



**T.C.**  
**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**SOĞUK ORTAMDA ÜRETİLEN BETONARME ELEMANLARIN DONATI**  
**ADERANSININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Besim Osman YALÇIN**

**MAYIS 2019**

**GÜMÜŞHANE**

**T.C.**  
**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SOĞUK ORTAMDA ÜRETİLEN BETONARME ELEMANLARIN DONATI**  
**ADERANSININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Besim Osman YALÇIN**

**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**"İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı"**

**Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 17.05.2019**

**Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 10.06.2019**

**MAYIS 2019**



## KABUL ve ONAY



Doç. Dr. Mustafa ÇULLU danışmanlığında **Besim Osman YALÇIN** tarafından hazırlanan “**SOĞUK ORTAMDA ÜRETİLEN BETONARME ELEMANLARIN DONATI ADERANSININ İNCELENMESİ**” isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.

Başkan

  
Prof. Dr. Şükrü YETGİN

Üye (Danışman) :

  
Doç. Dr. Mustafa ÇULLU

Üye

  
Dr. Öğr. Üyesi Ömer CAN

ONAY

Bu tez **03/07**/2019 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

  
Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## TEZ BEYANNAMESİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlamış olduğum "*Soğuk Ortamda Üretilen Betonarme Elemanların Donatı Aderansının İncelenmesi*" isimli tez çalışmada; bütün bilgi ve belgeleri genel akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı bütün bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak hazırlayıp sunduğumu, başka kaynaklardan yararlandığım bilgileri metin ve kaynaklarda eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksi durumda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim. 15/05/2019



Besim Osman YALÇIN

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### SOĞUK ORTAMDA ÜRETİLEN BETONARME ELEMANLARIN DONATI ADERANSININ İNCELENMESİ

Besim Osman YALÇIN

Gümüşhane Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mustafa ÇULLU

2019, 61 Sayfa

Bu çalışmanın amacı, taze halde soğuk havaya maruz betonarme elemanlarda donatı aderansını incelemektir. Donatı aderans dayanımını belirlemede Belçika mafsallı kiriş deneyi yöntemi kullanılmıştır. Çalışma kapsamında, C25/30 beton dayanım sınıfı ve S420 çelik sınıfında Ø8, Ø10 ve Ø12 donatı çaplarında aderans dayanımları belirlenmiştir. Aderans belirlemede kullanılacak donatıların aderans dayanımındaki değişimi irdelemek için iki farklı kenetlenme boyu kullanılmıştır. Kenetlenme boyları donatı çapına göre 10Ø ve 20Ø olarak hazırlanmıştır.

Belçika Mafsallı Kiriş deney düzeneği için hazırlanan kiriş örneklerde ortam şartlarının donatı aderansına etkisini belirlemek amacıyla taze haldeki kiriş örnekler Normal şartlar, 0°C, -5°C ve -10°C sıcaklıklara 2 gün boyunca maruz bırakılmıştır.

Taze halde 2 gün boyunca normal şartlara ve soğuk havaya maruz bırakılan kiriş örnekler 7. ve 28. güne kadar k r edilmiştir. K r süresi tamamlanan kiriş örnekler aderans deneyine tabi tutulmuştur.

Ayrıca kiriş örneklerin hazırlanmasında kullanılan betonun maruz kaldığı soğuk hava şartlarına bağlı olarak beton basınç dayanımındaki değişimi görmek amacıyla 15x15x15 cm ebadında hazırlanan k p örnekler üzerinde basınç dayanım deneyi gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak, normal şartlara maruz kiriş örneklerinin en büyük aderans gerilmesine sahip olduğu ve betonun taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerinin düşüşü ile aderans gerilmesinin azaldığı görülmüştür. Ayrıca beton dayanımlarının da maruz kaldığı sıcaklık değerinin düşüşü ile basınç dayanımında %30'dan fazla kayıp belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Aderans dayanımı, Donatı aderansı, Mafsallı kiriş, Soğuk hava

**ABSTRACT**

**MS THESIS**

**INVESTIGATION OF ADHERENCE OF REINFORCED CONCRETE MEMBERS  
PRODUCED IN COLD ENVIRONMENT**

Besim Osman YALÇIN

Gumushane University

The Graduate School of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa ÇULLU

2019, 61 Pages

The aim of this study is to examine the reinforcement adherence of reinforced concrete elements exposed to cold air in fresh state. The Belgian hinged beam test method was used to determine reinforcement adherence strength. Within the scope of the study, the adherence strengths were determined in C25 / 30 concrete strength grade, S420 steel grade and in Ø8, Ø10 and Ø12 reinforcement diameters, Two different clamping lengths were used to examine the change in adherence strength of the reinforcements to be used in the determination of adherence. The clamping lengths were prepared as 10Ø and 20Ø according to the reinforcement diameter.

In order to determine the effect of ambient conditions on the reinforcement adherence of beams prepared for the Belgian Hinged Beam test setup, fresh beams samples were exposed to normal conditions, and the temperatures 0°C, -5°C and -10°C for 2 days.

The beams were exposed to normal conditions and cold air for 2 days in fresh condition and cured until the 7th and 28th day. The beam samples, whose curation process was completed, were subjected to adherence test.

In addition, in order to see the change in the concrete compressive strength depending on the cold weather conditions of the concrete used in the preparation of the beam samples, compressive strength test was carried out on the cube samples prepared in the size of 15x15x15 cm.

As a result, it was seen that the beam samples exposed to normal conditions had the greatest adherence stress and the adherence stress decreased due to the decrease in the temperature value under which the concrete was exposed in its fresh state. Furthermore, with the decrease in the temperature value of the concrete strengths, more than 30% loss in compressive strength was determined.

**Keywords:** Adherence, Bond strength, Hinged beam, Cold weather



## TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın planlanmasından yazımına kadar geçen her aşamada desteğini ve yardımını esirgemeyen değerli hocam ve danışmanım Doç. Dr. Mustafa ÇULLU' ya, yol gösterici önerilerde bulunan ve bu tezin hazırlanmasında büyük emeği olan arkadaşım Öğr. Gör. Ömer Faruk ÖZTÜRK' e, tezin ana unsuru olan deney çalışmalarım için kullandığım malzemenin temini ve laboratuvar deneyleri konusunda yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım Mert GENÇ ve Mehmet Samet ÇOLAKOĞLU' na sonsuz teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, ihtiyaç duyduğum her an yanımda bulunan ailemin değerli üyeleri annem, babam ve çok değerli kardeşime ayrıca teşekkür ederim.

Bu çalışmamı; mühendislik uygulamalarında engin tecrübe sahibi olan, kendisinden çok şey öğrendiğim, hayatım boyunca kendime örnek aldığım babam Baki YALÇIN' a ithaf ediyorum.

Besim Osman YALÇIN

Gümüşhane, 2019

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET.....	IV
ABSTRACT.....	VI
TEŞEKKÜR.....	VIII
İÇİNDEKİLER .....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIV
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Çalışmanın Amacı .....	2
1.3. Aderans .....	2
1.3.1. Kenetlenme Aderansı.....	3
1.3.2. Eğilme Aderansı .....	4
1.4. Aderansın Nedenleri ve Aderans Mekanizması .....	5
1.5. Aderansı Etkileyen Faktörler .....	5
1.5.1. Aderans Dayanımı - Beton Bileşimleri Arasındaki İlişki .....	6
1.5.2. Aderans Dayanımı - Donatı Yüzeyi Arasındaki İlişki .....	7
1.5.3. Aderans Dayanımı - Donatı Yüzey Geometrisi Arasındaki İlişki .....	8
1.5.4. Aderans Dayanımı - Donatı Kesit Alanı Arasındaki İlişki .....	9
1.5.5. Aderans Dayanımı- Kenetlenme Boyu Arasındaki İlişki .....	9
1.6. Aderans Dayanımına Etki Eden Diğer Faktörler.....	10
1.6.1. Pas Payı.....	10
1.6.2. Sargı Donatısı .....	10
1.6.3. Donatıların Konumu .....	11
1.6.4. Yüksek Sıcaklık Etkisi.....	11
1.7. Donatı İle Beton Arasındaki Aderansı Belirlemek İçin Kullanılan Deneyler .....	11
1.7.1. Çekip-Çıkarma (Pull-out) Deneyi .....	12
1.7.2. Çekip Çıkarma Deneyi İle Yapılmış Bazı Çalışmalar .....	14
1.7.3. Kiriş Deneyleri.....	17
1.7.4. Bureau of Standards Deneyi .....	18

1.7.5. Teksas Çıkmalı Kiriş Deneyi.....	18
1.7.6. Belçika Mafsallı Kiriş Deneyi .....	19
1.8. Aderans Konusunda Gerçekleştirilmiş Bazı Çalışmalar .....	21
1.9. Soğuk Havada Beton Üretimi ve Uygulaması.....	23
1.9.1. Soğuk Havanın Betona Etkisi .....	24
1.9.2. Donma-Çözülmenin Betona Etkisi .....	27
1.9.3. Soğuk Havada Katkı Kullanımı.....	28
1.9.4. Soğuk Havada Üretilcek Beton İçin Öneriler .....	28
1.9.5. Şantiyede Alınacak Önlemler .....	29
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	33
2.1. Materyal .....	33
2.2. Agrega.....	33
2.2.1. Çimento.....	33
2.2.2. Donatı .....	34
2.2.3. Akışkanlaştırıcı .....	34
2.2.4. Su .....	35
2.3. Metot.....	35
2.3.1. Kirişlerin Hazırlaması.....	35
2.3.2. Basınç Dayanım Deneyi .....	39
2.3.3. Aderans Deneyi .....	39
3. BULGULAR.....	42
3.1. Basınç Dayanımı.....	42
3.2. Aderans Dayanımı .....	44
4. SONUÇLAR.....	57
5. KAYNAKLAR .....	60
ÖZGEÇMİŞ	

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Şekil 1.1. Donatının betondan sökölmeden .....	3
Şekil 1.2. Kenetlenme aderansı .....	4
Şekil 1.3. Betonda oluşan çatlaklara bir örnek .....	6
Şekil 1.4. Taşıyıcı bir eleman üzerinde korozyona uğramış donatılara bir örnek .....	7
Şekil 1.5. Yüzey geometrisi düz ve nervürlü.....	8
Şekil 1.6. Çekme kuvveti etkisinde nervürlü donatılı betonarme.....	9
Şekil 1.7. Beton kütle içerisinde çekip çıkarılmak istenen.....	10
Şekil 1.8. Merkezi çekip-çıkarma.....	12
Şekil 1.9. Geliştirilmiş bazı merkezi çekip-çıkarma deney düzenekleri .....	13
Şekil 1.10. Dışmerkez çekip-çıkarma.....	14
Şekil 1.11. Harçların çekip çıkarma deneyi kırılma yükleri.....	15
Şekil 1.12. Harçların çekip çıkarma direnci değişimi .....	16
Şekil 1.13. Harçların kür süresine bağlı çekip çıkarma direnci değişimi .....	16
Şekil 1.14. Sıcaklık değişimine bağlı çekip çıkarma direnci değişimi .....	17
Şekil 1.15. Numunelerin çekip çıkarma deneyinde kırılma şekli.....	17
Şekil 1.16. Bureau of standards deney düzeneğinin şematik gösterimi .....	18
Şekil 1.17. Texas çıkmalı kiriş deney düzeneği .....	19
Şekil 1.18. Mafsallı kiriş deney düzeneği şeması.....	20
Şekil 1.19. Çekme deneylerinde kullanılan deney .....	20
Şekil 1.20. Beton sıcaklığının dayanıma etkisi .....	25
Şekil 1.21. Betonun erken yaşta dona maruz kalması sonucu dayanım kaybı .....	25
Şekil 1.22. Telis bezi kullanımına .....	30
Şekil 1.23. Rüzgar kırıcı kullanımına bir örnek .....	30
Şekil 1.24. Hareket ettirilebilir ısıtıcı kullanımına bir.....	31
Şekil 2.1. Kireçtaşı agregası .....	33
Şekil 2.2. Mafsallı kirişlerin üretiminde kullanılan modüler.....	35
Şekil 2.3. Kesme donatı aderans çubukları.....	36
Şekil 2.4. Mafsallı kirişlerde kullanılacak olan kesme donatılarının detayı.....	37
Şekil 2.5. Dondurucu dolap içerisindeki kiriş örnekler .....	38

Şekil 2.6. Üretilen ve deneye hazır hale getirilen mafsallı .....	38
Şekil 2.7. Beton basınç dayanım cihazı .....	39
Şekil 2.8. Mafsallı kiriş deney düzeneği şeması.....	40
Şekil 2.9. Mafsallı kiriş deney düzeneği .....	41
Şekil 3.1. Beton örneklerin 7 ve 28 günlük ortalama basınç dayanımı değerleri.....	43
Şekil 3.2. Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø8 donatı çapında 10Ø aderans boyunda 7 günlük donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi .....	45
Şekil 3.3. Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø8 donatı çapında 20Ø aderans boyunda 7 günlük donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi .....	46
Şekil 3.4. Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø8 donatı çapında 10Ø aderans boyunda 28 günlük donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi .....	47
Şekil 3.5. Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø8 donatı çapında 20Ø aderans boyunda 28 günlük donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi .....	48
Şekil 3.6. Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø10 donatı çapında 10Ø aderans boyunda 7 günlük donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi .....	49
Şekil 3.7. Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø10 donatı çapında 20Ø aderans boyunda 7 günlük donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi .....	50
Şekil 3.8. Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø10 donatı çapında 10Ø aderans boyunda 28 günlük donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi .....	51
Şekil 3.9. Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø10 donatı çapında 20Ø aderans boyunda 28 günlük donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi .....	52
Şekil 3.10. Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø12 donatı çapında 10Ø aderans boyunda 7 günlük donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi .....	53
Şekil 3.11. Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø12 donatı çapında 20Ø aderans boyunda 7 günlük donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi .....	54
Şekil 3.12. Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø12 donatı çapında 10Ø aderans boyunda 28 günlük donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi .....	55
Şekil 3.13. Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø12 donatı çapında 20Ø aderans boyunda 28 günlük donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi .....	56

## TABLolar DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 1.1. En düşük, en yüksek ve ideal taze beton sıcaklıkları .....	24
Tablo 1.2. Don olayının taze betona zarar vermemesi için gerekli beton yaşı.....	26
Tablo 2.1. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri .....	34
Tablo 2.2. S420 çelik sınıfının mekanik özellikleri.....	34
Tablo 2.3. Süper akışkanlaştırıcı katkının özellikleri .....	35
Tablo 2.4. Yapılacak olan beton karışımı oranları ve miktarı .....	37
Tablo 3.1. Ortalama basınç dayanımı değerleri.....	42
Tablo 3.2. Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø8 donatı çapında 10Ø ve 20Ø .....	44
Tablo 3.3. Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø10 donatı çapında 10Ø ve 20Ø .....	48
Tablo 3.4. Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø12 donatı çapında 10Ø ve 20Ø .....	52

## SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

F	: Donatıdaki kuvvet
h	: Kiriş genişliği
l	: Kiriş boyu
P	: Pistondan gelen kuvvet
$\tau$	: Aderans gerilmesi
$\emptyset$	: Donatı çapı

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Bilindiği üzere maliyetinin düşük olması, kolay bulunabilir olması ve kolay işlenebilirlik gibi özelliklerinden dolayı beton, yapı malzemeleri arasında günümüzde en çok tercih edilenidir. Beton, su, çimento ve agreganın belirli bir oranda karıştırılması ile elde edilir.

Betonarme yapı; beton ve donatının bir arada kullanıldığı yapı türüdür. Betonarme yapıda kenetlenme boyu çok büyük önem arz etmektedir. Yapının kendisinden beklendiği gibi davranabilmesi için uygun kenetlenme boyunun kullanılması gerekmektedir. Betonarme yapının birçok temel prensibi vardır. Donatı ile etrafını saran beton arasındaki gerilme aktarımı olayı bu prensiplerden biridir. Bu aktarım; beton içerisine gömülü halde bulunan donatının kaymaya karşı gösterdiği direnç ile mümkündür. Kaymaya karşı gösterilen bu direnç, kenetlenme veya aderans olarak adlandırılmaktadır. Betonarme yapıların analizi veya tasarımı yapılırken bu kenetlenme ve aderans göz önünde bulundurulur (Dahil, 2001).

Aderans, beton ile donatı arasındaki yapışma ve sürtünme direncinden ve yüzeyi nervürlü donatı kullanılması halinde mekanik kenetlenmeden kaynaklanmaktadır (Aka vd., 1996). Betonarme Bir yapıda aderans yalnızca beton karakteristiklerinden değil aynı zamanda donatının ve yapının geometrisinden de etkilenir. Beton ve donatı arasındaki aderans birçok faktörden etkilenir. Bu faktörler; Sıcaklık etkisi, çelik çubuğun çapı, pas payı, çevresel koşullar, çelik çubuğun beton içerisindeki konumu ve yükleme cinsidir.

Betonarme yapıya en faydalı olan özelliklerinden biri de aderans olayıdır. Aderans sayesinde her iki malzemenin birbirini tamamlaması ve birlikte kullanılması mümkün olmaktadır. Beton içerisindeki çelik çubukta ortaya çıkan gerilme azalması ve çoğalması komşu beton bölgelerine gerilme geçişiyle meydana gelir. Bu olay yüzeyi düz olan çelik çubuklarda kayma gerilmelerinin doğrudan oluşmasıyla açıklanabilir. Yüzeyi nervürlü çelik çubuklarda ise geçişin nervür etrafında oluşan karmaşık bir gerilme durumunun bileşkesi olarak ortaya çıkan kayma gerilmeleri tarafından sağlandığı kabul edilebilir. Her iki durumda da ortaya çıkan kayma gerilmeleri aderans gerilmeleri olarak da isimlendirilir (Tongarlak, 2018).



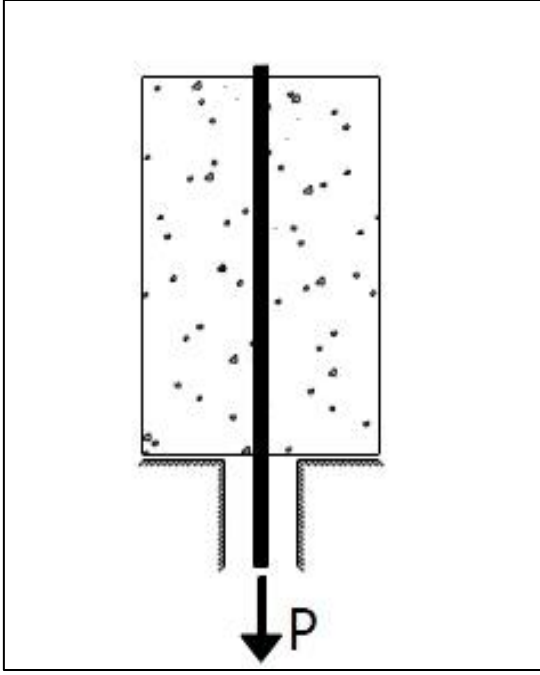
Beton ile donatı arasındaki aderans dayanımını belirlemek için birçok deney yöntemi kullanılmaktadır. Çekip çıkarma deneyi bu deneylerden birisidir. Beton içerisine gömülü halde bulunan çelik çubuğun sökülme istendiğinde sökülmeye karşı koyduğu direnç çekip çıkarma deneyi ile belirlenmektedir. Ayrıca aderansı belirlemede kullanılan birçok kiriş deneyleri bulunmaktadır. Bu deneyler; Bureau of standards deneyi, Teksas çıkmalı kiriş deneyi ve Belçika mafsallı kiriş deneyleridir.

## **1.2. Çalışmanın Amacı**

Bu çalışmanın amacı, 8, 10 ve 12 mm çaplarındaki donatılardan oluşturulmuş, kenetlenme boylarının donatı çaplarının 10 ve 20 katı olarak ele alındığı, normal şartlara, 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz bırakılmış taze betonların aderans gerilmelerindeki değişimlerinin incelenmesidir.

## **1.3. Aderans**

Beton içerisinde gömülü halde bulunan bir donatı, betondan çekerek çıkarılmak istenirse, sökülme olayı gerçekleşmeden hemen önce büyük miktarda direnç gösterir. Bu direnç Şekil 1.1’de şematize edilmiştir. Ortam sıcaklığının değişmesi halinde donatı ve beton arasındaki aderans zarar görmez. Bunun sebebi donatı ve betonun genleşme katsayılarının aynı olmasıdır (Arslan, 2007).



Şekil 1.1. Donatının betondan sökülmeden hemen önce gösterdiği direnç

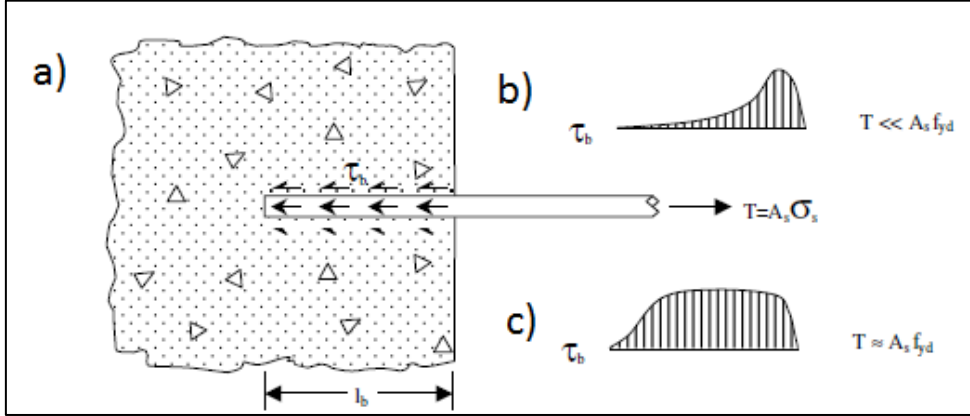
Birinci bölümde de bahsedildiği gibi; donatı ve beton arasında kenetlenme yok ise, yapının betonarme bir yapı gibi davranması beklenemez. Betonarme yapı için büyük önem arz eden ve çelik çubuk ile etrafını saran beton arasında gerçekleşen kayma gerilmeleri aderans olarak adlandırılmaktadır. Optimum seviyede bir aderans sağlayabilmek için, yeterli uzunlukta bir kenetlenme boyu sağlanmalıdır. Kenetlenme aderansı; bunu sağlayan aderanstır (Arslan, 2007).

