



**KTO KARATAY ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**KESME BÖLGESİNDEKİ SOĞUK DERZİN KİRİŞLERİN TASARIM
KAPASİTESİNE ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

Hediye GÜZ

Yüksek Lisans Tezi

**KONYA
Aralık 2021**

KESME BÖLGESİNDEKİ SOĞUK DERZİN KİRİŞLERİN TASARIM
KAPASİTESİNE ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Hediye GÜZ

KTO Karatay Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Tezli Yüksek Lisans Programı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi S. Kamil AKIN

Konya
Aralık 2021

BİLDİRİM

Enstitü tarafından onaylanan Yüksek Lisans tezimin tamamını veya herhangi bir kısmını basılı veya dijital biçimde arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullar dahilinde erişime açma iznini KTO Karatay Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle, Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak ve gelecekteki çalışmalar (makale, kitap, lisans, patent vb.) için tezimin tamamının veya bir bölümünün kullanım hakları yalnızca bana ait olacaktır.

Tezimin bütünüyle kendi çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izinle kullanılması zorunlu olan kaynakları, yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde izinlerin suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayımlanan “Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge” kapsamında, tezim, aşağıda belirtilen koşullar haricince, YÖK Ulusal Tez Merkezi ve KTO Karatay Üniversitesi Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

Enstitü / Fakülte Yönetim Kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.¹

Enstitü / Fakülte Yönetim Kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren ... ay ertelenmiştir.²

Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir.³⁴

23 Aralık 2021

Hediye GÜZ

¹ MADDE 6(1) Lisansüstü teze ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulu iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.

² MADDE 6(2) Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internette paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.

³ MADDE 7(1) Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, tezin yapıldığı kurum tarafından verilir. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, ilgili kurum ve kuruluşun önerisi ile enstitü veya fakültenin uygun görüşü üzerine üniversite yönetim kurulu tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.

⁴ MADDE 7(2) Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir.

ETİK BEYAN

KTO Karatay Üniversitesi Lisansüstü Enstitüsü Tez Hazırlama ve Yazım Kurallarına uygun olarak Dr. Öğr. Üyesi S. Kamil AKIN danışmanlığında tarafımdan üretilen bu tez çalışmasında; sunduğum tüm veri, enformasyon, bilgi ve belgeleri bilimsel etik kuralları çerçevesinde elde ettiğimi, tüm değerlendirme, analiz, bulgu ve sonuçları bilimsel usullere uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım kaynakların tümüne bilimsel normlara uygun biçimde atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, tezimin kaynak gösterilen durumlar dışında özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarımı kabullendiğimi beyan ederim.

23 Aralık 2021

Hediye GÜZ

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam surecinde ilgi ve yardımlarını benden esirgemeyen, değerli katkılarda bulunarak beni yönlendiren, lisans eğitiminde derslerini ilgiyle dinlediğim, yüksek lisans ta alıőma Őansı bulduğum değerli hocam, danıőmanım Dr. Öğr. Üyesi Süleyman Kamil AKIN'a teőekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Laboratuvar alıőmaları boyunca yardımlarını esirgemeyen Arő. Gör. Abdullah MÜSEVİTOğLU'na, KTO Karatay Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü yapı laboratuvarı görevlisi İnşaat Teknikeri Rıza ELVAN'a ve ayrıca deneylerde yardımcı olan bitirme lisans öğrencilerine teşekkür ederim.

Yaőamım boyunca bana her zaman inanan ve güvenen yüksek lisansa baőlamama vesile olan canım annem Hatice GÜZ'e, ilgisini ve desteğini benden esirgemeyen babam Seyit GÜZ'e, attığım her adımda beni cesaretlendiren kardeőim Tarık GÜZ'e, tez yazımında beni sürekli motive eden kuzenim Hilal SEMERCİ'ye sonsuz teşekkür ederim.

23 Aralık 2021

Hediye GÜZ

ÖZET

Hediye GÜZ

Kesme Bölgesindeki Soğuk Derzin Kirişlerin Tasarım Kapasitesine Etkisinin Deneysel

Olarak Araştırılması

Yüksek Lisans Tezi

Konya, 2021

Betonarme taşıyıcı elemanların yapım aşamasında beton dökümünün kolon kiriş gibi birbiriyle bağlantılı yapı elemanlarının tek parça halinde yapılması ya da dökülmesi gerekmektedir. Fakat çeşitli aksaklıklardan dolayı beton dökümünün yarım kaldığı durumlarda soğuk derz denilen ek yerleri meydana gelmektedir. Soğuk derz, betonun farklı zamanlarda dökümünün gerçekleşmesinden dolayı beton ara yüzünde aderans zayıflığının oluşmasına sebep olan bir imalat hatasıdır. Betonarme yapılarda meydana gelen bu soğuk derz yerlerinde oluşacak davranışın belirlenmesi önemlidir. Bu çalışmada, kesme bölgesindeki soğuk derzin kirişlerin tasarım kapasitesine etkisinin deneysel olarak araştırılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan deneysel çalışmada sekiz adet dikdörtgen kesitli betonarme kirişe iki noktadan tekil yük uygulanarak, kirişlerin eğilme altındaki davranışları incelenmiştir. Bu doğrultuda toplamda iki adet referans numuneleriyle birlikte sekiz adet C20/25 beton sınıfında 150x300x3000 mm olmak üzere, farklı derz açısına ve derz yüzeyine uygulanan ilave donatıya sahip kiriş numuneleri laboratuvarında hazırlanmıştır. Hazırlanan kirişlere dört noktalı eğilme deneyi uygulanmıştır. Yük ve deplasman değerleri incelenerek farklı derz açısına ve derz yüzeyine uygulanan ilave donatıya sahip soğuk derzin kirişlerin davranışına olan etkisi karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler

Soğuk derz, beton, kiriş, dört noktalı eğilme deneyi

ABSTRACT

Hediye GÜZ

Experimental Investigation of the Effect of Cold Joint on the Design Capacity of Beams
in the Shear Zone

Master's Thesis

Konya, 2021

During the construction phase of reinforced concrete load-bearing elements, concrete casting must be done or poured in one piece of interconnected structural elements such as column beams. However, in cases where the concrete pouring is left unfinished due to various problems, joints called cold joints occur. Cold joint is a manufacturing defect that causes adherence weakness at the concrete interface due to the pouring of concrete at different times. It is important to determine the behavior that will occur in these cold joints in reinforced concrete structures. In this study, it is aimed to experimentally investigate the effect of cold joint on the design capacity of beams in the shear zone. In the experimental study, a single load was applied to eight rectangular reinforced concrete beams from two points, and the behavior of the beams under bending was investigated. In this direction, together with two reference samples in total, eight beam samples of 150x300x3000 mm in C20/25 concrete class, with different joint angles and additional reinforcement applied to the joint surface, were prepared in the laboratory. A four-point bending test was applied to the prepared beams. By examining the load and displacement values, the effect of cold joint with different joint angle and additional reinforcement applied to the joint surface on the behavior of the beams was compared.

Keywords

Cold joint, concrete, beam, four-point bending test

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
BİLDİRİM	ii
ETİK BEYAN.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET	v
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
SİMGELER DİZİNİ	xii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	2
3. SOĞUK DERZ	14
4. MATERYAL VE YÖNTEM	17
4.1. Malzemeler.....	17
4.1.1. Beton.....	17
4.1.2. Nervürlü inşaat demiri	17
4.2. Yöntem	18
4.2.1. Deney elemanlarının tasarımı	18
4.2.2. Deney numunelerinin hazırlanması	21
4.2.3. Malzeme dayanımları	24
4.2.4. Deney programı	25
5. BULGULAR.....	27
5.1. Betonarme Referans Kiriş-1 (Ref-1 Confined)	27
5.2. Betonarme Referans Kiriş-2 (Ref -2 Unconfined)	29
5.3. Soğuk derzli takviyeli betonarme kiriş-1 (CJ90R).....	32
5.4. Soğuk derzli betonarme kiriş-1 (CJ90)	34
5.5. Soğuk derzli takviyeli betonarme kiriş-2 (CJ45R).....	37
5.6. Soğuk derzli betonarme kiriş-2 (CJ45)	39
5.7. Soğuk derzli takviyeli betonarme kiriş-3 (CJ0R).....	42
5.8. Soğuk derzli betonarme kiriş-3 (CJ0)	44

5.9. Deney elemanlarının yük ve sehim değerlerine göre karşılaştırılması.....	47
6. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	51
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	58
KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	64

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Beton dayanım sonuçları	24
Tablo 2. Donatı dayanım sonuçları	24
Tablo 3. Kirişlerin süneklik değerleri	55
Tablo 4. Kirişlerin yük, deplasman ve rijitlik değerleri	56
Tablo 5. Kirişlerin enerji tüketme kapasitesi değerleri	57

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Kolon-kiriş birleşim bölgesinde bırakılan soğuk derz (Roy and Laskar, 2017)	15
Şekil 2. Beton dökümünde ek yerler (Baştan, 2012)	16
Şekil 3. Betonarme Referans Kiriş-1 donatı düzeni	18
Şekil 4. Betonarme Referans Kiriş-2 donatı düzeni	19
Şekil 5. Betonarme Referans Kiriş-1 numunesinin (a) izometrik görünümü (b) yan görünümü (c) ön görünümü	19
Şekil 6.90°, 45° ve 0° açılarda soğuk derzli kiriş elemanlarının tasarımı	20
Şekil 9. Kiriş kalıpları (a) hazırlanma aşaması (b) tamamlanmış hali	22
Şekil 10. Kiriş donatıları (a) hazırlanma aşaması (b) tamamlanmış hali	22
Şekil 11. Beton dökümü (a) hazır olan numune kirişler (b) döküm aşaması	23
Şekil 12. Soğuk derzli numuneler (a) ilk döküm sonrası (b) ikinci döküm aşaması	23
Şekil 13. Deney düzeneği	26
Şekil 14. Ref-1 Confined kirişi yük-deplasman grafiği	28
Şekil 15. Ref-1 Confined kiriş numunesinin yükleme anında çatlak oluşumu	28
Şekil 16. Ref-1 Confined kiriş numunesinde (a) çatlak genişliği (b) basınç derinliği yüksekliği	29
Şekil 17. Deney sonrası Betonarme Ref-1 Confined kiriş deney elemanı	29
Şekil 18. Ref-2(Unconfined) kirişi yük-deplasman grafiği	30
Şekil 19. Ref-2(Unconfined) kiriş numunesi yükleme anında çatlak oluşumu	31
Şekil 20. Ref-2(Unconfined) kiriş numunesi çatlak genişliği	31
Şekil 21. Deney sonrası Ref-2(Unconfined) kiriş deney elemanı	31
Şekil 22. CJ90R kirişi yük-deplasman grafiği	33
Şekil 23. CJ90R kiriş numunesi	33
Şekil 24. CJ90R kirişi yükleme anında çatlak oluşumu	34
Şekil 25. Deney sonrası CJ90R kiriş deney elemanı	34
Şekil 26. CJ90 kirişi yük-deplasman grafiği	35
Şekil 27. CJ90 kirişi yükleme anında çatlama durumu	36
Şekil 28. CJ90 kirişi derz yüzeyi çatlak durumu	36
Şekil 29. Deney sonrası CJ90 kirişi deney elemanı	36
Şekil 30. CJ45R kirişi yük-deplasman grafiği	38
Şekil 31. CJ45R kirişi yükleme anında çatlama durumu	38
Şekil 32. CJ45R kirişi soğuk derz düzlemi başlangıcında meydana gelen çatlak	39

Şekil 33. Deney sonrası CJ45R kirişi deney elemanı	39
Şekil 34. CJ45 kirişi yük-deplasman grafiği	40
Şekil 35. CJ45 kirişi yükleme anında çatlama durumu.....	41
Şekil 36. CJ45 kirişi numunesinde yükleme sonrasında oluşan çatlaklar.....	41
Şekil 37. Deney sonrası CJ45 kiriş deney elemanı	42
Şekil 42. CJ0R kirişi yük-deplasman grafiği	43
Şekil 43. CJ0R kirişi yükleme anında çatlama durumu	43
Şekil 44. CJ0R kirişi numunesinde yükleme sonrasında çatlak durumu	44
Şekil 45. Deney sonrası CJ0R kiriş deney elemanı.....	44
Şekil 49. CJ0 kirişi yük-deplasman grafiği	45
Şekil 50. CJ0 kirişi yükleme anında çatlama durumu.....	46
Şekil 51. CJ0 kirişi çatlak genişliği.....	46
Şekil 52. Ref-1(Confined) ve Ref-2 Unconfined deney elemanlarının P- δ eğrisi	47
Şekil 53. CJ90 ve CJ90R deney elemanlarının P- δ eğrisi.....	48
Şekil 54. CJ45 ve CJ45R deney elemanlarının P- δ eğrisi.....	48
Şekil 55. CJ0 ve CJ0R deney elemanlarının P- δ eğrisi.....	49
Şekil 56. CJ90, CJ90R ve Ref-1(Confined) deney elemanlarının P- δ eğrisi	49
Şekil 57. CJ45, CJ45R ve Ref-1(Confined) deney elemanlarının P- δ eğrisi	50
Şekil 58. CJ0, CJ0R ve Ref-1(Confined) deney elemanlarının P- δ eğrisi	50
Şekil 59. Çift donatılı kirişte oluşan iç kuvvetler.....	51

SİMGELER DİZİNİ

Simge	Açıklama
P	Yük
C20	Silindir basınç dayanımı 20 MPa olan beton
\emptyset	Donatı çapı
f_{cd}	Beton tasarım basınç dayanımı
f_{ck}	Beton karakteristik basınç dayanımı
f_{ctk}	Beton karakteristik eksenel çekme dayanımı
f_{yk}	Çelik donatı akma dayanımı
f_{su}	Çelik donatı çekme dayanımı
f_{yd}	Çelik donatı tasarım akma dayanımı
δ	Kiriş orta nokta deformasyonu
A_s	Kiriş çekme donatısı alanı
A_s'	Kiriş basınç donatısı alanı
ρ	Çekme donatı oranı
b_w	Kiriş genişliği
d	Kiriş faydalı yüksekliği
ρ'	Basınç donatı oranı
α	Donatı endeksi
α_c	Basınç donatısının akmasını belirleyen endeks
ρ_b	Dengeli donatı oranı
E_s	Çelik donatının elastisite modülü
k_1	Beton sınıfına bağlı olan katsayı
c	Tarafsız eksen derinliği
σ_s'	Basınç donatısında oluşan gerilme
M_r	Taşıma gücü momenti
V_{cr}	Beton kesitin eğik çatlama mukavemeti
V_c	Betonun karşılayabileceği kesme kuvveti
V_w	Kayma donatısının karşılayabileceği kesme kuvveti
A_{sw}	Kiriş enine donatı alanı

s	Enine donatı (etkiye) aralığı
d'	Pas payı
V_r	Kesitin güvenliyle taşıyabileceği kesme kuvveti
δ_y	Akma anında ölçülen deplasman
δ_u	Göçme anında ölçülen deplasman

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltma	Açıklama
CJ0	Soğuk derzli 0° açılı kiriş numunesi
CJ0R	Soğuk derzli 0° açılı ilave donatılı kiriş numunesi
CJ45	Soğuk derzli 45° açılı kiriş numunesi
CJ45R	Soğuk derzli 45° açılı ilave donatılı kiriş numunesi
CJ90	Soğuk derzli 90° açılı kiriş numunesi
CJ90R	Soğuk derzli 90° açılı ilave donatılı kiriş numunesi
cm	Santimetre
kN	Kilonewton
LVDT	Düşey doğrusal yerdeğiştirme okuyucusu
mm	Milimetre
MPa	Megapascal

1. GİRİŞ

Beton, eski medeniyetlerin kurulmasında etkin bir rol oynayan ve çağdaş toplumların temelini oluşmasını sağlayan yapı malzemesidir. Beton; çimento, su, agrega ve kimyasal ya da mineral katkı maddelerinin homojen şekilde karıştırılmasından oluşan, önce plastik kıvamda olup, şekil verilebilen, zamanla katılaşıp sertleşerek mukavemet kazanan bir malzemedir. En önemli yapı malzemelerinden biri olan beton çok fazla bakım gerektirmez. Ülkemizde ekonomik kalkınma ile paralel şekilde artış gösteren beton üretimi, 2000’li yıllardan başlayarak yerini elle beton üretiminden almış hazır beton üretimine bırakmıştır. Beton santralinde belirlenen oranlarda, bilgisayar kontrolü ile bir araya getirilerek üretilen malzemelere hazır beton denilmektedir. Standartlara uygun şekilde üretimi gerçekleştirilmektedir (Akakın ve diğ.,2013).

Üretilen betondan taze halde iken işlenirlik, prizini alıp katılaşıp sertleştiği durumda ise dayanım ve dayanıklılığın iyi olması beklenir. Betonun dayanıklılığı uzun bir sürede saptanabilirken, basınç dayanımı ve işlenebilme özelliği kısa zamanda saptanır. Boşluksuz beton oluşturmak, beton dayanımı açısından en önemli etmendir. Üretim öncesi ve sonrasında standartlarda belirlenen şartlara uygun beton hazırlamak beton dayanıklılığı için gereklidir (Kılınçkale, 2003).

Özellikle beton elemanların boyutları büyük olduğunda bütün yapının bir kez ve monolitik olarak dökülmesi uygulanma bakımından zordur. Mevcut zamana bağlı olarak taze beton tedarikinin sağlanması konusunda çeşitli kısıtlamalar eşlik eder. Bu nedenle beton, yapı elemanlarının içine iki veya daha fazla parça halinde dökülmektedir. Uygun olmayan döküm sırasına ek olarak birçok nedenden dolayı beton yerleştirme işleminin gecikmesi, yaygın olarak (inşaat derzi) denilen soğuk derz oluşumuna neden olabilir (Al-Mamoori, 2018). Bu gözetilen amaca ve beklenilene uygun olmayan elemanlarda dayanım kaybı gibi mekanik özelliklerin değişmesine ve yükler altında yapısal davranışın bozulmasına neden olur. Bu sebeple yapının yük altındaki davranışı, önemli ölçüde beton-beton ara yüzeyinin bağlanma kalitesine bağlıdır (Rao and Kishen, 2006).

Bu çalışma kapsamında, kiriş deney numunelerinde farklı derz açısı, güçlendirme ile oluşturulan soğuk derzin, dört noktalı eğilme etkisi altındaki davranışı incelenmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Rao and Kishen (2006), yapmış oldukları çalışmada her iki tarafında farklı karışımlar olan betonlar arasında soğuk derzli ara yüze sahip kirişler, kırılma parametrelerini elde etmek için üç noktadan eğilme testine tabi tutmuşlardır. Arayüzün her iki tarafındaki malzemenin basınç dayanımı arasındaki fark arttıkça kırılma enerjisinin azaldığı bulmuşlardır. Buna ek olarak, işlem bölgesinin boyutunun, dikkate alınan tüm arayüz kombinasyonları için sabit kaldığı bulgusuna ulaşmışlardır. Ayrıca bu numunelerdeki boyut etkisini, geometrik olarak benzer üç farklı boyuttaki numuneleri test edilmesiyle incelemişlerdir. Arayüz numunelerinin, sağlam beton numunelere benzer boyut etkisi sergilediği sonucuna ulaşmışlardır. Sonuç olarak, sonradan dökülen bir betonun basınç dayanımının, ana betondan çok farklı olmaması gerektiği tespit etmişlerdir.

Aziz and Ajeel (2010), deneysel olarak yapmış oldukları çalışmada, flanşlarda dikey açıklıklar (flanş açıklıkları) veya açıklıklarda soğuk derzler içeren betonarme T-kirişlerin kesme davranışı ile açıklıkların veya soğuk derz yerlerinin etkisi incelemişlerdir. Biri herhangi bir açıklık veya soğuk derz olmadan referans numune olarak üretilmiş, diğerleri ise farklı yerlerde açıklıklar veya soğuk derzlerle sahip toplam sekiz adet kiriş numunesi hazırlamışlardır. Testleri, tek noktadan yükleme etkisi altında basitçe desteklenen sekiz T-Kesitli kiriş üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Etriye demirlerinin kesmeye karşı katkısını ortadan kaldırmak ve numunelerin kırılma durumunda başarısız olmalarını sağlamak için test edilen kirişler kesme takviyesi (etriye) olmadan yapmışlardır. Deneysel kanıtlar, çapraz çatlakların gerilme donatısı boyunca yatay olarak uzadığını ve sonuçta çökmenin basınç yüzüne yakın betonda (uygulanan yüke yakın) ezilme başarısızlığı nedeniyle meydana geldiğini göstermiştir. Sonuç olarak, flanş açıklıklarının varlığının, bir açıklık içeren kirişler için kesme kapasitesini yaklaşık %22 ile %32 ve iki açıklık içeren kirişler için yaklaşık %17-%39 azalttığını göstermiştir. Soğuk derz içeren kirişler için ise kesme kapasitesinin referans kirişe göre yaklaşık %27 azaldığını tespit etmişlerdir.

Abass (2012), yapmış olduğu çalışmada, soğuk derzlerin konumunun betonarme yapı elemanlarının performansına etkisini deneysel olarak araştırmıştır. 200×200×950 mm boyutlarında 19 kiriş numunesini test ederek incelemiştir. Soğuk derzlerin konumu (numunelerin ortasında veya üçüncü noktasında), soğuk derzlerin tipi (dikey, eğimli ve kilit yapı derzleri) ve bu bağlantılarda demirlerinin varlığı gibi değişkenler irdelemiştir.

