



Farklı Soğuk Derz Birleşim Detaylarına Sahip Betonarme Kirişlerin Eğilme Davranışları

Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beams with Different Cold Joint Details

Süleyman Kamil Akın¹, Saruhan Kartal*², Abdullah Müsevitöglü¹, Ahmad Javid Zia¹,
Sadrettin Sancioğlu¹

¹KTO Karatay Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 42020 Konya, TÜRKİYE
²Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 71450 Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 29/10/2021 **Kabul / Accepted:** 04/04/2022 **Çevrimiçi Basım / Published Online:** 31/07/2022
Son Versiyon/Final Version: 31/07/2022

Öz

Mevcut çalışmada betonarme kirişlerde soğuk derz tipi birleşimin kiriş eğilme davranışı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu kapsamda toplam yedi adet kirişin dört nokta eğilme testleri gerçekleştirilmiştir. Bu kirişler 150 mm genişliğe, 300 mm yüksekliğe ve 3000 mm uzunluğa sahiptir. Soğuk derzler üç farklı yöntem ile oluşturulmuştur. Bunlardan ilk ikisi kirişin tam ortasında yani sabit moment bölgesinde yatayla 45° ve 90° açı yapacak şekilde iken, sonuncusu ise kiriş yarı yüksekliği seviyesinde kiriş uzunluğu boyunca devam etmektedir. Tüm soğuk derz birleşimleri betonun 24 saatlik arayla iki ayrı dökümü neticesinde elde edilmiştir. Farklı tipte soğuk derz birleşimine sahip betonarme kirişlerin eğilme davranışlarının net şekilde belirlenmesi için çalışmada tek dökümden üretilmiş bir referans kirişe de yer verilmiştir. Ayrıca soğuk derz birleşimlerinde aderans artırıcı harç kullanımının kirişlerin eğilme davranışları üzerindeki etkileri de araştırılmıştır. Bu amaçla farklı derz tipleri için her numuneden birbirinin aynı iki adet üretilmiş ve birer numunede ikinci beton dökümünden önce soğuk derz birleşim yüzeylerine aderans artırıcı harç "MasterBrace ADH 1420" uygulanmıştır. Yatayla 90° açılı numunelerde ilk çatlama soğuk derz düzlemi üzerinde gerçekleşmiştir. Buna bağlı olarak rijitlik, akma yükü ve enerji sönümleme kapasitesi diğer numunelere göre daha düşük çıkmıştır. Bu tip soğuk derz birleşiminde aderans artırıcı harç kullanımı önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler

"Soğuk derz, betonarme kiriş, eğilme davranışı, aderans artırıcı harç"

Abstract

In the present study, the effects of cold joint type on bending behavior of reinforced concrete (RC) beams were investigated. Within this scope, four point bending tests of a total of seven beams were carried out. These beams have a width of 150 mm, a height of 300 mm and a length of 3000 mm. Cold joints were formed by three different methods. While the first two of them are in the middle of the beam, that is, at an angle of 45° and 90° with the horizontal in the constant moment region, the last one continues along the beam length at the level of the beam half height. All cold joints were obtained as a result of two separate batches of concrete with 24-hour intervals. In order to clearly reveal the bending behavior of reinforced concrete beams with different types of cold joints, a reference beam produced from a monolithic batching was also included in the study. In addition, the effects of the adherence enhancer mortar usage in cold joints on the bending behavior of RC beams were also investigated. For this purpose, two identical specimens of each sample were produced for different joint types and adherence enhancer mortar "MasterBrace ADH 1420" was applied to the cold joint surfaces before the second concrete batching in one specimen. The first cracking occurred on the cold joint plane in the specimens at an angle 90° with the horizontal. Accordingly, the stiffness, yielding load and energy absorption capacity were lower than the other specimens. It is recommended to use adherence enhancer mortar in this type of cold joint.

Key Words

"Cold joint, reinforced concrete beam, flexural behaviour, adherence enhancer mortar"

1. Giriş

Beton dökümünde dikkat edilmesi gereken birçok husus bulunmaktadır. Döküm öncesi uygun bir planlama yapılmalı ve gerekli hazırlıklar tamamlanmalıdır. Teorik olarak bir yapıda betonun monolitik olarak döküldüğü varsayılmakta ve tüm statik hesaplamalar buna göre yapılmaktadır. Ancak tüm yapı betonunun tek seferde dökülememesi, çok sayıda süreksizliğe yani soğuk derz tipi bağlantı oluşumuna neden olmaktadır. Bu bağlantıda donatı sürekliliğini korurken, iki beton yüzeyinin farklı zamanlarda sertleşmesi nedeniyle betonun dayanımı ve dayanıklılığı olumsuz yönde etkilenmekte ve yüzeyler arasında yeterli kenetlenme gerçekleşmemektedir.

Betonarme taşıyıcı yapı elemanlarında soğuk derz oluşumu, kimi zaman planlı, kimi zaman ise kontrol dışı olarak meydana gelmektedir. Büyük hacimli projelerde gün bitiminde beton dökümünün bitmemesi, kütle betonlarında hidrasyon ısısı kontrolünün sağlanabilmesi, büyük kirişli/kirişsiz döşemelerde mevcut kalıp stokunun tekrarlı kullanılabilmesi amacıyla meydana gelen soğuk derzler planlı olarak oluşturulmaktadır. Ayrıca kat kolonları ayrı, kat döşeme ve kirişleri ayrı dökülen yapılarda meydana gelen soğuk derzler de planlı soğuk derze örnek olup her yeni katta tekrar etmektedir. Bunun yanı sıra beton sevkiyatındaki aksamalar, kalıpların patlaması, beton yerleşiminin yeterli bir şekilde sağlanamaması gibi nedenlerden ötürü de planlanmayan soğuk derzler meydana gelmektedir.