### 1.3.1. Kenetlenme Aderansı

Beton kütle içerisine yeterli uzunlukta gömülmüş olan çelik bir çubuğu çekerek çıkarmak mümkün olmamaktadır. Kenetlenme boyunun uygun uzunlukta olmaması halinde ise iki ihtimal ile karşılaşılabilir.

Bu ihtimallerden ilki, çelik çubuğun yüzey geometrisinin durumuna göre çubuğun sıyrılıp çıkmasıdır. İkinci ihtimal ise; çelik çubuğun, etrafını saran beton kütleyi yarmasıdır. Çelik çubuğun beton içerisine gömülme boyu kenetlenme boyu olarak adlandırılırken, bu aderansa da kenetlenme aderansı adı verilmektedir. Beton ile çelik çubuğun kenetlenmesinin yeterli olduğu durumlarda, çelik çubuk akma gerilmesine

eriştiğinde veya akma gerilmesini belirli bir miktar geçtiğinde donatının sıyrılması veya betonun yarılması olaylarının gerçekleşme ihtimali minimize edilmiş olur (Duran, 2008).



Şekil 1.2. Kenetlenme aderansı

Şekil 1.2 (a)'da beton bir kütle içerisinde gömülmüş olan donatı şematize edilmiştir. Çubuğun  $\tau_b$ , olarak gösterilen kenetlenme boyunca etkiyen bağ kuvvetleri, uygulanan çekme kuvvetini dengelemek durumundadır. Donatıdaki çekme kuvveti de,  $T = A_s \sigma_s$  olarak gösterilmiştir. Yeterli kenetlenmenin sağlanabilmesi için,  $\sigma_s = f_{yd}$  olduğunda, çubuk çevresinde oluşan bağ kuvvetlerinin toplamının  $S\tau_b = A_s f_{yd}$  çekme kuvvetine eşit olması gerekir,  $S\tau_b = A_s f_{yd}$ . Eğer  $\tau_b$  olarak gösterilen aderans gerilmeleri kenetlenme boyunca düzgün yayılı olsaydı veya bu gerilmelerin dağılımı kesin olarak bilinseydi, gerekli kenetlenme boyunun hesabı oldukça kolay olurdu. Yapılan deneyler, aderans gerilmelerinin kenetlenme boyunca düzgün yayılmadığını ve gerçek dağılımın birçok değişkene bağlı olduğunu göstermiştir. Şekil 1.2 b ve c'de gösterildiği gibi, aderans gerilmelerinin dağılımı düzgün değildir ve bu dağılım, diğer değişkenlerin yanı sıra, çubuktaki gerilme düzeyine göre değişmektedir. Aderans gerilmeleri ile kenetlenme boyu arasındaki ilişkiyi yaklaşık olarak saptayabilmek için, aderans gerilmelerinin kenetlenme boyunca değişmediği varsayılabilir. Gerçek dağılım varsayılandan çok değişik olduğundan, elde edilecek bağıntının gerçeğe tam uymadığı unutulmamalıdır (Duran, 2008).

### 1.3.2. Eğilme Aderansı

Betonarme bir yapıda, çelik çubuk ile beton arasında kesit kuvvetlerinin geçişi söz konusudur. Bu geçiş aderans sayesinde meydana gelmektedir. Çelik çubuğun birim uzama

kapasitesi, betonun birim uzama kapasitesinden nispeten daha fazladır. Bu yüzden donatıdaki birim uzama giderek arttığında betonda çatlama meydana gelmektedir. Eğilme aderansı, betonarme elemanların eğilme altındaki çatlama durumlarında büyük önem arz etmektedir (Arda, 1968).

#### **1.4. Aderansın Nedenleri ve Aderans Mekanizması**

Bölüm 2’ de bahsi geçen ve literatürde yer almış hâlihazırdaki çalışmalar değerlendirmeye alındığında; çelik çubuk ile etrafını saran beton arasında olan ve aderans olarak isimlendirilen mekanizmanın çok karmaşık bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca aderans kuvvetlerinin belirlenmesi için birçok farklı deney çalışması yapılmış ancak bu çalışmaların hiçbirisinde aderans davranışı tam olarak ortaya çıkarılamamıştır (Bingöl ve Gül, 2009).

Yine literatürde var olan ve Bölüm 2’ de verilen çalışmaların bazılarında beton ile donatı arasında var olan bu bağın aşağıdaki sebeplerden dolayı meydana geldiği ifade edilmiştir. Bu sebepler;

- Beton ile donatı arasında yapışma olayının gerçekleşmesini sağlayan kapiler ve molekül yapılarından kaynaklanan bağ kuvvetleri: Çok düşük değerlere sahip olan bu yapışma, beton ile donatıda çok küçük birim uzama meydana geldiğinde ve çok küçük zorlamalar gerçekleştiği anda kopar. Birçok araştırmacı tarafından, ihmal edilmesi gerektiği ifade edilen bu bağ oldukça az bir etkiye sahiptir (Duran, 2008).
- Donatı çevresinde betonun makaslama ve basınç dayanımlarını da olaya dahil eden nervürlerden meydana gelen mekanik dış kuvvetler: Donatı yüzeyinin düz veya nervürlü olmasının doğrudan etkili olduğu bu sebep, aderansı büyük ölçüde artırır. Öyle ki; aderansın doğrudan donatı yüzeyi ile alakalı olduğu düşünüldüğünde, donatı yüzeyinin nervürlü olmasının, düz olmasına nispeten daha faydalı olduğu ifade edilmektedir (Duran, 2008).

#### **1.5. Aderansı Etkileyen Faktörler**

Deneyisel çalışmalar göstermektedir ki, aderans gerilmesi birçok parametreye bağlıdır. Bu parametrelerden bazıları şunlardır; donatı yüzeyinin düz veya nervürlü olması, beton içerisine katılan katkıları, beton ve donatı arasındaki kenetlenme boyu, beton

örtüsünün kalınlığı ve donatı çapıdır. Ayrıca beton yapımında kullanılan agreganın cinsi de aderans gerilmesini doğrudan etkilemektedir (Ersoy ve Özcebe, 2001).

### 1.5.1. Aderans Dayanımı - Beton Bileşimleri Arasındaki İlişki

Betonarme yapıda meydana gelen çekme ve basınç gerilmeleri aderans dayanımını doğrudan etkilemektedir. Öyle ki; donatı yüzeyinin nervürlü bir yapıya sahip olduğu betonarme yapıda, aderans gerilmesi, düz yüzeyli donatıya göre oldukça fazladır. Yüzeyi nervürlü olan donatının, yüzey geometrisinden kaynaklanan eğik kuvvetlerin düşey bileşeni betonarme yapıda iç çatlaklara sebebiyet vermektedir. Bir diğer deyişle; donatı yüzeyinin nervürlü olmasından dolayı beton yüzeyinde çekme gerilmeleri meydana gelmektedir ve bu gerilmeler, betonun çekme mukavemetinin az olması sebebiyle çatlaklara sebebiyet vermektedir (Arslan, 2017). Bu çatlaklara örnek bir görüntü Şekil 1.3’ de verilmiştir.



Şekil 1.3. Betonda oluşan çatlaklara bir örnek

Beton üretim aşamasında kullanılan agreganın, aderansı doğrudan etkilediği birçok deneysel çalışma sonucunda ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda beton içerisindeki agrega çapı azaldıkça aderansta doğrudan azalmaktadır. Beton bileşimine katılan çimento miktarı ile kum miktarı da arttıkça aderans dayanımı düşmektedir. Kullanılan çimentonun türü, donatı ile betonun birbirine yapışmasını etkilediği için aderansı da doğrudan etkilemektedir. Beton dayanımını artıran bir diğer etken su/çimento oranıdır. Su/çimento oranı

değiştirilerek elde edilen yüksek dayanımlı betondaki aderans, düşük dayanımlı betondaki aderansa kıyasla daha fazladır. Bilindiği üzere betonun kalıba sağlıklı yerleştirilmemesi durumunda beton içerisinde boşluklar meydana gelmektedir. Bu boşluktan özellikle donatı etrafında oluşması durumunda aderans doğrudan azalmaktadır (Arda, 1968).

Bu çalışma kapsamında taze betonun farklı sıcaklıklara maruz bırakılarak aderans değişimi incelenmiş ve sıcaklık değişimiyle birlikte aderans gerilmesinin doğrudan değiştiği gözlemlenmiştir.

### **1.5.2. Aderans Dayanımı - Donatı Yüzeyi Arasındaki İlişki**

Bilindiği üzere beton içerisindeki donatı, gerekli önlemler alınmadığında belirli bir zaman sonra korozyona uğrayabilmektedir. Özellikle korozyonun ileri safhalarında donatı yüzeyi deformasyona uğrayıp, aderansı azaltmaktadır. Ancak donatı yüzeyinin kırmızı ile turuncu arasında bir renge sahip olması aderansa olumlu katkı sağlamaktadır (Aka vd., 1996). Korozyona uğramış bir betonarme yapının görüntüsü Şekil 1.4'te verilmiştir.

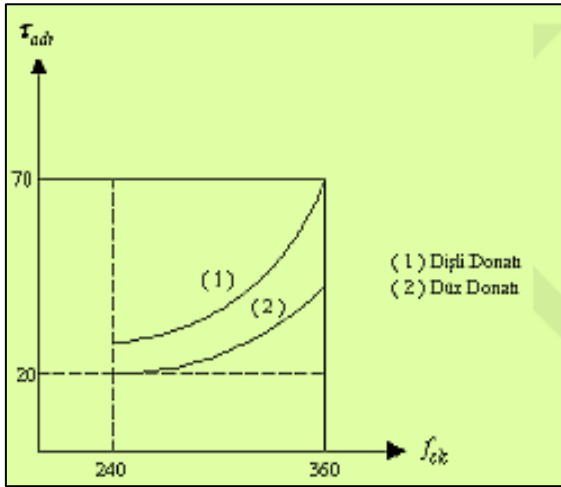
Ayrıca, betonarme yapıda kullanılan donatıların, kullanılmadan önce yüzeylerinin çamur ve topraklı olması, donatı ile beton arasındaki yapışmayı doğrudan etkilemektedir. Bu bağlamda, yapışmayı engelleyecek bu tip yüzey kalıntılarının, donatı kullanılmadan önce temizlenmesi, aderansı artırıcı yönde katkı sağlayacaktır (Aka vd., 1996).



Şekil 1.4. Taşıyıcı bir eleman üzerinde korozyona uğramış donatılara bir örnek

### 1.5.3. Aderans Dayanımı - Donatı Yüzey Geometrisi Arasındaki İlişki

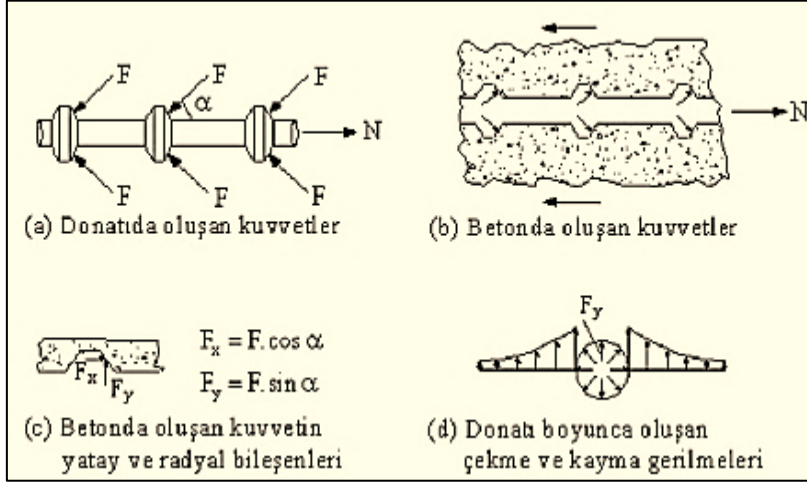
Donatının yüzey geometrisi donatı ile onu saran beton arasındaki aderans ile doğrudan ilişkilidir. Bu bağlamda donatının yüzey geometrisi aderans dayanımı açısından oldukça önemli bir konudur. Günümüzde betonarme yapılarda kullanımı yasak olan düz yüzeyli donatılarda aderans, donatı yüzeyine sürülen kimyasallar vasıtası ile sağlanmaktaydı. Bu kimyasalların haricinde, sürtünme kuvveti, sıyrılmanın başladığı andan itibaren aderans dayanımına katkı sağlamaktadır. Fakat düz yüzeyli çelik çubuk ile beton arasında mekanik bir etkileşim olmadığı için, aderans dayanımları oldukça düşüktür. Tüm bu sebeplerden dolayı betonarme yapıların neredeyse tümünde yüzeyi düz olan çelik çubukların kullanımına izin verilmemektedir (Arda, 1968). Çelik çubuğun yüzey geometrisine göre aderans dayanımının değişimi grafiksel olarak Şekil 1.5’ te gösterilmiştir.



Şekil 1.5. Yüzey geometrisi düz ve nervürlü olan donatılar ile beton arasındaki aderans

Yüzey geometrisi nervürlü olan çelik çubuklarda ise kimyasal yapışma ve sürtünmenin katkısı oldukça azdır. Kenetlenme, bu tip çelik çubuklarda dişlerin eğimli kısımlarının betonla buluştuğu bölgelerde oluşan eğik kuvvetlerle sağlanmaktadır. Çekme etkisi ile donatıda oluşan kuvvetler Şekil 1.6 a'da, betona etkiyen donatıdakine eşdeğer

kuvvetler Şekil 1.6.b' de gösterilmiştir. Bu kuvvetlerin yatay ve düşey olmak üzere iki bileşeni bulunmaktadır (Park ve Paulay, 1975).



Şekil 1.6. Çekme kuvveti etkisinde nervürlü donatılı betonarme elemanda donatı ve betonda oluşan iç kuvvetler

#### 1.5.4. Aderans Dayanımı - Donatı Kesit Alanı Arasındaki İlişki

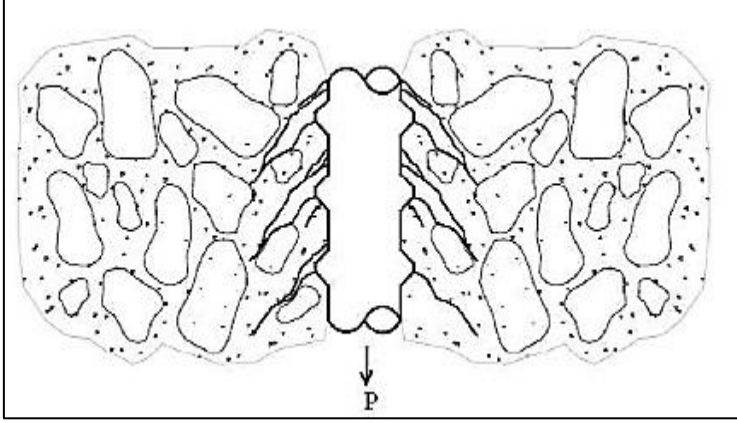
Donatının çapı, aderans dayanımına etki eden en önemli sebeplerden biridir (Ichinose vd., 2004). Donatı çapının değişmesi halinde, kenetlenme boyunca yüzey alanı değişeceğinden, aderans dayanımı da doğrudan değişmektedir. Bu sebeple donatı çapının küçük olduğu durumlarda aderans dayanımı daha yüksektir. Bu yüzden, donatı çapı arttıkça kenetlenme boyunun da arttırılması gerekmektedir (Aka vd., 1996).

#### 1.5.5. Aderans Dayanımı- Kenetlenme Boyu Arasındaki İlişki

Bölüm 2' de bahsedildiği gibi donatı ile beton arasındaki aderans, kenetlenme boyu ile doğrudan ilişkilidir. Yeterli kenetlenme boyu sağlandığında donatıyı beton kütle içerisinden çekip çıkarmak oldukça zordur. Optimum seviyeden kenetlenme boyu sağlandığında hem donatı beton içerisinden sökülemede hem de donatı akma seviyesine geldiğinde sıyrılmamaktadır (Ersoy ve Özcebe, 2001). Kenetlenme boyu, donatıdaki gerilmenin sıfır değerinden başlayan akma dayanımı kadar ulaşabileceği en küçük boy olarak tanımlanmaktadır. Aderans olayı farklı yükleme durumuna göre



betonarme elemanların dayanımlarını etkilemektedir. Şekil 1.7’ de betona gömülü donatı çubuğun çekilmesiyle betonda oluşan çatlaklar görülmektedir (Arel, 2012).



Şekil 1.7. Beton kütle içerisinde çekilip çıkarılmak istenen donatının meydana getirdiği çatlaklar

## **1.6. Aderans Dayanımına Etki Eden Diğer Faktörler**

### **1.6.1. Pas Payı**

Beton örtüsü, yani pas payı, donatıyı dış ortam şartlarından korumada büyük önem arz etmektedir. Beton kütle içerisinde sıyrılmak isteyen donatının etrafındaki betonda yarıklar meydana getirdiğinden daha önce bahsedilmişti. Bu bağlamda pas payının artması ile betonun yarılması olayı zorlaşmaktadır (Arslan, 2007).

### **1.6.2. Sargı Donatısı**

Fret ya da kapalı etriye gibi sargı donatılarının yerel basınç oluşturarak aderans dayanımına katkıda bulunduğu deneysel çalışmalarla kanıtlanmıştır. Özellikle nervürlü donatı kullanılması durumunda, meydana gelebilecek yarılmalar sargı donatısı kullanılarak engellenebilmektedir. Bindirmeli eklerin bindirme boyunca kapalı etriyelerle sarılması, kesitin yarılmaya karşı dayanımını artırdığı gibi çapı büyük olan donatıların rijit dönme sonucu betonun yırtılmasını da önlenmektedir (Arslan, 2007).

### **1.6.3. Donatıların Konumu**

Donatıların, betonun kalıba yerleştirilmesi sırasındaki konumu, yatay, düşey ya da kesitle yaptığı acı, kalıbın alt ya da üst yüzüne olan mesafesi, betonla donatı arasındaki aderansı önemli ölçüde etkilemektedir. Betonlama sırasında üst yüze yakın donatıların altında biriken hava kabarcıkları bu donatıların aderansını zayıflatmaktadır. Kalıbın alt kısmında ise beton daha iyi sıkıştığı için aderans daha yüksek değerler almaktadır (Arslan, 2007).

### **1.6.4. Yüksek Sıcaklık Etkisi**

Yüksek sıcaklığın incelenen mekanik özelliklere olan olumsuz etkileri, görüntü inceleme çalışmalarından elde edilen çatlak özelliklerine de yansımış durumdadır. Yani betonların maruz kaldığı yüksek sıcaklık seviyesi arttıkça, donatı çevresinde oluşan yüzeysel çatlakların büyüdüğü, sayılarının, uzunluk ve genişliklerinin arttığı görülmektedir (Arslan, 2007).

### **1.7. Donatı İle Beton Arasındaki Aderansı Belirlemek İçin Kullanılan Deneyler**

Daha önce de belirtildiği gibi betonarmenin varlığı bile betonla donatı arasında mevcut, önemi ilk araştırmacıların gözünden bile kaçmamış olan, aderans olayına bağlıdır. 20. Yüzyılın başından bugüne kadar, aderans dağılımını, kenetlenme boyunu ve bunları etkileyen parametreleri belirlemek amacıyla çok sayıda deneysel çalışma yapılmıştır (Arslan, 2007).

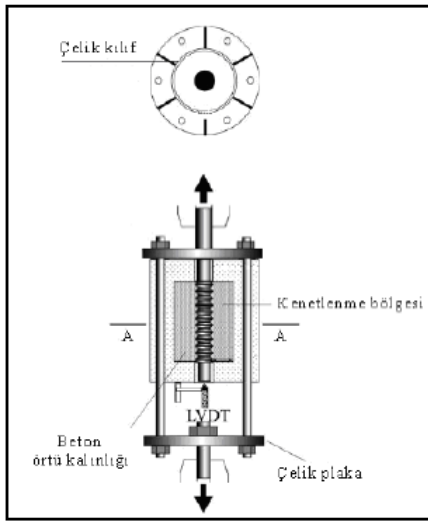
Ancak bu deney türlerinin hemen hiçbiri donatı-beton aderansını tam anlamıyla yansıtmamaktadır. Bunun başlıca nedenlerinden bazıları aşağıda verilmektedir.

- Aderans-kesme kuvveti ilişkisinin tam olarak aydınlatılamamış olması,
- Deney numunelerinin boyutlarının, ekonomik ve pratik nedenlerle gerçeği tam yansıtmaması,
- Bazı deney türlerinde uygulamadakinden farklı olarak ihmal edilemeyecek büyüklükte yerel gerilmelerin meydana gelmesi,
- Donatı çubukları arasındaki uzaklık ve beton örtü kalınlığının uygulamadakinden çok farklı oluşu.

Donatı-beton aderansının ve kenetlenme boyunun belirlenmesinde, en basiti olduğundan, merkezi çekip çıkarma (pull-out test) deneyi en yaygın olarak kullanılmaktadır. Elemanların eğilmede donatı-beton aderansını ölçmek için de giriş deneyleri geliştirilmiştir. Aşağıdaki başlıklarda bazı deney türleri üzerinde durulmaktadır (Arslan, 2007).

