BETONARME BİNALARDA MEVCUT DONATI KOROZYONUNUN DEPREM DAVRANIŞINA ETKİLERİ

S. Coşkan[1] ve İ. Yüksel[2]

[1] *Öğretim Görevlisi, İnşaat Teknolojisi Bölümü, Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak*
[2] *Doçent Doktor, İnşaat Müh. Bölümü, Bursa Teknik Üniversitesi, Bursa*
Email: sedacoskan@gmail.com

ÖZET:

Betonarme binalarda, yıpratıcı çevresel etkilerden veya beton bileşiminden kaynaklanan nedenlerle oluşan donatı korozyonuna sıkça rastlanmaktadır. Donatı korozyonu sonucunda örtü beton çatlamakta, donatıda kesit kaybı oluşmakta, donatı-beton arasında aderans kaybı olmakta ve donatı mekanik özellikleri de korozyondan olumsuz etkilenmektedir. Bu çalışmanın amacı, üniform (genel) donatı korozyonunun betonarme binaların deprem davranışına olan etkilerini araştırmaktır. Bu amaçla, seçilen örnek bir bina üzerinde farklı korozyon senaryoları altında deprem davranışının değişimi incelenmiştir. Yönetmeliklere uygun olarak tasarlanan örnek binanın, tasarım depremi etkisi altında her bir korozyon senaryosu için SAP2000 programı ile statik itme analizleri yapılmıştır. Korozyonun bina üzerindeki yaygınlığı, etki süresi, yeri ve yayılma hızı araştırmanın değişkenleri olarak alınmıştır. Binanın çeşitli korozyon senaryolarına ait sonuçları korozyonsuz (referans) duruma ait davranış parametreleri ile kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Oluşturulan her bir senaryoda, donatıdaki çap kaybı, donatı-beton arasındaki aderans kaybı, donatı çeliği mekanik özelliklerindeki değişim literatürden alınan bağıntılarla hesaplanarak sisteme etkitilmiştir. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda korozyonun binanın davranışını olumsuz yönde etkilediği, korozyonun yeri ve hızına bağlı olarak beklenen yapısal hasarın arttığı görülmektedir.

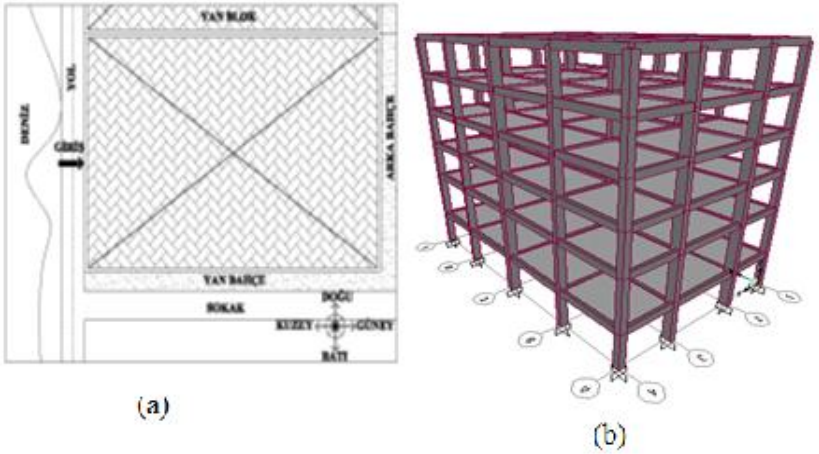
ANAHTAR KELİMELER: Betonarme bina, deprem, itme analizi, korozyon.

1. GİRİŞ

Betonun çekme dayanımı düşüktür. Bu sebeple betonarme yapılarda betonun içine donatı çeliği yerleştirilerek, kesitteki çekme gerilmelerini çeliğin karşılaması sağlanır. Fakat beton, yıpratıcı çevresel etkilere karşı uygun şekilde üretilir ve korunmazsa donatı korozyonunun başlaması ve yayılması beklenen bir durumdur. Esasen donatı korozyonu betonarme köprü, viyadük, kıyı ve açık deniz yapıları, endüstriyel bölgelerdeki yapılar ve doğrudan ya da dolaylı şekilde su ve klorla ilişkisi olan hemen her türlü yapıda ortaya çıkan çok önemli sorundur. Bu sorun, ekonomik kayıpların yanı sıra yapısal davranışı bütünüyle değiştirebilecek ve bunun bir sonucu olarak can kayıplarına dahi neden olabilecek büyüklükte bir soruna dönüşebilmektedir. Türkiye gibi; üç tarafı denizlerle çevrili ve aynı zamanda çok önemli bir deprem kuşağında yer alan, beton dayanımı sorunlarının çok sık yaşandığı yerlerde donatı korozyonu kaynaklı hasarların olması beklenen bir durumdur. Buna karşı mevcut binalarda güçlendirme sırasında, yeni yapılacak binalarda ise yapım aşamasında tedbir alınarak can ve mal kayıplarının önlenmesi gereklidir.

2. ANALİTİK ÇALIŞMA

Korozyonun deprem davranışına etkisi tasarlanmış bir örnek bina üzerinde ele alınacaktır. Binanın bir cephesi denize paralel 6 katlı düzenli bir betonarme konut binası olduğu varsayılmıştır. Vaziyet planı Şekil 1.a'da, taşıyıcı sistem genel görünüşü ise Şekil 1.b'de gösterilmiştir.

