



Betonarme okul binasının TDY 2007'ye göre nonlinear statik analizi

Feyza Dinçer¹, Necati Mert^{1*}

¹Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Sakarya

13.12.2012 Geliş/Received, 13.03.2013 Kabul/Accepted

ÖZET

Yapıların deprem performanslarının değerlendirilmesi için son yıllarda geliştirilmiş bulunan statik itme analizine dayalı basitleştirilmiş nonlinear analiz yöntemleri, mühendislik uygulamalarında giderek daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, yapının dayanım ve deformasyon (şekil değiştirme) kapasitelerini belirleyerek ilgili performans düzeylerindeki deprem istemleri ile karşılaştırmak suretiyle, yapının performansını değerlendirmektir. TDY 2007 dikkate alınarak binalar için, performans seviyelerinin açıklamaları yapılmış ve bu performans seviyelerinin belirlenmesinde etkili olan kriterler açıklanmıştır. SAP 2000 analiz programı yardımıyla 4 katlı mevcut bir okul binasının TDY 2007 göre analizi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Nolineer Statik Analiz, Performans Metodu, Kapasite Spektrumu, TDY 2007

According to TERDC 2007 nonlinear static analysis of reinforced concrete school building

ABSTRACT

In recent years, for the assessment or evaluation of the existing buildings under the seismic loads, the Nonlinear Static Procedure (NSP) based on pushover analysis has become extremely popular in structural earthquake engineering community. This study focuses on the seismic performance evaluation of the structures. This aim can be achieved by introducing nonlinear methods for designing, analyzing and checking the design of structures so that they meet the selected performance objectives. Analysis procedures are capable of predicting the demands-forces and deformations. Taking into account Turkish Earthquake Resistant Design Code (TERDC 2007) for the construction, performance levels which are effective to determine the levels of performance criteria descriptions has been described. Four storied exiting school building is analysed by using SAP 2000 analysis program according to the TERDC 2007.

Keywords: Nonlinear Static Analysis, Performans Evaluation, Capacity Spectrum, TERDC 2007

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author mert@sakarya.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yapılar için, sabit düşey yükler altında, yatay yüklerin kademeli artırılmasıyla yapılan doğrusal olmayan hesap yöntemine “Statik itme Yöntemi” denir. Bu yöntem, binanın deprem esnasındaki davranışını daha gerçekçi olarak temsil ettiği için, hesaplamaların daha doğru bir şekilde yapılmasına imkân tanımaktadır. Statik itme yönteminde binanın tüm elemanlarının deformasyon davranışları tanımlanır. Bu hesaplama yönteminde malzemenin elastiklik sınırları dışında kalan plastiklik kapasitesinden de yararlanılmaktadır [1].

Deprem mühendisliğinde “deplasmana göre tasarım” veya “şekil değiştirmeye göre tasarım” olarak ta isimlendirilen “performansa dayalı tasarım” kavramı 1960 li yıllara kadar uzanmaktadır. Ancak, literatürde, çok serbestlik dereceli (ÇSD) bir yapı sisteminin elastik ötesi dinamik davranışını, tek serbestlik dereceli (TSD) yapı davranışı ile ilişkilendiren ilk çalışma (Substitute Method -Yerine Koyma Metodu) Gülkan ve Sözen tarafından yapılmıştır [2].

Performans tabanlı mühendislik uygulamalarında kullanılan başka bir kavramda Kapasite Spektrumu kavramıdır. Kapasite Spektrum Yöntemi, 1975 yılında Freeman vd. tarafından, mevcut yapıların sismik açıdan hasar görebilirliğinin hızlı bir şekilde değerlendirilmesi için geliştirilen bir yöntemdir [3].

Şekil değiştirmeye göre tasarım yönteminin kullanımında iki farklı yaklaşım söz konusudur. Birinci yaklaşım, SEAOC [4], FEMA [5], Fajfar [6], Aschheim [7] ve UBC [8] un benimsediği, “başlangıç rijitliği”nin esas alındığı yaklaşımdır. İkinci yaklaşım ise, Gülkan ve Sözen [2] tarafından ortaya konan ve Freeman [9], Priestley [10] ve Chopra [11] tarafından benimsenen “sekant rijitlik yaklaşımı”dır.

Bu çalışmada, bir yapının deprem davranışına katkısı olan tüm modları tutarlı biçimde hesaba katan çok modlu doğrusal olmayan bir itme analizi yöntemi anlatılmaktadır. Sunulan yöntemde her kat için türetilen farklı bir genel yük vektörü ile itme analizleri yapılmaktadır. Dolayısıyla kat sayısı kadar itme analizi yapılmakta, her kat ile ilgili iç kuvvet ve şekil değiştirme değerleri kendi genel yük vektörü ile yapılan itme analizinden elde edilmektedir. Her kata ait genel yük vektörü her modun farklı katkısından oluşmakta, ilgili katın kat arası ötelenmesi maksimum değere ulaştığında yapıya etki eden yatay yük dağılımını temsil etmektedir. Bir katın itme analizi o katın hedef kat arası ötelenme değerine ulaşıncaya kadar adım-adım devam eder. [12]

Bu çalışmada, Antalya’ da bulunan ve 1975 Deprem Yönetmeliğine göre inşa edilmiş 4 katlı betonarme bir okul binası, TDY 2007’ye göre incelenmiştir. SAP2000 [13] bilgisayar programının yardımıyla statik itme analizleri yapılarak yapının performans seviyesi belirlenmiştir.

