

## Depreme Dayanıklı Yapılarda Zamana Bağlı Bozulmalar: Betonarme Elemanlarda Korozyon Hasarları

\*Gökhan Barış Sakcalı ve İsa Yüksel

Doğa Bilimleri ve Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bursa Teknik Üniversitesi, Türkiye

### Özet

Betonarme binalarda yapısal performansın zamana bağlı etkenlerle düşüş gösterdiği bilinmektedir. Bunların başında yıpratıcı çevresel etkiler nedeniyle oluşan korozyon olayı gelmektedir. Donatı korozyonu betonarme elemanda aderans kaybı ve sıyırılma, betonda çatlama ve yumuşama, donatı çeliğinde enkesit kaybı ve mekanik özelliklerinde değişimler meydana getirmektedir. Bu bozulmalar arasında en etkili olanı aderans kaybı ve sıyırılma olayıdır. Bu çalışmada; betonarme taşıyıcı elemanlar, aderans-sıyırılma etkisini kapsayacak şekilde donatı korozyonunun olası tüm sonuçları birlikte göz önüne alınarak modellenmiştir. Bu bağlamda, seçilen bir betonarme bina modeli üzerinde, farklı korozyon senaryoları ile statik itme analizleri yapılmış ve analiz sonuçları korozyon senaryoları ile bu senaryolarda göz önüne alınan değişkenlere göre irdelenmiştir. Bulgular göstermiştir ki donatı korozyonuna bağlı olarak özellikle kolon kesitlerinde kayda değer kapasite düşüşleri gözlenmektedir. Buna ilaveten, aderans-sıyırılma olayının olumsuz etkileri gözlenmiştir. Korozyon düzeyine bağlı olarak, kapasitelerde ortaya çıkan kayıplar taşıyıcı eleman kesitlerinin moment-eğrilik ilişkisini bozarak, elemanın davranışını sünekten sünek olmayana doğru değiştirebilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Aderans; betonarme; kapasite; korozyon; sıyırılma.

## Time-Dependent Degradations in Earthquake Resistant Structures: Corrosion Damages on RC Elements

\*Gökhan Barı Sakcalı and İsa Yüksel

Faculty of Natural Sciences and Engineering, Civil Engineering Department, Bursa Technical University; Turkey

### Abstract

It was known that substantial reductions on structural performance of RC buildings was observed in time. Corrosion phenomena resulted from corrosive environmental effects is the primary cause of them. It causes bond degradation and slip, cracking and softening in concrete, reductions in cross-sectional area and mechanical properties of reinforcement steel in RC elements. The most effective one is the bond-slip phenomenon among these degradations. In this study, RC structural elements are modelled by regarding possible implications of rebar corrosion including bond-slip effect. In this context, pushover analyses are performed on a selected RC building model and the results are examined according to corrosion scenarios and variables considered in these scenarios. Findings showed that considerable changes are observed especially in column sectional capacities by depending rebar corrosion. In addition, it was observed that the bond-slip phenomenon has adverse effects on column sections. By depending on corrosion level, the aroused reductions in capacities are deteriorated the moment-curvature relationship of structural elements and this could change the type of behavior from ductile to non-ductile.

**Key words:** Bond strength; capacity; corrosion; reinforced concrete; slip.

### 1. Giriş

Betonarme elemanlarda korozyon donatıda kesit kaybı ve mekanik özellik değişimleri olmakta, betonda çatlaklar meydana getirmektedir. Bu değişimler, elemanda performans düşüşüne neden olur. Ayrıca korozyonun önemli sonuçlarından biri de bağ dayanımının (aderans) azalmasıdır. Bağ dayanımında azalma, donatı-beton kenetlenmesini zayıflatarak sıyrılmaya neden olabilir. Betonarme binalarda yapısal performans değerlendirmesi sırasında korozyon nedeniyle kapasite düşüşleri dikkate alınmalıdır. Donatıdaki kesit kaybı ve mekanik özelliklerdeki değişimleri hesaplamak nispeten kolay olup, literatürde bu türlü çalışmalar çoktur. Fakat, bağ dayanımı kayıplarının dikkate alındığı çalışma sayısı azdır. Bu çalışmada, betonarme taşıyıcı elemanlarda korozyon nedeniyle oluşabilecek tüm olası sonuçlar göz önüne alınarak eleman davranışındaki değişimler incelenmiştir. Bağ dayanımında oluşan kayıplar, betonda ve donatıda meydana gelebilecek pek çok değişken şimdiye kadar yapılmış analitik ve deneysel çalışmalardan faydalanılarak göz önüne alınmıştır. Seçilen bir yapı modeli üzerinde farklı korozyon senaryoları uygulanmış ve kolon, kiriş gibi taşıyıcı elemanların kapasiteleri çeşitli yönleriyle incelenmiştir.

