

BETONARME BİNALARIN FARKLI HESAP YÖNTEMLERİNE GÖRE PERFORMANS SINIRLARININ İNCELENMESİ ÜZERİNDE DEĞERLENDİRME

Mehmet Sefa Orak¹ ve Zekai Celep²

¹ Araştırma Görevlisi, İnşaat Müh. Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

² Profesör, İnşaat Müh. Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Email: orakm@itu.edu.tr

ÖZET:

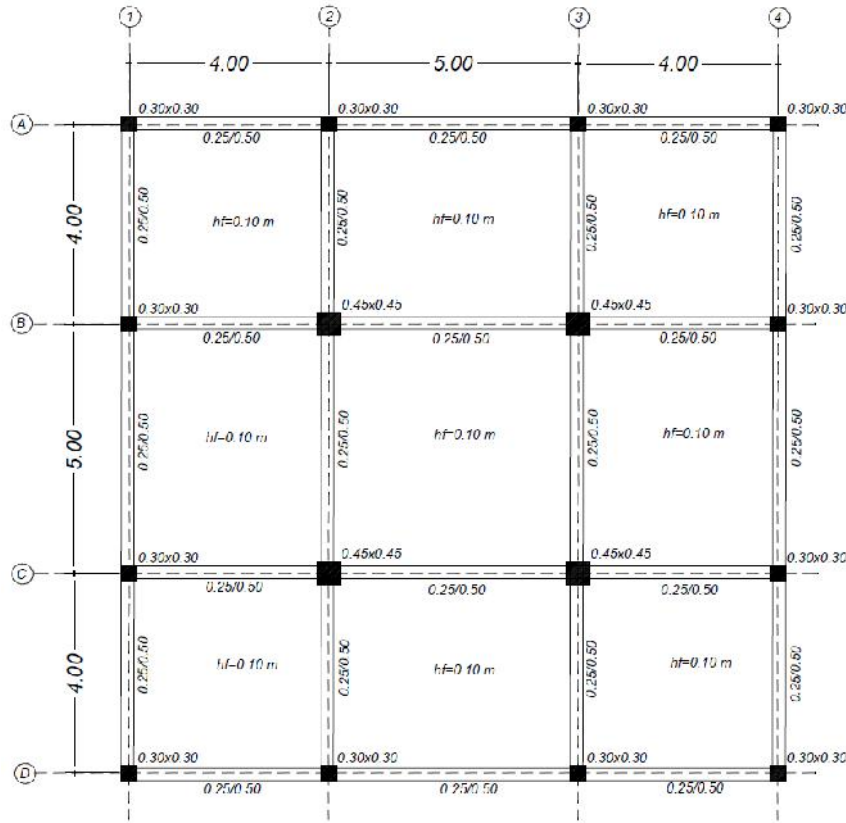
Betonarme taşıyıcı sistemlerinin deprem güvenliğini değerlendirilmesinde deprem yükleri altında doğrusal olan veya doğrusal olmayan çözümleme yapıldıktan sonra, elastik ötesi eksenel deprem yükleri taşıyan veya taşıdığı kabul edilen kesitlerde meydana gelen eksenel depremler hesap edilir. Hasarı temsil ettiği kabul edilen bu eksenel depremler verilen sınır değerlerle karşılaştırılarak, taşıyıcı sistemin beklenen performans düzeyini sağlayıp sağlamadığı belirlenir. FEMA belgeleri incelendiğinde hasarı temsil eden eksenel depremlerin plastik mafsallarda meydana gelen dönmeleri esas alındığı ve değerlendirilmesinin performans bölgelerine bağlı olarak verilen mafsal dönme sınır değerlerine göre yapıldığı görülür. Deprem Yönetmeliği (2007) de ise, doğrusal çözümme sonucunda bulunan Talep/Kapasite oranlarının esas alındığı veya doğrusal olmayan çözümlemede ise beton ve çelik eksenel depremlerin esas alındığı ve bunlar için sınır değerleri konulduğu görülür. EC8 de kolon ve kirişlerde "kiriş dönmesi" olarak tanımlanan değerlerin esas alındığı ve bunlar için sınırlar verildiği görülür. Bu tür karşılaştırma parametrelerinin ve sınır değerlerinin seçiminde, parametrenin taşıyıcı sistemdeki hasarı temsil ettiği ve bu parametrenin sınır değerlerinin öngörülen performans düzeyini temsil etmediği kabul edilir. FEMA belgelerinde verilen plastik mafsal dönmelerinden ve EC8 verilen kiriş dönmelerinden bir adım daha ileri giderek, kesitteki beton ve donatının birim uzama ve kısalma değerleri bulunabilir. Ancak, bu iki belgede buna ihtiyaç duyulmamıştır. Bu tür değerlendirilmede önemli bir husus çeşitli belgelerde kabul edilen bu parametrelerin birbiriyle olan uyumu umudur. Değerli belgelere göre yapılan incelemelerin matematiksel aynı sonucu vermesi beklenmezse de, sonuçların birbirinden çok farklılık göstermemesi de arzu edilir. Özellikle Deprem Yönetmeliği (2007) de kullanılan iki değerlendirme sınırlarının birbiri ile uyumu ve diğer parametrelerle olan uyumu önemli ve tartışmalı bir konudur. Bu bildiride parametrik inceleme yaparak hasarı temsil etmesi için esas alınan parametrelerin ve sınırlarının elde edilen sonuçlar bakımından karşılaştırmalı bir incelemesi yapılmıştır. İnceleme parametreleri olarak, bina kat adedi, deprem bölgesi, beton ve çelik kalitesi ve bina taşıyıcı sistem türü göz önüne alınmıştır. Elde edilen çözümler karşılaştırmalı olarak verilmiş ve yorumlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER : Betonarme, Performans Sınırları, Kiriş Dönmesi, Eurocode 8, FEMA