2. ARTIMSAL İTME ANALİZİ VE PERFORMANS KAVRAMI (THE CONCEPT OF PUSHING AND PERFORMANCE ANALYSIS OF INCREMENTAL)

Deprem etkisi altında mevcut binaların yapısal performanslarının belirlenmesi ve güçlendirme analizleri için kullanılacak doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin amacı, verilen bir deprem için sünek davranışa ilişkin plastik şekil değiştirme istemleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemlerinin hesaplanmasıdır.

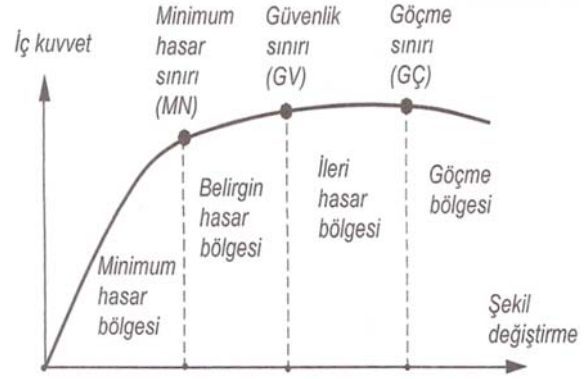
Doğrusal olmayan analiz yöntemleri, yapıların göçme anına kadar olan davranışına dair oldukça yaklaşık sonuçlar vermektedir. Ayrıca deprem etkisinde binanın davranışı ile ilgili mekanizma durumlarını gösterecek sonuçlar sunabildiği için gerçekçi çözümler üretilmesine olanak tanır.

DBYBHY’07 [14] kapsamında yer alan üç tip doğrusal olmayan analiz yöntemi vardır. Bunlar; Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi’dir. İlk iki yöntem, yönetmelikte doğrusal olmayan deprem performansının belirlenmesi ve güçlendirme hesapları için temel alınan Artımsal İtme Analizi’nde kullanılacak olan yöntemlerdir.

Artımsal İtme Analizi kullanılarak yapılacak doğrusal elastik olmayan performans değerlendirmesinde izlenecek adımlar aşağıda özetlenmiştir.

- Deprem hesabına ilişkin genel ilke ve kurallara ek olarak, taşıyıcı sistem elemanlarında doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesi ve analiz modelinin oluşturulması için yönetmelikte doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesinde tanımlanan kurallara uyulacaktır.
- Artımsal itme analizinden önce, kütlelerle uyumlu düşey yüklerin göz önüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılacaktır.
- Artımsal itme analizinin Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile yapılması durumunda, koordinatları “modal yer değiştirme-modal ivme” olarak tanımlanan birinci (hakim)

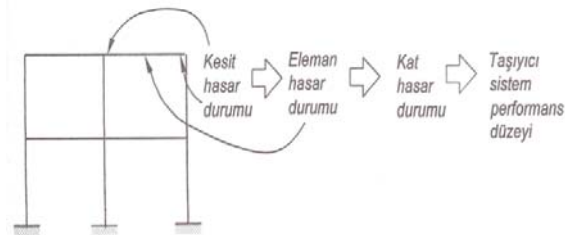
- moda ait “modal kapasite diyagramı” elde edilecektir.
- d) Artımsal itme analizinin Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ile yapılması durumunda, göz önüne alınan bütün modlara ait “modal kapasite diyagramları” ile birlikte modal yerdeğiştirme istemleri de elde edilecek, bunlara bağlı olarak taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme (plastik dönmeler) ve iç kuvvet istemleri hesaplanacaktır.
- e) Plastikleşen (sünek) kesitlerde hesaplanmış bulunan plastik dönme istemlerinden plastik eğrilik istemleri ve DBYBHY'07 7.6.8'e göre toplam eğrilik istemleri elde edilecektir. Daha sonra bunlara bağlı olarak betonarme kesitlerde betonda ve donatı çeliğinde meydana gelen birim şekildeğiştirme istemleri hesaplanacaktır. Bu istem değerleri, kesit düzeyinde çeşitli hasar sınırları için DBYBHY'07 7.6.9'da tanımlanan betonarme elemanların kesit birim şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit düzeyinde sünek davranışa ilişkin performans değerlendirilmesi yapılacaktır.



Şekil 2.2. Kesit hasar sınırları ve bölgeleri [1] (Cross-section boundaries and regions of damage)

Taşıyıcı sistem için bu sınırların matematiksel olarak tanımlanması kolay değildir. Kesit hasar sınırlarından eleman hasar sınırları elde edildiği gibi, eleman hasar sınırlarından taşıyıcı sistem performans düzeyleri tanımlanır. Değerlendirmenin binanın her iki doğrultusu için ve her katta ayrı ayrı yapılması gerekir (Şekil 2.1).

