BETONARME BİNALARDA SARGI DONATISI ETKİSİNİN YAYILI PLASTİK MAFSAL MODELİYLE İNCELENMESİ

B. Yön[1] ve Y. Calayır[2]

[1] *Araştırma Görevlisi, İnşaat Müh. Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ*
[2] *Profesör, İnşaat Müh. Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ*
Email: burakyon@firat.edu.tr

ÖZET:

Bu çalışmada, betonarme binalarda sargı donatısının yapısal hasara etkisi yayılı plastik mafsal modeli kullanılarak incelenmiştir. Sayısal uygulama için birinci deprem bölgesinde yer alan, Z3 zemin sınıfına sahip iş yeri tipli, 3 açıklıklı, 5 katlı betonarme bir çerçeve seçilmiştir. Söz konusu çerçevenin doğrusal olmayan analizleri, yapısal elemanlarda sargı donatısı aralığının Türk Deprem Yönetmeliğine (TDY–2007) göre uygun seçilip seçilmemesi durumları için yapılmıştır. Analizler için 3 tane deprem ivme kaydı seçilmiş ve bu ivme kayıtları (TDY–2007)'de verilen tasarım spektrumuna göre ölçeklenerek kullanılmıştır. Seçilen yapının yapısal elemanlarındaki hasarlar; kabuk beton, çekirdek beton ve donatıda ayrı ayrı bulunarak yönetmelikte verilen hasar sınırlarıyla karşılaştırılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Sargı donatısı etkisi, yayılı plastik mafsal, yapısal hasarlar.

1. GİRİŞ

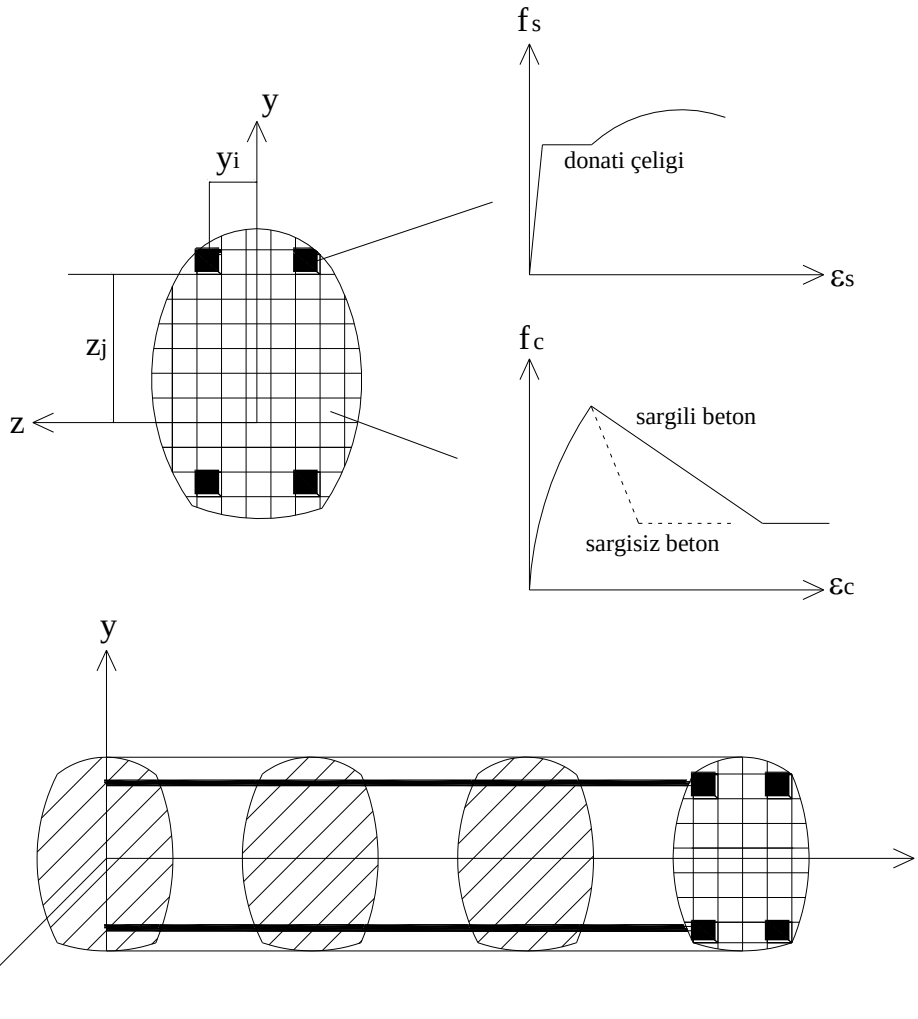
Mevcut deprem yönetmeliklerinde yer alan lineer statik yöntemler, uygulama mühendislerince binaların analiz ve tasarım amaçları için sıkça kullanılmaktadır. Bununla birlikte, deprem yükü azaltma katsayısı kullanılarak azaltılmış bir deprem yüküne göre tasarlanmış binaların, tasarım depremine maruz kaldıklarında elastik ötesi bir davranış göstermeleri beklenmektedir. Şiddetli bir deprem altında göçmeyi önlemek için bir binanın yeterli dayanım ve sünekliğe sahip olması istenir. Mevcut deprem yönetmeliklerine göre tasarlanmış bir binanın güvenliği elastik olmayan uygun bir analiz yöntemiyle de belirlenebilir. Bu yöntemlerle binaların doğrusal olmayan modellemesi yapılırken, genellikle toplanmış ve yayılı plastik mafsal modelleri kullanılmaktadır.