1. GİRİŞ

Performansa dayalı değerlendirilmede en önemli adımlardan biri betonarme binaların doğrusal olmayan yapısal analizler ile elde edilen eksenel depremlerin ilgili sınır değerlerle karşılaştırılmasına dayanır [2]. Bu eksenel depremlerin sınırlarının seçilmesi performansa dayalı değerlendirilmede kritik bir rol oynar. Belirli bir deprem etkisi altında binanın performansını değerlendirmek amacıyla, ilgili eksenel deprem sınırları belirli yönetmelikler tarafından önerilmiştir. Bu sınırlar, deprem etkisinin seviyesine ve beklenen performans düzeyine bağlı olarak verilmiştir. Bu yönetmeliklerden en yaygın olarak kullanılan ve bu yazı kapsamında göz önüne

alınanlar Eurocode 8 [7], FEMA 356 [3], ve Deprem Yönetmeliği (DY) 2007 [1] olarak sıralanabilir. Bu sayısal çalışmada her iki doğrultuda simetrik betonarme çerçeve sistemi seçilip, SAP 2000 [5] sonlu elemanlar analiz programı yardımıyla modellenmiş ve çözülmüştür. Bunun nedeni, yukarıda belirtilen her üç yönetmelik arasındaki farkları en iyi şekilde yansıtabilmektir. Konut olarak kabul edilen bina 8 kattan oluşmakta olup ve eleman boyutları ekil 1'de görüldüğü üzere dış çerçeve kolonları $0.30\text{m} \times 0.30\text{m}$, iç çerçeve kolonları $0.45\text{m} \times 0.45\text{m}$, bütün kiriş boyutları $0.25\text{m} \times 0.50\text{m}$ ve döşeme kalınlığı 0.10m olacak şekilde üy yükler altında TS500 yönetmeliğindeki kuralları içinde minimum boyutlar olacak şekilde seçilmiştir. Binada 1.50kN/m^2 kaplama yükü ve 2.00kN/m^2 hareketli yük gözönüne alınmıştır. Malzeme kalitesi olarak; C20 betonu ve S420 donatısı seçilmiştir.



ekil 1. Kat kalıp planı (m)

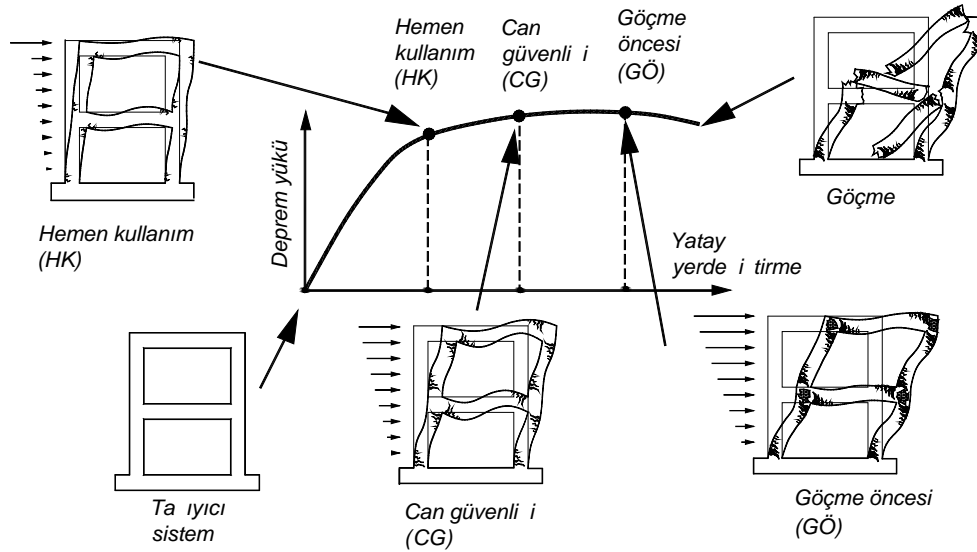
2. PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Deprem Yönetmeliği'nin yeni binalar için verilen kuralları kullanılarak tasarımı yapılan binada, tasarımın en düşük boyutlarda gerçekleştirilmesi için, boyutlar değerlendirilerek tasarım için çok sayıda çözüm yapılmıştır. Böylece, boyutlar bakımından sınırda olarak tasarımı yapılmasına özen gösterilmiştir. Tasarım sonucunda elde edilen geometrik boyutlar ve donatı esas alınarak, değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirilmede konut olarak kabul edilen binanın can güvenliği performans seviyesini sağlaması beklenmiştir. Bilindiği gibi, Deprem Yönetmeliği'nin yeni binalar için verilen tasarım kuralları arasında tasarım depremi etkisi altında konutlar için can güvenliğinin sağlanacağı dolaylı olarak bildirilmiştir. Buna karşılık bina önem katsayısı bulunan binalarda da önem katsayısı ile artırılmış deprem etkisinde can güvenliğinin sağlanmasına katkı gelmektedir. Ancak, bu tür binalardan örneklerin, okullar veya hastaneler için yapılacak değerlendirilmede ek olarak ikinci bir değerlendirme