\*Corresponding author: Address: *Faculty of Natural Sciences, Architecture and Engineering, Civil Engineering Department, Bursa Technical University, 16330, Bursa, TURKEY.* E-mail address: gokhan.sakcali@btu.edu.tr, Phone: +902243003512

## 2. Betonarme Yapılarda Korozyon

Korozyona uğrayan donatı çubuğunda ve onu çevreleyen betonda ortaya çıkan olumsuzluklar betonarme taşıyıcı elemanın deprem yükleri altında beklenen davranışı gösterememesine neden olabilir. Betonarme bir yapının doğrusal olmayan davranışı, kritik kesitlerin elastik-ötesi deformasyon yapabilmesine bağlıdır. Son yıllarda doğrusal olmayan analiz ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Kritik kesitler genellikle eğilme davranışı göz önüne alınarak modellenmektedir. Buna karşın, literatürde eğilme ve kesme davranışları, aderans kaybı ve sıyrılmanın eğilme ile birlikte dikkate alındığı tek bir model bulunmamaktadır [1]. Eğilmeye maruz bir betonarme elemanda çatlak genişlemesi ve donatının uzaması donatıda elastik ötesi şekil değiştirmeye neden olur. Sezen (2006) korozyona uğramamış elemanlar için sıyrılma deformasyonunun toplam deformasyonun %25 ile %40'ı kadar olabileceğini göstermiştir [2]. Korozyona uğramış benzer bir elemanda ise kayma gerilmelerindeki azalma nedeniyle bu oran daha da yükseleceği açıktır. Korozyon düzeyi, donatıda meydana gelen kütle kaybı cinsinden ifade edilebilir. Donatıdaki kütle ve çap kayıplarının belirlenmesinde Bağıntı (1-3) kullanılabilir.

$$\% \Delta w = \frac{\phi_0^2 - \phi(t)^2}{\phi_0^2} \times 100 \quad (1)$$

$$\Phi(t) = \Phi_0 - 2P_x \quad (2)$$

$$P_x = \kappa i_{corr} t_p = \kappa i_{corr} (t - t_{in}) \quad (3)$$

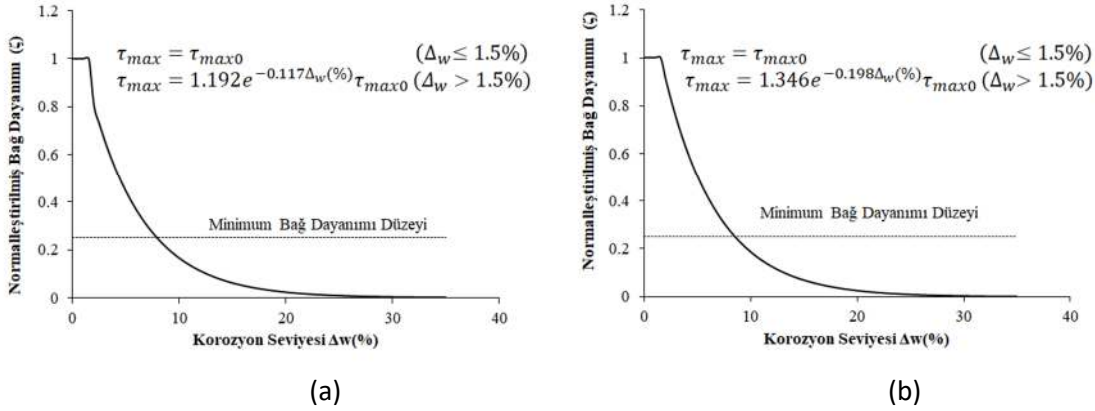
Bağıntı (1-2)' de  $\Phi(t)$  t anında donatı çap kaybını (mm),  $\Phi_0$  başlangıçtaki donatı çapını (mm),  $t_{in}$  donatı yüzeyinde korozyonun başlamasından itibaren geçen zamanı (yıl),  $P_x$  ise ortalama işleme (penetrasyon) değerini (mm/yıl) göstermektedir. Faraday kanununa göre ortalama işleme değeri ( $P_x$ ) donatı çapındaki kayıp cinsinden hesap edilebilir. Elektrokimyasal ölçümlerce ortalama işleme değeri ( $P_x$ ) Bağıntı (3)' den bulunabilir. Burada  $i_{corr}$  korozyon hızını ( $\mu A/cm^2$ ), t bina yaşını (yıl),  $t_{in}$  korozyon başlama yılını (yıl) ve  $\kappa$  (0.0116) korozyon yoğunluğu birim çevirme katsayısını ifade etmektedir [3]. Korozyona maruz kalmış bir donatıda akma ve kopma dayanımları, akma ve kopma birim şekil değiştirmeleri ve elastik modül gibi malzeme özelliklerinde önemli değişimler meydana gelir. Bu değişimler literatürde çoğunlukla Bağıntı (4-7) kullanılarak göz önüne alınmaktadır. Bu bağıntılar karbonatasyon etkisini dikkate alan genel korozyon durumu için elde edilmiş bağıntılardır. Bu çalışma kapsamında da korozyon nedeniyle gerilme, birim şekil değiştirme ve elastisite modülünde meydana gelen değişimler bu bağıntılardan hesaplanmıştır.