Deprem yönetmeliklerinde yapıların doğrusal olmayan davranışlarının belirlenmesinde genellikle kolaylığı ve çabuk sonuç vermesi nedeniyle toplanmış plastik mafsal modeli yer almaktadır. Teorik olarak bu mafsal tipi yapısal analizlerde kritik noktalar olan kolon-kiriş uçlarına ve orta noktalarına atanır. Yapısal elemanlar dış yükler altında zorlandıklarında, kritik noktalarda moment taşıma kapasitelerine ulaşan kesitlerin tümüyle mafsallaştığı ve bu mafsallaşan kesitler arasında kalan bölgenin elastik davranış gösterdiği kabul edilir.

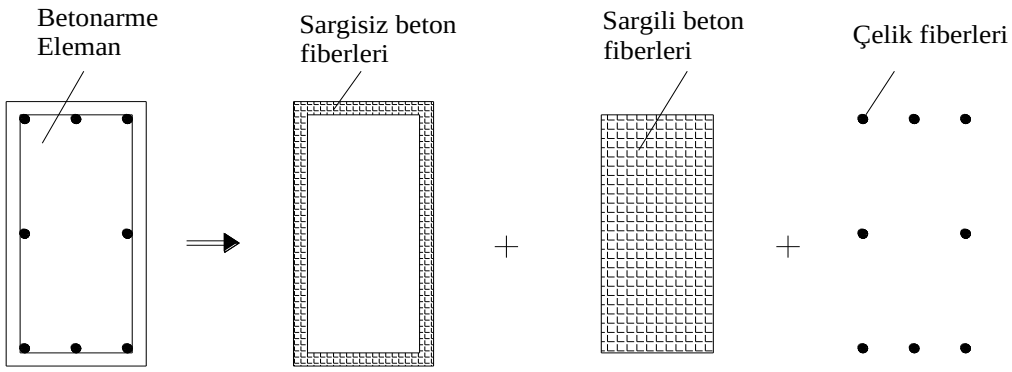
Yayılı plastik mafsal modelinde ise, yapısal eleman kesitleri çekirdek betonun, kabuk betonun ve donatının izlendiği fiber elemanlara bölünür. Bu model, eleman kesiti içinde ve eleman uzunluğu boyunca yayılı doğrusal olmayan davranışın tahmin edilmesine imkân vermektedir. Dolayısıyla, yapısal eleman kesitlerindeki davranışın daha hassas bir biçimde belirlenmesi sağlanmaktadır.

Betonarme elemanların doğrusal olmayan davranışı hem betonarme hem de çelik yapılarda kullanılabilen yayılı plastik mafsal modeliyle daha doğru bir şekilde belirlenebilmektedir (Taucer,1991; Mwafy ve Elnashai, 2001). Bu yaklaşımda yapısal elemanlar; çekirdek beton, kabuk beton ve donatı için olmak üzere üç farklı boyuna fiber

eleman kullanılarak modellenir. Çekirdek betonda sargılı beton davranış modeli kullanılırken, kabuk betonda sargısız beton davranış modeli dikkate alınmaktadır. Donatı için tipik donatı çeliğinin gerilme-şekil değiştirme modeli kullanılabilmektedir. Kesitin gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları doğrudan değil de, fiberlerin yük altındaki tepkilerinin integrasyonu kullanılarak belirlenmektedir. Fiberlerin yük altındaki tepkileri ise, her bir fiber malzemenin tek eksenli gerilme- şekildeğiştirme ilişkisine bağlı olarak elde edilir. Şekil 1'de gelişigüzel bir betonarme elemanın fiber elemanlara bölünmesi ve farklı fiber elemanların davranış modelleri gösterilmiştir. Tipik bir betonarme elemana ait enkesitin; kabuk beton, çekirdek beton ve donatı fiber elemanlara bölünmüş halleri ayrı ayrı olarak Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 1. Kontrol enkesitlerinin dağılımı ve enkesitlerin fiberlere bölünmesi (Taucer 1991)



Şekil 2. Betonarme bir eleman enkesitindeki tipik bir yayılı plastik mafsal modeli