Literatürde bu konu ile ilgili çok başlıca çalışmalar aşağıda özetlenmiştir. Rathi ve Kolase (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışmada soğuk derz birleşiminde yüzey açısı, süre etkisi ve priz geciktirici (şeker kullanarak) etkisi araştırılmıştır. Soğuk derzler (45° ve 90°), küp numune kalıplarının öncelikle yarı seviyelerine kadar betonla doldurulması ve ardından diğer yarısının farklı süreler (45,75,120 ve 180 dakika) geçtikten sonra dökülmesi ile elde edilmiştir. İki döküm arasındaki süre artışının dayanımdaki azalmaya sebep olduğu ve priz geciktirici katkının soğuk derze sahip numunelerin dayanımını artırdığı tespit edilmiştir. Kadyrov ve Yazıcıoğlu (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, soğuk derz birleşim yüzeyi açısının ve soğuk derz oluşum süresinin betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla prizma ve silindir numunelerin tam orta kısmında yatayla 45° ve 90° açıda sahip olan soğuk derzler iki beton dökümü arasında farklı süreler (2,3, 4 ve 6 saat) uygulanarak oluşturulmuştur. Sürenin artmasıyla betonun doğrudan çekme ve eğilme dayanımlarının azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca yatayla 45° açılı soğuk derze sahip numunelerin, 90° açıda sahip olanlara göre daha yüksek dayanıma sahip olduğu ifade edilmiştir. Roy ve Laskar (2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, soğuk derze sahip (üst kolonun daha sonradan dökülerek) dış kolon-kiriş birleşim deney elemanlarının sismik davranışı araştırılmıştır. Soğuk derze sahip numunelerin enerji sönümleme kapasitelerinde ve süneklik değerlerinde önemli ölçüde düşüş gözlemlenmiştir. Ayrıca ilk çatlağın soğuk derz düzlemi üzerinde olduğu testler sırasında gözlemlenmiştir. Öztürk (2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmada derzlerin, tarihi iki yapının sismik davranışı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ünlü (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada silindir, küp ve kare prizma numunelerde soğuk derz varlığının beton mekanik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. İki beton dökümü arasında 24 saatlik sürenin geçmesiyle üç farklı tipte soğuk derz (numunelerin orta noktalarında yatayla 45° ve 90° açı yapacak şekilde, eleman boyunca eksenli yönde numune yarı yüksekliğince uzanan) oluşturulmuştur. En yüksek ve en düşük eğilme dayanımlarının sırasıyla numune yarı yüksekliğince uzanan ve yatayla 90° açıda sahip soğuk derzli numunelere ait olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca aderans artırıcı kullanımının betonun mekanik özellikleri üzerindeki olumlu etkisi gözlemlenmiştir. Ölmez (2019) soğuk derzin olduğu düzlem açısının, geometrisinin ve soğuk derz oluşumuna sebep olan sürenin parametreler olarak belirlendiği çalışmada bu parametrelerin betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu amaçla farklı ebatlarda küp ve prizma numunelerin; tek eksenli basınç, dört noktalı eğilme, yarımada çekme, doğrudan çekme ve rezonans frekansı deneylerini gerçekleştirmiştir. Turan (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, soğuk derze sahip (yatayla 0° , 45° ve 90° açı yapan) kare prizma numunelerin eğilme testleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca aderans artırıcı ve derz çivisi kullanımının betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırılırken, hasar durumu akustik emisyon yöntemi ile takip edilmiştir. Aymak (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, dış kolon kiriş birleşiminde, kirişin alt ve üst yüzünde (kiriş ile kolonların birleştikleri yüzeylerde) iki adet soğuk derz oluşturularak çevrimsel yüklem altında test edilmiştir. Bu sayede birleşim bölgesinde soğuk derz bağlantı varlığının birleşimin davranışı üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Soğuk derz varlığının enerji sönümleme kapasitesini düşürdüğü ve hasar durumunu olumsuz yönde etkilediği sonuçlarına ulaşılmıştır. Laskar ve diğ. (2020) alkali aktivasyonlu ve soğuk derze (kiriş boyunca uzanan ve kiriş orta noktasında yatayla 90° açı yapan) sahip 2 metre uzunluklu betonarme kirişlerin eğilme testlerini gerçekleştirmiştir. Ayrıca bu numunelere ait sonlu eleman yöntemi ile analizler de yapılmıştır. Udoh (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, betonda soğuk derz oluşumunun beton basınç dayanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu doğrultuda silindir deney numunelerinde üç farklı tipte (yatay, düşey ve çapraz düzlemlere sahip) soğuk derz oluşturulmuştur. En yüksek ve en düşük beton basınç dayanımının sırasıyla yatay ve düşey düzlemde oluşturulmuş soğuk derze sahip numuneler ait olduğu ifade edilmiştir. Vanlalruata ve Marthong (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, farklı beton karışımına ve farklı beton döküm süresi nedeniyle meydana gelen soğuk derze (yatayla 45° açı yapan) sahip olan 0.7 metre uzunluğundaki betonarme kirişlerin eğilme davranışları araştırılmıştır. Eğilme dayanımının, sünekliğin ve enerji sönümleme kapasitesinin soğuk derze sahip olan numunelerde azaldığı tespit edilmiştir. Kara (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, betonda farklı sürelerde (0, 30, 120 ve 180 dakika) soğuk derz oluşumunun betonun mekanik özellikleri (basınç, silindir yarma, çekip çıkarma, eğilme) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda küp, prizma, silindir numuneler beton yarı yüksekliğince dökülerek soğuk derzlerin oluşumu sağlanmıştır. Ayrıca kurutma-ıslatma, donma-çözülme ve yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan soğuk derz birleşimine sahip betonlarda durabilite özellikleri araştırılmıştır.

Literatürde yer alan çalışmalardan birkaçı dışında test edilen deney numuneleri küçük ebatlı ve donatısız betondan (küp-silindir-prizma) üretilmiştir. Roy ve Laskar (2017) ile Aymak (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda büyük ölçekli kiriş kolon birleşimlerinin sismik davranışı irdelenmiştir. Ayrıca, Vanlalruata ve Marthong (2021) büyük ebatlı soğuk derz birleşimine sahip kiriş eğilme testlerinin literatürdeki eksikliğine dikkat çekmektedir. Mevcut çalışmada farklı soğuk derz birleşim detaylarına sahip,

büyük ölçekli, aderans artırıcı harç kullanılan/kullanılmayan betonarme kirişlerin eğilme davranışları incelenmiştir. Deney numunelerinin yük deformasyon ilişkileri, rijitlikleri ve soğuk derz bağlantı çalışma mekanizmaları araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metod

2.1. Malzeme mekanik özellikleri

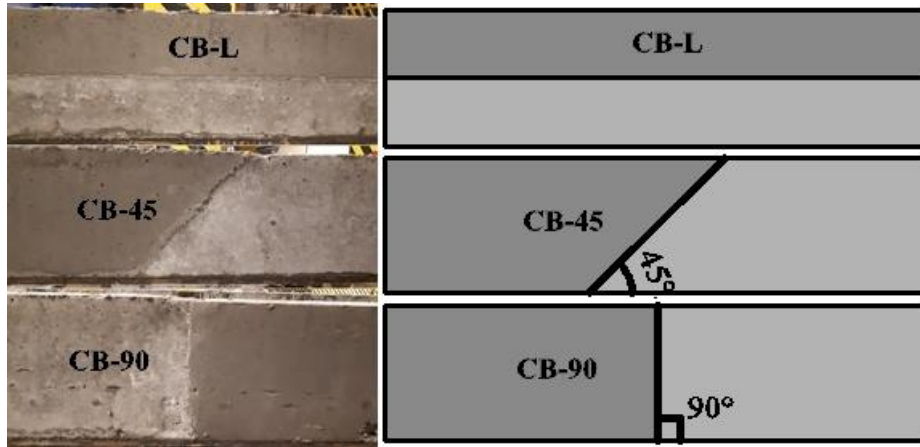
Çalışmada kullanılan donatıların tamamı S420 sınıfı olup bunlara ait mekanik özellikler aksel çekme testleri neticesinde belirlenmiş ve Tablo 1’de verilmiştir. Beton basınç dayanımı için ise 150×150×150 mm ebatlı küp numunelerin aksel basınç testi gerçekleştirilmiştir. Soğuk derze sahip olan tüm deney elemanlarında betonun ilk ve ikinci dökümüne ait ortalama basınç dayanımları sırasıyla 37.9 ve 39.3 MPa olarak tespit edilmiştir. Analitik çalışmada bu iki dayanımın ortalaması olan 38.6 MPa kullanılmıştır.