Deprem etkisindeki taşıyıcı sistemin davranışı, Şekil 2.2'deki gibi örneğin en üst kat yer değiştirmesi ve toplam deprem taban kesme kuvveti arasında çizilecek eğri ile yorumlanabilir. Benzer şekilde elastik davranışa benzetilebilecek ilk bölümden sonra elasto-plastik davranışı simgeleyen bir bölüm ortaya çıkar. Bu eğri üzerinde elastik ötesi davranışın (elasto-plastik şekil değiştirmeye) belirgin başlangıcına ve sınırlı hasara karşı geldiği için, Hemen Kullanım Performans Düzeyi (HK) olarak isimlendirilir. Büyük yer değiştirmelerden sonra dış statik deprem yükünün azalmaya yüz tutması



Şekil 2.1. Hasar durumlarından bina (taşıyıcı sistem) performans düzeyine geçiş [1] (In case of damage the building (structural) level of performance in the transition)

taşıyıcı sistemde güç tükenmesinin ortaya çıkmasına işaret eder ve Göçme Öncesi Performans Düzeyi (GÖ) olarak bilinir. Can Güvenliği Performans Düzeyi (CG) taşıyıcı sistemin sınırlı elastik ötesi şekil değiştirmelerle yatay yük kapasitesini güvenli olarak karşılayabileceği sınırı olarak tanımlanır [15].

Deprem Yönetmeliği'nde mevcut betonarme binaların deprem güvenliğinin değerlendirilmesinin performans kavramına dayalı yapılması öngörülmüştür. Değerlendirilecek veya güçlendirildikten sonra yeterliliğine karar verilecek binalar ile ilgili deprem performansı belirleme çalışmaları düşey yüklerin ve deprem etkilerinin birleşik etkisi altında incelenir. Performans seviyesi, depremden sonra binada meydana gelecek hasar seviyesi ile ölçülür. Binaların deprem performansı, taşıyıcı sistem elemanlarının (kiriş, kolon ve perde) deprem hasar seviyesinin bir bütünü olarak ifade edilebilir. Kesitin hasar durumunun belirlenmesi, çözüm neticesinde elde edilecek iç kuvvetler veya şekil değiştirmelerin, yönetmelikte tanımlanan sınır değerlerle karşılaştırılmasıyla yapılır. Bir taşıyıcı sistem elemanlarının hasar durumu, bu elemanın depremde en çok zorlandığı kabul edilen ve doğrusal olmayan şekil değiştirmenin ortaya çıkması beklenen kesitlerin hasar durumları değerlendirilerek tanımlanır [15].

3.SAYISAL UYGULAMA (NUMERICAL APPLICATION)

Bu bölümde, performansa dayalı tasarım metodu ile kullanım amacı okul olan 4 katlı bir binanın performans düzeyinin TDY 2007'ye göre belirlenmesine yer verilmiştir.

Statik itme analizinin daha iyi anlaşılabilmesi için parametrik çalışmalar yapılmıştır. Sisteme etkiyen yükler (deprem yükleri, hareketli yükler, sabit yükler) sabit tutularak; malzeme özellikleri (E , f_c , f_y) değiştirilip bu parametrelerin performans noktası değerlerine etkileri araştırılmıştır.

Yapı taşıyıcı sistemi, x doğrultusunda 12 eksen, y doğrultusunda ise 9 eksenden oluşmaktadır. Yapının kat yükseklikleri her katta 3,30 metre olup, yapı çerçeve sistem olarak teşkil edilmiştir (Şekil 3.1).

Bölümde, TDY 2007'ye göre belirtilen hesap yöntemlerinden doğrusal elastik olmayan artımsal mod birleştirme yöntemi kullanılarak binanın x doğrultusu için çözüm yapılmış ve performans düzeyleri belirlenmiştir. Bilgisayar uygulamaları için SAP2000 [13] programı kullanılarak çözümlene gerçekleştirilmiştir.

3.1.Genel Bilgiler (General Information)

Bina Bilgileri

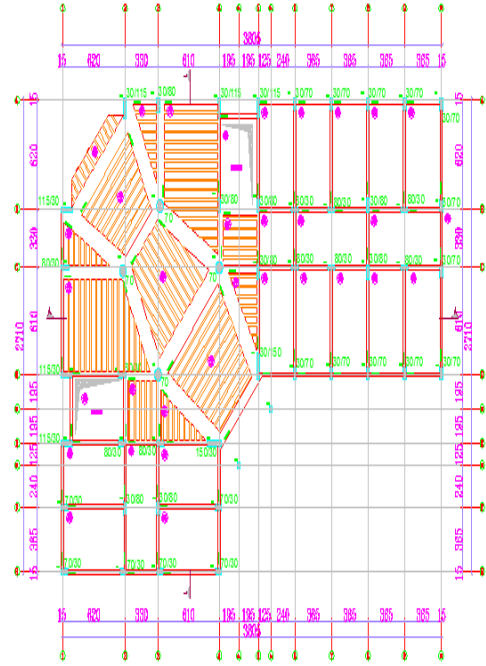
- Kat Adedi 4
- Bina Kat Yüksekliği 3,30 m
- Toplam Bina Yüksekliği 13,20m
- Bina Oturma Alanı 342m²
- Kullanım Amacı Okul

Malzeme Bilgileri

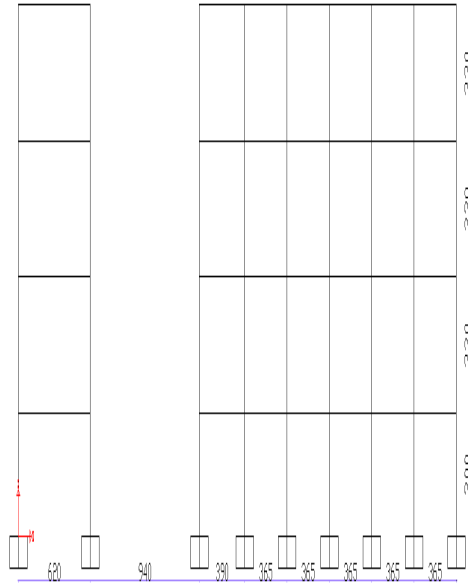
- Beton C6($f_{ck}=6$ MPa)
- Donatı Çeliği S220 ($f_{yk}=220$ MPa)
- Betonarme Elastisite Modülü 28 GPa
- Donatı Çeliği Elastisite Modülü 200 GPa
- Beton Malzeme Güvenlik Katsayısı 1
- Donatı Çeliği Malzeme Güvenlik Katsayısı 1