öngörülür. Bu farklılığın Deprem Yönetmeliği'nin yakında yapılacak deprem ikli inde giderilmesi ve mevcut kuvvet esasına dayalı tasarım kuralları yanında, mevcut binaların de erlendirmesi için öngörülen ekil de i tirmeye dayalı tasarım kurallarının benimsenmesi muhtemeldir. Eurocode 8'de deprem güvenli i de erlendirmesinde üç sınır durum tanımlanmıştır;

a. Göçme öncesi: Yapı a ır hasarlıdır, ancak sınırlı bir yatay yük kapasitesi kalmıştır, dü ey elemanlar dü ey yükü karşılayabilecek durumdadır, büyük yatay yer de i tirmeler meydana gelmiştir. Yeni binalarda 2475 yıllık dönü periyodu (50yıl/%2) olan depremlerde beklenen hasar durumudur. Bu duruma sünek elemanların ekil de i tirme kapasiteleri ve gevrek elemanların kuvvet kapasiteleri ilgili deprem talebi ile kıyaslanarak karar verilir. Büyük elastik ötesi ekil de i tirmelerden deprem yükü azaltma katsayısı ile do rusal hesap uygun dü mez, do rusal olmayan çözüm yöntemi gerekli olur.

b. Belirgin hasar: Yapı belirgin ekilde hasarlıdır, yatay yük kapasitesi ve rijitli i mevcuttur, dü ey elemanlar dü ey yükü karşılayabilecek durumdadır, kalıcı yatay yer de i tirmeler meydana gelmiştir, yapı orta büyüklükteki artçı depremleri karşılayabilecek durumdadır, ancak yapının güçlendirilmesi ekonomik olmayabilir. Yeni binalarda 475 yıllık dönü periyodu (50yıl/%10) olan depremlerde beklenen hasar durumudur. Bu durumda deprem yükü azaltma katsayısı ile do rusal hesap çözümü dayanım fazlalığı katsayısı kullanılarak çözüm yapılabilir.

