MEVCUT BETONARME BİNALARIN DOĞRUSAL ELASTİK VE DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN HESAP YÖNTEMLERİ İLE İNCELENMESİ ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME

F. Demir[1], K.T. Erkan[2], H. Dilmaç[3] ve H. Tekeli[4]

[1] *Doçent Doktor, İnşaat Müh. Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta*
[2] *Yüksek Lisans Öğrencisi, İnşaat Müh. Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta*
[3] *Araştırma Görevlisi, İnşaat Müh. Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta*
[4] *Yardımcı Doçent Doktor, İnşaat Müh. Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta*
Email: hamidetekeli@gmail.com

ÖZET:

Son yıllarda yurdumuzda meydana gelen depremler, ülke genelinde mevcut binaların büyük bir kısmının deprem güvenliğinin önemli ölçüde yetersiz olduğunu ortaya çıkartmıştır. Yaşanan maddi ve manevi kayıplar neticesinde mevcut binaların değerlendirilmesi ve yetersiz olanların güçlendirilmesi gerekliliği oluşmuştur. Bunun sonucu, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 1998 üzerinde bazı değişiklikler yapılarak, 2007 yılında Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY'07) ortaya konulmuştur. Deprem bölgelerinde bulunan binaların davranışlarının değerlendirilmesinde kullanılacak hesap yöntemleri ve güçlendirme kararlarında esas alınacak ilkeler DBYBHY'07 nin, "Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi'' başlıklı 7. Bölümünde tanımlanmıştır. Bu bölümde mevcut binaların deprem performanslarının belirlenmesi ve değerlendirilmesi için doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin kullanılması öngörülmüştür. Doğrusal elastik hesap yönteminde binaların taşıyıcı sistemlerinin ve yapısal elemanlarının etki kapasite oranları dikkate alınarak işlem yapılır. Doğrusal elastik olmayan hesap yönteminde ise, elemanlarda şekil değiştirme ve taşıyıcı sistemde yer değiştirme esaslı parametreler değerlendirilir. Bu çalışmada, DBYBHY'07 nin, mevcut betonarme binaların doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri ile incelenmesinde ortaya çıkan farklılıklar ele alınmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Deprem güvenliği, betonarme binalar, doğrusal elastik değerlendirme yöntemi, doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemi.

1. GİRİŞ

Ülke genelinde yaşanan depremler mevcut binaların büyük bir kısmının deprem güvenliğinin önemli ölçüde yetersiz olduğunu ortaya çıkartmıştır. Yaşanan maddi ve manevi kayıplar neticesinde mevcut binaların değerlendirilmesi ve yetersiz olanların güçlendirilmesi gerekliliği oluşmuştur. Bunun sonucu, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 1998'in bazı bölümlerinde kapsamlı, bazı bölümlerinde ise küçük değişiklikler yapılmış ve mevcut binaların değerlendirilmesi ile ilgili yeni bölüm eklenerek 2007 yılında Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY'07) ortaya konmuştur.Yönetmelikte yapılan bu değişiklikler; mevcut yapıların proje ile uygulama arasında beton kalitesi, donatı miktarı ve detaylandırılma farklılıkları bulunması muhtemel depremlerde meydana gelecek hasarları arttırıcı nedenler dikkate alınarak yapılmıştır (İnel vd., 2006). Yeni yönetmeliğe göre yapı sistemlerinin deprem performanslarının belirlenmesinde doğrusal ve doğrusal olmayan değerlendirme yöntemleri kullanılmaktadır. DBYBHY'07 doğrusal elastik yöntem çözümü her ne kadar doğrusal olsa da değerlendirme yönteminde sistemin elastik ötesi

davranışı dikkate alınmaktadır. Doğrusal olmayan değerlendirme yönteminde ise elastik ötesi davranışı daha gerçekçi biçimde ele almak gerektiği için çözüm aşamalarında en genel haliyle iki bakımdan zorluk ortaya çıkmaktadır. Bunlardan birinci zorluk taşıyıcı sisteme ait daha çok parametreye ihtiyaç duyulmasıdır. Bu durum mevcut binalar için bazen aşılması zor olan birtakım belirsizlikler ortaya çıkarmaktadır. İkinci zorluk ise, mevcut doğrusal çözüm programlarının kullanılamaması ve çok daha ayrıntılı çözüm tekniklerini içeren programlara ihtiyaç duyulmasıdır (Uygun ve Celep, 2007).