Hazırlanan kiriş numuneleri 1000 kN bilgisayar kontrollü çok yönlü elektronik test makinesi kullanılarak test etmiştir. Deneysel programın sonuçları, soğuk derzin en iyi konumunun minimum kesme noktasında olduğunu göstermiştir. Dikey soğuk derzin kullanımının kiriş numunelerinin genel davranışı üzerinde çok az etkiye sahip olduğunu bulmuştur. Eğimli olan soğuk derzlerin, soğuk derzi olmayan kirişin mukavemetine göre kirişlerin mukavemetinde gözle görülür bir düşüşe neden olduğunu tespit etmiştir.

Rathi and Kolase (2013), soğuk derzin beton dayanımı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Beton döküm zamanının çeşitli nedenlerden dolayı gecikmesi durumunda oluşan soğuk derzi engellemek ve bu sorunu çözmek için priz geciktirici madde olarak şekeri kullanmışlardır. Deneysel olarak yapmış oldukları bu çalışmada beton dökümünden önce numune kalıplarını derz yüzeyini oluşturmak için su geçirmez ince kontrplak parçaları kullanmışlardır. Kontrplaklar 45° açıyla eğimli ve 90° açıyla dikey olarak yerleştirmişlerdir. İlk olarak derz yüzeyi oluşturulan numune kalıplarının yarısına beton dökmüşlerdir. Daha sonra 45, 75, 120 ve 180 dakikadan sonra kalanı dökmüşlerdir. Hazırladıkları numuneler üzerinde basınç, eğilme ve yarmada çekme deneyleri yapmışlardır. Sonuç olarak, priz geciktirici madde olarak düşünülen şekerin kullanılmasıyla hazırlanan beton ile normal beton kıyaslandığında, şekerin soğuk derz oluşumunu çok fazla etkilemediği ve çok az miktarda engellediğini ortaya koymuşlardır.

Piyasena ve diğerleri (2013), yapmış oldukları araştırmanın temel amacı, yapının performansını etkileyebilecek soğuk derz oluşumunu önlemek için beton yerleştirmeyi planlama da gerçekçi bir başlangıç priz süresi değeri elde etmek için bir test yöntemi bulmaktır. Planlı şekilde yapılan bir soğuk derzdeki mekanik özellikler (çekme dayanımı ve kesme dayanımı), iki tabakaya beton yerleştirilmesi arasında farklı zaman gecikmeleri olan ve iki tabaka halinde dökülen beton küpleri test ederek değerlendirmişlerdir. Son olarak, geçen zamana karşı penetrasyon direnci grafiği çizmişler ve penetrasyona karşılık gelen süre 3,5 MPa direnç değeri elde etmişlerdir. Soğuk derzde gerilme dayanımı testi ile öngörülen ilk priz süresine karşılık gelen penetrasyon direnci değerini de belirlemişlerdir. İkinci tabakanın dökümünde 1 saatlik gecikme süresinden sonra gerilme mukavemetinin değişim hızının önemli olduğunu ve zaman gecikmesi sırasında kesme mukavemetinde de bir düşüş olduğunu görmüşlerdir.

Gerges, Issav and Fawaz (2015), bu çalışmada inşaat derzlerinin betonun yarmada çekme dayanımına etkisi irdelemişlerdir. Çalışmanın amacı, betonun basınç dayanımını, bir inşaat derzinin varlığında düz beton için yarmada çekme ile deneysel olarak ilişkilendirmek ve yarmada çekme dayanımı ile betonun basınç dayanımı arasında bir ampirik denklem oluşturmaktır. Hem Amerikan Beton Enstitüsü kodu hem de Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu, monolitik olan beton numuneler için yarmada çekme dayanımı ile betonun basınç dayanımı arasındaki korelasyon için test yöntemlerini ve standartlarının yanı sıra uygulanabilir teorik ve deneysel formülleri sağlamakta ve numunelerde herhangi bir soğuk derzinin bulunmadığını göstermektedir. Bir soğuk derzin varlığından dolayı betonun yarmada çekme mukavemetinde faydalı bir azaltma faktörü sağlanması esas olduğunu düşünmüşlerdir. Deneysel çalışma için yedi farklı karışım tasarımı geliştirmişlerdir. Her karışım tasarımını dokuz silindir numuneden oluşturmuşlardır. Bu silindirlere altısını monolitik hazırlamışlardır ve bunlardan üçünün basınç dayanımı ve diğer üçünün yarmada çekme mukavemeti test etmişlerdir. Kalan üçü, kalıbın ortasına dikey olarak yerleştirilmiş bir inşaat derzi içermektedir. Bunlar içinde yarmada çekme mukavemetleri için test etmişlerdir. Bu proje için toplam altmış üç silindir numune hazırlamışlardır. Bunlardan yirmi bir tanesi inşaat derzi içermektedir ve diğer kırk ikisi monolitik olarak tasarlamışlardır. Deneysel çalışma sonucunda, betonun mukavemeti arttıkça, bir inşaat derzi içerip içermediğine bakılmaksızın, karşılık gelen çekme yarıma mukavemetinin de arttığı tespit etmişlerdir. Bir inşaat derzine sahip olan numunenin, monolitik bir numuneyle yarmada çekme mukavemetini yaklaşık %55 oranında azalttığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla betonun mukavemetindeki bu zayıflığı gidermek için çelik miktarının iki katına çıkarılması gerektiği sonucuna ulaşmışlardır.

Choi ve diğerleri (2015), betonun geç dökülmesi nedeniyle betonda oluşan soğuk derz, kayma direncinin azalmasına ve su geçirgenliğinin artmasına neden olabileceği düşüncesiyle yaptıkları bu çalışma, soğuk derzli betonda su geçirgenliğinin etkisini değerlendirmek amacıyla REV (Temsili Eleman Hacmi) konseptine dayalı analitik bir model sunmuşlardır. Mikro gözenek yapısı ve mineral katkı dikkate alınarak soğuk derzli betonda su geçirgenliği analizi uygulamışlardır. Burada soğuk derzli OPC (Ordinary Portland Cement) beton numuneleri hazırlamışlardır ve 91 gün kürlenmiş numuneler üzerinde WPT (Su Geçirgenlik Testi) yapmışlardır. GGBFS'nin (Granüle Öğütülmüş

Yüksek Fırın Cürufu) su geçirgenliği üzerindeki etkisini hesaba katmak için, aynı W / B (Su / Bağlayıcı) oranı ve GGBFS'nin %40 ikame oranına sahip beton numuneleri de test etmişlerdir. Gözeneklilik ve doygunluğu ele alan önceki modelleri kullanarak, etkili soğuk derz genişliği ile eşdeğer su geçirgenliği için analiz tekniği önermişlerdir. Soğuk derzde su geçirgenliği kontrol durumunda %140,7'ye çıkarken, GGBFS ikamesi ile %120,7'ye düştüğünü gözlemlemişlerdir. Simülasyon sonuçları, sağlam ve soğuk derz betonu için toplanan deneysel verilerle oldukça uyumlu olduğu bulgusuna ulaşmışlardır.

Torres ve diğerleri (2016), çalışmalarında soğuk derz oluşumu sorununa iki tamamlayıcı bakış açısıyla yaklaşmışlardır. Soğuk derz oluşumundan kaynaklanan direnç kaybı, kapsamlı bir beton silindir deneysel programı ile incelemişlerdir. Yük altında ve yüksüz betonun zamana bağlı davranışını simüle etmek için yapısal bir model önermişlerdir ve performansını analiz etmişlerdir. Sonuçların deneysel olarak elde edilenlerle tutarlı olmadığını gözlemlemişlerdir. Bunun nedenini, kullanılan yapısal modelin, betonun aslında her iki yönde de farklı bir davranışa sahip olmasına rağmen, malzemenin gerilme veya basınç dayanımına maruz kaldığında davranışının aynı olduğunu düşünmesi olarak değerlendirmişlerdir. Bu anlamda, betonun soğuk derzlerle simülasyonunun, malzemenin gerilmelerin ilişkilendirmek için viskoelastik bir model kullanarak, yalnızca malzeme basınç dayanımına maruz kaldığında uyumlu sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Çapraz soğuk derzli beton silindirlerde %30'un üzerinde direnç kaybı bulmuşlardır, yatay soğuk derzli beton silindirlerde ise direnç kaybının olmadığını gözlemlemişlerdir. Bu nedenle, direnç kaybı, ana gerilmelerin yönüne göre soğuk derzin yönelimine bağlı olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Walach (2016), betonarme yüksek performanslı (HPC) beton kirişlerin beton yapımında gecikmelerin etkisini araştırmıştır. Araştırmasının temel amacı, 0,2×0,3×3,5 m tam boyutlu C60/75 dayanımlı bir adet monolitik ve dört tane farklı derz konumlandırmalarına sahip HPC kiriş üzerinde Nihai Sınır Durumunun ve Kullanılabilirlik Sınır Durumunun (sapma ve çatlaklar) ayrıntılı dört noktalı eğilme analizi yapmıştır. Kiriş üzerine aktarılan yükün seviyeleri 15, 30, 60, 90, 120, 150 kN olarak belirlemiştir. İlk dikey ve çapraz çatlakların ortaya çıktığı ve hasarın görüldüğü değerler için yük değerleri de gerçek zamanlı olarak okumuştur. Soğuk derz oluşturulan üç kirişte P = 60 kN, diğerinde ise P=90 kN aşıldığı ve kirişlerin 6 mm deplasman seviyesine kadar ulaştığını gözlemlemiştir. Çalışmada, soğuk derzlerin uygun konumu ve

yapımı, kiriş elemanlarının eğilme özellikleri ve çatlakları üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğunu, iki beton parçasının temas yüzeyinin doğru şekilde hazırlandığından emin olunması gerektiğini ve yüksek gerilmeler oluşturma olasılığı en düşük olan bir yer seçilmesi sonucuna varmıştır.

Kadyrov ve Yazıcıoğlu (2016), deneysel olarak soğuk derzin betonun eğilme ve doğrudan çekme dayanımı üzerine etkilerini incelemiştir. Deneysel çalışmaları üretilen C25 sınıfındaki beton numuneleri üzerinde yapmışlardır. 100x200mm boyutlarında silindir ve 100x100x500 mm boyutlarında prizma şeklinde hazırlanan beton numunelerinde 45° ve 90° açılarda soğuk derz oluşturmuşlardır. Numunelerin ilk yarısı dökülüp 2, 3, 4 ve 6 saat bekleterek soğuk derz oluşturmuşlardır. Sonra kalan yarısı dökümünün gerçekleşmesiyle deney numunelerini hazır hale getirmişlerdir. Hazırlanan numuneler üzerinde eğilme ve doğrudan çekme dayanımı deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Ulaştıkları sonuçlara göre soğuk derz oluşumunda süre uzadıkça eğilme ve doğrudan çekme dayanımlarında azalma olduğunu belirlemişlerdir. Dayanım üzerindeki bu etkinin azalmasının 6 saatten sonra dökülen betonlarda daha bariz olduğunu gözlemlemişlerdir. Doğrudan çekme dayanım deneylerinde 2 ve 3 saatten sonra dökülen betonlarda görülen kopmalar en zayıf noktalardan, 4 ve 6 saatten sonra dökülen betonlarda ise soğuk derz oluşturulan yerlerinde ortaya çıktığını tespit etmişlerdir. Eğilme dayanım deneylerinde 90° açıyla oluşturulan soğuk derzli numunelerin tamamında görülen kırılmalar soğuk derzlerde oluştuğunu gözlemlemişlerdir. 45° açıyla oluşturulan soğuk derzli numunelerde ise 4 ve 6 saatten sonra dökülen numunelerde soğuk derzlerde kırılmalar ortaya çıktığını tespit etmişlerdir. Edindikleri bu sonuçlara göre beton döküm zamanında gecikmeler meydana geldiğinde soğuk derzin olumsuz neticelerini en aza indirmek için alttaki beton tabakası 45° açıda bırakılması ve ikinci tabaka en geç 3 saate kadar dökülmesi düşüncesine ulaşmışlardır.

Sung-Won and Seung-Jun (2016), soğuk derz ve yükleme koşullarının etkileri dikkate alınarak klorür difüzyon katsayısı üzerine nicel bir değerlendirme sunmuşlardır. 0,6 w/b (su/bağlayıcı) oranında beton numuneleri hazırlamışlardır. Hızlandırılmış durumda klorür difüzyon katsayıları yükleme altında ölçmüşlerdir. Soğuk derz ve yükleme seviyelerinin etkileri değerlendirmişlerdir. Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun klorür difüzyonu üzerindeki etkisini araştırmak için, normal beton için öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun ikame oranının %40'ını dikkate almışlardır. Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun etkisi, soğuk derz ve yükleme seviyeleri ele alınarak

değerlendirmişlerdir. Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun aracılığıyla gerilme seviyesi, gözenek yapısı iyileştirme ve soğuk derz yerinin klorür difüzyon katsayısı üzerindeki etkilerini nicel olarak incelemiştirlerdir. Klor difüzyon katsayısının %30'a düştüğü değerlendirilerek, yükleme seviyesi ve daha sonra basınç durumunda arttığını gözlemlemiştirlerdir. Yükleme seviyesi %60'ın üzerine çıktığında ise, difüzyon katsayısı normal beton için 1,34–1,78 katına ve öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu beton için 2,32–2,52 katına çıktığını tespit etmişlerdir. Özellikle klorür difüzyon katsayısının, normal beton için kuadratik şekil ile artarken soğuk derz betonu için bağlayıcı türünden bağımsız olarak doğrusal olarak artan şekil olduğunu ölçümlemiştirlerdir.

Gerges ve diğerleri (2016), çalışmalarının temel amacı, bir dizi farklı basınç dayanımı için, tek olarak güçlendirilmiş monolitik bir kiriş ile kiriş merkezinde bir inşaat ek yeri olan tek bir güçlendirilmiş kiriş arasındaki eğilme kapasitesi farkını belirlemektir. Deneyde, farklı beton basınç dayanımları ve eğilme kapasitesi değerlerine sahip makul bir veri noktası kümesi elde etmek için yedi farklı karışım tasarımı kullanmışlardır. Üçü monolitik ve diğer üçünün merkezde bir soğuk derz içerdiği her bir karışım tasarımı için toplam altı adet tekli güçlendirilmiş kiriş hazırlamışlardır. Bu deneysel çalışma için toplam 42 adet kiriş ve 42 adet silindir numune hazırlanmışlardır. Kirişin dayanabileceği maksimum yükleme, dört noktalı yükleme makinesi kullanılarak elde etmişlerdir. Analizin yapılabilmesi için istatistiksel analiz için kullanılan bir yazılım olan SPSS'e veri girişi yapmışlardır. Bu yazılımın, en iyi uyum eğrisinin denklemini ve korelasyon faktörünü belirlemek için regresyonlar gerçekleştirebileceğini düşünmüşlerdir. Beton basınç dayanımı arttıkça, yapının etkisinin arttığı ve yapı elemanının eğilme kapasitesinde daha fazla kayba neden olduğunu kanıtlamışlardır. Çalışmada inşaat derzinin varlığı nedeniyle moment kapasitesindeki azalmayı telafi etmek için bir prosedür sunmuşlardır. Soğuk derzden kaynaklanan kaybın hesaba katılması için ek bir çelik donatı alanı gerekli olduğu sonucuna varmışlardır.

Jabir, Salman and Mhalhal (2017), soğuk derzlerin betonarme kirişlerin performansına etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. 200×100×1000 mm boyutlarında yedi kiriş numunesi hazırlamışlardır. Soğuk derzin yerini ve konfigürasyonu değişken olarak belirlemiştirlerdir. Bir kirişi referans olarak dökmüşlerdir. İki numuneyi, gerilim veya sıkılaştırma bölgesinde bulunan bir yatay derz ile üretmişlerdir. Dördüncü kiriş, gerilim ve sıkılaştırma alanına yerleştirilmiş iki yatay derz yerine sahip olarak üretmişlerdir.

Kalan numuneler, kesme aralığı veya kirişin orta açıklığında konumlandırılmış bir veya iki eğimli derzler yapmışlardır. Üç noktalı eğilme deneyi sonuçları, soğuk derzin en iyi konumunun sıkılaştırma bölgesinde olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, soğuk derz kirişlerin çökme yükü üzerinde küçük bir etkiye sahip olduğu sonucuna varmışlardır.

Kara ve Bekem Kara (2018), soğuk derzin beton ve betonarme çeliği (donatı) arasındaki aderans dayanımına etkisi deneysel olarak incelemiştir. Aderans dayanımı için 150x150x150 mm küp numuneler kullanmışlardır. Beton-donatı aderans dayanımını belirlemek için kullanılan nervürlü donatının çapı 20 mm olarak belirlemiştir. Donatı çekme deneyi esnasında 30 tonluk hidrolik kriko kullanmışlar ve %1 hassasiyetle çekme kuvveti değeri okuması yapmışlardır. Hazırlanan beton karışımı 150x150x150 mm, 100x100x400 mm, Ø150x300 mm ebatlarında üretilen kalıplara ilk önce yarısı olacak şekilde doldurmuşlardır. Kalıpların diğer yarısını ise 0, 60, 120 ve 180 dakika sonra yeniden taze beton hazırlayarak aynı betonlar ile tamamlamışlardır. Soğuk derz oluşturdukları ve soğuk derz oluşturmadıkları beton türlerinde basınç dayanımı deneyini soğuk derz oluşumuna dik olarak gerçekleştirmişlerdir. Basınç kuvvetinin soğuk derz yüzeyine dik olarak etkimesi basınç mukavemetine önemli miktarda olumsuz bir etki oluşturmadığını gözlemlemiştir. İki beton dökümü arasında 180 dakika gecikme ile dayanım değeri %2,25 azaldığını tespit etmişlerdir. Yarmada çekme dayanım sonuçlarına göre, soğuk derz oluşum süresi arttıkça dayanım kayıplarında artış gözlemlemiştir. Eğilme dayanımı sonuçlarında ise soğuk derz oluşumu belirgin olarak dayanım kayıplarına yol açtığı bulgusuna ulaşmışlardır. 60 dakika sonra dökülen beton örneğinde eğilme dayanımı kaybı %4,02 iken, 120 dakika ve 180 dakika sonra dökülen beton numunelerinde sırası ile %14,26 ve %14,66 olarak tespit etmişlerdir. Tüm soğuk derz sürelerinde en çok kayıp aderans dayanımında olduğunu gözlemlemiştir. En fazla dayanım kayıplarını 180 dakika soğuk derz oluşumunda belirlemiştir. Beton basınç dayanımında referans numuneye göre %2,25, yarmada çekme dayanımının %7,86, eğilme dayanımında %14,66; donatı ve beton arasındaki aderans dayanımında ise %17,17 azalma olduğu gözlemlemiştir.

Jatheeshan ve diğerleri (2010), soğuk derzlerin beton performansına etkilerini incelemek için deneysel bir araştırma yapmışlardır. Betondaki soğuk derzin, betonun kesme dayanımı ve çekme dayanımı gibi mekanik özellikler üzerindeki etkisini tespit etmek için test yöntemleri geliştirmişlerdir. Sonuç olarak, soğuk derzin varlığından dolayı kesme

mukavemeti ve gerilme mukavemetinde önemli ölçüde bir azalma olduğunu belirlemişlerdir.

Ünlü (2018), yapmış olduğu çalışmada soğuk derzin betonun basınç ve eğilme dayanımına etkisi deneysel olarak irdelemiştir. 150×300 mm ebatlarında silindir, 150×150×150 mm ebatlarında küp ve 100×100×500 mm ebatlarında prizma şeklinde hazırlanan beton numunelere yarı dolu, 45° ve 90° açılarda soğuk derz oluşturmuştur. Üretilen beton numune kalıplarının ilk yarısına C25 sınıfında beton dökümü gerçekleştirmiştir. Soğuk derz oluşumu için bir gün beklendikten sonra kalan yarısı dökmüştür. Basınç ve eğilme dayanım deneyleri yapmıştır. Ulaştığı sonuçlara göre, yarısı doldurularak hazırlanan soğuk derzli betonun 45° ve 90° açılarda hazırlanan betona göre eğilme dayanımı daha yüksek olduğu, eğilme dayanım deneylerinde 90° açı ile oluşturulan soğuk derzli numunelerin tümünde meydana gelen kırılmalar soğuk derzlerde olduğu, eğilme dayanım deneylerinde 45° açıyla oluşturulan soğuk derzli betonlar 90° açı ile soğuk derz oluşturulana göre daha yüksek dayanım değeri verdiği tespit etmiştir.

