle yapılmıştır. Bunların ilki çekip çıkarma (pull-out) yöntemi, ikincisi ise mafsallı kirişin çekme bölgesine donatı yerleştirilmesiyle eğilme testine tabi tutularak aderans ilişkisi araştırılmış ve eğilme testleri sonucunda, elde edilen bağ kuvveti, pull out yöntemine kıyasla %50 değişim gösterdiği ifade edilmiştir.

Türk vd. (2005), çalışmasında üç farklı çapta donatı kullanılmıştır. Bu donatılar kiriş numune içerisinde çekme bölgesine yerleştirmişler ve momentin sabit olduğu bölgede bindirmeli olarak dizany etmişlerdir. Toplamda dokuz kiriş numunesi test edilmiştir. Bu numunelerin altısı eksenel yük altında eğilmeye maruz bırakılırken üç numune ise eksenel yük olmadan yalnızca eğilme testine tabi tutulmuştur. Bu deneyler doğrultusunda donatı çapı ve eksenel yük altında ki betonarme kirişte donatı-beton arasındaki bağ kuvveti incelenip karşılaştırılmıştır.

2.KAYNAK ÖZETLERİ

Döndüren vd. (2006), çalışmasında etriyeli, etriyesiz, farklı donatı çapları, farklı kenetlenme boyları ve farklı beton sınıfları kullanılarak beton ile donatı arasındaki aderansı deneysel olarak incelemiştir. Bu deneyler çekip çıkarma yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar SPSS istatistiksel paket programında varyans analizi ve güvenlik sınır kontrolleriyle irdelenmiştir.

Bingöl (2008), çalışmasında betonarme numuneleri yüksek sıcaklığa maruz bırakarak numunelerde meydana gelen etkileri, çekip çıkarma (pull-out) ve basınç mukavemeti deneylerine tabi tutarak yüksek sıcaklığın betonarme numunelerde meydana getirdiği beton ve donatı arasındaki aderans değişimi ve basınç mukavemetinin değişimini araştırmıştır.

Topçu ve Boğa (2008), mekanik özellikleri belirlenmiş ve beton içine donatıların yerleştirilmesiyle oluşturulmuş betonarme elemanlara hızlandırılmış korozyon deneyleri yapmışlardır. Bu deney neticesinde korozyona uğramış donatı ile beton arasındaki aderans değişimini deneysel olarak belirlemiştir.

Bingöl ve Gül (2009), yüksek sıcaklıklara maruz kaldıktan sonra beton davranışı, aderans ve yüksek sıcaklıklardan sonra beton-donatı aderansı teknik literatür ışığında irdemişler ve genel bir değerlendirme yapmışlardır.

Sarker (2011), çalışmasında uçucu kül esaslı jeopolimer beton, portlant çimentolu beton ile donatı arasındaki bağ kuvvetini deneysel olarak araştırmıştır. 24 adet jeopolimer beton kiriş ve 24 adet portlant çimentodan imal edilen beton numune içerisine 20 ve 24 mm çapında donatı kullanılarak betonarme numune hazırlanmıştır. Çalışma kapsamında yapılan deneylerde çekip çıkarma (pull-out) yöntemi kullanılmıştır ve iki tip betondan oluşturulan numuneler arasında bağ kuvveti karşılaştırılmıştır.

Aryanto ve Shinohara (2012), betonarme yapıların sismik yüklere karşı performans değerlendirmesinin temellerinden biri olan bağ kuvvetini, belirli korozyon seviyelerinde, betona sargılı nervürlü inşaat donatıları çekme testine tabi tutularak korozyon-bağ ilişkisi araştırmışlardır.

2.KAYNAK ÖZETLERİ

Kazaz (2012), çalışmasında donatının beton içerisinde yerleştirilmesiyle elde edilen betonarme elemanın, beton-donatı ara yüzeyinde meydana gelen aderans kaymasını ANSYS programı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile modellenerek aderans ilişkisini araştırmıştır.

Paul vd. (2013), betonarme elemanlarda karıştırma ve döküm sıcaklığının aderans davranışı deneysel olarak incelemiştir. Üç farklı sıcaklıkta (15°C, 30°C ve 45°C) beton dökümü gerçekleştirilmiştir. 100 mm çapında ve 200 mm yüksekliğinde silindir numuneler hazırlanmıştır. Bu numunelere pull-out deney yöntemi uygulanarak beton-donatı arasındaki gerilme-sıyrılma ve donatı-beton arasındaki bağ kuvveti ilişkisi deneysel araştırılmıştır. Düşük sıcaklıkta üretilen numuneler, yüksek sıcaklıktakilere oranla daha iyi sonuç verdiği ifade edilmiştir.

Chowdhury (2013), yapı endüstrisinde giderek teslim tarihlerinin kısalması için artan talepten ötürü erken yaşta yüksek dayanımlı betonların içerisine yerleştirilen normal çelik donuların beton-donatı arasındaki bağ kuvveti deneysel olarak incelemiştir. 30 MPa ve 60 MPa olmak üzere farklı dayanımlara sahip silindir beton numuneler hazırlanmıştır. Bu numuneler 4, 7 ve 12 günlük dayanımları test edilerek donatı-beton arasındaki aderans ilişkisi araştırılmıştır.

Lublöy ve György (2014), çalışmasında artan sıcaklıklar altında beton ve donatı arasındaki bağ kuvveti davranışını gözlemlemiştir. Beş farklı beton karışımı kullanılmıştır. Yüzbeş numune hazırlanmış ve pull-out testine tabi tutulmuştur. Deneysel 7 ve 28 günlük dayanıma sahip numuneler üzerinde yapılmıştır. Hazırlanan numuneler iki saat boyunca farklı sıcaklıklara (20°C, 150°C, 300°C, 400°C, 500°C, 800°C) maruz bırakılmıştır. Isıl işlem gören numuneler laboratuvar ortamında soğutulmuş oda sıcaklığında deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda sıcaklığın artması basınç dayanımını ve bağ kuvvetini azalttığı sonucuna varılmış olup bu konuda yeni formül önerisinde bulunmuşlardır.

Xiao vd. (2014), çalışmasında 80 Mpa basınç dayanımına sahip yüksek dayanımlı beton ile 500 MPa akma dayanımına sahip inşaat çeliği kullanılarak betonarme eleman elde etmişlerdir. Elde edilen bu betonarme eleman 200°C, 400°C, 500°C, 600°C sıcaklığa

maruz bırakıldıktan sonra donatı-beton arasındaki bağ davranışı kiriş deney yöntemi kullanılarak incelenmiştir.

Popal (2015), düşük dayanımlı betonlarda nervürlü ve nervürsüz (düz) donatı kullanılarak beton içerisinde farklı uzunluklarda gömülen numuneler üzerinde çekip çıkartma (pull-out) deneyleri yapılarak beton-donatı arasındaki sıyrılma davranışını incelemiştir.

Lobo vd. (2015), nümerik modeller ile dinamik tekrarlı yükler veya statik yükler altında betonarme yapıların aderans-sıyrılma ilişkisini değerlendirmişlerdir. Deneysel ve analitik sonuçların kolerasyonunun analiziyle sonuçlar tartışılmıştır. Betonarme çerçevenin sarsma tablası üzerindeki test sonuçları değerlendirilmiş olup aderans-sıyrılma ilişkisi araştırılmıştır.

Karakurt vd. (2015), betonarme yapılarda beton ve donatı arasındaki aderans dayanımına kür şartlarının etkisini araştırmışlardır. Hazırlanan betonarme numunede beton içerisinde uçucu kül katkısı kullanılmıştır. Çapı 20 mm ve akma dayanımı 420 Mpa olan nervürlü inşaat donatısı kullanılmıştır. İki farklı kür ortamında bekletilen numuneler 3, 7, 28 günlük basınç dayanım ve aderans dayanım deneyleri yapılmıştır. Kür şartlarının betonun aderans dayanımına belirgin bir etki yapıp yapmadığı irdelenmiştir.

Bilek vd. (2017), çalışmasında donatı ve üç tip beton arasındaki bağ kuvvetini araştırmışlardır. Birinci tip beton; portland çimento esaslı beton, ikinci tip beton; alkali takviyeli beton ve üçüncü tip beton ise hibrit çimento kullanılarak hazırlanmıştır. Hibrit çimetonun içeriğinde curuf ve portland çimento bulunmaktadır. Bu üç tip betonun içerisine gömülen inşaat donatıları çekip çıkarma (pull-out) deneyine tabi tutularak beton-donatı arasındaki bağ kuvveti deneysel olarak araştırılmıştır.

Jaafar (2017), bağ kuvveti üzerinde kiriş içine gömülü donatı boyu ve donatı çapının etkisini deneysel olarak araştırmıştır. İki farklı donatı çapı ve üç farklı gömme boyu kullanılarak kiriş methoduyla aderans deneyine tabi tutulmuştur. Çapın ve gömme boyunun artışı ile bağ kuvveti ve sıyrılma üzerinde ki etkisi araştırılmış olup, gömme

2.KAYNAK ÖZETLERİ

boyunun ve donatı çapının artması, bağ kuvvetinin azalmasında önemli etkisi olduğu belirtilmiştir.

Arslan ve Arslan (2018), farklı donatı çapları, farklı kenetlenme boyları ve sabit tutulan beton sınıfının mafsallı kiriş deneyi yardımıyla eğilme etkisi altında beton-donatı aderansını deneysel olarak incelemişlerdir.



3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde soğukta dökülen betonarme elemanlarda çekme etkisi altındaki bağ kuvveti-kayma ilişkisi deneysel olarak incelenmesinde kullanılan materyal ve takip edilen yöntem hakkında detay bilgi sunulmaktadır. Soğukta beton imalatına ilişkin deneme çalışmaları hakkında bilgi verildikten sonra, aderans davranışının inceleneceği betonarme eleman üretim detayları verilmektedir. Bu bölümün son başlığı altında deney düzeneği ve sensör ölçüm düzeni hakkında açıklamalar sunulmaktadır.

Deneysel çalışma yapılırken benimsenen temel yaklaşım laboratuvarında mevcut imkânların kullanılmasıdır. Bu nedenle, özellikle aderans numunelerinin oluşturulması sürecinde birbirinden farklı denemeler yapılmış ve nihai numune özelliklerinde karar kılınması uzun bir sürece yayılmıştır. Bu süreç, mümkün olduğu kadar kısa ve öz bir şekilde sunulmaya çalışılmıştır. Benzer şekilde, aderans davranışının inceleneceği yükleme ve ölçüm düzeneğinin oluşturulması da birden fazla aşama neticesinde gerçekleştirilmiştir.

Soğuk hava koşullarında yapılacak numune imalatının tamamı gerçek kış şartları altında gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, 2019 yılı yaz ve sonbahar dönemi genel olarak laboratuvar ortamında pilot deney çalışmaları, deneysel numune üretme araştırmaları ve kış koşullarında yapılacak numune üretimi planlama ve malzeme temini çalışmaları ile geçirilmiştir. 2019 yılı Kasım ayı itibariyle dış ortam koşullarında numune üretme çalışmalarına başlanmıştır.

3.1. Soğukta Beton İmalatı

Deneysel çalışmaların birinci aşamasında soğuk havada, tasarlanan dayanıma sahip beton üretimine ilişkin çalışmalar yapılmıştır. TS 1248' de art arda üç gün boyunca +5°C ve altında kalan sıcaklık soğuk hava olarak tanımlanmaktadır (TS 1248, 2012). Sıcak havada su kaybı önlemeye çalışılırken, soğuk havada ise beton içerisinde bulunan mevcut suyun donmaması ve hidrasyona su formunda dahil olması istenmektedir. Aksi durumda beton, içerisinde muhafaza ettiği suyun donması neticesinde sertleşmiş beton içerisinde hidrasyona dahil olmamış buz parçacıkları meydana gelmektedir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Hidratasyon sırasında suyun donarak buz haline geçişi sırasında hacimsel genişlemeye bağlı olarak sertleşmiş beton içerisinde çatlaklar oluşturmaktadır. Bu donma çözünme olayı kolon, kiriş ve döşeme gibi taşıyıcı betonarme elemanlarda meydana gelmesi durumunda ciddi tehlikeler arz etmektedir.



Kışın yapılan imalatlarda donma-çözünme sorunuyla karşılaşılmasını için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden bir tanesi, priz hızlandırıcı katkı maddesi kullanılarak soğuk hava şartlarında, beton içerisinde bulunan mevcut suyun donma noktasına ulaşmadan hidratasyona dâhil edilerek betonda istenilen dayanıma ulaşılmaktadır.

Betonarme elemanlarda aderansın sağlanması için uçucu kül gibi birçok katkı maddesi kullanıldığı ve katkı maddesi kullanımının beton maliyetini artırdığı bilinmektedir. Özellikle Kuzey Avrupa ülkelerinde hem kışın beton dökmek hem de maliyetini minimum düzeyde tutmak amacıyla, taze betonun hidratasyon aşamasında optimum sıcaklık koşulları oluşturularak priz almasının sağlanması yoluna gidilmektedir. Yapılan imalatlarda, beton dökümü sonrasında taze betonun sıcaklığını dengede tutmak için ortam sıcaklığını dengede tutacak ısıtıcılar kullanılmaktadır. Ortam koşulları minimum +5°C olacak şekilde ısı dengesinin sağlandığı ortamlarda betonarme imalatın yapılmasını mümkün kılmaktadır. Bu ısı denge, beton dökümü yapılan alanın çeşitli yalıtım malzemeleriyle çevrelenmesi ve içerisinde sıcaklığı artıracak ısıtıcıların kullanılmasıyla mümkün olmaktadır.

Beton üretim tesislerinde agrega ve çimento, herhangi bir doğa koşuluna maruz kalmayan etrafı çevrili depolarda muhafaza edilmektedir. Ortam sıcaklığı ortalama 23°C olan depolarda muhafaza edilen agrega ve çimentonun ortalama sıcaklığı 20°C'nin üzerinde olduğu bilinmektedir. Bu sıcaklıkta üretilen taze betonun sıcaklığı ise Türk Standartları Enstitüsü' nün belirlediği ortalama sıcaklık olan 25°C'de üretilmektedir (TS 1248, 2012). Kış şartlarında beton üretim tesisinde hazırlanan optimum sıcaklıktaki beton, döküm alanına gelene kadar geçen süre zarfında ısı kaybı ile birlikte sıcaklık düşüşü yaşamaktadır. Soğukta beton dökümünde taze beton sıcaklığının sabit tutulması için beton taşıma haznesine yalıtım uygulanmış transmikseler kullanılmaktadır. Bu transmikseler döküm alanına gelmek için geçen süre zarfında, taze betonun sıcaklığını

3. MATERYAL ve YÖNTEM

sabit tutmak amacıyla tasarlanmıştır. Bahsi geçen bu uygulama prototip olarak kabul edilip deneysel çalışmada takip edilecek model uygulama şematik olarak Şekil 3.1’de sunulmaktadır. Kışın beton dökümü çalışmasını yansıtır nitelikteki laboratuvar çalışmasında, yalıtımlı mikser kullanılarak laboratuvarda üretilerek döküm alanına taşınmıştır.

	ÜRETİM	TAŞIMA	UYGULAMA
PROTOTİP	Ortam Sıcaklığı: 23 °C Taze Beton Sıcaklığı: 25°C 	Ortam Sıcaklığı: -15 °C Taze Beton Sıcaklığı: 25°C  (Beton Taşıma Haznesi Yalıtımlı Transmikser)	Ortam Sıcaklığı: -15 °C Taze Beton Sıcaklığı: 25°C 
MODEL	Ortam Sıcaklığı: 23 °C Taze Beton Sıcaklığı: 25°C 	Ortam Sıcaklığı: 20 °C Taze Beton Sıcaklığı: 25°C 	Ortam Sıcaklığı: -15 °C Taze Beton Sıcaklığı: 25°C 

Şekil 3.1 Beton Üretim-Döküm-Uygulama şeması

2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’nde (TBDY 2018) betonarme eleman üretiminde kullanılabilecek en düşük beton sınıfı C25 olarak belirtilmiştir. Bu nedenle tez kapsamında gerçekleştirilen deneylerde C30 sınıfı beton üretilmesi kararlaştırılmıştır. Çalışmada temel yaklaşım, taze beton karışım sıcaklığının kış koşullarında döküm yapılması esnasındaki sıcaklık düşüşü de dikkate alınarak 15-20°C aralığında tutulmasıdır. Laboratuvarın ortalama sıcaklığı 23°C olarak ölçülmüş ve taze beton sıcaklığı da 25°C olacak şekilde tasarlanmıştır. Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi’nin -1. katında bulunan laboratuvarda üretimi gerçekleştirilen betonu, kış dökümü için fakülte binasının doğu cephesinde bulunan fakülte binası girişine taşınmıştır. Bu giriş, laboratuvardan yaklaşık 40 m uzaklıkta olup üretilen taze beton bina içerisinden dış ortama taşındığı için taşıma sırasında betonyerin içerisinde bulunan taze betonda sıcaklık kaybı olmayacağı düşünülerek beton mikserine herhangi bir yalıtım uygulaması yapılmamıştır. Beton taşıma işlemi bittikten sonra -15°C’de beton dökümü gerçekleştirilmiştir.

3.1.1. Beton Sıcaklığının Belirlenmesi Deneyi

Dış atmosferik koşullar dikkate alınarak taze beton sıcaklığının belirlenmesi, kış şartlarında beton dökümünün en önemli parametreleri arasındadır. Beton sıcaklığının optimum (15-20°C) düzeyde tutulması istenen dayanımın elde edilmesi bakımından önemlidir. Çalışmada C30 sınıfı beton imal edilmesi hedeflenmiş ve kullanılan beton karışım oranları Çizelge 3.1’ de sunulmuştur.

Çizelge 3.1 C30 sınıfı beton karışım oranları

Malzeme	% V	Birim Hacim Ağırlığı (kg/dm ³)
Su	0,188	1,00
Çimento	0,108	3,15
Hava	0,010	0,00
İnce Agregası	0,278	2,64
İri Agregası	0,416	2,76
Akışkanlaştırıcı		Çimento ağırlığının %1’ i

Taze beton minimum döküm sıcaklığı TS 1248’de +5°C olarak belirlenmiştir. Bu sıcaklığın döküm alanına ulaşana kadar muhafaza edilmesi gerekmektedir. Santralde üretilen taze beton, santralden çıkıp döküm alanına ulaşım süresi boyunca ısı kaybı meydana geleceği için bu ısı kaybının hesabının yapılması gerekmektedir. Bu hesap doğrultusunda kaybedilecek sıcaklık değeri belirlenmelidir. Taze beton sıcaklığının da bu hesaba göre belirlenip hazırlanması gerekmektedir. Bu doğrultuda TS 1248’de “ 5.2.3 Karışım Sıcaklığının Hesaplanması” başlığı altında, bağıntı 3.1’de de gösterildiği gibi beton sıcaklığı, malzeme sıcaklıkları ve kütleleri içeren bir bağıntı sunulmuştur (TS 1248, 2012). Formülde kullanılan parametrelerin açıklamaları Çizelge 3.2’ de sunulmaktadır.

$$T = \frac{0,22(T_a W_a + T_c W_c) + T_w W_w + T_a W_{wa}}{0,22(W_a + W_c) + W_w + W_{wa}} \quad (3.1)$$

Çizelge 3.2 Bağntı 3.1 parametreleri ve açıklamaları

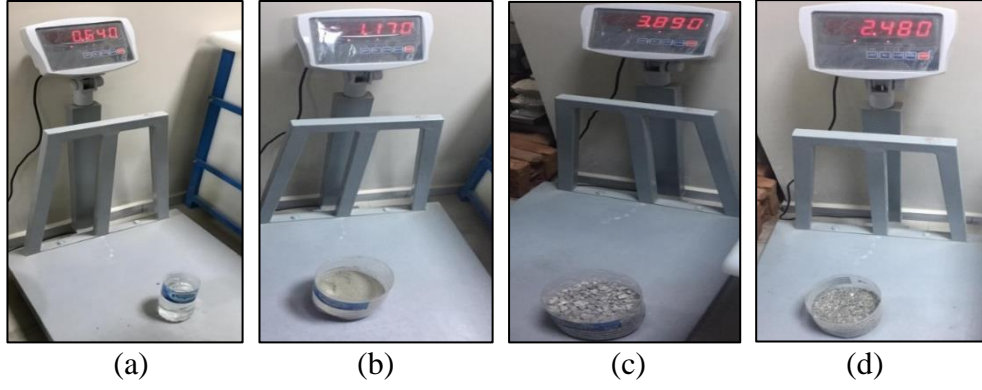
Kısaltma	Açıklama
T	Taze Beton Sıcaklığı (°C)
T _a	Agrega Sıcaklığı (°C)
T _c	Çimento Sıcaklığı (°C)
T _w	Su Sıcaklığı (°C)
W _a	Agreganın Kuru Kütlesi (kg)
W _c	Çimentonun Kütlesi (kg)
W _w	Su Kütlesi (kg)
W _{wa}	T _a Sıcaklığındaki Agregada Üzerindeki Serbest Su ve Agregada Tarafından Emilen Suyun Kütlesi (kg)

TS 1248’de sunulmuş olan Bağntı 3.1’ in kullanılabilirliğinin teyit edilmesi amacıyla beton sıcaklığı deneyleri yapılmıştır. Verilen formülde su sıcaklığının (T_w) değişkenliğine bağlı olarak taze beton sıcaklığı da değişim göstermektedir. Bu deneyin temel amacı, sunulan formülü kullanarak teorik hesapta bulunacak olan beton sıcaklığı ile deneysel olarak ölçülen taze beton sıcaklığı arasındaki yüzdelik değişimin tespit edilmesidir. Bağntı 3.1. kullanılarak iki türlü deney gerçekleştirilmiştir.

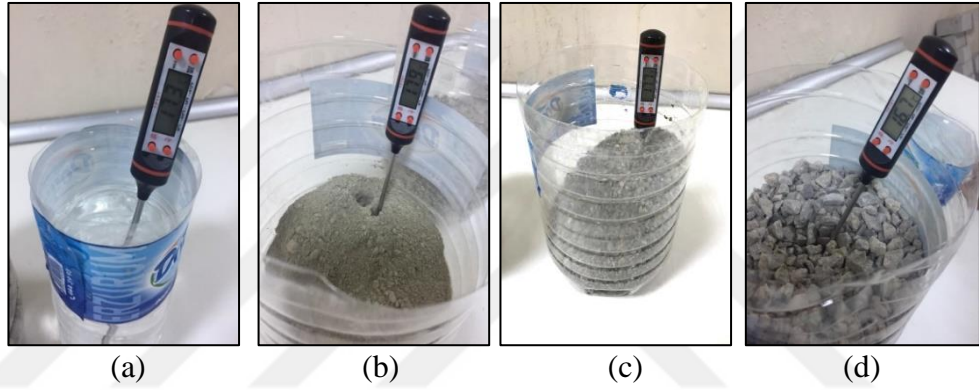
- İlk olarak Bağntı 3.1 kullanılarak hesaplanan taze beton sıcaklığı ile deneysel olarak beton dökümü yapıldıktan sonra ölçülen taze betonun sıcaklığı karşılaştırılmıştır.
- İkinci olarak ise Bağntı 3.1’de taze beton sıcaklığı sabit tutularak karışım suyunun sıcaklığı belirlenmiştir. Bağntı 3.1 yardımıyla sıcaklığı belirlenen karışım suyu ile hazırlanan taze betonun ölçülen sıcaklığı ve bağntı 3.1’de sabit olarak kabul edilen beton sıcaklığının benzerlik oranı araştırılmıştır.

3.1.1.1. Taze Beton Sıcaklığının Belirlenmesi

Bağntı 3.1 kullanılarak hesaplanan taze beton sıcaklığı ile; imal edilen beton sıcaklığının ölçüm değerinin kıyaslanması amacıyla bir deneme dökümü çalışması yapılmıştır. “Numune-1” olarak adlandırılan deney numunesinde kullanılan malzeme ağırlıkları Şekil 3.2’ de ve malzemelerin sıcaklık değerleri Şekil 3.3’ te görüldüğü gibi ölçülmüştür. Agregada, çimento ve suya ek olarak beton karışımında akışkanlaştırıcı katkı maddesi de kullanılmıştır.



Şekil 3.2 Malzeme ağırlıkları, (a) su ağırlığı, (b) çimento ağırlığı, (c) iri agrega ağırlığı, (d) ince agrega ağırlığı



Şekil 3.3 Malzeme sıcaklıkları, (a) su sıcaklığı, (b) çimento sıcaklığı, (c) ince agrega sıcaklığı, (d) iri agrega sıcaklığı

İmalatta iri ve ince agrega olarak iki tip agrega kullanılmıştır. Fakat önerilen bağıntıda tek tip agrega ağırlığı verildiği için kullanılan ince ve iri agrega ağırlığının toplamları alınmıştır. Agrega sıcaklığı ise agregaların ağırlıkça ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Taze beton sıcaklığının tespit edilmesinde ki matematiksel işlemlerde agregaların toplam ağırlığı kullanılmıştır. Agrega Sıcaklığı (T_a) ise iri ve ince agregaların ağırlıkça ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Malzemelerin sıcaklık ve ağırlık değerleri ölçülüp not edildikten sonra Bağıntı 3.1 kullanılarak taze beton sıcaklığı aşağıdaki gibi 17,3 °C olarak hesaplanmıştır.

$$T = \frac{0,22 * (17,2 * 6,37 + 17,9 * 1,17) + 17,3 * 0,64 + 0}{0,22 * (6,37 + 1,17) + 0,64 + 0} = 17,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Hesaplanan sıcaklık değeri ile birlikte tüm veriler Çizelge 3.3' te tablo formatında sunulmuştur.

Çizelge 3.3 Bağntı 3.1 kullanılarak Numune-1 beton sıcaklığının hesaplanması

Malzeme	Sıcaklığı (°C)	Ağırlığı (kg)
Agrega*	17,2 (T _a)	6,37
Çimento	17,9 (T _c)	1,17
Su	17,3 (T _w)	0,64
Beton**	17,3 (T)**	8,18

*Agreganın suya doymun olduğu kabul edilmiştir.

**Bağntı 3.1'de hesaplanan değer.

Malzeme ağırlıkları ve sıcaklıkları ölçülüp kaydedildikten sonra beton karışımı hazırlanarak oda sıcaklığındaki ($\cong 24^{\circ}\text{C}$) kalıba alınmıştır. Teorik olarak $17,3^{\circ}\text{C}$ hesaplanan taze beton sıcaklığı için ölçüm yapılmış ve taze beton sıcaklığı $18,9^{\circ}\text{C}$ olduğu belirlenmiştir. Teorik ve deneysel taze beton sıcaklıkları arasında $\cong \%9,24$ oranında fark olduğu gözlenmiştir.

3.1.1.2. Karışım Suyu Sıcaklığının Belirlenmesi

Bu bölümdeki çalışmanın ikinci aşaması olarak Bağntı 3.1' de taze beton sıcaklığı 22°C 'de sabit tutularak; bu sıcaklıktaki beton üretimi için gerekli su sıcaklığının belirlenmesi için bir deneme çalışması gerçekleştirilmiştir. Burada amaç; karışım suyu sıcaklığının değiştirilmesiyle istenilen sıcaklıkta taze beton elde edilip edilemeyeceğinin araştırılmasıdır. Öyle ki; farklı hava sıcaklıkları altında döküm yapılması halinde döküm anındaki sıcaklık düşüşü de dikkate alınarak farklı sıcaklıklarda taze beton üretimi gerekli olabilecektir.

Malzeme sıcaklıkları ölçülüp not edildikten sonra Bağntı 3.1' de beton sıcaklığı sabit değer (22°C) girilmiş ve bilinmeyen olarak su sıcaklığı bırakılmıştır. Denejde kullanılacak malzeme sıcaklıkları ölçümü yapılmış ve Çizelge 3.4' te belirtilen malzeme ağırlıkları kullanılarak yapılan matematiksel hesaplamalar sonucunda su ve akışkanlaştırıcı katkı maddesinin karışım sıcaklığı (T_{wp}) $33,92^{\circ}\text{C}$ olarak hesaplanmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

$$22 = \frac{0,22 * (17,2 * 6,37 + 18,5 * 1,17) + T_{wp} * 0,64 + 0}{0,22 * (6,37 + 1,17) + 0,64 + 0} \Rightarrow T_{wp} = 33,92 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Çizelge 3.4 Karışım suyu sıcaklığı belirlenmesi deneyine ait malzeme ağırlıkları ve sıcaklıkları

Malzeme	Sıcaklığı (°C)	Ağırlığı (kg)
Agrega*	17,2 (T _a)	6,37
Çimento	18,5 (T _c)	1,17
Su + Akışkanlaştırıcı	33,92 (T _{wp})	0,64
Beton	22 (T)	8,18

*Agreganın suya doymuş olduğu kabul edilmiştir.

Hesaplanan $T_{wp} = 33,92^\circ\text{C}$ değeri, su ve akışkanlaştırıcı katkı maddesinin sıcaklığı olarak hesaplanmıştır. Ayrıca sadece suyun sıcaklığı, su ve akışkanlaştırıcı katkı maddesinin ağırlıkça ortalamaları alınarak " T_w " su sıcaklığı hesaplanmıştır.

$$\frac{0,64 * T_w + 0,29 * 19}{0,64 + 0,29} = 33,92 \Rightarrow T_w = 41,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Malzeme ağırlıkları ve sıcaklıkları ölçülüp kaydedildikten sonra beton karışımı hazırlanarak oda sıcaklığındaki ($\cong 24^\circ\text{C}$) kalıba alınmıştır. Teorik olarak 22°C sabit tutulan taze beton sıcaklığı için ölçüm yapılmış ve beton sıcaklığının $22,1^\circ\text{C}$ olduğu Şekil 3.4' te gösterilmiştir. Teorik ve deneysel taze beton sıcaklıkları arasında $\cong \% 0,45$ oranında fark olduğu görülmüştür.



Şekil 3.4 Numune-2 taze beton sıcaklık ölçümü ($22,1^\circ\text{C}$)

Bu aşamada gerçekleştirilen deneysel çalışmalar neticesinde, Bağntı 3.1 kullanılarak sonraki safhalarda taze beton sıcaklığının ayarlanabileceği sonucuna varılmıştır.

3.1.2. Gerçek Kış Şartlarında Beton Dökümü

Beton sıcaklığının belirlenmesi amacıyla yapılan deneysel çalışma olumlu sonuçlanmış olup TS 1248' de verilen formülün kullanılabilirliği teyit edilmiştir. Bağntı 3.1 kullanılarak ilgili yönetmeliklerin (ACI 306R-10 ve TS 1248) öngördüğü sınırlar içerisinde beton döküm sıcaklığı elde edilmiş ve küp numuneler halinde beton dökümü gerçekleştirilmiştir. Pilot çalışma olarak gerçekleştirilen bu uygulamanın ardından ikinci aşamaya geçilmiş ve gerçek kış şartlarında beton dökümü yapılmıştır. Bu bölümde söz konusu çalışmaya ilişkin detaylar sunulmaktadır.

Bu aşamada yapılan ön çalışmanın amacı, kış şartlarında ACI 306R-10 ve TS 1248' de önerilen bakım şartlarının uygulanması halinde yaz koşullarında dökülen beton dayanımına ve davranışına eşdeğer beton elde edilip edilemeyeceğinin deneysel olarak araştırılması ve döküm sürecine ilişkin kurgulan yöntemin irdelenmesidir.

Çalışmanın yapılması için kış mevsiminde hava sıcaklıklarının -10 ile -20°C olduğu takvim dönemi beklenmiştir. Bu nedenle, 04.03.2019 tarihinde gündüz sıcaklığı 3,3°C ve gece sıcaklığı -14°C hava sıcaklığının olduğu bir günde beton dökümü gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, beton döküm işlemi yapılmadan önce beton numunelerin muhafaza edileceği alan, Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi doğu cephesi önüne kurulmuştur. Döküm ortamı kurulduktan sonra muhtelif aralıklarla ortam içi ve atmosferik sıcaklık ölçülerek sıcaklık ölçümlerinin yapılabilirliği ve doğruluğu teyit edilmiştir. Dış ortam beton numunesi döküm alanı ve bakım muhafaza alanı oluşturulurken mümkün olduğu kadar komplike sistemlerden uzak durulmuş, mümkün olan en basit şekilde cihaz ve malzeme teminleri ile çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada genel olarak kullanılan malzeme ve teçhizat bilgileri Çizelge 3.5' te sunulmaktadır. Beton numune iç sıcaklığını ve ortam sıcaklığını ölçmek için kullanılan termometre tipleri Şekil 3.5'te gösterilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Çizelge 3.5 Gerçek kış koşullarında beton dökümü çalışmasında kullanılan malzeme, teçhizat tablosu

Malzeme / Cihaz	Miktar	Kullanım Amacı
Isıtıcı	1 Adet	Beton numunelerin muhafaza alanı sıcaklığı arttırmak.
Taş Blok (15x15x15 cm)	100 Adet	Beton numunelerin soğuktan yalıtımı için kullanılmıştır.
EPS (5 cm)	8 Adet	Beton numunelerin soğuktan yalıtımı için kullanılmıştır.
Karton, Naylon Branda	1 Adet	Beton numunelerin soğuktan yalıtımı için kullanılmıştır.
Elektronik Termometre	2 Adet	Beton numunelerin iç sıcaklığı ölçülmüştür.
Civalı Termometre	1 Adet	Dış ortam sıcaklığı ölçülmüştür.
TFA Marka Elektronik Termometre	1 Adet	Hem dış ortamı hem de metal uçlu prop ile iç ortam sıcaklığı ölçmektedir.
TFA Marka Elektronik Termometre	1 Adet	Sıcaklık ve nem ölçmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.5 Deneylerde kullanılan elektronik termometre tipleri; (a) elektronik göstergeli saplama termometre, (b) ve (c) TFA marka elektronik termometre.

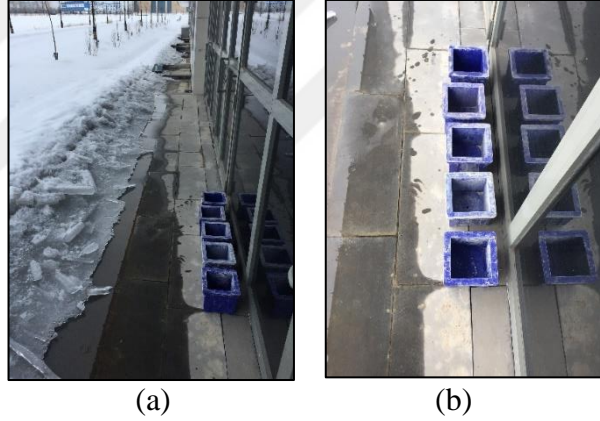
Dış ortamda numuneleri muhafaza etmek için Şekil 3.6’ da görüldüğü gibi koruyucu bir alan oluşturulmuş ve bu alanın iç sıcaklığını arttırmak için ısıtıcı yerleştirilmiştir. Ortam içerisindeki hava sıcaklığının düşmesini önlemek için doğal taş bloklar arasına 5 cm kalınlığında yalıtım malzemesi (EPS) yerleştirilmiştir. Oluşturulan alanın üst kısmında ise karton etrafına naylon branda sarılarak oluşturulan kapağın yerleştirilmesi suretiyle ısı yalıtımı sağlanmıştır.



Şekil 3.6 Numune muhafaza alanı

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Dökümden 3 gün önce 5 adet küp numune kalıbı Şekil 3.7' de görüldüğü gibi atmosferik koşullara bırakılmıştır. Yapılan bu uygulama, kalıpların dış ortamla ısı alışverişi yaparak gerçek koşullara daha yakın sıcaklıklara ulaşmaları hedeflenmiştir. Zira normal koşullarda yapılacak olan bir betonarme imalatta önce kalıp hazırlanacak ve sonrasında içerisinde donatı yerleştirilecektir. Donatı yerleşiminin ardından gerekli kontroller yapıldıktan sonra beton döküm aşamasına geçilecektir. Bu süre zarfında; gerek kalıp ve gerekse donatı ortam sıcaklığına maruz kalacak ve bu koşulları yansıtan sıcaklıklara ulaşacaktır. Bu husus, soğukta beton dökümü için son derece önemlidir. Soğuk bir kalıp içerisinde yapılacak olan dökümde taze beton sıcaklıklarından ani düşüşlerin yaşanması beklenebilir. Bu da, priz alma safhasına geçmeden önce beton sıcaklığının değişmesi nedeniyle nihai beton dayanımları üzerinde olumsuz sonuçlar doğurabilir. Bu nedenle, döküm yapılacak numuneler çalışma öncesi atmosferik koşullarda bırakılmıştır.



Şekil 3.7 (a) ve (b) Doğal kış koşullarına bırakılan beton numune kalıpları

Bu aşamada, referans numunelerin laboratuvar koşullarında dökümü yapılacak numuneler olduğu ifade edilmelidir. Aynı karışım reçetesi kullanılarak laboratuvar ortamında numune imalatı yapılmış ve bu uygulama *yaz dökümü* olarak adlandırılmıştır. Benzer şekilde, yaz döküm örneği (normal koşullar) için laboratuvar ortamında 3 numune kalıbı hazırlanmış ve kalıplar döküm öncesi 3 gün süre ile laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Döküm öncesi tüm kalıplar için sıcaklık ölçümleri yapıp not edilmiştir.

Dış ortam sıcaklıkları ve kalıp sıcaklıkları birlikte değerlendirilerek 25°C sıcaklıkta taze beton üretilmesi uygun bulunmuştur. 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği' nde (TBDY 2018) betonarme eleman üretiminde kullanılabilecek en düşük

3. MATERYAL ve YÖNTEM

beton sınıfı C25 olarak belirtilmiştir. Bu nedenle tez kapsamında gerçekleştirilen deneylerde C30 betonu kullanılmıştır. Çizelge 3.1’ de verilen değerler kullanılarak C30 beton üretimi hedeflenmiş olup bu aşamada üretilen betonda bu karışım oranları kullanılmıştır. Üretilen beton karışımından öncelikle yaz dökümü olarak tabir edilen numuneler için hızlıca döküm yapılmış, sonrasında beton yerde kalan malzeme laboratuvar dışına taşınarak kış koşullarındaki numune imalatı için kullanılmıştır.

3.1.2.1. Yaz Şartlarında Beton Dökümü

Yaz dökümü diye adlandırılan dökümde, kalıp sıcaklıkları Çizelge 3.6’ da görüldüğü gibi ortalama 19,8°C olarak ölçülmüştür.

Çizelge 3.6 Yaz şartlarında beton dökümünde ölçülen kalıp sıcaklıkları

Kalıp No	Kalıp Sıcaklığı °C
	Laboratuvarda Bekletilen (Ortalama Ortam Sıcaklığı \cong 23 °C)
1	19,8
2	19,8
3	19,8

Çizelge 3.7’ de verilen malzeme sıcaklıkları dikkate alınarak Bağıntı 3.1 yardımı ile taze beton sıcaklığı 25°C olacak şekilde yapılan matematiksel hesaplarda, su ve akışkanlaştırıcı katkı maddesinin karışım sıcaklığının 32,77°C olması gerektiği hesaplanmıştır. Ancak, beton hazırlama aşamasında su ve akışkanlaştırıcı katkı maddesinin karışım sıcaklığı 33,1°C ölçülmüştür. Bu sıcaklıktaki su ile hazırlanan taze betonun sıcaklığı da 24,4°C olarak ölçülmüştür.

Çizelge 3.7 Yaz şartlarında beton dökümüne ait malzeme sıcaklıkları (°C)

Malzeme	Malzeme Sıcaklığı (°C)
Çakıl	18,9
Kum	20,8
Çimento	20,3
Su+Katkı	32,77 (Teorik) / 33,1 (Deneysel)

Bağıntı 3.1 yardımıyla hesaplanan taze beton sıcaklığı ile döküm sonrasında ölçülen taze beton sıcaklığının hemen hemen aynı olduğu gözlemlenmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

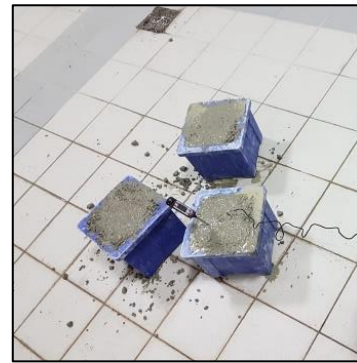
Laboratuvar şartlarında ortam sıcaklığı ortalama 23°C’ de hazırlanan taze betonun kalıplara dökümü gerçekleştirilmiştir. Döküm sırasında beton içi sıcaklık ve nem ölçümü için elektronik termometre kalıcı olarak yerleştirilmiştir (Şekil 3.8 (a)). Yerleştirilen bu termometreden sıcaklık ve nem değişimi muhtelif aralıklarla kayıt altına alınmıştır. Fakat yerleştirilen bu termometrenin arızalanmasından dolayı veri okuması sağlanamamıştır. Bunun yerine beton numune içerisine Şekil 3.8 (b)’de görüldüğü gibi tek parça halinde üretilmiş yalnızca sıcaklık ölçen elektronik termometre yerleştirilerek sıcaklık değişimi manuel bir şekilde, muhtelif aralıklarla sıcaklık okuması yapıp not edilmiştir. Döküm sırasında ölçülen sıcaklık parametreleri Çizelge 3.8’ de sunulmuştur. Bu çizelgede sunulan 6 farklı parametre, bu konu bağlamında yapılan deneyleri yorumlamada önem arz etmektedir.

Çizelge 3.8 Yaz şartlarında beton dökümü anında kaydedilen veriler

Ölçüm Parametresi	Yazın Döküm
Döküm Anında Ortam Sıcaklığı (°C)	21,3
Döküm Anında Taze Beton Sıcaklığı (°C)	24,4
Döküm Anında Kalıp Sıcaklığı (°C)	19,8
Döküm Anında Nem (%)	31
Döküm Anında Rüzgar Hızı (km/s)	0



(a)



(b)

Şekil 3.8 (a) Beton dökümü sırasında elektronik termometre yerleşimi, (b) Laboratuvar ortamında yapılan döküm.

Laboratuvar şartlarında yapılan dökümün 3. gününde beton numuneler kalıptan çıkarılmıştır. Kalıptan çıkarılan beton numunelere sulama yöntemi kullanılarak kür uygulaması yapılmıştır.

3.1.2.2. Kış Şartlarında Beton Dökümü

Kış dökümü diye adlandırılan dökümde ise betonyer, laboratuvarın dışına taşınarak 3 gün doğal şartlarda (ortalama $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$) bekleyen 5 kalıba beton dökümü yapılmıştır. Kalıp sıcaklıkları Çizelge 3.9’ da sunulmuş olup (ortalama $\sim 1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$) kalıpların her birinde Şekil 3.9’ da görüldüğü gibi buzlanma gözlenmiştir. Yapılan bu uygulama gerçek imalatta karşılaşılabilecek sorunlardan birinin tespitine yardımcı olmuştur. Kalıptaki buzlanma beton ile kalıp arasında düzensiz bir yüzey oluşturmasının yanı sıra taze betonun sıcaklığını azaltıcı yönde ve taze beton içerisindeki su oranını artırıcı yönde olumsuz etkilemektedir. Bu olumsuzluklar göz önüne alındığında kalıptaki buzların temizlenmesi ve pürüzsüz yüzey oluşturulması gerektiği kanaatine varılmıştır. Böylece kalıplar buzlarından temizlenerek soğuk ortamda döküm yapılmıştır (Şekil 3.10).

Çizelge 3.9 Kış şartlarında yapılan dökümde ölçülen kalıp sıcaklıkları

Kalıp No	Kalıp Sıcaklığı $^{\circ}\text{C}$
	Kış Koşullarında Bekletilen (Ortalama Ortam Sıcaklığı $\cong -18\text{ }^{\circ}\text{C}$)
1	1,9
2	2,0
3	1,2
4	0,2
5	0,5



Şekil 3.9 Kış şartlarında bekletilen kalıbın buzlanması



Şekil 3. 10 Atmosferik kış şartlarında yapılan döküm

Döküm anında kaydedilen sıcaklık, rüzgâr ve nem gibi veriler Çizelge 3.10' da sunulmuştur. Laboratuvarda döküm anında taze beton sıcaklığı 24,4°C ölçülmüştür. Yaz dökümü tamamlandıktan sonra betonyer içerisinde bulunan taze beton, kış dökümü için hazırlanan alana taşınmıştır. Kış dökümü esnasında ölçülen hava sıcaklığı 3,3°C olduğundan döküm esnasında taze betonun soğuk havayla temas edip ısı alışverişine maruz kaldığı için döküm anında ölçülen taze beton sıcaklığı 14,1°C olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda, laboratuvardan döküm alanına gelinceye kadar taze beton sıcaklığının ~10 °C düştüğü gözlenmiş olup sonraki aşamalarda bu sıcaklık düşüşünün önüne geçilmesi amacıyla betonyere yalıtım uygulanması gerektiğine karar verilmiştir.

Çizelge 3.10 Kış şartlarında beton dökümü anında kaydedilen veriler

Ölçüm Parametresi	Kışın Döküm
Döküm Anında Ortam Sıcaklığı (°C)	3,3
Döküm Anında Taze Beton Sıcaklığı (°C)	14,1
Döküm Anında Kalıp Sıcaklığı (°C)	1,16
Döküm Anında Nem (%)	67
Döküm Anında Rüzgâr Hızı (km/s)	3

Beton numuneler dökümden sonra ince naylonla sarılarak, Şekil 3.11' de görüldüğü üzere, muhafaza altına alınmıştır ve dış ortamda oluşturulan özel deney alanına yerleştirilmiştir. Aynı işlem yaz dökümü olarak adlandırılan laboratuvarda ortam sıcaklığı ortalama 23°C' de priz alması için bırakılan üç küp numunesi için de

3. MATERYAL ve YÖNTEM

gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu uygulamanın amacı numunenin içindeki mevcut suyu kaybetmesini önlemektir.

Gerçek imalatlarda yazın dökülen betonlarda kür uygulaması sırasında betonu sulama yöntemi tercih edilmektedir. Bunun nedeni sıcaklığın yükselmesiyle beton içerisinde mevcut su buharlaşmaktadır. Su/çimento oranını korumak için ortamın suya doymun hale getirilmesi gerekmektedir. Bu doymunluğu sağlamak için gerçek uygulamalarda sulama yöntemi kullanılmaktadır. Fakat kış şartlarında havaların soğuk seyretmesinden dolayı beton içerisindeki su, buharlaşma sıcaklığına erişememektedir. Beton içerisindeki mevcut suyun donmaması için muhafaza alanları oluşturulup bu alanlara ısıtıcılar yardımıyla ısı takviyesi yapılarak ortam sıcaklığının optimum düzeyde tutulması gerekmektedir. Bu ısı takviyesi sırasında beton içerisindeki buharlaşmayı engellemek için numunenin naylon yardımıyla sarılarak nemli kalması tercih edilmiştir. Zira sargılama işlemi yapılmadığı zaman ısı artışından dolayı buharlaşma meydana gelecektir. Fakat bu su kaybını sulama yöntemiyle önlenmek istenmesi kış şartlarında riskli olacaktır. Olası sıcaklık düşüşlerinde veya teknik arıza sonucu ısıtıcıların ortamı optimum sıcaklıkta tutamaması halinde, sulama yöntemiyle eklenen suyun donarak beton içerisinde buz halinde kalmasına neden olacaktır. Bu durum betonarme imalatlarda istenmeyen durum olarak nitelendirilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 3.11 Numunelerin kış şartlarından korunması, (a) numunenin sargılanmış görüntüsü, (b) numunenin muhafaza alanına yerleştirilmiş görüntüsü.

Döküm yapıldıktan sonra ilk 8 saatte yarım saat arayla, sonraki 64 saatte birer saat arayla toplam 72 saat boyunca sıcaklık kaydı alınmıştır. Alınan bu sıcaklık kaydı manuel

3. MATERYAL ve YÖNTEM

olarak yapılmış olup vardiyalı bir ekip çalışmasıyla gerçekleştirilmiştir. Zira, çalışmanın bu aşamasında elektronik olarak sıcaklık ölçümü alınmasını sağlayan termokupl türü sensörler mevcut değildir. TS 1248’ de belirtildiği üzere ortam sıcaklığı -3°C , beton içi sıcaklık $+10^{\circ}\text{C}$ ’nin altına düşmemiştir. Sıcaklık verileri *Ek-1*’ de tablo halinde sunulmuştur.

Numuneler üçüncü günün sonunda muhafaza edildiği alandan çıkartılarak Şekil 3.12’ de görüldüğü gibi doğa koşullarına maruz bırakılmıştır. Numunelerin dökümünün on birinci gününde ise betonlar kalıptan çıkarılmıştır ve 28. gününe kadar soğuk hava koşullarına maruz kalacak şekilde bırakılmıştır. Doğa koşullarına bırakıldığı anda gündüz hava sıcaklığı ortalama 1°C olarak ölçülmüştür. Kış şartlarında 28. güne kadar bekleyen numuneler bu süre zarfında 8 gün kalıp içerisinde, 17 gün ise kalıptan çıkarılmış haliyle şiddetli rüzgâr, kar yağışı ve -18°C ’ye kadar düşen sıcaklığa maruz kalmıştır. Beton içerisine gömülü olarak sabitlenen sıcaklık ve nemi aynı anda ölçebilen elektronik termometreler bozulmuş olup doğru veri okumamıştır. Bu yüzden numunenin yarısına kadar Şekil 3.12’ de görüldüğü gibi termometre sabitlenmiş ve bu şekilde beton içi sıcaklığı okuması yapılmıştır.

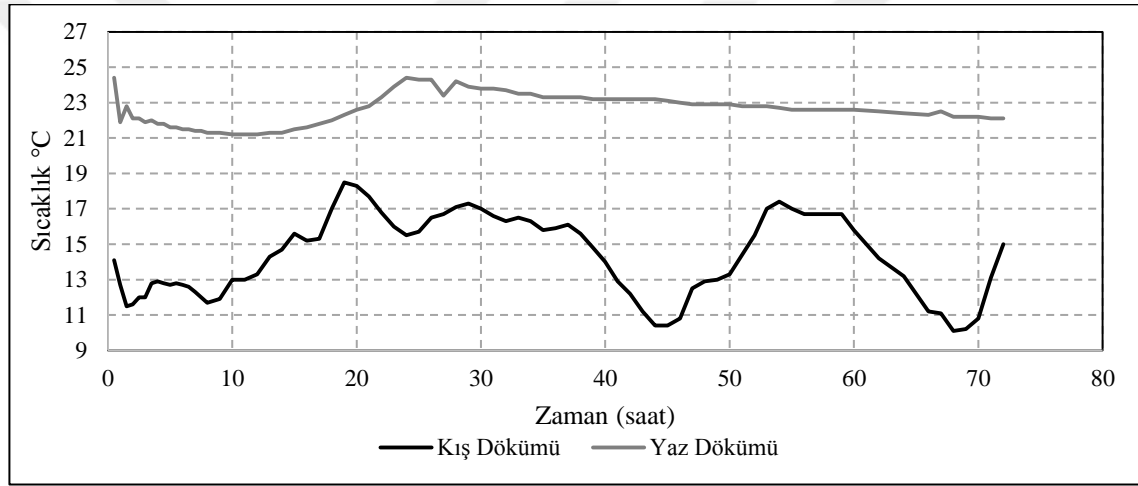


Şekil 3.12 Kış şartlarında kalıptan çıkarılan beton numuneler

Ek-1’ de sunulan 72 saatlik sıcaklık değerleri, Şekil 3.13’ te soğukta dökülen beton ve sıcakta dökülen beton sıcaklık-zaman grafikleri birlikte sunulmuştur. Şekil 3.13’ te görüldüğü gibi kış şartlarında beton dökümünde ilk bir saatte kalıp sıcaklığının düşük olmasından dolayı taze betonda yaklaşık 3°C sıcaklık düşüşü gözlenmiştir. Taze beton sıcaklığı, TS 1248’ de belirtilen minimum döküm sıcaklığının üzerinde kaldığı için deneyde sorun teşkil etmemektedir. Yaz şartlarında beton dökümünde, döküm

3. MATERYAL ve YÖNTEM

yapılmadan önce kalıp sıcaklığı ile taze beton sıcaklığı arasında yaklaşık 5°C fark olduğu gözlenmiş ve döküm sonrasında ilk bir saatte yaşanan ısı alışverişi ile taze beton sıcaklığının yaklaşık 3°C düştüğü gözlenmiştir. Yaz ve kış şartlarında dökümlerinin 72 saat boyunca sıcaklık değişimleri birlikte verilmiştir. Grafikte iki veri ortak olarak incelendiğinde 11. saatte başladığı gözlemlenen hidratasyon reaksiyonu ile beton içerisinde ısı artışı başlamış ve bu artış 20.saatte kadar devam ettiği yorumu yapılabilmektedir. Ayrıca kış dökümünde 38.saatte taze beton sıcaklığında başlayan düşüş, ortamı ısıtmak için kullanılan ısıtıcının uzun süre kapalı kalmasından kaynaklanmış olup, 45.saatte ısıtıcının tekrar açılarak ortam sıcaklığının yükselmesiyle beraber taze betonda da sıcaklık artışı gözlenmiştir.



Şekil 3.13 Kış ve yaz şartlarında beton dökümü beton sıcaklık ölçümlerinin karşılaştırması

Yapılan sıcaklık ölçümleri sonrası kış numuneleri kış atmosferik şartlarında, yaz numuneleri ise laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Bekletilen numuneler 28. gün dayanımını almasının ardından basınç testine tabi tutulmuştur. Basınç testinde UTEST marka 3000 kN'luk basınç kapasitesi olan deney cihazına yerleştirilmiştir. Teknik özellikleri Şekil 3.14' te detaylı olarak test cihazının görseli ile birlikte sunulmuştur. TS EN 12390-3' te yükleme hızı 0,2 MPa/s - 1,0 MPa/s olarak belirtilmiştir (TS EN 12390-3, 2010). Bu belirtilen aralık dikkate alınarak 0,5 MPa/sn yükleme hızıyla test gerçekleştirilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Kapasite	3000 kN
Standart	TS EN
Yükleme plakaları ve ilâve başlıkların yüzey pürüzlülük değeri	$\leq 3,2\mu\text{m}$
Alt Yüklem Plakası Boyutu	$\varnothing 300$ mm
Küresel Yataklı Üst Yüklem Plakası Boyutu	$\varnothing 300$ mm
Alt-üst yüklem plakaları arası maksimum dikey açıklık	340 mm
Piston çapı	300 mm
Maksimum piston hareketi	50 mm
Yatay Açıklık	425 mm
Güç	550 W
Yağ Kapasitesi	20 L
Maksimum Çalışma Basıncı	410 Bar
Boyutlar (EnxBoy xYükseklik)	805x540x1050 mm
Ağırlık	1080 kg



(a)

(b)

Şekil 3.14 (a) Basınç cihazı teknik özellikleri görseli (anonim, erişim tarihi : 12.04.2019), (b) cihaz görseli.

Gerçek kış koşullarında beton dökümü uygulamasına ait numunelerin adlandırılması Çizelge 3.11’ de sunulmuş ve basınç dayanımları Çizelge 12’ de sunulmuştur.

Çizelge 3.11 Gerçek kış koşullarında beton dökümü uygulamasına ait numune adlandırılması

Numune Döküm Alanı	Kısaltma	Açıklama
Kış koşulları	K1, K2, K3, K4, K5	Kış koşullarında dökülen 1, 2, 3, 4 ve 5 numaralı beton küp numuneler.
Yaz Koşulları	Y1, Y2, Y3	Yaz koşullarında dökülen 1, 2 ve 3 numaralı beton küp numuneler.

Çizelge 3.12 Gerçek kış koşullarında beton dökümü uygulamasına ait basınç dayanım sonuçları

Kış Numunesi		Yaz Numunesi	
Numune No	Dayanım (MPa)	Numune No	Dayanım (MPa)
K1	30,01	Y1	37,12
K2	34,37	Y2	35,39
K3	36,16	Y3	37,12
K4	31,11	-	-
K5	31,76	-	-
Ortalama	32,68		36,54

Tasarım aşamasında 30 MPa dayanım ön görülerek hazırlanan beton karışımı, tavsiye edilen bakım şartları uygulanmış olup deney sonuçları 30 MPa’ın üzerinde olduğu görülmektedir. Küp numune basınç dayanımının 0,85 katı silindir basınç dayanımını

vermektedir. Bu durumda beton basınç dayanımları kış koşullarında 28 MPa olurken yaz koşullarında dökülen betonun basınç dayanımı 31 MPa değerine denk gelmektedir. Önerilen bakım şartları sağlanması durumunda kış koşullarında dökülen beton ile yaz koşullarında dökülen beton arasında yaklaşık 3 MPa fark olduğu saptanmıştır.

3.2. Bağ Kuvveti-Kayma İlişkisi Deney Numunelerinin Üretilmesi

Bağ kuvveti-kayma ilişkisinin incelenmesine olanak sağlayan standart deney düzeneği olmamakla beraber deney düzenekleri ve numune özelliklerinin çeşitlilik göstermekte olduğu ifade edilebilir. Bu çeşitliliği meydana getiren değişkenler; donatı çapı, numune geometrisi, numune boyu, donatı boyu vb. olarak sıralanabilir.

Bağ kuvveti - kayma ilişkisinin belirlenmesinde kullanılan deney yöntemleri çeşitlilik göstermektedir. Silindir beton numunenin içerisine donatı yerleştirilerek çekme testine tabi tutulması (Aryanto ve Shinohara, 2012), kiriş numune hazırlayarak çekme bölgesinde donatının yerleştirilip eğilmeye testine tabi tutulması (Kankam, 2004) ve küp beton numunenin içerisine donatı yerleştirilmesiyle oluşturulan deney numunesine çekip çıkarma (pull-out) deneyi uygulanması (Yerlici vd. 1995) yöntemleri ile bağ kuvveti – kayma ilişkisinin incelendiği yöntem örnekleri olarak sıralanabilmektedir.

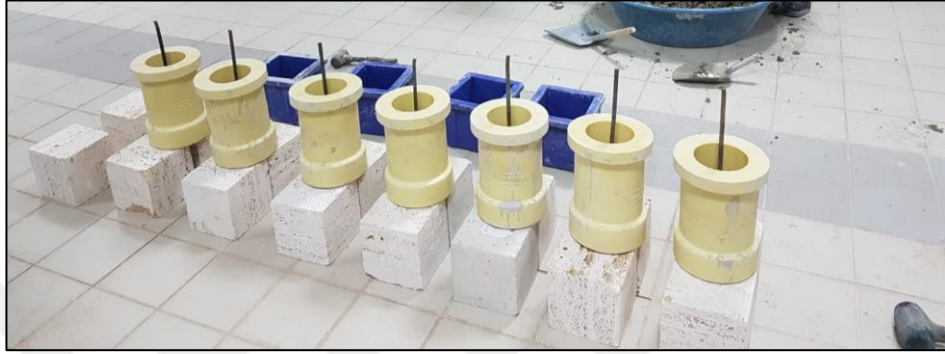
Bağ kuvveti ve kayma ilişkisinin belirlenmesi kapsamında yapılan deneylerin incelenmesi sonrası, silindir beton numune içerisine yerleştirilmiş donatının iki ucundan çekilmesi yönteminin bu tez kapsamında kullanılmasına karar verilmiştir.

3.2.1. Birinci Tip Deney Numunesi

Bağ kuvveti-kayma ilişkisinin tespit edilmesine yönelik yapılan deneylerin ilk aşamasında birinci tip deney numunesi olarak tabir edilen test elemanları üretilmiş ve deney tabi tutulmuştur. Bu gruptaki numunelere; pilot numuneler de denebilir. Numune imalatında kullanılan kalıplar esasen laboratuvarında mevcut olan plastik, standart (10x20 cm) beton silindir kalıplarıdır. Numune boyutları ve donatı çapı seçiminde Betonarme I (Ersoy ve Özcebe, 2015) kitabında aderans ve kenetlenme bölümünde yer alan bağıntılar kullanılmış olup, numune tasarımı için ön boyutlandırmalar hesaplanarak numune

3. MATERYAL ve YÖNTEM

boyutları ve donatı çapı belirlenmiştir. Numune imalatında kullanılan donatı çapı 8 mm' dir. Bu çelik çubuklar, hem yapılan hesaplamalara uygun çapta olmaları hem de plastik kalıp tabanındaki delikten kolayca geçebilmeleri nedeniyle tercih edilmişlerdir. Şekil 3.15' te genel görüntüleri sunulan deney numunelerinde donatı uzunluğu 50 cm olarak alınmıştır. Bu grup numune imalatında sadece laboratuvarında mevcut olan malzeme ve teçhizatın kullanıldığı ifade edilmelidir.



Şekil 3.15 Birinci tip deney numunesi kalıpları

Kalıpların içerisine betonun dökülmesi konusunda dikkat edilmesi gereken önemli hususlar bulunmaktadır. Bu hususlardan birisi kalıbın içerisinde bulunan donatının, numunenin tam ortasında konumlandırılmasıdır. Kalıbın üst yüzeyinde donatı serbest olduğundan dolayı numune içerisindeki donatıyı kalıbın tam ortasında tutmak için beton dökümü, kalıp dikey formdayken yapılması gerekmektedir. Bir numune için boyu 50 cm olan donatının 20 cm' i beton ile temas halinde kalıpta kalmaktadır. Eksenel çekme testine tabi tutulacağı için numunenin alt ve üst kısmında 15' er cm filiz bırakılmıştır.