Tablo 1. Çelik donatı mekanik özellikleri

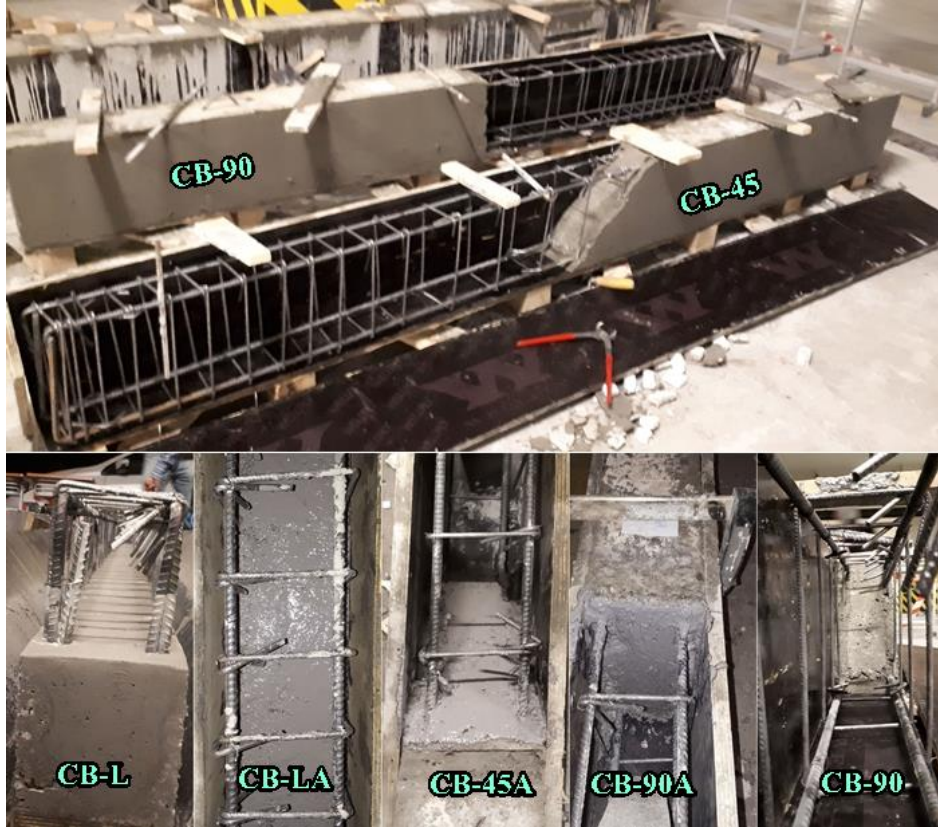
Çap (mm)	f_y (MPa)	f_u (MPa)
φ12	446	571
φ10	472	588
φ6	478	593

2.2. Deney elemanları

Çalışmada yedi adet betonarme kiriş yer almaktadır. Bunlardan ilki monolitik olarak dökülmüş olan referans numunesi diğerleri ise betonun 24 saat ara ile iki farklı dökümü neticesinde üretilmiş soğuk derz birleşimine sahip olan kirişlerden oluşmaktadır. Çalışmada üç farklı soğuk derz tipi tasarlanmıştır. Bunlardan ilki betonun kalıba kiriş boyunca yarı yükseklikte dökülmesi ve ikinci dökümde diğer yarı yüksekliğin tamamlanması ile meydana getirilmiştir. Yani soğuk derz düzlemi kiriş boyunca uzanmaktadır. Diğer ikisinde ise soğuk derz düzlemi sabit moment bölgesinde yatayla 45° ve 90° açı yapacak şekilde meydana getirilmiştir (Şekil 1). Farklı soğuk derz birleşim detayına sahip deney elemanlarından ikişer adet üretilerek aderans artırıcı etkisinin gözlemlenmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda “MasterBrace ADH 1420” isimli epoksi esaslı, iki bileşenli, eski betonun yeni betona aderansında kullanılan montaj harcı tercih edilmiştir. Bu harç, mevcut soğuk derz tiplerine sahip kirişlerden birer adetine uygulanmıştır. Şekil 2’de aderans artırıcı harcın kullanıldığı/kullanılmadığı numunelere ve numunelerin ikinci döküm öncesi durumlarına yer verilmiştir.



Şekil 1. Soğuk derz tipleri



Şekil 2. Aderans artırıcı harç kullanılan ve kullanılmayan numuneler

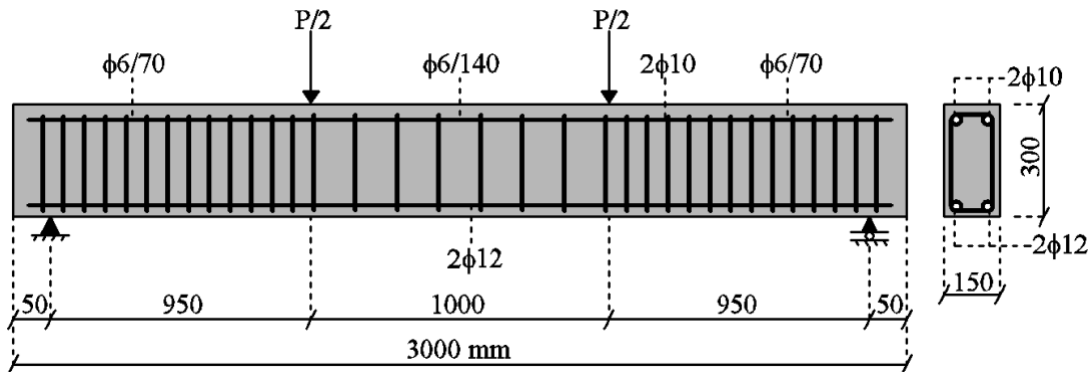
Çalışmada yer alan tüm deney elemanları 150×300 mm dikdörtgen en kesite, 2900 mm net açıklığa ve toplam 3000 mm uzunluğa sahiptir. Deney numuneleri ile ilgili isimlendirme ve diğer detaylar Tablo 2’de sunulmuştur. Numunelerin isimlendirilmesinde RB referans kirişi, CB ise soğuk derz birleşimi mevcut kirişi göstermektedir. L harfi soğuk derz düzleminin kiriş boyunca olduğunu, 45 ve 90 numaraları ise kiriş orta noktasından geçen ve sırasıyla soğuk derz düzleminin yatay ile yaptığı açının 45° ve 90° olduğunu ifade etmektedir. A harfi ise soğuk derz birleşimine sahip kirişlerde aderans artırıcı harçın mevcut olduğunu göstermektedir.

Tablo 2. Deney elemanı detayları

Kiriş	Soğuk Derz Birleşim Tipi	Aderans Artırıcı Harç
RB	-	-
CB-L	Kiriş yarı yüksekliğince kiriş boyunca uzanan	-
CB-45	Yatay ile 45° açı yapan-kiriş orta noktasında	-
CB-90	Yatay ile 90° açı yapan-kiriş orta noktasında	-
CB-LA	Kiriş yarı yüksekliğince kiriş boyunca uzanan	Mevcut
CB-45A	Yatay ile 45° açı yapan-kiriş orta noktasında	Mevcut
CB-90A	Yatay ile 90° açı yapan-kiriş orta noktasında	Mevcut