$$A = \left(1 - Bx \frac{\Delta w}{100}\right) * C \quad (4)$$

Burada A hesaplanan parametreyi ( $\sigma_y$ ,  $\sigma_u$ ,  $E_s$ ,  $\epsilon_u$ ), B hesaplanan parametreye bağlı katsayıları göstermekte olup  $\sigma_y$  için 1.24,  $\sigma_u$  için 1.07,  $E_s$  için 0.75 ve  $\epsilon_u$  için 1.95 değerindedir. C ise hesaplanan parametrenin başlangıçtaki değeridir. Korozyon öncesi bağ dayanım değeri farklı etkenlere bağlı olduğu için deneysel verilerden elde edilmelidir. Ancak deneysel veri bulunmadığında Bağıntı (5) de kullanılabilir [4].

$$\tau_{max0} = 1.163x f_c^{3/4} \quad (5)$$

Bağ dayanımı betonarme yapıları kullanılabilirlik limit durumunda donatıya dik yöndeki çatlak genişliklerini, aralıklarını ve kesit eğriliğini etkiler. Taşıma gücü durumunda ise eleman uç bölgelerinde kesit dönmesini etkiler [5]. Betonarme bir kesitte enine donatının yaratacağı sargı etkisinin bağ dayanımı üzerine olumlu etkisi vardır. Bu etkiler betonun yarılmasını geciktirmek ve donatı ile beton arasındaki sürtünmeyi artırmaktır. Şekil 1’ de çekip-çıkarma (pull-out) ve eğilme deneyinden elde edilen normalleştirilmiş bağ dayanımı-korozyon düzeyi ilişkisi ve buna ait bağıntı gösterilmiştir [6]. Bu çalışma kapsamında kirişler için eğilme deneyinden elde edilen ve kolonlar için çekip-çıkarma deneyinden elde edilen bağıntılar kullanılmıştır. Şekil 1’deki bağıntılardan elde edilen normalleştirilmiş bağ dayanımı değeri Bağıntı (6)’ de belirtilen gerilme-dönme birim şekil değiştirme azaltma faktörünü ( $\phi$ ) elde etmek için kullanılır. Bağıntı (7-10), Bağıntı (6)’u elde etmek için yardımcı bağıntılardır. Azaltılmış bağ dayanım değeri korozyon nedeniyle donatı çubuğunda meydana gelen bağ dayanımındaki düşüşü temsil etmektedir. Bu çalışma kapsamında bağ dayanım değerinin korozyonsuz duruma ait bağ dayanım değerinin %25’inin altına düşmediği kabul edilmiştir.



Şekil 1. Normalleştirilmiş bağ dayanımı-korozyon düzeyi ilişkileri (a) Çekip-çıkarma deneyinden (b) Eğilme deneyinden [6]

$$\phi = \frac{L_{eu}(korozyonsuz)}{L_{eu}(korozyonlu)} \quad (6)$$

$$L_{eu} = \frac{S_E}{\varepsilon_{sm}} \quad (7)$$

$$S_E = \frac{\varepsilon_{sm} L_{d1}}{2} \quad (\varepsilon_{sm} \leq \varepsilon_y \text{ için}) \quad (8.a)$$

$$S_E = \frac{\varepsilon_y L_{d1}}{2} + \frac{(\varepsilon_{sm} + \varepsilon_y) L_{d2}}{2} \quad (\varepsilon_{sm} > \varepsilon_y \text{ için}) \quad (8.b)$$

$$L_{d1} = \frac{f_{sm} d_b}{4\tau_{max}} \leq \frac{f_y d_b}{4\tau_{max}} \quad (9)$$