Birinci Tip Deney Numunesi başlığı adı altında 2 farklı şekilde numune imalatı yapılmıştır. Bunlar; **Boşluklu Numune** ve **Boşluksuz Numune** olarak adlandırılarak detayları sunulmuştur. Bunlara ek olarak deneme amaçlı boşluksuz numunelerden yalnızca bir tanesinde, yağlanmak suretiyle tutunma özelliği zayıflatılmış donatının aderans davranışı üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla numune içerisinde bulunan donatı yağlanarak beton dökümü gerçekleştirilmiştir.

Boşluklu numunede donatıların beton içerisinde kalan uç kısımlarında 5'er cm aderanssız bölge oluşturulması amaçlanmıştır. Aderanssız bölge oluşturulmasındaki gaye numune çekme cihazında deneye tabi tutulduğunda numunenin alt ve üst ucundaki

3. MATERYAL ve YÖNTEM

bölgelerde gerilme yığılmalarının önlenmesi ve aderans gerilmesinin beton-donatı temas yüzeyleri boyunca mümkün olduğu kadar üniform olarak yayılmasının sağlanmasıdır. Toplam 3 adet numune imalatının yapıldığı bu numune grubunda; Şekil 3.16' da görüldüğü gibi donatı ve beton yüzeyi arasında bağlantısız bölge oluşturulmuştur.



(a)



(b)

Şekil 3.16 (a) ve (b) boşluklu numunede boşluk kalıbı hazırlık aşamaları

Boşluksuz numune grubunda ise donatı beton tarafından tamamen sarılmış olup aderanssız bölge bulunmamaktadır. Böylece numunenin uç kısımlarında gerilme yığılmalarının gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Hazırlanan boşluklu ve boşluksuz numunelerin deneye tabi tutulması sonucunda elde edilen veriler değerlendirilerek daha sonraki yapılacak olan deneylerde hangi numune tipinin en uygun numune tipi olduğuna karar verilmesinde etkili olmuştur. Donatısı yağlanmış numune tipinde ise sadece boşluksuz numune üretimi yapılmıştır. Beton imalatında Çizelge 3.1' de sunulan karışım oranına sadık kalınmıştır. Bu imalatta; donatılı aderans numunelerine ek olarak toplam 5 adet standart (15x15 cm) küp beton numunesi alınmıştır.

Laboratuvar ortamında (22°C) dökümü tamamlanan numuneler 3. gün sonunda kalıptan çıkarılmış ve nemli bakım uygulaması yapılmıştır. Bu amaçla; su ile ıslatılan numuneler naylon branda ile sarılarak nemli bir ortamda bekletilmeleri sağlanmıştır. Genel görünüşleri Şekil 3.17' de sunulan birinci tip aderans deney numuneleri imalatın 28. gününde deneye tabi tutulmuştur. Aderans deneyleri öncesi çelik ve beton malzeme dayanımlarının tayinine yönelik testler tamamlanmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Deney sonuçları ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA BÖLÜMÜ' nde detaylı olarak sunulan bu grup numuneler ile aderans davranışı incelenmesinin doğru olmayacağı sonucuna ulaşılmıştır. Birinci tip deney numunelerinde; donatı çapının numune çapına oranla küçük olması nedeniyle çekme etkisi altında oluşması beklenen çatlakların beton yüzeyinde kılcal düzeyde kalması ve numune yüzeyine ulaşmaması şeklinde bir davranış gözlenmiştir. Bu nedenle; aderans numune geometrisinin yeniden belirlenmesi için çalışmalara başlanmış ve “İkinci Tip Deney Numunesi” olarak adlandırılan elemanlar tasarlanmıştır.



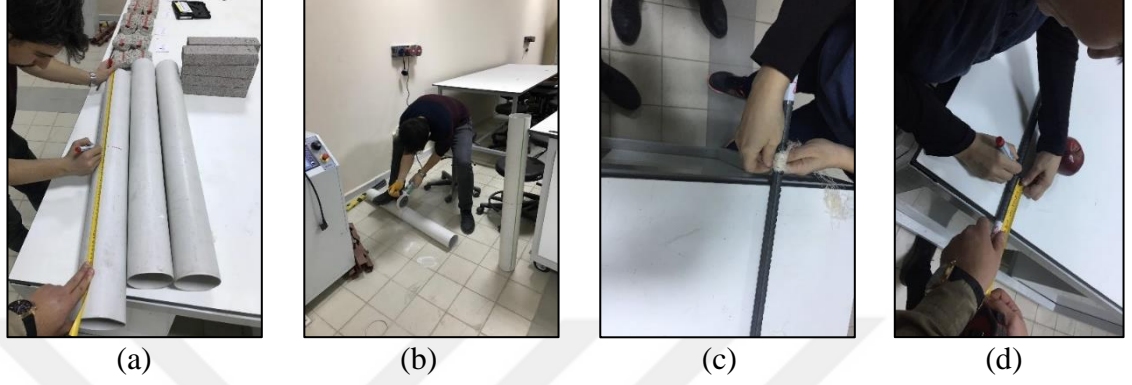
Şekil 3.17 (a) Boşluklu numune detayı (b) Kalıptan çıkarılan birinci tip deney numuneleri

3.2.2. İkinci Tip Deney Numunesi

İkinci tip deney numunelerinin, birinci tip numunelerden öncelikli farkı çelik donatı çapının artırılmış olmasıdır. Bu grup numune imalatında; piyasa uygulamasında sıklıkla kullanılan Ø14 ve Ø16 çaplı nervürlü çelik çubuklar kullanılmıştır. Karar verilen bu donatı çaplarına uygun kalıp mevcut olmadığı için yeni kalıp tasarımı yoluna gidilmiştir. Bununla birlikte; birinci grup numunelerde donatının beton içerisinde temas uzunluğu yeterli bulunmadığı için numune uzunluğunda da değişiklik yapılmıştır. Bu grup deney numunelerinde numune çapı 10 cm ve numune uzunluğu 50 cm olacak şekilde tasarım yapılmıştır. Kalıp olarak kullanılmak amacıyla piyasada standart olarak 1 metre uzunluğunda ve 10 cm çapında satışı bulunan kangal boru temin edilmiş; spiral taşlama makinasının yardımı ile 50 cm uzunluğunda olacak şekilde kesim işlemine tabi tutulmuştur. Numune boyunun 50 cm olarak belirlenmesindeki en temel kısıt; yükleme ünitesi olarak kullanılacak olan üniversal çekme cihazının numune yükseklik limitleri olmuştur. Numune içerisinde yerleştirilecek çelik donatı uzunluğu 70 cm olarak belirlenmiş; her iki uçtan 10 cm' lik kısım çekme çeneleri arasında sıkıştırılacak şekilde

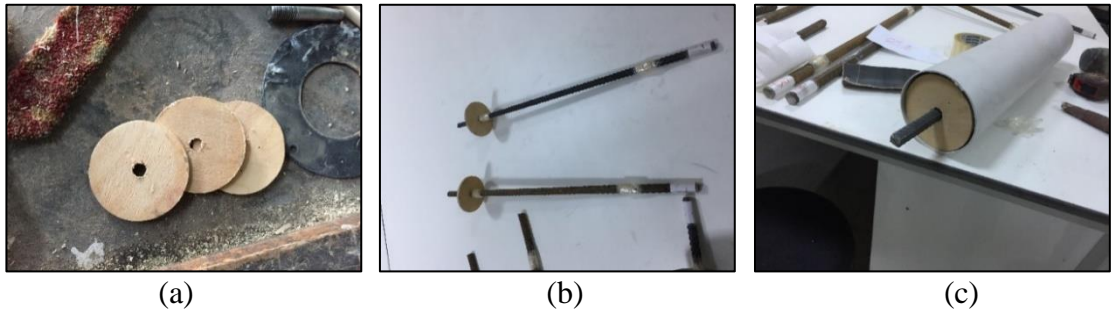
3. MATERYAL ve YÖNTEM

yerleşim yapılmıştır. Bu grup numunelerin her iki ucunda da 5 cm uzunluğunda aderanssız bölge oluşturacak şekilde kalıplama işlemi gerçekleştirilmiştir. İkinci tip deney numunesi olarak adlandırılan numunelerin hazırlık aşamaları Şekil 3.18’ de sunulmuştur.



Şekil 3.18 Numune hazırlığı, (a) birer metrelik boruların 50 cm olarak ayarlanması, (b) kalıp olarak kullanılacak boruların kesim işlemi uygulanması, (c) ve (d) donatılarda aderanssız bölge oluşturulması.

Kalıp olarak kullanılacak olan kangal borular dik konumlanacak şekilde beton dökümü yapılacağı için altta kalan ucunun kapalı olması gerekmektedir. Bunun için marangozhanede 10 cm çapında 5 mm kalınlığında ahşap kapak kestirilmiştir (Şekil 3.19). Kalıp içerisinden Ø14 ve Ø16 çaplı donatılar geçirileceği için bu ahşap kalıpların ortalarında nervür kalınlıkları da dikkate alınarak 14 mm ve 16 mm çaplı donatılar için delikler açılmıştır.



Şekil 3.19 (a) Ahşap kapak kesim işlemi, (b) ahşap kapakların donatıya yerleştirilmesi, (c) ahşap kapağın donatı ile birlikte kalıba sabitlenmesi

Beton karışım oluşturulurken Çizelge 3.1’ de sunulan C30 sınıfı beton karışım oranları kullanılmıştır. İmalat, 56 dm³ kapasiteli laboratuvar tipi beton mikseri kullanılarak yapılmıştır. Öncelikle agrega ve çimentonun mümkün olduğu kadar homojen

3. MATERYAL ve YÖNTEM

bir şekilde kuru karışımı elde edildikten sonra; akışkanlaştırıcı katkı su ilavesi ile taze beton üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu grupta 3 adet Ø14 ve 3 adet Ø16 çaplı çubuğun kullanıldığı toplam 6 adet, boşluklu aderans numunesi üretilmiştir. Numunelere beton yerleştirme işlemi esnasında dikkatli bir şekilde şişleme yapılmış, vibratör benzeri bir sarsıcı kullanılmamıştır. Beton dayanım tayini için 5 adet standart küp numune alınmıştır. Beton karışımının aşamaları ve numunelere taze beton dökümü Şekil 3.20’ de sunulmuştur.



Şekil 3.20 İkinci tip deney numunesi beton dökümünden görüntüler

Beton dökümünden sonra 3 gün, laboratuvar koşullarında (22°C) bekletilen numuneler kalıptan çıkarılmış ve kür işlemi uygulanmıştır. Uygulanan kür işleminin gerçek imalatı yansıması adına numuneler kür havuzuna bırakılmamıştır. Bunun yerine her gün sulama ile 7. güne kadar nemli bakım işlemi uygulanmaya devam edilmiştir. (Şekil 3.21).



Şekil 3.21 (a) Aderans numunelerinin kalıptan çıkarılması (b) Numunelere kür işleminin uygulanması.

İkinci tip deney numunesi grubunda üretilen numuneler deney aşamasında Ø14/1, Ø14/2, Ø14/3, Ø16/1, Ø16/2, Ø16/3 olarak adlandırılmıştır. Numunelerin 7. gününde

Ø14/3 ve Ø16/3 numuneleri düzeneğe alınmıştır. Yedinci günde yapılan çekme deneyinde beton birim şekil değiştirmesinin hesaplanamamasının eksikliği görüldüğü için sonraki numunelerde ekstansometre kullanılarak beton birim boy değişimi de hesaplanmıştır.

Deney sonuçları ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA BÖLÜMÜ' nde detaylı olarak sunulan bu grup numuneler ile aderans davranışı incelenmesinin doğru olmayacağı sonucuna ulaşılmıştır. Bu grup numunelerin her iki ucunda bulunan boşluksuz bölgelerin slip (sıyırılma) değerinin ölçümü için engel teşkil edeceği görülmüştür. Bu ölçümün mümkün olduğu kadar doğru bir şekilde yapılabilmesi ve sensör kullanılarak numune içerisinde sıcaklık takibi yapılabilmesi açısından üçüncü tip deney numunesinin hazırlanmasına karar verilmiş ve üçüncü tip deney numunesi imalatına geçilmiştir.

3.2.3. Üçüncü Tip Deney Numunesi

İkinci tip deney numunesinde kullanılan kalıp tipi ve boyutları değiştirilmeden üçüncü tip deney numunesinde de kullanılmıştır. Aderans numunesi uç bölgelerinde boşluksuz bölge bırakılmamıştır. Tüm numunelerde donatı çapı Ø14 ve beton sınıfı C25 olarak sabit tutulmuş olup C25 sınıfı beton karışım oranları Çizelge 3.13' te verilmiştir. Beton üretim aşamasında maksimum dane çapı (Dmax) 16 mm olan agregası kullanılmıştır. Önceki numune gruplarından farklılık olarak C25 sınıfı beton seçilmesinin temelde 2 ana nedeni bulunmaktadır. Bunlardan birincisi laboratuvarında mevcut olan PÇ 32.5/CEMIV sınıfı çimento kullanımının zorunlu olması bir diğeri de Erzurum ili çevresindeki imalatta C25 sınıfı betonun yoğun olarak tercih edilmesidir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018' ne göre deprem bölgelerinde imal edilecek betonarme yapılarda asgari C25 sınıfı beton kullanılması zorunluluğu da bir diğeri etkindir. (TBDY, 2018). Benzer şekilde Erzurum ili ve çevresinde pratikte boyuna donatı olarak çoğunlukla Ø14 donatı kullanıldığından aderans deneylerinde bu çaptaki donatı kullanılmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Çizelge 3.13 C25 sınıfı beton karışım oranları

Malzeme	% V	Birim Hacim Ağırlığı (kg/dm ³)
Su	0,158	1,00
Çimento	0,113	3,15
Hava	0,01	0,00
İnce Agregası	0,36	2,43
İri Agregası	0,36	2,76
Akışkanlaştırıcı		Çimento Ağırlığının % 1 'i
Antifriz		Çimento Ağırlığının % 1 'i

Üçüncü tip deney numuneleri kullanılarak toplam 7 grupta aderans numunesi imalatı yapılmasına karar verilmiştir. Kısaltma ve açıklama detayları Çizelge 3.14' te sunulan deney numunesi gruplarının temel referansı YAZ numuneleri olarak isimlendirilen ve laboratuvar koşullarında imalatı yapılan numunelerdir. Metin bundan sonraki bölümlerinde Çizelge 3.14' te sunulan kısaltmalar kullanılacaktır.

Çizelge 3.14 Araştırmada kullanılacak nihai aderans deney numunesi grupları

Kısaltma	Döküm Koşulları	Isıtıcı ile gece bakımı	Antifriz beton katkısı kullanımı	İmalat amacı
YAZ	yaz	yok	yok	Referans numune
KN	kış	yok	yok	Antifriz katkısız betonda gece bakımı etkisinin incelenmesi
KNB	kış	var	yok	Antifriz katkısız betonda gece bakımı etkisinin incelenmesi
KA	kış	yok	var	Antifriz katkılı betonda katkı ve gece bakımı etkisinin incelenmesi
KAB	kış	var	var	Antifriz katkılı betonda katkı ve gece bakımı etkisinin incelenmesi
KA-2	kış	yok	var	Daha soğuk hava koşullarında antifriz katkı kullanımı etkisinin incelenmesi

Öncelikle, üçüncü tip deney numunelerinden laboratuvar ortamında pilot numune imalatı yapılarak ön deneme deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerin amacı aderans davranışını incelemek için yapılacak sensör yerleşiminin denenmesi ve deney prosedürüne son halinin verilmesidir. Söz konusu pilot deney sonuçları “Başlık 4.2.3.1” de detaylı olarak sunulmuştur.

Pilot deney sonuçlarının ve deney prosedürünün değerlendirilmesi sonucunda araştırmaya esas numune imalatlarına, Çizelge 3.14' te sunulan, geçilmiştir. Araştırmaya esas numune gruplarının 4' ü 2019 yılı Aralık ayında imal edilmiştir. Bunlardan ilki yaz dökümü (YAZ grubu) olarak adlandırılan laboratuvar şartlarında sıcaklık kontrolü ve

kaydı sağlanacak şekilde döküm gerçekleştirilmiştir. İkinci döküm olarak kış koşullarında yalnızca beton döküm alanını kar, yağmur ve rüzgârdan korunarak, ***ancak ısıtıcı kullanmadan***, beton içerisine antifriz katkı kullanılarak (KA grubu) imalat yapılmıştır. Üçüncü dökümde ise betonda antifriz katkısı olmadan, ikinci dökümdeki düzenek ile aynı olacak şekilde ısıtıcı kullanılmadan sadece çadır ile muhafaza edilerek döküm (KN grubu) gerçekleştirilmiştir. Dördüncü ve son dökümde, üçüncü dökümde yapılan uygulamaya ek olarak beton döküm alanının ısıtıcı tarafından belirli bir düzeyde ısıtılarak döküm (KNB grubu) gerçekleştirilmiş ve bu ısıtıcı sayesinde dökümün ilk üç günü boyunca ortam sıcaklığı sabit tutulmaya çalışılmıştır. 2020 yılı Ocak ayında ise 2 farklı döküm gerçekleştirilmiş olup; ilk döküm sera çadırının içerisi ısıtılarak ve betonda antifriz kullanılarak (KAB grubu) dökülmüştür. İkinci döküm ise; kış şartlarında dökümü gerçekleştirilen 4 farklı numuneden elde edilen 7 günlük basınç dayanım performansına göre sera çadırı ısıtılmadan antifriz katkılı beton dökümü (KA-2 grubu) tekrarlanmıştır.

Üçüncü grup deney numunelerini önceki deneme numunelerinden ayırt eden en önemli özellik ise bu grupta imalatı yapılan tüm numune sınıflarından birer numune üzerinde sensör kullanılarak sıcaklık ölçümleri alınmasıdır. Sıcaklık ölçüm sensörü olarak öncelikle K tipi termokupl sensörler temin edilmiş ve mevcut statik veri toplama sistemi kullanılarak sıcaklık ölçümleri yapılmaya çalışılmıştır. Ancak, teknik nedenlerle sıcaklık ölçümleri için termokupl dönüştürücüsü ihtiyacı olduğu belirlenmiştir. Deneme amacıyla öncelikle 2 kanallı bir termokupl dönüştürücüsü temin edilmiş ve ölçüm yapılması planlanan tüm koşullar için deneme kayıtları alınmıştır.

Aderans pilot deneylerinin ardından gerçekleştirilen termokupl ölçüm kontrollerine ilişkin detay bilgi “Başlık 3.2.3.1” de sunulmaktadır.

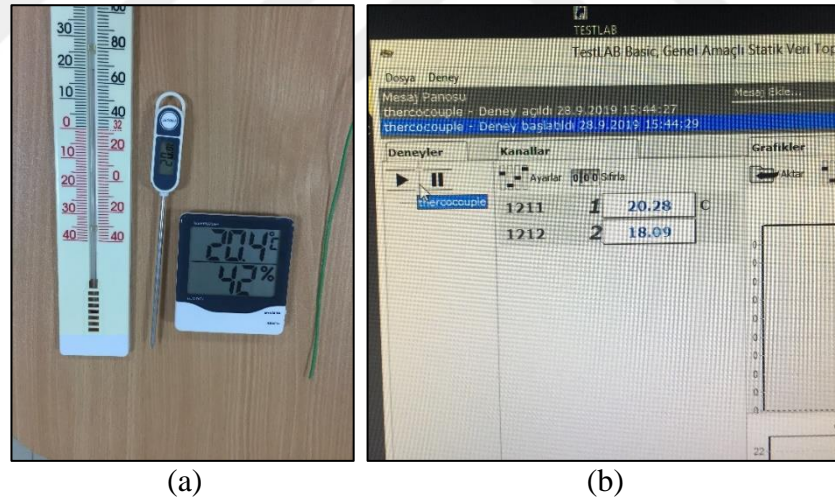
3.2.3.1. Termokupl Sensör Ölçüm Kontrolleri

Temin edilen K tipi termokupllar ile mevcut olan statik veri toplama sisteminde ölçüm alınması ve kaydedilmesi için ayrıca dönüştürücü aparat temin edilmiştir. Temin edilen termokuplların doğru ve hangi düzeyde hassas ölçüm alabildiğini belirlemek amacıyla pilot deneyler yapılmıştır. Bu deneyler için ilk olarak iki kanallı dönüştürücü temin edilmiştir. Tek bir termokupl ile ölçüm alabilen dönüştürücü cihazın veri toplama

3. MATERYAL ve YÖNTEM

sistemine bağlanan iki kanalı bulunmaktadır. Bunlardan ilki CJC (Cold Joint Compensation), ikincisi ise TC (Thermo Couple) dir. CJC ortam sıcaklığını kaydederek aynı zamanda TC'nin ölçtüğü sıcaklığa, gönderilen voltaj ile referans olmaktadır. Tüm sıcaklık ölçümlerinde K tipi termokupllar kullanılmıştır. Aderans numunesi imalatlarında termokupl sensörler ile taze beton, çelik donatı, kalıp ve ortam sıcaklıkları ölçülmesi planlandığından öncelikle bu ölçümler için deneme çalışmaları yapılmış ve detayları aşağıda sunulmuştur.

Ölçümlerin ilk aşamasında iki kanallı termokupl dönüştürücüsü statik veri toplama sistemine bağlanmış ve cihaz kalibrasyon bilgileri girilmiştir. Devamında sensör ölçüm ucu havada bırakılarak ortam sıcaklığı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümlerde 3 farklı termometre kullanılarak Şekil 3.22' de görüldüğü gibi ortam sıcaklığının doğruluğu teyit edilmiştir. Termokuplın ölçtüğü sıcaklık değerinin küçük hava akımlarından etkilenmesinden dolayı ortam sıcaklığı ile birebir aynı sıcaklığı ölçmediği gözlemlenmiştir.



Şekil 3.22 (a) Termokupl ölçüm testi, (b) termokupl ölçüm değerleri (1. kanal CJC, 2. kanal termokupl)

Termokupl sensörlerle sıcaklık ölçüm kontrolüne yönelik deneysel çalışmaların ikinci aşamasında beton içerisindeki sıcaklık değişiminin ölçülmesi planlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda kullanılacak olan termokupl, küp numunenin tam ortasına denk gelecek şekilde kalıba yerleştirilmiş ve beton dökümü gerçekleştirilmiştir. Beton içerisindeki ısı değişimi 72 saat boyunca kayıt altına alınarak hidrasyon sonucu sıcaklık artışının meydana gelip gelmediği izlenmiştir. Elektronik kaydın doğruluğunun tespit

3. MATERYAL ve YÖNTEM

edilebilmesi açısından Şekil 3.23’ te görüldüğü gibi harici termometre yerleştirilmiştir. Kayıt sonucunda termokupl sensör ile saplama uçlu termometrenin beton içerisinde aynı sıcaklık değerlerini ölçtüğü sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 3.23 Termokupl sensör testi için beton numune sıcaklık takibi

Deneyin üçüncü aşamasında beton içerisine yerleştirilmiş donatının sıcaklık değişiminin kayıt altına alınması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda 14 mm çapında 20 cm uzunluğunda nervürlü inşaat donatısının ortasında 3 mm çapında delik açılarak termokupl yerleştirilmiştir. Yerleştirilen termokuplun beton ile temasını engellemek amacıyla donatı üzerinde açılan deliğin çevresi bant ile sarılmıştır. Termokupl yerleşimi tamamlandıktan sonra küp numunenin Şekil 3.24’ te görüldüğü gibi tam ortasına donatı sabitlenecek şekilde beton dökümü gerçekleştirilmiştir. Çelik ortasına yerleştirilen donatı üzerinden sorunsuz bir şekilde sıcaklık ölçümü alındığı belirlenmiştir.



Şekil 3.24 Taze beton içerisindeki donatının sıcaklık takibi

Sıcaklık ölçüm kontrollerinin dördüncü aşamasında termokupl donatı içerisine yerleştirildikten sonra donatı atmosferik koşullara bırakılmıştır. Bu çalışmanın amacı;

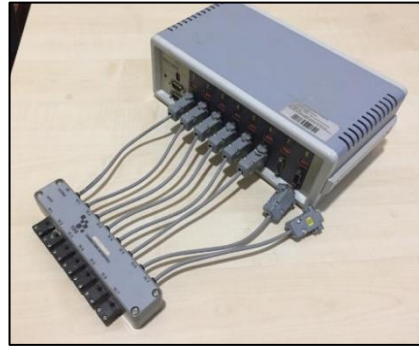
3. MATERYAL ve YÖNTEM

gerçek saha uygulamasında kış koşullarında kalıp hazırlandıktan sonra döküme kadar geçen sürede atmosferik koşullara maruz kalacak olan donatıdaki sıcaklık değişimine dair teknik veri toplanmasıdır. Daha basit bir ifadeyle, atmosferik koşullara maruz bırakılan donatıdaki sıcaklık değişiminin izlenmesi amaçlanmıştır. Şekil 3.25’ te görüldüğü gibi atmosferik koşullara bırakılan donatının sıcaklık değişimi ve veri toplama sisteminde 1. kanala bağlı olan soğuk nokta sıcaklık ölçümünün takibi yapılmıştır. Donatı ile beraber önceden hazırlanan ahşap kalıptan elektronik termometre ile manuel okuma yapılarak donatı ile karşılaştırılmıştır. Bu ölçümler neticesinde donatının atmosferik sıcaklıktan önemli ölçüde etkilendiği sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 3.25 Atmosferik Koşullarda Sıcaklık Takibi

Yapılan denemeler sonucunda temin edilen termokupllar doğru bir şekilde kalibre edilmiştir ve doğru sıcaklık ölçümü aldığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte; kalıp, donatı ve betondan eş zamanlı ölçüm almak için gerekli olan 8 kanallı ara bağlantı elemanının temin edilmesi gerektiğine karar verilmiş ve sonraki aşama için cihaz temini yapılmıştır (Şekil 3.26). Bu cihazın bir kanalı soğuk nokta kompanzasyonu için ayrılırken, kalan 7 kanalı kullanılarak eş zamanlı olarak 7 K tipi termokupl ile sıcaklık ölçümü yapılması mümkündür.



Şekil 3.26 Termokupl ara bağlantı elemanı (8 kanallı)

3. MATERYAL ve YÖNTEM

edilmiştir. Şekil 3.29’ da görüldüğü gibi termokupllar aynı hat üzerinde numunenin tam ortasında olacak şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 3.29 Beton dökümü sırasında termokupl yerleşimi

Her numune grubunda 1 adet aderans numunesi üzerinde sıcaklık ölçümleri yapılırken toplam 6 adet aderans ve yeter sayıda standart silindir (10x20 cm) beton numunesi alınmıştır. Numuneler 3. gün sonunda kalıptan alınmış, 28. gün itibariyle deneye tabi tutulmuşlardır.

3.2.3.2. YAZ Grubu Aderans Numunesi İmalatı

Laboratuvardaki mevcut ortam ve sıcaklık değeri, yaz dökümü uygulaması için uygun olduğundan dolayı, yaz dökümü deneyi uygulaması laboratuvar ortamında yapılmıştır. İlaveten, yazın gece sıcaklık düşüşlerini de yansıtmak amacıyla gece saatlerinde laboratuvar kaloriferleri kapatılmıştır. Beton döküm işlemi tamamlandıktan sonra numunelerin priz alması için Şekil 3.30’ da görüldüğü gibi laboratuvar ortamında bırakılmıştır. Laboratuvarın ortalama sıcaklığı 18 °C olarak tespit edilmiş olup bu sıcaklık yaz koşullarını temsil ettiği kabul edilmektedir.



Şekil 3.30 YAZ grubu numunelerinin prize bırakılması

3.2.3.3. Kış Grubu Aderans Numunesi İmalatı

Kış şartlarında beton dökümü koşulları arasındaki en temel şart, bir birini takip eden üç gün boyunca hava sıcaklığının $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altında olması durumudur. Bu durum TS 1248' de belirtilmiş olup "Anormal Hava Şartlarında Beton Dökümü" adı altında kış dökümü uygulaması, alt başlık olarak detaylandırılmıştır. Erzurum ili içerisinde yapılan bu deneylerde, beton dökümü uygulandığı tarihler arasında hava sıcaklığı en yüksek $+3^{\circ}\text{C}$, en düşük -17°C olarak ölçüldüğünden dolayı, numune üretilen sıcaklıklar mevcut yönetmelikte belirtilen anormal kış koşulları olarak ifade edilen şartları sağlamaktadır.

Soğuk hava koşullarında gerçekleştirilen betonarme imalatlarda kullanılan yöntemler incelenmiş ve numune üretiminde bu yöntemlerden yararlanılmıştır. Yöntemlerden ilki beton dökümü sırasında döküm alanının çadır veya branda gibi malzemelerle çevrenmesidir. Bu uygulamayı örnek olarak Şekil 3.31' de, deney kapsamında imalatı gerçekleştirilecek numunelerin muhafazası için koruyucu bir yapı oluşturulmuştur. Oluşturulan bu yapıda şeffaf naylon kullanılması tercih edilmiştir. Şeffaf naylon malzeme güneş ışınları ile bulunduğu muhafaza alanının iç ortamında sera etkisi oluşturarak doğal ısı artışı sağlanması amaçlanmıştır. Güneşli gün sayısı fazla olan Erzurum ilinde bu uygulamanın kışın beton dökümü üzerindeki etkisinin incelenmesi de bir başka husus olarak dikkate alınmıştır.

Şekil 3.31' de görseli sunulan numune muhafaza alanı, Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi doğu cephesine taşınarak binanın önüne yerleştirilmiştir. Bu alanın tercih edilmesinin en temel sebebi, bilgisayar vasıtasıyla numune ve ortam sıcaklığının kayıt altına alınabilmesi için gerekli elektrik enerjisi ve kullanılabilecek bir odaya en yakın konumda bulunmasıdır.



Şekil 3.31 Kış grubu aderans numunesi muhafaza alanı

Döküm yapılamadan 3 gün önce, döküm yapılacak kalıplar ve donatılar atmosferik koşullarda bırakılmıştır. Bu uygulamanın amacı, gerçek imalatta donatı ve kalıplar atmosferik ortama maruz kaldığı bilinmektedir. Bu hava etkileşiminin deneye uyarlanabilmesi açısından kullanılacak olan kalıp ve donatılar dış ortamda 3 gün bekletilmiştir.

Soğuk hava koşullarında gerçekleştirilen beton dökümünde tercih edilen uygulamalardan ikincisi ise betonun sıcaklığının muhafaza edilmesi amacıyla beton mikserlerine ısı yalıtımı uygulanmasıdır. Deney ortamına bu yöntem aktarılmış olup, beton mikserinin etrafı yalıtım malzemeleri ile sarılmıştır. Uygulamanın temel amacı, laboratuvarında hazırlanan betonun döküm alanına taşınması esnasında yaşanabilecek taze beton sıcaklık düşüşünün minimize edilmesidir. Uygulanan bu yalıtım Şekil 3.50’ de gösterilmektedir.



Şekil 3.32 Beton mikseri yalıtım uygulaması

Burada ifade edilmesi gereken bir başka husus ise, farklı ülkelerde kışın beton dökümü esnasında uygulanması önerilen rezistanslar yardımı ile donatının ve kalıpların ısıtılması işleminin bu çalışmada uygulanmadığıdır. İrdelenen yegâne ısıtma yöntemi, döküm alanının ısıtılması yaklaşımıdır. Araştırmanın temel amacı, küçük hacimli numuneler kullanılarak soğukta imalatı yapılmış betonarme elemanlarda çekme etkisi altındaki aderansın incelenmesidir. Kullanılan kalıp ya da donatının ısıtılmasına ihtiyaç duyulmamıştır.

3.2.3.3.1. KA Grubu Aderans Numunesi İmalatı

Planlanan kış dökümü uygulamalarından ilkinde, beton içerisine antifriz katkısı eklenerek kış şartlarında dökümü yapılmıştır ve grup numunelere KA grubu ismi verilmiştir. Beton dökümü sırasında herhangi bir ısıtıcı muhafaza alanına yerleştirilmemiş olup muhafaza alanı içerisinde beton dökümü gerçekleştirilmiştir.

Antifrizli beton uygulamasında çimento ağırlığının %1'i kadar ağırlıkça antifriz katkısı kullanılmıştır. Kullanılan antifrizle beraber akışkanlaştırıcı katkı maddesi de kullanılmıştır. Kullanılan katkıların karışımdan önce tepkimeye girmesini engellemesi açısından beton malzemelerin kuru karışımı devam ederken, toplam su miktarının yarısı ile beraber ilk olarak akışkanlaştırıcı katkı maddesi, sonrasında geriye kalan su ile beraber antifriz katkısı katılarak beton karışımı gerçekleştirilmiştir. Karışım suyunun sıcaklığının belirlenmesi için TS 1248' de verilen denklem kullanılarak taze beton sıcaklığı 25°C olacak şekilde karışım suyu sıcaklığının 44°C olması gerektiği hesaplanmıştır. Bu yöntem ile hazırlanan taze betonun sıcaklığı öngörülen sıcaklıkla örtüşmüş olup 25,9°C taze beton sıcaklığı elde edilmiştir. Elde edilen taze beton, beton döküm alanına yaklaşık 15 dakika taşıma sürecinin ardından sıcaklık ölçümü tekrarlanmış ve taşıma sırasında taze beton sıcaklığında yaklaşık 3°C düşüş olduğu gözlemlenerek taze beton sıcaklığı 22,5 °C ölçülmüştür. Beton dökümü sırasında kaydedilen sıcaklık verileri Çizelge 3.15' te verilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Çizelge 3.15 KA grubu numune beton dökümü anında kaydedilen veriler

Döküm Tarihi: 05.12.2019 / Döküm Saati: 15:45	
Ölçüm Parametresi	Kış Dökümü
Döküm Anında Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	-2,1
Döküm Anında İç Ortam Sıcaklığı (°C)	3,2
Döküm Anında Taze Beton Sıcaklığı (°C)	22,5
Döküm Anında Kalıp Sıcaklığı (°C)	1,2
Döküm Anında Dış Ortamdaki Nem (%)	62
Döküm Anında İç Ortamdaki Nem (%)	53
Döküm Anında Rüzgar Hızı (km/s)	6

Döküme başlanmadan önce kalıp yüzeylerinde buz tutmuş bölgeler buzlarından temizlenerek yağlanıp döküm için hazır hale getirilmiştir. Şekil 3.33' te görüldüğü gibi döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Döküm işleminden hemen önce sıcaklık kaydı başlatılmış, döküm boyunca ve ardından geçen 72 saat boyunca sıcaklık kaydına devam edilmiştir. Alınan bu kayıtlar detaylı olarak ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA bölümünde verilmiştir.



Şekil 3.33 KA grubu numune imalatı

Beton dökümünü takip eden 3.günün sonunda numuneler muhafaza alanından çıkarılmıştır. Muhafaza alanından alınan numuneler Şekil 3.34' te görüldüğü gibi kalıptan çıkarılarak atmosferik koşullarda beklemeye alınmıştır.



Şekil 3.34 KA grubu numunelerin atmosferik koşullarda bekletilmesi

3.2.3.3.2. KN Grubu Aderans Numunesi İmalatı

Planlanan kış dökümlerinden ikincisi, içerisinde antifriz katkı bulunmadan yalnızca betonun kolay işlenebilmesi için çimento ağırlığının %1'i kadar akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılarak taze beton hazırlanmıştır. Hazırlanan bu beton muhafaza alanı içerisinde herhangi bir ısıtıcı kaynağı kullanılmadan KA grubu numune uygulaması ile aynı şartlara sahip ortamda dökümü gerçekleştirilmiştir.

Taze beton sıcaklığı 25°C olacak şekilde karışım suyu sıcaklığı 44,5°C olarak hesaplanmıştır. Malzemeler ağırlıklarınca beton mikserinin içerisine eklendikten sonra ilk olarak kuru karışım yapılmış ve ardından su içerisine dökülen akışkanlaştırıcı ile beton karışımına ilave edilerek karışım işlemi tamamlanmıştır. Tamamlanan karışım işleminin ardından beton mikseri beton döküm alanına Şekil 3.35' te görüldüğü gibi taşınmış olup beton dökümü gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. 35 Mikserin dış ortama taşınması

Döküm alanına taşınma sırasında taze beton sıcaklığında, beton mikserine yapılan yalıtım uygulaması sayesinde ortalama 1°C sıcaklık düşüşü gözlemlenmiştir. Yalıtım uygulanmadan önceki yapılan dökümlerde bahsi geçen sıcaklık düşüşü yaklaşık 10°C olduğu bilinmektedir.

Fakülte binasının doğu cephesinde konumlandırılan muhafaza alanının şeffaf naylon ile çevrelenmesinden dolayı doğan güneşin etkisi ile sera etkisi oluşturmuş olup iç ortam sıcaklığı 8°C ölçülmüştür. Beton dökümü anında kaydedilen diğer sıcaklık verileri detaylı olarak Çizelge 3.16' da verilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Çizelge 3.16 KN grubu numune beton dökümü anında kaydedilen veriler

Döküm Tarihi: 16.12.2019 / Döküm Saati: 13:20	
Ölçüm Parametresi	Kış Dökümü
Döküm Anında Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	1,1
Döküm Anında İç Ortam Sıcaklığı (°C)	8
Döküm Anında Taze Beton Sıcaklığı (°C)	24,2
Döküm Anında Kalıp Sıcaklığı (°C)	0,9
Döküm Anında Dış Ortamdaki Nem (%)	82
Döküm Anında İç Ortamdaki Nem (%)	67
Döküm Anında Rüzgar Hızı (km/s)	2

Muhafaza alanının her tarafı kapatılarak 3 gün boyunca priz alması beklenmiştir. Beklenen süre zarfında kesintisiz olarak numuneden sıcaklık ölçümü kaydedilmiştir. Alınan bu kayıtlar detaylı olarak ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA bölümünde sunulmuştur.

Üçüncü günün sonunda muhafaza alanından dışarıya alınan numunelerin yüzeyinde buz parçacıkları gözlemlenmiştir. Kalıptan çıkarılması esnasında Şekil 3.36’ da görüldüğü gibi dökülmeler meydana gelmiştir. Parça kopması neticesinde yapılan gözlemlerde, numune içerisinde serbest halde ince agrega görülmüştür. Numune içerisinde bulunan çimento, soğuk havanın etkisiyle donmuş ve bağlayıcı özelliğini kısmen kaybetmiştir.



Şekil 3.36 KN grubu beton numunesi

Kalıptan bütün halinde çıkarılamayan basınç numuneleri kalıp içerisinde beklerken donatılı silindir numuneler Şekil 3.37’ de görüldüğü gibi kalıptan çıkarılmıştır.



Şekil 3.37 KN grubu deney numuneleri

3.2.3.3.3. KNB Grubu Aderans Numunesi İmalatı

Kış dökümlerinin 3. dökümü olan ısıtılmış ortam koşullarında normal beton dökümü, KNB grubu, gerçekleştirilmiştir. Kullanılan kalıp ve donatılar bir önceki deneyde kullanılan malzemelerle özdeştir. Deney ortamına Şekil 3.38’ de görüldüğü gibi ısıtıcı eklenerek ortam sıcaklığını belirli seviyede tutulması istenmektedir.



Şekil 3.38 Muhafaza alanında kullanılan ısıtıcı

Beton dökümünden önce kalıplar ve donatılar dış ortama bırakılmıştır. Döküm yapılacağı gün ise muhafaza alanına taşınmışlardır.

Laboratuvarda hazırlanan taze beton, sıcaklığı 25°C olacak şekilde karışım suyu sıcaklığı $44,5^{\circ}\text{C}$ olarak hesaplanmış ve karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımın taze beton sıcaklığı termometre ile ölçüm alınarak $25,4^{\circ}\text{C}$ olduğu belirlenmiştir. Döküm için dışarıya taşınan beton mikserindeki taze beton sıcaklığında taşıma sonucunda sıcaklık düşüşünün yaklaşık 1°C olduğu tespit edilmiştir. Beton dökümü gerçekleştirildikten sonra muhafaza alanında bulunan ısıtıcı ile ortam ısıtmaya başlanmıştır. Beton dökümü sırasında alınan sıcaklık ölçümleri Çizelge 3.17’ de detaylı olarak sunulmuştur.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Çizelge 3.17 KNB grubu numune beton dökümü anında kaydedilen veriler

Döküm Tarihi: 20.12.2019 / Döküm Saati: 14:40	
Ölçüm Parametresi	Kış Dökümü
Döküm Anında Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	3,1
Döküm Anında İç Ortam Sıcaklığı (°C)	9,2
Döküm Anında Taze Beton Sıcaklığı (°C)	24,6
Döküm Anında Kalıp Sıcaklığı (°C)	2,8
Döküm Anında Dış Ortamdaki Nem (%)	57
Döküm Anında İç Ortamdaki Nem (%)	68
Döküm Anında Rüzgar Hızı (km/s)	3

Numuneler 3 gün boyunca ısıtıcının ortamı ısıtması ile muhafaza alanında bekletilmiştir. Bu süre zarfında numuneden ve ortamdan sıcaklık ölçümleri yapılarak kayıt altına alınmıştır. Alınan bu kayıtlar detaylı olarak ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA bölümünde sunulmuştur.

Numuneler 3. günün sonunda muhafaza alanından çıkartılarak dış ortama alınmıştır. Dış ortama alınan numuneler kalıplarından çıkarılarak Şekil 3.39' da görüldüğü gibi doğal atmosferik koşullara maruz bırakılmıştır.



Şekil 3.39 KNB grubu deney numuneleri

3.2.3.3.4. KAB Grubu Aderans Numunesi İmalatı

Kış dökümlerinin 4. uygulaması olarak ısıtılmış ortamda antifriz katkılı betonu dökümü, KAB, gerçekleştirilmiştir. Muhafaza alanına yerleştirilen ısıtıcı ile ortam sıcaklığı belirli seviyede tutulmaya çalışılmıştır.

Beton dökümü uygulamasından önce donatı ve kalıba termokupllar sabitlenmiş olup sıcaklık kaydı başlatılmıştır. Laboratuvarda taze beton sıcaklığı 25°C olacak şekilde

3. MATERYAL ve YÖNTEM

karişim hazırlanarak beton döküm alanına taşınmıştır. Taşınma sırasında beton mikserine yapılan yalıtım sayesinde ısı kaybı çok yaşanmamış olup beton döküm işlemi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.18 KAB grubu numune beton dökümü anında kaydedilen veriler

Döküm Tarihi: 26.12.2019 / Döküm Saati: 12:25	
Ölçüm Parametresi	Kış Dökümü
Döküm Anında Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	2
Döküm Anında İç Ortam Sıcaklığı (°C)	7
Döküm Anında Taze Beton Sıcaklığı (°C)	25,3
Döküm Anında Kalıp Sıcaklığı (°C)	1,3
Döküm Anında Dış Ortamdaki Nem (%)	66
Döküm Anında İ Ortamdaki Nem (%)	62
Döküm Anında Rüzgar Hızı (km/s)	2

Beton döküm işleminden sonra ısıtıcı açılarak ve muhafaza alanı içerisine Şekil 3.40' ta görüldüğü gibi soğuk hava girmeyecek Şekilde kapatılmıştır. Bu Şekilde 3 gün boyunca sıcaklık ölçümü kaydı alınmış olup detayları ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA bölümünde sunulmuştur.



Şekil 3.40 KAB grubu numune muhafaza alanı

3.2.3.3.5. KA-2 Grubu Aderans Numunesi İmalatı

Soğuk havada beton dökümü uygulaması 4 farklı uygulama halinde gerçekleştirilmiş olup elde edilen sonuçlar neticesinde hem ekonomik hem de istenilen dayanım elde edilmesinden dolayı muhafaza alanı içerisinde betonda antifriz kullanarak ve ortamı ısıtmadan gerçekleştirilen döküm işlemi tekrarlanarak elde edilen sonuçlardan emin olma yoluna gidilmiştir. Bu amaçla, KA-2 grubu numune imalatı yapılmıştır.

Karışım suyu sıcaklığının belirlenmesi için TS 1248’ de verilen denklem kullanılarak taze beton sıcaklığı 25°C olacak şekilde karışım suyu sıcaklığının 43°C olması gerektiği hesaplanmıştır. Bu yöntem ile hazırlanan taze betonun sıcaklığı öngörülen sıcaklıkla örtüşmüş olup 25,1°C taze beton sıcaklığı elde edilmiştir. Elde edilen taze beton, betonyerin trans palet üzerine alınarak beton döküm alanına yaklaşık 5 dakika taşıma sürecinin ardından sıcaklık ölçümü tekrarlanmış ve taşıma sırasında taze beton sıcaklığında yaklaşık 1,5°C düşüş olduğu gözlemlenerek taze beton sıcaklığı 24,7 °C ölçülmüştür. Beton dökümü sırasında kaydedilen sıcaklık verileri Çizelge 3.18’ de verilmiştir.

Çizelge 3.19 KA-2 grubu numune beton dökümü anında kaydedilen veriler

Döküm Tarihi: 17.01.2020 / Döküm Saati: 15:40	
Ölçüm Parametresi	Kış Dökümü
Döküm Anında Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	-7,4
Döküm Anında İç Ortam Sıcaklığı (°C)	-3
Döküm Anında Taze Beton Sıcaklığı (°C)	24,7
Döküm Anında Kalıp Sıcaklığı (°C)	-4,3
Döküm Anında Dış Ortamdaki Nem (%)	66
Döküm Anında İç Ortamdaki Nem (%)	53
Döküm Anında Rüzgar Hızı (km/s)	3

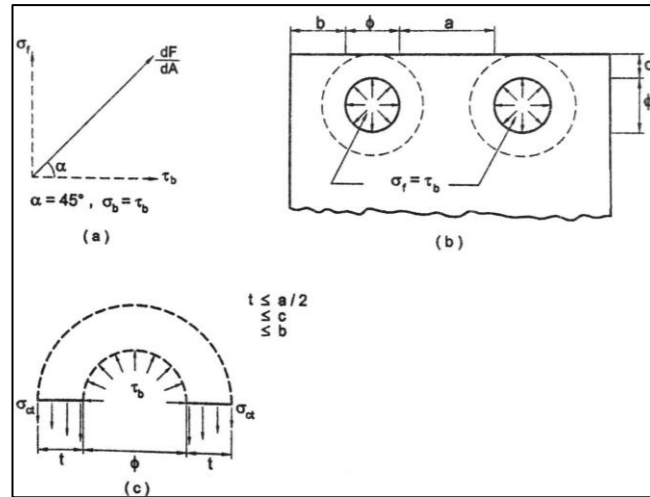
Döküm yapılamadan 3 gün önce, döküm yapılacak kalıplar ve donatılar dış ortama yerleştirilmiştir. Bu uygulamanın amacı, gerçek imalatta donatı ve kalıplar atmosferik ortama maruz kaldığı bilinmektedir. Bu hava etkileşiminin deneye uyarlanabilmesi açısından kullanılacak olan kalıp ve donatılar dış ortamda 3 gün bekletilmiştir. Döküme başlanmadan önce kalıp yüzeylerinde buz tutmuş bölgeler buzlarından temizlenerek yağlanıp döküm için hazır hale getirilmiştir. Alınan bu kayıtlar detaylı olarak ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA bölümünde sunulmuştur.

3.3. Deney Düzenliğinin ve Aderans Numunelerinin Hazırlanması

Üçüncü tip deney numunesi ve ölçüm düzeniği, yoğun literatür araştırmaları sonucunda karar verilmiş olup; bu deney numunesine en yakın uygulama Mirza ve Houde (1979)'un bağ gerilmesi çalışması konu başlıklı makalesinden esinlenilmiştir. Aderans numunelerinin tamamında Ø14 donatı kullanılmış olup beton numune çapı 100 mm hesaplanmış ve aderans etki boyu bağıntı 3.2 (Ersoy ve Özcebe, 2015) kullanılarak numune uzunluğu 500 mm seçilmiştir.

$$l_b = 0,12 \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \phi \geq 20\phi \quad (3.2)$$

Donatı çapı ve numune çapı tayininde Betonarme-I (Ersoy ve Özcebe, 2015) kitabında yer alan “Aderans boru analogisi” görseli kullanılmıştır (Şekil 3.41). Ersoy ve Özcebe (2015), aderans kırılma mekaniğini “ σ_f gerilmesi, sıvı veya gaz taşıyan bir borudaki iç basıncın şiddetine eşittir. Bu basıncın, tıpkı borudaki gibi çevresini saran betonda çekme gerilmeleri oluşturması doğaldır. Yarıлма olarak adlandırılan kırılma, betonda oluşan bu çekme gerilmelerinin betonun çekme dayanımını aşması sonucu oluşur.” şeklinde ifade etmektedir.



Şekil 3.41 Aderans kırılma mekaniği için boru analogisi

Numune çapı belirleme aşamasında Şekil 4.41 de verilen parametreler ve bağıntı 3.3 (Ersoy ve Özcebe, 2015) kullanılarak hesap yapılmış olup numune çapı 100 mm olarak kararlaştırılmıştır.

$$\begin{aligned} r_1 &= \text{İç yarı çap}, & r_1 &= \phi/2 \\ r_2 &= \text{Borunun dış yarı çapı}, & r_2 &= \left(\frac{\phi}{2} + t\right) \end{aligned} \quad (3.3)$$

Deney numunelerinin oluşturulmasının ardından ölçüm parametresi olan “Slip (sıyrılma)” hesaplanabilmesi için donatı ve betonun numune üst ve alt birleşiminde temas ettiği noktalarda oluşacak kabarmanın ölçülmesi gerekmektedir. Bu bağlamda “Opkon” marka 50 mm deformasyon kapasitesi olan PC (potansiyometrik) cetvel kullanılmıştır. Potansiyometrik cetvellerin dinamik veri toplama sistemine (Şekil 3.42 (a)) kalibrasyonu yapılarak bağlantısı gerçekleştirilmiştir. Alınan deformasyon ölçümünde veri kaybı yaşanmaması için üst ve alt başlığa 2’ şer adet potansiyometrik cetvel yerleştirilmiştir. Çekme düzeneğinde kullanılan 1000 kN çekme kapasiteli cihazın fiziksel özelliğinden dolayı kullanılan potansiyometrik cetveller donatı ve beton birleşimine sabitlenememiş olup 150x50x2 mm boyutlarında rijitliği yüksek metal çubuklar yapıştırılarak deplasman ölçümü dolaylı olarak hesaplanmıştır. Ayrıca betondaki uzamayı da kayıt altına alabilmek için iki adet kasnak kullanılmıştır. Kasnağın alt başlığı üzerine 2 adet potansiyometrik cetvel, üst başlığına ise 2 adet 25 cm uzunluğunda tahta çubuk bağlanarak ölçüm alınması sağlanmıştır. Beton numunenin içerisinde bulunan donatının birim şekil değiştirmesinin hesaplanabilmesi açısından çekme cihazında çeneler arasındaki farkın ölçülmesi gerekmektedir. Cihazın yönetilmesini sağlayan ana makinanın kayıt hızı ile potansiyometrik cetvellerin bağlandığı dinamik veri toplama sisteminin veri kayıt aralığı eşit olmadığından dolayı cihaz üzerine harici 300 mm ölçüm kapasiteli 2 adet LVDT (Linear Variable Differential Transformer) bağlanmış olup LVDT’ ler dinamik veri toplama sistemine kalibrasyonu yapılarak bağlantısı gerçekleştirilmiştir. Deneyler dakikada 2 mm deplasman yapacak şekilde deplasman kontrollü gerçekleştirilmiş olup ana makinanın yük kaydı da mekanik bağlantı ile dinamik veri toplama cihazına bağlanarak deney ölçüm cihazları tek bir veri toplama ünitesinde toplanmış olup senkronize ölçüm alınması sağlanmıştır. Ölçüme ait genel numune deney düzeneği Şekil 3.42 (b)’ de ve yükleme düzeneği ve veri toplama sistemine ait genel bir görüntü Şekil 3.43’ te sunulmuştur. Ölçüm düzeneğinin 3D görseli Şekil 3.45’ te sunulmuştur.

3. MATERYAL ve YÖNTEM



(a)



(b)

Şekil 3.42 (a) Dinamik veri toplama ünitesi (16 kanallı), (b) ölçüme ait genel numune deney düzeneği görseli



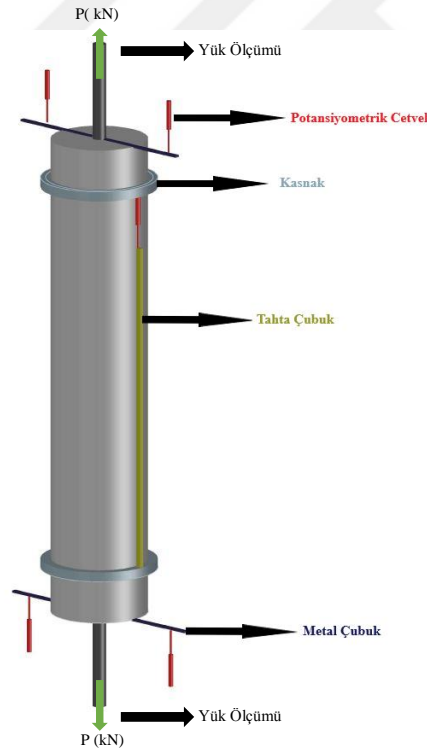
Şekil 3.43 Yükleme düzeneği ve veri toplama sistemine ait genel bir görüntü

Bağ kuvveti – kayma ilişkisi deneyleri kapsamında Şekil 3.43’ de görülen çelik çekme cihazı kullanılmıştır. Deplasman kontrollü yükleme yapabilen çekme cihazı 1000 kN kapasiteli yüksek rijitlikte servo hidrolik universal deney cihazı olarak tanımlanmaktadır. Cihazın teknik özelliklerine dair detaylar Şekil 3.44’ te sunulmuştur.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Teknik Özellikler	
Maksimum Yük	1000 kN
Yük Okuma Hassasiyeti ve Doğruluğu	2 kN - 20 kN'den başlayarak Sınıf 1 veya Sınıf 0.5
Ekstensometre Doğruluk Sınıfı (Epsilon)	ASTM Sınıf B 1
Otomatik Ekstensometre Doğruluk Sınıfı	EN ISO 9513 Sınıf 0.5
Piston Stroku	250 mm
Maksimum Piston Hızı (Test Hızı)	100 mm/dk
Maksimum Çapraz Kafa Hızı	200 mm/dk
Çekme Test Alanı	1000 mm
Basma Test Alanı	850 mm
Kolonlar Arası Mesafe	750 mm
Çalışma Tablası Boyutu (mm)	1100 x 1000
Düz Çene Tutucu (mm)	0 - 70
Yuvarlak Çene Tutucu (mm)	Ø4 - Ø80
Basma Plaka Boyutu (mm)	Ø200 x 60
Eğilme Mesnet Aralığı (mm)	50-720
Eğilme Derinliği (mm)	200
Net Ağırlık (kg)	8000
Gövde Boyutu	1250X900X3500
Güç Gereksinimleri	3PH, 380VAC, 50Hz,15A, 6kW

Şekil 3.44 Çekme cihazı teknik özellikleri (anonim, utest malzeme test cihazları, erişim tarihi: 20.05.2019)



Şekil 3.45 Aderans numunesi sensör yerleşim planı

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Numuneler aşağıdaki prosedür takip edilerek deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Her bir gruptaki aderans numunelerinin tamamı aynı gün, arka arkaya test edilmiştir.

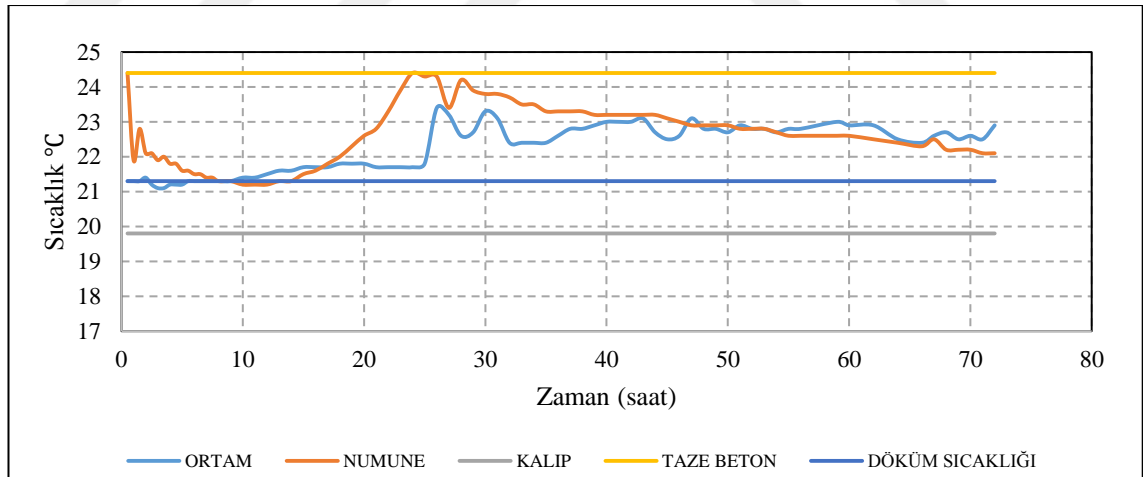
1. Aderans numunelerine ince bir tabaka kireç ile beyaz badana yapılarak kurumaya bırakılır. Bu uygulamanın amacı, deney esnasında oluşacak çatlakların kolayca takibidir.
2. Uç kısımlardaki çelik şerit plakalar yapıştırılır; kasnak numuneye monte edilir.
3. Beton dayanım tayini için eksenel basınç numuneleri test edilir; beton dayanımı belirlenir.
4. Numune çekme cihazına yerleştirilmeden evvel beton boyu hassas bir şekilde ölçülür ve deney öncesi çatlak olup olmadığı kontrol edilir.
5. Numune düzeneğe yerleştirilir; sensörler konumlandırılır.
6. Veri toplama ünitesi kontrol edilir.
7. Deneyin her aşamasında fotoğraf kaydı alınır; çatlak oluşumları renkli kalemle numune üzerine işaretlenir.
8. Deney bitiminde öncelikle veri kaydı durdurulur; güvenlik önlemleri alınarak numune düzenekten çıkarılır.
9. Veri işleme çalışmaları yapılır; bu esnada ilgili deney numunesi çalışma alanında bulundurulur.
10. Çatlak oluşumlarının değerlendirilmesi için numune açılır; iç yapı incelenir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde deneysel çalışma neticesinde elde edilen bulgular ve bulgulara ilişkin tartışmalar sunulmaktadır.

4.1. Gerçek Kış Şartlarında Beton Dökümü

Yaz ve kış dökümlerinde beton sıcaklığında meydana gelen değişimin, hava sıcaklığı ile ilişkisinin görülmesi açısından beton dökümü sırasında kaydedilen yalnızca taze beton sıcaklığı, döküm sıcaklığı ve kalıp sıcaklığının zamana bağlı sabit tutularak, beton içi sıcaklık ve hava sıcaklığı zamana bağlı değişken olarak grafik halinde sunulmuştur. Şekil 4.1’ de yaz dökümü olarak adlandırılan ve laboratuvar şartlarında dökümü gerçekleştiren beton küp numunenin zamana bağlı sıcaklık değişimi sunulmuştur. Bu değişimin daha iyi yorumlanması için taze beton sıcaklığı, döküm anında kalıp ile ısı alışverişi sonucunda dengeye gelen döküm sıcaklığı ve kalıp sıcaklığı sabit tutulmuştur.



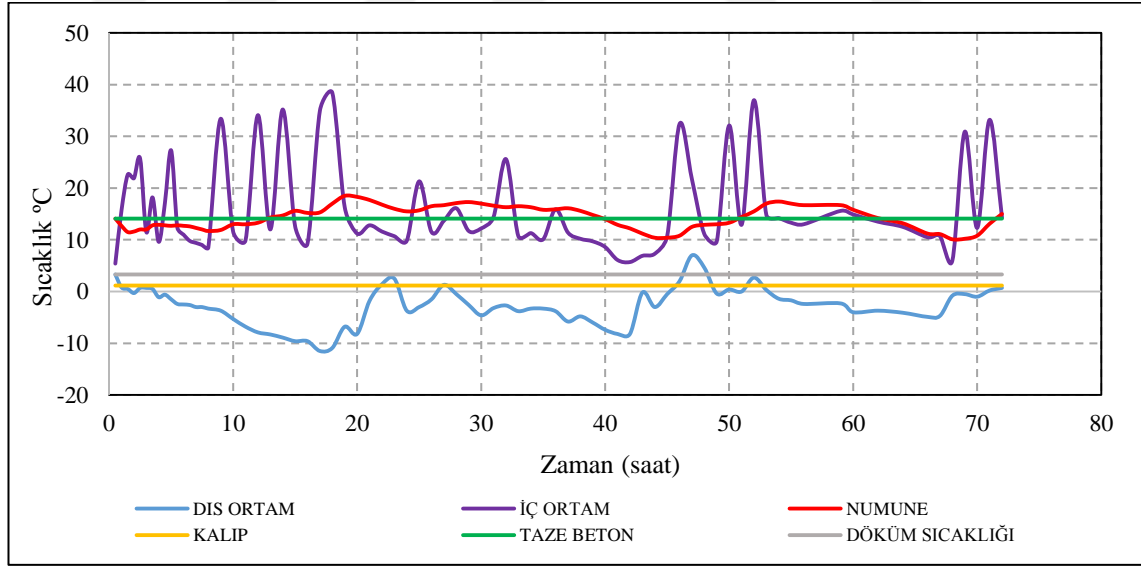
Şekil 4.1 Yaz şartlarında beton dökümüne ait sıcaklık parametreleri

Grafikte “turuncu” renge sahip parametre, numune içi sıcaklığı temsil etmektedir. İlk bir saatte kalıpla ısı alışverişi sonucunda taze beton sıcaklığında yaklaşık 3°C düşüş gözlenmiştir. Ortam sıcaklığı ile numune içi sıcaklığının ilk 9. saate aynı değeri göstermesine rağmen numune içerisinde sıcaklık düşüşü 11. saate kadar devam etmiştir. 11. saatten sonra hidrasyon başlamış olup 17. saate numune içi sıcaklık ve ortam

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

sıcaklığı ikinci kez aynı değeri göstermiştir. 17. saatten sonra ortam sıcaklığı ve beton içi sıcaklık değişimi paralellik göstererek 24. saatte beton içi sıcaklığı taze beton sıcaklığına ulaşmıştır. Bu sıcaklığın üzerine çıkamamasındaki etkenlerden biri ortam sıcaklığının taze beton sıcaklığından düşük olması olarak yorumlanmaktadır. Aralarında ki sıcaklık farkı hidrasyon hızını yavaşlatmakta ve küp numunesinin hacmi göz önünde tutulduğunda hazırlanan numuneler büyük kütlelere erişemediği için çok yüksek hidrasyon ısısına ulaşması gözlemlenmemiştir. 29. saatte hidrasyonunu tamamlayan numune, ortam sıcaklığının etkisiyle beton içi sıcaklığında soğuma başlamıştır. Bu soğuma 47. saate kadar devam ederek ortam sıcaklığına ulaşmış ve 72. saate kadar sıcaklık değişimi paralellik göstermiştir.