Bu çalışmada, mevcut betonarme binaların DBYBHY'07 de belirtilen doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntemlere göre incelenmesinde ortaya çıkan farklılıklar ele alınmıştır. Bu amaçla çeşitli programlar yazılmıştır. Betonarme elemanların davranışının modellenmesi için **B**etonarme **E**lemanlarda **Sa**rgı ve **M**odelleme (BESAM) programı, Yönetmelik kapsamında yapılan işlem adımlarını daha pratik hale getirmek için **D**oğrusal **EL**astik **A**naliz **P**rogramı (DELAP) ve **D**oğrusal **EL**astik **O**lmayan Analiz **P**rogramı (DELOP) hazırlanmıştır. Bu programlar yönetmelikteki Can Güvenliği Performans seviyesindeki kriterlerin kontrolünü yapmaktadır. Yapılan hesaplamalarda SAP2000 programı kullanılmıştır. Çalışma kapsamında binaların planda ve düşey kesitte düzensizliğinin sınırlı olduğu durumlar ve davranışa birinci modun etkili olduğu düşük katlı binalar seçilmiştir. Performans hesapları Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi seçilerek yapılmıştır.

2. DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

DBYBHY'07 Bölüm'7 de mevcut yapıların değerlendirilmesi için doğrusal elastik hesap yöntemi (DEHY) ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemi (DEOHY) olmak üzere 2 hesap yöntemi sunulmuştur. Bu iki yöntemde kendi içerisinde alt yöntemler içerir. Bu çalışmada her iki yöntem içinde verilen Eşdeğer Deprem Yükü yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem bodrum üzerindeki toplam yüksekliği 25m den az, toplam kat adedi 8'i aşmayan ve burulma düzensizlik katsayısı η_{bi}<1,4 olan binalar için uygulanabilmektedir. Dolayısıyla çalışma kapsamındaki model binalar bu koşulları sağlayacak şekilde seçilmiştir.

2.1. Doğrusal Elastik Hesap Yöntemi

Doğrusal elastik yöntemin esasını oluşturan ve dayanım (kuvvet) esaslı değerlendirmede, yapı elemanlarının dayanım kapasiteleri elastik deprem yüklerinden oluşan ve doğrusal teoriye göre hesaplanan etkilerle karşılaştırılmaktadır. Betonarme yapı elemanlarının hasar sınırlarının açıklamasında, *etki/kapasite oranları* (*r*) cinsinden ifade edilen sayısal değerler kullanılmaktadır. Kırılma türü eğilme olan sünek kiriş, kolon ve perde kesitlerinin eğilme etki/kapasite oranları, sadece deprem yükü altında hesaplanan kesit eğilme momentinin kesit artık eğilme momenti kapasitesine bölünmesi ile bulunur. Kesit artık eğilme momenti kapasitesi, kesitin eğilme momenti kapasitesi ile düşey yükler altında kesitte hesaplanan eğilme momentinin farkıdır. Hesaplanan kiriş, kolon ve perde kesitlerinin etki/kapasite oranlarının ilgili sınır değerler ile kıyaslanması suretiyle yapı elemanlarının kesit hasar bölgeleri bulunması ve bunlardan yararlanarak bina düzeyinde performans değerlendirmesi yapılır (DBYBHY, 2007).

Doğrusal Elastik Yöntemin matematiksel anlamda "doğrusal" olduğunu kabul etmek uygun değildir. Yeni tasarımı yapılacak binalarda, doğrusal olmayan davranışla oluşacak yatay yük kapasite artımı tüm bina için öngörülen taşıyıcı sistem davranış katsayısı R ve ona bağlı kullanılan Deprem Yükü Azaltma Katsayısı $R_a(T)$ ile göz önüne alınmaktadır (Sezer vd., 2007). Depremden kaynaklanan tüm iç kuvvetlerin aynı yük azaltma faktörü ile azaltılmasının gerekçesi, binanın deprem sırasında tek dereceli bir sistem gibi davranacağı varsayımıdır (Sucuoğlu, 2006). Mevcut binaların değerlendirilmesinde kullanılan Doğrusal Elastik Değerlendirme Yöntemi'nde her eleman için göz önüne alınan Etki/Kapasite Oranı r katsayısı ile doğrusal olmayan davranışla oluşacak yatay yük kapasite artımı göz önüne alınmaktadır. Diğer bir ifade ile çözüm işlemi doğrusal olmakla beraber bu yöntemde de taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışı göz önüne alınmaktadır (Sezer vd., 2007).

Toplam eşdeğer deprem yükü hesabı, R_a=1 alınarak ve denklemin sağ tarafı λ katsayısı bodrum hariç bir ve iki katlı binada 1, diğerlerinde 0.85 alınarak hesaplar yapılır (DBYBHY'07).