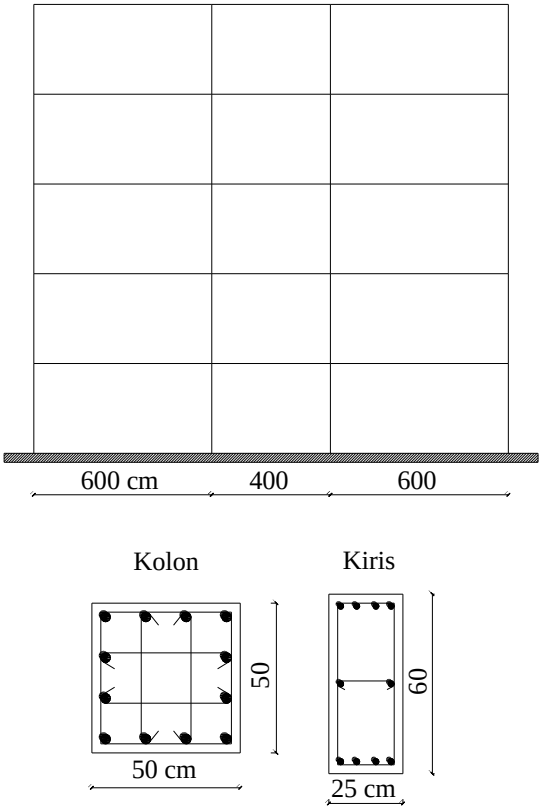
Yayılı plastik mafsal modeli araştırmacılar tarafından yapısal sistemlerin çözümlerinde yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Dides ve Llera, 2005 yılında yaptıkları bir çalışmada binaların dinamik analizlerinde yayılı plastik mafsal elemanını da içeren plastik mafsal modellerinin sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Sarno ve Manfredi, 2009 yılında yaptıkları çalışmada düşey yüke göre tasarlanmış eski bir betonarme binanın, çelik çapraz elemanlarla güçlendirilmesi sonrasında söz konusu binanın sismik değerlendirmesini yapmışlardır. Bu değerlendirmede yapısal elemanların doğrusal olmayan davranışları yayılı plastik mafsallarla modellenmiştir. Kwon ve Kim, 2010 yılında yaptıkları çalışmada 2007 Peru depreminde hasar gören iki katlı bir binanın hasar nedenlerini hem yerinde hem de nümerik modelini oluşturarak incelemişlerdir. Sayısal modelde elemanların doğrusal olmayan davranışları yayılı plastik mafsal modeliyle temsil edilmiştir. Mehanny ve El Howari, 2010 yılında Mısır deprem yönetmeliğini Eurocode–8 ile karşılaştırdıkları çalışmalarında, yapıların doğrusal olmayan analizi için yayılı plastik mafsal modelini kullanmışlardır. Mwafy, 2011 yılında yaptığı çalışmada yüksek betonarme binaların tasarım davranış faktörlerini doğrulamak için kat sayıları 20'den 60'a kadar değişen 5 tane referans yapıyı mevcut yönetmeliklere göre tasarlamıştır. Yapıların analizinde yayılı plastik mafsal modeli kullanılmıştır. Duan ve Hueste, 2012 yılında yaptıkları çalışmada Çin deprem yönetmeliğine göre tasarlanan orta yükseklikteki düzlem betonarme bir çerçevenin deprem performansını incelemişlerdir. Çalışmalarında yayılı plastik mafsal eleman modelini içeren bir paket program kullanmışlardır. Yön ve Calayır, 2013 yılında yaptıkları çalışmada farklı biçimdeki yanal yüklere maruz düzlem bir betonarme çerçevenin statik itme analizini yapmışlardır. Çalışmalarında farklı yanal yük biçimleri ve plastik mafsal modelleri için yapının kapasite eğrilerini ve göreli kat ötelemelerini birbirleriyle karşılaştırmışlardır. Bento ve Bhatt, 2013 yılında yaptıkları çalışmada seçtikleri mevcut yapı modellerinin doğrusal olmayan statik ve dinamik analizlerini yapmışlardır. Analizlerde toplanmış plastik ve yayılı plastik mafsal modellerini dikkate almışlardır.

Bu çalışmada, betonarme yapılarda sargı donatısının yapısal hasara etkisi yayılı plastik mafsal modeli kullanılarak incelenmiştir. Seçilen betonarme çerçevenin doğrusal olmayan dinamik analizleri için 1992 Erzincan depremi Doğu-batı, 1999 Kocaeli depremi Doğu-batı, 2003 Bingöl depremi Kuzey-güney ivme bileşenleri TDY-2007'de verilen tasarım spektrumuna göre ölçeklendirilerek kullanılmıştır. Analizler sonucunda seçilen yapıda oluşan hasarlar, sargı donatısının TDY–2007'ye uygun olup olmaması durumlarına göre değerlendirilmiştir.

2. SAYISAL ÇALIŞMA

Sargı donatısı aralığının betonarme yapıların davranışlarına olan etkisini incelemek için Şekil 3'de yapısal elemanlarının enkesitleri ile birlikte verilen 5 katlı 3 açıklıklı betonarme çerçeve seçilmiştir. Bu yapının sahip olduğu özellikler Tablo 1'de sunulmuştur. Yapının kolon ve kirişlerinde minimum boyuna donatı şartı dikkate

alınmıştır. Söz konusu yapının analizleri malzeme ve geometri bakımından doğrusal olmayan davranışı hesaba katan ve yayılı plastik mafsal eleman modelini kullanabilen Seismostruct yapısal analiz programıyla yapılmıştır.