### 1.7.1. Çekip-Çıkarma (Pull-out) Deneyi

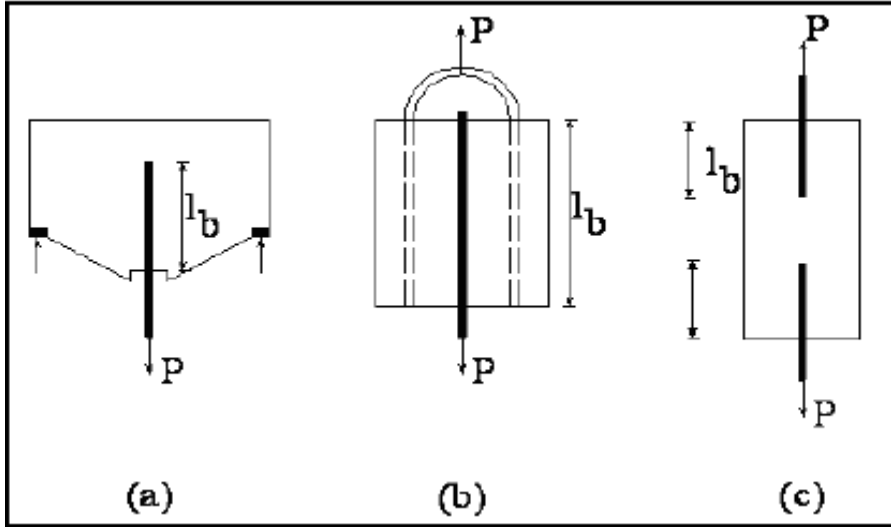
Çekip çıkarma deneyi, aderans deneyleri arasında en basiti dolayısıyla da en yaygın olarak kullanılanıdır. Bu deneyde, silindir ya da prizmatik beton numuneler içerisine yerleştirilen donatıya merkezi yük uygulanarak betona göre sıyrılması ölçülmektedir (Şekil 1.8). Sıyrılmanın 0,25 mm olduğu yüke karşılık gelen aderans gerilmesi, emniyetli aderans gerilmesi olarak adlandırılmaktadır (Beycioğlu, 2013).



Şekil 1.8. Merkezi çekip-çıkarma deneyi şeması

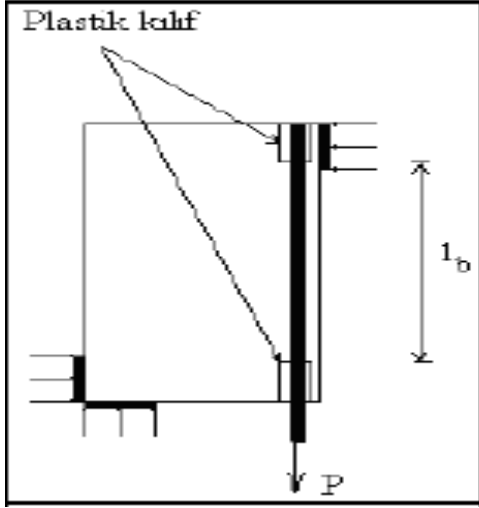
Merkezi çekip-çıkarma deneyi basit bir deney olmasına rağmen, deney elemanında donatıya dik kesme kuvvetlerinin bulunmayışı, mesnedin betona uyguladığı yerel basınç gerilmelerinin fazla olması, beton örtü kalınlığının çok büyük oluşu ve betonda çekme çatlaklarının oluşmaması gerçek davranışı tam olarak yansıtmamaktadır. Bu nedenle merkezi çekip-çıkarma deneyi kenetlenme boyunun belirlenmesi amacına yönelik çalışmalar için çok uygun olmamaktadır (Beycioğlu, 2013).

Ancak bu deney farklı sınıf donatıların betonla aderanslarının kolayca karşılaştırılması için uygun olmaktadır. Merkezi çekip-çıkarma deneyinin yukarıda belirtilen sakıncalarını ortadan kaldırmak amacıyla daha farklı birçok deney düzeneği geliştirilmiştir (Şekil 1.9. a, b ve c). Bu düzeneklerde, mesnette oluşturan aşırı yerel basınç gerilmeleri giderilmiş ancak diğer sakıncalar maalesef ortadan kaldırılamamıştır.



Şekil 1.9. Geliştirilmiş bazı merkezi çekip-çıkarma deney düzenekleri

Geliştirilen diğer bir çekip-çıkarma deneyi de dışmerkez çekip-çıkarma deneyidir (Şekil 1.10). Bu düzenek, düşey konumda olması nedeniyle, kirişlerdeki sehimleri temsil etmemesi dışında, donatıya dik kesme kuvvetlerinin bulunması, eğilmeden dolayı çatlama meydana gelmesi, donatı civarında yerel basınç gerilmelerinin oluşmaması ve pas payının daha gerçekçi olması nedeniyle, diğerler çekip-çıkarma deneylerine göre daha gerçekçi olduğu açıktır (Beycioğlu, 2013).

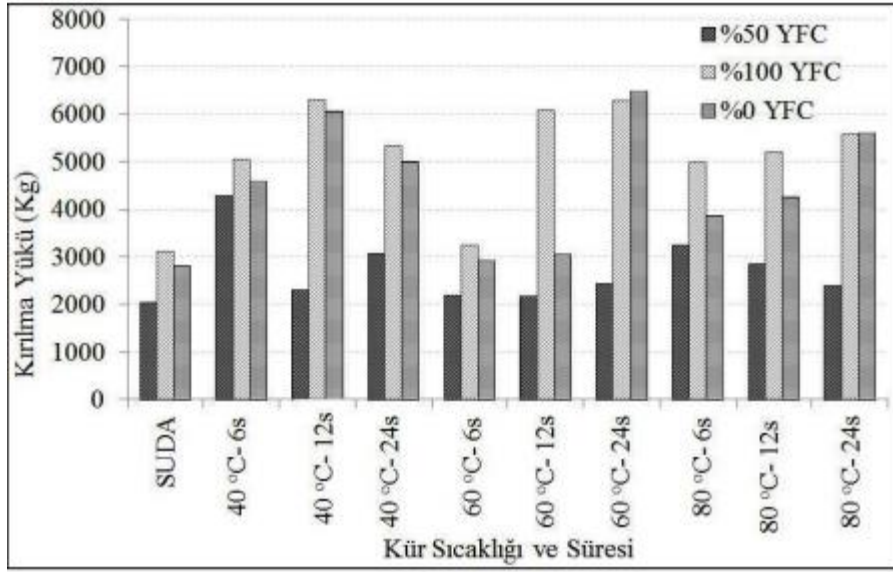


Şekil 1.10. Dışmerkez çekip-çıkarma deney düzeneği

### 1.7.2. Çekip Çıkarma Deneyi İle Yapılmış Bazı Çalışmalar

Balçıkanlı, Özbay, Türker, 2015 yılında yaptıkları çalışmada; farklı oranlarda Yüksek Fırın Cürufunun (YFC) alkalilerle aktive edilmesiyle üretilen çimentosuz harçların basınç ve eğilme dayanımları, aşınma ve çekip çıkarma dayanımlarını araştırmışlardır. Betona gömülü demir çubukların aderans dayanımını tahmin etmek için ise bu deney yapmışlardır.

Deney düzeneğinde, pompa, hidrolik sistem, yük hücresi, donatıyı sıkıca kavrayacak çeneler ve uygulanan yükü kayıt edebilmek için bilgisayar programı kullanılmıştır. Ø100/200 mm ebatlarındaki silindir numunelerin orta ekseninde yerleştirilmiş, donatı çevresindeki beton örtü kalınlığı aynı ve kenetlenme boyu tüm numunelerde 200 mm olan Ø14 donatılar, Şekil 3d'deki deney düzeneği kullanılarak çekip çıkarılmıştır. Donatı harçtan ayrılırken donatıların harçtan ayrılma noktalarındaki yük değerleri grafik olarak Şekil 1.11'de verilmiştir (Balçıkanlı vd., 2015).

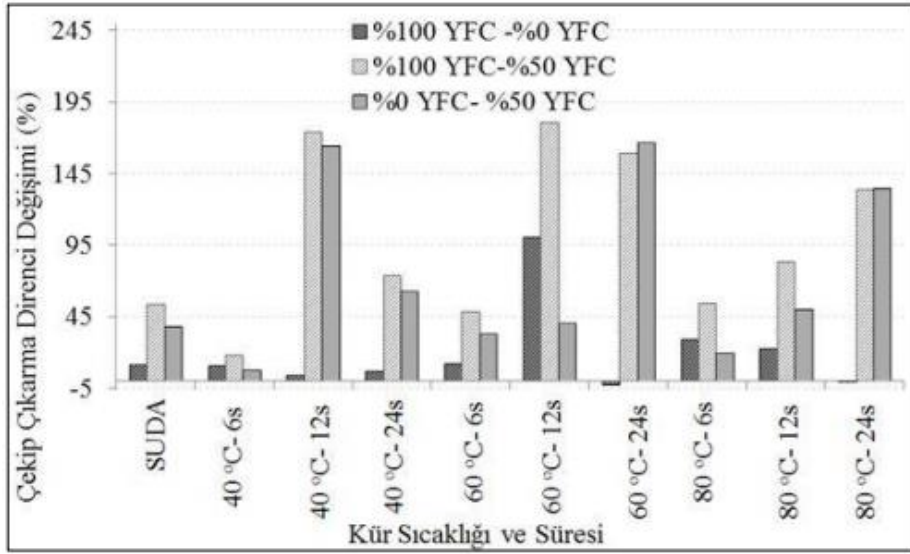


Şekil 1.11. Harçların çekip çıkarma deneyi kırılma yükleri

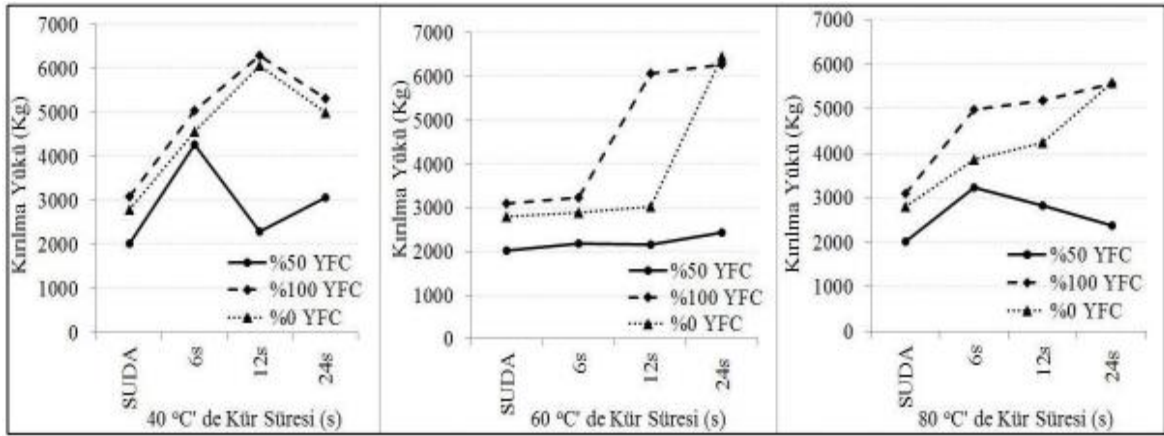
Donatıların harç içerisinden çıkarılırken göstermiş oldukları zorlanmaya karşılık gelen yük miktarına göre çekip çıkarma dirençleri belirlenmiştir. Çekip çıkarma direncinin basınç dayanımıyla doğru orantılı olduğu, %100 YFC aktivasyonu yapılan harçların aderans özelliklerinin çimentolu harçlara göre daha iyi olduğu görülmüştür. Aderans dayanımı ile ilgili optimum değerlerin tamamen çimentolu ve tamamen YFC'li deney grupları için aynı olduğu belirlenmiştir. % 100 ve % 0 alkali aktivasyonu yapılan harç numuneleri için 40°C-12 saat ve 60°C-24 saat kür şartları için en yüksek çekip çıkarma direncinin olduğu, %50 oranında YFC' nin aktive edildiği harç numunelerinin ise diğer özelliklerde olduğu gibi en zayıf durumda kaldığı belirlenmiştir (Balçıkanlı vd., 2015).

Farklı oranlardaki alkali aktivasyonu ve çimentolu kontrol numunelerinin birbirleri ile olan ilişkisi Şekil 1.12'de verilmiştir. % 100 oranında YFC' nin alkalilerle aktive edilmesiyle elde edilen harçların çekip çıkarma direncinin çimentolu harçlarla neredeyse aynı olduğu ancak 60°C-12 saat sıcaklık kürüyle % 100 oranında alkali aktivasyon yapılmış harçların çekip çıkarma dirençleri için ideal kür şartı olduğu belirlenmiştir (Balçıkanlı vd., 2015).

Literatürdeki mevcut çalışmalar değerlendirildiğinde aderans kuvvetlerinin beton ve donatı özelliklerine bağlı olarak değiştiği ifade edilmiştir. Betonun basınç mukavemetinin artmasının aderans kuvvetlerinde de artışa sebep olduğu belirtilmektedir. Çekip çıkarma direncinin kür şartlarına ve zamana bağlı olarak değişimi Şekil 1.13'te gösterilmiştir.

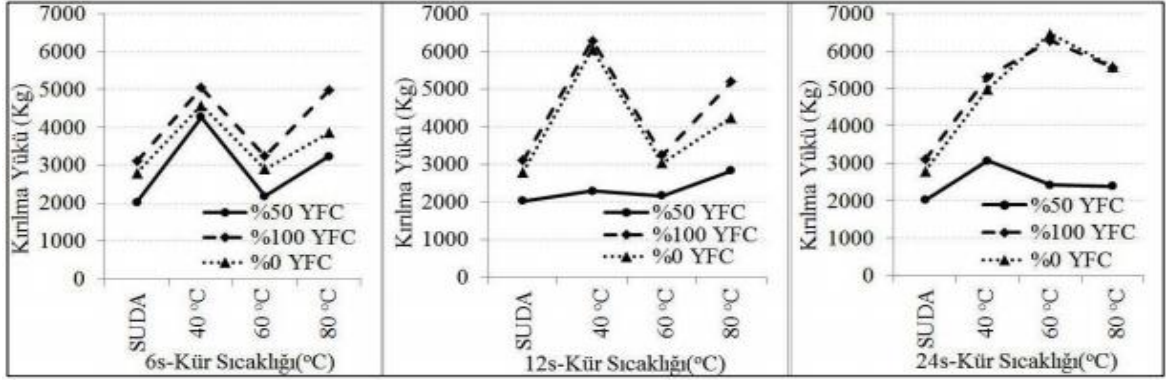


Şekil 1.12. Harçların çekip çıkarma direnci değişimi



Şekil 1.13. Harçların kür süresine bağlı çekip çıkarma direnci değişimi

Kırılma şekillerinin harç içeriğiyle ve kür şartlarıyla ilgili olduğu anlaşılmaktadır. % 100 YFC ve % 0 YFC ile üretilen harçların kırılma şekilleri genellikle 120° açı yapacak şekilde üç parçaya bölünerek oluşmuştur. % 50 YFC ile üretilen harçların kırılmaları genellikle iki parçaya bölünerek meydana gelmiştir (Balçıkanlı vd., 2015).



Şekil 1.14. Sıcaklık değişimine bağlı çekip çıkarma direnci değişimi



Şekil 1.15. Numunelerin çekip çıkarma deneyinde kırılma şekli

Balçıkanlı, Özbay, Türker, yaptıkları çalışmanın sonucunda AAE YFC'lu harçların basınç dayanımıyla doğru orantılı olarak çekip çıkarma dirençlerinin de arttığı belirtilmiştir. Çekip çıkarma direncinin basınç dayanımıyla doğru orantılı olduğu ve numune gruplarının kendi içinde sıcaklık derecesi arttıkça dirençlerinin genellikle azaldığı görülmüştür. En yüksek çekip çıkarma direnci 40°C'de 12 saat kür ortamında bırakılan numunelerde görülmüştür. Özellikle % 100 YFC aktivasyonu yapılan harç numunelerinde sabit sıcaklıkta zamana bağlı olarak aderansın arttığı ancak 40°C'de uzun süre kür uygulandığında kontrol numuneleriyle aynı davranışı göstererek azaldığı belirlenmiştir (Balçıkanlı vd., 2015).

### 1.7.3. Kiriş Deneyleri

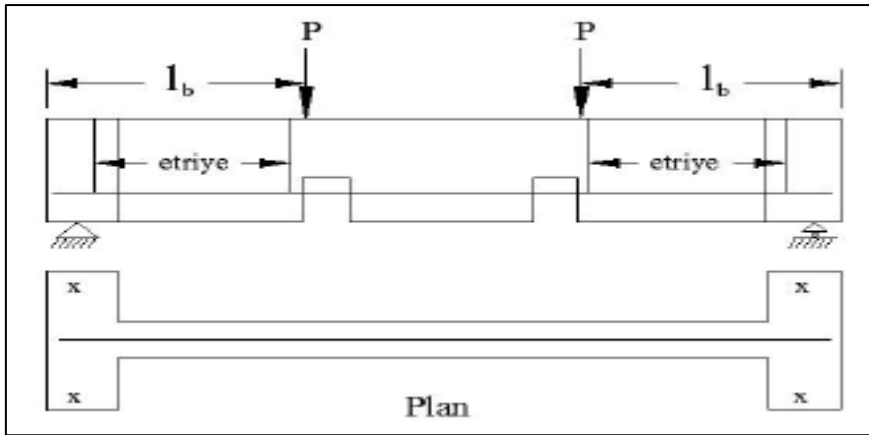
Çekip-çıkarma deneylerinin eğilmeye çalışan bir elemandaki gerçek durumu yansıtamamasından dolayı kiriş deneyleri geliştirilmiştir. Özellikle eğilmede çekme



çatlaklarının aderans davranışını etkilediği kabul edildiğinden beri, çekip-çıkarma deneyleri, kiriş testlerinden daha az güvenilir olarak dikkate alınmıştır. Kiriş deneylerinden en yaygın olarak kullanılanları, Bureau of standards deneyi, Texas deneyi, Standart Belçika Mafsallı kiriş deneyi ve büyük boyutlu betonarme kirişler üzerinde yapılan kiriş çatlama deneyidir (Beycioğlu, 2013).

#### 1.7.4. Bureau of Standards Deneyi

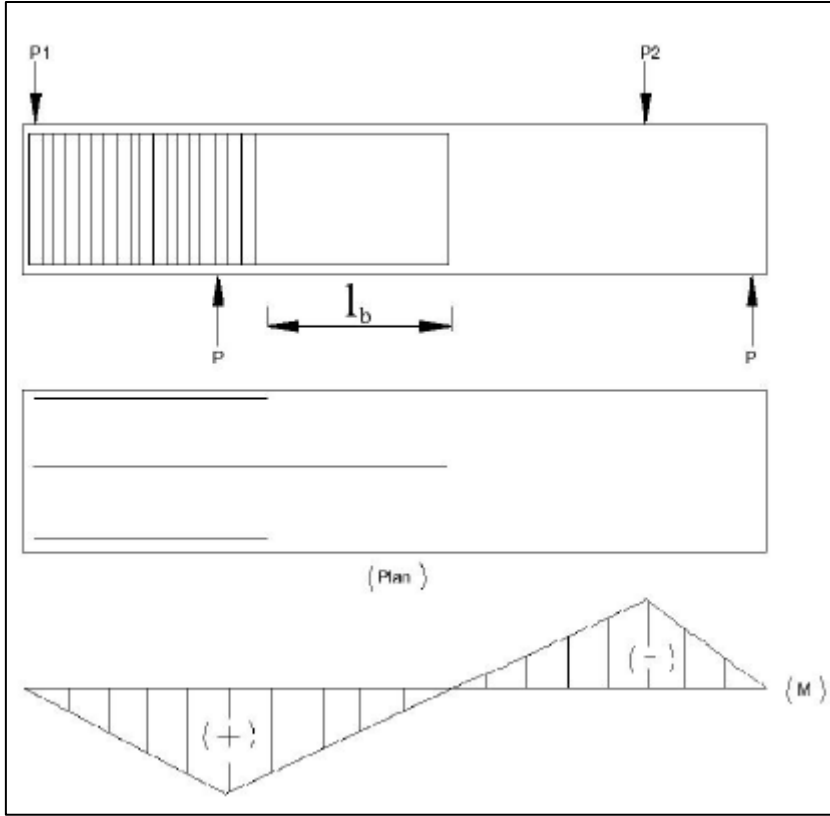
Kenetlenme boyunun saptanmasında daha gerçekçi şartları sağlayan bir deney türüdür. Şekil 1.16'de gösterilen Bureau of standards deney elemanında kesme kırılmasını önlemek için aşırı etriye kullanmak gerekmektedir. Bu durum ise aderansı büyük ölçüde etkilemektedir. Dolayısıyla, gerçeğe daha yakın sonuçlar elde etmek açısından önemli bir sakınca doğmaktadır (Beycioğlu, 2013).