$$L_{d2} = \frac{(f_{sm} - f_y)d_b}{4\tau_f} \quad (10)$$

Burada,  $L_{d1}$  donatıdaki maksimum gerilmeye ve  $L_{d2}$  akma gerilmesine karşılık gelen kenetlenme boyunu,  $f_{sm}$  boyuna donatıdaki maksimum gerilmeyi ve  $f_y$  boyuna donatı akma gerilmesini,  $d_b$  boyuna donatı çapını ve  $\tau_f$  artık sürtünme bağ gerilmesini temsil etmektedir. Burada  $\tau_f = 0.15\tau_{max}$  alınabilir. Ayrıca  $S_E$  kesitteki sıyrılma boyunu,  $\varepsilon_{sm}$  maksimum ve  $\varepsilon_y$  akma şekil değiştirme değerlerini ifade eder. Çekirdek betonda enine donatının çekme birim şekil değiştirmesi Bağlantı (11, 12) ile hesaplanabilir [7]. Burada,  $\varepsilon_r$  enine donatı akma birim şekil değiştirmesini,  $w_{cr}$  boyuna donatı çevre uzunluğunu,  $b_0$  beton kesit çevresini,  $V_{rs}$  donatı çapı genişleme katsayısını (1.5-5 arasında alınabilmektedir),  $x$  işleme derinliğini ifade etmektedir [7]. Betonda meydana gelen çatlamlar ve yumuşama etkisi Bağlantı (13)' da verilen katsayı ile dikkate alınmaktadır [8].

$$\varepsilon_r = \frac{\sum w_{cr}}{b_0} \quad (11)$$

$$w_{cr} = \pi(V_{rs} - 1)2x \quad (12)$$

$$\zeta = \frac{0.9}{\sqrt{1+600\varepsilon_r}} \quad (13)$$

$$\sigma = \zeta f'_c \left[ 2 \left( \frac{\varepsilon}{\zeta \varepsilon_0} \right) - \left( \frac{\varepsilon}{\zeta \varepsilon_0} \right)^2 \right] \quad (\text{Artan bölge için}) \quad (14)$$

$$\sigma = \zeta f'_c \left[ 1 - \left( \frac{\frac{\varepsilon}{\zeta \varepsilon_0} - 1}{\frac{\zeta}{\varepsilon_0} - 1} \right)^2 \right] \quad (\text{Azalan bölge için}) \quad (15)$$

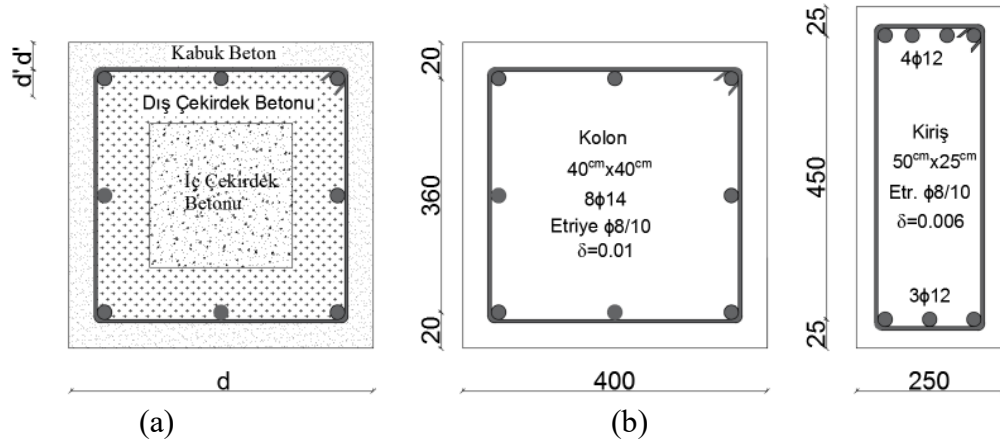
Bağlantı (14, 15)' de,  $\sigma$  ve  $\varepsilon$  sırasıyla korozyon sonrasında betonda meydana gelen gerilme ve şekil değiştirmeyi ifade eder. Burada,  $\varepsilon_0$  (0.002) betonun maksimum basınç gerilmesine karşılık gelen şekil değiştirmesini ve  $\zeta$  beton yumuşama katsayısını ifade eder [8].

### 3. Sayısal Uygulama

#### 3.1. Seçilen Bina Modeli ve Analiz İçin Kabuller

Seçilen bina modelinde C20/ S420 malzeme kullanıldığı varsayılmıştır. Şekil 2 (a-b)'de taşıyıcı sistemin kolon ve kiriş enkesitleri gösterilmiştir. Donatılar için ikili-doğrusal pekleşmeli malzeme modeli kullanılmıştır. Ancak sıyrılma etkisine maruz kalan donatıda sıyrılma sonrası pekleşme etkisi ihmal edilmiştir. Sargılı çekirdek beton için Mander [9] modeli kullanılmıştır. Betonarme elemanın beton kısmı 3 farklı katman şeklinde tanımlanmıştır. Şekil 2(c)' de "iç çekirdek betonu" diye adlandırılan kısım çatlammamış ve değişime uğramayan sargılı betonu, "dış çekirdek betonu" diye adlandırılan kısım çatlaklı ve yumuşamaya maruz kalmış sargılı betonun bir kısmını ve "kabuk beton" diye adlandırılan kısım çatlaklı ve yumuşama meydana gelmiş paspayını temsil etmektedir. Bu çalışmada moment eğrilik ilişkisi yaklaşık akma momentinin tayini için iki doğrusal parçadan