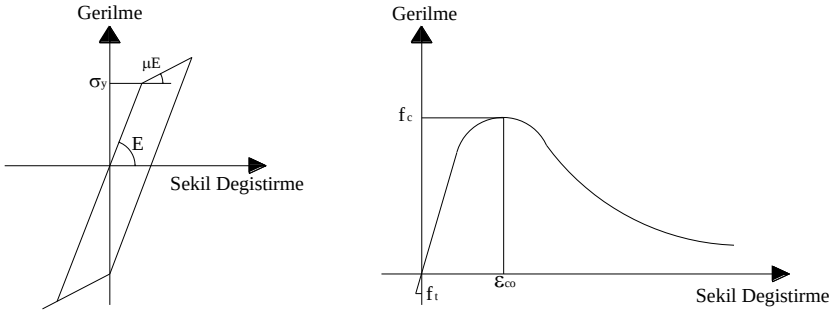


Şekil 3. Seçilen betonarme çerçeve ve eleman enkesitleri

Tablo 1. Yapı sistemine ait özellikler

		Yapı Modeli
Kat Sayısı		5
Kat Yüksekliği (m)		3
Beton Sınıfı		C20
Çelik Sınıfı		S420
Deprem Bölgesi / Zemin Sınıfı		Birinci derece / Z3
Kolon Sarılma Bölgesi Uzunluğu (cm)		50
Kolon Boyuna Donatısı		12Ø16
Kiriş Sarılma Bölgesi Uzunluğu (cm)		120
Kiriş Boyuna Donatısı	Üst	4Ø12
	Alt	4Ø12
	Gövde	2Ø12

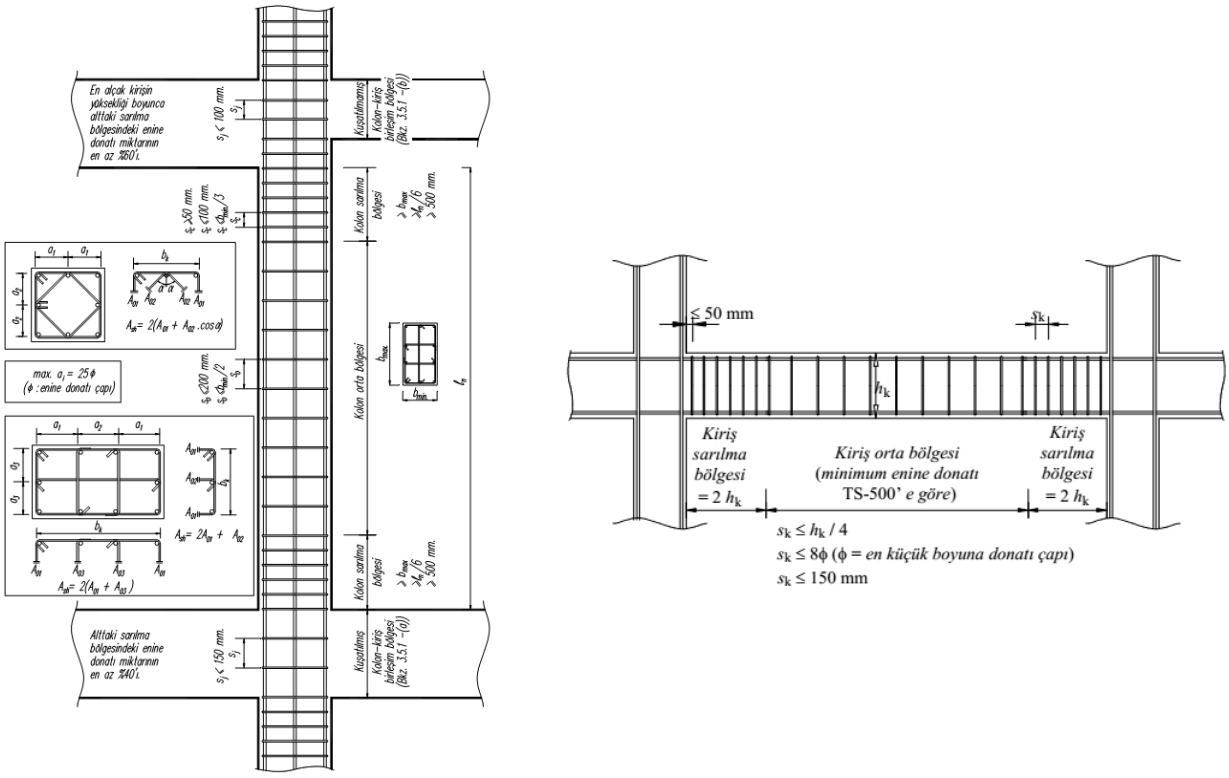
Yapı sisteminin doğrusal olmayan analizlerinde kullanılan çelik ve betona ait davranış modelleri Şekil 4'de gösterilmektedir. Yapı çeliği için kinematik şekil değiştirme pekleşmesinin dikkate alındığı elasto-plastik malzeme modeli seçilirken, beton malzemesi için tek eksenli sargılı beton modeli gözönüne alınmıştır. Yapının kolon ve kiriş elemanlarındaki sargı etkisi Mander beton modeli ile hesaba katılmıştır.