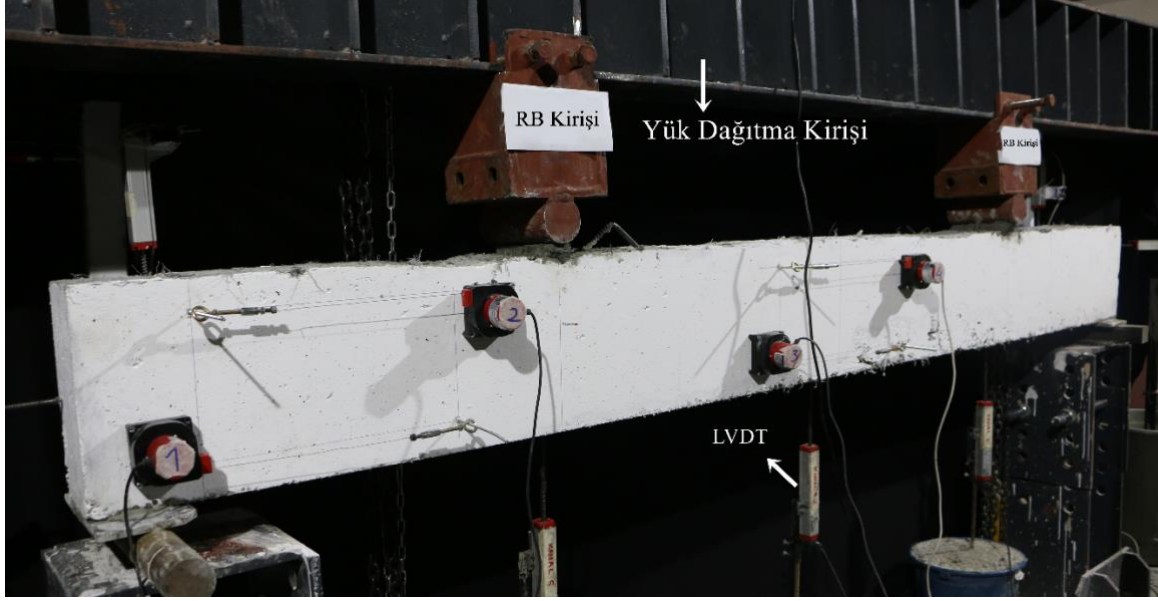
2.3. Donatı detayı ve test düzeneği

Çalışmada yer alan tüm deney elemanları aynı donatı şemasına sahiptir. Çekme ve basınç bölgelerinde sırasıyla ikişer adet 12 ve 10 mm çaplı çelik donatı yer almaktadır. Çekme donatılarının etkili derinliği 284 mm iken, basınç donatılarının merkezi ile beton en dış basınç lifi arasındaki mesafe 15 mm’dir. Tüm numunelerde 6 mm çaplı S420 sınıfı çift kollu etriyeler kullanılmıştır. Etriyeler kesme bölgelerinde 70 mm aralıkla, sabit moment bölgesinde ise 140 mm aralıkla yerleştirilmiştir (Şekil 3). Çalışmada denge altı donatılı tasarımı temsil edecek kesit donatı detayı kullanılmıştır.



Şekil 3. Kiriş donatı düzeni

Tüm deneysel çalışma Karatay Üniversitesi Yapı Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Bütün kirişler basit mesnetli olup iki nokta yükleme altında test edilmiştir. Yük sisteme, manuel pompa ve hidrolik kriko vasıtasıyla aktarılmıştır. Yükleme I-kesitli dağıtma kirişi üzerine sabitlenen ve kiriş orta noktasına 500'er mm uzaklıklarda bulunan iki silindire aktarılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). Deformasyonlar ise iki yük noktası ve kiriş orta noktası üzerinden olmak üzere üç noktadan LVDT'ler yardımıyla ölçülmüştür.



Şekil 4. Kiriş test düzeneği

3. Analitik Çalışma

Çalışmada analitik hesapların gerçekleştirilebilmesi için beton, çelik çekme ve basınç donatıları için malzeme modelleri kullanılmıştır. Beton için Todeschini (1964) beton modeli, çelik çekme donatısı için pekleşmenin göz ardı edilmediği üç doğrusal bölgeden oluşan donatı modeli (Denklem 1), çelik basınç donatısı için ise elasto plastik donatı modeli kullanılmıştır. Çelik çekme donatısı için kullanılan modelde; ε_{st} , ε_y , ε_{sh} , ε_u sırasıyla donatının çekme, akma, pekleşmeye başlama ve kopma birim deformasyonlarını ifade etmektedir. Bu modelde, ε_{sh} değeri 0.005'tir. $f(\varepsilon_{st})$ ve f_y sırasıyla çekme donatısının birim deformasyona bağlı olarak değişen ve akma anındaki gerilmesini göstermektedir. E_s donatının başlangıç elastisite modülü değerini, E_{s1} ise pekleşmeden sonraki elastisite modülünü ifade etmektedir. Çalışmada E_s için 200 GPa, E_{s1} için ise 1.379 GPa değeri kullanılmıştır.

$$f(\varepsilon_{st}) = \begin{cases} 0 \leq \varepsilon_{st} < \varepsilon_y & E_s \cdot \varepsilon_{st} \\ \varepsilon_y \leq \varepsilon_{st} < \varepsilon_{sh} & \rightarrow f_y \\ \varepsilon_{sh} \leq \varepsilon_{st} < \varepsilon_u & f_y + E_{s1} \cdot (\varepsilon_{st} - \varepsilon_{sh}) \end{cases} \quad (1)$$

Kirişlerin eğilme momenti kapasiteleri hesaplanırken malzeme modellerinin yanı sıra üç temel varsayım dikkate alınmıştır. İlk eğilme öncesindeki düzlem kesitlerin eğilme sonrasında da düzlem olarak kalması, ikincisi çekme bölgesinde yer alan betonun katkısının ihmal edilmesi, üçüncüsü ise donatılar ile beton arasında tam aderans kabulünün yapılmış olmasıdır. Tüm deney elemanlarının teorik taşıma gücü kapasitesi 66.14 kN olarak hesaplanmıştır.

3.1. 45° Açığa sahip soğuk derz çalışma prensibi

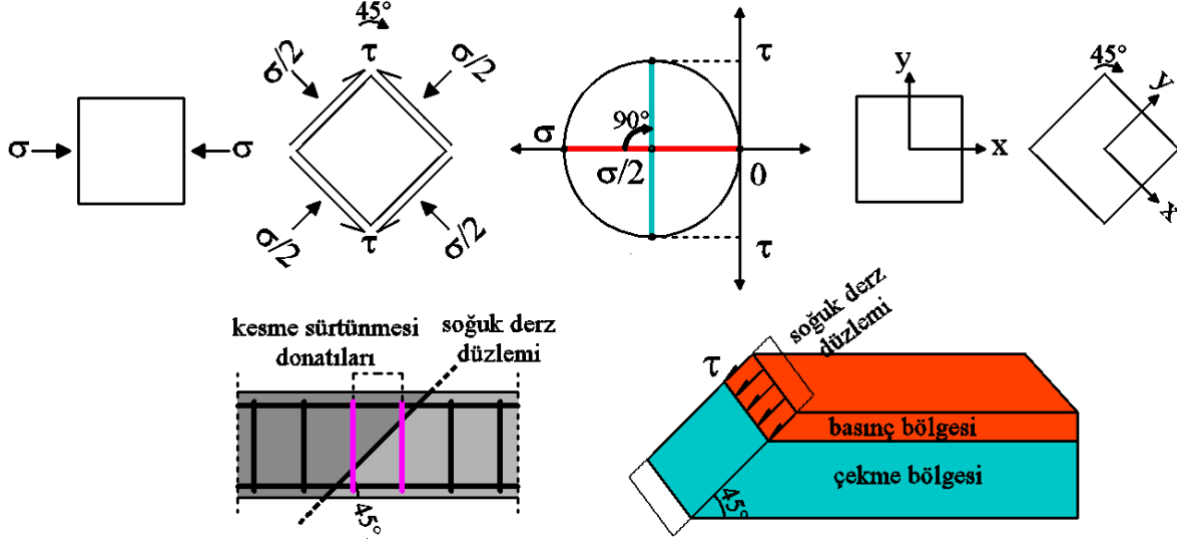
Bu tip soğuk derz uygulamasında birleşim bölgesi tam kesit ortasına denk gelmekte (sabit moment bölgesi) ve yatayla 45° açı yapmaktadır. Kesme tesirinin bulunmadığı bu bölgede eğilme etkisi nedeni ile çekme ve basınç gerilmeleri oluşmaktadır. ACI 318-19 (2019) Bölüm 11.6'da, kesme sürtünmesi donatısı ile kesme düzlemi arasında açı bulunması durumunda kesme dayanımının (V_n) Denklem 2 ile hesaplanması önerilmektedir. Bu ifadede betonun ve kesme sürtünmesi donatısının katkıları yer almaktadır. A_{vf} kesme sürtünme donatısı kesit alanını, f_y bu donatının akma mukavemetini, α (45°) soğuk derz düzlemi ile donatı arasındaki açıyı ve A_c sürtünme beton kesit alanını ifade etmektedir. Yönetmelik normal dayanımlı betonlar için $K_f=2.8$ MPa olarak alınmasını önermektedir. Taşıma gücü anında çekme bölgesinde yer alan betonun tamamen çatladığı varsayımına dayanarak buranın sürtünme kesme dayanımına katkısı ihmal edilmiştir. Öyleyse, soğuk derz düzlemi içerisinde yer alan iki adet çift kollu etriye ile basınç derinliğince (c) beton kesiti çatlamamış olduğundan bu iki bileşen sürtünme kesmesine katkı vermektedir (Şekil 5). Buna göre sürtünme beton kesit alanı Denklem 3'e göre hesaplanmıştır. b kiriş genişliğini ifade etmektedir. Denklem 2'ye göre kirişin sürtünme kesme dayanımı (V_n) 74.81 kN'dur.