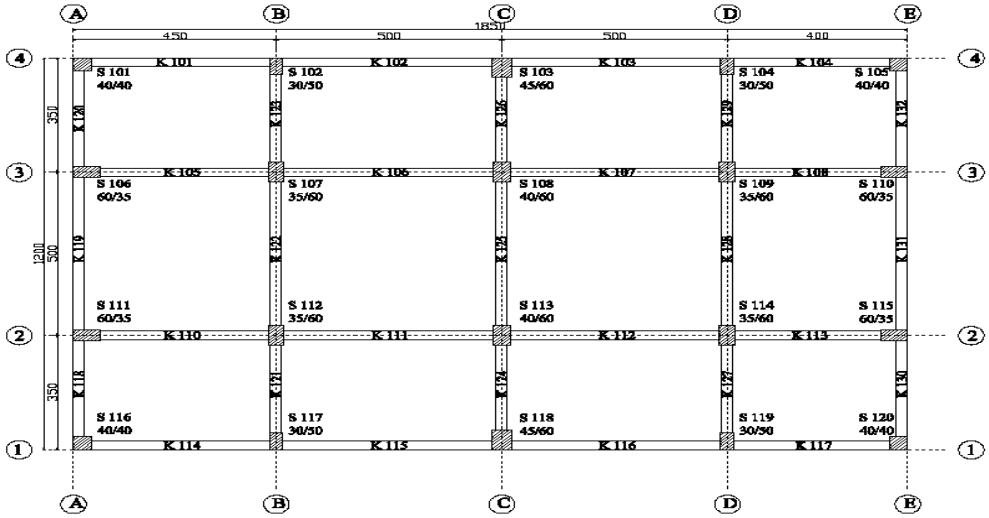


Şekil 1. Örnek bina, (a)Vaziyet planı, (b)Taşıyıcı sistem modeli genel görünüşü

Binanın tasarımı ve sonraki analizleri için diğer bir kısım özellikleri ise Tablo 1'de,kat planı Şekil 2'de ve donatı özellikleri de Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Taşıyıcı Sistem Özellikleri

Kat Adedi	6 (Bodrum+Zemin+4 Normal Kat)
Kat Yüksekliği	Bodrum=2,8 m; Zemin=4 m; Normal Kat=3m
Beton/Çelik Sınıfı	C20/S420
Deprem Bölgesi	1
Bina Önem Katsayısı, I	1.0
Bina Davranış Katsayısı, R	Tasarımda R=8, Değerlendirmede R=1
Döşeme Kalınlığı	12 cm
Yerel Zemin Sınıfı	Z2



Şekil 2. Kat planı

Tablo 2. Kolon geometrik özellikleri ve donatıları

Kolon tipi	Benzeri kolonlar	Boyut (cm/cm)	Boyuna donatı	Etriye
S 101	S105, S116, S120	40/40	12Ø20	Ø8/100
S 102	S104, S117, S119	30/50	8Ø20	Ø8/100
S 103	S118	45/60	14Ø20	Ø8/100
S 106	S110, S111, S115	60/35	14Ø20	Ø8/100
S 108	S113	40/60	12Ø20	Ø8/100
S 109	S107, S112, S114	35/60	12Ø20	Ø8/100

Binanın 40 yaşında olduğu ve farklı lokasyonlarda ve hızlarda korozyona maruz kaldığı varsayılmıştır. Sistemin korozyonsuz hali referans durum kabul edilerek 7 ayrı korozyon senaryosu göz önüne alınmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. Korozyon senaryoları

Senaryo No	Korozyon Oluşum Yeri (Hızı)
Referans	Korozyon yok
Senaryo 1	Tüm bina (1 $\mu A/cm^2$)
Senaryo 2	Bodrum kat kolonları (1 $\mu A/cm^2$)
Senaryo 3	Bodrum kat kolonları (2 $\mu A/cm^2$)
Senaryo 4	Bodrum kat kolonları (4 $\mu A/cm^2$)
Senaryo 5	Bodrum-zemin kat kolonları ile kirişleri (1 $\mu A/cm^2$)
Senaryo 6	Bodrum-zemin kat kolonları ile kirişleri (2 $\mu A/cm^2$)
Senaryo 7	Bodrum-zemin kat kolonları ile kirişleri (4 $\mu A/cm^2$)

Korozyon seviyesine göre donatı çapındaki azalma, donatı ve beton mekanik özeliklerindeki değişim ve beton-donatı ara yüzeyindeki aderans kaybı gözönüne alınmıştır. Korozyonlu kesitlerde aderans kaybı ve betondaki çatlama ve dökülmelerin betonda meydana getirdiği bozulmayı göz önüne almak için beton basınç dayanımı 1.5'e bölünerek azaltılmıştır (Berto vd., 2009). Korozyon sonucu mevcut donatı çapı Denklem 1'den hesaplanmıştır.

$$\Phi(t) = \Phi_0\text{-}2\ P_x = \Phi_0 - 2i_{corr}\ k\ (t\text{-}t_{in}) \quad (1)$$