Şekil 1.16. Bureau of standards deney düzeneğinin şematik gösterimi

#### 1.7.5. Teksas Çıkmalı Kiriş Deneyi

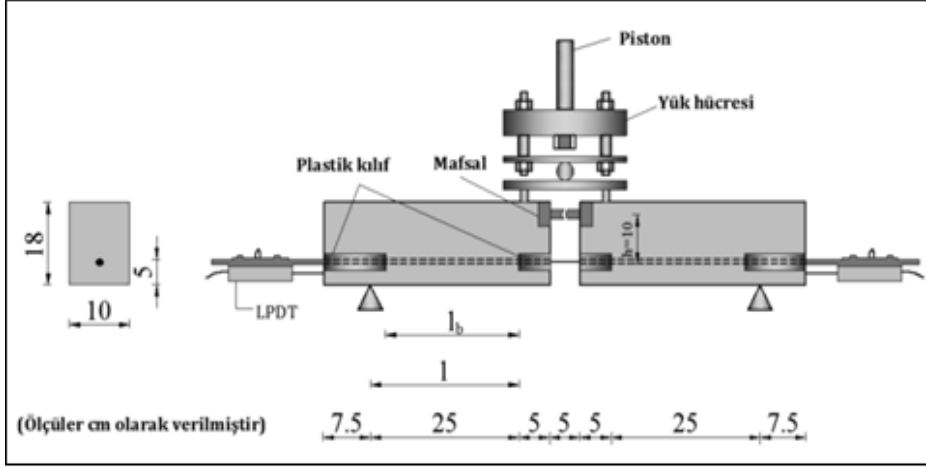
Bureau of Standards deneyine benzer şekilde kenetlenme boyunun incelendiği bu deneyin sakıncası, donatının gerçekten bağdaşmayacak genişlikte bir beton kütleyle gömülmüş olmasıdır (Şekil 1.17). Bu kiriş tipinde de başlıca önemli olan, donatıyı örten betonu sınırlayabilecek olan mesneden uyguladığı yerel basınç gerilmelerinin önlenmesidir. Böylece yarılmaya geçmesinin önlenmesi ortadan kaldırılmaktadır.



Şekil 1.17. Texas çıkmalı kiriş deney düzeneği

#### 1.7.6. Belçika Mafsallı Kiriş Deneyi

Mafsallı kiriş deneyi BS 4449:2005+A2:2009 standardında tanımlanmış olup donatı aderansının eğilme numuneleri aracılığıyla belirlenmesine yönelik bir yaklaşımdır. Deneyde, yük hücresi ile düşey yönde uygulanan yük bilgisayara aktarılmakta ve bu yük aracılığıyla izostatik basit kiriş için denge denklemleri kullanılarak mafsal noktasında moment sıfır prensibiyle donatıdaki F hesaplanmaktadır. Deney, Şekil 1.18’ de şematize edilmiştir.



Şekil 1.18. Mafsallı kiriş deney düzeneği şeması (Beycioğlu, 2013)

Deneyde; Çelik mafsallı orta noktasında moment sıfır olduğundan;

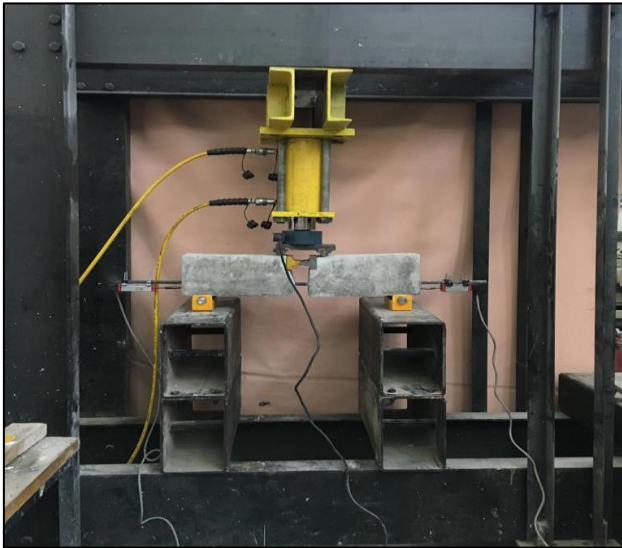
$$\frac{P.l}{2} = F.h \quad (2.1)$$

eşitliği yazılır. Üretilen kirişlerde  $l=25$  cm. ve  $h=10$  cm. olduğundan;

$$F=1.25 \times P \quad (2.2)$$

eşitliği kullanılarak donatıdaki  $F$  kuvveti pistondan gelen  $P$  kuvveti yardımıyla dolaylı olarak elde edilmiş olur.

Donatıdaki  $F$  kuvvetleri bulunduğundan sonra bu  $F$  kuvvetlerine karşılık gelen sıyrılma değerleri ise kirişin her iki ucuna bağlanan Potansiyometrik Cetveller yardımıyla bilgisayara aktarılmaktadır.



Şekil 1.19. Çekme deneylerinde kullanılan deney düzeneği

### 1.8. Aderans Konusunda Gerçekleştirilmiş Bazı Çalışmalar

Aderans hakkında 1899 yılından itibaren, yani ilk betonarme yönetmeliğinin yayınlandığı 1904 senesinden önce, Considere tarafından birden fazla deney yapılmıştır.(Considere, 1899). Devamında Abrams 1913 senesinde sistemli araştırmaların başlangıcını ortaya çıkaran araştırma bulgularını yayınlamıştır (Abrams, 1913).

Günümüze kadar aderans araştırmacılar arasında merak uyandırmış ve aderans hakkında çalışma yapılmıştır. Çalışmaların en etkili olanlarından Fransa'da Bichara (Bichara, 1951), Almanya'da Emperger (Emperger, 1935) ve Rusya'da Murase' den (Murasev, 1950) bahsedilebilmektedir.

Aderans hakkında 1957 yılında Stocholm' da gerçekleştirilen “On Bond and Crack 46 Formation in Reinforced Concrete” konulu Rilem Sempozyumuna dair bildirilerde o zamana kadar konuyla alakalı bilgiler toparlanmıştır(Rilem, 1957). Etkinliğini günümüzde de kaybetmemiş bu konuya dair son dönemlerde de birden fazla deneysel ve teorik araştırma yapılmıştır. Alt tarafta bunların bir kaçına değinilmektedir;

Haddad ve Shannis, yapmış oldukları çalışmada, yangınlar sebebiyle ortaya çıkan yüksek sıcaklığın, yapısında puzolan malzemesi bulunan dayanımı yüksek betonların aderansa olan etkisini belirlemeye çalışmışlardır. Yaptıkları bu çalışmada, aderans dayanımlarını belirlemek amacıyla pull-out deneyi kullanmış ve hazırlanan numuneler yüksek sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Yapılan deneyde şu sonuca varılmıştır; yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerde aderans dayanımı azalmıştır. Öyle ki sıcaklık 600 derece civarında iken aderans dayanımındaki azalma %25 civarlarında, sıcaklık değeri 800 derece civarlarında ise aderans dayanımındaki azalma %75 civarlarına çıkmıştır. Belirli bir seviyeden sonraki sıcaklık değişimi, aderans dayanımını büyük ölçüde azaltmaktadır (Haddad ve Shannis, 2004).

Haddad ve Abendeher birlikte yapmış oldukları deneysel çalışmalarda, farklı ortam sıcaklıklarına maruz bırakılmış beton numunelerin, sentetik ve pirinç kaplı kısa lifli malzemelerden oluşması halinde aderans dayanımındaki değişimi incelemişlerdir. Bu maksatla silindirik numuneler içerisinde bulunan 18 mm çapındaki çelik çubuklara pull-out deneyi yapmışlardır. Beton karışımı hazırlanırken, beton hacminin belirli yüzdelğinde polipropilen lif malzemesi ve pirinç kaplı kısa çelik lif malzeme kullanılmıştır (Haddad ve Abendeher, 2004). Yaptıkları çalışmanın sonucunda beton karışımında kullandıkları

malzemelerin aderans dayanımını artırıcı yönde katkı sağladığını görmüşlerdir (Haddad ve Abende, 2004).

Ichinose, Kanayama, Inoue ve Bolander, yaptıkları birçok deneyde, donatının yüzey geometrisinin, etriyelerin ve beton örtüsünün aderans dayanımında nasıl bir değişikliğe sebebiyet verdiğini araştırmışlardır. Yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda; beton örtü kalınlığının artmasıyla birlikte aderans dayanımının arttığını ifade etmişlerdir. Ayrıca çelik çubukların çapının artmasından dolayı oluşan kırılmaların betonun yarılmaları şeklinde gerçekleştiğini ifade etmişlerdir (Ichinose vd., 2004).

Fang, Gylltoft, Lundgren ve Plosçelik çubukların korozyona uğraması halinde aderans dayanımına ve sıyrılmaya ne gibi etki ettiğini araştırmak için çalışmalar yapmışlardır. Yaptıkları çalışmalarda korozyona uğramış donatıların paslanan kısımlarının kalınlığını, donatı çaplarını ve ilk andan itibaren maruz kaldığı yükleri göz önünde bulundurmışlardır. Yaptıkları deneylerden sonra aderans dayanımında büyük değişiklikler olduğunu görmüşlerdir. Aderans dayanımında meydana gelen bu azalma yüzey geometrisi düz olan çelik çubuklarda daha fazla olmuştur. Ayrıca sargı donatısı kullanılan betonarme elemanlarda sıyrılmaya olayının daha az olduğunu ifade etmişlerdir. Diğer yandan donatının uğradığı korozyon miktarının arttıkça sıyrılmaya miktarının da arttığını ifade etmişlerdir (Fang vd., 2006).

Yeih, Chang ve Tsai, yaptıkları çalışmalar kapsamında donatı yüzeyine yapılan kaplamaların aderans dayanımı kaybının azaltmayı hedeflemişlerdir. Bu kapsamda yaptıkları deney çalışmalarında beton karışımına katılan kum yerine uçucu kül kullanmışlardır ve bunun aderans dayanımında ne gibi değişikliklere sebebiyet verdiğini incelemişlerdir. Beton karışımında kullanılan kül miktarı olarak uygulanan epoksi miktarının belirli bir oranını almışlardır. Birbirinden farklı oranlar kullanarak birçok deney yapmışlar ve bunların arasında aderans dayanımının en fazla olduğu uçucu kül miktarı olarak uygulanan epoksi miktarının yarısı olduğu sonucuna varmışlardır (Yeih vd., 2004).

El-Hawary aderans dayanımındaki değişimleri incelemek adına, epoksi ile kaplanan çelik çubukları sülfatlı su ile etkileşimde bulundurmıştır. Yaptığı deneysel çalışmalar kapsamında pull-out deneyinde kullanmak üzere hazırlamış olduğu beton numunelerini 1.5 yıla yakın deniz suyuna bırakmıştır. Belirlediği süre zarflarında ise aderans dayanımlarını ölçmüştür. El-Hawary yapmış olduğu çalışmalar sonucunda, deniz suyuna maruz bırakılmış numunelerin ilk 6 ayda aderans dayanımlarında bir düşüş görülmüştür. Hatta en büyük düşüşün %7 civarlarında olduğunu belirtmiştir. Ancak ilk 6 ayda azalan aderans

dayanımını takiben aderans dayanımında bir artış olduğunu ifade etmiştir(El-Hawary, 1999).

Wang ve Liu, yaptıkları çalışmada, teorik olarak çelik çubuğun paslanmasını incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma kapsamında en uygun beton örtüsünü belirleyebilmek için farklı korozyon tabakasına sahip çelik çubukları dikkate almışlardır. Sonrasında ise çelik çubuk ile beton arasında var olan sürtünme kuvveti ile mekanik kuvvetleri göz önünde bulundurmuşlardır. Yarılma kırılmasının olduğu durum için hesapladıkları aderans dayanımının teknik literatürde mevcut deneysel sonuçlarla karşılaştırmak suretiyle sonuçların uyum içinde olduğunu savunmuştur (Wang ve Lui, 2006).

Hamad ve Mike çalışmalarında sıcak galvanizlemenin bindirmeli eklerdeki aderans kapasitesinin üzerine olan etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Üretilen ve ortalama basınç dayanımı 28 MPa olan altı kiriş numunesi üzerinde eğilme deneyi 20, 25 ve 32 mm çaplarında galvanize edilmiş ve edilmemiş altı farklı donatı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan tüm kiriş elemanlarda bindirmeli ekler momentin sabit olduğu ve yerde ve kirişin tam ortasında yapılmıştır. Çalışma sonucunda; meydana gelen kırılma kiriş ortasında veya momentin sıfır olduğu yerde olduğu için, galvanize edilmiş çelik çubukların etkilerinin dikkate alınmayacak seviyede olduğunu ifade etmişlerdir (Hamad ve Mike, 2005).

Xiao ve Falkner çalışmaları kapsamında geri dönüşümden elde edilen iri agregalar üzerine yoğunlaşmışlardır. Bu bağlamda elde ettikleri agregaları normal agregalarda belirli yüzdelere karıştırarak, yüzey geometrisi farklı iki çelik çubuk üzerinde pull-out deneyi yaparak aderans dayanımlarını incelemişlerdir. Yaptıkları deneysel çalışmaların sonucunda geri dönüşümden elde ettikleri iri agreganın miktarı arttıkça, yüzey geometrisi düz olan donatının aderans dayanımının azaldığını görmüşlerdir. Bundan ziyade aynı çalışmayı nervürlü donatı üzerinde yapmış ve aderansta dikkate değer bir azalma ortaya çıkmadığını göstermişlerdir(Xiao ve Falkner, 2005).

### **1.9. Soğuk Havada Beton Üretimi ve Uygulaması**

TS 1248 Standardına göre art arda üç gün, günlük ortalama hava sıcaklığının  $+50^{\circ}\text{C}$ 'nin altında olması ve bu periyotta hiçbir yarım gün hava sıcaklığının  $+10^{\circ}\text{C}$ 'nin üstünde olmaması durumuna "beton için soğuk hava" denir. Ortalama hava sıcaklığı, günlük en yüksek ve en düşük hava sıcaklığının ortalamasıdır. TS EN 206 Standardına göre taze

betonun en düşük sıcaklığı +5°C olmalıdır. Ancak, beton sıcaklığının +10°C' nin altında olması tavsiye edilmez. Bu nedenle döküm öncesinde, esnasında ve sonrasında beton sıcaklığı kontrol edilip kaydedilmelidir. Ayrıca, gerekli tedbirler önceden alınmalıdır. Tablo 1.1' de en düşük ve en yüksek ideal taze beton sıcaklıkları verilmiştir.

Tablo 1.1. En düşük, en yüksek ve ideal taze beton sıcaklıkları

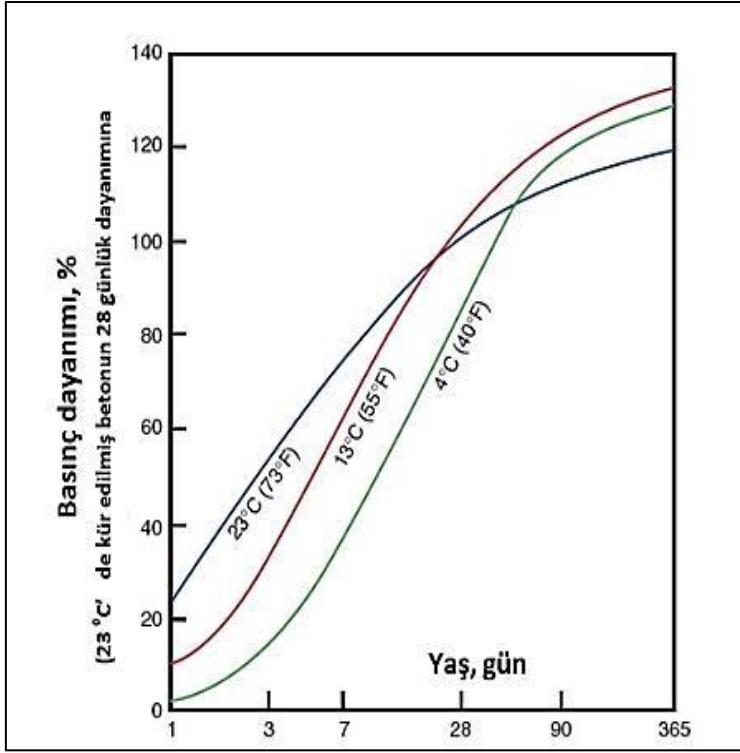
En düşük beton sıcaklığı (TS EN 206)	+5°C
İdeal beton sıcaklığı	+15-20°C
En yüksek beton sıcaklığı (TS 13515)	+35°C

### 1.9.1. Soğuk Havanın Betona Etkisi

Soğuk havada başarılı bir şekilde beton üretimi ve uygulaması yapabilmek için soğuk havanın beton üzerinde etkileri iyice bilinmelidir. Soğuk hava sonucu betonda görülen başlıca olumsuzluklar:

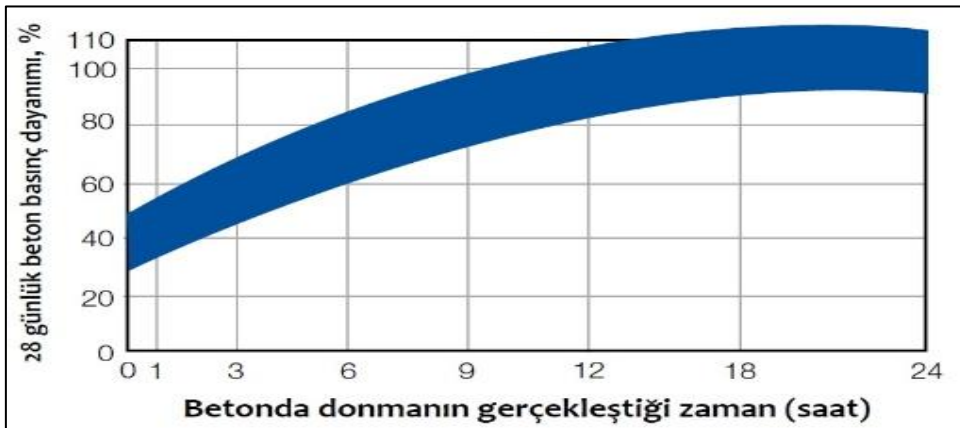
- Hidratasyon reaksiyonunun yavaşlaması,
- Priz süresinin uzaması,
- Erken dayanımın düşük olması,
- Beton içindeki suyun *donma-çözülme* riskine maruz kalmasıdır.

Beton taze halde iken beton sıcaklığının 0°C'nin altına düşmesi durumunda beton “*don*” tehlikesi ile karşılaşır.



Şekil 1.20. Beton sıcaklığının dayanıma etkisi

Eğer don olayı gerçekleşirse Şekil 1.21'de görüldüğü gibi beton dayanımı en az %50 oranında azalır ve beton dayanıklılığı (durabilite) olumsuz etkilenir. Betonun en azından 4-5 MPa basınç dayanımına ulaşmaya dek donması engellenmelidir. Bu dayanım değerine Tablo 1.2'de verilen sürelerde ulaşılabilir. Betonun su/çimento oranı, bağlayıcı tipi ve kür sıcaklığı betonu dondan korumak için gerekli süreyi etkiler.



Şekil 1.21. Betonun erken yaşta dona maruz kalması sonucu dayanım kaybı



Tablo 1.2. Don olayının taze betona zarar vermemesi için gerekli beton yaşı

Çimento Tipi	Su/Çimento Oranı	Kür sıcaklığına bağlı olarak taze betonun don etkisinden zarar görmemesi için gerekli süre, saat			
		5°C	10°C	15°C	20°C
Erken dayanımı düşük	0.4	35	25	15	12
	0.5	50	35	25	17
	0.6	70	45	35	25
Erken dayanımı yüksek	0.4	20	15	10	7
	0.5	30	20	15	10
	0.6	40	30	20	15

Beton içindeki hava boşluklarındaki su -1°C’de donmaya başlar. Bir miktar su donduğunda donmamış sudaki iyon konsantrasyonu yükselir ve donma noktası düşer. -4°C’de yeterli miktarda su donar ve hidrasyon reaksiyonu tamamen durur. Suyun donması sonucu oluşan hacimsel genişleme betonda telafi edilemeyecek hasarlara neden olur.

Soğuk havada beton uygulamasında başlıca hedef; ilk 48 saat betonu gerekli önlemleri alarak “dondan” korumaktır.

#### 1.9.1.1. Soğuk Hava Koşullarının Hidratasyona Etkisi

Soğuk hava koşulları nedeniyle donan su nedeniyle taze betonda hidrasyon için gerekli su azalır ve betonun prizinin geciktiği hatta ani donmalarda tamamen durduğu gözlenir. Bu sebeple betonun yaklaşık -10°C’den daha düşük sıcaklıklarda dayanım kazanmadığı kabul edilir. Hidrasyon, ortam sıcaklığının artmaya başladığı anda donmuş halde bulunan suyun çözülmeye tekrar devam eder. Taze beton içerisinde bulunan boşluklar donmuş haldeki suyun tuttuğu hava kabarcıklarının tekrar serbest kalması ile ortaya çıkar. Bundan dolayı homojen olması istenen betonun özelliği kaybolur. Bu olayın diğer bir etkisi ise donatı ile beton arasındaki aderans özelliğinin kaybolmasıdır (Karagöl, 2013).

### 1.9.2. Donma-Çözülmenin Betona Etkisi

Bilindiği üzere su donmaya başladığı andan itibaren hacminde bir artış meydana gelir. Bu bağlamda prizini almış bir beton içerisinde bulunan su, ortam sıcaklığından dolayı buz haline geçtiğinde bir genleşme meydana gelir. Ortam sıcaklığının artması ile tekrar su haline dönen buz kütlesi bu olayın tekrar etmesi ile birlikte hacimsel olarak kümülatif bir artışa sebep olur. Dolayısıyla donma ve çözülme olaylarının etkisi, çözülmenin meydana gelmediği uzun sürelerle kıyasla daha kuvvetlidir. Su donmaya başladığı anda sertleşmiş betonda iki adet hidrolik basınç kaynağı oluşur. Bunlardan birincisi; donan suyun hacmindeki yaklaşık %10' luk artış ki bu artıştan dolayı boşluklar içerisinde bulunan fazla su dışarı hareket etmek isteyecektir ve hidrolik bir basınç meydana getirecektir. İkinci hidrolik basınç kaynağı ise jel yollarından dışarı çıkmak isteyen suyun donarak buz kütlelerine dönüşmesidir (Karagöl, 2013).