Illangakoon ve diğerleri (2019), sıcak havalarda beton soğuk derz oluşumunu deneysel olarak irdelemişlerdir. Yapmış oldukları çalışmadaki amaç, penetrasyon direnci ile ilgili olarak ortam sıcaklıklarının soğuk derz yeri oluşumu üzerindeki etkisini incelemektir. Soğuk derz oluşumunu, soğuk derzli beton kirişin eğilme dayanımı belirlenerek değerlendirmişlerdir. Başlangıç sıcaklığı 25 °C olan taze beton, 25 °C ve 45 °C ortam sıcaklığı koşullarında test etmişlerdir. Deneysel sonuçlar, iki ardışık katman arasındaki yerleştirmedeki gecikme, ölçülen (yani, 3,5 N / mm² penetrasyon direnci) betonun geleneksel ilk donma süresinden daha az olduğunda soğuk derzin oluştuğunu tespit etmişlerdir. Soğuk derzlerin, penetrasyon direnci 0,5 N / mm²'den büyük olduğunda oluştuğunu ve bu penetrasyon direncinin ortam sıcaklığından bağımsız olduğunu gözlemlemişlerdir.

Çomak ve diğerleri (2019), farklı döküm zamanları kullanarak planlı şekilde olarak oluşturdukları soğuk derz numunelerin dinamik elastisite modüllerindeki değişimi tahribatsız yöntemler kullanarak incelemişlerdir. Deneysel olarak yaptıkları çalışmada, referans (serbest döküm), 30°, 45° ve 90° derz yüzeyine sahip kiriş numuneler üzerinde farklı döküm sürelerinde (-30, 0, +30, +120, +240, +480, +1140.dakikalarda) numuneler üretmişlerdir. Üretimi yapılan kiriş numuneler üzerinde 28 gün kür süresinden sonra

rezonans frekansı test yöntemi kullanarak dinamik elastisite modülü değerleri hesaplamışlardır. Farklı zamanlarda soğuk derz oluşumuna izin verecek şekilde dökülen numunelerin dinamik elastisite modülü değerlerindeki değişimin incelendiği bu çalışmada C25/30 sınıfında hazırlanan betonun priz başlangıç ve bitiş süreleri sırasıyla 330 dakika ve 498 dakika olarak belirlemişlerdir. Dört farklı birleşime göre hazırlanan kiriş numunelerinin dinamik elastisite modülü değerlerini incelemesinde, priz bitiş süresinden +120 dakikaya kadarki dökümlerin değerlerinin yüksek çıktığını tespit etmişlerdir. En düşük dinamik elastisite modülü değerlerinin, priz bitiş süresinden 1440 dakika sonrasında ikinci tabaka dökümü yapılan numunelerde elde edildiğini, ikinci tabaka dökümün priz bitiş süresi öncesinde yapılan numunelerin dinamik elastisite modülü değerlerinde önemli miktarda bir değişimin olmadığını gözlemlemişlerdir. Beton dökümü esnasında soğuk derz durumunun kaçınılmaz olduğu durumlarda iki döküm arasındaki birleşim geometrisinin 30° ve 45°'lik açılarla yerleşme sağlanacak şekilde önlemler alınmasını önermişlerdir. Priz bitiş süresinden sonra yapılacak dökümlerde (+240 dakika ve sonrası) bu önlemin daha önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Koh ve diğerleri (2019), soğuk derz ve yükleme etkilerini dikkate alarak karbonatlaşma altında RC T-kirişin hizmet ömrü değerlendirmesini irdelemişlerdir. Çekme ve basınç gerilmeleri uygulandıktan sonra normal dayanımlı beton ve cüruf için hızlandırılmış karbonasyon testi yapmışlardır. Basınç yükleme koşulu için numuneler 100x100x400 mm kirişli kalıplarla üretmişlerdir. Yarımada çekme yükleme koşulu için Ø100x200 mm'lik silindir kalıplarla üretmişlerdir. Ayrıca soğuk derz betonu oluşturmak için kalıbın bir yarısına beton yerleştirmişler ve diğer yarısına 24 saat sonra dökmüşlerdir. Betonun hızlandırılmış karbonasyon testi için silindir ve kiriş numuneleri 40 mm kalınlığında kesmişler ve normal dayanımlı beton ile karıştırılmış beton numuneleri ve cüruf bir yıl boyunca kürelemişlerdir. Ardından sertleşmiş beton numunelere çekme ve basınç yükleri uygulamışlardır. Karbonatlaşma özellikleri, soğuk derz ve tesir eden gerilmenin etkilerini hesaba katarak ölçmüşlerdir. Yapısal analizi, 2 açıklıklı sürekli betonarme T-kiriş köprüsü için kesit lamina yaklaşımından yararlanarak uygulanmışlardır. Çekme kısmındaki soğuk derz için artan karbonatlaşma derinliği nedeniyle hizmet ömrü önemli ölçüde azaldığı sonucuna varmışlardır. Bu, bakım sırasında soğuk derzlere özel önem verilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Turan (2019), soğuk derzli betonun eğilme altında mekanik özelliklerinin ve kırılma davranışının tahribatsız muayene yöntemi olarak geliştirilen Akustik Emisyon ile belirlenmesi konusunda çalışma yapmıştır. Bu doğrultuda farklı derz açısına, derz yüzeyine uygulanan farklı iyileştirme metodlarına ve farklı dayanımlardaki beton beton ara yüzüne sahip elemanları hazır hale getirmiştir. Deneysel çalışmada ilk olarak beton tasarımını yapmıştır ve beton sınıfı C30 ve C50 olan, bütün dökülmüş ve soğuk derzli 10x10x60cm ebatlarında kiriş ve 15x15x15 cm ebatlarında küp numuneler hazırlamıştır. Beton priz başlangıç süresi dikkate alınarak soğuk derz oluşması için 6 saat beklemiştir. Çivili numuneleri oluştururken çiviler ilk beton döküldükten 1 saat sonra derz yüzeyine ekmiştir. Hazırladığı kirişlere dört noktada eğilme deneyi uygulamış ve eş zamanlı olarak AE ile izlemiştir. AE'den elde edilen verilere parametre analizleri yapmıştır. Deney çalışmasında basınç deneyi mekanik sonuçlara göre; yük taşıma kapasitesi, yekpare olarak dökülmüş referans numunesine göre 90°, 45° ve 0° açılı numunelerde sırasıyla %40, %3 ve %27 azaldığı tespit etmiştir. Yük taşıma kapasitesi, 90° açılı soğuk derz numunesine göre aderans arttırıcı elemanda %40 ve çivili numunede %32 daha fazlayken, tırtıklıda %6 daha az olduğunu gözlemlemiştir. Mekanik ve AE bulgularına değerlendirildiğinde soğuk derz bulunan elemanın basınç ve eğilme dayanımını, tokluğunu ve sünekliğini azalttığı sonucuna ulaşmıştır. Bu durumu, daha düşük bir yük taşıma ve enerji yutma kapasitesiyle neticelendirmiştir. Açılı kirişlerin sonuçlarına göre, kirişlerde soğuk derzin kaçınılmaz olduğu durumlarda derz, yük taşıma kapasitesinin ve tokluk değerinin yüksek olması beklenen durumlarda yatay doğrultuda; süneklik özelliğinin fazla olması istenen durumlarda 45° açıyla konumlandırılması gerektiği saptamıştır. Beton dökümü, sağdan sola veya soldan sağa şeklinde değil aşağıdan yukarıya doğru ya da 45° açıyla yapılmasını uygun bulmuştur. İyileştirme yapılan kirişlerde, soğuk derz çekme bölgesinde olduğundan süneklik ve tokluk değerleri artarken, yük taşıma kapasitesinin azaldığını gözlemlemiştir. Kirişlerde malzemelerin basınç dayanımı arasındaki fark arttıkça yük taşıma kapasitesinin daha fazla düştüğü sonucuna ulaşmıştır.

Ismael, Hameed ve Abd (2019), bu makalede, soğuk derzin betonarme kendiliğinden yerleşen ince beton kirişlerin performansı üzerindeki etkisini irdelemişlerdir. Deneysel program, 125×150×1000 mm boyutlarında dört kirişin dökülmesini ve test edilmesini içermektedir. İlk kirişi, referans numune olarak soğuk derzsiz dökülerek hazırlamışlardır.

İkinci kiriş, kirişin orta derinliğinde yatay soğuk derzli, üçüncü kiriş orta açıklıkta dikey soğuk derzli ve son olarak dördüncü kiriş ise, dördüncü açıklıkta (maksimum kesme bölgesi) dikey soğuk derzli olarak hazırlanmışlardır. Test sonuçları, soğuk derzin nihai yük üzerindeki etkisinin ilk çatlak yüküne göre daha önemli olduğunu göstermiştir. Referans kirişe göre ilk çatlak yükü %6,7 ve nihai yük %26,7 azaldığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, yatay soğuk derzli kirişin diğerlerine kıyasla daha iyi yapısal performans verdiğini gözlemlemişlerdir. Referans kirişe kıyasla dördüncü açıklıktaki düşey derzli kirişin, birinci çatlak yükünün %16,7 azaldığı ve nihai yükün %56,2 azaldığı daha az verimlilik durumu olduğunu tespit etmişlerdir.

Aymak (2020), betonarme yapılarda oluşan soğuk derzlerin birleşim bölgelerinin dayanımına ve sünekliğine olan etkisinin incelenmesi konusu üzerinde deneysel çalışma yapmıştır. Çalışma kapsamında toplam dört adet kolon-kiriş birleşim bölgesi içeren numune oluşturmuştur. Numunelerden iki tanesini bütün olarak üretmiştir. Bu tek parça numunelerden ilkinde kolonlara eksenel yük uygulanarak numune çevrimsel yüklemeye maruz bırakmıştır. Diğer numune ise kolonda eksenel kuvvet olmaksızın çevrimsel yükleme gerçekleştirmiştir. Diğer iki numunede ise kirişin alt ve üst ucunda olacak şekilde iki adet soğuk derz bırakmıştır. Bütün olarak dökülen numunelerde de olduğu gibi bu numunelerden ilki kolona eksenel yük uygulanarak test etmiş, diğeri ise kolona eksenel yük uygulanmadan test etmiştir. Bu deneyler sonucunda hem eksenel kuvvetin soğuk derzler üzerinde olan etkisi hem de soğuk derzlerin kolon kiriş birleşim bölgesine olan etkileri deneysel olarak araştırmıştır. Yaptığı deneyler sonucunda donatı kopması durumu sadece tek bir numunede gözlemlemiştir. Bu numune üzerinde 63 kN eksenel yük bulunan ve tek döküm olarak imal edilen numune olduğu belirlenmiştir. Soğuk derz olmayan kesitlerde eksenel yükün olduğu numuneler, eksenel yükün olmadığı numuneler göre %14 daha fazla enerji yutma kapasitesine sahip olduğu, soğuk derz olan numunelerde eksenel yükün olduğu numuneler, eksenel yükün olmadığı numuneler göre %27 daha fazla enerji yutma kapasitesine sahip olduğunu gözlemlemiştir. Eksenel yükün olduğu numunelerde soğuk derz olmayan numuneler, soğuk derz olan numunelere göre %11 daha fazla enerji yutma kapasitesine sahip olduğu, eksenel yükün olmadığı numunelerde soğuk derz olmayan numuneler, soğuk derz olan numunelere göre %24 daha fazla enerji yutma kapasitesine sahip olduğunu tespit etmiştir. Tek döküm numunelerde kolonlar üzerinde eksenel kuvvet olup olmama durum kolon-kiriş birleşim bölgesinin

hasar durumunu ciddi oranda etkilediği sonucuna varmıştır. Eksenel kuvvet altında yapılan deneyde birleşim bölgesindeki hasarlar diğer numuneye göre çok daha az seviyede olduğunu belirlemiştir. Soğuk derzli numunelerde eksenel yükün olup olmama durumu benzer şekilde kesitin hasar durumunu etkilemiştir. Eksenel yükün olan ve olmayan numunelerde soğuk derzin olup olmama durumu incelendiğinde birleşim bölgesinin hasar durumunda yine etkili bir faktör olarak değerlendirmiştir.

3. SOĞUK DERZ

Hazır beton, güncel olarak günümüzde kullanılan beton kalitesinin öngörülen değerlere uygun olması amacıyla üretilmektedir. Belirli oranlarda birleştirilen malzemeler, beton santralinde ya da kuru sistemlerde transmikserde karıştırılarak tam homojen bir karışım elde edilir. İlgili kişiler veya tesisler aracılığıyla tüketiciye taze beton halinde ulaştırılır. Fakat birtakım durumlar yüzünden döküm işlemini yarıda bırakmak ve sonrasında dökülen yerden devam etmek zorunda kalınabilir (Turan,2019).

Bir kısım beton, bir sonraki bölüm üzerinde dökümü gerçekleşmeden önce sertleştiği zaman oluşan zayıflık ve süreksizlik düzlemine soğuk derz adı verilmektedir. Soğuk derz, beton daha önceden sertleşerek bırakılan kısımlarda yeniden beton dökme işlemine devam edilmeden önce iyileştirici tedbirler alınmazsa çoğunlukla beton veya beton arayüzünde aderans zayıflığının olması ile karakterize edilmektedir. Soğuk derz oluşumunu engellemek için, beton dökümü gerçekleşen ilk kısmın prizini almaya başlamadan önce beton dökümüne ara verilmeden devam edilmelidir. Uygulamada betonun yerleştirilmesi bütün olarak gerçekleştirilemediğinde ya da karıştırma ve dökülme arasında zaman farklılığı olması durumunda, oluşturulan yapı elemanının dayanımını etkiler. Ayrıca dayanım, iki farklı noktada yerleştirmenin birleştiği düzlemede tabii olabilir (Rathi and Kolase,2013). Buna ek olarak, soğuk derz üzerinde inceleme yapılırken, soğuk derz ek yerinin yapı elemanı içindeki yeri ve yapısal fonksiyonu önem kazanmaktadır (The Concrete Society, t.y). Soğuk derz, ayrı zamanlarda yan yana veya arka arkaya dökülen iki beton tabakasının farklı çalışmasına sebep olan bir imalat hatası olarak da değerlendirilmektedir. Soğuk derze neden olan bazı aksaklıklar şu şekilde aşağıda verilmektedir:

- Beton mikserin, beton üretim tesisinden şantiyeye ulaşımı esnasındaki gerçekleşen gecikmelerde,
- Yapıyı bütün olarak dökmenin çok güç olması halinde ya da dökümün bir defada sonlandırılmaması durumunda,
- Tek seferde dökülebilecek beton miktarının, mikserin ebatına ve karıştırma kapasitesine bağlı olması halinde,
- Servis ömrünü uzatmak ya da yapıların asıl dayanımını gözetmek için yapılan onarma işlerinde oluşmaktadır (Atabey, 2019).

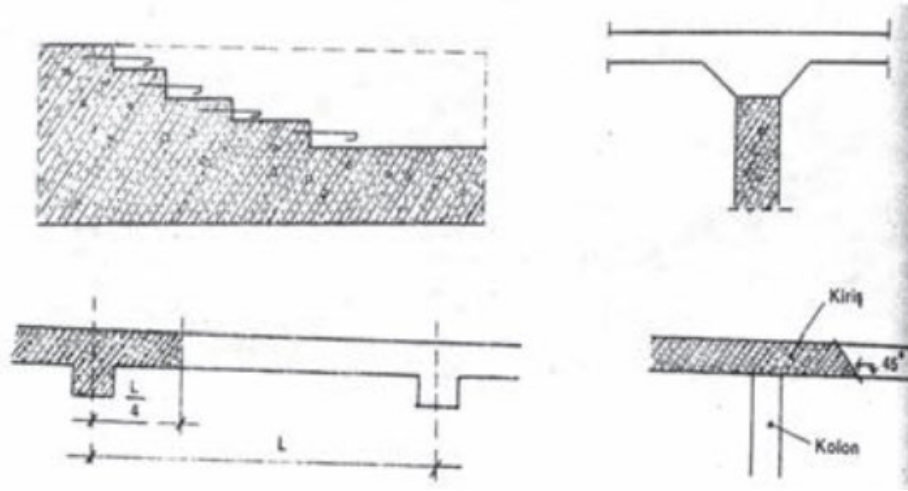


Şekil 1. Kolon-kiriş birleşim bölgesinde bırakılan soğuk derz (Roy and Laskar, 2017)

Soğuk derz, farklı sürelerde dökümü gerçekleşen iki beton arasında aderans sağlanamaması durumunda gerçekleşmektedir. Betonun yerleştirilmesi gereken birleşimi elde edebilmek için başlangıçta dökülen betonun üstüne taze beton dökülmeden önce betondaki molozların, kirlerin ve tozların iyi bir şekilde temizlenmesi gerekmektedir. Moloz ve kirleri sistemli bir şekilde temizleme bazen güçleştirici olmaktadır. Bu tür hususlarda zayıf bağlantı oluşmakta ve sonucunda soğuk derz görülmektedir. Bilhassa kolonların kiriş ve döşemelerden ayrı dökülmesi halinde kolon başlarının güzelce temizlenerek hazırlanması ile sonrasında ortaya çıkabilecek ağır hasarlar engellenmiş olunur (Emmons,1993; akt., Şirin,2006).

Beton dökümü yapılacak alanın hazır hale gelmesi için kullanılacak malzeme ve ekipmanların temin edilerek döküm başlamadan plan yapılması gerekmektedir. Kalıpların patlaması, beton mikserinin zamanında şantiyeye ulaşmaması, beton dökümü gerçekleşecek yapının büyüklüğü gibi farklı sebeplerden dolayı dökümü devam ettirilemeyen, beton dökümü yarım kalan ve derz bırakılmak zorunda kalınan durumlarda, beton dökümü rastgele olmamalıdır. Kirişlerde ve döşemelerde açıklığın 1/4'ünde ek

yerler tekniğe uygun olarak, momentin az olduğu yerlerde tahmini 45° eğimli olmasına özen gösterilmelidir. Fakat, kolonlarda ek yer bırakılması uygun görülmemektedir. Kolon ve kirişlerin beraber dökülmesi yeğlenmektedir (Özdemir,2002).



Şekil 2. Beton dökümünde ek yerler (Baştan, 2012)

Yapının zayıf kesimleri genelde ek yerleridir. Bir bütün olarak dökülmeyen ek yerlerde beton elemanın eğilmede çekme ve çekme mukavemeti gibi mekanik özellikleri, monolitik olarak homojen dökülen betona kıyasla daha azdır. Ayrıyeten çevre etkilerinden dolayı taşıyıcı eleman, bu ek yerlerden negatif bir şekilde etkilenir. Bundan dolayı ek yapılması gereken beton kütleler arasında güçlü bir bağlantı elde edilmelidir (Baştan,2010).

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Malzemeler

4.1.1. Beton

Hazır beton, betonu oluşturan bileşenlerin (agrega, su, çimento ve katkı maddeleri) tesis içindeki stok alanlarından daha önce belirlenmiş oranlarda tartılarak santrale ulaştırılması, santral içinde karışımı yapılan bileşenlerin transmiksere yüklenmesinin ardından döküm alanına hazır olarak ulaştırılan betondur.

Bu tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda kullanılacak olan deney numunelerinin içerisine doldurulan C20/25 beton sınıfına sahip olan beton, Korkmaz Beton tarafından KTO Karatay Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü yapı laboratuvarına hazır beton olarak ulaştırılmıştır.

4.1.2. Nervürlü inşaat demiri

Yüzeyinde nervürler bulunan inşaat demiri, betonarme yapılarda kayma ve çekme gerilmelerini karşılamak amacı ile beton içine yerleştirilen, özel şekillendirilmiş çelik çubuklardır. 21. yüzyıldan önce genel olarak düz inşaat demiri inşaat sektöründe sıklıkla kullanılmaktaydı. Sonrasında ise yapılarda düz inşaat demirinin kullanılmasının birçok hasara yol açtığı tespit edilmiştir. Buna ek olarak betonla arasında iyi bir aderans oluşturulmadığı görülmüştür. Bunun sonucunda nervürlü demirin üretilmesi ve kullanılması yaygınlaşmıştır. Yüksek mukavemetli bir çelik türü olan nervürlü inşaat demiri, sıcak haddelenmiş çubuğun denetimli olarak soğuk bükümü ile imalat edilmiştir. 1998 yönetmeliğinden itibaren ülkemizde zorunlu hale gelmiştir. Nervürlü demirin yüzeyinde bulunan girintili ve çıkıntılı yapılar betona daha iyi bağlanması sağlamıştır. Betonun dayanımını arttırdığından dolayı tercih edilmiştir. Ayrıca dişli yapıya sahip olan bu demirlerin beton ile arasında yüksek bağlayıcılık oluşturmaları güvenle kullanım sağlamaktadır (Toprak, 2021).

Bu deneyde Ø6, Ø10 ve Ø12'lik nervürlü inşaat demiri kullanılmıştır.

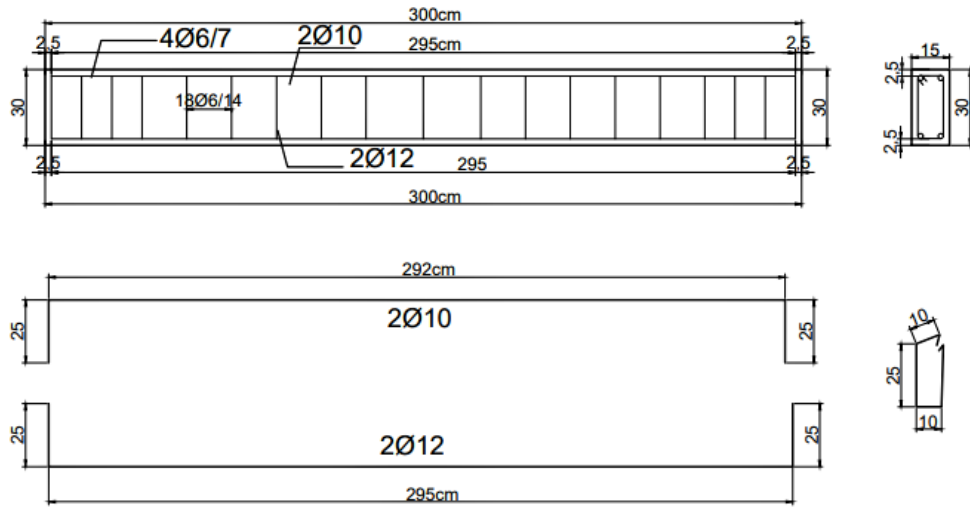
4.2. Yöntem

Bu çalışmada, standartlara uygun C20/25 beton dayanımına sahip hazır beton kullanılmış ve elde edilen beton üzerinde sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır.

