

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**STATİK İTME ANALİZİ YÖNTEMİYLE BETONARME YAPILARIN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Barbaros Recep YILMAZ

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı

MANİSA 2010

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

STATİK İTME ANALİZİ YÖNTEMİYLE BETONARME YAPILARIN
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Barbaros Recep YILMAZ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07.06.2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 15.06.2010

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Celal KOZANOĞLU

Diğer Jüri Üyeleri : Doç.Dr. Gökhan ALTINTAŞ

Doç. Dr. Enver ATİK

MANİSA 2010

İÇİNDEKİLER

SİMGELER LİSTESİ	III
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	VII
KISALTMALAR	XIII
TEŞEKKÜR	IX
ÖZET	X
ABSTRACT	XI
BÖLÜM 1.GİRİŞ	1
1.1. Konu ile ilgili çalışmalar	3
BÖLÜM 2. YAPILAR ÜZERİNDE DEPREM ETKİSİ	6
2.1. Giriş	6
2.2. Temel İlkeler	6
2.3. Deprem Etkisi Altında Davranış	7
2.4. Taşıyıcı Sistem Özelliklerinin Deprem Davranışına Etkileri	8
2.4.1. Geometri	8
2.4.2. Süreklilik	8
2.4.3. Süneklik	8
2.4.4. Rijitlik	9
2.5. Elastik Deprem Yüklerinin Tanımlanması	9
BÖLÜM 3. YAPILARIN DOĞRUSAL OLMAYAN (NONLINEER)ANALİZİ	13
3.1 Giriş	13
3.2. Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Davranışının Nedenleri	13
3.3. Malzeme Davranışının Doğrusal Olmaması	13
3.4 Yapı Malzemelerinin Gerilme-Şekil değiştime Bağlılıkları	15
3.4.1. Beton Çeliği	15
3.4.2 Beton	15
3.5 DBYBHY-2007'de Verilen Artımsal İtme Analizi Yöntemleri	17
3.5.1. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi	17
3.5.2 Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi	17
3.5.3 Zaman Tanım Alanında Artımsal Hesap Yöntemi	17
3.6 TDY 2007 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi (Statik İtme - Pushover Analizi)	18
3.6.1 İtme eğrisinin belirlenmesi	21
3.6.2 Plastik Mafsal Hipotezinin Esasları	22
BÖLÜM 4. KULLANILAN ANALİZ PROGRAMLARI	23
4.1 Giriş	23
4.2 SAP 2000 Programı	23

4.3 SAP2000'le STATİK İTME (PUSHOVER) ANALİZİ	24
4.3.1 SAP2000'de Eleman Tanımlanması	27
4.3.2 Analiz dosyalarının (analysis cases) tanımı	29
BÖLÜM 5. ÖRNEK BİR BETONARME BİNANIN BİLGİSAYAR ORTAMINDA ANALİZİ	30
5.1 Giriş	30
5.2 Yapı Bilgileri	30
5.2.1 Genel yapı bilgileri	30
5.2.2 İncelenen Taşıyıcı Sistem	33
5.2.3 Sistemdeki Kolon ve Kiriş Kesitleri	35
5.3 Yapıya Etki Eden Yükler	36
5.3.1 Düşey yükler	36
5.3.1.1. Ölü yükler	36
5.3.1.2. Hareketli yükler	36
5.3.1.3. Düşey yüklerin hesaplanması ve tanıtılması	36
5.3.2 Yatay yükler	37
5.3.3 Düşüm Noktalarına Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüklerinin Bulunması	42
5.3.4 Olası Plastik Mafsal Atamaları	43
5.3.5 Sisteme Pdüşey ve Pyatay yüklerinin etkilmesi	48
5.3.6 Yapının X Yönündeki Taban Kesme kuvveti- Tepe Değiştirmesi	51
5.3.7 Yapının Y Yönündeki Taban Kesme kuvveti- Tepe Değiştirmesi	53
BÖLÜM 6. SONUÇLAR	55
KAYNAKLAR	56
ÖZGEÇMİŞ	59

SİMGELER

$A(T_1)$: T1 periyot değerindeki spektral ivme katsayısı
A_0	: Etkin yer ivmesi katsayısı
A_c	: Kolonun brüt kesit alanı
A_s	: Boyuna donatı alanı
b	: Kesit genişliği
CR_1	: Birinci moda ait spektral yer değiştirme oranı
D	: Kirişin ve kolonun faydalı yüksekliği, modal yer değiştirme
d	: Yer değiştirme
E	: Elastisite modülü, deprem yükü
E_c	: Betonun elastisite modülü
f_{ck}	: Beton karakteristik basınç dayanımı
f_{cm}	: Mevcut beton dayanımı
f_{ctk}	: Beton karakteristik çekme dayanımı
f_{ctm}	: Mevcut betonun çekme dayanımı
f_{yk}	: Donatı çeliği karakteristik akma dayanımı
F	: Toplam yatay yük
$F_i(M,N,T)$: Malzeme karakteristiklerine ve en kesit özelliklerine bağlı doğrusal olmayan fonksiyonlar
F_i	: Kütlelerin toplandığı varsayılan noktalara etkiyen eşdeğer deprem yükleri
g_i	: Binanın i ' inci katındaki toplam sabit yük
G	: Sabit yük
G_i	: i ' inci kattaki sabit yükler toplamı
H	: Binanın toplam yüksekliği
H_i	: Yapının i ' inci katının temel seviyesinden yüksekliği
I	: Kesitin atalet momenti, yapı önem katsayısı
K	: Yapı tipi katsayısı
L_0	: Çatlama
L_1	: Plastik sekil değişiminin başlangıcı
L_2	: Kırılma
L_p	: Plastik mafsalsal boyu
M	: Eğilme momenti
M_{x1}	: x deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci (hâkim) moda ait etkin kütle
n	: Hesap yüküne ait boyutsuz normal kuvvet, hareketli yük katılım katsayısı

N	: Normal kuvvet, binanın kat adedi
N_d	: Düşey yükler altında kolonda oluşan aksenal basınç kuvveti
Q	: Hareketli yük
q_i	: Binanın i inci katındaki toplam hareketli yük
$P_{göçme}$: Göçme anındaki taban kesme kuvvetinin yük parametresi
R	: Yapı davranış katsayısı
R_a	: Deprem yükü azaltma katsayısı
$R_a(T_1)$: T_1 periyot değerindeki deprem yükü azaltma katsayısı
S	: Yapı dinamik katsayısı
S_a	: Spektral ivme
S_{ae}	: Birinci moda ait elastik spektral ivme
S_d	: Spektral yer değiştirme
$S(T_1)$: T_1 periyot değerine karşılık gelen elastik tasarım ivme spektrum değeri
T_o	: Zemin hâkim periyodu
T_1	: Binanın birinci doğal titreşim periyodu
T_A	: Spektrum karakteristik periyodu
T_B	: İvme spektrumundaki karakteristik periyot
V	: Kesme kuvveti
V_b	: Taban kesme kuvveti
V_e	: Kolon, kiriş ve perdede enine donatı hesabında esas alınan kesme kuvveti
V_t	: Eşdeğer deprem yükü yönteminde göz önüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)
w_i	: Binanın i inci katının toplam ağırlığı
W	: Binanın hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı
S	: Yer değiştirme
Δ	: Yatay yer değiştirme
ΔF_N	: Ek eşdeğer deprem yükü
S	: Yatay yer değiştirme
E	: Birim boy değişmesi
ϵ_c	: Beton birim şekil değişmesi
ϵ_{cu}	: Beton ezilme birim kısalması
β	: Modal Kütle Katılım Oranı
ϵ_e	: Akma şekil değişmesi

ϵ_s	: Donatı çeliği birim şekil değıştirmesi
ϵ_{su}	: Donatı çeliğinin kopma uzaması
ϵ_{sy}	: Donatı çeliğinin akma birim şekil değıştirmesi
ϕ_p	: Plastik eğrilik talebi
ϕ_t	: Toplam eğrilik talebi
ϕ_u	: Güç tükenmesine karşı gelen toplam eğrilik
ϕ_y	: Eşdeğer akma eğriliği
Φ_{xN1}	: Binanın tepesinde (N' inci katında) x deprem doğrultusunda birinci moda ait mod şekli genliğı
η_{bi}	: i' inci katta tanımlanan burulma düzensizliğı katsayısı
λ	: Eşdeğer deprem yükü azaltma katsayısı
θ_p	: Plastik dönme talebi
μ	: Süneklik oranı, mekanik donatı oranı
ρ	: Çekme donatısı oranı
ρ'	: Basınç donatısı oranı
ρ_b	: Dengeli donatı oranı
ρ_{sm}	: Kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranı
σ	: Gerilme
σ_e	: Akma gerilmesi
σ_p	: Orantı sınırı
σ_k	: Kopma gerilmesi
δ	: Yer değıştirme
δ_{tepe}	: Yapının tepe noktasındaki yer değıştirme
μ	: Süneklik
ρ	: Kesitte oluşan plastik dönme
\emptyset_e	: Kesitte oluşan elastik eğrilik
\emptyset_p	: Kesitte oluşan plastik eğrilik

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1	: DBYBHY ivme spektrumu	12
Şekil 3.1	: Beton çeliğinin gerilme-şekil değiştirme diyagramı	15
Şekil 3.2	: Betonarme çubuğun eğilmesinde dış basınç lifindeki $\sigma - \epsilon$ diyagramı	16
Şekil 3.3	: Doğrusal olmayan teori ile kapasite eğrisinin elde edilmesi	19
Şekil 3.4	: Taban kesme kuvveti ile tepe yer değiştirmesi arasındaki ilişki	21
Şekil 3.5	: Taban kesme kuvveti ile çatı deplasmanı arasındaki ilişki	22
Şekil 4.1	: Statik itme (pushover) veri giriş kutusu	25
Şekil 4.2	: Sap2000 çerçeve elemanının genelleştirilmiş kuvvet deplasman karakteristiği	26
Şekil 4.3	: Kirişlere mafsalsal atama işlemleri	28
Şekil 4.4	: Kolonlara mafsalsal atama işlemleri	28
Şekil 5.1	: Normal kat kalıp aplikasyon planı	31
Şekil 5.2	: Binanın 3 boyutlu görünümü	32
Şekil 5.3	: Binanın 3 boyutlu görünümü	33
Şekil 5.4	: Yapı sisteminin X-Y düzlemindeki görünümü	34
Şekil 5.5	:Yapı Sisteminin Y-Z düzlemindeki görünümü	34
Şekil 5.6	: Kolon Kesiti	35
Şekil 5.7	: Kiriş Kesiti	35
Şekil 5-8	: Eşdeğer deprem yüklerinin bulunması	41
Şekil 5-9	: Eşdeğer deprem yüklerinin Sisteme Etki Edilmesi	43
Şekil 5.10	: X-Z yönündeki ölü yükler	43
Şekil 5.11	: Z-Y yönündeki ölü yükler	44
Şekil 5.12	: Kirişlere Mafsalsal Atama İşlemleri	44
Şekil 5.13	: Kolonlara mafsalsal atama işlemleri	45
Şekil 5.14	: Kolon ve kiriş uçlarındaki olası mafsallar (X-Z kesiti)	46
Şekil 5.15	: Kirişlerdeki olası mafsallar (X-Y kesiti)	47
Şekil 5.16	: Pdüşey kuvvetinin tanımlanması	48
Şekil 5.17	: PYatayx kuvvetinin tanımlanması	49
Şekil 5.18	: PYatayy kuvvetinin tanımlanması	50
Şekil 5.19	: X yönündeki Taban Kesme Kuvveti-tepe yer değiştirmesi grafiği	51
Şekil 5.20	: Y yönündeki Taban Kesme Kuvveti-tepe yer değiştirmesi grafiği	53

TABLULAR

Tablo 2.1	Spektrum karakteristik periyotları (T_A, T_B)	10
Tablo 2.2	Etkin Yer İvme Katsayısı (A_0)	10
Tablo 2.3	Bina Önem Katsayısı (I)	11
Tablo 5.1	Deprem hesabında dikkate alınacak düşey yükler	38
Tablo 5.2	Sisteme etkileyen eşdeğer deprem yükleri	42
Tablo 5.3	X Doğrultusu Taban kesme kuvveti – Tepe noktası yer değiştirmesi değerleri	52
Tablo 5.4	Y Doğrultusu Taban kesme kuvveti – Tepe noktası yer değiştirmesi değerleri	54

KISALTMALAR

ABYYHY' 98	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
DBYBHY2007	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007
ATC	: Applied Technology Council
ATC 40	: Applied Technology Council-40 No'lu Raporu
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
FEMA 273, 356,440	: NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings
KSY	: Kapasite Spektrum Yöntemi
SAP2000	: Integrated Software for Structural Analysis and Design
TDY'07	: 2007 Türk Deprem Yönetmeliği
TS	: Türk Standardı
BS	: Beton Sınıfı
BÇ	: Beton Çeliği

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam sűresince paylaőmıő olduėu bilgileri ve desteėinden tűrű tez danıőmanım Sn. Prof. Dr. Celal KOZANOėLU'NA, bu yoėun çalıőma temposunda beni yalnız bırakmayan, özellikle projenin ilerlemesinde bűyűk yardımı olan deėerli arkadaőım Araő. Gör. İnő. Műh. R.Tuėrul ERDEM'E, her tűrlű özveriyle beni bugűnlere getiren, benden desteklerini hiç esirgemeyen sevgili aileme, her zaman yanımda olan, beni yalnız bırakmayıp hep destek olan, Berna GEREN'E sonsuz teőekkűr ederim.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

STATİK İTME ANALİZİ YÖNTEMİYLE BETONARME YAPILARIN İNCELENMESİ

İnş. Müh. Barbaros Recep YILMAZ

Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

2010

Yapıların deprem yükleri altındaki doğrusal olmayan davranışlarını belirlemede statik itme analizi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı betonarme yapıların performanslarını belirlemek için kullanılan doğrusal olmayan statik artımsal itme analizlerinin değerlendirilmesidir. TS500 ve Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre modellenmiş mevcut 3 katlı betonarme çerçeve sistemlerin farklı deprem yükleri (üçgen yayılı eşdeğer deprem yükleri, düzgün yayılı eşdeğer deprem yükleri ve karelerinin toplamının karekökü (SRSS) yöntemiyle bulunan modal deprem yükleri) altında statik itme analizleri yapılmıştır. Bu yanal yük biçimleri kullanılarak, çerçeve sistemler itilmiş ve statik itme eğrileri elde edilmiştir. Statik itme analizi için Sap2000 programı kullanılmıştır.

Anahtar kelimeler: Betonarme, Statik itme analizi, Yanal yük biçim

ABSTRACT

Masters Thesis

THE ANALYSIS OF THE REINFORCED CONCRETE STRUCTURES BY STATIC PUSHOVER METHOD

Barbaros Recep YILMAZ

Civil Engineer

Celal Bayar University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

2010

Static pushover curve is widely used to determined the non linear behaviour of structures. The aim of this study is to assess static pushover analyses of concrete structures. TS500 and Turkish Earthquake Code according to the modeled existing three-storey concrete frame systems, different earthquake loads (triangles spread equivalent earthquake loads, uniform equivalent earthquake loads and the sum of squares of the square root of (SRSS) method the modal earthquake loads) under the static thrust were analyzed. Lateral loads by using this format, frame systems and it static thrust curves were obtained. Sap2000 program is used for static pushover analysis.

Key words: Concrete, Static analysis of thrust, lateral load format

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Deprem, genel olarak, yeri ve zamanı belli olmayan yer sarsıntısı olarak tanımlanabilir. Bu yer sarsıntıları, yerkürenin oluşumundan bu yana belirsiz zaman aralıklarıyla meydana gelmeye devam etmiş ve etmektedir.

Ülkemiz bulunduğu coğrafya ve sahip olduğu yapı stoğunun coğrafi konumu gereği oldukça ciddi deprem tehdidi altındadır. Depremin vereceği zararlarının en aza indirilmesi ülkemiz için oldukça önemlidir.

Yapılar deprem sırasında şiddeti, süresi ve yönü tam olarak kestirilemeyen etkilere maruz kalırlar. Bu etkiler yapının dayanımı ve stabilitesini önemli ölçüde etkilemekte ve yapının deprem esnasında elastik ötesi deformasyonlar yapmasına neden olmaktadır. Oluşan deformasyonlar yapıda kalıcı hasarlara, hatta yapının stabilitesinin bozulması sonucu yapının yıkılmasına kadar gidecek ciddi can ve mal kayıplarına neden olabilmektedir. Yapının deprem etkileri altındaki davranışını etkileyen etkenleri; malzemenin lineer olmayan davranışı, taşıyıcı sistem seçimi ve uygulama aşamasında projeye uygun olarak yapının imal edilmemesi olarak sıralanabilir.

Depremlerden elde edilen deneyimler sonucunda birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de deprem yönetmelikleri değiştirilmektedir. Yeni deprem yönetmeliklerinde yapıların güvenlik seviyeleri yükseltilmektedir. Ülkemizde birçok yapının yürürlükteki deprem yönetmeliğinden daha önce inşa edildiği, inşa sırasında imalat hatalarının yapıma olasılığının yüksek olduğu ve çoğu zaman projesinde göz önüne alınan kullanım amacından farklı ve itinasız kullanıldığı göz önüne alındığında, bir program çerçevesinde riskli bölgelerdeki önemli yapılardan başlamak üzere tüm yapıların deprem performanslarının tespit edilmesi gerekmektedir. Bir yapının deprem performansı yapının talep edilen sismik yer hareketini karşılayabilme kapasitesi olarak tanımlanabilir.

Bilindiği gibi günümüzde depreme dayanıklı yapı tasarım yöntemlerinde ana amaç, doğal bir afet olan depremlerden insanların en az zararla çıkması ve can güvenliğinin sağlanması şeklindedir. Ülkemizde 1998 yılında kullanılmaya başlanan afet yönetmeliği de (ABYYHY) Kısım 3'te amaç ve genel ilkelerini sıralarken ana ilke olarak bu duruma değinmiş, binalardan beklenen performans tasarım depremi (50 yıllık bir süre içinde aşılma olasılığı %10 olan deprem) altında binaların aşağıdaki şekilde karşılık vermesi zorunluluğu belirtilmiştir;

Hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan

elemanlarda oluşabilecek hasarın onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacı ile binaların kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesi şeklindedir. Doğrusal analiz yöntemleri, yukarıdaki bu şartı sağlamak için yönetmeliklerde belirtilmiş olan belli başlı katsayıları kullansa da, deprem sonrası yapıda oluşabilecek hasar durumları için fikir yürütmekte yetersiz kalmaktadır. Ayrıca, aynı yapının defalarca deprem etkisine maruz kalması sonucunda nasıl bir davranış biçimi sergileyeceği konusu da tam bir belirsizlik arz etmektedir. Buradan hareketle, doğrusal hesap yöntemlerinin yapının deprem hesabında yetersiz kaldığı sonucuna varılabilir.