(Çelik) (Beton)

Şekil 4. Malzeme davranış modelleri

Şekil 5'de TDY-2007'de kolon ve kiriş için tanımlanan uygun sarılma aralıkları gösterilmiştir. Seçilen yapı modelinin eleman boyutları, elemanların sargı donatısı aralıkları ve bu değerlere göre elde edilen sargılama katsayıları Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 5. TDY-2007'de kolon ve kiriş için verilen uygun sarılma aralıkları

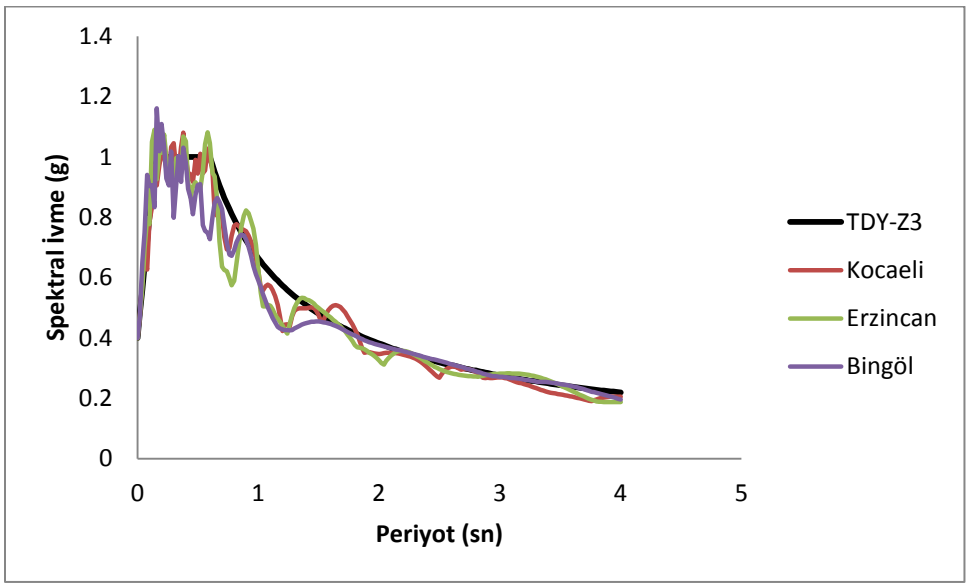
Tablo 2. Yapısal elemanlara ait boyutlar, sargılama aralığı ve sargılama katsayıları

	Kolon Uç Bölgesi		Kolon Orta Bölgesi		Kiriş Uç Bölgesi		Kiriş Orta Bölgesi	
	Uygun Sargı	Uygun Olmayan Sargı	Uygun Sargı	Uygun Olmayan Sargı	Uygun Sargı	Uygun Olmayan Sargı	Uygun Sargı	Uygun Olmayan Sargı
Eleman Boyutları (cm)	50/50				25/60			
Sarılma Aralığı (cm)	10	20	15	25	10	25	20	30
Sargılama Katsayıları	1.3567	1.1508	1.2196	1.1046	1.1611	1.0257	1.0497	1.0120

Doğrusal olmayan dinamik analizler için Tablo 3'de özellikleri verilen Erzincan, Bingöl ve Kocaeli deprem kayıtları seçilmiştir. Söz konusu kayıtlar SeismoArtif programı kullanılarak TDY-2007'de verilen tasarım spektrumuna göre birinci derece deprem bölgesi ve Z3 zemin sınıfı için ölçeklendirilerek kullanılmıştır. Şekil 6'de yönetmelikte verilen tasarım spektrumu ve ölçeklendirilen deprem kayıtlarına ait tepki spektrumları gösterilmektedir.

Tablo 3. Seçilen deprem kayıtları ve özellikleri

Depremler	İstasyon	Tarih	Doğrultu	Büyüklük	PGA (g)	Süre (sn)
Erzincan	Erzincan	13.03.1992	Doğu-Batı	6.9	0.515	21.3
Kocaeli	Sakarya	17.08.1999	Doğu-Batı	7.4	0.376	40.0
Bingöl	Bingöl	01.05.2003	Kuzey-Güney	6.1	0.545	30.00



Şekil 6. Tasarım spektrumuna göre ölçeklendirilmiş deprem ivme kayıtlarının tepki spektrumları

Yapı sisteminin değerlendirilmesinde kullanılan performans kriterleri, diğer bir deyişle plastik şekildeğiştirmelerin meydana geldiği betonarme taşıyıcı sistem elemanlarındaki kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekildeğiştirme üst sınırları çekirdek beton, kabuk beton ve donatı çeliği için Tablo 4'de verilmiştir. Bununla birlikte yapıların doğrusal olmayan dinamik analizleri sonucunda yapısal elemanlarda oluşan hasarlar için kullanılan renk skalası Tablo 5'de gösterilmiştir.