$$V_t = \lambda.W.A(T_1)/R_a \quad (1)$$

2.2. Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemi

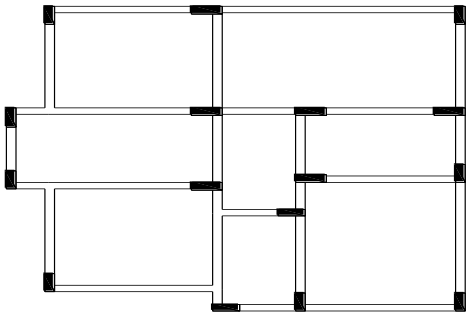
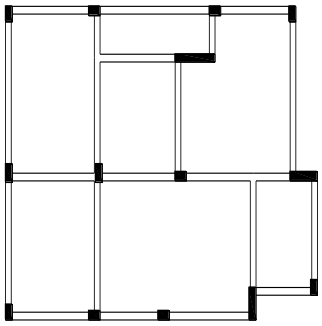
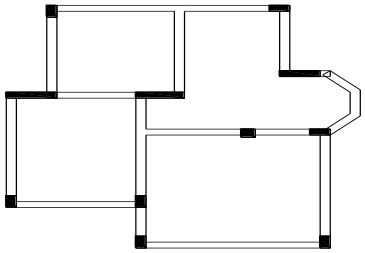
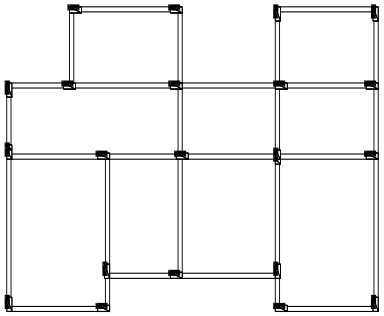
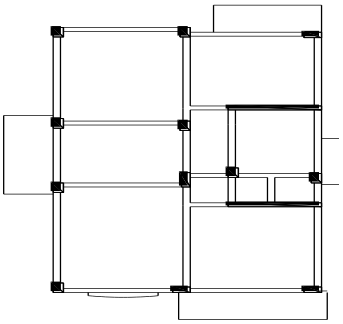
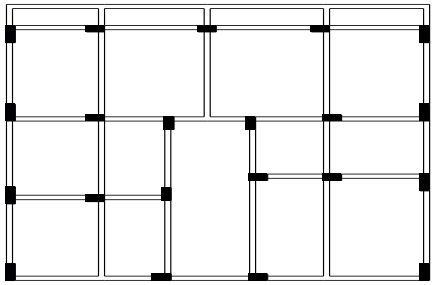
Doğrusal elastik olmayan hesap yönteminde, doğrusal elastik yönteme göre daha çok parametreye ihtiyaç duyulur ve bu yöntem taşıyıcı sistemin düzensizliğinden daha çok etkilenir (Celep, 2008). DBYBHY'07 de doğrusal elastik olmayan hesap yöntemi için yığılı plastik davranış modeli esas alınmıştır. Basit eğilme durumunda plastik mafsal hipotezi'ne karşı gelen bu modelde, çubuk eleman olarak idealleştirilen kiriş, kolon ve perde türü taşıyıcı sistem elemanlarındaki iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekildeğiştirmelerin düzgün yayılı biçimde oluştuğu varsayılmaktadır. Plastik mafsal boyu olarak adlandırılan plastik şekildeğiştirme bölgesi'nin uzunluğu (L_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h)'nin yarısına eşit alınır (L_p = 0.5 h) (DBYBHY, 2007). Taşıyıcı eleman kesitlerine ait plastik mafsal tanımlamalarının yapılması ile doğrusal elastik olmayan yöntemde öncelikle binaya ait taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi eğrisi elde edilmelidir. Bunun için, yatay yük adım adım artırılır. Her bir adımda elastik ötesi şekil değiştirmeler dikkate alınarak bina için çatı yerdeğiştirmesi ve taban kesme kuvveti kontrol edilir. Yükün artarak elemanlarda oluşan çatlakların büyümesiyle taşıma gücü sınırları aşılarak sistem güç tükenmesi durumuna yani kesitlerin dönme kapasiteleri ve plastikleşmiş bölgelerin yayılma durumuna gelmiş olur. Güç tükenmesi durumunda yapısal elemanların kapasitelerini aşan yükler diğer elemanlara dağıtılarak yapıdaki iç kuvvet dağılımı sağlanır. Elde edilen bina kapasite eğrisi ve spektrum eğrisi aynı grafik üzerinde modal ivme-modal yer değiştirme grafiğine dönüştürülür. 2007 DBYBHY esasları uygulanarak tepe yer değiştirme istemi bulunur. Bu istem seviyesindeki binaya ait her bir taşıyıcı eleman kesitine karşılık gelen beton ve çelik şekil değiştirme değerleri hesaplanır. Elde edilen şekil değiştirmeler sınır değerlerle kıyaslanarak eleman hasar seviyesi belirlenir. Eleman hasarları değerlendirilerek öncelikle kat performans seviyesi sonrasında da bina performans seviyesi elde edilir. Bina performans seviyesi hedef performans ile kıyaslanarak binanın depreme karşı güvenli olup olmadığına karar verilir.