Doğrusal analizle yapının elastik kapasitesi belirlenirken, doğrusal olmayan analiz yöntemlerinde yapının elastik ötesi kapasitesi de göz önünde bulundurulmaktadır. 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.

Bu yöntemde, oluşturulan modeller küçük artırımlarla ötelenmeye tabi tutulur. Her adımda yapıyı oluşturan elemanların davranış şekillerindeki değişim gözlenir. Bu değişimler, elemanın nihai taşıma kapasitesine erişmesi ile sona erer. Bu şekilde, yapı belirlenen yanal öteleme mesafesine erişinceye kadar ya da yapıyı teşkil eden elemanların, daha önceden tanımlanan göçme deformasyonlarına ulaşıncaya kadar analiz devam ettirilir. Bina göçme durumuna geldiğinde analiz kesilir.

Sonuç olarak, Statik-itme Yöntemi deprem kuvvetlerinin binadan talep ettiği ile binanın o depreme verebileceği cevabın (kapasite, kuvvet-deplasman (pushover) eğrisi) kesiştiği noktadaki, diğer bir deyişle performans noktasındaki durumunun incelenmesidir. İtme analizinin sonucunda elde edilen global itme eğrisi (pushover curve), taban kesme kuvvetinin en üst kattaki yatay yer değiştirmeye göre doğrusal olmayan değişimini göstermektedir.

1.1 Konu İle İlgili Çalışmalar

Statik itme (pushover) analizi olarak bilinen nonlineer (doğrusal elastik olmayan) statik yöntemin kullanılışı 1970'li yıllara dayanmaktadır. Fakat özellikle son 10-15 yılda önem kazanmaya başladığını, bu konuda yapılan yayınların yoğunluğundan anlaşılmaktadır. Bu çalışmalarda öncelikle bu konunun uygulanabilirliği üzerinde tartışmalar başlamış, avantajları ve dezavantajları üzerinde durulmuştur. Yöntem hali hazırda kullanılan doğrusal elastik yöntemlerle ve doğrusal elastik olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemleriyle karşılaştırılmıştır.

Doğrusal olmayan itme analizinin gelişimi ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar aşağıda ifade edilmektedir. Bu çalışmalar yöntemin gelişmesi açısından önem arz etmektedir.

1994 yılında Lawson R.S. , Vance V. , Karwinkler H. tarafından doğrusal olmayan statik artımsal itme analiz yöntemlerinin hangi durumlarda ve nasıl kullanılması gerektiği konusunda detaylı bir çalışma yapılmıştır. Doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemlerinin getirdiği sınırlamalar ve bu yöntemlerin uygulanmasında karşılaşılan temel sorunlar ve yatay yük dağılımına bağlı olarak analiz sonuçlarının değişimi üzerinde durulmuştur [1].

Bunun ardından 1995 yılında Moghadam A.S. , Tso W.K. tarafından yapılan çalışmada, simetrik olmayan yüksek katlı yapı sistemlerinde deprem esnasında büyük hasarlara neden olan burulma düzensizliğinin hasar seviyesine etkisini göstermek üzere, simetrik olmayan yapılarda doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemlerinin kullanımı üzerinde durulmuştur [2].

Tso W.K ve Moghadam A.S. 1996 yılında eksantrik çok katlı yapıların hasar potansiyellerinin belirlenmesi için basitleştirilmiş bir yöntem geliştirmiştir. Çalışmada yapıların deprem sırasındaki davranışlarında birinci mod etkilerinin hakim olduğu kabul edilmiştir [3].

Kılar V. ve Fajfar P. 1997'de yaptıkları çalışmada, aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artmakta olan yatay yükler etkisindeki yapıların doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi için bir yöntem geliştirmiştir. Yöntemde yapıların düzlemsel makro elemanlardan oluştuğu kabul edilmiştir. Her bir düzlemsel makro eleman için doğrusallaştırılmış taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisi dikkate alınmıştır. Buna göre adım adım işlem yapılarak tüm yapı sistemi için toplam taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisi hesaplanmıştır[4].

Krawinkler H. ve Seneviranta G.D.P.K. tarafından 1998'de yapılan çalışmada, doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemlerinin dayandığı temel ilkeler özetlenmiş, yöntemlerin hassasiyeti değerlendirilmiştir [5].

Sasaki K.K. , Freeman S.A. ve Paret T.F. tarafından 1998'de yüksek mod etkilerine bağılı olarak yapıların göçme mekanizmalarının belirlenmesine yardımcı olacak, yüksek mod esaslı doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemi geliştirilmiştir. Yöntem kullanılmakta olan doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemlerinin kolaylıklarını devam ettirerek, bu analizlerin yüksek mod etkilerinin de kapsayacak şekilde genişletilmiş halidir [6].

Moghadam A.S. ve Tso W.K. 1998 yılında, yüksek mod ve burulma etkilerini de dikkate alacak şekilde doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemi geliştirilmiştir [7]. 1998 yılında Faella G. ve Kilar V. tarafından yapılan çalışmada, simetrik olmayan yapıların sismik analizi için kullanılan üç boyutlu doğrusal olmayan statik artımsal itme analizlerin kabul edilebilirliğini araştırmak üzere, doğrusal olmayan dinamik analizlerden elde edilen sonuçlar, doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi sonuçları ile kıyaslanmıştır [8].

1999 yılında Kim S.D. , Hong W.K. ve Ju Y.K. tarafından, elastik ötesi bölgelerde elemanların değişen rijitliklerine bağılı olarak değişen mod şekilleri ile orantılı kuvvet dağılımlarını esas alan, bir dinamik elastik ötesi analiz yöntemi sunulmuştur. Bu yöntemde yapının elastik ötesi davranışa girmesiyle birlikte, yatay yüklerin dağılımı mod sekline göre değişmektedir [9].

Chopra A.K. ve Goel R.K. 2001 yılında, sabit yatay yük dağılımını esas alan mevcut doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemlerindeki temel kavramların ve hesap kolaylıklarının korunduğu, yapı dinamiği teorilerini esas alan bir elastik ötesi statik itme analizi yöntemi geliştirmiştir. Geliştirilen bu yüksek mod esaslı elastik ötesi artımsal itme analizinde (Modal Pushover Analysis,(MPA)), artan deprem yüklerine bağılı olarak oluşan sismik talep, her bir moda ait atalet kuvvetlerinin dağılımı kullanılarak yapılan doğrusal olmayan statik artımsal itme analizleri ile belirlenmektedir [10].

2001 yılında Kilar V. ve Fajfar P. tarafından yapılan çalışmada, simetrik olmayan yapıların sismik tasarımı ve değerlendirilmesinde kullanılmakta olan doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemlerinin kabul edilebilirliği araştırılmıştır. Yapı sistemleri için elde edilen toplam taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisinin idealleştirilmesini esas alan analiz yöntemleri üzerinde durulmuştur [11].

2002 yılında Antoniou S. , Rovithakis A. ve Pinho R. tarafından doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemlerinin bazı kısıtlamalarını azaltmak üzere, yeni bir doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemi geliştirilmiştir. Yöntem, yapının elastik ötesi davranışının çeşitli kademelerinde, elemanların değişen rijitliklerine ve yapı sisteminin dinamik özelliklerine bağılı olarak, yapı sistemi yüksekliği boyunca yatay yük dağılımının değişimini dikkate almakta ve yüksek mod etkilerini içermektedir [12].

Almeida R. ve Carneiro-Barros R. tarafından 2003'de yapılan çalışmada, birinci doğal titreşim modu şekline göre yatay yük dağılımı uygulanması durumunda çok iyi sonuçlar veren, fakat yüksek mod etkilerinin önemli olduğu yapılarda bu hassasiyetini kaybeden doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemlerine alternatif olarak her modun katılımını içeren bir yatay yük dağılımı geliştirilmiştir [13].

2003 yılında Chintanapakdee C. ve Chopra A.K. tarafında yüksek mod esaslı doğrusal olmayan statik modal artımsal itme analizlerinin (Modal Pushover Analysis, (MPA)) hassasiyetini belirlemek için 3, 6, 9, 12, 15, 18 katlı çerçeveler kullanılmıştır. Yüksek mod esaslı statik itme analizleri ve California depremlerine ait kayıtlar kullanılarak gerçekleştirilen doğrusal olmayan dinamik analizler gerçekleştirilerek, kat ötelenmeleri hesaplanmış ve birbiri ile kıyaslanmıştır. Çalışmada ilk iki veya uç mod etkisini dikkate alarak yapılan yüksek mod esaslı statik itme analizlerinin doğrusal olmayan dinamik analizler ile tutarlı sonuçlar verdiği gösterilmiştir [14].

Jan T.S. , Liu M.W. ve Kao Y.C. tarafından 2004 yılında, yüksek mod etkilerininide dikkate alan, çok katlı yapıların sismik taleplerini belirlemek için bir statik itme analiz yöntemi geliştirilmiştir. Yöntem Taiwan şartnamesine göre güçlü kolon-zayıf kiriş ilkesi ile tasarlanmış 2, 5, 10, 20 ve 30 katlı çerçeveler üzerinde uygulanmıştır. İki modun yeterli sonuçlar verdiği ve diğer yüksek mod etkilerinin ihmal edilebileceği, yapılan çalışmada vurgulanmaktadır. Buna göre sadece ilk iki modu dikkate alarak gerçekleştirilen statik itme analizler sonucunda seçilen yapılara ait yatay kat yer değiştirmeleri, görel kat ötelenmeleri ve plastik mafsallarda dönme değerleri elde edilmiştir. Yöntemin hassasiyeti üçgen yük dağılımı ile yapılan statik itme analizleri, yüksek mod esaslı statik itme analizleri ve doğrusal olmayan dinamik analizlerden elde edilen sonuçlar kıyaslanarak saptanmıştır [15].

BÖLÜM 2. YAPILAR ÜZERİNDE DEPREM ETKİSİ

2.1 Giriş

Betonarme yapıların, düşey yükler yanında yatay yükleri de güvenli bir şekilde taşıması gerekir. Betonarme yapılarda sabit yükler sınıfında sayılan taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların ağırlıkları ile hareketli yükler, düşey yükleri oluştururlar. Deprem ve rüzgâr etkileri ise en önemli yatay yükleri meydana getirirler. Bu yükler düşey yüklerden farklı bir özellikte olduğu için, yapının güvenliğini sağlarken taşıyıcı sistem davranışının esas alınması ve ilgili konstrüktif kurallara uyulması gerekir [16].

2.2. Temel İlkeler

Yurdumuzda, yerleşim yerlerinin büyük bir kısmı yüksek deprem riski taşıyan deprem kuşağı üzerinde bulunması, depreme karşı yeteri kadar güvenli ve bunun yanında ekonomik koşullarda göz ardı etmeyen yapı tasarımının mühendislik açısından önemli kılmaktadır. Depreme dayanıklı ve ekonomik yapı tasarımının gerçekçi bir yaklaşımla sağlanabilmesi için;

Yapıların ömürleri süresince maruz kalabilecekleri depremlerin gerçekçi bir şekilde tahmin edilmesi;

Bu deprem etkileri altında yapılardan beklenen davranışın güvenlik ve ekonomi koşullarını bir arada optimum düzeyde sağlayacak şekilde belirlenmesi;

Boyutlandırılan yapı sistemlerinin deprem etkileri altında gerçek davranışlarının izlenerek göçme güvenliklerinin bulunmasına olanak sağlayan ileri hesap yöntemlerinin geliştirilmesi ve uygulanması gerekir [17].

Depreme dayanıklı yapı tasarımında, yapının fonksiyonunun devam etmesinin sağlanması hasarların sınıflandırılması ve yapı içerisindekilerin hayatlarının kurtarılması şeklinde olmak üzere değişik seviyelerde korunma ilkeleri söz konusudur [17].

2.3 Deprem Etkisi Altında Davranış

Taşıyıcı sistem inşa edilirken başlangıçtan itibaren kendi ağırlığını taşımaya başlar. Sabit yüklerin üstüne gelen düşey faydalı yükler de benzer türden özelliğe sahiptir. Hareketli yükün taşıyıcı sisteme etkimesi, ani değil belli bir süre içerisinde gerçekleşir. Yükleme ve bu yüklemenin değeri bir zaman içerisinde meydana geldiği için, taşıyıcı sistemde kusurlar ortaya çıktığında, hemen yük boşaltılarak tedbir alma yönüne gidilir. Rüzgâr ve deprem yükleri çok kısa zamanda etkiler ve dinamik özellik gösterirler. Daha önce herhangi bir yatay yükleme altında kalmayan taşıyıcı sistem kısa bir zamanda ortaya çıktığı için, herhangi bir tedbir almak veya yüklemeye etkili olmak mümkün olmaz [18].

Depremlerin büyüklükleri ortaya çıkardıkları enerjiye bağlı olarak belirlenir. Büyük depremler şiddetli hasarlar meydana getirirler ve seyrek meydana gelirler. Yani, dönüşüm periyotları uzun olur. Buna karşılık sık meydana gelen küçük depremler az hasar meydana getirir ve dönüşüm periyotları küçüktür. Deprem yönetmeliğinde yapının amacına bağlı olarak dönüşüm periyodu 100 ila 500 yıl arasında bulunan depremlere karşı binanın dayanımı söz konusu edilir. Ancak bu tür depremlerden oluşan kesit etkilerinin taşıyıcı sistem elastik davranışı ile karşılanması mümkün değildir. Buna karşılık bu değerlerin % 15 - % 20 gibi oldukça küçük bir oranın elastik davranış içinde karşılanması esas alınır ve daha küçük depremlerin taşıyıcı sistemde meydana gelecek elastik ötesi şekil değiştirmeler ve enerji tüketilmesi ile karşılanacağı kabul edilir. Bunun sonucu olarak taşıyıcı sistemin dayanım kapasitesine sık rastlanan şiddeti düşük depremlerde erişilir. Bu durumda deprem etkisi yönünden yapının dayanım kapasitesine sık rastlanan şiddeti düşük depremlerde erişilir. Deprem etkisi yönünden yapının dayanım kapasitesine yıllık ihtimali % 1 - % 3 gibi yüksek bir oran olarak ortaya çıkar Bunun yanında düşey yükler altında taşıyıcı sistemin dayanım kapasitesine erişmesi ise % 0,01 gibi oldukça düşük bir oran civarında bulunur. Bu iki değer kıyaslandığında deprem etkisinin karşılanmasındaki eksiklerin ne derece sorun meydana getirdiği anlaşılır [16].

Yapıların boyutlandırılmasında depreme karşı dayanımının da önemli olduğu düşüncesi 1920 yıllarına dayanmaktadır. Sayısal ölçümlerinin eksikliğinin de sonucu olarak, deprem etkisi yapının ağırlığının yaklaşık % 10 u yatay yük olarak kabul edilmiştir. Yakın zamanda bilgisayarlardaki gelişmelerde, taşıyıcı sistemin çözümlenmesini daha ayrıntılı biçimde yapma imkânı vermiştir. Bu arada depremlerden sonra yapılan incelemelerden bir kesitte eğilme momenti dayanımı bulunmasının, taşıyıcı sistem bütünlüğü bozulmamak koşulu ile her zaman ağır hasara veya göçmeye götürmediği belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar, orta ve yüksek katlı yapıların tipik bir depremde zorlanması durumunda çözümlenmenin elastik veya elastik ötesi davranış esas alınarak yapılmasına bağlı olmaksızın aynı mertebede yatay yer değiştirmenin meydana geldiği göstermiştir [16].

Depreme dayanıklı yapı tasarımı genel eğilim sünek taşıyıcı sistemlerin teşvik edilmesidir. Bunun yanında yatay ve düşey kesitlerde düzenli taşıyıcı sistemin seçimi ve elemanların birleşim bölgelerinde gösterilecek özen önemle vurgulanır. Ayrıca taşıyıcı sistemde yatay yer değiştirmeleri sınırlandırılacak rijitliğin oluşturulması ve bu suretle taşıyıcı olmayan elemanlarda meydana gelebilecek hasarların azaltılması diğer önemli bir husustur. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 2007 de tanımlanan tasarım depremi, yapı önem katsayısı birim olan binalar için dönüşüm periyodu 475 yıl ve 50 yıllık süre içinde aşılması olasılığı % 10 olan yer hareketine karşı gelmektedir [16].

2.4. Taşıyıcı Sistem Özelliklerinin Deprem Davranışına Etkileri

2.4.1 Geometri

Yapılan gözlemlerden yapı ne kadar basit düzenlenmişse, depreme dayanıklılığının o derecede yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunu, çeşitli nedenleri göz önüne alarak açıklamak mümkündür. Basit ve düzenli yapıların yapımı da kolaydır ve yapımında hata yapma olasılığı azdır. Bu tür yapıların depremdaki davranışını tahmin etmek ve buna göre bir çözümleme yapmak daha kolaydır. Karmaşık ve düzensiz yapıları modellemek ve ek olarak ortaya çıkan burulma etkisini göz önüne almak daha uzun işlemler gerektirir. Üç boyutlu çerçeve hesapları ile burulma etkisi hesaba katılabilir de ek bir zorlamanın ortaya çıkmasına müsaade etmek, onu göz önüne almaktan her bakımdan daha mantıklıdır [18].

2.4.2 Süreklilik

Taşıyıcı sistemde plan ve düşeyde bulunan elemanların dayanımlarının düzgün ve sürekli olarak düzenlenmesi davranışı olumlu yönde etkiler. Kolon ve kirişlerin planda düzgün dağıtılması, sistemin belirli bölgelerinin aşırı zorlanmasını önler. Bütün kolon ve perdeler temelden çatıya kadar sürekli olmalı ve elemanların birbirine dışmerkez mesnetlenmelerinden kaçınılmalıdır. Taşıyıcı sistemde süreklilik ile elemanların birbirine yardım emesi sağlanırken, elastik davranışın ötesindeki taşıma kapasitesi artırılmış olur. Ayrıca, bu sırada ortaya çıkacak plastik mafsalların sayısı dolayısıyla dinamik enerjinin yutulan kısmı da büyütülmüş olur [18].