Yaz dökümü için uygulanan sıcaklık takibi kış dökümü içinde uygulanmıştır. Yaz dökümüne ek olarak kış dökümü sıcaklık takibinde dış ortam sıcaklığı da kayıt altına alınmıştır. Taze beton sıcaklığı, döküm sıcaklığı ve kalıp sıcaklığı zamana bağlı sabit tutulmuş olup diğer parametreler zamana bağlı ölçülen değerleri ile Şekil 4.2’ de görüldüğü gibi grafik olarak sunulmuştur.

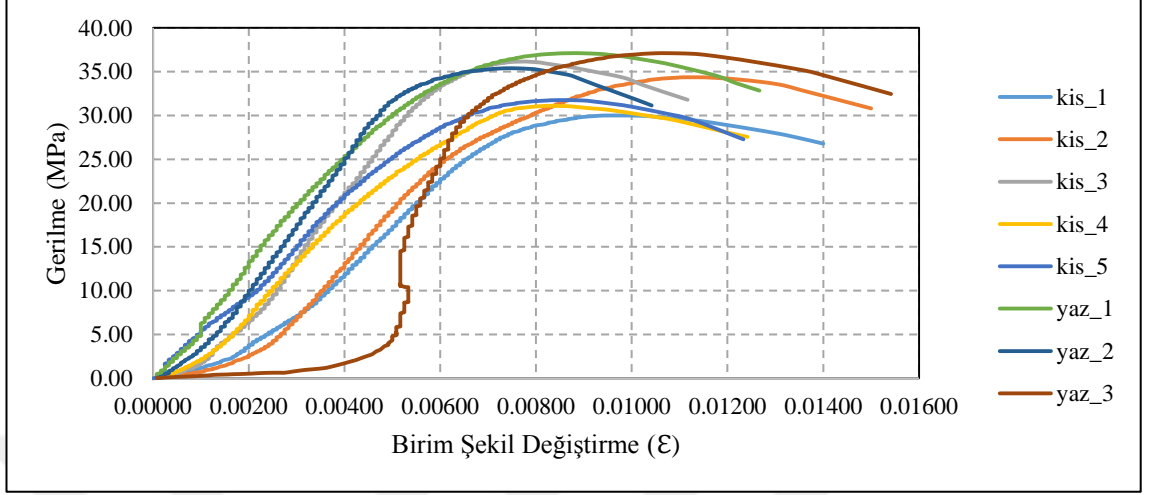


Şekil 4.2 Kış şartlarında beton dökümüne ait sıcaklık ölçüm değerleri

Basınç deneyi yapılan tüm numuneler Şekil 4.3’ te görüldüğü gibi tek grafikte birleştirilmiştir. Grafikte “yaz_3” numunesinde, deney sırasında içerisine sıcaklık ve nemi ölçmesi için 3 cm uzunluğunda 1 cm çapında silindirik plastik ölçüm aparatı yerleştirilmiş bu yüzden numune içerisinde istenmeyen boşluk oluşmasına neden

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

olmuştur. Basınç deneyi sırasında cihazın oluşturduğu boşluktan dolayı “yaz_3” numunesinin gerilme-birim şekil değiştirme grafiğinde düzensizlik görülmektedir.



Şekil 4.3 Gerçek kış şartlarında dökülen numunelerin gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi

4.2. Laboratuvar Şartlarında Bağ Kuvveti-Kayma İlişkisi Deneyleri

4.2.1. Birinci Tip Deney Numunesi

Birinci tip deney numunesi adı altında üretilen boşluklu ve boşluksuz numuneler 7. günün sonunda 1 adet boşluklu ve 1 adet boşluksuz numune çekme testine, 2 adet küp numune ise basınç dayanımlarının tayini için basınç testine tabi tutulmuş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1' de sunulmuştur. Bu deneylere ek olarak beton içerisinde kullanılan donatılarla aynı bağdan alınmış 5 adet çelik donatı çubuğu da çekme testine tabi tutulmuştur. Beton dökümünün 28.gününde ise 2 adet boşluklu ve 2 adet boşluksuz numune çekme testine, 3 adet küp numune ise basınç dayanımlarının tayini için basınç testine tabi tutulmuştur.

Çizelge 4.1 Birinci tip deney numunesine ait 7 günlük küp numune basınç dayanımı testi sonuçları

Numune No	Dayanım (MPa)
S1	8,1
S2	8,2

Beton hazırlık aşamasında 30 MPa olacak şekilde hacimsel hesaplamalardan faydalanılmıştır. Beton 7. gününde nihai dayanımının yaklaşık %70 ini kazanmış olması öngörülmektedir. Bu hesaplamanın üzerine elde edeceğimiz değer 21 MPa olması gerekirken 8,1 MPa beton elde edilmiş ve istenilen dayanıma ulaşılamamıştır. Bu aşamada beton dayanımını etkileyen çeşitli nedenler bulunmaktadır. Bunlardan birisi taze beton harcının hazırlığı sırasında mikser yerine bir kova içerisinde manuel karıştırma yapılmasıdır. Yapılan bu karıştırma işlemi sırasında istenmeden yapılan aksaklıklar, dayanımın düşmesine neden olmaktadır. Bu nedenlerden diğeri ise beton bakımı uygulaması gerçek uygulamayı yansıtmaması amacıyla sulama yöntemi kullanılmıştır. Kür havuzu uygulaması uygulanmadığı için istenilen dayanım elde edilememiştir. Elde edilen basınç dayanımı sonuçlarının ardından silindir numuneler çekme testine tabi tutulmuştur. Bu deney sırasında dikkat edilmesi gereken hususlar ve sunulan şekiller açıklamalarıyla birlikte detaylandırılmıştır.

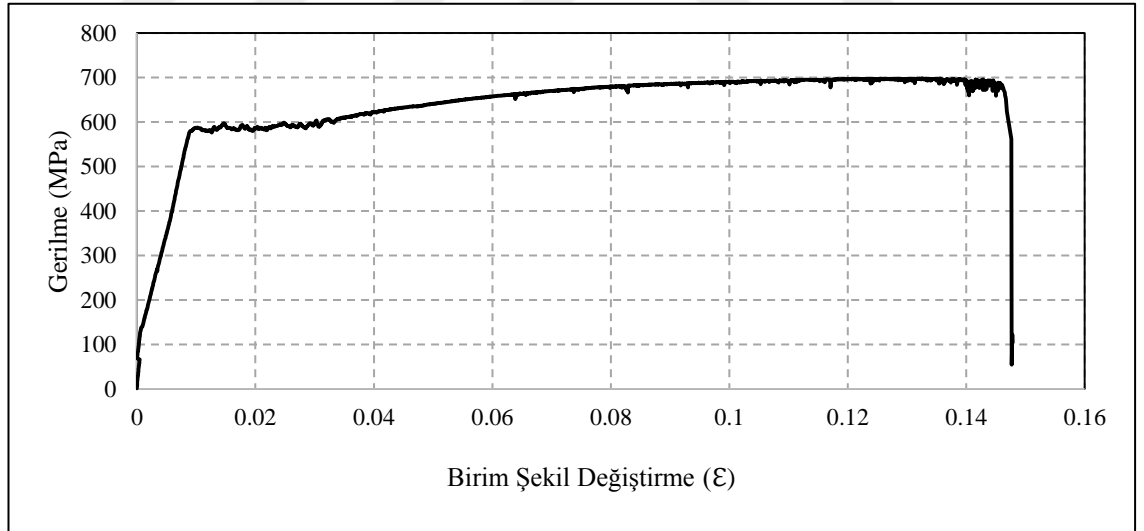
Boşluklu Numune Deneyi

Beton dökümünün yedinci gününde 1'er adet boşluklu ve boşluksuz numune çekme testine tabi tutulmuştur. Çekme cihazına yerleştirilen numunede ilk olarak iki çene arası mesafesi kaydedilmiş ve bu mesafe dikkate alınarak numunelere ait akma ve kopma anındaki birim şekil değiştirmeleri hesaplanmıştır.

Boşluklu numune adı altında teste tabi tutulan numunenin çekme deneyi sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2' de ve boşluklu numuneye ait gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi Şekil 4.4' te sunulmuştur.

Çizelge 4.2 Boşluklu numuneye ait çekme deneyinden elde edilen sonuçlar

Boşluklu Numune (Donatı Çapı: 8 mm / Donatı Boyu: 50 cm)		
	Birim Şekil Değiştirme (ϵ)	MPa (N/mm²)
Akma	0,011	584
Kopma	0,146	686



Şekil 4.4 Boşluklu numuneye ait gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi

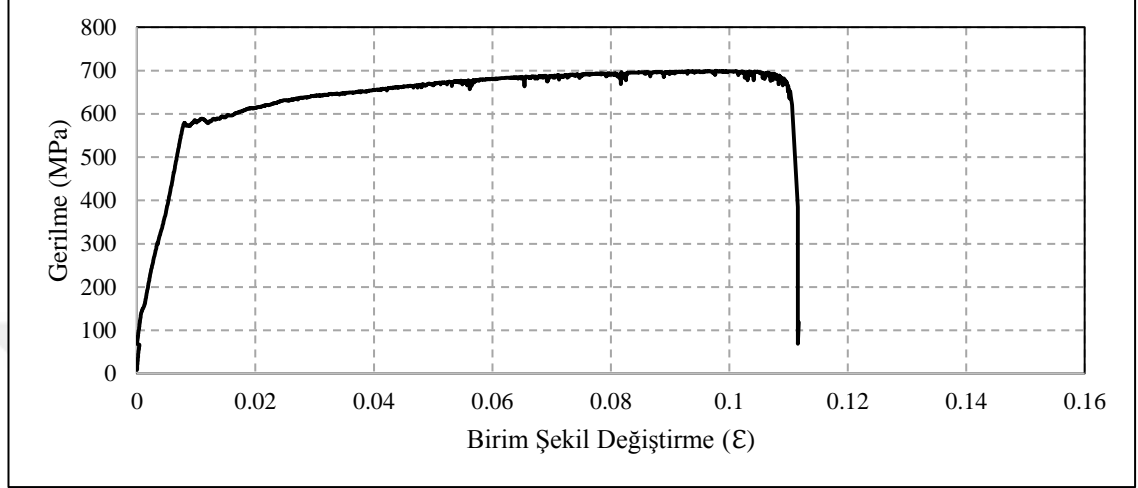
Boşluksuz Numune Deneyi

Boşluksuz numune adı altında teste tabi tutulan numunenin çekme deneyi sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3' te ve boşluksuz numuneye ait gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi Şekil 4.5' te sunulmuştur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

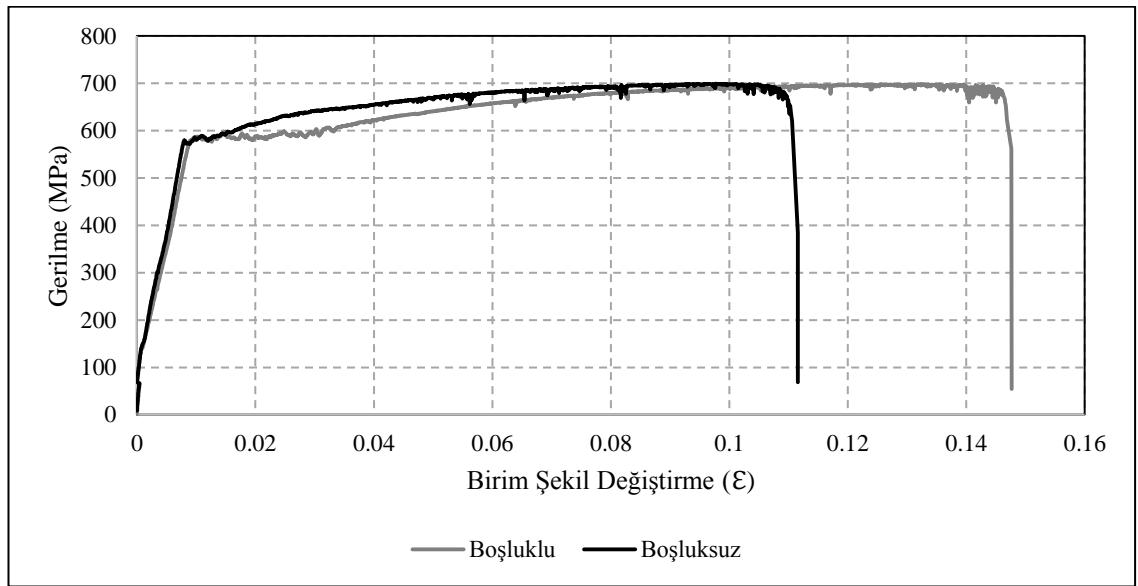
Çizelge 4.3 Boşluksuz numuneye ait çekme deneyinden elde edilen sonuçlar

Boşluksuz Numune (Donatı Çapı: 8 mm / Donatı Boyu: 50 cm)		
	Birim Şekil Değişirme (ϵ)	MPa (N/mm ²)
Akma	0,007	574
Kopma	0,112	677



Şekil 4.5 Boşluksuz numuneye ait gerilme-birim şekil değişirme ilişkisi

Boşluklu ve boşluksuz numunelerin çekme deneyi sonucunda elde edilen gerilme – birim şekil değişirme değerleri Şekil 4.6’ da görüldüğü gibi aynı grafik üzerine çizdirilmiştir.



Şekil 4.6 Boşluklu ve boşluksuz numuneye ait gerilme-birim şekil değişirme ilişkisi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

İncelenen grafik neticesinde boşluklu numunenin boşluksuz numuneye göre daha sünek davranış gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu davranışın temel sebebi boşluklu numunenin içerisinde bulunan donatı ile betonun temas ettiği bölge yani aderans sağlanan bölgenin kısa olması neticesinde donatı ile beton arasında tam anlamıyla tutunma gerçekleşmemiş olup çelik donatı kendi sünekliğini yansıtmıştır.

Boşluksuz numunede görülen sünekliğin az olmasının sebebi, donatı ile beton arasında belirli bir bağ kuvveti oluşmuş olup çekme etkisi altında beton ve donatının birlikte çalıştığı gözlenmiştir.

Çelik Donatı Çekme Deneyi

Deney numuneleri içerisinde kullanılan Ø8 çaplı donatılara eş değer 5 adet donatı çekme testine tabi tutularak yük–birim şekil değiştirme grafiği sunulmuştur. Grafik kodlandırılması “Çelik_8_1” şeklinde oluşturulmuştur. Bu teste tabi tutulan 5 adet Ø8 çaplı inşaat donatılarından “Çelik_8_3” kodlu numunenin, deney süresince kaydedilen verilerinin deney sırasında veri toplama sistemine veri aktarımında teknik bir arıza olduğundan dolayı sayısal değerleri ve grafiği sunulamamıştır. Çizelge 4.4’ te bu numunenin değerleri bu teknik arızadan dolayı boş bırakılmıştır.

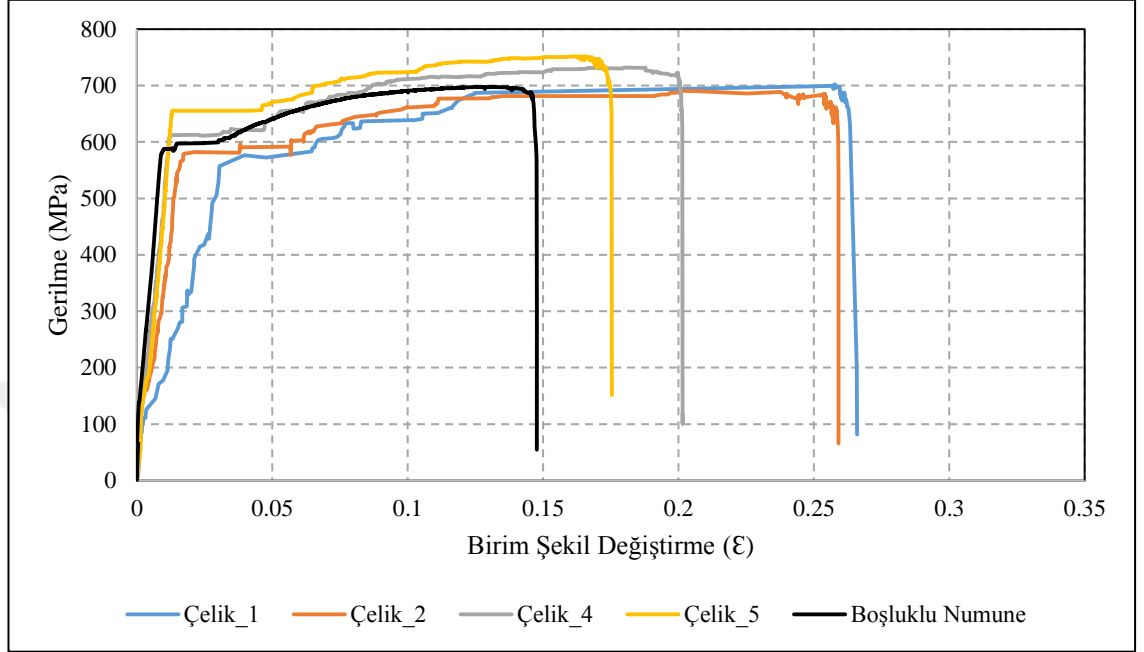
Çizelge 4.4 Birinci tip deney numunesine ait donatı çekme testi sonuçları

Deney No	Donatı Boyu (mm)	Birim Şekil Değiştirme (ε)		Yük (kN)		Donatı Çapı (mm)		σ (MPa)	
		Akma	Kopma	Akma	Kopma	İlk	Son	Akma	Kopma
8_1	125	0,033	0,266	29,343	31,705	8,12	6,91	567	845
8_2	215	0,017	0,261	29,127	32,987	8,26	6,73	544	927
8_3	330	-	-	-	-	8,02	7,20	-	-
8_4	322	0,014	0,204	30,386	35,612	8,03	6,50	600	1073
8_5	320	0,014	0,178	32,704	32,878	8,82	6,70	535	933

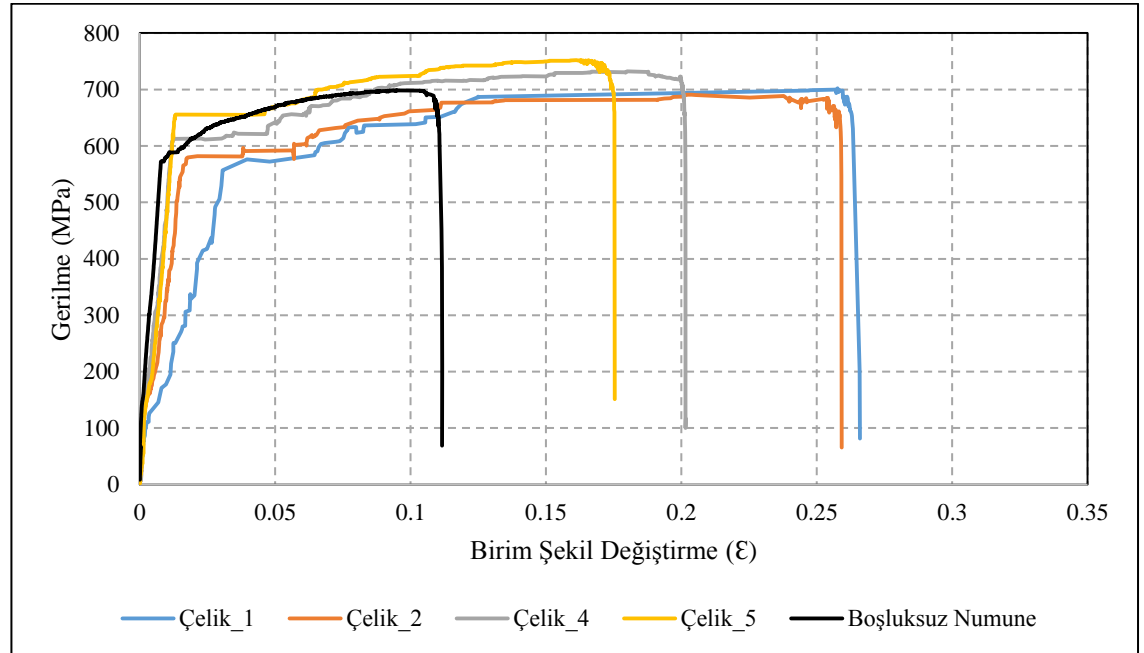
Donatılar temin edilirken S420 nervürlü donatı olarak temin edilmek istenmiştir. Yapılan çekme deneyinin sonuçları bu donatıların 420 MPa’ dan ortalama 120 MPa daha yukarı değerlere ulaştığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.4).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çekme testine tabi tutulan birinci tip deney numunesine ait çelik donatıların ile boşluklu numune ve boşluksuz numune yük-birim şekil değiştirme ilişkisi sırasıyla Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’ de sunulmuştur.



Şekil 4.7 Birinci tip deney numunesine ait çelik donatılar ve boşluklu numune gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi



Şekil 4.8 Birinci tip deney numunesine ait çelik donatılar ve boşluksuz numune gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi

Şekil 4.13'te çelik donatılar ve numune göz önüne alındığında, çelik donatıların birim şekil değıştirmesi ortalama 0,23 iken boşluklu numunenin birim şekil değıştirmesi 0,14 değerini göstermektedir. Boşluklu numunenin akma dayanımı çelik_4 ile benzerlik gösterirken, çelik_1 ve çelik_2 den fazla, çelik_5 ten ise az olduğu gözlemlenmiştir. Gözlemlenen bu davranış boşluklu numunede ki beton-donatı birleşimi, akma dayanımını etkilemezken donatının sünekliğini azaltarak daha az birim şekil değıştirme yapmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Boşluksuz numune, bu tespite benzer bir davranış gösterse de donatının pekleşme bölgesinden sonra boşluklu numuneye göre daha fazla yük aldığı gözlemlenmiştir. Bu yük artışının sebebi, donatı ve beton arasındaki bağ kuvvetinin sağlandığının bir göstergesi olarak söylenebilir.

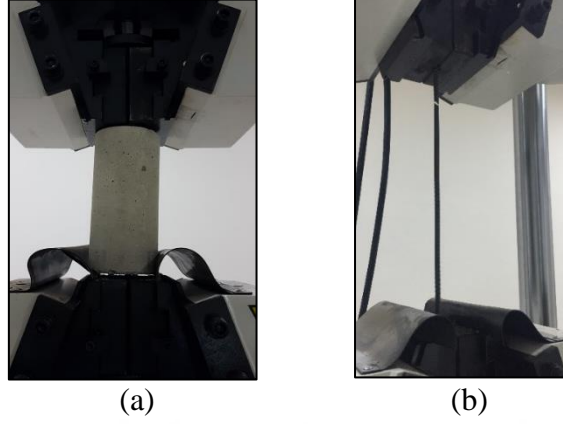
Birinci tip deney numunesinin 7 günlük beton dayanımına sahip olan boşluklu ve boşluksuz deney numunesi çekme testine tabi tutulup grafikleri sunulmuştur. Sunulan grafiklerdeki davranış göz önüne alındığında boşluklu ve boşluksuz numunelerin, serbest haldeki donatıya kıyasla daha az birim şekil değıştirme yapmaktadır. Çekme testine tabi tutulan numunelerin, akma dayanımına kadar olan lineer artışın x eksenine (birim şekil değıştirme eksenine) yaptığı açı arttıkça daha az şekil değıştirme yaparak daha çok yük taşıdığı anlamına gelmektedir. Bu çıkarım ise donatı ile beton arasında ki aderansın var olduğunu kanıtlar niteliktedir. Grafikler genel olarak göz önüne alındığında boşluklu ve boşluksuz numuneler, serbest haldeki donatılara kıyasla daha az şekil değıştirme yaparak aynı yük kapasitesine ulaşmaktadır.

Aderansın bariz olarak belli olmamasında çeşitli sebepler bulunmaktadır. Bu sebeplerden bir tanesi beton yaşının henüz yedi günlük olmasıdır. Numuneler çekme testi sonucunda ortadan ikiye yarılarak beton içerisindeki kuruluk oranı kontrol edilmiştir. Betonun donatıyla temas eden yüzeyi hala nemli olduğu gözlemlenmiştir. Bu gözlem neticesinde aderansın tam olarak sağlanamadığı sonucuna varılmıştır.

Aderansı etkileyen diğer bir sebep ise kullanılan donatı çapı ve dış (nervür) derinliğinin yetersiz olmasıdır. Birinci tip deney numunesi kapsamında 8 mm çapında S420 çelik sınıfında inşaat donatısı kullanılmıştır. Kullanılan donatının çapının az olmasından dolayı nervür kalınlığında aynı oranda az olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

deneylerin örnek teşkil etmesi açısından Şekil 4.9’ da boşluklu ve boşluksuz numune, serbest donatı çekme deney düzeneği görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 4.9 (a) Boşluklu ve boşluksuz silindir numune çekme deneyi, (b) Çelik çekme deneyi.

Birinci tip deney numunesi adı altında beton yaşı 7 günlük olan numunelerin testleri ve analizlerinin yapılmasının ardından beton yaşı 28 günlük numunelerin testlerine geçilmiştir. Burada yapılacak olan deneylerde 7 günlük numunelerle aynı deney adımları izlenmiştir. İlk olarak küp numuneler üzerinde beton dayanım testi uygulanmıştır. Daha sonra serbest donatı olarak 3 adet donatı çekme testine tabi tutulmuş olup sonrasında boşluklu, boşluksuz ve donatısı yağlanmış numuneler çekme testine tabi tutulmuştur.

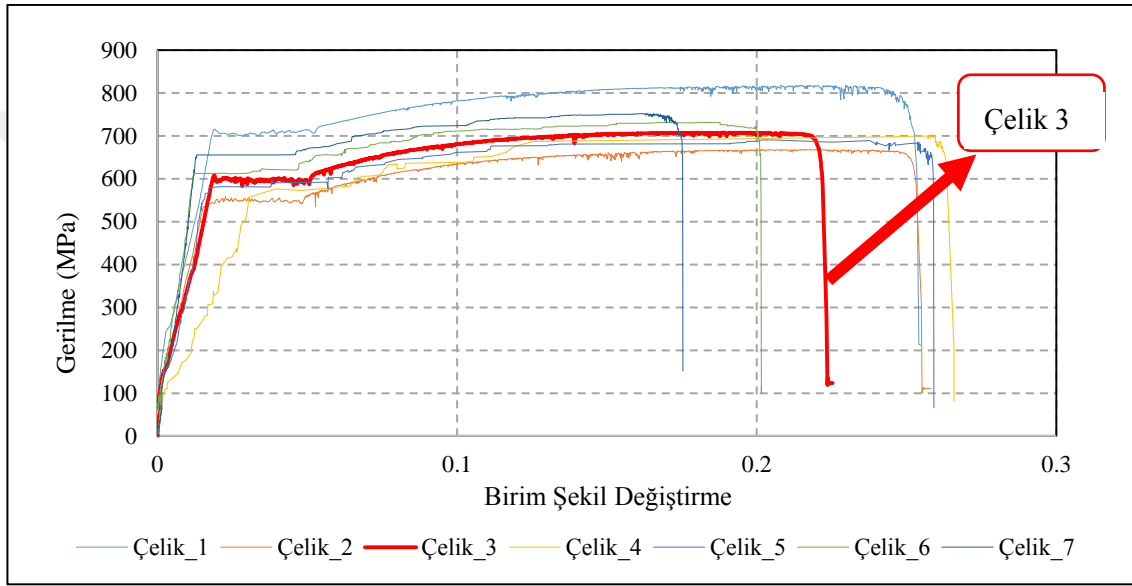
Çizelge 4.5 Birinci tip deney numunesine ait 28 günlük basınç dayanımı testi sonuçları

Numune No	Dayanım (MPa)
S1	20,7
S2	19,6
S3	21,6

Beton dayanımını belirlemek için yapılmış olan bu deneyler neticesinde ortalama beton dayanımı C20 (20 MPa) olarak saptanmıştır. Beton dayanımının yedi günlük basınç dayanımına (8 MPa) göre yirmi sekiz günlük basınç dayanımının %150 artış göstererek 20 MPa olarak gözlemlenmiştir. Fakat tasarım dayanımı 30 MPa olarak ön görülen numuneler de istenilen dayanıma ulaşamamıştır. Boşluklu ve boşluksuz numuneler üzerine uygulanan deneyler Ø8-C20 özellikleri dikkate alınarak yorumlanmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Beton yaşının 7 günlük olduğu deneylerde toplam 5 çelik donatı çekilmiş ve 4 donatının çekme testi sonuçları kaydedilmiştir. Bu sonuçlara ek olarak 28 günlük numunelerle beraber 3 adet çelik donatı çekme testine tabi tutulmuştur. Toplamda numunelerde kullanılan donatı özelliklerine eş değer 7 donatının çekme sonuçları elde edilmiş olup veriler grafik halinde sunulmuştur. Elde edilen grafikte tüm çelik donatılar arasında diğer donatıları temsil edebilecek “Çelik_3” donatısı seçilmiştir. Seçilen bu donatı ile çekme testine tabi tutulan numuneler grafik üzerinde kıyaslanarak numunelerin aderans davranışları yorumlanmıştır.



Şekil 4.10 Birinci tip deney numunesine ait tüm çelik donatıların çekme testi sonuçları

Boşluklu ve Boşluksuz Numune Deneyleri;

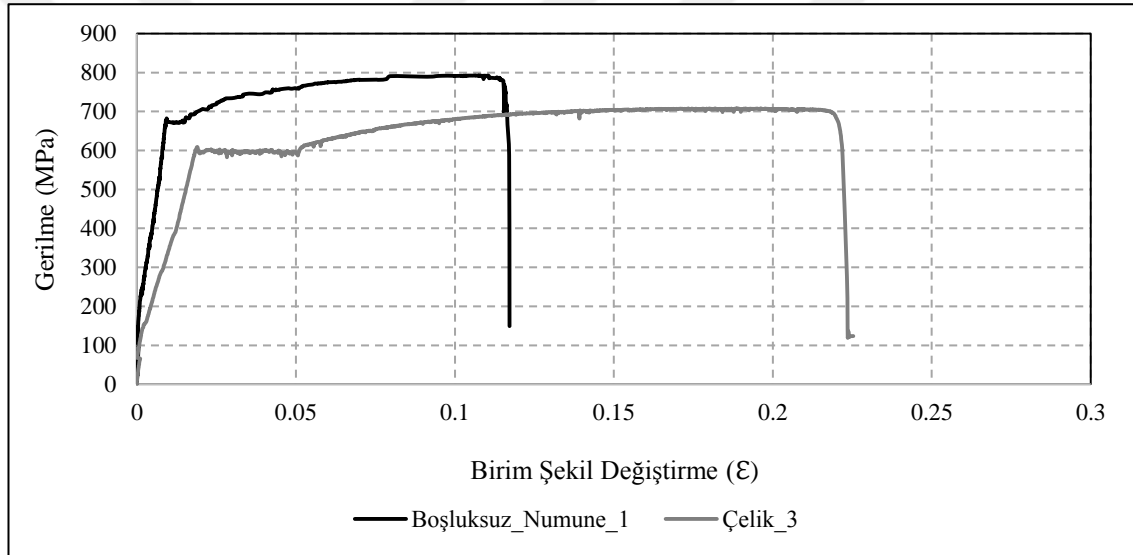
Beton dökümünün yirmi sekizinci gününde *Boşluklu Numune-1*, *Boşluklu Numune-2*, *Boşluksuz Numune-1*, *Boşluksuz Numune-2* ve *Donatısı Yağlanmış Numune* çekme testine tabi tutulmuştur. Başlıklar halinde sunulan deneylerde, ilk olarak numunelerin hangi yük altında ne kadar uzama meydana geldiği gösterilmesi amacıyla çizelge sunulmuştur. Çizelgede sunulmayan ara değerlerin daha anlaşılır olması için yük-birim şekil değişirme grafiği sunulmuştur.

Boşluksuz Numune-1

Boşluksuz Numune-1' e ait çekme testi sonucu Çizelge 4.6' da sunulmuştur. Buna ek olarak Şekil 4.11' de deney sonucunda elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme grafiği çelik_3 donatısıyla beraber verilmiştir.

Çizelge 4.6 Boşluksuz Numune-1 numunesine ait çekme deneyinden elde edilen sonuçlar

Boşluksuz Numune-1 (Donatı Çapı: 8 mm / Donatı Boyu: 50 cm)		
	Birim Şekil Değiştirme (ϵ)	Gerilme (MPa)
Akma	0,008	623
Kopma	0,117	771



Şekil 4.11 Boşluksuz Numune-1' e ait yük-birim şekil değiştirme ilişkisi

Deney sonucunda Şekil 4.12' de görüldüğü gibi numunede deformasyon meydana gelmiştir. Oluşan bu deformasyonda görüldüğü gibi donatı ve beton arasında bağ kuvveti sağlanmış olup, konik şekilde kırılma meydana gelmiştir. Konik şekilde kırılmanın temel sebebi betonun üst ve alt yüzeylerinde boşluk bırakılmadığı için donatı-beton arasında bağ kuvveti sağlanmıştır. Çekme deneyi sırasında donatı, beton içerisinde çekme kuvvetinin etkisiyle uzamaya çalışmıştır ve bu sırada beton donatıya tutunduğu için uzama esnasında betonu da koni şeklinde beraberinde getirmiştir. Boşluksuz numune-1'in alt yüzeyinde betonda kopma meydana gelmesine rağmen betonun yanal yüzeyinde herhangi bir çatlak gözlenmemiştir.



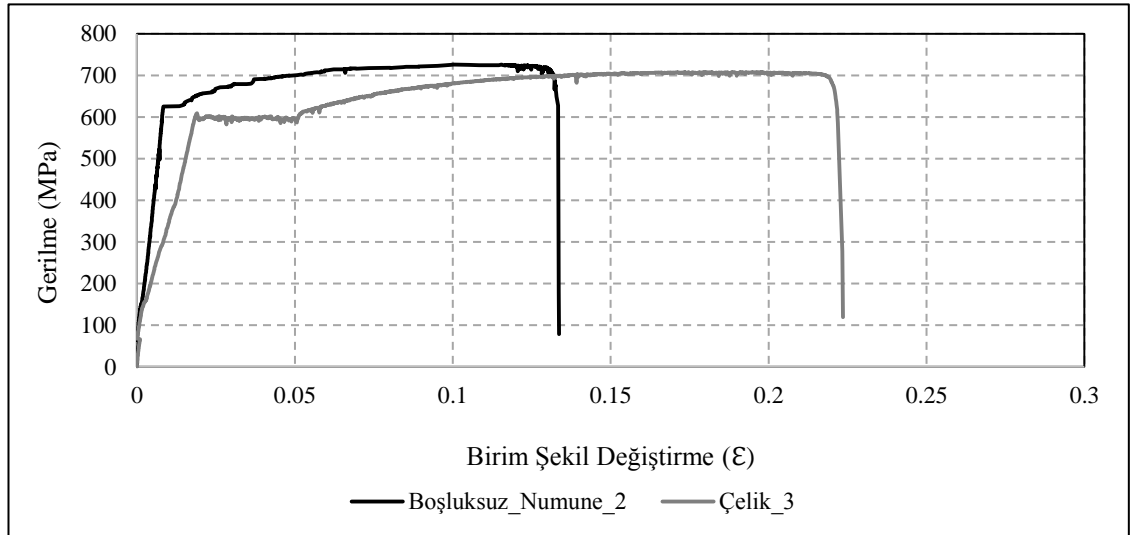
Şekil 4.12 Boşluksuz Numune-1 kırılma şekli

Boşluksuz Numune-2

Boşluksuz Numune-2' ye ait çekme testi sonucu Çizelge 4.7' de sunulmuştur. Buna ek olarak Şekil 4.13' te deney sonucunda elde edilen gerilme-birim şekil değişirme grafiği çelik_3 donatısıyla beraber verilmiştir.

Çizelge 4.7 Boşluksuz Numune-2 numunesine ait çekme deneyinden elde edilen sonuçlar

Boşluksuz Numune-2 (Donatı Çapı: 8 mm / Donatı Boyu: 50 cm)		
	Birim Şekil Değişirme (ϵ)	Gerilme (MPa)
Akma	0,009	611
Kopma	0,131	723



Şekil 4.13 Boşluksuz Numune-2' ye ait gerilme-birim şekil değişirme ilişkisi

Şekil 4.13' te verilen gerilme-birim şekil değişirme ilişkisi incelendiğinde, 2 numaralı boşluksuz numunenin serbest çeliğe göre daha az birim şekil değişirme ile daha

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

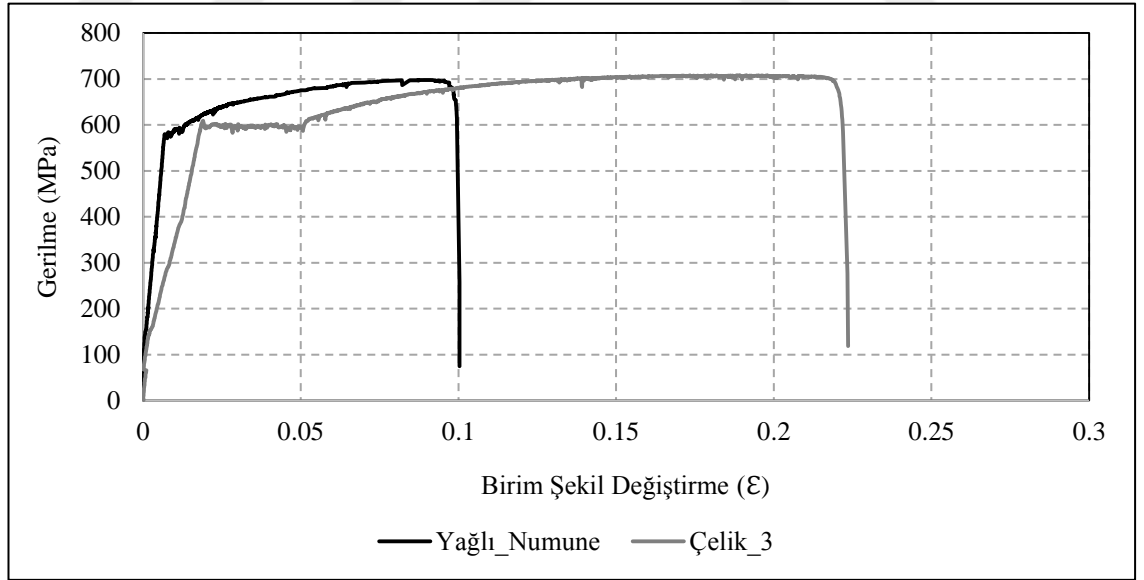
fazla yük aldığı gözlenmiştir. Gözlenen bu davranışta beton, içerisinde bulunan donatının birim şekil değiştirmesini kısıtlarken aynı zamanda daha fazla yük taşımasını sağlamaktadır. Buradan çıkarılan sonuç doğrultusunda beton ve donatı arasında bir bağ kuvveti olduğu söylenebilir.

Donatısı Yağlanmış Numune

Donatısı Yağlanmış Numune' ye ait çekme testi sonucu Çizelge 4.8' de sunulmuştur. Buna ek olarak Şekil 4.14' te deney sonucunda elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme grafiği çelik_3 donatısıyla beraber verilmiştir.

Çizelge 4.8 Donatısı Yağlanmış Numune' ye ait çekme deneyinden elde edilen sonuçlar

Donatısı Yağlanmış Numune (Donatı Çapı: 8 mm / Donatı Boyu: 50 cm)		
	Birim Şekil Değiştirme (ϵ)	Gerilme (MPa)
Akma	0,009	574
Kopma	0,100	696



Şekil 4.14 Donatısı Yağlanmış Numune' ye ait gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi



Şekil 4.15 Yağlı Numune deney sonu kırılma mekanizması

Numune içerisinde bulunan donatının beton dökümünden hemen önce yağlanarak numuneye yerleştirilmiş ve beton dökümü gerçekleştirilmiştir. Donatı yağlı olmasına rağmen Şekil 4.15’ te görüldüğü gibi deney sonunda koni biçiminde kırılma gözlenmiştir. Aynı zamanda Şekil 4.14’ te görüldüğü gibi numunenin daha az birim şekil değiştirme ile daha fazla yük taşıdığı gözlenmiştir. Bu veri sonucunda donatı ile beton arasında ki aderans sağlanmış olduğu sonucuna varılmıştır. Numune üzerinde oluşan deformasyon çekme deneyinde 22 kN yük uygulandığı esnada meydana gelmiştir. Belirtilen yükte donatı henüz akma bölgesine gelmediği gözlemlenmektedir. Bu davranışta numune yük almaya başladığı andan itibaren beton-donatı arasında oluşan bağ kuvvetinden dolayı her ikisi de aynı anda yük taşımaya başladığı sonucu çıkarılmıştır.

Boşluklu Numune Deneyleri;

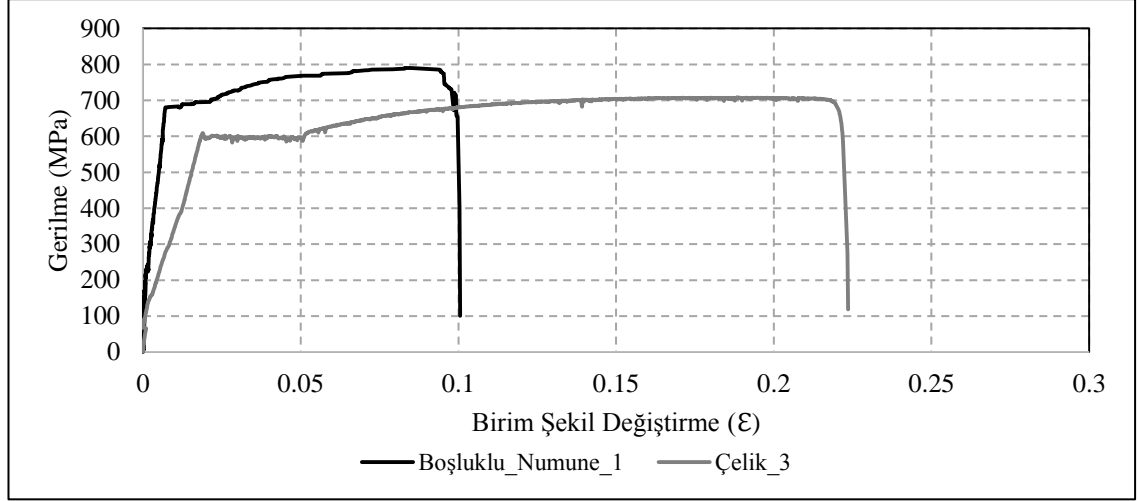
Boşluklu Numune-1

Boşluklu Numune-1’ e ait çekme testi sonucu Çizelge 4.9’ da sunulmuştur. Buna ek olarak Şekil 4.16’ da deney sonucunda elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme grafiği çelik_3 donatısıyla beraber verilmiştir.

Çizelge 4.9 Boşluklu Numune-1’ e ait çekme deneyinden elde edilen sonuçlar

Boşluklu Numune-1		
(Donatı Çapı: 8 mm / Donatı Boyu: 50 cm)		
	Birim Şekil Değiştirme (ε)	Gerilme (MPa)
Akma	0,009	669
Kopma	0,100	770

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



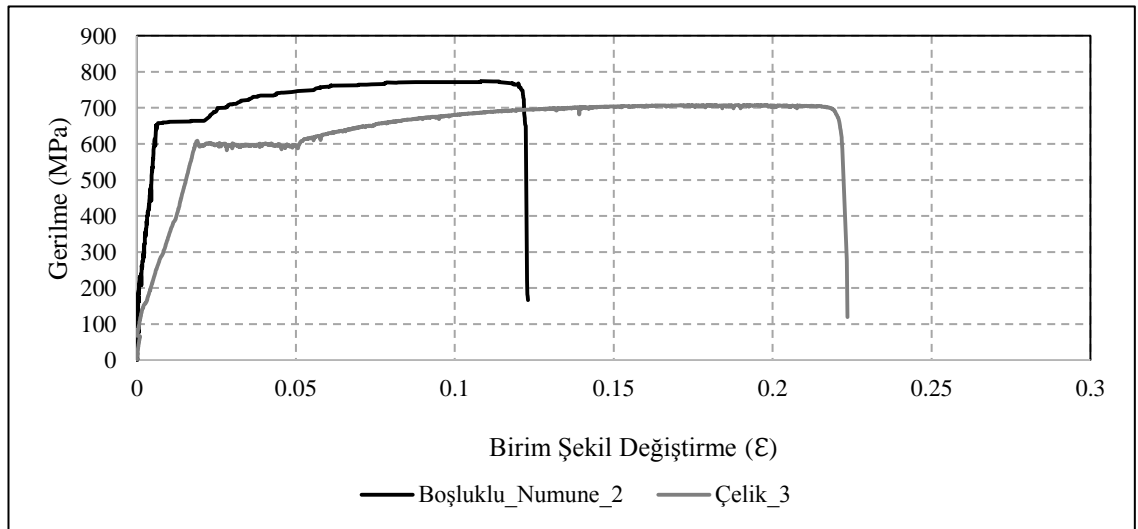
Şekil 4.16 Boşluklu Numune-1' e ait gerilme-birim şekil değişirme ilişkisi

Boşluklu Numune-2

“Boşluklu Numune-2’ ye ait çekme testi sonucu Çizelge 4.10’ da sunulmuştur. Buna ek olarak Şekil 4.17’ de deney sonucunda elde edilen gerilme-birim şekil değişirme grafiği çelik_3 donatısıyla beraber verilmiştir.

Çizelge 4.10 Boşluklu Numune-2’ye ait çekme deneyinden elde edilen sonuçlar

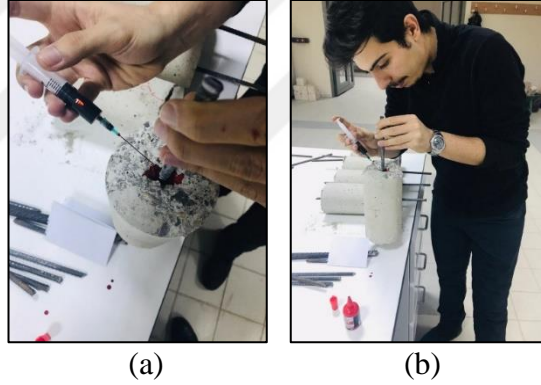
Boşluklu Numune-2 (Donatı Çapı: 8 mm / Donatı Boyu: 50 cm)		
	Birim Şekil Değişirme (ϵ)	Gerilme (MPa)
Akma	0,007	637
Kopma	0,123	739



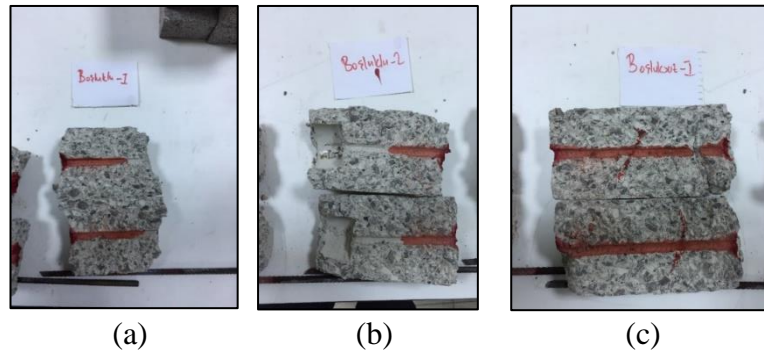
Şekil 4.17 Boşluklu Numune-2’ ye ait gerilme-birim şekil değişirme ilişkisi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

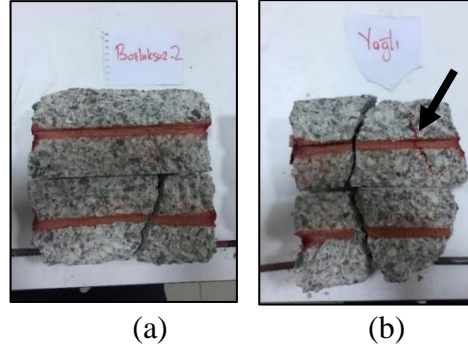
Boşluklu numunelerde diğer numunelere kıyasla akma dayanım değeri daha yüksek olduğu görülmüştür. Numunelerin alt ve üst başlarında çekme testi neticesinde gerilme yığılmaları, bırakılan boşluklar ile önlenmiştir. Bırakılan 5'er cm boşluk değeri toplam numune boyu olan 20 cm den çıkartıldığında geriye kalan kısım, beton ile donatının birbiriyle bağ kuvveti oluşturduğu 10 cm lik bölgedir. Çekme testine tabi tutulan boşluklu numunelerde daha önceki numuneler ile benzer davranışı göstermiştir. Serbest çeliğe kıyasla daha az birim şekil değiştirme yaparak daha yüksek dayanımlara ulaşmıştır. Deney sonunda numune yüzeyinde gözle görülür deformasyonlar meydana gelmediği için numunelerin içerisine kırmızı mürekkep enjekte edilmiştir. Enjekte edilen mürekkep, çekme testi sırasında iç kuvvetlerin meydana getirdiği kılcal çatlaklardan ilerleme göstermiştir. Daha sonra bu numuneler tam ortadan yani donatının beton ile temas ettiği yüzeyden kırılarak incelenmiştir. Bu işlemde iç kuvvetlerden meydana gelen çatlaklara sızan mürekkep ile kılcal çatlakların daha rahat görülmesi sağlanmıştır.



Şekil 4.18 (a) ve (b) Birinci tip deney numunelerine mürekkep enjekte edilmesi



Şekil 4.19 (a) Boşluklu-1 numune içi çatlak detayı, (b) Boşluklu-2 numune içi çatlak detayı, (c) Boşluksuz-1 numune içi çatlak detayı



Şekil 4.20 (a) Boşluksuz-2 numune içi çatlak detayı, (b) Yağlı numune içi çatlak detayı



Şekil 4.21 Birinci tip deney numuneleri içi çatlak detayı

Deneye tabi tutulan numunelere mürekkep enjekte edip yarıldıktan sonra iç kuvvetlerin meydana getirdiği kılcal çatlaklar “Boşluksuz-2 ve Donatısı Yağlanmış Numune” de tespit edilmiştir. Bu kılcal çatlaklar beton ile donatı arasında bağ kuvvetinin varlığını kanıtlar niteliktedir.

Bağ kuvvetinin olduğunu; kanıtlar nitelikte gözle görülür şekilde deformasyona uğrayan numuneler, boşluksuz numunelerdir. Burada gerilme yığılmaları meydana geldiği için koni şeklinde numunenin alt ve üst kısmında beton, donatıdan ayrılmıştır.

4.2.2. İkinci Tip Deney Numunesi

Birinci tip deney numunesi sonucunda donatı çapının, beton-donatı arasındaki bağ kuvvetinin oluşmasında yetersiz kaldığı gözlenmiştir. Ayrıca donatı çapının numune çevresine oranla küçük olduğu için numune yüzeyinde deformasyonlar gözlenememiştir. Bununla beraber donatının beton ile temas boyu kısa olduğu tespit edilmiştir. Yapılan birinci tip deney numunesinde bu sorunlar tespit edilerek ikinci tip deney numunesinin yapılmasına karar verilmiştir. Numune özellikleri ve boyutları materyal ve yöntem

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

kısmında açıklanmış olup bu bölümde numunelerin deney sonuçları verilerek yorumlanmıştır. Yedi günlük dayanıma sahip 1Ø14 (1 adet 14 mm çapında donatı), 1Ø16 ve 1 adet küp numune deneye tabi tutulmuş olup sonuçları verilmiştir. Hazırlanan silindir numuneler Ø14/1, Ø14/2, Ø14/3, Ø16/1, Ø16/2 ve Ø16/3 şeklinde isimlendirilmiştir. İlk olarak numunede kullanılan betonların basınç dayanımı testi yapılmıştır.

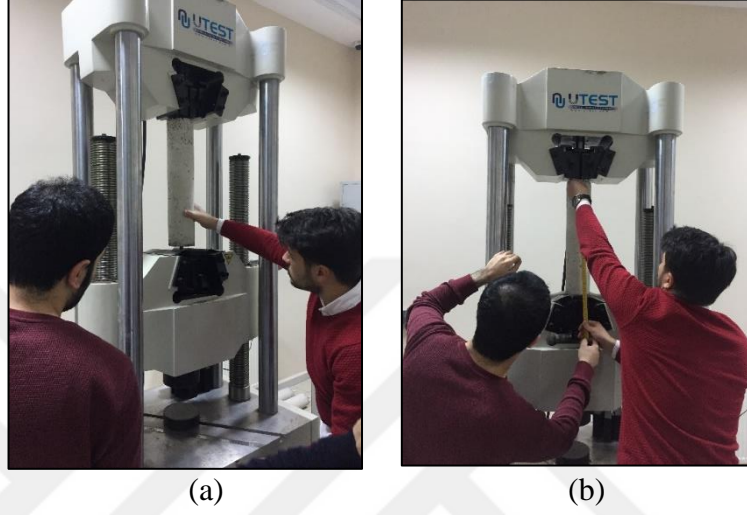
Basınç deneyi sonucunda S1 numunesinden elde edilen 7 günlük basınç dayanımı 26,6 MPa olarak belirlenmiştir. C30 (30 MPa) olarak tasarlanan betonun 7 günlük basınç dayanımı bu değerin %70 ine karşılık gelen 21 MPa olarak beklenirken, bu değerden yüksek bir dayanım elde edilmesi, üretilen betonun istenilen dayanımda elde edilmiş olmasının göstergesidir. Basınç dayanımının elde edilmesinin ardından, üretilen silindir numuneler tıpkı birinci tip deney numunesine uygulandığı gibi çekme testine tabi tutulmuştur.

Silindir Numune Deneyleri

İkinci tip numune deneyleri kapsamında ilk olarak Ø14/3 Numunesi düzeneğe alınmıştır. Önceden hazırlanan numune çekme cihazında yerleşimi tamamlandıktan sonra çekme cihazının çeneler arasındaki mesafe ve beton ilk boy değeri kaydedilmiştir. Kaydedilen bu veriler numune üzerinde meydana gelen birim şekil değıştirmenin tespiti için kullanılmıştır. Deney esnasında beton yüzeyinde oluşan deformasyonlar yük kontrollü olarak takip edilmiş olup deformasyon olan bölgelerde hangi yük altında meydana geldiği numune üzerinde kırmızı kalem ile not edilmiştir.

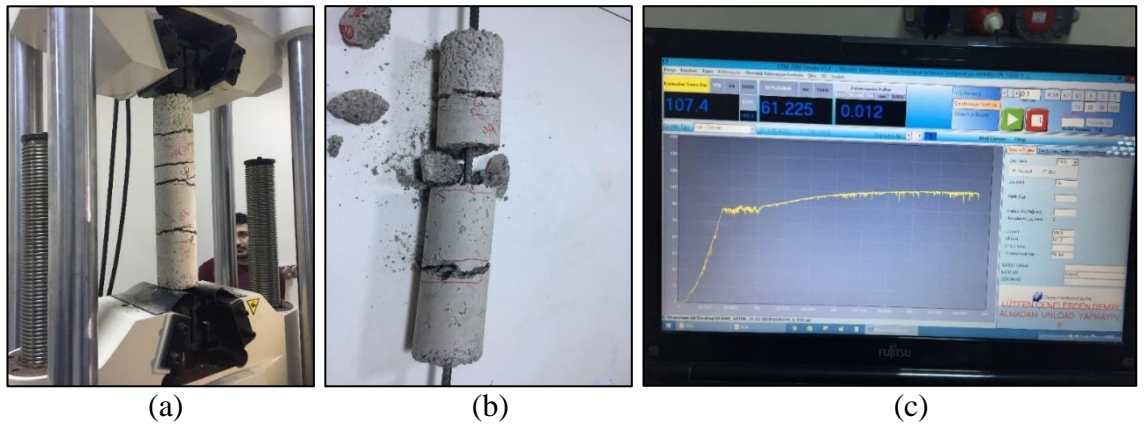
Ø14/3 Numunesi

Şekil 4.22’ de görüldüğü gibi ilk etapta Ø14/3 olarak adlandırılan donatıya sarılı beton numunesi seçilmiş olup, çekme cihazına numune yerleştirilerek gerekli olan çeneler arası mesafe kaydedilmiştir.



Şekil 4.22 (a) Ø14/3 Numunesinin düzeneğe alınması, (b) Ø14/3 Numunesinin ilk boy ölçümü

Çekme işlemi sonuçlandırıldığında Şekil 4.23’ te görüldüğü gibi deformasyonla sonuçlanmıştır.



Şekil 4.23 (a) ve (b) Ø14/3 Numune deformasyonu, (c) Ø14/3 numunesine ait deney ekran görüntüsü

Çizelge 4.11’ de görüldüğü gibi Ø14/3 betonarme numunesi ve bu numune içerisinde kullanılan eş değer olan 30 cm uzunluğunda ki Ø14 donatısı çekme testine tabi

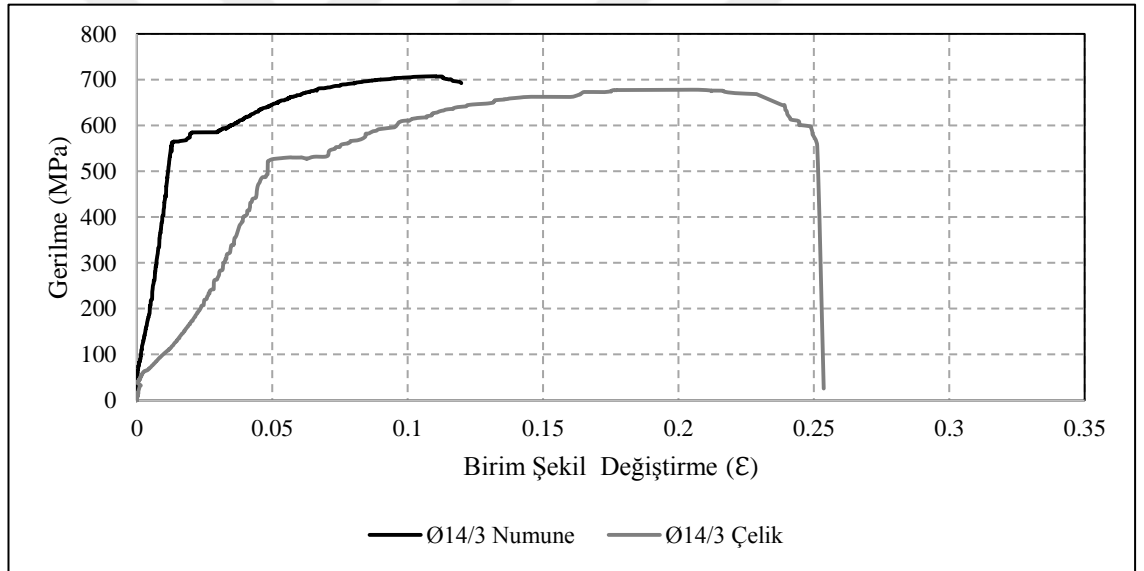
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

tutulmuştur. Yapılan çekme testi sonucunda elde edilen veriler Şekil 4.24' te aynı grafik üzerinde sunularak karşılaştırılmıştır.

Betonarme numune çekme testi sırasında yaşanan teknik arıza neticesinde kopma dayanımına kadar deney devam ettirilememiştir. Bu yüzden kopma birim şekil değiştirmesi ve kopma gerilmesi boş bırakılmıştır.