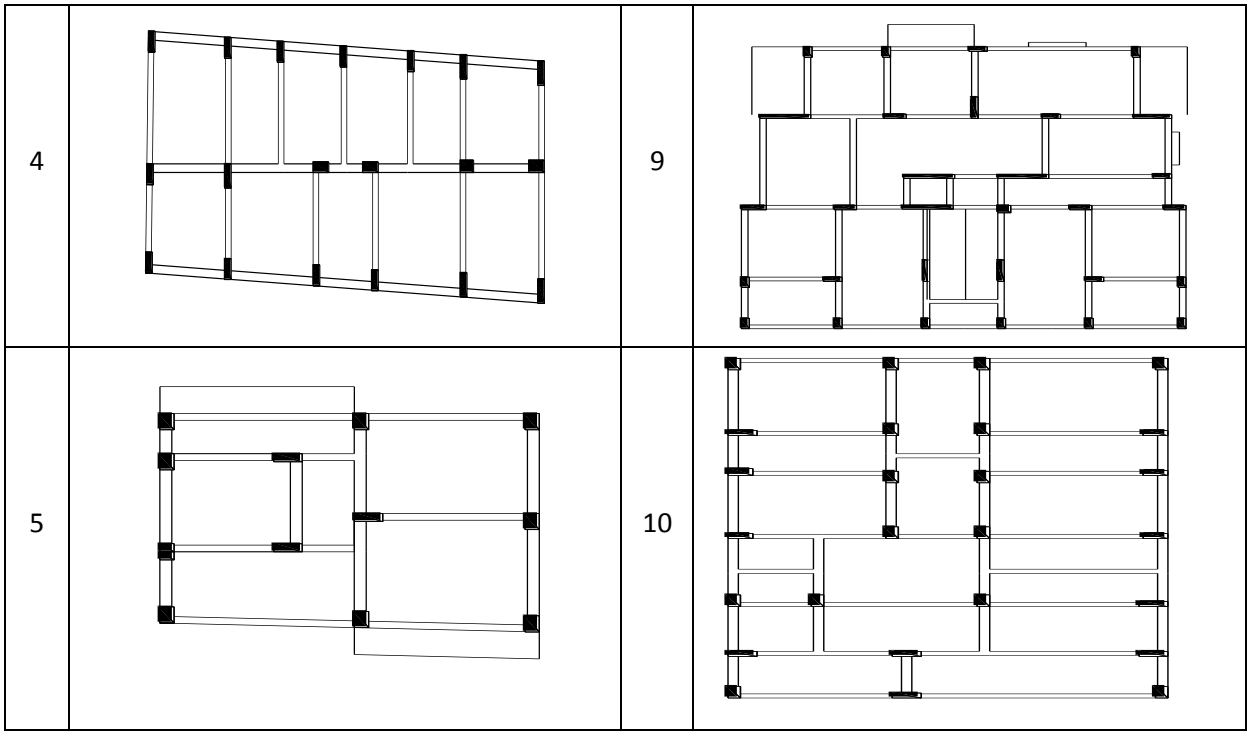
3. DOĞRUSAL ELASTİK VE DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN HESAP YÖNTEMLERİNİN KIYASLANMASI

DBYBHY'07 mevcut binaların deprem güvenliğinin belirlenmesi için önerilen doğrusal elastik hesap yöntemi kuvvet esaslı iken, doğrusal elastik olmayan hesap yöntemi şekil değiştirme esaslıdır. Bu iki yöntem ile yapılan performans değerlendirme sonuçlarının, yöntem esas farklılıklarından dolayı her zaman birebir uyumlu olması beklenemez. DBYBHY'07 de mevcut bir binanın deprem güvenliği incelemesinde hangi yöntemin kullanılacağı ile ilgili herhangi bir sınırlama getirilmemiştir. Uygulanacak yöntemin seçimi uygulama mühendisinin takdirine bırakılmıştır.

Çalışma kapsamında bu iki yöntem arasındaki performans değerlendirmesi sırasında ortaya çıkabilecek farklılıklar vurgulanmıştır. Bunun için mevcut konut türü mevcut betonarme binalar dikkate alınarak her iki yöntemle performans değerlendirmeleri yapılmıştır. Çözümlemelerde SAP 2000 programı kullanılmıştır. DBYBHY'07 esasları çerçevesinde deprem güvenliği incelenmesinde, betonarme elemanlardaki sargı etkisi ve kesit kapasiteleri için hazırlanan BESAM, hedef performans seviyesinin yönetmelik esaslarına göre sağlanıp sağlanmadığının kontrolünü Doğrusal Elastik Yöntem için DELAP, Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemi için DELOP programları kullanılarak yapılmıştır.

İncelenen binalar farklı illerden seçilmiştir. Binaların mevcut donatı ve beton dayanımı proje verilerine uygun olarak dikkate alınmıştır. İncelen bu binalara ait kalıp planları Şekil 1' de bina özellikleri ise Tablo 1 de verilmiştir. Bina performansının değerlendirilmesinde sadece birinci kat dikkate alınmıştır.