2.4.3 Süneklik

Taşıyıcı sistemin veya elemanlarının sünekliği, işaret değiştiren ve sistemi elastik sınırın ötesinde zorlayan etkiler altında taşıyıcı elemanların yardımlaşmasını sağlamak yanında enerji yutma sonucunu doğurduğundan, düşey yükler altında projelendirme daha çok dinamik deprem yüklerinin karşılanmasında önem kazanır [18].

Bir kesitin, elemanın veya bir taşıyıcı sistemin, dış yükte önemli bir değişme olmaksızın, elastik sınırın ötesinde şekil değiştirme, yer değiştirme yapma ölçüsü süneklik, göçme sırasındaki toplam şekil değiştirmelerin lineer şekil değiştirmelere oranı ise; sistem süneklik oranı olarak tanımlanmaktadır. Göçmeden önce yapı yeterli düzeyde lineer olmayan şekil değiştirme yapabilmeli, yani sistem süneklik oranı büyük değerler almalıdır [19].

2.4.4 Rijitlik

Yatay yükler altında yapıdaki yer değiştirmelerin hesabı yanal rijitliğin belirlenmesine bağlıdır. Brüt eleman kesitlerinden ve betonun başlangıç elastik modülünden hareket edildiğinde, bulunacak rijitlik, yatay yükün çok düşük seviyesi için geçerli olur. Kullanılabilirlik sınır durumundaki rijitlik için, betonun çatlamasının göz önüne alınması uygundur. Yatay yüklerin büyümesiyle donatıda akma, donatı ve betonda doğrusal olmayan davranışın hâkim duruma geçmesi, rijitliği daha da azaltır. Binada taşıyıcı olmayan elemanlar taşıyıcı olanlara göre daha az elastiktir ve gevrek bir davranış gösterirler. Rijitliğin artırılması ile katların birbirine göre olan rölatif yatay ötelenmesi sınırlandırılarak özellikle taşıyıcı olmayan elemanlarda meydana gelebilecek hasarı kontrol altına almak mümkündür [18].

2.5 Elastik Deprem Yüklerinin Tanımlanması

Deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan Spektral İvme Katsayısı $A(T)$ ile gösterilmiştir. % 5 sönüm oranı için tanımlanan Elastik İvme Spektrumunun ordinatı olan Elastik Spektral İvme $S_{ae}(T)$, Spektral ivme katsayısı ile yerçekimi ivmesi g 'nin çarpımına karşı gelmektedir [20].

$$A(T) = A_0 \cdot I \cdot S(T) \quad (2.1)$$

$$S_{ae}(T) = A(T) \cdot g$$

DBYBHY – 2007 yönetmeliğinde tasarıma esas yer hareketinin belirlenmesinde kullanılan, ivme spektrumlarının T_A ve T_B karakteristik değerlerinin zemin sınıfına göre dağılımı Tablo 2,1'de, deprem bölgelerine göre sınıflandırılan etkin yer ivme katsayısı Tablo 2,2'de, yapıların kullanım amacına göre belirtilen bina önem katsayısı Tablo 2,3'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Spektrum karakteristik periyotları (T_A , T_B) [20]

Tablo 6.2'ye göre Yerel Zemin Sınıfı	T_A (saniye)	T_B (saniye)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

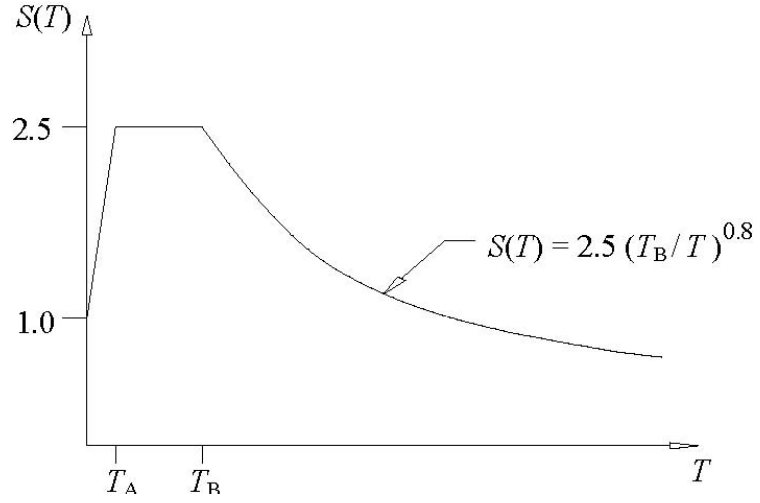
Tablo 2.2. Etkin Yer İvme Katsayısı (A_0) [20]

Deprem Bölgesi	A_0
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

Tablo 2.3. Bina Önem Katsayısı (I)

Binanın Kullanım Amacı veya Türü	Bina Önem Katsayısı (I)
<p><u>1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar</u></p> <p>a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları)</p> <p>b) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar</p>	1.5
<p><u>2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar</u></p> <p>a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb.</p> <p>b) Müzeler</p>	1.4
<p><u>3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar</u></p> <p>Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.</p>	1.2
<p><u>4. Diğer binalar</u></p> <p>Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)</p>	1.0

Gerekli durumlarda elastik tasarım ivme spektrumu, yerel deprem ve zemin koşulları göz önüne alınarak yapılacak özel araştırmalarla da belirlenebilir. Ancak bu şekilde belirlenecek ivme spektrumu ordinatlarına karşı gelen spektral ivme katsayıları, tüm periyotlar için, Tablo 2.1 deki ilgili karakteristik periyotlar göz önüne alınarak yukarıda belirtilen denklem 2.1.den bulunacak değerlerden hiçbir zaman daha küçük olmayacaktır [20][28].



Şekil 2.1. DBYBHY ivme spektrumu [20]

Deprem performansı hesaplama yöntemleri:

1. Doğrusal Elastik Yöntemler

- a. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi
- b. Mod Birleştirme Yöntemi
- c. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi

2. Doğrusal Olmayan (Nonlinear) Yöntemler

- a. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi (Statik İtme - Pushover Analizi)
- b. Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi
- c. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi

BÖLÜM 3. YAPILARIN DOĞRUSAL OLMAYAN (NONLİNEER) ANALİZİ

3.1 Giriş

Betonarme binaların analizi için doğrusal ve doğrusal olmayan olmak üzere başlıca iki analiz yöntemi bulunmaktadır. Doğrusal analiz yöntemlerinde malzemenin lineer sınırlar içinde davrandığı kabul edilir. Yapıya doğrusal olarak bir statik itme hareketi uygulandığında, malzemenin lineer olmayan davranışları göz önüne alınmadığı için elemanlarda kapasitenin üstünde var olan bir rezerv kullanılmamaktadır.

Doğrusal yöntemlerle elemanlarda oluşacak akma başlangıcının yerinin tespit edilmesi mümkün olmasına rağmen yapıdaki göçme durumları ve akma sırasındaki kuvvet dağılımları da incelenememektedir.

Doğrusal olmayan analiz yöntemleri, yapıların göçme anına kadarki davranışına dair oldukça yaklaşık sonuçlar vermektedir. Ayrıca deprem etkisinde binanın davranışı ile ilgili mekanizma durumlarını gösterecek sonuçlar sunabildiği için gerçekçi çözümler üretilmesine olanak tanır. [26]

3.2. Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Davranışının Nedenleri

Yapı analizleri yapılırken hesaplanan sistemlerin davranışında doğrusal olmamayı etkileyecek nedenler iyice irdelenmelidir. Yapı sistemlerinin dış etkiler altındaki doğrusallığını engelleyen çeşitli sebepler vardır. Bunlar, malzeme özelliklerinin doğrusal olmaması nedeniyle bünye denklemlerinin doğrusal olmaması ve geometri değişimlerinden kaynaklanan denge denklemlerinin doğrusal olmamasıdır.

3.3. Malzeme Davranışının Doğrusal Olmaması

Doğrusal olmayan analizlerde, yapı malzemelerinin gerçek gerilme - şekil değiştirme bağıntıları kullanılarak hesap yapılmaktadır. Malzemelerin gerçek gerilme - şekil değiştirme bağıntıları ise doğrusal davranış göstermediğinden yapı sistemlerinin hesabı da doğrusal olmamaktadır. Malzeme davranışının doğrusal özellik göstermediği yapı sistemlerinin öncelikle malzemenin gerilme - şekil değiştirme davranışının idealleştirilmesi gerekmektedir. Örneğin, betonun gerilme - birim şekil değiştirme eğrisini birçok değişken etkilemektedir. Deney sonuçları, gevrek bir malzeme olan betonun gerilme - birim kısalma diyagramının doğrusal olmadığını göstermiştir [21].

Betonun $\sigma - \epsilon$ eğrisinin şekli ve maksimum birim kopma uzaması, beton mukavemetine göre değişmektedir. Beton mukavemetinin $\sigma - \epsilon$ eğrisi üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla yapılan deneyler sonucunda;

- Farklı mukavemete sahip betonlar için elde edilen farklı $\sigma - \epsilon$ eğrilerinin elastisite modülü olarak ifade edilen başlangıç eğimlerinin, beton kalitesi yükseldikçe arttığı,
- Yüksek mukavemetli betonların tepe noktalarının daha belirgin olduğu,
- Düşük mukavemetli betonların, yüksek mukavemetli olanlara oranla daha fazla süneklığe sahip olduğu,
- Maksimum gerilmeye karşılık gelen birim kısalmanın, beton mukavemetinden bağımsız olarak 0.002 mertebesinde olduğu,

sonuçları elde edilmiştir [21].

Aynı beton numunelerin farklı yükleme hızına maruz bırakılmaları $\sigma - \epsilon$ eğrisinin özelliklerini farklı kılmaktadır. Bu konuda da birçok deneysel gözlem yapılmış ve yükleme hızı azaldıkça mukavemetin düştüğü, buna karşılık süneklığın önemli ölçüde arttığı gözlenmiştir. Bu nedenle, betonun sabit ve ölü yükler altındaki davranışı ile deprem gibi ani gelen yüklemeler altındaki davranışı oldukça değişiktir. Beton basınç deneyinde, kırılmaya yakın bir noktada yük boşaltıldığı takdirde kalıcı bir şekil değiştirme elde edilmekte, numune tekrar yüklendiğinde, $\sigma - \epsilon$ eğrisinin eğimi değişmektedir. İkinci yüklemede birinci tepe noktasına ulaşmamaktadır. Betonun kırılma anındaki birim kısalmasını, yükleme hızı, kesit boyutları, kesit geometrisi, yükün ekzantristesesi gibi birçok değişken etkilemektedir [21].

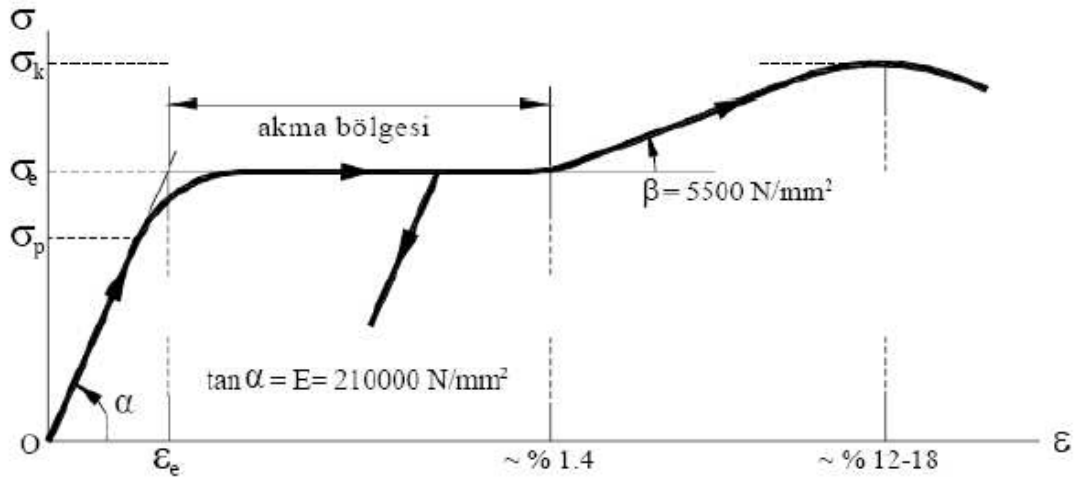
Betonun $\sigma - \epsilon$ eğrisinin değişimini belirlemek için basınç deneyleri yapılmaktadır. Fakat bu deneyler tek eksenli deneyler olduğu için betonun şekil değiştirmesini net olarak veremez. Bunun için yanal basınçları dikkate alan deneyler yapıldığında gerçekçi sonuçlar elde edilebilir. Betonun davranışını doğrusallıktan uzaklaştıran başka iki etken de rötne ve sünmedir. Rötne ve sünme, betonda zamana bağlı şekil değiştirme meydana getirmektedir. Bunlar davranışı doğrudan etkileyen etkenlerdir.

Çeşitli yapı malzemelerinin gerilme-şekil değiştirme bağıntıları ile düzlem ve uzay çubuk elemanlarda iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntıları ve akma (kırılma) koşulları aşağıda belirtilmiştir.

3.4 Yapı Malzemelerinin Gerilme-Şekil Değişirme Bağıntıları

Beton çeliği ve eğilme etkisindeki betonun dış basınç lifinin gerilme-şekil değişirme $\sigma - \epsilon$ diyagramları ve bu diyagramlara ait bazı sayısal değerler aşağıda verilmiştir.

3.4.1 Beton Çeliği



Şekil 3.1 Beton çeliğinin gerilme-şekil değişirme diyagramı

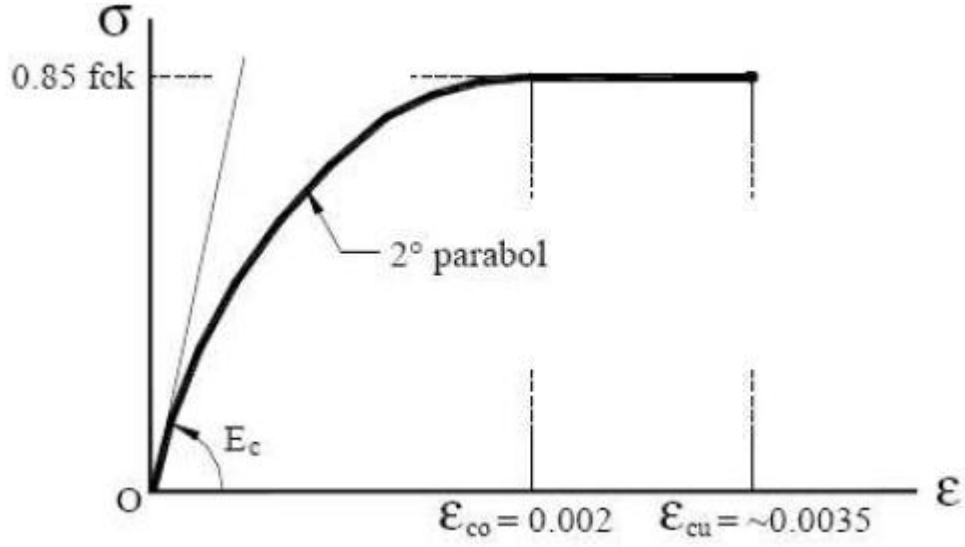
Bu diyagramı tanımlayan σ_k kopma gerilmesi, σ_e akma gerilmesi ve ϵ_e akma şekil değişirmesinin S420 beton çeliği için aldığı değerler aşağıda verilmiştir:

S420 beton çeliği : $\sigma_k = 500 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_e = 420 \text{ N/mm}^2$ ($\epsilon_e = 0.002$)

3.4.2 Beton

Beton basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı ise nispeten düşük olan gevrek bir yapı malzemesidir. Değişik beton dayanımlarına bakıldığında düşük dayanıma sahip betonların büyük şekil değişirme kapasitesine sahip olduğu, yani sünek davranış gösterdiği görülmüştür.

En büyük gerilmenin sargısız betonda basınç kısalması ϵ_{cu} 0.002–0.0025 değerlerinde ve en büyük kısalmanın da sargılı ve fretli betonda 0.003'den başlayarak 0.005'e kadar arttığı görülmektedir. Bu artışın sebebi betonun çevresinde sargıdan dolayı meydana gelen yanıl basınç etkisidir. Örnek olarak betonarme bir malzemenin eğilmesinde dış basınç lifindeki $\sigma - \epsilon$ bağıntısı şekil 3.2'da gösterilmektedir



Şekil 3.2 Betonarme çubuğun eğilmesinde dış basınç lifindeki $\sigma - \epsilon$ diyagramı

Bu diyagramda f_{ck} karakteristik basınç dayanımını, E_c

$$E_c = 3250\sqrt{f_{ck}} + 14000 \text{ Mpa} \quad (3.1)$$

formülü ile hesaplanan beton elastisite modülünü göstermektedir.

TDY 2007 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.

3.5 DBYBHY-2007'de Verilen Artımsal İtme Analizi Yöntemleri

3.5.1 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, eşdeğer deprem yönteminde de belirtildiği gibi bodrum kat üzerindeki toplam kat sayısı 8'i aşmayan, ayrıca ek dışmerkezlilik göz önüne alınmaksızın hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 1.4$ olan binalara uygulanır.

Ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hâkim) titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine (Rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olması gerekmektedir. Artımsal eşdeğer deprem yüğü yönteminde, deprem talebine (performans noktasına) kadar monolitik olarak adım adım artırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında, doğrusal olmayan itme analizi yapılır. Analizde ardışık iki plastik mafsal oluşumu arasındaki her bir itme adımında taşıyıcı sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvet artımları ile bu büyüklüklere ait birikimli değerler ve son itme adımında deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır.

3.5.2 Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi, deprem talebine kadar her bir titreşim modunda monolitik olarak artırılan modal yer değiştirmelere göre mod birleştirme yöntemi, ardışık iki plastik mafsal oluşumu arasındaki her bir itme adımında artımsal olarak uygulanır. Bu itme adımlarında taşıyıcı sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvet artımları ile bu büyüklüklere ait birikimli değerler ve son itme adımında deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır. Artımsal mod birleştirme yöntemi tüm binalara uygulanabilmektedir.