oluşacak şekilde idealleştirilmiştir. Bu yöntemde akma momenti kapasitesi doğruya çok yakın sonuç verirken, eğrilik değerleri doğruluktan biraz uzak kalabileceğinden idealleştirme sonucunda sadece akma momenti kapasiteleri incelenmiştir. Kiriş ve kolonlarda kuvvete dayalı elastik olmayan çerçeve eleman tipi ile modellenmiştir. Bu modellemede elemanda hem geometri hem de malzemenin doğrusal olmayan davranışı göz önüne alınabilmektedir. Bu modellemede plastik mafsal histeretik davranışına ihtiyaç duyulmadan sistemlerin moment-eğrilik ilişkilerini kolayca verir [10-11].



Şekil 2. Kolon ve kiriş kesit Detayları ve üç katmanlı tipik taşıyıcı eleman kesiti. (a) Kolon; (b) Kiriş; (c) Üç katmanlı tipik kesit

Seçilen yapı modeli farklı korozyon senaryoları altında statik itme analizine tabi tutulmuştur. Bunun için Seismostruct V.2016 [12] yazılımı kullanılmıştır. Dönme istemleri EUROCODE-8'den hesaplanmıştır (EC-8, Bölüm 3, Bağıntı A.1 ve A.10a) [13].

### 3.2. Korozyon Senaryoları

Bu çalışmada, 6 farklı korozyon halini ifade eden senaryo ve 3 ayrı donatı çapı (Φ8, Φ12 ve Φ14) için çap ve kütle kaybı incelenmiştir (Tablo 1). Korozyonun başlangıç süresi tüm elemanlar için 15 yıl olarak kabul edilmiştir. Korozyon nedeniyle donatıda meydana gelen çap kayıpları Bağıntı (2) kullanılarak, kütle kaybı Bağıntı (1) kullanılarak ve mekanik özelliklerindeki değişimler Bağıntı (4-7) kullanılarak hesaplanmıştır. Burada betonarme elemanın korozyona başlaması için geçen süre 15 yıl seçilmiştir.

Tablo 1. Senaryolara göre donatılarda çap ve kütle kayıpları

| Senaryo kodu | Başlangıçta çap (mm) | $i_{corr}$ (mA/cm <sup>2</sup> ) | $t_p$ (yıl) | Korozyon sonrası çap (mm) | Kütle kaybı (%) |
|--------------|----------------------|----------------------------------|-------------|---------------------------|-----------------|
| S0           | 8                    | 0                                | 0           | 8.00                      | 0,00            |
|              | 12                   | 0                                | 0           | 12.00                     | 0,00            |
|              | 14                   | 0                                | 0           | 14.00                     | 0,00            |

|           |    |     |    |       |      |
|-----------|----|-----|----|-------|------|
| S1-0.1-20 | 8  | 0.1 | 20 | 7,99  | 0,29 |
|           | 12 | 0.1 | 20 | 11,99 | 0,19 |
|           | 14 | 0.1 | 20 | 13,99 | 0,17 |
| S2-0.1-30 | 8  | 0.1 | 30 | 7,97  | 0,87 |
|           | 12 | 0.1 | 30 | 11,97 | 0,58 |
|           | 14 | 0.1 | 30 | 13,97 | 0,50 |
| S3-0.5-20 | 8  | 0.5 | 20 | 7,94  | 1,44 |
|           | 12 | 0.5 | 20 | 11,94 | 0,96 |
|           | 14 | 0.5 | 20 | 13,94 | 0,83 |
| S4-0.1-50 | 8  | 0.1 | 50 | 7,92  | 2,02 |
|           | 12 | 0.1 | 50 | 11,92 | 1,35 |
|           | 14 | 0.1 | 50 | 13,92 | 1,16 |
| S5-1.0-20 | 8  | 1.0 | 20 | 7,88  | 2,88 |
|           | 12 | 1.0 | 20 | 11,88 | 1,92 |
|           | 14 | 1.0 | 20 | 13,88 | 1,65 |
| S6-0.5-30 | 8  | 0.5 | 30 | 7,83  | 4,30 |
|           | 12 | 0.5 | 30 | 11,83 | 2,88 |
|           | 14 | 0.5 | 30 | 13,83 | 2,47 |