Çizelge 4.11 Ø14/3 numunesi ve Ø14/3 çelik donatısına ait çekme deneyinden elde edilen sonuçlar

	Ø14/3 Numunesi		Ø14/3 Çelik Donatı	
	Gerilme (MPa)	Birim Şekil Değişirme (ε)	Gerilme (MPa)	Birim Şekil Değişirme (ε)
Akma	551	0,014	510	0,051
Kopma	-	-	633	0,244

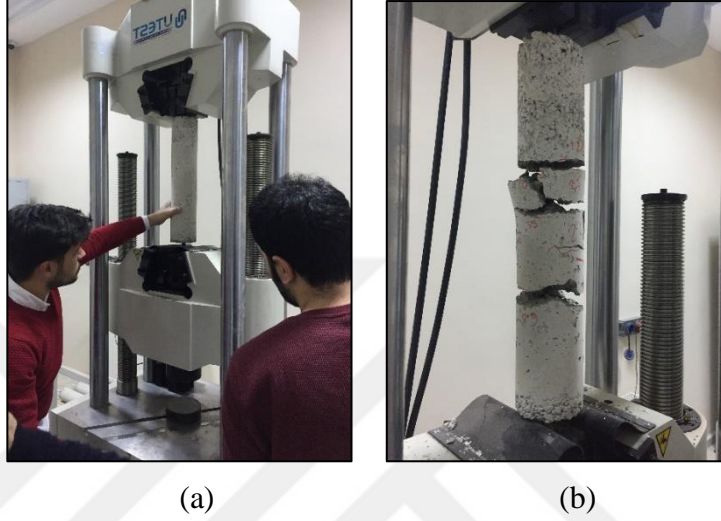


Şekil 4.24 Ø14/3 numunesi - Ø14/3 çelik donatı arasındaki gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi

Karşılaştırma sonucu betonarme numune akma dayanımının salt çelik donatısının akma dayanımından 40 MPa fazla olduğu gözlenmiştir. Grafikte göze çarpan diğer bir husus ise betonarme numunenin salt çelik donatısına göre yaklaşık 5 kat daha az birim şekil değiştirmeye uğrayarak daha fazla yük aldığı gözlenmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda donatı-beton arasında bağ kuvvetinin sağlandığını ve numunenin betonarme bir eleman davranışı gösterdiği düşünülmektedir.

Ø16/3 Numunesi

Ø16/3 olarak adlandırılan beton numunesi deney düzeneğine alınmış olup Şekil 4.25’ te görüldüğü gibi çekme cihazına yerleştirilerek gerekli olan çeneler arası mesafe kaydedilmiştir.

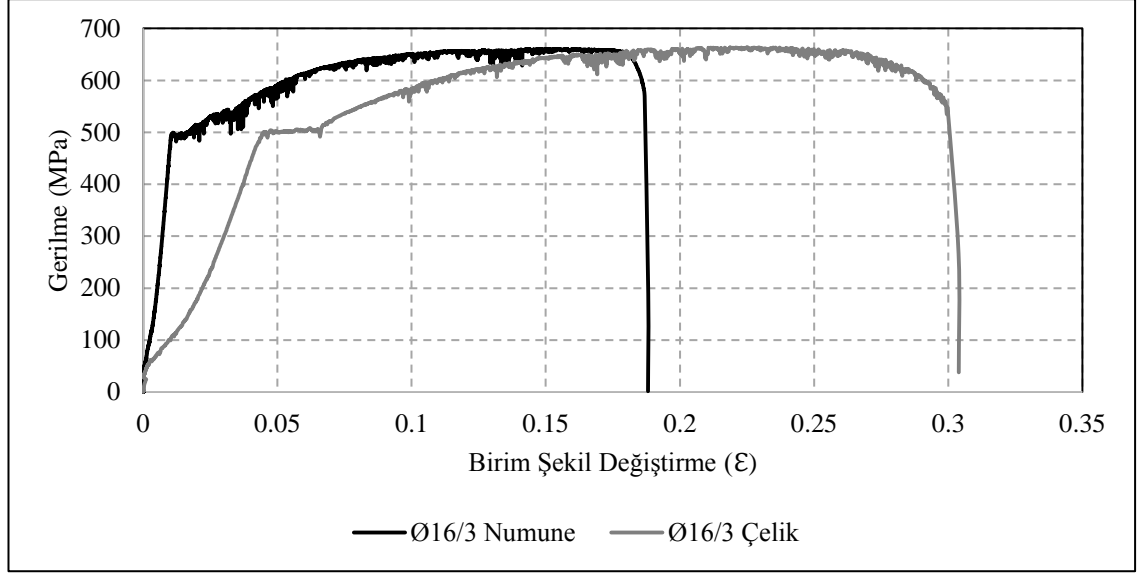


Şekil 4.25 (a) Ø16/3 Numunesi deney aşaması, (b) Ø16/3 Numunesi deformasyonu

Çizelge 4.12’ te görüldüğü gibi Ø16/3 betonarme numunesi ve bu numune içerisinde kullanılan eş değer olan 30 cm uzunluğunda ki Ø16 donatısı çekme testine tabi tutulmuştur. Yapılan çekme testi sonucunda elde edilen veriler Şekil 4.26’ da aynı grafik üzerinde sunulurak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu betonarme numunenin salt çelik donatısından akma dayanımında 32 MPa fazla olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 4.12 Ø16/3 numunesi ve Ø16/3 çelik donatısına ait çekme deneyinden elde edilen sonuçlar

	Ø16/3 Numunesi		Ø16/3 Çelik Donatı	
	Gerilme (MPa)	Birim Şekil Değişirme (ε)	Gerilme (MPa)	Birim Şekil Değişirme (ε)
Akma	458	0,013	490	0,046
Kopma	647	0,183	642	0,268



Şekil 4.26 Ø16/3 numunesi - Ø16/3 çelik donatı arasındaki gerilme-birim şekil değişirme ilişkisi

Grafikte göze çarpan diğer bir husus betonarme numunenin salt çelik donatısına göre yaklaşık 4 kat daha az birim şekil değiştirmeye uğrayarak daha fazla yük aldığı gözlenmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda donatı-beton arasında bağ kuvvetinin sağlandığını ve numunenin betonarme bir eleman davranışı gösterdiği saptanmıştır.

Beton dayanımı 7 günlük olan deney numuneleri testleri tamamlandıktan sonra 28 günlük beton dayanımına sahip numunelerde aynı testler uygulanmıştır.

28 Günlük Numunelerin Deneylerinin Yapılması:

Ø14/1, Ø14/2 ve Ø16/1, Ø16/2 numuneleri ve 3 adet küp numunesi test edilmiştir. İlk olarak Çizelge 4.13' te küp numunelerin dayanımları sunulmuştur. Bu deneyde yeni bir düzenek kurulup bu düzenekte 30 mm ölçüm kapasiteli ekstansometre kullanılmıştır. Bu ekstansometre beton uzamasının tayini için kullanılmıştır.

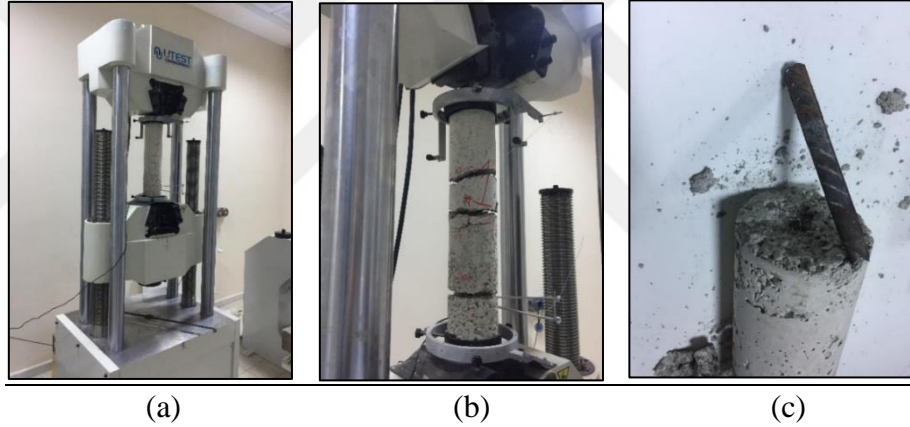
Çizelge 4. 13 İkinci tip deney numunesine ait 28 günlük küp numune basınç dayanımları

Küp Numune Adı	Basınç Dayanımı (MPa)
S1	35
S2	34
S3	33
Ortalama	34

Silindir Numune Deneyleri

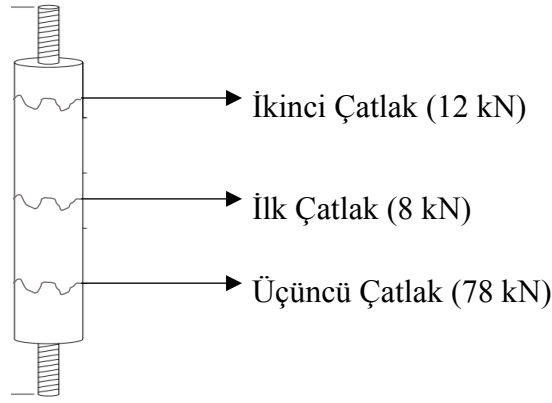
Ø14/1 Numunesi

Düzeneğe alınan Ø14/1 numunesi üzerinde kullanılan ekstansometrede kaydedilen verilerin periyodu ile çekme cihazının veri kayıt periyodu eşitlenmiştir. Bu sayede deney başladığında çekme testine tabi tutulan numune üzerinde artan yükler altında oluşan uzama ile ekstansometrenin kaydettiği uzama değerleri senkron duruma getirilmiştir. Şekil 4.27’ de verilen çoklu görsellerde sırasıyla; kullanılan numunenin yeni ölçüm düzeneği altında çekme cihazına sabitlenmesi, deney aşamasında betonda meydana gelen kırılmalar ve deney sonucunda beton içerisinde kullanılan donatının kırılma görseli sunulmuştur.



Şekil 4.27 (a) Ø14/1 Numunesi deney aşaması, (b) betonda meydana gelen kırılmalar, (c) beton içerisinde kullanılan donatının kırılma görseli.

Deney sırasında beton yüzeyinde oluşan çatlaklar Şekil 4.28’ de simüle edilerek görsel olarak sunulmuştur. Bu görselde deney sırasında hangi yük altında betonun hangi bölgesinde deformasyon meydana geldiği numune üzerinde işaretlenerek kayıt altına alınmıştır. Deney sonrasında meydana gelen deformasyonlar Şekil 4.28’ de ki gibi numune üzerinde gösterilmiştir. Deney süresince üç çatlaktan daha fazla çatlak meydana gelmiştir. Şekilde gösterilmeyen çatlaklar kılcal çatlakları olup Çizelge 4.14’ te detayları sunulmuştur.



Şekil 4.28 Ø14/1 Numunesine ait çatlak oluşum deseni

Çizelge 4.14 Ø14/1 Numunesi eksenel çekme deneyine ait teknik bilgiler

Ekstansometre Ölçüm Aralığı	412 mm
Çekme Cihazı İki Çene Arası Mesafe	515 mm
İlk Çatlak Yüğü	8 kN
İkinci Çatlak Yüğü	12 kN
Üçüncü Çatlak Yüğü	78 kN
Dördüncü Çatlak Yüğü	81 kN
Beşinci Çatlak Yüğü	83 kN
Altıncı Çatlak Yüğü	95 kN

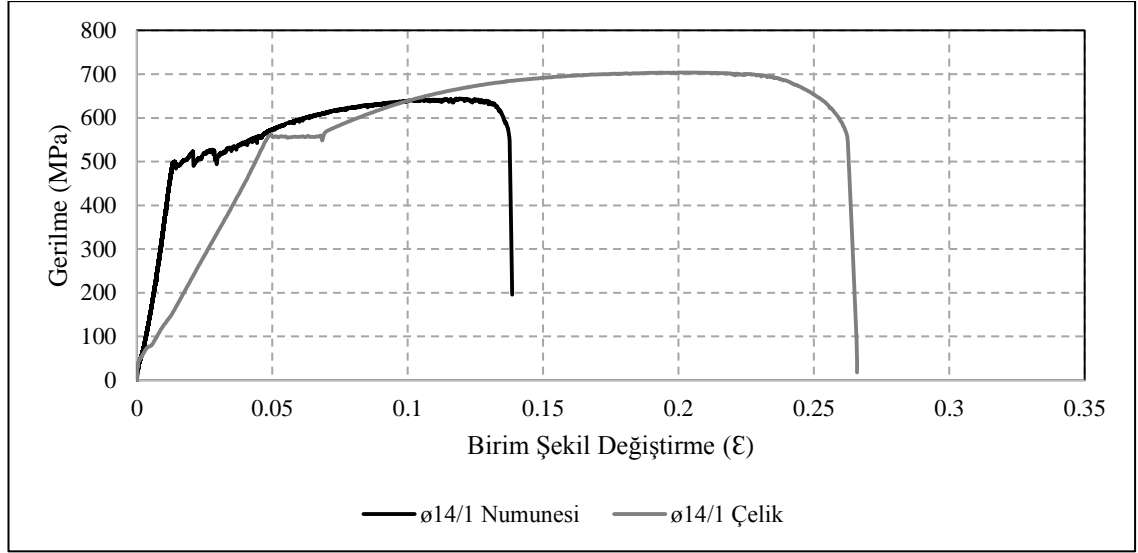
Çizelge 4.15' te verilen akma ve kopma yükleri anında beton numunenin ve ayrıca çekme testine tabi tutulan salt çelik donatısının birim şekil değıştirme değeri sunulmuştur.

Çizelge 4.15 Ø14/1 numunesi ve Ø14/1 çelik donatısına ait çekme deneyinden elde edilen sonuçlar

	Ø14/1 Numunesi		Ø14/1 Çelik Donatı	
	Gerilme (MPa)	Birim Şekil Değıştirme (ε)	Gerilme (MPa)	Birim Şekil Değıştirme (ε)
Akma	503	0,0144	556	0,0504
Kopma	631	0,1207	698	0,2324

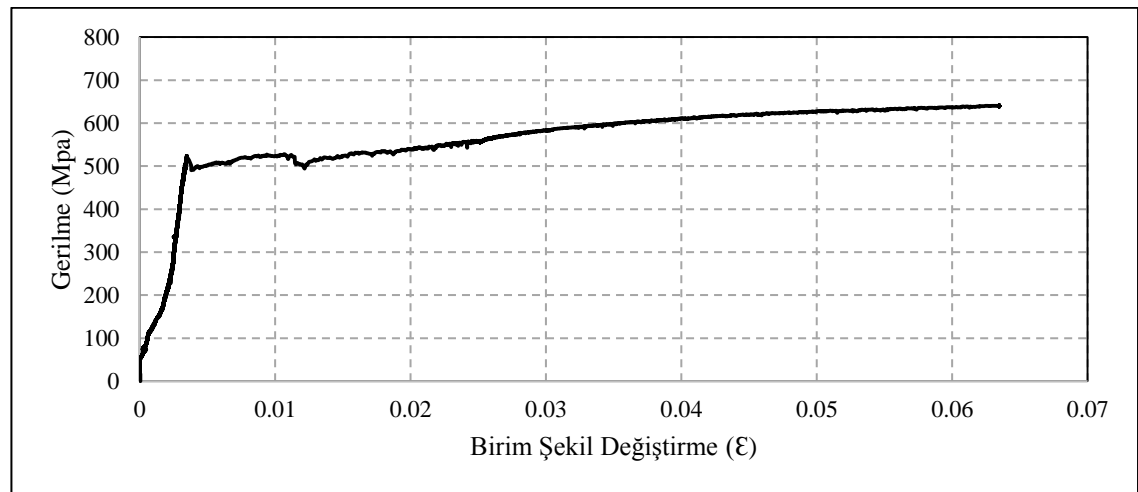
Bu veriler ayrıca Şekil 4.29' da görüldüğü gibi grafikte sunulmuştur. Grafikte Ø14/1 numunesi ve Ø14/1 çelik donatısı birlikte çizdirilerek yorumlanmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.29 Ø14/1 numunesi - Ø14/1 çelik donatı arasındaki gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi

Şekil 4.29 incelendiği zaman çelik donatının, kopma yükü altında birim şekil değiştirmesi numuneden fazla olduğu gözlenmiştir. Bu farkın meydana gelmesindeki neden, donatının beton ile bağ kuvveti oluşturması sonucu birim şekil değiştirmesini kısıtlamaktadır. Bu kısıtlama neticesinde gözlemlenmek istenen davranış genel olarak daha az birim şekil değiştirme ile daha fazla yük taşıma kapasitesine ulaşmaktır. Yapılan mevcut deneyde yük kapasitesinde istenilen sonuç elde edilememiş olsa da yapılan önceki deneylerde bu davranış gözlenmiştir. Betonarme numunenin deney sırasında oluşan beton yüzeyindeki çatlak genişlikleri ekstansometre kullanılarak kaydedilmiş olup beton yüzeyinin yük altında birim şekil değiştirme ilişkisi verilmiştir (Şekil 4.30).



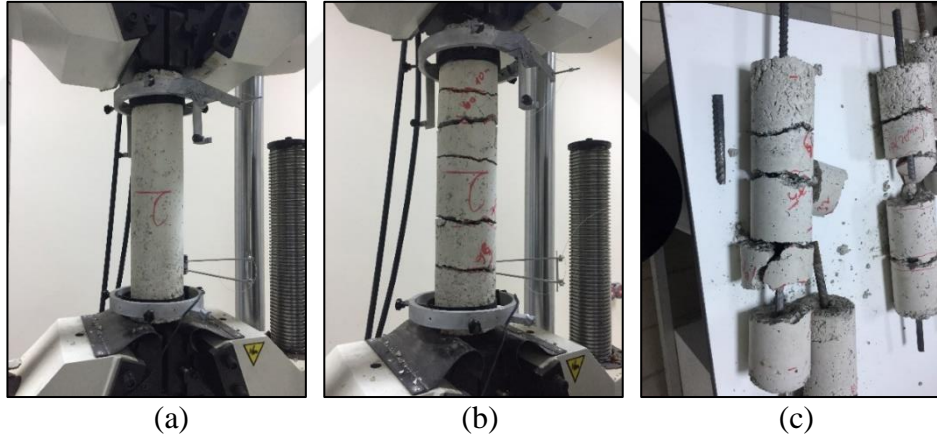
Şekil 4.30 Ø14/1 Betonarme numunenin beton yüzeyinin gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Şekil 4.30' da verilen grafikte görüldüğü üzere donatı akma kapasitesine ulaşana kadar kılcal çatlaklar neticesinde oluşan birim şekil değiştirme gözlenmiştir. Donatıyla beraber çalışan beton, donatı aktıktan sonra kılcal çatlaklar yerini geniş çatlaklara bırakarak deformasyona uğradığı gözlenmiştir. Bu gözlemi, elde edilen grafikte ki sayısal değerler destekler niteliktedir. Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda varılan noktada, beton ile donatı arasındaki bağ kuvvetinin oluştuğunu ve eksenel çekme deneyinde beraber çalıştığı gözlenmiştir.

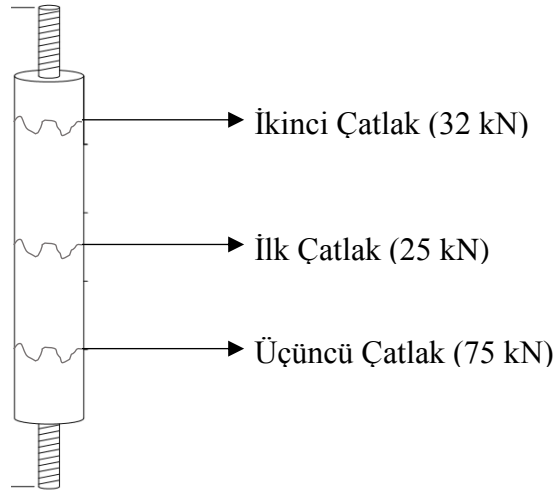
Ø14/2 Numunesi

Şekil 4.31' de verilen çoklu görselde sırasıyla; kullanılan numunenin yeni ölçüm düzeneği altında çekme cihazına sabitlenmesi, deney aşamasında betonda meydana gelen kırılmalar ve deney sonucunda beton içerisinde kullanılan donatının kırılma görseli sunulmuştur.



Şekil 4.31 (a) Ø14/2 Numunesi deney aşaması, (b) betonda meydana gelen kırılmalar, (c) beton içerisinde kullanılan donatının kırılma görseli.

Deney Ø14/1' de gösterildiği gibi deney Ø14/2' de de numune üzerinde meydana gelen deformasyonların hangi yükler altında hangi sıra ile meydana geldiği Şekil 4.32' de gösterilmiştir.



Şekil 4.32 Ø14/1 Numunesine ait çatlak oluşum deseni

Şekil 4.32’ de yalnızca ilk üç çatlak gösterilmiş olsa da meydana gelen diğer çatlakların hangi yükte meydana geldiği Çizelge 4.16’ da detaylı bir şekilde sunulmuştur.

Çizelge 4.16 Ø14/2 Numunesi aksenal çekme deneyine ait teknik bilgiler

Ekstansometre Ölçüm Aralığı	405 mm
Çekme Cihazı İki Çene Arası Mesafe	514 mm
İlk Çatlak Yüğü	25 kN
İkinci Çatlak Yüğü	32 kN
Üçüncü Çatlak Yüğü	75 kN
Dördüncü Çatlak Yüğü	93 kN
Beşinci Çatlak Yüğü	100 kN

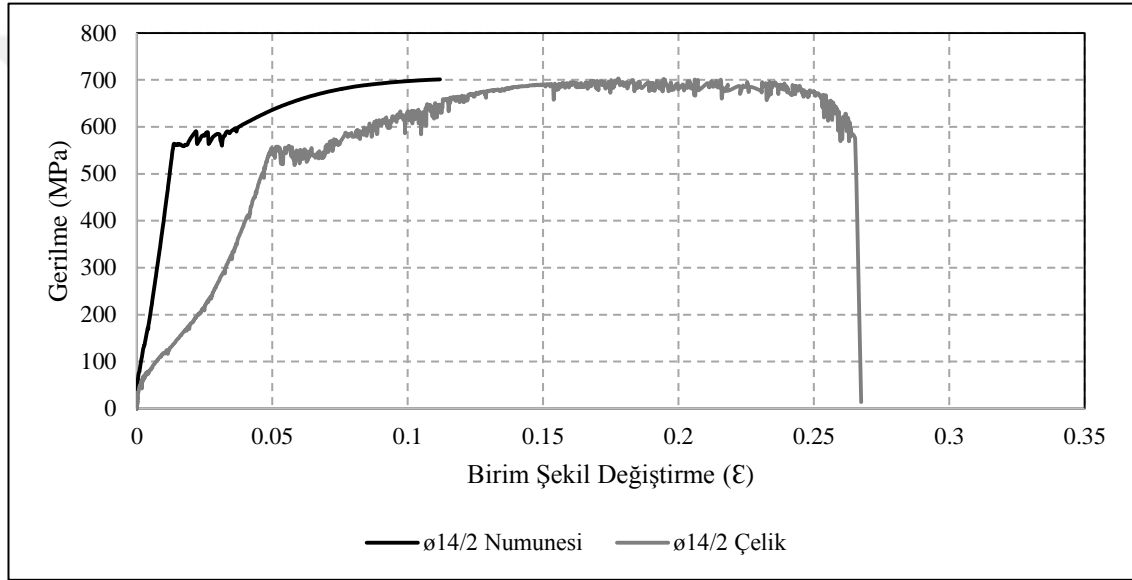
Deney sonucunda kaydedilen veriler doğrultusunda Çizelge 4.17’ de verilen akma ve kopma yükleri anında beton numunenin ve ayrıca çekme testine tabi tutulan çelik donatının birim şekil değıştirme değerleri sunulmuştur. Sunulan bu değerlerde Ø14/2 deney numunesine ait kopma yüğü ve birim şekil değıştirme değerleri deney sırasında yaşanan sorun neticesinde tespit edilememiştir. Deney ekstansometreye bağı deformasyon kontrollü gerçekleştirilmiştir. Fakat ekstansometrenin kapasitesi 30 mm olduğı için bu değere geldiğinde deney cihaz tarafından sonlandırılmıştır. Bu sorundan dolayı numuneye ait kopma değerleri satırı boş bırakılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.17 Ø14/2 numunesi ve Ø14/2 çelik donatısına ait çekme deneyinden elde edilen sonuçlar

	Ø14/2 Numunesi		Ø14/2 Çelik Donatı	
	Gerilme (MPa)	Birim Şekil Değişirme (ε)	Gerilme (MPa)	Birim Şekil Değişirme (ε)
Akma	562	0,0169	533	0,0529
Kopma	-	-	680	0,265

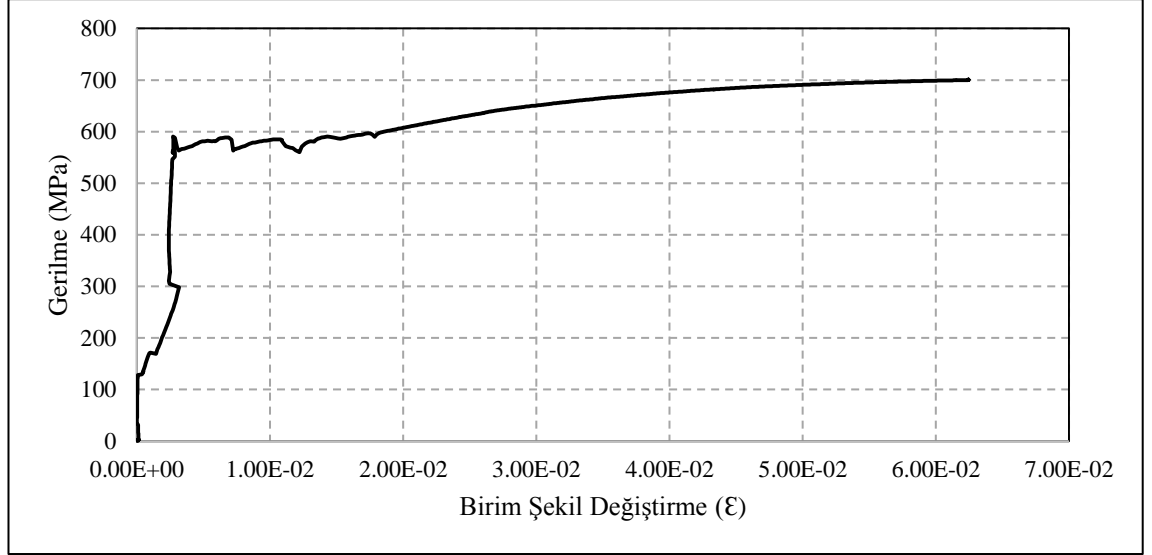
Çizelge 4.19’ da verilen değerlerin daha detaylı yorumlanabilmesi doğrultusunda Şekil 4.33’ te grafik sunulmuştur. Bu grafikte numune ve donatı aynı anda çizdirilerek karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır.



Şekil 4.33 Ø14/2 numunesi - Ø14/2 çelik donatı arasındaki gerilme-birim şekil değişirme ilişkisi

Çizelge 4.19’ da görüldüğü gibi numunenin akma yükü çelikten yaklaşık 29 MPa fazla olduğu gözlemlenmiştir. Deneyin cihaz tarafından sonlandırılmasından dolayı bu yorum kopma yükü için gerçekleştirilememektedir.

Betonarme numunenin deney sırasında oluşan beton yüzeyindeki çatlak genişlikleri ekstansometre kullanılarak kaydedilmiş olup beton yüzeyinin yük altında birim şekil değişirme ilişkisi verilmiştir (Şekil 4.34).

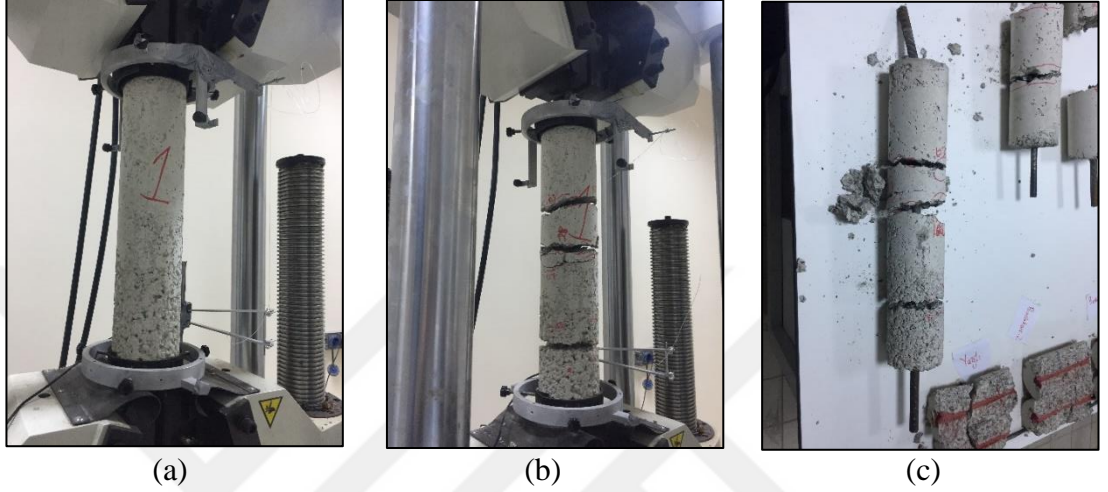


Şekil 4.34 Ø14/2 Betonarme numunenin beton yzeyinin gerilme-birim Şekil değiştirme ilişkisi

Ø14/1 numunesinde gerçekleştirilen yorum Ø14/2 numunesi içinde geçerli olacaktır. Çekme testine tabi tutulan numune içerisinde bulunan donatı, akma dayanımı kapasitesine ulaşana kadar beton üzerinde kılcal çatlaklar oluŐturmuŐtur. Donatı aktıktan sonra beton yzeyinde oluşan kılcal çatlaklar yerini geniş çatlaklara bırakarak birim Şekil değiştirme miktarı Şekil 4.34' te görüldüğü gibi artarak devam etmiştir. Elde edilen bu veriler doğrultusunda donatı ile beton arasında bağ kuvvetinin oluştuğunu destekler niteliktedir.

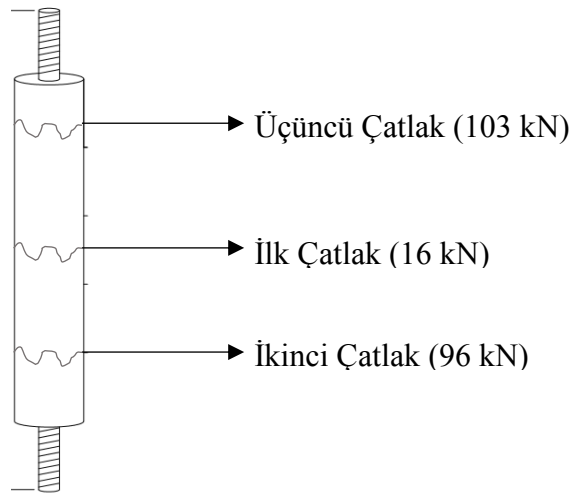
Ø16/1 Numunesi

Eksenel çekme testine tabi tutulan Ø16/1 numunesi deney görüntüsü Şekil 4.35’ te açıklamaları ile sunulmuştur. Deformasyon kontrollü deney yapılmış olup çatlakların ilk oluştuğu yükler not edilmiştir.



Şekil 4.35 (a) Ø16/1 Numunesi deney aşaması, (b) betonda meydana gelen kırılmalar, (c) beton içerisinde kullanılan donatının kırılma görseli.

Eksenel çekme uygulanan numunelerde hangi yükler altında numunenin hangi bölgesinde çatlak meydana geldiği Şekil 4.36’ da sunulmuştur. Aynı zamanda çizelge 4.18’ de numuneye ait bilgilerde sunulmuştur.



Şekil 4.36 Ø16/1 Numunesine ait çatlak oluşum deseni

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.18 Ø16/1 Numunesi aksenal çekme deneyine ait teknik bilgiler

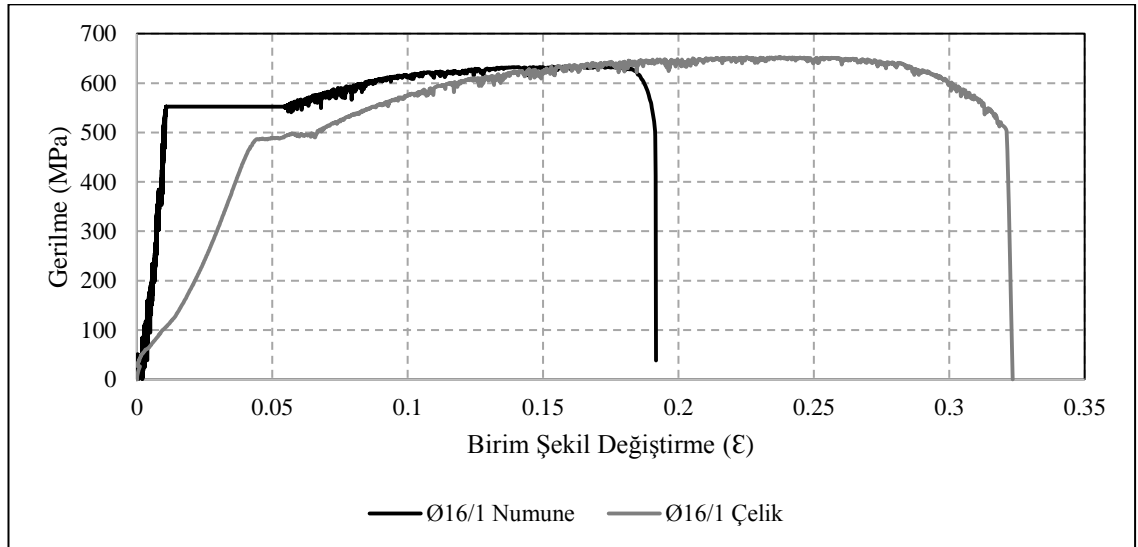
Ekstansometre Ölçüm Aralığı	454 mm
Çekme Cihazı İki Çene Arası Mesafe	523 mm
İlk Çatlak Yüğü	16 kN
İkinci Çatlak Yüğü	96 kN
Üçüncü Çatlak Yüğü	103 kN

Çizelge 4.19’ da aksenal çekme testine tabi tutulmuş Ø16/1 numunesinin ve Ø16/1 Çelik donatısının akma ve kopma gerilmelerine karşılık gelen birim şekil değıştirmeleri sunulmuştur.

Çizelge 4.19 Ø16/1 numunesi ve Ø16/1 çelik donatısına ait çekme deneyinden elde edilen sonuçlar

	Ø16/1 Numunesi		Ø16/1 Çelik Donatı	
	Gerilme (MPa)	Birim Şekil Değıştirme (ε)	Gerilme (MPa)	Birim Şekil Değıştirme (ε)
Akma	542	0,0104	485	0,0429
Kopma	622	0,185	641	0,321

Çizelgede sunulan değırlere ek olarak aksenal çekme deneyinden elde edilen veriler Şekil 4.37’ de grafik formatında da sunulmuştur.



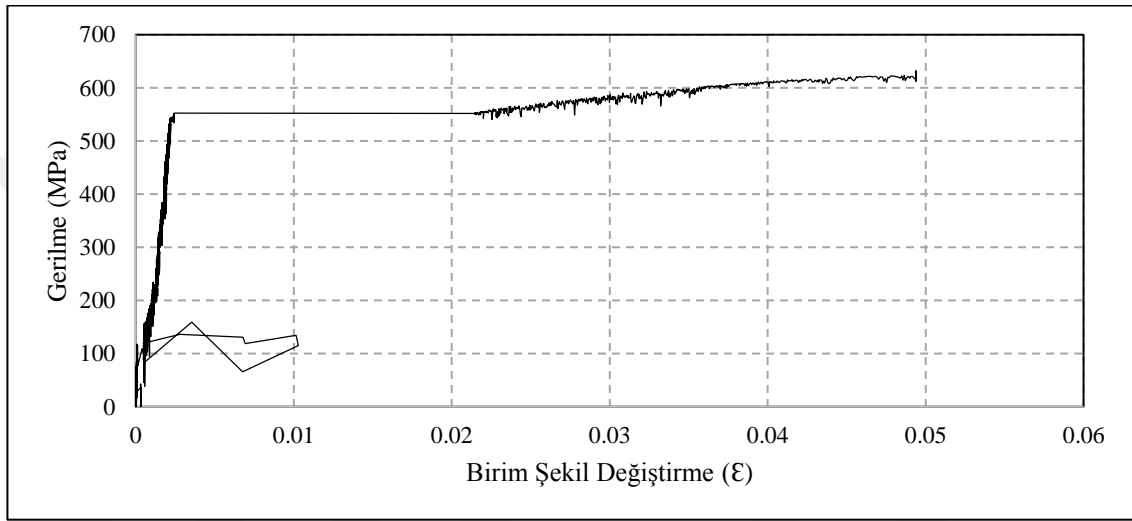
Şekil 4.37 Ø16/1 numunesi - Ø16/1 çelik donatı arasındaki gerilme-birim şekil değıştirme ilişkisi

Sunulan grafikte çekme kuvveti altında kalan numune, akma gerilmesine kadar uğradığı birim şekil değıştirme salt çelik donatısıyla kıyaslandığında daha az şekil

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

değiştirdiği fakat daha fazla gerilme altında aktığı gözlemlenmiştir. Bu yorum neticesinde numune içerisinde bulunan donatı ile etrafını saran beton arasında aderans olduğu gözlenmiştir.

Betonarme numunenin deney sırasında oluşan beton yüzeyindeki çatlak genişlikleri ekstansometre kullanılarak kaydedilmiş olup beton yüzeyinin yük altında birim şekil değiştirme ilişkisi Şekil 4.38’ de verilmiştir.

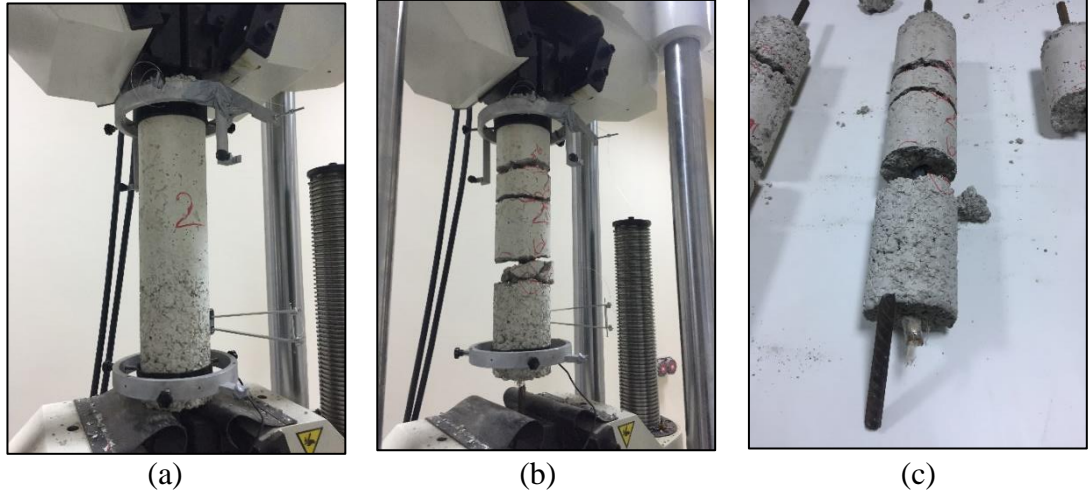


Şekil 4.38 Ø16/1 betonarme numunenin beton yüzeyinin gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi

Ø16/1 betonarme numunenin beton yüzeyinin gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi grafiğindeki 115 MPa değerinde 0,01 birim şekil değiştirme hareketi, numune üzerinde deformasyonların hangi yükler altında olduğunun işaretlenmesi esnasında ekstansometreye istemsiz bir temas sonucu kaydedilmiştir.

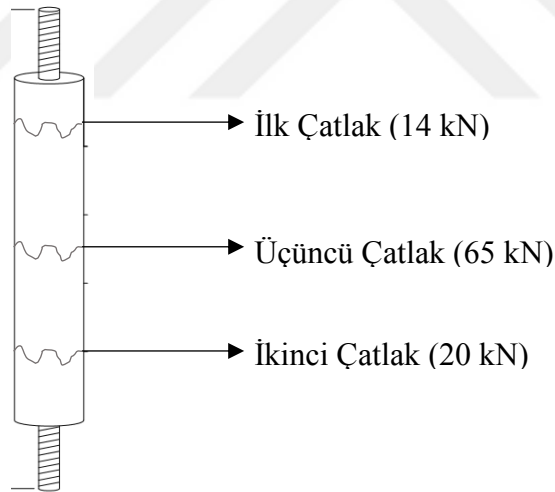
Ø16/2 Numunesi

Eksenel çekme testine tabi tutulan Ø16/2 numunesi deney görüntüsü Şekil 4.39’ da açıklamaları ile sunulmuştur. Deformasyon kontrollü deney yapılmış olup çatlakların ilk olduğu yükler not edilmiştir.



Şekil 4.39 (a) Ø16/2 Numunesi deney aşaması, (b) betonda meydana gelen kırılmalar, (c) beton içerisinde kullanılan donatının kırılma görseli.

Eksenel çekme uygulanan numunelerde hangi yükler altında numunenin hangi bölgesinde çatlak meydana geldiği Şekil 4.40' ta sunulmuştur. Aynı zamanda çizelge 4.20' de numuneye ait bilgilerde sunulmuştur.



Şekil 4.40 Ø16/2 Numunesine ait çatlak oluşum deseni

Çizelge 4.20 Ø16/2 Numunesi eksenel çekme deneyine ait teknik bilgiler

Ekstansometre Ölçüm Aralığı	400 mm
Çekme Cihazı İki Çene Arası Mesafe	515 mm
İlk Çatlak Yükü	14 kN
İkinci Çatlak Yükü	20 kN
Üçüncü Çatlak Yükü	65 kN
Dördüncü Çatlak Yükü	94 kN

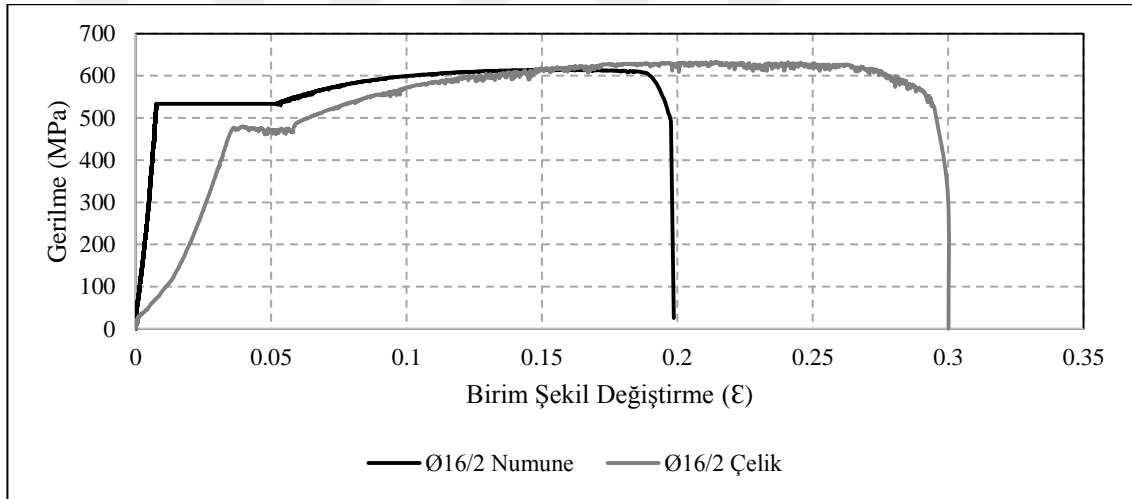
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.21’ de aksenal çekme testine tabi tutulmuş Ø16/2 numunesinin ve Ø16/2 çelik donatısının akma ve kopma gerilmelerine karşılık gelen birim şekil değiştirmeleri sunulmuştur.

Çizelge 4.21 Ø16/2 numunesi ve Ø16/2 çelik donatısına ait çekme deneyinden elde edilen sonuçlar

	Ø16/2 Numunesi		Ø16/2 Çelik Donatı	
	Gerilme (MPa)	Birim Şekil Değişirme (ε)	Gerilme (MPa)	Birim Şekil Değişirme (ε)
Akma	533	0,0075	470	0,0345
Kopma	618	0,191	624	0,295

Çizelgede sunulan değerlere ek olarak aksenal çekme deneyinden elde edilen veriler Şekil 4.41’ de grafik formatında da sunulmuştur.

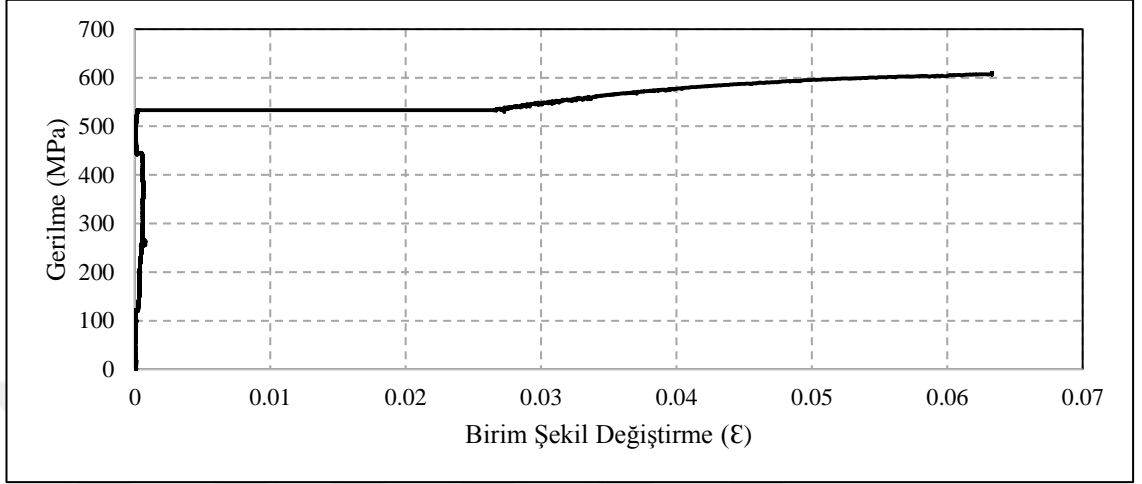


Şekil 4.41 Ø16/1 numunesi - Ø16/1 çelik donatı arasındaki gerilme-birim şekil değişirme ilişkisi

Çizelge 4.41’ de görüldüğü gibi numunenin akma gerilmesi salt çelik donatısından yaklaşık 60 MPa daha fazla yük alarak akma eylemini göstermiştir. Oluşan bu fark donatı-beton arasındaki aderans kuvvetinden kaynaklanmaktadır. Betonun çeliği sararak oluşturduğu bağ kuvveti sayesinde numune salt çeliğe göre daha fazla yük kapasitesine sahip olurken şekil değiştirmesi çeliğe nazaran daha azdır. Bağ kuvveti yük kapasitesini arttırırken şekil değiştirmeyi azalttığı görülmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

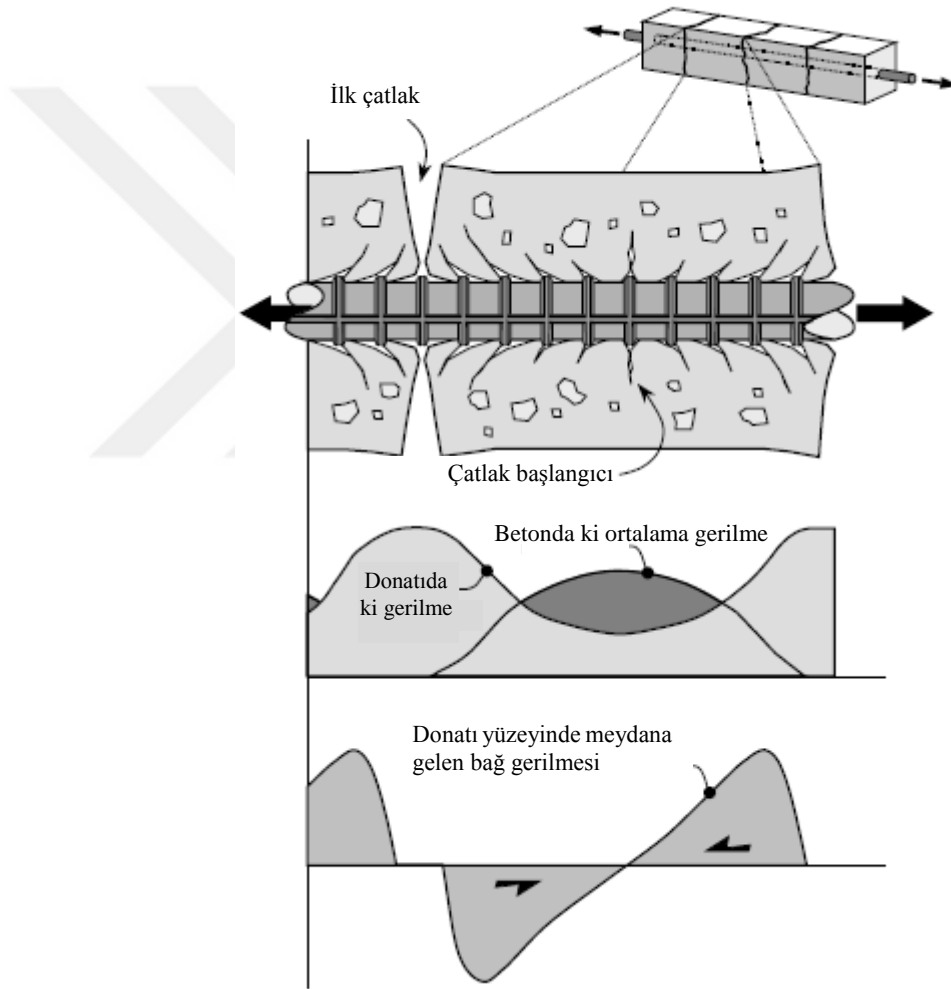
Betonarme numunenin deney sırasında oluşan beton yzeyindeki çatlak genişlikleri ekstansometre kullanılarak kaydedilmiş olup beton yzeyinin yk altında birim Şekil değiştirme ilişkisi Şekil 4.42' de verilmiştir.



Şekil 4.42 $\text{Ø}16/2$ betonarme numunenin beton yzeyinin gerilme -birim Şekil değiştirme ilişkisi

4.2.3. Üçüncü Tip Deney Numunesi

Üçüncü tip deney numunesi başlığı altında hazırlanan numunelerin deneyleri yapılmış olup detayları sunulmuştur. Deneyler neticesinde beklenen kırılma mekanizması Şekil 4.43’ te sunulmuş olup meydana gelen kırılma şekilleri bu doğrultuda değerlendirilmiştir. Her grup için 6 adersan numunesi hazırlanmış fakat kalıptan çıkarılırken hasara uğrayan numuneler düzeneğe alınmamıştır.

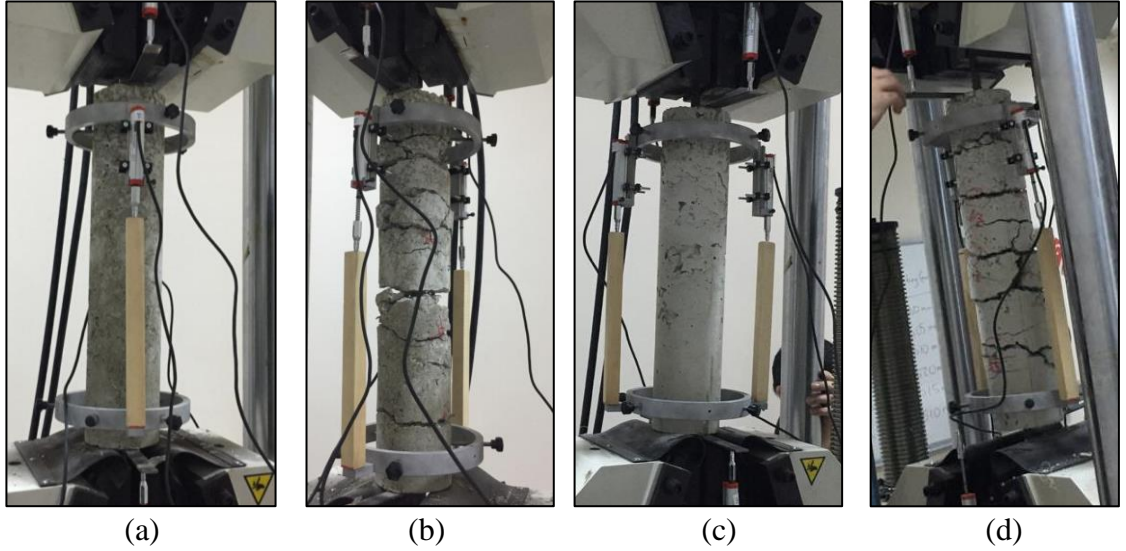


Şekil 4.43 Beklenen Kırılma Mekanizması (Thompson, Jirsa, Breen, and Klingler, 2002)

Bu grupta test edilen numuneler üzerinde, yeni bir sensör yerleşimi ve ölçüm düzeni kullanıldığı ifade edilmelidir. Numune uç bölgelerinde beton sıyrılması ölçümü bu grup deneylerdeki en önemli unsurdur.

4.2.3.1. Aderans Pilot Deneyi

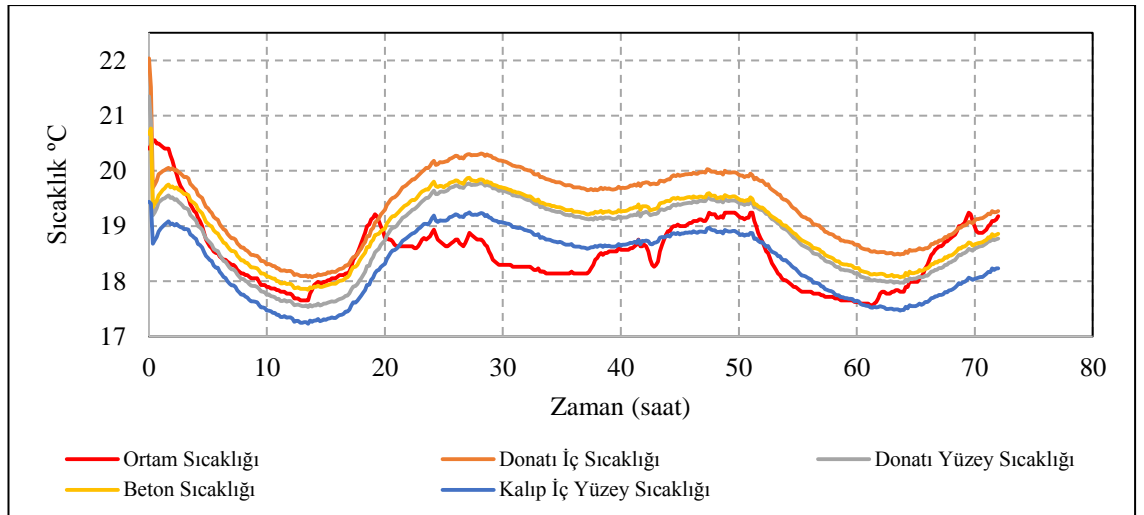
YAZ_1 ve YAZ_2 kodlu aderans numuneleri deney sistemi ve deney prosedürünün kontrolü amacıyla teste tabi tutulmuştur. Önce, sıcaklık ölçüm sensörlerinin yerleştirildiği YAZ_1; sonrasında diğerleri arasından rastgele seçilen YAZ_2 numunesi deneye alınmıştır. Her iki numune yükleme sistemindeki kısıtlama nedeniyle; yük kontrollü olarak deneye tabi tutulmuş ve çatlak işaretlemelerinde çatlamanın oluştuğu çelik yükü kullanılmıştır. Deneyler sonucunda; numunelerin deneye hazırlanma prosedüründeki eksiklik ve hatalar tespit edilmiş, yüklemenin deplasman kontrollü olmasının gerekli olduğuna karar verilmiştir. Bu durumda, cihaz veri toplama yazılımı güncellenerek sonraki deneylerin deplasman kontrollü olarak yapılması için teknik alt yapı hazırlanmıştır. Bu anlamda, pilot numune deneylerinin amacına uygun sonuçlar verdiğini ifade etmek mümkündür. YAZ_1 ve YAZ_2 numunelerine ilişkin deney sonuçları ve gözlemleri performans değerlendirilmesinde kullanılmadığından detaylı bilgiye burada yer verilmemiştir. Numunelere ilişkin deney öncesi ve sonrası görüntüleri Şekil 4.44’ te sunulmaktadır.



Şekil 4.44 (a) YAZ_1 pilot numunesi aderans deneyi öncesi, (b) YAZ_1 pilot numunesi aderans deneyi sonrası, (c) YAZ_2 pilot numunesi aderans deneyi öncesi, (d) YAZ_2 pilot numunesi aderans deneyi sonrası görüntüsü.

4.2.3.2. Yaz Grubu Aderans Numunesi İmalatına İlişkin Bulgular

Yaz grubu aderans numunesi imalatında MATERYAL VE YÖNTEM kısmında bahsi geçen 72 saat süreli sıcaklık ölçüm grafiği Şekil 4.45' te sunulmuştur. Döküm başlangıcında yaklaşık 22°C olan taze beton sıcaklığının beton, kalıba yerleştirildikten ve çelik donatı ile temas ettikten sonra düşüş yaşadığı ancak dökümden yaklaşık 2 saat sonra sıcaklığın tüm ölçüm noktalarında aynı seyirde arttığı görülmektedir. Döküm esnasında 21°C olan ortam sıcaklığının gece 22:00' ten sabah 08:00 arasında bina ısıtma sisteminin kapatılması nedeniyle düştüğü gözlenmektedir. Bu durum gerçek yaz atmosferik koşullarını yansıtır nitelikte olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.45 dikkatli incelendiğinde dökümden sonraki ilk 3 saat içerisinde tüm ölçüm noktaları için sıcaklığın arttığı sonrasında ise gece ısıtma sisteminin kapalı olduğu saatlerde sıcaklığın düştüğü görülmüştür. Bu durum incelenen aderans numunesindeki beton ve çelik malzeme sıcaklığının dış ortam sıcaklığından doğrudan etkilendiğini göstermektedir. Ölçüm alınan süre boyunca gerek ortam gerekse beton sıcaklığının +10°C'nin altına düşmediği görülmektedir. Veri üzerinde yapılan inceleme neticesinde dökümden sonraki 27. saatte beton ve çelik yüzey sıcaklığının 19,7°C' de eşitlendiği ve dengeye ulaştığı görülmektedir. Bu noktadan sonra beton ve çelik yüzeyi sıcaklığının artış ve azalış bölgelerinde aynı değeri alarak aynı trendi takip etmiştir.



Şekil 4.45 Yaz aderans numunesi sıcaklık değişim grafiği

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Hazırlanan silindir numunelerine ait basınç dayanımları Çizelge 4.22’ de sunulmuş olup *çekme dayanımları* (f_{ctk}) TS500/2000’ de verilen bağıntı 4.1’ de sunulan formül ile hesaplanmıştır (TS 500, 2000).

$$f_{ctk} = 0,35\sqrt{f_{ck}} \text{ (MPa)} \quad (4.1)$$

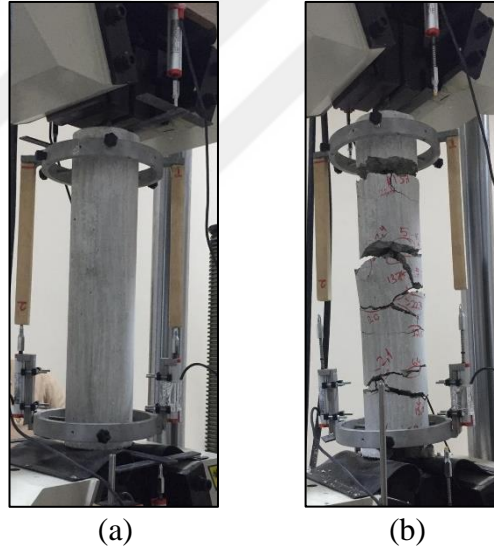
Çizelge 4.22 Yaz grubu aderans numunesine ait basınç dayanımı testi sonuçları

Numune Kodu	Basınç Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
Yaz_1	18,53	1,51
Yaz_2	20,77	1,60
Yaz_3	17,85	1,48
Yaz_4	18,91	1,52
Yaz_5	18,73	1,51
Yaz_6	17,92	1,48
Yaz_7	18,02	1,49
Yaz_8	20,41	1,58
ORTALAMA	18,89	1,52

Basınç dayanımları belirlendikten sonra aderans numunelerin deney aşamasına geçilmiş olup YAZ numune grubuna ait aderans deney gözlemleri aşağıda sunulmuştur. YAZ_1 ve YAZ_2 numuneleri deney düzeneği ve prosedürünün kontrolü amacıyla değerlendirildiğinden bu numunelere ait deney gözlemlerine yer verilmemiştir.

YAZ_3 Numunesi

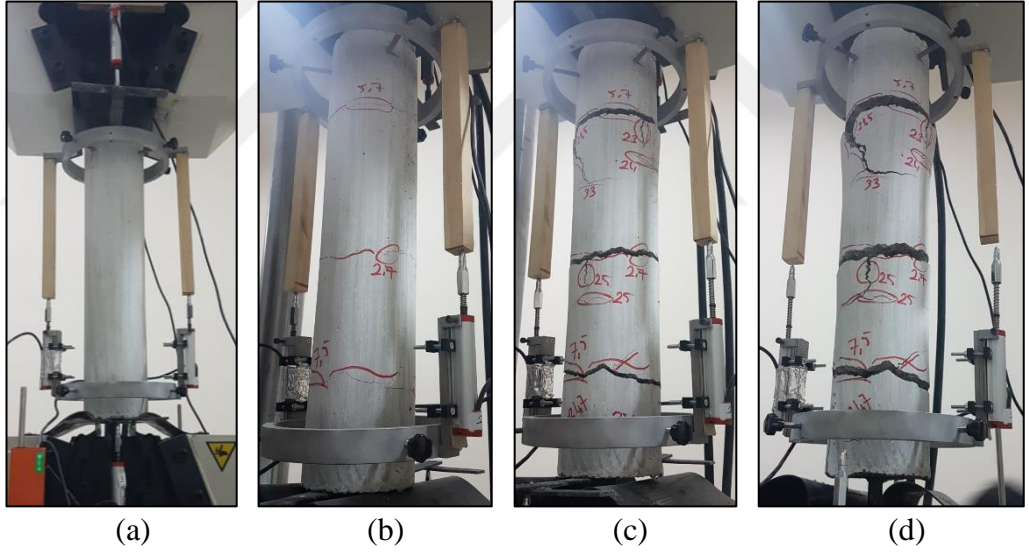
YAZ_3 kodlu aderans numunesi yaz koşullarında dökümü temsil eden uygulamanın 3 numaralı numunesi olarak test edilmiştir. Deney başlangıcında numunenin beton boyu 48,3 cm; ölçüme esas çelik donatı boyu 52,5 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesindeki ilk çekme çatlak; çelik donatıda $\sigma_s = 111,85$ MPa çekme gerilmesi ölçüldüğünde numunenin tam ortasında oluşmuştur. Yüklemin ilerleyen safhalarında yatay çatlak sayısı artmış; yaklaşık olarak eşit aralıklarda oluşan toplam 4 yatay çekme çatlak numuneyi 5 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliğinin $\cong 10$ cm olduğunu ifade etmek mümkündür. Yüklemin son aşamalarında numunenin alt ve üst bölgelerinde dikey çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiş; bu durumda deney tamamlanmıştır. YAZ_3 numunesinin çelik donatısı 486,39 MPa gerilme değerinde akmıştır. Numuneye ait deney öncesi ve deney sonrası görüntüler Şekil 4.46' da sunulmaktadır.