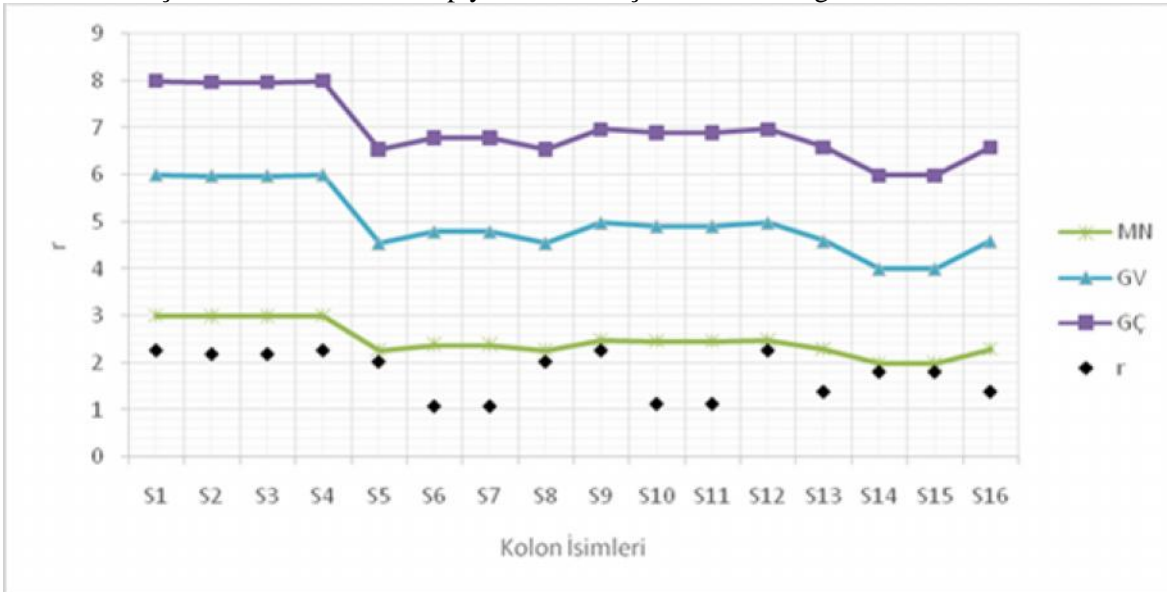


ekil 2. Ta ıyıcı sistem (bina) performans düzeyleri

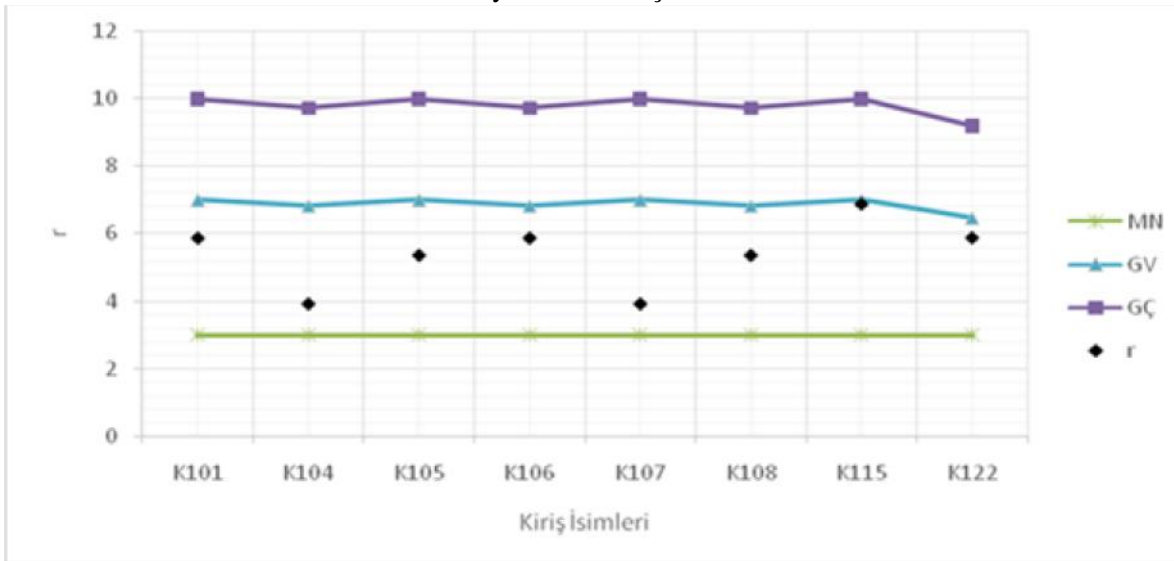
c. Hasarın sınırlandırılması (Minimum hasar sınırı): Yapı hafif hasarlıdır, yapısal elemanlarda önemli elastik ötesi ekil de i tirmeler bulunmamaktadır, yatay yük kapasitesini ve rijitli inde önemli bir de i iklik mevcut de ildir. Elastik ötesi yatay yer de i tirmeler ihmal edilecek düzeydedir, yapı her hangi bir onarıma ihtiyaç göstermez. Yeni binalarda 225 yıllık dönü periyodu (50yıl/%20) olan depremlerde beklenen durumudur. Bu durumda deprem yükü azaltma katsayısı ile do rusal hesap kullanılarak çözüm yapılabilir.

3. ÇÖZÜM SONUÇLARI

ncelenen 8 katlı binada DY 2007 [1] Bölüm 7.5 de belirtilen do rusal elastik çözüme dayalı Do rusal Elastik Hesap Yöntemi ve DY 2007 Bölüm 7.6 da belirtilen statik artımsal çözüme dayalı Do rusal Olmayan Hesap Yöntemi uygulaması yapılmı tır. Bunun yanında, plastik mafsal hipotezi kabulü ile FEMA 356 [3] kuralları ve kiri dönmesi olarak bilinen dü üm noktası dönmelerinin Eurocode 8 [7] de belirtildi i hesapları yapılarak sonuçları elde edilmi ve kıyaslanmı tır. Sınır de er kıyaslamasında bina konut oldu u için tasarım depremi altında binanın DY 2007 de verilen can güvenli i sınır de erlerini sa laması esas alınmı tır. ncelenen binada birinci kat kolonları için do rusal elastik hesap yöntemi sonuçları ekil 3'de gösterilmi tir. ncelenen binada birinci kat kiri leri için do rusal elastik hesap yöntemi sonuçları ekil 4'de gösterilmi tir.

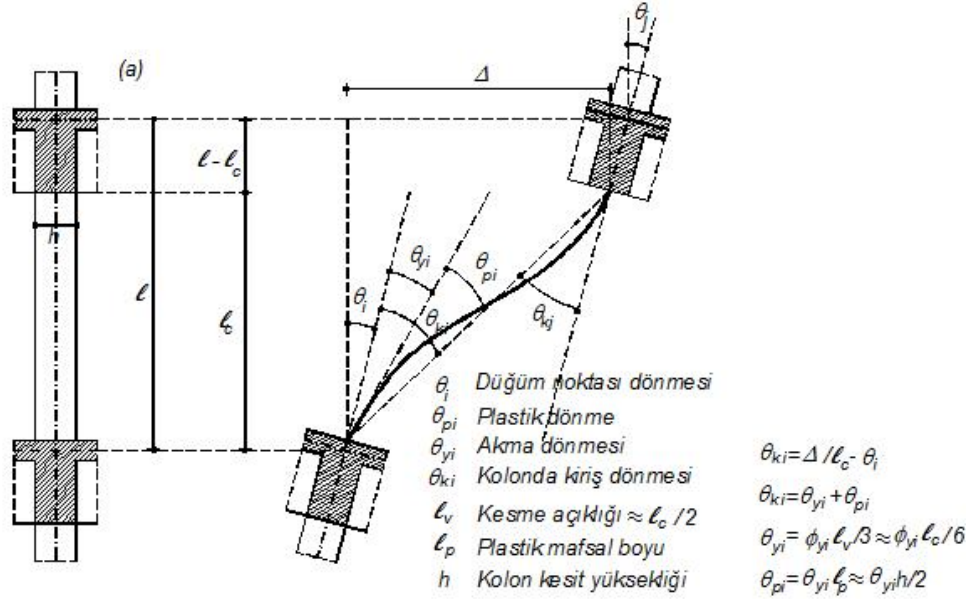


ekil 3. ncelenen binada 1. kat kolonları için Deprem Yönetmeli i'nde verilen do rusal elastik hesap yöntemi sonuçları