## 4. Sonuçlar ve Tartışma

### 4.1. Donatıda ve betonda meydana gelen değişimler

Artan donatı sıyrılması nedeniyle dayanım kayıpları için Bağntı (6)'daki  $\phi$  çarpanı elde edilmiştir (Tablo 2). Etriyelerde sıyrılma etkisi göz önüne alınmamıştır. Bağ dayanımı azaltma katsayısı ( $\Phi$ ) korozyon düzeyi arttıkça azalmaktadır (Tablo 2). Aynı korozyon düzeyine sahip kesitler için kolon kesitinde  $\Phi$  katsayısı daha fazla düşüş göstermektedir. Bu da kolonda bağ gerilmesinde meydana gelen düşüşün daha fazla olduğu anlamına gelmektedir. Korozyon düzeyi aynı olmasına rağmen, kolon ve kiriş kesitinde  $\Phi$  katsayısının birbirinden farklı çıkmasının iki temel sebebi vardır. Birinci sebep, bahsi geçen kesitlerde bulunan donatı çaplarının birbirinden farklı olmasıdır. İkinci sebep ise kolon ve kiriş kesitlerinde farklı maksimum kayma gerilmesi bağıntılarının kullanılmasıdır.

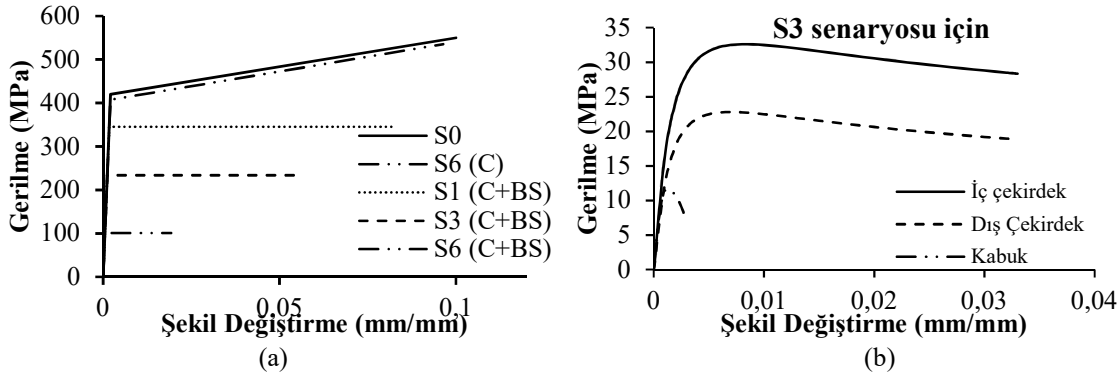
Beton yumuşamasını dikkate almak için Bağntı (13)' da verilen denklem kullanılmıştır. Bu bağıntı kullanılarak elde edilen  $\zeta$  katsayıları Tablo 2' de verilmiştir. Çevresel etkiler ve korozyon seviyesi arttıkça  $\zeta$  katsayısı küçülmektedir. Bu katsayının düşmesi betonda basınç dayanımının azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca ele alınan çalışma için kiriş elemanda beton dayanım düşüşü daha fazla olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi elemanlarda bulunan boyuna donatı oranlarının farklılığıdır.

**Tablo 2.** Senaryo kodlarına göre bağ dayanımı azaltma faktörünün değişimi ve beton yumuşama katsayısı

| Bağ dayanımı azaltma | Donatı çapı (mm) | S0 | S1 0.1-20 | S2 0.1-30 | S3 0.5-20 | S4 0.1-50 | S5 1.0-20 | S6 0.5-30 |
|----------------------|------------------|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                      | Kolon için       | 14 | 1.000     | 0.831     | 0.687     | 0.580     | 0.452     | 0.392     |

|   |               |    |       |       |       |       |       |       |       |
|---|---------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| faktörü<br>( $\Phi$ )                         | Kiriş<br>için | 12 | 1.000 | 0.820 | 0.663 | 0.550 | 0.362 | 0.351 | 0.211 |
| Beton<br>yumuşama<br>katsayısı<br>( $\zeta$ ) | Kolon<br>için |    | 1.000 | 0.811 | 0.678 | 0.582 | 0.510 | 0.430 | 0.341 |
|   | Kiriş<br>için |    | 1,000 | 0,802 | 0,658 | 0,558 | 0,485 | 0,405 | 0,317 |