Şekil 4.46 (a) YAZ_3 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) YAZ_3 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüsü.

YAZ_4 Numunesi

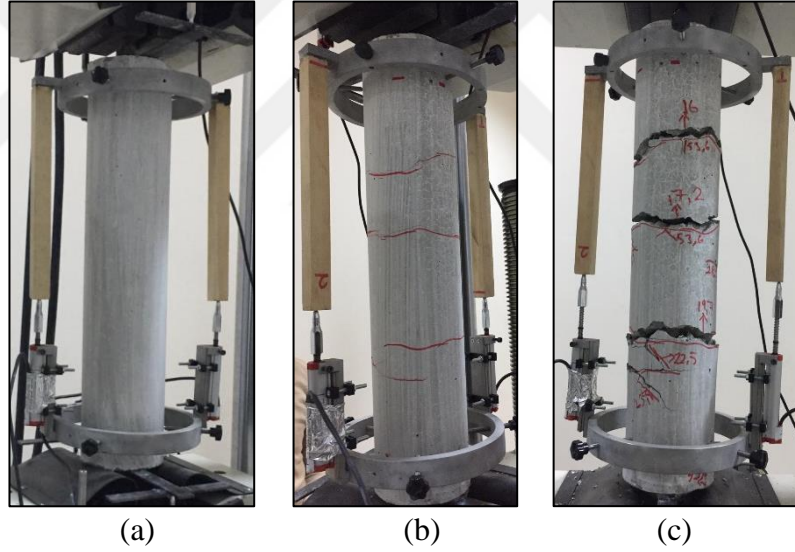
YAZ_4 kodlu aderans numunesi yaz koşullarında dökümü temsil eden uygulamanın 4 numaralı numunesi olarak test edilmiştir. Deney başlangıcında numunenin beton boyu 49,5 cm; ölçüme esas çelik donatı boyu 53,5 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesindeki ilk çekme çatlak; çelik donatıda $\sigma_s = 84,23$ MPa çekme gerilmesi ölçüldüğünde numunenin tam ortasında oluşmuştur. Yüklemin ilerleyen safhalarında yatay çatlak sayısı artmış; yaklaşık olarak eşit aralıklarda oluşan toplam 3 yatay çekme çatlak çatlak numuneyi 4 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliğinin $\cong 12$ cm olduğunu ifade etmek mümkündür. Yüklemin son aşamalarında numunenin alt ve üst bölgelerinde dikey çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiş; bu durumda deney tamamlanmıştır. YAZ_4 numunesinin çelik donatısı 522,80 MPa gerilme değerinde akmıştır. Numuneye ait deney öncesi ve deney sonrası görüntüler Şekil 4.47' de sunulmaktadır.



Şekil 4.47 (a) YAZ_4 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) ve (c) YAZ_4 numunesi aderans deneyi sırasında, (d) YAZ_4 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri.

YAZ_5 Numunesi

YAZ_5 kodlu aderans numunesi yaz koşullarında dökümü temsil eden uygulamanın 5 numaralı numunesi olarak test edilmiştir. Deney başlangıcında numunenin beton boyu 49 cm; ölçüme esas çelik donatı boyu 54 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesindeki ilk çekme çatlak; çelik donatıda $\sigma_s = 72,95$ MPa çekme gerilmesi ölçüldüğünde numunenin tam ortasında oluşmuştur. Yüklemin ilerleyen safhalarında yatay çatlak sayısı artmış; yaklaşık olarak eşit aralıklarda oluşan toplam 3 yatay çekme çatlak numuneyi 4 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliğinin $\cong 12$ cm olduğunu ifade etmek mümkündür. Yüklemin son aşamalarında numunenin alt ve üst bölgelerinde dikey çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiş; bu durumda deney tamamlanmıştır. YAZ_5 numunesinin çelik donatısı 478,32 MPa gerilme değerinde akmıştır. Numuneye ait deney öncesi ve deney sonrası görüntüler Şekil 4.48' de sunulmaktadır.



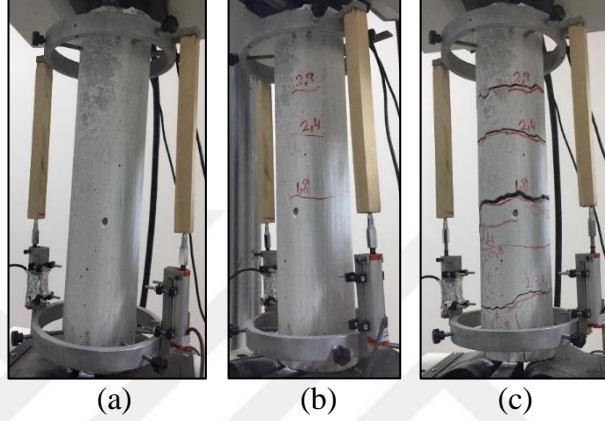
Şekil 4.48 (a) YAZ_5 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) YAZ_5 numunesi aderans deneyi sırası, (c) YAZ_5 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri.

YAZ_6 Numunesi

YAZ_6 kodlu aderans numunesi yaz koşullarında dökümü temsil eden uygulamanın 6 numaralı numunesi olarak test edilmiştir. Deney başlangıcında numunenin beton boyu 48,8 cm; ölçüme esas çelik donatı boyu 53 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesindeki ilk çekme çatlak; çelik donatıda $\sigma_s = 155,18$ MPa çekme gerilmesi ölçüldüğünde numunenin tam ortasında oluşmuştur. Yüklemin ilerleyen safhalarında

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

yatay çatlak sayısı artmış; yaklaşık olarak eşit aralıklarda oluşan toplam 4 yatay çekme çatlaklı numuneyi 5 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliğinin $\cong 10$ cm olduğunu ifade etmek mümkündür. Yüklemenin son aşamalarında numunenin alt ve üst bölgelerinde dikey çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiştir; bu durumda deney tamamlanmıştır. YAZ_6 numunesinin çelik donatısı 515,86 MPa gerilme değerinde akmıştır. Numuneye ait deney öncesi ve deney sonrası görüntüleri Şekil 4.49’ da sunulmaktadır.



Şekil 4.49 (a) YAZ_6 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) YAZ_6 numunesi aderans deneyi sırası, (c) YAZ_6 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri.

Aderans numune deneylerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.23’ te toplu halde verilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda; aderans numunelerinin yüzeyinde oluşan ilk çatlakın hangi çelik gerilmesi düzeyinde oluştuğu belirlenmiş olup bu değer noktası için her bir numuneden elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

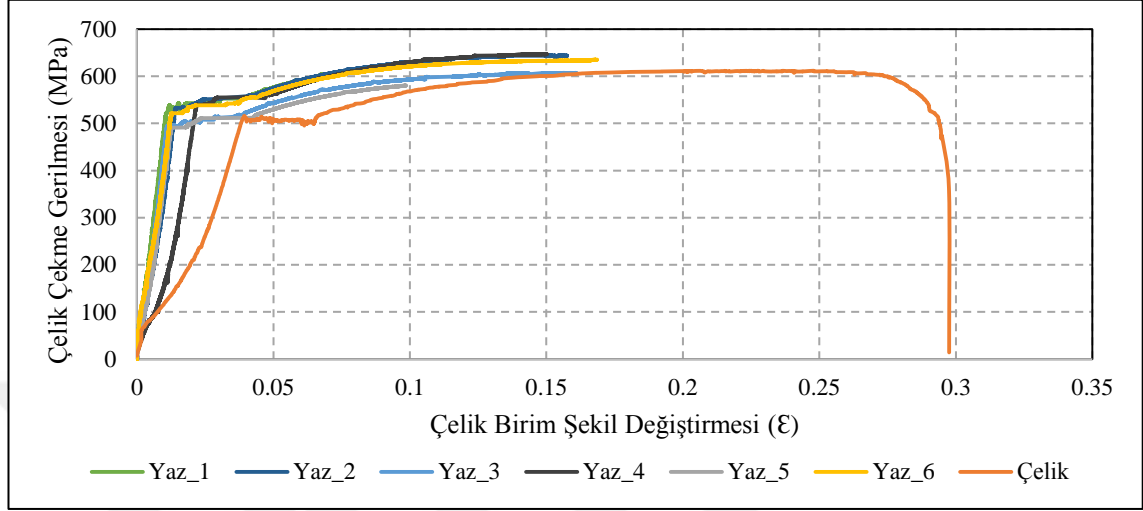
Çizelge 4.23 Yaz grubu aderans numunelerine ait eksenel çekme testi sonuçları

Numune	Çeneler Arası Yer Değiştirme (mm)	Çelik Gerilmesi (MPa)	Çelik Birim Şekil Değiştirmesi	Beton Birim Şekil Değiştirmesi	Aderans Gerilmesi (MPa)	Toplam Birim Slip
Yaz_3	1,1000	111,8	0,0021	0,000158	0,81	0,00002
Yaz_4	2,7000	84,2	0,0050	0,000001	0,60	0,00015
Yaz_5	1,0000	72,9	0,0019	0,000001	0,52	-0,00008
Yaz_6	1,8000	155,2	0,0034	0,000186	1,11	-0,00007
Ortalama	1,6500	106,1	0,0031	0,000087	0,76	0,00000

Yaz_4 numunesinin Şekil 4.50’ de sunulan grafikte de görüldüğü üzere salt çelik donatısına yakın eğimli olduğu gözlenmiştir. Elde edilen bu sonuç doğrultusunda Yaz_4 numunesi 2,7 mm deplasmanda ilk çatlakın gözlenmesi; numune donatı arasında ki

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

aderansın zayıf olması ve salt çelik donatısına yakın davranış gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu durum deney numunesinin içyapısı incelendiğinde gözlemlenen çatlaklar üzerinden ayrıca değerlendirilebilir.



Şekil 4.50 Yaz grubu aderans numunesi çelik gerilme-birim şekil değişirme grafiği

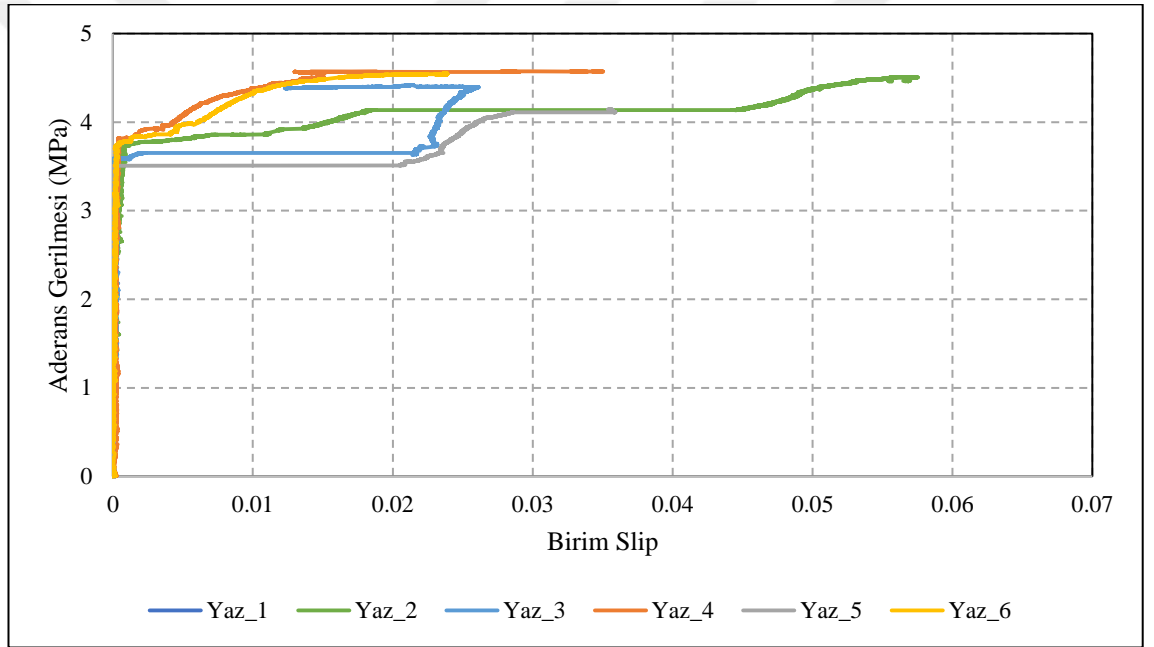
Şekil 4.51' de sunulan YAZ_4 numunesi içyapı örnek görseli incelendiğinde donatı çevresinde çok sayıda kılcal çatlak olduğu ancak bu çatlakların numune yüzeyine kadar ilerlemediği açıkça görülmektedir. Bununla birlikte deney esnasında yüzeyde görülen çatlakların içeride donatı çevresinde başladığı ve ilerlediği görülmektedir. Yüzeyde tespit edilen çatlak takip edildiğinde donatı çevresinden itibaren yüzeye kadar çatlak genişliğinin azalarak çatlakın ilerlediği gözlenmiştir. Diğer yaz numuneleri ile kıyaslandığında YAZ_4 numunesinde donatı çevresinde oluşan ancak numune yüzeyine ulaşmayan kılcal çatlak sayısının en fazla olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.51 Yaz grubu aderans numunesi çatlak detayı

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Yaz numunelerine ait aderans gerilmesi-birim slip grafiği Şekil 4.52' de verilmiştir. Tüm döküm grupları için her bir numune beton boyu 50 cm olarak tasarlanmış ve imal edilmiştir. Ancak deney öncesi yapılan ölçümlerde yaklaşık olarak ± 1 cm mertebesinde beton boyu farklılıkları olduğu belirlenmiştir. Bu durumda numunenin her iki ucundan ölçülen toplam sıyrılmanın toplam beton boyuna oranlanarak değerlendirilmesi uygun bulunmuş ve grafik gösterimde birim slip değeri kullanılmıştır. Bununla birlikte, her bir numune için beton yüzeyinde ilk çatlak görüldükten sonraki sıyrılma ölçümlerinin beton çatlak genişliklerini içine aldığından performans değerlendirmesinde kullanılmasının doğru bir teknik yaklaşım olmadığı düşünülmektedir.

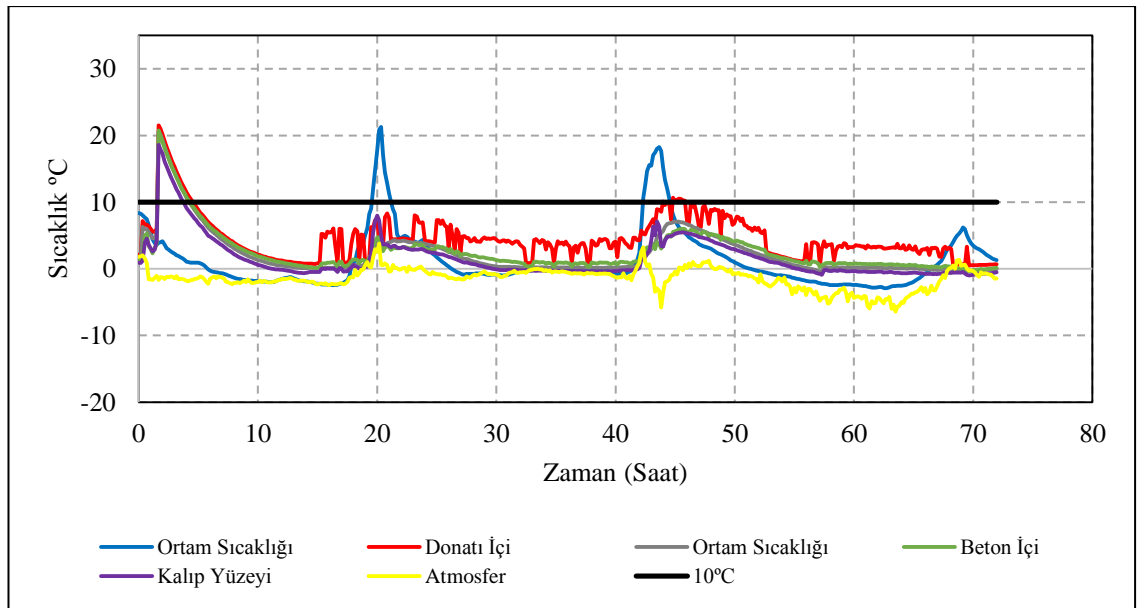


Şekil 4.52 Yaz grubu numuneleri aderans gerilmesi-birim sıyrılma grafiği

4.2.3.3. Kış Dökümü Uygulaması

4.2.3.3.1. KA Grubu Aderans Numunesi İmalatına İlişkin Bulgular

Bu gruptaki numuneler **KA** kısaltması ile kodlanmıştır. MATERYAL VE YÖNTEM kısmında bahsi geçen 72 saat süreli sıcaklık ölçüm grafiği Şekil 4.53' te sunulmuştur. Döküm başlangıcında 22,5°C olan taze beton sıcaklığının beton, kalıba yerleştirildikten ve çelik donatı ile temas ettikten sonra düşüş yaşadığı gözlenmiştir. Döküm esnasında dış ortam sıcaklığı -2,1°C iken iç ortam sıcaklığı 3,2°C olarak gözlenmiştir. Dış ortam sıcaklığının dökümden sonra 20.saatte ortam sıcaklığı şeffaf brandanın sera etkisi oluşturmasıyla atmosfer sıcaklığı 2°C olmasına rağmen ortam sıcaklığı 20°C ölçülmüştür. Ortam sıcaklığının artmasıyla numune içerisinde ve donatıda ısı artışı gerçekleşmiştir. Bu durum, incelenen aderans numunesindeki beton ve çelik malzeme sıcaklığının dış ortam sıcaklığından doğrudan etkilendiğini göstermektedir. Ölçüm alınan süre boyunca ortam sıcaklığı 20 ve 44. saatlerde +10°C'nin üstüne çıktığı ve beton sıcaklığının +10°C'nin üstüne çıkmadığı görülmektedir. Veri üzerinde yapılan inceleme neticesinde dökümden sonra donatı yüzeyi ve beton sıcaklığı dengeye ulaşmamış, ortam sıcaklığının arttığı zamanlar haricinde beton sıcaklığı donatı yüzeyine kıyasla sıcak olarak seyir etmiştir. Şekil 4.53' te görülen donatı içi sıcaklık verisinde termokupl kaynaklı sorun oluşmuş olup ham data kullanılmıştır.



Şekil 4.53 KA-aderans numunesi sıcaklık değişim grafiği

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Hazırlanan silindir numunelerine ait basınç dayanımları Çizelge 4.24' te sunulmuş olup çekme dayanımları bağıntı 4.1' de sunulan formül ile hesaplanmıştır. Bu imalat için 25 MPa basınç dayanımı hedeflenmiş ancak ortalama 20.66 MPa dayanım yakalanabilmiştir.

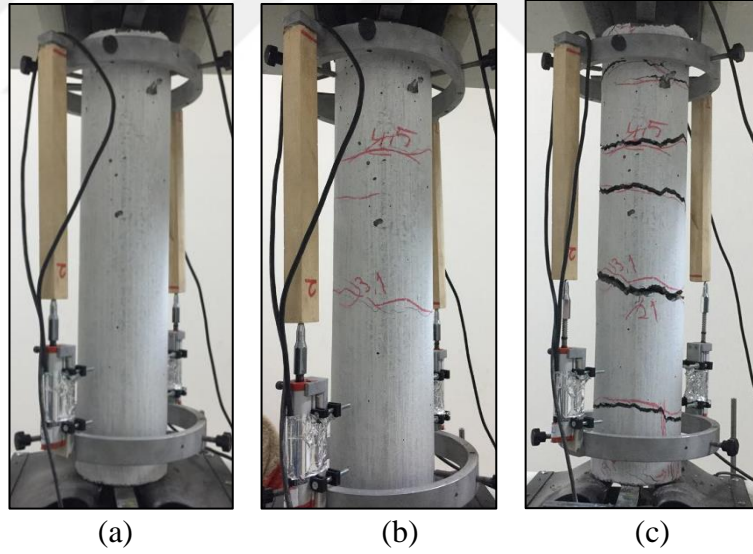
Çizelge 4.24 KA grubu aderans numunesi basınç dayanımı testi sonuçları

Numune Kodu	Basınç Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
KA_1	22,43	1,66
KA_2	20,21	1,57
KA_3	19,72	1,55
KA_4	19,75	1,56
KA_5	16,88	1,44
KA_6	18,46	1,50
KA_7	22,63	1,66
KA_8	25,21	1,76
ORTALAMA	20,66	1,59

Basınç dayanımları belirlendikten sonra aderans numunelerin deney aşamasına geçilmiş olup KA numune grubuna ait aderans deney gözlemleri aşağıda sunulmuştur.

KA_1 Numunesi

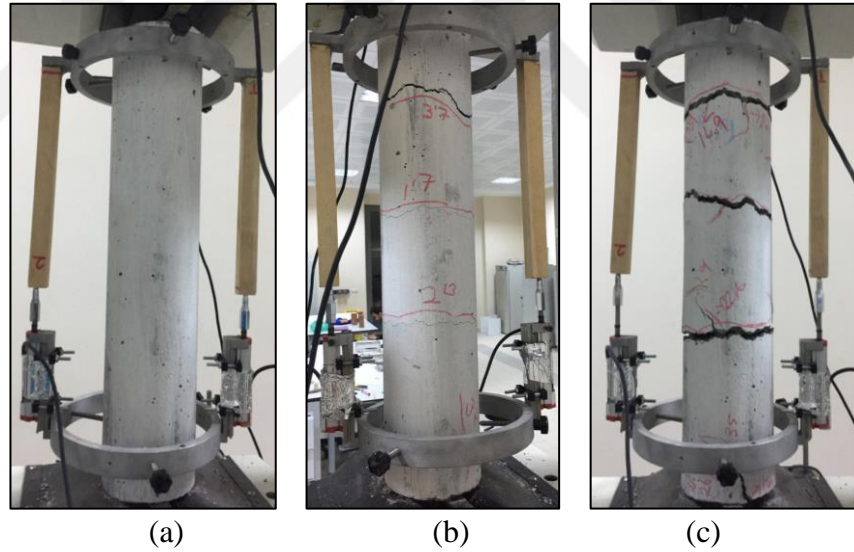
KA_1 kodlu aderans numunesi kış koşullarında betonda antifriz katkısı kullanılarak ve numunelerin bulunduğu ortamın ısıtılmaksızın yapılan dökümü temsil eden uygulamanın 1 numaralı numunesi olarak test edilmiştir. Deney başlangıcında numunenin beton boyu 48,3 cm; ölçüme esas çelik donatı boyu 54,1 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesindeki ilk çekme çatlağı; çelik donatıda $\sigma_s = 134,90$ MPa çekme gerilmesi ölçüldüğünde numunenin tam ortasında oluşmuştur. Yüklemenin ilerleyen safhalarında yatay çatlak sayısı artmış; yaklaşık olarak eşit aralıklarda oluşan toplam 5 yatay çekme çatlağı numuneyi 6 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliğinin $\cong 8$ cm olduğunu ifade etmek mümkündür. Yüklemenin son aşamalarında numunenin alt ve üst bölgelerinde dikey çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiş; bu durumda deney tamamlanmıştır. KA_1 numunesinin çelik donatısı 503,59 MPa gerilme değerinde akmıştır. Numuneye ait deney öncesi ve deney sonrası görüntüleri Şekil 4.54' te sunulmaktadır.



Şekil 4.54 (a) KA_1 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KA_1 numunesi aderans deneyi sırası, (c) KA_1 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri.

KA_2 Numunesi

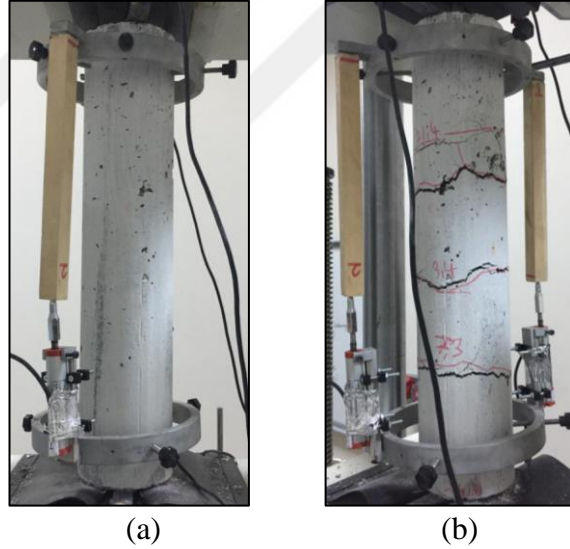
KA_2 kodlu aderans numunesi kış koşullarında betonda antifriz katkısı kullanılarak ve numunelerin bulunduğu ortamın ısıtılmaksızın yapılan dökümü temsil eden uygulamanın 2 numaralı numunesi olarak test edilmiştir. Deneysel başlangıcında numunenin beton boyu 50 cm; ölçüme esas çelik donatı boyu 55 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesindeki ilk çekme çatlakları; çelik donatıda $\sigma_s = 132,20$ MPa çekme gerilmesi ölçüldüğünde numunenin tam ortasında oluşmuştur. Yüklemin ilerleyen safhalarında yatay çatlak sayısı artmış; yaklaşık olarak eşit aralıklarda oluşan toplam 3 yatay çekme çatlakları numuneyi 4 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliğinin $\cong 12$ cm olduğunu ifade etmek mümkündür. Yüklemin son aşamalarında numunenin alt ve üst bölgelerinde dikey çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiştir; bu durumda deney tamamlanmıştır. KA_2 numunesinin çelik donatısı 515,11 MPa gerilme değerinde akmıştır. Numuneye ait deney öncesi ve deney sonrası görüntüleri Şekil 4.55’te sunulmaktadır.



Şekil 4.55 (a) KA_2 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KA_2 numunesi aderans deneyi sırası, (c) KA_2 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri.

KA_3 Numunesi

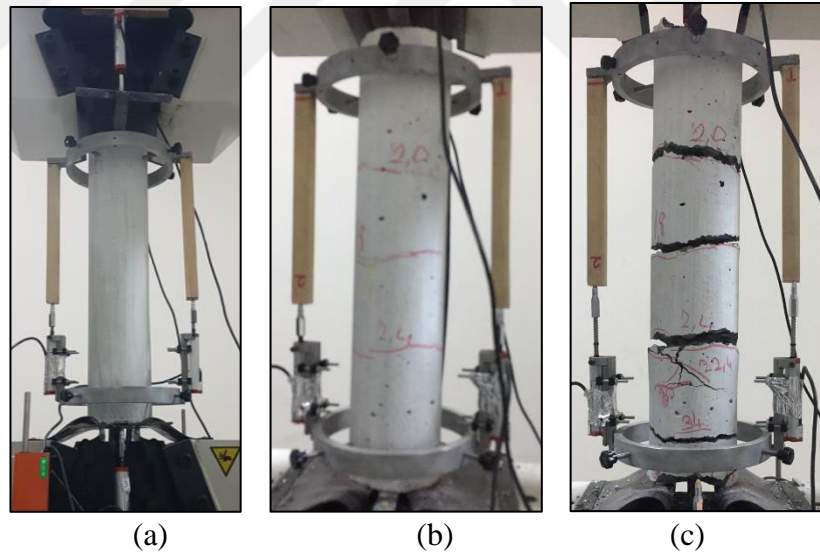
KA_3 kodlu aderans numunesi kış koşullarında betonda antifriz katkısı kullanılarak ve numunelerin bulunduğu ortamın ısıtılmaksızın yapılan dökümü temsil eden uygulamanın 3 numaralı numunesi olarak test edilmiştir. Deney başlangıcında numunenin beton boyu 50 cm; ölçüme esas çelik donatı boyu 51,5 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesindeki ilk çekme çatlağı; çelik donatıda $\sigma_s = 150,20$ MPa çekme gerilmesi ölçüldüğünde numunenin tam ortasında oluşmuştur. Yüklemin ilerleyen safhalarında yatay çatlak sayısı artmış; yaklaşık olarak eşit aralıklarda oluşan toplam 3 yatay çekme çatlağı numuneyi 4 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliğinin $\cong 12$ cm olduğunu ifade etmek mümkündür. Yüklemin son aşamalarında numunenin alt ve üst bölgelerinde dikey çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiş; bu durumda deney tamamlanmıştır. KA_3 numunesinin çelik donatısı 515,58 MPa gerilme değerinde akmıştır. Numuneye ait deney öncesi ve deney sonrası görüntüler Şekil 4.56' da sunulmaktadır.



Şekil 4.56 (a) KA_3 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KA_3 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüsü.

KA_4 Numunesi

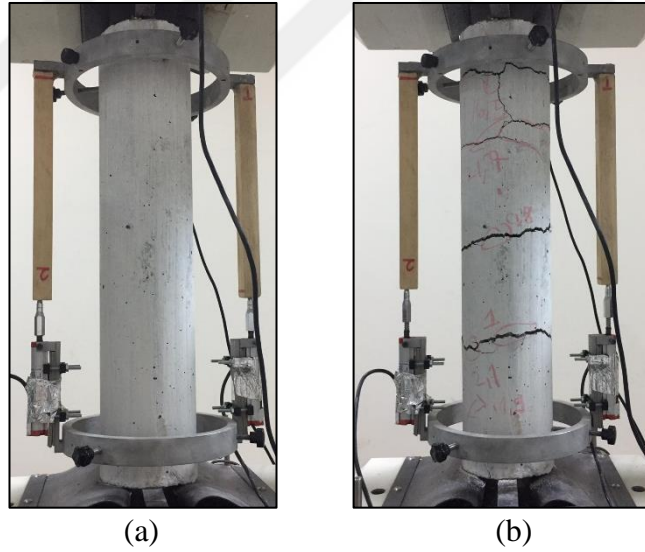
KA_4 kodlu aderans numunesi kış koşullarında betonda antifriz katkısı kullanılarak ve numunelerin bulunduğu ortamın ısıtılmaksızın yapılan dökümü temsil eden uygulamanın 4 numaralı numunesi olarak test edilmiştir. Deneysel başlangıcında numunenin beton boyu 49,5 cm; ölçüme esas çelik donatı boyu 52,9 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesindeki ilk çekme çatlakları; çelik donatıda $\sigma_s = 172,91$ MPa çekme gerilmesi ölçüldüğünde numunenin tam ortasında oluşmuştur. Yüklemenin ilerleyen safhalarında yatay çatlak sayısı artmış; yaklaşık olarak eşit aralıklarda oluşan toplam 3 yatay çekme çatlakları numuneyi 4 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliğinin $\cong 12$ cm olduğunu ifade etmek mümkündür. Yüklemenin son aşamalarında numunenin alt ve üst bölgelerinde dikey çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiştir; bu durumda deney tamamlanmıştır. KA_4 numunesinin çelik donatısı 544,02 MPa gerilme değerinde akmıştır. Numuneye ait deney öncesi ve deney sonrası görüntüleri Şekil 4.57’de sunulmaktadır.



Şekil 4.57 (a) KA_4 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KA_4 numunesi aderans deneyi sırası, (c) KA_4 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri.

KA_5 Numunesi

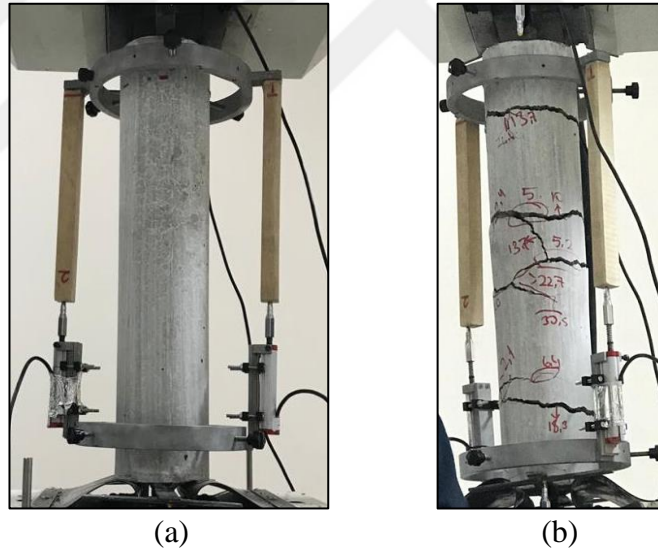
KA_5 kodlu aderans numunesi kış koşullarında betonda antifriz katkısı kullanılarak ve numunelerin bulunduğu ortamın ısıtılmaksızın yapılan dökümü temsil eden uygulamanın 5 numaralı numunesi olarak test edilmiştir. Deney başlangıcında numunenin beton boyu 48,9 cm; ölçüme esas çelik donatı boyu 53,5 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesindeki ilk çekme çatlak; çelik donatıda $\sigma_s = 74,78$ MPa çekme gerilmesi ölçüldüğünde numunenin tam ortasında oluşmuştur. Yüklemenin ilerleyen safhalarında yatay çatlak sayısı artmış; yaklaşık olarak eşit aralıklarda oluşan toplam 3 yatay çekme çatlak numuneyi 4 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliğinin $\cong 12$ cm olduğunu ifade etmek mümkündür. Yüklemenin son aşamalarında numunenin alt ve üst bölgelerinde dikey çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiş; bu durumda deney tamamlanmıştır. KA_5 numunesinin çelik donatısı 450,83 MPa gerilme değerinde akmıştır. Numuneye ait deney öncesi ve deney sonrası görüntüler Şekil 4.58’ de sunulmaktadır.



Şekil 4.58 (a) KA_5 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KA_5 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüsü.

KA_6 Numunesi

KA_ kodlu aderans numunesi kış koşullarında betonda antifriz katkısı kullanılarak ve numunelerin bulunduğu ortamın ısıtılmaksızın yapılan dökümü temsil eden uygulamanın 6 numaralı numunesi olarak test edilmiştir. Deney başlangıcında numunenin beton boyu 49 cm; ölçüme esas çelik donatı boyu 53 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesindeki ilk çekme çatlağı; çelik donatıda $\sigma_s = 165,63$ MPa çekme gerilmesi ölçüldüğünde numunenin tam ortasında oluşmuştur. Yüklemin ilerleyen safhalarında yatay çatlak sayısı artmış; yaklaşık olarak eşit aralıklarda oluşan toplam 4 yatay çekme çatlağı numuneyi 5 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliğinin $\cong 10$ cm olduğunu ifade etmek mümkündür. Yüklemin son aşamalarında numunenin alt ve üst bölgelerinde dikey çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiş; bu durumda deney tamamlanmıştır. KA_6 numunesinin çelik donatısı 544,61 MPa gerilme değerinde akmıştır. Numuneye ait deney öncesi ve deney sonrası görüntüler Şekil 4.59’ da sunulmaktadır.



Şekil 4.59 (a) KA_6 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KA_6 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüsü

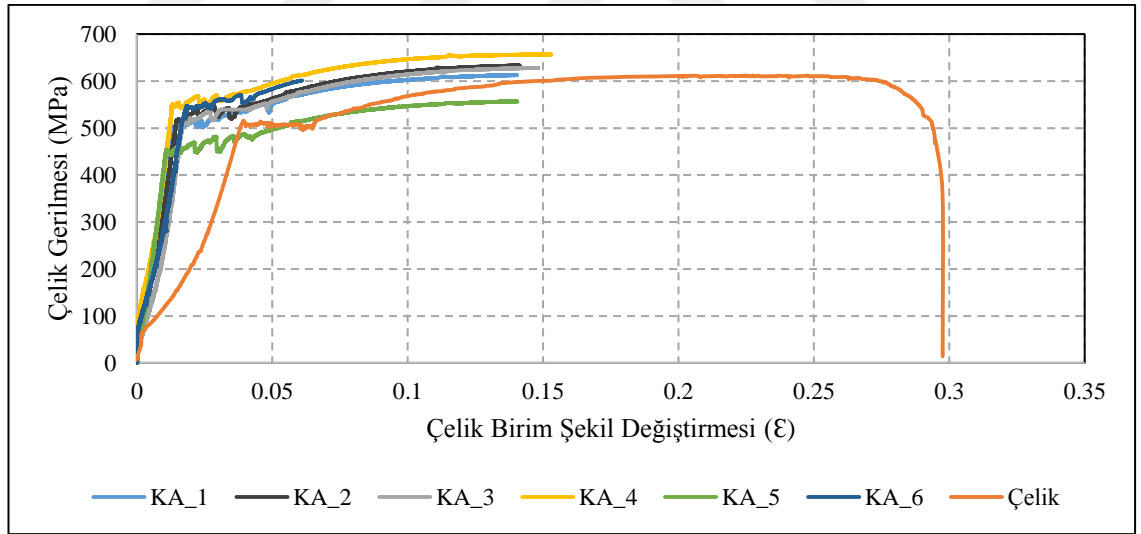
Aderans numunelerinin deneylerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.25’ te sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda; aderans numunelerinin yüzeyinde oluşan ilk çatlağın hangi çelik gerilmesi düzeyinde oluştuğu belirlenmiş olup bu değer noktası için her bir numuneden elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.25 KA grubu aderans numunelerine ait eksenel çekme testi sonuçları

Numune	Çeneler Arası Yer Değişirme (mm)	Çelik Gerilmesi (MPa)	Çelik Birim Şekil Değişirmesi	Beton Birim Şekil Değişirmesi	Aderans Gerilmesi (MPa)	Toplam Birim Slip
KA_1	2,1000	134,9	0,0039	0,000003	0,98	0,00017
KA_2	1,7000	132,2	0,0031	0,000113	0,93	0,00015
KA_3	3,4000	150,2	0,0066	0,000125	1,05	0,00029
KA_4	1,8000	172,9	0,0034	0,000230	1,22	0,00005
KA_5	1,0000	74,8	0,0019	0,000116	0,54	0,00001
KA_6	2,7000	165,6	0,0051	0,000234	1,18	0,00001
Ortalama	2,1167	138,4	0,0040	0,000137	0,98	0,00007

KA_3 numunesinin Şekil 4.60' ta sunulan grafikte de görüldüğü üzere net olarak görülmese de salt çelik donatısına yakın eğimli olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen bu sonuç doğrultusunda KA_3 numunesi 3,4 mm deplasmanda ilk çatlağın gözlemlenmesi; numune donatı arasındaki aderansın zayıf olması ve salt çelik donatısına yakın davranış gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu durum deney numunesinin içyapısı incelendiğinde gözlemlenen çatlaklar üzerinden ayrıca değerlendirilebilmektedir.



Şekil 4.60 KA grubu aderans numunesi çelik gerilme-birim şekil değişirme grafiği

Şekil 4.61' de sunulan KA_3 numunesi içyapı örnek görseli incelendiğinde donatı çevresinde çok sayıda kılcal çatlak oluştuğu ancak bu çatlakların numune yüzeyine kadar ilerlemediği açıkça görülmektedir. Bununla birlikte deney esnasında yüzeyde görülen çatlakların içeride donatı çevresinde başladığı ve ilerlediği görülmektedir. Yüzeyde tespit edilen çatlak takip edildiğinde donatı çevresinden itibaren yüzeye kadar çatlak genişliğinin azalarak çatlağın ilerlediği gözlemlenmiştir. Diğer KA numuneleri ile

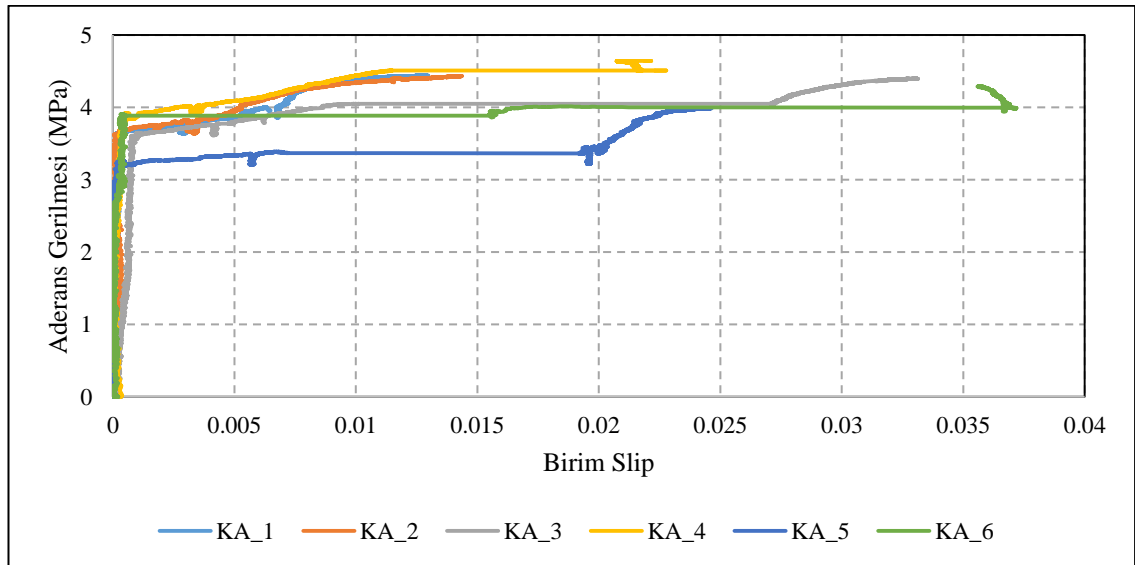
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

kıyaslandığında KA_4 numunesinde donatı çevresinde oluşan ancak numune yüzeyine ulaşmayan kılcal çatlak sayısının en fazla olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.61 KA grubu numunesi içi çatlak detayı

KA numunelerine ait aderans gerilmesi-birim slip grafiği Şekil 4.62’ de verilmiştir. Tüm döküm grupları için her bir numune beton boyu 50 cm olarak tasarlanmış ve imal edilmiştir. Ancak deney öncesi yapılan ölçümlerde yaklaşık olarak ± 1 cm mertebesinde beton boyu farklılıkları olduğu belirlenmiştir. Bu durumda numunenin her iki ucundan ölçülen toplam sıyrılmanın toplam beton boyuna oranlanarak değerlendirilmesi uygun bulunmuş ve grafik gösterimde birim slip değeri kullanılmıştır. Bununla birlikte, her bir numune için beton yüzeyinde ilk çatlak görüldükten sonraki sıyrılma ölçümlerinin beton çatlak genişliklerini içine aldığından performans değerlendirmesinde kullanılmasının doğru bir teknik yaklaşım olmadığı düşünülmektedir.



Şekil 4.62 KA grubu numuneleri aderans gerilmesi-birim sıyrılma grafiği

4.2.3.3.2. KN Grubu Aderans Numunesi İmalatı

Numune hazırlığı ve kalıptan çıkarılmada yaşanan problemlerden dolayı 5 aderans numunesi ve 5 adet silindir numune test edilmiştir. Bu gruptaki numuneler **KN** kısaltması ile kodlanmıştır. MATERYAL VE YÖNTEM kısmında bahsi geçen 72 saat süreli sıcaklık ölçüm grafiği Şekil 4.63' te sunulmuştur. Döküm başlangıcında 24,2°C olan taze beton sıcaklığının beton, kalıba yerleştirildikten ve çelik donatı ile temas ettikten sonra düşüş yaşadığı gözlenmiştir. Döküm esnasında dış ortam sıcaklığı 1,1°C iken iç ortam sıcaklığı 8°C olarak gözlenmiştir. Veri üzerinde yapılan inceleme neticesinde dökümden sonra donatı yüzeyi ve beton sıcaklığı dengeye ulaşmadığı gözlenmiştir. Ortam sıcaklığının artmasına bağlı olarak numunelerin muhafaza edildiği iç ortam sıcaklığı artış göstermiştir. Bu artışların aynı oranda iç ortama yansımadağı gözlenmiştir. Güneşin muhafaza alanına doğrudan ışınlarını gönderdiği durumda dış ortam ile iç ortam arasında yaklaşık 20°C fark oluştuğu gözlenmiştir.



Şekil 4.63 KN grubu aderans numunesi sıcaklık değişim grafiği

Hazırlanan silindir numunelerine ait basınç dayanımları Çizelge 4.26' da sunulmuş olup çekme dayanımları bağıntı 4.1' de sunulan formül ile hesaplanmıştır. Bu imalat için 25 MPa basınç dayanımı hedeflenmiş ancak ortalama 9.44 MPa dayanım yakalanabilmiştir. Bu değer, tasarlanan dayanımın çok altındadır. Bu grup imalatı esasen

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

kış mevsimine geçiş döneminde sahada yapılan imalat ile özdeőleőtirmenin doğru olacağı düşünölmektedir.

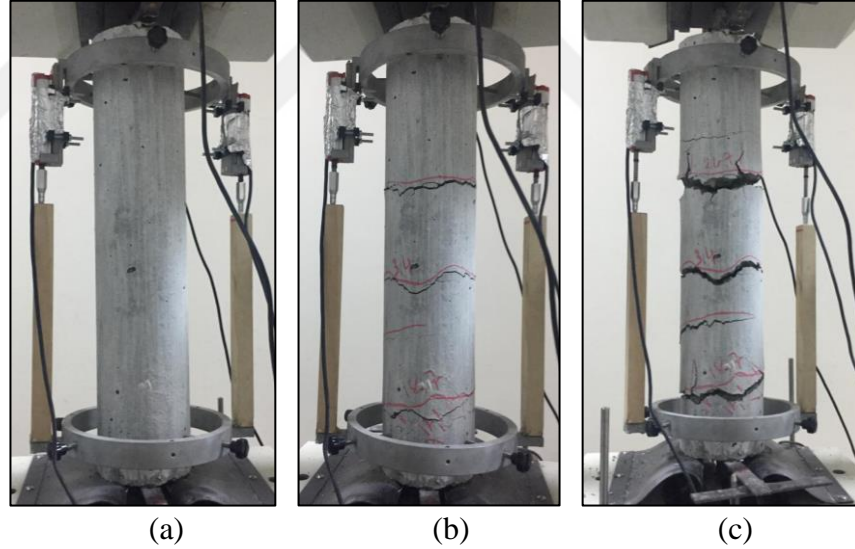
Çizelge 4.26 KN grubu aderans numunesi basınç dayanımı testi sonuçları

Numune Kodu	Basınç Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
KN_1	9,59	1,08
KN_2	9,56	1,08
KN_3	9,76	1,09
KN_4	8,71	1,03
KN_5	9,59	1,08
ORTALAMA	9,44	1,08

Basınç dayanımları belirlendikten sonra aderans numunelerin deney aşamasına geçilmiş olup KN numune grubuna ait aderans deney gözlemleri aşağıda olarak sunulmuştur.

KN_1 Numunesi

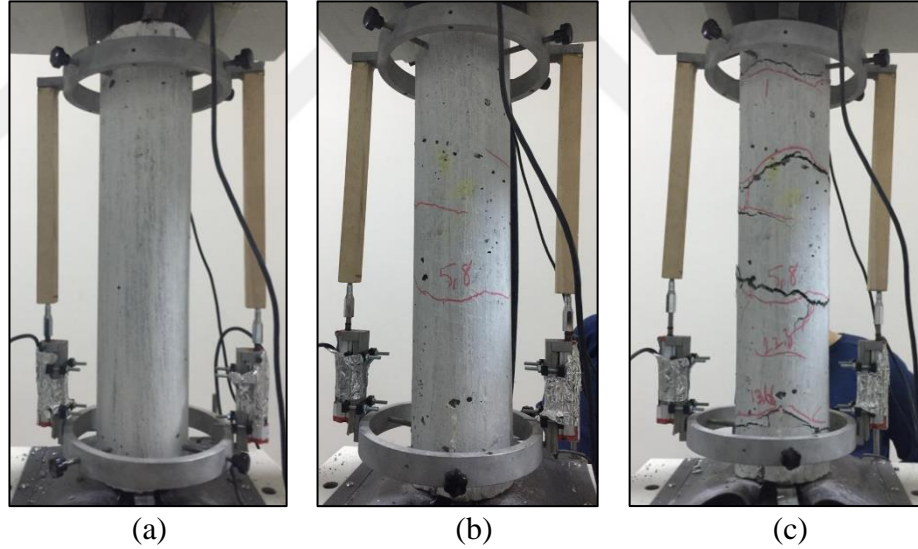
KN_1 kodlu aderans numunesi kış koşullarında betonda antifriz katkısı kullanılmadan ve numunelerin bulunduğu ortamın ısıtılmaksızın yapılan dökümü temsil eden uygulamanın 1 numaralı numunesi olarak test edilmiştir. Deneysel başlangıcında numunenin beton boyu 48,5 cm; ölçüme esas çelik donatı boyu 53 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesindeki ilk çekme çatlak; çelik donatıda $\sigma_s = 168,63$ MPa çekme gerilmesi ölçüldüğünde numunenin tam ortasında oluşmuştur. Yüklemin ilerleyen safhalarında yatay çatlak sayısı artmış; yaklaşık olarak eşit aralıklarda oluşan toplam 4 yatay çekme çatlak numuneyi 5 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliğinin $\cong 10$ cm olduğunu ifade etmek mümkündür. Yüklemin son aşamalarında numunenin alt ve üst bölgelerinde dikey çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiş; bu durumda deney tamamlanmıştır. KN_1 numunesinin çelik donatısı 520,28 MPa gerilme değerinde akmıştır. Numuneye ait deney öncesi ve deney sonrası görüntüleri Şekil 4.64’te sunulmaktadır.



Şekil 4.64 (a) KN_1 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KN_1 numunesi aderans deneyi sırası, (c) KN_1 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri.

KN_2 Numunesi

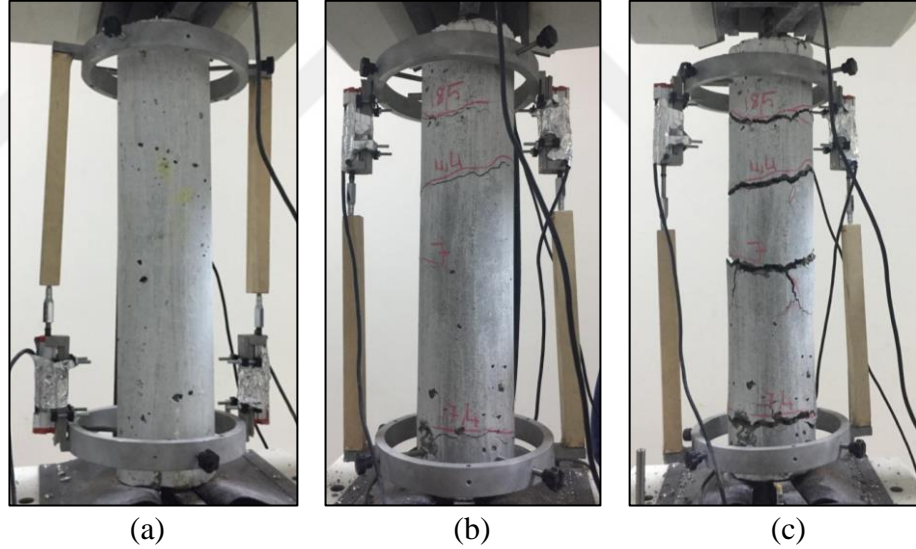
KN_2 kodlu aderans numunesi kış koşullarında betonda antifriz katkısı kullanılmadan ve numunelerin bulunduğu ortamın ısıtılmaksızın yapılan dökümü temsil eden uygulamanın 2 numaralı numunesi olarak test edilmiştir. Deney başlangıcında numunenin beton boyu 48,7 cm; ölçüme esas çelik donatı boyu 53,5 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesindeki ilk çekme çatlak; çelik donatıda $\sigma_s = 494,64$ MPa çekme gerilmesi ölçüldüğünde numunenin tam ortasında oluşmuştur. Yüklemin ilerleyen safhalarında yatay çatlak sayısı artmış; yaklaşık olarak eşit aralıklarda oluşan toplam 4 yatay çekme çatlak numuneyi 5 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliğinin $\cong 10$ cm olduğunu ifade etmek mümkündür. Yüklemin son aşamalarında numunenin alt ve üst bölgelerinde dikey çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiş; bu durumda deney tamamlanmıştır. KN_2 numunesinin çelik donatısı 506,04 MPa gerilme değerinde akmıştır. Numuneye ait deney öncesi ve deney sonrası görüntüleri Şekil 4.65' te sunulmaktadır.



Şekil 4.65 (a) KN_2 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KN_2 numunesi aderans deneyi sırası, (c) KN_2 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri.

KN_3 Numunesi

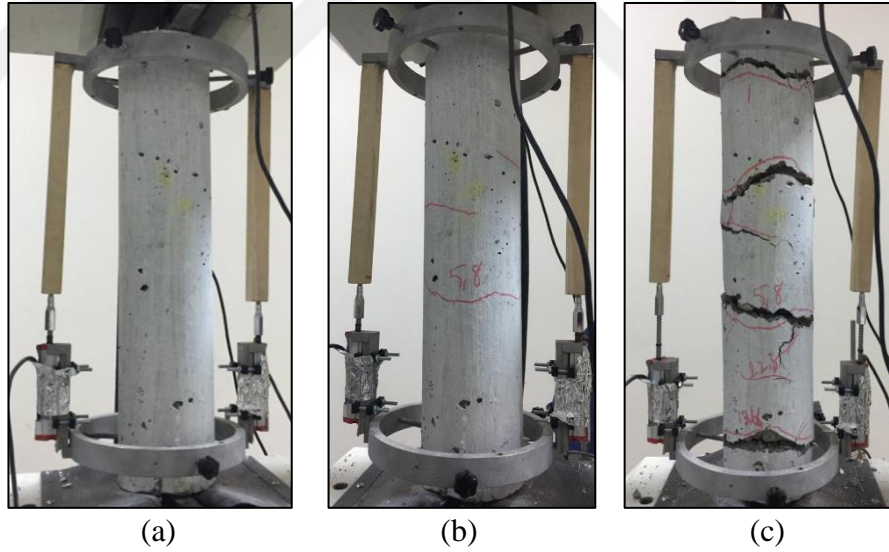
KN_3 kodlu aderans numunesi kış koşullarında betonda antifriz katkısı kullanılmadan ve numunelerin bulunduğu ortamın ısıtılmaksızın yapılan dökümü temsil eden uygulamanın 3 numaralı numunesi olarak test edilmiştir. Deneysel başlangıcında numunenin beton boyu 48,5 cm; ölçüme esas çelik donatı boyu 53 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesindeki ilk çekme çatlak; çelik donatıda $\sigma_s = 181,57$ MPa çekme gerilmesi ölçüldüğünde numunenin tam ortasında oluşmuştur. Yüklemin ilerleyen safhalarında yatay çatlak sayısı artmış; yaklaşık olarak eşit aralıklarda oluşan toplam 4 yatay çekme çatlak numuneyi 5 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliğinin $\cong 10$ cm olduğunu ifade etmek mümkündür. Yüklemin son aşamalarında numunenin alt ve üst bölgelerinde dikey çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiş; bu durumda deney tamamlanmıştır. KN_3 numunesinin çelik donatısı 534,01 MPa gerilme değerinde akmıştır. Numuneye ait deney öncesi ve deney sonrası görüntüleri Şekil 4.66'da sunulmaktadır.



Şekil 4.66 (a) KN_3 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KN_3 numunesi aderans deneyi sırası, (c) KN_3 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri.

KN_4 Numunesi

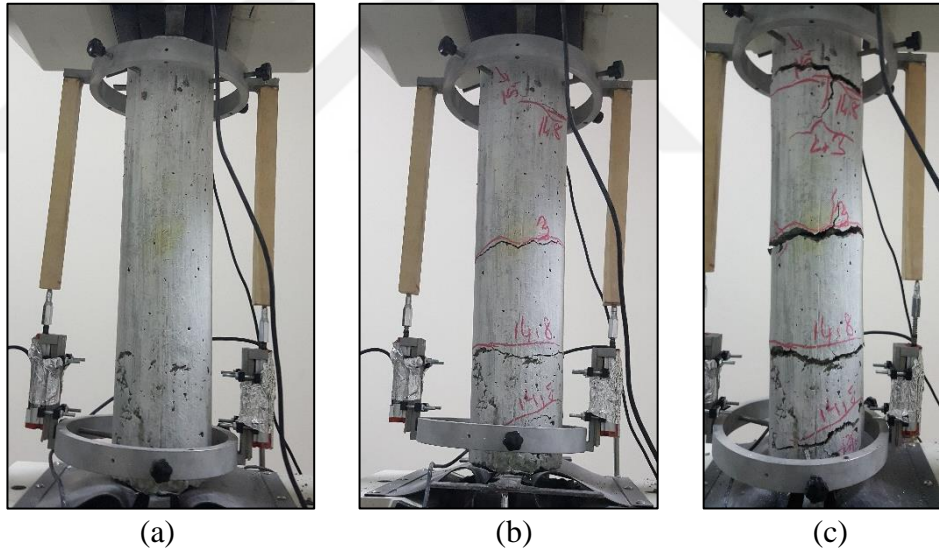
KN_4 kodlu aderans numunesi kış koşullarında betonda antifriz katkısı kullanılmadan ve numunelerin bulunduğu ortamın ısıtılmaksızın yapılan dökümü temsil eden uygulamanın 4 numaralı numunesi olarak test edilmiştir. Deneysel başlangıcında numunenin beton boyu 48,6 cm; ölçüme esas çelik donatı boyu 53,1 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesindeki ilk çekme çatlakları; çelik donatıda $\sigma_s = 153,86$ MPa çekme gerilmesi ölçüldüğünde numunenin tam ortasında oluşmuştur. Yüklemenin ilerleyen safhalarında yatay çatlak sayısı artmış; yaklaşık olarak eşit aralıklarda oluşan toplam 4 yatay çekme çatlakları numuneyi 5 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliğinin $\cong 10$ cm olduğunu ifade etmek mümkündür. Yüklemenin son aşamalarında numunenin alt ve üst bölgelerinde dikey çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiştir; bu durumda deney tamamlanmıştır. KN_4 numunesinin çelik donatısı 509,38 MPa gerilme değerinde akmıştır. Numuneye ait deney öncesi ve deney sonrası görüntüleri Şekil 4.67’de sunulmaktadır.



Şekil 4.67 (a) KN_4 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KN_4 numunesi aderans deneyi sırası, (c) KN_4 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri.

KN_5 Numunesi

KN_5 kodlu aderans numunesi kış koşullarında betonda antifriz katkısı kullanılmadan ve numunelerin bulunduğu ortamın ısıtılmaksızın yapılan dökümü temsil eden uygulamanın 5 numaralı numunesi olarak test edilmiştir. Deneysel başlangıcında numunenin beton boyu 48 cm; ölçüme esas çelik donatı boyu 52,3 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesindeki ilk çekme çatlak; çelik donatıda $\sigma_s = 164,21$ MPa çekme gerilmesi ölçüldüğünde numunenin tam ortasında oluşmuştur. Yüklemin ilerleyen safhalarında yatay çatlak sayısı artmış; yaklaşık olarak eşit aralıklarda oluşan toplam 4 yatay çekme çatlak numuneyi 5 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliğinin $\cong 10$ cm olduğunu ifade etmek mümkündür. Yüklemin son aşamalarında numunenin alt ve üst bölgelerinde dikey çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiş; bu durumda deney tamamlanmıştır. KN_5 numunesinin çelik donatısı 520,21 MPa gerilme değerinde akmıştır. Numuneye ait deney öncesi ve deney sonrası görüntüleri Şekil 4.68’ de sunulmaktadır.



Şekil 4.68 (a) KN_5 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KN_5 numunesi aderans deneyi sırası, (c) KN_5 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri.