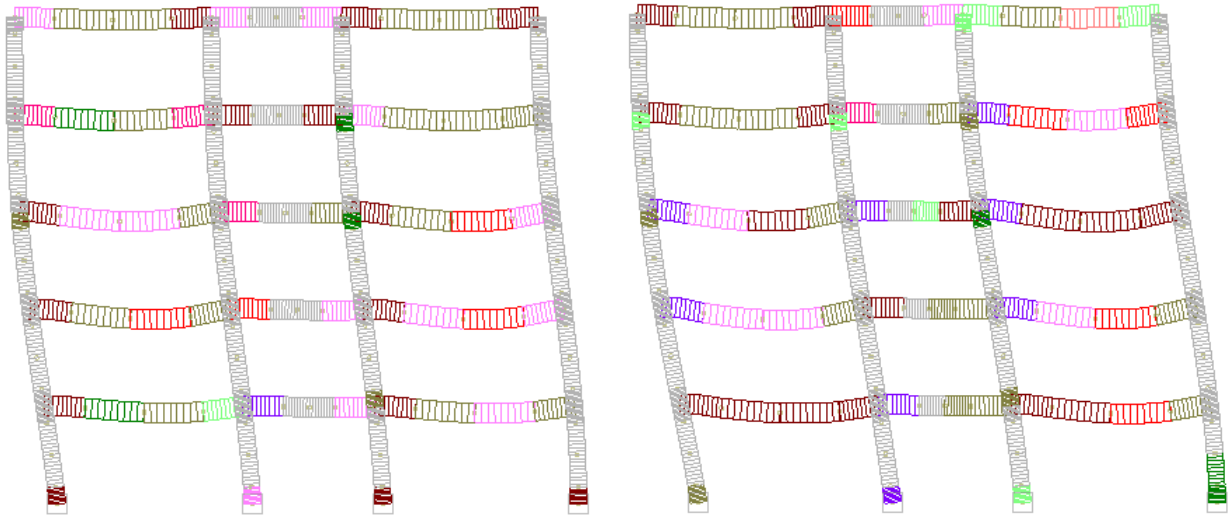
Tablo 4. Yapısal elemanların hasarlarının belirlenmesinde kullanılan performans kriterleri (TDY–2007; İlki ve Celep,2011)

Hasar Sınırı	Çekirdek Beton Üst Sınır Değerleri	Kabuk Beton Üst Sınır Değerleri	Donatı Çeliği Üst Sınır Değerleri
Minimum Hasar Sınırı	$(\varepsilon_{cu})_{MN}$=0.0035	0.0035	$(\varepsilon_{s})_{MN}$=0.010
Güvenlik Sınırı	$(\varepsilon_{cg})_{GV} = 0.0035 + 0.01\left(\frac{\rho_s}{\rho_{sm}}\right) \leq 0.0135$	0.0035	$(\varepsilon_{s})_{GV}$=0.040
Göçme Sınırı	$(\varepsilon_{cg})_{GC} = 0.004 + 0.014\left(\frac{\rho_s}{\rho_{sm}}\right) \leq 0.018$	0.0040	$(\varepsilon_{s})_{GC}$=0.060

Tablo 5. Yapısal hasarlar için kullanılan renk skalası

Hasar Sınırı	Çekirdek Beton	Kabuk Beton	Donatı Çeliği
Minimum Hasar Sınırı			
Güvenlik Sınırı			
Göçme Sınırı			

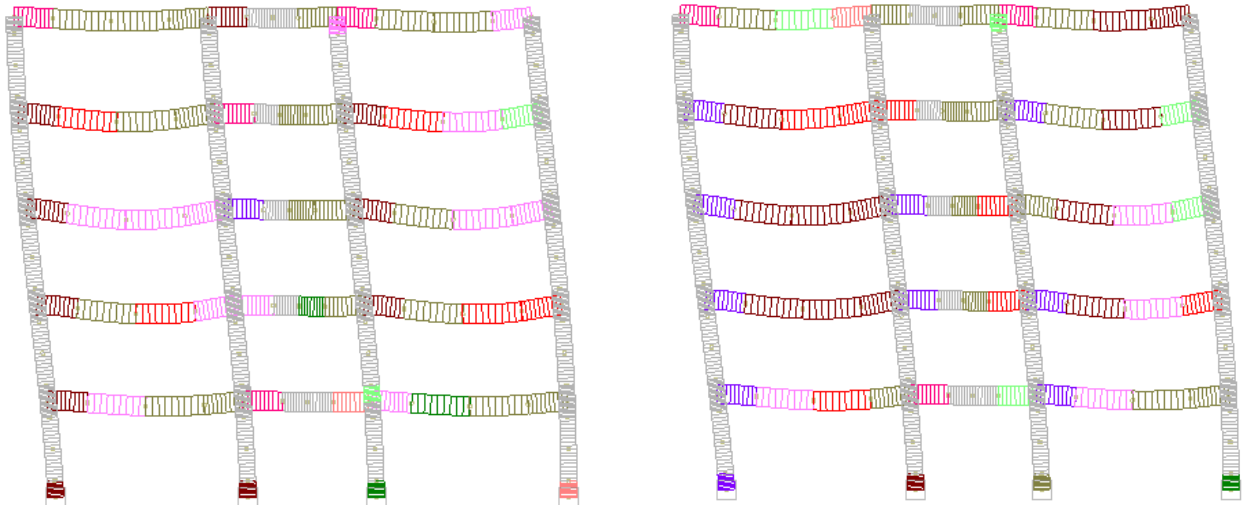
Şekil 7-9'da yapı sisteminin ölçeklenen kayıtlara göre yapılan doğrusal olmayan dinamik analizlerinden elde edilen hasar durumları verilmiştir. Şekil 7'de sargı donatısının TDY-2007'ye uygun düzenlendiği ve düzenlenmediği durumlar için ölçeklendirilmiş Bingöl Depremi etkisiyle yapı sisteminde 9.5 s anında meydana gelen hasarlar verilmiştir. Donatı çeliği göçme sınırı baz alınarak incelendiğinde uygun sargı donatısının bulunduğu yapı sisteminde sadece 1 kirişin bir ucunda donatı göçme sınırına ulaşılırken, uygun sargı donatısının bulunmadığı sistemde 7 ayrı kirişin birer ucunda donatı göçme sınırına ulaşmıştır. Uygun sargı donatısına sahip yapıda kolon uçlarında bu durum gözlenmezken, sargı donatısının uygun olmadığı yapı sisteminde 1 kolonun bir ucunda donatı göçme sınırına ulaşmıştır.