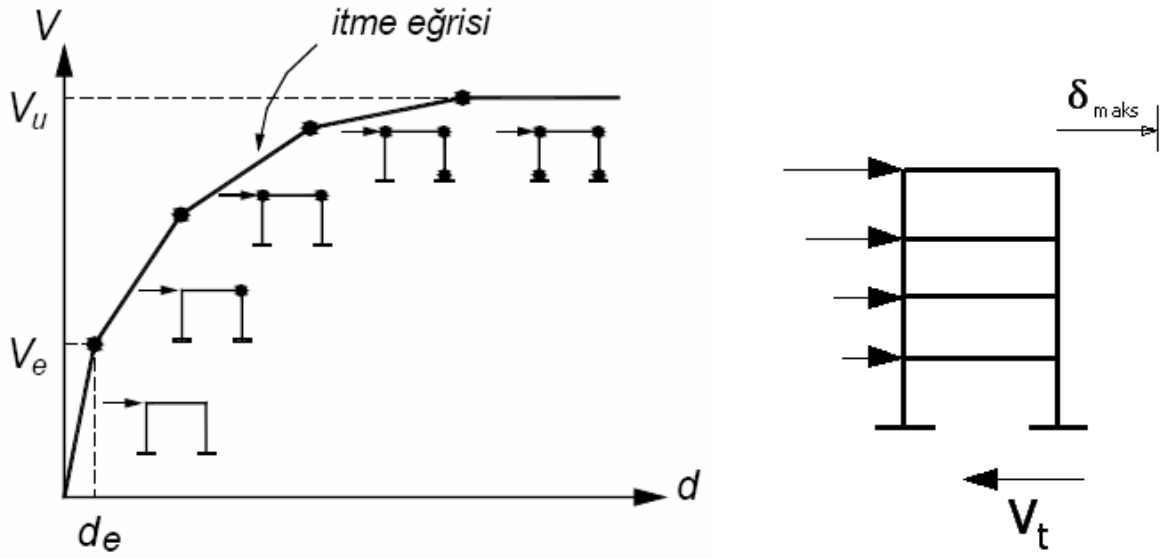
3.5.3 Zaman Tanım Alanında Artımsal Hesap Yöntemi, taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışı göz önüne alınarak, sistemin hareket denklemi artımsal olarak entegre edilir. Her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem talebine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanır. Zaman Tanım Alanında Artımsal Hesap Yöntemi tüm binalara uygulanabilir.

Bu tez çalışmasında yönetmelikte yer alan Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ele alınmıştır. Doğrusal olmayan bu analiz yönteminde, binanın toplam taban kesme kuvveti ile tepe noktası yatay yer değiştirme arasındaki ilişkiyi gösteren kapasite eğrisi belirlenir.

3.6 TDY 2007 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi (Statik İtme - Pushover Analizi)

Analiz; yapının hedef deplasmana ulaşınca kadar sabit yükseklik dağılımıyla adım adım artan yanal kuvvetlere maruz bırakılmasıyla yapılan yaklaşık bir yöntemidir [22].

Doğrusal olmayan statik artımsal itme analizlerinde, yapı sistemleri iki veya üç boyutlu analitik modellerle temsil edilmektedir. Yapıların deprem yükleri altındaki doğrusal olmayan davranışlarının belirlenmesi için kullanılan doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemleri, yapının deprem yükleri altındaki dayanımını temsil eden yatay yük-tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisinin, malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan teoriye göre elde edilmesi ve değerlendirilmesi esasına dayanmaktadır. Doğrusal olmayan statik artımsal itme analizinde, yapı dinamik atalet kuvvetlerini temsil etmek üzere, kat seviyelerine etki eden yatay yükler ile zorlanmaktadır. Yatay yüklerin uygulanması esnasında, yapıda düşey yükler de yer almaktadır. Statik yatay yükler, her adımda aralarındaki oran sabit kalacak şekilde yapı belirli bir yer değiştirme veya göçme durumuna erişinceye kadar arttırılır ve yapıya ait yatay yük-tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisi belirlenir. Statik itme analiz olarak da bilinen doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi, yapının elastik ötesi deformasyon yeteneğini belirlemek üzere, doğrusal olmayan statik artımsal itme analizlerden ibarettir. Arttırılan yatay yüklerin etkisiyle kesitlerin biri veya birkaçı taşıma kapasitelerine erişmekte ve bu kesitlerde plastik mafsallar oluşmaktadır. Plastik mafsallar oluşan kesitler, taşıma güçlerinde değişme olmaksızın dönmeye devam etmektedir. Plastik mafsallar arasında sistem, doğrusal elastik davranmaktadır. Yatay yükler arttırılmaya devam edilerek, yapının bir bölümünü veya tamamını mekanizma durumuna getiren göçme yüküne (limit yük) ulaşılmaktadır. Doğrusal olmayan statik artımsal itme analizinden elde edilen tipik bir yatay yük-tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisi şekil 3.3 de verilmektedir [23].



Şekil 3.3 Doğrusal olmayan teori ile kapasite eğrisinin elde edilmesi

Kapasite eğrisi (pushover eğrisi, itme eğrisi) olarak adlandırılan yatay yük-tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisi sayesinde yapıda veya elemanlarda oluşabilecek hasar, kısmi veya toptan göçme durumları elde edilebilmektedir. Yapının zayıf elemanları ve bunların oluşma yerleri, yapı sisteminin göçmesine ait limit yük ve göçme anındaki yer değiştirme değeri, yapı sisteminin ve elemanların deformasyon talepleri belirlenebilmektedir.

Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntem'i birinci modun etkili olduğu, az katlı binalarda ve burulma düzensizliğinin belirli sınırlar dahilinde kaldığı durumlarda uygulanabilir [20]. Bu şartlar aşağıda incelenmiştir.

a) Bodrum hariç bina kat adedi 8 geçmeyen binalar,

b) Burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 1.4$ olan binalar,

$$\eta_{bi} = \frac{(\Delta_i)_{\max}}{(\Delta_i)_{\text{ort}}} \quad (3.2)$$

c) Göz önüne alınmış deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci titreşim modunun kütle katılım oranı $\beta_1 > 0.7$ olan binalar.

Yöntemin uygulanma adımları aşağıda özetlenmiştir.

1-Yapının bilgisayar ortamında geometrik modeli oluşturulur.

2- Yapının sağlaması gereken şartlar tahkik edilir.

3- Modal genliklerle orantılı kat kesme kuvvetleri (oransal da olabilir) Rijit diyafram olarak idealleştirilmiş döşemelerin kütle merkezine etkililir. Analizde eksantriste ihmal edilebilir. Bu analiz aynı zamanda zati yükleri de kapsamalıdır.

4- Yapıyı oluşturan elemanların plastik mafsallık özellikleri tanımlanır. Genel olarak kullanılan üç tip plastik mafsallık söz konusudur. Bunlar:

PMM (P-M2-M3): Kolonlar için kullanılır. Kullanım yükleri altında, mevcut donatı ile moment eğrilik ilişkisini temsil eder.

M3: Kirişler için kullanılır. Mevcut alt ve üst donatıya göre moment eğrilik ilişkisini temsil eder.

P: Yalnızca normal kuvvet doğrultusunda çalışan elemanlar için moment eğrilik ilişkisini temsil eder. Bu elemanlara uçları mafsallık çelik çaprazlar ve kafes elemanlar örnek teşkil eder.

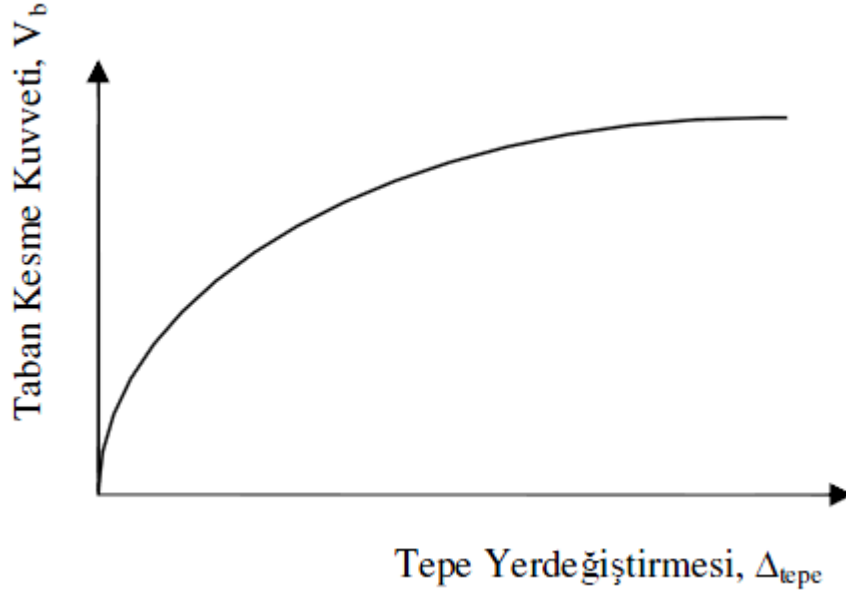
5- Çatlamış kesitler göz önünde bulundurularak analize devam edilir. Eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri (EI) kullanılacaktır.

6- Eleman kuvvetleri yatay ve dikey yüklerin belirli kombinasyonlarına göre hesap edilir.

7- Artımsal itme analizinden önce, kütleler ile uyumlu dikey yüklerin göz önüne alındığı doğrusal olmayan kuvvet kontrollü statik analiz yapılacaktır. G+0.3Q yüklemesi konut tarzı yapılar için uygundur. Bu analiz sonuçları artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olacaktır.

8- Tahmini bir sınır deplasman değeri için itme analizi uygulanır. Burada belirlenmesi gereken tahmini hedef deplasman değeri ideal sınırlar dahilinde olmalıdır. Normalin çok üstünde bir değer için sistem deplasman sınırına ulaşamayacağı için analiz tamamlanamaz.

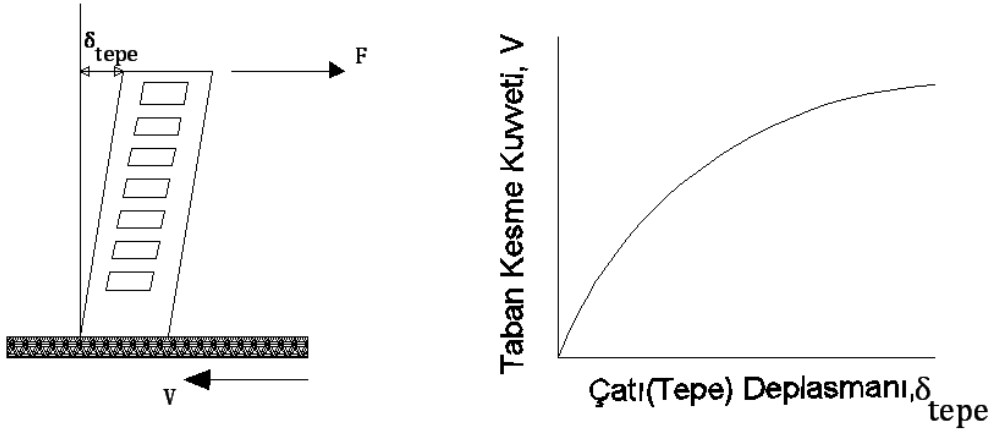
9- Analiz sonucunda taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirme değerlerinden oluşan itme eğrisi elde edilir.



Şekil 3.4 Taban kesme kuvveti ile tepe yer değiştirmesi arasındaki ilişki

3.6.1 İtme eğrisinin belirlenmesi

Yapının kapasitesi statik itme eğrisi (Pushover Curve) ile temsil edilir. Bu eğri itme analizinin her adımımda yapının tabanında meydana gelen kesme kuvveti ile tepe noktasında oluşan yatay yer değiştirme değerlerinin kaydedilmesi ve grafik ortamında işaretlenmesi ile oluşturulur. Şekil 3.4 ile örnek bir kapasite eğrisi gösterilmiştir. Analizde düşey yüklerle uyumlu kütlelerin göz önünde bulundurulacağı yönetmelikte belirtilmiştir. Kapasite eğrisi çizilirken, Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin uygulanabilme şartlarında belirtildiği üzere yapının birinci doğal titreşim modu göz önüne alınarak yapılan yüklemeler sonucunda yapıda meydana gelen taban kesme kuvveti ile oluşan yatay yer değiştirme göz önünde tutulur. Bu durum genellikle 1.moda ait doğal titreşim periyodunun 1 saniye ya da daha az olduğu binalar için geçerlidir. Bu türden binalarda daha yüksek modların yapıya etkileri oldukça küçük olduğu için bu etkiler göz ardı edilebilir.



Şekil 3.5 Taban kesme kuvveti ile çatı deplasmanı arasındaki ilişki

3.6.2 Plastik Mafsallı Hipotezinin Esasları

Bir kesitte plastik mafsallı oluşması için o kesitteki eğilme momentinin M_p plastik moment değerine eşit olması gerekir. Kesitteki eğilme momenti $M_p=M$ ye eşit olunca taşıyabileceği en büyük moment değerine ulaşmış demektir. Bundan sonra kesit daha fazla moment taşıyamaz ve serbestçe döner. Kesitte oluşan φ_p plastik dönmesi $maks \varphi_p$ ' ye ulaşıncaya dönme kapasitesine erişir ve kesit kullanılamaz duruma gelir. Plastik mafsallar genellikle taşıyıcı elemanların uç kısımlarında ve orta noktalarında oluşur. Fakat sistemin stabilitesini etkileyen mafsallar uç noktalardaki mafsallardır. Uç noktalar arasında kalan sistem ise doğrusal - elastik olarak davranır.

BÖLÜM 4. KULLANILAN ANALİZ PROGRAMLARI

4.1 Giriş

Bu tez çalışmasında yapılan statik itme analizi için SAP 2000 programı kullanılmıştır. Programın dayandığı kabuller bu bölümde özetlenmiştir.

4.2 SAP 2000 Programı

Sap 2000 programı (SAP 2000 Nonlinear Structural Analysis Program, CSI Berkeley) pek çok akademik ve güncel çalışmalarda kullanılan çok amaçlı ve ülkemizde kullanımı oldukça yaygın olan bir analiz programıdır. Bu bölümde programın genel çalışma prensipleri değil, statik itme analizi için programın nasıl kullanılacağı kısaca özetlenmiştir.

Sistemin geometrik modeli ilgili malzeme ve kesit tanımlarının çubuk elemanlara atanmasıyla oluşturulur. Modeldeki elemanların plastik mafsalları bölüm 3.6'de anlatıldığı üzere belirlenir ve her bir eleman için ayrı ayrı plastik mafsalları özelliği tanımlanır. Burada dikkat edilmesi gereken, aynı geometrik kesite sahip farklı aksel yük altında çalışan sistem taşıyıcı elemanlarının (kolonlar) aynı eğilme rijitliğine sahip olabilmemesine rağmen, farklı plastik mafsalları özellikleri sergileyeceği unutulmamalıdır.

Statik itme analizi düşey yükler ve yatay yükler etkisi altında gerçekleşen iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, deprem sırasında düşey yüklerin yapı davranışına etkisini tanımlamak amacıyla bu yükler altında analiz yapılır. TDY 2007'de kütlelerle uyumlu düşey yüklerin (G+nQ) dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır. Doğrusal olmayan düşey itme analizinin sonuçları, yatay itme analizinin başlangıç koşullarını oluşturacaktır.

Analizin ikinci aşamasında deprem nedeniyle oluşacak deplasman kontrollü monotonik artan yatay kuvvetler dikkate alınacaktır. Rijit diyafram atanmış katların kütle merkezlerine program tarafından yatay kuvvet uygulanacak ve ulaşılabilecek maksimum yer değiştirme tahmini bir değerle tanımlanacaktır. Bu değer normalin çok ötesinde olması durumunda sistem hiç bir zaman hedef yer değiştirme sınırına ulaşamayacağından analiz tamamlanamaz. Başlangıç deplasman sınırının bina boyunun 0.02~0.04 katı gibi bir değer aralığında tanımlanması uygun olabilmektedir.

İki aşamalı olarak nitelendirilebilen statik itme analizinden önce sistemin doğrusal ve modal analizleri yapılmalıdır. Kuvvet kontrollü yük artımı ile ilk olarak düşey yüklerin dikkate alındığı

düşey itme analizi tamamlanmalıdır. Bu aşamadan elde edilecek şekil değiştirmeler kaydedilerek deplasman kontrollü yatay itme analizine geçilir.

Analiz sırasında yatay kuvvet sıfırdan başlayarak arttırılır. Yapıda şekil değiştirmeler ve plastik mafsallar oluşmaya baslar. Yük artım işlemi yapı maksimum deplasman sınırına veya labil hale gelene kadar sürer. Bu şartlardan herhangi birinin oluşması analizin sonlandığını gösterir.

Analiz sırasında her yük artım adımında binanın en üst katındaki yer değiştirme ve karşı gelen taban kesme kuvveti değerleri kaydedilir. Analiz sonunda bu değerlerin grafik tabanında işaretlenmesiyle itme eğrisi meydana çıkar [4].

Elde edilen bu deplasman değeri, analizin ikinci aşamasında belirlenmiş tahmini deplasman değerinin yerine yazılır. Gerçek hedef deplasman değeri ile analiz yenilenir. Buraya kadar anlatılan bütün analiz adımları her iki yatay doğrultu için ayrı ayrı yapılmalı ve ortak bir bina performans düzeyi bulunmalıdır.[24]

4.3 SAP2000'le STATİK İTME (PUSHOVER) ANALİZİ

Doğrusal Olmayan Statik İtme (Pushover) analizi SAP2000'nin Doğrusal Olmayan sürümünde önerilen çok güçlü bir özelliktir. Statik İtme (Pushover) analizi hem iki boyutlu hem de üç boyutlu modellere uygulanabilmektedir. Her bir statik itme (pushover) durumu yapıda yatay yükün farklı dağılımlarına sahiptir. Bir statik itme hali sıfır ilk şartından başlayabilir veya önceki statik itme durumunun sonundan başlayabilir. Bununla birlikte SAP2000 "Düşey" statik itme analizi sırasında plastik mafsallaşmayı hesaba katmaktadır.

SAP2000 ayrıca statik itme analizi hem kuvvet kontrollü hem de deplasman kontrollü olarak uygulayabilmektedir. "Push To Load Level Defined by Pattern" seçenek düğmesi kuvvet kontrollü analizin yapılması için uygulanmaktadır. (Şekil 4.1) Statik itme analizi "Load Pattern" kutusunda bulunan bütün yüklerin toplamıyla ifade edilen toplam yük değerine iletir. (çok düşük kuvvet değerlerinde birleşirse analiz hata verir) "Push To Displacement Magnitude" seçenek düğmesi deplasman kontrollü analizin yapılması için uygulanmaktadır.