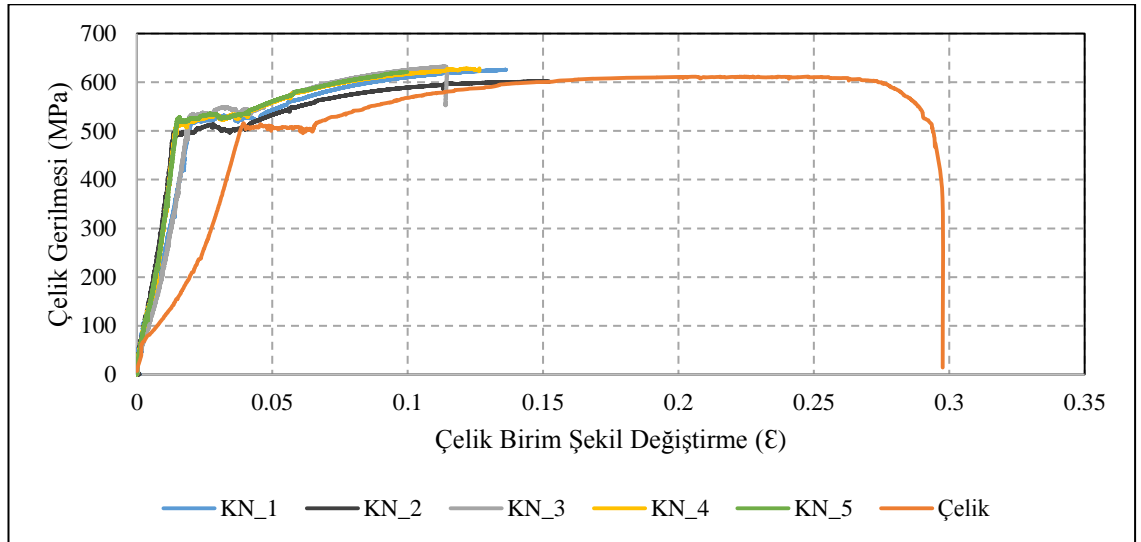
Aderans numunelerinin deneylerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.27’ de sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda; aderans numunelerinin yüzeyinde oluşan ilk çatlak hangi çelik gerilmesi düzeyinde oluştuğu belirlenmiş olup bu değer noktası için her bir numuneden elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.27 KN grubu aderans numunelerine ait eksenel çekme testi sonuçları

Numune	Çeneler Arası Yer Değiştirme (mm)	Çelik Gerilmesi (MPa)	Çelik Birim Şekil Değiştirme	Beton Birim Şekil Değiştirme	Aderans Gerilmesi (MPa)	Toplam Birim Slip
KN_1	3,4000	168,6	0,0064	0,000106	1,27	0,0006
KN_2	7,4000	494,7	0,0138	0,000876	3,56	0,0004
KN_3	4,4000	181,6	0,0083	0,000141	1,31	0,0002
KN_4	2,8000	153,9	0,0053	0,000100	1,11	0,0004
KN_5	3,0000	164,2	0,0057	0,000167	1,20	-0,0001
Ortalama	4,2000	232,6	0,0079	0,000278	1,68	0,0003

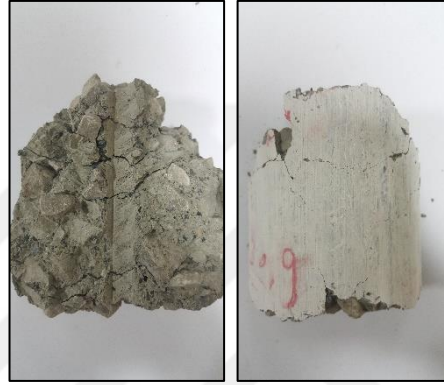
KN_3 numunesinin Şekil 4.69' da sunulan grafikte de görüldüğü üzere net olarak görülmesine de salt çelik donatısına yakın eğimli olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen bu sonuç doğrultusunda KN_2 numunesi 7,4 mm deplasmanda ilk çatlak gözlemlenmiştir. Belirlenen eğim aralığında bu numuneye ait eğimin salt çelik donatısına yakın olması beklenmektedir. Fakat gerilme-birim şekil değişirme grafiğinde salt çelik donatısına yakın davranışı KN_3 sergilemiştir. KN_2 numunesi değerlendirmeye katılmadığı durumda bir önceki numunelerde gözlemlenen davranışı KN_3 numunesi göstermekte olup; numune donatı arasındaki aderansın zayıf olması ve salt çelik donatısına yakın davranış gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu durum deney numunesinin içyapısı incelendiğinde gözlemlenen çatlaklar üzerinden ayrıca değerlendirilebilmektedir.



Şekil 4.69 KN grubu aderans numunesi çelik gerilme-birim şekil değişirme grafiği

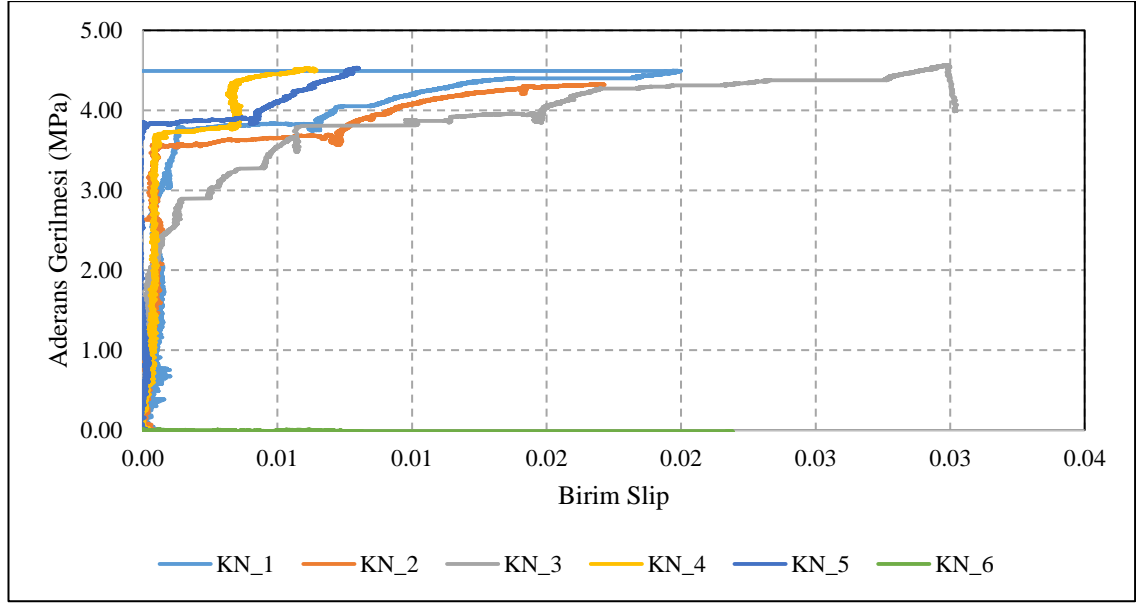
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Şekil 4.70' de sunulan KN_2 numunesi içyapı örnek görseli incelendiğinde donatı çevresinde çok sayıda kılcal çatlak oluştuğu ancak bu çatlakların numune yüzeyine kadar ilerlemediği açıkça görülmektedir. Bununla birlikte deney esnasında yüzeyde görülen çatlakların içeride donatı çevresinde başladığı ve ilerlediği görülmektedir. Yüzeyde tespit edilen çatlak takip edildiğinde donatı çevresinden itibaren yüzeye kadar çatlak genişliğinin azalarak çatlağın ilerlediği gözlenmiştir. Diğer KN numuneleri ile kıyaslandığında KN_2 numunesinde donatı çevresinde oluşan ancak numune yüzeyine ulaşmayan kılcal çatlak sayısının en fazla olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.70 KN grubu numunesi içi çatlak detayı

KN numunelerine ait aderans gerilmesi-birim slip grafiği Şekil 4.71' de verilmiştir. Tüm döküm grupları için her bir numune beton boyu 50 cm olarak tasarlanmış ve imal edilmiştir. Ancak deney öncesi yapılan ölçümlerde yaklaşık olarak ± 1 cm mertebesinde beton boyu farklılıkları olduğu belirlenmiştir. Bu durumda numunenin her iki ucundan ölçülen toplam sıyırılmanın toplam beton boyuna oranlanarak değerlendirilmesi uygun bulunmuş ve grafik gösterimde birim slip değeri kullanılmıştır. Bununla birlikte, her bir numune için beton yüzeyinde ilk çatlak görüldükten sonraki sıyırılma ölçümlerinin beton çatlak genişliklerini içine aldığından performans değerlendirmesinde kullanılmasının doğru bir teknik yaklaşım olmadığı düşünülmektedir.

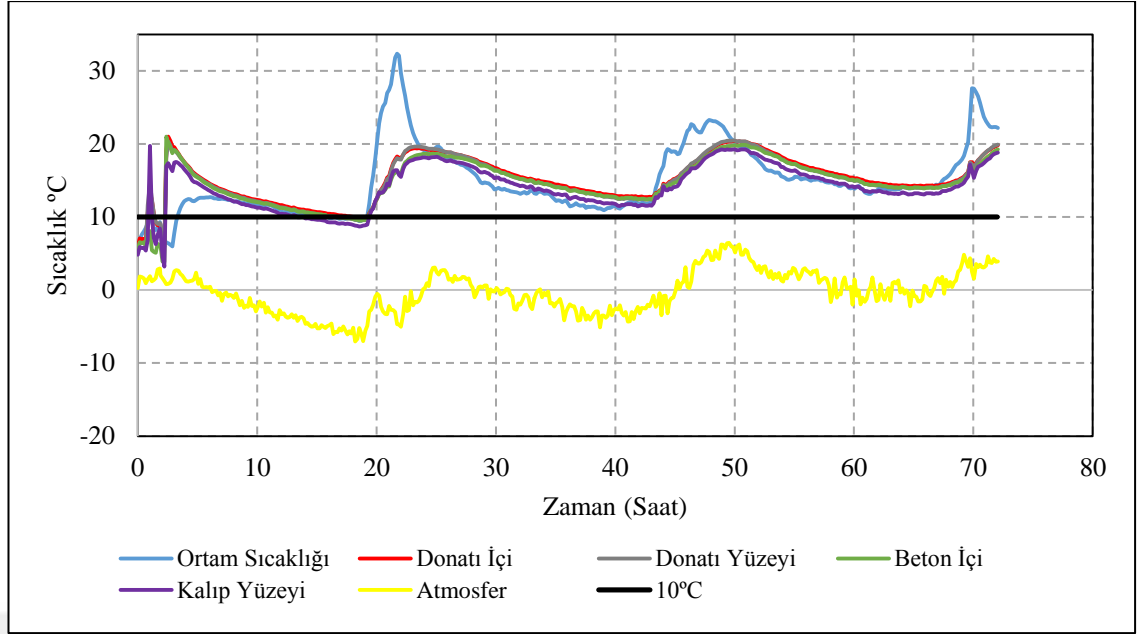


Şekil 4.71 Yaz grubu numuneleri aderans gerilmesi-birim sıyrılma grafiği

4.2.3.3.3. KNB Grubu Aderans Numunesi İmalatına İlişkin Gözlemler

Bu gruptaki numuneler **KNB** kısaltması ile kodlanmıştır. MATERYAL VE YÖNTEM kısmında bahsi geçen 72 saat süreli sıcaklık ölçüm grafiği Şekil 4.72' de sunulmuştur. Döküm başlangıcında 24,6°C olan taze beton sıcaklığının beton, kalıba yerleştirildikten ve çelik donatı ile temas ettikten sonra düşüş yaşadığı gözlenmiştir. Döküm esnasında dış ortam sıcaklığı 3,1°C iken iç ortam sıcaklığı 9,2°C olarak gözlenmiştir. Dış ortam sıcaklığının dökümden sonra 22.saatte ortam sıcaklığı şeffaf brandanın sera etkisi oluşturmasıyla atmosfer sıcaklığı -2°C olmasına rağmen ortam sıcaklığı hem güneşin hem ısıtıcının etkisi ile 32°C ölçülmüştür. Muhafaza alan içerisi 72 saat boyunca aynı sıcaklığı yayan ısıtıcı ile ısıtılmış olup, ortam sıcaklığının artmasıyla numune içerisinde ve donatıda ısı artışı gerçekleşmiştir. Bu durum, incelenen aderans numunesindeki beton ve çelik malzeme sıcaklığının dış ortam sıcaklığından doğrudan etkilendiğini göstermektedir. Ölçüm alınan süre boyunca gerek ortam gerekse beton sıcaklığının +10°C'nin altına düşmediği görülmektedir. Veri üzerinde yapılan inceleme neticesinde dökümden sonraki 27.saatte beton ve çelik yüzey sıcaklığının 17,7°C' de eşitlendiği ve dengeye ulaştığı görülmektedir. Bu noktadan sonra beton ve çelik yüzeyi sıcaklığının artış ve azalış bölgelerinde aynı değeri alarak aynı trendi takip etmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.72 KNB grubu aderans numunesi sıcaklık değişim grafiği

Hazırlanan silindir numunelerine ait basınç dayanımları Çizelge 4.28’ de sunulmuş olup çekme dayanımları bağıntı 4.1’ de sunulan formül ile hesaplanmıştır. Bu imalat için beton dayanımı 17,42 MPa olarak belirlenmiş ve tasarlanan 25 MPa değerinin altında olduğu görülmüştür.

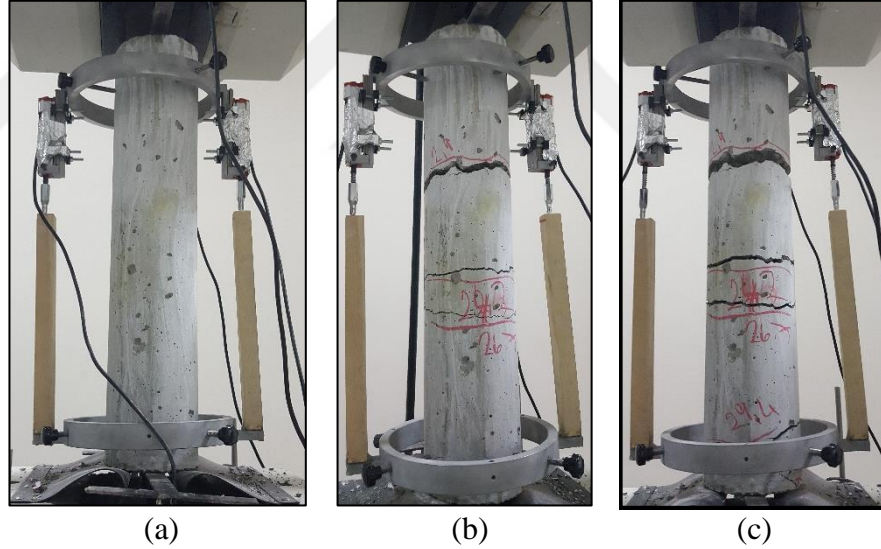
Çizelge 4.28 KNB grubu aderans numunesi basınç dayanımı testi sonuçları

Numune Kodu	Basınç Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
KNB_1	17,48	1,46
KNB_2	18,04	1,49
KNB_3	18,95	1,52
KNB_4	14,22	1,32
KNB_5	14,63	1,34
KNB_6	17,49	1,46
KNB_7	21,12	1,61
ORTALAMA	17,42	1,46

Basınç dayanımları belirlendikten sonra aderans numunelerin deney aşamasına geçilmiş olup KNB numune grubuna ait aderans deney gözlemleri aşağıda olarak sunulmuştur.

KNB_1 Numunesi

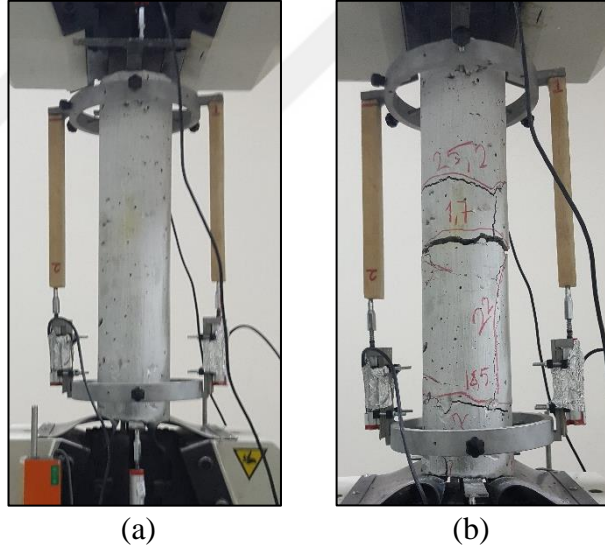
KNB_1 kodlu aderans numunesi kış koşullarında ısıtılmak suretiyle antifriz kullanmadan normal dökümü temsil eden uygulamanın 1 numaralı numunesi olarak test edilmiştir. Deney başlangıcında numunenin beton boyu 49,5 cm; ölçüme esas çelik donatı boyu 53,6 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesindeki ilk çekme çatlağı; çelik donatıda $\sigma_s = 113,20$ MPa çekme gerilmesi ölçüldüğünde numune ortasının biraz üstünde oluşmuştur. Yüklemin ilerleyen safhalarında yatay çatlak sayısı artmış; yaklaşık olarak eşit aralıklarda oluşan toplam 4 yatay çekme çatlağı numuneyi 5 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliğinin $\cong 10$ cm olduğunu ifade etmek mümkündür. Yüklemin son aşamalarında numunenin alt ve üst bölgelerinde dikey çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiş; bu durumda deney tamamlanmıştır. KNB_1 numunesinin çelik donatısı 511,41 MPa gerilme değerinde akmıştır. Numuneye ait deney öncesi ve deney sonrası görüntüleri Şekil 4.73’ te sunulmaktadır.



Şekil 4.73 (a) KNB_1 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KNB_1 numunesi aderans deneyi sırası, (c) KNB_1 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri.

KNB_2 Numunesi

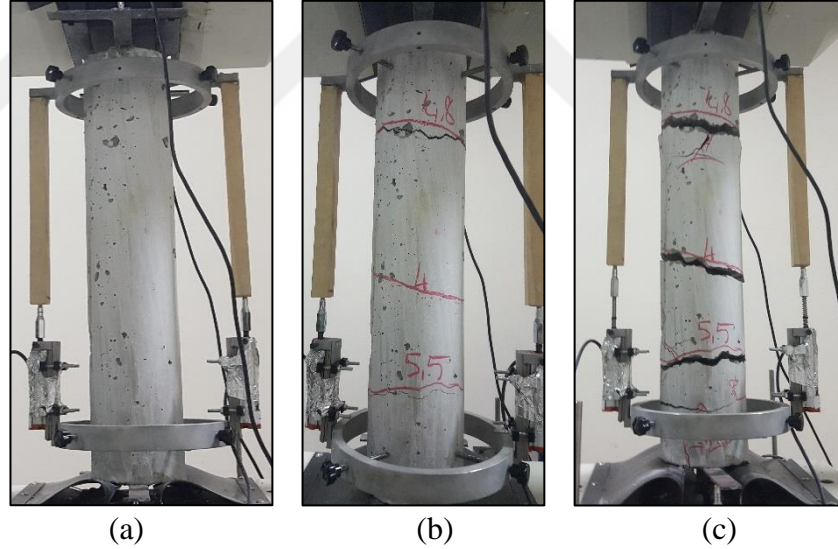
KNB_2 kodlu aderans numunesi kış koşullarında ısıtılmak suretiyle antifriz kullanmadan normal dökümü temsil eden uygulamanın 2 numaralı numunesi olarak test edilmiştir. Deney başlangıcında numunenin beton boyu 49,2 cm; ölçüme esas çelik donatı boyu 52,8 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesindeki ilk çekme çatlak; çelik donatıda $\sigma_s = 126,35$ MPa çekme gerilmesi ölçüldüğünde numunenin tam ortasında oluşmuştur. Yüklemin ilerleyen safhalarında yatay çatlak sayısı artmış; yaklaşık olarak eşit aralıklarda oluşan toplam 3 yatay çekme çatlak numuneyi 4 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliğinin $\cong 12$ cm olduğunu ifade etmek mümkündür. Yüklemin son aşamalarında numunenin alt ve üst bölgelerinde dikey çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiş; bu durumda deney tamamlanmıştır. KNB_2 numunesinin çelik donatısı 530,35 MPa gerilme değerinde akmıştır. Numuneye ait deney öncesi ve deney sonrası görüntüleri Şekil 4.74' te sunulmaktadır.



Şekil 4.74 (a) KNB_2 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KNB_2 numunesi aderans deney sonrası görüntüleri.

KNB_3 Numunesi

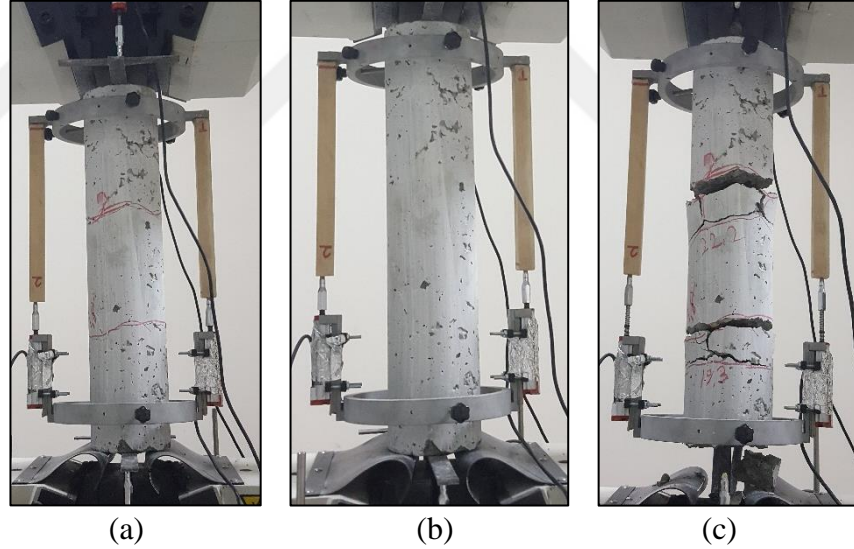
KNB_3 kodlu aderans numunesi kış koşullarında ısıtılmak suretiyle antifriz kullanmadan normal dökümü temsil eden uygulamanın 3 numaralı numunesi olarak test edilmiştir. Deney başlangıcında numunenin beton boyu 49 cm; ölçüme esas çelik donatı boyu 52,8 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesindeki ilk çekme çatlağı; çelik donatıda $\sigma_s = 129,38$ MPa çekme gerilmesi ölçüldüğünde numunenin tam ortasında oluşmuştur. Yüklemin ilerleyen safhalarında yatay çatlak sayısı artmış; yaklaşık olarak eşit aralıklarda oluşan toplam 4 yatay çekme çatlağı numuneyi 5 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliğinin $\cong 10$ cm olduğunu ifade etmek mümkündür. Yüklemin son aşamalarında numunenin alt ve üst bölgelerinde dikey çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiş; bu durumda deney tamamlanmıştır. KNB_3 numunesinin çelik donatısı 535,92 MPa gerilme değerinde akmıştır. Numuneye ait deney öncesi ve deney sonrası görüntüleri Şekil 4.75’ te sunulmaktadır.



Şekil 4.75 (a) KNB_3 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KNB_3 numunesi aderans deneyi sırası, (c) KNB_3 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri

KNB_4 Numunesi

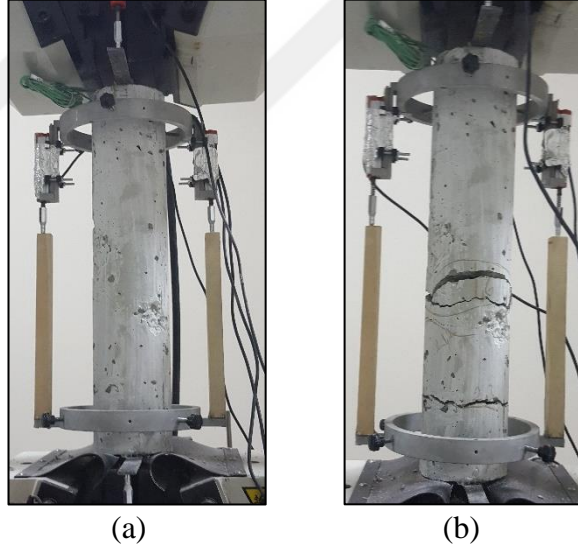
KNB_4 kodlu aderans numunesi kış koşullarında ısıtılmak suretiyle antifriz kullanmadan normal dökümü temsil eden uygulamanın 4 numaralı numunesi olarak test edilmiştir. Deney başlangıcında numunenin beton boyu 49 cm; ölçüme esas çelik donatı boyu 53,4 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesindeki ilk çekme çatlak; çelik donatıda $\sigma_s = 124,66$ MPa çekme gerilmesi ölçüldüğünde numunenin tam ortasında oluşmuştur. Yüklemin ilerleyen safhalarında yatay çatlak sayısı artmış; yaklaşık olarak eşit aralıklarda oluşan toplam 2 yatay çekme çatlak numuneyi 3 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliğinin $\cong 16$ cm olduğunu ifade etmek mümkündür. Yüklemin son aşamalarında numunenin alt ve üst bölgelerinde dikey çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiş; bu durumda deney tamamlanmıştır. KNB_4 numunesinin çelik donatısı 518,42 MPa gerilme değerinde akmıştır. Numuneye ait deney öncesi ve deney sonrası görüntüleri Şekil 4.76' da sunulmaktadır.



Şekil 4.76 (a) KNB_4 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KNB_4 numunesi aderans deneyi sırası, (c) KNB_4 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri.

KNB_5 Numunesi

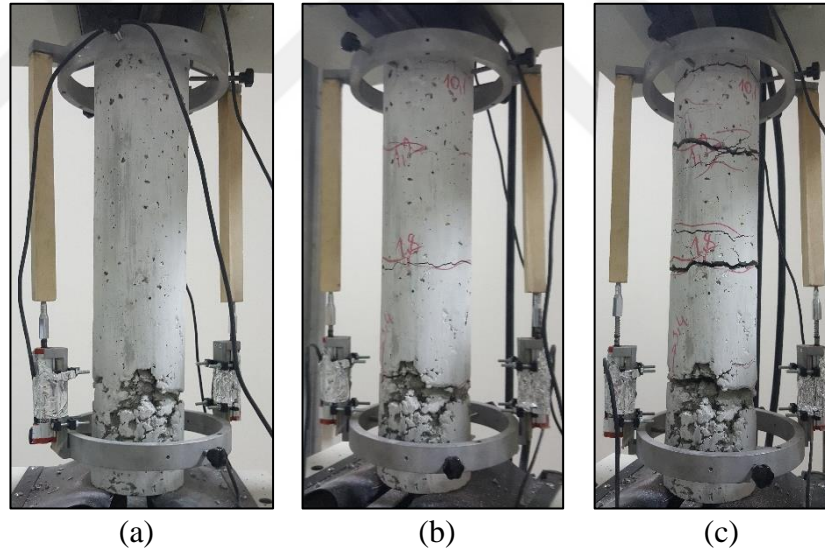
KNB_5 kodlu aderans numunesi kış koşullarında ısıtılmak suretiyle antifriz kullanmadan normal dökümü temsil eden uygulamanın 5 numaralı numunesi olarak test edilmiştir. Deney başlangıcında numunenin beton boyu 49 cm; ölçüme esas çelik donatı boyu 53,2 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesindeki ilk çekme çatlak; çelik donatıda $\sigma_s = 93,72$ MPa çekme gerilmesi ölçüldüğünde numunenin tam ortasında oluşmuştur. Yüklemin ilerleyen safhalarında yatay çatlak sayısı artmış; toplam 2 yatay çekme çatlak numuneyi 3 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliği oluşmamış olup numunenin alt kısmında çatlak meydana gelmiştir. Yüklemin son aşamalarında numunenin alt ve üst bölgelerinde dikey çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiş; bu durumda deney tamamlanmıştır. KNB_5 numunesinin çelik donatısı 529,99 MPa gerilme değerinde akmıştır. Numuneye ait deney öncesi ve deney sonrası görüntüler Şekil 4.77’de sunulmaktadır.



Şekil 4.77 (a) KNB_5 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KNB_5 numunesi aderans deney sonrası görüntüleri.

KNB_6 Numunesi

KNB_6 kodlu aderans numunesi kış koşullarında ısıtılmak suretiyle antifriz kullanmadan normal dökümü temsil eden uygulamanın 6 numaralı numunesi olarak test edilmiştir. Deney başlangıcında numunenin beton boyu 49,2 cm; ölçüme esas çelik donatı boyu 52,9 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesindeki ilk çekme çatlağı; çelik donatıda $\sigma_s = 146,50$ MPa çekme gerilmesi ölçüldüğünde numunenin tam ortasında oluşmuştur. Yüklemin ilerleyen safhalarında yatay çatlak sayısı artmış; yaklaşık olarak eşit aralıklarda oluşan toplam 4 yatay çekme çatlağı numuneyi 5 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliğinin $\cong 10$ cm olduğunu ifade etmek mümkündür. Yüklemin son aşamalarında numunenin alt ve üst bölgelerinde dikey çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiş; bu durumda deney tamamlanmıştır. KNB_6 numunesinin çelik donatısı 528,90 MPa gerilme değerinde akmıştır. Numuneye ait deney öncesi ve deney sonrası görüntüleri Şekil 4.78’ de sunulmaktadır.



Şekil 4.78 (a) KNB_6 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KNB_6 numunesi aderans deneyi sırasında, (c) KNB_6 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri.

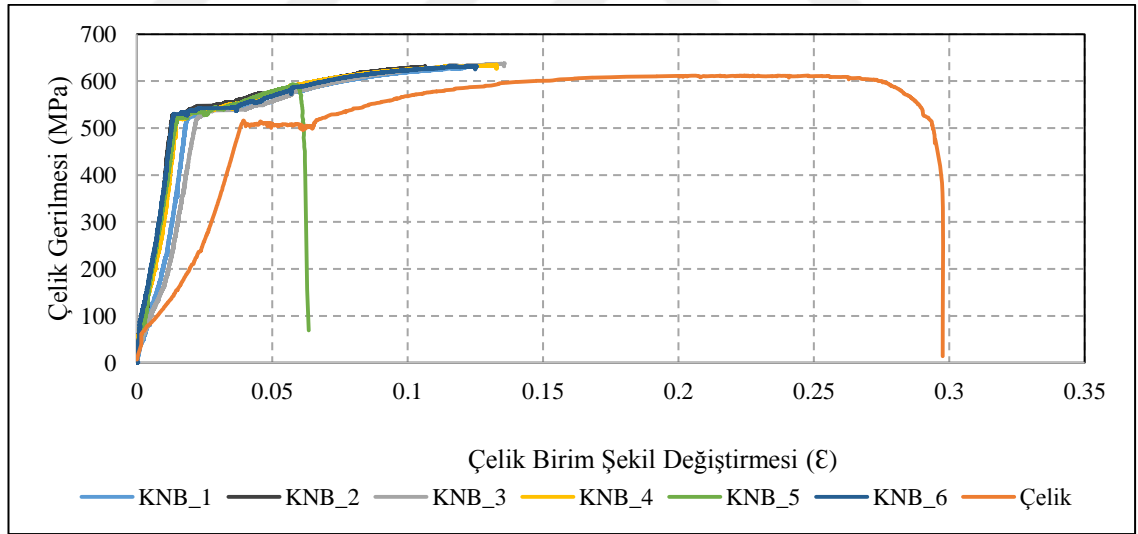
Aderans numunelerinin deneylerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.29’ da sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda; aderans numunelerinin yüzeyinde oluşan ilk çatlağın hangi çelik gerilmesi düzeyinde oluştuğu belirlenmiş olup bu değer noktası için her bir numuneden elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.29 KNB grubu aderans numunelerine ait eksenel çekme testi sonuçları

Numune	Çeneler Arası Yer Değişirme (mm)	Çelik Gerilmesi (MPa)	Çelik Birim Şekil Değişirmesi	Beton Birim Şekil Değişirmesi	Aderans Gerilmesi (MPa)	Toplam Birim Slip
KNB_1	2,9000	113,20	0,0054	0,000083	0,80	-0,0001
KNB_2	1,7000	126,36	0,0032	0,000131	0,90	0,0003
KNB_3	3,9000	129,39	0,0074	0,000001	0,92	-0,0001
KNB_4	1,8000	124,67	0,0034	0,000237	0,89	0,0003
KNB_5	1,6000	93,72	0,0030	0,000187	0,67	-0,0001
KNB_6	1,8000	146,50	0,0034	0,000359	1,04	0,0000
Ortalama	2,2833	122,30	0,0043	0,000166	0,87	0,0000

KNB_3 numunesinin Şekil 4.79’ da sunulan grafikte de görüldüğü üzere net olarak görülmesi de salt çelik donatısına yakın eğimli olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen bu sonuç doğrultusunda KNB_3 numunesi 3,9 mm deplasmanda ilk çatlak gözlemlenmesi; numune donatı arasındaki aderansın zayıf olması ve salt çelik donatısına yakın davranış gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu durum deney numunesinin içyapısı incelendiğinde gözlemlenen çatlaklar üzerinden ayrıca değerlendirilebilmektedir.



Şekil 4.79 KNB grubu aderans numunesi çelik gerilme-birim şekil değiştirme grafiği

Şekil 4.80’ de sunulan KNB_3 numunesi içyapı örnek görseli incelendiğinde donatı çevresinde çok sayıda kılcal çatlak oluştuğu ancak bu çatlakların numune yüzeyine kadar ilerlemediği açıkça görülmektedir. Bununla birlikte deney esnasında yüzeyde görülen çatlakların içeride donatı çevresinde başladığı ve ilerlediği görülmektedir. Yüzeyde tespit edilen çatlak takip edildiğinde donatı çevresinden itibaren yüzeye kadar

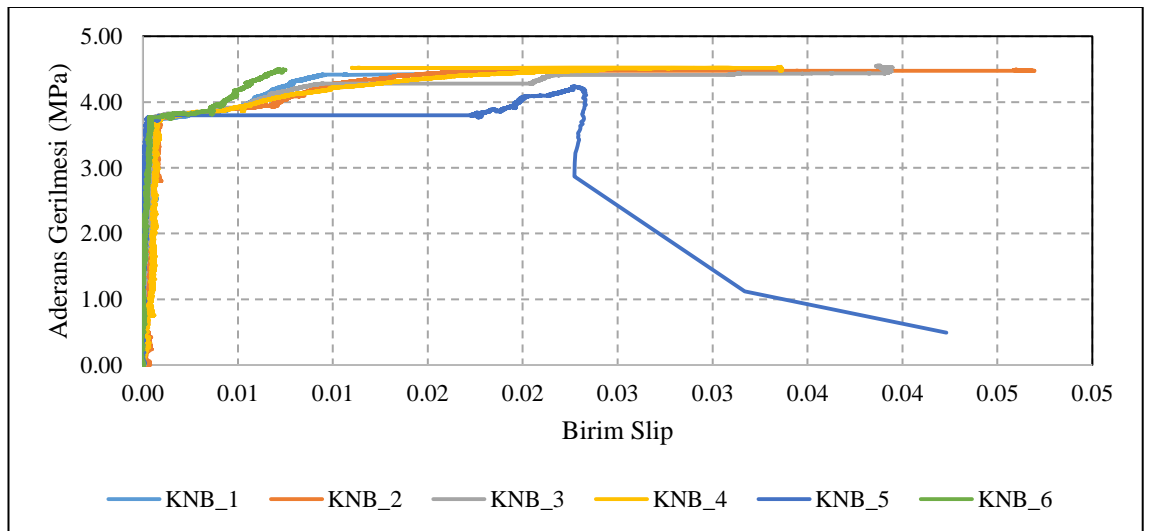
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

çatlak genişliğinin azalarak çatlağın ilerlediği gözlenmiştir. Diğer KNB numuneleri ile kıyaslandığında KNB_3 numunesinde donatı çevresinde oluşan ancak numune yüzeyine ulaşmayan kılcal çatlak sayısının en fazla olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.80 KNB grubu numunesi içi çatlak detayı

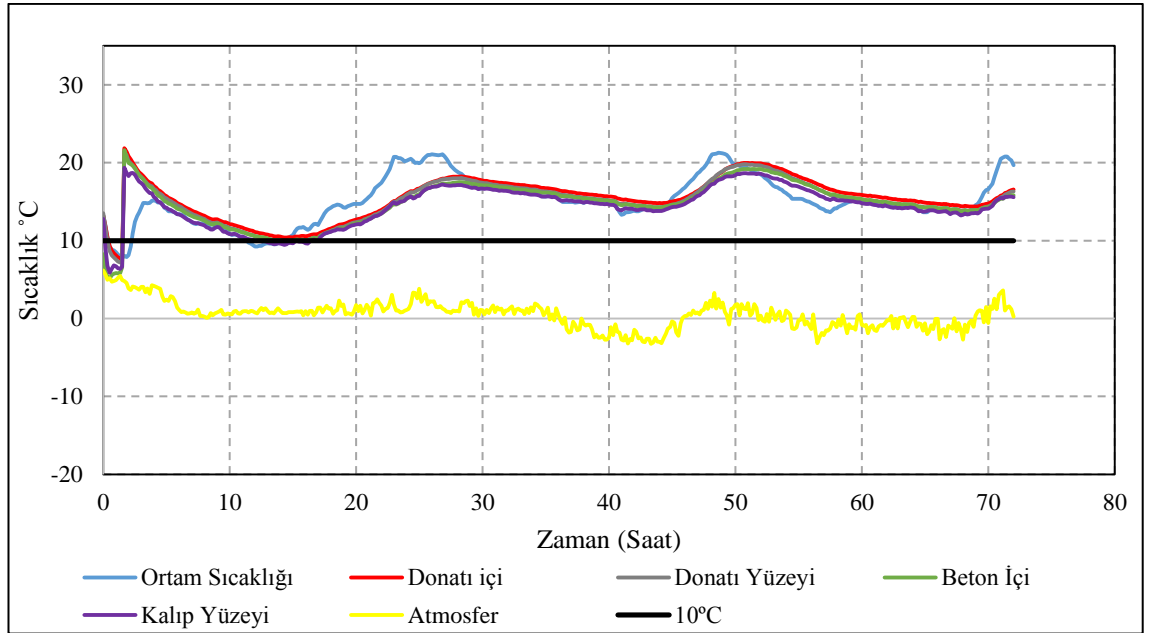
KNB numunelerine ait aderans gerilmesi-birim slip grafiği Şekil 4.81’ de verilmiştir. Tüm döküm grupları için her bir numune beton boyu 50 cm olarak tasarlanmış ve imal edilmiştir. Ancak deney öncesi yapılan ölçümlerde yaklaşık olarak ± 1 cm mertebesinde beton boyu farklılıkları olduğu belirlenmiştir. Bu durumda numunenin her iki ucundan ölçülen toplam sıyrılmanın toplam beton boyuna oranlanarak değerlendirilmesi uygun bulunmuş ve grafik gösterimde birim slip değeri kullanılmıştır. Bununla birlikte, her bir numune için beton yüzeyinde ilk çatlak görüldükten sonraki sıyrılma ölçümlerinin beton çatlak genişliklerini içine aldığından performans değerlendirmesinde kullanılmasının doğru bir teknik yaklaşım olmadığı düşünülmektedir.



Şekil 4.81 KNB grubu numuneleri aderans gerilmesi-birim sıyrılma grafiği

4.2.3.3.4. KAB Grubu Aderans Numunesi İmalatına İlişkin Bulgular

Bu gruptaki numuneler **KAB** kısaltması ile kodlanmıştır. MATERYAL VE YÖNTEM kısmında bahsi geçen 72 saat süreli sıcaklık ölçüm grafiği Şekil 4.82' de sunulmuştur. Döküm başlangıcında 25,3°C olan taze beton sıcaklığının beton, kalıba yerleştirildikten ve çelik donatı ile temas ettikten sonra düşüş yaşadığı gözlenmiştir. Döküm esnasında dış ortam sıcaklığı 3°C iken iç ortam sıcaklığı 9°C olarak gözlenmiştir. Dış ortam sıcaklığının dökümden sonra 24.saatte ortam sıcaklığı şeffaf brandanın sera etkisi oluşturmasıyla atmosfer sıcaklığı 1°C olmasına rağmen ortam sıcaklığı 20,18°C ölçülmüştür. Muhafaza alan içerisi 72 saat boyunca aynı sıcaklığı yayan ısıtıcı ile ısıtılmış olup, ortam sıcaklığının artmasıyla numune içerisinde ve donatıda ısı artışı gerçekleşmiştir. Bu durum, incelenen aderans numunesindeki beton ve çelik malzeme sıcaklığının dış ortam sıcaklığından doğrudan etkilendiğini göstermektedir. Ölçüm alınan süre boyunca gerek ortam gerekse beton sıcaklığının +10°C'nin altına düşmediği görülmektedir. Veri üzerinde yapılan inceleme neticesinde dökümden sonraki 30.saatte beton ve çelik yüzey sıcaklığının 16,7°C' de eşitlendiği ve dengeye ulaştığı görülmektedir. Bu noktadan sonra beton ve çelik yüzeyi sıcaklığının artış ve azalış bölgelerinde aynı değeri alarak aynı trendi takip etmiştir.



Şekil 4.82 KAB grubu aderans numunesi sıcaklık değişim grafiği

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Hazırlanan silindir numunelerine ait basınç dayanımları Çizelge 4.30’ da sunulmuş olup çekme dayanımları bağıntı 4.1’ de sunulan formül ile hesaplanmıştır. Bu grup numuneler üzerinde belirlenen ortalama basınç dayanımı 19,95 MPa olup, tasarlanan 25 MPa değerinin altında kalmıştır.

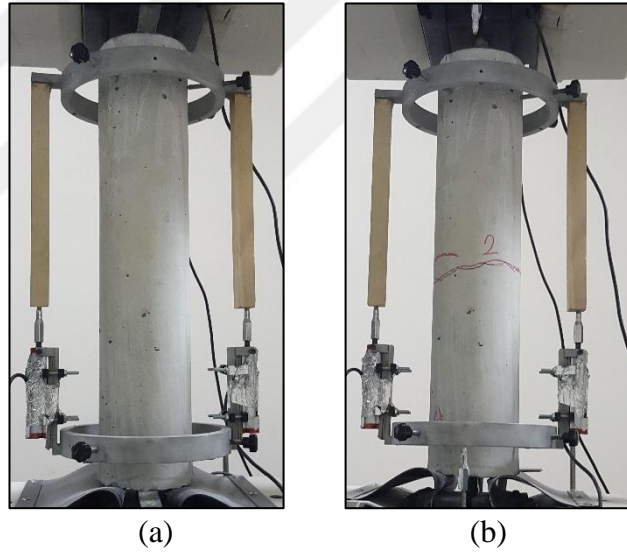
Çizelge 4.30 KAB grubu aderans numunesi basınç dayanımı testi sonuçları

Numune Kodu	Basınç Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
KAB_1	23,25	1,69
KAB_2	14,60	1,34
KAB_3	20,47	1,58
KAB_4	20,32	1,58
KAB_5	21,00	1,60
KAB_6	20,76	1,59
KAB_7	19,26	1,54
ORTALAMA	19,95	1,56

Basınç dayanımları belirlendikten sonra aderans numunelerin deney aşamasına geçilmiş olup KAB numune grubuna ait aderans deney gözlemleri aşağıda olarak sunulmuştur.

KAB_1 Numunesi

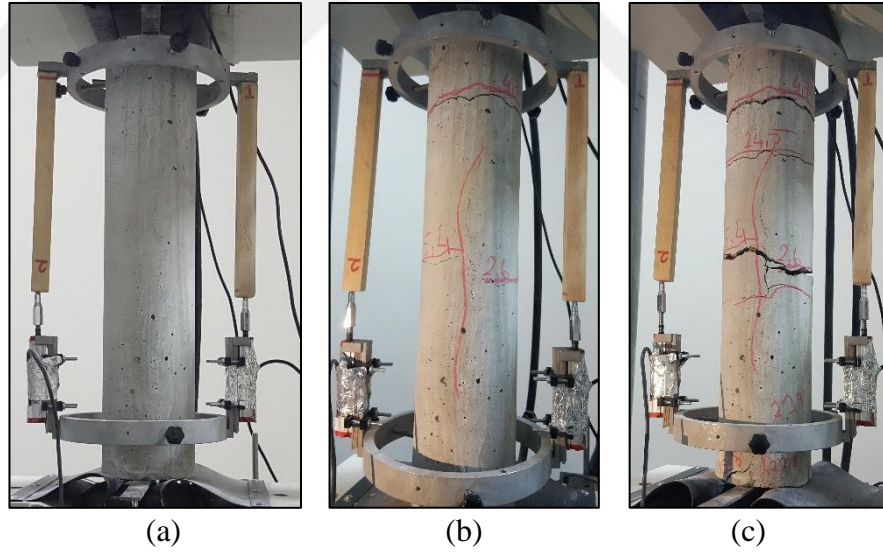
KAB_1 kodlu aderans numunesi kış koşullarında betonda antifriz katkısı kullanılarak ve numunelerin bulunduğu ortamın ısıtılması suretiyle yapılan dökümü temsil eden uygulamanın 1 numaralı numunesi olarak test edilmiştir. Deney başlangıcında numunenin beton boyu 49 cm; ölçüme esas çelik donatı boyu 53,4 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesindeki ilk çekme çatlakı; çelik donatıda $\sigma_s = 161,87$ MPa çekme gerilmesi ölçüldüğünde numunenin tam ortasında oluşmuştur. Ölçüm düzeneğinde slip değerlerinin ölçülebilmesi açısından yerleştirilen metal çubukların numuneyle bağlantılarının kopması neticesinde deney, mevcut durumunda sonlandırılmış ve deney bu şekilde tamamlanmıştır. KAB_1 numunesinin çelik donatısı 518,76 MPa gerilme değerinde akmıştır. Numuneye ait deney öncesi ve deney sonrası görüntüler Şekil 4.83' te sunulmaktadır.



Şekil 4.83 (a) KAB_1 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KAB_1 numunesi aderans deney sonrası görüntüleri.

KAB_2 Numunesi

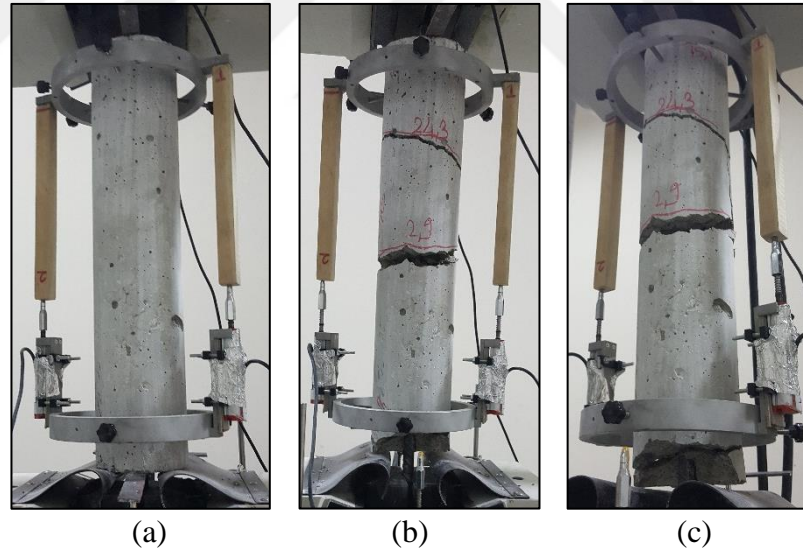
KAB_2 kodlu aderans numunesi kış koşullarında betonda antifriz katkısı kullanılarak ve numunelerin bulunduğu ortamın ısıtılması suretiyle yapılan dökümü temsil eden uygulamanın 2 numaralı numunesi olarak test edilmiştir. Deney başlangıcında numunenin beton boyu 49,4 cm; ölçüme esas çelik donatı boyu 53,3 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesindeki ilk çekme çatlak; çelik donatıda $\sigma_s = 127,06$ MPa çekme gerilmesi ölçüldüğünde numunenin tam ortasında oluşmuştur. Yüklemenin ilerleyen safhalarında yatay çatlak sayısı artmış; yaklaşık olarak eşit aralıklarda oluşan toplam 4 yatay çekme çatlak numuneyi 5 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliğinin $\cong 10$ cm olduğunu ifade etmek mümkündür. Yüklemenin son aşamalarında numunenin alt ve üst bölgelerinde dikey çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiş; bu durumda deney tamamlanmıştır. KAB_2 numunesinin çelik donatısı 513,39 MPa gerilme değerinde akmıştır. Numuneye ait deney öncesi ve deney sonrası görüntüleri Şekil 4.84' te sunulmaktadır.



Şekil 4.84 (a) KAB_2 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KAB_2 numunesi aderans deneyi sırası, (c) KAB_2 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri.

KAB_3 Numunesi

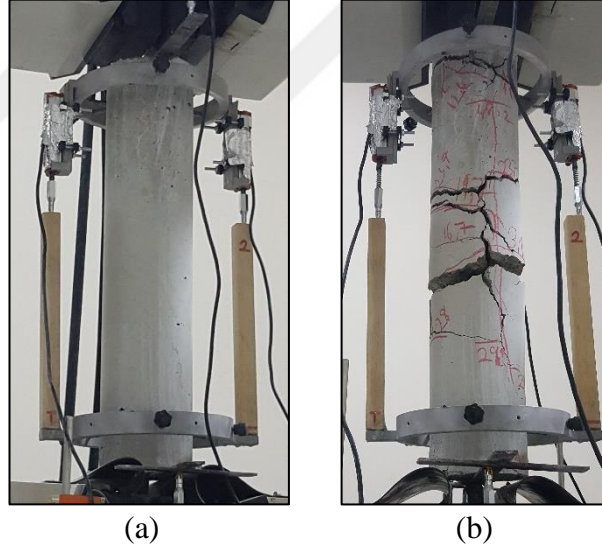
KAB_3 kodlu aderans numunesi kış koşullarında betonda antifriz katkısı kullanılarak ve numunelerin bulunduğu ortamın ısıtılması suretiyle yapılan dökümü temsil eden uygulamanın 3 numaralı numunesi olarak test edilmiştir. Deney başlangıcında numunenin beton boyu 49,5 cm; ölçüme esas çelik donatı boyu 53,8 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesindeki ilk çekme çatlak; çelik donatıda $\sigma_s = 151,22$ MPa çekme gerilmesi ölçüldüğünde numunenin tam ortasında oluşmuştur. Yüklemin ilerleyen safhalarında yatay çatlak sayısı artmış; toplam 2 yatay çekme çatlak numuneyi 3 parçaya ayırmıştır. Bu numune için stabil çatlak genişliği oluşmamış olup numunenin üst kısmında çatlak meydana gelmiştir. Yüklemin son aşamalarında numunenin alt ve üst bölgelerinde dikey çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiş; bu durumda deney tamamlanmıştır. KAB_3 numunesinin çelik donatısı 528,09 MPa gerilme değerinde akmıştır. Numuneye ait deney öncesi ve deney sonrası görüntüleri Şekil 4.85’ te sunulmaktadır.



Şekil 4.85 (a) KAB_3 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KAB_3 numunesi aderans deneyi sırası, (c) KAB_3 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri.

KAB_4 Numunesi

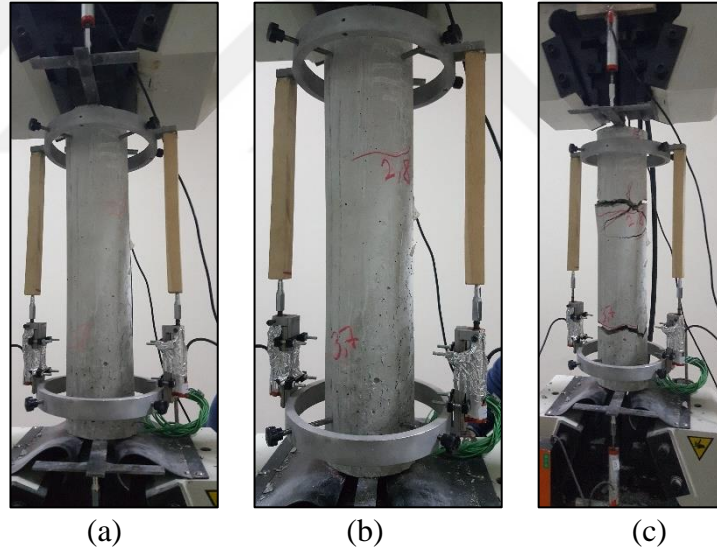
KAB_4 kodlu aderans numunesi kış koşullarında betonda antifriz katkısı kullanılarak ve numunelerin bulunduğu ortamın ısıtılması suretiyle yapılan dökümü temsil eden uygulamanın 4 numaralı numunesi olarak test edilmiştir. Deney başlangıcında numunenin beton boyu 49,4 cm; ölçüme esas çelik donatı boyu 54 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesindeki ilk çekme çatlak; çelik donatıda $\sigma_s = 173,63$ MPa çekme gerilmesi ölçüldüğünde numunenin tam ortasında oluşmuştur. Yüklemin ilerleyen safhalarında yatay çatlak sayısı artmış; numunenin üst yarısında yoğunlaşan çatlaklar neticesinde toplam 2 yatay çekme çatlak numuneyi 3 parçaya ayırmıştır. Yüklemin son aşamalarında numunenin alt ve üst bölgelerinde dikey çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiş; bu durumda deney tamamlanmıştır. KAB_4 numunesinin çelik donatısı 521,70 MPa gerilme değerinde akmıştır. Numuneye ait deney öncesi ve deney sonrası görüntüleri Şekil 4.86’ da sunulmaktadır.



Şekil 4.86 (a) KAB_4 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KAB_4 numunesi aderans deney sonrası görüntüleri.

KAB_5 Numunesi

KAB_5 kodlu aderans numunesi kış koşullarında betonda antifriz katkısı kullanılarak ve numunelerin bulunduğu ortamın ısıtılması suretiyle yapılan dökümü temsil eden uygulamanın 5 numaralı numunesi olarak test edilmiştir. Deney başlangıcında numunenin beton boyu 50,4 cm; ölçüme esas çelik donatı boyu 55,5 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesindeki ilk çekme çatlak; çelik donatıda $\sigma_s = 173,49$ MPa çekme gerilmesi ölçüldüğünde numunenin üst kısmında oluşmuştur. Yüklemin ilerleyen safhalarında numunenin alt kısmında yatay çatlak oluşmuş; numunenin üst yarısında yoğunlaşan çatlaklar neticesinde toplam 2 yatay çekme çatlak numuneyi 3 parçaya ayırmıştır. Yüklemin son aşamalarında numunenin alt ve üst bölgelerinde dikey çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiş; bu durumda deney tamamlanmıştır. KAB_5 numunesinin çelik donatısı 523,26 MPa gerilme değerinde akmıştır. Numuneye ait deney öncesi ve deney sonrası görüntüler Şekil 4.87’ de sunulmaktadır.



Şekil 4.87 (a) KAB_5 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KAB_5 numunesi aderans deneyi sırasında, (c) KAB_5 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri.

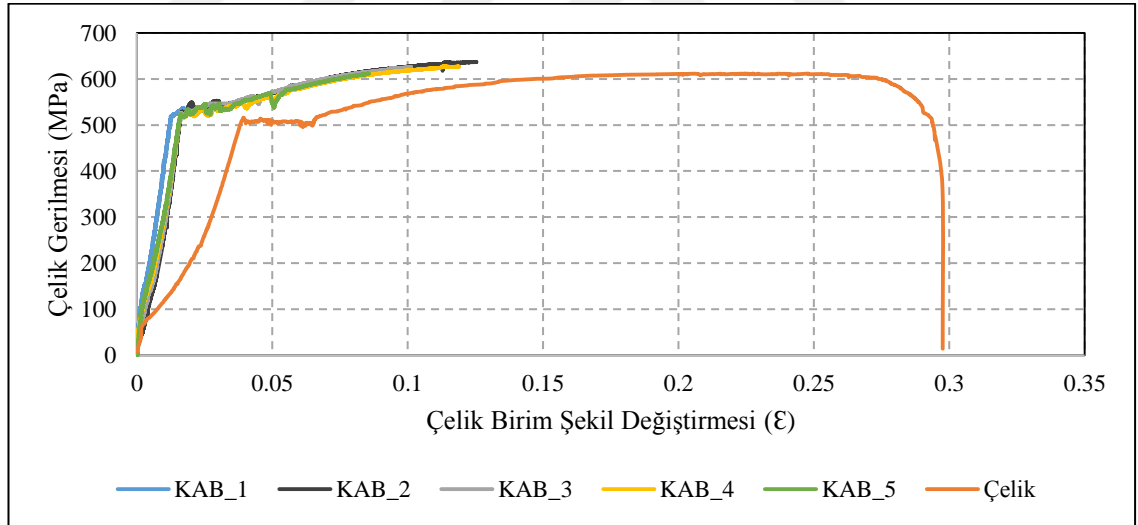
Aderans numunelerinin deneylerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.31’ de sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda; aderans numunelerinin yüzeyinde oluşan ilk çatlakın hangi çelik gerilmesi düzeyinde oluştuğu belirlenmiş olup bu değer noktası için her bir numuneden elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.31 KAB grubu aderans numunelerine ait aksenal çekme testi sonuçları

Numune	Çeneler Arası Yer Değişirme (mm)	Çelik Gerilmesi (MPa)	Çelik Birim Şekil Değişirmesi	Beton Birim Şekil Değişirmesi	Aderans Gerilmesi (MPa)	Toplam Birim Slip
KAB_1	2,0000	161,88	0,0037	0,000197	1,15	0,0001
KAB_2	2,6000	127,07	0,0049	0,000116	0,90	0,0003
KAB_3	2,9000	151,22	0,0054	0,000209	1,07	0,0002
KAB_4	3,1000	173,63	0,0057	0,000226	1,23	0,0002
KAB_5	2,8000	173,49	0,0051	0,000209	1,20	-0,0003
Ortalama	2,6800	157,46	0,0050	0,000191	1,11	0,0001

KAB_4 numunesinin Şekil 4.88’ de sunulan grafikte de görüldüğü üzere net olarak görülmese de salt çelik donatısına yakın eğimli olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen bu sonuç doğrultusunda KAB_4 numunesi 3,1 mm deplasmanda ilk çatlağın gözlemlenmesi; numune donatı arasındaki aderansın zayıf olması ve salt çelik donatısına yakın davranış gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu durum deney numunesinin içyapısı incelendiğinde gözlemlenen çatlaklar üzerinden ayrıca değerlendirilebilmektedir.

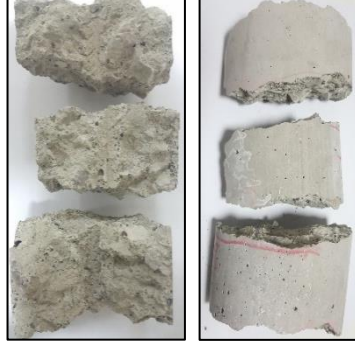


Şekil 4.88 KAB grubu aderans numunesi çelik gerilme-birim şekil değişirme grafiği

Şekil 4.89’ da sunulan KAB_4 numunesi içyapı örnek görseli incelendiğinde donatı çevresinde çok sayıda kılcal çatlak oluştuğu ancak bu çatlakların numune yüzeyine kadar ilerlemediği açıkça görülmektedir. Bununla birlikte deney esnasında yüzeyde görülen çatlakların içeride donatı çevresinde başladığı ve ilerlediği görülmektedir. Yüzeyde tespit edilen çatlak takip edildiğinde donatı çevresinden itibaren yüzeye kadar çatlak genişliğinin azalarak çatlağın ilerlediği gözlemlenmiştir. Diğer KAB numuneleri ile

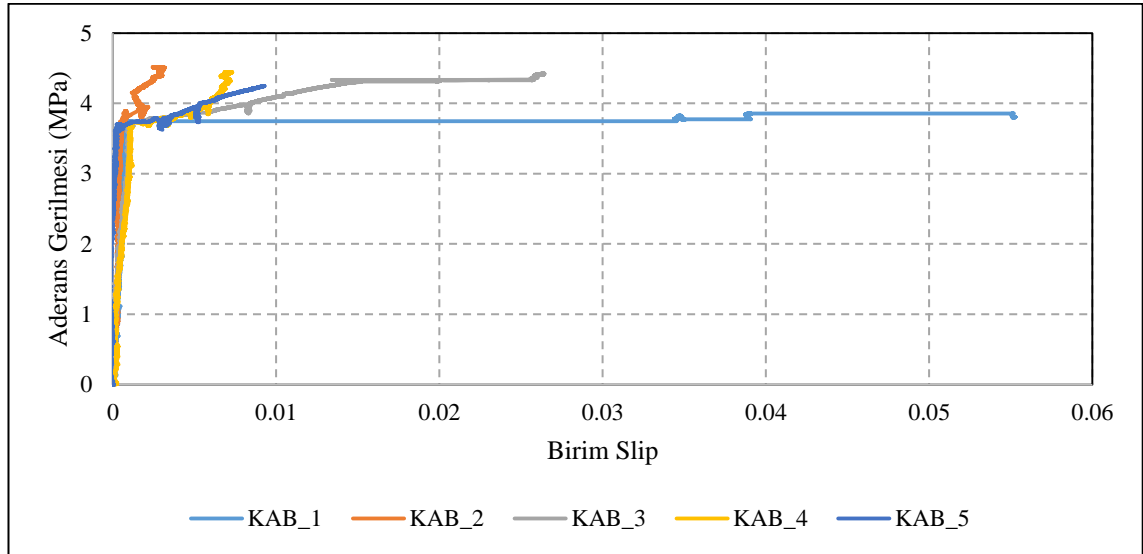
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

kıyaslandığında KAB_4 numunesinde donatı çevresinde oluşan ancak numune yüzeyine ulaşmayan kılcal çatlak sayısının en fazla olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.89 KAB grubu numunesi içi çatlak detayı

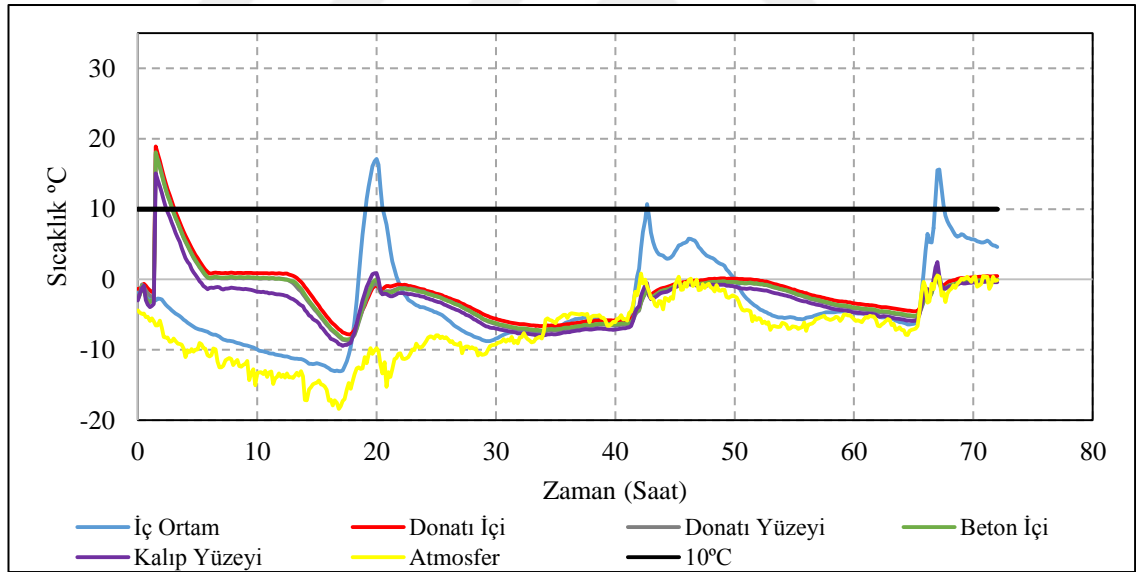
KAB numunelerine ait aderans gerilmesi-birim slip grafiği Şekil 4.90' da verilmiştir. Tüm döküm grupları için her bir numune beton boyu 50 cm olarak tasarlanmış ve imal edilmiştir. Ancak deney öncesi yapılan ölçümlerde yaklaşık olarak ± 1 cm mertebesinde beton boyu farklılıkları olduğu belirlenmiştir. Bu durumda numunenin her iki ucundan ölçülen toplam sıyrılmanın toplam beton boyuna oranlanarak değerlendirilmesi uygun bulunmuş ve grafik gösterimde birim slip değeri kullanılmıştır. Bununla birlikte, her bir numune için beton yüzeyinde ilk çatlak görüldükten sonraki sıyrılma ölçümlerinin beton çatlak genişliklerini içine aldığından performans değerlendirmesinde kullanılmasının doğru bir teknik yaklaşım olmadığı düşünülmektedir.