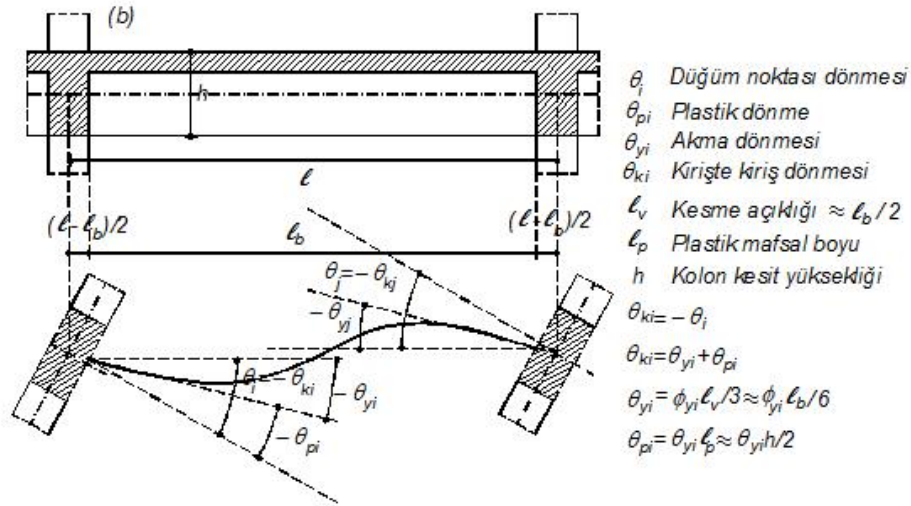
ekil 4. ncelenen binada 1. kat kiri leri için Deprem Yönetmeli i'nde verilen do rusal elastik hesap yöntemi sonuçları

ncelenen binada birinci kat kolonları için do rusal olmayan hesap yöntemlerinden statik artımsal analiz ve Eurocode 8'de tanımlanan kiri dönmesi yöntemi sonuçları farklı deprem ivmelerine göre kıyaslanmıştır. Eurocode 8'de tanımlanan kiri dönmesi yönteminin hesaplaması kolon ve kirişler için sırası ile ekil 5 ve 6'da matematik olarak gösterilmiştir. Hesaplarda toplam dönmeler sonucu e rilikler elde edildikten sonra XTRACT [6] programı yardımı ile beton ve donatıdaki birim ekil de i tirmeler bulunmuştur.



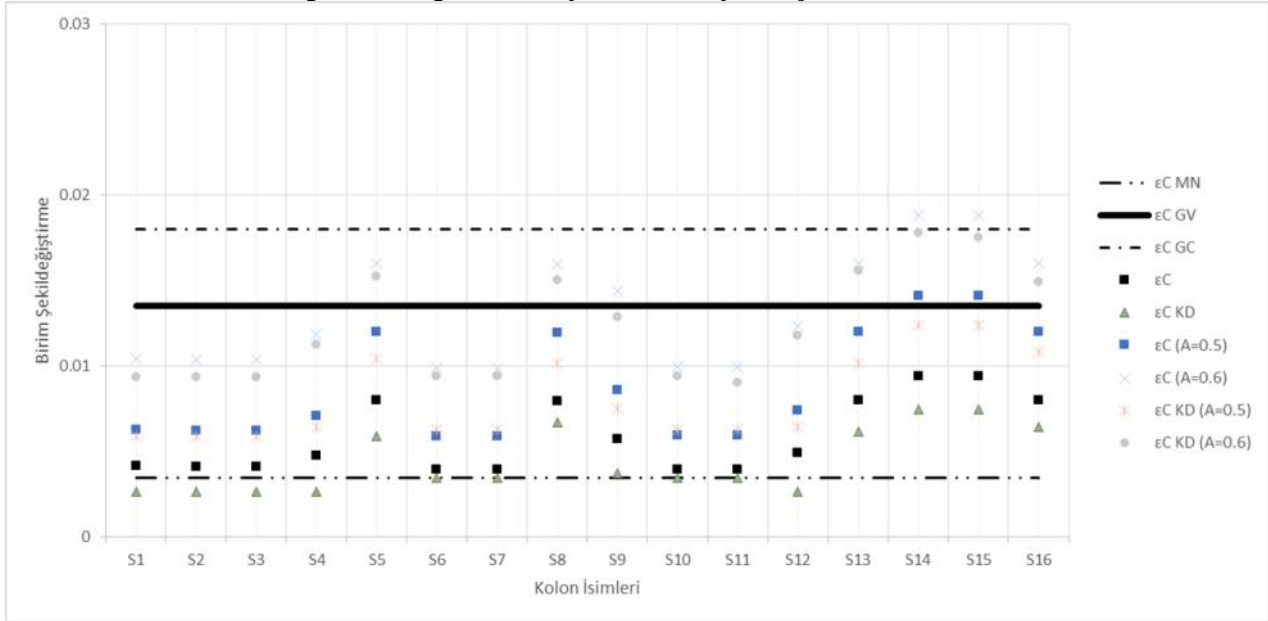
ekil 5. Kolonda do rusal elastik ötesi çözümleme durumunda ekil de i tirmeler ve dü üm noktası dönmeleri