Burada; $\Phi(t)$, t anında donatı çapını (mm), Φ_0 nominal donatı çapını (mm), i_{corr} korozyon hızını, t_{in} donatı yüzeyinde korozyonun başlama anından itibaren geçen süreyi (yıl), P_x saldırının ortalama işleme değerini (mm) göstermektedir. P_x işleme değeri donatı çapındaki kayıpla tanımlanmaktadır (Rodriguez ve Andrade, 2001, Bentur vd., 1997). Elektrokimyasal ölçümlerde ise P_x, Denklem 2 ile hesaplanmaktadır:

$$P_x = ki_{corr}\ t_p = ki_{corr}\ (t\text{-}t_{in}) \quad (2)$$

Denklem 2'de t_p parametresi korozyonun yayılma süresini yıl cinsinden vermektedir (Tuutti, 1982). P_x mm cinsinden, i_{corr} $\mu A/cm^2$ ve zaman da yıl cinsinden yazılır. k katsayısı ise korozyon hızını $\mu A/cm^2$'den, mm/yıl'a çevirmek için kullanılan bir çevirme katsayısıdır ve donatı çeliği için bu değer 0.0116 olarak alınabilir (Tuutti, 1982). Korozyonun işleme hızı (mm/yıl cinsinden) P_x'in 1 yıllık değeri olarak da belirtilebilir. Bu verilere göre hesaplanan korozyon sonrası kalan donatı çapları Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Korozyon sonrası çap değişimi

Senaryo	**Korozyon Sonrası Kalan Çap (mm)**
Referans	20
Senaryo 1	19.65
Senaryo 2	19.42
Senaryo 3	18.84
Senaryo 4	17.68
Senaryo 5	19.42
Senaryo 6	18.84
Senaryo 7	17.68

Çözümlemelerde göz önüne alınan diğer bir etki ise donatı mekanik özelliklerindeki değişimdir. Bunun için de ilk önce donatıda meydana gelen kütle kaybını (Δ_w) yüzde cinsinden hesaplamak gerekmektedir (Denklem 3).

$$\Delta_w = ((D_i^2 - D^2)/2) \times 100 \quad (3)$$

Denklem 3'de yer alan D_i nominal çap, D ise Denklem 1 ile hesaplanan korozyon sonrası kalan çaptır. Tablo 3' de Lee ve Cho'nun (2009) yaptığı deneysel çalışmaya göre çeliğin akma dayanımı, çekme dayanımı, uzama oranı ve elastik modülü korozyona bağlı olarak yeniden hesaplanabilmektedir. Tablo 5'te; çeliğin akma dayanımı (σ_y), çeliğin başlangıçtaki akma dayanımı (σ_{yi}), çeliğin çekme dayanımı (σ_u), çeliğin başlangıçtaki çekme dayanımı (σ_{ui}), elastik modül (E), başlangıçtaki elastik modül(E_i), çelikte uzama oranı(Δ), çeliğin başlangıçtaki uzama oranı (Δ_i) ile gösterilmiştir.

Tablo 5. Donatı mekanik özelliklerinin değişimi (Lee ve Cho, 2009)

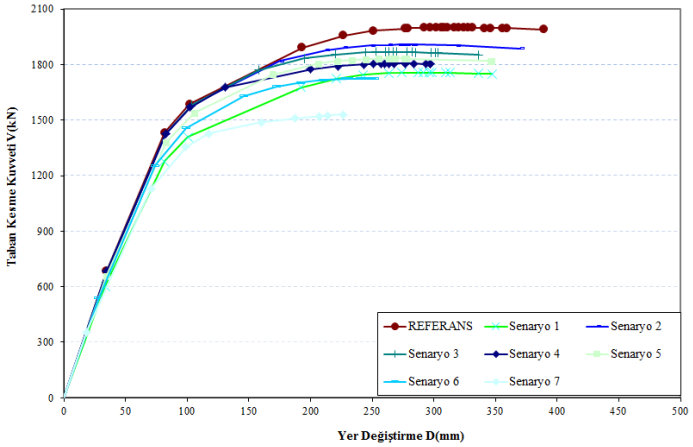
Mekanik	**Korozyon**	**Korozyon sonrası değer**
Akma Noktası	Üniform	$\sigma_y = (1 - 1.24(\Delta_w/100)) \cdot \sigma_{yi}$
	Oyuklanma	$\sigma_y = (1 - 1.98(\Delta_w/100)) \cdot \sigma_{yi}$
Çekme Dayanımı	Üniform	$\sigma_u = (1 - 1.07(\Delta_w/100)) \cdot \sigma_{ui}$
	Oyuklanma	$\sigma_u = (1 - 1.57(\Delta_w/100)) \cdot \sigma_{ui}$
Elastik Modül	Üniform	$E = (1 - 0.75(\Delta_w/100)) \cdot E_i$
	Oyuklanma	$E = (1 - 1.15(\Delta_w/100)) \cdot E_i$
Uzama oranı	Üniform	$\Delta = (1 - 1.95(\Delta_w/100)) \cdot \Delta_i$
	Oyuklanma	$\Delta = (1 - 2.59(\Delta_w/100)) \cdot \Delta_i$

Çalışmaya konu olan binanın ilk önce STA 4CAD programında statik çözümü yapıldıktan sonra itme analizi yapılabilmesi için bina SAP2000 programında yeniden modellenmiştir. Sistem ilk önce ölü yükler altında çözüldükten sonra ilave bir yük kombinasyonu daha oluşturularak, sisteme X ve Y doğrultusunda eşdeğer deprem yükleri eklenerek itme analizi yapılmıştır. Kolon ve kirişlerde plastik mafsalların elemanların ilk ve son %10'luk kısmında toplanmış olduğu varsayılmıştır. İtme analizi için; DBYBHY-2007'de verildiği şekilde çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri $(EI)_e$ hesaplanmıştır.

3. ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMA

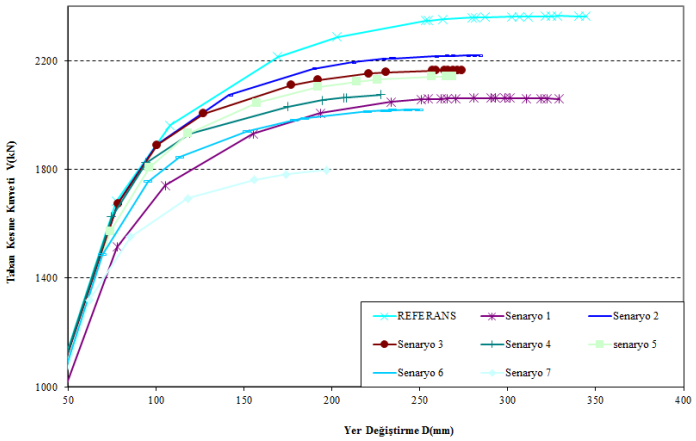
3.1. Taban Kesme Kuvvetleri Yönünden Karşılaştırma

Binanın X ve Y yönlerinde öngörülen tasarım deprem yükleri ve farklı korozyon senaryoları altında yapılan itme analizi sonucu elde edilen taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi eğrileri X yönü için Şekil 3'te ve Y yönü için Şekil 4'te toplu vaziyette gösterilmiştir.



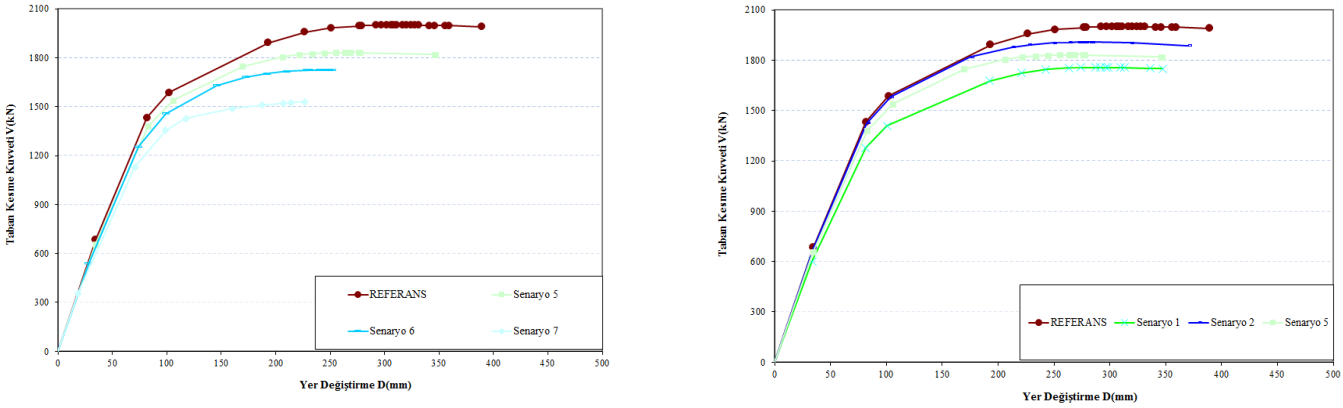
Şekil 3. Tüm senaryolara ait statik itme eğrileri(X yönü)

Buna göre en büyük taban kesme kuvveti 2000 kN ile referans senaryoda gözlenmektedir. En küçük taban kesme kuvveti ise %23.5 bir azalma (1530 kN) ile 7. Senaryoda (bodrum-zemin kat kolon ve kirişlerinde 4 $\mu A/cm^2$ hızında korozyon olan durum) gözlenmektedir. Yine aynı senaryoda referansa göre tepe yer değiştirmesindeki azalma da %42 gibi büyük bir değere ulaşmıştır. Şekil 4'de ise en büyük taban kesme kuvveti 2362 kN ile referans senaryoda ortaya çıkarken, en düşük taban kesme kuvveti ise 1798 kN ile senaryo 7'de gerçekleşmiştir. Senaryolar arasındaki fark sadece korozyon durumu olduğuna göre ortaya çıkan bu kuvvet-deformasyon özelliği değişiklikleri korozyonun davranışa olumsuz etkilerini yansıtmaktadır. Bu durum korozyona bağlı olarak malzeme özelliklerindeki düşüş ile bunun neden olduğu kesitlerin davranışındaki kötüleşmenin, binanın global yük-deformasyon kapasitesi üzerindeki etkisini göstermektedir. Malzeme kötüleştikçe taşıma gücünde taban kesme kuvveti cinsinden %23.5 düzeyinde büyük bir düşüş gerçekleşmiştir. Tepe yer değiştirmesi de aynı doğrultuda en küçük 7 nolu senaryoda görülmektedir. Kesitlerdeki kayıplar nedeniyle plastik mafsallarda dönme kapasiteleri azalmıştır. Referans senaryoda toplam 196 adet plastik mafsal oluşurken, 7 nolu senaryoda ise 152 adet mafsal oluşumu gözlenmiştir. 7 nolu senaryodaki plastik mafsalların büyük bir kısmı da kolonlarda meydana gelmiştir. Bu sebeple tepe yer değiştirmesi diğer senaryolara göre daha azdır. Bu durum binanın deprem davranışı bakımından istenmeyen bir durumdur. Bina deprem enerjisini ne kadar çok kiriş plastik mafsalı ile tüketirse, kiriş mekanizma durumuna o kadar yakın olur. Yani kat mekanizmasından uzaklaşır. Literatürde yapılan araştırmalar da korozyon sebebiyle sistemin yatay yük kapasitesinin azalarak, sistemin daha düşük yer değiştirmelerle MN, GV ve GÇ hasar sınırlarına ulaştığını doğrulamaktadır (İnci vd., 2011).