Şekil 4.90 KAB grubu numuneleri aderans gerilmesi-birim sıyrılma grafiği

4.2.3.3.5. KA-2 Grubu Aderans Numunesi İmalatına İlişkin Bulgular

Numune hazırlığı ve kalıptan çıkarılmada yaşanan problemlerden dolayı 4 adet aderans numunesi test edilmiştir. Bu gruptaki numuneler **KA2** kısaltması ile kodlanmıştır. Materyal ve yöntem kısmında bahsi geçen 72 saat süreli sıcaklık ölçüm grafiği Şekil 4.91’ de sunulmuştur. Döküm başlangıcında $24,7^{\circ}\text{C}$ olan taze beton sıcaklığının beton, kalıba yerleştirildikten ve çelik donatı ile temas ettikten sonra düşüş yaşadığı gözlenmiştir. Döküm esnasında dış ortam sıcaklığı $-7,4^{\circ}\text{C}$ iken iç ortam sıcaklığı -3°C olarak gözlenmiştir. Veri üzerinde yapılan inceleme neticesinde dökümden sonra donatı yüzeyi ve beton sıcaklığı 24,8. saatte denge sıcaklığına ulaştığı gözlenmiştir. Ortam sıcaklığının artmasına bağlı olarak numunelerin muhafaza edildiği iç ortam sıcaklığı artış göstermiştir. Bu artışların aynı oranda iç ortama yansımadağı gözlenmiştir. Güneşin muhafaza alanına doğrudan ışınlarını gönderdiği durumda dış ortam ile iç ortam arasında yaklaşık 30°C fark oluştuğu gözlenmiştir.



Şekil 4.91 KA2 grubu aderans numunesi sıcaklık değişim grafiği

Hazırlanan silindir numunelerine ait basınç dayanımları Çizelge 4.32’ de sunulmuş olup çekme dayanımları bağıntı 4.1’ de sunulan formül ile hesaplanmıştır. Bu grupta incelenen numunelere ait beton dayanımı $6,43\text{ MPa}$ olup, tüm gruplar arasındaki en düşük basınç dayanımı olmuştur. Bu durumun temel nedeninin, 3. günden sonra numunenin bekletildiği oldukça soğuk ve nemli atmosferik hava koşulları olduğu düşünülmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

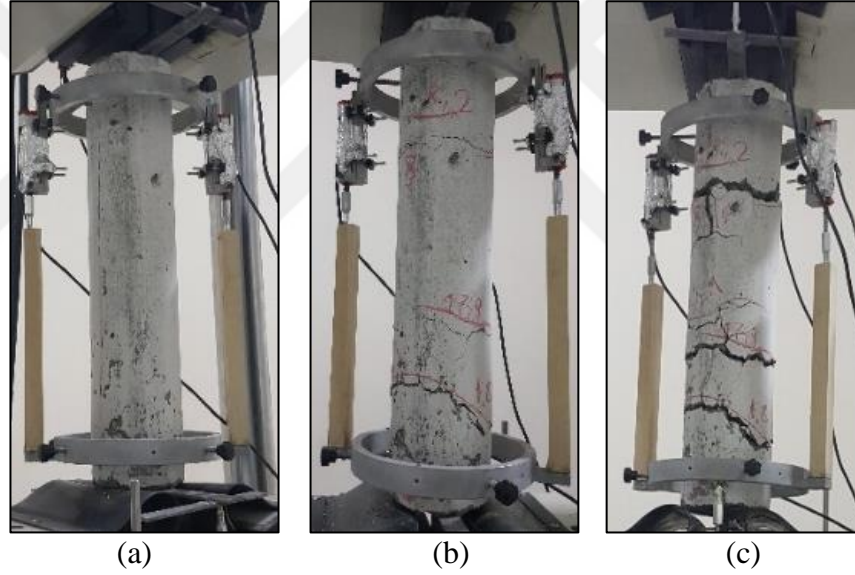
Çizelge 4.32 KA-2 grubu aderans numunesi basınç dayanımı testi sonuçları

Numune Kodu	Basınç Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
KA2_1	5,20	0,80
KA2_2	5,55	0,82
KA2_3	7,00	0,93
KA2_4	6,72	0,91
KA2_5	7,00	0,93
KA2_6	6,68	0,90
KA2_7	7,24	0,94
KA2_8	6,08	0,86
ORTALAMA	6,43	0,89

Basınç dayanımları belirlendikten sonra aderans numunelerin deney aşamasına geçilmiş olup KA2 numune grubuna ait aderans deney gözlemleri aşağıda olarak sunulmuştur.

KA2_1 Numunesi

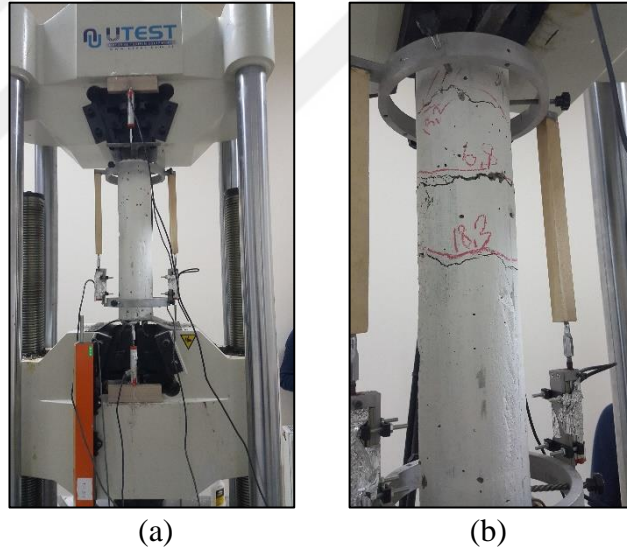
KA2_1 kodlu aderans numunesi kış koşullarında betonda antifriz katkısı kullanılarak ve numunelerin bulunduğu ortamın ısıtılmaksızın yapılan 2. dökümü temsil eden uygulamanın 1 numaralı numunesi olarak test edilmiştir. Deney başlangıcında numunenin beton boyu 49,4 cm; ölçüme esas çelik donatı boyu 53,6 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesindeki ilk çekme çatlağı; çelik donatıda $\sigma_s = 312,43$ MPa çekme gerilmesi ölçüldüğünde numunenin alt kısmında oluşmuştur. Yüklemin ilerleyen safhalarında yatay çatlak sayısı artmış; eşit olmayan aralıklarda oluşan toplam 3 yatay çekme çatlağı numuneyi 4 parçaya ayırmıştır. KA2_1 numunesinin çelik donatısı 522,14 MPa gerilme değerinde akmıştır. Numuneye ait deney öncesi ve deney sonrası görüntüler Şekil 4.92' de sunulmaktadır.



Şekil 4.92 (a) KA2_1 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KA2_1 numunesi aderans deneyi sırası, (c) KA2_1 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri.

KA2_2 Numunesi

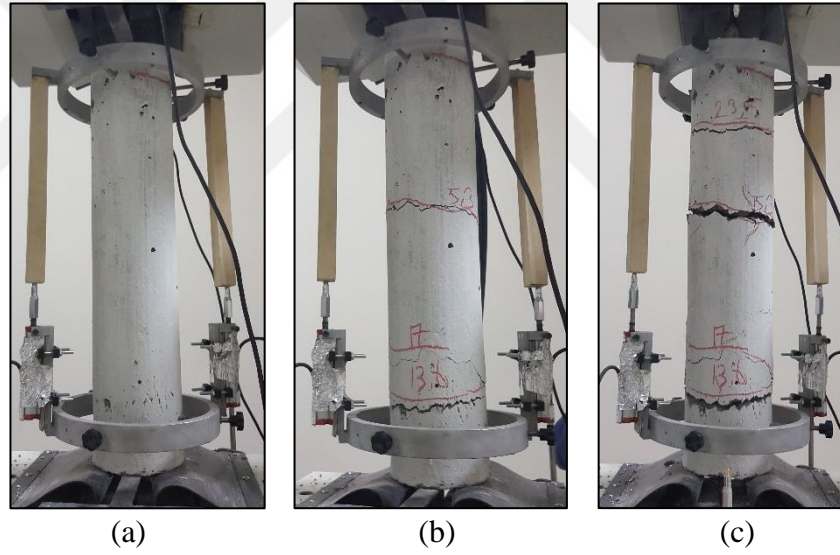
KA2_2 kodlu aderans numunesi kış koşullarında betonda antifriz katkısı kullanılarak ve numunelerin bulunduğu ortamın ısıtılmaksızın yapılan 2. dökümü temsil eden uygulamanın 2 numaralı numunesi olarak test edilmiştir. Deney başlangıcında numunenin beton boyu 49,1 cm; ölçüme esas çelik donatı boyu 53,2 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesindeki ilk çekme çatlakları; çelik donatıda $\sigma_s = 436,94$ MPa çekme gerilmesi ölçüldüğünde numunenin üst kısmında oluşmuştur. Yüklemin ilerleyen safhalarında yatay çatlak sayısı artmış; eşit olmayan aralıklarda oluşan toplam 3 yatay çekme çatlakları numuneyi 4 parçaya ayırmıştır. Yüklemin son aşamalarında numunenin alt ve üst bölgelerinde dikey çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiştir; bu durumda deney tamamlanmıştır. KA2_2 numunesinin çelik donatısı 515,78 MPa gerilme değerinde akmıştır. Numuneye ait deney öncesi ve deney sonrası görüntüleri Şekil 4.93'te sunulmaktadır.



Şekil 4.93 (a) KA2_2 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KA2_2 numunesi aderans deney sonrası görüntüleri.

KA2_3 Numunesi

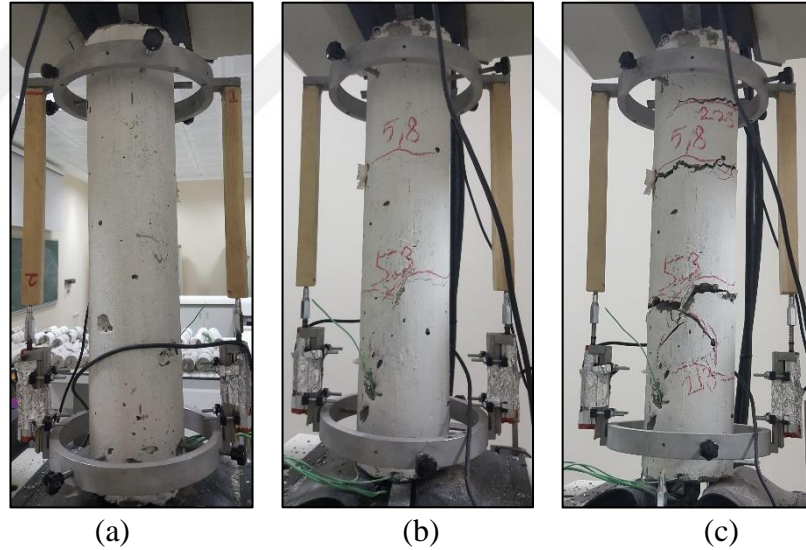
KA2_3 kodlu aderans numunesi kış koşullarında betonda antifriz katkısı kullanılarak ve numunelerin bulunduğu ortamın ısıtılmaksızın yapılan 2. dökümü temsil eden uygulamanın 3 numaralı numunesi olarak test edilmiştir. Deney başlangıcında numunenin beton boyu 49,5 cm; ölçüme esas çelik donatı boyu 54 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesindeki ilk çekme çatlağı; çelik donatıda $\sigma_s = 335,23$ MPa çekme gerilmesi ölçüldüğünde numunenin tam ortasında oluşmuştur. Yüklemin ilerleyen safhalarında yatay çatlak sayısı artmış; eşit olmayan aralıklarda oluşan toplam 3 yatay çekme çatlağı numuneyi 4 parçaya ayırmıştır. Yüklemin son aşamalarında numunenin alt ve üst bölgelerinde dikey çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiş; bu durumda deney tamamlanmıştır. KA2_3 numunesinin çelik donatısı 528,32 MPa gerilme değerinde akmıştır. Numuneye ait deney öncesi ve deney sonrası görüntüleri Şekil 4.94’ te sunulmaktadır.



Şekil 4.94 (a) KA2_3 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KA2_3 numunesi aderans deneyi sırası, (c) KA2_3 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri

KA2_4 Numunesi

KA2_4 kodlu aderans numunesi kış koşullarında betonda antifriz katkısı kullanılarak ve numunelerin bulunduğu ortamın ısıtılmaksızın yapılan 2. dökümü temsil eden uygulamanın 4 numaralı numunesi olarak test edilmiştir. Deneysel başlangıcında numunenin beton boyu 50,4 cm; ölçüme esas çelik donatı boyu 55,1 cm olarak ölçülmüştür. Beton gövdesindeki ilk çekme çatlakları; çelik donatıda $\sigma_s = 291,36$ MPa çekme gerilmesi ölçüldüğünde numunenin alt kısmında oluşmuştur. Yükleme ilerleyen safhalarında yatay çatlak sayısı artmış; eşit olmayan aralıklarda oluşan toplam 3 yatay çekme çatlakları numuneyi 4 parçaya ayırmıştır. Yükleme son aşamalarında numunenin alt ve üst bölgelerinde dikey çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiştir; bu durumda deney tamamlanmıştır. KA2_4 numunesinin çelik donatısı 516,13 MPa gerilme değerinde akmıştır. Numuneye ait deney öncesi ve deney sonrası görüntüleri Şekil 4.95'te sunulmaktadır.



Şekil 4.95 (a) KA2_4 numunesi aderans deneyi öncesi, (b) KA2_4 numunesi aderans deneyi sırasında, (c) KA2_4 numunesi aderans deneyi sonrası görüntüleri

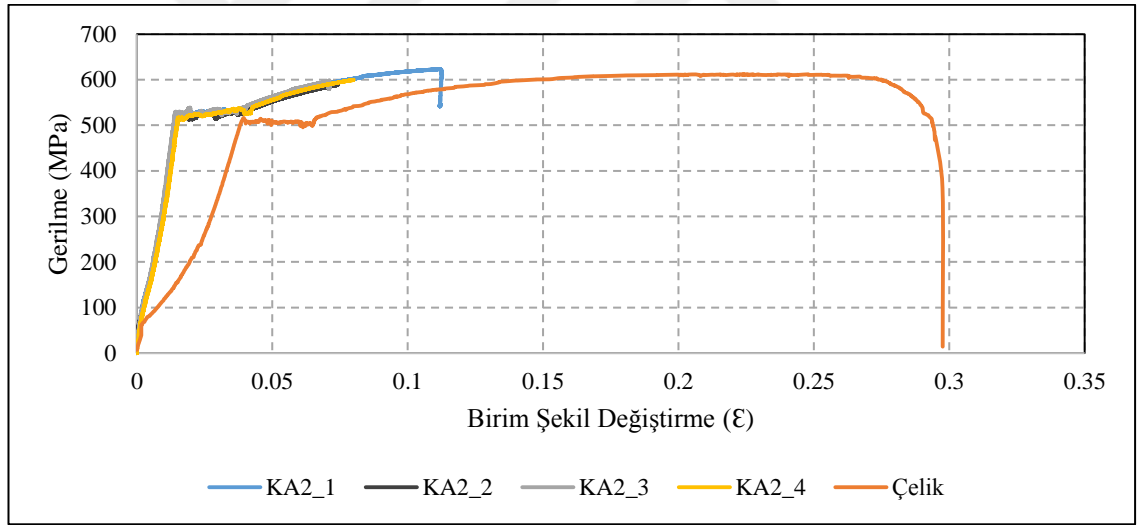
Aderans numunelerinin deneylerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.33'te sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda; aderans numunelerinin yüzeyinde oluşan ilk çatlakların hangi çelik gerilmesi düzeyinde oluştuğu belirlenmiş olup bu değer noktası için her bir numuneden elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.33 KA2 grubu aderans numunelerine ait eksenel çekme testi sonuçları

Numune	Çeneler Arası Yer Değişirme (mm)	Çelik Gerilmesi (MPa)	Çelik Birim Şekil Değişirmesi	Beton Birim Şekil Değişirmesi	Aderans Gerilmesi (MPa)	Toplam Birim Slip
KA2_1	5,2000	312,434	0,0097	0,000256	2,21	0,0000
KA2_2	6,8000	436,95	0,0128	0,000024	3,11	0,0007
KA2_3	5,3000	335,23	0,0098	0,000002	2,37	0,0005
KA2_4	5,3000	291,36	0,0096	0,000228	2,02	0,0003
Ortalama	5,6500	343,99	0,0105	0,000127	2,43	0,0004

KA2_2 numunesinin Şekil 4.96’ da sunulan grafikte de görüldüğü üzere net olarak görülmese de salt çelik donatısına yakın eğimli olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen bu sonuç doğrultusunda KA2_2 numunesi 6,8 mm deplasmanda ilk çatlak gözlemlenmesi; numune donatı arasındaki aderansın zayıf olması ve salt çelik donatısına yakın davranış gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu durum deney numunesinin içyapısı incelendiğinde gözlemlenen çatlaklar üzerinden ayrıca değerlendirilebilmektedir.



Şekil 4.96 KA2-aderans numunesi çelik gerilme-birim şekil değişirme grafiği

Şekil 4.97’ de sunulan KA2_2 numunesi içyapı örnek görseli incelendiğinde donatı çevresinde çok sayıda kılcal çatlak oluştuğu ancak bu çatlakların numune yüzeyine kadar ilerlemediği açıkça görülmektedir. Bununla birlikte deney esnasında yüzeyde görülen çatlakların içeride donatı çevresinde başladığı ve ilerlediği görülmektedir. Yüzeyde tespit edilen çatlak takip edildiğinde donatı çevresinden itibaren yüzeye kadar çatlak genişliğinin azalarak çatlakın ilerlediği gözlemlenmiştir. Diğer KA2 numuneleri ile

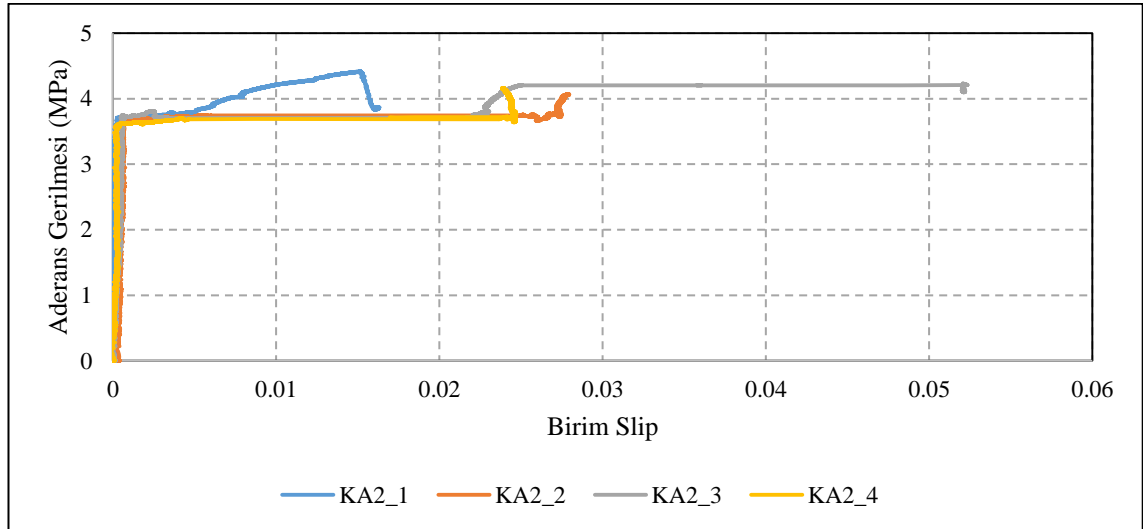
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

kıyaslandığında KA2_2 numunesinde donatı çevresinde oluşan ancak numune yüzeyine ulaşmayan kılcal çatlak sayısının en fazla olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.97 KA2 grubu numunesi içi çatlak detayı

KA2 numunelerine ait aderans gerilmesi-birim slip grafiği Şekil 4.98’ de verilmiştir. Tüm döküm grupları için her bir numune beton boyu 50 cm olarak tasarlanmış ve imal edilmiştir. Ancak deney öncesi yapılan ölçümlerde yaklaşık olarak ± 1 cm mertebesinde beton boyu farklılıkları olduğu belirlenmiştir. Bu durumda numunenin her iki ucundan ölçülen toplam sıyrılmanın toplam beton boyuna oranlanarak değerlendirilmesi uygun bulunmuş ve grafik gösterimde birim slip değeri kullanılmıştır. Bununla birlikte, her bir numune için beton yüzeyinde ilk çatlak görüldükten sonraki sıyrılma ölçümlerinin beton çatlak genişliklerini içine aldığından performans değerlendirmesinde kullanılmasının doğru bir teknik yaklaşım olmadığı düşünülmektedir.



Şekil 4.98 KA2 grubu numuneleri aderans gerilmesi-birim sıyrılma grafiği.

4.2.3.4. Genel Değerlendirme

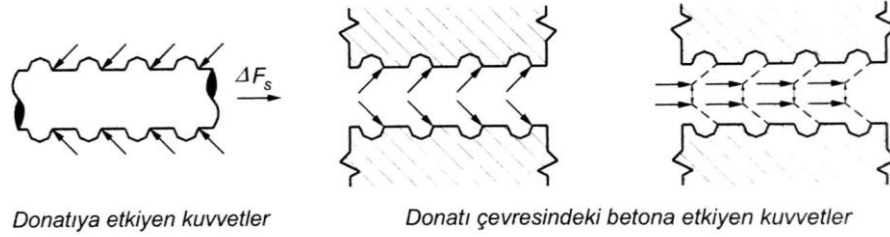
Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen deneysel çalışma benzeri çalışmanın erişilebilen literatür kapsamında çok kısıtlı olduğunun ifade edilmesi mümkündür. Bu nedenle, numune grupları arasında performans değerlendirme kriteri olarak seçilen parametrelerden bir kısmının, *örneğin numunelerin denge sıcaklığına erişme süreleri ve denge sıcaklık değerleri gibi*, literatürde kıyaslanacak referans değerleri olmadığı ifade edilmelidir. Bu hususlar dikkate alınarak, numune grupları arasında deneysel veri üzerinde yapılan genel değerlendirme bu bölümde sunulmaktadır.

Deneysel araştırma sonucunda elde edilen veri işleme ve değerlendirme çalışmalarının yanı sıra; numuneler açılarak bir nevi otopsi yapmak suretiyle donatı etrafındaki beton yapısı incelenmiştir. Goto (1971), çalışmasında donatı ile beton tutunma bölgesine kırmızı mürekkep enjekte edilmesi sonrası yapıldığı ve devamında açılan numunelerde kılcal çatlakların daha net bir şekilde görülmesinin amaçlandığı bilinmektedir. Benzer uygulama Mirza ve Houde (1979)' un çalışmasında da gerçekleştirilen bir deney sonrası numune inceleme uygulamasıdır.

Deney sonrası açılan numunelerde yüzeye ulaşmayan ve donatı çevresinde yoğunlaşan kılcal çatlaklar olduğu gözlenmiştir. Bu durum, çekme etkisi altındaki tutunma davranışının yorumlanması açısından son derece önemlidir. Gözlenen çatlakların yoğunluğuna bağlı olarak performans değerlendirilmesi yapıldığında, birim slip (sıyırılma) parametresi üzerinde yapılan performans değerlendirmesi neticesinde oluşturulan numune sıralaması ile çatlak yoğunluğu parametresi üzerinden yapılan sıralamanın aynı olduğu gözlenmiştir. İncelemeler sonucu gözlemlenen kırılma mekanizması; donatı çekme etkisi altında iken beton ile donatı arasında oluşan kuvvetler Celep (2013) çalışmasında sunulduğu haliyle Şekil 4.99' da gösterilmiştir. Betonarme aderans numunesi içerisindeki donatıya uygulanan çekme kuvveti sonucunda, nervür dişleri üzerine nervür geometrisine bağlı açısal olarak etki eden kuvvetlerin, beton tarafındaki tepki kuvvetlerinin yatay ve düşey bileşenleri betonda çatlak oluşturan kuvvetlerdir. Tez çalışması kapsamında yapılan deneylerde; beton yüzeyinde öncelikle çekme yönüne dik doğrultuda yatay çekme çatlakları meydana gelip, beton yüzeyindeki ana yatay çatlaklar, stabil çatlak genişliği dahilinde, oluşumlarını tamamladıktan sonra

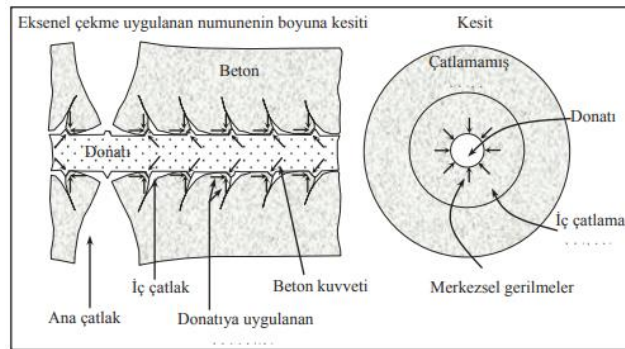
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

düşey beton çatlaklarının oluştuğu da gözlenmiştir. Bu durum, çekme etkisi altındaki betonarme aderans numunelerinde donatı çevresindeki betonda yatay ve düşey kuvvetler oluştuğunun net bir göstergesi olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.99 Çekme etkisi altında oluşan kuvvetler (Celep, 2013).

Şekil 4.100’ de çekme etkisi altında oluşan kuvvetler neticesinde oluşması muhtemel çatlak dağılımı görseli sunulmaktadır. Tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalar neticesinde görselde sunulan ve Kazaz (2012) çalışmasında da yer verilen çatlak mekanizmasına benzer çatlaklar meydana geldiği gözlenmiştir. Deney numuneleri açıldığında, donatı çevresini saran beton etrafında kılcal çatlaklar oluştuğu ve bunların pek çoğunun yüzeye ulaşmadığı görülmüştür. Yüzeye ulaşan çatlakların ise her bir numune grubunda farklı olmak kaydıyla, stabil denebilecek aralıklarla sıralandığını ifade etmek mümkündür. Donatı çevresindeki çatlak mekanizmasıyla ilişkilendirilen mekanik modeller ilerleyen kısımda sunulmaktadır.



Şekil 4.100 Donatı etrafındaki betonda meydana gelen çatlamlar ve gerilme durumu (Kazaz, 2012).

Çatlak mekanizmasına bağlı olarak eksenal çekmeye maruz kalan numunelerde meydana gelen iç gerilmeler Şekil 4.108’ de sunulmuş olup; tez kapsamında yapılan

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.34 Tüm deney grupları için genel değerlendirme tablosu

		YAZ	KNB	KA	KAB	KN	KA-2
Basınç Dayanımı (MPa)		18,89	17,42	20,66	19,95	9,44	6,43
Beton Çekme Dayanımı (MPa)		1,52	1,46	1,59	1,56	1,08	0,89
Beton Elastik Modülü (MPa) (TS500, 2000)		28125	27565	28772	28516	23985	22241
Eksenel Çekme Etkisi Altında Beton için Çatlama Birim Şekil Değişirmesi (Gopinath, vd., 2009)		0,000054	0,000053	0,000055	0,000055	0,000045	0,000040
Salt Çelik Akma Dayanımı (MPa)		500	500	500	500	500	500
Salt Çelik Akma Birim Şekil Değişirme		0,0414	0,0414	0,0414	0,0414	0,0414	0,0414
Betonarme Aderans Numunesi Çelik Akma Dayanımı (MPa)		517	524	514	524	511	518
Yüzeyde Görülen İlk Çatlak Oluştığında	Betondaki Ortalama Çekme Birim Şekil Değişirmesi	0,00009	0,00013	0,00014	0,00019	0,00013	0,00013
	Çelikteki Ortalama Gerilme (MPa)	106	122	138	157	233	344
	Çelikteki Ortalama Birim Şekil Değişirme	0,00310	0,00431	0,00400	0,00497	0,00792	0,01048
	Ortalama Aderans Gerilmesi (MPa)	0,76	0,87	0,98	1,11	1,21	2,43
	Birim Slip	0,000040	0,000044	0,000070	0,000116	0,000275	0,000368
	(Mirza ve Houde, 1979) Denklemleri Birim Slip	0,000057	0,000066	0,000075	0,000085	0,000125	0,000186
Yüzeye Çıkmayan Kılcal Çatlak Sayısı Derecelendirilmesi		1	2	2	4	5	6
Beton Sıcaklığı Değişim Katsayısı		0,03	3,88	1,25	0,16	14,20	1,63

Beton basınç ve çekme dayanımı;

Çizelge 4.34' te sunulan tabloda en yüksek basınç dayanımı KA (kış antifrizli ısıtmasız ortam) sınıfında elde edilmiştir. Basınç dayanımları sınıflandırıldığında sırasıyla; KA, KAB, YAZ, KNB, KN VE KA-2 olarak sıralanmıştır. Yaz numunesinde elde edilen basınç dayanımının 3.sırada olmasında ki en büyük etken, döküm esnasında 21°C olan ortam sıcaklığının gece 22:00' ten sabah 08:00 arasında bina ısıtma sisteminin kapatılması nedeniyle düştüğü gözlenmektedir. Bu durum gerçek yaz atmosferik koşullarını yansıtır nitelikte olduğu düşünülmektedir. Buna ek olarak numuneler gerçek uygulamayı temsil etmesinden dolayı kür havuzu uygulaması gerçekleştirilmemiş, bunun yerine sulama yöntemi ile kür yapılmaya çalışılmıştır.

Soğuk hava koşullarında beton imalatı ile ilgili olarak bilimsel literatürde yapılan araştırma neticesinde soğuk hava koşullarında yapılan beton dökümüne ilişkin

çalışmaların bulunduğu ve bunların önemli bir kısmının kimyasal katkıların (antifriz) beton dayanımı ve davranışı üzerindeki etkisinin incelenmesini konu edinen çok sayıda çalışmaya erişim sağlamak mümkündür. **Nmai (1998), Ryou vd. (2012), Nassif vd., (2013) Zhou vd. (2018), (Karhonen (1990), Karhonen (1992)** yayınları söz konusu çalışmalara örnek gösterilebilecek teknik metinlerdir. Bununla birlikte, laboratuvar koşullarında döküldükten sonra beton plastik halde iken soğuk bakım ortamlarında bekletilen numuneler üzerinde yapılan çalışmalar da mevcuttur. Ancak, bu uygulama tez araştırması dâhilinde uygulaması yapılan normal atmosferik kış koşullarında beton dökümü pratiği ile uyuşmadığından bu tür çalışmalar ve sonuçlarına bu metinde yer verilmesi uygun bulunmamıştır.

Ancak, burada **Stormer (1970)** çalışmasına özel bir parantez açmak gerekir. Çalışma Amerikan Ordusu Soğuk Bölgeler Araştırma ve Mühendislik Laboratuvarı (*U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, USA CRREL*) imkânları kullanılmak suretiyle asker-mühendis Carl D. Stormer tarafından gerçekleştirilmiştir. (*Literatürde soğukta beton dökümü ile ilgili pek çok çalışmanın askeri birimler tarafından yapıldığını görmek mümkündür.*) Çalışmada dona yol açacak kadar soğuk havalarda beton dökümünün; karışım suyunun donma noktasını düşürerek beton dökümü esnasındaki atmosfer koşullarına bağlı olarak donmanın engellenmesi ile gerçekleştirilebileceği hipotezinden hareketle deneysel bir araştırma yapılmıştır. Karışım suyunun donma noktasını düşürmek için farklı molar konsantrasyon ve miktarlarda tuzlar (kalsiyum klorür ve sodyum klorür) kullanılması yoluna gidilmiştir. **Stormer (1970)** çalışmasında Rus araştırmacıların bu alanda 1950' li yıllardan itibaren çalışmaları olduğu, çoğunluğunun Rusça olup sınırlı sayıda İngilizce tercümesi olan çalışmalardan **Mironov ve Krylov(1956)** çalışmasına özel olarak yer verildiği görülmektedir. **Mironov ve Krylov (1956)** çalışmasında -20 °C civarındaki atmosferik sıcaklıklarda farklı klorür tuzlarının kullanılarak beton dökülebildiği ifade edilmektedir. Burada CaCl₂' nin hidratasyonu hızlandırırken NaCl türü tuzların hidratasyon hızını kontrol ettiği ifade edilmektedir. Tuz içerikli betonların soğuk olarak karıştırılabileceği, soğuk havada taşınıp dökülebileceği belirtilmekle birlikte, bu tuzlar kullanılsa bile betonun atmosfer ile temasının belirli süre kesilmesi ve korunması gerektiği belirtilmektedir. Donmaya karşı önlem olarak karışımda çimento miktarının ağırlıkça belirli yüzdesi (~%2-%10) olarak tuz kullanılmasının en önemli gerekçesi olarak tuzun ucuz bir malzeme olması

gösterilmektedir. Tez çalışması kapsamında beton dökümlerinin koruyucu bakım çadırı içerisinde yapılmasının temel referansının bu çalışma olduğu ifade edilmelidir. Yine çalışmada tuz esaslı antifriz maddelerin kullanıldığı ifade edilse de; zamanla klorür içeriğinin çelik donatıyı korozyona uğrattığı keşfedilmiştir.

Eker (2009) metninden edinilen teknik bilgi; deniz suyuna maruz kalan betonlarda, beton içerisine nüfuz eden klorür iyonlarının donatı çeliği yüzeyinde oluşmuş bulunan pasif oksit filminin bozulmasına neden olarak çelik donatının şiddetli korozyonuna neden olabileceğini ifade etmektedir. Öyle ki; 1 m³ beton içerisinde yaklaşık 0,7-1,2 kg arasında klorür bulunmasının korozyonun devamı için uygun bir ortam sağlayacağı belirtilmektedir. Hal böyleyken; soğukta dökümü yapılan betonarme elemanların beton karışımı içerisinde antifriz katkı olarak klorür içerikli maddelerin kullanılmasının uygun olmadığı açıktır. Bu husustan hareketle; “klorür” içeriği olmayan beton kimyasallarının bulunması ve betonda kullanımının araştırılması konusuna yönelme olmuştur. **Schroeder ve Wood (1996)** çalışmasında klorür içermeyen bu maddelere örnek olarak amonyak, kalsiyum nitrat, kalsiyum nitrit, sodyum nitrat, sodyum nitrit, sodyum sülfat, potasyum hidrat ve üre gibi maddeleri sıralamaktadırlar. Klorür içeriğinin donatı korozyonuna olan etkisini inceleyen güncel çalışmalara örnek olarak **Gao vd. (2019)**, **Oliviera ve Cascudo (2018)**, **Liu vd. (2016)** çalışmalarını göstermek mümkündür. **Bu çalışmalardan çıkarılan sonuç doğrultusunda** deney numuneleri üretiminde içeriğinde tuz olmayan antifriz beton katkısı kullanılmıştır. Sunulan literatür kapsamında İncelenen çalışmaların neredeyse tamamında soğuk hava koşullarında hedeflenen dayanım ve dayanıklılığa sahip beton imalatında olumlu sonuçlar elde edildiğine ilişkin çıkarımlar olduğunu söylemek mümkündür. Bununla birlikte; **Storner (1970)** çalışması bu alanda çok geniş bir literatür ve uygulama detay bilgisi sunarken soğuk havada yapılan beton dökümünün temel olarak aşağıdaki parametrelerin etkisi altında olduğunu ifade etmektedir:

- Çimento türü ve mineralojik birleşimi
- Su/çimento oranı
- Antifriz katkı maddesi olarak kullanılan tuzların türü, miktarı ve karışım oranları
- Döküm ortamı sıcaklığı

Tez çalışması kapsamında sadece tek bir tür çimento kullanılarak beton imalatı yapıldığı ifade edilmelidir. Tüm beton gruplarında hedeflenen 25 MPa basınç dayanımının altında kaldığı görülmektedir. Kullanılan çimento türünün (CEM IV, PC 32,5) bu davranış üzerindeki en önemli etken olduğu düşünülmektedir. TS EN 197-1 (2002)' ye göre tür çimentoların priz başlama süresi 75 dakika ve daha fazladır. Soğuk hava koşullarında prizin mümkün olduğu kadar hızlı başlaması karışım suyunun donmaması adına önem arz etmektedir. Alınan sıcaklık ölçümleri incelendiğinde, döküm başlangıcındaki taze beton sıcaklık düşüşü sonrası gözlemlenen sıcaklık artışının hidrasyonun başlamasını (priz) gösterdiğini ifade etmek mümkündür. Kış koşullarında dökülen tüm gruplar için bu sürenin ortalama 1,3 saat (~78 dakika) olduğu görülmektedir. Bu süre, kullanılan çimento için öngörülen priz alma süresi ile uyumludur. Ancak, bu süre sonunda, yani priz alma aşaması başlangıcında, beton numunelerinin sıcaklıkları incelendiğinde nihai beton dayanımı çok düşük olan KA-2 gibi numunelerin beton sıcaklarının diğer numunelere göre daha düşük (-5,5 °C) olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, söz konusu sıcaklık YAZ grubu numuneler için 19,4 °C olarak ölçülmüştür. Bu durumun, nihai beton dayanımlarını planlanan 25 MPa değerinin altında tutan önemli bir unsur olduğu düşünülmektedir. Öyle ki; Stormer (1970) çalışmasında standarda uygun atmosferik sıcaklıkta dökülen ancak plastik haldeyken donma yaşayan beton dayanımlarının tasarlanan değerden %45 daha düşük olabileceği sonucu paylaşılmaktadır.

İlgili literatürle uyumlu bir şekilde, soğuk hava koşullarında yapılan beton dökümünde priz başlangıcına kadar geçen süre ve bu esnadaki plastik beton sıcaklığının nihai beton dayanımı üzerinde belirleyici bir faktör olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuç, soğuk havalarda dökülen betonlar için farklı türde, özellikle hızlı priz alan, çimentonun ana parametre olduğu bir malzeme araştırması yapılmamış olmasının tez çalışmasının bir eksikliği olduğunu göstermiştir.

Betonarme elemanların çekme etkisi altındaki aderans davranışını etkileyen önemli bir parametre de beton çekme dayanımıdır. **Goto (1971), Mirza ve Haude (1979), Thomson vd. (2002) ve Celep (2013)** çalışmaları bu hususun vurgulandığı önemli çalışmalardır. Bağıntı 4.1 kullanılarak hesaplanan beton eksenel çekme dayanımları Çizelge 4.34' te sunulmuştur. Tez çalışması kapsamında beton çekme dayanımlarının

belirlenmesi için herhangi bir deney yapılmamıştır. Çekme dayanımları, basınç dayanımlarının karekökü ile doğru orantılı olarak hesaplandığından (TS500 (2000); Ersoy ve Özcebe, Betonarme I, (2015)) dolayı basınç dayanımında verilen sıralama burada da geçerlidir. Beton basınç dayanımı ile benzer şekilde; numunelerin aderans davranışlarının beton çekme mukavemeti ile doğru orantılı olduğu ve çekme dayanımı yüksek betonlarla imal edilen numunelerde ilk çekme çatlağı olduğu andaki birim sıyrılmamanın daha az olduğu görülmektedir. Sıyrılmamanın daha az olması, beton ve çelik arasındaki tutunmanın daha güçlü olması şeklinde değerlendirilmektedir.

Salt çelik akma dayanımı ve birim şekil değiştirmesi;

Numunelerde kullanılan donatılar aynı bağdan seçilmiş olup, çelik dayanımlarının belirlenebilmesi açısından 10 adet salt çelik donatı çekme testine tabi tutulmuştur. Teste tabi tutulan donatılar arasından davranışı temsil eden ortalama donatı seçilmiş olup akma dayanımı 500 MPa, akma birim şekil değiştirmesi ise 0,0414 olarak belirlenmiştir.

TS708 (2010) ülkemizde inşaat işlerinde kullanılacak donatı çeliklerinin sağlamaları gereken kimyasal ve mekanik özellikleri standardize eden yasal mevzuattır. Bu standart ile; 420 N/mm² akma dayanımı olan nervürlü donatı çeliği çeşidi üçe çıkmış ve bu donatıların gerek mekanik özelliklerinde gerekse kimyasal birleşimlerinde önceki versiyona kıyasla değişiklikler yapılmıştır. Örneğin; S420 donatı çeliğinin akma ve çekme minimum değerleri değiştirilmeksizin çekme/akma dayanımları oranı minimum 1,15 olarak değiştirilmiş ve ayrıca deneysel akma dayanımı/karakteristik akma dayanımı maksimum oranı 1,30 olarak düzenlenmiştir. Kimyasal birleşimdeki kütlece maksimum karbon elementi miktarı ise %0,45 standardın önceki versiyonundaki ilgili değere oranla arttırılmış ve karbon eşdeğeri limiti yine tanımsız bırakılmıştır. (Ataköy, 2010)

Bununla birlikte, TS708 (2010) standardında önemli bir değişiklik olarak akma dayanımı 420 N/mm² olan iki ayrı nervürlü donatı çeliği cinsi daha (“B 420B” ve “B 420C”) bulunmaktadır. Bunlardan ilki olan B 420B donatısı çekme dayanımı minimum değeri belirtilmeyen ancak çekme dayanımı / akma dayanımı minimum oranı 1.08 olarak tanımlanan, deneysel akma dayanımı / karakteristik akma dayanımı oranı verilmeyen, kimyasal kompozisyonundaki kütlece maksimum karbon elementi miktarı %0,22 ile sınırlandırılan, karbon eşdeğeri ise %0,50 ile tanımlanan bir yeni donatı türüdür. B 420C

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

ile tanımlanan diğerinde ise minimum çekme dayanımı limiti verilmemiş ancak çekme dayanımı/akma dayanımı minimum oranı 1,15 maksimum oranı ise 1,35 , deneysel akma dayanımı/karakteristik akma dayanımı maksimum oranı 1,30 , kopma uzaması miktarı minimum %12 olarak belirlenmiş ve kimyasal kompozisyonundaki kütlece maksimum karbon elementi miktarı % 0,22 ile sınırlandırılmış ve karbon eşdeğeri limiti de %0,50 olarak tanımlanmıştır.

Tez çalışması kapsamında kullanılan Ø14 nervürlü donatı çubukları üzerinde yapılan çekme deney sonuçları incelendiğinde, çubukların TS500 (2000) mevzuatında yer alan S420a grubu çelik olduğu; bunun da mekanik özellikler bakımında TS708 (2010) mevzuatında sunulan B 420C grubu çelik olarak tanımlanabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Zira, kullanılan donatı çeliği kimyasal birleşimi hakkında bir bilgi bulunmadığı gibi bu bilginin eldesine yönelik bir deneysel çalışma da yapılmamıştır. Anonim (2015) çalışmasında ise; B 420C grubu nervürlü inşaat çeliğinin TBDY (2018)'e uygun tek çelik donatı sınıfı olduğu ifade edilmektedir. Donatı akma birim şekil değiştirmesine ilişkin, yasal mevzuatta bir bilgi yer almamaktadır. Bu nedenle, %4,14 olarak belirlenen akma birim şekil değiştirmesi için ulusal mevzuat ile bir ilişkilendirme yapılamamıştır. Kullanılan donatı çubuğunun, fiziksel özellikler bakımından TS708 (2010)' a uygun olduğu yapılan ölçümlerle belirlenmiştir.

Betonarme aderans numunesi çelik akma dayanımı (MPa);

Betonarme elemanların içerisinde geçen çelik numunelere çekme uygulanmış ve bu numunelerdeki çelik çubukların akma dayanımları da Çizelge 4.34' te sunulmuştur. Çizelge 4.34' te ilgili satır ve sütun incelendiğinde, ısıtılarak bakım uygulanan numunelerin çelik akma dayanımı diğer numunelere kıyasla ortalama %3,6 daha yüksek olduğu görülmektedir. Beton ve donatı arasında meydana gelen tutunmanın bir sonucu olarak; donatının az da olsa daha yüksek gerilme düzeyinde aktığı düşünülmektedir.

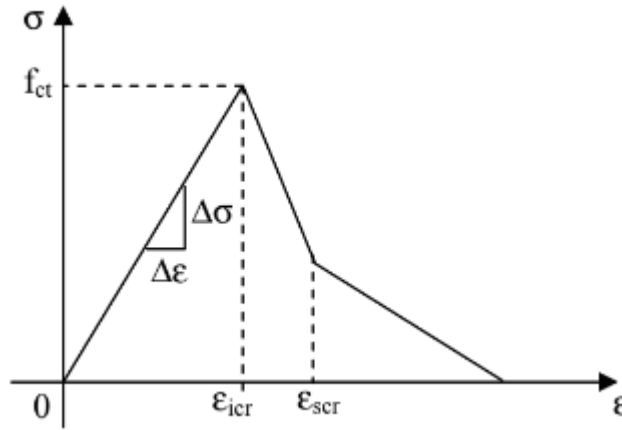
Daha önce de belirtildiği üzere; aderans numunesi betonunda ilk çekme çatlağı oluştuğu andan sonra oluşan her bir parçada gerilmeler yeniden dağılım göstermekte olup ayrı ayrı aderans numuneleri olarak değerlendirilmeleri daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Celep (2013) ve Thomson vd. (2002) çalışmaları bu davranışın altını çizmektedir. Grup bazında benzer davranışlar göstermekle birlikte; gruplar arasında ***stabil***

çatlak genişliği olarak ifade edilebilecek çatlaklar arası mesafeler ve ana çatlak sayıları farklılık göstermektedir. Bu nedenle; teknik olarak homojen bir değerlendirme yapılabilmesi adına her grup için numune yüzeyine erişen ilk beton çatlağı olduğu andaki bir takım parametreler aşağıda sunulduğu şekilde performans değerlendirmesi amacıyla kullanılmıştır.

İlk Çatlak Oluştığında;

- ***Betondaki Ortalama Çekme Birim Şekil Değişirmesi***

Betonun aksenal çekme etkisi altındaki, genel kabul gören, gerilme-birim şekil değişirme davranışı Şekil 4.102’ de gösterilmiş ve bu model dikkate alınarak çekme etkisi altında betonda beton çatlama birim şekil değişirme değerleri, beton dayanımları farklı olması nedeniyle, her bir grup için ayrı ayrı hesaplanmıştır (Gopinath, vd. 2009). Ersoy ve Özcebe, Betonarme I (2015) ve benzeri bazı kaynaklarda çekme etkisi altındaki beton için çatlama birim uzaması ortalama değeri 0.0001 mertebesinde verilmektedir.



Şekil 4.102 Çekme etkisi altındaki beton için σ - ϵ davranışı (Gopinath, vd. 2009).

Deneylerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda betonda meydana gelen ilk çatlığa karşılık gelen birim şekil değişirmelerin ortalamaları hesaplanmış olup o grubu temsil eden değerlere Çizelge 4.34’ te yer verilmiştir. Tablo incelendiğinde, aderans numunelerindeki ilk çatlağın, Gopinath vd. (2009) çalışmasında sunulan model üzerinde hesaplanan çatlama birim şekil değişirmesi değerlerinden oldukça yüksek değerlerde,

ortalama 2,7 kat daha fazla, olduğu görülmektedir. Benzer şekilde, betonun aksenal çekme dayanımına ulaştığı birim şekil değiştirme olarak kabul edilen 0,0001 değeri için de geçerli olduğu, ortalama 1,4 kat daha fazla, ifade edilebilmektedir. Genel olarak tüm aderans numunesi gruplarında, referans olarak kabul edilen iki ayrı çatlama birim şekil değiştirme değerinin de üzerinde birim şekil değiştirme rakamlarında beton yüzeyinde ilk çatlakların görüldüğü sonucuna ulaşılmıştır. Bu durumun, çelikle beton arasındaki tutunmanın bir sonucu olduğunu beyan etmek mümkündür. Ayrıca; bu durumun donatıya tutunan beton çevresindeki kılcal çatlak yoğunluğu ile de ilişkili olduğu düşünülmektedir. İçeride oluşan kılcal çatlaklar; çekme etkisi atlındaki betonda meydana gelen uzamanın bir sonucu olarak oluşmakla birlikte tutunmanın zayıf olduğu numunelerde bu çatlakların fazla olduğu ve yüzeye yansımadağı yapılan görsel inceleme neticesinde görülmüştür. Tutunmanın zayıf olduğu numunelerde iç yüzeydeki kılcal çatlak sayısının fazla olmasının yüzeyde oluşan ilk çatlak anında ölçülen birim şekil değiştirme değerinin daha fazla olması sonucunu doğurduğu düşünülmektedir.

Çelikteki Ortalama Gerilme (MPa)

Aderans numunelerinde beton yüzeyinde ilk çatlak görüldüğü anda çelik çubukta hesaplanan aksenal çekme gerilmesi değerleri Çizelge 4.34' te sunulmaktadır. Gözle görülür ilk çatlak meydana geldiğinde, **temel kriter olarak birim slip (sıyrılma) değeri üzerinden yapılan değerlendirmeye göre**, donatı-beton arasındaki aderans davranışının iyi olması durumunda yaz numunesinde 106 MPa çelik gerilmesinde çatlak gözlenmiştir. Beton ile çelik arasındaki tutunmanın daha zayıf olduğu durumu temsil eden KA-2 numunesinin iç tarafında meydana gelen çatlaklar neticesinde dış tarafa çatlak ulaşmamış ve çatlak beton yüzeyine ulaştığında 344 MPa çekme gerilmesine karşılık geldiği görülmektedir. Bu davranış, yine donatıyı saran beton çevresinde oluşan ancak yüzeye ulaşmayan kılcal çatlak yoğunluğu ile ilişkilendirilebilmektedir. Tutunmanın zayıf olduğunu numunelerde donatı çevresindeki betonda kılcal çatlak sayısı ve bununla birlikte sıyrılma değeri fazladır. Betondan donatının sıyrılmasının, beton yüzeyinde görünür çatlakların oluşmasının deneyin ileri aşamalarında, daha büyük çelik gerilmeleri seviyesinde meydana gelmesine neden olduğu düşünülmektedir.

- Çelikteki Ortalama Birim Şekil Değişirme

Beton yüzeyinde ilk çatlak görüldüğü anda, çelik donatıda hesaplanan birim uzama değerleri çelikte oluşan çekme gerilmeleriyle doğru orantılıdır. İlk çatlakların tamamı, çelik malzeme akma sınırına ulaşmadan, elastik bölgede iken meydana gelmiştir. Çelik için hesaplanan birim uzama değerleri YAZ grubu numunelerde en az (0,00310), KA-2 grubu numuneler de ise en fazla değere (0,01048) ulaştığı görülmektedir. Bu durumun, mekanik olarak izahı çelikteki ortalama gerilme değerlerinin tartışıldığı bölümde sunulan açıklamalarla aynı şekildedir.

- Ortalama Aderans Gerilmesi (MPa)

Ortalama aderans gerilmesi, Thomson vd. (2020) çalışması ile aynı şekilde, çelik çubuğa uygulanan çekme kuvvetinin donatının betona temas ettiği toplam yüzey alanına bölünmesi ile hesaplanmıştır. Her bir numune grubu için, beton yüzeyinde ilk çatlak oluştuğu andaki aderans gerilmesi değerleri hesaplanarak elde edilen “Ortalama Aderans Gerilmesi” değeri Çizelge 4.34’ te sunulmuştur. Bu sonuçlara göre; YAZ grubu numunelerde ilk beton çatlağı gözleendiği andaki ortalama aderans gerilmesi 0,76 MPa ile en düşük değeri alırken, bu rakam 2,43 MPa ile KA-2 grubu numunelerde maksimum değere ulaşmıştır. Deney sonrası numune içyapı inceleme çalışmaları neticesinde; hesaplanan aderans gerilmesi değerlerinin numunelerin aderans performansının kıyaslanmasında güvenilir sonuçlar vermeyeceği düşünülmektedir. Çünkü detaylı inceleme neticesinde yüzeye çıkmayan çatlaklar tespit edilmiş olup; aslında aderans gerilmesi (tutunma) bu çatlaklar oluştuğunda varlığını yitirmiştir. Yüzeye ulaşan ilk çatlaktan yola çıkılarak hesaplanan aderans gerilmesi, davranışın yanlış yorumlanmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle, numune gruplarının tutunma performansları incelenirken birim slip (sıyırılma) değerinin temel parametre olarak kabul edilmesi gerektiği kanaatine ulaşılmıştır.

- Birim Slip (Sıyırılma)

Birim slip (sıyırılma) olarak belirtilen değer, incelenen numunede ölçülen toplam beton sıyırılma 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. İlâveten, literatürde yer alan oldukça kısıtlı sayıdaki çalışma sonucu ile kıyaslama yapılabilmesi için bu şekilde birimsiz bir parametre kullanılması tercih edilmiştir.

İlk çatlak oluşumu anında ölçülen veri kullanılarak deneysel gerçekleştirilen matematiksel hesaplamalar sonucunda belirlenen birim sıyrılma değerlerinin ortalaması Çizelge 4.34’ te sunulan değerlendirme tablosunda sunulmaktadır. Daha genel bir değerlendirme yapılabilmesi için; belirlenen toplam sıyrılma değerinin beton boyuna bölünerek birim sıyrılma olarak dikkate alındığının bir kez daha ifade edilmesinde yarar görülmektedir. Donatı ve beton arasında meydana gelen tutunmanın fazla olması durumu ile birim sıyrılma değeri ters orantılıdır. Beton, donatıya ne kadar iyi tutunmuş ise o kadar az sıyrılması beklenmektedir. Özet tabloda (Çizelge 4.34) bu yorumu destekler nitelikte sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir. Beton yüzeyinde ilk çatlak oluştuğu andaki birim sıyrılma değeri YAZ grubu numuneler için 0,00004; KA-2 0,000368 olarak belirlenmiştir. Tüm numune grupları incelendiğinde, beton yüzeyinde ilk çatlak oluştuğu andaki birim slip (sıyrılma) değerinin en az olduğu numuneler YAZ grubu, bu gruba en yakın numunelerin ise sırasıyla KNB ve KA grubu numuneler olduğu görülmektedir. Birim slip (sıyrılma) değerinin az olması beton ile çelik donatı arasındaki tutunmanın güçlü olduğunu gösteren bir davranış olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, birim slip (sıyrılma) değerinin fazla olduğu numunelerin içerisindeki kılcal çatlak yoğunluğunun birim slip (sıyrılma) değerinin daha az olduğu numunelere göre oldukça fazla olduğu da ifade edilmelidir. Deneysel veri üzerinden birim sıyrılma değeri hesabına ilişkin detaylar **EK-3**’ te sunulmaktadır.

Tez kapsamında gerçekleştirilen çalışma benzeri deneysel araştırma sayısının erişilebilen literatürde oldukça az olduğu görülmüştür. Bununla birlikte; Mirza ve Houde (1979) çalışmasında aksenal çekme etkisi altındaki betonarme elemanlar için deneyler yapılmış ve elde edilen sonuçlardan yola çıkarak slip (sıyrılma) hesabı için formülasyon türetilmiştir. Tez kapsamında hesaplanan birim slip (sıyrılma) değerlerinin, literatürde bulunan Bağıntı 4.2’ de ki formülden hesaplanan sıyrılma değerleri ile karşılaştırma yapılması uygun görülmüştür. Bağıntı 4.2’ den elde edilen sonuç donatının betondan “*mm*” mertebesinde sıyrılma miktarını vermektedir. Hesaplanan değer birim slip

(sıyırılma) değerine dönüştürülmesi, donatının betona temas ettiği toplam uzunluğa bölünmesi suretiyle yapılmıştır.

$$\Delta s = 0,0003684 \times k_1 \times f_s^{k_2} \times (A_c/A_s)^{k_3} \quad (4.2)$$

Bağıntı 4.2' de 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).

Bağıntı 4.2 kullanılarak hesaplanan birim sıyırılma değerlerinin YAZ, KNB ve KA grubu numuneler için deneysel olarak belirlenen değerlerden ortalama ~1.4 kat daha fazla KAB, KN, KA-2 grubu numuneler için ortalama ~0.6 kat daha olduğu görülmektedir. Bu fark değerleri dikkate alındığında, Bağıntı 4.2' nin tez çalışması kapsamında incelenen numunelerdeki birim slip (sıyırılma) değerlerinin hesaplanmasında kullanılmasının uygun olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

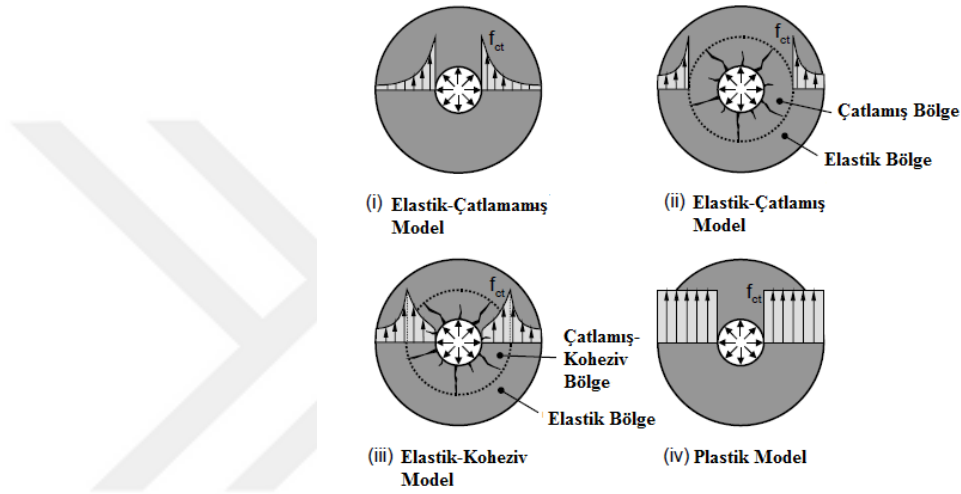
Yüze Çıkmayan Kılcal Çatlak Sayısı Derecelendirilmesi;

Aderans davranışının değerlendirilmesinde, yüze çıkmayan çatlak sayısı derecelendirilmesinin bir parametre olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle, deney sonrası numunelere otopsi işlemi yapılmış ve donatıyı saran beton üzerinde yüze çıkmayan çatlak dağılımları incelenmiş ve görsel olarak oranlama yapılmıştır. Bu puanlama yüze çıkmayan çatlak sayısı en az olan numune için 1, en çok olan için 6 olacak şekilde kurgulanmıştır. Yaz numunesinin içinde yüze çıkmayan çatlak sayısı çok az olmakla beraber, KA-2 numunesinin içerisinde yoğun çatlaklar olup dış yüze çatlaklar ulaşmadığı görülmüştür.

Bu noktada, Thomson vd. (2002) çalışmasında detayları verilen aksel çekmeye maruz betonarme eleman davranışı için dairesel çekme modellerini (ring-tension model) incelemekte yarar görülmektedir. Zira, söz konusu modeller genel olarak çekme etkisine

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

maruz donatı çevresindeki beton davranışı ile çatlak oluşumları üzerinde kurgulanmışlardır. Nervür dişi yüzeyindeki mekanik davranışına ilişkin deneysel kanıtlar göz önünde bulundurularak; aderansın aksel çekmeye maruz donatı çevresindeki betonda oluşan halka gerilmelerinin bir fonksiyonu olarak hesaplanmasına olanak sağlayan muhtelif modeller geliştirilmiştir. Bu modeller, genel olarak Şekil 4.103'te sunulmaktadır. Tüm modeller çekme etkisi altındaki beton için farklı gerilme-şekil değiştirme davranışı ilişkileri üzerine kurgulanmıştır.