Kolon ve kiriş te ekil 5 ve 6'da gösterilen kiri dönmesi (i ucunda ve j ucunda) hesap edildikten sonra, bu dönmenin plastik mafsalın toplam dönmesine karşı gelece i kabul edilebilir. Buna dayanarak, plastik mafsal boyu olmak üzere, kesitteki toplam e rilik olarak ve e rilikten de kesit analizi yapılarak betondaki ve çelikteki birim ekil de i tirmeler hesap edilebilir.

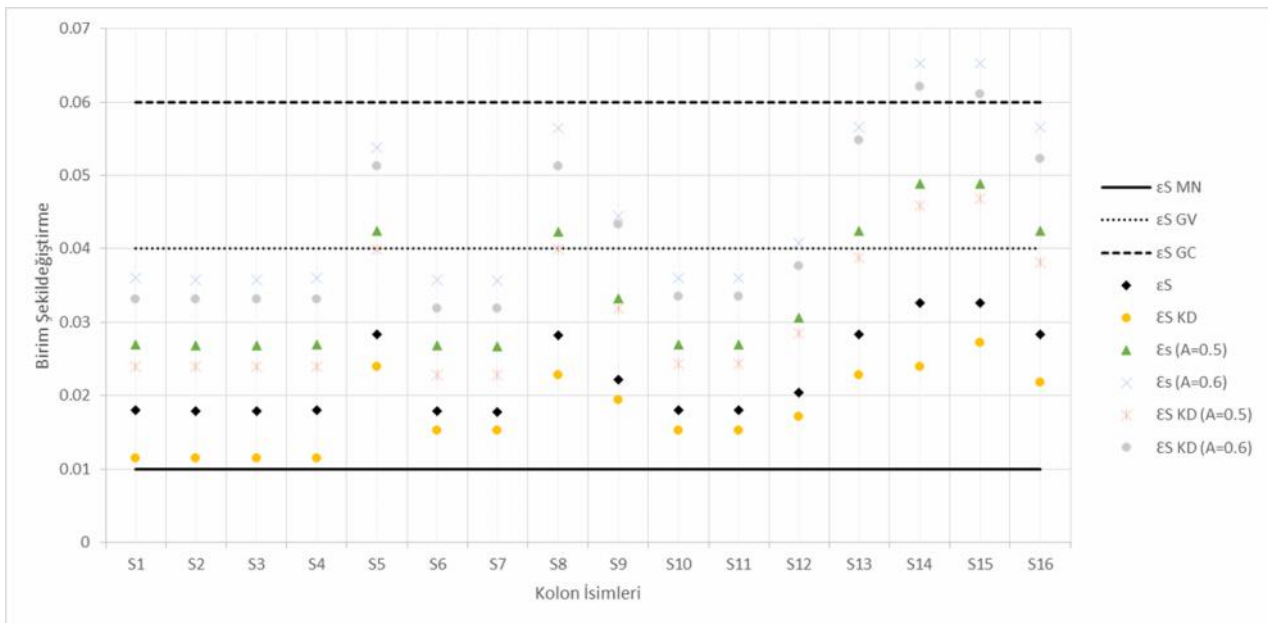


ekil 6. Kiriş te do rusal elastik ötesi çözümleme durumunda ekil de i tirmeler ve dü üm noktası dönmeleri

ncelenen binada birinci kat kolonları için do rusal olmayan hesap yöntemlerinden statik artımsal analiz ve Eurocode 8’de tanımlanan kiri dönmesi yöntemi sonuçları bulunan beton ve çelik için birim ekil de i tirmeler ekil 7 ve 8’de gösterilmiştir. Her iki yöntem daha iyi kıyaslanabilmesi adına deprem ivmesi artırılarak hesaplar tekrarlanmıştır. Etkin yer ivmesi katsayısının 0.4, 0.5 ve 0.6 olduğu durumlarda her iki yöntemde göre beton ve çelik için ekil de i tirmeler ayrı ayrı hesap edilmiş olup sonuçlar kıyaslanmıştır. Parametrelerin daha iyi analiz edilebilmesi için ekil 7’de beton ekil de i tirmeleri ve ekil 8’de çelik ekil de i tirmeleri gösterilmiştir. Bunun sonucunda ekillerde de görüldü ü gibi her iki yöntemde büyük ölçüde örtü mektedir.