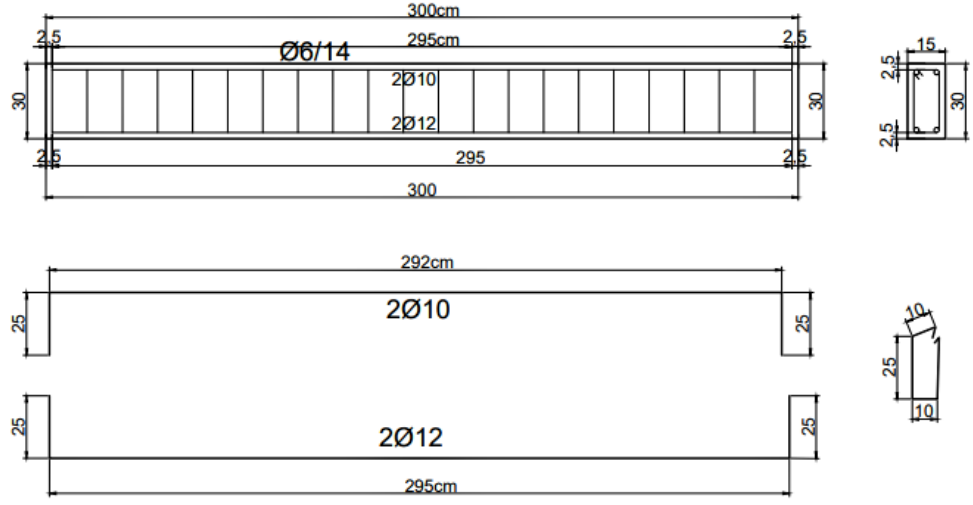
Tez çalışması kapsamında, beton tasarımı yapıldıktan sonra numuneler hazırlanmış, kirişlerde dört noktali eğilme deneyi uygulanarak kirişlerin yükleme anında davranışı izlenmiş ve kayıt altına alınmıştır. Küp numunelerde ise beton basınç testi yapılmıştır.

4.2.1. Deney elemanlarının tasarımı

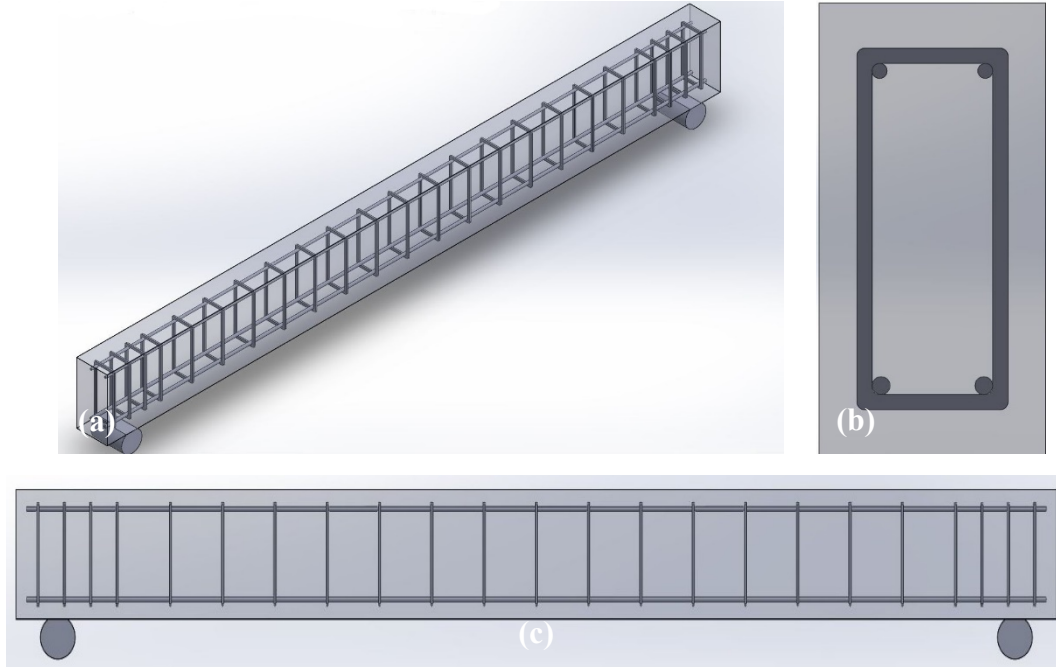
Bu çalışmada, deneysel olarak betonarme kirişlerde kesme bölgesinde oluşan soğuk derzin tasarım kapasitesine etkisi incelenmektedir. Soğuk derz açısının ve güçlendirme yöntemlerinin elemanların dayanım ve mekanik davranışına etkilerini incelemek amacıyla çalışma kapsamında sekiz tane 3000 mm uzunlukta ve 150x300 mm kesitinde C20/25 beton sınıfında betonarme kiriş ve 24 adet 150×150×150 mm boyutunda küp numune hazırlanmıştır. Bunlardan iki tanesi soğuk derz oluşturulmamış referans kiriş numuneleri olarak belirlenmiştir. Referans kiriş numunelerinden bir tanesi sıklaştırmalı olarak, diğeri ise sıklaştırmaz olarak (Şekil 3-4) tasarlanmıştır. Diğeri altı tane hazırlanan soğuk derz kiriş numunelerinde sıklaştırma bulunmaktadır. 90°, 45° ve 0° açılarda soğuk derz oluşturularak ve ilave donatı eklenerek (Şekil 6) soğuk derzli kiriş numuneleri tasarlanmıştır.



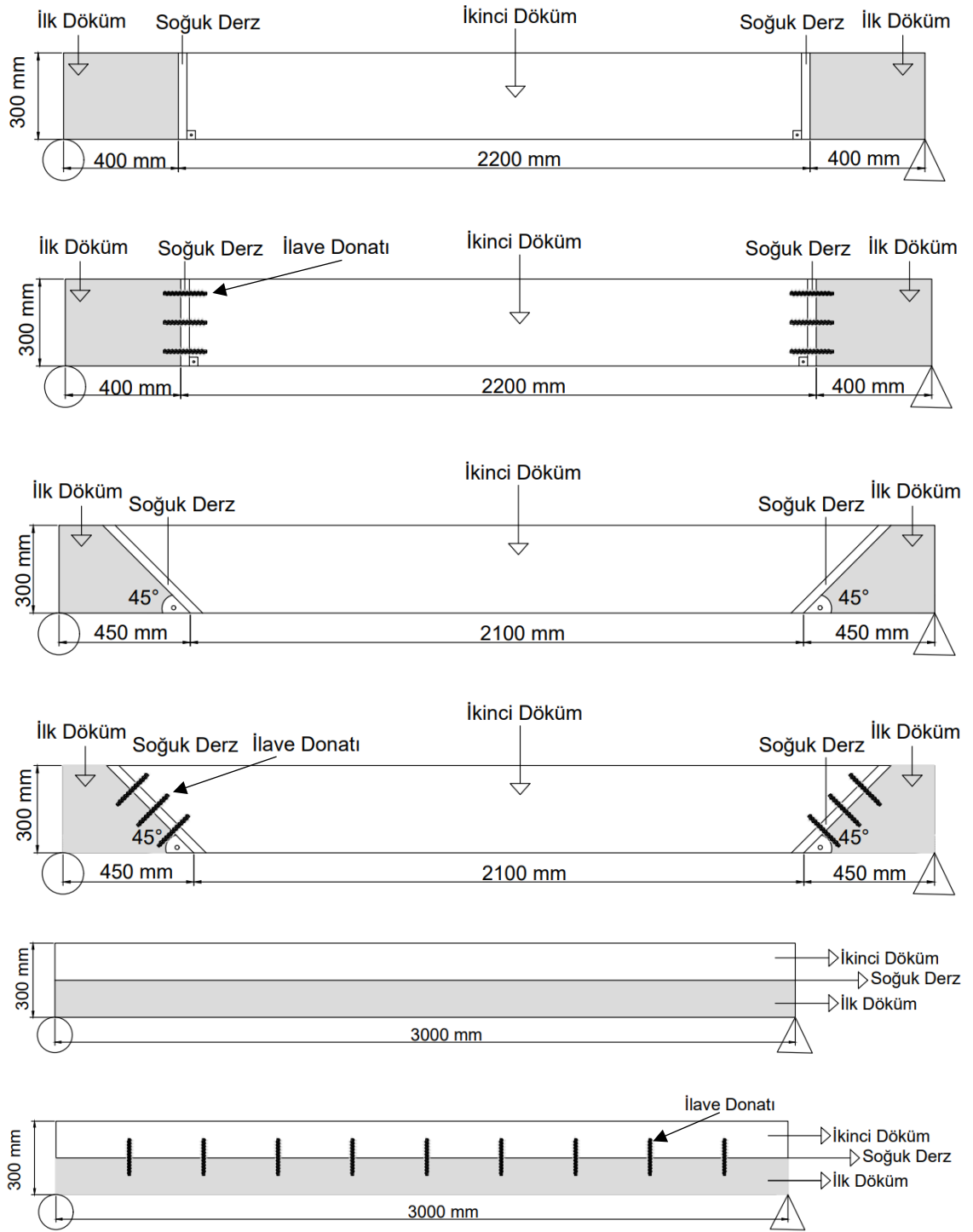
Şekil 3. Betonarme Referans Kiriş-1 (REF-1 Confined) donatı düzeni



Şekil 4. Betonarme Referans Kiriş-2 (REF-2 Unconfined) donatı düzeni



Şekil 5. Betonarme Referans Kiriş-1 numunesinin (a) izometrik görünümü (b) yan görünümü (c) ön görünümü



Şekil 6. 90°, 45° ve 0° açılarda soğuk derzli kiriş elemanlarının tasarımı

4.2.2. Deney numunelerinin hazırlanması

Tasarlanmış olan kiriş numune detayları ile ilgili bilgiler yukarıda verilmiştir. Betonarme kiriş numunelerinin hazırlanmasında ilk olarak kiriş numunelerinin kalıpları (Şekil 7) ve donatıları (Şekil 8) hazırlanmış, sonrasında beton kalitesinde farklılık olmaması ve uygun şartlarda hazırlanması amacıyla beton santralindeki beton kullanılarak kiriş numune kalıplarında betonarme kiriş üretimi (Şekil 10) gerçekleştirilmiştir. Referans kiriş numuneleri, soğuk derzli elemanların dayanım ve davranışlarıyla karşılaştırmak üzere monolitik olarak beton dökümü gerçekleştirilmiştir. Diğer soğuk derzli kiriş numuneler için ise, beton priz başlangıç süresine dikkat edilerek ilk döküm gerçekleştirildikten sonra ikinci dökümün eklenmesiyle elde edilmiştir. Beton döküm aşamasında ilk döküm ve ikinci döküm olmak üzere 24 adet küp numuneler alınmıştır. Bu numunelerin 7 günlük (6 adet ilk döküm, 6 adet ikinci döküm) ve 28 günlük (6 adet ilk döküm, 6 adet ikinci döküm) basınç dayanımları göz önüne alınarak beton kalitesi belirlenmiştir.

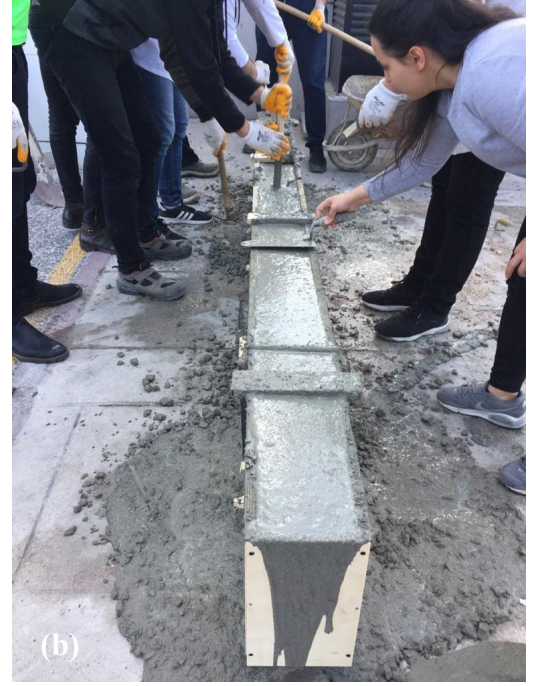
Yapılması planlanan deney kiriş numunelerinin hazırlıklarına öncelikle kiriş kalıplarından başlanmıştır. Ahşap kalıplarda betonarme kiriş üretimi gerçekleştirilmiştir. Betonarme kiriş numuneleri için hazırlanan donatı detayları (Şekil 3-4) verilmiştir. Ø6, Ø10 ve Ø12 nervürlü inşaat demiri kullanılarak sekiz adet kirişin donatıları hazırlanmıştır.



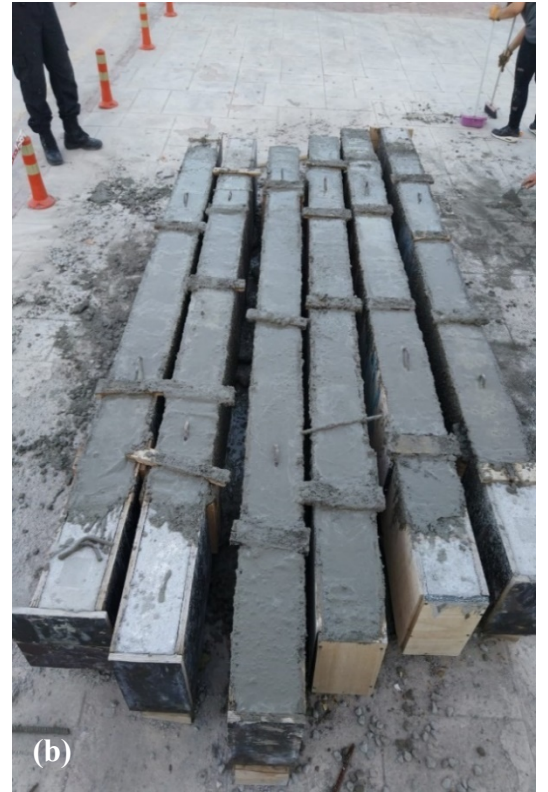
Şekil 7. Kiriş kalıpları (a) hazırlanma aşaması (b) tamamlanmış hali



Şekil 8. Kiriş donatıları (a) hazırlanma aşaması (b) tamamlanmış hali



Şekil 9. Beton dökümü (a) hazır olan numune kirişler (b) döküm aşaması



Şekil 10. Soğuk derzli numuneler (a) ilk döküm sonrası (b) ikinci döküm aşaması

4.2.3. Malzeme dayanımları

4.2.3.1. Beton dayanımı

Kullanılan beton için küp numuneleri alınmış 7 ve 28 gün boyunca kürlenmiştir. Beton numuneleri ilk döküm ve ikinci döküm olmak üzere 7 günlük ve 28 günlük olarak 24 adet kırılmış ve sonuçların ortalamaları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Beton dayanım sonuçları

7 günlük beton basınç dayanımı				
Beton Sınıfı	f_{ck} (MPa)	f_{cd} (MPa)	f_{ctk} (MPa)	f_{ctd} (MPa)
C20/25	20,28	13,52	1,57	1,05

28 günlük beton basınç dayanımı				
Beton Sınıfı	f_{ck} (MPa)	f_{cd} (MPa)	f_{ctk} (MPa)	f_{ctd} (MPa)
C20/25	25,69	17,12	1,77	1,18

4.2.3.2. Donatı dayanımı

Yapılan deneysel çalışmada $\emptyset 6$, $\emptyset 10$ ve $\emptyset 12$ ’lik nervürlü demir kullanılmıştır. Her bir donatı türü için üçer adet numune alınmış ve sonuçların ortalamaları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Donatı dayanım sonuçları

Donatı Çapı	f_{yk} (MPa)	f_{su} (MPa)	f_{yd} (MPa)
$\emptyset 6$	497	533,66	432,17
$\emptyset 10$	476	593,33	413,91
$\emptyset 12$	466	585	405,21

4.2.4. Deney programı

4.2.4.1. Deney düzeneği ve ölçüm aletlerinin hazırlanması

Kiriş deneyleri, KTO Karatay Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarı'nda yer alan eğilme çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, monolitik ve soğuk derzli olan dikdörtgen kesitli basit mesnetli betonarme kiriş numuneler kullanılmıştır. Deney elemanlarına monotonik yükleme, dört nokta yükleme olarak el kontrollü bir hidrolik kriko ile uygulanmış ve yaklaşık 300 kN kapasiteli yük hücresi (load cell) ile ölçülmüştür. Betonarme kiriş numuneler çerçeve içine yerleştirildikten sonra elemana yük hücresi ile simetrik olarak iki tekil yük uygulanmıştır. Hazırlanan kiriş numuneler, çerçeveye dik bir şekilde (Şekil 11) yerleştirilmiştir. Verilerin okunabilmesi için düşey doğrusal yerdeğiştirme okuyucusunun (LVDT- Linear Variable Displacement Transducers) numara etiketleri yapıştırılmış ve tüm deney numuneleri aynı düzende monte edilerek deneyler yapılmıştır. Deney kiriş numunelerinin yerdeğiştirmesi, düşey doğrusal yerdeğiştirme okuyucusunun (LVDT- Linear Variable Displacement Transducers) kiriş orta noktasına ve iki tekil yükün altına sabitlenmesi ile ölçülmüştür. Ayrıca kiriş numunelerinin her birinin kesme bölgesine ipli LVDT sabitlenmiştir. Ölçüm aletleri ve yükleme aletlerinin deney öncesi kalibrasyonları tamamlanmıştır. Bütün hazırlıklar bittikten sonra verilerin bilgisayara aktarılması amacıyla bağlantılar oluşturulmuştur. Oluşturulan bağlantı sonrasında elektronik ölçüm aletlerinin başlangıç okumaları gözden geçirilip kontrolü sağlanarak deneye başlanmıştır. Deneyler uygulanırken, yüke bağlı olarak oluşan kirişteki sehim, eğilme test programı arayüz ekranından izlenmiştir. Yük-sehim eğrileri alınan veriler üzerinden elde edilmiştir. Deneysel çalışmada iki tanesi referans kiriş olmak üzere sekiz adet betonarme kiriş test edilmiştir.



Şekil 11. Deney düzeneği

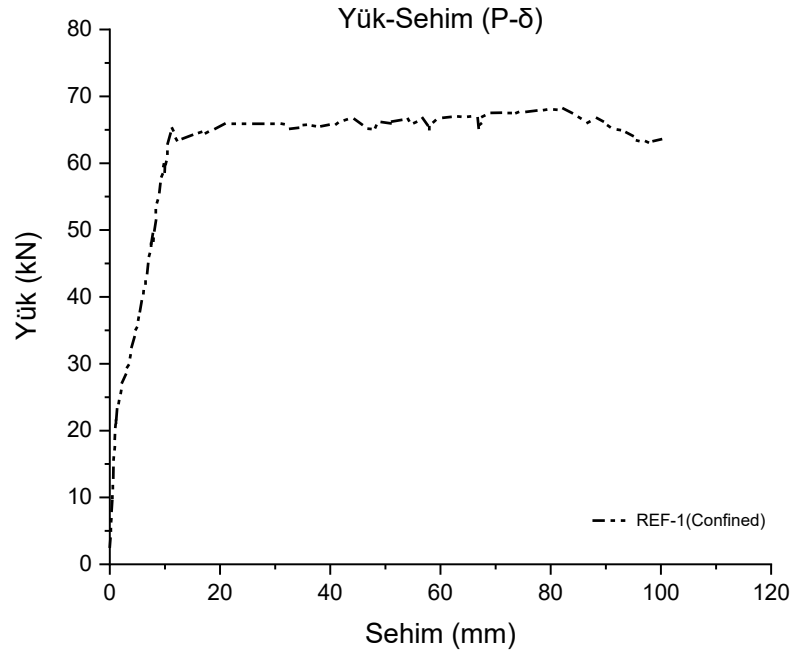
5. BULGULAR

Çalışmada incelenmek üzere sekiz adet 150×300×3000 mm boyutlarında betonarme kiriş üretilmiştir. Her bir kiriş numunesi dört nokta eğilme testine tabi tutulmuştur. Deneysel çalışmaya öncelikle referans elemanı olarak belirlenen kiriş numuneleri ile başlanmıştır. Devamında diğer kiriş numunelerinin de testleri de gerçekleştirilerek deneysel çalışma sonlandırılmıştır. Tüm deney numuneleri için yük ve deformasyon ölçümleri ile çatlak dağılımlarını gösterir birer fotoğraf alınmıştır.