Donmaya karşı dayanıklı bir betonun iki önemli özelliği vardır. Bunlar betonun doygunluk derecesi ve boşluk yapısıdır. Beton karışımının içerisinde karışım malzemelerinin sebep olduğu kapiler boşluklar ve hava boşlukları oluşmaktadır. Beton içerisinde bulunan ve hava boşluklarını dolduran suyun tamamı donma eğiliminde değildir. Bunun sebebi hidrasyon tepkimesi ile oluşan kristal yapıdır. Bu yapı sayesinde çimento hamuru içerisinde oluşan jel boşluklarındaki su ancak -85°C civarlarında donmaya başlar (David, 2001).

Jel boşluklarındaki suyun donmaya başladığı sıcaklık değeri bazı araştırmacılar tarafından -78°C olarak belirtilmiştir (Anonymous, 2010). Bu boşluklar 15-20 A° boyutundadır. Daha büyük çaptaki sürüklenmiş ve hapsolmuş hava kabarcıkları ve kapiler boşluklardaki su normal suyun donma noktasına yakın bir sıcaklıkta yani 0°C civarında donmaktadır (Erdoğan, 2007). Bu boşluklar en fazla w/c oranından etkilenir. Bu oranın az olması beton içerisindeki kapiler boşluğun da az olduğu anlamına gelmektedir. Dolayısıyla bu durum sayesinde taze beton donma riskine karşı daha güvenli hale gelir. İkinci bir faktör ise çimento hamurunun yaşıdır. Beton karışımının içerisine, gerektiğinden fazla su katılması halinde betonun donmaya karşı olan direnci en aza indirilmiş olacaktır.

Beton karışımında önemli bir terim olan kritik doygunluk değeri altındaki beton karışımları donmaya karşı bir hayli dayanıklıdır. Diğer bir deyişle beton doygun hale gelmediği müddetçe donma-çözülme olayından zarar görmesi beklenmez. Doygunluk seviyesi betonun donma çözülmeden zarar görüp görmediğini belirleyen ikinci önemli

etkendir. Eğer boşluk hacminin sadece yarısı suyla doluysa boşluk sınırlarındaki geçişler dikkate alınmaksızın su donarken çimento hamuru zarar görmeyebilir. Aslında esas tehlike suyun bir boşluktan diğerine yani donmanın olduğu yere bir kuvvetle taşınmasıdır (David, 2001).

### **1.9.3. Soğuk Havada Katkı Kullanımı**

Soğuk hava koşullarında genel olarak priz hızlandırıcı ve antifriz katkı kullanılır. Antifriz katkı suyun donma noktasını düşürerek hidratasyon reaksiyonunun devamını sağlar. Antifriz katkı hidratasyon reaksiyonunun hızını ve ısını doğrudan etkilemez.

Priz hızlandırıcı olarak kalsiyum klorür kullanılması priz açısından iş görmesine rağmen donatılı betonda korozyona neden olur. Bu nedenle kullanılmaması ya da zorunlu durumda çimento kütlesinin en fazla %2'si kadar kullanılması tavsiye edilir.

Hava sürükleyici katkı kullanımı ise özellikle donma-çözülme etkisinin hakim olduğu yerlerde mutlaka gerekmektedir. Hava sürükleyici katkı kullanımı ile betonda kontrollü boşluk oluşumu sağlanır ve beton içinde donma-çözülme etkisi ile suda oluşacak hacimsel genleşmelere karşı tolerans artar.

Mineral katkı kullanımı soğuk havada tercih edilmez. Çünkü mineral katkıları betonda prizi geciktirdiği gibi hidratasyon ısını da düşürürler. Ancak, gerekli önlemlerin alındığı durumlarda sınırlı miktarda mineral katkı kullanımının durabilite açısından faydası vardır.

### **1.9.4. Soğuk Havada Üretilcek Beton İçin Öneriler**

Soğuk havada beton dökümüne karşı alabilecek bazı önlemler aşağıdadır;

- Don riski olan hava koşullarında beton dökümünden olabildiğince kaçınılmalıdır.
- Beton dökülmüş öncesi kalıplar denetlemelidir. Buzlu kalıp yüzeylerine döküm yapılmamalı, eğer varsa buz parçaları temizlenmelidir.
- Betonun yerleştirme sıcaklığı; eleman kesitleri ve hava sıcaklığına bağlı olarak belirlenen sınır değerden yüksek olmalıdır.
- Çimentonun hidratasyonu sonucu ortaya çıkan ısının beton dışına yayılması önlenmelidir. Bunun için, kalıpların dış yüzeylerine uygun yalıtımlar yapılabilir. Açık beton yüzeyleri ise cam yünü gibi uygun örtüler kullanılarak yalıtılmalıdır.

Böyle bir durumda etkin bir yalıtım için gerekli yalıtım malzemesi kalınlığını hesaplanmak da mümkündür.

- Soğuk havalarda uzun priz sürelerini önlemek için yapı ısıtılabilir. Döşemelerde, döşeme altında sağlanan ısıtma en az üzerindeki ısıtma kadar önemlidir. Karışımda sıcak su veya sıcak agrega kullanarak betonu doğrudan ısıtmak da mümkündür, ancak bu yöntem yapıyı ısıtmak kadar etkili değildir, çünkü birçok döşeme sıcaklığını koruyacak kadar kalın olmayıp çok incedir.
- Beton belirli bir dayanıma ulaşınca dek korunmalıdır. Bu süre; yapı elemanının özellikleri, maruz kalacağı şartlar ve beton özelliklerine göre değişir. • Beton dayanım kazanma hızı azaldığından kalıp alma süresinin uzatılmalıdır.
- Yüksek hidratasyon ısisına sahip çimento, daha yüksek çimento dozajı ve düşük su / çimento oranı seçilebilir.
- Priz hızlandırıcı ve suyun donma noktasını düşürücü katkıları kullanılabilir. Hava sürükleyici katkı kullanılması da yarar sağlar.
- Betonun ilk sıcaklığının donma derecesine düşmemesi için agrega, çimento ve özellikle su ısıtılabilir. Üretim sırasında bu bileşenlerin sıcaklıklarının özdeş hale getirilmesi yararlı olacaktır.
- Betonun taşınması sırasında da soğuması önlenmelidir.

#### **1.9.5. Şantiyede Alınacak Önlemler**

İnşaat piyasası dilinde Telis bezi olarak bilinen Jüt, Kanaviçe inşaatlarda beton döküldükten sonra yazın sıcak günlerinde betonun hızlıca sıvı kaybına uğrayıp çatlamasını önlemektedir. Telis bezinin kullanımına bir örnek Şekil 2.22' de gösterilmiştir.



Şekil 1.22. Telis bezi kullanımına bir örnek

Betonu rüzgara karşı korumak için rüzgar kırıcı engeller oluşturulur. Bilindiği üzere özellikle sıcak aylarda esen rüzgarlar beton yüzeyinde rötre çatlaklarına sebebiyet verebilmektedir. Rüzgar kırıcı kullanımına bir örnek Şekil 1.23’ de gösterilmiştir.



Şekil 1.23. Rüzgar kırıcı kullanımına bir örnek

Sıva işleminde kullanılan su miktarının yoğun olması nedeni ile içerisinde en çok nem barındıran kattır. Kaba inşaatın son aşaması olan sıva işleminin tamamlanmasının ardından boya gibi ince işlere geçiş yapılacağı için bu işlemin kusursuz olması çok önemlidir. Sıva kurutma pek çok farklı yöntemle yapılabileceği gibi en kısa sürede en

yüksek kurutma başarısını gösterebilecek tek uygulama hiç kuşkusuz inşaat kurutma cihazı kullanılarak yapılan kurutmalardır. Bu bağlamda hareket ettirilebilir ısıtıcı kullanımına bir örnek Şekil 1.24’ de gösterilmiştir.



Şekil 1.24. Hareket ettirilebilir ısıtıcı kullanımına bir örnek

Şantiye ortamında alınabilecek diğer önlemler şu şekilde sıralanabilir;

- Yalıtımlı kalıp kullanımı,
- Yalıtımlı battaniye kullanımı,
- Zeminin ısıtılması,
- Kalıpların ve demirlerin don ve kardan temizlenmesidir.

Şantiyede beton dökümünden önce yukarıdaki önlemlerden gerekli olanlar temin edilmiş durumda olmalıdır. Öncelikle betonun en kısa sürede şantiyeye ulaşması sağlanmalıdır. Beton gelmeden önce zeminde don varsa çözülmelidir. Aksi takdirde zemin üzerine yerleştirilecek beton aniden ısı kaybedecektir. Ayrıca, kalıplar ve demirler kar ve dondan temizlenmelidir.

Betonun plastik halde iken kuruması plastik rötre çatlaklarına neden olur. Sıcak hava koşullarında betonun sulanması uygun iken soğuk havada uygun olmayabilir. Soğuk havada en iyi kür uygulaması beton yüzeyini su kaybından ve soğuktan koruyacak yalıtımlı malzemeler kullanılarak yapılır. Bu malzemeler çevre koşullarına, beton karakteristiğine ve yapıya etkiyen yük durumuna göre 1 ila 7 gün arasında beton yüzeyinde bulunmak zorundadır.

Beton dökülen yerin ısıtılması pratik ve ekonomik olmasa da etkili bir yöntemdir. Isıtıcının egzozu kesinlikle beton yüzeyini etkilememelidir. Çünkü açığa çıkacak CO<sub>2</sub> taze betonda karbonatlaşmaya neden olabilir. Ayrıca bu durum çalışan işçiler için de zararlı olabilir.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Materyal

Bu deneyde, kırma taş, mıcır, CEM I 42.5R çimento, Gümüşhane şebeke suyu, akışkanlaştırıcı katkı maddesi Ø8, Ø10, Ø12 çapında nervürlü donatı kullanılmıştır.

### 2.2. Agregalar

Tez kapsamında yapılan deneylerde kullanılan agregalar, beton santrallerinde normal ve yüksek dayanımlı beton üretiminde kullanılan Gümüşhane yöresine ait kireçtaşı agregalarıdır. Kullanılan agregalar Şekil 2.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Kireçtaşı agregası

#### 2.2.1. Çimento

Üretilen betonlarda CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. Çimento Gümüşhane’de bulunan Aşkale Çimento Fabrikası’ndan temin edilmiştir. Tablo 2.1’de çimentoya ait kimyasal analiz sonuçları verilmiştir.



Tablo 2.1. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

Kimyasal Analizler		Fiziksel Testler	
SiO <sub>2</sub>	18.10	İncelik (45 µ elek üstü %)	7.15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.48	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	3.1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.09	Özgöl Yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	3698
CaO	63.65	Priz Başlangıcı (saat-dk)	2saa-31dk
MgO	2.58	Priz Sonu(saat-dk)	3saa-11dk
SO <sub>3</sub>	2.84	Hacim Genişlemesi(mm)	1.0
Kızdırma Kaybı	3.90	Su İhtiyacı (%)	29.5
Na <sub>2</sub> O	0.21		
K <sub>2</sub> O	0.62		
CI	0.015	Basınç Dayanımı( N/mm <sup>2</sup> )	
Ölçülemeyen	0.52	2.Gün	27.9
Toplam	100	28.Gün	58.0

### 2.2.2. Donatı

Yapılan çalışmada kapsamında S420 donatı sınıfında Ø8, Ø10 ve Ø12 çaplarında nervürlü donatılar kullanılmıştır. S420 çelik sınıfına ait mekanik özellikler Tablo 2.2' de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. S420 çelik sınıfının mekanik özellikleri

	Çelik Sınıfı	
	S 420 Nervürlü	
Akma dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	≥ 420	
Çekme dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	≥ 500	
Çekme dayanımı/Akma dayanımı oranı	≥ 1.15	
Deneysel akma dayanımı/karakteristik akma dayanımı oranı	≤ 1.30	
Kopma birim uzaması (%)	≥ 10	
Maksimum yükte toplam uzama (%)	-	

### 2.2.3. Akışkanlaştırıcı

Taze beton örneklerinde eşit kıvam sağlamak için yüksek oranda su azaltıcı ve erken yüksek dayanım sağlayan TS EN 934-2 standartlarına uygun katkı maddesi kullanılmıştır. Kullanılan SA' ya ait özellikler Tablo 2.3'te verilmiştir.

Tablo 2.3. Süper akışkanlaştırıcı katkının özellikleri

Kimyasal yapı	Özellikler
Poli Naftalin Sülfonat Kondensatı	Görünüm : Koyu kahve renkli sıvı
	Yoğunluk : $1.20 \pm 0.03$ kg/L
	pH : 6,50 – 8,00
	Klorür : $\leq \%0,1$ (TS EN 480–10)
	Alkali İçeriği : $\leq \%10$ (TS EN 480–12)

#### 2.2.4. Su

Yapılan deneyde Gümüşhane ili merkez şebeke suyu kullanılmıştır.

### 2.3. Metot

#### 2.3.1. Kirişlerin Hazırlaması

Kiriş örneklerin üretiminde Şekil 2.2' de görülen modüler çelik kalıplar kullanılmıştır. Ayrıca kenetlenme boyunu belirlemek amacıyla plastik su borularından kılıflar kullanılmıştır.



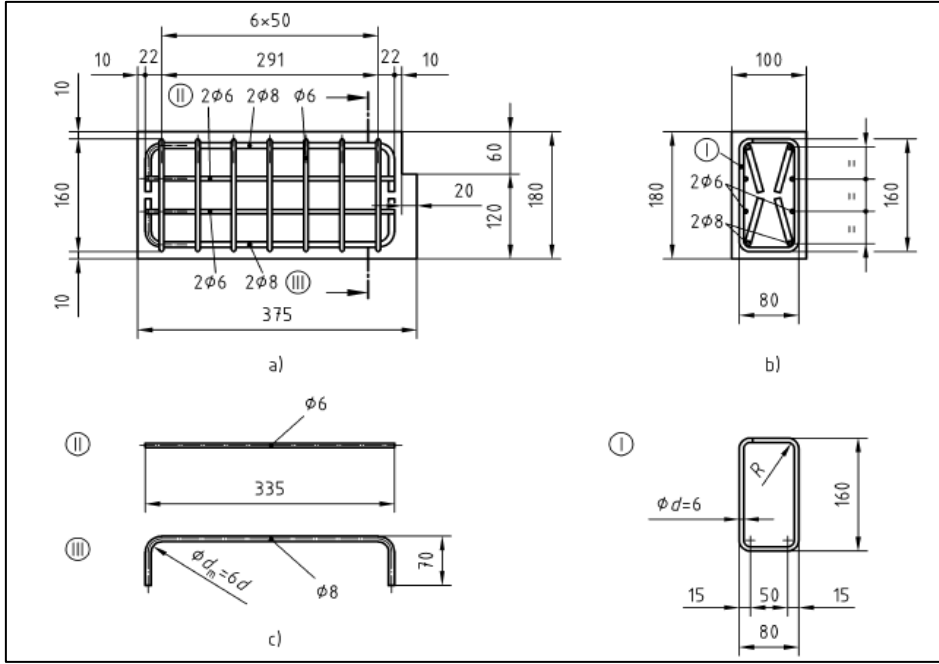
Şekil 2.2. Mafsallı kirişlerin üretiminde kullanılan modüler çelik kalıplar

Belçika mafsallı kiriş deneyinde kullanacak olan Ø8, Ø10, Ø12 mm çaplarındaki donatılar plastik su boruları aderans boyları belirlenerek hazırlanmıştır. Kesme donatısı aderans çubukları Şekil 2.3' te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Kesme donatı aderans çubukları

Deney esnasında amaç donatının betondan sıyrılma miktarını ve sıyrılma esnasındaki yükleri okumak olduğu için betonda kesme çatlağı oluşmadan deneyin gerçekleştirilmesi önemlidir. Mafsallı kiriş deneylerinde betonda kesme çatlağı oluşmadan donatıların sıyrılmasını sağlamak amacıyla kullanılacak donatı detayları da yine BS 4449:2005'de tanımlanmıştır. Şekil 2.4'te BS 4449:2005'de çapı Ø16'dan küçük olan donatılar için önerilen kesme donatılarının detayı görülmektedir (URL-1, 2019).



Şekil 2.4. Mafsallı kirişlerde kullanılacak olan kesme donatılarının detayı

Beton karışımını oluşturan malzeme miktarları ise Tablo 2.4' te gösterilmiştir.

Tablo 2.4. Yapılacak olan beton karışımı oranları ve miktarı

Malzeme		Ağırlık (kg)	Hacim (dm <sup>3</sup> )
Çimento		347	112
Su		190	190
İnce	49.0%	885	330
Orta	51.0%	922	344
Hava			20
Katkı (%1.2)		4.16	4

Hazırlanan kiriş örnekler belirlenen ısı şartlarına (Normal şartlar, 0°C, -5°C ve -10°C) taze halde 2 gün süre ile maruz bırakıldı. 2 gün sonunda dondurucudan çıkarılan kiriş örnekler 7. gün ve 28. günlerde deneye tabi tutuldu. Taze halde soğuk havaya maruz bırakılan kiriş örnekler Şekil 2.5'de görülmektedir.



Şekil 2.5. Dondurucu dolap içerisindeki kiriş örnekler

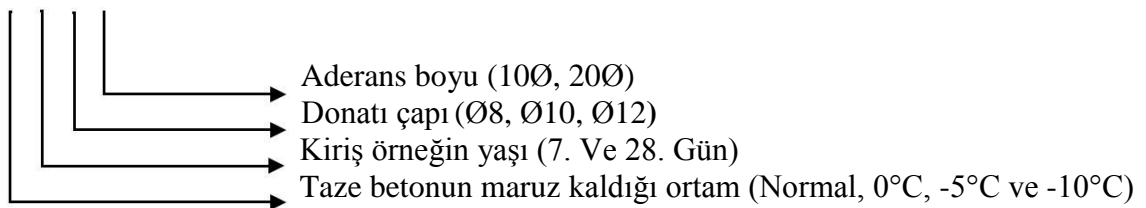
Derin dondurucudan çıkarılan beton örneklere ilişkin görüntüler Şekil 2.6’ da görülmektedir.



Şekil 2.6. Üretilen ve deneye hazır hale getirilen mafsallı kiriş örnekleri

Kiriş örneklerin kodlanması aşağıdaki gibidir.

N 7 Ø8 10Ø



### 2.3.2. Basınç Dayanım Deneyi

Taze halde farklı sıcaklık değerine maruz beton örneklerin basınç dayanımı tayini TS EN 12390-3 standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır (TS EN 12390-3).



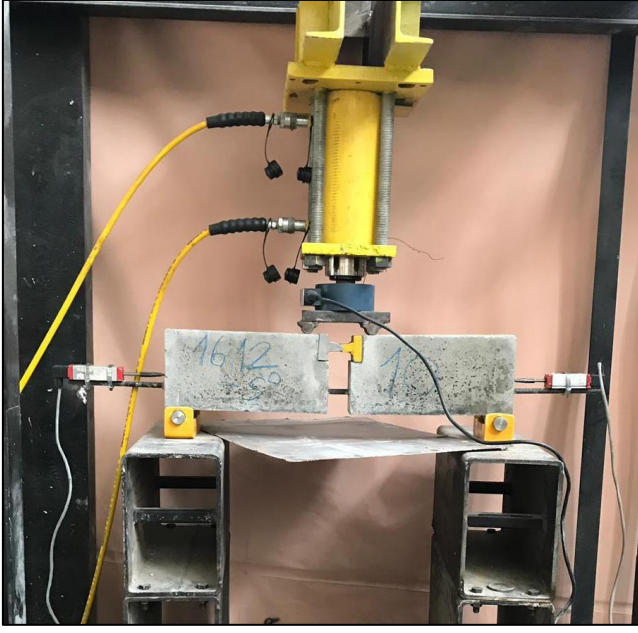
Şekil 2.7. Beton basınç dayanım cihazı

### 2.3.3. Aderans Deneyi

Mafsallı kiriş deneyi BS 4449:2005+A2:2009 standardında tanımlanmış olup donatı aderansının eğilme numuneleri aracılığıyla belirlenmesine kullanılmaktadır. Deneyde, yük hücresi ile düşey yönde uygulanan yük bilgisayara aktarılmakta ve bu yük aracılığıyla izostatik basit kiriş için denge denklemleri kullanılarak mafsal noktasında moment sıfır prensibiyle donatıdaki  $F$  hesaplanmaktadır. Deney düzeneği Şekil 2.8’de şematize edilmiştir.







Şekil 2.9. Mafsallı kiriş deney düzeneği



### 3. BULGULAR

#### 3.1. Basınç Dayanımı

Taze halde donmaya maruz bırakılmış betonarme kirişlerin üretiminde kullanılan betonların basınç dayanımları belirlenmiştir. Basınç dayanım değerleri Tablo 3.1’de görülmektedir. Ayrıca beton örnekleri ortalama basınç dayanımı değerleri Şekil 3.1’de görülmektedir.