Proje Parametreleri

- Deprem Bölgesi 2
- Yerel Zemin Sınıfı Z2
- Spektrum Karakteristik Periyotları $T_A=0.15$, $T_B=0.4$
- Etkin Yer İvme Katsayısı 0.30
- Bina Kalıp Planları Mevcut
- Betonarme Uygulama Çizimleri Mevcut
- Bilgi Düzeyi Kapsamlı
- Bilgi Düzeyi Katsayısı 1
- Donatı Gerçekleşme Katsayısı 1



Şekil 3.1. Mevcut yapıya ait kat planı (Floor plan of the existing structure)



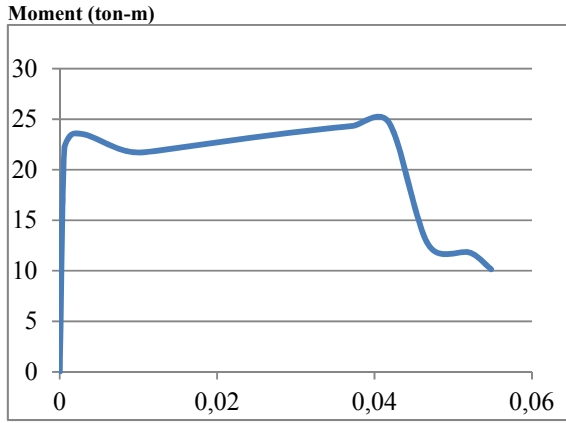
Şekil 3.2. X - Z doğrultusundaki en kesit (X - Z direction cross-sectional)

Katlardaki kolon ve kiriş boyutları ve donatı bilgisi ise Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de verilmiştir. Taşıyıcı sistemde perde elemanlar bulunmamaktadır. Tüm kolonlar üzerinde işlem yapılan 0 derecelik açı için akma eğrileri

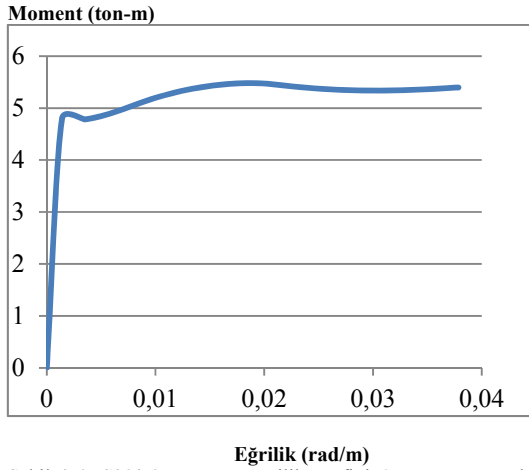
Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Kolon kesitleri ve donatı bilgileri (Column cross-section and reinforcement details)

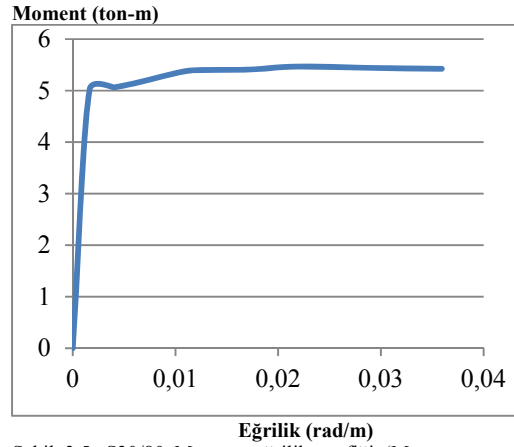
Kolon Kesitleri	D=7	30x7	30x8	30x9	30x1	30x1
	0	0	0	0	15	50
Kolon Donatı	24φ1	8φ1	10φ1	10φ1	14φ1	18φ1
Bilgileri	6	4	4	4	4	4
		4φ1	4φ16	4φ16	4φ16	4φ16
		6				



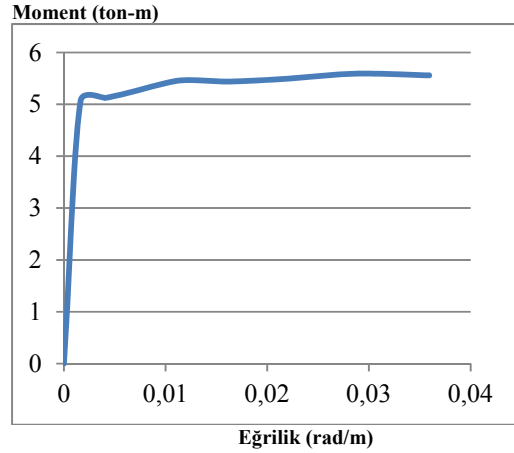
Şekil 3.3. S (D=70) Moment eğrilik grafiği (Moment artışıyla donatı akma ilişkisi.) (Moment curvature of the graph (an increase in the torque flow reinforcement relationship.)