Taşıma gücü anında, eşdeğer dikdörtgen basınç bloğu varsayımına göre kiriş basınç bölgesinde beton basınç dayanımının %85'ine ($\sigma=0.85f_c=32.81$ MPa) karşılık gelen uniform bir basınç gerilmesi mevcuttur. Bu basınç gerilmesi soğuk derz düzlemi üzerinde kayma gerilmesine sebep olmakta ve bu kayma gerilmesi Mohr dairesine göre basınç gerilmesinin yarısı kadardır ($\tau= \sigma/2=16.41$

MPa). Kaymaya sebep olan kuvvet ise kayma gerilmesinin (τ) sürtünme beton kesit alanı ile çarpılması neticesinde 70.30 kN olarak hesaplanmaktadır. Bu tip birleşimde sürtünme kesme dayanımının soğuk derz düzlemi boyunca kaymaya neden olan kuvvetten daha büyük olması sebebi ile birleşim güvenli bir biçimde kapasiteye ulaşmıştır.

$$V_n = A_f \cdot f_y \cdot (0.8 \sin \alpha + \cos \alpha) + A_c \cdot K_1 \cdot \sin^2 \alpha \quad (2)$$

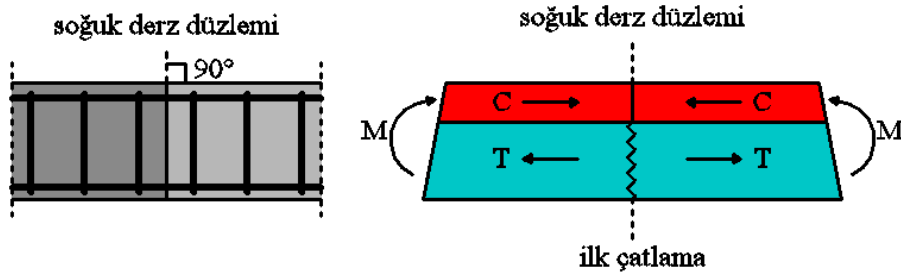
$$A_c = \frac{b \cdot c}{\cos \alpha} \quad (3)$$



Şekil 5. Soğuk derz düzlemi (Yatayla 45°) üzerinde oluşan gerilmeler ile buna karşı koyan donatı ve beton detayları

3.2. 90° Açıya sahip soğuk derz çalışma prensibi

Bu tip birleşimde, soğuk derz birleşim yüzeyi üzerinde herhangi bir kayma gerilmesi meydana gelmemektedir. İki yük noktası arasında salt eğilme kaynaklı oluşan eğilme çatlakları ile soğuk derz birleşim yüzeyi birbirine paraleldir. Bu sebeple en zayıf kesit olan soğuk derz birleşimi üzerinde ilk çatlama meydana gelmiştir. Bu da diğer birleşimlere kıyasla rijitliğin ve eğilme momenti kapasitesinin daha fazla düşmesine sebep olmuştur. Kesitte eğilme momentinden kaynaklı basınç ve çekme tesirleri meydana gelmektedir. Çekme gerilmelerinin artmasıyla soğuk derz düzlemi üzerindeki çatlaklar basınç derinliğine kadar ilerlemiştir. Ancak beton ezilene kadar mevcut basınç kuvveti, birleşimin güvenli bir şekilde tutulmasını sağlamıştır (Şekil 6).



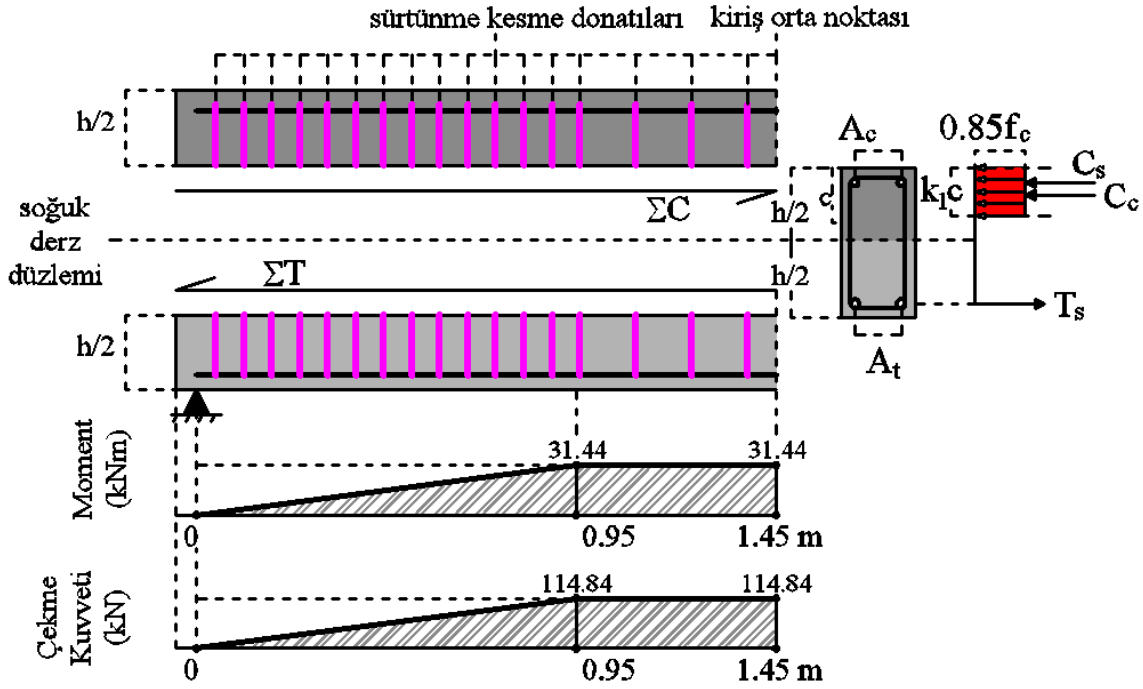
Şekil 6. Soğuk derz düzlemi (Yatayla 90°) üzerinde oluşan kuvvetler ve çalışma prensibi

3.3. Kiriş Boyunca Soğuk Derz Çalışma Prensibi

Bu tip birleşimde kayma yüzeyi kesit boyunca kiriş yüksekliğinin yarısı seviyesinde meydana gelmektedir. Taşıma gücü anında beton basınç derinliği (c), kiriş yarı yüksekliğinden daha küçük olduğundan soğuk derz düzleminin üzerinde yer almaktadır. Bu sebeple kesitte kaymaya sebep olan tesirler kiriş alt kısmında yer alan çekme kuvvetleri ile kiriş üst tarafında yer alan basınç gerilmelerinden kaynaklanmaktadır. Buna bağlı olarak kiriş boyunca çekme (ΣT) ya da basınç kuvvetlerinin (ΣC) toplamı bize kaymaya sebep olacak olan toplam kuvveti vermektedir. Analitik hesaplamalar yapılırken kiriş orta noktasından ikiye bölerek sol yarım kısmı hesaba katılmıştır (Şekil 9). Analitik modeller yardımıyla mesnet noktasından kiriş orta noktasına kadar tüm kesitlerde moment değerlerine karşılık gelen çekme kuvvetleri elde edilmiş ve Şekil 9'da grafiğine yer verilmiştir. Denklem 4 yardımı ile de mesnet noktasından kiriş orta noktasına kadar olan çekme kuvvetlerinin toplamı $\Sigma T = 114.19$ kN olarak elde edilmiştir.