Şekil 3' de sadece kolon için gerilme-birim şekil değiştirme ilişkileri ele alınmıştır. Kiriş eleman için de bu ilişkiler benzerlik göstermektedir. Şekil 3(a) incelendiğinde (C) sadece korozyon nedeniyle meydana gelen dayanım kaybı sonucunda oluşan gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisini ve (C+BS) ise hem korozyon hem de sıyrılmalı modelleme sonucunda meydana gelen gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisini temsil etmektedir. Elemanlarda korozyon nedeniyle oluşan dayanım kayıpları sıyrılmalı nedeniyle oluşan dayanım kayıplarına nazaran çok daha düşük seviyede kaldığı görülebilir. S3 senaryosu için çevresel etkiler nedeniyle betonda meydana gelen dayanım kayıpları her katman için örnek olarak gösterilmiştir (Şekil 3 b). İç çekirdek betonu sargı etkisi nedeniyle ve çevresel etkilerin bu elemana ulaşmadığı için dayanımında çok fazla düşüş gözlenmemiştir. Bu eleman sadece etriyedeki korozyon nedeniyle küçük bir düşüş göstermiştir. Dış çekirdek betonu çevresel etkilere maruz kalsa bile kabuk betona göre hem daha içerde hem de sargı etkisi nedeniyle dayanımını daha fazla korumayı başaramıştır. Kabuk betonda ise çok fazla dayanım kaybı olduğu gözlenmiştir.

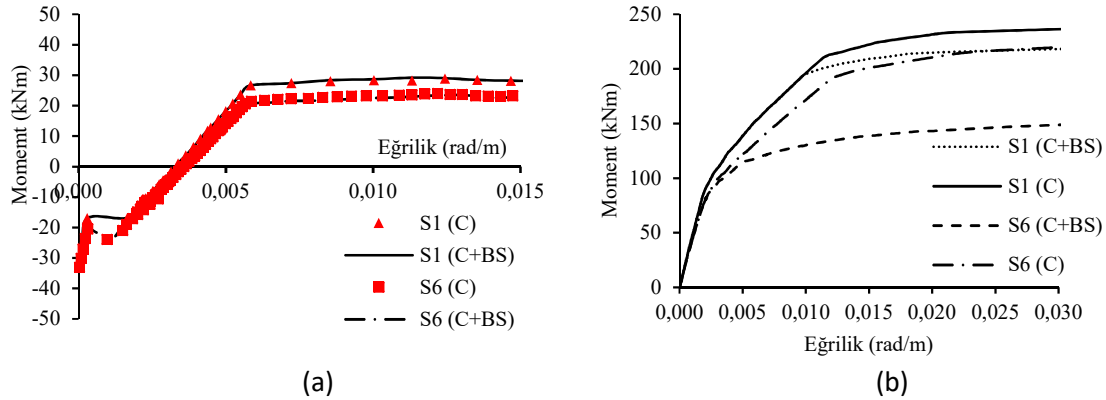


Şekil 3. Kolonda kullanılan malzemelerin gerilme-birim şekil değiştirmeleri (a) Boyuna Donatıda senaryolara göre değişim; (b) Beton için kullanılan modele göre değişim

#### 4.3. Korozyonun Betonarme Kesit Üzerindeki Etkisi

Sıyrılmının dahil ve ihmal edildiği durumlarda moment-eğrilik ilişkisinin nasıl değiştiği incelenmiştir (Şekil 4). Bu grafiklerde sadece düşük düzeyli korozyonu temsilen S1-0.1-20 senaryosu ve ileri düzeyli korozyonu temsilen de S6-0.5-30 senaryolarına yer verilmiştir. Kolon kesitlerinde kiriş kesitlerine göre daha keskin bir moment taşıma gücü düşüşü gözlenmiştir. Kiriş kesiti için sıyrılmalı etkisinin ihmal edilebilir düzeyde kaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Fakat kolon kesitleri için sıyrılmının göz önüne alınması gerektiği görülmektedir.





Şekil 4. S1-0.1-20 ve S6-0.5-30 senaryoları için sıyrılmalı ve sıyrılmaz durumlar için kolon ve kiriş kesitlerinde moment-eğrilik ilişkileri; (a) Kiriş (b) Kolon

#### 4.4. Korozyonun Eleman Hasarları Üzerine Etkisi

Tablo 3. Eleman Hasar Düzeyleri

| Eleman Adı | Hasar Nedeni                                | S0 | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 |
|------------|---|----|----|----|----|----|----|----|
| Kolon      | 50 yılda aşılma olasılığı<br>%20 lik deprem | MN | BH | BH | GD | GD | GD | GD |
|            | 50 yılda aşılma olasılığı<br>%10 luk deprem | BH | GD | GD | GD | GD | GD | GD |
| Kiriş      | 50 yılda aşılma olasılığı<br>%20 lik deprem | MN | MN | MH | MN | MN | MH | MH |
|            | 50 yılda aşılma olasılığı<br>%20 luk deprem | MN | MN | MH | MN | MN | MH | MH |