No	Kalıp Planı	No	Kalıp Planı
1		6	
2		7	
3		8	

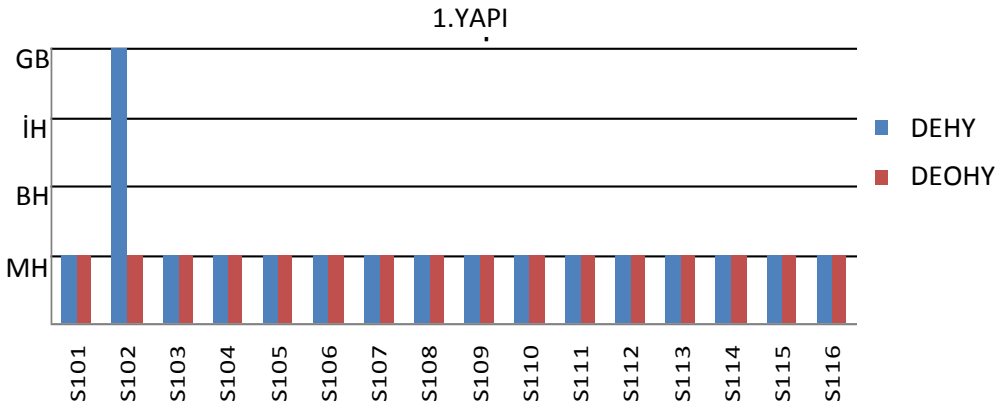


Şekil 1. Mevcut yapı kalıp planları

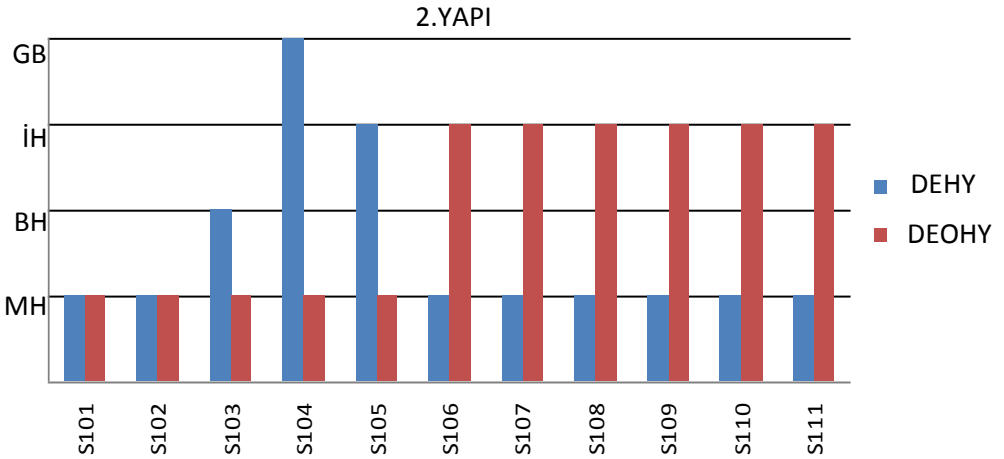
Tablo 1.Mevcut yapı özellikleri

No	Kat Adedi	Beton Sınıfı	Çelik Sınıfı	Kiriş Boyutu	Yapının Doğal Titreşim Periyodu
1	3	C20	S420	25/60	0.25
2	2	C20	S420	25/50	0.25
3	5	C20	S420	25/60	0.45
4	5	C20	S420	25/50	0.46
5	5	C20	S420	25/50	0.40
6	3	C20	S420	25/50	0.33
7	4	C20	S420	25/60	0.41
8	5	C20	S420	20/50	0.45
9	5	C20	S420	25/60	0.42
10	5	C20	S420	25/50	0.58

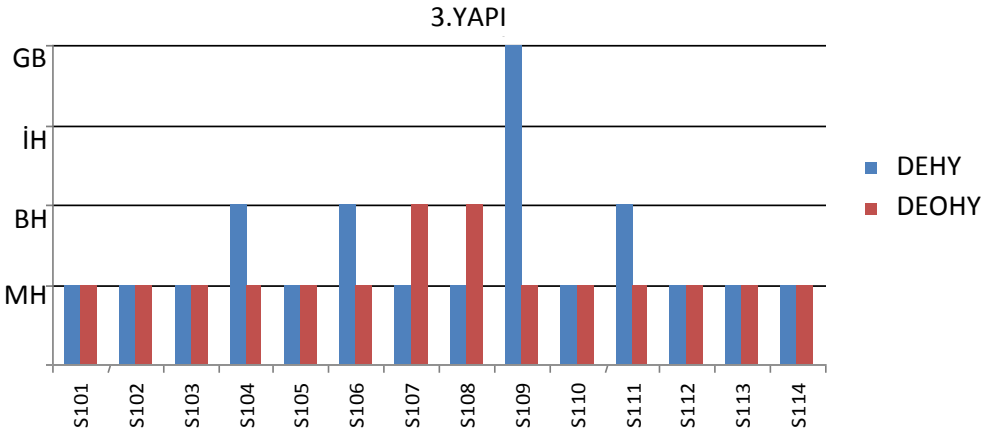
Yapılan incelemeler sonucunda mevcut yapıların kirişlerden dolayı bina performans sonucunun değişmediği görülmüştür. Bina performansında etkili olan kolon hasarları 10 adet bina için Şekil 2-11'de verilmiştir. Bina performans sonuçları ise Tablo 2' de verilmiştir.