Soğuk derz düzleminde kaymayı engelleyecek olan toplam 17 adet çift kollu etriye ile kiriş boyunca tutunmaya çalışan beton yüzeyleri mevcuttur (Şekil 7). Denklem 2'de, $\alpha = 90^\circ$ ve $A_c = b \cdot (L/2)$ ifadeleri yerlerine yazılarak sürtünme kesme dayanımı $V_n = 976.60$ kN olarak elde edilmiştir. Burada $L/2$ kiriş net açıklığının yarı uzunluğu olup 1450 mm'dir. Bu birleşim tipinde soğuk

derz birleşim yüzeyi oldukça büyük olduğundan sürtünme kesme dayanımı kaymaya sebep olan kuvvetlerden çok büyük çıkmıştır. Yani kesit güvenli olarak yükleri taşımıştır.

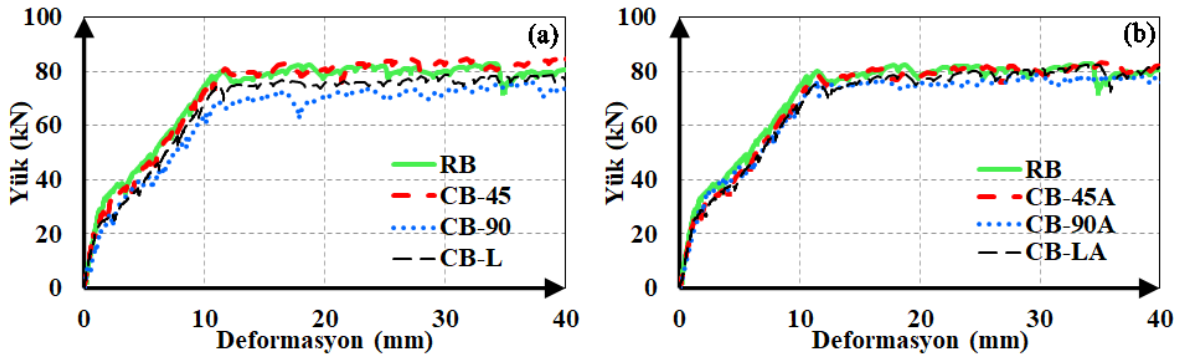


Şekil 7. Soğuk derz düzlemi (kiriş boyunca) üzerinde kaymaya ve buna karşı koyan kuvvetlerin detayları

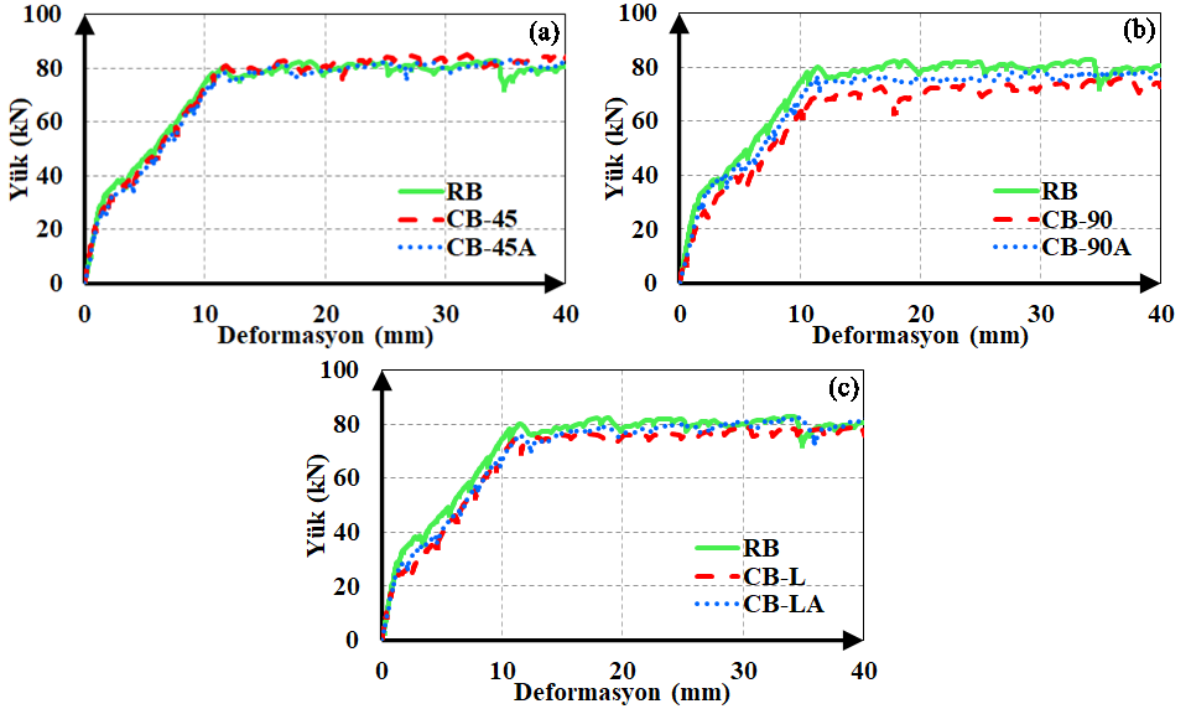
$$\int_0^{L/2} T_s(x) \cdot dx \quad (4)$$

4. Bulgular ve Tartışma

Bölüm 3'te yer alan hesaplamalara göre deney numunelerinin kesme sürtünme dayanımlarının yeterli olduğu sonucu tüm deney elemanlarının teorik eğilme kapasitesini (66.14 kN) aşması ile doğrulanmıştır. Yani tüm numunelerde çekme kırılması meydana gelmiştir. Kirişlerin deneysel yük-deformasyon eğrileri iki farklı gruplama yapılarak verilmiştir. İlk gruplama da aderans artırıcı harcın kullanıldığı/kullanılmadığı tüm numuneler referans kirişi ile ayrı ayrı sunulmuştur (Şekil 8). Şekil 8.a'da referans kirişi ile aderans artırıcı harc kullanılmayan, Şekil 8.b'de ise referans kirişi ile aderans artırıcı harc kullanılarak hazırlanan soğuk derz sahip numunelerin yük deformasyon grafiklerine yer verilmiştir. İkinci gruplama da ise aynı tip soğuk derz sahip numuneler referans kirişi ile ayrı ayrı sunulmuştur (Şekil 9). Yatayla 45° açı yapacak şekilde soğuk derz sahip numuneler Şekil 9.a'da, yatayla 90° açı yapacak şekilde soğuk derz sahip numuneler Şekil 9.b'de ve kiriş boyunca uzanan soğuk derz tipine sahip numunelere doğrultusuna paralel uzanan soğuk derz tipine sahip deney numuneleri Şekil 9.c'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Referans deney numunesi ile (a) aderans artırıcı harc kullanılmayan, (b) aderans artırıcı harc kullanılan deney numunelerine ait yük deformasyon grafikleri



Şekil 9. Referans deney numunesi ile (a) yatayla 45°, (b) yatayla 90°, (c) kiriş boyuna doğrultusuna paralel uzanan soğuk derz tipine sahip deney numunelerine ait yük deformasyon grafikleri

Çalışmada tüm numunelere ait ilk çatlama ve akma yükleri, enerji sönümlenme kapasitesi ve süneklik değerlerine Tablo 3'te yer verilmiştir. İlk çatlama ve akma yükü değerleri ile rijitlik değişiminin daha iyi gözlemlenebilmesi açısından yük deformasyon eğrileri 16 mm deformasyon değeri ile sınırlandırılarak Şekil 10'da gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 10.d'de tüm parametrelerin referans numunesine göre değişimi grafik ile de ifade edilmiştir.