Şekil 4. Tüm senaryolara ait statik itme eğrileri(Y yönü)

Şekil 5'de bodrum, zemin kat kolon ve kirişlerinde farklı hızlarda korozyon olduğu durumdaki (a) ve korozyon hızının sabit (1 $\mu A/cm^2$) lokasyonunun farklı olduğu (b) itme eğrileri görülmektedir. Burada en büyük taban kesme kuvveti (referans hariç) senaryo 5'de, en küçük taban kesme kuvveti ise % 23.5 düşüş ile senaryo 7'de ortaya çıkmaktadır. Bu sonuç da korozyon hızının sistem üzerindeki etkisini açıkça göstermektedir. Hızın artması ile birlikte, donatı çapı daha fazla küçülmekte, donatı ile beton arasındaki aderans azalmakta, donatı ve beton mekanik özellikleri giderek kötüleşmektedir. Yapılan çözümlemelerde, korozyonun aynı elemanlarda görülmesine rağmen, bu sonucun ortaya çıkması, bahsi geçen üç etkinin göz önüne alınmasının bir sonucudur. Şekil 6.b'de taban kesme kuvvetlerini büyükten küçüğe doğru, referans senaryo, senaryo 2, senaryo 5 ve senaryo 1 olarak sıralanmaktadır. En düşük taban kesme kuvvetine sahip senaryo 1'de korozyon bütün elemanlarda mevcuttur. Bu durum gösteriyor ki korozyon ne kadar yaygın olursa, sistemin taşıma kapasitesi o kadar fazla etkilenmektedir.



(a) **(b)**

Şekil 5. Bodrum ve zemin kat kolon-kirişlerinde hızın(a),korozyon lokasyonunun (b) etkisi

3.2. Performans Noktaları Üzerinden Karşılaştırma

Senaryoların X doğrultusundaki performans noktasına ait değerleri SAP2000 (SAP2000 2009) programından okunarak, son adımlar için Tablo 6 oluşturulmuştur. Buna göre; en büyük taban kesme kuvveti 1839 kN ile referans senaryoda okunurken, en küçük taban kesme kuvveti ise %18 değerinde azalma ile senaryo 7'de meydana gelmiştir. En büyük tepe yer değiştirmesi korozyonun genel olduğu senaryo 1'de gerçekleşmiştir. En büyük spektral ivme 0,117 g ile referans senaryoda gözlenmiştir. Talep ve kapasite eğrisi en yüksek noktada birbirlerini kesmiştir. Dolayısıyla en iyi performans, korozyonun olmadığı bu senaryoda ortaya çıkmıştır. En düşük spektral ivme değeri, referans senaryoya göre %24 oranında azalma göstererek 7 nolu senaryoda gerçekleşmiştir. Ayrıca bu senaryoda taban kesme kuvveti düştüğü için itme eğrisi(kapasite eğrisi) sağa doğru kaymıştır ve talep eğrisini kesebilmesi için bina daha fazla tepe yer değiştirmesi yapmaya zorlanmıştır. Dolayısıyla en büyük spektral yerdeğiştirme 163 mm ile aynı senaryoda gerçekleşmiştir Bu durum korozyon nedeniyle aynı deprem etkisi altında binadaki hasarın artacağının bir göstergesidir. En büyük efektif periyot da 2.715 saniye ile 7 nolu senaryoda gözlenmektedir. Efektif periyotun artması salınımın arttığını göstermektedir. Salınımın artması da hasarın arttığına işaret etmektedir. Bu artışın sebebi ise korozyonun sistem üzerinde oluşturduğu olumsuz etkilerdir. Dolayısıyla hasar da en çok bu senaryoda ortaya çıkmaktadır. Ayrıca performans noktasını belirleyen kapasite eğrisi bu düşüşlerle birlikte talep eğrisini en düşük noktadan kesmiştir. Yani performansı en kötü olan 7. Senaryodur.

Tablo 6. X deprem doğrultusuna ait performans noktası değerleri

KSY İLE ELDE EDİLMİŞ PERFORMANS NOKTASINA AİT DEĞERLER					
Senaryo No	**Taban kesme** **V** (kN)	**Tepe yerdeğiştirmesi** **D** (mm)	**Spektral ivme** S_a (g)	**Spektral yerdeğiştirme** S_d (mm)	**Efektif periyot** T_{eff} (s)
REFERANS	1839	177.2	0.117	151.323	2.261
SENARYO 1	1663.11	187.4	0.106	159.936	2.455
SENARYO 2	1817.05	175	0.115	150	2.292
SENARYO 3	1796.47	173	0.113	149	2.303
SENARYO4	1736.97	173	0.108	150	2.357
SENARYO 5	1760.49	178	0.11	154	2.368
SENARYO 6	1687.69	177	0.104	154	2.448
SENARYO 7	1506.85	185	0.089	163	2.715

Tablo 7'de ise Y doğrultusuna ait değerler görülmektedir. Bu doğrultuda da en küçük taban kesme kuvveti ve spektral ivme, en büyük efektif periyot ve spektral yerdeğiştirme senaryo 7'de görülmektedir. Performans noktasına ulaşmak için spektral ivme ve yerdeğiştirme eğrileri kesiştirildiğinde en düşük kesişim bu senaryoda gerçekleşmiştir. Yapı referans duruma göre daha düşük spektral ivme etkisinde daha büyük spektral yerdeğiştirme yapmıştır. Buna paralel olarak efektif periyot artmıştır. Bu demek oluyor ki, sistemde plastik mafsallar daha çok zorlanacaktır. Oysa plastik mafsallardaki kapasite artmamış, malzeme özellikleri ve aderans çözülmesi nedeniyle tam tersine düşmüştür. Bu da daha kötü bir performans demektir.