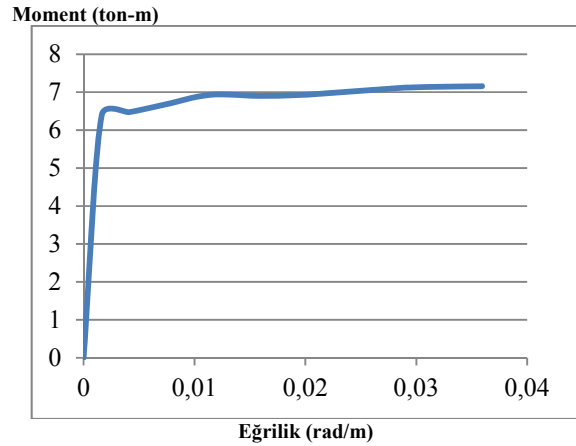
Şekil 3.4. S30/70 Moment eğrilik grafiği (Moment artışıyla donatı akma ilişkisi.) (Moment curvature of the graph (an increase in the torque flow reinforcement relationship.)



Şekil 3.5. S30/80 Moment eğrilik grafiği (Moment artışıyla donatı akma ilişkisi.) (Moment curvature of the graph (an increase in the torque flow reinforcement relationship.)

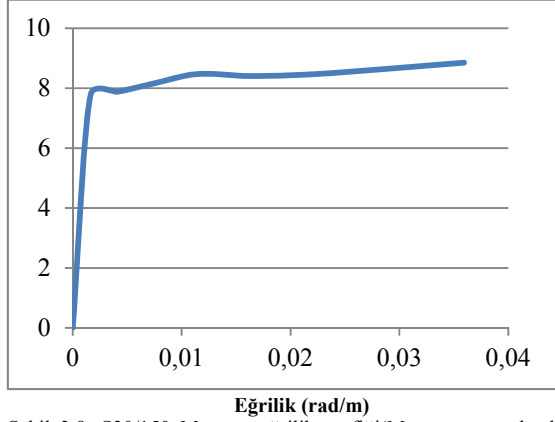


Şekil 3.6. S30/90 Moment eğrilik grafiği (Moment artışıyla donatı akma ilişkisi.) (Moment curvature of the graph (an increase in the torque flow reinforcement relationship.)



Şekil 3.7. S30/115 Moment eğrilik grafiği (Moment artışıyla donatı akma ilişkisi.) (Moment curvature of the graph (an increase in the torque flow reinforcement relationship.)

Moment (ton-m)



Şekil 3.8. S30/150 Moment eğrilik grafiği (Moment artışıyla donatı akma ilişkisi.) (Moment curvature of the graph (an increase in the torque flow reinforcement relationship.)

Tablo 3.2. Kiriş kesitleri ve donatı bilgileri (Beam cross-section and reinforcement details)

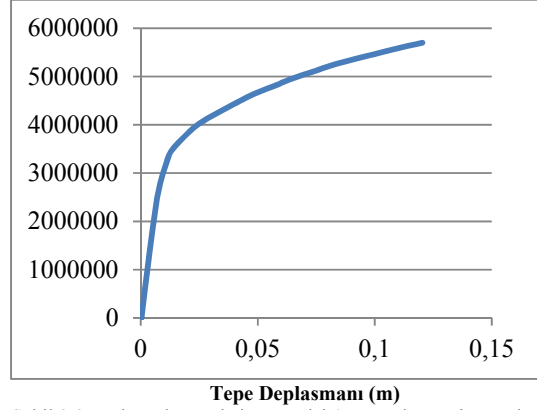
Kiriş Kesitleri	40/3	50/32	60/32	70/32	80/32	100/32	120/32	25/60
Kiriş	4φ	4φ	4φ	7φ	10	12	20	4φ
Donatı Bilgileri	12	12	12	14	φ1 4	φ1 6	φ1 6	16+ 2φ 16
	2φ 12	3φ 12	5φ 14	6φ 14	8φ 14	8φ 14	10 φ1 6	4φ 12

Binanın kullanım amacının okul olması dolayısı ile 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremde Hemen Kullanım, performans hedefini sağlaması öngörülmektedir. 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem için tasarım depremi ifadesi kullanılacaktır.

3.2.Sayısal Çözümleme (Numerical Analysis)

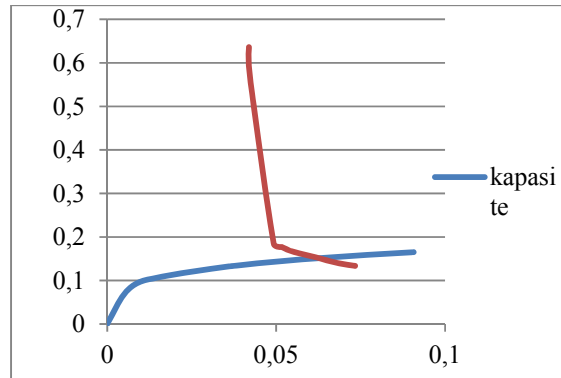
TDY 2007 7.6.3.(b)'ye göre artımsal itme analizinden önce, kütlelerle uyumlu düşey yüklerin göz önüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılmıştır. Bu analiz sonuçları, artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olarak dikkate alınmıştır. Her iki doğrultuda birinci doğal titreşim modu ile orantılı olarak katlara gelen yükler altında yapılan itme analizinden, eksenleri tepe yer değiştirmesi ve taban kesme kuvveti olan itme eğrileri elde edilmiştir.