a) Uygun sargı donatılı b) Uygun olmayan sargı donatılı

Şekil 7. Sargı donatısının TDY-2007'ye uygun düzenlendiği ve düzenlenmediği durumlar için ölçeklendirilmiş Bingöl Depremi etkisiyle yapı sisteminde 9.5 s anında meydana gelen hasarlar

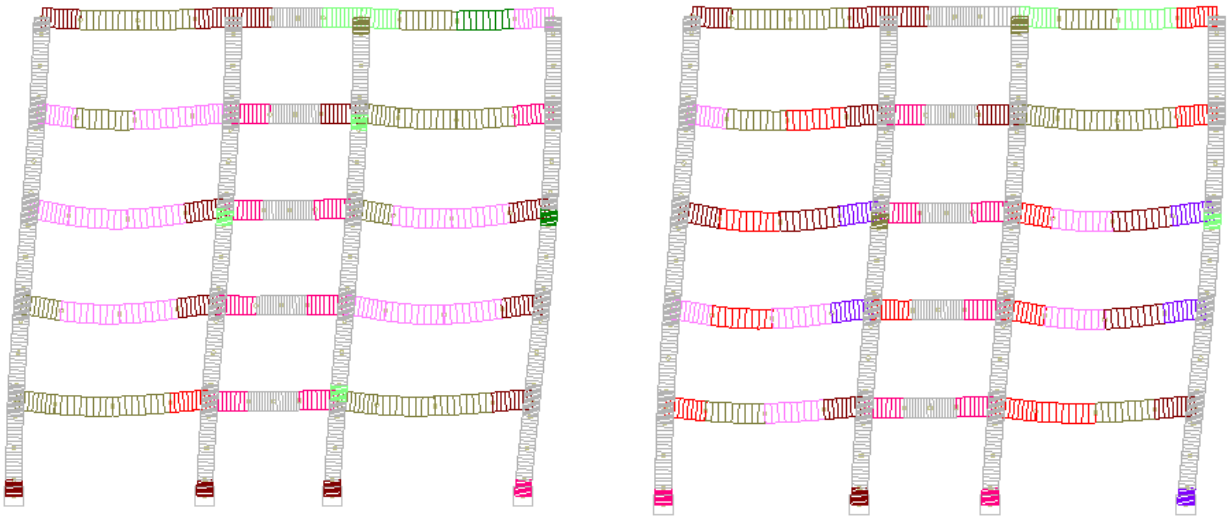
Şekil 8'de ölçeklendirilmiş Erzincan depremi kullanılarak yapılan analizlerden yapıda oluşan hasar durumları 7.4 s anı için verilmiştir. Buna göre uygun sargı donatısının bulunduğu yapı sisteminde sadece 1 tane kirişin bir ucunda donatı göçme sınırına ulaşılırken, uygun sargı donatısının bulunmadığı sistemde 9 tane kirişin birer ucunda donatı göçme sınırına ulaşılmıştır. Uygun sargı donatısına sahip yapıda kolon uçlarında bu durum gözlenmezken, sargı donatısının uygun olmadığı yapı sisteminde 1 kolonun alt ucundaki donatı göçme sınırına ulaşmıştır.



a) Uygun sargı donatılı b) Uygun olmayan sargı donatılı

Şekil 8. Sargı donatısının TDY-2007'ye uygun düzenlendiği ve düzenlenmediği durumlar için ölçeklendirilmiş Erzincan Depremi etkisiyle yapı sisteminde 7.4 s anında meydana gelen hasarlar