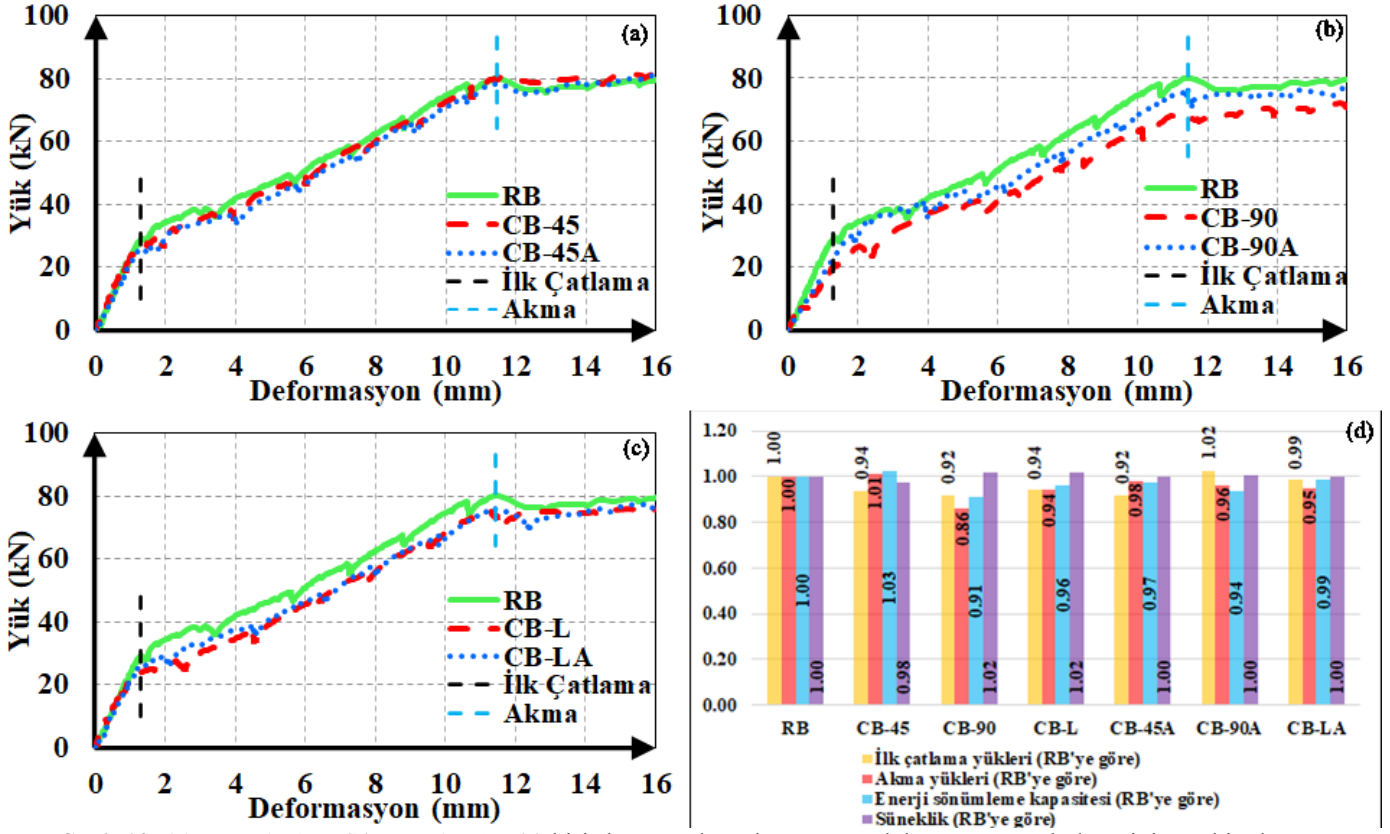
Tablo 3. Deney elemanlarının ilk çatlama-akma yükleri, enerji sönümlenme kapasiteleri ve süneklik değerleri

Numune	İlk Çatlama Yükü (kN)	RB'ye göre (%)	Akma Yükü (kN)	RB'ye göre (%)	Enerji Sönümlenme Kapasitesi (kJ)	RB'ye göre (%)	Süneklik	RB'ye göre (%)
RB	29.27	100.00	80.03	100.00	11.66	100.00	12.66	100.00
CB-45	27.46	93.82	81.06	101.29	11.98	102.74	12.37	97.70
CB-90	26.83	91.66	68.82	85.99	10.62	91.08	12.89	101.78
CB-L	27.53	94.06	75.26	94.04	11.21	96.14	12.88	101.69
CB-45A	26.93	92.01	78.45	98.03	11.34	97.26	12.63	99.74
CB-90A	29.97	102.39	77.12	96.36	10.93	93.74	12.71	100.35
CB-LA	28.84	98.53	75.92	94.86	11.51	98.71	12.62	99.65

Deney numunelerinin ilk çatlama yükleri arasında önemli farklılıklar bulunmamaktadır. Ancak soğuk derzin ilk çatlama yükü üzerinde etkileri araştırılmak istendiğinde sabit moment bölgesinde yatayla 90° açı yapan numunelerde ilk çatlak, Roy ve Laskar (2017)'ın çalışmasında gerçekleştiği gibi tam derz düzlemi üzerinde meydana gelmiştir. Bunun sebebi sabit moment bölgesinde bu derzin eğilme çatlağı yönüne paralel olarak uzanması ve bu bölgedeki en zayıf kesiti temsil etmiş olmasıdır. Bu nedenle aderans artırıcı kullanılmayan CB-90 numunesinde referans numunesine göre yaklaşık %8.5'lük maksimum fark ile en düşük ilk çatlama yükü tespit edilmiştir. CB-45 numunesinde ise referans numunesine göre yaklaşık %6'lık bir farkla ilk çatlamanın meydana geldiği tespit edilmiştir. Ancak aderans artırıcı harcın etkisiyle ilk çatlama yükünde meydana gelen düşüş telafi edilebilmiştir (CB-90A). Özellikle yatayla 90°'lik açı yapan soğuk derz birleşimine sahip olan CB-90A elemanında, aderans artırıcı harç kullanımı ile ilk çatlamanın derz düzlemi üzerinde oluşması engellenememiş ancak ilk çatlama yükü üzerindeki olumlu etkisi (CB-90'a göre yaklaşık %10'luk bir artış) gözlemlenmiştir.