Tablo 3.1. Ortalama basınç dayanımı değerleri

Sıcaklık	Ortalama basınç dayanımı (MPa)	
	7. gün	28. gün
Normal	47.07	53.43
0 °C	41.17	45.68
-5 °C	34.23	40.85
-10 °C	28.90	36.01

Aşağıda taze halde soğuk havaya maruz beton örneklerin basınç dayanımı sonuçları kür sürelerine göre değerlendirilmiştir;

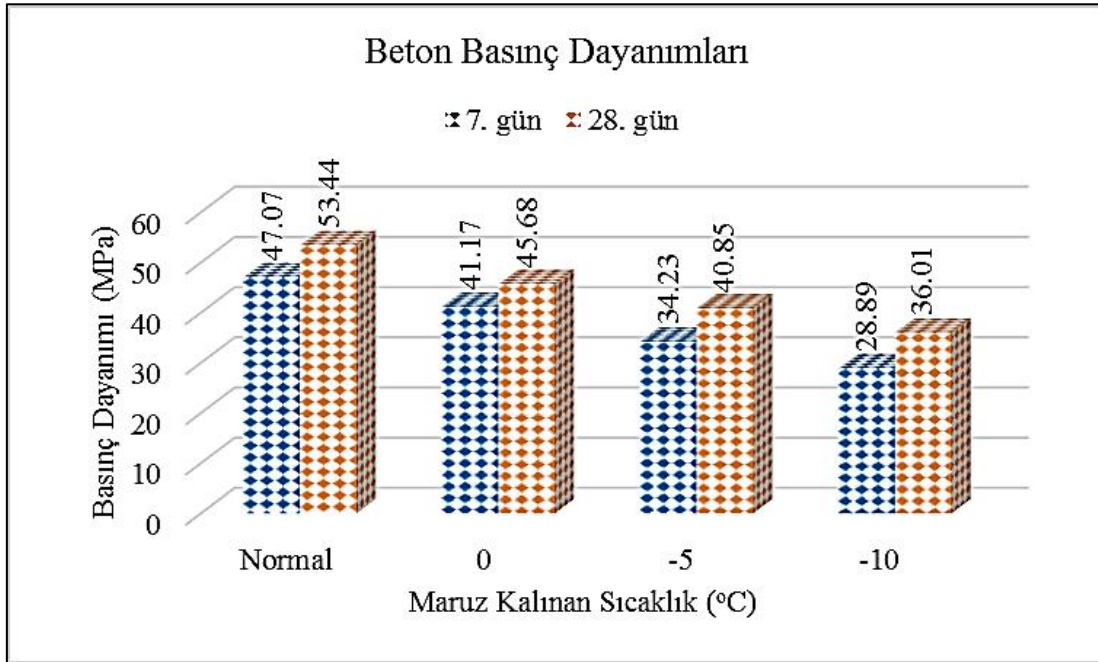
7 günlük basınç dayanımı değerlendirmesinde;

- En büyük ortalama basınç dayanımı 47.07 MPa ile Normal şartlarda üretilen beton örneklerde olduğu,
- En küçük ortalama basınç dayanımı 28.90 MPa ile -10°C de şartlarda üretilen beton örneklerde olduğu,
- Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre Normal şartlarda üretilen beton örneklerin 0°C, -5°C ve -10°C’ deki beton örneklere göre sırasıyla %12.5, %27.3 ve %38.6 daha büyük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

28 günlük basınç dayanımı değerlendirmesinde;

- En büyük ortalama basınç dayanımı 53.44 MPa ile Normal şartlarda üretilen beton örneklerde olduğu,
- En küçük ortalama basınç dayanımı 36.01 MPa ile -10°C de şartlarda üretilen beton örneklerde olduğu,
- Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre Normal şartlarda üretilen beton örneklerin 0°C, -5°C ve -10°C' deki beton örneklere göre sırasıyla %14.5, %23.6 ve %32.6 daha büyük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

Beton örneklerin 7 ve 28 günlük ortalama basınç dayanımını gösterir grafik Şekil 3.1' de görülmektedir.



Şekil 3.1. Beton örneklerin 7 ve 28 günlük ortalama basınç dayanımı değerleri

Sonuç olarak, beton örneklerin taze halde soğuk havaya maruz kalması durumunda mekanik özelliklerden basınç dayanımı olumsuz etkilenmektedir. Yapılan çalışmada da Normal şartlarda üretilen beton örneklerin basınç dayanımının soğuk havaya maruz beton örneklere göre en büyük değeri aldığı belirlenmiştir. Isı değerinin -10°C düşmesi ile basınç dayanımında 7 günlük örneklerde yaklaşık %38, 28 günlük örneklerde %30'dan daha fazla basınç dayanımında kayıp belirlenmiştir.

### 3.2. Aderans Dayanımı

Kiriş örneklerin taze halde maruz kaldığı Normal şartlar, 0°C, -5°C, -10°C sıcaklık ve Ø8, Ø10 ve Ø12 çaplarının 10Ø ve 20Ø kenetlenme boyu değişkenlerine bağlı olarak donatı aderans dayanımları belirlenmiştir. Ø8, Ø10 ve Ø12 çaplarındaki donatılara ait elde edilen veriler sırasıyla Tablo 3.2, Tablo 3.3 ve Tablo 3.4’de görülmektedir. Ayrıca donatı aderans gerilmesi-sıyrılma ilişkisini gösterir grafikler Şekil 3.2-Şekil 3.13’de görülmektedir.

Kiriş örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık ve Ø8 çapında 10Ø ve 20Ø kenetlenme boyundaki donatılara ait elde edilen veriler Tablo 3.2’de görülmektedir. Deneylerde elde edilen ve kritik bulgular olarak görülen donatıdaki maksimum gerilme (MG)ve maksimum gerilmeye karşılık gelen kuvvet (MGK), beton-donatı arasındaki maksimum aderans gerilmesi ( $\tau_u$ ), donatının maksimum gerilmeye ulaştığı andaki sıyrılma (MG-S) olarak gösterilmiştir.

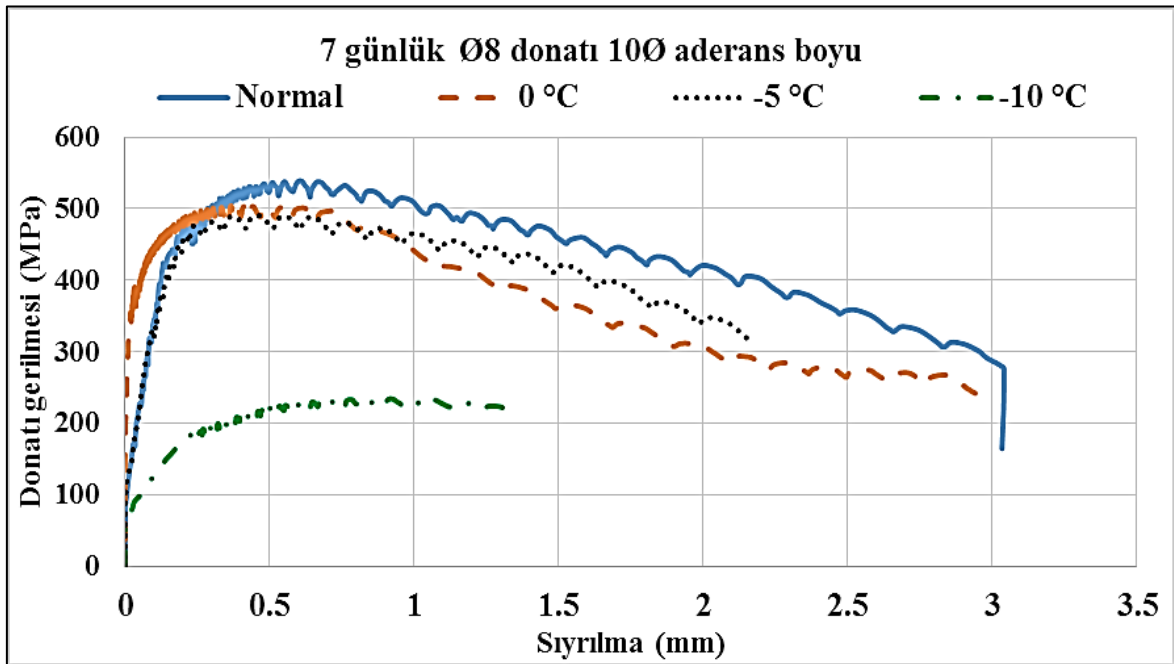
Tablo 3.2. Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø8 donatı çapında 10Ø ve 20Ø aderans boyunda 7 ve 28 günlük elde edilen bulgular

Numune kodu	Beton yaşı (gün)	MG (MPa)	MGK (N)	$\tau_u$ (MPa)	MG-S (mm)
N-7-Ø8-10Ø	7	539	27069	6.74	0.611
0C <sup>0</sup> -7-Ø8-10Ø	7	504	25320	6.30	0.367
(-5C <sup>0</sup> )-7-Ø8-10Ø	7	490	24636	6.13	0.454
(-10C <sup>0</sup> )-7-Ø8-10Ø	7	234	11777	2.93	0.918
N-7-Ø8-20Ø	7	623	35286	4.39	0.023
0C <sup>0</sup> -7-Ø8-20Ø	7	569	28598	3.56	0.695
(-5C <sup>0</sup> )-7-Ø8-20Ø	7	555	27889	3.47	0.094
(-10C <sup>0</sup> )-7-Ø8-20Ø	7	243	12217	1.52	0.038
N-28-Ø8-10Ø	28	754	37870	9.42	0.242
0C <sup>0</sup> -28-Ø8-10Ø	28	742	37258	9.27	0.058
(-5C <sup>0</sup> )-28-Ø8-10Ø	28	650	32648	8.12	0.078
(-10C <sup>0</sup> )-28-Ø8-10Ø	28	375	18843	4.69	0.918
N-28-Ø8-20Ø	28	791	39754	4.95	0.887
0C <sup>0</sup> -28-Ø8-20Ø	28	779	39160	4.87	0.732
(-5C <sup>0</sup> )-28-Ø8-20Ø	28	668	33565	4.18	0.639
(-10C <sup>0</sup> )-28-Ø8-20Ø	28	554	27821	3.46	0.828

Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø8 donatı çapında 10Ø ve 20Ø aderans boyunda 7 ve 28 günlük örneklerin değerlendirmesi aşağıda verilmiştir;

**10Ø aderans boyunda 7 günlük örneklerde donatı gerilmesi ve aderans gerilme değerlerine göre;**

- Normal şartlarda üretilen örneklerin 539 MPa ile en büyük (MG) donatı gerilme değerine ve 6.74 MPa ile en büyük ( $\tau$ ) aderans gerilmesine sahip olduğu,
- Taze halde -10°C maruz kalan örneklerin 234 MPa ile en küçük (MG) donatı gerilme değerine ve 2.93 MPa ile en küçük ( $\tau$ ) aderans gerilmesine sahip olduğu,
- Normal şartlarda üretilen örneklerin donatı gerilme değerleri ve aderans gerilmesi değerleri 0°C, -5°C ve -10°C'ye göre sırasıyla %6.5, %9 ve %56.5 daha büyük değerlerde olduğu görülmüştür.

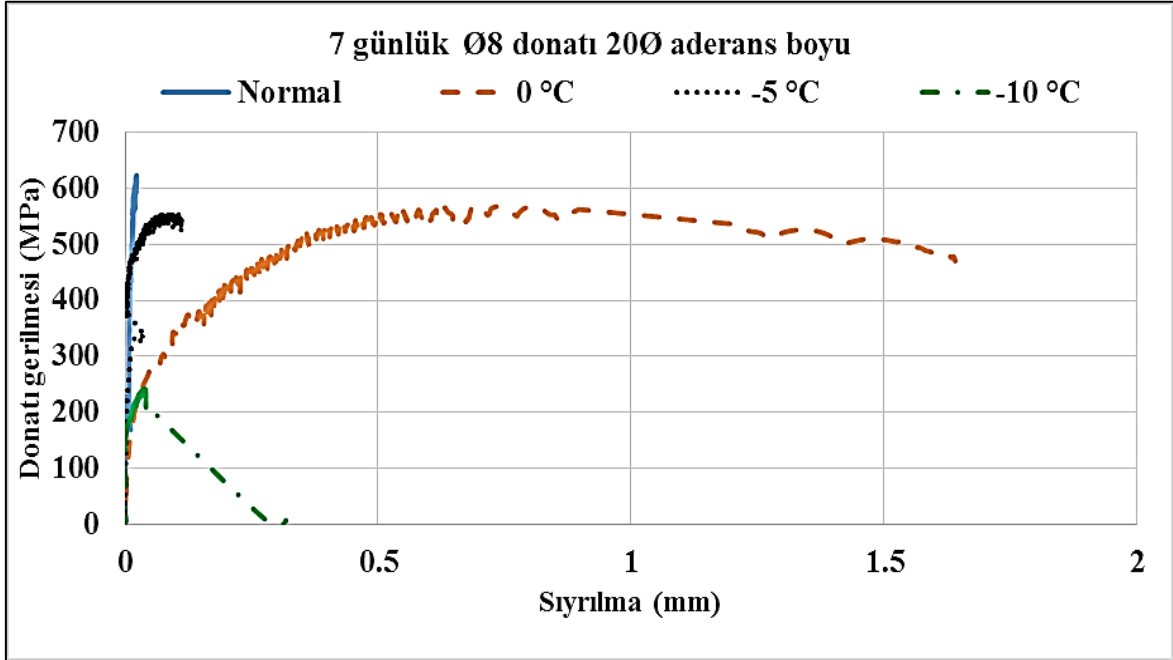


Şekil 3.2. Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø8 donatı çapında 10Ø aderans boyunda 7 günlük donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi

**20Ø aderans boyunda 7 günlük örneklerde donatı gerilmesi ve aderans gerilme değerlerine göre;**

- Normal şartlarda üretilen örneklerin 623 MPa ile en büyük (MG) donatı gerilme değerine ve 4.39 MPa ile en büyük ( $\tau$ ) aderans gerilmesine sahip olduğu,
- Taze halde -10°C maruz kalan örneklerin 243 MPa ile en küçük (MG) donatı gerilme değerine ve 1.52 MPa ile en küçük ( $\tau$ ) aderans gerilmesine sahip olduğu,

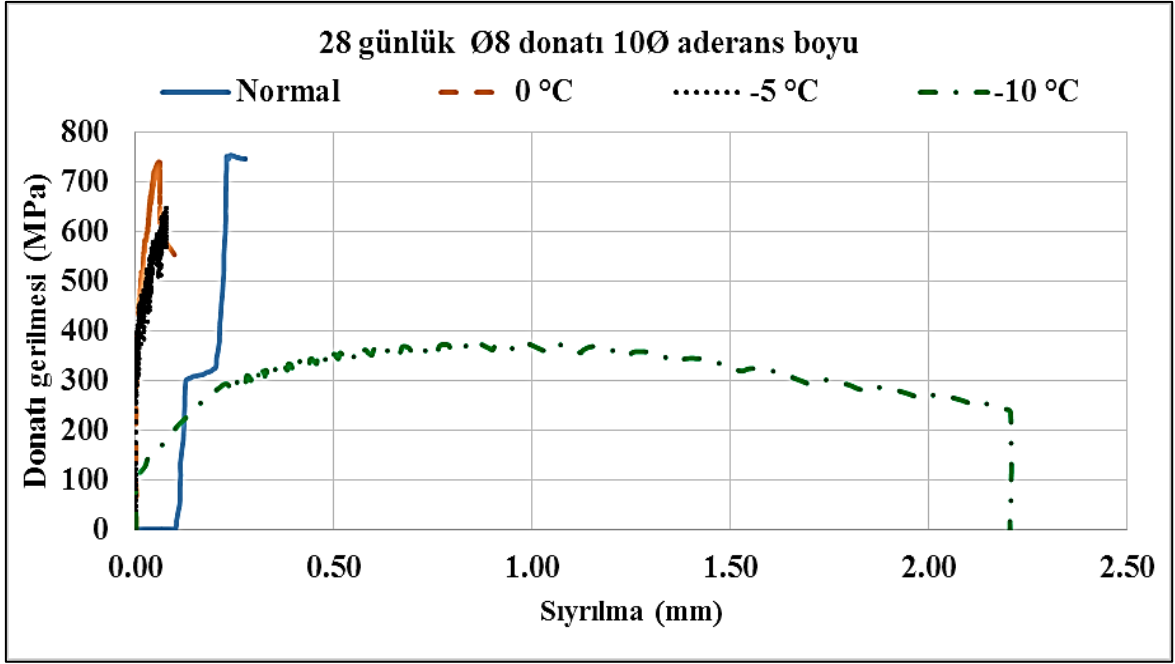
- Normal şartlarda üretilen örneklerin donatı gerilme değerleri ve aderans gerilmesi değerleri 0°C, -5°C ve -10°C'ye göre sırasıyla %8.7 %10.9 ve %61 daha büyük değerlerde olduğu görülmüştür.



Şekil 3.3. Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø8 donatı çapında 20Ø aderans boyunda 7 günlük donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi

**10Ø aderans boyunda 28 günlük örneklerde donatı gerilmesi ve aderans gerilme değerlerine göre;**

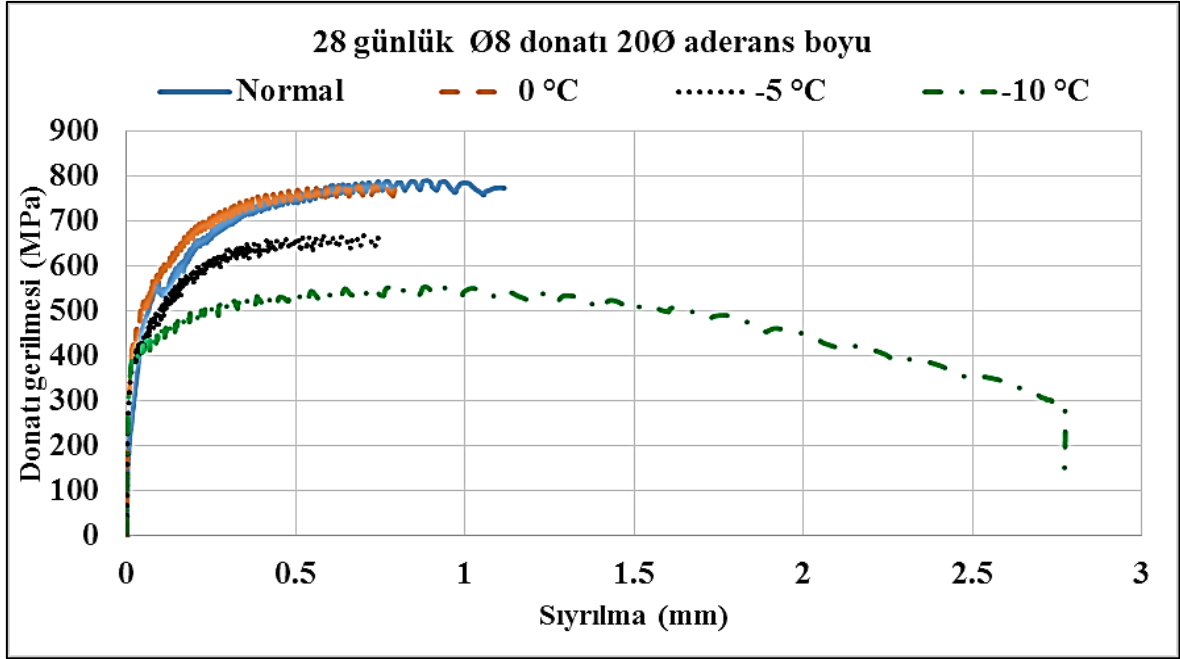
- Normal şartlarda üretilen örneklerin 754 MPa ile en büyük (MG) donatı gerilme değerine ve 9.42 MPa ile en büyük ( $\tau_u$ ) aderans gerilmesine sahip olduğu,
- Taze halde -10°C maruz kalan örneklerin 375 MPa ile en küçük (MG) donatı gerilme değerine ve 4.69 MPa ile en küçük ( $\tau_u$ ) aderans gerilmesine sahip olduğu,
- Normal şartlarda üretilen örneklerin donatı gerilme değerleri ve aderans gerilmesi değerleri 0°C, -5°C ve -10°C'ye göre sırasıyla %1.6, %13.8 ve %50.2 daha büyük değerlerde olduğu görülmüştür.



Şekil 3.4. Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø8 donatı çapında 10Ø aderans boyunda 28 günlük donatı gerilme-sıyırılma ilişkisi

*20Ø aderans boyunda 28 günlük örneklerde donatı gerilmesi ve aderans gerilme değerlerine göre;*

- Normal şartlarda üretilen örneklerin 791 MPa ile en büyük (MG) donatı gerilme değerine ve 4.95 MPa ile en büyük ( $\tau_u$ ) aderans gerilmesine sahip olduğu,
- Taze halde -10°C maruz kalan örneklerin 554 MPa ile en küçük (MG) donatı gerilme değerine ve 3.49 MPa ile en küçük ( $\tau_u$ ) aderans gerilmesine sahip olduğu,
- Normal şartlarda üretilen örneklerin donatı gerilme değerleri ve aderans gerilmesi değerleri 0°C, -5°C ve -10°C'ye göre sırasıyla %1.5 %15.6 ve %30 daha büyük değerlerde olduğu görülmüştür.



Şekil 3.5. Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø8 donatı çapında 20Ø aderans boyunda 28 günlük donatı gerilme-sıyırılma ilişkisi

Kiriş örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık ve Ø10 çapında 10Ø ve 20Ø kenetlenme boyundaki donatılara ait elde edilen veriler Tablo 3.3’de görülmektedir.