Tablo 7. Y deprem doğrultusuna ait performans noktası değerleri

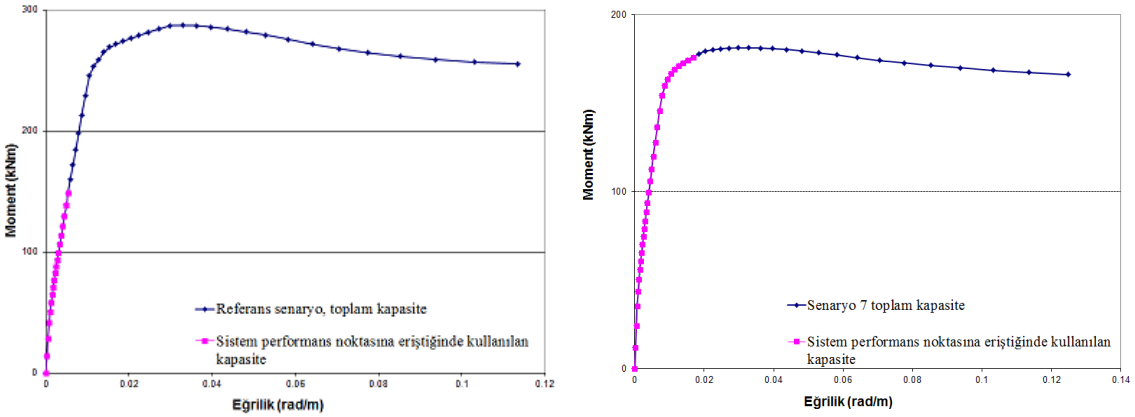
KSY İLE ELDE EDİLMİŞ PERFORMANS NOKTASINA AİT DEĞERLER					
Senaryo No	**Taban kesme kuvveti** **V** (kN)	**Tepe yerdeğiştirmesi** **D** (mm)	**Spektral ivme** S_a (g)	**Spektral yerdeğiştirme** S_d (mm)	**Efektif periyot** T_{eff} (s)
REFERANS	2105.66	142.9	0.138	135	1.967
SENARYO 1	1911.89	150.2	0.126	142	2.128
SENARYO 2	2065.24	140	0.135	134	1.999
SENARYO 3	2031	139	0.132	134	2.015
SENARYO 4	1963.18	137	0.126	133	2.056
SENARYO 5	1999.72	142	0.129	136	2.056
SENARYO 6	1914.83	142	0.122	137	2.123
SENARYO 7	1745.86	147	0.107	143	2.315

ATC-40'a göre hesaplanan performans noktasına ait önemli parametreler X doğrultusu için seçilen senaryolar ve S101 kolonu alt ucu için hesaplanarak Tablo 8 ve Şekil 6 oluşturulmuştur. Buna göre en büyük momente 287 kNm ile referans senaryoda ulaşılırken, en düşük momente ise 180 kNm ile 7 nolu senaryoda ulaşılmıştır. En büyük eğrilik ise 0.124 rad/m değeri ile yine 7 nolu senaryoda gerçekleşmiştir. Bu da gösteriyor ki korozyon hızı arttıkça kesitin moment kapasitesi düşmekte ve kesitte dönme miktarı artmaktadır. Aynı senaryoda kesitte akma meydana geldiği de dikkate alınırsa bu senaryoda hasar IO-LS seviyesine kadar ilerlemiştir. Oysa diğer kesitlerde donatı akmaya erişmeyip hasar da meydana gelmemiştir. S106 kolonunda X deprem doğrultularında

sistem performans noktasına ulaştığında kullanılan kapasiteler incelendiğinde kesitte 0.024 rad/m değerinde eğrilik oluşurken, kesit hasar durumu belirgin hasar durumuna kadar ilerlemiştir.

Tablo 8. ATC 40'a göre S101 ve S106 kolonlarındaki kesit performans noktasına ait parametreler

Eleman	SENARYO	M (kNm)	P (kN)	DURUMU
S101	REFERANS	148,79	235,54	A-IO
	1	142,79	251,47	A-IO
	7	175,89	252,57	IO-LS
S106	REFERANS	399,31	314,44	A-IO
	1	385,74	346,54	A-IO
	7	343,93	392,98	IO-LS



(a) (b)

Şekil 6. S101 kolonu alt ucundaki plastik mafsal kesitinde mevcut ve kullanılan kapasite eğrileri; referans senaryo (a), senaryo 7 (b)