Nonlinear Parameters

Material Nonlinearity Parameters

- Frame Element Tension/Compression Only
- Frame Element Hinge
- Cable Element Tension Only
- Link Gap/Hook/Spring Nonlinear Properties
- Link Other Nonlinear Properties
- Time Dependent Material Properties

Geometric Nonlinearity Parameters

- None
- P-Delta
- P-Delta plus Large Displacements

Solution Control

Maximum Total Steps per Stage: 200

Maximum Null (Zero) Steps per Stage: 50

Maximum Iterations per Step: 10

Iteration Convergence Tolerance (Relative): 1.000E-04

Event Lumping Tolerance (Relative): 0.01

Hinge Unloading Method

- Unload Entire Structure
- Apply Local Redistribution
- Restart Using Secant Stiffness

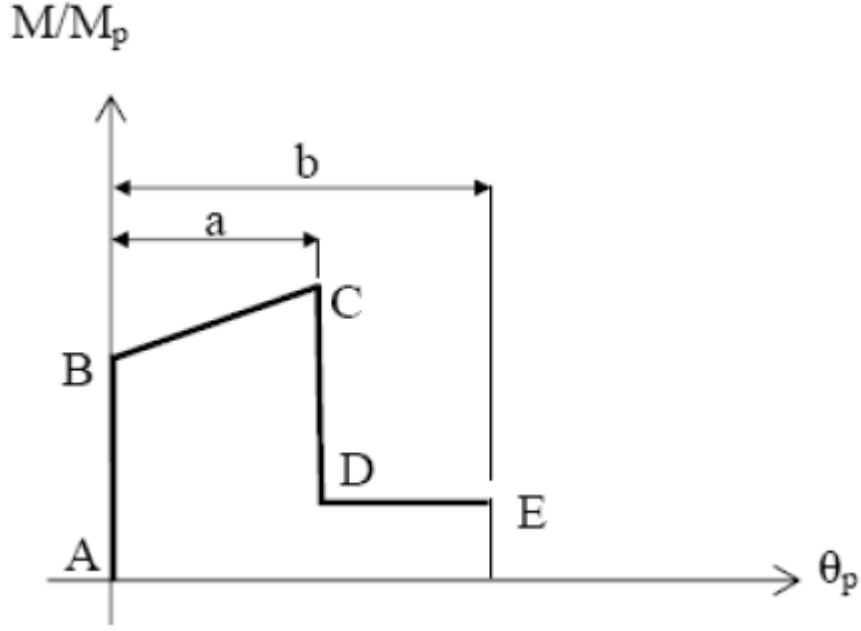
Reset To Defaults

OK Cancel

Şekil 4.1 Statik itme (pushover) veri giriş kutusu

“Solution Control” alanındaki parametreler statik itme analizi kontrol etmektedir. “Maximum Total Steps” statik itme analizinde kaydedilen noktaların sayısını kontrol etmektedir. “Maksimum Null Steps” çözümündeki sayısal duyarlılık veya yapıdaki önemli bir hata sebebiyle bir adımdaki uyumsuzluğu hesaplayan kümülâtif bir sayaçtır. “Iteration Tolerance” ve “Maximum Iteration/Step” statik itme analizindeki her bir adımın sonunda statik dengeyi kontrol eden parametrelerdir. Eğer dengesiz yükün uygulanan yüke oranı “Iteration Tolerance” yi aşarsa bu adım için ikinci iterasyonda dengesiz yük uygulamaktadır. Bu iterasyonlar “Iteration Tolerance”yi sağlayana veya “Maximum Iterations/Step” ulaşınca kadar devam etmektedir.

Geometrik doğrusal olmama hali büyük deplasmanlara P-Delta etkilerini ilave ederek düşünülebilir. Modal ve üniform yanal yük şekilleri kullanıcı tanımlı statik yanal yük haline ilaveten SAP2000 tarafından doğrudan ilave edilebilmektedir. Bir çerçeve elemanı doğrusal olmayan SAP2000’de belirlenen mafsallarla gösterilmektedir. Mafsal, statik itme analizi esnasında kuvvet-deformasyon eğrisinin negatif eğimine ulaştığında kapasite azalması meydana getirmektedir.



Şekil 4.2 Sap2000 çerçeve elemanının genelleştirilmiş kuvvet deplasman karakteristiği

Statik analizde negatif eğri boyunca şekildeki gibi bir yük boşaltılması stabil değildir. SAP2000 statik itme analizi için üç tane yöntem önermektedir. “Unload Entire Structure” seçeneği, kuvvet-deplasman eğrisinde mafsal C noktasına ulaştığında (Şekil 4.2) program taban kesme kuvvetini artırmaya devam edecektir. Eğer bu yük artımı yanal deformasyonlarda artış meydana getirirse analiz ilerleyecektir. Eğer deformasyon artışı meydana gelmiyorsa taban kesme kuvveti, mafsalin kuvvet-deplasman eğrisinde D noktasındaki değerle uygun oluncaya kadar bütün yapı üzerinde yanal yük ters çevrilerek azaltılmaktadır. Taban kesme kuvveti azaldığından dolayı bütün elemanların yükü boşalır ve yanal deplasman azalır. Mafsal tamamen yükü boşalttığında; taban kesme kuvveti tekrar artar, yanal deplasman artmaya baslar ve yapının diğer elemanları yükü boşalmış mafsaldan nakledilen yükü üzerinde toplar.

“Apply Local Redistribution” seçeneği bütün yapının yükünün boşaltılması yerine sadece mafsal bulunduran elemanın yükünü boşaltmaktadır. Program; mafsal C noktasına ulaştığı zaman taban kesme kuvvetini azaltarak ilerlemektedir. Mafsal yükü boşaltır boşaltmaz nakledilen yük komşu elemana aktararak, geçici yük ters çevirmektedir.

“Restart Using Secant Stiffness” seçeneğinde; her mafsal kuvvet deformasyon eğrisindeki C noktasına ulaştığı zaman, doğrusal olmayan bütün mafsallar sekant rijitlik özelliklerini kullanarak yeniden düzenlenir ve analiz tekrar başlatılır. Düşey yük altında olan bir mafsaldaki gerilme yeterince büyük olduğunda sekant rijitliği negatif olacağından bu yöntem başarısız olabilmektedir. Diğer taraftan, diğer iki yöntemin küçük negatif eğimli (neredeyse yatay)

mafsalları sebebiyle başarısız olduğu durumlarda bu yöntem çözüm üretebilmektedir. Eğer “Save Positive Increments Only” seçenek kutusu statik itme (pushover) analizi işaretlenirse, yük boşalması meydana gelen adımlardaki mafsallar statik itme (pushover) eğrisinde eleman yük boşalma yönteminin özelliklerini göstermek için kaydedilmektedir. Bununla birlikte, eğer “Save Positive Increments Only” seçenek kutusu işaretlenirse statik itme eğrisi bütün kaydedilen noktaların zarf eğrisi olacaktır.

Bütün yöntemlerden elde edilen statik itme (pushover) eğrileri aynı taban kesme kuvveti kapasitesine ve yanal maksimum yanal deplasmana sahip olmasına rağmen, statik itme (pushover) analizi toplam ve önemsiz adımların ortalama sayılarını kullandığından dolayı genellikle “Save Positive Increments Only” seçeneği ile birlikte “Unload Entire Structure” yük boşaltma yöntemini kullanmaktadır. Bununla birlikte “Apply Local Redistribution” statik itme (pushover) eğrisinin yük boşaltma kolu genellikle gözlenemeyen aşırı miktarda çok küçük ve önemsiz adımlar gerektirmektedir. “Restart Loading Using Secant Stiffness” hedef deplasmanın karesi olarak artan adımların sayısını gerektirdiğinden en az etkili yöntemdir.

4.3.1 SAP2000’de Eleman Tanımlanması

SAP2000’de bir çerçeve elemanı, düz çizgi parçalarının bir dizisiyle gösterilen mafsal gibi modellenen tek çerçeve elemanlarının doğrusal elastik özelliklerine ve doğrusal olmayan kuvvet-deplasman karakteristiklerine sahip çubuk eleman olarak modellenmektedir. SAP2000’de çerçeve elemanının (veya mafsal özellikleri) genelleştirilmiş kuvvet deplasman karakteristiği Şekil 4.2’de gösterilmektedir. A noktası yük boşaltma şartını, B noktası elemanın akma noktasını, C ’deki ordinat nominal dayanımı göstermektedir. C’ nin yatay koordinatı önemli mukavemet azalmasının başladığı deformasyona denk gelmektedir. C’den D’ye düşüş elemanın aktığını göstermektedir. D’den E’ye arta kalan mukavemet ise çerçeve elemanın düşey yükü bile dayanamayacağını göstermektedir.

Eleman uçlarına kadar çerçeve elemanın açıklığı boyunca potansiyel akma noktalarına mafsallar atanabilmektedir. Eğilme momenti (M2 ve M3), burulma (T), aksel kuvvet (P) ve kesme kuvveti (V2 ve V3) kuvvet deplasman bağıntılarını ifade etmektedir. Yanal yükleme altında kolon aksel yükü değişirse, mafsal bölgesinde aksel kuvvet ve eğilme momentlerine dayalı P-M2-M3 (PMM) mafsal bağıntısı kullanılır. Ayrıca, çerçeve elemanın ayrı noktalarında bir mafsal tipinden daha fazla mafsal atanabilmektedir. SAP2000’de mafsal özelliklerinin üç tipi verilmektedir. Bunlar varsayılan mafsal, kullanıcı tanımlı mafsal ve üretilen mafsaldir. Sadece varsayılan mafsal ve kullanıcı tanımlı mafsal çerçeve elemanlara atanabilmektedir. Bu mafsal özellikleri (varsayılan ve kullanıcı tanımlı) çerçeve elemanına atandığı zaman, program otomatik olarak her mafsal için yeni üretilen mafsalı oluşturmaktadır.

Auto Hinge Assignment Data

Auto Hinge Type
From Tables In FEMA 356

Select a FEMA356 Table
Table 6-7 (Concrete Beams - Flexure) Item i

Component Type
 Primary
 Secondary

Degree of Freedom
 M2
 M3

V Value From
 Case/Combo G
 User Value V2

Transverse Reinforcing
 Transverse Reinforcing is Conforming

Reinforcing Ratio (p - p') / pbalanced
 From Current Design
 User Value

Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity
 Drops Load After Point E
 Is Extrapolated After Point E

OK Cancel

Şekil 4.3 Kirişlere mafsal atama işlemleri

Auto Hinge Assignment Data

Auto Hinge Type
From Tables In FEMA 356

Select a FEMA356 Table
Table 6-8 (Concrete Columns - Flexure) Item i

Component Type
 Primary
 Secondary

Degree of Freedom
 M2
 M3
 M2-M3
 P-M2-M3

P and V Values From
 Case/Combo G
 User Value V2 V3

Transverse Reinforcing
 Transverse Reinforcing is Conforming

Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity
 Drops Load After Point E
 Is Extrapolated After Point E

OK Cancel

Şekil 4.4 Kolonlara mafsal atama işlemleri

Varsayılan mafsal tipi, kesit özelliklerine bağlı olduğundan özellikleri değiştirilemez. Varsayılan mafsal özellikleri kullanıldığı zaman, program son mafsal özelliğini üretmek için her elemanda tanımlanan kesit özellikleriyle birlikte yerleşik varsayılan kriteri birleştirmektedir. Çelik ve beton elemanlar için yerleşik mafsal özellikleri ATC–40 ve FEMA–273 dökümanlarında verilmektedir. Kullanıcı tanımlı mafsal özellikleri varsayılan mafsal özelliklerine dayandırılabilir veya tamamen kullanıcı tanımlı olabilmektedir. Kullanıcı tanımlı özellikler varsayılan mafsal olarak atanmadığında, mafsal özellikleri görülebilmekte ve değiştirilebilmektedir. Üretilen mafsal özellikleri analizde kullanılamaz. Bu mafsal tipinin özellikleri görülebilir fakat değiştirilemez.

4.3.2 Analiz dosyalarının (analysis cases) tanımı

Bina analiz edilirken programa, doğrusal ve doğrusal olmayan modal itme analizleri tanıtılmıştır. Kullanılan itme analiz dosyalarının (Analysis Cases) isimleri ve karşılıkları aşağıda belirtilmiştir. Bütün analiz adımlarında kütle kaynağı olarak zati yükler ve hareketli yüklerin %30 kadarı hesaba katılmıştır

BÖLÜM 5. ÖRNEK BİR BETONARME BİNANIN BİLGİSAYAR ORTAMINDA ANALİZİ

5.1 Giriş

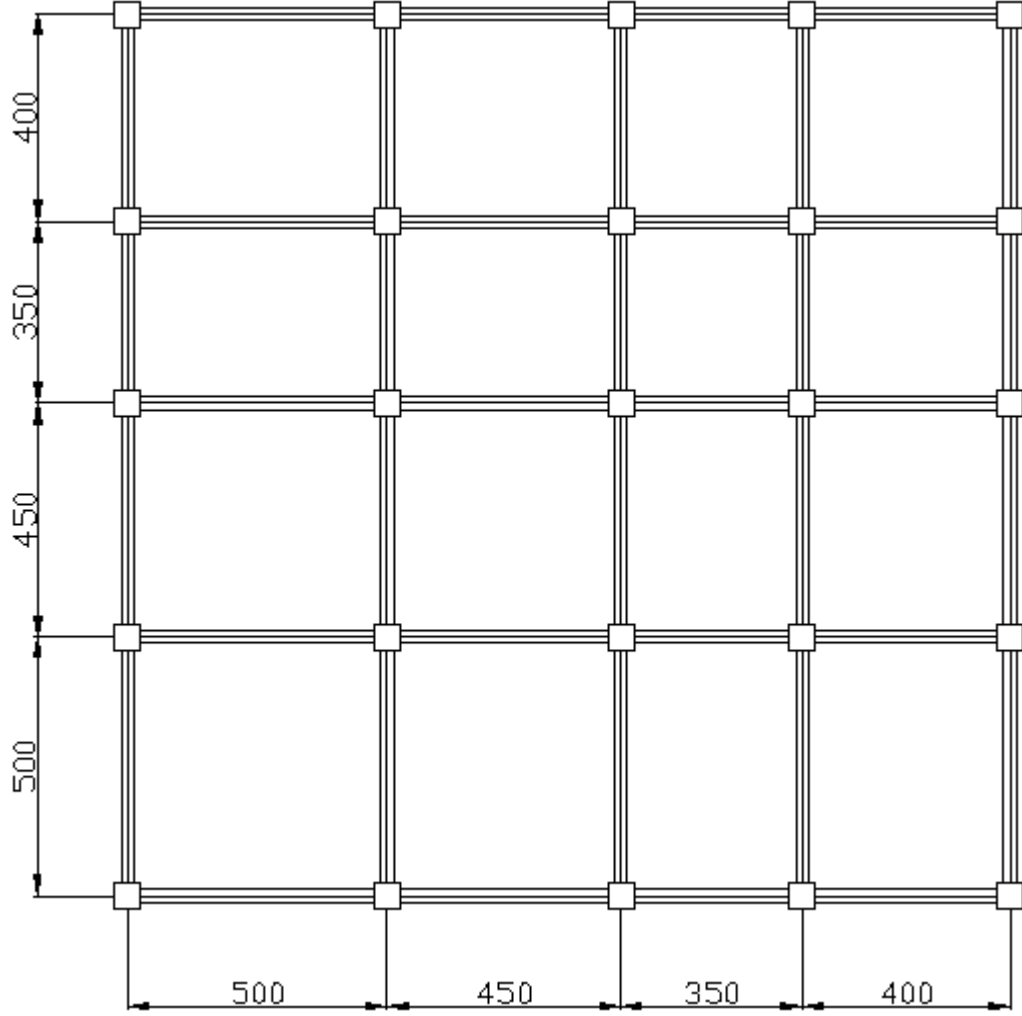
Bu bölümde 2007 Deprem Yönetmeliğine göre yüksek sünek olarak boyutlandırılmış, çerçeve taşıyıcı sistemle oluşturulmuş betonarme bir binanın 3.bölüm de anlatılan Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak doğrusal olmayan analizi yapılmış ve bina performans seviyesi tespit edilmiştir. Analizlerin nasıl yapılacağı ve yorumlanması hakkında sayısal bir örnek teşkil eden bu çalışma, yapının statik, dinamik ve itme analizleri 4. Bölümde bahsedilen SAP 2000 yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

5.2 Yapı Bilgileri

5.2.1 Genel yapı bilgileri

Örnek olarak incelenen yapı 3 normal katlı bir konut yapısıdır.Yapıya ait bilgiler aşağıda sunulmuştur.

- Kat yükseklikleri sabit olup 3 m ve toplam bina yüksekliği 9 m dir.
- Yapı, planda 189 m²lik bir alana oturmaktadır. Yapı taşıyıcı sistemi çerçevelerden oluşmaktadır. Kat kalıp planı Şekil 5.1 de verilmiştir
- Yapının döşeme sistemi kiriş + plak döşeme olup plak kalınlığı 15 cm.dir.
- Bütün kirişler 25/50cm boyutunda tasarlanmıştır
- Kolonlar 50x50 cm. boyutlarındadır.
- Tüm binadaki duvarlar 10 cm dir.
- Donatı çeliğinin kalitesi S420'dür.
- Betonarme binada tahkik hesaplarında esas alınacak beton basınç dayanımı 25 N/mm² dir. (C25)
- Zemin etüdü raporlarına göre yerel zemin sınıfı Z2 olarak belirlenmiştir.
- Etkin yer ivmesi katsayısı 0.40 olarak alınacaktır.
- Yapı önem katsayısı I= 1.0 olarak alınacaktır.
- Zemin hakim periyotları Ta= 0.15 s. Tb= 0.40 s. olarak alınacaktır.