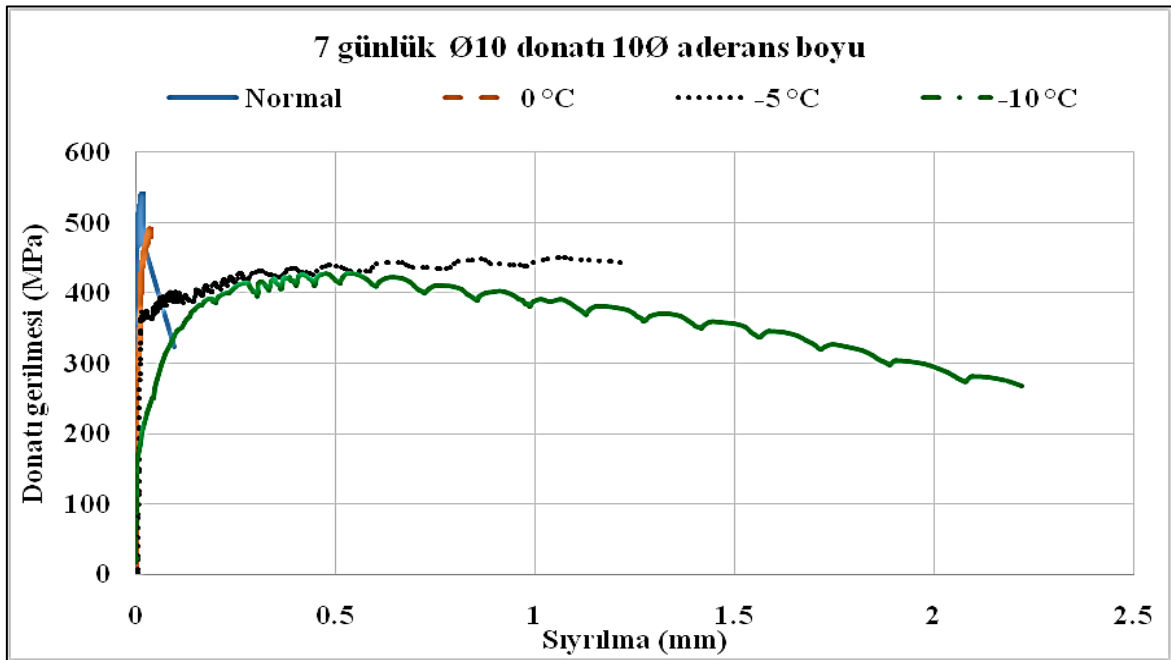
Tablo 3.3. Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø10 donatı çapında 10Ø ve 20Ø aderans boyunda 7 ve 28 günlük elde edilen bulgular

Numune kodu	Beton yaşı (gün)	MG (Mpa)	MGK (N)	$\tau_u$ (Mpa)	MG-S (mm)
N-7-Ø10-10Ø	7	541	42488	6.77	0.018
0C <sup>0</sup> -7-Ø10-10Ø	7	491	38578	6.14	0.034
(-5C <sup>0</sup> )-7-Ø10-10Ø	7	451	35415	5.64	1.073
(-10C <sup>0</sup> )-7-Ø10-10Ø	7	428	33611	5.35	0.476
N-7-Ø10-20Ø	7	647	50790	4.04	0.019
0C <sup>0</sup> -7-Ø10-20Ø	7	586	46037	3.67	0.367
(-5C <sup>0</sup> )-7-Ø10-20Ø	7	535	41975	3.34	0.120
(-10C <sup>0</sup> )-7-Ø10-20Ø	7	414	32486	2.59	0.058
N-28-Ø10-10Ø	28	705	55381	8.82	0.279
0C <sup>0</sup> -28-Ø10-10Ø	28	636	49957	7.95	0.258
(-5C <sup>0</sup> )-28-Ø10-10Ø	28	591	46368	7.38	0.828
(-10C <sup>0</sup> )-28-Ø10-10Ø	28	525	41235	6.57	0.683
N-28-Ø10-20Ø	28	808	63431	5.05	0.077
0C <sup>0</sup> -28-Ø10-20Ø	28	733	57506	4.58	0.100
(-5C <sup>0</sup> )-28-Ø10-20Ø	28	606	47537	3.78	0.037
(-10C <sup>0</sup> )-28-Ø10-20Ø	28	590	46344	3.69	0.192

Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø10 donatı çapında 10Ø ve 20Ø aderans boyunda 7 ve 28 günlük örneklerin değerlendirmesi aşağıda verilmiştir;

**10Ø aderans boyunda 7 günlük örneklerde donatı gerilmesi ve aderans gerilme değerlerine göre;**

- Normal şartlarda üretilen örneklerin 541 MPa ile en büyük (MG) donatı gerilme değerine ve 6.77 MPa ile en büyük ( $\tau$ ) aderans gerilmesine sahip olduğu,
- Taze halde -10°C maruz kalan örneklerin 428 MPa ile en küçük (MG) donatı gerilme değerine ve 5.35 MPa ile en küçük ( $\tau$ ) aderans gerilmesine sahip olduğu,
- Normal şartlarda üretilen örneklerin donatı gerilme değerleri ve aderans gerilmesi değerleri 0°C, -5°C ve -10°C'ye göre sırasıyla %9.2, %16.6 ve %20.9 daha büyük değerlerde olduğu görülmüştür.



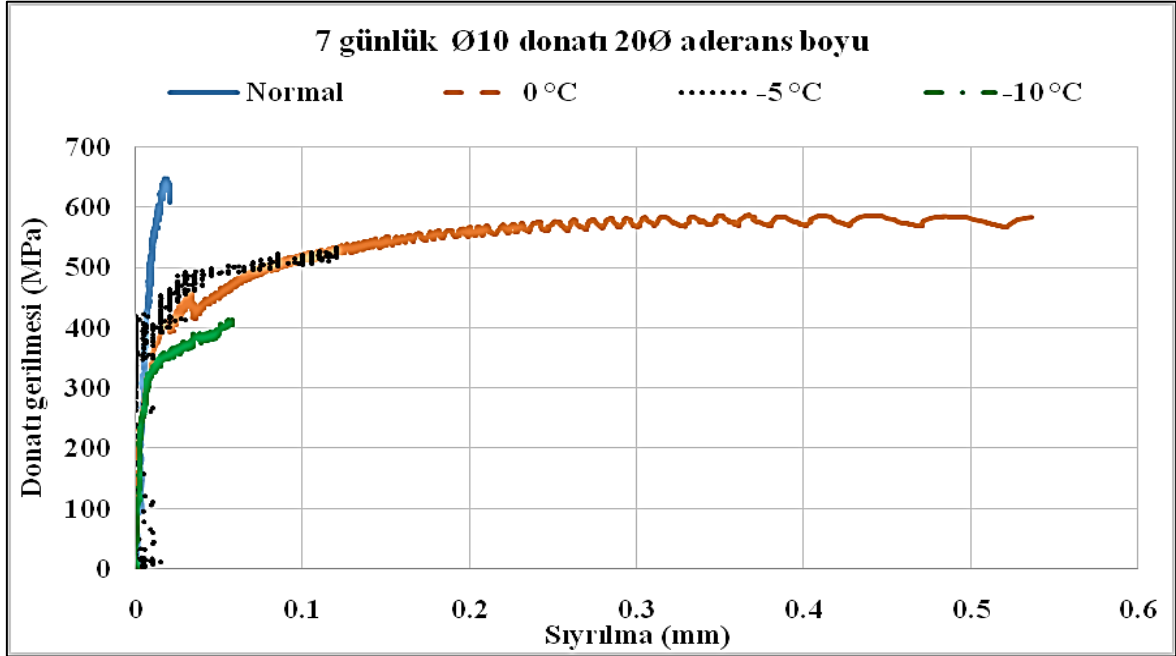
Şekil 3.6. Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø10 donatı çapında 10Ø aderans boyunda 7 günlük donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi

**20Ø aderans boyunda 7 günlük örneklerde donatı gerilmesi ve aderans gerilme değerlerine göre;**

- Normal şartlarda üretilen örneklerin 647 MPa ile en büyük (MG) donatı gerilme değerine ve 4.04 MPa ile en büyük ( $\tau$ ) aderans gerilmesine sahip olduğu,
- Taze halde -10°C maruz kalan örneklerin 414 MPa ile en küçük (MG) donatı gerilme değerine ve 2.59 MPa ile en küçük ( $\tau$ ) aderans gerilmesine sahip olduğu,



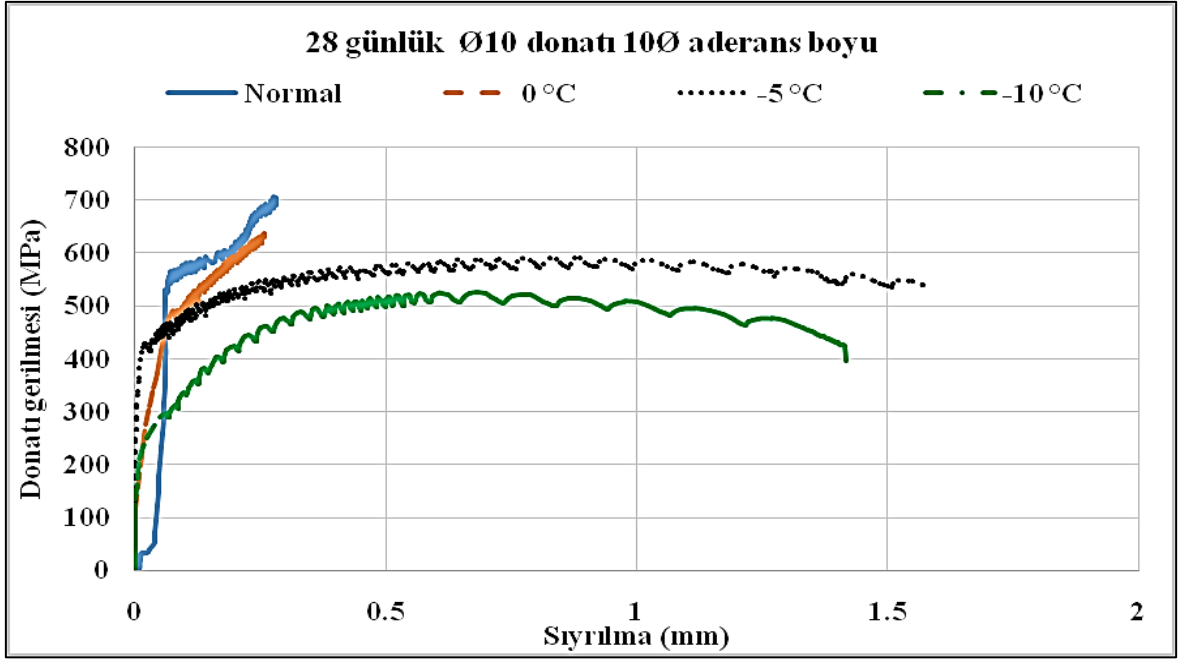
- Normal şartlarda üretilen örneklerin donatı gerilme değerleri ve aderans gerilmesi değerleri 0°C, -5°C ve -10°C'ye göre sırasıyla %9.4, %17.3 ve %36 daha büyük değerlerde olduğu görülmüştür.



Şekil 3.7. Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø10 donatı çapında 20Ø aderans boyunda 7 günlük donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi

**10Ø aderans boyunda 28 günlük örneklerde donatı gerilmesi ve aderans gerilme değerlerine göre;**

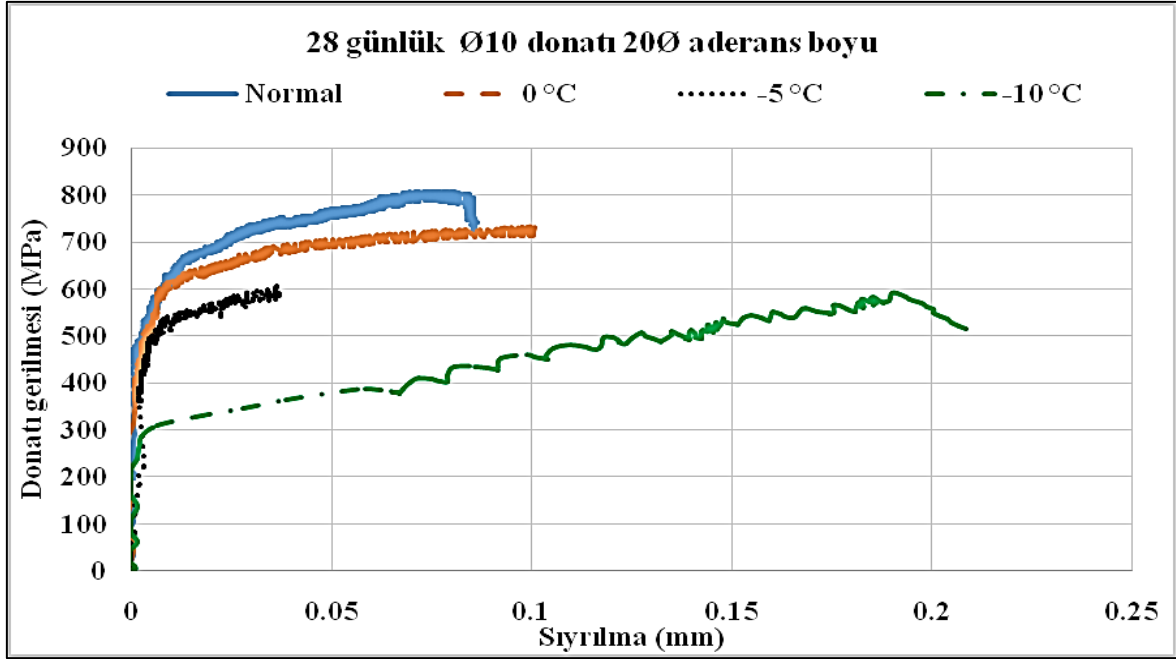
- Normal şartlarda üretilen örneklerin 705 MPa ile en büyük (MG) donatı gerilme değerine ve 8.82 MPa ile en büyük ( $\tau$ ) aderans gerilmesine sahip olduğu,
- Taze halde -10°C maruz kalan örneklerin 525 MPa ile en küçük (MG) donatı gerilme değerine ve 6.57 MPa ile en küçük ( $\tau$ ) aderans gerilmesine sahip olduğu,
- Normal şartlarda üretilen örneklerin donatı gerilme değerleri ve aderans gerilmesi değerleri 0°C, -5°C ve -10°C'ye göre sırasıyla %9.8, %16.2 ve %25.5 daha büyük değerlerde olduğu görülmüştür.



Şekil 3.8. Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø10 donatı çapında 10Ø aderans boyunda 28 günlük donatı gerilme-sıyırılma ilişkisi

**20Ø aderans boyunda 28 günlük örneklerde donatı gerilmesi ve aderans gerilme değerlerine göre;**

- Normal şartlarda üretilen örneklerin 808 MPa ile en büyük (MG) donatı gerilme değerine ve 5.05 MPa ile en büyük ( $\tau_u$ ) aderans gerilmesine sahip olduğu,
- Taze halde -10°C maruz kalan örneklerin 590 MPa ile en küçük (MG) donatı gerilme değerine ve 3.69 MPa ile en küçük ( $\tau_u$ ) aderans gerilmesine sahip olduğu,
- Normal şartlarda üretilen örneklerin donatı gerilme değerleri ve aderans gerilmesi değerleri 0°C, -5°C ve -10°C'ye göre sırasıyla %9.3, %25 ve %27 daha büyük değerlerde olduğu görülmüştür.



Şekil 3.9. Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø10 donatı çapında 20Ø aderans boyunda 28 günlük donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi

Kiriş örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık ve Ø12 çapında 10Ø ve 20Ø kenetlenme boyundaki donatılara ait elde edilen veriler Tablo 3.4’ de görülmektedir.

Tablo 3.4. Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø12 donatı çapında 10Ø ve 20Ø aderans boyunda 7 ve 28 günlük elde edilen bulgular

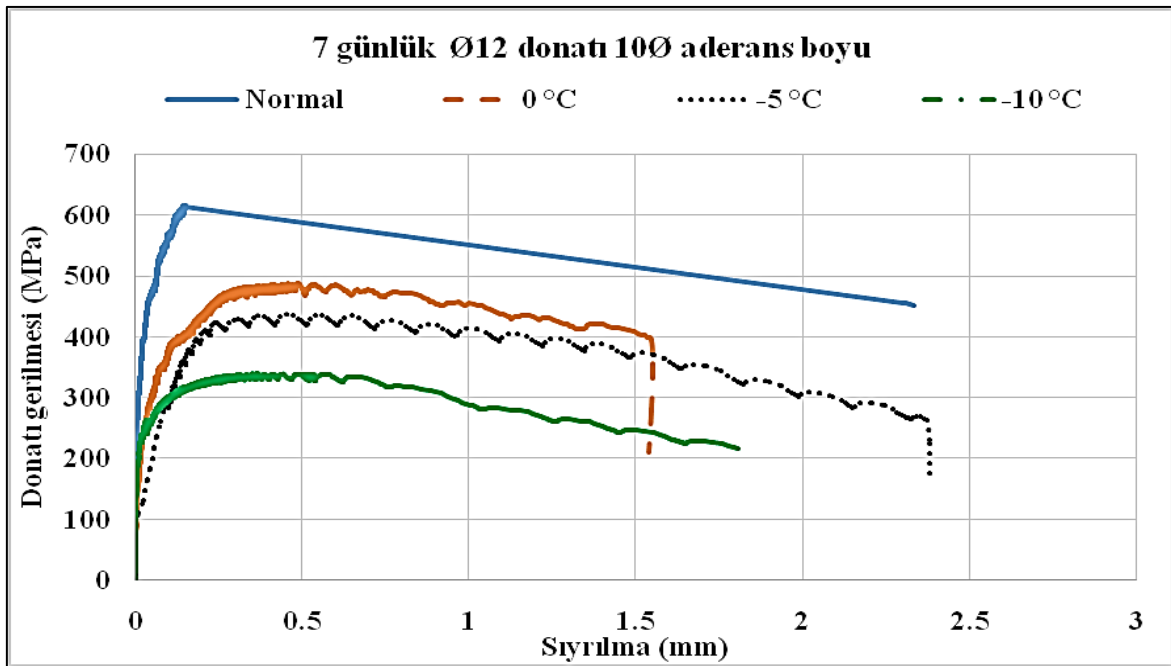
Numune kodu	Beton yaşı (gün)	MG (Mpa)	MGK (N)	$\tau_u$ (Mpa)	MG-S (mm)
N-7-Ø12-10Ø	7	616	69576	7.69	0.152
0C <sup>0</sup> -7-Ø12-10Ø	7	488	55163	6.10	0.485
(-5C <sup>0</sup> )-7-Ø12-10Ø	7	436	49273	5.45	0.454
(-10C <sup>0</sup> )-7-Ø12-10Ø	7	339	38364	4.24	0.367
N-7-Ø12-20Ø	7	752	84975	4.70	0.018
0C <sup>0</sup> -7-Ø12-20Ø	7	662	74778	4.13	0.026
(-5C <sup>0</sup> )-7-Ø12-20Ø	7	588	66471	3.68	0.039
(-10C <sup>0</sup> )-7-Ø12-20Ø	7	496	56075	3.10	0.764
N-28-Ø12-10Ø	28	629	71074	7.86	0.575
0C <sup>0</sup> -28-Ø12-10Ø	28	551	62305	6.89	0.695
(-5C <sup>0</sup> )-28-Ø12-10Ø	28	511	57754	6.39	0.102
(-10C <sup>0</sup> )-28-Ø12-10Ø	28	479	54139	5.99	0.611
N-28-Ø12-20Ø	28	814	92036	5.09	0.724
0C <sup>0</sup> -28-Ø12-20Ø	28	666	75239	4.16	0.155
(-5C <sup>0</sup> )-28-Ø12-20Ø	28	537	60679	3.35	0.534
(-10C <sup>0</sup> )-28-Ø12-20Ø	28	555	62760	3.47	0.377

Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø12 donatı çapında 10Ø ve 20Ø aderans boyunda 7 ve 28 günlük örneklerin değerlendirmesi aşağıda verilmiştir;

**10Ø aderans boyunda 7 günlük örneklerde donatı gerilmesi ve aderans gerilme değerlerine göre;**

- Normal şartlarda üretilen örneklerin 616 MPa ile en büyük (MG) donatı gerilme değerine ve 7.69 MPa ile en büyük ( $\tau$ ) aderans gerilmesine sahip olduğu,
- Taze halde -10°C maruz kalan örneklerin 339 MPa ile en küçük (MG) donatı gerilme değerine ve 4.24 MPa ile en küçük ( $\tau$ ) aderans gerilmesine sahip olduğu,
- Normal şartlarda üretilen örneklerin donatı gerilme değerleri ve aderans gerilmesi değerleri 0°C, -5°C ve -10°C'ye göre sırasıyla %20.7, %29.2 ve %44.9 daha büyük değerlerde olduğu görülmüştür.

Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø12 donatı çapında 10Ø aderans boyunda 7 günlük donatı gerilme-sıyırılma ilişkisini gösterir grafik Şekil 3.10'da görülmektedir.