Yük deformasyon eğrilerinden de anlaşılacağı üzere ilk çatlama meydana gelene kadar rijitlikler birbirine oldukça yakındır. İlk çatlama sonrasında referans numune (RB kirişi) ile diğer numuneler arasındaki yük deformasyon eğrileri arasındaki uyum ve akma yüklerinin arasındaki farkın aderans artırıcı kullanımına bağlı olduğu Şekil 8'den görülebilmektedir. Aderans artırıcı harç kullanılmayan CB-90 numunesinin referans kirişe göre, akma yükü yaklaşık %14 daha az (Tablo 3-Şekil 10.d) ve ilk çatlama sonrası rijitliği yaklaşık %9'luk maksimum farkla daha düşüktür. Bu tip soğuk derz birleşime sahip numunelerde dayanımın daha düşük olduğu Ünlü (2018) tarafından da belirtilmiştir. Harcın kullanılmadığı diğer numunelerden CB-L numunesi ise referans numuneye göre akma yükünde yaklaşık %6'lık bir kayıp görülmektedir. Harç kullanılan numunelerin akma yükleri ise referans numuneye göre oldukça yakındır. Özellikle harç kullanılan CB-90A numunesinde, CB-90'a göre akma yükü daha yüksek (RB kirişinin %96'sı) ve rijitlikteki azalış önemli ölçüde telafi edilebilmiştir.

Deney numunelerinin süneklik değerleri nihai deformasyon değerlerinin akma anındaki deformasyon değerlerine oranı ile elde edilmiştir. Denge altı donatılı olarak tasarlanmış ve çekme kırılması neticesinde taşıma gücüne ulaşmış olan tüm deney elemanlarının süneklik değerleri birbirine oldukça yakındır (Şekil 10.d). Enerji sönmüleme kapasiteleri bakımından ise referans numuneye göre büyük farklılıklar söz konusu değildir. Aderans artırıcı harç kullanılmayan numuneler içerisinde en fazla sönmüleme kapasitesi ve en yüksek akma yükü CB-45 numunesine ait olduğu tespit edilmiştir. En zayıf yapısal performans ise CB-90 numunesi sahiptir. Bu numune (CB-90) diğer parametrelerde olduğu gibi yaklaşık %9'luk maksimum farkla referans numuneye göre daha az enerji sönmüleme kapasitesine sahiptir. Bunun temel nedeni bu numunedeki ilk çatlağın en erken, rijitlikteki kaybın en büyük ve akma yükünün en düşük olmasıdır. Aderans artırıcı harç kullanımı ile genel olarak numunelerin enerji sönmüleme kapasiteleri artış eğilimindedir.



Şekil 10. (a) Yatayla 45°, (b) yatayla 90°, (c) kiriş boyuna doğrultusuna paralel uzanan soğuk derz tipine sahip deney numunelerine ait ilk çatlama ve akma yükü seviyeleri yük deformasyon grafikleri, (d) referans deney numunesine göre ilk çatlama-akma yükü, enerji sönmüleme ve süneklik kapasiteleri

5. Sonuçlar

Mevcut çalışmada, betonarme kirişlerde farklı tipte soğuk derz oluşumunun ve bu birleşim üzerinde aderans artırıcı harç kullanımının kiriş eğilme davranışı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada biri monolitik olmak üzere toplam yedi adet kirişin iki nokta yükleme testi gerçekleştirilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Tüm deney numunelerinin sürtünme kesme dayanımı yeterlidir. Tüm numuneler sünek davranış göstererek eğilme taşıma gücüne ulaşmıştır.
- Monolitik döküm ve soğuk derz birleşimine sahip olan elemanların ilk çatlama yükleri arasındaki farklılık oldukça azdır. Yalnızca soğuk derz düzlemi eğilme çatlağına paralel olan numunelerde (CB-90 ve CB-90A) ilk çatlama sabit moment bölgesindeki en zayıf kesit olan soğuk derz düzlemi üzerinde meydana gelmiş ve düzlem boyunca ilerlemiştir. Deney elemanları içerisinde referans elemana göre en düşük ilk çatlama yükü, CB-90 numunesinde yaklaşık %8.5'luk bir farkla gerçekleşmiştir. Aderans artırıcı harç kullanımı ile ilk çatlama yükünde en fazla %10'luk bir artış tespit edilmiştir (CB-90 ile CB-90A).
- İlk çatlama sonrasında harç kullanılmayan elemanlarda kullanılanlara göre rijitliklerde daha büyük düşüşler gözlemlenmiştir. Referans numuneye göre, rijitlikteki yaklaşık %9'luk en büyük düşüş CB-90 numunesinde gerçekleşmiştir.
- Deney elemanları arasında referans elemana göre en düşük akma yükleri sırasıyla yaklaşık %14'lük ve %6'luk farklarla CB-90 ve CB-L numunesinde gerçekleşmiştir. Bu durumun temel sebebi aderans artırıcı harç kullanılmayan numunelerde ilk çatlama sonrası rijitlikteki daha büyük düşüş etkili olmuştur. Aderans artırıcı harç kullanılmasıyla birlikte akma yükü değerleri referans numuneye çok yakın olarak elde edilmiştir.
- Aderans artırıcı harç kullanılan/kullanılmayan soğuk derz birleşimine sahip numunelerden CB-90 numunesi haricinde enerji sönmüleme kapasitelerinin referans numuneye oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, rijitlikteki daha

fazla kayıptan ve daha düşük yük seviyesinde akmanın gerçekleşmesinden kaynaklanmıştır. Ancak genel olarak harç kullanılan numunelerin enerji sönmüleme kapasiteleri az da olsa artış eğilimindedir.

- Aderans artırıcı harç kullanılsın ya da kullanılsın, giriş boyunca uzanan ve sabit moment bölgesinde yatayla 45° açı yapan soğuk derz birleşimlerinin kullanılmasının yapısal olarak bir sakınca tespit edilmemiştir.
- Giriş orta noktasında yatayla 90° açı yapan elemanlarda ilk çatlağın soğuk derz üzerinde oluşması ve bu düzlem üzerinde ilerlemesi nedeniyle, diğer elemanlardan daha düşük yapısal performans gözlemlenmiştir. Bu tip birleşimde aderans artırıcı harç kullanımı önerilmektedir.

Referanslar

ACI Committee 318. ACI 318M-19 (2019): Building Code Requirements for Structural Concrete; American Concrete Institute: Farmington Hills, MI, USA.

Aymak, İ. (2020). *Betonarme yapılarda oluşan soğuk derzlerin birleşim bölgelerinin dayanımına ve sınırlılığına olan etkisinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Türkiye.

Kadyrov, N., & Yazıcıoğlu, S. (2016). Soğuk derzin betonun eğilme ve doğrudan çekme dayanımı üzerindeki etkisinin araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 19(3), 203-210.

Kara, İ. B. (2021). Experimental Investigation of the Effect of Cold Joint on Strength and Durability of Concrete. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46(11), 10397-10408.

Laskar, S. M., Reja, H., & Talukdar, S. (2020). Behaviour of cold jointed and layered Portland cement-alkali-activated reinforced concrete beams. *Asian Journal of Civil Engineering*, 21(7), 1193-1204.

Ozturk, B. (2017). Seismic behavior of two monumental buildings in historical Cappadocia region of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 15(7), 3103-3123.

Ölmez, Ö. (2019). *Döküm süresi ve birleşim geometrisinin betondaki soğuk derz oluşumuna etkisinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, DÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce, Türkiye.

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.

Todeschini, C. E., Bianchini, A. C., & Kesler, C. E. (1964). Behavior of concrete columns reinforced with high strength steels. In *Journal Proceedings* (Vol. 61, No. 6, pp. 701-716).

Turan, Z. (2019). *Betonda soğuk derzin mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye.

Udoh, A. (2020). Mechanical behaviour of concrete cold joints. *Ebony Journal of Science*, 3(1), 59-74.

Ünlü, A. (2018). *Soğuk derzin betonun mekanik özelliklerine etkisinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, KTO Karatay Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye.

Vanlalruata, J., & Marthong, C. (2021). Effect of cold joint on the flexural strength of RC beam. *Journal of Structural Integrity and Maintenance*, 6(1), 28-36.