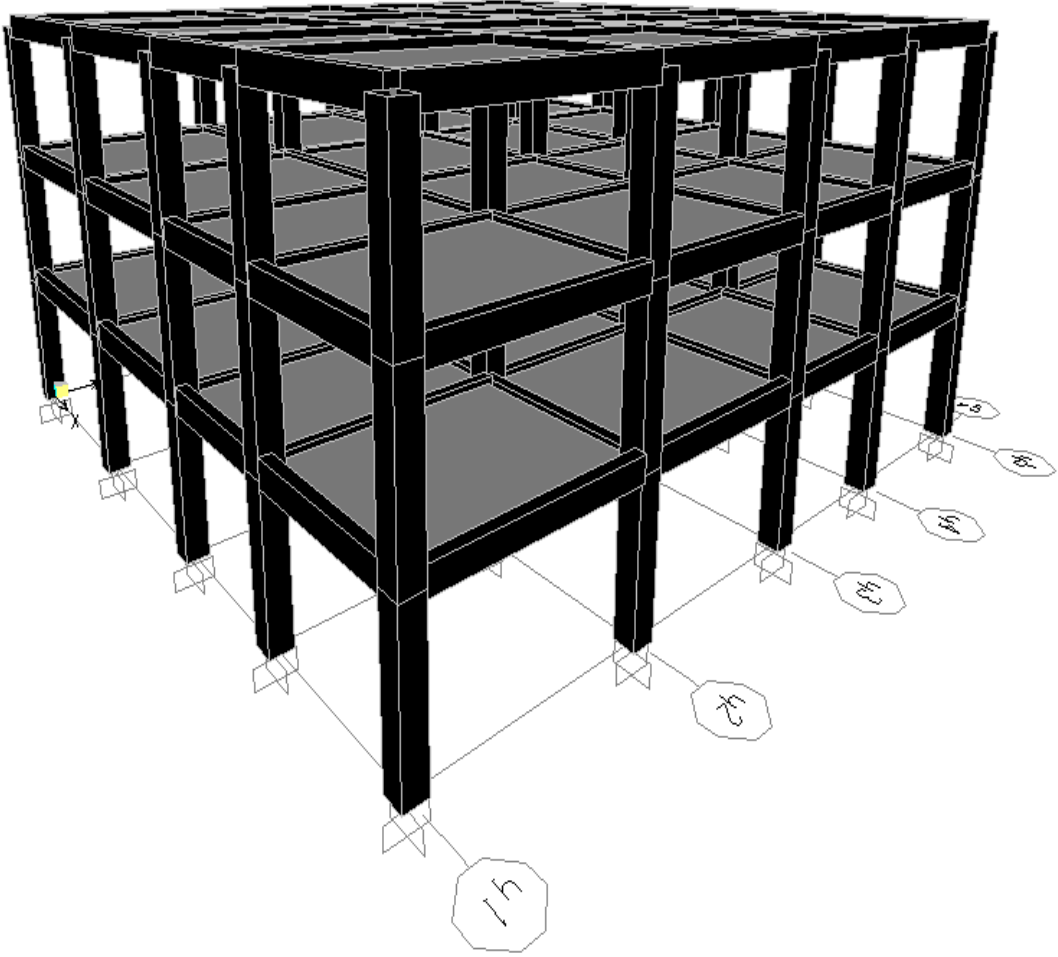


Şekil 5.1 Normal kat kalıp aplikasyon planı

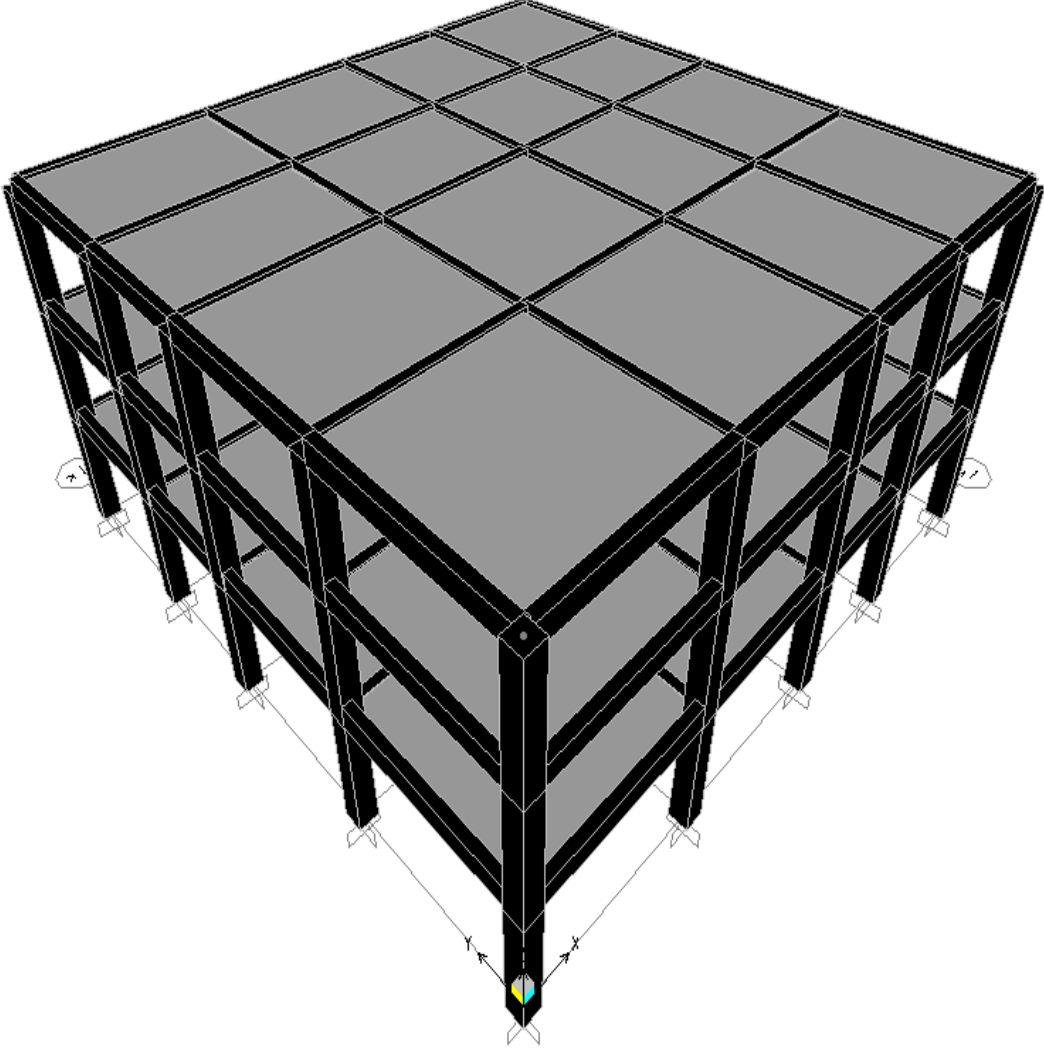
- Taşıyıcı sistemin davranış katsayısı sünelik düzeyi yüksek betonarme binada $R= 8$ alınacaktır.

Bunlara ek olarak aşağıda belirtilen değerler hesaplamalarda kullanılacaktır [6].

- Uygulanacak deprem türü: Tasarım depremi
- Betonun birim kısalması $\epsilon_{cu} = 0.004$ (Mandel Modeli)
- Çelik sınıfı: S420 ($f_y = 420000 \text{ kN/m}^2$)
- Çeliğin maksimum birim uzaması $\epsilon_{su} = 0.1$



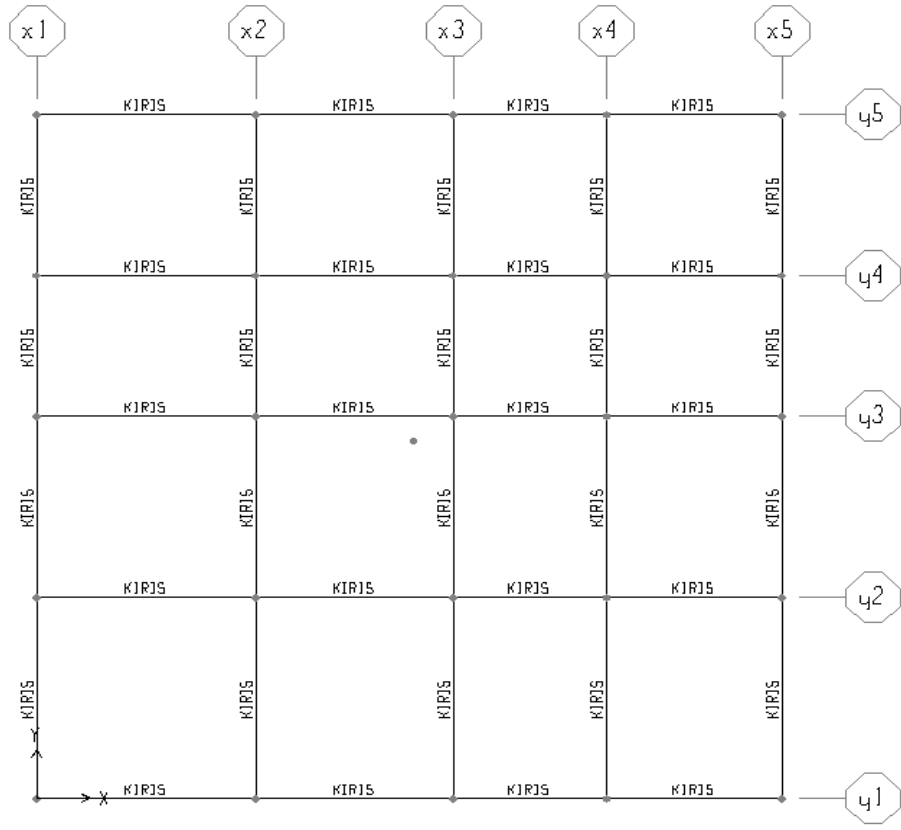
Şekil 5.2 Binanın 3 boyutlu görünümü



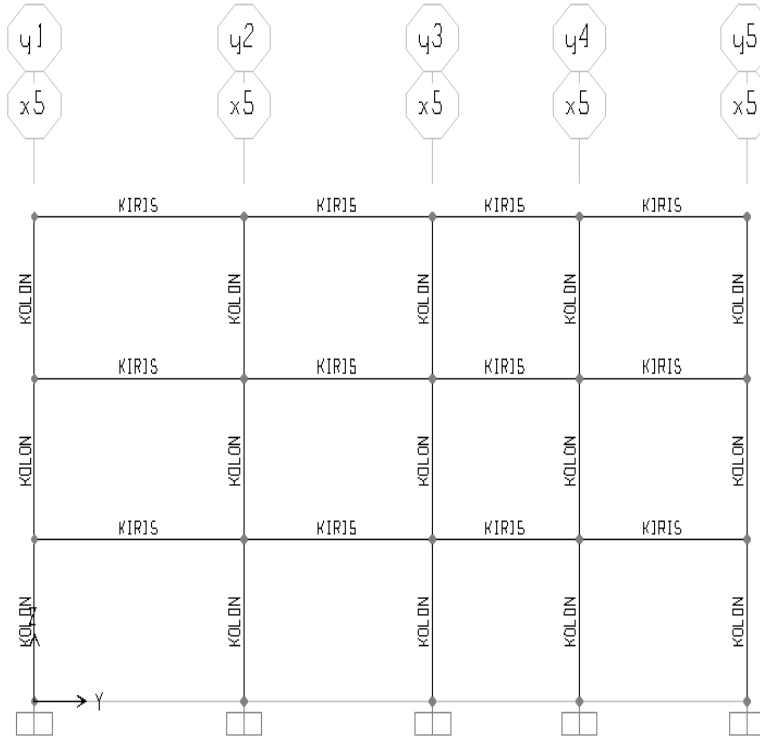
Şekil 5.3 Binanın 3 boyutlu görünümü

5.2.2 İncelenen Taşıyıcı Sistem Modeli

Sayısal örnek için seçilen bir taşıyıcı sistem modeli, x ve y yönünde dört açıklıklı, 3 katlı üç boyutlu çerçeve sistem olup, kiriş açıklıkları x yönünde 5m, 4.5m, 3.5m, 4m ; y yönünde 5m, 4.5m, 3.5m, 4m ve kat yükseklikleri 3 m olarak seçilmiştir. Sistemin üç boyutlu doğrusal olmayan itme analizi sekiz adet deprem yüklemesiyle birlikte SAP2000 programı ile çözümlenerek Artımsal Eşdeğer İtme Analizi bulunmuştur. Analizde kullanılan sistem modelinin hem plan hem de X ve Y düzlemindeki görünümü Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'de verilmektedir.



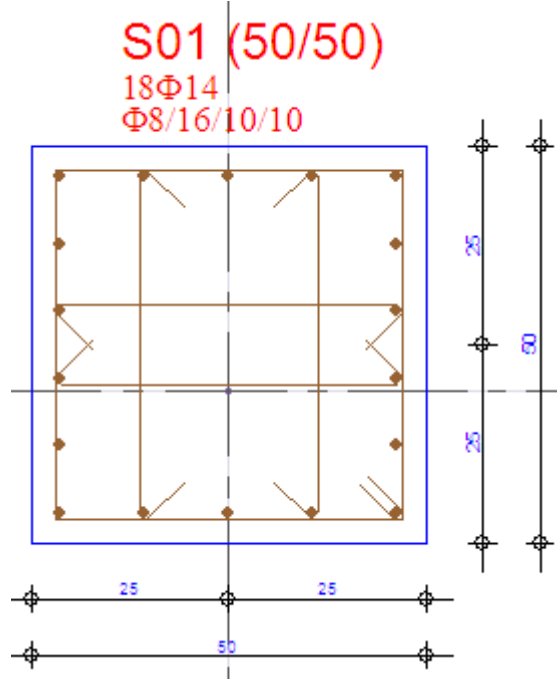
Şekil 5.4 Yapı sisteminin X-Y düzlemindeki görünümü



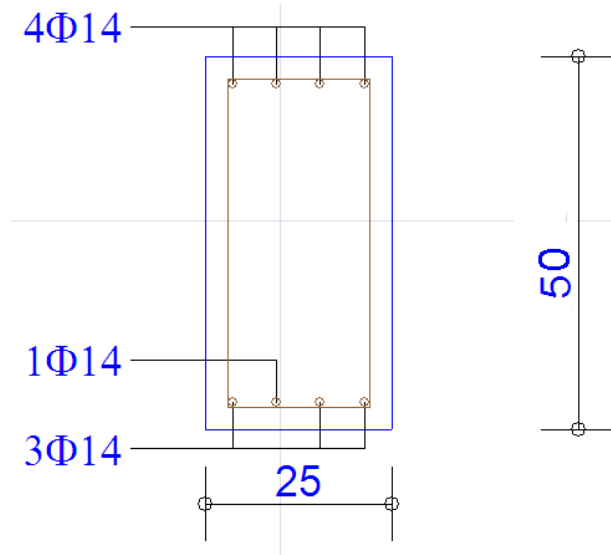
Şekil 5.5 Yapı Sisteminin Y-Z düzlemindeki görünümü

5.2.3 Sistemdeki Kolon ve Kiriş Kesitleri

Binadaki kolon ve kiriş kesit detayları Şekil 5.6 ve Şekil 5.7de verilmiştir



Şekil 5.6 Kolon kesiti



Şekil 5.7 Kiriş kesiti

5.3 Yapıya Etki Eden Yükler

5.3.1 Düşey yükler

5.3.1.1 Ölü yükler

Ölü yükler döşeme ağırlıkları ve duvar ağırlıkları olarak ayrı ayrı hesaplanmış ve kirişlere etkilmiştir. Kiriş ve kolon ağırlıkları analiz programında çubukların kendi kütlelerinin ağırlığı dikkate alındığından hesaba katılmamıştır. Bu hesaplarda kabul edilen bazı yükler aşağıda özetlenmiştir.

15 cm Döşeme ağırlığı = Betonarme plak ağırlığı + (şap +kaplama) ağırlığı

(Şap + Kaplama) ağırlığı = $0.03\text{m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 0.75 \text{ kN/m}^2$

$$\rho_{\text{beton}} = 25 \text{ kN/m}^3$$

Duvar Çizgisel Yükü = $2,5 \text{ m} \times 2 \text{ kN/ m}^2 = 5 \text{ kN/ m}$

Duvar çizgisel yükü hesaplanırken kat yüksekliği 3m (net kat yüksekliği $3 - 0,5 = 2,5 \text{ m}$) olarak alınmıştır. Yukarıdaki değerler kullanılarak hesaplanan kat ağırlıkları Tablo 5.1 ile gösterilmiştir.

5.3.1.2. Hareketli yükler

TS 498'de konutlar için minimum hareketli yük 2 kN/ m^2 olarak belirtilmiştir [7], bu binanın tasarımında dikkate alınan hareketli yük 2 kN/ m^2 dir. Hesaplanan hareketli yük değerleri tablo 5.1'de gösterilmiştir.

5.3.1.3 Düşey yüklerin hesaplanması ve tanıtılması

Sabit ve hareketli yükler belirli kombinasyonlar kullanılarak birleştirilir ve kirişler üzerine düzgün yayılı yük olarak etkilir. Kolon ve kiriş ağırlıkları program tarafından otomatik olarak hesaplandığı için bu değerler hesaba katılmamıştır.

5.3.2 Yatay yükler

Binanın TDY 2007 de anlatılan doğrusal eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak deprem hesabı yapılmış ve boyutlandırılmıştır. Eşdeğer deprem yükü hesabından elde edilen taban kesme kuvveti, itme analizi sonucundan elde edilen taban kesme kuvveti ile kıyaslanarak dayanım fazlalığı olarak nitelendirilen değer elde edilmiştir.

Bina toplam ağırlığı W ,

$$W = \sum_{i=1}^N w_i$$

formülü ile, kat ağırlıkları ise

$$W_i = G_i + n Q_i$$

formülü yardımıyla hesaplanacaktır. Yukarıdaki formüllerde;

W : Toplam kat ağırlığı

W_i : i. Katın ağırlığı

G_i : i. Katın sabit yüklerinden oluşan ağırlık

Q_i : i. Katın hareketli yüklerinden oluşan ağırlık

n : Hareketli yük katılım katsayısı ,

büyükliklerini göstermektedir.

İncelenen bina konut olarak kullanıldığı için hareketli yük katılım katsayısı (n) 0.30 olarak belirlenmiştir.

Buna göre deprem hesabında dikkate alınacak düşey yükler Tablo 5.1 ile verilmiştir

KAT	G (kN)	Q (kN)	G+0.3Q (kN)
3.Kat	2151,75 kN	578 kN	3107,15 kN
2.Kat	2933,75 kN	578 kN	3107,15 kN
1.Kat	2933,75 kN	289 kN	2238,45 kN
TOPLAM	8019,25 kN	1445 kN	8452,75 kN

Tablo 5.1: Deprem hesabında dikkate alınacak düşey yükler

Binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü ;

$$V_t = \frac{W \cdot A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0,10 \cdot A_0 \cdot I \cdot W \quad (5.3)$$

denklemleri ile tanımlanır.