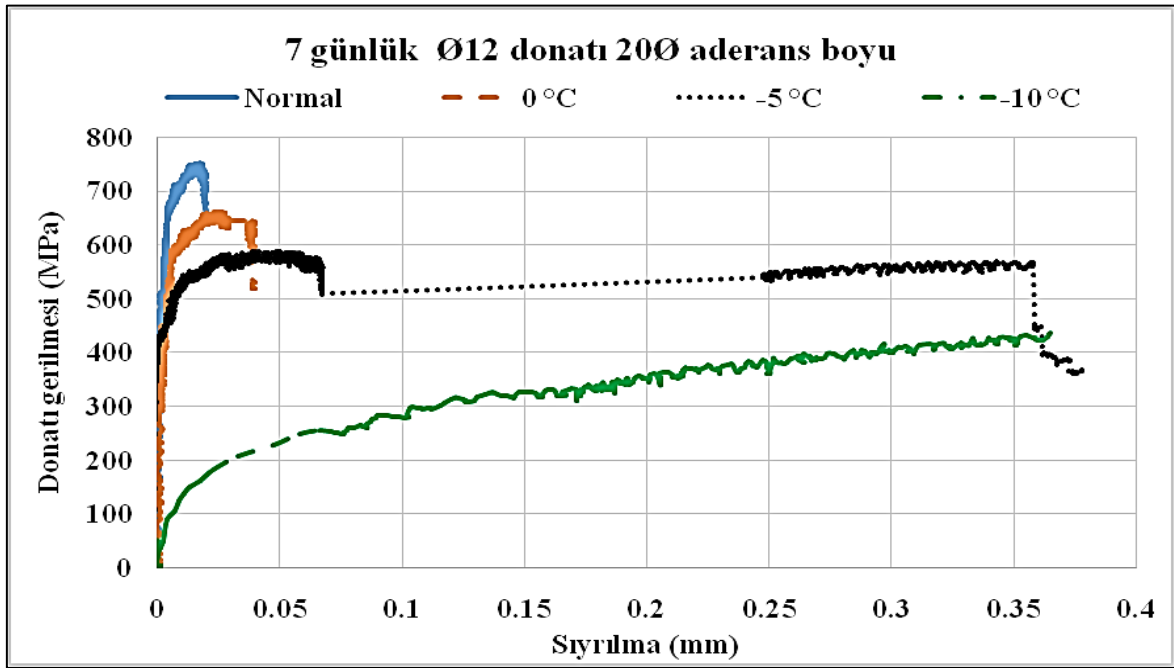
Şekil 3.10. Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø12 donatı çapında 10Ø aderans boyunda 7 günlük donatı gerilme-sıyırılma ilişkisi

**20Ø aderans boyunda 7 günlük örneklerde donatı gerilmesi ve aderans gerilme değerlerine göre;**

- Normal şartlarda üretilen örneklerin 752 MPa ile en büyük (MG) donatı gerilme değerine ve 4.70 MPa ile en büyük ( $\tau$ ) aderans gerilmesine sahip olduğu,

- Taze halde  $-10^{\circ}\text{C}$  maruz kalan örneklerin 496 MPa ile en küçük (MG) donatı gerilme değerine ve 3.10 MPa ile en küçük ( $\tau_u$ ) aderans gerilmesine sahip olduğu,
- Normal şartlarda üretilen örneklerin donatı gerilme değerleri ve aderans gerilmesi değerleri  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $-5^{\circ}\text{C}$  ve  $-10^{\circ}\text{C}$ 'ye göre sırasıyla %12, %21.8 ve %34 daha büyük değerlerde olduğu görülmüştür.

Taze halde farklı sıcaklıklara maruz  $\varnothing 12$  donatı çapında 20Ø aderans boyunda 7 günlük donatı gerilme-sıyrılma ilişkisini gösterir grafik Şekil 3.11'de görülmektedir.

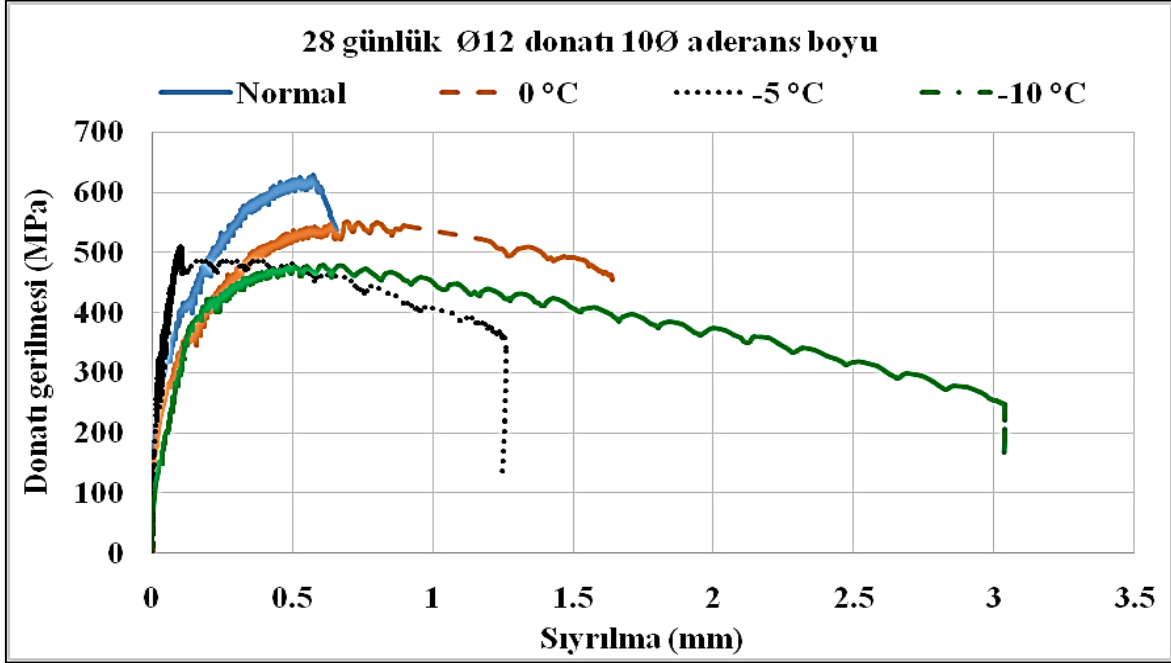


Şekil 3.11. Taze halde farklı sıcaklıklara maruz  $\varnothing 12$  donatı çapında 20Ø aderans boyunda 7 günlük donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi

**10Ø aderans boyunda 28 günlük örneklerde donatı gerilmesi ve aderans gerilme değerlerine göre;**

- Normal şartlarda üretilen örneklerin 629 MPa ile en büyük (MG) donatı gerilme değerine ve 7.86 MPa ile en büyük ( $\tau_u$ ) aderans gerilmesine sahip olduğu,
- Taze halde  $-10^{\circ}\text{C}$  maruz kalan örneklerin 479 MPa ile en küçük (MG) donatı gerilme değerine ve 5.99 MPa ile en küçük ( $\tau_u$ ) aderans gerilmesine sahip olduğu,
- Normal şartlarda üretilen örneklerin donatı gerilme değerleri ve aderans gerilmesi değerleri  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $-5^{\circ}\text{C}$  ve  $-10^{\circ}\text{C}$  göre sırasıyla %12.3, %18.7 ve %23.8 daha büyük değerlerde olduğu görülmüştür.

Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø12 donatı çapında 10Ø aderans boyunda 28 günlük donatı gerilme-sıyırılma ilişkisini gösterir grafik Şekil 3.12’ de görülmektedir.

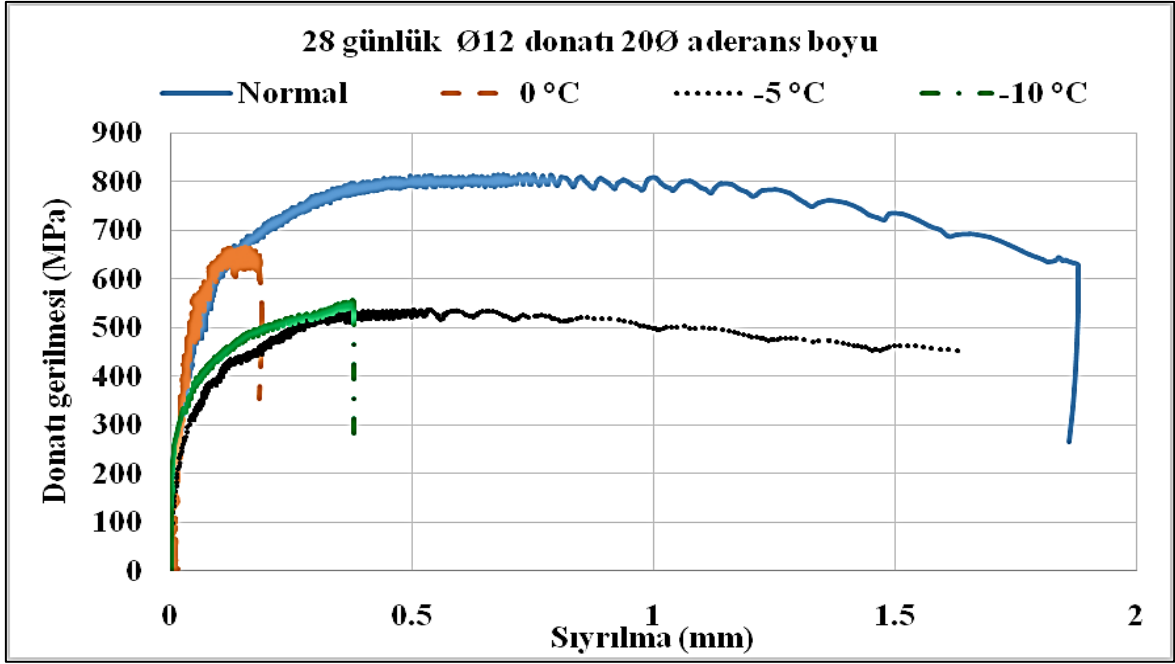


Şekil 3.12. Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø12 donatı çapında 10Ø aderans boyunda 28 günlük donatı gerilme-sıyırılma ilişkisi

**20Ø aderans boyunda 28 günlük örneklerde donatı gerilmesi ve aderans gerilme değerlerine göre;**

- Normal şartlarda üretilen örneklerin 814 MPa ile en büyük (MG) donatı gerilme değerine ve 5.09 MPa ile en büyük ( $\tau$ ) aderans gerilmesine sahip olduğu,
- Taze halde -10°C maruz kalan örneklerin 555 MPa ile en küçük (MG) donatı gerilme değerine ve 3.47 MPa ile en küçük ( $\tau$ ) aderans gerilmesine sahip olduğu,
- Normal şartlarda üretilen örneklerin donatı gerilme değerleri ve aderans gerilmesi değerleri 0°C, -5°C ve -10°C'ye göre sırasıyla %18.3, %34.1 ve %31.8 daha büyük değerlerde olduğu görülmüştür.

Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø12 donatı çapında 10Ø aderans boyunda 28 günlük donatı gerilme-sıyırılma ilişkisini gösterir grafik Şekil 3.13’de görülmektedir.



Şekil 3.13. Taze halde farklı sıcaklıklara maruz Ø12 donatı çapında 20Ø aderans boyunda 28 günlük donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi

#### 4. SONUÇLAR

Betonarme yapıları oluşturan Beton ve betonarme çeliği bir arada kullanıldığında günümüz teknolojisiyle üretilen birçok yapının taşıyıcı sistemini oluşturmaktadır. Betonarme elemanların beklenen performansı göstermesi beton ve betonarme çeliğinin özellikleriyle doğrudan ilişkilidir. Bunun yanında hesaplamalarda kusursuz bir şekilde beraber çalıştığı varsayılan beton ve betonarme çeliği arasındaki bağ olan aderansın kalitesi betonarme elemanların performansını etkilemektedir.

Beton ve betonarme elemanların üretiminde normal hava şartlarından farklı olarak hava ısı değerlerinin düşük derecelerde veya yüksek sıcaklık değerlerinde olması durumunda tedbir alınması standartlarda belirtilmektedir.

Kiriş örneklerin üretiminde kullanılan betonların taze halde soğuk havaya maruz kalması halinde basınç dayanımında kayıpların olduğu belirlenmiştir. Çalışmada, Laboratuvar şartlarında üretilen beton örneklerin basınç dayanımının soğuk havaya maruz beton örneklere göre daha büyük değer aldığı görülmüştür. Isı değerinin düşmesi ile basınç dayanımında betonun erken yaşlarında %38, nihai dayanımında %30'dan daha fazla basınç dayanımında kayıp görülmüştür.

Betonarme elemanlardaki beton ve donatı arasındaki aderans bu elemanların üretiminde maruz kaldığı şartlara bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Bu çalışma kapsamında da betonarme elemanların taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine bağlı olarak aderans gerilmesinde ki değişim ortaya konmuştur.

Mafsallı kiriş deneyine tabi tutulacak Ø8, Ø10 ve Ø12 donatı çaplarında aderans donatıları olan kiriş örneklerin erken yaş 7 günlük değerlendirmesi aşağıda yapılmıştır.

***Normal şartlarda üretilen beton kirişlerin taze halde 0°C ye maruz kirişlere göre donatı gerilmesi ve aderans gerilmelerinde;***

- Ø8 donatı çapında 10Ø aderans boyunda ortalama %6 ve 20Ø aderans boyunda ise ortalama %9 oranında kayıp olduğu görülmüştür.
- Ø10 donatı çapında 10Ø aderans boyunda ortalama %9.2 ve 20Ø aderans boyunda ise ortalama %9.4 oranında kayıp olduğu görülmüştür.



- Ø12 donatı çapında 10Ø aderans boyunda ortalama %20 ve 20Ø aderans boyunda ise ortalama %12 oranında kayıp olduğu görülmüştür.

***Normal şartlarda üretilen beton kirişlerin taze halde -5°C ye maruz kirişlere göre donatı gerilmesi ve aderans gerilmelerinde;***

- Ø8 donatı çapında 10Ø aderans boyunda ortalama %9 ve 20Ø aderans boyunda ise ortalama %10 oranında kayıp olduğu görülmüştür.
- Ø10 donatı çapında 10Ø aderans boyunda ortalama %16 ve 20Ø aderans boyunda ise ortalama %17 oranında kayıp olduğu görülmüştür.
- Ø12 donatı çapında 10Ø aderans boyunda ortalama %29 ve 20Ø aderans boyunda ise ortalama %21 oranında kayıp olduğu görülmüştür.

***Normal şartlarda üretilen beton kirişlerin taze halde -10°C ye maruz kirişlere göre donatı gerilmesi ve aderans gerilmelerinde;***

- Ø8 donatı çapında 10Ø aderans boyunda ortalama %56 ve 20Ø aderans boyunda ise ortalama %61 oranında kayıp olduğu görülmüştür.
- Ø10 donatı çapında 10Ø aderans boyunda ortalama %20 ve 20Ø aderans boyunda ise ortalama %36 oranında kayıp olduğu görülmüştür.
- Ø12 donatı çapında 10Ø aderans boyunda ortalama %45 ve 20Ø aderans boyunda ise ortalama %34 oranında kayıp olduğu görülmüştür.

28 günlük kiriş örneklerin donatı gerilmesi ve aderans gerilmesi değerlendirilmesinde ise;

***Normal şartlarda üretilen beton kirişlerin taze halde 0°C ye maruz kirişlere göre donatı gerilmesi ve aderans gerilmelerinde;***

- Ø8 donatı çapında 10Ø aderans boyunda ortalama %1.5 ve 20Ø aderans boyunda ise ortalama %1.5 oranında kayıp olduğu görülmüştür.
- Ø10 donatı çapında 10Ø aderans boyunda ortalama %9.8 ve 20Ø aderans boyunda ise ortalama %9.3 oranında kayıp olduğu görülmüştür.
- Ø12 donatı çapında 10Ø aderans boyunda ortalama %12 ve 20Ø aderans boyunda ise ortalama %18 oranında kayıp olduğu görülmüştür.

***Normal şartlarda üretilen beton kirişlerin taze halde -5°C ye maruz kirişlere göre donatı gerilmesi ve aderans gerilmelerinde;***

- Ø8 donatı çapında 10Ø aderans boyunda ortalama %13 ve 20Ø aderans boyunda ise ortalama %15 oranında kayıp olduğu görülmüştür.

- Ø10 donatı çapında 10Ø aderans boyunda ortalama %16 ve 20Ø aderans boyunda ise ortalama %25 oranında kayıp olduğu görülmüştür.
- Ø12 donatı çapında 10Ø aderans boyunda ortalama %18 ve 20Ø aderans boyunda ise ortalama %34 oranında kayıp olduğu görülmüştür.

***Normal şartlarda üretilen beton kirişlerin taze halde -10°C ye maruz kırıslara göre donatı gerilmesi ve aderans gerilmelerinde;***

- Ø8 donatı çapında 10Ø aderans boyunda ortalama %50 ve 20Ø aderans boyunda ise ortalama %30 oranında kayıp olduğu görülmüştür.
- Ø10 donatı çapında 10Ø aderans boyunda ortalama %25 ve 20Ø aderans boyunda ise ortalama %27 oranında kayıp olduğu görülmüştür.
- Ø12 donatı çapında 10Ø aderans boyunda ortalama %24 ve 20Ø aderans boyunda ise ortalama %32 oranında kayıp olduğu görülmüştür.

Beton ve betonarme elemanlar üretilirken taze halde soğuk havaya maruz kalması durumunda basınç dayanımında ve donatı aderansında önemli oranda kayıpların olduğu görülmüştür. Üretimde betonarme elemanlarda çimentonun prizini tamamlayıncaya kadar korunması önem arz etmektedir. Bu gibi durumlarda ya betonun ısıtılarak soğuk havadan etkilenmesinin önlenmesi ya da soğuk havalarda beton dökülmeye imkân veren antifriz katkılarının kullanımı önerilmektedir.

İleride yapılması düşünülen çalışmalarda farklı mekanik özelliklere sahip cam elyaf, aramid, bazalt ve karbon lifli donatılarla ve farklı yüzey özellikli (helisel sargılı ve kumlama) donatıların soğuk havaya maruz kalmaları durumunda aderans gerilmelerindeki değişimlerin incelenmesi önerilmektedir.

## 5. KAYNAKLAR

- Aka, İ., Keskinel, F. ve Arda, T. S., 1996, Betonarmeye Giriş, 9. Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Arda, T. S., 1968, Betonarmede Aderans Konusunda Bir Derleme, 1. Baskı, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul.
- Arel, H. Ş., 2012, “Değişik Parametlerin Beton ile Çelik Donatı Aderansına Etkisi”, Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Arslan, M.E., 2007, Eğilmede Taşıyıcı Hafif Beton-Donatı Aderansının Geleneksel Beton-Donatı Aderansı ile Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Arslan, T., 2017, Beton Dayanımı ve Kenetlenme Boyunun Beton-Donatı Aderansına Etkisinin Mafsallı Kiriş Deneyi ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Beycioğlu, A., 2013, “Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Beton ile Donatı Aderansı İlişkisinin Araştırılması”, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Bingöl, A. F. ve Gül, R., 2009, “Donatı-beton aderansı, yüksek sıcaklıkların beton dayanımına ve aderansına etkileri konusunda bir derleme”, *TÜBAV Bilim Dergisi*, s210-230.
- Dahil, H., 2001, Yüksek Performanslı Beton-Donatı Aderansının Geleneksel Beton-Donatı Aderansı ile Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Duran, A., 2008, “Betonarme Donatısında Aderans ve Yorulma”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.
- El-Hawary, M. M., 1999, Evaluation of Bond Strength of Epoxy-Coated Bars in Concrete Exposed to Marine Environment, *Construction and Building Materials* s357-362.
- Erdoğan, T.Y., 2007. Beton, METU Yayınları, Ankara.
- Ersoy U. ve Özcebe, G., 2001, “Betonarme : Temel İlkeler TS-500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine göre Hesap” ,Genişletilmiş Yeni Baskı”, İstanbul, Türkiye, Evrim Yayınevi.
- Ersoy U., Karaesmer E. ve Yaltkaya, E., 1969, Nervürlü Tor Çeliklerin Özellikleri, Ankara.

- Fang, C., Gylltoft, K., Lundgren, K. ve Plos, M., 2006, Effect of Corrosion on Bond in Reinforced Concrete Under Cyclic Loading, Cement and Concrete Research, s548–555.
- Haddad, R. H. ve Shannis, L. G., 2004, Post-Fire Behavior of Bond Between High Strength Pozzolanic Concrete and Reinforcing Steel, Construction and Building Materials, s 425–435.
- Haddad, R. H. ve Abende, R. M., 2004, Effect of Thermal Cycling on Bond Between Reinforcement and Fiber Reinforced Concrete, Cement & Concrete Composites p743–752.
- Hamad, B. S. ve Mike, J. A., 2005, Bond Strength of Hot-Dip Galvanized Reinforcement in Normal Strength Concrete Structures, Construction and Building Materials, s275–283.
- Ichinose, T., Kanayama, Y., Inoue, Y. ve Bolander, J.E., 2004, Size Effect on Bond Strength of Deformed Bars, Construction and Building Materials, s 549–558.
- Karagöl, F., 2013, Antifriz Katkılarının Soğuk Havada Dökülen Beton Özelliklerine Etkileri, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Tongarlak, İ., 2018, Polipropilen Liflerin Beton Ve Donatı Arasındaki Aderansa Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, KTO Karatay Üniversitesi, Konya.
- TS EN 934-2, Kimyasal Katkılar - Beton, harç ve şerbet için, TSE, Ankara, 2002.
- URL-1,  
[https://www.ukcares.com/downloads/general/Expanded\\_Training\\_Steel\\_Supply\\_2007.pdf](https://www.ukcares.com/downloads/general/Expanded_Training_Steel_Supply_2007.pdf) 11 Mayıs 2019
- Wang, X. ve Liu, X., 2006, Bond Strength Modeling for Corroded Reinforcements, Construction and Building Materials, s177–186.
- Xiao, J. ve Falkner, H., 2005, Bond Behaviour Between Recycled Aggregate Concrete and Steel Rebars, Construction and Building Materials.
- Yeih, W., Chang, J.J. ve Tsai, C.L., 2004, Enhancement of the Bond Strength of Epoxy Coated Steel by the Addition of Fly Ash, Cement & Concrete Composites, s315–321.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Besim Osman YALÇIN, 18.06.1992 yılında Gümüşhane İlinde doğdu. Lise eğitimine 2006 yılında Gümüşhane Mareşal Çakmak Anadolu Öğretmen Lisesinde başlayıp, 2010 yılında tamamlamıştır. Üniversite eğitimine 2011 yılında başlayıp, 2015 yılında Gümüşhane Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. 2015 yılında çeşitli projelerde çalıştıktan sonra aynı yıl içerisinde vatani görevini tamamlamıştır. Ardından 2018 yılında Gümüşhane Belediye Başkanlığı, İmar ve Şehircilik Müdürlüğü'nde İnşaat Mühendisi olarak çalışmaya başlamış ve halen bu görevine devam etmektedir. 2016 yılında başladığı Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'ndaki Yüksek Lisans eğitimine halen devam etmektedir. Yabancı dili İngilizcedir.