Taban Kesme Kuvveti (ton)



Şekil 3.9. X doğrultusunda itme eğrisi (Kesme kuvveti - yerdeğiştirme ilişkisi.) (In the X direction thrust curve (shear force - displacement relationship))

X doğrultusu için statik itme eğrisi, eksenleri modal yer değiştirmesi - modal ivme olan modal kapasite diyagramına dönüştürüldükten sonra, tasarım depremi için spektrum eğrisi, talep (istem) spektrumuna dönüştürülmüş ve kapasite diyagramıyla ilişkisi incelenmiştir. x doğrultusunda tasarım depremi için talep ve kapasite eğrileri Şekil 3.10'da verilmiştir.



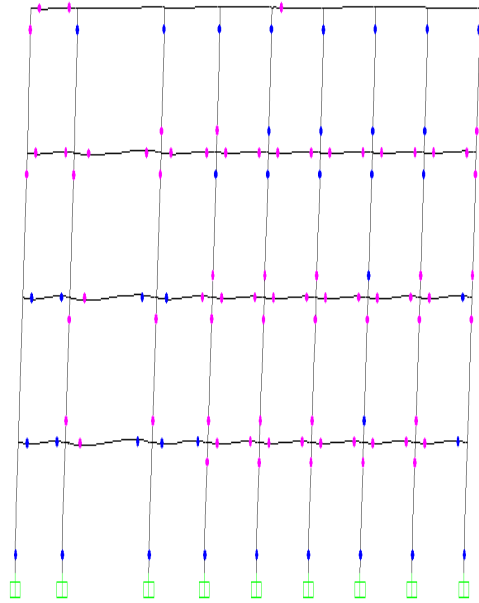
Şekil 3.10. X doğrultusunda tasarım depremi için talep ve kapasite eğrileri (Demand and capacity curves for the design earthquake in the X direction)

Bodrum + 4 katlı yapıya ait performans noktası değerleri aşağıdaki Tablo 3.3' de verilmiştir.

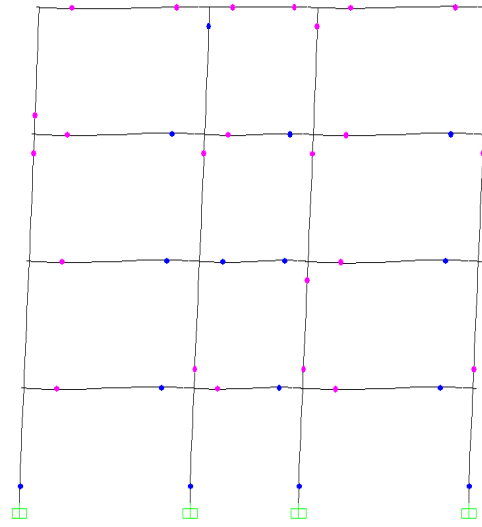
Tablo 3.3. X doğrultusunda tasarım depremi için performans noktası değerleri (Point values for the performance of the design earthquake in the X direction)

Performans Noktası			
Taban kesme kuvveti, V (t)	Yerdeğiştirme, D (m)	Spektral ivme / g Sa	Spektral yerdeğiştirme, Sd (m)
524.915	0.083	0.152	0.063

Taşıyıcı sistemin modal yerdeğiştirme istemi belirlenerek itme analizi yerdeğiştirme istemi sınır kabul ederek tekrarlanır. İtme analizi altında oluşan birim şekil değiştirmeler yönetmelikte belirtilen sınırlarla karşılaştırılarak taşıyıcı sistemin mevcut performans durumu belirlenir. Okul olarak kullanılan bu yapıda tasarım depremi altında hemen kullanım performans seviyesi elde edilmelidir. Oluşan plastik mafsallar aks bazında ekran görüntüsü olarak her iki yönde verilmiştir. Burada pembe renk ile gösterilen durum minimum hasar sınırını mavi renkle ifade edilen durum belirgin hasar sınırını ifade etmektedir.



Şekil 3.11. A-A aksı, x doğrultusu için analiz sonucunda oluşan plastik mafsal durumu, minimum hasar bölgesi (pembe), belirgin hasar bölgesi (mavi) (AA axis, x direction of the plastic hinge status as a result of the analysis, the minimum damage to the region (pink), significant damage to the region (blue))



Şekil 3.12. 10-10 aksı, y doğrultusu için analiz sonucunda oluşan plastik mafsal durumu, minimum hasar bölgesi (pembe), belirgin hasar bölgesi (mavi) (10-10 axis, y direction of the plastic hinge status as a result of the analysis, the minimum damage to the region (pink), significant damage to the region (blue))

DBYBHY'07 de, düşey taşıyıcı elemanların hiçbirinin minimum hasar seviyesini geçmemesi ve kirişlerin en fazla yüzde 10'unun belirgin hasar bölgesinde olması ve belirgin hasar bölgesinde kolon ve perde bulunmaması durumunda bina hemen kullanım durumunda olduğu kabul edilmektedir. Bu ifadeye göre değerlendirildiğinde de; kirişlerin %10' dan daha fazlasının belirgin hasar bölgesinde olduğu için hemen kullanım performans düzeyini sağlamamaktadır.