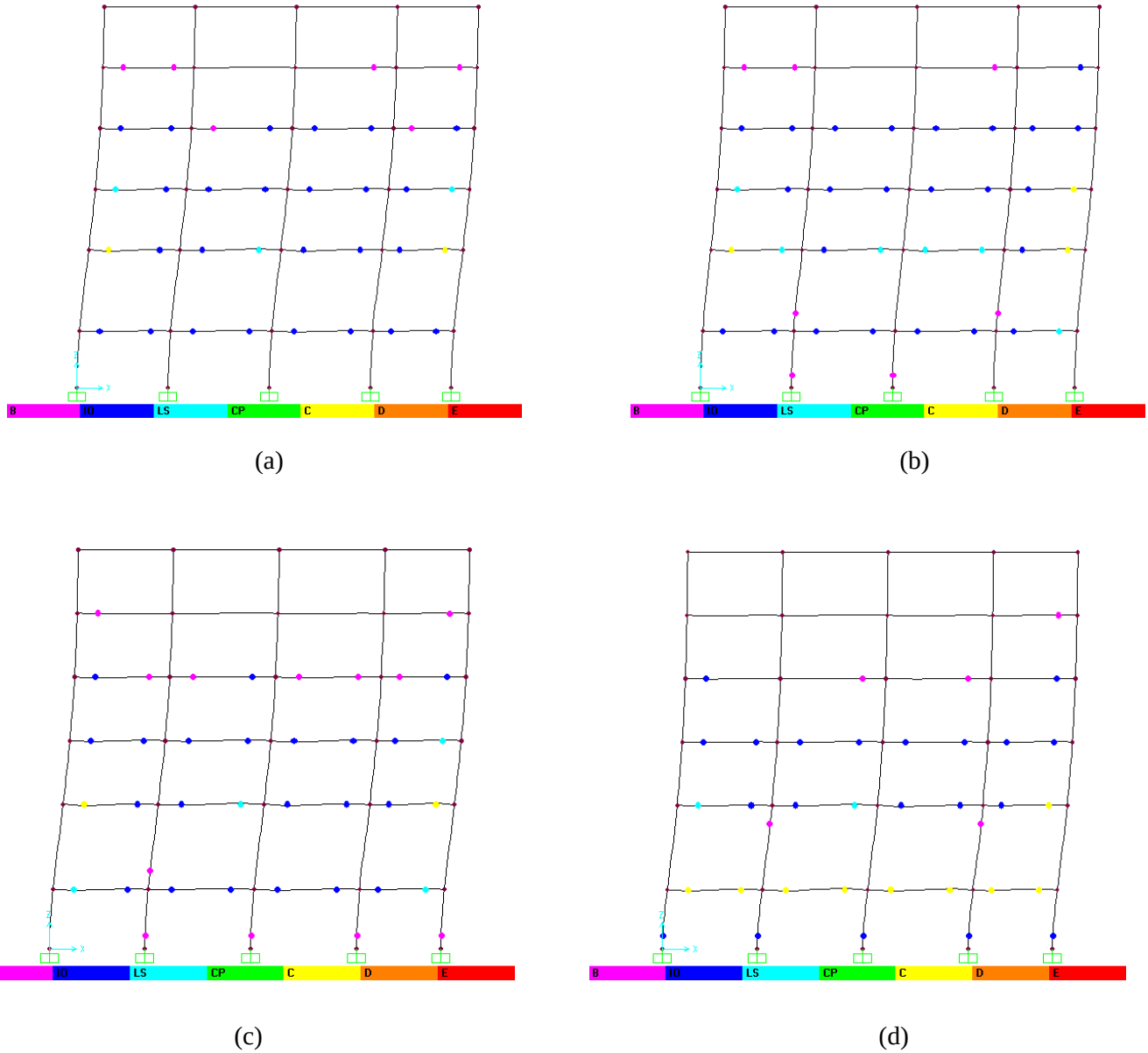
KSY ile elde edilen performans noktasının, X deprem doğrultusuna ait 4-4 aksında meydana gelen mafsal oluşum fotoğrafları, Şekil 7'de, yine seçilen senaryolarda(1 ve 7 nolu senaryolar) oluşan mafsal adetleri ve seviyeleri de Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. 4-4 aksı için, X yönünde performans noktasındaki bazı senaryolara ait çeşitli seviyeler için plastik mafsal adet ve durumları

Senaryo No	Mafsal Adetleri							
Mafsal Seviyeleri	B	IO	LS	CP	C	D	E	Toplam
Referans	6	25	3	-	2	-	-	36
1	7	24	6	-	3	-	-	40
7	5	20	2	-	9	-	-	36

Korozyonun en fazla yıpratıcı olduğu 7 nolu senaryodaki mafsal oluşumu izlendiğinde, 1.kat kirişlerinin göçme seviyesine kadar ilerlediği görülmektedir. Üst kattaki kirişlerin ise elastik bölgede kalarak, kirişlerdeki mafsal seviyesi ilerleyemeden mafsalların kolonlara atladığı görülmektedir. Bunun sebebi zemin kat kirişlerinin korozyon sebebiyle zayıflayarak hemen göçme seviyesine ilerlemiştir. Sistem fazla yerdeğiştirme yaptığı için sistemdeki hasar da artmıştır. Korozyonun hiçbir etkisinin olmadığı referans senaryoda hemen hemen bütün kirişlerde düşük seviyede mafsal oluşmuştur. Kolonlarda henüz mafsal oluşmadan sistem performans noktasına ulaşmıştır. Korozyonun yaygın olduğu 1 nolu senaryo ile 7 nolu senaryoda kiriş mafsal seviyeleri birbirinden farklıdır. Şöyle ki; 1 nolu senaryoda (LS) seviyesinde 6, (C) seviyesinde 3 adet plastik mafsal oluşmuştur. 7 nolu

senaryoda oluşan hasar, göçme (C) seviyesine kadar ilerlemiştir. Bu sonuç gösteriyor ki, korozyonun yaygın olması performans noktasını düşürmektedir. Ayrıca korozyon hızlarına bakıcak olursak da senaryo 5 ile senaryo 7 nin mafsal şekilleri göstermektedir ki, hız arttıkça kesitlerdeki akma durumu yani mafsal durumu ilerlemektedir.