Şekil 9'da ölçeklendirilmiş Kocaeli depremine göre yapılan analiz sonucunda oluşan hasar durumları 13.4 s anı için verilmektedir. Buna göre, uygun sargı donatısına sahip yapı sisteminin hiçbir kiriş ve kolon ucunda donatı göçme sınırına ulaşmazken, uygun sargı donatısının bulunmadığı sistemde 4 tane kirişin birer ucunda ve 1 tane kolonun alt ucunda donatı göçme sınırına ulaşmıştır.



a) Uygun sargı donatılı b) Uygun olmayan sargı donatılı

Şekil 9. Sargı donatısının TDY-2007'ye uygun düzenlendiği ve düzenlenmediği durumlar için ölçeklendirilmiş Kocaeli Depremi etkisiyle yapı sisteminde 13.4 s anında meydana gelen hasarlar

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, sargı donatısın betonarme binalardaki hasara etkisi yayılı plastik mafsal modeli kullanılarak incelenmiştir. Sayısal uygulama için birinci deprem bölgesinde yer alan, Z3 zemin sınıfına sahip iş yeri tipli, 3 açıklıklı ve 5 katlı betonarme bir çerçeve seçilmiştir. Bu yapının kolon ve kirişlerinde minimum boyuna donatı şartı dikkate alınmıştır. Seçilen çerçevenin doğrusal olmayan analizleri yapısal elemanlarında Türk Deprem Yönetmeliğine (TDY–2007) göre sargı donatısı aralığının uygun seçilip seçilmemesi durumları için yapılmıştır. Analizler için 3 tane deprem ivme kaydı seçilmiş ve bu ivme kayıtları (TDY–2007)'de verilen tasarım spektrumuna göre ölçeklenerek kullanılmıştır. Tasarlanan yapının yapısal elemanlarındaki hasarlar kabuk beton, çekirdek beton ve donatıda ayrı ayrı bulunarak yönetmelikte verilen hasar sınırlarıyla karşılaştırılmıştır.

Elde edilen analiz sonuçlarına göre, sargı donatısı aralığının TDY-2007'ye uygun olarak yapılan betonarme yapı sistemindeki kolon ve kiriş hasarlarının, sargı donatı aralığı uygun olmayan yapısal sistemde oluşan hasarlardan belirgin şekilde daha az olduğu görülmüştür. Betonarme yapıların inşaat ve proje aşamasında sargı donatısı aralıklarına büyük önem gösterilmesi gerektiği bu sayısal uygulamayla gösterilmeye çalışılmıştır.

TEŞEKKÜRLER

Yazarlar, Seismostruct ve SeismoArtif programlarının lisansları için Seismosoft şirketine teşekkürlerini sunar.

KAYNAKLAR

Türk Deprem Yönetmeliği–2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik–2007, Ankara

Taucer, F.F., Spacone, E. ve Filippou, F.C. (1991). A Fiber beam column element for seismic response analysis of reinforced concrete structures. Report No.UCB/EERC-91/17 Earthquake Engineering Research Center College of Engineering University of California, Berkeley.

Mwafy, A.M. ve Elnashai, A..S. (2001). Static pushover versus dynamic collapse analysis of RC buildings. *Engineering Structures* **23,** 407–424.

Dides, M. A. ve Llera, J. C. (2005). A comparative study of concentrated plasticity models in dynamic analysis of building structures. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* **34**, 1005–1026.

Sarno, L. D. ve Manfredi, G. (2010). Seismic retrofitting with buckling restrained braces: Application to an existing non-ductile RC framed building. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* **30**, 1279–1297.

Kwon, O.S. ve Kim, E. (2010). Case study: Analytical investigation on the failure of a two-story RC building damaged during the 2007 Pisco-Chincha earthquake. *Engineering Structures* **32,** 1876-1887.

Mehanny, S.S.F. ve El Howary, H.A. (2010). Assessment of RC moment frame buildings in moderate seismic zones:Evaluation of Egyptian seismic code implications and system configuration effects. Engineering Structures, **32**, 2394-2406.

Mwafy, A. (2011). Assessment of seismic design response factors of concrete wall buildings. *Earthquake Engineering & Engineering Vibration* **10**, 115-127.

Duan, H., Hueste, M.B. D. (2012). Seismic performance of a reinforced concrete frame building in China. *Engineering Structures* **41,** 77–89.

Yön, B. ve Calayır, Y. (2013). Pushover Analysis of a Reinforced Concrete Building According to Various Hinge Models. *2nd International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering, BCCCE, 23-25 May 2013, EPOKA University, Tirana, Albania.*

Bento, G.C.R. ve Bhatt, C. (2013). Nonlinear static and dynamic analyses of reinforced concrete buildings – comparison of different modelling approaches. *Earthquakes and Structures*, **4**, 5, 451-470.

SeismoStruct Version 6 avaliable on www.seismosoft.com.

SeismoArtif Version 1 avaliable on www.seismosoft.com.

İlki, A. ve Celep, Z. (2011) Betonarme Yapıların Deprem Güvenliği. *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı 11-14 Ekim 2011 – ODTÜ – Ankara.*

Mander, J.B., Priestley, M.J.N. and Park, R. (1988) Theoretical stress-strain model for confined concrete. *Journal of Structural Engineering,* 1804–1826.