Burada

W : binanın deprem sırasındaki toplam ağırlığı

T_1 : binanın birinci doğal titreşim periyodu

$A(T_1)$: T_1 periyot değeri için hesaplanan spektral ivme katsayısı

$R_a(T_1)$: T_1 periyot değeri için hesaplanan deprem yükü azaltma katsayısı

$A(T_1)$ Spektral ivme katsayısı Denklem (5.4) ile bulunur.

$$A(T) = A_0 \cdot I \cdot S(T) \quad (5.4)$$

şeklinde hesaplanmaktadır

Burada

A_0 : Etkin yer ivme katsayısı,

I : Bina önem katsayısı

$S(T_1)$: T_1 periyot değerine karşılık gelen elastik tasarım ivme spektrum değeri

DBYBHY–2007' ye göre, birinci derece deprem bölgesi için $A_0 = 0.40$ ve bina önem katsayısı $I = 1.0$ olarak seçilmiştir. $S(T_1)$ değeri ise zemin sınıfına ve T_1 doğal titreşim periyoduna bağlı olarak aşağıdaki gösterildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$A(T) = A_0 \cdot I \cdot S(T) = 0.4 \times 1 \times 2.5 = 1$$

Spektrum Katsayısı

$$S(T) = 1 + 1.5 \frac{T}{T_A} \quad 0 \leq T \leq T_A \quad (5.5a)$$

$$S(T) = 2.5 \quad T_A \leq T \leq T_B \quad (5.5b)$$

$$S(T) = 2.5 \cdot (T_B/T)^{0.8} \quad T_B > T \quad (5.5c)$$

T_A ve T_B Spektrum karakteristik periyotları olup yerel zemin sınıflarına bağlı olup Z2 zemin sınıfı için 0.15 ve 0.40 s. olarak hesaba katılacaktır.

Yapılan modal analiz sonucu x doğrultusu için hakim periyot $T_X = 0.386$ sn. Y doğrultusu için $T_Y = 0.34$ sn. olarak belirlenmiştir

$T_A = 0.15$ sn , $T_Y < T_B = 0.40$ sn. olduğu için Spektrum katsayısı Denklem (5.5b) dikkate alınarak göre $S(T) = 2.5$ değerini alır.

Deprem yükü azaltma katsayısı

$$R_a(T) = 1,5 + (R - 1,5) T / T_A \quad 0 \leq T \leq T_A \quad (5.7a)$$

$$R_a(T) = R \quad T > T_A \quad (5.7b)$$

Burada

R : taşıyıcı sistem davranış katsayısıdır.

$R_a(T)$: deprem yükü azaltma katsayısı

Bina süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlandığı ve deprem yükleri çerçeveler ile taşındığı için R=8 alınır.

Denklem (5.7b) ile gösterildiği üzere $T > T_A$ olduğu için

$$R_a(T) = R=8$$

Böylelikle toplam eşdeğer deprem yükü Denklem (5.3) yardımıyla;

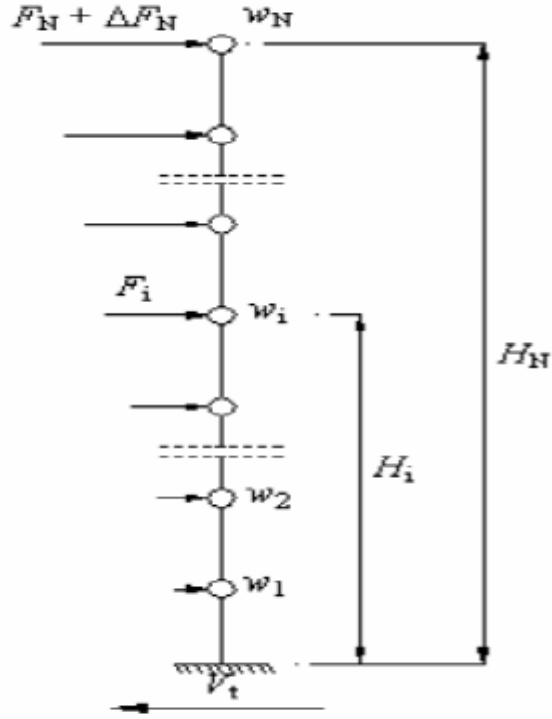
$$V_t = \frac{W \cdot A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0,10 \cdot A_0 \cdot I \cdot W$$

$$V_t = \frac{8452,75 \times 1}{8} \geq 0,10 \times 0,40 \times 1 \times 8452,75$$

$$V_t = 1056,59 \text{ kN} \geq 338,11 \text{ kN} \text{ olarak hesaplanır.}$$

Binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü ΔF_N

$$\Delta F_N = 0,0075 \cdot N \cdot V_t = 0,0075 \times 3 \times 1056,59 \text{ kN} = 23,77 \text{ kN}$$



Şekil 5.8 Eşdeğer deprem yüklerinin bulunması

Eşdeğer deprem yükü yönteminde i ' inci kata etkiyen eşdeğer deprem yükü F_i

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i \cdot H_i}{\sum w_j \cdot h_j}$$

ile hesaplanır.

Burada

H_i : yapının i . katının yerden yüksekliğini göstermektedir.

5.3.3 Dügüm Noktalarına Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüklerinin Bulunması

Tablo 5.2 Sisteme etkiyen eşdeğer deprem yükleri

Kat	W_i	H_i	$W_i \cdot H_i$
1	3107,15	3	9321,45
2	3107,15	6	18642,9
3	2238,45	9	20146,05

$$\sum W_j \cdot h_j = 48110,4 \text{ k}$$

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{W_i \cdot H_i}{\sum W_j \cdot h_j}$$

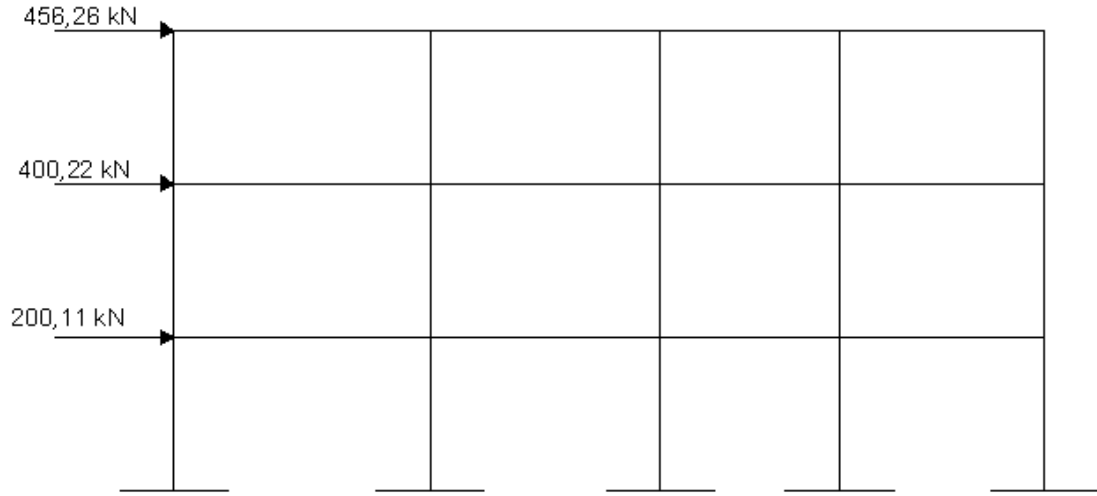
$$F_1 = (1056,59 - 23,77) \frac{9321,45}{48110,4} = 200,11 \text{ kN}$$

$$F_2 = (1056,59 - 23,77) \frac{18642,9}{48110,4} = 400,22 \text{ kN}$$

$$F_3 = (1056,59 - 23,77) \frac{20146,05}{48110,4} = 432,49 \text{ kN} + 23,77 \text{ kN} = 456,26 \text{ kN}$$

Katlara etki eden(X ve Y Yönünde) deprem kuvvetleri bulunmuş olur.

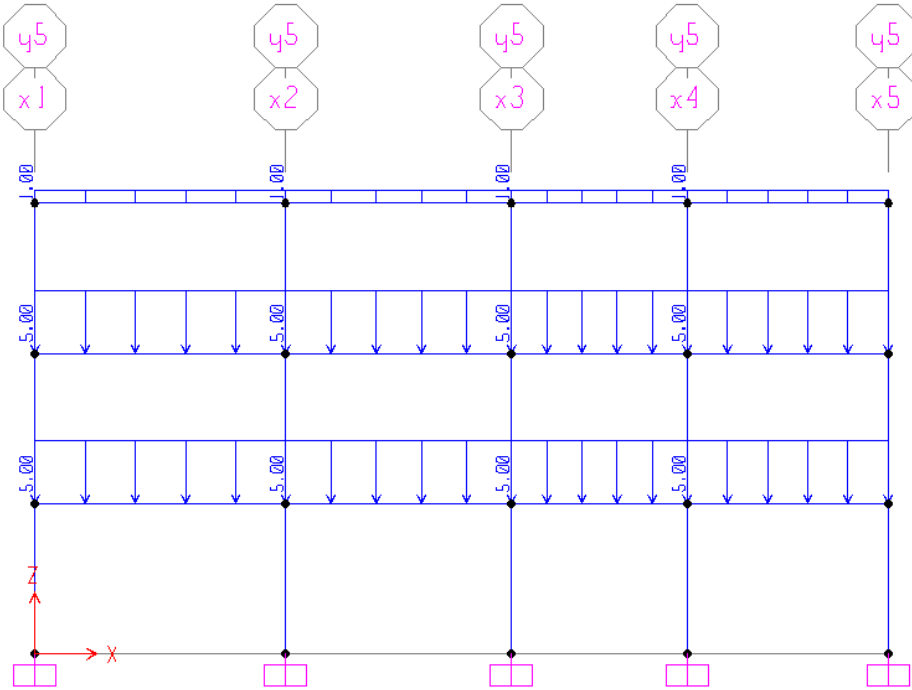
Yapıya etkiyen deprem yükleri, X ve Y doğrultuları için Şekil 5.9'de gösterilmiştir.



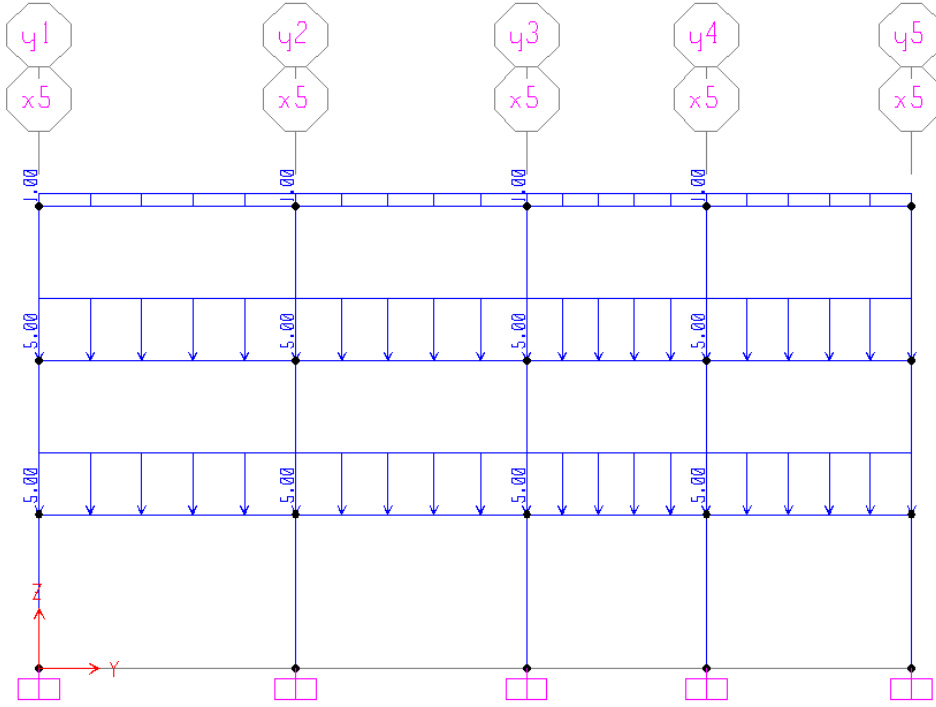
Şekil 5.9 Eşdeğer Deprem Yüklerinin Sisteme Etki Edilmesi

5.3.4 Olası Plastik Mafsalları Atamaları

Sisteme etkiyen deprem yükleri, ölü ve hareketli yükler, sistemde oluşacak olası plastik mafsallar Şekil 5.10, Şekil 5.11, Şekil 5.14, Şekil 5.15'de gösterilmektedir.

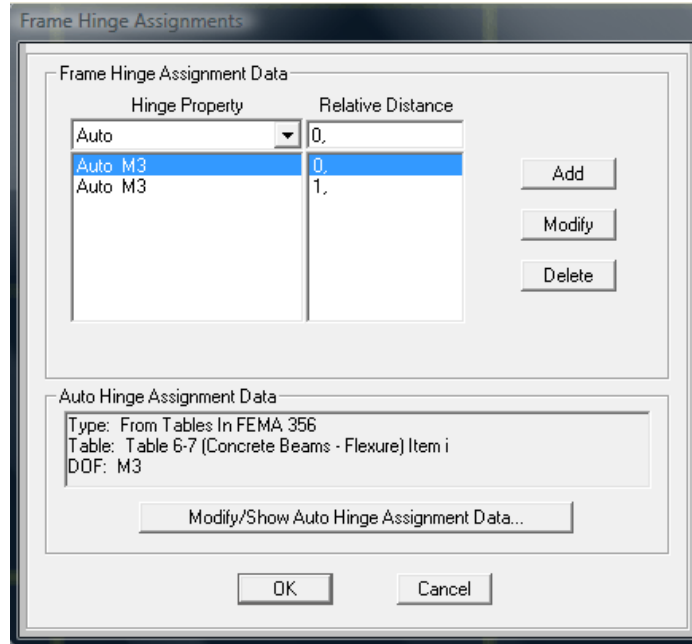


Şekil 5-10 X-Z yönündeki ölü yükler



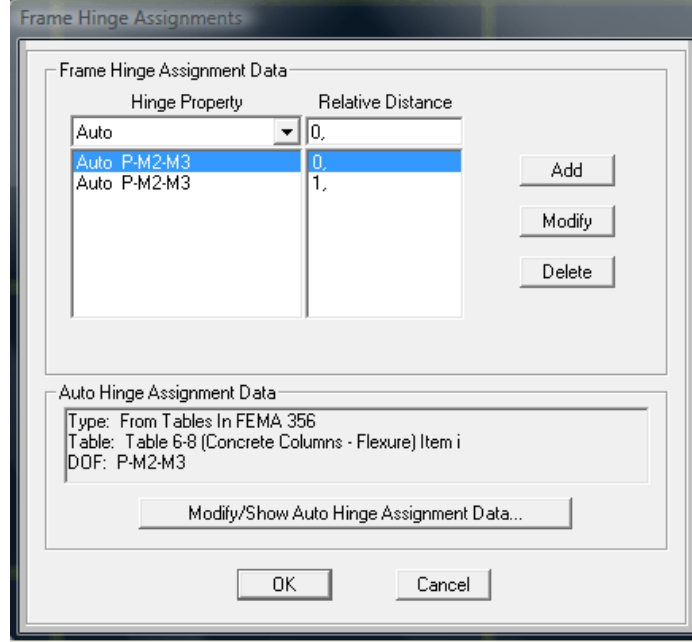
Şekil 5-11 Z-Y yönündeki ölü yükler

Tüm katlara etkiyen düşey ve yatay yükler hesaplandıktan sonra, sisteme önce kirişler sonra kolonlar olmak üzere plastik mafsallar tanımlanmalıdır. Bunun için sistemdeki tüm kirişler seçilir ve her bir ucuna mafsallar tanımlanır.



Şekil 5.12 Kirişlere mafsallara atama işlemleri

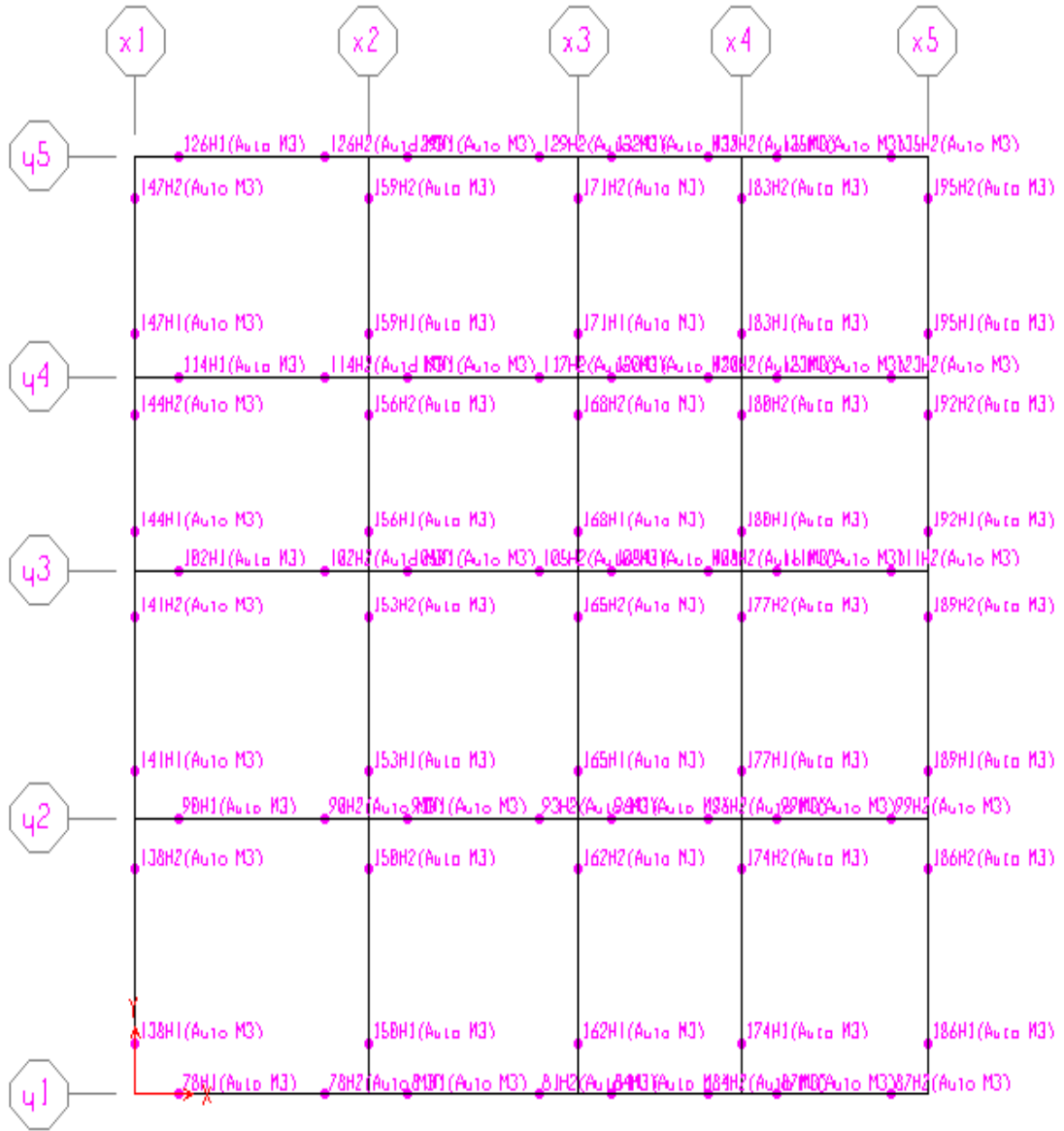
Daha sonra taşıyıcı sistemdeki kolonlar seçilir ve aynı şekilde kolonlara da mafsallar tanımlanır.