Şekil 4.103 Halka-çekme davranışı için modeller (Thomson vd. 2002)

Elastik-çatlamamış model, betonun çekme dayanımına ulaştığında ve yarıma çatlaklarının başladığını ve bu andan itibaren aderans göçmesinin yakın olduğu kabulüne dayanmaktadır. Bu durumda, aderans (bağ) kapasitesi malzemenin tamamen elastik davranışı ile sınırlıdır.

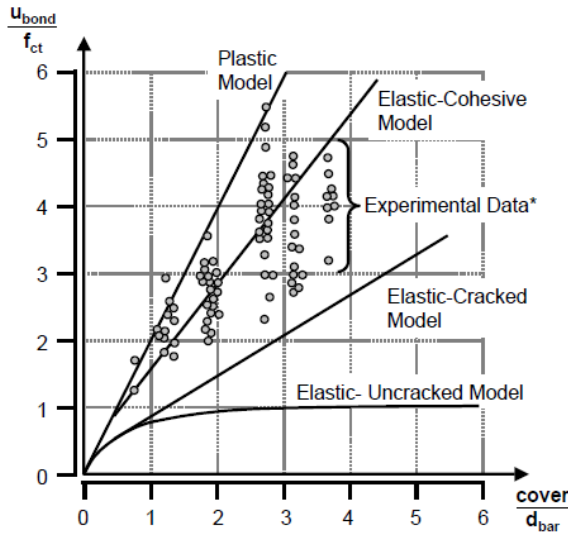
Elastik-çatlamış model, donatı çubuğunun etrafındaki dairesel bölgede çatlaklara müsaade eden ve bu nedenle elastik-çatlamamış modele göre az da olsa yüksek aderans (bağ) kapasitesine ulaşan bir modeldir. Bu modelde, çatlaklı bölgenin dışındaki halka içerisindeki beton davranışı elastik olarak kabul edilmektedir. Çatlaklı bölgede, çekme gerilmelerinin oluşmasına imkân olmadığı varsayılmaktadır. Elastik-çatlaklı model, maksimum çekme gerilmesi bölgesinin çubuk yüzeyi çevresinde belirli bir bölgeye yayılması kabulünü yapması nedeniyle elastik modelden daha yüksek bir kapasiteye sahiptir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Elastik-koheziv model beton kırılma mekaniği kuramları kullanılarak koheziv malzeme teorisi üzerine kurgulanmış bir modeldir. Bu model, çatlaklı bölgede beton çekme gerilmelerinin taşınmaya devam ettiği kabulünü yapmaktadır.

Plastik model ize donatı çevresindeki betonun kusursuz plastik davranış gösterdiği kabulü üzerine kurgulanmış olup, sıralanan diğer modeller arasında en yüksek aderans kapasitesini veren modeldir.

Yukarıda sıralanan birinci, ikinci ve dördüncü modeller Tepfers (1973), üçüncü model ise Rosati ve Schumm (1992) çalışmasında sunulan modellerdir. Tepfers (1973) ve Gambarova vd. (1998) metinlerinde yukarıda sunulan muhtelif aderans modelleri ile deneysel veri karşılaştırmaları yapmışlardır. Söz konusu karşılaştırma Şekil 4.104' te sunulmaktadır. Yapılan karşılaştırma neticesinde, elastik-koheziv modelin incelenen deneysel veriye en yakın sonuçlar sunan model olduğu çıkarımı yapılmıştır.



Şekil 4.104 Muhtelif aderans modelleri ile deneysel veri karşılaştırması (Tepfers, 1973) ve (Gambarova vd., 1998)

Tez çalışması kapsamında, çatlak sonrası oluşan her yeni beton parçasında gerilmeler için yeniden dağılım olduğu varsayımıyla, homojen bir değerlendirme yapılabilmesi adına beton yüzeyinde ilk çatlak görüldüğü anda ölçülen değerler üzerinden hesaplamalar ve parametre karşılaştırmaları yapılması uygun bulunmuştur. Şekil 4.104' te sunulan grafik üzerinde bir değerlendirme yapabilme adına Çizelge 4.35'

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

te oluşturulmuştur. ($cover/d_{bar}$) parametresi tüm numune grupları için aynı olup, 3,1' dir. Bu parameter kullanılarak, Şekil 4.104' te sunulan her bir model için aderans gerilmesi hesaplanmıştır. Çizelge 4.35' te dikkate alınan deneysel aderans gerilmesi her bir numune grubunda ilk çatlak oluştuğu andaki aderans gerilmesidir.

Çizelge 4.35 Deney verisi üzerinden (Thomson vd., 2002) çalışmasında sunulan aderans modelleri karşılaştırması

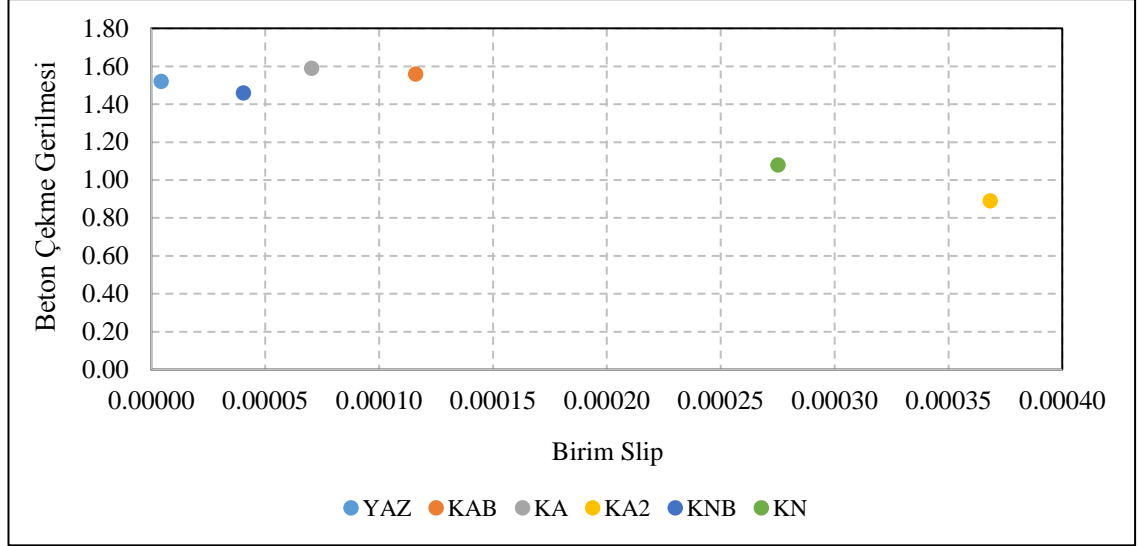
Numune Grubu	YAZ	KNB	KA	KAB	KN	KA-2
Beton Çekme Dayanımı (MPa), f_{ct}	1,52	1,46	1,59	1,56	1,08	0,89
Beton Kaplama Kalınlığı (mm), $cover$	43	43	43	43	43	43
Donatı Çapı (mm), d_{bar}	14	14	14	14	14	14
$cover/d_{bar}$	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
İlk Yüzey Çatlağı Anında Deneysel Aderans Gerilmesi (MPa), u_{bond}	0,76	0,87	0,98	1,11	1,21	2,43
Elastik –Çatlamamış Model'e Göre Hesaplanan Aderans Gerilmesi (MPa)	1,52	1,46	1,59	1,56	1,08	0,89
Elastik –Çatlamış Model'e Göre Hesaplanan Aderans Gerilmesi (MPa)	3,19	3,07	3,34	3,28	2,27	1,87
Elastik –Koheziv Model'e Göre Hesaplanan Aderans Gerilmesi (MPa)	6,23	5,99	6,52	6,40	4,43	3,65
Plastik Model'e Göre Hesaplanan Aderans Gerilmesi (MPa)	9,12	8,76	9,54	9,36	6,48	5,34

Çizelge 4.35 incelendiğinde, YAZ, KNB, KA ve KAB grubu numuneler için deneyselle en yakın aderans gerilmesi değerinin Elastik-Çatlamamış model üzerinden hesaplandığı; ancak deneysel değerlerin model üzerinde hesaplanan değerlerin altında kaldığı görülmektedir. KN grubu numuneler için, en yakın model değeri (1,08 MPa) Elastik-Çatlamamış Model üzerinden hesaplanmış olsa da bu değer deneysel verinin altında (1,21 MPa) bir değerdir. Bu grup için numune kılcal çatlak dağılımları dikkate alındığında, davranışın Elastik-Çatlamış Model' e çok daha yakın olduğunu ifade etmek mümkündür. Birim slip (sıyrılma) parametresi üzerinden yapılan değerlendirmeye göre aderans davranışının en zayıf olduğu kabul edilen KA-2 grubu numuneler için ise; deneysel veriye (2,43 MPa) en yakın model değerinin Elastik-Çatlamış Model üzerinde hesaplandığı (1,87 MPa) görülmektedir. Yapılan bu değerlendirme neticesinde, Thomson vd. (2002) çalışmasında genel bir derlemesi yapılan ve yukarıda detayları sunulan aderans modellerinin tez çalışması kapsamında incelenen numune davranışlarını yansıtır nitelikte olmadığı sonucuna ulaşılmaktadır. Modeller üzerinde, donatı çevresinde oluşan kılcal çatlak yoğunluğu etkisinin çalışması ile deneysel verinin daha güvenilir bir şekilde modellenebileceği düşünülmektedir.

Beton Sıcaklığı Değişim Katsayısı;

Beton dökümü sonrasında beton içi sıcaklığın +10 °C altına düşmemesi son derece önemlidir. Ancak, kış koşullarında ortam ısıtması olsun ya da olmasın bu değer altına inilmesi ihtimali bulunmaktadır. Davranış üzerinde beton iç sıcaklığı etkisini inceleyebilmek için, tüm numune gruplarında beton içerisinde ölçülen sıcaklık değerleri üzerinden beton sıcaklığı değişimi katsayısı hesaplanmıştır. Standart sapmanın ortalamaya bölümü neticesinde elde edilen değer değişim katsayısını temsil etmekte olup bu değer ne kadar sıfıra yakın ise değişimin o kadar az olduğunu ifade etmek mümkündür. Çizelge 4.34 incelendiğinde, en büyük beton sıcaklığı değişim katsayısının 14,2 değeri KN grubu numunelerde olduğu görülmektedir ki; KN grubu numune aderans davranışı en zayıf olan ikinci grup elemanlardır. Bu grupta en küçük beton sıcaklığı değişim katsayısı 0,03 ile YAZ grubu numune için hesaplanmıştır. Bu grup numuneler aderans davranışı en iyi olan, referans grup numuneler olarak kabul edilmektedir. Bu noktadan hareketle, beton içi sıcaklığının en azından döküm sonrası ilk 3 gün için mümkün olduğu kadar sabit tutulmasının güçlü bir tutunma için önemli olduğu sonucunu çıkarmak mümkündür. Erişilebilen literatürde benzer bir parametre karşılaştırmasına rastlanmaması nedeniyle, bu parametre için başkaca bir referans karşılaştırması yapılamamıştır.

Deney numunelerinin performans değerlendirmesi için beton çekme gerilmesi ile birim slip (sıyırılma) grafiği Şekil 4.105' te verilmiş olup, aderans davranışının referans kabul edildiği YAZ numunesi dikkate alındığında, en az birim sıyırılma değerini YAZ gurubu numuneleri alırken en fazla sıyırılma değeri KA-2 numune grubunda olduğu görülmektedir. Birim slip (sıyırılma) değerleri dikkate alınarak, numune grubu performans sıralaması güçlüden zayıfa doğru, YAZ, KNB, KA, KAB, KN ve KA-2 şeklindedir.



Şekil 4.105 Tüm numune grupları için beton çekme gerilmesi – birim sıyrılma (slip) dağılımı özeti

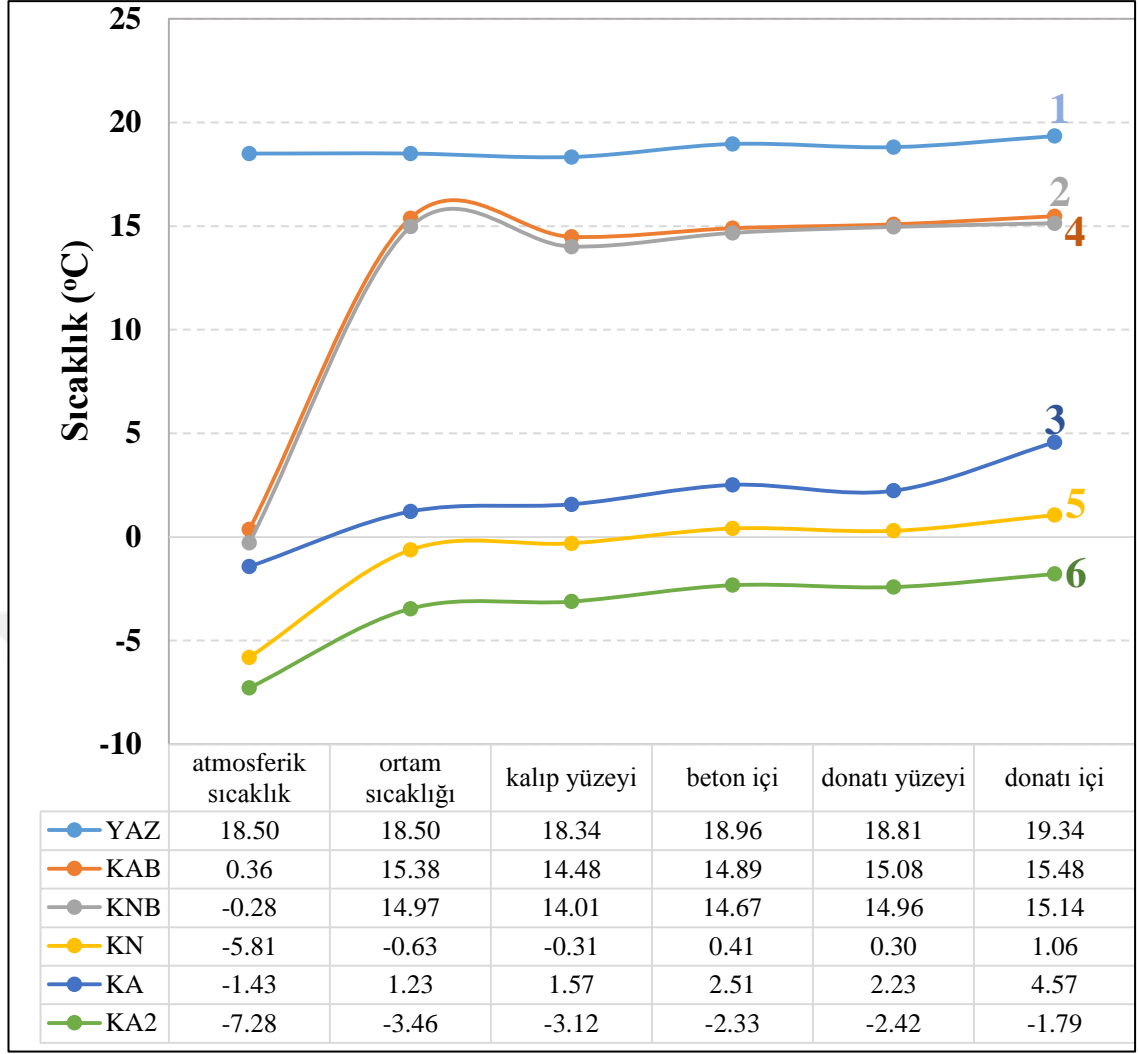
Şekil 4.105’ ten okunan davranış birbirine olukça yakın beton çekme gerilmesi seviyeleri için aynı donatı ile tutunan betonlarda en az sıyrılmanın YAZ grubu numunelerde olduğu görülmektedir. Bu yaklaşımla, KNB ve KA grubu numune aderans davranışlarının YAZ grubu ile yakınlık gösterdiği ifade edilebilmektedir. Beton çekme dayanımının davranış üzerindeki belirleyici etkisi de Şekil 4.105’ te açıkça görülmektedir. Beton çekme dayanımı düşük olan KN ve KA-2 grubu yüzeyde numunelerin ilk beton çatlağı oluştuğu andaki birim sıyrılma değerlerinin YAZ grubu numune ilgili değerinin sırasıyla 6,9 ve 9,2 katı olduğu görülmektedir. KN ve KA-2 grubu numunelerin birim slip (sıyrılma) değerleri üzerinde donatı çevresinde oluşan kılcal çatlak yoğunluğunun nispeten fazla olmasının etkisinin büyük olduğu düşünülmektedir.

Yüzeyde oluşan ilk çatlak anındaki beton çekme gerilmesi-birim sıyrılma dağılımı grafiğinden elde edilen numunelerin performans sıralamasına benzer bir davranışın beton çekme gerilmesi-beton birim şekil değiştirme diyagramları üzerinde, Şekil 4.106’ da görüldüğü ifade edilebilmektedir. Şekil 4.106’ da sunulan numune grupları doğru eğimleri üzerinden sıralandıklarında en rijit numune grubunun YAZ numuneleri olduğu görülmektedir. Buradaki sıralamanın da numunelerin aderans davranışı sıralaması ile örtüşüğünü söylemek mümkündür.



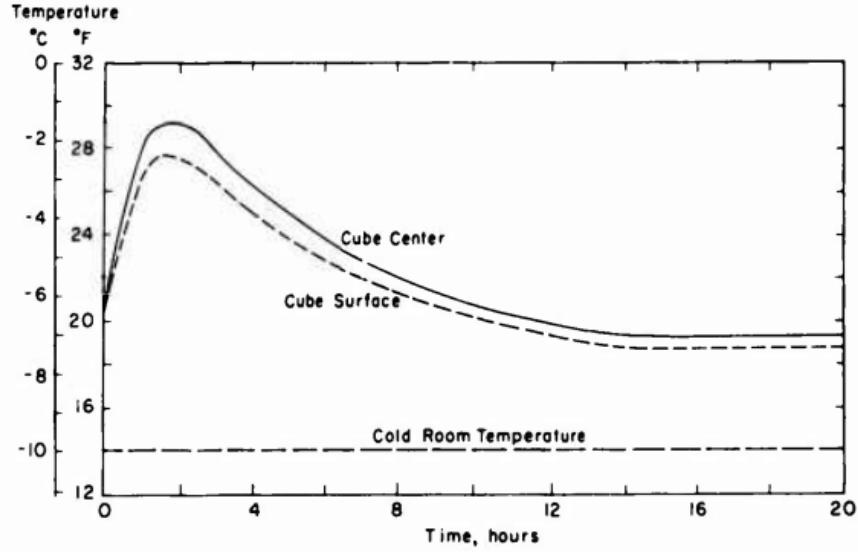
Şekil 4.106 Numune grupları için temsili beton çekme gerilmesi-birim şekil değişirme ilişkileri

Bir başka bakış açısıyla; beton çekme gerilmesi-birim slip grafiğinden elde edilen numunelerin performans sıralaması; numunelerden alınan sıcaklık kayıtları ile ilişkilendirilmiş olup Şekil 4.107’ de sunulmuştur. Grafik incelendiğinde, tüm noktalarda ölçülen sıcaklığın birbirine en yakın olduğu YAZ grubu numunelerin aderans davranışının, birim slip (sıyrılma) parametresi üzerinden, en iyi olan numuneler olduğu görülmektedir. YAZ grubu numuneler için tüm noktalarda ortalama sıcaklık değerinin 18°C olduğunu söylemek mümkündür. Ortalama sıcaklık değeri düştükçe, örneğin KNB grubu numuneler için ortalama 15°C, beton yüzeyinde ilk çatlak oluştuğu andaki birim slip (sıyrılma) değerinin arttığı görülmektedir. Bu durum, döküm sonrası beton ve donatı sıcaklığının aderans davranışını belirleyici önemli bir parametre olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 4.107 Numune gruplarının ortalama sıcaklık grafiği

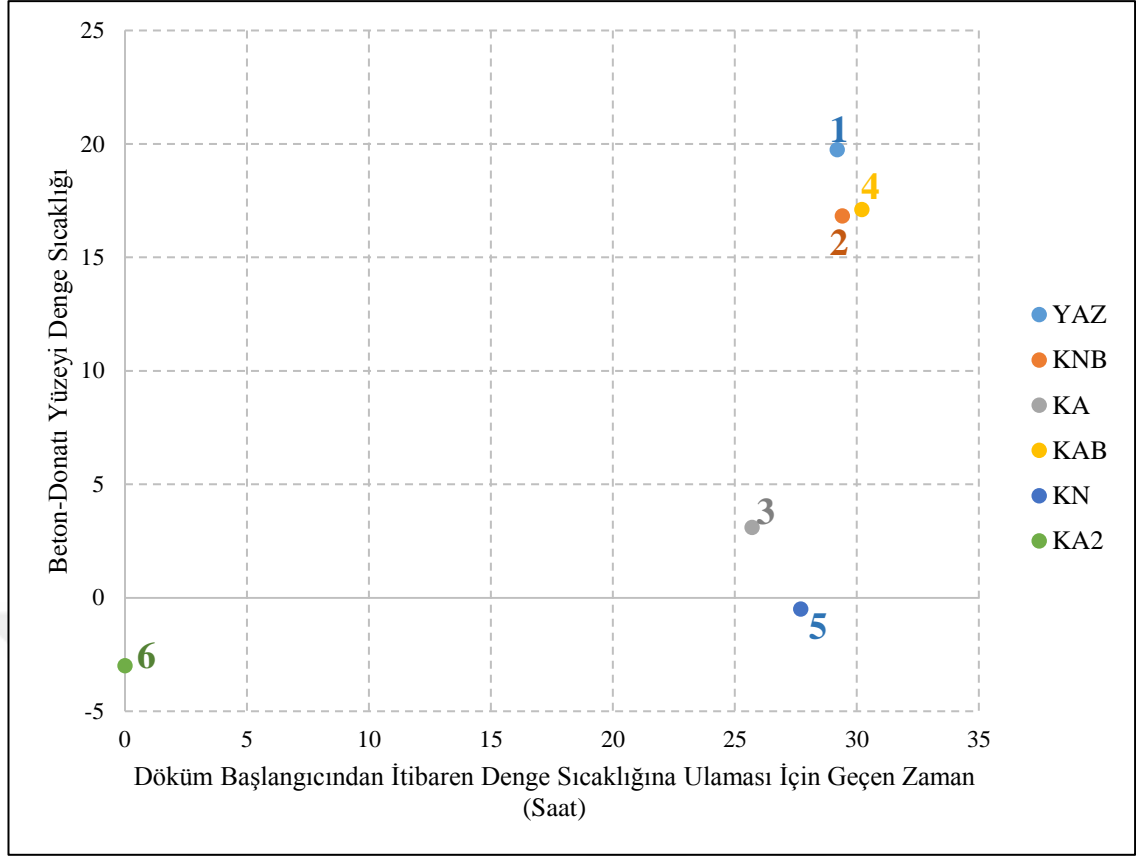
Bu konuda erişilebilen literatürde benzer bir parametre incelemesine rastlanmadığı ifade edilmelidir. Sadece Stormer (1970) çalışmasında -10 °C ortam sıcaklığında dökülen beton numune içerisi ve kalıp yüzeyindeki sıcaklık ölçümüne ilişkin bir grafik sunulmuş ve bu görselde başlangıçta aynı olan bu iki nokta sıcaklığının hidrasyonla birlikte farklılaştığı görülmektedir. Ancak, metinde ölçülen sıcaklık ile aderans performansının ilişkilendirilmesine dair bir değerlendirmeye rastlanılamamıştır. Söz konusu grafik Şekil 4.108’ de sunulmaktadır. 20 saatlik ölçüm süresince, beton merkezinde ölçülen sıcaklığın kalıp yüzeyine göre nispeten yüksek olduğu görülmektedir. Bu davranışın, bu tez çalışması kapsamında alınan sıcaklık ölçümleri ile benzer olduğunu ifade etmek mümkündür.



Şekil 4.108 Beton dökümü sonrası zamana bağlı sıcaklık ölçümü (Stormer, 1970)

Numune gruplarının, beton-donatı arasında döküm anından itibaren sıcaklık dengesinin kurulduğu zamana karşı çizdirilen grafik, performans değerlendirmesinde kullanılmış olup bu veriler Şekil 4.109’ da grafik olarak sunulmuştur. KA-2 numune grubu haricinde diğer numune grupları ortalama 27. saatte denge sıcaklığına ulaştığı görülmektedir. Bu numuneler denge sıcaklığına ulaşmaya kadar beton sıcaklığının donatıya nazaran daha yüksek seyrettiğini ifade etmek mümkündür. Bu sıcaklık farkının, hidrasyona bağlı sıcaklık artışıyla yorumlanması mümkündür. Deney numunesinde beton boyu 50 cm, donatı boyu ise 70 cm olarak tercih edildiği için, numunenin alt ve üst kısmında betona sarılı olmayan, numune içerisinden dışarıya devam eden, serbest 10’ar santimetre donatı parçası olduğu bilinmektedir. Beton ile sarılı olmayan serbest donatı kısımları, bulunduğu ortamdan doğrudan etkilenmektedir. Beton içerisinde meydana gelen hidrasyona bağlı ısı artışı neticesinde dış ortamdan donatı gibi doğrudan etkilenmemektedir. Fakat KA-2 numune grubunda hidrasyon tepkimesi görülmediği için denge sıcaklığı döküldüğü andan itibaren ilk 1 saat içerisinde hızlı bir ısı alışverişi yaşanmış ve 72 saatlik sıcaklık ölçümü süresince bu sıcaklık dengesi devam etmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.109 Denge sıcaklığına bağlı performans değerlendirme grafiği

Şekil 4.109’ da beton ve çelik malzemenin YAZ, KAB ve KNB grubu numunelerin birbirine yakın zamanlarda denge sıcaklığına ulaştıklarını göstermektedir. Bununla birlikte, ulaşılan denge sıcaklığı ne kadar yüksek ise tutunmanın o oranda güçlü olduğu çıkarımını yapmak da mümkündür.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Yapılan deneyler sonucunda, numune içinde meydana gelen kılcal çatlakların gözlenmesi doğrultusunda deney numuneleri Şekil 4.110' da görüldüğü üzere düşey doğrultuda ikiye ayrılmıŐ ve toplu halde sunulmuştur. Toplu halde bir araya getirilen numuneler detaylı incelemeler yapılmış olup, inşaat mühendisliği lisans öğrencilerine numune gruplarının imalatı hakkında ön bilgi verilmeden sadece gördükleri numuneler üzerinde; **“Betonarme bir yapı yapacak olsaydınız, yapıda hangi tip beton numunesini kullanmayı tercih ederdiniz?”** sorusu yöneltilerek kk çapta bir anket uygulaması yapılmıŐtur. Anket sonucunda kışın dökülen KA numune grubu tercih edilmiş olup, kışın imalat yapılmasına rağmen genel olarak beton bütünlüğünün korunduğu yorumu yapılmıŐtur.



Şekil 4.110 nc tip deney numunesine ait her grubu kapsayan çatlak detayı

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında soğukta dökülmüş betonarme numunelerin çekme etkisi altındaki aderans davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma neticesinde elde edilen sonuç ve ortaya konulan öneriler aşağıdaki gibidir.

- Bu çalışmada ilk etapta TS 1248' de sunulan beton sıcaklığı belirleme formülünün kullanılabilirliği test edilmiş olup başarılı sonuç alınmıştır. Alınan başarılı sonuç doğrultusunda, soğuk bölgelerde betonarme imalat yapılmasının ilk şartı olan sıcak beton üretme aşaması başarıyla gerçekleştirilmiş ve tez kapsamında soğukta beton dökümü uygulamasında bu formülden çok kez yararlanılarak istenilen beton sıcaklığına bağlı su sıcaklığı belirlenerek taze beton üretimi gerçekleştirilmiştir.

- İstenilen sıcaklıkla taze beton üretme konusunda elde edilen başarılı sonucun ardından gerçek kış koşullarında beton dayanımının nasıl değiştiği konusunda ön çalışma yapılmış, yapılan çalışma doğrultusunda hedeflenen C30 dayanımlı beton antifriz katkı kullanılmaksızın kış koşullarında koruyucu bir alan içerisinde üç gün ısıtma yöntemiyle bakım yapılarak üretilmiştir. Daha büyük hacimli beton imalatı yapılarak yöntemin geçerliliğin doğrulanması önerilmektedir.

- Kış koşullarında istenilen dayanımda beton elde edilmesinin mümkün olduğu belirlendikten sonra, betonarme elemanlarda çekme etkisi altında aderans davranışının incelendiği üçüncü grup numune tasarlanmıştır. Söz konusu numunenin çekme etkisi altındaki aderans davranışının incelenmesi çalışmasında kullanılabileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte, bu alandaki deneysel çalışma sayısının artırılması önerilmektedir.

- Tez kapsamında belirli imkân çerçevesinde yapılan deneylerde tek tip çimento tipi (PÇ 32,5/CEMIV) kullanılmıştır. Bu yüzden, farklı çimento türü ve dozajının kışın beton dökümü uygulamasında araştırılmamış olması tez çalışmasının bir eksikliği olarak değerlendirilmekte ve bu alanda deneysel çalışma yapılması önerilmektedir.

- Benzer şekilde, antifriz katkılı beton karışımların kış koşullarındaki imalat için kullanımlarının deneysel olarak araştırılması da bir gereklilik olarak görülmektedir.

- Çalışmada kullanılan yükleme ve ölçüm düzeneği esasen, her yapı laboratuvarında bulunan çelik çekme düzeneği üzerinde kurgulanmıştır. Tasarlanan deney düzeneğinin çekme etkisi altındaki aderans davranışının incelenmesi

çalışmalarında kullanılabileceği görülmüştür. Bununla birlikte, özellikle doğrudan sıyrılma ölçümleri için düzenek güncelleme çalışmaları yapılabileceği düşünülmektedir.

- Çalışma kapsamında deneysel olarak elde edilen birim slip (sıyrılma) değerleri; Mirza ve Houde (1979) çalışmasında sunulan bağıntı ile hesaplanan değerlerle kıyaslanmıştır. Benzer şekilde bir karşılaştırma aderans gerilmeleri için Thomson vd. (2002) çalışmasında derlenen aderans modelleri üzerinden yapılmıştır. Gerek birim slip (sıyrılma) ve gerekse aderans gerilmeleri için literatürde yer alan bağıntı ve modellerin incelenen deneysel davranışı başarılı bir şekilde yansıtmadığı görülmüştür. Burada en önemli unsurun, incelenen bağıntı ve modellerde donatı çevresinde oluşan ve beton yüzeyine erişmeyen kılcal çatlak dağılımlarını hesaba katmamaları olduğu düşünülmektedir.

- Gerçekleştirilen çalışmada ana referans yaz koşullarında imalatı yapılan betonarme numuneler olmuştur. Bu grup için pek çok parametre üzerinden yapılan performans değerlendirmesi neticesinde KNB ve KA grubu numunelerin YAZ grubu numunelere oldukça benzer bir aderans davranışı gösterdiklerini ifade etmek mümkündür.

- Aderans performansı yaz grubu numunelerle oldukça yakın olarak değerlendirilen KA ve KNB grubu numuneler, sera çadırı denebilecek kapalı bakım çadırı içinde imal edilmişlerdir. Kışın beton dökümü ve betonarme imalatın bu tür koruyucu çadır içerisinde yapılması önerilmektedir. Zira açık alanda yapılan beton dökümü esnasında taze beton sıcaklığında anlık 10°C mertebesinde düşüş olduğu tespit edilmiştir. Taze beton sıcaklığının beton dayanımı ve dolayısıyla aderans davranışı üzerindeki etkisi dikkate alındığında, bakım çadırı uygulamasının önemi kendiliğinden ortaya çıkmaktadır.

- Bakım çadırı içerisinde döküm yapılması koşuluyla, betonda antifriz kullanılarak ısıtma yapılmaması ya da antifriz katkı olmaksızın yapılan imalat için ortam ısıtması uygulamalarının, aderans davranışı açısından, birbirine yakın sonuçlar verdiğini söylemek mümkündür.

- Deneyler sonucunda elde edilen bulgular neticesinde, kış mevsiminde betonarme imalatı yaklaşık olarak -5 °C' ye kadar antifriz katkısız sıcak bakım uygulaması koşuluyla gerçekleştirilebileceğini söylemek mümkündür. Belirtilen sıcaklığın altında antifriz katkısı kullanarak betonarme imalat yapılması ve daha düşük sıcaklıklarda antifriz katkısına ek olarak sıcak bakım yapılması önerilmektedir. Bu alanda yapılacak deneysel çalışmalara ihtiyaç olduğu da ifade edilmelidir.

- Çalışma kapsamında aderans numuneleri, beton dökümünden sonraki 3. gün bitiminde kalıptan çıkarılarak gerçek atmosferik koşullarda 28. gün sonuna kadar bekletilmişlerdir. Elde edilen sonuçlar, kışın betonarme imalat yapılması halinde kalıp alınması sonrası dönemin en az ilk 4-5 günü atmosferik koşullarının dikkatli bir biçimde çalışılması gerektiği sonucunu doğurmuştur.

- Araştırma bulguları bütün olarak değerlendirildiğinde, gerçek kış koşullarında önerilen yöntemlerle imalat yapılması durumunda yaz koşullarında yapılan imalata çok yakın aderans davranışı elde edilmesinin mümkün olabileceği çıkarımı yapılabilmektedir.

- Kışın betonarme imalat yapılabilmesi, karasal iklimin hâkim olduğu bölgelerde inşaat sezonunun daha uzun sürmesine, zaruri imalatın sorunsuz bir şekilde yapılabilmesine imkân tanıyacaktır. Bu konuda net yöntem önerilerinin ortaya konulabilmesi, gerçek kış koşullarında imal edilmiş betonarme yapısal taşıyıcı elemanların (kolon, kiriş, döşeme, birleşim) test edilerek mekanik davranışın incelenmesi neticesinde mümkün olacaktır. Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen araştırma, gerçek kış koşullarında yapısal eleman deneyleri için ön bilgi üretme amacına hizmet etmiştir. Kış koşullarında imalatı yapılmış yapısal taşıyıcı betonarme eleman davranışı konusunda literatürde çok büyük boşluk bulunmaktadır.

KAYNAKLAR

- ACI 306R-10. 2010. Guide to Cold weather Concreting.
- Anonim., 2019. Web Sitesi: http://www.utest.com.tr/upload/Node/36908/xfiles/UTC-5740_MODEL.pdf , Erişim Tarihi : 12.04.2019
- Anonim., 2019. Web Sitesi: http://www.akcansa.com.tr/docs/20120823120605_teknik-notlar-4.pdf , Erişim Tarihi: 15.02.2019
- Anonim., 2019. Web Sitesi: <http://www.utest.com.tr/upload/Node/31571/xfiles/UTM-9000-TR+1.pdf> , Erişim Tarihi: 20.05.2019.
- Anonim.,2015. Web Sitesi: <https://www.afacan.com.tr/wp-content/uploads/2016/03/betonarme.pdf> , Erişim Tarihi: 10.04.2020
- Arslan, M. E., ve Arslan, T., 2018. Kenetlenme Boyu ve Donatı Çapının Beton-Donatı Aderansına Etkisinin Mafsallı Kiriş Deneyiyle İncelenmesi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 30(2), 1-11.
- Aryanto, A., ve Shinohara, Y., 2012. Bond Behavior between Steel an Concrete in Low Level Corrosion of Reinforcing Steel. 15 WCEE.
- Ataköy, H., 2010. Ülkemizde Üretilen Donatı Çeliklerindeki Kalite Problemleri ve TS 708.,https://www.academia.edu/7603419/%C3%9CLKEM%C4%B0ZDE_%C3%9CRET%C4%B0LEN_DONATI_%C3%87EL%C4%B0KLER%C4%B0NDE_K%C4%B0_KAL%C4%B0TE_PROBLEMLER%C4%B0_VE_TS_708_2010 adresinden alındı
- Benmokrane, B., Xu, H., ve Bella Vance, E.,1996. Bond Strength of Cement Grouted Glass Fibre Reinforced Plastic (GFRP) Anchor Bolts. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. ve Geomech. Abstr, 33(5), 455-465.
- Bilek, V., Bonczkova, S., Hurta, J., Pytlik, D., ve Mrovec, M., 2017. Bond Strength Between Reinforcing Steel and Different Types of Concrete. Procedia Engineering, 190, 243-247.
- Bingöl, A. F., 2008. Beton-Donatı Aderansına Yüksek Sıcaklıkların Etkisi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 149, Erzurum.
- Bingöl, A. F., ve Gül, 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.
- Chowdhury, S. H., 2013. Early Age Bond Strength Of Reinforcing Bars In High Strength Concrete. 4th International Conference on Structural Engineering and Construction Management. 1, s. 78-89. Kandy, Sri Lanka: ICSECM.
- Çullu, M., ve Arslan, M., 2014. The Effect of Chemical Attacks on Physical and Mechanical Properties of Concrete Produced Under Cold Weather Conditions. Construction and Building Materials, 57, 53-60.
- Demirboğa, R., Karagöl, F., Polat, R., ve Kaygusuz, M. A., 2014. The Effects of Urea on Strength Gaining of Fresh Concrete Under the Cold Weather Conditions. Construction and Building Materials, 64, 114-120.

- Diao, B., Sun, Y., Cheng, S., ve Yinghua, Y., 2011. Effects of Mixed Corrosion, Freeze-Thaw Cycles, and Persistent Loads on Behavior of Reinforced Concrete Beams. *Journal of Cold Region Engineering*, 25(1), 37-52.
- Döndüren, M. S., Çöğürçü, M. T., ve Altın, M., 2006. Betonla Donatı Arasındaki Aderans Davranışının Deneysel İncelenmesi. *Selçuk Üniv. Müh.-Mim. Fak. Dergisi*, 21, 3-4.
- Eker, A. A., 2009. Beton İçindeki Çelik Donatı Korozyonu. 11 14, 2019 tarihinde Docplayer: <https://docplayer.biz.tr/3715863-Beton-icindeki-celik-korozyonu-14-04-2009-prof-dr-aysegul-akdogan-eker.html> adresinden alındı
- Ersoy, U., ve Özcebe, G., 2015. *Betonarme I. Evrim Yayınevi*, 816, Türkiye.
- Fu, X., ve Chung, D. L., 1997. Improving The Bond Strength Between Steel Rebar and Concrete By Increasing The Water/Cement Ratio. *Cement and Concrete Research*, 27(12), 1805-1809.
- Galeota, D., Giammatteo, M. M., Paris, M., ve Zulli , M., 2002. Corrosion Influence on Bond between Steel and High-Strength Lightweight Concrete. 6th International Symposium on High Strength / High Performance Concrete. Leipzig, Germany.
- Gambarova, P. G., Rosati, G. P., ve Schumm, C. E., 1998. Bond and Splitting: A Vexing Question. *Bond and Development of Reinforcement, A Tribute to Dr. Peter Gergely*, (s. 23-44). Farmington Hills, Michigan.
- Gao, Y., Zheng, Y., Zhang, J., Wang, J., Zhou , X., ve Zhang, Y., 2019. Randomness of Critical Chloride Concentration of Reinforcement Corrosion in Reinforced Concrete Flexural Members in A Tidal Environment. *Ocean Engineering*, 172, 330-341.
- Gedik, B., Okuyucu, D., Şahin, M., Şahin, B., ve Özdoğan, D. B., 2020. Soğuk Bölgelerde Betonarme İmalata İlişkin Bir Algi Anketi ve İmalata Yönelik Ön Çalışmalar. 4. Uluslararası GAP Matematik Mühendislik-Fen ve Sağlık Bilimleri Kongresi. Gaziantep.
- Gopinath, S., Rajasankar, J., Iyer, N. R., Krishnamoorthy, T. S., Bharatkumar, B. H., and Lankshmanan, N., 2009. A Strain-Based Constitutive Model for Concrete under Tension in Nonlinear Finite Element Analysis of RC Flexural Members. *Structural Durability and Health Monitoring*, 5(4), 311-335.
- Goto, Y., 1971. Cracks Formed in Concrete Around Deformed Tension Bars. *Journal of the American Concrete Institute*, 68(4), 244-251.
- 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.
- Kankam, C. K., 2004. Bond Strength of Reinforcing Steel Bars Milled From Scrap Metals. *Materials and Design*, 25, 231-238.
- 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.
- Karbhari, V. M., ve Eckel, D. A., 1994. Effect of Cold Regions Climate on Composite Jacketed Concrete Columns. *Journal of Cold Region Engineering*, 8(3), 73-86.

- Karhonen, C. L., Cortez, E. R., ve Charest, B. A., 1992. Strength development of concrete cured at low temperature. *Concrete Int.*, 34-39.
- Karhonen , C. L., 1990. Antifreeze Admixtures for Cold Regions Concreting – A literature review. Hanover N.H.: U.S. Army Cold Region Res. and Engineering Lab (CRREL).
- Kazaz, İ., 2012. Betonarme Perde Duvarların Sonlu Eleman Analizinde Aderans Kaymasının Uygulanması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(3), 155-163.
- Korhonen , C. J., 1999. Expedient Low-Temperature. Concrete Admixtures for the Army Special Report 99-17. US Army Corps of Engineers / Cold Regions Research ve Engineering Laboratory.
- Korhonen, C. J., 2015. New Developments in Cold Weather Concreting. *Cold Region Engineering*, 531-537.
- Krylov, B. A., 1999. Cold Weather Concreting. *Journal of Cold Regions Engineering*, 13, 213-214.
- Kuzey Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı (KUDAKA)., 2014. 2014-2023 Bölgesel Mevcut Durum Analizi Raporu. Erzurum.
- Lee, H. S., Noguchi, T., ve Tomosawa, F., 2002. Evaluation Of The Bond Properties Between Concrete and Reinforcement As A Function Of The Degree Of Reinforcement Corrosion. *Cement and Concrete Research*, 32, 1313-1318.
- Liu, P., Yu, Z., Guo, F., Chen, Y., ve Sun, P., 2015. Temperature Response in Concrete Under Natural Environment. *Construction and Building Materials*, 98, 713-721.
- Liu, R., Jiang, L., Huang G, Zhu, Y., Liu, X., Chu, H., ve Xiong, C., 2016. The Effect of Carbonate and Sulfate Ions on Chloride Threshold Level of Reinforcement Corrosion in Mortar With/Without Fly Ash. *Construction and Building Materials*, 113, 90-95.
- Lobo, P. S., Almeida, J., ve Guerreiro, L., 2015. Bond-Slip Effect in the Assessment of RC Structures Subjected to Seismic Actions. *Procedia Engineering*, 114, 792-799.
- Lublöy, E., ve György, B. L., 2014. Temperature Effects On Bond Between Concrete And Reinforcing Steel. *Journal Of Faculty Of Civil Engineering*, 26, 27-35.
- Meteoroloji 12 Bölge Müdürlüğü (MGM)., 2019. Meteorolojik Bilgiler. (H. Kırmızıtaş, Dü.) Erzurum, Türkiye.
- Mironov, S. A., ve Krylov, B. A., 1956. Concrete with Chloride Salts in Winter Conditions, Session D, Obtainment of Adequate Quality by Winter Concreting. *Proceedings of RILEM Symposium, Winter Concreting Theory and Practice*. Copenhagen.
- Mirza, S. M., ve Houde, J., 1979. Study of Bond Stress - Slip Relationship in Reinforced Concrete. *ACI journal*, 76(1), 19-46.
- Montejo, L. A., Kowalsky, M. J., ve Hassan, T., 2009. Seismic Behavior of Flexural Dominated Reinforced Concrete Bridge Columns at Low Temperatures. *Journal of Cold Regions Engineering*, 23(1), 18-42.

- Montejo, L. A., Sloan, J. E., Kowalsky, M. J., ve Hassan, T., 2008. Cyclic Response of Reinforced Concrete Members at Low Temperatures. *Journal of Cold Regions Engineering*, 22(3), 79-102.
- Nassif, A. Y., ve Petrou, M. F., 2013. Influence of Cold Weather During Casting and Curing on the Stiffness and Strength of Concrete. *Construction and Building Materials*, 44, 161-167.
- Nmai, C. K., 1998. Cold Weather Concreting Admixtures. *Cement and Concrete Composites*, 20, 121-128.
- Oliveira, A. M., ve Cascudo, O., 2018. Effect of Mineral Additions Incorporated in Concrete on Thermodynamic and Kinetic Parameters of Chloride-Induced Reinforcement Corrosion. *Construction and Building Materials*, 192, 467-477.
- Paul, B. K., Saha, G. C., Saha , K. K., ve Rashid , M. H., 2013. Effect of Casting Temperature on Bond Stress of Reinforced Concrete Structure. *Global Journal of Researches in Engineering Civil And Structural Engineering*, 13(2), 18-23.
- Popal, M., 2015. Düşük Dayanımlı Betonlarda Aderans ve Sıyırılma İlişkisi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 92. Isparta.
- Rosati, G. P., ve Schumm, C. E., 1992. Modeling of Local Bar-to-Concrete Bond in RC Beams. *Bond in Concrete: From Research to Practice*, 3, s. 1234-1243.
- Ryou, J. S., ve Lee, Y. S., 2012. Properties of Early-Stage Concrete with Setting-Accelerating Tablet in Cold Weather. *Materials Science and Engineering: A532*, 84-90.
- Saiedi, R., Green, M. F., ve Fam, A., 2013. Behavior of CFRP-Prestressed Concrete Beams Under Sustained Load at Low Temperature. *Journal of Cold Regions Engineering*, 27(1), 1-15.
- Sarker, P. K., 2011. Bond Strength Of Reinforcing Steel Embedded In Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. *Materials and Structures*, 44, 1021-1030.
- Schroeder, H. P., ve Wood, T. B., 1996. Concrete/Reinforcing Steel Bond Strength of Low-Temperature Concrete. *Journal of Cold Region Engineering*, 10, 93-117.
- Stormer, C. D., 1970. Cold Concrete Technical Report. Hanover: U.S Army Cold Region Research and Engineering Laboratory.
- Swift, D. P., Puckett, J. A., ve Edgar, T. V., 1992. Finite Element Analysis of Cold Embedments in Fresh Concrete. *Journal of Cold Regions Engineering*, 6, 41-57.
- TBDY., 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. Ankara
- Tepfers, R., 1973. A Theory of Bond Applied to Overlapped Tensile Reinforcement Splices for Deformed. Göteborg: Chalmers University of Technology.
- Thompson, M. K., Jirsa, J. O., Breen, J. E., ve Klingner, R. E., 2002. Anchorage Behavior of Headed Reinforcement Literature Review. Center for Transportation Research The University of Texas at Austin.
- Thompson, M. K., Jirsa, J. O., Breen, J. E., ve Klingler, R. E., 2002. Explore New Uses For T-Headed Bars In Structural. Austin.

- Topçu, İ. B., ve Boğa, A. R., 2008. Betonarmede Donatı ve Beton Arasındaki Aderansa Korozyonun Etkisi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21(1), 23-38.
- TS 708., 2010. Beton Çelik Çubukları. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.
- TS 1248., 2012. Beton Yapım, Döküm ve Bakım Kuralları - Anormal Hava Şartlarında. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.
- TS 500., 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 12390-3., 2010. Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.
- Türk, K., ve Yıldırım, M. Ş., 2003. Bond Strength Of Reinforcement in Splices in Beams. Structural Engineering and Mechanics, 16(4), 000-000.
- Türk, K., Çalışkan, S., ve Yıldırım, M. Ş., 2005. Influence of Loding Condition and Reinforcement Size on the Concrete/Reinforcement Bond Strengt. Structural Engineering and Mechanics, 19(3), 337-346.
- Xiao, J., Hou, Y., ve Huang, Z., 2014. Beam Test On Bond Behavior Between High-Grade Rebar And High-Strength Concrete After Elevated Temperatures. Fire Safety Journal, 69, 23-35.
- Yerlici, V., Ersoy, U., Özturan, T., Türk, M., ve Özden, Ş., 1995. Yüksek Dayanımlı Beton Elemanlarda Donatı Kenetlenmesi. İMO Teknik Dergi, 61, 1007-1026.
- Yi, S. T., Pae, S. W., ve Kim, J. K., 2011. Minimum Curing Time Prediction of Early-Age Concrete to Prevent Frost Damage. Construction and Building Materials, 25, 1439-1449.
- Zhou, Z., 2018. Durability of Ultra-High Performance Concrete in Tension Under Cold Weather Conditions. Cement and Concrete Composites, 94, 94-106.

EKLER

EK-1

Kış Dökümü

Döküm Tarihi: 4.04.2019

Döküm Saati: 12:55

Döküm Anında Ortam Sıcaklığı (°C): 3,3

Döküm Anında Nem (%): 67

Döküm Anında Rizgar Hızı (km/s): 3

Ölçüm No	Saat	Sıcaklık (°C)		Numune - 1	
		Dış Ortam	İç Ortam	Sıcaklık (°C)	Nem (%)
1	12:55	3,3	5,4	14,1	99
2	13:25	0,8	15,7	12,7	99
3	13:55	0,5	22,6	11,5	99
4	14:25	-0,3	21,9	11,6	99
5	14:55	0,7	25,7	12	99
6	15:25	0,7	11,5	12	99
7	15:55	0,5	18,2	12,8	99
8	16:25	-1,1	9,6	12,9	99
9	16:55	-0,6	17,1	12,8	99
10	17:25	-1,5	27,3	12,7	99
11	17:55	-2,4	12,4	12,8	99
12	18:25	-2,5	11	12,7	99
13	18:55	-2,6	9,8	12,6	99
14	19:25	-3	9,4	12,3	99
15	19:55	-3	9	12	99
16	20:25	-3,3	8,5	11,7	99
17	21:25	-3,7	33,4	11,9	99
18	22:25	-5,3	11,6	13	99
19	23:25	-6,8	9,9	13	99
20	00:25	-7,9	34,1	13,3	99

21	01:25	-8,3	12	14,3	99
22	02:25	-8,9	35,2	14,7	99
23	03:25	-9,6	12,6	15,6	99
24	04:25	-9,6	9,3	15,2	99
25	05:25	-11,5	35	15,3	99
26	06:25	-10,9	38,4	17	99
27	07:25	-6,8	16,3	18,5	99
28	08:25	-8,2	11,2	18,3	99
29	09:25	-1,8	12,8	17,7	99
30	10:25	1,4	11,6	16,8	99
31	11:25	2,5	10,7	16	99
32	12:25	-3,7	9,8	15,5	99
33	13:25	-3	21,3	15,7	
34	14:25	-1,5	11,5	16,5	
35	15:25	1,3	13,7	16,7	
36	16:25	-0,5	16,1	17,1	
37	17:25	-2,6	11,7	17,3	
38	18:25	-4,6	12,2	17	
39	19:25	-3,2	14,4	16,6	
40	20:25	-2,7	25,6	16,3	
41	21:25	-3,8	10,7	16,5	
42	22:25	-3,3	11,3	16,3	
43	23:25	-3,3	10,1	15,8	
44	00:25	-3,8	15,9	15,9	
45	01:25	-5,8	11,4	16,1	
46	02:25	-4,8	10,2	15,6	
47	03:25	-6	9,7	14,8	
48	04:25	-7,4	8,6	14	
49	05:25	-8,2	6,1	12,9	
50	06:25	-8,2	5,7	12,2	
51	07:25	-0,2	6,9	11,2	
52	08:25	-3	7,3	10,4	
53	09:25	-0,5	10,7	10,4	

54	10:25	2	32,4	10,8	
55	11:25	7	21,7	12,5	
56	12:25	4,6	11,1	12,9	
57	13:25	-0,4	9,7	13	
58	14:25	0,4	32,1	13,3	
59	15:25	0	12,9	14,4	
60	16:25	2,7	37	15,5	
61	17:25	0,3	14,8	17	
62	18:25	-1,4	14,2	17,4	
63	19:25	-1,7	13,3	17	
64	20:25	-2,4	13	16,7	
65	22:50	-2,3	15,6	16,7	
66	00:02	-4	14,9	15,8	
67	02:15	-3,7	13,5	14,2	
68	03:55	-4,1	12,5	13,2	
69	06:05	-4,9	10,5	11,2	
70	07:49	-4,7	10,7	11,1	
71	08:25	-0,8	6	10,1	
72	09:25	-0,5	30,9	10,2	
73	10:25	-1	12,3	10,8	
74	11:25	0,2	33,2	13,1	
75	12:25	0,7	14,3	15	

EK-2**Yaz Dökümü****Döküm Tarihi:** 4.03.2019**Döküm Saati:** 12:52**Döküm Anında Ortam Sıcaklığı (°C):** 21,30**Döküm Anında Nem (%):** 31**Döküm Anında Rizgar Hızı (km/s):** 0

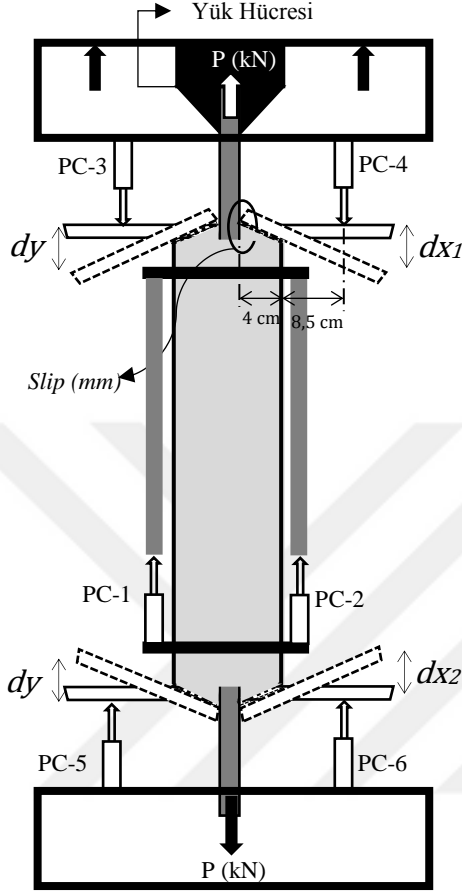
Ölçüm No	Saat	Sıcaklık (°C)	Numune - 1	
		Ortam	Sıcaklık (°C)	Nem (%)
1	12:55	21,3	24,4	99
2	13:25	21,3	21,9	
3	13:55	21,3	22,8	
4	14:25	21,4	22,1	
5	14:55	21,2	22,1	
6	15:25	21,1	21,9	
7	15:55	21,1	22	
8	16:25	21,2	21,8	
9	16:55	21,2	21,8	
10	17:25	21,2	21,6	
11	17:55	21,3	21,6	
12	18:25	21,3	21,5	
13	18:55	21,3	21,5	
14	19:25	21,3	21,4	
15	19:55	21,3	21,4	
16	20:25	21,3	21,3	
17	21:25	21,3	21,3	
18	22:25	21,4	21,2	
19	23:25	21,4	21,2	
20	00:25	21,5	21,2	
21	01:25	21,6	21,3	
22	02:25	21,6	21,3	
23	03:25	21,7	21,5	

24	04:25	21,7	21,6	
25	05:25	21,7	21,8	
26	06:25	21,8	22	
27	07:25	21,8	22,3	
28	08:25	21,8	22,6	
29	09:25	21,7	22,8	
30	10:25	21,7	23,3	
31	11:25	21,7	23,9	
32	12:25	21,7	24,4	
33	13:25	21,8	24,3	
34	14:25	23,4	24,3	
35	15:25	23,2	23,4	
36	16:25	22,6	24,2	
37	17:25	22,7	23,9	
38	18:25	23,3	23,8	
39	19:25	23,1	23,8	
40	20:25	22,4	23,7	
41	21:25	22,4	23,5	
42	22:25	22,4	23,5	
43	23:25	22,4	23,3	
44	00:25	22,6	23,3	
45	01:25	22,8	23,3	
46	02:25	22,8	23,3	
47	03:25	22,9	23,2	
48	04:25	23	23,2	
49	05:25	23	23,2	
50	06:25	23	23,2	
51	07:25	23,1	23,2	
52	08:25	22,7	23,2	
53	09:25	22,5	23,1	
54	10:25	22,6	23	
55	11:25	23,1	22,9	

56	12:25	22,8	22,9	
57	13:25	22,8	22,9	
58	14:25	22,7	22,9	
59	15:25	22,9	22,8	
60	16:25	22,8	22,8	
61	17:25	22,8	22,8	
62	18:25	22,7	22,7	
63	19:25	22,8	22,6	
64	20:25	22,8	22,6	
65	22:50	23	22,6	
66	00:02	22,9	22,6	
67	02:15	22,9	22,5	
68	03:55	22,5	22,4	
69	06:05	22,4	22,3	
70	07:49	22,6	22,5	
71	08:25	22,7	22,2	
72	09:25	22,5	22,2	
73	10:25	22,6	22,2	
74	11:25	22,5	22,1	
75	12:25	22,9	22,1	

EK-3

Slip Ölçüm Düzeneği



Şekil de sunulan ölçüm düzeneğinde slip hesabı yapılırken, yüzeyde görülen ilk çatlak anında PC-4 ve PC-6' dan ölçülen değerlerin ortalaması alınarak PC-1 ve PC-2' de ölçülen değerlerin ortalamasıyla toplanır ve elde edilen değerden çeneler arası meydana gelen deplasman değeri çıkartılarak dx_1 ve dx_2 ' nin ortalaması bulunur. Bulunan bu değer ile üçgen benzerliği kullanılarak betonarme elemanın sağ tarafında meydana gelen slip (mm) hesaplanmıştır. Aynı işlem sol taraf içinde tekrarlanmış ve elde edilen slip değerlerinin ortalaması alınarak beton ile donatının temas ettiği boya bölünerek birim slip elde edilmiştir.

$$Slip (Sağ)(mm) = \left[\left(\frac{PC4 + PC6}{2} \right) + \left(\frac{PC1 + PC2}{2} \right) - \text{Çeneler arası dep. (mm)} \right] \times \frac{4}{8,5}$$

$$Slip (Sol)(mm) = \left[\left(\frac{PC3 + PC5}{2} \right) + \left(\frac{PC1 + PC2}{2} \right) - \text{Çeneler arası dep. (mm)} \right] \times \frac{4}{8,5}$$

$$\text{Birim Slip} = \frac{\left(\frac{Slip (Sağ) + Slip (Sol)}{2} \right)}{\text{Numune beton boyu (mm)}}$$

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı-Soyadı : Burak GEDİK
Uyruğu : T.C.
Doğum Tarihi ve Yeri : 12.04.1995 Erzurum
Medeni Hali : Bekar
Telefon : +90 507 062 24 18
e-mail : bgedik255@gmail.com

Eğitim

Derece	Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Erzurum Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	2020
Lisans	Erzurum Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği	2017
Lise	Mecidiye Anadolu Lisesi	2013

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Alkazan İnşaat LTD. ŞTİ , 2017-2018 (İnşaat Mühendisi)

Hakemli Dergiler (Yayın yılları dikkate alınmalıdır)

1) Sokaktan Tarama Yöntemiyle Binaların Bölgesel Deprem Risk Dağılımının Belirlenmesi: Erzurum – Yenişehir Örneği, Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi 30 (1), 219-231, 2018

Konferans Bildirileri

1) Tam metin bildiri, Savaş G. K., Gedik B., Şuşarlıoğlu F., Kara T., ve Okuyucu D. (2017). Sokaktan Tarama Yöntemiyle Bina Risk Durumu Değerlendirmesi: Erzurum – Palandöken Bölgesi Uygulaması. 2nd International Conference on Advanced Engineering Technologies, İngilizce, Mühendislik Temel Alanı->İnşaat Mühendisliği

2) Tam metin bildiri, Gedik, B., Okuyucu, D., Şahin, M., Şahin, B., ve Özdoğan, D. B. (2020). Soğuk Bölgelerde Betonarme İmalata İlişkin Bir Algı Anketi ve İmalata Yönelik Ön Çalışmalar. 4. Uluslararası GAP Matematik Mühendislik-Fen ve Sağlık Bilimleri Kongresi, Kongre Tam Metin Kitabı, (s. 60-72). Gaziantep.

3) Tam metin bildiri, Şahin, M., Okuyucu, D., Şahin, B., Gedik, B., ve Özdoğan, D. B. (2020). Sismik Yalıtımlı Bir Bina İçin Operasyonel Modal Analiz Titreşim Ölçüm Şemalarının İncelenmesi. 4.Uluslararası GAP Matematik-Mühendislik-Fen ve Sağlık Bilimleri Kongresi, Kongre Tam Metin Kitabı , (s. 73-85). Gaziantep.

Uluslararası Kongre Sunum (Sunum tarihleri dikkate alınmalıdır)

1) 2nd International Confarence on Advanced Engineering Technologies, “Sokaktan Tarama Yöntemiyle Bina Risk Durumu Değerlendirmesi: Erzurum – Palandöken Bölgesi Uygulaması.”, Bayburt, 21-23 Eylül 2017

2) 4. Uluslararası GAP Matematik-Mühendislik-Fen ve Sağlık Bilimleri Kongresi, “Sismik Yalıtımlı Bir Bina İçin Operasyonel Modal Analiz Titreşim Ölçüm Şemalarının İncelenmesi”, Gaziantep, 3-5 Nisan 2020

3) 4. Uluslararası GAP Matematik-Mühendislik-Fen ve Sağlık Bilimleri Kongresi, “Soğuk Bölgelerde Betonarme İmalata İlişkin Bir Algı Anketi ve İmalata Yönelik Ön Çalışmalar”, Gaziantep, 3-5 Nisan 2020
(Tez ile ilgili)

*Tezle ilgili varsa yayın eklenerek belirtilmelidir.