Tablo 3.4. Tasarım depremi x doğrultusu eleman hasar durumları (Design earthquake damage of the element x direction)

	Eleman	Minimum Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar	Göçme
4. Kat	Kiriş	%100	0	0	0
	Kolon	0	0	0	0
3. Kat	Kiriş	%96	%4	0	0
	Kolon	%27	%34	0	0
2. Kat	Kiriş	%67	%33	0	0
	Kolon	%22	%25	0	0
1. Kat	Kiriş	%58	%41	%1	0
	Kolon	%22	%98	0	0

3.3. Parametrik Çalışma (Parametric Study)

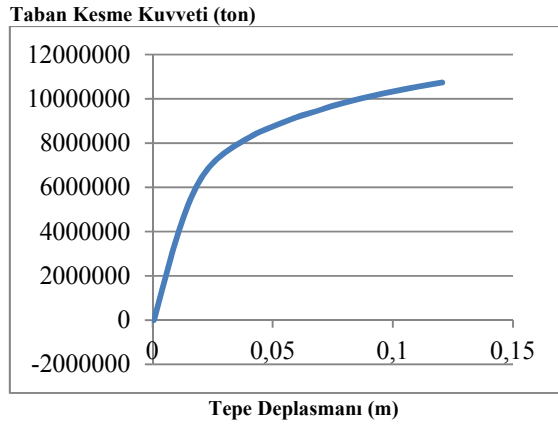
Çalışmanın bu bölümünde mevcut okul binası üzerinde parametre değişikliklerinin performans noktasına etkisini incelemek amacıyla aşağıdaki değişiklikler yapılmıştır. Performans noktasına beton ve donatı sınıfının etkisini incelemek amacıyla; kolon ve kiriş kesitleri, kat yükseklikleri sabit tutularak beton ve donatı sınıfları değiştirilip çözümlenmeler yapılmıştır.

Çözümleme için beton ve donatı sınıfında yapılan değişiklikler Tablo 3.5'de verilmiştir.

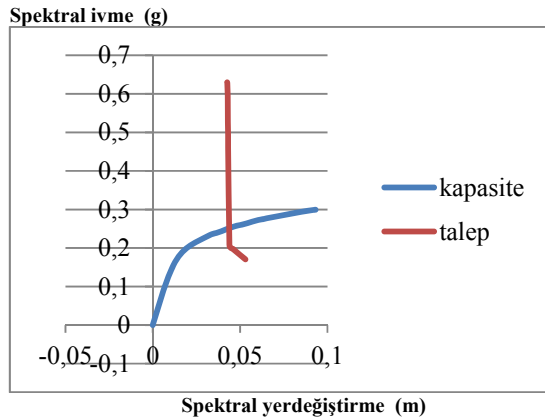
Tablo 3.5. Yapılan çözümlemede değiştirilen beton ve donatı sınıfı (Replaced with concrete and reinforcement class analysis)

Beton Sınıfı (fc)	Donatı Sınıfı (fy)	Elastisite modülü, E (kN/m ²)	Beton basınç mukavemeti, fc (kN/m ²)
C20	S420	28500000	20000

Beton ve donatı sınıfı değişimi sonucu oluşan itme eğrisi Şekil 3.13'de, talep ve kapasite eğrileri Şekil 3.14'de gösterilmiştir.



Şekil 3.13. C20,S420 için X doğrultusunda itme eğrisi (Kesme kuvveti - yerdeğiştirme ilişkisi) (C20, S420 thrust curve for the X direction (shear force - displacement relationship))



Şekil 3.14. C20,S420 için X doğrultusunda talep ve kapasite eğrileri (C20, S420 demand and capacity curves for the X direction)

Beton ve donatı sınıfında yapılan değişiklik sonucunda X doğrultusunda performans noktasında (V, D, S_a, S_d) meydana gelen değişiklikler aşağıdaki Tablo 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.6. X doğrultusunda beton ve donatı sınıfındaki değişikliğin performans noktasına etkisi (The effect of changes in class performance concrete and reinforcement point in the X direction)

Beton ve donatı sınıfı	Performans Noktası			
	Taban kesme kuvveti, V (t)	Yerdeğiştirme, D (m)	Spektral ivme / g Sa	Spektral yerdeğiştirme, Sd (m)
C6,S220	524.91	0.083	0.152	0.063
C20,S420	877.46	0,051	0,243	0,039

Yapılan çözümleme sonucunda beton sınıfının C6 iken C20 olması ile donatı sınıfının S220 iken S420 olması, X doğrultusunda performans noktasına karşılık gelen taban kesme kuvvetinde %67.16'lık bir artış meydana getirirken deplasman değerinde %38.55'lik bir azalma göstermektedir.

4.SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bilindiği gibi ülkemiz aktif bir deprem kuşağı üzerinde bulunmaktadır. Bu nedenle değişik zamanlarda önemli büyüklüklerde depremler meydana gelmektedir. Ülkemizdeki yapılar açısından gerçek deprem davranışı büyük önem taşımaktadır. Daha önceleri yapılan mühendislik hesaplamalarında elastik yöntemler kullanılmaktadır. Oysa yapılan çalışmalar nonlineer hesabın önemini ortaya çıkarmıştır. Elastik yöntemin kullanıldığı hesaplarda nonlineer davranış deprem yüklerinin azaltılması esasına göre dikkate alınmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar yapıların tasarımında nonlineerliğin dikkate alınması için çeşitli yöntemler önermiştir. Çoğunlukla plastik mafsal teorisine dayalı basitleştirilmiş nonlineer hesap olarak bilinen "statik itme analizi" kullanılmaktadır. Bu analizde yapıda meydana gelen yer değiştirmeler ve buna karşı gelen kesit etkileri ve yapı elemanlarında meydana gelen lineer-nonlineer şekil değiştirmeler belirlenebilmektedir. Bu sonuçlardan yararlanarak yapıların performansları hakkında yorumlar yapmamıza olanak sağlamaktadır. Bu doğrultuda, doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan davranışı esas alan yaklaşımlar ile mevcut binaların değerlendirilmesi için Türk Deprem Yönetmeliği 2007'de (TDY 2007) yeni bir bölüm eklenmiştir.