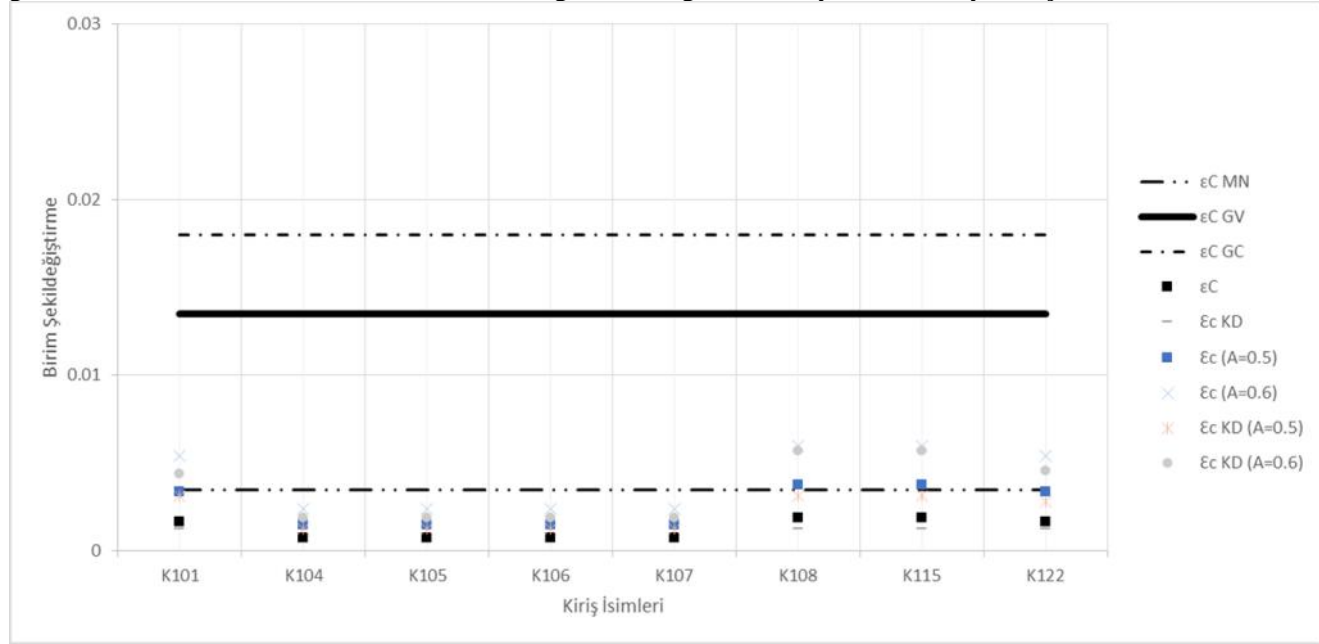


ekil 7. ncelenen binada 1. Kat kolonları için Deprem Yönetmeli i’nde verilen statik artımsal hesap ve EC8 de verilen kiri dönmesi sonucu bulunan beton ekil de i tirmeleri

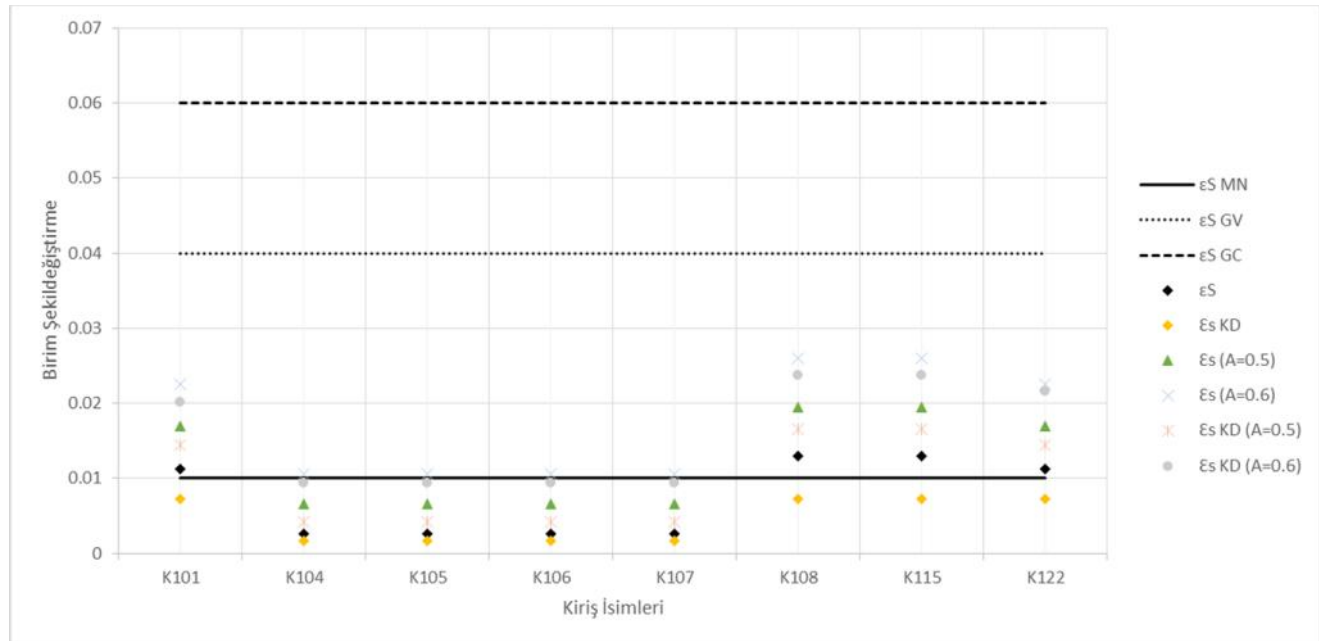


ekil 8. ncelenen binada 1. Kat kolonları için Deprem Yönetmeli i’nde verilen statik artımsal hesap ve EC8 de verilen kiri dönmesi sonucu bulunan çelik ekil de i tirmeleri