5.1. Betonarme Referans Kiriş-1 (Ref-1 Confined)

İlk referans numune olarak belirlenen Ref-1 Confined numunesinde toplam 26 adet 6 mm çaplı etriye donatısı kullanılmıştır. Etriyeler; yetmişer mm aralıkla dörder adet her iki sarılma bölgesinde, yüz kırkar mm aralıkla 18 adet orta bölgede yer almaktadır. İlk test edilen deney numunesi bu kiriş elemanıdır. Yükleme sırasında, 20 kN'a gelinceye kadar herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. 10 ve 20 kN yük değerlerine karşılık sırasıyla deplasman değerlerinin 0,4 ve 0,99 mm olduğu tespit edilmiştir. 30 kN'da tekil yük altında ilk çatlak oluşmuştur ve deplasman 3,2 mm olarak okunmuştur. 40 kN'da (okunan deplasman değeri 6,13 mm) eğilme bölgesinde oluşan çatlaklar ilerlemeye devam etmiş ve kiriş üzerinde yeni çatlaklar simetrik olarak oluşmuştur. İlk aderans çatlakları 50 kN'da (okunan deplasman değeri 7,9 mm) yükün olduğu noktalar altında gözlemlenmiştir. 10 mm'lik deplasman 60 kN'da okunmuş ve ardından yaklaşık 65 kN 'da çekme donatısı akma meydana gelmiştir. Bundan sonra yüklemeye devam edildikçe, yük seviyesinde önemli ölçüde artış olmamasına rağmen deformasyon değerleri hızlı bir şekilde artmıştır.

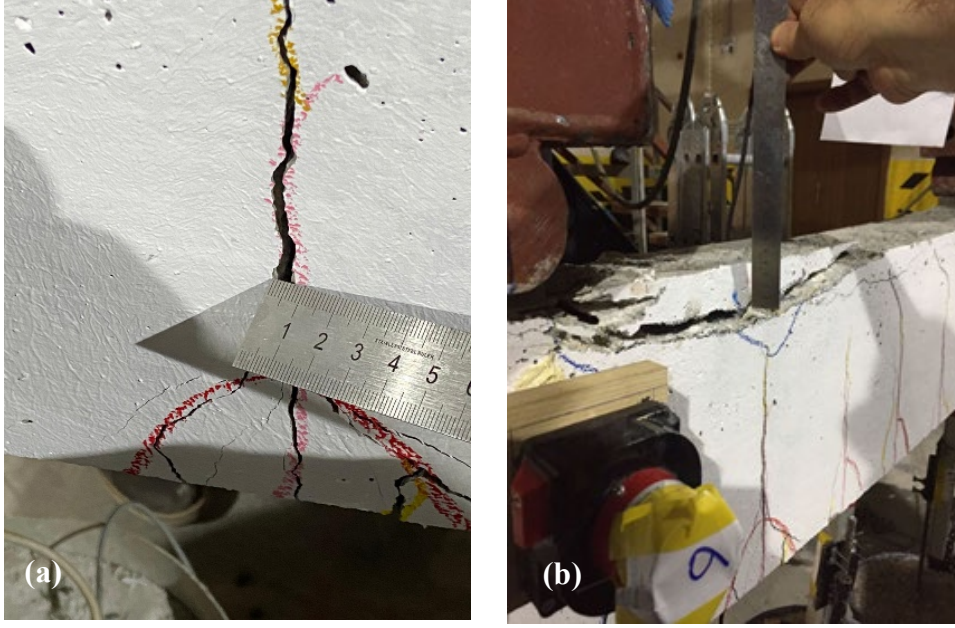
Deformasyonlar artarken ise çatlaklar basınç bölgesine ilerlemeye devam etmiş ve yaklaşık 85 mm deplasman değerinde yük noktalarından birinde ezilme başlangıcı gözlemlenmiştir. 100 mm deplasman değerinde ise betonda ezilme meydana gelmiştir. Test sonrası basınç derinliği yaklaşık 30-35 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 13.b.). En büyük çatlak genişliği ise yaklaşık 6 mm (Şekil 13.a.) olarak tespit edilmiştir. Bu numunenin Şekil 11'de yük deformasyon eğrisi, Şekil 12'de eğilme testi sonrası çatlak durumu ve Şekil 14'te deney sonrası durumu gösterilmiştir. Soğuk derze sahip olan diğer tüm deney numunelerinin etriye düzeni Ref-1 Confined ile aynıdır.



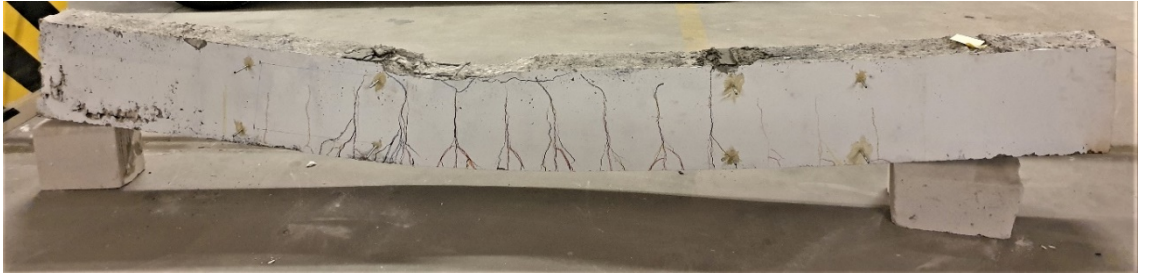
Şekil 12. Ref-1 Confined kirişi yük-deplasman grafiği



Şekil 13. Ref-1 Confined kiriş numunesinin yükleme anında çatlak oluşumu



Şekil 14. Ref-1 Confined kiriş numunesinde (a) çatlak genişliği (b) basınç derinliği yükseklği

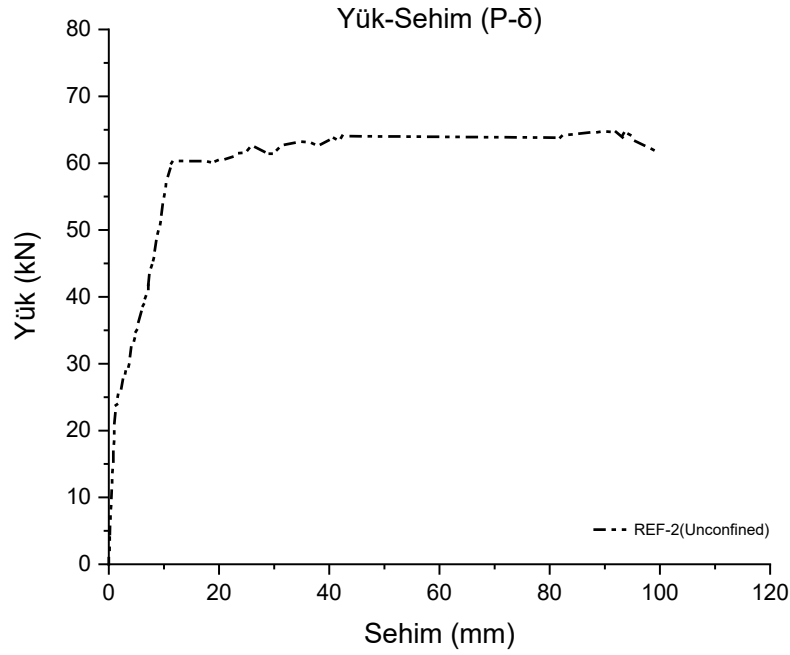


Şekil 15. Deney sonrası Betonarme Ref-1 Confined kiriş deney elemanı

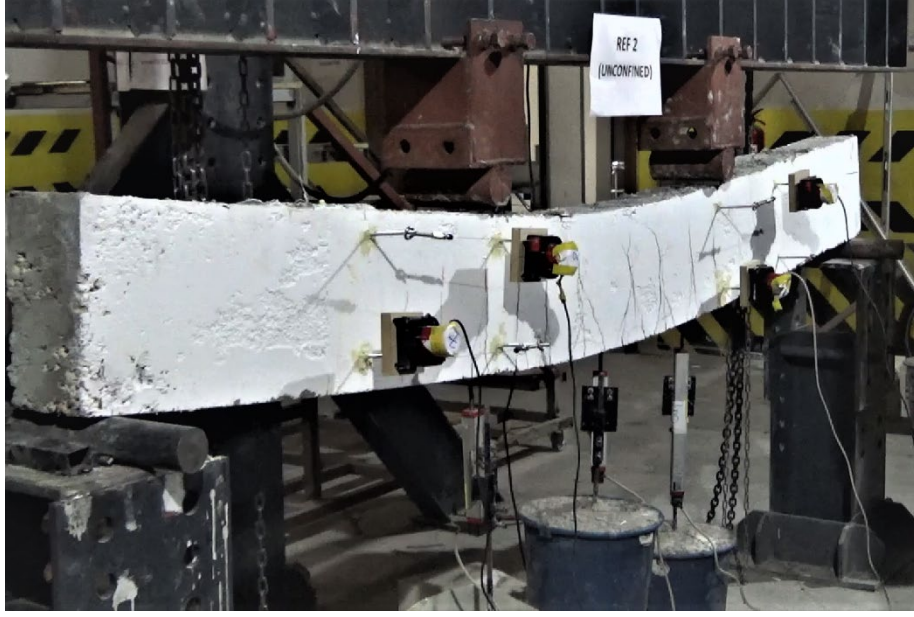
5.2. Betonarme Referans Kiriş-2 (Ref -2 Unconfined)

İkinci referans numunesinde (Ref-2 Unconfined), 6 mm çaplı 140 mm aralıkla çelik triyeller kullanılmış olup sıkılaştırma bölgesi bulunmamaktadır. Yükleme sırasında yük 10 kN ve 20 kN iken çatlak görülmemiş olup sırasıyla 0,5 mm ve 1 mm deplasman değerleri okunmuştur. İlk çatlama yaklaşık 25 kN’da meydana gelmiştir. 30 kN yük değerine karşılık 3,3 mm deplasman değeri görülmüştür ve yeni çatlaklar oluşmuştur. İlk aderans çatlakları 40 kN’da ve 6,73 mm deplasman değerinde gözlemlenmiştir. İlk kesme

çatlakları 50 kN'da meydana gelmiştir. Kesme bölgesinde meydana gelen bu çatlakların 45° açı yapacak şekilde yük noktalarına doğru ilerleme eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. 60 kN'da yeni kesme çatlakları meydana gelmiş ve 11,71 mm deplasman değeri okunmuştur. Yaklaşık 60 kN da akma meydana gelmiş olup 64 kN yük ve buna karşılık gelen 50,56 mm deplasman değerinde beton kabuğunda ezilme işaretleri görülmüş ve yaklaşık 100 mm deplasman değerinde deney sonlandırılmıştır. Kirişte, iki yük noktası arasında yaklaşık en büyük genişlikli çatlağı oluşmuş ve 3,5 mm (Şekil 17) olarak ölçülmüştür. Bu numunenin Şekil 15'te yük deformasyon eğrisi, Şekil 16'da eğilme testi sonrası çatlak durumu ve Şekil 18'de deney sonrası durumu gösterilmiştir.



Şekil 16. Ref-2(Unconfined) kirişi yük-deplasman grafiği



Şekil 17. Ref-2(Unconfined) kiriş numunesi yüklemeye anında çatlak oluşumu



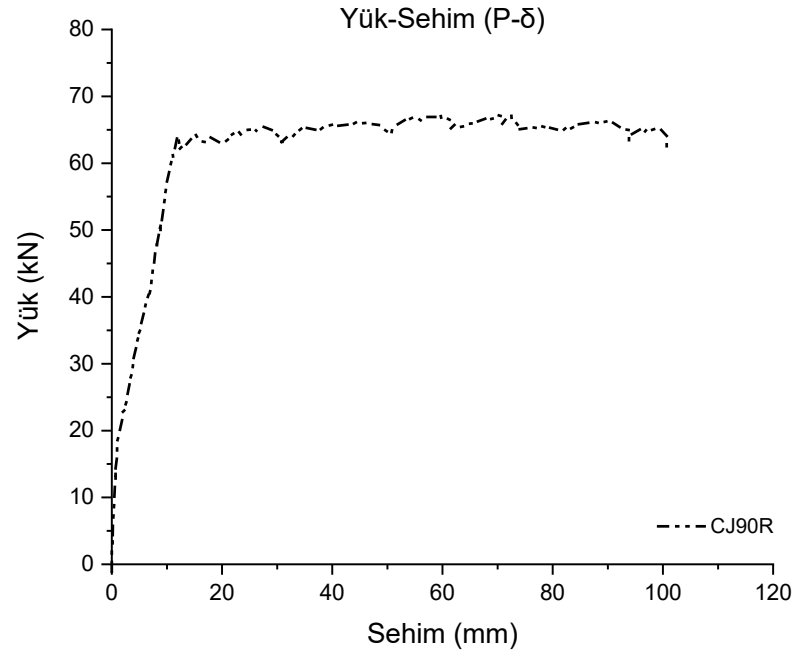
Şekil 18. Ref-2(Unconfined) kiriş numunesi çatlak genişliği



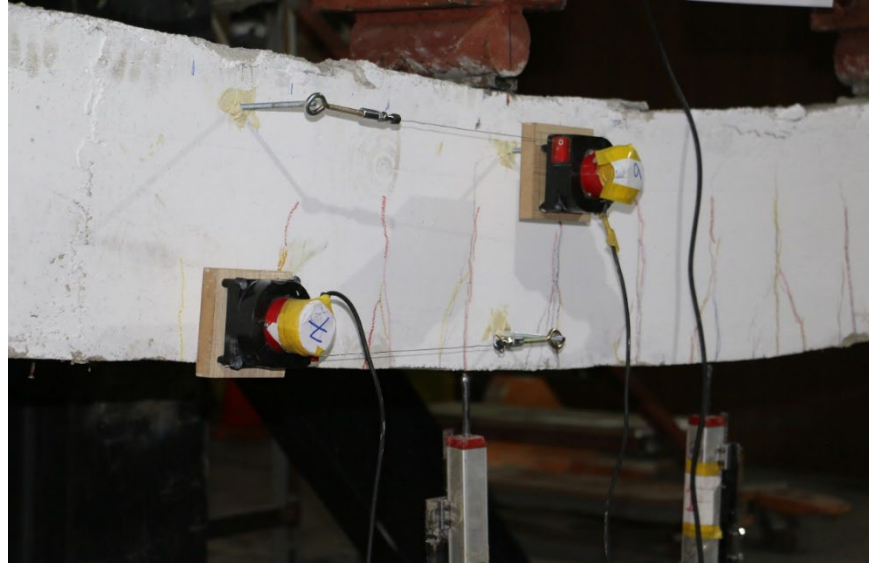
Şekil 19. Deney sonrası Ref-2(Unconfined) kiriş deney elemanı

5.3. Soğuk derzli takviyeli betonarme kiriş-1 (CJ90R)

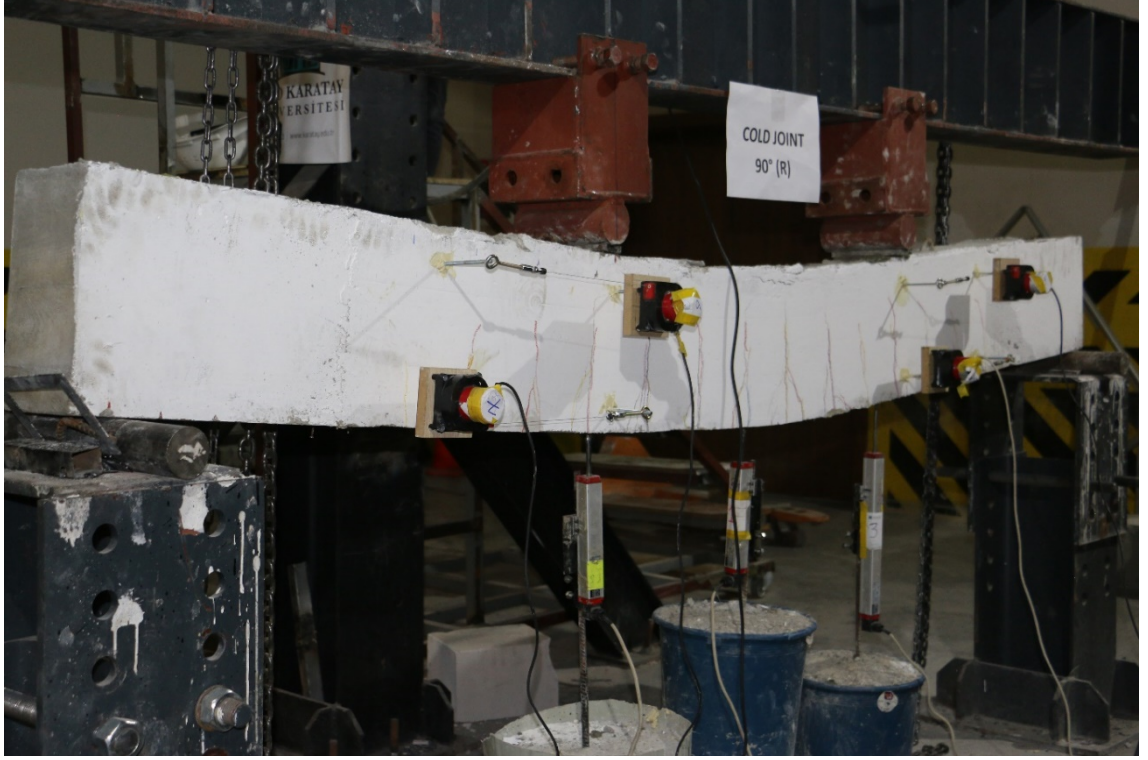
Her iki ucundan dört yüzer mm mesafe uzaklıkta yatayla 90° soğuk derze sahip olan CJ90R numunesi, soğuk derz ara yüzüne üç adet 150 mm uzunluğunda 12 mm çaplı çelik donatı kullanılarak güçlendirilmiştir. Yükleme esnasında ilk eğilme çatlak 20 kN yük değerinde (1,49 mm deplasman değeri) ve iki yük noktası arasında meydana gelmiştir. 30 kN'da oluşan yeni eğilme çatlaklarının oluştuğu ve mevcut çatlakların ilerlemeye devam ettiği tespit edilmiştir. Ayrıca bu yük değerinde kesme bölgelerinde de yeni çatlakların oluşumu gözlemlenmiştir. 40 kN yük değerinde (6,87 mm deplasman değeri) çatlaklar ilerlemeye devam ederken soğuk derz birleşimi üzerinde henüz bir çatlak tespit edilmemiştir. İlk aderans çatlakları 50 kN'da (8,8 mm deplasman değeri) gözlemlenmiş ve eğilme bölgesinde yer alan çatlaklarda çatallaşma meydana gelmiştir. 60 kN yük değerinde (11,01 mm deplasman değeri) yeni çatlaklar oluşmuş ve var olan çatlaklar basınç bölgesine doğru ilerlemeye devam etmiştir. Ayrıca kesme çatlakları 45° eğimli hale gelmeye başlamıştır. 64 kN'da çatlaklar gittikçe daha belirgin hale gelmiştir ve basınç bölgesine ilerlemiştir. Yaklaşık 70 mm deplasman değerinde yük noktası altında basınç ezilmeleri başlamıştır. 100 mm deplasman değerinde de deney durdurulmuştur. Soğuk derz birleşim yerinde herhangi bir çatlak tespit edilmemiş olup bunun temel nedeni olarak soğuk derz düzleminin çelik donatılar ile takviye edilmesi olduğu düşünülmüştür. Bu numunenin; Şekil 19'da yük deformasyon eğrisi, Şekil 20- 21'de eğilme testi sırasındaki çatlak durumu ve Şekil 22'de deney sonrası durumu gösterilmiştir.