Çalışmada incelenen mevcut okul binasının statik itme analizi yapılarak, yapıya ait kapasite eğrisi çizilmiş ve performans seviyesi belirlenmiştir. Söz konusu yapının taşıyıcı sistemi, TDY 2007'ye göre tasarım deprem için hedeflenen performans düzeyini sağlayamadığı belirlenmiştir. Yapının güçlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Yapılan parametrik çalışmada ise bazı parametrelerin performans noktası üzerindeki etkileri araştırılmıştır; Donatı ve beton sınıfı değiştirilmesi durumunda;

Tablo 4.1. X doğrultusunda beton ve donatı sınıfındaki değişikliğin performans noktasına etkisi (The effect of changes in class performance concrete and reinforcement point in the X direction)

Beton ve donatı sınıfı	Performans Noktası			
	Taban kesme kuvveti, V (t)	Yerdeğiştirme, D (m)	Spektral ivme / g Sa	Spektral yerdeğiştirme, Sd (m)
C6,S220	524.915	0.083	0.152	0.063
C20,S420	877.460	0,051	0,243	0,039

Beton sınıfının C6 iken C20 olması ile donatı sınıfının S220 iken S420 olması, X doğrultusunda performans noktasına karşılık gelen taban kesme kuvvetinde %67.16'lık bir artış meydana getirirken deplasman değerinde %38.55'lik bir azalma göstermektedir.

Yapıların güçlendirilmesinde statik itme analizi kullanılması ve performansa göre dizayn edilmesi daha gerçekçi sonuçlar elde etmemizi sağlar. Buna bağlı olarak sistemin deprem sonrası mevcut durumunun belirlenmesi ve ona göre bir çözüm üretilmesi (güçlendirme yapılması) daha uygun olmaktadır. Ayrıca yeni yapılacak yapıların tasarımında, deprem sonrası olabilecek hasar durumlarının daha gerçekçi belirlenmesi açısından da kullanılması uygundur.

Bu güncel metodlar ışığında, eski yönetmeliklere göre tasarlanan ve inşa edilen mevcut binaların büyük bir bölümünün yeni yönetmeliklere göre güvenli olma ihtimali azalmıştır. Çoğunlukla 1975 Deprem Yönetmeliği şartlarına göre projelendirilmiş, inşa edilmiş ve önemli bir kısmında C18'den düşük beton dayanımına ve S220 sınıfı donatıya sahip olan bu binaların deprem performans seviyelerinin belirlenmesi ve yetersiz olanların güçlendirilerek gerekli performans seviyesine getirilmesi, meydana gelecek depremlerde can kayıplarının azaltılması bakımından son derece önemlidir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] ATC (1996), "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings (ATC-40)", Applied Technology Council, Redwood City, California, 1996.
- [2] GÜLKAN, P., SÖZEN, M., "Inelastic Response of Reinforced Concrete Structures to Earthquake Motions.", pp. 604-610, ACI Journal, 1974.

- [3] FREEMAN, S.A., "Development and Use of Capacity Spektrum Method", 6th US National Conference on Earthquake Engineering, 1998.
- [4] SEAOC, "Recommended Lateral Force Requirements and Commentary", 7th Ed, 1999.
- [5] FEMA, "NEHRP Commentary on the guidelines for the seismic rehabilitation of buildings.", FEMA 274, Washington D.C., 1997.
- [6] FAJFAR, P., "A Non-Linear Analysis Method for Performance-Based Seismic Design", Earthquake Spectra, pp. 573-592, 2000.
- [7] ASCHHEIM, M.A., BLACK E.F., "Yield Point Spectra for Seismic Design and Rehabilitation", Earthquake Spectra, pp. 317-336, 2000.
- [8] UBC, "Uniform Building Code" International Conference of Building Officials, 1997.
- [9] FREEMAN, S.A., "Prediction of Response of Concrete Buildings to Sever Earthquake Motion", Special Publication, pp. 589-605, ACI, 1978.
- [10] PRIESTLEY, M.J.N., "Myths and Fallacies in Earthquake Engineering – Conflicts Between Design and Reality", Bulletin of the NZ National Society for Earthquake Engineering, pp. 329-341, 1993.
- [11] CHOPRA, A.K., GOEL, R.K., "Capacity-Demand-Diagram Methods Based on Inelastic Design Spectrum", Earthquake Spectra, pp. 637-656, 1999.
- [12] SUCUOĞLU, H. ve GÜNAY M. S., "Generalized force vectors for multi-mode pushover analysis. Earthquake Engineering and Structural Dynamics", 2010.
- [13] SAP 2000, Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc., Berkeley, California, 2000. "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007", İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, 2010.
- [14] CELEP, Z., "Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış Ve Çözümleme", Beta Dağıtım, İstanbul, 2008.