MN: Minimum Hasar, BH: Belirgin Hasar, GD: Göçme Durumu

Şekil 2' de kolon ve kiriş kesiti verilmiş elemanlar bir yapı sisteminde modellenmiştir. Elemanlarda dönme istemi EUROCODE-8 Bölüm-3'de bulunan Bağıntı (A.1) ve Bağıntı (A.10a) kullanılarak hesaplanmıştır. Dönme istemini karşılayamayan elemanlarda oluşan hasar sonuçları ise Tablo 3' de verilmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi kiriş kapasitelerinde (Şekil 4.a.) büyük değişimler olmaması hasar seviyesinde büyük değişimler de oluşturmamıştır. Ancak kolon kapasitelerinde (Şekil 4.b.) ise büyük değişimler olduğu ve buna bağlı olarak da hasar seviyelerinde büyük değişimler olduğu kolaylıkla gözlenebilir. Örneğin, Tablo 3'de kolon eleman için 50 yılda aşılma olasılığı %20'lik deprem için S0 senaryosunda MN düzeyindeyken; S1 ve S2 senaryolarında BH düzeyine geldiğini; S3, S4, S5 ve S6 senaryolarında ise GD düzeyinde kaldığı gözlenmektedir. Görülüyor ki, korozyondan kaynaklı hasarlar özellikle kolonlarda eleman hasar düzeyini önemli ölçüde arttırmıştır.

#### 5. Sonuçlar

Kolon kesitlerinde, sıyrılmalı ve sıyrılmaz model arasında önemli kapasite farkları görülmektedir. Betonarme kiriş kesitlerinde sıyrılmaya olayı modellemede ihmal edilebilecekken,

kolonlarda sıyrılmının dikkate alınması gerektiği görülmektedir. Çatlama ve yumuşama etkisi nedeniyle, korozyon düzeyi arttıkça betonda dayanım kaybı artmaktadır. Bu dayanım kaybı özellikle kabuk betonda kendini göstermektedir. İncelenen taşıyıcı elemanlarda hasar düzeylerinde değişim daha çok kolonlarda gözlenmektedir. Kolonlardaki bu değişimin sistem göçme şeklinin sünekten gevreğe doğru dönüşümünde rolü vardır.

## 6. Teşekkür

Bu çalışma BTÜ’nde yürütülen 2016-91-024 nolu BAP projesi sonuçlarından bir kısmını içermektedir. Yazarlar Bursa Teknik Üniversitesi Rektörlüğü’ne teşekkür ederler.

## 7. Kaynaklar

- [1] Fallah MM, Shoostari A, Ronagh HR. Investigating the effect of bond slip on the seismic response of RC structures. *Structural Engineering and Mechanics*. 2013;46(5):695-711.
- [2] Sezen H. Moehle JP. Seismic test of concrete columns with light transverse reinforcement. *American Concrete Institute Structural Journal*. 2006;103 (6):824-49.
- [3] Tuutti K. Corrosion of steel in concrete. *Swed. Cem. Concr. Res. Inst*. 1982;17.
- [4] Murcia-Delso J, Stavridis A, Shing PB. Bond strength and cyclic bond deterioration of large-diameter bars. *ACI Struct J*. 2013;110(4):659–669.
- [5] Cairns J. Bond and anchorage of embedded steel reinforcement in fib Model Code 2010. *Structural Concrete*. 2015;16(1):45–55.
- [6] Bhargava K, Ghosh AK, Yasuhiro M, Ramanujam S, Suggested empirical model for corrosion-induced bond degradation in reinforced concrete. *Journal of Structural Engineering*. 2008; 134(2): 221–30.
- [7] Molina FJ, Alonso C, Andrade C. Cover cracking as a function of rebar corrosion: part 2-numerical mode. *Materials and Structures*. 1993;26:532–548.
- [8] Hsu TTC. *Unified Theory of Reinforced Concrete*. CRC-Press Inc. Florida: Boca Raton; 1993.
- [9] Mander JB, Priestley MJN, Park R. Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete. *Journal of Structural Division (ASCE)*. 1988;114(8):1804-26.
- [10] Spacone E, Ciampi V, Filippou FC. Mixed formulation of nonlinear beam finite element, *Computers & Structures*. 1996;58(1):71-83.
- [11] Neuenhofer A, Filippou FC. Evaluation of nonlinear frame finite-element models. *Journal of Structural Engineering*. 1997;123,(7):958-66.
- [12] SeismoStruct software, SeismoSoft Inc. v2016. A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures. Italy:Pavia; 2016 (www.seismosoft.com).
- [13] EN 1998-3 (English), Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance -Part 3: Assessment and retrofitting of buildings, 2004.