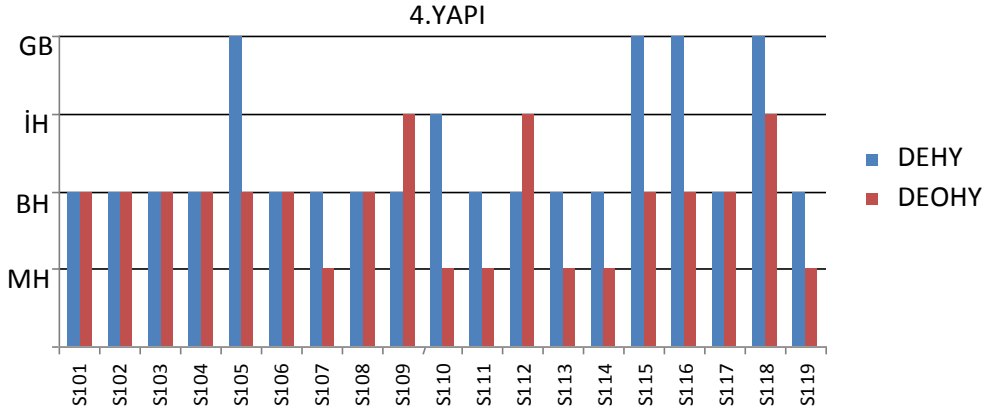
Şekil 2. 1. Yapının kolon elemanları performans sonuçları



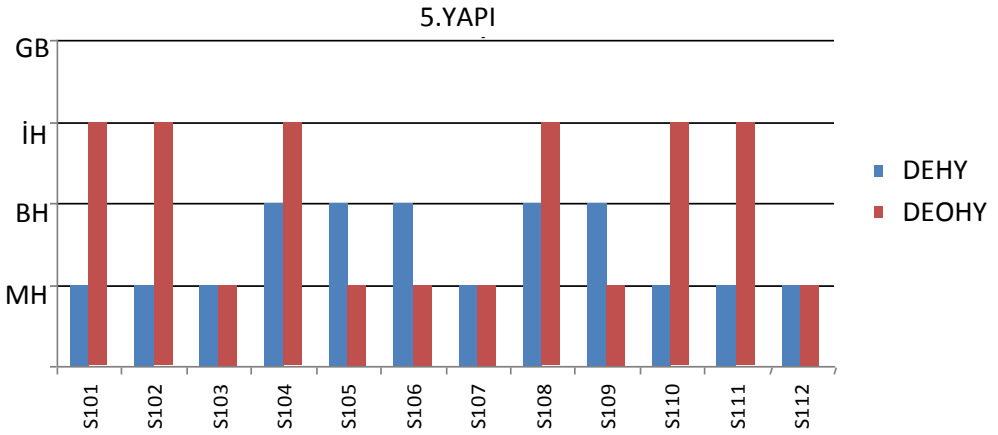
Şekil 3. 2. Yapının kolon elemanları performans sonuçları



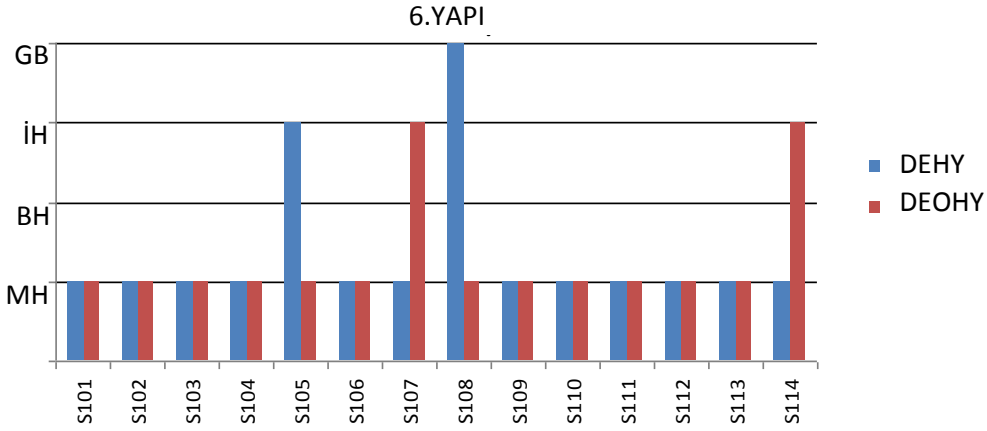
Şekil 4. 3. Yapının kolon elemanları performans sonuçları