Şekil 20. CJ90R kirişi yük-deplasman grafiği



Şekil 21. CJ90R kiriş numunesi



Şekil 22. CJ90R kirişi yükleme anında çatlak oluşumu

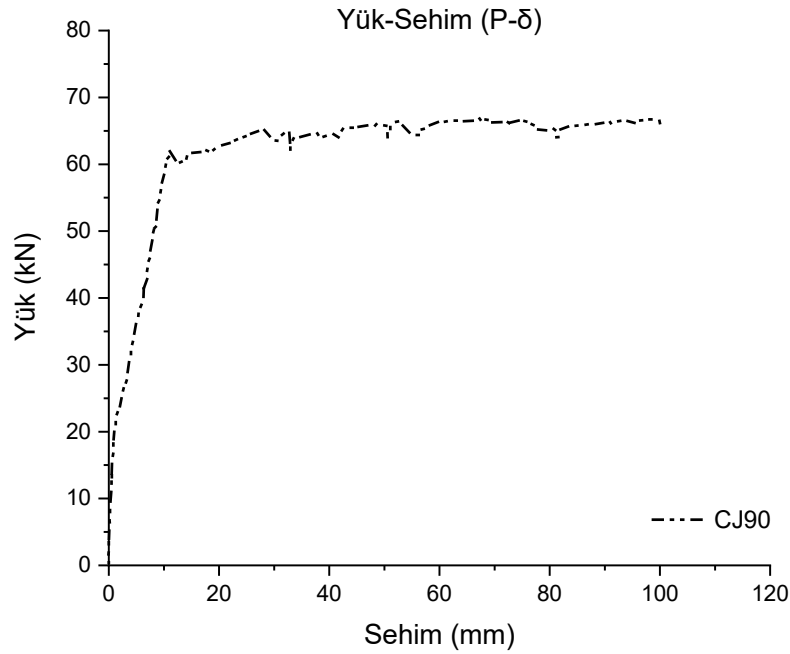


Şekil 23. Deney sonrası CJ90R kiriş deney elemanı

5.4. Soğuk derzli betonarme kiriş-1 (CJ90)

Bu deney numunesi de CJ90R numunesine benzer olacak şekilde soğuk derz birleşimine sahiptir. Ancak soğuk derz ara yüzünde takviye çelik donatısı kullanılmamıştır. Yaklaşık 10 kN ve 20 kN yük değerlerinde da çatlak oluşmamış olup sırasıyla 0,45 ve 1,07 mm deplasman değerleri elde edilmiştir. Yaklaşık 24 kN yük değerinde ilk çatlak meydana gelmiştir. 30 kN yük değerinde (3,67 mm deplasman değeri) yeni eğilme çatlakları oluşmaya başlamıştır. 40 kN yük değerinde (6,3 mm deplasman değeri) gerçekleştirilen

gözlem neticesinde sol mesnet tarafında yer alan soğuk derz birleşiminin olduğu yerde ilk çatlak tespit edilmiştir. 50 kN yük değerinde (8,25 mm deplasman değeri) kesme bölgesinde yatayla 45° açı yapan yeni çatlaklar oluşmuştur. Ayrıca sağ mesnette soğuk derz birleşimine yakın bölgede küçük çatlaklar meydana gelmiştir. 60 kN yük değerinde (10,45 mm deplasman değeri) soğuk derz birleşimlerinde meydana gelen çatlakların kiriş yarı yüksekliğine kadar ilerlediği tespit edilmiştir. Yaklaşık 62 kN'da (20 mm deplasman değeri) eğilme bölgesindeki çatlaklar yük noktalarına doğru oldukça ilerlemiştir. Deplasman değeri yaklaşık olarak 50 mm olduğunda yük noktası altında betonda ezilme başlangıcı gözlemlenmiştir. Kiriş taşıma gücüne yaklaşık 75-80 mm deplasman değerinde betonun ezilmesiyle ulaşmıştır. 100 mm deplasman değerinde yüklemeye durdurulmuş olup kirişin tam ortasında yaklaşık 3 mm genişliğinde en büyük çatlak gözlemlenmiştir. Deney numunesinin; Şekil 23'te yük deformasyon eğrisi, Şekil 24'te yüklemeye anındaki çatlama durumu, Şekil 25'te soğuk derz yüzeyinde meydana gelen çatlak ve Şekil 26'da deney sonrası durumuna yer verilmiştir.



Şekil 24. CJ90 kirişi yük-deplasman grafiği



Şekil 25. CJ90 kirişi yükleme anında çatlama durumu



Şekil 26. CJ90 kirişi derz yüzeyi çatlak durumu

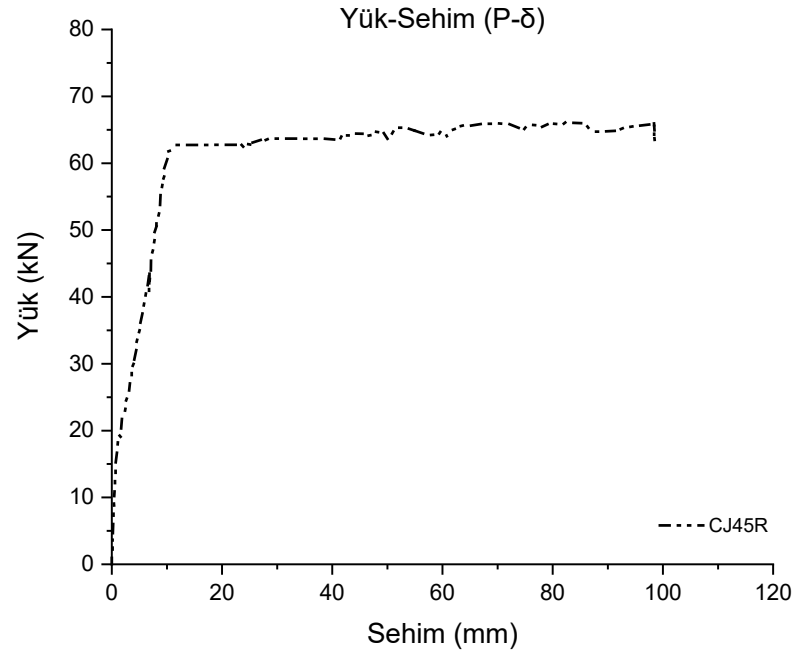


Şekil 27. Deney sonrası CJ90 kirişi deney elemanı

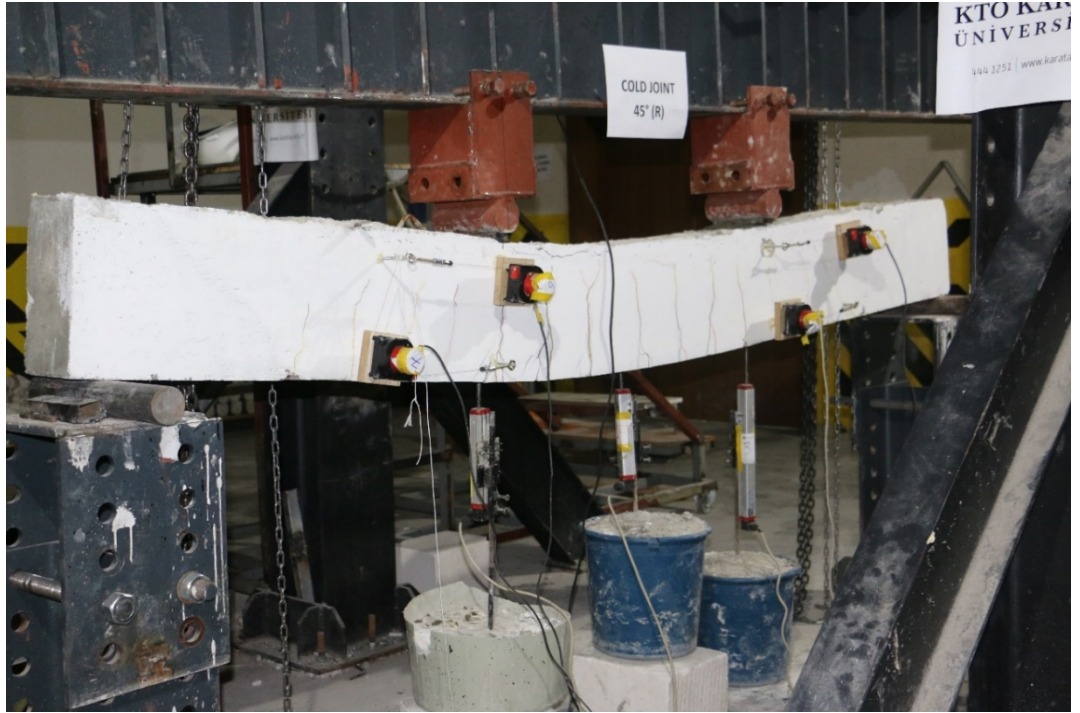
5.5. Soğuk derzli takviyeli betonarme kiriş-2 (CJ45R)

Soğuk derzli takviyeli betonarme kiriş-2 numunesinde kirişin sağ ve sol mesnet kesme bölgesinde yatayla 45° açı olacak şekilde soğuk derz düzlemi oluşturulmuştur. Soğuk derz düzlemlerinin orta noktaları kiriş uç noktalarına yaklaşık dört yüzer mm uzaklıktadır. Bu deney numunesinde soğuk derz düzlemine dik yönde üç adet 150 mm uzunluklu 12 mm çaplı donatı ile soğuk derz düzlemi güçlendirilmiştir. Eğilme testi sırasında ilk çatlama yaklaşık olarak 19 kN’da meydana gelmiştir. Yük seviyesi 20 kN olduğunda (1,9 mm deplasman) dört yeni eğilme çatlakları daha meydana gelmiştir. Yüklemeye devam edildikçe çatlaklar basınç bölgesine doğru ilerlemeye devam etmiştir. 40 ve 50 kN yük değerlerinde sırasıyla 6,16 ve 8,09 mm’lik deformasyon değerleri elde edilmiştir. Yük 60 kN değerine ulaştığında (9,7 mm deplasman değeri) ise soğuk derz birleşiminin hemen yanında eğik bir çatlak oluştuğu gözlemlenmiştir. Yaklaşık 63 kN değerinde çelik donatılarda akma gerçekleşmiştir. Deformasyon değerleri arttıkça çatlaklar hızlıca basınç bölgesine doğru ilerlemiştir. Yaklaşık 100 mm deplasman değerinde beton ezilerek test sona ermiştir.

Bu deney elemanına ait; yük deformasyon eğrisi Şekil 27’de, yüklemeye anındaki çatlama durumu Şekil 28’de, soğuk derz düzlemi başlangıcında meydana gelen çatlak Şekil 29’da ve deney sonrası durumu ise Şekil 30’da gösterilmiştir.



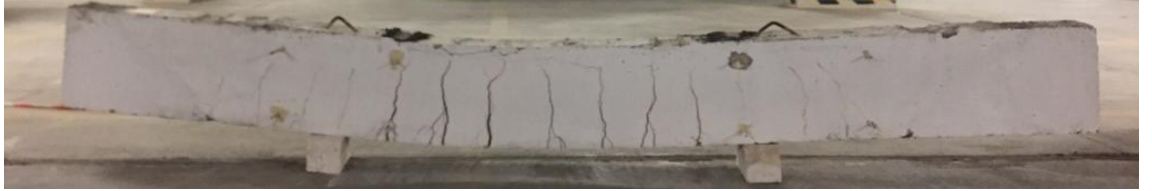
Şekil 28. CJ45R kirişi yük-deplasman grafiği



Şekil 29. CJ45R kirişi yükleme anında çatlama durumu



Şekil 30. CJ45R kirişi soğuk derz düzlemi başlangıcında meydana gelen çatlak



Şekil 31. Deney sonrası CJ45R kirişi deney elemanı

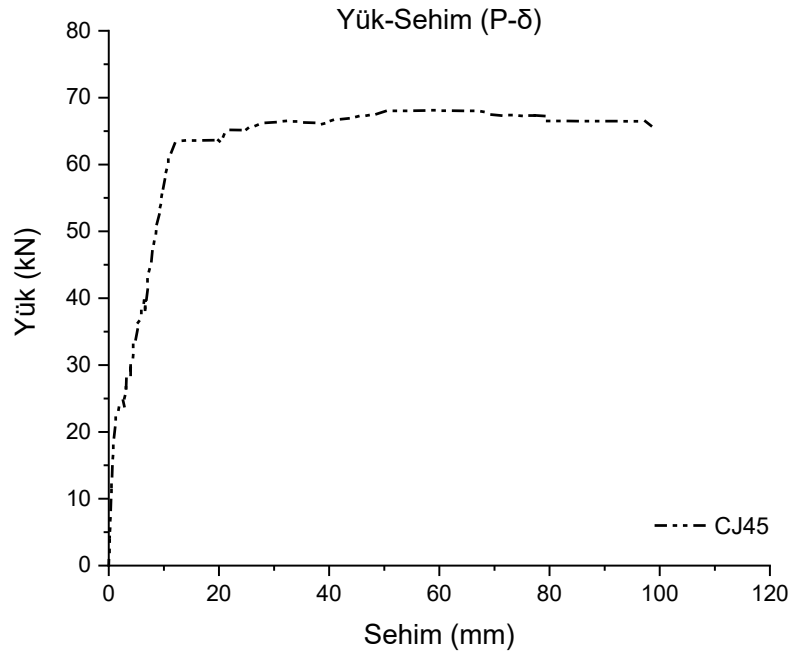
5.6. Soğuk derzli betonarme kiriş-2 (CJ45)

Bu deney numunesi Soğuk derz takviyeli betonarme kiriş-2 numunesi ile aynı şekilde tasarlanmıştır. Tek farkı soğuk derz düzleminde beton yüzeylerinin arasında takviye çelik donatısının kullanılmamış olmasıdır.

Eğilme testi sırasında ilk çatlama 20 kN yük değerinde kesme bölgesinde meydana gelmiştir. Yaklaşık 24 kN'da kiriş kesme ve eğilme bölgelerinde yeni çatlaklar meydana

gelmiştir. Yük seviyesi 30 kN değerine ulaştığında (3,96 mm deplasman değeri) kesme bölgesinde yer alan çatlaklar hızlı bir şekilde ilerlemiştir. Özellikle kirişin sağ tarafında yer alan kesme çatlakları yük noktasına oldukça yaklaşmıştır. 40 kN yük değerinde (6,60 mm deplasman değeri) soğuk derz birleşiminin sol alt yüzünde yeni bir çatlak meydana gelmiştir. İlk aderans çatlakları ise 50 kN yük değerinde (10,8 mm deplasman değeri) meydana gelmiştir. 60 kN yük değerinde sol tarafta yer alan soğuk derz birleşiminin solunda yeni çatlaklar oluşmuştur. Yaklaşık 62 kN yük değerinde (20 mm deplasman değeri) numunenin sağ tarafında yer alan soğuk derzin sağında başlayan ve soğuk derz birleşiminden geçen kesme çatlakları oluşmuştur. Kirişin sol tarafında yer alan soğuk derzin solunda başlayan çatlaklar derze kadar ilerlemiştir. Yükleme ilerledikçe çatlaklar basınç bölgesine doğru ilerlemiş ve genişlikleri artmaya devam etmiştir. Çatlak genişlikleri artmaya başlamıştır. Betonun ezilmesi neticesinde deneye son verilmiştir.

Bu deney elemanına ait; yük deformasyon eğrisi Şekil 31'de, yükleme anındaki ve sonrasındaki çatlama durumu Şekil 32-33'te ve deney sonrası durumu ise Şekil 34'te gösterilmiştir.



Şekil 32. CJ45 kirişi yük-deplasman grafiği



Şekil 33. CJ45 kirişi yükleme anında çatlama durumu



Şekil 34. CJ45 kirişi numunesinde soğuk derz birleşim yerinde oluşan çatlaklar

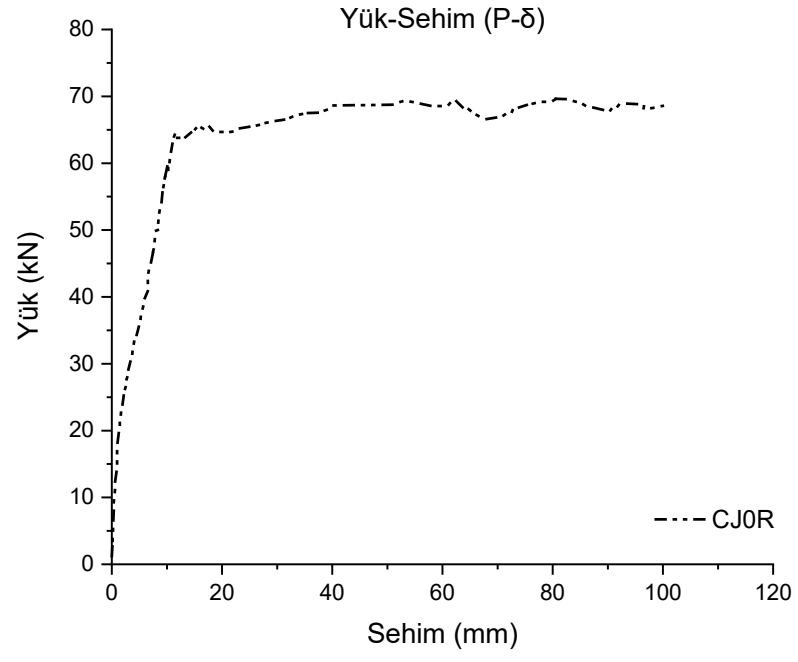


Şekil 35. Deney sonrası CJ45 kiriş deney elemanı

5.7. Soğuk derzli takviyeli betonarme kiriş-3 (CJ0R)

Soğuk derz takviyeli betonarme kiriş-3 numunesinde kiriş boyunca yatayla 0° açıyla kiriş yüksekliğinin yarısı kadar (150 mm) olacak şekilde soğuk derz düzlemi oluşturulmuştur. Bu deney numunesinde soğuk derz düzleminde 300 mm aralıkla dokuz adet 150 mm uzunluğunda 12 mm çaplı çelik donatı kullanılarak güçlendirilmiştir. Eğilme testi sırasında ilk çatlama yaklaşık olarak 24 kN'da meydana gelmiştir. Yük seviyesi 30 kN olduğunda (3,3 mm deplasman) kesme bölgesinde yüklerin sağ ve solunda birer küçük çatlak oluşmuştur. Ayrıca bu yük değerinde eğilme bölgesinde de çatlaklar gözlemlenmiştir. 40 kN yük değerinde (6,14 mm deplasman değeri) hem kesme bölgesinde hem de eğilme bölgesinde meydana gelen çatlaklar soğuk derz düzlemini aştığı gözlemlenmiştir. 50 kN yük değerinde (8,2 mm deplasman değeri) aderans çatlakları gözlemlenmiştir. Genel olarak bütün çatlaklar soğuk derz birleşimini aşarak ilerlemeye devam etmiştir. 60 kN yük değerinde (10,23 mm deplasman değeri) kesme çatlakları yüke doğru ilerlediği gözlemlenmiştir. Eğilme çatlaklarında herhangi bir değişim tespit edilmemiştir. 63 kN yük değerinde deformasyon değeri arttıkça genel olarak mevcut çatlaklarda ilerleme tespit edilmiştir. 100 mm deplasman değerinde yükleme durdurulmuş olup kirişin tam ortasında 4 mm genişliğinde çatlak gözlemlenmiştir.

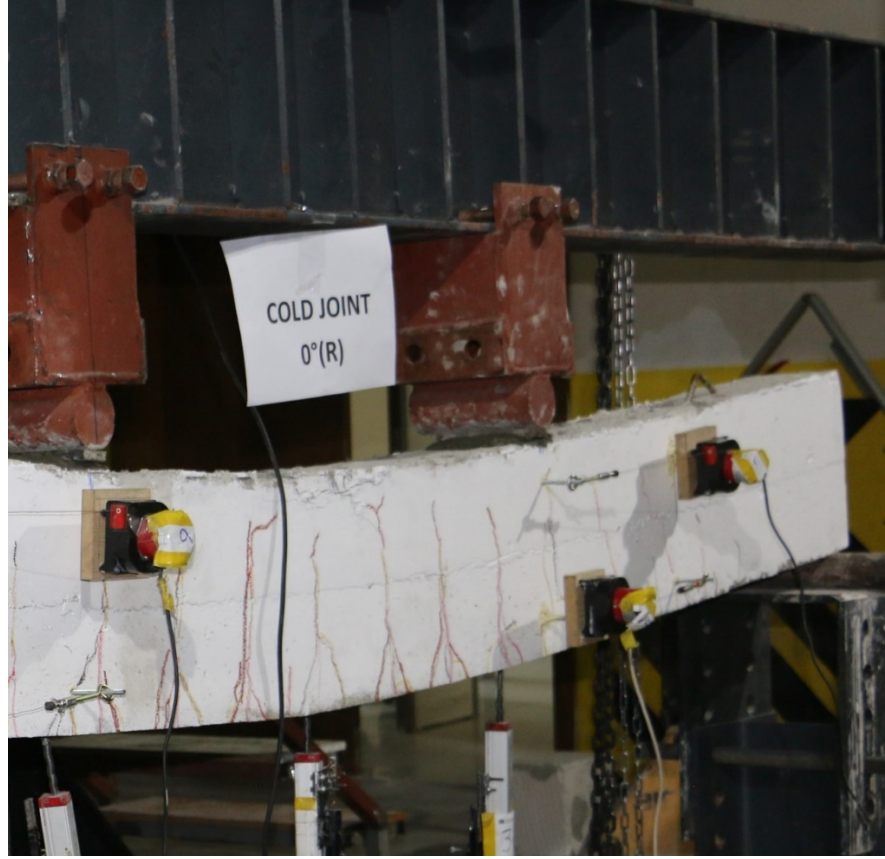
Bu deney elemanına ait; yük deformasyon eğrisi Şekil 38'de, yükleme anındaki ve sonrasındaki çatlama durumu Şekil 39-40'da ve deney sonrası durumu ise Şekil 41'de gösterilmiştir.