Diğer taraftan, gözönüne alınan binada birinci kat kirişleri için doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden statik artımsal analiz ve Eurocode 8'de tanımlanan kiriş dönmesi yöntemi sonuçları bulunan birim eksenel deplasmanlar ekil 9 ve 10'da gösterilmiştir. Her iki yöntem daha iyi kıyaslanabilmesi adına deprem ivmesi artırılarak hesaplar tekrarlanmıştır. Etkin yer ivmesi katsayısının 0.4, 0.5 ve 0.6 olduğu durumlarda her iki yöntemle göre beton ve çelik için eksenel deplasmanlar ayrı ayrı hesap edilmiş olup sonuçlar kıyaslanmıştır. Parametrelerin daha iyi analiz edilebilmesi için ekil 9'da beton eksenel deplasmanları ve ekil 10'da çelik eksenel deplasmanları gösterilmiştir. Bunun sonucunda eksenel deplasmanlarda da görüldüğü gibi her iki yöntemde büyük ölçüde örtüşmektedir.



ekil 9. incelenen binada 1. Kat kirişleri için Deprem Yönetmeliğinde verilen statik artımsal hesap ve EC8 de verilen kiriş dönmesi sonucu bulunan beton eksenel deplasmanları



ekil 10. incelenen binada 1. Kat kirişleri için Deprem Yönetmeliğinde verilen statik artımsal hesap ve EC8 de verilen kiriş dönmesi sonucu bulunan çelik eksenel deplasmanları

Yapılan sayısal incelemede do rusal olmayan yöntem sonuçları beklenen can güvenli i performans sınırını sa larken, do rusal elastik yöntemde sadece ikinci kat kiri lerinden %17 sinin sa lamadı ı tespit edilmiştir. Bunun gibi kiri dönmesi sonuçlarından elde edilen sonuçlarının da, en azından yapılan örnek için, di er de erlendirmelerle uyumlu oldu u görülmektedir.

4. SONUÇ

Yukarıda yapılan sayısal çözümlerde de erlendirme için kullanılan yöntemlerden ikisinde (Deprem Yönetmeli i'nde verilen do rusal elastik yöntem ve EC8 de verilen kiri dönmesi yöntemi) göreceli olarak basit kabul edilebilen do rusal çözümlendirme gerektirirken, di er ikisi (Deprem Yönetmeli i'nde verilen statik itme analizi ve FEMA 356 da plastik mafsal dönmesi yöntemi) kapsamlı do rusal olmayan çözümlendirme gerektirmektedir. Kiri dönmesi yönteminin elastik çözümlendirme gerektirmesi bakımından Deprem Yönetmeli i'nde bulunan Do rusal Elastik Yöntem'e bir seçenek olarak kabul edilebilir. Özellikle yönetmelik gibi, genel uygulama alanı olan belgelerde ayrıntılı do rusal olmayan kapsamlı çözümlendirme gerektiren bir yöntem yanında, göreceli olarak daha basit çözümlendirme gerektiren bir de erlendirme yönteminin bulunması önerilir. Beklendi i gibi, do rusal olmayan bir yöntemin daha gerçekçi oldu u açıktır. Ancak, bu tür çözümler ayrıntılı oldu u oranda, daha fazla sayıda hem malzeme özellikleri ve hem de çözüm bakımından kabule ihtiyaç duyulur. Bu tür kabullerin mevcut binalarda ne kadar geçerli oldu u üpheli olacaktır. Verilen sonuçlar yazarların çok sayıda sistematik olarak de i ik düzensizliklere sahip çerçevesel ve perdeli seçilen de i ik ta ıyıcı sistemlerinin ele alındı ı bir çalı manın bir bölümünü olu turmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Deprem Yönetmeli i (2007) "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- [2] Celep Z (2014) "Betonarme ta ıyıcı sistemlerde do rusal olmayan davranı ve çözümlendirme", Beta Basım ve Da ıtım, İstanbul.
- [3] Celep Z (2015) Deprem mühendisli ine giri ve depreme dayanıklı yapı tasarımı", Beta Basım ve Da ıtım, İstanbul.
- [3] FEMA356 (1997) "Prestandard and commentary for seismic rehabilitation of buildings", Federal Emergency Management Agency, Washington.
- [4] FEMA440 (2005) "Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures", Federal Emergency Management Agency, Washington.
- [5] SAP2000 (2000) "Structural analysis program", Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- [6] XTRACT (2001) "Cross sectional analysis of components", Imbsen Software System, Sacramento.
- [7] Eurocode 8: Seismic design of concrete structures, 1993.
- [8] Aydınolu MN, Celep Z, Özer E, Sucuo lu H (2007) "Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik – Örnekler kitabı", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.