(a) (b)

(c) (d)

Şekil 7. 4-4 aksı için, X yönünde performans noktasında mafsallaşma durumları; referans senaryo (a), senaryo 1 (b), senaryo 5 (c), senaryo 7 (d)

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada donatı korozyonunun betonarme binalarda yapısal davranışa etkileri örnek bir bina üzerinden çeşitli korozyon senaryoları aracılığıyla incelenmiştir. Buna göre; betonarme binaların deprem etkileri altındaki davranışı binanın maruz kaldığı korozyon durumuna göre değişkenlik göstermektedir. Bu korozyon durumu da yıpratıcı çevresel etkilerin yönü, etkime şekli, süresi gibi pek çok kritere bağlıdır. Bu nedenlerle donatı korozyonunun türü, hızı, yeri, yaygınlığı, etkime süresi, etkilediği elemanın cinsi gibi parametreler davranış üzerinde etkin olmaktadır. Bu etkinlik kesit düzeyinde, eleman ve taşıyıcı sistem bütününde ayrı ayrı kendini göstermektedir. Bu parametreler arasında en etkili olanı korozyonun yayılma hızıdır. Ayrıca, donatı korozyonunun aderans üzerindeki etkisi nedeniyle betonarme elemanların davranışına etkisi çok büyüktür. Eleman veya sistem davranışı sünek iken gevrek hale gelebilmekte, hatta ileri korozyon seviyeleri için sistemin yıkılma modu değişebilmektedir. Korozyonun bina üzerindeki durumuna göre binada yanal yerdeğiştirme ve yatay kuvvet taşıma gücünde önemli değişiklikler olabilmektedir. Korozyonun oluşum yeri de binanın davranışında çok etkilidir. Binanın alt katlarında meydana gelen korozyon durumunda, en olumsuz davranış ortaya çıkmaktadır. Hızların aynı olduğu 4 ve 7 nolu senaryolar karşılaştırıldığında 7nolu senaryoda, referansa ve senaryo 4'e göre sırasıyla; taban kesme kuvveti yönünden %23 ve %14,8 azalma; tepe yerdeğiştirmesi yönünden %41,9 ve %23,9 oranında azalma gözlenmiştir. Plastik mafsal kesitlerinde beklenen plastik dönme değerleri korozyondan olumsuz etkilenmektedir. Korozyon, kesitlerde plastik moment kapasitesinin azalmasına da yol açmaktadır. Korozyon hızı ve oluşum yeri kolon kesitlerinde oluşacak hasarın başlıca göstergelerinden biridir. 7 nolu senaryoda; kesitte önce plastik mafsal oluşmuş ve akabinde plastik dönme meydana gelmiştir. Böylece kesitte belirgin hasar oluşmuştur. Korozyon etkisi, sistemin güçlü kolon-zayıf kiriş durumunu bozabilmektedir. Korozyonun etkisini öne çıkaran ana faktörler; donatı ile beton arasındaki aderansın kaybolması, donatıda enkesit azalması ve malzeme mekanik özelliklerinin bozulmasıdır.

Mevcut yapıların onarım-güçlendirme çalışmaları sırasında donatı korozyonu olup olmadığının araştırılması ve korozyona sebep olacak herhangi bir çevresel etki olması durumunda, korozyon düzeyi ve yaygınlığının yapılacak hesaplarda göz önüne alınması önerilmektedir. Yeni yapılacak yapıların da inşa edileceği bölge korozyon gelişimine müsait bir yerde ise ve bina deprem bölgesinde yer alıyorsa korozyonun zararlı etkileri projelendirme aşamasında göz önünde bulundurulmalıdır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma yazarların Bülent Ecevit Üniversitesinde yaptıkları 2010-45-06-01 numaralı BAP projesine dayanmaktadır. Yazarlar, sağlanan desteklerden ötürü Bülent Ecevit Üniversitesi Rektörlüğü'ne teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

Bentur A, Diamond S and Berke N S (1997) Steel Corrosion In Concrete: Fundamentals And Civil Engineering Practice. E&FN Spon, London, UK, 201 pp.

CSI SAP 2000 V-14 (2009) Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual Computer and Structures Inc., Berkeley, California.

DBYBHY (2007) Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, 159 s.

İnci P, Göksu Ç ve İlki A (2011) Donatı korozyonunun betonarme çerçevelerin deprem yükleri altındaki davranışına etkisi. 7.Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, 8 s.

Lee H S and Cho Y S (2009) Evaluation of the mechanical properties of steel reinforcement embedded in concrete specimen as a function of the degree of reinforcement corrosion. *Springer Science*, 157: pp. 81–88.

Luisa Berto A, Renato Vitaliani A, Anna Saetta B and Paola Simioni B (2009) Seismic assessment of existing RC structures affected by degradation phenomena. *Structural Safety*, 31: pp. 284–297.

Rodriguez J and Andrade C (2001) Contecvet - a validated users manual for assessing the residual service life of concrete structures. *GEOCISA*, Madrid, Spain.

STA4-CAD V13.1 (2009) Çok Katlı Betonarme Yapıların Analiz ve Tasarımı. STA Bilgisayar Mühendislik ve Müşavirlik Ltd. Şti, İstanbul.

Tuutti K (1982) Corrosion of steel in concrete. Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1: 17 pp.