Şekil 36. CJ0R kirişi yük-deplasman grafiği



Şekil 37. CJ0R kirişi yükleme anında çatlama durumu



Şekil 38. CJ0R kirişi numunesinde yükleme sonrasında çatlak durumu

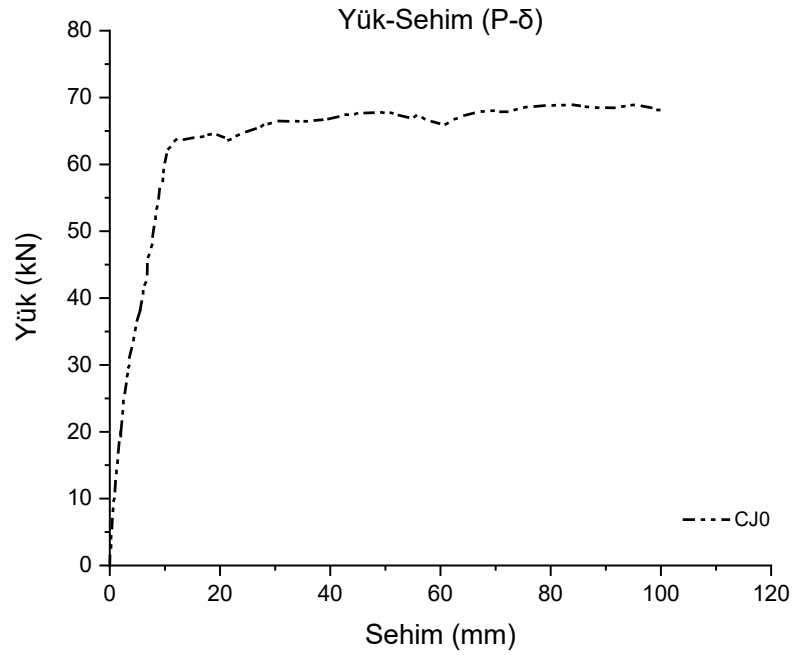


Şekil 39. Deney sonrası CJ0R kiriş deney elemanı

5.8. Soğuk derzli betonarme kiriş-3 (CJ0)

Bu deney numunesi Soğuk derz takviyeli betonarme kiriş-3 numunesi ile aynı şekilde tasarlanmıştır. Fakat soğuk derz ara yüzüne takviye çelik donatısı kullanılmamıştır. 20 kN yük değerinde (1,9 mm deplasman değeri) eğilme ve kesme bölgesinde ilk çatlaklar meydana gelmiştir. 30 kN yük değerinde (3,54 mm deplasman değeri) mevcut çatlaklar ilerlemeye devam ederken aynı zamanda kesme bölgesinde yeni çatlaklar oluşmuştur. Ayrıca eğilme bölgesinde soğuk derzli düzlemdeki çatlakların ilerleği tespit edilmiştir.

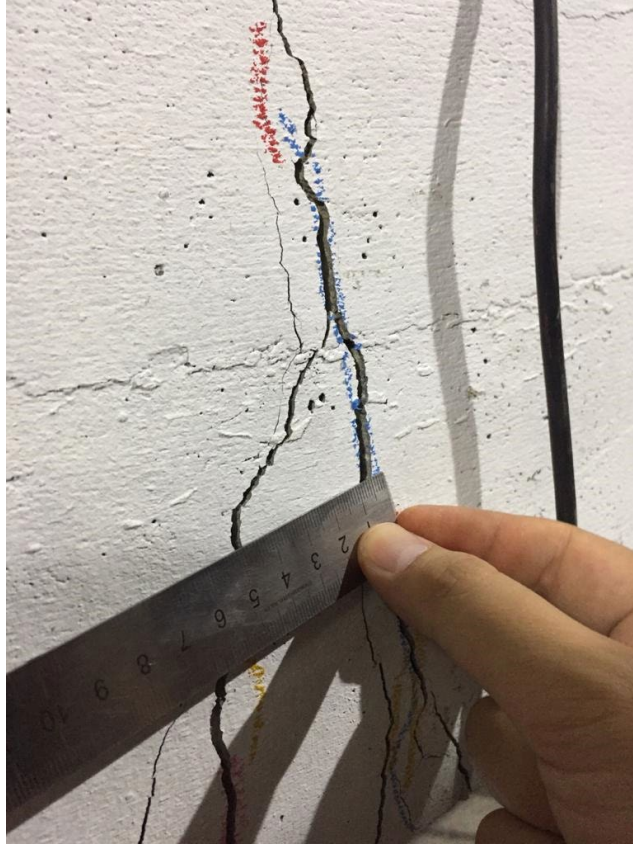
40 kN yük değerinde (6 mm deplasman değeri) kesme bölgesinde soğuk derz birleşimlerinde meydana gelen çatlaklar yatayla 45° açı yaparak ilerlemeye devam etmiştir. 50 kN yük değerinde (8 mm deplasman değeri) kiriş mesnet yerlerine yakın yeni çatlaklar meydana gelmiştir. Ayrıca aderans çatlakları tespit edilmiştir. 60 kN yük değerinde (10 mm deplasman değeri) çatlaklar ilerlemeye devam etmiştir. 63 kN yük değerinde (20 mm deplasman değeri) eğilme bölgesindeki çatlaklarda çatallaşmalar olduğu gözlemlenmiştir. 50 mm deplasman değerinde çatlaklar daha belirgin hale gelmiştir. 100 mm deplasman değerinde deney durdurulmuş olup kirişin tam orta noktasında yaklaşık 5 mm (Şekil 46) çatlak genişliği gözlemlenmiştir. Deney numunesinin Şekil 47’de yük deformasyon eğrisi, Şekil 48’de yükleme anındaki çatlama durumu gösterilmiştir.



Şekil 40. CJO kirişi yük-deplasman grafiği



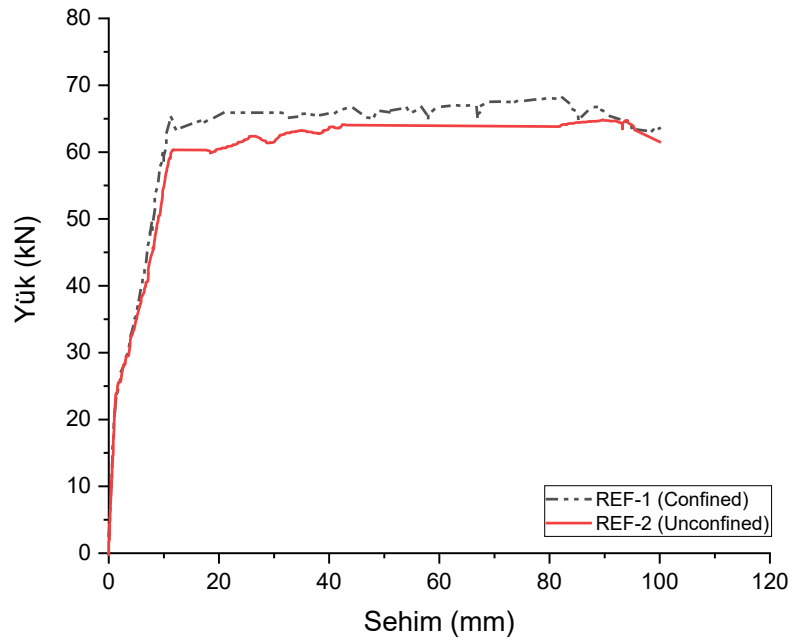
Şekil 41. CJ0 kirişi yükleme anında çatlama durumu



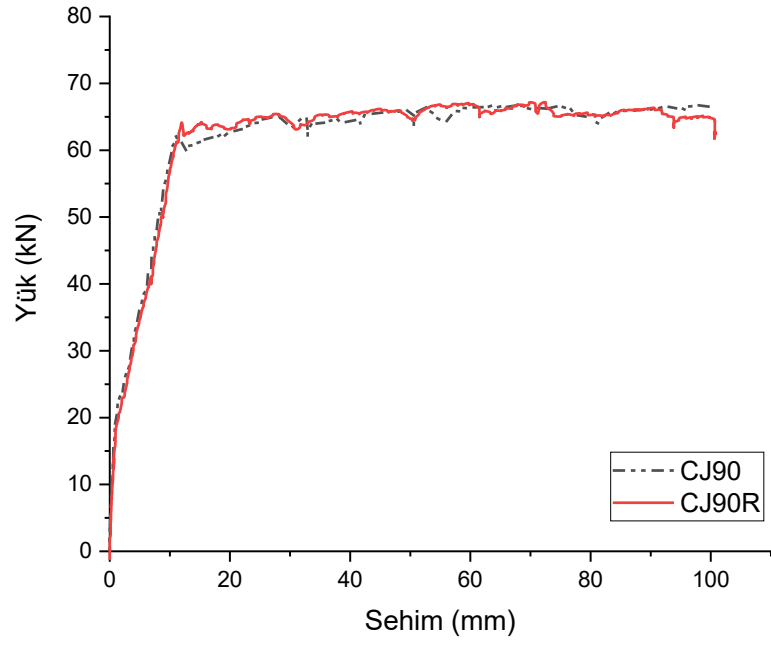
Şekil 42. CJ0 kirişi çatlak genişliği

5.9. Deney elemanlarının yük ve sehim değerlerine göre karşılaştırılması

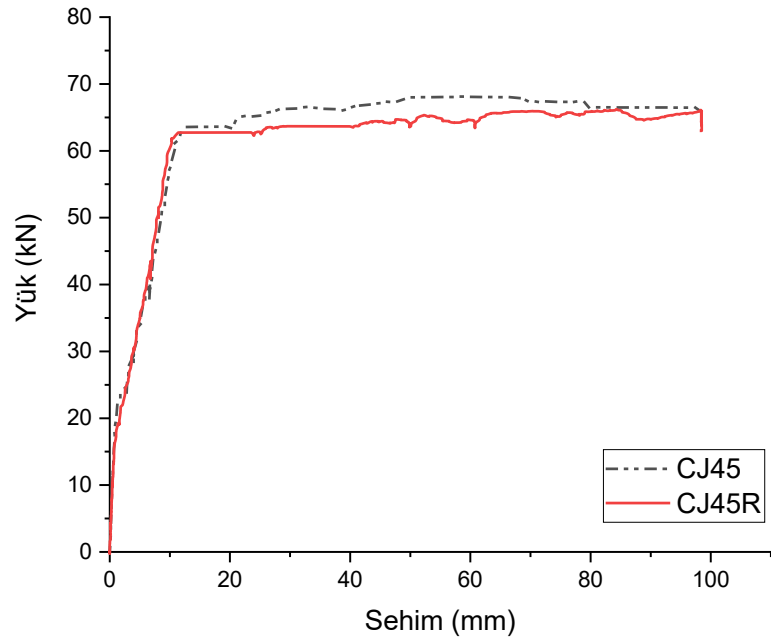
Deneyde elde edilen kiriş numunelerinin önce sarılma bölgesinde sıklaştırmaya sahip referans numune ile sarılma bölgesinde sıklaştırmaya olmayan referans numunelerinin yük-sehim grafikleri Şekil 52’de gösterilmiştir. Aynı açığa sahip soğuk derz ara yüzünde ilave donatılı ve donatısız kiriş numuneleri Şekil 53-54-55’de gösterilmiştir. Sarılma bölgesinde sıklaştırmaya sahip referans numune ile aynı açığa sahip soğuk derz ara yüzünde ilave donatılı ve donatısız kiriş numuneleri Şekil 56-57-58’de gösterilmiştir.



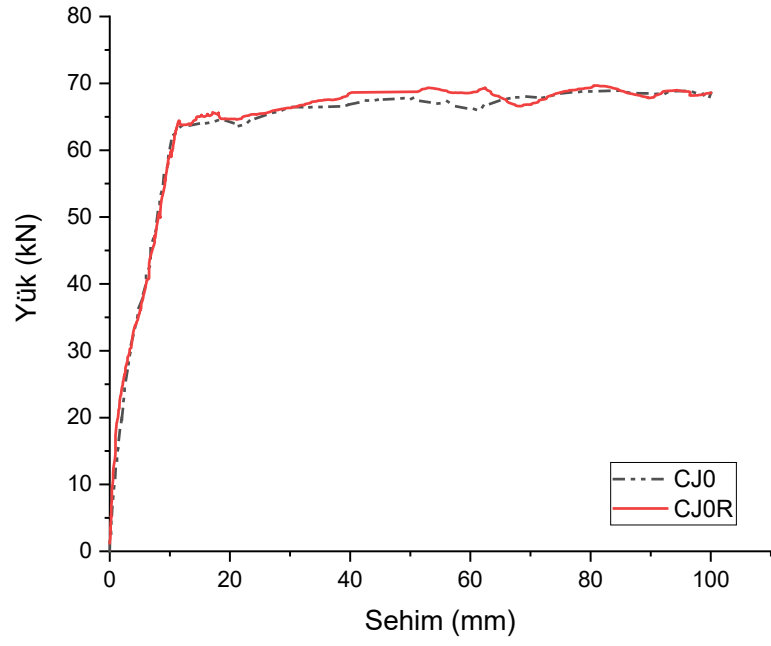
Şekil 43. Ref-1(Confined) ve Ref-2 (Unconfined) deney elemanlarının P-δ eğrisi



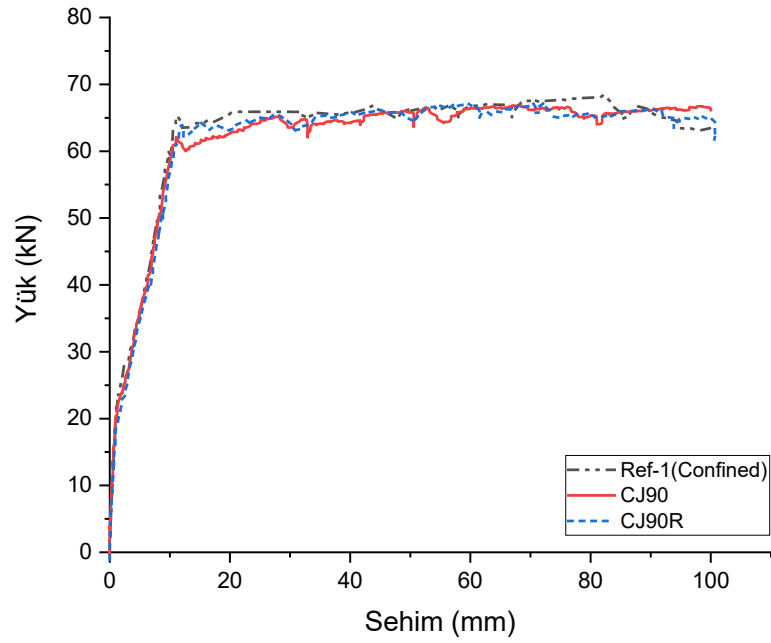
Şekil 44. CJ90 ve CJ90R deney elemanlarının P- δ eğrisi



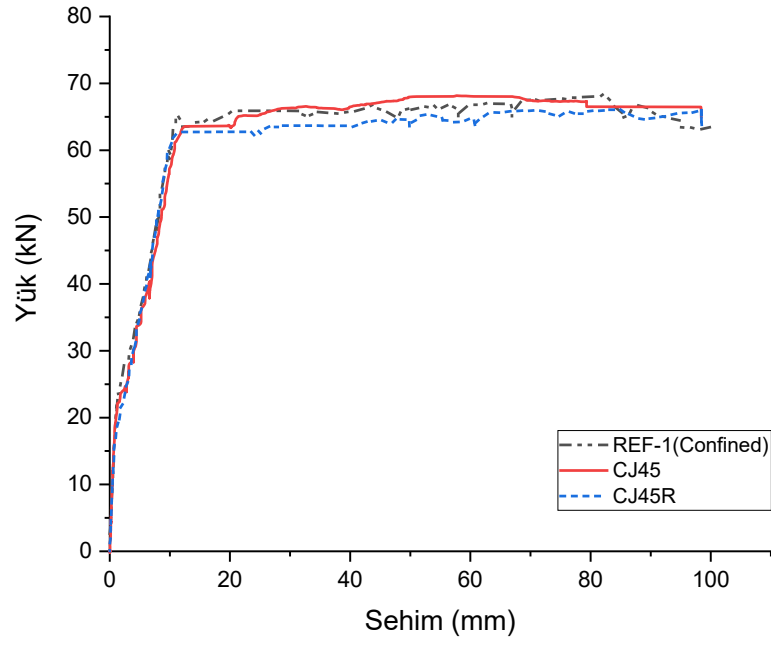
Şekil 45. CJ45 ve CJ45R deney elemanlarının P- δ eğrisi



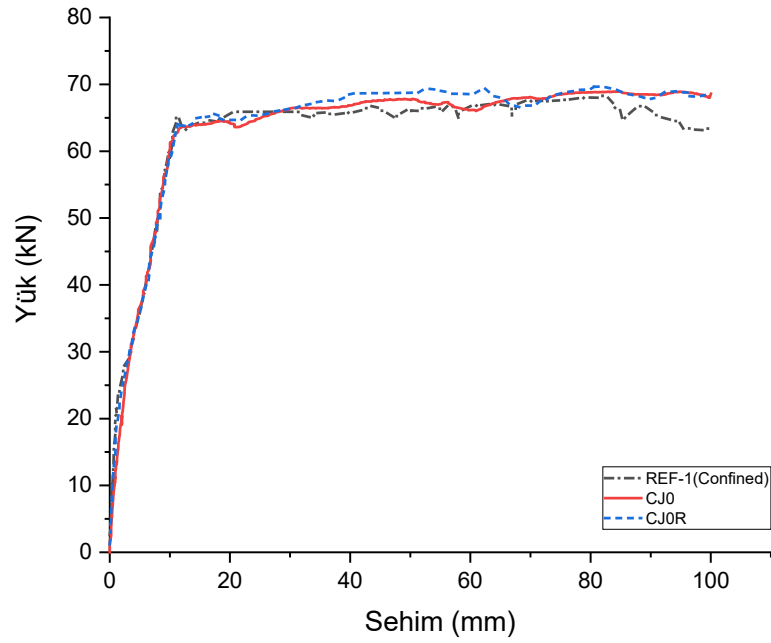
Şekil 46. CJ0 ve CJ0R deney elemanlarının P- δ eğrisi



Şekil 47. CJ90, CJ90R ve Ref-1(Confined) deney elemanlarının P- δ eğrisi



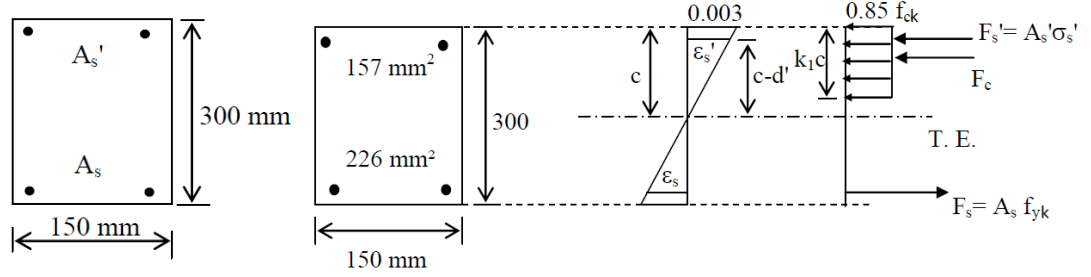
Şekil 48. CJ45, CJ45R ve Ref-1(Confined) deney elemanlarının P- δ eğrisi



Şekil 49. CJ0, CJ0R ve Ref-1(Confined) deney elemanlarının P- δ eğrisi

6. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Basit eğilmeye maruz çift donatılı kesitler çekme kuvvetini donatı, basınç kuvvetini ise beton ve donatının karşıladığı kesitlerdir.



Şekil 50. Çift donatılı kirişte oluşan iç kuvvetler

Donatı oranlarının belirlenmesi:

Asal çekme donatısı: $2\phi 12$ $A_s = 226 \text{ mm}^2$

Basınç donatısı: $2\phi 10$ $A_{s'} = 157 \text{ mm}^2$

Çekme donatısı oranı Denklem 1'de görüleceği üzere hesaplanmalıdır.

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{226}{150 \cdot 275} = 0,00547 \quad (1)$$

Basınç donatısı oranı Denklem 2'de görüleceği üzere hesaplanmalıdır.

$$\rho' = \frac{A_{s'}}{b_w d} = \frac{157}{150 \cdot 275} = 0,00381 \quad (2)$$

Çift donatılı bir kesitin taşıma gücü hesabı yapılırken önce donatı endeksi Denklem 3'te görüleceği üzere hesaplanmalıdır.

$$\alpha = (\rho - \rho') \frac{f_{yk}}{f_{ck}} \quad (3)$$

$$\alpha = (0,00547 - 0,00381) \frac{476}{20,55} = 0,0307$$

Basınç donatısının akmasını belirleyen endeks α_c , $d/d'=0,0909$ doğrusal enterpolasyon yapılarak çizelgeden $\alpha_c=0,17$ bulunur. $\alpha < \alpha_c$ olduğundan basınç donatısı akmamıştır.

Kesitin denge altı olup olmadığı kontrol edilmelidir.

$\rho - \rho' = 0,00166 < \rho_b$ denge altı (normal) donatılı bir kesittir.

“Denge altı kirişlerde çekme donatısının, kiriş taşıma gücüne erişmeden akmış olması zorunludur. Bu denge altı kesit için konmuş bir koşuldur. Doğal olarak bu basınç donatısı için geçerli değildir. Denge altı kesit tanımında basınç donatısının akma zorunluluğu yoktur” (Ersoy ve Özcebe,2016, s. 240).