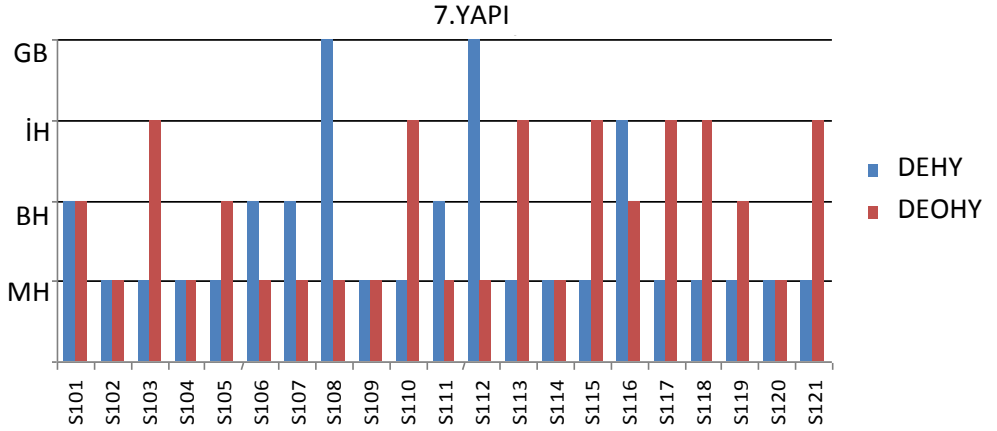
Şekil 5. 4. Yapının kolon elemanları performans sonuçları



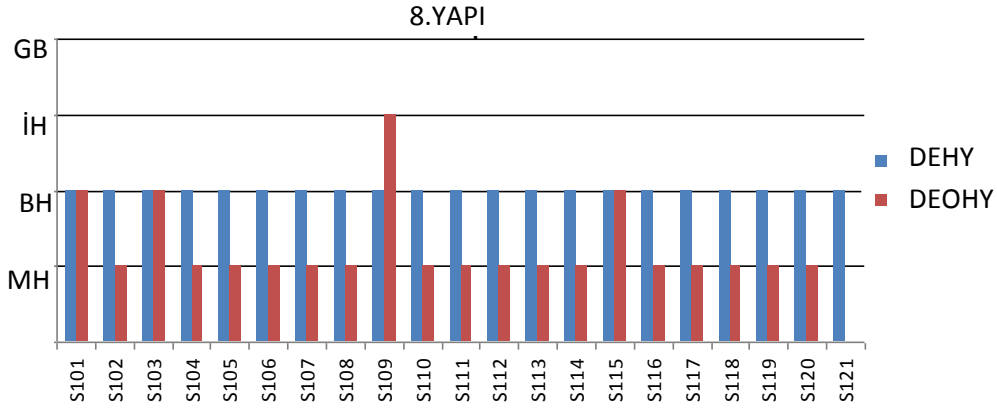
Şekil 6. 5. Yapının kolon elemanları performans sonuçları



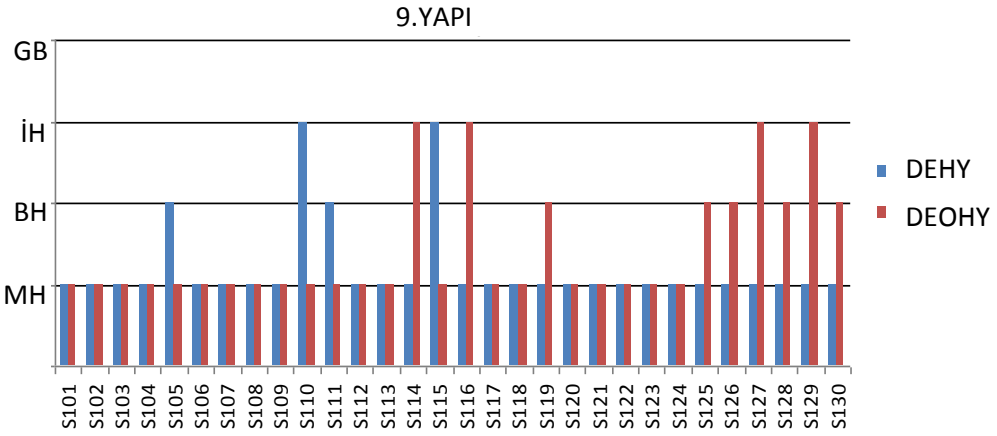
Şekil 7. 6. Yapının kolon elemanları performans sonuçları