Şekil 5.13 Kolonlara mafsal atama işlemleri



Şekil 5.14 Kolon ve kiriş uçlarındaki olası mafsallar (X-Z kesiti)



Şekil 5.15 Kirişlerdeki olası mafsallar

5.3.5 Sisteme Pdüşey ve Pyatay yüklerinin etkililmesi

Sisteme mafsallar girildikten sonra düşey yüklerden ibaret olan Pdüşey ve yatay yüklerden oluşan Pyatay tanımlanır. Pyatay kuvvetine iki tane kuvvet etkidiği için (Ex ve Ey kuvvetleri) Pyatayx ve Pyatayy şeklinde tanımlanır. Pdüşey kuvveti tanımlanırken G+0,3Q kombinasyonu şeklinde tanımlanır.

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: Pdusey [Set Def Name] Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Static [Design...]

Initial Conditions:

- Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
- Continue from State at End of Nonlinear Case []

 Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type:

- Linear
- Nonlinear
- Nonlinear Staged Construction

Modal Load Case: All Modal Loads Applied Use Modes from Case [MODAL]

Geometric Nonlinearity Parameters:

- None
- P-Delta
- P-Delta plus Large Displacements

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	G	1.
Load Pattern	G	1.
Load Pattern	Q	0,3

[Add] [Modify] [Delete]

Other Parameters:

- Load Application: Full Load [Modify/Show...]
- Results Saved: Multiple States [Modify/Show...]
- Nonlinear Parameters: User Defined [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Şekil 5.16 Pdüşey kuvvetinin tanımlanması

Pyatay, statik itmeyi oluşturacağı için Pdüşeyden devam edilir. Yapının itileceği deplasman değeri burada seçilir ve her bir doğrultudaki statik itme eğrileri elde edilir.

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: PYatayx Notes:

Load Case Type: Static

Initial Conditions:

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Continue from State at End of Nonlinear Case: Pdusey
Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type:

Linear

Nonlinear

Nonlinear Staged Construction

Modal Load Case:

All Modal Loads Applied Use Modes from Case: MODAL

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern <input type="button" value="v"/>	EX <input type="button" value="v"/>	1. <input type="button" value="v"/>
Load Pattern	EX	1.

Geometric Nonlinearity Parameters:

None

P-Delta

P-Delta plus Large Displacements

Other Parameters:

Load Application:

Results Saved:

Nonlinear Parameters:

Şekil 5.17 PYatay kuvvetinin tanımlanması

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: PYatayy Notes:

Load Case Type: Static

Initial Conditions:

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Continue from State at End of Nonlinear Case
 Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type:

Linear

Nonlinear

Nonlinear Staged Construction

Modal Load Case:

All Modal Loads Applied Use Modes from Case: MODAL

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern <input type="button" value="v"/>	EY <input type="button" value="v"/>	1. <input type="text"/>
Load Pattern	EY	1.

Other Parameters:

Load Application:

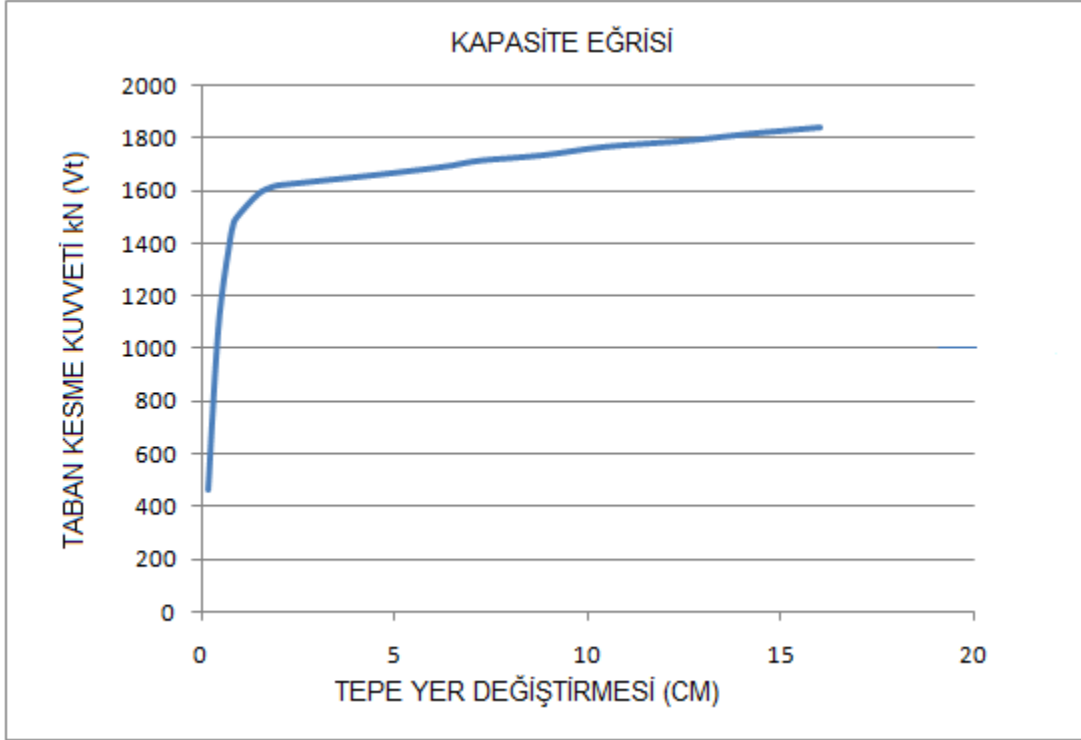
Results Saved:

Nonlinear Parameters:

Şekil 5.18 PYatayy kuvvetinin tanımlanması

5.3.6 Yapının X Yönündeki Taban Kesme kuvveti- Tepe Değişirmesi

Sistem analiz edildikten sonra x ve y doğrultularındaki statik itme eğrileri elde edilmiştir.



Şekil 5.19 Yapının X yönündeki Taban Kesme Kuvveti-tepe yer değışirmesi grafiği

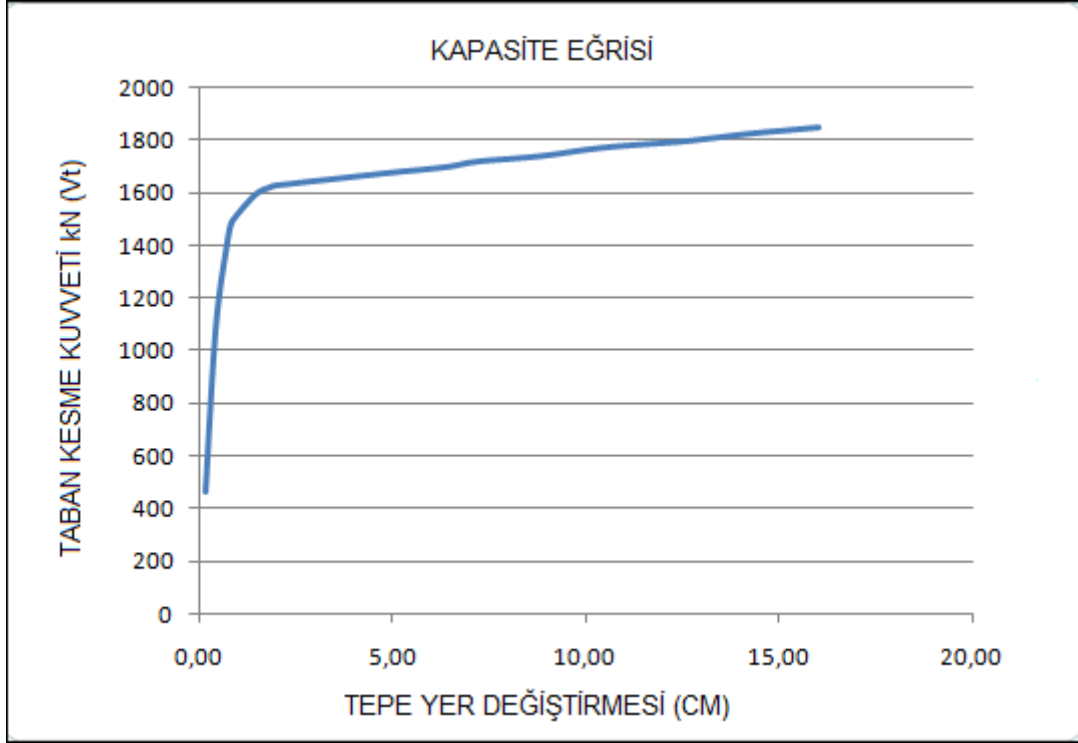
Şekilden de görüldüğü gibi, yapı X yönünde kademe kademe itilmiştir, en son 16 cm ye kadar itilmiş yapının bundan sonra daha fazla yük taşıyamadığı görülmüştür. 1841,70 kN taban kesme kuvveti oluşmuştur.

Tablo 5.3 X Doğrultusu Taban kesme kuvveti – Tepe noktası yer değıştirmesi değeri

Adım	δ tepe (cm)	Vt(kN)
1	0,20	466,77
2	0,39	933,54
3	0,54	1191,56
4	0,79	1433,90
5	0,83	1462,19
6	0,92	1497,18
7	1,48	1588,04
8	1,86	1616,79
9	2,00	1622,19
10	4,77	1665,68
11	6,37	1694,67
12	7,22	1710,06
13	8,82	1728,86
14	10,42	1764,71
15	12,57	1791,99
16	14,17	1817,50
17	16,00	1841,70

Tablodan da görüldüğü gibi binanın taşıdığı taban kesme kuvveti her bir adımda azalarak artmıştır.

5.3.7 Yapının Y Yönündeki Taban Kesme kuvveti- Tepe Değişirnesi



Şekil 5.20 Yapının Y yönündeki Taban Kesme Kuvveti-tepe yer değiştirnesi grafiği

Şekilden de görüldüğü gibi, yapı Y yönünde kademe kademe itilmiştir, en son 16 cm ye kadar itilmiş yapının bundan sonra daha fazla yük taşıyamadığı görülmüştür. 1844,70 kN taban kesme kuvveti oluşmuştur.

Tablo 5.4 Y Doğrultusu Taban kesme kuvveti – Tepe noktası yer değıştirmesi değeri

Adım	Vt(kN)	δ tepe (cm)
1	466,77	0,20
2	938,54	0,39
3	1195,56	0,54
4	1433,90	0,79
5	1465,19	0,83
6	1497,18	0,92
7	1590,45	1,48
8	1618,79	1,86
9	1625,19	2,00
10	1670,68	4,77
11	1694,67	6,37
12	1716,00	7,22
13	1736,00	8,82
14	1768,00	10,42
15	1793,00	12,57
16	1820,50	14,17
17	1844,70	16,00

Tablodan da görüldüğü gibi binanın taşıdığı taban kesme kuvveti her bir adımda azalarak artmıştır

BÖLÜM 6. SONUÇLAR

Bir betonarme sistem modeli üzerinde binaların deprem yükleri altındaki doğrusal olmayan davranışlarının belirlenmesinde doğrusal olmayan yöntemler kullanılarak sayısal inceleme konulu bir tez çalışması yapılmıştır.

Çalışmada betonarme yapıların deprem yükleri altındaki davranışlarının değerlendirmesini yapmak üzere, kat planları ve kat yükseklikleri aynı olan üç katlı betonarme çerçeveli bir yapı seçilmiştir. Bu yapının analizi Doğrusal Olmayan Eşdeğer Artımsal İtme Analizi (Statik İtme Analizi) Yöntemi kullanılarak SAP2000 programıyla yapılmıştır. Binanın ulaşacağı max deplasman ve max taban kesme kuvveti (V_t) elde edilmeye çalışılmıştır.

Yapı her bir doğrultuda deprem kuvveti ile itilmiştir. Doğrusal olmayan analiz sonucunda elde edilen kapasite eğrilerine göre, taban kesme kuvvetleri X yönünde 1840 kN, Y yönünde 1844,70 kN olarak bulunmuştur. Binanın çatı katı ise X ve Y yönünde 16 cm deplasman yapmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Lawson R. S. , Vance V. ve Karwinkler H. (1994). Nonlinear static push-over analysis why, when, and how. Proceeding 5th US National Conference on Earthquake
- [2] Moghadam A.S. ve Tso W.K. (1995). 3-D pushover analysis for eccentric buildings. Earthquake Engineering: Seventh Canadian Conference, 285-292.
- [3] Tso W.K ve Moghadan A.S. (1996). Damage assessment of eccentric multistorey buildings using 3-D pushover analysis. Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, computer file.
- [4] Kilar V. ve Fajfar P. (1997). Simple push-over analysis of asymmetric buildings. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.26, 233-249.
- [5] Krawinkler H. ve Seneviranta G.D.P.K. (1998). Pros and cons of a pushover analysis of seismic performance evaluation. Engineering Structures, Vol.20, 452-464.
- [6] Sasaki K.K. , Freeman S.A. ve Paret T.F. (1998). Multi-mode pushover procedure (MMP)- a method to identify the effect of higher modes in a pushover analysis. 6th. U.S. National Conference on Earthquake Engineering, CD-ROM.
- [7] Moghadam A.S. ve Tso W.K. (1998). Pushover analysis for asymmetrical multistorey buildings. Proceedings of the Sixth US National Conference on Earthquake Engineering.
- [8] Faella G. ve Kilar V. (1998). Asymmetric multistorey R/C frame structures: push- over versus nonlinear dynamic analysis. Proceedings of the Eleventh European Conference on Earthquake Engineering, computer file.
- [9] Kim S.D. , Hong W.K. ve Ju Y.K. (1999). The Structural Design of Tall Buildings, volume 8, issue 1, 57–73.
- [10] Chopra A.K. ve Goel R.K. (2001). A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 31, 561–582.
- [11] Kilar V. ve Fajfar P. (2001). On the applicability of pushover analysis to the seismic performance evaluation of asymmetric buildings. European Earthquake Engineering, Vol. XV, No.1, 20–31.

- [12] Antoniou S. , Rovithakis A. ve Pinho R. (2002). Development and verification of a fully adaptive pushover procedure. The Twelfth European Conference on Earthquake Engineering, electronic resource.
- [13] Almeida R. ve Carneiro-Barros R. (2003). A “new” multimode load pattern for pushover analysis: the effect of higher modes of vibration. Earthquake Resistant Engineering Structures, IV, 3-13.
- [14] Chintanapakdee C. ve Chopra A.K. (2003). Evaluation of modal pushover Analysis using generic frames. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.32, 417-442.
- [15] Jan T.S. , Liu M.W. ve Kao Y.C. (2004). An upper- bound pushover analysis procedure for estimating the seismic demands of high-rise buildings. Engineering Structures, Vol.26, 117-128.
- [16] EROL, O.,2006 “Planda Düzensiz Yapıların Deprem Yönetmeliğine Göre İncelenmesi” , İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi
- [17] AĞCAKOCA, M. 2006., “Burulma Modu Etkin Olan Yapıların Deprem Etkisi Altındaki Davranışı” , İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi
- [18] CELEP, Z., KUMBASAR, N., “Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı” , İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul, 2004.
- [19] DARCAN, C. 2005, “Mevcut Betonarme Binaların Performans Kriterlerine Göre Hesabı” , Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi,
- [20] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 06 Mayıs 2007.
- [21] Ersoy, U. (1978), “Beton ve Betonarmenin Doğrusal Elastik Olmayan Davranışı”. İMO Yayınları Ankara,1–25.
- [22] Oğuz, S. 2005 Evaluation Of Pushover Analysis Procedures For Frame Structures
- [23] İrtem, E. ve Türker, K. (2002). “Yapıların Deprem Yükleri Altındaki Lineer Olmayan Davranışının Belirlenmesinde Kullanılan Statik Yöntemlerin Karşılaştırılması” Balıkesir Üniversitesi IV. Mühendislik-Mimarlık Sempozyumu, 425–436.

[24] Köse D. 2008 “Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemiyle Betonarme Bir Yapının Performans Seviyesinin Belirlenmesi” İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Y.Lisans Tezi

[25] Temür F. 2007 “Statik İtme (pushover) Yöntemi Kullanılarak Yapıların Analizi” Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Y.Lisans Tezi

[26] Bozan A.2008 “Mevcut Çok Katlı Yapının Statik İtme (pushover)Yöntemi ile Analizi” Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Y.Lisans Tezi

[27] Yön B.2007 “Betonarme Yapıların Statik İtme Analizi ile Performanslarının Belirlenmesi” Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Y.Lisans Tezi

ÖZGEÇMİŞ

Barbaros Recep Yılmaz,1985 yılında İzmir'de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İzmir'de tamamladı. Lisans eğitimine 2004-2005 eğitim yılında Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde başladı. 2007-2008 eğitim yılında Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bölümünden bahar yarı yılında mezun oldu. 2008-2009 eğitim yılında Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Anabilim Dalı'nda yüksek lisansa başladı