$E_s=2.10^5$ MPa varsayılmıştır. Basınç donatısındaki gerilme Denklem 4’te görüleceği üzere hesaplanmalıdır.

$$\sigma_s' = 0,003 \cdot \frac{c-d'}{c} \cdot E_s = 600 \frac{c-25}{c} \quad (4)$$

Kuvvet denge denkleminde Denklem 5’te görüleceği üzere hesaplanmalıdır.

$$F_s = F_c + F'_s \quad (5)$$

$$A_s \cdot f_{yk} = 0,85 \cdot f_{ck} \cdot b_w \cdot (k_1 \cdot c) + A'_s \cdot \sigma'_s$$

$$226.466 = 0,85 \cdot 20,55 \cdot 150(0,82 \cdot c) + 157 \left[600 \cdot \left(c - \frac{25}{c} \right) \right]$$

$$105316c = 2620,12c^2 + 94200c - 2355000$$

$$c^2 - 4,242c - 898,8 = 0$$

$$c = 29,905 \text{ mm (tarafsız eksen derinliği)}$$

$$\sigma_s' = 600 \frac{c - 25}{c} = 600 \frac{29,905 - 25}{29,905} = 98,41 \text{ MPa}$$

Çekme donatısının olduğu noktaya göre moment alınırsa Denklem 6'da görüleceği üzere hesaplanmalıdır.

$$M_r = F_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + F_s' (d - d') \quad (6)$$

$$M_r = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot a \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s \cdot \sigma_s' (d - d')$$

$$M_r = 0,85 \cdot 20,55 \cdot 150 \cdot (0,82 \cdot 29,905) \left(275 - \frac{0,82 \cdot 29,905}{2} \right) + 157,98,41 \cdot (275 - 25)$$

$M_r = 20,743$ kNmm olarak bulunur. Bulunan bu değer $M = 0,475 P$ (kN.mm) değerine eşitlenirse kirişin taşıyabileceği yük yaklaşık olarak belirlenmiş olur.

$$P = 43,67 \text{ kN}$$

Kesitin güvenle taşıyabileceği kesme kuvveti ise;

Beton kesitin eğik çatlama mukavemeti Denklem 7'de görüleceği üzere hesaplanmalıdır.

$$V_{cr} = 0,65 f_{ctk} \cdot b_w d = 0,65 \cdot 1,58 \cdot 15 \cdot 27,5 = 42,36 \text{ kN} \quad (7)$$

Betonun karşılayabileceği kesme kuvveti Denklem 8'de görüleceği üzere hesaplanmalıdır.

$$V_c = 0,80 V_{cr} = 0,80 \cdot 42,36 = 33,88 \text{ kN} \quad (8)$$

Kayma donatısının karşılayabileceği kesme kuvveti Denklem 9'da görüleceği üzere hesaplanmalıdır.

Burada f_{yk} enine donatının akma dayanımı, s ise enine donatı aralığıdır.

$$V_w = A_{sw} \cdot f_{yk} \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha) \cdot \frac{d}{s} \quad (9)$$

$$A_{sw} = 2 \cdot A_0; \quad \alpha = 90^\circ \quad \sin \alpha = 1 \quad \cos \alpha = 0$$

$$V_w = A_{sw} \cdot f_{yw} \cdot (\sin\alpha + \cos\alpha) \cdot \frac{d}{s} = 2.0,28.49,7 \cdot \frac{27,5}{14} = 54,67 \text{ kN}$$

Kesitin güvenliyle taşıyabileceği kesme kuvveti Denklem 10'da görüleceği üzere hesaplanmalıdır.

$$V_r = V_c + V_w = 33,88 + 54,67 = 88,55 \text{ kN} \quad (10)$$

Bulunan bu değer $V = P/2$ (kN) değerine eşitlenirse kirişin taşıyabileceği yük yaklaşık olarak belirlenmiş olur.

$$P=177,1 \text{ kN}$$

Deneyde kullandığımız çift donatılı kesit için eğilme ve kesmeye göre iki ayrı değer görülmektedir. Bu değerlerden düşük olan kirişin taşıyabileceği yükü belirtmekle birlikte kirişin davranışı hakkında bilgi de vermektedir. Kesme hesabından bulunan değer eğilme hesabından bulunan değerden büyüktür ($177,1 \text{ kN} > 43,67 \text{ kN}$). Bu sebeple numunenin taşıyabileceği maksimum yük yaklaşık olarak $43,67 \text{ kN}$ 'dur. Kesme hesabından bulunan yükün eğilme hesabından bulunan yükten fazla olması, bu deney elemanının eğilmeden göçmesi anlamına gelmektedir.

Bir yapı elemanının ya da bir kesitin yük taşıma kapasitesinde önemli bir azalış göstermeden büyük deformasyon yapabilme yeteneği süneklik olarak tanımlanmaktadır (Ersoy ve Özcebe, 2016). Kirişler üzerine incelenen bazı çalışmalarda süneklik değerleri, deneysel verilerden elde edilen yük-sehim eğrisinde, maksimum yüke karşılık gelen deplasmanın, akma anındaki yüke karşılık gelen deplasmana oranıdır. Bazı çalışmalarda ise, deneysel verilerden elde edilen yük-sehim eğrisi üzerinde, maksimum yük değerinin %20 azaldığı ya da deney sonundaki nokta göçme noktası olarak kabul edilmiştir (Akduman,2021). Kabul edilen bu noktadaki deplasmanın, akma anındaki deplasmana oranı süneklik değeri olarak ifade edilmiştir. Yapılan bu çalışmada, deney elemanlarının göçme anındaki deplasman değeri, deney sonundaki göçme noktası temel alınarak belirlenmiştir. Deney elemanlarının süneklik oranları ise Tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo 3. Kirişlerin süneklik değerleri

Numune	Akma Deplasmanı δ_y (mm)	Göçme deplasmanı δ_u (mm)	Süneklik (δ_u/δ_y)
Ref-1 (Confined)	11	100	9,09
Ref-2 (Unconfined)	11,71	100	8,54
CJ90	10,45	100	9,57
CJ90R	11,01	100	9,08
CJ45	10,8	100	9,26
CJ45R	9,7	100	10,31
CJ0	10,31	100	9,70
CJ0R	10,23	100	9,78

Deney numunelerinin her biri için hazırlanan yük-sehim grafiklerindeki akma anındaki yük değerinin deplasman değerine oranı akma anındaki rijitlik olarak hesaplanmıştır. Kiriş numunelerinin akma yükü, akma deplasmanı, göçme deplasmanı ile akma anındaki rijitlik değerleri Tablo 4’ de verilmiştir.

Tablo 4. Kirişlerin yük, deplasman ve rijitlik değerleri

Numune	Akma Yükü (kN)	Akma Deplasmanı δ_y (mm)	Göçme Deplasmanı δ_u (mm)	Rijitlik kN/mm
Ref-1 (Confined)	65	10	100	6,5
Ref-2 (Unconfined)	64	11,71	100	5,46
CJ90	62	10,45	100	5,93
CJ90R	64	11,01	100	5,81
CJ45	62	10,8	100	5,74
CJ45R	63	9,7	100	6,49
CJ0	63	10,31	100	6,3
CJ0R	63	10,23	100	6,16

Betonarme elemanların deformasyon yapabilmesi için bir enerji gerekmektedir. Deprem, bu enerjinin yapı üzerinde oluşmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla, yapıyı oluşturan betonarme elemanlarda bu enerji ile yüklenmiş olmaktadır. Elemanlar, üzerlerinde oluşan bu enerjileri, deformasyona çevirerek tüketmeye çalışmaktadırlar. Süneklik bu noktada devreye girmektedir. Eleman ne kadar sünek ise o kadar enerji tüketebilmektedir. Kirişlerin enerji tüketme kapasiteleri, yük-deplasman eğrilerinin altında kalan alanların hesaplanmasıyla belirlenmiş ve Tablo 5' te gösterilmiştir.

Tablo 5. Kirişlerin enerji tüketme kapasitesi değerleri

Numune	Enerji tüketme kapasitesi (kNmm)
Ref-1(Confined)	6.304,85
Ref-2(Unconfined)	6.022,9
CJ90	6.208,62
CJ90R	6.209,92
CJ45	6.333,14
CJ45R	6.153,21
CJ0	6.378,87
CJ0R	6.440,56

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, kesme bölgesindeki soğuk derzin kirişlerin tasarım kapasitesine etkisinin deneysel olarak araştırılması amaçlanmıştır. Yapılan deneysel çalışmada sekiz adet betonarme kirişe iki noktadan tekil yük uygulanarak, kirişlerin eğilme altındaki davranışları incelenmiştir. Bu amaçla, iki adet kiriş referans olmak üzere açılı ve güçlendirme gibi farklı ara yüz özelliklerine sahip sekiz adet kiriş incelenmiştir. Ayrıca küp numuneler için beton basınç dayanımına bakılmıştır. Soğuk derzli olarak hazırlanan kiriş sarılma bölgesinde sıklaştırma bulunan Ref-1(Confined) referans numunesinin eğilme deneyi yük taşıma kapasitesi, farklı açılarda soğuk derzle oluşturulan kirişlere göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Yük taşıma kapasitesi, Ref-1(Confined) referans numunesine göre incelendiğinde;

- Kiriş sarılma bölgesinde sıklaştırma bulunmayan Ref-2(Unconfined) kiriş numunesinde %1,5 azalma görülmektedir.
- CJ90 ve CJ90R soğuk derzli kirişlerde sırasıyla %4,6 ve %1,5 azalma görülmektedir.
- CJ45 ve CJ45R soğuk derzli kirişlerde sırasıyla %4,6 ve %3 azalma görülmektedir.
- CJ0 ve CJ0R soğuk derzli kirişlerde %3 azalma görülmektedir.

Süneklik değeri, Ref-1(Confined) referans numunesine göre incelendiğinde;

- Kiriş sarılma bölgesinde sıklaştırma bulunmayan Ref-2(Unconfined) kiriş numunesinde %6 daha azdır.
- CJ90 soğuk derzli kirişte %5,3 daha fazladır. CJ90R soğuk derzli kirişte ise süneklik değeri yaklaşık aynıdır.
- CJ45R soğuk derzli kirişte %13 daha fazladır. En büyük süneklik değeri CJ45R kirişinde görülmektedir. CJ45 soğuk derzli kirişte ise süneklik değeri yaklaşık aynıdır.
- CJ0 ve CJ0R soğuk derzli kirişlerde sırasıyla %6,7 ve %7,6 daha fazladır.

Rijitlik değeri, Ref-1(Confined) referans numunesine göre incelendiğinde;

- Kiriş sarılma bölgesinde sıklaştırma bulunmayan Ref-2(Unconfined) kiriş numunesinde %16 daha azdır.
- CJ45R soğuk derzli kiriş en yakın değere (%0,15 azalma) sahip olan deney numunesidir. CJ45 soğuk derzli kirişinde %11,7 daha azdır.
- CJ90 soğuk derzli kirişinde %8,76, CJ90R soğuk derzli kirişinde %10,6 daha azdır.
- CJ0 ve CJ0R soğuk derzli kirişlerde sırasıyla %3,07 ve %5 daha azdır.

Enerji tüketme kapasitesi, Ref-1(Confined) referans numunesine göre incelendiğinde;

- Ref-2(Unconfined) kiriş numunesi ve soğuk derzli kirişlerde yaklaşık aynıdır. Sadece CJ0R kiriş numunesinde %2 daha fazladır.

Kiriş yükleme anında soğuk derzli kiriş numunelerin soğuk derz bölgesindeki çatlama durumları incelendiğinde;

- CJ90 soğuk derzli kirişte ise 40 kN yük değerinde (6,3 mm deplasman değeri) gerçekleştirilen gözlem neticesinde sol mesnet tarafında yer alan soğuk derz birleşiminin olduğu yerde ilk çatlak tespit edilmiştir. 60 kN yük değerinde (10,45 mm deplasman değeri) soğuk derz birleşimlerinde meydana gelen çatlakların kiriş yarı yüksekliğine kadar ilerlediği tespit edilmiştir. CJ90R soğuk derzli kirişte soğuk derz birleşim yerinde herhangi bir çatlak tespit edilmemiş olup bunun temel nedeni olarak soğuk derz düzleminin çelik donatılar ile takviye edilmesi olduğu düşünülmüştür.
- CJ45 soğuk derzli kirişte ise yaklaşık 62 kN yük değerinde (20 mm deplasman değeri) numunenin sağ tarafında yer alan soğuk derzin sağında başlayan ve soğuk derz birleşiminden geçen kesme çatlağı oluşmuştur. Kirişin sol tarafında yer alan soğuk derzin solunda başlayan çatlak derze kadar ilerlemiştir. CJ45R soğuk derzli kirişte yük 60 kN değerine ulaştığında (9,7 mm deplasman değeri) ise soğuk derz birleşiminin hemen yanında eğik bir çatlak oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu doğrultuda soğuk derz düzleminin çelik donatılar ile takviye edilmesinin soğuk derz bölgesinde çatlak oluşumu üzerinde etkili olduğu görülmüştür.

- CJ0R soğuk derzli kirişte 40 kN yük değerinde (6,14 mm deplasman değeri) hem kesme bölgesinde hem de eğilme bölgesinde meydana gelen çatlaklar soğuk derz düzlemini aştığı gözlemlenmiştir. CJ0 soğuk derzli kirişte ise eğilme bölgesinde soğuk derzli düzlemdeki çatlakların ilerleği tespit edilmiştir. 40 kN yük değerinde (6 mm deplasman değeri) kesme bölgesinde soğuk derz birleşimlerinde meydana gelen çatlaklar yatayla 45° açı yaparak ilerlemeye devam etmiştir. Bu doğrultuda soğuk derz düzleminin çelik donatılar ile takviye edilmesinin soğuk derz bölgesinde çatlak oluşumu üzerinde etkili olmadığı görülmüştür.

Tüm bu sonuçlara göre kiriş deney numunelerin taşıdığı maksimum yüklerde ciddi bir fark görülmemiştir. Fakat soğuk derz birleşim bölgelerinde oluşan çatlak durumları arasında farklar olduğu görülmüştür.

Sonraki çalışmalarda kesme bölgesinde soğuk derzli kirişlerin tasarımı yapılırken her bir kirişin donatı ve donatı oranları farklı tasarlanarak, her kiriş için derz yüzeyini oluşturan beton ve beton arayüzün birbirine yapışma özelliğinin araştırılması için derz yerine yerleştirilen ilave donatının çapları ve uzunlukları farklı belirlenerek kırılma davranışının ayrı ayrı incelenebilmesi için deneyler yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Abass, Z.W. (2012). Effect of construction joints on performance of reinforced concrete beams. *Al-Khwarizmi Engineering Journal*, 8(1), 48-64.
- Akakın, T., Kılınç, C., Işık, A. ve Zengin, H. (2013). *Hazır beton sektörü ve beton kullanımındaki gelişmeler*. Erişim adresi: <https://www.thbb.org/media/2088/makaletthbb116.pdf>. Erişim tarihi: 24 Ocak 2021.
- Akduman, Ş. (2021). *Geri dönüştürülmüş yapı malzemelerden üretilen jeopolimerik kirişlerin eğilme davranışı üzerine deneysel araştırmalar*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Atabey, V. (2019). *Soğuk Derz nasıl oluşur?* Erişim adresi: <https://volkanatabey.com.tr/soguk-derz-nasil-olusur/>. Erişim tarihi: 24 Ocak 2021.
- Aymak, İ. (2020). *Betonarme yapılarda oluşan soğuk derzlerin birleşim bölgelerinin dayanımına ve sünekliğine olan etkisinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Aziz, A.H. & Ajeel, A.E. (2010). Effect of existing flange openings and cold joints on strength of rc t-beams. *Journal of Engineering*, 1, 4535-4546.
- Baştan, T. (2010). *Soğuk derz: TMMOB İzmir haber bülteni*. Erişim adresi: https://izmir.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/ff1ec24d6e47f22_ek.pdf?dergi=334. Erişim tarihi: 24 Ocak 2021.
- Choi, S.J., Kang, S.P., Kim, S.C. and Kwon, S.J. (2015). Analysis technique on water permeability in concrete with cold joint considering micro pore structure and mineral admixture. *Hindawi Publishing Corporation Advances in Materials Science and Engineering*, 1-10.
- Çomak, B., Ölmez, Ö. Ve Emiroğlu, M. (2019). Betonun dinamik elastisite modülü değerleri üzerinde soğuk derz etkisinin araştırılması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7, 1122-1129.
- Ersoy, U. & Özcebe, G. (2016). *Betonarme*. İstanbul, Evrim Yayınevi.
- Gerges, N.N., Issav, C.A. and Fawaz, S. (2015). Effect of construction joints on the splitting tensile strength of concrete. *Case Studies in Construction Materials*, 3, 83-91.
- Gerges, N.N., Issav, C.A. and Fawaz, S. (2016). The effect of construction joints on the flexural bending capacity of singly reinforced beams. *Case Studies in Construction Materials*, 5, 112-123.
- Illangakoon, G.B., Aamoto, S., Nanayakkara, A. and Trong, L.N. (2019). Concrete cold joint formation in hot weather conditions. *Construction and Building Materials*, 209, 406-415.

- Ismael, M.A., Hameed, Y.M. and Abd, H.J. (2019). Effect of construction joint on structural performance of reinforced self-compacting concrete beams. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 10(1), 297-306.
- Jabir, H.A., Salman, T.S. and Mhalhal, J.M. (2017). Effect of construction joints on the behavior of reinforced concrete beams. *Journal of Engineering*, 23, 47-60.
- Jatheeshan, V., Peiris, U., Mendis, K. and Nanayakkara, A. (2018). *Investigation of the factors affecting the formation of cold joints in concrete: 16th Annual Symposium on Research for Industry içinde* (ss. 55-57). Faculty Engineering, University of Moratuwa, Sri Lanka.
- Kadyrov, N. ve Yazıcıoğlu, S. (2016). Soğuk derzin betonun eğilme ve doğrudan çekme dayanımı üzerindeki etkisinin araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 19 (3), 203-210.
- Kara, C. ve Bekem Kara, İ. (2018). Beton dayanımına farklı soğuk derz sürelerinin etkisi. *Mühendislik ve Mimarlık Çalışmalar*, 84-90.
- Kılınçkale, F. (2003). Betonda dayanıklılık. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 427, 32-33.
- Kishen, J.M.C. & Rao, P.S. (2007). Fracture of cold jointed concrete interfaces. *Engineering Fracture Mechanics*, 74(1-2), 122-131.
- Koh, T.H., Kim, M.K., Yang, K.H., Yoon, Y.S. and Kwon, S.J. (2019). Service life evaluation of RC T-girder under carbonation considering cold joint and loading effects. *Construction and Building Materials*, 226, 106-116.
- Özdemir, A. (2019). *Soğuk Derz*. Erişim adresi: <https://www.aykutozdemir.com.tr/insaat/soguk-derz.html>. Erişim tarihi: 24 Ocak 2021.
- Piyasena, R.R.C., Premerathne, P.A.T.S., Perera, B T D. and Nanayakkara, S.M.A. (2013). *Evaluation of initial setting time of fresh concrete: National Engineering Conference 2013, 19th Eru Symposium içinde* (ss.47-52). Faculty of Engineering, University of Moratuwa, Sri Lanka.
- Rathi, V.R. & Kolase, P.K. (2013). Effect of cold joint on strength of concrete, international journal of innovative research in science, *Engineering and Technology*, 2(9), 4671-4679.
- Roy, B. & Laskar, A. I. (2017). Cyclic behavior of in-situ exterior beam-column subassemblies with cold joint in column. *Engineering Structures*, 132, 822-833.
- Sung-Won, Y. and Seung-Jun K. (2016). Effects of cold joint and loading conditions on chloride diffusion in concrete containing GGBFS. *Construction and Building Materials*, 115, 247-255.
- Şirin, C. (2006). *Yapılarda oluşan hasar biçimleri ve nedenleri ve yapıların onarım ve güçlendirilmesi teknikleri ile bir yapının güçlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- The Concrete Society. (t.y). *Cold Joints*. Erişim adresi: <http://www.concrete.org.uk/fingertips-document.asp?id=372>. Erişim tarihi: 24 Ocak 2021.
- Toprak, M. (2021). *Nervürlü İnşaat Demiri Nedir?* Erişim adresi: Nervürlü İnşaat Demiri Nedir? - Sanal şantiye (sanalsantiye.com). Erişim tarihi: 24 Mayıs 2021.
- Torres, A., Ramos-Canon, A., Prada-Sarmiento, F. and Botia-Diaz M. (2016). Mechanical behavior of concrete cold joints, *Revista Ingeniería de Construcción RIC*, 31, 151-162.
- Turan, Z. (2019). *Betonda soğuk derzin mekanik ve kırılma davranışına etkisinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Ünlü, A. (2018). *Soğuk derzin betonun mekanik özelliklerine etkisinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, KTO Karatay Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Walach, D. (2016). Impact of delays during concreting of reinforced highperformance concrete beams. *Procedia Engineering*, 161, 356-361.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Hediye GÜZ

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi : 2018, KTO Karatay Üni., Müh. Fak. İnş. Müh. Böl.

Yüksek Lisans Öğrenimi : 2021, KTO Karatay Üni. Lisansüstü Eğt. Ens. İnş. Müh.
ABD

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

Bilimsel Faaliyetleri :

İŞ DENEYİMİ

Stajlar :

2016, Stajyer Mühendis, Masir Yapı Mühendislik Mimarlık San. Ve Tic. Ltd. Şti.

2017, Stajyer Mühendis, Salih Eser Mühendislik Müşavirlik

Projeler :

Çalıştığı Kurumlar :

Tarih: 23 Aralık 2021