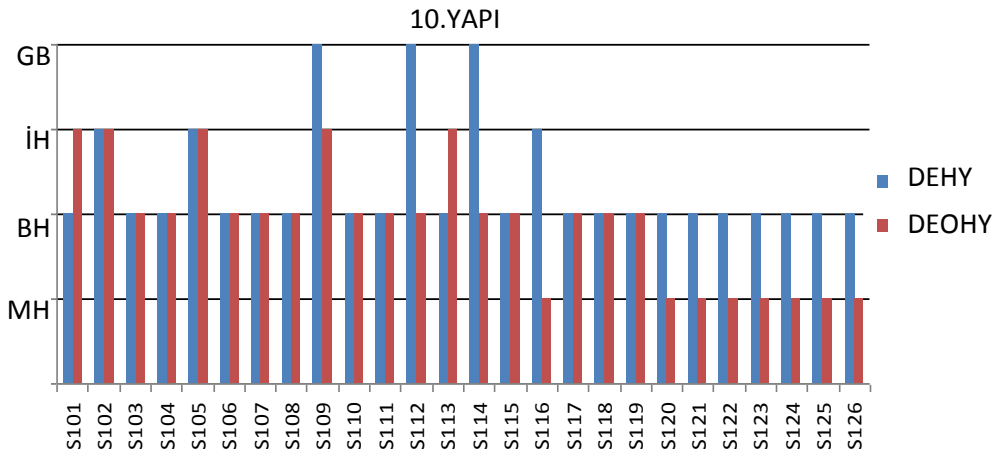
Şekil 8. 7. Yapının kolon elemanları performans sonuçları



Şekil 9. 8. Yapının kolon elemanları performans sonuçları



Şekil 10. 9. Yapının kolon elemanları performans sonuçları



Şekil 11. 10. Yapının kolon elemanları performans sonuçları

Tablo 2.Mevcut yapı performans sonuçları

No	Kat Adedi	DEHY	DEOHY
1	3	GD	CG
2	2	GD	CG
3	5	GD	CG
4	5	GD	CG
5	5	CG	GÖ
6	3	GD	CG
7	4	GD	CG
8	5	CG	CG
9	5	GÖ	CG
10	5	GD	CG

4. SONUÇLAR

Çalışma kapsamındaki mevcut binalara ait sonuçlar yönetmelikte öngörülen DEHY ve DEOHY esasları çerçevesinde incelendiğinde bina performanslarının genellikle farklı olduğu görülmüştür. Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemine göre doğrusal elastik hesap yönteminden daha kritik sonuçlar elde edilmiştir. Genel olarak elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde

- Seçilen binaların 1997 ABYYHY esaslarına göre yapılmasına rağmen DEHY ile incelenmesinde gerekli performans seviyesini genellikle sağlamadığı,
- Mevcut yapıların büyük bir kısmında kiriş hasarlarından dolayı bina performanslarının CG performans seviyesinin sağlandığı,

- Her iki yönteme göre incelenen binaların deprem performansının farklı olmasının önemli nedeni kolon performans sonuçlarının farklılığından kaynaklandığı,
- DEHY ile binaların değerlendirilmesinde yapıların CG performans seviyesini sağlamamasının önemli bir nedeni güçlü kolon zayıf kiriş şartının sağlanamamasından kaynaklandığı,
- İncelenen yapıların büyük bir çoğunluğunun DEOHY göre bina performans seviyesini sağladığı,
- DEHY ile incelenen yapıların büyük bir çoğunluğunda bir veya iki kolonun göçme bölgesinde olması nedeniyle CG performans seviyesini sağlamadığı görülmüştür.

Mevcut bir binanın değerlendirilmesinde, doğrusal elastik hesap yöntemi sonucuna göre depreme karşı güvenli olmadığı bulunurken, aynı bina için doğrusal elastik olmayan hesap yöntemi sonucuna göre güvenli olduğu söylenebilir. Dolayısıyla burada hangi yöntemin sonucunun uygulanacağı tartışmaya açık bir hal almaktadır. Bu durum olumsuz olarak görünse bile, mühendisin bina gözlemlerine dayanarak mühendislik önsezisini de dikkate alabilmesi için bir avantaj olarak da değerlendirilebilinir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 111M119 nolu proje ile desteklenmektedir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Celep, Z. (2008).Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, İstanbul, Türkiye.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007). Ankara.

İnel, M., Bilgin, H., Özmen, H. B. (2006). Mevcut Kamu Yapılarının Performans Değerlendirmesi. *Türkiye Mühendislik Haberleri* 444-445.

Sezer, F., Gençoğlu, M., Celep, Z. (2007). Deprem Yönetmeliği (2007) Kuralları İle Betonarme Binaların Deprem Güvenliğinin Değerlendirilmesine Kıyaslamalı Bir Bakış. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul.

Sucuoğlu, H. (2006). 2007 Deprem Yönetmeliği Performans Esaslı Hesap Yöntemlerinin Karşılıklı Değerlendirilmesi. *Türkiye Mühendislik Haberleri* 444-445.

Uygun, G., Celep, Z. (2007). Betonarme Bir Binanın Deprem Güvenliğinin Deprem Yönetmeliği (2007) Deki Doğrusal Ve Doğrusal Olmayan Yöntemlerle Karşılaştırmalı İncelenmesi. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul.