

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PERFORMANSA DAYALI YAPI TASARIMI
KONUSUNDA STATİK-İTME ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş.Müh. Değer ERKEK**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

MAYIS 2005

**PERFORMANSA DAYALI YAPI TASARIMI
KONUSUNDA STATİK-İTME ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş.Müh. Değer ERKEK
(501031108)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 9 Mayıs 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Mayıs 2005**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. M.Ertaç ERGÜVEN
Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Faruk YÜKSELER (Y.T.Ü.)
Yrd.Doç.Dr. Abdullah GEDİKLİ (İ.T.Ü.)**

MAYIS 2005

ÖNSÖZ

1999 Kocaeli depremi, ülkemizin bir deprem ülkesi olduğu gerçeğini, ülkemiz insanlarının, devlet kurumlarının ve ülkemiz yapılarının bu gerçeğe rağmen ne kadar hazırlıksız olduğunu, mevcut sistemin ne kadar yetersiz olduğunu gösteren, binlerce insanımızın canına mal olan çok acı bir ders olmuştur. Ülkemizde meydana gelen depremlerde, yapılarda meydana gelen hasarların çok büyük can ve mal kayıplarına neden olması, bir deprem ülkesi olan Türkiye’de depreme dayanıklı yapı tasarımı konusunda mevcut eğitim sistemimizin, mevcut bilgilerimizin, mevcut denetleme mekanizmalarının ve mesleki etiğin gözden geçirilmesi gerekliliğini bizlere tekrar hatırlatmış ve geleneksel yöntemlere ek olarak yeni tasarım yöntemleri üzerinde çalışmamız ve bu yöntemleri geliştirmemiz doğrultusunda da bizleri yönlendirici olmuştur. Unutulmamalıdır ki her insan gibi Türkiye Cumhuriyeti vatandaşları da güvenli yapılarda yaşamayı hak etmektedir.

Son yıllarda dünyada depreme dayanıklı yapı tasarımı alanında yapılan çalışmalar, doğrusal analiz yöntemleri yanında doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin gelişmesini sağlamıştır. Bu analiz yöntemleri genel olarak performans dayalı yapı analizi olarak anılır ki burada ana amaç, tanımlanan deprem kuvvetleri altında yapının taşıyabileceği kesme kuvvetleri ve elastik olmayan yer değiştirmelere göre yapının hasar durumunun kontrol edilmesidir. Bu performans incelemesinin prosedürleri ATC40(1996), FEMA356(2000), Vision2000(1995) ve Blue Book(1999) gibi dökümanlarda mevcut ve güçlendirilmiş yapılar için belirtilmiştir.

Bu tez çalışmasında genel olarak ATC40 ve bir bölüm olarak ta FEMA356 Yöntemi anlatılmaya çalışılmıştır.

Bu tez çalışmasının oluşturulmasında her türlü bilgisini, desteğini ve zamanını benimle paylaşan sayın tez danışmanım Prof.Dr.M.Ertaç Ergüven’e, maddi ve manevi her türlü desteği sağlayan, beni hiç yalnız bırakmayan babam, annem ve ablama sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs 2005

Değer ERKEK

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	iv
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2. PERFORMANS KAVRAMI	3
2.1. Giriş	3
2.2. Performans Seviyeleri	3
2.2.1. Yapısal (Taşıyıcı) Olan Performans Seviyeleri	3
2.2.2. Yapısal Olmayan (Taşıyıcı Olmayan) Performans Seviyeleri	4
2.2.3. Performans Seviyelerinin Tablolar Halinde Gösterimleri	5
3. YER HAREKETİ (DEPREM) ETKİ SEVİYESİ	6
3.1. Giriş	6
3.2. Yer Hareketinin Belirlenmesi	6
3.3. %5 Sönümlü Elastik Deprem Spektrumunun Oluşturulması	8
4. DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK-İTME ANALİZİ	11
4.1. Giriş	11
4.2. Hedef Performans	11
4.3. Performans Noktasının Tayini	12
4.3.1 Performans Noktasının Oluşmaması Durumu	13
4.3.2 Kapasitenin belirlenmesi	14
4.3.3 Talep (Deprem) Spektrumunun belirlenmesi	16
4.4. Kapasite Spektrum Yöntemi İle Talep Spektrumunun Hesaplanması (ATC40 Yöntemi)	17
4.4.1 Kapasite Spektrum Metodunun İşleyişi	17
4.4.1.1 Kapasite Eğrisinin Kapasite Spektrumuna Dönüştürülmesi	17
4.4.1.2 Kapasite Spektrumunun Kırıklılı Hale Getirilmesi	19

4.4.1.3 Talep (Deprem) Spektrumunun Standart Formattan ADRS Formatına Dönüştürme	20
4.4.1.4 Etkin sönümün tahmini ve %5 Sönümlü elastik talep (Deprem) spektrumun İndirgenmesi	21
4.4.1.5 Kapasite Spektrumu ile Talep Spektrumun Kesişimi	25
4.4.2 Prosedür A Kullanarak Performans Noktasının Hesabı	25
4.4.3 Prosedür B Kullanarak Performans Noktasının Hesabı	27
4.4.4 Prosedür C Kullanarak Performans Noktasının Hesabı	30
4.5. Deplasman Katsayıları Yöntemiyle Talep hesaplanması	30
5. KABUL SINIRLARI	33
5.1. Global Sınırlar	33
5.2. Yerel Sınırlar	37
6. ATC 40 YÖNTEMİ KONU ÖZETİ	46
7. BETONARME BİR YAPIDA STATİK-İTME ANALİZİ	47
7.1. Giriş	47
7.2. Yapı Genel Bilgileri	47
7.3. Yapı Modal Analiz Detayları	48
7.3.1 Yapı Statik-İtme Analizi İçin Periyotlar	50
7.3.2 Yapıya Etkitilecek Yatay Yüklerin Hesabı (ABYYHY)	50
7.4. SAP2000' de Statik-İtme Analizi	52
7.5. Statik-İtme Analizi Sonuçları	53
7.5.1 Kapasite Eğrileri Değerlendirmesi	53
7.5.2 Performans Noktalarındaki Analiz Sonuçları	54
7.5.2.1 Servis Depremi İçin Analiz Sonuçları	55
7.5.2.2 Tasarım Depremi İçin Analiz Sonuçları	58
KAYNAKLAR	61
EK-A	63
Ek- B	73
ÖZGEÇMİŞ	82

KISALTMALAR

ABYYHY	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
ADRS	: Acceleration Displacement Response Spectra
ATC	: Applied Technology Council
CP	: Collapse Prevention Performans Level
DC	: Damage Control Performance Level
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
IO	: Immediate Occupancy Performance Level
LS	: Life Safety Performance Level
NC	: Not Considered Performance Level
OP	: Operational Performance Level
P.S.	: Performans Seviyesi

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 : Yapısal olan ve yapısal olmayan performans seviyelerinin birleşimlerinden elde edilen bina performans seviyeleri.....	5
Tablo 2.2 : Binalar için bazı önemli performans seviyeleri.....	5
Tablo 3.1 : ATC40 ve FEMA Deprem Seviyeleri.....	6
Tablo 3.2 : Gözönüne alınacak depremler için parametreler.....	7
Tablo 3.3 : Deprem etki seviyesine ve bina performans seviyesine bağlı Performans amaçları.....	7
Tablo 3.4 : Deprem katsayısı, C_A	8
Tablo 3.5 : Deprem katsayısı, C_v	9
Tablo 3.6 : Yakın fay katsayısı, N_A ve N_v	9
Tablo 3.7 : Sismik fay tipi.....	9
Tablo 3.8 : Zemin sınıfı (Tezcan, 2003).....	10
Tablo 3.9 : Deprem bölge katsayısı.....	10
Tablo 4.1 : Yapı davranış türü.....	23
Tablo 4.2 : Sönüm düzeltme katsayısı.....	23
Tablo 4.3 : Sönüm düzeltme katsayısı, κ	24
Tablo 4.4 : Spektral azaltma katsayıları, S_{RA} , S_{RV}	24
Tablo 4.5 : İzin verilen en küçük spektral azaltma katsayıları, S_{RA} , S_{RV}	25
Tablo 4.6 : C_0 Katsayısı değerleri.(Ara değerler için enterpolasyon yapılır.)....	31
Tablo 4.7 : C_2 Katsayısı değerleri.....	32
Tablo 5.1 : Global yer değiştirme sınırları.....	37
Tablo 5.2 : Eğilme etkisindeki kirişler için sınır değerler (ATC40).....	39
Tablo 5.3 : Eğilme etkisindeki kirişler için sınır değerler (FEMA).....	40
Tablo 5.4 : Betonarme kolonlarda sınır değerler (ATC40).....	41
Tablo 5.5 : Betonarme kolonlarda sınır değerler (FEMA).....	42
Tablo 5.6 : Eğilme etkisindeki perdeler (ATC40).....	43
Tablo 5.7 : Eğilme etkisindeki perdeler (FEMA).....	44
Tablo 5.8 : Kesme etkisindeki elemanlar (FEMA ve ATC40).....	45
Tablo 7.1 : Mevcut durum kat ağırlıkları.....	48
Tablo 7.2 : Güçlendirilmiş durum kat ağırlıkları.....	48
Tablo 7.3 : Mevcut durum kat kütleleri ve kat kütle atalet momentleri.....	49
Tablo 7.4 : Güçlendirilmiş durum kat kütleleri ve kat kütle atalet momentleri..	49
Tablo 7.5 : Mevcut durum yapı periyotları.....	49
Tablo 7.6 : Güçlendirilmiş durum yapı periyotları.....	49
Tablo 7.7 : Eğilme rijitliği azaltma değerleri.....	50
Tablo 7.8 : Mevcut durum yapı periyotları (Rijitlik azaltmasından sonra).....	50
Tablo 7.9 : Güçlendirilmiş durum yapı periyotları (Rijitlik azaltmasından sonra).....	50
Tablo7.10: Mevcut durum kat deprem yükleri.....	52
Tablo7.11: Güçlendirilmiş durum kat deprem yükleri.....	52

Tablo7.12:	Analizde kullanılan C_A ve C_V katsayıları.....	53
Tablo7.13:	Servis depremi, mevcut yapı x ve y yönü performans noktası değerleri.....	56
Tablo7.14:	Servis depremi, güçlendirilmiş yapı x ve y yönü performans noktası değerleri.....	57
Tablo7.15:	Tasarım depremi, güçlendirilmiş yapı x ve y yönü performans noktası değerleri.....	59
Tablo A1:	Mevcut durum kiriş donatı listesi.....	69

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Performans Seviyeleri Gösterimi (Tezcan, 2003).....	4
Şekil 3.1 : C_A ve C_V 'ye bağlı elastik deprem spektrumu.....	8
Şekil 4.1 : Performans noktası tayininin gösterimi.....	13
Şekil 4.2a: Yeterli rijitliğe sahip olmama durumu(Naeim, 2003).....	13
Şekil 4.2b: Yeterli sünekliğe sahip olmama durumu(Naeim, 2003).....	14
Şekil 4.2c: Yeterli sünekliğe ve rijitliğe sahip olmama durumu(Naeim, 2003).....	14
Şekil 4.3 : Ölçeksiz genel yapı birinci mod şekli.....	14
Şekil 4.4 : Çatı Deplasman-Taban Kesme Kuvveti gösterilişi (statik-itme eğrisi).....	15
Şekil 4.5 : Kapasitenin belirlenmesi.....	16
Şekil 4.6 : Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi.....	19
Şekil 4.7 : Kapasite eğrisinin kırıklı hale getirilmesi.....	19
Şekil 4.8 : Standart kapasite spektrumu ile talep spektrumunun bir arada gösterimi.....	20
Şekil 4.9 : Talep (Deprem) Spektrumunu standart formattan ADRS formatına dönüştürme.....	21
Şekil 4.10: Standart ve ADRS formatındaki talep spektrumu, periyot artışı.....	21
Şekil 4.11: Spektral indirgeme için sönüm elde edilmesi.....	22
Şekil 4.12: İndirgenmiş talep (deprem) spektrumu.....	23
Şekil 4.13: Prosedür A, Adım 2.....	26
Şekil 4.14: Prosedür A, Adım 3.....	26
Şekil 4.15: Prosedür A, Adım 4.....	26
Şekil 4.16: Prosedür A, Adım 5.....	26
Şekil 4.17: Prosedür A, Adım 6.....	26
Şekil 4.18: Prosedür B, Adım 2.....	29
Şekil 4.19: Prosedür B, Adım 3.....	29
Şekil 4.20: Prosedür B, Adım 4.....	29
Şekil 4.21: Prosedür B, Adım 6.....	29
Şekil 4.22: Prosedür B, Adım 7.....	29
Şekil 4.23: Deplasman katsayıları (FEMA) yöntemi.....	30
Şekil 5.1 : Birincil elemanlar sınır değerler.....	38
Şekil 5.2 : İkincil elemanlar sınır değerler.....	38
Şekil 7.1 : X Yönü için mevcut ve güçlendirilmiş durum kapasiteleri.....	53
Şekil 7.2 : Y Yönü için mevcut ve güçlendirilmiş durum kapasiteleri.....	54
Şekil 7.3 : Servis depremi için mevcut yapı x yönü performans noktası.....	55
Şekil 7.4 : Servis depremi için mevcut yapı y yönü performans noktası.....	55
Şekil 7.5 : Servis depremi için güçlendirilmiş yapı x yönü performans noktası.....	57
Şekil 7.6 : Servis depremi için güçlendirilmiş yapı y yönü performans noktası.....	57

Şekil 7.7 :	Tasarım depremi için mevcut yapı x ve y yönü performans noktası	58
Şekil 7.8 :	Tasarım depremi için güçlendirilmiş yapı x yönü performans noktası.....	59
Şekil 7.9 :	Tasarım depremi için güçlendirilmiş yapı y yönü performans noktası.....	59
Şekil A1:	Mevcut durum zemin kat mimari planı.....	63
Şekil A2:	Mevcut durum 1.-2.-3. Normal kat mimari planı.....	64
Şekil A3:	Mevcut durum zemin ve 1.-2.-3. Normal kat kalıp planı.....	65
Şekil A4:	Mevcut durum zemin ve 1.-2.-3. Normal kat kolon aplikasyon planı.....	66
Şekil A5:	Güçlendirilmiş durum zemin ve 1.-2.-3. Normal kat kalıp planı.....	67
Şekil A6:	Güçlendirilmiş durum perde ve manto detayı.....	68
Şekil B1:	X yönü mevcut durum yapı kapasite eğrisi.....	73
Şekil B2:	Y yönü mevcut durum yapı kapasite eğrisi.....	73
Şekil B3:	X yönü güçlendirilmiş durum yapı kapasite eğrisi.....	74
Şekil B4:	Y yönü güçlendirilmiş durum yapı kapasite eğrisi.....	74
Şekil B5:	Servis depremi için mevcut yapı X ve Y yönü performans noktası, SAP2000 program çıktısı.....	75
Şekil B6:	Tasarım depremi için mevcut yapı X ve Y yönü performans noktası, SAP2000 program çıktısı.....	76
Şekil B7:	Servis depremi için güçlendirilmiş yapı X ve Y yönü performans noktası, SAP2000 program çıktısı.....	77
Şekil B8:	Tasarım depremi için güçlendirilmiş yapı X ve Y yönü performans noktası, SAP2000 program çıktısı.....	78
Şekil B9:	C-C Aksı (X Yönü) mevcut durum servis depremi p.s.	79
Şekil B10:	C-C Aksı (X Yönü) güçlendirilmiş durum servis depremi p.s.	79
Şekil B11:	C-C Aksı (X Yönü) güçlendirilmiş durum tasarım depremi p.s. ..	80
Şekil B12:	4-4 Aksı (Y Yönü) mevcut durum servis depremi p.s.	80
Şekil B13:	4-4 Aksı (Y Yönü) güçlendirilmiş durum servis depremi p.s.	81
Şekil B14:	4-4 Aksı (Y Yönü) güçlendirilmiş durum tasarım depremi p.s. ..	81

SEMBOL LİSTESİ

a_y	: Akma noktası ivme değeri
a_p	: Performans noktası ivme değeri
a_{pi}	: Deneme performans noktası ivme değeri
a^*	: Eşit deplasman yaklaşımı ivme değeri
A	: Alan
A_o	: Etkin yer ivme katsayısı
A_s	: Çekme donatısı alanı
A_s'	: Basınç donatısı alanı
b	: Kiriş genişliği
h	: Kiriş yüksekliği
d_y	: Akma noktası deplasman değeri
d_p	: Performans noktası deplasman değeri
d_{pi}	: Deneme performans noktası ivme değeri
d^*	: Eşit deplasman yaklaşımı deplasman değeri
E	: Deprem etkisine bağlı katsayı
E_D	: Sönüm tarafından yutulan enerji
$E_{\phi o}$	: Maksimum şekil değiştirme enerjisi
f_c	: Beton basınç dayanımı
I	: Yapı önem katsayısı
K	: Rijitlik
K_e	: Etkili yay rijitliğidir
K_i	: Yapının başlangıç yatay rijitliği
L	: Eleman boyu
M_y	: Akma momenti
M_o	: Moment manyitüdü
N	: Yapıdaki kat sayısı
P	: Eksenel yük
S_a	: Spektral ivme
S_d	: Spektral deplasman
S_v	: Spektral hız
SR	: Kayma oranı
SR_A, SR_v	: Spektral indirgeme faktörleri
T	: Periyot
T_A, T_B	: Spektrum karakteristik periyotları
T_i	: Doğrusal dinamik analizden elde edilen serbest titreşim periyodu
T_e	: Etkili periyot
V	: Taban kesme kuvveti
V_t	: Performans noktasındaki taban kesme kuvveti
V_s	: Kayma dalgası hızı
w_i / g	: i. seviyede toplanmış kütle
W	: Yapı ağırlığı
Z	: Deprem bölge katsayısı
α_1	: Birinci doğal mod için modal kütle katsayısı

β_{eq}	: Eşdeğer viskoz sönüm
β_0	: Histerik sönümün eşdeğer viskoz sönüm olarak temsil edilmiş hali
δ_t	: Talep deplasmanı
Δ	: Deplasman
Δ_y	: Akma Deplasmanı
ϕ_{il}	: i. seviyedeki mod şekli
θ	: Plastik mafsal dönme açısı
ρ	: Çekme donatısı oranı
ρ_b	: Dengeli donatı oranı
ρ'	: Basınç donatısı oranı

PERFORMANSA DAYALI YAPI TASARIMI KONUSUNDA STATİK-İTME ANALİZİ

ÖZET

Bu tez çalışmasında günümüzde gelişmekte olan ve uygulamada yaygınlaşmaya başlamış doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden olan statik-itme (pushover) analizi anlatılmaya çalışılmış, konunun anlaşılması içinde mevcut bir yapı ve bu yapının güçlendirilmiş durumunun performans sonuçları değerlendirilmiştir.

Birinci ve ikinci bölümde yöntemin genel açıklaması ve ek bilgiler vermeye çalışılmıştır. Üçüncü, dördüncü ve beşinci bölümde yöntemin hesap prosedürleri anlatılmaya çalışılmış, yedinci bölümde ise yöntemin anlaşılması için örnek bir okul binası mevcut ve güçlendirilmiş durum olmak üzere SAP2000 Programı yardımıyla ATC40 Yöntemi kullanarak tahkik edilmiş ve sonuçlar incelenmiştir.

Statik itme analizi genel anlamıyla tanımlanan malzeme ve kesit özelliklerine sahip yapının belirli bir yük dağılımıyla adım adım deplasman yapmaya zorlanması ve bu zorlama sürecinde yapının genel ve eleman bazında uygulanan yük dağılımına ne şekilde cevap verdiğinin incelenmesidir.

Statik-İtme analizinde ilk aşama olarak yapının hangi yer hareketi için hangi performans seviyesinde cevap vermesi gerektiği öngörülür ve analiz sonucunda bu öngörünün gerçekleşmesi beklenir. İkinci aşamada ise uygulanan yük dağılımı sonucu elde edilen kapasite eğrisi yani yapının depreme verebileceği cevap hesaplanır. Kapasite eğrisi, deprem spektrumuyla yani deprem hareketinin yapıdan karşılama istediği eğri ile aynı eksen takımında kesiştirilir ve sonuçlar bu kesişim noktası için incelenir.

Bu tez çalışmasında doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden olan statik-itme analizi genel olarak ATC40 Dökümanında belirtilen yöntemlere dayanılarak anlatılmaya çalışılmış bir bölüm olarak ta FEMA356 Dökümanında belirtilen yöntem incelenmiştir.

PERFORMANCE BASED STRUCTURAL DESIGN BY NON-LINEER STATIC PROCEDURE

SUMMARY

In this thesis work, the non-linear process of pushover analysis, which is progressing and has started to be used ever more widely has been tried to be explained, and an exemplary structure with its retrofitted form has been analyzed for its performance results.

In the first and the second sections, a general explanation of the method has been given. In the third, fourth and the fifth sections the calculation procedures of the method has been tried to be explained; and in the seventh section in order to give a clearer understanding of the method, an exemplary school building has ben investigated in its original and strenghtened states with help of SAP2000 program and ATC40 method.

The pushover analysis in general terms consists of; identification of a building in terms of its materials and section. The structure is then forced to step by step displacement with a given weight distribution and then the structure is investigated during this period of forcing.

The first step in the pushover analysis is to determine against which magnitude of ground motion will the structure answer to and at which performance level. By the end of the analysis this determined level of performance is expected to be performed. In the second step, the capacity curve, the capacity of the structure to withstand earthquake, resulting from the performed weight distribution is computed. The capacity curve, is intersected with the desired level of resistance, i.e. the earthquake spectrum, on the same coordianate plane. The result of this intersection point is analyzed.

In this work of thesis the non-linear analysis method of pushover analysis has been tried to be explained through the documents of ATC40 and in part the methods described in the FEMA356 documents have been examined.

1.GİRİŞ

Afetler doğa olaylarıdır ve insanoğlunun bunlarla mücadelesinde izleyebileceği yöntem doğayı değiştirmek değil, doğadan gelen etkilere karşı zararları asgari seviyeye çekmektir. Her çağdaş yönetmelikte ve yapı tasarım yöntemlerinde ana amaç, insanın afetlerden en az zararla çıkması ve can güvenliğinin sağlanması şeklindedir. Ülkemiz afet yönetmeliği de (ABYYHY) Kısım 3'te amaç ve genel ilkelerini sıralarken ana ilke olarak bu duruma değinmiş, tasarım depremi (50 yıllık bir süre içinde aşılma olasılığı %10 olan deprem) altında binaların aşağıdaki şekilde karşılık vermesi zorunluluğunu belirtmiştir;

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 durumlar için geniş fikirler verememektedir. Doğrusal analizle yapının elastik kapasitesi belirlenebilirken doğrusal olmayan analiz yöntemlerinde binanın elastik olmayan kapasitesi, göçme anına kadarki durumu ve deprem kuvvetleri etkisinde binanın nasıl bir davranış göstereceği hakkında çok yaklaşık sonuçlar elde edilebilir.

Doğrusal olmayan analizde, yapı bütün olarak belirli kurallar dahilinde toptan göçme anına kadar deplasman yapmaya zorlanır ve bu zorlamalar sürecinde ise her bir elemanın tanımlanan şartlar ve özellikler çerçevesinde ne şekilde davrandığı hangi yük altında ne şekilde değişiklikler gösterdiği gözlemlenir.

Böylece yapı tasarımında sadece elastik sınırlara bağlı kalmak yerine elastik olmayan kapasite ve davranışta hesaba katılarak tasarım geliştirilebilir.

Performansa dayalı doğrusal olmayan analiz aşağıdaki şu sorulara rahatlıkla çok yaklaşık cevap verebilecek nitelikte bir yöntemdir:

-Hangi taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan yapı elemanlarında hasar oluşacaktır?

-Taşıyıcı sistem içinde hasar dağılımı nasıldır?

-Bu hasarların miktarı nedir?

-Muhtemel göçme mekanizmaları nelerdir?(Polat, 2004)

Bu soruların cevaplandırılması için

-Binanın tüm elemanlarının deformasyon davranışları tanımlanır,

-Yapının artan yatay yükler altında ne şekilde davrandığı, elastik ötesi davranış da dikkate alınarak oluşturulan kuvvet-deplasman eğrisiyle belirlenir (pushover eğrisi).

-Belirli bir deprem altında yapının talep ettiği spektral deplasman belirlenir.

-Belirlenen deplasman talebine ulaşmış yapının performans düzeyi belirlenir.

Statik-itme yöntemi özetle deprem kuvvetlerinin binadan talep ettiği ile binanın o depreme verebileceği cevabın (kapasite, pushover eğrisi) kesiştiği noktadaki, diğer bir değişle performans noktasındaki durumunun incelenmesidir. Bu performans noktasındaki bina özellikleri, binanın kullanım amacına ve mal sahibinin yapıdan ne beklediği ile alakalı olarak önceden tespit edilir. Bu noktada ana amaç, ekonomik durumlar ne olursa olsun en az can güvenliği seviyesinin sağlanması olmalıdır. Bu mantıkla oluşturulan performans seviyeleri bölüm 2’de açıklanmıştır.

2. PERFORMANS KAVRAMI

2.1 GİRİŞ

Bölüm1 Giriş yazısında da belirtildiği gibi performans seviyesi binanın kullanım amacına ekonomik şartlara ve mal sahibinin binadan ne beklediğiyle alakalı olarak tespit edilir ve tasarım buna paralel yapılır. Binaın gerçek performans seviyesi yapısal ve yapısal olmayan seviyelerin toplamıyla ortaya çıkar. Şekil 2.1, Tablo 2.1 ve Tablo 2.2’de bu seviyelerin birleşimleri ve gösterimleri bulunmaktadır. Önceden öngörülen seviyelerin analiz sonucu çıkan seviyelerde örtüşmesi gerekmektedir. ATC40 ve FEMA’da bu seviyeler benzer şekildedir. Bölüm 2.2’de ATC40 Performans seviyeleri belirtilmiştir.

2.2 Performans Seviyeleri

2.2.1 Yapısal Olan (Taşıyıcı olan) Performans Seviyeleri

- SP-1 Hemen Kullanım Performans Seviyesi (B-IO, Immediate Occupancy) :

Çok hafif taşıyıcı sistem hasarı. Yapının dayanımı, rijitliği, sünekliği hemen hemen aynen korunmaktadır.

- SP-2 Hasar Kontrol Performans Aralığı (IO-LS, Damage Control) :

Can güvenliği performans seviyesi ile hemen kullanım performans seviyesi arası durumdur. Yönetmeliklerde yeni binalar için 50 yıllık bir süre içinde aşılma olasılığı %10 olarak tanımlanan deprem etkisindeki performans seviyesidir. Tarihi ve mimari açıdan değerli olan eserlerin korunmasında yine bu performans seviyesi kullanılabilir.

- SP-3 Can Güvenliği Performans Seviyesi (LS, Life Safety) :

Bu aşamada yapıda deprem etkisinde önemli hasarlar oluşmasına rağmen kısmi veya toptan göçme oluşmasından söz edilmez. Taşıyıcı eleman kopması veya konum değiştirmesi durumu oluşmaz. Yapısal hasar kaynaklı ölüm riski düşüktür.

- SP-4 Sınırlı Güvenlik Performans Aralığı (LS-CP, Limited Safety) :

Binaların güçlendirilmesinde tam bir can güvenliğinin sağlanamaması durumunda gözönüne alınabilir. Bu aralıkta taşıyıcı eleman performansları, can güvenliği performans seviyesini sağlamayabilir. Bu seviyede kalmış binaya onarım ve güçlendirme uygulanabilir.

- SP-5 Stabilitenin Korunması Performans Seviyesi (CP, Collapse Prevention) :

Taşıyıcı sistemde önemli hasarlar oluşmuş dayanım ve rijitlik önemli ölçüde azalmıştır. Düşey yük taşıma kapasitesi devam etmesine rağmen can güvenliği riski mevcuttur. Artçı deprem kuvvetleri için ek kapasite kalmamıştır. Bu performans seviyesi maksimum deprem etkisi altında sağlamalıdır.

2.2.2 Yapısal Olmayan (Taşıyıcı Olmayan) Performans Seviyeleri

- NP-A Kullanıma Devam Performans Seviyesi (Operational) :

Tesisat, haberleşme ekipmanları, ısıtma-havalandırma ekipmanları, bölme duvarlar ve dış cephe kaplaması gibi taşıyıcı olmayan elemanlarda hasar oluşmaz veya oluşan hasar ihmal edilebilecek kadar küçüktür.

- NP-B Hemen Kullanım Performans Seviyesi (Immediate Occupancy) :

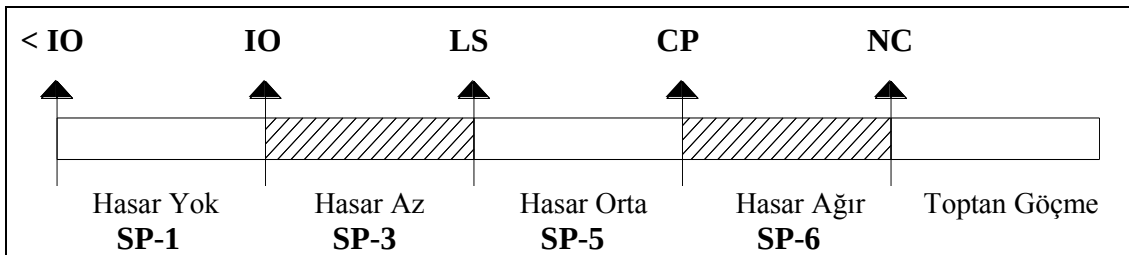
Tesisat, haberleşme ekipmanları, ısıtma-havalandırma ekipmanları, bölme duvarlar ve dış cephe kaplaması gibi taşıyıcı olmayan elemanlarda hafif hasar oluşabilir.

- NP-C Can Güvenliği Performans Seviyesi (Life Safety) :

Tesisat, haberleşme ekipmanları, ısıtma-havalandırma ekipmanları, bölme duvarlar ve dış cephe kaplaması gibi taşıyıcı olmayan elemanlarda hasar oluşabilir ve lokal onarımlar gerekebilir. Ağır makina devrilmeleri, kopmaları gibi durumlar oluşmaz.

- NP-D Azaltılmış Hasar (Reduced Hazard) :

Taşıyıcı olmayan elemanlarda, ekipman ve tesisatta ciddi hasarlar oluşabilir ancak insanların guruplar halinde zarar görmesi beklenmez.



Şekil 2.1 : Performans Seviyeleri Gösterimi (Tezcan, 2003)

2.2.3 Performans Seviyelerinin Tablolar Halinde Gösterimleri

Tablo 2.1 : Yapısal olan ve yapısal olmayan performans seviyelerinin birleşimlerinden elde edilen bina performans seviyeleri

	YAPISAL PERFORMANS SEVİYELERİ					
YAPISAL OLMAYAN PERFORMANS SEVİYELERİ	SP-1 Hemen Kullanım	SP-2 Hasar Kontrolü (aralık)	SP-3 Can Güvenliği	SP-4 Sınırlı Güvenlik (aralık)	SP-5 Yapısal Stabilite	SP-6 Gözönüne alınmadı
NP-A Kullanıma Devam	1-A Kullanıma Devam	2-A				
NP-B Hemen Kullanım	1-B Hemen Kullanım	2-B	3-B			
NP-C Can Güvenliği	1-C	2-C	3-C Can Güvenliği	4-C	5-C	6-C
NP-D Azaltılmış Hasar		2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
NP-E Gözönüne alınmadı			3-E	4-E	5-E Yapısal Stabilite	

Tablo 2.2 : Binalar için bazı önemli performans seviyeleri

Bina Performans Seviyesi	Yapısal Olan Ve Olmayan Performans Seviyesi	Tanım
1-A	SP-1 NP-A	Kullanıma devam performans seviyesi Yedek sistemlerin devreye girmesi ile kullanıma devam ediliyor, çok az hasar
1-B (IO)	SP-1 NP-B	Hemen kullanım performans seviyesi İnceleme sonucu binanın kullanılabilir olduğuna karar veriliyor, küçük onarım
3-C (LS)	SP-3 NP-C	Can güvenliği performans seviyesi Taşıyıcı sistemin önemli bir kapasitesi kalmış durumda, taşıyıcı olmayan sistemde hasar kontrol altında
5-E (CP)	SP-5 NP-E	Yapısal Stabilite Bina ancak ayakta duruyor, bunun dışındaki her türlü hasar kabul edilebiliyor.

$$\text{Yapı Performans Seviyesi} = \text{Yapısal P.S.} + \text{Yapısal Olmayan P.S.}$$

3. YER HAREKETİ (DEPREM) ETKİ SEVİYESİ :

3.1 Giriş

Performansa dayalı tasarımda, seçilen belirli bir yapı performans seviyesinin hangi deprem etkisi için öngörüldüğünün belirlenmesi gerekir. Sonuçlar seçilen deprem parametreleri için incelenecektir. Deprem etki seviyesinin belirlenmesi spektrum eğrisinin tanımlanması ile yapılır. Tanımda depremin 50 yıl içindeki aşılma olasılığı tanımından veya benzer büyüklükteki depremler arasındaki ortalama zaman aralığı (Dönüş peiyodu) tanımından hareket edilir.(Tablo 3.2)

3.2 Yer Hareketinin Belirlenmesi

ATC-40 Üç , FEMA İse iki farklı seviyede deprem hareketi tanımlamıştır.(Tablo 3.1)

Tablo 3.1 : ATC40 ve FEMA Deprem seviyeleri

ATC40	FEMA
SD, Servis Depremi	TGD-1, Temel Güvenlik Depremi 1
TD, Tasarım Depremi	TGD-2, Temel Güvenlik Depremi 2
MD, Maksimum Deprem	

SD, Servis Depremi (Kullanım Depremi) :

50 Yılda aşılma olasılığı % 50 olan yer hareketidir.

Bina ömrü boyunca sıkça ortaya çıkabilir.

TD, Tasarım Depremi :

50 Yılda aşılma olasılığı %10 olan yer hareketidir.

Bu deprem şartı ABYYHY’te de belirtilmiş olan tasarım depremidir.

MD, Maksimum Deprem :

50 Yılda aşılma olasılığı % 5 olan yer hareketidir.Belirli bölge yada fayda, jeolojik bilgilere dayanılarak belirlenmiş, oluşması muhtemel en şiddetli yer hareketidir.Yer hareketi büyüklüğü tasarım depremininkinin 1,25 ile 1,5 katıdır.

TGD-1, Temel Güvenlik Depremi 1 :

50 Yılda aşılma olasılığı % 10 olan yer hareketi ve TGD-2 ‘nin üçte ikisinden küçük olan depremdir.

TGD-2, Temel Güvenlik Depremi 2 :

50 Yılda aşılma olasılığı % 2 olan yer hareketi ve bölgede yada fayda kaydedilmiş yer hareketlerinin ortalamasının 1.5 katından küçük olan depremdir.

FEMA’da tanımlanan TGD-1, ATC’deki TD’ye ve yine FEMA’da tanımlanan TGD-2’nin ise ATC’deki MD’ye denk düştüğü söylenebilir.(Polat,2004)

Tablo 3.2 : Göz önüne alınacak depremler için parametreler

Aşılma Olasılığı	Esas Alınan Zaman Aralığı	Ortalama Dönüş Periyodu
% 50	50 Yıl	72 Yıl
% 20	50 Yıl	225 Yıl
% 10	50 Yıl	474 Yıl
% 2	50 Yıl	2475 Yıl

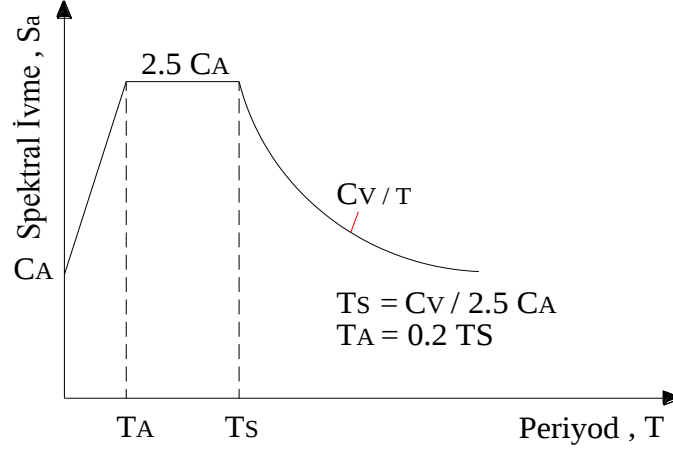
Tablo 3.3 : Deprem etki seviyesine ve bina performans seviyesine bağlı performans amaçları

DEPREM ETKİ SEVİYESİ	Bina Performans Seviyesi			
	Kullanıma Devam Performans Seviyesi 1-A	Hemen Kullanım Performans Seviyesi 1-B	Can Güvenliği Performans Seviyesi 3-C	Yapısal Stabilite Performans Seviyesi 5-E
% 50 / 50 yıl Kullanım Depremi	A	B	C	D
% 20 / 50 yıl	E	F	G	H
TGD-1 %10 / 50 yıl Tasarım Depremi	İ	J	K	L
TGD-2 %2 / 50 yıl Maksimum Deprem	M	N	O	P

Yukarıdaki performans amaçlarından A-F-K-P Binalar , E-J-O Önemli binalar, İ-N Güvenliği çok özel binalar için önerilir.(Celeb,2005)

3.3 %5 Sönümlü Elastik Deprem Spektrumunun (İvme-Periyot) Oluşturulması

Deprem etkisinin tanımlanması için C_A ve C_V değerleri kullanılarak %5 Sönümlü elastik deprem spektrumu oluşturulur (Şekil 3.1). Daha sonra bu spektrum ATC40 Yöntemi için bölüm 4.4.1.4'teki şekilde indirgenecektir.



Şekil 3.1 : C_A ve C_V 'ye bağlı %5 Sönümlü elastik talep (deprem) spektrumu

Burada;

C_A = Zeminin etkili maksimum ivmesi,

C_V = Periyodu 1 sn. olan %5 Sönümlü sistemin spektrum değeri,

$2.5 C_A$ = %5 Sönümlü kısa periyodlu sistemin maksimum ortalama ivmesidir.

C_A ve C_V değerleri bulunması sırasında oluşturulan tablolar sert zeminler için oluşturulmuştur, ancak yumuşak zeminlere göre hesap yapıldığı takdirde deprem etkisi büyük olan zeminlerde C_A değeri 1.1, küçük etki olan zeminlerde 1.0 katsayısıyla çarpılır. C_V değeri ise etkinin büyük olduğu zeminlerde 1.5, etkinin küçük olduğu zeminlerde 3.0 ile çarpılabilir. C_A ve C_V değerleri için Tablo 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9' dan yararlanılır.

Tablo 3.4 : Deprem katsayısı, C_A

Zemin Tipi	Deprem Katsayısı, Sarsılma Şiddeti ZEN					
	= 0.075	= 0.15	= 0.20	= 0.30	= 0.40	> 0.40
S _A	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	1.0*(ZEN)
S _B	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	1.0*(ZEN)
S _C	0.09	0.18	0.24	0.33	0.40	1.0*(ZEN)
S _D	0.12	0.22	0.28	0.36	0.44	1.1*(ZEN)
S _E	0.19	0.30	0.34	0.36	0.36	0.9*(ZEN)
S _F	Aşırı plastik kil, yumuşak kil gibi özel değerlendirme gereken zeminler.					

Tablo 3.5 : Deprem katsayısı, C_V

Zemin Tipi	Deprem Katsayısı, Sarsılma Şiddeti ZEN					
	= 0.075	= 0.15	= 0.20	= 0.30	= 0.40	> 0.40
S _A	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	1.0*(ZEN)
S _B	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	1.0*(ZEN)
S _C	0.13	0.25	0.32	0.45	0.56	1.4*(ZEN)
S _D	0.18	0.32	0.40	0.54	0.64	1.6*(ZEN)
S _E	0.26	0.50	0.64	0.84	0.96	2.4*(ZEN)
S _F	Aşırı plastik kil, yumuşak kil gibi özel değerlendirme gereken zeminler.					

ZEN =

Deprem Bölgesi Katsayısı (Z , A_o) X Deprem Etki Katsayısı (E) x Faya En Yakın Fay Katsayısı (N) Çarpımından oluşur.

E = Katsayısı ise;

Servis Depremi için = 0.5, Tasarım Depremi için = 1.0 ve

Maksimum Deprem için = 1.25 (4.Bölgelerde) ~ 1.5 (3.Bölgelerde) olarak hesaplarda kullanılır.

Tablo 3.6 : Yakın fay katsayısı, N_A ve N_V

Fay Tipi	Faya En Yakın Uzaklık							
	≤ 2 km.		5 km.		10 km.		≥ 15 km.	
	N_A	N_V	N_A	N_V	N_A	N_V	N_A	N_V
A	1.5	2.0	1.2	1.6	1.0	1.2	1.0	1.0
B	1.3	1.6	1.0	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Tablo 3.7 : Sismik fay tipi

Fay Tipi		
	Maksimum Moment Manyitüdü, M	Kayma Oranı, SR (mm/yıl)
A	$M \geq 7$	$SR \geq 5$
B	-----	-----
C	$M < 6$	$SR < 2$

A : Büyük deprem oluşturan kaynak

B : Orta büyük deprem oluşturan kaynak ($A > B > C$)

C : Küçük deprem oluşturan kaynak

Tablo 3.8 : Zemin sınıfı (Tezcan, 2003)

İlk 30m.'deki ortalama zemin özellikleri			
Zemin Sınıfı	Kayma Dalgası Hızı $\bar{V}_s$ (m/s)	Standart Penetrasyon Deneyi, N (Vuruş/m) Kohezyonsuz N_{CH}	Drenajsız Kayma Mukavemeti S_U (kN/m ²)
S _A -Sert Kaya	$V_s > 1500$	-----	-----
S _B -Kaya	$750 < V_s \leq 1500$	-----	-----
S _C -Yoğun Toprak Yumuşak Kaya	$350 < V_s \leq 750$	$N > 165$	$S_U > 100$
S _D -Sert Toprak	$180 < V_s \leq 350$	$50 \leq N \leq 165$	$50 \leq S_U \leq 100$
S _E -Yumuşak Toprak	$V_s < 180$	$N < 50$	$S_U \leq 50$
S _F - Aşırı plastik kil, yumuşak kil gibi özel değerlendirme gereken zeminler			

S_E = Yumuşak toprak ve yumuşak kil ($h > 3m.$, $PI > 20$, $w_n > \%40$)

S_F = Özel değerlendirme gerektiren; bazı sıvılaşılabilen yıkılabilir zayıf çimentolu olan organik killer ($h > 3m.$), aşırı plastisiteye sahip killer ($h > 7.5m.$, $PI > 75$)

Tablo 3.9 : Deprem bölge katsayısı

Bölge	1	2A	2B	3	4
Z (A_0)	0.0075	0.15	0.20	0.30	0.40

ATC'de belirtilen bu numaralandırma büyükten küçüğe sıralandırılır.TDY'deki 1. bölge ATC'de 4.Bölge olarak ifade edilir. Ayrıca ATC'deki iki ayrı durum olarak ifade edilen 2.bölge TDY'nin 3.Bölgesine tekabül eder.(Celeb, 2005)

4. DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK-İTME ANALİZİ

4.1 Giriş

Bu bölümde yapıların performansının belirlenmesi için uygulanacak olan statik-itme (Pushover) analiz yönteminin esasları ve gerekli analitik işlemler açıklanmıştır.

Yapıların tasarlanmasında kullanılan doğrusal analiz metodları yapıya etkitilen yükler altında, yapının kabul edilen malzeme özelliklerine bağlı olarak elastik kapasitesini ve ilk akma durumunun nerede olabileceği hakkında fikir versede akma sonrası kuvvet dağılımları ve hasar mekanizmasını belirlemede yetersiz kalır.

Bu tez çalışmasında anlatılmaya çalışılan statik-itme analizinde yapı bütün olarak belirli kurallar dahilinde toptan göçme anına kadar deplasman yapmaya zorlanır ve bu zorlamalar sürecinde ise yapının global ve yerel olarak tanımlanan şartlar ve özellikler çerçevesinde ne şekilde davrandığı hangi yük altında ne şekilde değişiklikler gösterdiği gözlemlenir. Böylece yapı tasarımında sadece elastik sınırlara bağlı kalmak yerine elastik olmayan kapasite ve davranışta hesaba katılarak tasarım geliştirilebilir.

4.2 Hedef Performans

Hedef performans, belirli bir deprem için öngörülen yapı performansıdır. Yani performans analizinde incelenen bina için bir deprem hasar seviyesi ve bu hasarı meydana getirecek deprem öngörülebilecektir. Hasar seviyesi için bölüm 2’ de açıklanan performans seviyelerinden, deprem için ise bölüm 3’ te açıklanan yer hareketlerinden yararlanılacaktır.

Birden fazla yer hareketi için birden fazla performans seviyesi öngörülebilebilir ki buna çok seviyeli hedef performans denir. Statik-İtme analizinde yani bu çalışmada konu edilen pushover analiz ile maksimum deplasman tahmin edilir. Bu tahmin için kapasite eğrisi ile indirgenmiş talep (deprem) spektrumunun kesişme noktası olarak tanımlanan kapasite spektrum metodu veya deplasman katsayıları yöntemleri

uygulanarak doğrusal olmayan işlemler yapılır. Performansa dayalı tasarım aşamalarında talep, kapasite ve performans tayin edilir.

Talep, deprem yer hareketini temsil eder (deprem spektrumu). Belirlenmiş bir yapı ve yer hareketi için yapının yapabileceği maksimum deplasman miktarıdır. Kapasite ise yapının sismik talebe karşılık verebilme yeteneğinin göstergesidir, zemin koşullarından bağımsızdır, kuvvet-deplasman (kapasite, pushover, statik-itme eğrisi) ilişkisi ile temsil edilir. Sistemin rijitliği ve bu sistemi oluşturan elemanların deformasyon yeteneğiyle alakalıdır. Standart yöntemlerle elastik sınırlardaki kapasite bulunabilse de elastik ötesi durumlar için statik-itme gibi doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılmalıdır. Kapasite hesabında sistem labil hale ve önceden belirlenmiş bir sınıra gelene kadar yatay yük dağılımı etkittirilir.

Statik itme yönteminde ilk olarak performans seviyesi öngörüldükten sonra talep, kapasite ve performans ayrı ayrı belirlenir. Sonra izlenecek olan yöntem seçilir.

Bu işlemler aşağıda açıklanacaktır.

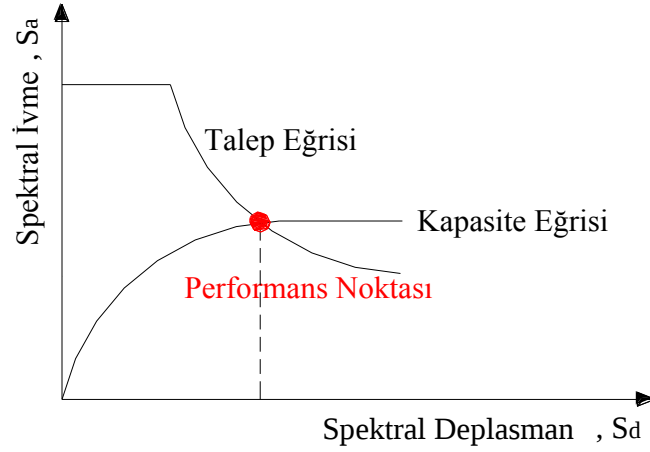
4.3 Performans Noktasının Tayini

Bu nokta

- Deplasman Katsayıları (FEMA 273),
- Kapasite Spektrum (ATC-40) Yöntemlerinden biriyle hesaplanır.(Naeim, 2003)

Her yapı statik itme kuvvetleri arttırıldıkça yetersizlikler gösterir. Performans , kapasitenin talebe karşılık verme durumu ile belirlenir. Kapasite eğrisi ve talep (deprem) spektrumu eğrileri belirlendikten ve bu iki eğrinin kesişim noktasında yapılan incelemeden sonra tayin edilir.

Performans noktası bu statik itme sırasında sismik kapasite ile sismik talebin kesiştiği yerdedir. Yapının kapasitesini temsil eden itme eğrisi elde edildikten sonra, bunun, yapıya etkimesi muhtemel deprem ile ilişkisinin kurulması gerekir. Böylece deprem sırasında yapıda ortaya çıkacak talep belirlenir. Başka bir deyişle belirli bir deprem altında ortaya çıkacak en büyük inelastik yer değiştirme bulunmalıdır.

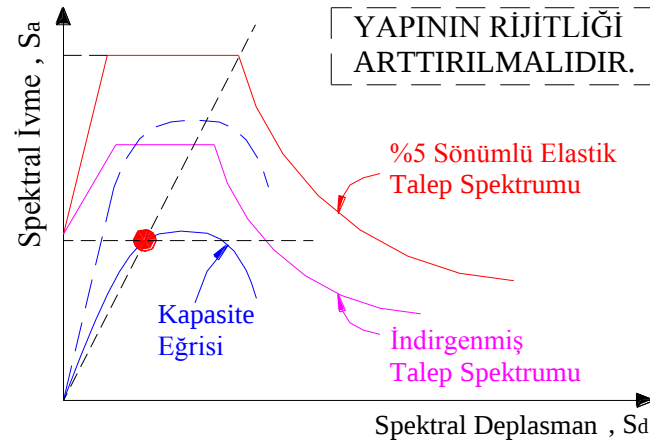


Şekil 4.1 : Performans noktası tayininin gösterimi

4.3.1 Performans Noktasının Oluşmaması Durumu

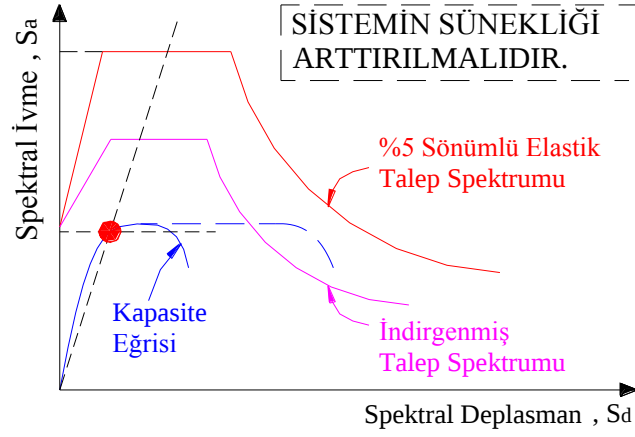
Yapılan analiz neticesinde öngörülen performans noktası ve seviyesi sağlanıyor ve yapının zarar görmesi kabul edilebilir limitler içerisinde kalıyorsa yapı statik itme yöntemi kriterlerini sağlıyor demektir.

Eğer bu koşullar sağlanmaz ise yani kapasite eğrisi ve talep eğrisi birbirini kesmez ise yapı taşıyıcı sistemi tekrar gözden geçirilmelidir. (Şekil4.2a, Şekil4.2b, Şekil4.2c)

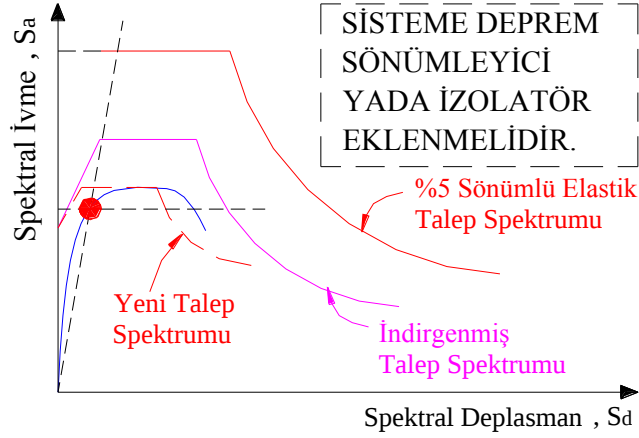


Şekil 4.2a : Yeterli rijitliğe sahip olmama durumu (Naeim, 2003)

Şekil 4.2a Bu tez çalışmasının uygulama kısmında incelenmiş olan okul binasının güçlendirme öncesi durumunun tasarım depremi altındaki davranışıyla örtüşmektedir. (Bölüm 7.5.2.2.)



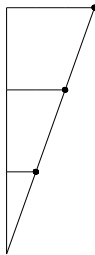
Sekil 4.2b : Yeterli süneklığe sahip olmama durumu (Naeim, 2003)



Sekil 4.2c : Yeterli süneklığe ve rijitliğe sahip olmama durumu (Naeim, 2003)

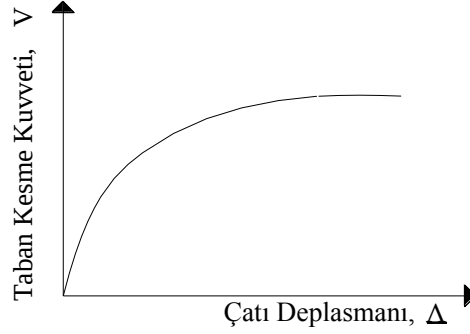
4.3.2 Kapasitenin Belirlenmesi

Kapasite eğrisi genellikle yapı birinci modunun karşılık gösterdiği şekil (Şekil 4.3) ve taban kesme kuvveti üzerine oluşturulur.(Şekil 4.4)



Şekil 4.3 : Ölçeksiz genel yapı birinci mod şekli

Bu durum genel olarak doğal titreşim periyodu bir saniyeye kadar olan yapılar için geçerlidir. Yapının kapasitesi statik itme eğrisi tarafından temsil edilir. Taşıyıcı sistemin deprem etkisindeki davranışı çatı deplasmanının yatay kuvvete bağlı olarak çizilmesiyle temsil edilir.



Şekil 4.4 : Çatı deplasman-taban kesme kuvveti gösterilişi (statik-itme eğrisi)

Kapasite aşağıda belirtilen işlem sıralamasıyla bulunur.

1-Yapının bilgisayar modeli oluşturulur.

2-Yapı ağırlık yüklerini de içermek üzere kat kütlelerinin toplandığı kütle merkezlerine kat yatay yükleri etkililir. (Kat deprem yükleri veya uygulayıcı mühendis tarafından seçilmiş uygun bir yük dağılımı. Üçgen, dikdörtgen, IBC $k=1$, IBC $k=2$ ve vb. (Akbaş, B., 2003)).

3-Yatay ve düşey yük için gerekli kombinasyonlarla eleman kuvvetleri hesaplanır.

4-Taban kesme kuvvetleri, çatı deplasmanları, dönme ve eleman kuvvetleri kaydedilmelidir.

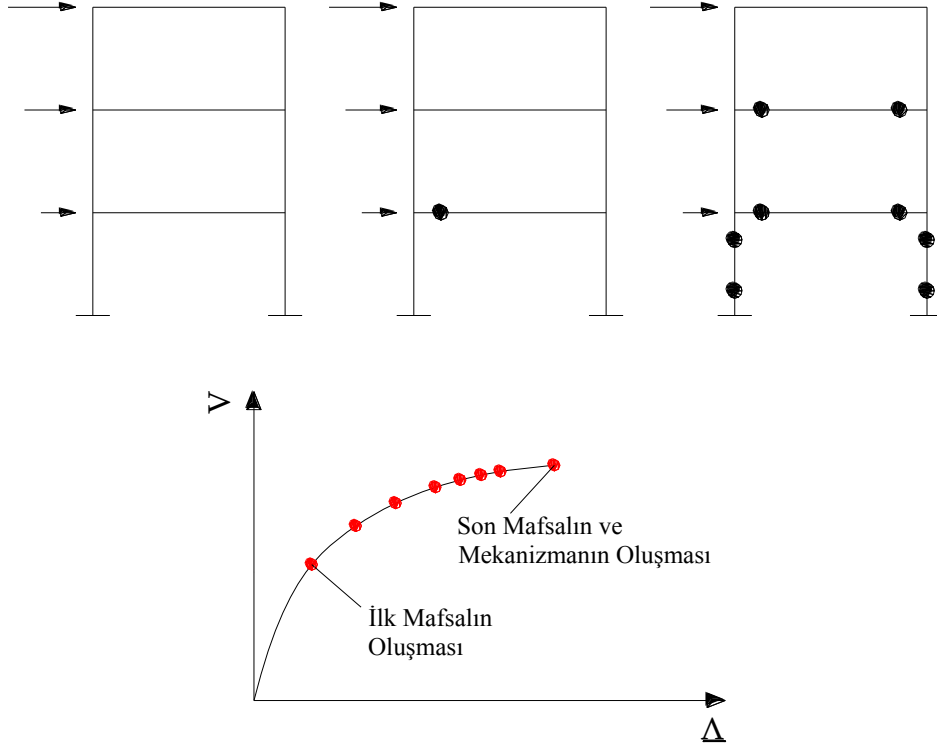
5-Akma sonrası rijitliğin çatlamış rijitliğe oranı $0 < m < 0.1$ alınabilir.

Bir kesit mafsallaşırsa, kesitin mafsallaştıktan yani akma sınırından sonraki eğilme rijitliği ilk eğilme rijitliğinin %5 - %10 'u gibi bir değer olarak alınır. (yük taşımayacağı kabul edilip rijitlikleri azaltılır yada sıfır kabul edilir.)

6-İkinci bir elemanın veya eleman gurubunun mafsallaşmasına kadar yatay yük arttırımına devam edilir. Her adımda mafsallaşan kesitlerin rijitliği akma sonrası rijitliğe eşitlenir ve çözümlemeye devam edilir. Sistemde yeteri kadar mafsal oluşunca (kat mekanizması oluşması vb.) çözümlemeye son verilir.

7- Taban kesme kuvvetlerinin artmasını sağlamak için, çatı deplasmanı yatay bir seyir izlesede kuvvet arttırımına devam edilir.

8 -Yapının yük taşıma kapasitesi sonlanana kadar veya istenen durum yakalanana kadar bu işlemlere devam edilir. Buna karar vermek için ana taşıyıcı elemanların çoğunda akma sınırına ulaşılması, ikinci mertebe etkilerinden yani P- Δ etkilerinden dolayı yapının labil hale gelmesi veya istenen performans seviyesine ulaşılması gibi etkenler incelenir.(Şekil 4.5)



Şekil 4.5 : Kapasitenin belirlenmesi

4.3.3 Talep (Deprem) Spektrumunun Belirlenmesi

Daha öncede belirtildiği gibi performansın hesaplanabilmesi için yapının belirlenmiş bir yapı kapasitesi ve yer hareketi için yapabileceği maksimum deplasman miktarının, yani itme eğrisiyle talebin de karşılaştırılması gereklidir. Yapının muhtemel deplasmanın bilinmesi performans analizi açısından oldukça önemlidir.

ATC40 Yönteminde (Kapasite Spektrum Yöntemi) Talep deplasman performans noktasında yani kapasite spektrumu üzerindeki sismik kapasiteyi temsil eden noktada oluşur. FEMA Yönteminde (Deplasman Katsayıları Yöntemi) ise farklı tipteki tek serbestlik dereceli sistemlerin zaman alanında (time history) analiz sonuçlarının

istatistiksel analizi üzerine temellendirilmiştir. FEMA yönteminde talep deplasman hedef deplasman olarak alınır.

4.4 Kapasite Spektrum Yöntemi ile Talep Spektrumun Hesaplanması (ATC40 Yöntemi)

ATC-40'a göre kapasite iki şartı sağlamalıdır.

- Performans noktası, kapasite spektrumunun üzerinde olmalıdır.
- Performans noktası, %5 Sönümlü elastik talep spektrumunun indirgenmiş hali olan spektrumun üzerinde olmalıdır.

Tahmin edilen efektif sönüm; kapasite eğrisi şekline, tahmini deplasman karşılığına ve histerik çevrimle hesaplanır (bölüm 4.4.1.4). Genel olarak performans noktasının belirlenmesi yukarıdaki iki şartın sağlanması sonucunda oluşur. ATC'nin metodu temel olarak aynı fakat matematik ifadeleri ayrı olmak üzere üç ayrı prosedür içerir; Prosedür A, Prosedür B ve Prosedür C.

Prosedür A =

Bu prosedür metodun en direkt uygulamasıdır. Tamamen iteratif bir yöntemdir. Kullanılan formüller kolaylıkla bilgisayar ortamına adapte edilebilir niteliktedir. Daha çok analitik bir metottur.

Prosedür B =

Kapasite eğrisinin iki doğrultuda modellenmesi imkanını sunan basit bir yöntemdir. Performans noktasının gerçek değeri küçük iterasyonlarla bulunur.

Prosedür C =

Performans noktasını bulmak için kullanılan zayıf bir grafiksel metottur. Anlaşılması zor ancak el ile hesap için en uygun metottur.

4.4.1 Kapasite Spektrum Metodunun İşleyişi

4.4.1.1 Kapasite Eğrisinin Kapasite Spektrumuna Dönüştürülmesi

Kapasite Spektrum Metodunun kullanılması için Taban Kesme Kuvveti-Çatı Deplasmanı grafiğinin yani kapasite eğrisinin (Şekil4.6) kapasite spektrumuna dönüştürülmesi gerekir. Buda İvme-Deplasman Karşılık Spektrumu (ADSR) formatındadır.

Bu dönüşüm için gerekli formüller;

$$PF_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_i) / g}{\sum_{i=1}^N (w_i \Phi_{i1}^2) / g} \quad (4.1)$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \Phi_{i1}) / g \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N w_i / g \right] \left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g \right]} \quad (4.2)$$

$$S_a = \frac{V / W}{\alpha_1} \quad (4.3)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{\text{çatı}}}{PF_1 \Phi_{\text{çatı},1}} \quad (4.4)$$

Burada;

PF_1 : Birinci doğal mod için modal katılma katsayısı (4.1)

α_1 : Birinci doğal mod için modal kütle katsayısı (4.2)

w_i/g : i. katta toplanmış kütle

Φ_{i1} : i. katta mod şekli

N : Yapıdaki katsayısı

V : Taban kesme kuvveti

W : Yapı ağırlığı (Ölü ve hareketli yükler)

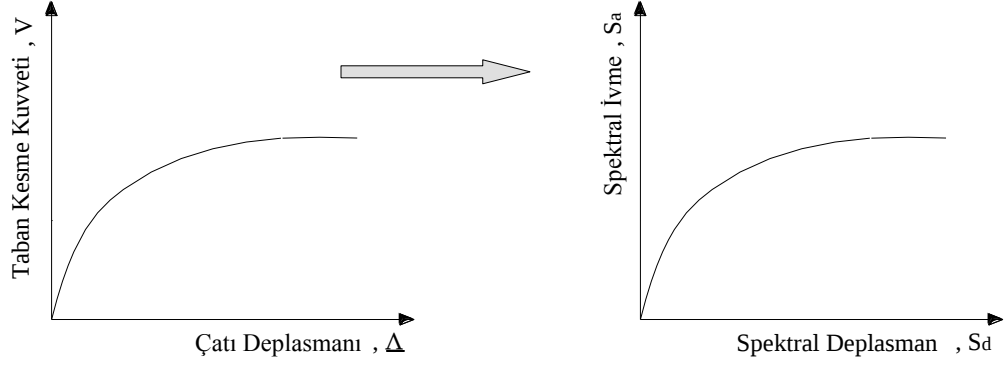
$\Delta_{\text{çatı}}$: Çatı Deplasmanı (V ile $\Delta_{\text{çatı}}$ kapasite eğrisini oluşturur.)

S_a : Spektral ivme (4.3)

S_d : Spektral deplasman (4.4). S_a ve S_d kapasite spektrumu oluşturur.

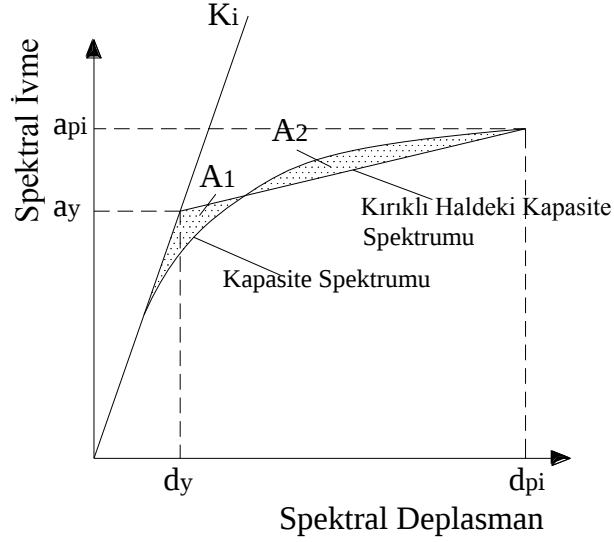
Kapsite eğrisini ADRS formatındaki kapasite spektrumuna dönüştürmek için ilk olarak PF_1 (4.1) ve α (4.2) bulunduktan sonra kapasite eğrisindeki her nokta S_a (4.3) ve S_d (4.4) değerlerine çevrilir.

Bu formattaki herhangi bir noktadaki periyod $T = 2\pi (S_d / S_a)^{1/2}$ ve herhangi bir noktadaki spektral deplasman $S_d = S_a T^2 / 4\pi^2$ olarak hesaplanır.



Şekil 4.6 : Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi

4.4.1.2 Kapasite Spektrumunun Kırıklı Hale Getirilmesi



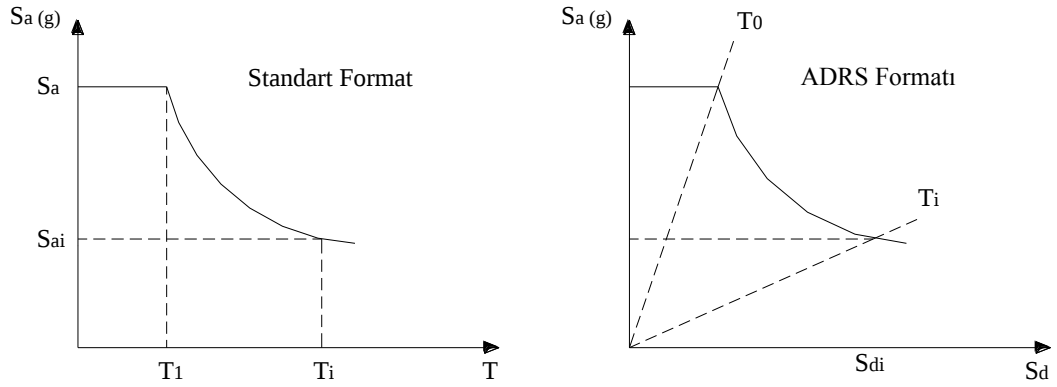
Şekil 4.7 : Kapasite spektrumunun kırık hale getirilmesi

Kırıklı haldeki kapasite eğrisi efektif sönümün ve uygun indirgenmiş talep spektrumun tahmin edilmesi için gereklidir (bölüm 4.4.1.4). İndirgenmiş talep spektrumunun tahmin edilmesi için a_{pi} ve d_{pi} değerleri atanarak spektrum eğrisinin oluşturulması yani bir performansının noktasının tahmin edilmesi gerekir. Talep spektrumu ile kapasite spektrumu bu tahmin edilen a_{pi} ve d_{pi} noktasında kesişiyorsa bu nokta “Performans Noktası”dır. İlk tahmin edilen nokta a_{p1} , d_{p1} ikincisi a_{p2} , d_{p2} şeklinde tek tek hesaplanarak kesişim noktası bulunana kadar değerler verilir. Kırıklı gösterimi oluşturabilmek için ilk olarak orijinden eğimi başlangıç rijitliğini veren

doğru çizilir. İkinci adımda (a_{pi} , d_{pi}) noktasından ilk adımda çizdiğimiz doğruyu kesecek ve Şekil4.7’de görüldüğü gibi A1 alanı = A2 alanı olacak şekilde ikinci bir doğru çizilir.

Burada ; K_i = Başlangıç rijitliği eğimi $A1 = A2$ (Bu her bir eğrinin eşit enerji sönümlemesi anlamına tekabül eder.)

4.4.1.3 Talep (Deprem) Spektrumunu Standart Formattan ADRS formatına dönüştürme



Şekil 4.8 : Standart kapasite spektrumu ile talep spektrumunun bir arada gösterimi

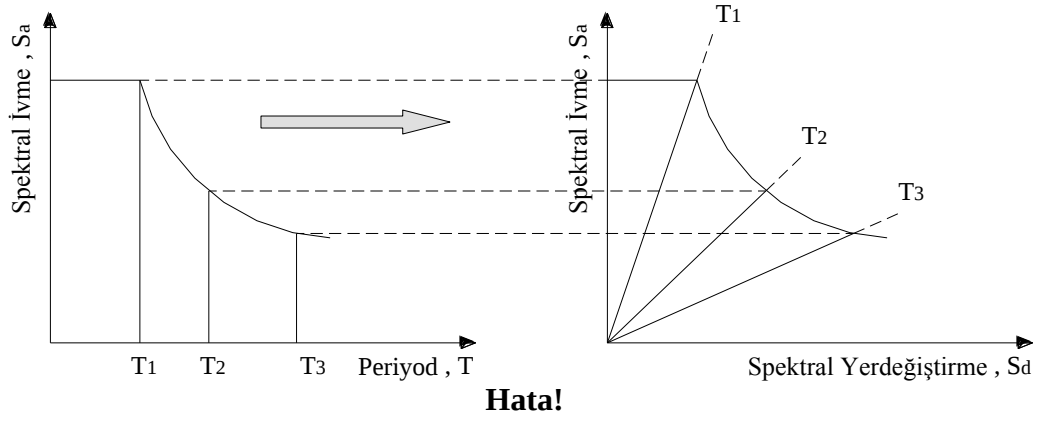
Bu dönüşüm, (Şekil 4.9), için gerekli formüller;

$$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} S_{ai} g \quad (4.5)$$

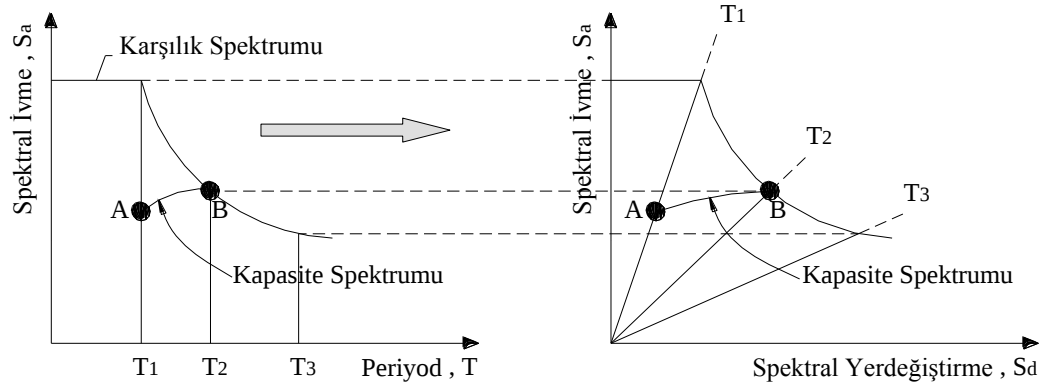
$$S_{ai} g = \frac{2\pi}{T_i} S_v \quad (4.6)$$

$$S_{di} = \frac{T_i}{2\pi} S_v \quad (4.7)$$

Önce standart grafikteki her noktada için S_d (4.5)(spektral deplasman) yardımıyla hesaplanır ve yine standart grafikteki her noktada T_i periyodundaki S_a (4.6)(spektral ivme) ve S_v (4.7)(spektral hız) hesaplanır.



Şekil 4.9 : Talep (Deprem) spektrumunu standart formattan ADRS formatına dönüştürme

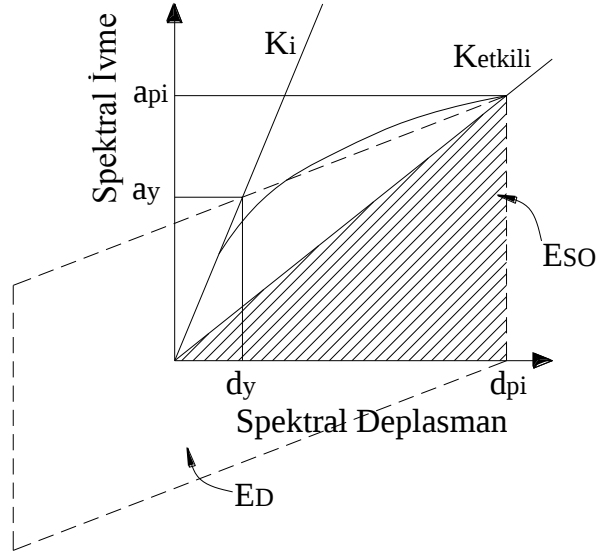


Şekil 4.10 : Standart ve ADRS formatındaki talep spektrumu , periyot artışı

Yapı elastik olmayan davranış göstermeye başladığı anda periyodu artar. Şekilde bu durum A ve B noktaları arasında oluşmuştur.(Şekil4.10)

4.4.1.4 Etkin sönümün tahmini ve %5 Sönümlü elastik (talep) deprem spektrumunun indirgenmesi

Sönüm yapıyı elastik olmayan sınıra doğru zorlayan deprem hareketi meydana gelirken oluşur. Yapının viskoz sönümünün ve histerik sönümünün bileşkesidir. Histerik sönüm, deprem anındaki taban kesme kuvveti ve yapı deplasmanının oluşturduğu eğrilerin içinde kalan alanlarla ilgilidir. Histerik sönüm, eşdeğer viskoz sönüm cinsinden ifade edilebilir (4.9). β_{eq} , Eşdeğer viskoz sönüm maksimum deplasman olan d_{pi} 'ye bağlıdır .



Şekil 4.11 : Spektral indirgeme için sönüm elde edilmesi

Yönetmeliklerde verilen ve bu yöntemde öngörülen elastik ivme-yer değiştirme spektrum eğrisi %5'lik bir viskoz sönüm içerir, ancak depremin etkisinde yapıda elastik olmayan ve çevrimsel oluşan şekil değiştirmeler sonucu enerjinin tüketilmesi söz konusudur. Deprem etkisi altında yer değiştirme ile yük arasındaki veya benzer olan spektral yer değiştirme-spektral ivme arasındaki bağıntı elastik sınırı aşıldığında bir çevrimsel değişim gösterir.(Şekil4.11).(Celeb, 2005)

β_{eq} Aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\beta_{eq} = \beta_0 + 0.05 \quad (4.8)$$

Burada;

β_0 = Histerik sönümün eşdeğer viskoz sönüm cinsinden ifadesi

0.05 = Betonarme yapılarda var olduğu kabul edilen %5 viskoz sönüm

$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{S0}} \quad (4.9)$$

Burada;

E_D = Sönümün yuttuğu enerji (4.10)(Şekil4.11)

E_{S0} = Maksimum şekil değiştirme enerjisi (4.11)(Şekil4.11)

$$E_D = 4(a_{pi}d_{pi} - 2A_1 - 2A_2 - 2A_3) \quad (4.10)$$

$$= 4[a_{pi}d_{pi} - a_yd_y - (d_{pi} - d_y)(a_{pi} - a_y) - 2d_y(a_{pi} - a_y)]$$

$$= 4(a_yd_{pi} - d_ya_{pi})$$

$$E_{S0} = a_{pi} d_{pi} / 2 = K_{etkin} \cdot d_{pi}^2 / 2 \quad (4.11)$$

Geometrik bağıntılar kullanılarak β_0 'ya bağlı olarak efektif sönüm β_{eff} hesaplanır.(4.12)

$$\beta_{eff} = \kappa \beta_0 + 5 = \frac{63.7 \kappa (a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5 \quad (4.12)$$

Çevrimsel sönümün belirlenmesinde kullanılan paralel kenarın gerçek yapıda farklı olabileceği düşünülerek bir κ düzeltme katsayısı (Tablo 4.2, 4.3) öngörülmüştür. Çevrimsel davranışın tam oluşmadığı yapı kalitesi düşük yapılarda bu katsayı daha düşük olarak ortaya çıkar. Yeni yapılarda sönüm çevrimi dolgun bir biçimde oluşacağı için küçük olacaktır. Bunun gibi deprem süresinin uzun olacağı durumlarda enerji tüketimi artar ve bu kat sayı daha büyük olur. (Celeb, 2005)

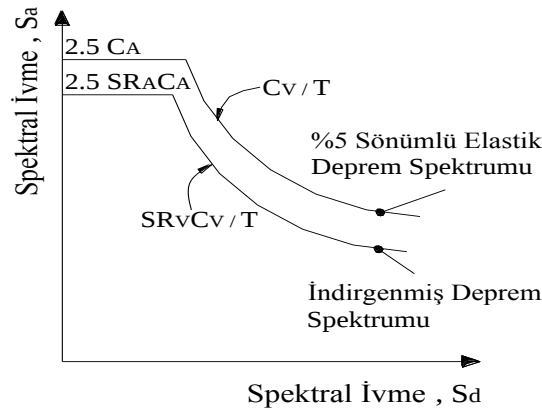
Tablo 4.1 : Yapı davranış türü

Deprem Süresi	Genel Olarak Yeni Bina	Ortalama Mevcut Bina	Zayıf Mevcut Bina
Kısa	Tip A	Tip B	Tip C
Uzun	Tip B	Tip C	Tip C

Tablo 4.2 : Sönüm düzeltme katsayısı

Yapı Davranış Türü	A	B	C
κ	1.0	0.67	0.33

Doğrusal olmayan davranışın göz önüne alınması için tanımlanan bu eşdeğer sönüm değerlerine bağlı olarak %5 Sönümlü elastik deprem spektrumunun da SR_A , SR_v katsayıları ile indirgeme yapılır (Şekil 4.12). Bu katsayılar Tablo 4.4, (4.13), (4.14) ile hesaplanabilir. Spektrumun bu hali indirgenmiş deprem spektrumu, elastik olmayan deprem spektrumu olarak adlandırılır.



Sekil 4.12 : İndirgenmiş talep (deprem) spektrumu

$$SR_A = \frac{1}{B_S} \approx \frac{3.21 - 0.681 \ln(\beta_{eff})}{2.12}$$

$$= \frac{3.21 - 0.681 \ln \left[\frac{63.7 \kappa (a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5 \right]}{2.12} \quad (4.13)$$

$$SR_V = \frac{1}{B_L} \approx \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}{1.65}$$

$$= \frac{2.31 - 0.41 \ln \left[\frac{63.7 \kappa (a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5 \right]}{1.65} \quad (4.14)$$

Ancak (4.13) ve (4.14) ile hesaplanan değerler Tablo 4.5'teki minimum değerlerden büyük olmalıdır.

Tablo 4.3 : Sönüm düzeltme katsayısı, κ

Yapı Davranış Türü	β_0 (%)	κ
A	≤ 16.25	1
	> 16.25	For
B	≤ 25	0.67
	> 16.25	For
C	Herhangi bir değer	0.33

Tablo 4.4 : Spektral azaltma katsayıları SR_A , SR_V

	Yapı Davranış Türü A			Yapı Davranış Türü B			Yapı Davranış Türü C		
β_0	β_{eff}	SR_A	SR_V	β_{eff}	SR_A	SR_V	β_{eff}	SR_A	SR_V
0.00	0.05	1.00	1.00	0.05	1.00	1.00	0.05	1.00	1.00
0.05	0.10	0.78	0.83	0.08	0.83	0.87	0.07	0.91	0.93
0.15	0.20	0.55	0.66	0.15	0.64	0.73	0.10	0.78	0.83
0.25	0.28	0.44	0.57	0.22	0.53	0.63	0.13	0.69	0.76
0.35	0.35	0.38	0.52	0.26	0.47	0.59	0.17	0.61	0.70
≥ 0.45	0.40	0.33	0.50	0.29	0.44	0.56	0.20	0.56	0.67

Tablo 4.5 : İzin verilen en küçük spektral azaltma katsayıları, SR_A , SR_V

Deprem Süresi	Yapı Davranış Türü A	Yapı Davranış Türü B	Yapı Davranış Türü C
SR_A	0.33	0.44	0.56
SR_V	0.50	0.56	0.67

4.4.1.5 Kapasite Spektrumu ile Talep Spektrumunun Kesişimi

Tahmin edilen performans noktası (a_{pi}, d_{pi}), Talep spektrumu ile kapasite spektrumunun kesişim noktasındaki deplasman değeri olan d_i ye %5 yaklaşıksa ($0.95 d_{pi} \leq d_i \leq 1.05 d_{pi}$) bu nokta performans noktası olarak alınır. Bu koşul sağlanamaz ise sağlanana kadar yeni a_{pi} ve d_{pi} değerleri atanarak yöntem tekrarlanır.(bölüm4.4.2)

4.4.2 Prosedür A Kullanılarak Performans Noktasının Hesaplanması

Bu prosedür metodun en direkt uygulamasıdır.Tamamen iteratif bir yöntemdir. Kullanılan formüller kolaylıkla bilgisayar ortamına adapte edilebilir niteliktedir. Daha çok analitik bir metottur.

Bu metodta kullanılan işlem sıralaması aşağıdaki gibidir.

1-%5 sönümlü elastik talep (deprem) spektrumu bölüm 3.3'te açıklanan metodlar yardımı ile çizilir.

2-Bölüm 4.4.1.1'de tanımlanan (4.1),(4.2),(4.3) ve (4.4) denklemleri yardımıyla kapasite eğrisi kapasite spektrumuna dönüştürülür ve kapasite spektrumu ile %5 sönümlü elastik deprem spektrumu aynı grafik üzerinde gösterilir.(Şekil 4.13)

3-Şekil 4.14 de gösterildiği gibi deneme performans noktaları (a_{pi}, d_{pi}) seçilir.

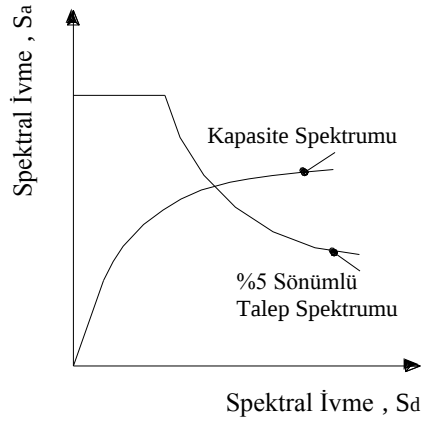
4-Bölüm 4.4.1.2 de tanımlanan yöntem kullanılarak kapasite spektrumu kırıklı hale getirilir.(Şekil 4.15)

5-(4.13) ve (4.14) kullanılarak spektral indirgeme faktörleri hesaplanır.Bu katsayılar yardımıyla indirgenmiş deprem spektrumu oluşturulur ve kapasite spektrumuyla indirgenmiş karşılık spektrumu aynı grafik üzerinde gösterilir.(Şekil 4.16)

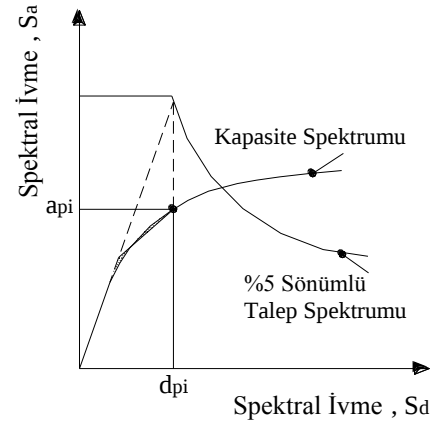
6-İndirgenmiş deprem spektrumu ile kapasite spektrumunun kesiştiği nokta belirlenir ve seçilen a_{pi}, d_{pi} deneme performans noktalarının kabul edilebilir aralıkta olmasına dikkat edilir.(Şekil 4.17)(bölüm4.4.1.5)

7-Eğer indirgenmiş deprem spektrumu ile kapasite spektrumu kabul edilebilir sınırlar içinde kesişmiyorsa 3. adıma geri dönülerek yeni bir a_{pi} , d_{pi} noktası seçilir.

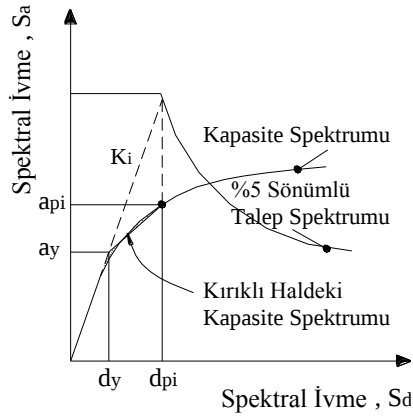
8-Eğer kesişme noktası kabul edilebilir sınırlar içinde ise a_{pi} , d_{pi} deneme performans noktası artık gerçek performans noktasıdır. Artık d_p deplasman değeri, olası depremde yapıda oluşabilecek maksimum deplasmandır.



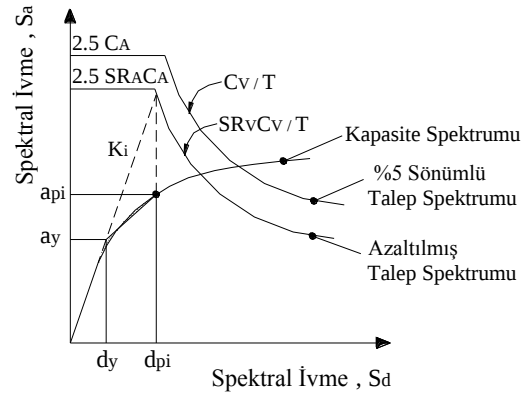
Şekil 4.13 : Prosedür A, Adım 2



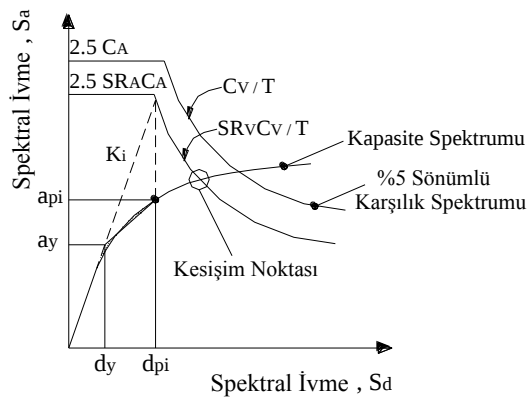
Şekil 4.14 : Prosedür A, Adım 3



Şekil 4.15 : Prosedür A, Adım 4



Şekil 4.16 : Prosedür A, Adım 5



Şekil 4.17 : Prosedür A, Adım 6

4.4.3 Prosedür B Kullanılarak Performans Noktasının Hesaplanması

Kapasite eğrisinin iki doğrultuda modellenmesi imkanını sunan basit bir yöntemdir. Performans noktasının gerçek değeri küçük iterasyonlarla bulunur. Bu prosedürde diğer iki metotta yapılmayan basitleştirme kabülleri yapılmıştır.

Bu basitleştirmeler;

-Kırıklı kapasite spektrumunun başlangıç eğiminin sabit olması

-Bu sabit eğimin a_y-d_y noktasından sonra da sabit kaldığı kabul edilir.

Bu metodta kullanılan işlem sıralaması aşağıdaki gibidir.

1-%5 sönümlü elastik deprem spektrumu bölüm 3.3'te açıklanan metodlar yardımı ile çizilir.

2-%5 sönümlü elastik deprem spektrumu ile indirgenmiş spektrum ailesi aynı grafik üzerine çizilir. β_{eff} 'e bağlı olarak %5' ten yapısal davranış tiplerine göre maksimum değere kadar tek tek aynı grafik üzerinde gösterilir.(Şekil 4.18)

Maksimum β_{eff} ;

A Tipi yapılar için %40 ,

B Tipi yapılar için %29 ,

C Tipi yapılar için %20'dir.

3-Bölüm 4.4.1.1'de tanımlanan (4.1),(4.2),(4.3) ve (4.4) denklemleri yardımıyla kapasite eğrisi kapasite spektrumuna dönüştürülür ve şekil 4.19'da görüldüğü gibi kapasite spektrumu ile talep spektrum ailesi aynı grafikte gösterilir.

4-Şekil 4.20'da gösterildiği gibi kapasite spektrumu kırıklı hale getirilir. Bu kırıklı doğrunun ilk eğimi yapının başlangıç rijitliğine eşittir. Başlangıç rijitliğini gösteren eden bu doğru ile %5 sönümlü deprem spektrumu kesişim noktasındaki deplasman değeri ve kırıklı spektrumun ikinci doğrusunun kapasite spektrumu ile kesiştiği noktadaki deplasman değeri eşit olacak şekilde bir (a^*,d^*) noktası belirlenir. Bu ikinci doğruda şekilde gösterilen A_1 ile A_2 alanları eşit olacak şekilde oluşturulur.

5- (a^*,d^*) noktası yakınındaki çeşitli yerlerdeki deplasman değerleri için efektif sönüm değerleri hesaplanır. Kırıklı haldeki kapasite spektrumunun ikinci doğrusunun eğimi aşağıdaki şekilde bulunur.

İkinci doğrunun eğimi (akma öncesi) =

$$\frac{a^* - a_y}{d^* - d_y} \quad (4.15)$$

İkinci doğru üzerindeki herhangi bir noktanın eğimi =

$$\frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y} \quad (4.16)$$

(4.15) ve (4.16) 'nın eşitlenmesi sonucu ikinci doğrunun eğimi =

$$\frac{a^* - a_y}{d^* - d_y} = \frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y} \quad \longrightarrow \quad a_{pi} = \frac{(a^* - a_y)(d_{pi} - d_y)}{d^* - d_y} + a_y \quad (4.17)$$

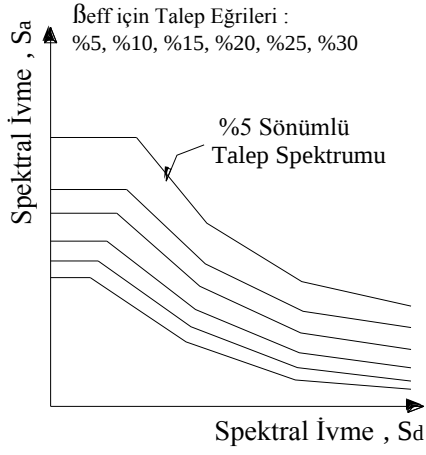
Elde edilen bu değer (4.12)'de yerine konulursa β_{eff} için geriye sadece d_{pi} kalır.

$$\beta_{eff} = \frac{63.7 \kappa (a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5 \quad (4.12)$$

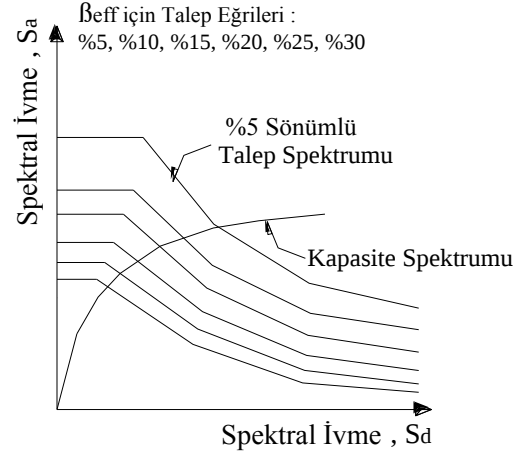
4.12 Denklemini Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'teki değerlere, β_0 'a ve uygun görülen κ değerlerine göre değişik d_{pi} 'lerle hesaplanır.

6- 5.İşlemden varsayılan her bir d_{pi} değeri için bulunan β_{eff} değerleri talep spektrum ailesi ile kapasite spektrumunun olduğu grafik üzerine işaretlenir.(Şekil 4.21)

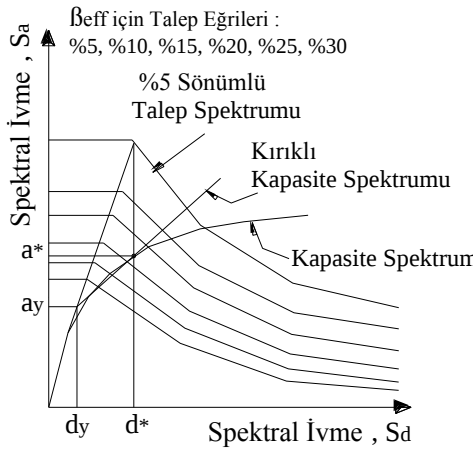
7- Şekil 4.22'de gösterildiği gibi altıncı adımda işaretlenen noktalar eğri oluşturmak amacıyla birleştirilir. Oluşturulan eğrinin kapasite spektrumunun kestiği nokta performans noktasıdır.



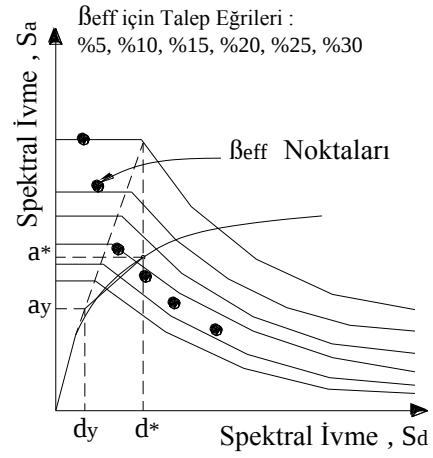
Şekil 4.18 : Prosedür B, Adım 2



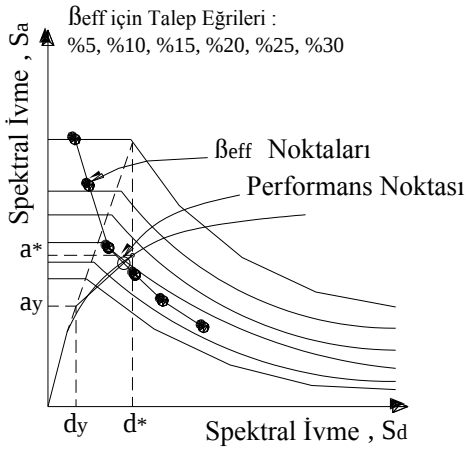
Şekil 4.19 : Prosedür B, Adım 3



Şekil 4.20 : Prosedür B, Adım 4



Şekil 4.21 : Prosedür B, Adım 6



Şekil 4.22 : Prosedür B, Adım 7

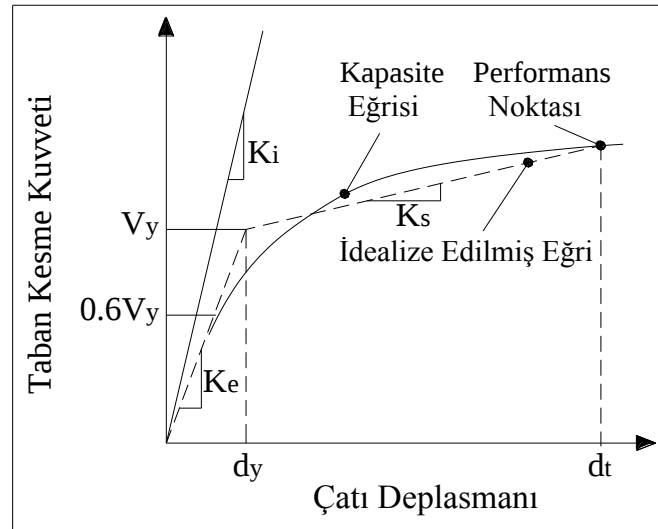
4.4.4 Prosedür C Kullanılarak Performans Noktasının Hesaplanması

Bu prosedür grafikler yardımıyla elle analiz için uygundur. Bilgisayar ortamı için uygun değildir. Bu tez çalışmasında bu prosedür anlatılmamıştır.

4.5 Deplasman Katsayıları Yöntemi ile Talep Hesaplanması (FEMA Yöntemi)

FEMA 356 Deplasman katsayıları yöntemi talep deplasmanın direkt olarak formüller yardımıyla hesaplanmasına olanak verir. Bu yöntemde kapasite eğrisini spektral koordinatlara çevirmeye gerek yoktur. Tek serbestlik dereceli sistemin kontrol noktasına (Genellikle yapının tepe noktası) ait hedef yerdeğiştirme bulunmaktadır, ki hedef yerdeğiştirme yapının tasarım depremi altında yapabileceği en büyük elastik olmayan yer değiştirme olarak düşünülebilir.(Polat, 2004)

Yöntem esas olarak doğrusal olmayan çözümlemelerden elde edilen kapasite eğrisinden yararlanır. Kapasite eğrisi iki adet doğruyla idealize edilebilir.(Şekil 4.23)



Şekil 4.23 Deplasman katsayıları (FEMA) yöntemi

Burada;

K_e = Etkili yatay rijitlik

K_i = Yapının başlangıç yatay rijitliği

K_s = Yapının akma sonrası rijitliği

Kapasite eğrisinden geçen K_e , akma dayanımının %60'ı kadar bir yük alınarak hesaplanır.

Bu yöntemde kullanılan işlem sıralaması aşağıdaki gibidir.

1- Kırıklı hale getirilmiş kapasite eğrisi çizilir.

2- Etkili periyot, T_e hesaplanır.(4.18)

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (4.18)$$

Burada;

T_i : Doğrusal dinamik analizden elde edilen yapı periyodu

T_e : Etkili periyot

K_i : Yapının başlangıç yatay rijitliği

K_e : Etkili yatay rijitliğidir

3- Hedef yerdeğiştirme hesaplanır.(4.19)

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e}{4\pi} g \quad (4.19)$$

Burada;

C_0 : Eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral yerdeğiştirmesi ile çok serbestlik dereceli sistemin tepe noktası deplasmanı arası ilişkiyi kuran katsayıdır.

FEMA 273'e göre C_0 katsayısı üç şekilde hesaplanabilir.

- C_0 katsayısı yapının kontrol noktası seviyesinde 1. moda ait modal katılım çarpanı olarak alınabilir.
- Kontrol noktasındaki yapının hedef yerdeğiştirmeyi yaptığı adımdaki deplasman şeklini kullanarak
- Tablo 4.6 Yardımıyla

Tablo 4.6 : C_0 Katsayısı değerleri.(Ara değerler için enterpolasyon yapılır.)

Kat Sayısı	C_0
1	1.0
2	1.2
3	1.3
5	1.4
10+	1.5

C_1 : Binanın doğrusal ve doğrusal olmayan davranışları sırasında ortaya çıkan yer değiştirmeler arasındaki farkla alakalıdır.(4.20), (4.21)

$$T_e \geq T_B \quad \text{ise } C_1 = 1 \quad (4.20)$$

$$T_e < T_B \quad \text{ise } C_1 = \left[1 + (R - 1) \frac{T_B}{T_e} \right] / R \quad (4.21)$$

$T_B(T_0)$: Davranış spektrumunda, sabit ivme kısmından sabit hız kısmına geçiş noktasındaki karakteristik periyot

R: dayanım azaltma katsayısıdır.

$$R = \frac{S_a}{V_y / W C_0} \quad (4.22)$$

T_e : iki doğru ile temsil edilen kapasite eğrisinden hesaplanan etkili periyot

C_2 : Histerik çevrimdeki kuvvet artımsız yer değiştirme (pinching) etkisini dikkate alınır.Kuvvet artımsız yer değiştirme etkisinin fazla olması yapının enerji yutma kapasitesini düşürmektedir.(Tablo4.7)

C_3 : İkinci mertebe etkilerin dikkate alındığı katsayıdır.Akma sonrası rijitliğin pozitif olduğu yapılarda 1, negatif olduğu yapılarda (4.23) yardımıyla hesaplanır.

$$C_3 = 1 + \frac{|\alpha|(R - 1)^{2/3}}{T_e} \quad (4.23)$$

Burada α , kırıklı gösterimde akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranını ifade eder.

Tablo 4.7 : C_2 Katsayısı değerleri.

Performans Seviyesi	$T = 0.1\text{sn.}$	$T \geq T_0 (T_B)$
A	1.0	1
B	1.3	1.1
C	1.5	1.2

Bu tez çalışmasında FEMA yöntemi genel olarak anlatılmaya çalışılmıştır. Daha fazla detay için FEMA273, FEMA274 ve FEMA356 Dökümanları incelenmelidir.

5. KABUL SINIRLARI

Bu bölümde performans analizi yapılmış bir binanın istenilen seviyeye ulaşp ulaşmadığının kontrolü için kabul edilebilir sınırlar açıklanmıştır. Bu sınırlar global ve yerel olmak üzere ikiye ayrılır.

5.1 Global Sınırlar

Global sınırlar bina düşey yük kapasitesi, yatay yük kapasitesi ve yatay ötelenmelerle alakalıdır. Global Sınırlar ATC40'ta aşağıdaki gibidir.

Kolonlar için global sınırlar ;

1.Hemen Kullanım =

- Düğüm noktalarında ayrılma oluşmadan çok sınırlı eğilme ve kesme çatlağı oluşmuştur.
- Düşey yük taşıma kapasitesi tamdır.

2.Hasar Kontrolü =

- Düğüm noktalarında ayrılma oluşmadan yada çok az oluşacak biçimde sınırlı eğilme ve kesme çatlağı oluşmuştur.
- Kalıcı yatay yer değiştirme yoktur.
- Düşey yük taşıma kapasitesi tamdır.

3.Can Güvenliği =

- Mafsallar binanın alt katlarında oluşmuştur.
- Düğüm noktalarında ayrılmalar oluşmuştur.
- Bazı yerel bölgelerde daha fazla olmasına rağmen kalıcı yatay yer değiştirmeler %2'dir.
- Düşey yük taşıma kapasitesi tamdır.

4. Yapısal Stabilité =

- Mafsallar binanın alt katlarında oluşmuştur.
- Mafsallar düğüm noktalarında ayrılmalara sebep olmuştur.
- Düğüm noktalarında betonda ezilmeler oluşmuştur.

-Bazı yerel bölgelerde daha fazla olmasına rağmen kalıcı yatay yer değiştirmeler %3.5'dir.

-Düşey yük taşıma kapasitesi neredeyse tamdır.

Kirişler için global sınırlar ;

1.Hemen Kullanım =

-Düğüm noktalarında çok sınırlı ayrılma oluşmuştur.

-Mafsal bölgesinde çok sınırlı eğilme çatlağı oluşmuştur.

-Kalıcı yatay yer değiştirme yoktur.

-Düşey yük taşıma kapasitesi tamdır.

2.Hasar Kontrolü =

-Düğüm noktalarında sınırlı ayrılma oluşmuştur.

-Mafsal bölgesinde sınırlı eğilme çatlağı oluşmuştur.

-Kalıcı yatay yer değiştirme yoktur.

-Düşey yük taşıma kapasitesi tamdır.

3.Can Güvenliği =

-Düğüm noktalarında ve mafsal bölgelerinde ayrılmalar oluşmuştur.

-Mafsal bölgelerinden düğüm noktalarına doğru eğilme ve kesme çatlakları oluşmuştur.

-Etriyeler esnemiştir.

-Kalıcı düşey yer değiştirmeler L/175 Mertebesindedir.

-Düşey yük taşıma kapasitesi tamdır.

4.Yapısal Stabilite =

-Mafsal bölgesi ve düğüm noktalarında yaygın ayrılmalar oluşmuştur.

-Mafsal bölgelerinden düğüm noktalarına doğru yaygın eğilme ve kesme çatlakları oluşmuştur.

-Etriyelerde ayrılmalar oluşmuştur.

-Kalıcı düşey yer değiştirmeler L/75 Mertebesindedir.

-Düşey yük taşıma kapasitesi tamdır.

Döşemeler için global sınırlar ;

1.Hemen Kullanım =

-Düğüm ve diğer birleşim noktalarında çok sınırlı çatlaklar oluşmuştur.

-Düşey yük taşıma kapasitesi tamdır.

2.Hasar Kontrolü =

- Düğüm ve diğer birleşim noktalarında sınırlı çatlaklar oluşmuştur.
- Düşey yük taşıma kapasitesi tamdır.

3.Can Güvenliği =

- Düğüm ve diğer birleşim noktalarında çatlaklar oluşmuştur.
- Düşey yük taşıma kapasitesi tamdır.

4.Yapısal Stabilite =

- Düğüm ve diğer birleşim noktalarında yaygın çatlaklar oluşmuştur.
- Döşeme donatıları arasında beton ezilmesi ve ufalanması.
- Çökme olmadan kalıcı düşey yer değiştirme döşeme kalınlığının dörtte biri civarındadır.

Perdeler için global sınırlar ;

1.Hemen Kullanım =

- Perde düzlemi boyunca çok küçük çatlaklar oluşmuştur.
- Kalıcı yatay yer değiştirme yoktur.
- Düşey yük taşıma kapasitesi tamdır.

2.Hasar kontrolü =

- Perde düzlemi boyunca ve düğüm noktalarında küçük çatlaklar oluşmuştur.
- Kalıcı yatay yer değiştirme yoktur.
- Düşey yük taşıma kapasitesi tamdır.

3.Can Güvenliği =

- Perde düzlemi boyunca ve düğüm noktalarında yaygın kesme ve eğilme çatlakları, ayrılmalar oluşur.
- Kesmeden dolayı kayma kusurları oluşur.
- Bazı yerel bölgelerde daha fazla olmasına rağmen kalıcı yatay yer değiştirmeler %2'dir.
- Düşey yük taşıma kapasitesi tamdır.

4.Yapısal Stabilite =

- Fazla yatay ötelenme yapan yerlerde perde düzlemi boyunca ve düğüm noktalarında kesme ve eğilme çatlakları, ayrılmalar oluşur.
- Boyuna donatıda burkulmalar oluşur.
- Kalıcı yatay yer değiştirmeler %3.5 Mertebesinde.
- Düşey yük taşıma nerdeyse kapasitesi tamdır.

Temeller için global sınırlar ;

1.Hemen Kullanım =

-İki komşu kolon arası farklı oturma yoktur.

2.Hasar Kontrolü =

-İki komşu kolon arası farklı oturma yoktur.

3.Can Güvenliği =

- İki komşu kolon arası farklı oturma L/150 Mertebesindedir.

4.Yapısal Stabilite =

- İki komşu kolon arası farklı oturma L/60 Mertebesindedir.

Yapısal olmayan (Taşıyıcı olmayan) elemanlar için global sınırlar ;

1.Hemen Kullanım =

-Dış cephe camları hasarsızdır.

-Bazı mobilyaların eşyaların devrilmesi harici mimari detaylar sağlamdır.

-Asansör ve bina giriş çıkış alanları kullanılabilir durumdadır.

-Asma katlarda çok sınırlı hasar oluşmuştur.

2.Hasar Kontrolü =

-Dış cephe camlarında çok sınırlı hasar oluşmuştur.

-Bazı mobilyaların eşyaların devrilmesi harici mimari detaylarda sınırlı hasar oluşmuştur.

-Asansör ve bina giriş çıkış alanları kullanılabilir durumdadır.

-Asma katlarda sınırlı hasar oluşmuştur.

3.Can Güvenliği =

-Dış cephe camlarında hasar oluşmuştur.

-Mimari detaylarda hasar oluşmuştur.

-Asansör ve bina giriş çıkış alanlarında hasar oluşmuştur.

-Asma katlarda çok hasar oluşmuştur.

4.Yapısal Stabilite =

-Dış cephe camlarının çoğunda hadar oluşmuştur.

-Mimari detaylarda aşırı hasar oluşmuştur.

-Asansör ve bina giriş çıkış alanları kullanılamaz durumdadır

-Asma katlarda kısmi çökmeler oluşmuştur.

Yukarıda bahsedilen global yer değiştirme oranları Tablo5.1’de belirtilmiştir.

Tablo 5.1 : Global Yer Değiştirme Sınırları

	Performans Seviyesi			
Yer Değiştirme Oranı	Hemen Kullanım	Hasar Kontrol	Can Güvenliği	Yapısal Stabilite
Maksimum toplam yer değiştirme	0,01	0,01-0,02	0.02	$0.33V_i/P_i$
Maksimum inelastik yer değiştirme	0,005	0,005-0,015	-	-

Burada;

Maksimum Toplam Yer Değiştirme = Performans noktasındaki katlar arası yer değiştirme

Maksimum İnelastik Yer Değiştirme = Sistemin akmasından sonra ulaşılabildiği son yer değiştirme noktasıdır.

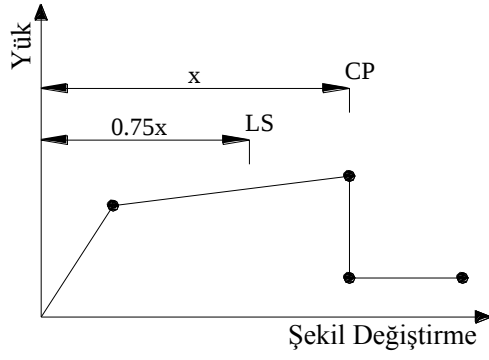
V_i = i.kattaki toplam kesme kuvveti

P_i = i.kattaki toplam düşey yük.

5.2 Yerel Sınırlar

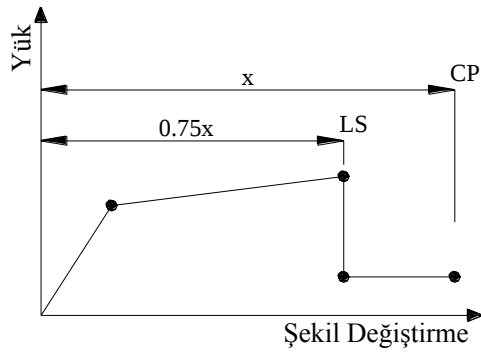
Yerel sınırlar binayı oluşturan taşıyıcı sistem elemanlarının performans noktasındaki davranışlarının tek tek kontrolü için gerekli olan sınırlardır. Her eleman performans noktasındaki kapasitesine ve bu kapasitenin, tüm sistemin kapasitesine oranına göre birincil veya ikincil eleman olarak adlandırılır. Performans noktasındaki yatay yük taşıma kapasitesine önemli katkısı olan elemanlar birincil diğerleri ikincil olarak adlandırılır.

Birincil elemanların performans değeri yapısal stabilite durumunda yük taşıma kapasitesinin azalmaya başladığı yerdedir bu elemanlar için daha ilerisine izin verilmez. Birincil elemanların can güvenliği performans değeri ise bu değer %75'i kadardır.(Şekil5.1)



Şekil 5.1 : Birincil elemanlar sınır değerler

İkincil elemanların performans değeri yük taşıma kapasitesinin bittiği yerdedir. İkincil elemanların can güvenliği performans değeri ise bu değerin %75'i kadardır.(Şekil5.2)



Şekil 5.2 : İkincil elemanlar sınır değerler

Bu sınır değerler, deneysel verilere dayanan tablolar yardımıyla da bulunabilir. Tablolardan da görülebileceği gibi FEMA ve ATC40 Değerleri nerdeyse aynıdır.

Tablo 5.2 : Eğilme etkisindeki kirişler için sınır değerler (ATC40)

Durumlar			Modelleme Parametreleri			Kabul Kriterleri				
			Plastik Dönme Açıları, Radyan	Artık Güç Oranı	c	Plastik Dönme Açısı, Radyan				
						Performan Seviyesi				
						IO	Eleman Tipi			
							Birincil		İkincil	
			a	b	c		LS	CP	LS	CP
1.Eğilme Etkisindeki Kirişler										
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Etriye Donatısı	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c}}$								
≤ 0.0	Kuşatılmış	≤ 3	0.025	0.05	0.2	0.005	0.02	0.025	0.02	0.05
≤ 0.0	Kuşatılmış	≥ 6	0.02	0.04	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.04
≥ 0.5	Kuşatılmış	≤ 3	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
≥ 0.5	Kuşatılmış	≥ 6	0.015	0.02	0.2	0.005	0.005	0.015	0.015	0.02
≤ 0.0	Kuşatılmamış	≤ 3	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
≤ 0.0	Kuşatılmamış	≥ 6	0.01	0.015	0.2	0.0	0.005	0.01	0.01	0.015
≥ 0.5	Kuşatılmamış	≤ 3	0.01	0.015	0.2	0.05	0.01	0.01	0.01	0.015
≥ 0.5	Kuşatılmamış	≥ 6	0.005	0.01	0.2	0.0	0.005	0.005	0.005	0.01
2.Kesme Etkisindeki Kirişler										
Etriye Aralığı $\leq d/2$			0.0	0.02	0.2	0.0	0.0	0.0	0.01	0.02
Etriye Aralığı $> d/2$			0.0	0.01	0.2	0.0	0.0	0.0	0.005	0.01
3.Açıklık boyunca yetersiz kenetlenme boyuna sahip kirişler										
Etriye Aralığı $\leq d/2$			0.0	0.02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.02
Etriye Aralığı $> d/2$			0.0	0.01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.005	0.01
4.Düğüm noktalarında yetersiz kenetlenmeye sahip kirişler										
			0.015	0.03	0.2	0.01	0.01	0.015	0.02	0.03
-Koşullarda birden fazlası sağlanamıyorsa en olumsuz değer kullanılır. -Kiriş mafsallık bölgesinde etriyelerin aralığı $d/3$'ten küçükse ve -normal ve yüksek sünekliğe sahip elemanlarda- etriyelerin kesme kuvveti taşıma gücü tasarım kesme kuvvetinin $3/4$'ünden büyükse o kiriş kuşatılmış aksi halde kuşatılmamıştır. -Tabloda verilen değerler arasında enterpolasyon yapılabilir.										

Tablo 5.3 : Eğilme etkisindeki kirişler için sınır değerler (FEMA)

Durumlar			Modelleme Parametreleri			Kabul Kriterleri						
			Plastik Dönme Açıları, Radyan	Artık Güç Oranı	Plastik Dönme Açısı, Radyan							
					Performan Seviyesi							
					IO	Eleman Tipi						
						Birincil		İkincil				
			a	b	C	LS	CP	LS	CP	LS	CP	
1.Eğilme Etkisindeki Kirişler												
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Etriye Donatısı	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$										
≤0.0	Kuşatılmış	≤3	0.025	0.05	0.2	0.01	0.02	0.025	0.02	0.05		
≤0.0	Kuşatılmış	≥6	0.02	0.04	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.04		
≥0.5	Kuşatılmış	≤3	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03		
≥0.5	Kuşatılmış	≥6	0.015	0.02	0.2	0.005	0.005	0.015	0.015	0.02		
≤0.0	Kuşatılmamış	≤3	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03		
≤0.0	Kuşatılmamış	≥6	0.01	0.015	0.2	0.015	0.005	0.01	0.01	0.015		
≥0.5	Kuşatılmamış	≤3	0.01	0.015	0.2	0.05	0.01	0.01	0.01	0.015		
≥0.5	Kuşatılmamış	≥6	0.005	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.005	0.005	0.01		
2.Kesme Etkisindeki Kirişler												
Etriye Aralığı ≤ d/2			0.003	0.02	0.2	0.0015	0.002	0.0	0.01	0.02		
Etriye Aralığı > d/2			0.003	0.01	0.2	0.0015	0.002	0.0	0.005	0.01		
3.Açıklık boyunca yetersiz kenetlenme boyuna sahip kirişler												
Etriye Aralığı ≤ d/2			0.003	0.02	0.0	0.0015	0.002	0.003	0.01	0.02		
Etriye Aralığı > d/2			0.003	0.01	0.0	0.0015	0.002	0.003	0.005	0.01		
4.Düğüm noktalarında yetersiz kenetlenmeye sahip kirişler												
			0.015	0.03	0.2	0.01	0.01	0.015	0.02	0.03		
-Koşullarda birden fazlası sağlanamıyorsa en olumsuz değer kullanılır.												
-Kiriş mafsallı bölgesinde etriyelerin aralığı d/3'ten küçükse ve -normal ve yüksek sünekliğe sahip elemanlarda- etriyelerin kesme kuvveti taşıma gücü tasarım kesme kuvvetinin ¾'ünden büyükse o kiriş kuşatılmış aksi halde kuşatılmamıştır.												
-Tabloda verilen değerler arasında enterpolasyon yapılabilir.												

Tablo 5.4 : Betonarme kolonlarda sınır değerler (ATC40)

Durumlar			Modelleme Parametreleri			Kabul Kriterleri				
			Plastik Dönme Açıları, Radyan	Artık Güç Oranı	c	Plastik Dönme Açısı, Radyan				
						Performan Seviyesi				
						IO	Eleman Tipi			
							Birincil		İkincil	
			A	B	c		LS	CP	LS	CP
1.Eğilme Etkisindeki Kolonlar										
$\frac{P}{A_g f'_c}$	Etriye Donatısı	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$								
≤ 0.1	Kuşatılmış	≤ 3	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02	0.015	0.03
≤ 0.1	Kuşatılmış	≥ 6	0.015	0.025	0.2	0.005	0.01	0.015	0.01	0.025
≥ 0.4	Kuşatılmış	≤ 3	0.015	0.025	0.2	0.0	0.005	0.015	0.01	0.025
≥ 0.4	Kuşatılmış	≥ 6	0.01	0.015	0.2	0.0	0.005	0.01	0.01	0.015
≤ 0.1	Kuşatılmamış	≤ 3	0.01	0.015	0.2	0.005	0.005	0.01	0.005	0.015
≤ 0.1	Kuşatılmamış	≥ 6	0.005	0.005	-	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
≥ 0.4	Kuşatılmamış	≤ 3	0.005	0.005	-	0.0	0.0	0.005	0.0	0.005
≥ 0.4	Kuşatılmamış	≥ 6	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.Kesme Etkisindeki Kolonlar										
Etriye Donatısı Aralığı $\leq d/2$			0.0	0.015	0.2	0.0	0.0	0.0	0.01	0.015
3.Kolon yüksekliği boyunca yetersiz kenetlenme boyuna sahip kolonlar										
Etriye Donatısı Aralığı $\leq d/2$			0.01	0.02	0.4	0.0	0.0	0.0	0.01	0.02
Etriye Donatısı Aralığı $> d/2$			0.0	0.01	0.2	0.0	0.0	0.0	0.005	0.01
4.Eksenel Yüğü .7Po' büyük kolonlar										
Kolon boyunca sık sargı			0.015	0.025	0.02	0	0	0.005	0.005	0.01
Diğer durumlar			0	0	0	0	0	0	0	0
-Koşullarda birden fazlası sağlanamıyorsa en olumsuz değer kullanılır. -Kolon mafsallı bölgesinde sargı donatısı aralığı d/3'ten küçükse ve -normal ve yüksek sünekliğe sahip elemanlarda- etriyelerin kesme kuvveti taşıma gücü tasarım kesme kuvvetinin 3/4'ünden büyükse o kolon kuşatılmış aksi halde kuşatılmamıştır. -Tabloda verilen değerler arasında enterpolasyon yapılabilir.										

Tablo 5.5 : Betonarme kolonlarda sınır değerler (FEMA)

Durumlar			Modelleme Parametreleri			Kabul Kriterleri				
			Plastik Dönme Açıları, Radyan	Artık Güç Oranı	IO	Plastik Dönme Açısı, Radyan				
						Performan Seviyesi				
						Eleman Tipi				
						Birincil		İkincil		
			A	b	c	LS	CP	LS	CP	
1.Eğilme Etkisindeki Kolonlar										
$\frac{P}{A_g f'_c}$	Etriye Donatısı	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$								
≤ 0.1	Kuşatılmış	≤ 3	0.02	0.03	0.2	0.005	0.015	0.02	0.02	0.03
≤ 0.1	Kuşatılmış	≥ 6	0.016	0.024	0.2	0.005	0.012	0.016	0.02	0.024
≥ 0.4	Kuşatılmış	≤ 3	0.015	0.025	0.2	0.003	0.012	0.015	0.02	0.025
≥ 0.4	Kuşatılmış	≥ 6	0.012	0.02	0.2	0.003	0.01	0.012	0.015	0.02
≤ 0.1	Kuşatılmamış	≤ 3	0.006	0.015	0.2	0.005	0.005	0.006	0.02	0.015
≤ 0.1	Kuşatılmamış	≥ 6	0.005	0.012	0.2	0.005	0.004	0.005	0.01	0.012
≥ 0.4	Kuşatılmamış	≤ 3	0.003	0.01	0.2	0.002	0.002	0.003	0.01	0.01
≥ 0.4	Kuşatılmamış	≥ 6	0.002	0.008	0.2	0.002	0.002	0.002	0.005	0.008
2.Kesme Etkisindeki Kolonlar										
			-	-	-	-	-	-	0.003	0.004
3.Kolon yüksekliği boyunca yetersiz kenetlenme boyuna sahip kolonlar										
Etriye Donatısı Aralığı $\leq d/2$			0.01	0.02	0.4	0.005	0.005	0.01	0.01	0.02
Etriye Donatısı Aralığı $> d/2$			0.0	0.01	0.2	0.0	0.0	0.0	0.005	0.01
4.Eksenel Yüğü .7Po' büyük kolonlar										
Kolon boyunca sık sargı			0.015	0.025	0.02	0	0.005	0.01	0.01	0.02
Diğer durumlar			0	0	0	0	0	0	0	0
-Koşullarda birden fazlası sağlanamıyorsa en olumsuz değer kullanılır. -Kolon mafsall bölgesinde sargı donatısı aralığı d/3'ten küçükse ve -normal ve yüksek sünekliğe sahip elemanlarda- etriyelerin kesme kuvveti taşıma gücü tasarım kesme kuvvetinin ¾'ünden büyükse o kolon kuşatılmış aksi halde kuşatılmamıştır. -Tabloda verilen değerler arasında enterpolasyon yapılabilir.										

Tablo 5.6 : Eğilme etkisindeki perdeler (ATC40)

Durumlar	Modelleme Parametreleri			Kabul Kriterleri								
	Plastik Dönme Açıları, Radyan	Artık Güç Oranı	c	Plastik Dönme Açısı, Radyan								
				Performan Seviyesi								
				IO	Eleman Tipi				LS	CP	LS	CP
					Birincil		İkincil					
	A	b		LS	CP	LS	CP	LS	CP			
1.Eğilme Etkisindeki Kolonlar												
$\frac{(A_s - A_s')f_y + P}{t_w l_w f_c'}$	Perde Uç Donatısı	$\frac{V}{t_w l_w \sqrt{f_c'}}$										
≤0.1	Evet	≤3	0.015	0.020	0.75	0.005	0.010	0.015	0.015	0.020		
≤0.1	Evet	≥6	0.010	0.015	0.40	0.004	0.008	0.010	0.010	0.015		
≥0.4	Evet	≤3	0.009	0.012	0.60	0.003	0.006	0.009	0.009	0.012		
≥0.4	Evet	≥6	0.005	0.010	0.30	0.0015	0.003	0.005	0.005	0.010		
≤0.1	Hayır	≤3	0.008	0.015	0.60	0.002	0.004	0.008	0.008	0.015		
≤0.1	Hayır	≥6	0.006	0.010	0.30	0.002	0.004	0.006	0.006	0.010		
≥0.4	Hayır	≤3	0.003	0.005	0.25	0.001	0.002	0.003	0.003	0.005		
≥0.4	Hayır	≥6	0.002	0.004	0.20	0.001	0.001	0.002	0.002	0.004		
Perde Bağ Kirişleri												
Boyuna ve Enine Donatı	$\frac{V}{t_w l_w \sqrt{f_c'}}$											
İkisi de Var, Uygun	≤3	0.25	0.40	0.75	0.006	0.015	0.025	0.025	0.040			
	≥6	0.15	0.30	0.50	0.005	0.010	0.015	0.015	0.030			
İkisi de Var, Enine Donatı Uygun Değil	≤3	0.20	0.35	0.50	0.006	0.012	0.020	0.020	0.035			
	≥6	0.10	0.25	0.25	0.005	0.008	0.010	0.010	0.025			
Diyagonal Donatı	-	0.30	0.50	0.80	0.006	0.018	0.030	0.030	0.05			
-Koşullarda birden fazlası sağlanamıyorsa en olumsuz değer kullanılır.												
-Perde uç bölgeleri ACI318’e uygun ise evet değilse hayır.												
-Tabloda verilen değerler arasında enterpolasyon yapılabilir.												

Tablo 5.7 : Eğilme etkisindeki perdeler (FEMA)

Durumlar	Modelleme Parametreleri			Kabul Kriterleri						
	Plastik Dönme Açıları, Radyan	Artık Güç Oranı	IO	Plastik Dönme Açısı, Radyan						
				Performan Seviyesi						
				Eleman Tipi						
				Birincil		İkincil				
	a	b	c	LS	CP	LS	CP	LS	CP	
1.Eğilme Etkisindeki Kolonlar										
$\frac{(A_s - A_s')f_y + P}{t_w l_w f_c'}$	Perde Uç Donatısı	$\frac{V}{t_w l_w \sqrt{f_c'}}$								
≤ 0.1	Evet	≤ 3	0.015	0.020	0.75	0.005	0.010	0.015	0.015	0.020
≤ 0.1	Evet	≥ 6	0.010	0.015	0.40	0.004	0.008	0.010	0.010	0.015
≥ 0.4	Evet	≤ 3	0.009	0.012	0.60	0.003	0.006	0.009	0.009	0.012
≥ 0.4	Evet	≥ 6	0.005	0.010	0.30	0.0015	0.003	0.005	0.005	0.010
≤ 0.1	Hayır	≤ 3	0.008	0.015	0.60	0.002	0.004	0.008	0.008	0.015
≤ 0.1	Hayır	≥ 6	0.006	0.010	0.30	0.002	0.004	0.006	0.006	0.010
≥ 0.4	Hayır	≤ 3	0.003	0.005	0.25	0.001	0.002	0.003	0.003	0.005
≥ 0.4	Hayır	≥ 6	0.002	0.004	0.20	0.001	0.001	0.002	0.002	0.004
Perde Bağ Kirişleri										
Boyuna ve Enine Donatı	$\frac{V}{t_w l_w \sqrt{f_c'}}$									
İkisi de Var, Uygun	≤ 3	0.25	0.50	0.75	0.010	0.020	0.025	0.025	0.050	
	≥ 6	0.20	0.40	0.50	0.005	0.010	0.020	0.020	0.040	
İkisi de Var, Enine Donatı Uygun Değil	≤ 3	0.20	0.35	0.50	0.006	0.012	0.020	0.020	0.035	
	≥ 6	0.10	0.25	0.25	0.005	0.008	0.010	0.010	0.025	
Diyagonal Donatı	-	0.30	0.50	0.80	0.006	0.018	0.030	0.030	0.50	
-Koşullarda birden fazlası sağlanamıyorsa en olumsuz değer kullanılır. -Perde uç bölgeleri ACI318'e uygun ise evet değilse hayır. -Tabloda verilen değerler arasında enterpolasyon yapılabilir.										

Tablo 5.8 : Kesme etkisindeki elemanlar (FEMA ve ATC40)

Durumlar	Modelleme Parametreleri			Kabul Kriterleri					
	Plastik Dönme Açıları, Radyan	Artık Güç Oranı	IO	Plastik Dönme Açısı, Radyan					
				Performan Seviyesi					
				Eleman Tipi					
				Birincil		İkincil			
	A	b	c	LS	CP	LS	CP	LS	CP
1.Perdeler									
Tüm Durumlar	0.75	2.0	0.4	0.4	0.6	0.75	0.75	1.5	
Perde Bağ Kirişleri									
Boyuna ve Enine Donatı	$\frac{V}{t_w l_w \sqrt{f'_c}}$								
İkisi de Var, Uygun	≤ 3	0.018	0.03	0.60	0.006	0.012	0.015	0.015	0.024
	≥ 6	0.012	0.02	0.30	0.004	0.008	0.010	0.01	0.016
İkisi de Var, Enine Donatı Uygun Değil	≤ 3	0.012	0.025	0.40	0.006	0.008	0.010	0.01	0.02
	≥ 6	0.008	0.014	0.20	0.004	0.006	0.007	0.007	0.012
-Perdelerde ötelenme, bağ kirişlerinde düğüm noktası dönmeleri kullanılır. -Elastik olmayan davranışı kesmeye bağlı olan perdelerde eksenel iç kuvvet en fazla $0.15A_g f_c$ olmalıdır. Aksi halde kuvvet kontrollü eleman olarak kabul edilmelidir.									

6. ATC40 YÖNTEMİ KONU ÖZETİ

- 1- Hangi yer hareketinde hangi performans seviyesinin sağlanması gerektiği seçilir.
(Bölüm 2.2 , Bölüm 3.2)
2. Kapasite eğrisi belirlenir. (Yapının Depreme Verebileceği Cevaptır.)
(Bölüm 4.3.2)
3. Kapasite eğrisi standart formattan (V-D) ADRS Formatına (Sa-Sd) çevrilir.
ADRS formatına yapılan çevrimler talep ve kapasitenin aynı eksen takımında gösterilmesi için gereklidir.(Bölüm 4.4.1.1)
4. Kapasite Eğrisi Kırıklı hale Getirilir. Kırıklı haldeki eğriden altta kalan alan daha kolay bulunur. Başlangıç sönüm oranının tahmini için gereklidir.
(Bölüm 4.4.1.2)
5. %5 Sönümlü elastik talep (deprem) spektrumu oluşturulur.
(Depremi yapıdan karşılamasını istediğidir, Talep) (Bölüm 3.3)
6. %5 Sönümlü elastik deprem spektrumu standart formattan (Sa-T) ADRS Formatına (Sa-Sd) çevrilir. ADRS formatına yapılan çevrimler talep ve kapasitenin aynı eksen takımında gösterilmesi için gereklidir.(Bölüm 4.4.1.3)
5. ADRS Formatında olan kırıklı haldeki kapasite eğrisi ve yine ADRS Formatındaki %5 Sönümlü elastik deprem spektrumu kesiştirilir ve bir başlangıç sönüm oranı elde edilir. (Bölüm 4.4.1.2, Bölüm 4.4.1.4)
6. Bu başlangıç sönüm oranına göre indirgenmiş talep (deprem) spektrumu hesaplanır. (Bölüm 4.4.1.4)
7. İndirgenmiş talep (deprem) spektrumu ve kapasite eğrisi kesiştirilir ve o kesişim noktası yani performans noktası incelenir. Kesişim noktasındaki sönüm oranı gerçek sönüm oranıdır , B_{eff} .

7. BETONARME BİR YAPIDA STATİK-İTME ANALİZİ UYGULAMASI

7.1 Giriş

Bu bölümde yapıların performansının belirlenmesi için uygulanacak olan statik-itme (Pushover) analiz yöntemiyle 4 Katlı betonarme bir yapının mevcut durumu ve bu yapının güçlendirilmiş durumu ATC40 yöntemiyle performans açısından değerlendirilmiştir. Performans noktaları ve seviyeleri hakkındaki örnek SAP2000 program çıktıları Ek-B ve bölüm 7.5'te belirtilmiştir.

Ek-A'da mevcut durumun mimari planları verilmiş olan yapı yetersizlikler ve kesme kuvvetlerinden doğan yetersizlikler nedeniyle sisteme ek perde elemanları konularak güçlendirilmiştir. Mevcut ve güçlendirilmiş duruma ait mimari ve statik detaylar yine Ek-A'da dır.

7.2 Yapı Genel Bilgileri

Yapı Önem Katsayısı : 1,4 (Okul binası)

Kat Sayısı : Zemin+3 Normal Kat (Tablo4.1 için B tipi yapı)

Kat Yüksekliği : 3m.

Yapı Yüksekliği : $3 \times 4 = 12\text{m}$.

Etkin yer ivmesi katsayısı : $A_0 = 0,4$ (Tablo3.9 için 4.Bölge)

Mevcut yapı taşıyıcı sistem davranış katsayısı : $R=4$

Güçlendirilmiş yapı taşıyıcı sistem davranış katsayısı : $R=5$

Yerel zemin sınıfı : Z2 (Tablo3.8 için S_D Zemin sınıfı)

Zemin emniyet gerilmesi : $q_{em} = 20\text{t/m}^2$

Zemin yatak katsayısı : $K_0 = 3000\text{t/m}^3$

Zemin karakteristik spektrum periyotları : $T_A=0,15$, $T_B=0,40$

Bina önem katsayısı : 1,4 (Okul binası)

Döşeme Türü : Plak, Döşeme kaplaması : Karo mozaik

Mevcut yapı beton sınıfı : BS12, $f_{cd}=12\text{Mpa}$, $E_c=25258\text{ Mpa}$

Mevcut yapı çelik sınıfı : BÇI, $f_{yd}=2200\text{kg/cm}^2$

Güçlendirme elemanları beton sınıfı : BS25, $f_{cd}=25\text{Mpa}$, $E_c=30250\text{ Mpa}$

Güçlendirme elemanları çelik sınıfı : BÇIII (S420), $f_{yd}=4200\text{kg/cm}^2$

Hareketli yük katsayısı : $q = 3,5\text{ KN/m}^2$ (Sınıflar)

$q = 5,0\text{ KN/m}^2$ (Koridor ve Merdiven)

$q = 2,0\text{ KN/m}^2$ (Çatı)

7.3 Yapı Modal Analiz Detayları

Yapının kat ağırlıkları denklem (7.1) kullanılarak Ek-A'da bulunan mimari planlara göre hesaplanmıştır. Kat ağırlıkları mevcut durum için Tablo 7,1, güçlendirilmiş durum için Tablo 7,2'de belirtilmiştir.

$$w_i = g_i + n \times q_i \quad (7.1)$$

Burada;

w_i = i.kat ölü yük ağırlığı

q_i = i.kat hareketli yük ağırlığı

n = Hareketli yük katılım katsayısı (Okul binaları için, $n=.6$)

Tablo 7.1 : Mevcut durum kat ağırlıkları

Kat No	Ölü Yük (kN)	Hareketli Yük (kN)	Kat Ağırlığı (w, kN)
Zemin Kat	2698	1029	3315,4
1.Normal Kat	2698	1029	3315,4
2.Normal kat	2698	1029	3315,4
3.Normal Kat	2241	546	2568,6
Toplam Ağırlık	= 12514,8kN		

Tablo 7.2 : Güçlendirilmiş durum kat ağırlıkları

Kat No	Ölü Yük (KN)	Hareketli Yük (KN)	Kat Ağırlığı (w, KN)
Zemin Kat	3465	1029	4082,4
1.Normal Kat	3465	1029	4082,4
2.Normal kat	3465	1029	4082,4
3.Normal Kat	3008	546	3335,6
Toplam Ağırlık	= 15582,8kN		

Kat ağılıkları hesaplandıktan sonra bu ağırlıklar yer çekimi ivmesine (g) bölünerek kat kütleleri ve denklem (7.2) yardımıyla da kütle atalet momentleri hesaplanmıştır. Mevcut durumdaki ve güçlendirilmiş durumdaki yapı kütleleri ve kütle ataletleri Tablo7.3 ve Tablo7.4 ‘deki hesaplanmıştır.

$$I_i = M_i \times (a^2 + b^2) / 12 \quad (7.2)$$

Burada ;

I_i = i.kata ait kütle atalet momenti

M_i = i.kata ait kütle atalet momenti

a = Yapının x eksenini doğrultusu uzunluğu (21m.)

b = Yapının y eksenini doğrultusu uzunluğu (13m.)

Tablo 7.3 : Mevcut durum kat kütleleri ve kat kütle atalet momentleri

Kat No	Kat Kütle	Kat Kütle Atalet Momenti
Zemin Kat	337,96	17179,63
1.Normal Kat	337,96	17179,63
2.Normal Kat	337,96	17179,63
3.Normal Kat	261,83	13309,69

Tablo 7.4 : Güçlendirilmiş durum kat kütleleri ve kat kütle atalet momentleri

Kat No	Kat Kütle	Kat Kütle Atalet Momenti
Zemin Kat	416,15	21154,29
1.Normal Kat	416,15	21154,29
2.Normal Kat	416,15	21154,29
3.Normal Kat	340,02	17284,35

Tablo7.3 ve 7.4’ teki değerler yapı SAP2000 Programında modellendikten sonra yapının ağırlık merkezine etkililmiş ve modal analiz yaptırılmıştır. Tablo7.5 ve Tablo7.6 da verilen yapı periyotları bulunmuştur.

Tablo 7.5 : Mevcut durum yapı periyotları

$T_x = 0,4286sn.$	$T_y = 0,4613sn.$
-------------------	-------------------

Tablo 7.6 : Güçlendirilmiş durum yapı periyotları

$T_x = 0,2814sn.$	$T_y = 0,2285sn.$
-------------------	-------------------

7.3.1 Yapı Statik-İtme Analizi İçin Kullanılan Periyotlar

ATC40 Yapılarda statik-itme analizi yapılırken yapı elemanları eğilme rijitliklerinde azaltmalar yapılmasını tavsiye eder, ve bu rijitlikler çatlamış kesit rijitliği olarak ifade edilir. (Tablo7.7)

Tablo 7.7 : Eğilme rijitliği azaltma değerleri

Eleman	Eğilme Rijitliği
Kiriş, Öngermesiz	0,5 E I
Kiriş, Öngermeli	E I
Kolon, Basınç Etkisinde	0,7 E I
Kolon, Çekme Etkisinde	0,5 E I

Tablo7.7’de bulunan eğilme rijitliği azaltma katsayıları statik-itme analizi yapılırken kullanılmalıdır. Hatta bu değerler bazı çalışmalarda ve araştırmacılarca fazla görülmüş ve azaltma değerleri 0,15-0,25 mertebelerine çekilmiştir. Ancak bu çalışmada kolonlar, kirişler (tablasız) ve perdeler için 0,5EI değeri kullanılmıştır. Bu değerler kullanılarak bulunan periyot değerleri Tablo7.8 ve Tablo7.9’da belirtilmiştir.

Tablo 7.8 : Mevcut durum yapı periyotları (Rijitlik azaltmasından sonra)

$T_x = 0,5904\text{sn.}$	$T_y = 0,6389\text{sn.}$
--------------------------	--------------------------

Tablo 7.9 : Güçlendirilmiş durum yapı periyotları (Rijitlik azaltmasından sonra)

$T_x = 0,3803\text{sn.}$	$T_y = 0,3048\text{sn.}$
--------------------------	--------------------------

7.3.2 Yapıya Etkitilecek Yatay Yüklerin Hesabı (ABYYHY)

Yapıya etkitilecek yatay yükler ABYYHY’te belirtilen yöntemle bulunur, formülasyon aşağıdaki gibidir. Detaylar için ABYYHY’e bakılabilir. Burada taban kesme kuvveti bulunurken ve katlara dağıtılırken bölüm 7.3.1’deki rijitlik azaltmasından sonraki periyot değerleri kullanılmıştır.

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda , binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yük (taban kesme kuvveti), V_t , denklem (7.3) ile hesaplanır.

$$V_t = W \times A(T_1) \times / R (T_1) > 0.10 \times A_o \times I \times W \quad (7.3)$$

Burada;

V_t = Taban kesme kuvveti

W = Toplam yapı ağırlığı

$A(T_1)$ = Spektral ivme katsayısı, (7.4)

R = Taşıyıcı sistem davranış katsayısıdır.

Mevcut durum için $R=4$, Güçlendirilmiş durum için $R=5$ alınmıştır.

$$A(T_1) = A_o \times I \times S(T) \quad (7.4)$$

Burada;

A_o = Etkin yer ivme katsayısı

I = Yapı önem katsayısı

$S(T)$ = Spektrum katsayısıdır ve (7.4a), (7.4b), ve (7.4c)'den hesaplanır.

$$S(T) = 1 + 1.5T/T_A \quad , (0 \leq T \leq T_B) \quad (7.4a)$$

$$S(T) = 2.5 \quad , (T_A < T \leq T_B) \quad (7.4b)$$

$$S(T) = 2.5(T_B/T)^{0.8} \quad , (T > T_B) \quad (7.4c)$$

(7.3) ve (7.4) 'ten elde edilen kesme kuvveti (7.5) kullanılarak katlara dağıtılır.

$$V_t = \Delta F_N + \sum F_i \quad (7.5)$$

ΔF_N değeri $H_N \leq 25m$. Olan yapılar için 0 alınır.

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) (w_i \times H_i) / \sum (w_j \times H_j) \quad (7.6)$$

Burada ;

ΔF_N = Ek eşdeğer deprem yükü (= 0)

H_N = Toplam yapı yüksekliği (= 4x3 : 12m.)

F_i = i.kata etkiyen deprem yükü

w_i = i.kat ağırlığı

H_i = i.kat yüksekliği (= 3m.)

w_j = Toplam yapı ağırlığı

Tablo7.10 ve Tablo7.11'de katlara dağıtılan kat deprem yükleri belirtilmiştir.

Tablo 7.10 : Mevcut durum kat deprem yükleri

Kat No	X Yönü Kat Deprem Kuvvetleri (kN)	Y Yönü Kat Deprem Kuvvetleri (kN)
Zemin Kat	352,55	330,95
1.Normal Kat	705,10	662,91
2.Normal Kat	1057,65	992,87
3.Normal Kat	1092,55	1025,63
Toplam Taban Kesme Kuvveti =	$V_{tx} = 3207,85 \text{ kN}$	$V_{ty} = 3012,36 \text{ kN}$

Tablo 7.11 : Güçlendirilmiş durum kat deprem yükleri

Kat No	X Yönü Kat Deprem Kuvvetleri (kN)	Y Yönü Kat Deprem Kuvvetleri (kN)
Zemin Kat	470,77	470,77
1.Normal Kat	941,53	941,53
2.Normal Kat	1412,29	1412,29
3.Normal Kat	1538,60	1538,60
Toplam Taban Kesme Kuvveti =	$V_{tx} = 4363,19 \text{ kN}$	$V_{ty} = 4363,19 \text{ kN}$

7.4 SAP2000’de Statik-İtme Analizi

Bu çalışmada bahsi geçen yapı SAP2000 Ver7.44 Programında yapı modeli oluşturulduktan sonra bölüm 6’ da belirtilen işlem sıralamasına göre aynı program yardımıyla analiz edilmiştir. Kolonlar için PMM kirişler için M3 mafsalları atanır. Burada bahsi geçen PMM kolonlar için Akma yüzeyi ve moment-eğrilik ilişkileri M3 ise kirişler için moment eğrilik ilişkilerini içerir. Bu çalışmada SAP2000 Ver.7.44 Programında default değerler kullanılmıştır. Bu özellikler tanımlandıktan sonra düşey yükler için G+Q, X ve Y yönleri için Statik-İtme kuvvetleri tanımlanmıştır. Tablo 7.3, 7.4, 7.10 ve 7.11 Kullanılarak yapılan modal analiz neticesinde yapının mod şeklinin düzgün olduğu ve bölüm 4.3.2’deki şartları sağlamasından dolayı ve P-Δ etkisi de göz önüne alınacak şekilde her iki durum için her iki yönde programa yapının mod şekline uygun analiz yaptırılmıştır. Mevcut ve

güçlendirilmiş durumlara ait kapasite eğrileri , performans noktalarının gösterimleri , C-C ve 4-4 akslarına ait örnek mafsallı oluşum şekilleri Ek-B’de Excell ve SAP2000 Program çıktısı olarak ayrıca belirtilmiştir.

7.5 Statik-İtme Analizi Sonuçları

Yapılan statik-itme analizinde incelenen yapı bir okuldur. Performans seviyesi olarak en az can güvenliği performans seviyesi hedeflenmiştir. Yapı servis depremi ve tasarım depremi olmak üzere iki durumda incelenmiştir. Kullanılan %5 Sönümlü elastik spektrumu oluşturan C_A ve C_V Katsayıları Tablo 7.12 ‘ de görülebilir.

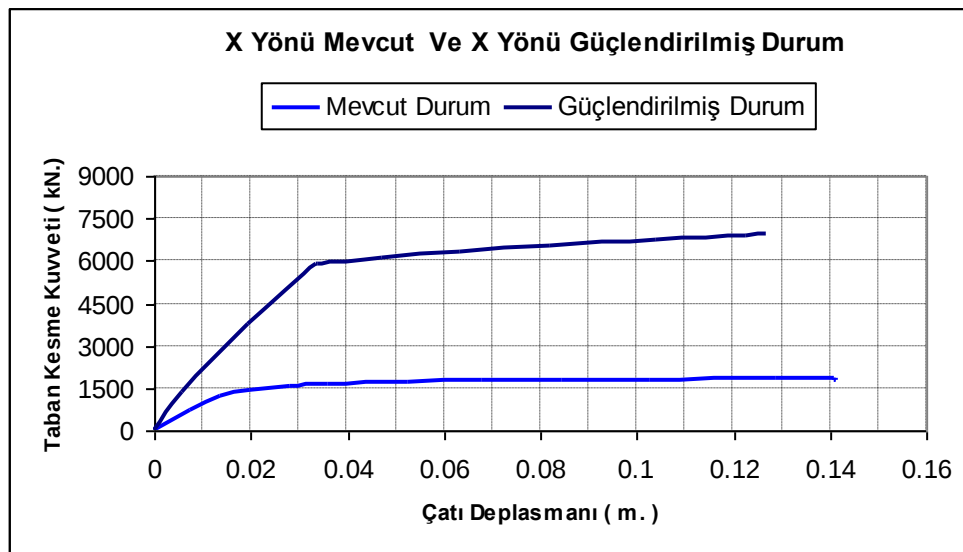
Bu katsayılar Tablo 3.4 ve Tablo 3.5 yardımıyla bulunmuştur.

Tablo 7.12 : Analizde kullanılan C_A ve C_V Katsayıları

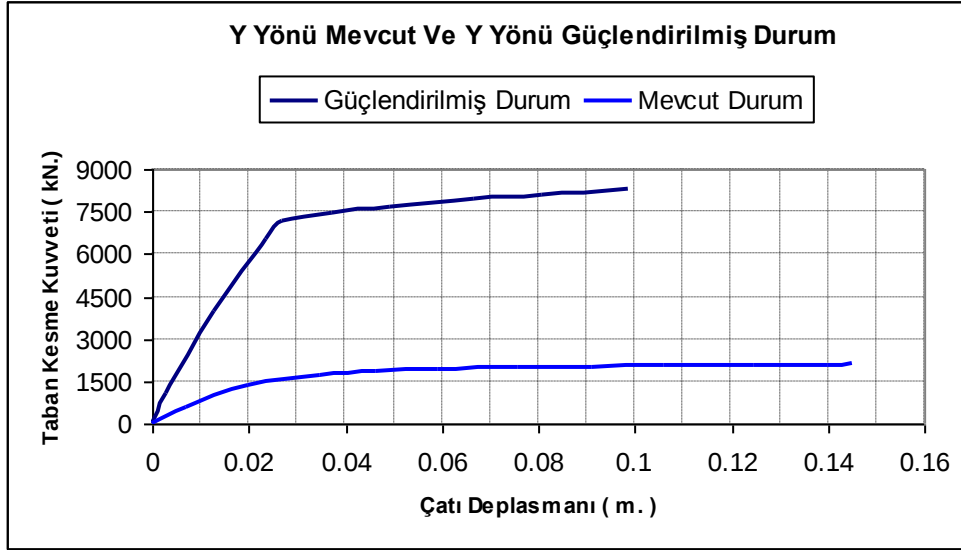
	Servis Depremi	Tasarım Depremi
C_A	0,28	0,44
C_V	0,40	0,64

7.5.1 Kapasite Eğrileri Değerlendirmesi

Yapılan Analiz neticesinde yapının kapasite eğrileri aşağıdaki grafiklerde olduğu gibi bulunmuştur bu grafikler karşılaştırmanın kolaylığı nedeniyle aynı grafikte gösterilmiştir. Her iki yön için ve her iki durum için (mevcut ve güçlendirilmiş durum) grafiklerin ayrı ayrı gösterimi Ek-B’dedir.



Şekil 7.1 : X Yönü için mevcut ve güçlendirilmiş durum kapasiteleri



Şekil 7.2 : Y Yönü için mevcut ve güçlendirilmiş durum kapasiteleri

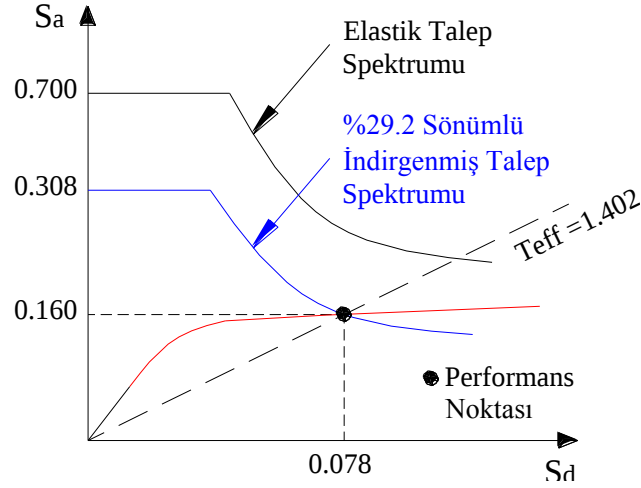
Şekil 7.1 ve şekil 7.2 ‘den de açıkça görüldüğü üzere yapı her iki yönde de yapılan güçlendirme uygulamasıyla birlikte ilk duruma göre daha rijit bir hale getirilmiştir. Mimari nedenler ve mevcut durumdaki statik yetersizlikler nedeniyle bu durum gereklidir. Mevcut durumda, bölüm 7.5.2.1’de de belirtileceği gibi servis depremi göz önüne alındığında x yönünde performans noktasında 1786.654 kN olan kesme kuvvetinin 5939.298 kN’a, y yönünde performans noktasında 1999.213 kN olan kesme kuvvetinin 6620,597 kN’a çıkması bu nedenledir. Yapı kesme kuvvetleri açısından her iki yönde yaklaşık 3.25 kat daha rijit hale gelmiştir.

7.5.2 Performans Noktalarındaki Analiz Sonuçları

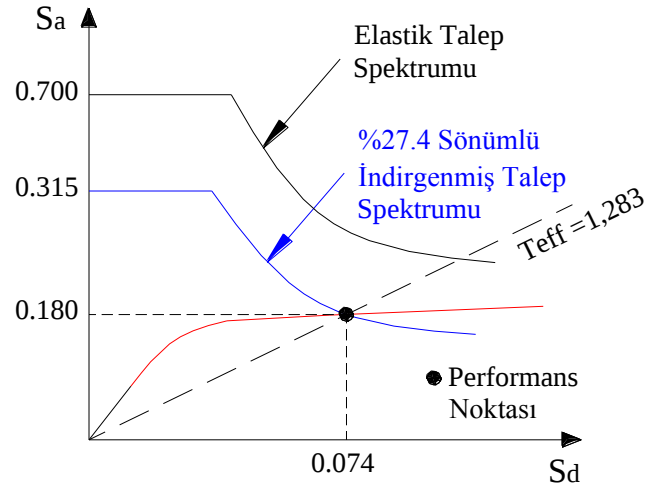
Mevcut ve güçlendirilmiş yapı 7.12’de belirtilen değerler kullanılarak servis ve tasarım depremi olmak üzere iki şekilde tahkik edilmiştir. Mevcut yapı tasarım depreminde herhangi bir performans seviyesi yakalayamamıştır. Güçlendirilen yapı ise hem servis hem tasarım depremi için performans noktası yakalamış ve başarılı sonuçlar alınmıştır. Sonuçlar bölüm 7.5.2.1 ve bölüm 7.5.2.2 ‘de irdelenecektir.

7.5.2.1 Servis Depremi İçin Analiz Sonuçları

Servis depreminin sonuçları için her iki yönde de performans noktası incelenir. (Şekil 7.3 ve Şekil 7.4)



Şekil 7.3 : Servis depremi için mevcut yapı x yönü performans noktası



Şekil 7.4 : Servis depremi için mevcut yapı y yönü performans noktası

Yukarıdaki şekiller ve Şekil 7.3, 7.4, 7.5, 7.6, 7.7, 7.8, 7.9 SAP2000 sonuçlarına göre daha yalın hale getirilmiştir. Sap2000 Program sonuç grafikleri için Ek-B 'ye bakınız. Tablo 7.13 incelendiğinde mevcut yapının servis depremi için performans noktasındaki değerleri görülmektedir.

Tablo 7.13 : Servis depremi, mevcut yapı x ve y yönü performans noktası değerleri

	Vt (kN.)	Sa	Sd (m.)	Teff	Beff	SRA	SRV
X Yönü	1786.65	0.160	0.078	1.402	0.292	0.44	0.56
Y Yönü	1999.21	0.180	0.074	1.283	0.274	0.45	0.57

	Oluşan Mafsallar					Vt / W
	B-IO	IO-LS	LS-CP	Toplam	(LS-CP) / Toplam	
X Yönü	65	48	79	192	% 41	0.14
Y Yönü	76	74	36	156	% 23	0.16

Burada;

W =Yapı ağırlığı

Vt =Performans noktasındaki taban kesme kuvveti,

Sa =Performans noktasındaki Spektral ivme,

Sd =Performans noktasındaki Spektral deplasman,

Teff =Performans noktasındaki periyot değeri,

Beff =Performans noktasındaki sönüm oranı,

SRA =Performans noktasındaki Beff' e bağlı Spektral indirgeme katsayısı,

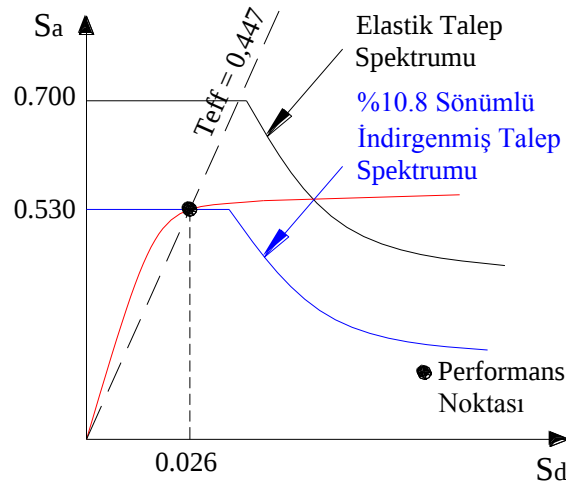
SRV =Performans noktasındaki Beff' e bağlı Spektral indirgeme katsayısı,

B-IO =Hemen kullanım seviyesi mafsalsayısı,

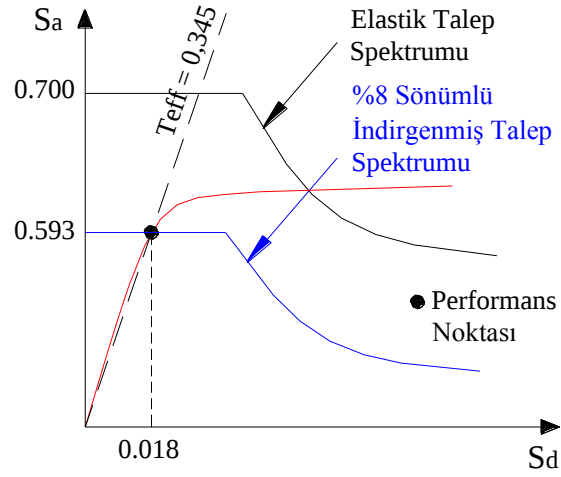
IO-LS =Hasar kontrol aralığı mafsalsayısı,

LS-CP =Sınırlı güvenlik aralığı mafsalsayıdır.

* Mevcut yapı servis depremi için yapılan analiz neticesinde x yönünde sınırlı güvenlik aralığına tekabül eden LS-CP mafsals oranı % 41, y yönünde ise % 23 oranındadır. Ancak bu oranlar yapı için hedeflenen en az can güvenliği performans seviyesini sağlamamaktadır (bölüm 2.2.1). Ayrıca ABYYHY' den hesaplanan taban kesme kuvveti ile (Tablo7.10) yapının performans noktasındaki taban kesme kuvveti arasında bir oran yapılırsa mevcut yapı gereken kesme kuvvetini x yönü için 0.56 oranında (1786.65 / 3207.85), y yönü için 0.66 oranında (1999.21 / 3012.36) karşılayabilmektedir.



Şekil 7.5 : Servis depremi için güçlendirilmiş yapı x yönü performans noktası



Şekil 7.6 : Servis depremi için güçlendirilmiş yapı y yönü performans noktası

Tablo 7.14 : Servis depremi, güçlendirilmiş yapı x ve y yönü performans noktası değerleri

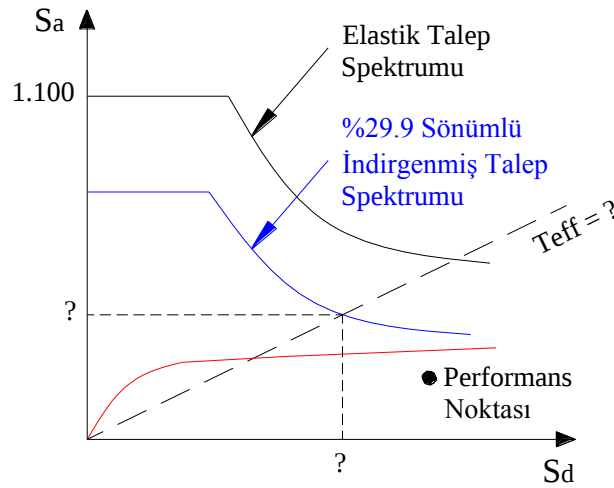
	V (kN.)	Sa	Sd (m.)	T _{eff}	B _{eff}	SRA	SRV
X Yönü	5939.29	0.530	0.026	0.447	0.108	0.75	0.81
Y Yönü	6620.59	0.593	0.018	0.345	0.080	0.83	0.87

	Oluşan Mafsallar					V _t / W
	B-IO	IO-LS	LS-CP	Toplam	(LS-CP) / Toplam	
X Yönü	81	8	0	89	% 0.0	0.38
Y Yönü	127	10	0	137	% 0.0	0.40

* Güçlendirilmiş yapı servis depremi için yapılan analiz neticesinde x yönünde sınırlı güvenlik aralığına tekabül eden LS-CP mafsalsı oranı % 0.0, y yönünde ise yine % 0.0 oranındadır. Bu oranlara bakıldığında yapı için hedeflenen en az can güvenliği performans seviyesi sağlanmıştır. Ayrıca ABYYHY' den hesaplanan taban kesme kuvveti ile (Tablo7.11) yapının performans noktasındaki taban kesme kuvveti arasında bir oran yapılırsa güçlendirilmiş yapı gereken kesme kuvvetini x yönü için 1.36 oranında ($5939.29 / 4363.19$), y yönü için 1.52 oranında ($6620.59 / 4363.19$) karşılamaktadır.

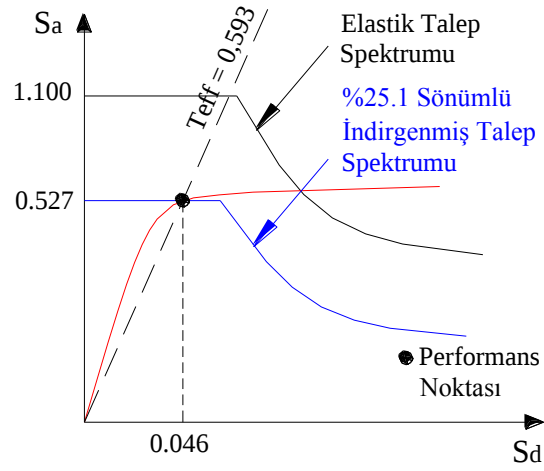
7.5.2.2 Tasarım Depremi İçin Analiz Sonuçları

Tasarım depreminin sonuçları için her iki yönde de performans noktası incelenir. (Şekil 7.7, Şekil 7.8, Şekil 7.9)

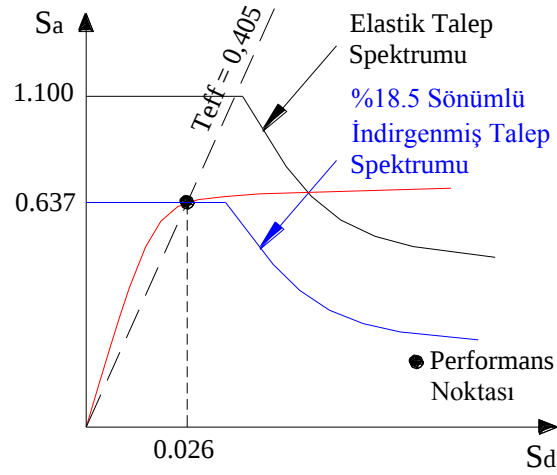


Şekil 7.7 : Tasarım depremi için mevcut yapı x ve y yönü performans noktası

* Mevcut yapı tasarım depremi için performans noktası yakalayamamıştır. İzin verilen minimum sönüm oranları yetersiz kalmıştır (B tipi yapı için %29.9). Bu deprem için yapı yeterli rijitliğe sahip değildir. Her ne kadar mevcut durum için statik-itme analizinde yapı baştan tasarlanmıyor, tasarlanmış yapı kontrol ediliyor olsa da çağdaş yönetmelikler ve ABYYHY, en az tasarım depremi çerçevesinde can güvenliği şartlarının sağlanmasını isterler. Bu duruma tez çalışmasının giriş kısmında ve bölüm 3.2'de değinilmiş, ABYYHY kısım üçteki 50 yıllık bir süre içinde aşılma olasılığı %10 olan deprem şartından yani tasarım depreminden söz edilmişti.



Şekil 7.8 : Tasarım depremi için güçlendirilmiş yapı x yönü performans noktası



Şekil 7.9 : Tasarım depremi için güçlendirilmiş yapı y yönü performans noktası

Tablo 7.15 : Tasarım depremi, güçlendirilmiş yapı x ve y yönü performans noktası değerleri

	V (kN.)	Sa	Sd (m.)	T _{eff}	B _{eff}	SRA	SRV
X Yönü	6329.14	0.527	0.046	0.593	0.251	0.48	0.60
Y Yönü	7413.18	0.637	0.026	0.405	0.185	0.59	0.68

	Oluşan Mafsallar					V _t / W
	B-IO	IO-LS	LS-CP	Toplam	(LS-CP) / Toplam	
X Yönü	95	35	4	134	% 0.3	0.40
Y Yönü	146	20	0	166	% 0.0	0.47

* Güçlendirilmiş yapı tasarım depremi için yapılan analiz neticesinde x yönünde sınırlı güvenlik aralığına tekabül eden LS-CP mafsalları oranı % 0.3, y yönünde ise yine % 0.0 oranındadır. Bu oranlara bakıldığında yapı için hedeflenen en az can güvenliği performans seviyesi sağlanmıştır. Ayrıca ABYYHY' den hesaplanan taban kesme kuvveti ile (Tablo7.11) yapının performans noktasındaki taban kesme kuvveti arasında bir oran yapılırsa güçlendirilmiş yapı performans noktası için gereken kesme kuvvetini x yönü için 1.45 oranında ($6329.14 / 4363.19$), y yönü için 1.69 oranında ($7413.18 / 4363.19$) karşılamaktadır.

Genel olarak bakıldığında güçlendirilmiş yapı statik itme analizi sonucunda hem servis hem tasarım depremi için öngörülen performans seviyesi olan can güvenliği performans seviyesini sağlamıştır.

KAYNAKLAR

- ABYYHY**, 1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
Bayındırlık Ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- ATC40**, 1996. Seismic Evaluation And Retrofit Of Concrete Buildings.
Applied Technology Council, California.
- Celeb, Z. ve Kumbasar, N.**, 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme
Dayanıklı Yapı Tasarımı. *Beta Dağıtım, İstanbul.*
- Celeb, Z.**, 2005. Performans Kavramına Dayalı Tasarım ve Güçlendirme.
İ.T.Ü Mustafa İnan Tatbiki Mekanik Seminerleri, İstanbul
- Computers And Structures Inc.**, 1999. SAP2000 Detailed Tutorial Including
Pushover Analysis. Berkeley, California
- FEMA-356**, 2000. Prestandard And Commentary For the Seismic Rehabilitation
Of Buildings. *Federal Emergency Management Agency, Washington.*
- Korkmaz, A., Sarı, A., Akbaş, B.**, 2003. An Evaluation Of Pushover Analysis For
Various Load Distributions. *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği
Konferansı, İstanbul.*
- Naeim, F.**, 2003. Pushover Analysis Presentations.
J. A. Martin & Associates Inc., California.
- Polat, Z., Kırçıl, M. ve Hancıoğlu, B.**, 2003. Mevcut Betonarme Binaların Deprem
Güvenliklerinin İncelenmesi ve Performans Yaklaşımı Semineri.
Y.T.Ü. İnşaat Fakültesi-İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul
- Polat, Z., Kırçıl, M. ve Hancıoğlu, B.**, 2004. Mevcut Betonarme Binaların Deprem
Güvenliklerinin Belirlenmesinde Performans Yaklaşımı. *TMMOB
İnşaat Mühendisleri Odası Yapı Tasarım Kursu Notları, İstanbul*
- Pyle, S. Ve A.Habibullah.**, 1998., Practical Three Dimensional Nonlinear Static
Pushover Analysis. *Structure Magazine*
- Tezcan, S.**, 2003. Aseismic Design of Structures (Pushover Analysis).
B.Ü. Ders Notları, İstanbul

Standartlar

TS-500, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım Ve Yapım Kuralları
Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS-498, 1987. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri. *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.*

Şekil A1 - Mevcut durum zemin kat mimari planı

Şekil A2- Mevcut durum 1.-2.-3.Normal kat mimari planı

Şekil A3 – Mevcut durum zemin ve 1.-2.-3. Normal kat kalıp planı

Şekil A4 - Mevcut durum zemin ve 1.-2.-3. Normal kat kolon aplikasyon planı

Şekil A5 - Güçlendirilmiş durum zemin ve 1.-2.-3. Normal kat kalıp planı

Şekil A6 – Güçlendirilmiş durum perde ve manto detayı

Tablo A1 : Mevcut durum Kiriş donatı listesi

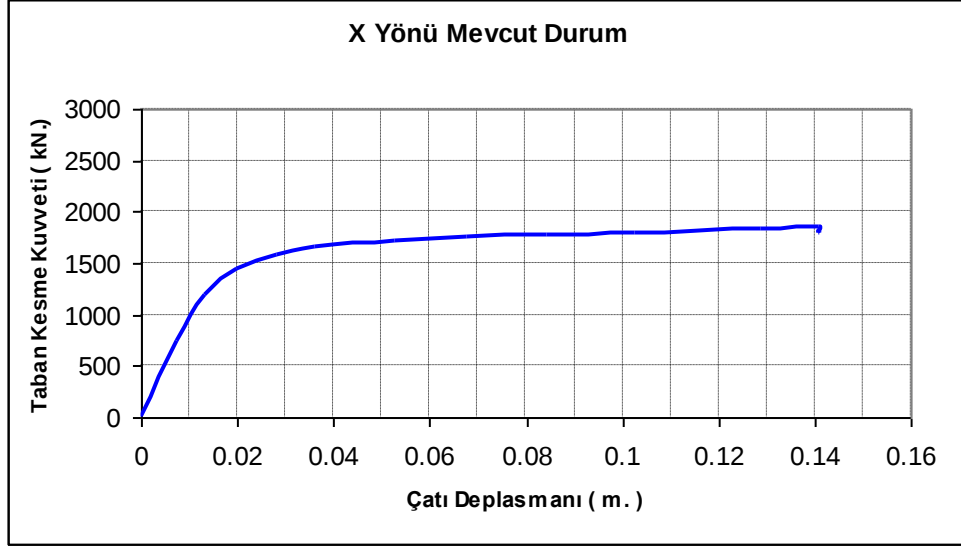
Kiriş	Ebat (cm.)		L (cm.)	Sol Uç Kesit		Orta Kesit		Sağ Uç Kesit		Donatı Listesi
	b	h		Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	
K 101	25	60	350	3	2	2	3	4	4	2f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 2f16 (düz) + 1f16 (pil.)
K 201										
K 301										
K 401										
K 102	25	60	350	4	4	2	3	4	4	2f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 2f16 (düz) + 1f16 (pil.)
K 202										
K 302										
K 402										
K 103	25	60	350	4	4	2	3	4	4	2f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 2f16 (düz) + 1f16 (pil.)
K 203										
K 303										
K 403										
K 104	25	60	350	4	4	2	3	4	4	2f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 2f16 (düz) + 1f16 (pil.)
K 204										
K 304										
K 404										
K 105	25	60	350	4	4	2	3	4	4	2f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 2f16 (düz) + 1f16 (pil.)
K 205										
K 305										
K 405										
K 106	25	60	350	4	4	2	3	3	2	2f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 2f16 (düz) + 1f16 (pil.)
K 206										
K 306										
K 406										
K 107	25	60	350	3	2	2	3	4	4	2f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 2f16 (düz) + 1f16 (pil.)
K 207										
K 307										
K 407										
K 108	25	60	350	4	4	2	3	3	2	2f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 2f16 (düz) + 1f16 (pil.)
K 208										
K 308										
K 408										
K 109	25	60	350	3	2	2	3	4	4	2f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 2f16 (düz) + 1f16 (pil.)
K 209										
K 309										
K 409										
K 110	25	60	350	4	4	2	3	3	2	2f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 2f16 (düz) + 1f16 (pil.)
K 210										
K 310										
K 410										
K 111	25	60	350	3	2	2	3	3	2	2f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 2f16 (düz) + 1f16 (pil.)
K 211										
K 311										
K 411										

Kiriş	Ebat (cm.)		L (cm.	Sol Uç Kesit		Orta Kesit		Sağ Uç Kesit		Donatı Listesi
	b	h		Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	
K 112 K 212 K 312 K 412	25	60	350	4	4	2	3	3	2	2f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 2f16 (düz) + 1f16 (pil.)
K 113 K 213 K 313 K 413	25	60	350	3	2	2	3	4	4	2f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 2f16 (düz) + 1f16 (pil.)
K 114 K 214 K 314 K 414	25	60	350	4	4	2	3	3	2	2f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 2f16 (düz) + 1f16 (pil.)
K 115 K 215 K 315 K 415	25	60	350	4	4	2	3	3	2	2f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 2f16 (düz) + 1f16 (pil.)
K 116 K 216 K 316 K 416	25	60	350	4	4	2	3	4	4	2f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 2f16 (düz) + 1f16 (pil.)
K 117 K 217 K 317 K 417	25	60	350	4	4	2	3	4	4	2f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 2f16 (düz) + 1f16 (pil.)
K 118 K 218 K 318 K 418	25	60	350	4	4	2	3	4	4	2f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 2f16 (düz) + 1f16 (pil.)
K 119 K 219 K 319 K 419	25	60	350	4	4	2	3	4	4	2f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 2f16 (düz) + 1f16 (pil.)
K 120 K 220 K 320 K 420	25	60	350	4	4	2	3	3	2	2f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 2f16 (düz) + 1f16 (pil.)
K 121 K 221 K 321 K 421	25	60	650	6	3	3	6	9	6	3f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 3f16 (düz) + 3f16 (pil.)
K 122 K 222 K 322 K 422	25	60	650	9	6	3	6	6	3	3f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 3f16 (düz) + 3f16 (pil.)

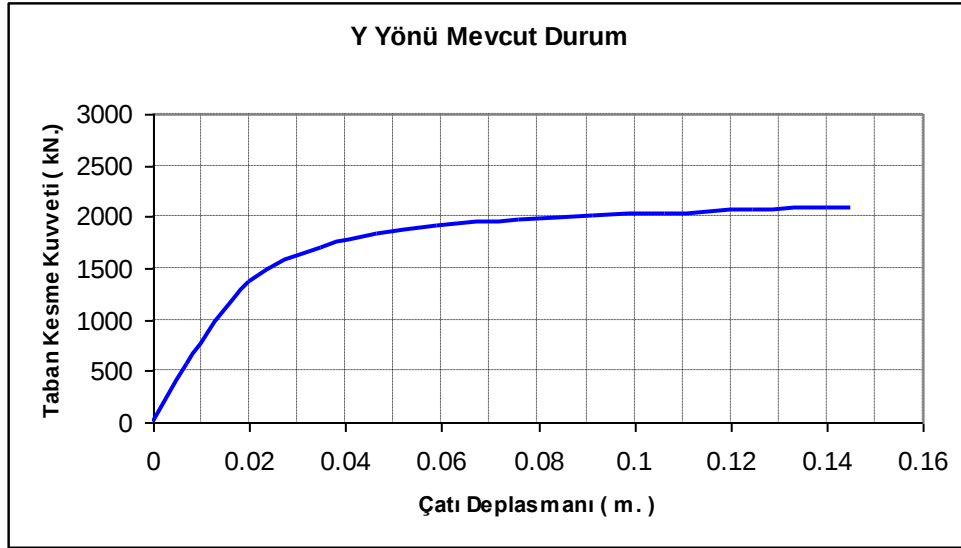
Kiriş	Ebat (cm.)		L (cm.	Sol Uç Kesit		Orta Kesit		Sağ Uç Kesit		Donatı Listesi
	b	h		Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	
K 123	25	60	650	6	3	3	6	9	6	3f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 3f16 (düz) + 3f16 (pil.)
K 223										
K 323										
K 423										
K 124	25	60	650	9	6	3	6	6	3	3f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 3f16 (düz) + 3f16 (pil.)
K 224										
K 324										
K 424										
K 125	25	60	400	3	2	2	3	4	4	2f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 2f16 (düz) + 1f16 (pil.)
K 225										
K 325										
K 425										
K 126	25	60	250	4	4	2	3	4	4	2f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 2f16 (düz) + 1f16 (pil.)
K 226										
K 326										
K 426										
K 127	25	60	250	4	4	2	3	4	4	2f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 2f16 (düz) + 1f16 (pil.)
K 227										
K 327										
K 427										
K 128	25	60	400	4	4	2	3	3	2	2f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 2f16 (düz) + 1f16 (pil.)
K 228										
K 328										
K 428										
K 129	25	60	400	3	2	2	3	6	5	2f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 2f16 (düz) + 1f16 (pil.)
K 229										
K 329										
K 429										
K 130	25	60	500	6	5	3	3	6	5	2f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 3f16 (düz) + 3f16 (pil.)
K 230										
K 330										
K 430										
K 131	25	60	400	6	5	2	3	3	2	2f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 2f16 (düz) + 1f16 (pil.)
K 231										
K 331										
K 431										
K 132	25	60	400	3	2	2	3	4	4	2f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 2f16 (düz) + 1f16 (pil.)
K 232										
K 332										
K 432										
K 133	25	60	250	4	4	2	3	4	4	2f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 2f16 (düz) + 1f16 (pil.)
K 233										
K 333										
K 433										

Kiriş	Ebat (cm.)		L (cm.	Sol Uç Kesit		Orta Kesit		Sağ Uç Kesit		Donatı Listesi
	b	h		Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	
K 134 K 234 K 334 K 434	25	60	250	4	4	2	3	4	4	2f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 2f16 (düz) + 1f16 (pil.)
K 135 K 235 K 335 K 435	25	60	400	4	4	2	3	3	2	2f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 2f16 (düz) + 1f16 (pil.)
K 136 K 236 K 336 K 436	25	60	650	6	3	3	6	9	6	3f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 3f16 (düz) + 3f16 (pil.)
K 138 K 238 K 338 K 438	25	60	650	6	3	3	6	9	6	3f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 3f16 (düz) + 3f16 (pil.)
K 139 K 239 K 339 K 439	25	60	650	9	6	3	6	6	3	3f16 (mon.) + 2f16 (göv.) 3f16 (düz) + 3f16 (pil.)

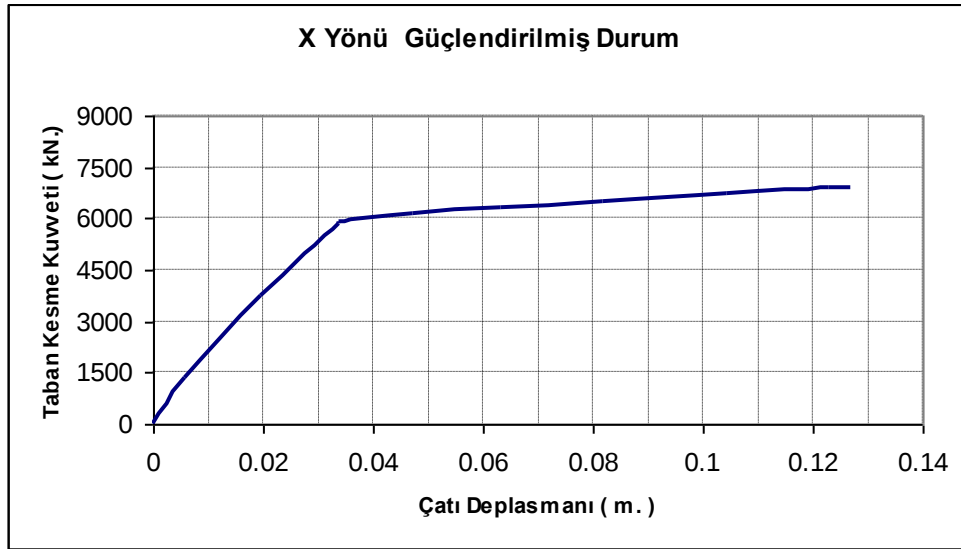
Ek-B



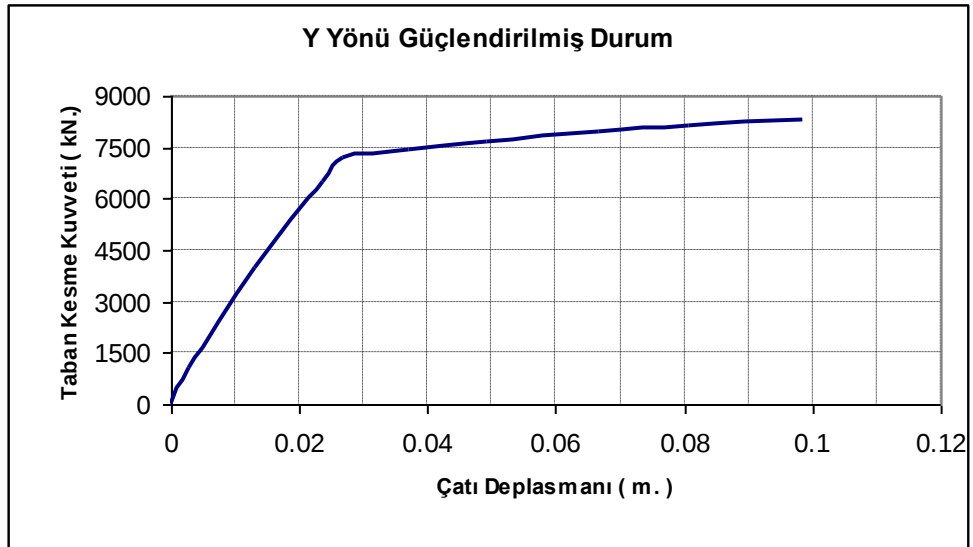
Şekil B1 : X Yönü mevcut durum yapı kapasite eğrisi



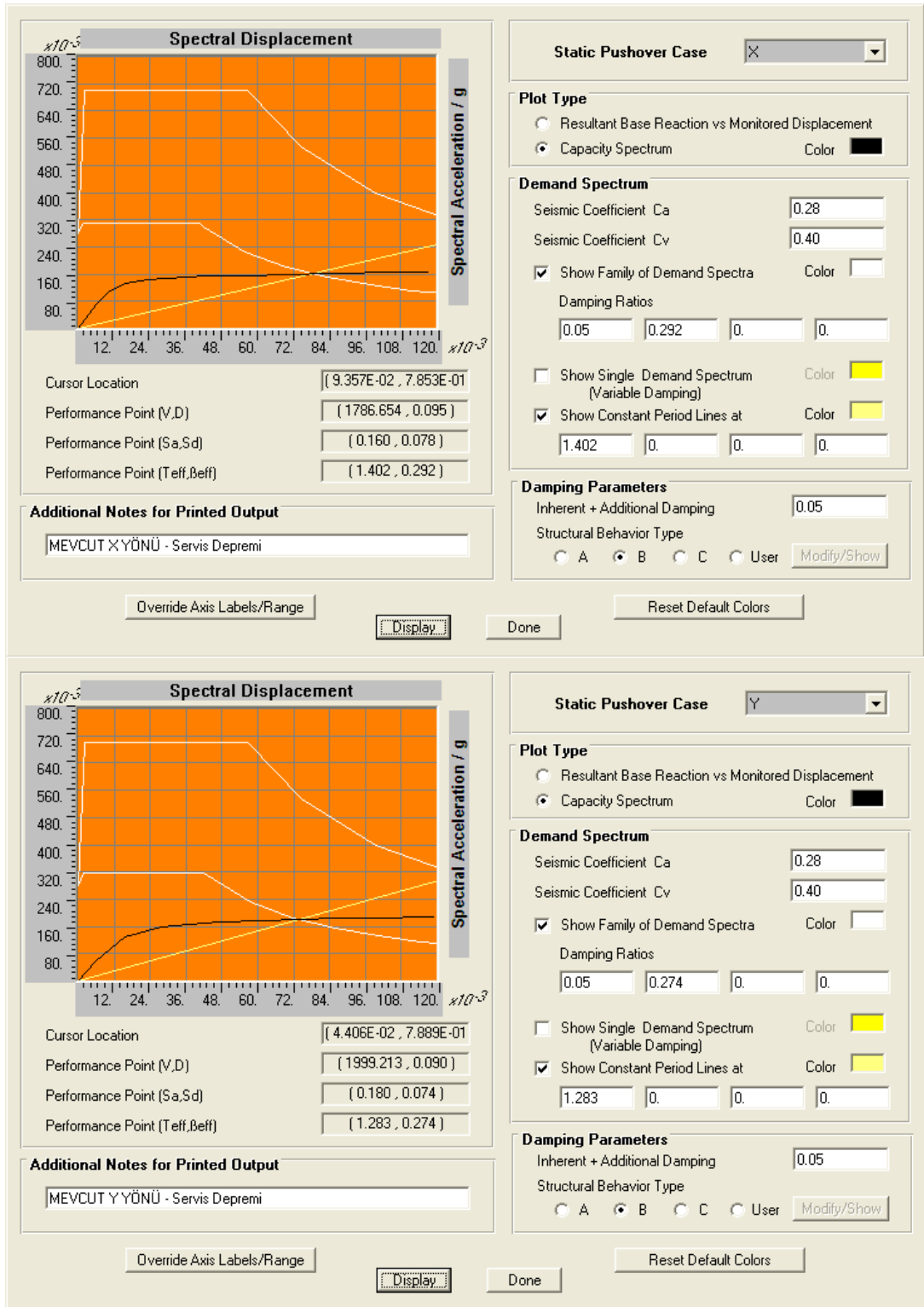
Şekil B2 : Y Yönü mevcut durum yapı kapasite eğrisi



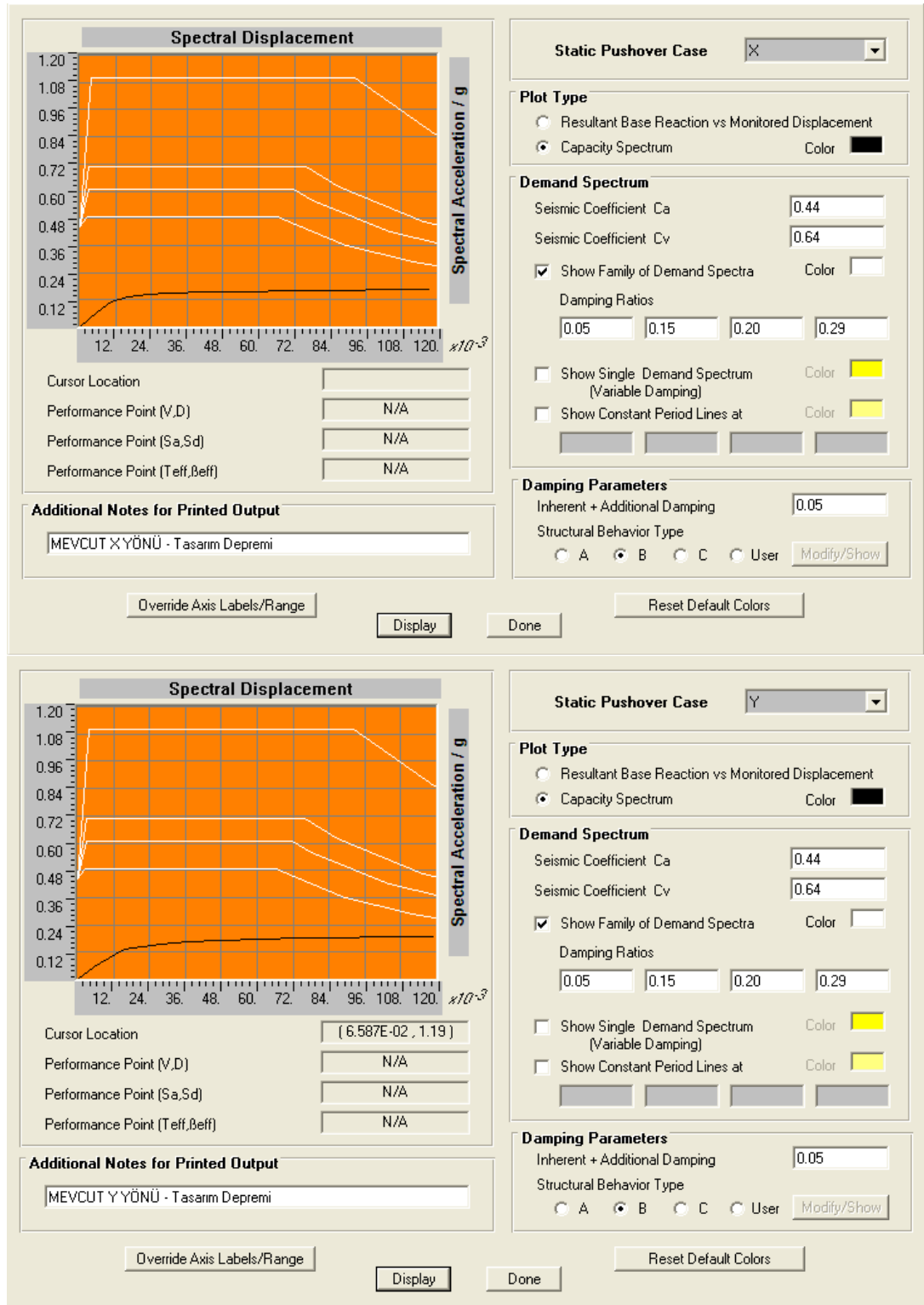
Şekil B3 : X Yönü güçlendirilmiş durum yapı kapasite eğrisi



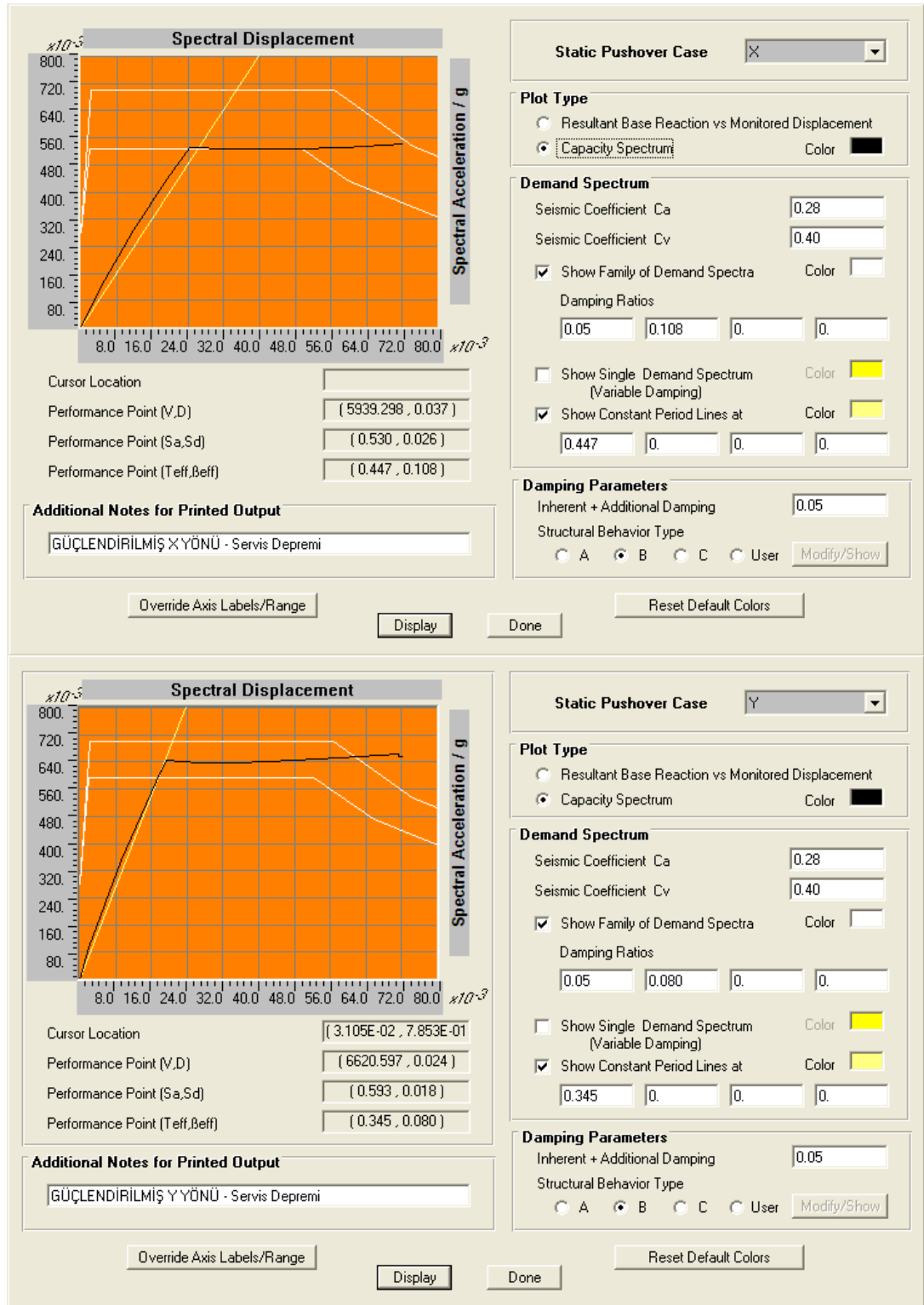
Şekil B4 : Y Yönü güçlendirilmiş durum yapı kapasite eğrisi



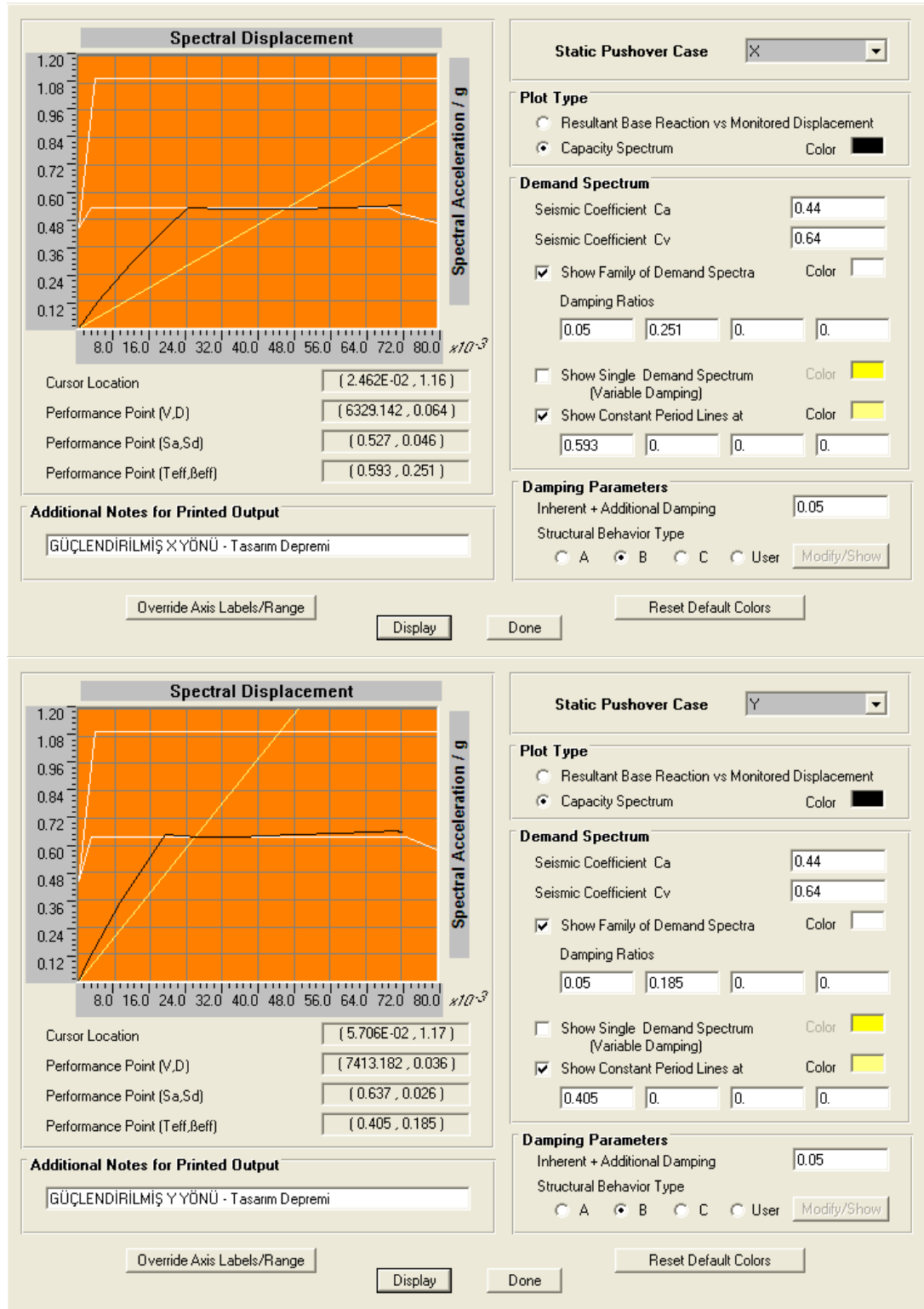
Şekil B5 : Servis depremi için mevcut yapı X ve Y Yönü performans noktası, SAP2000 Program çıktısı.



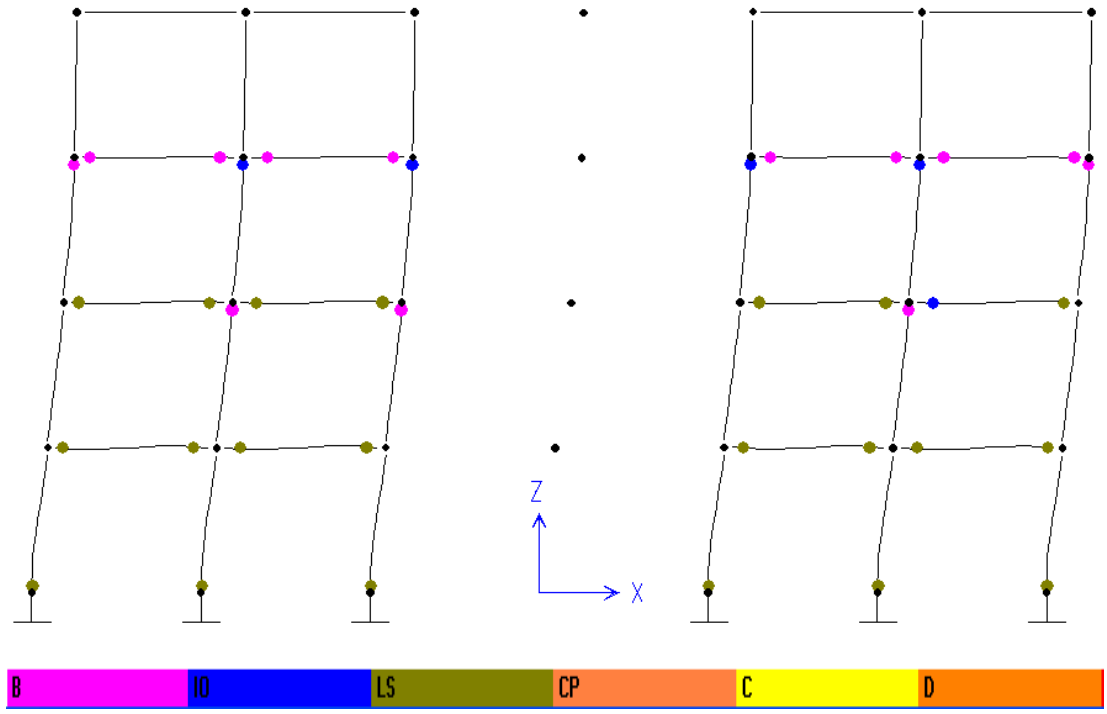
Şekil B6: Tasarım depremi için mevcut yapı X ve Y Yönü performans noktası, SAP2000 Program çıktısı.



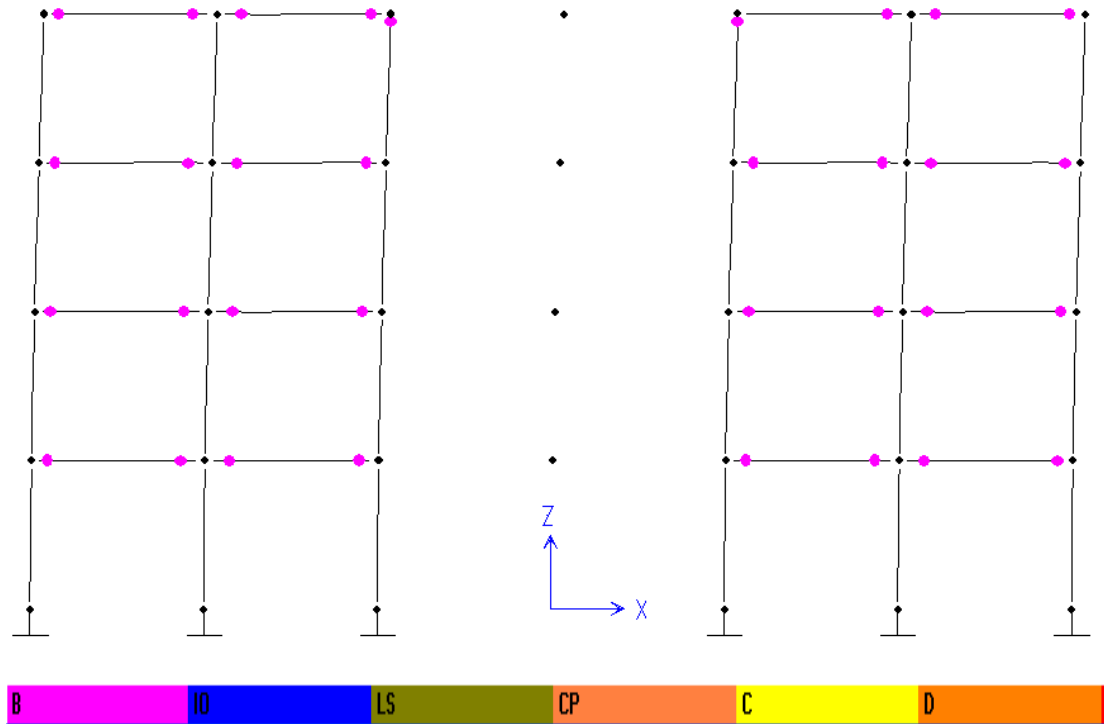
Şekil B7 : Servis depremi için güçlendirilmiş yapı X ve Y Yönü performans noktası, SAP2000 Program çıktısı.



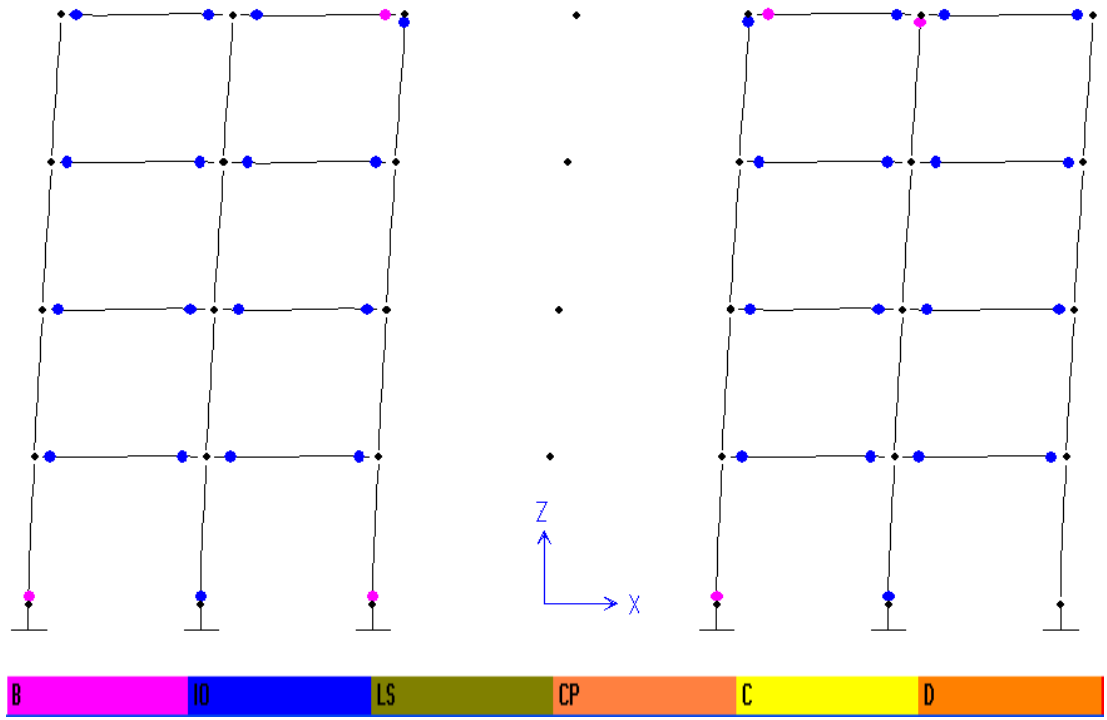
Şekil B8 : Tasarım depremi için güçlendirilmiş yapı X ve Y Yönü performans noktası, SAP2000 Program çıktısı.



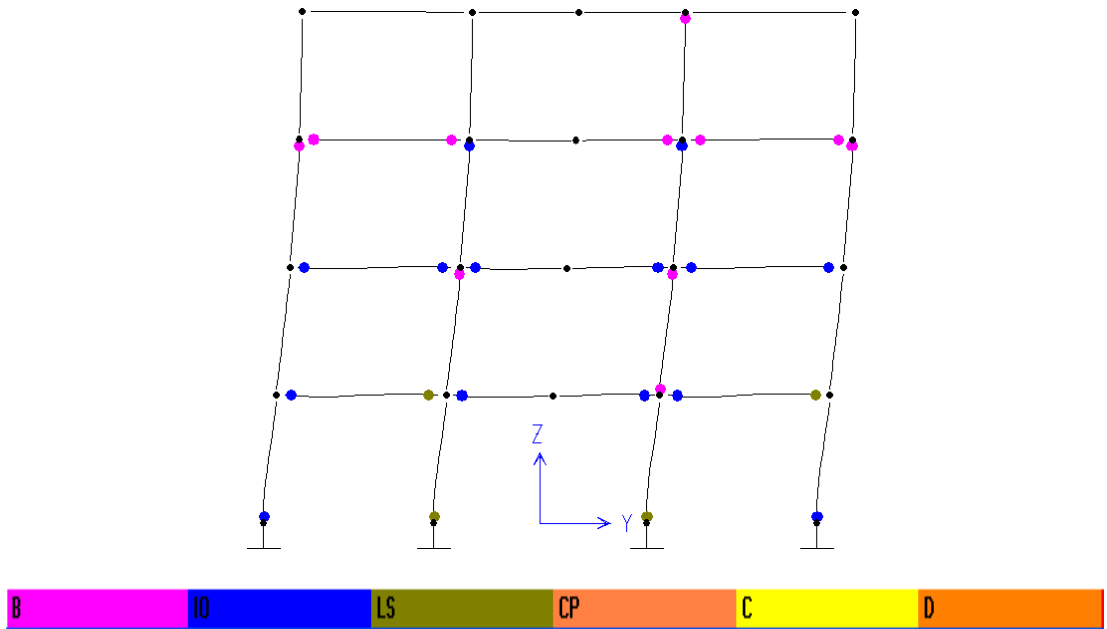
Şekil B9 : C-C Aksı (X Yönü) mevcut durum servis depremi p.s.



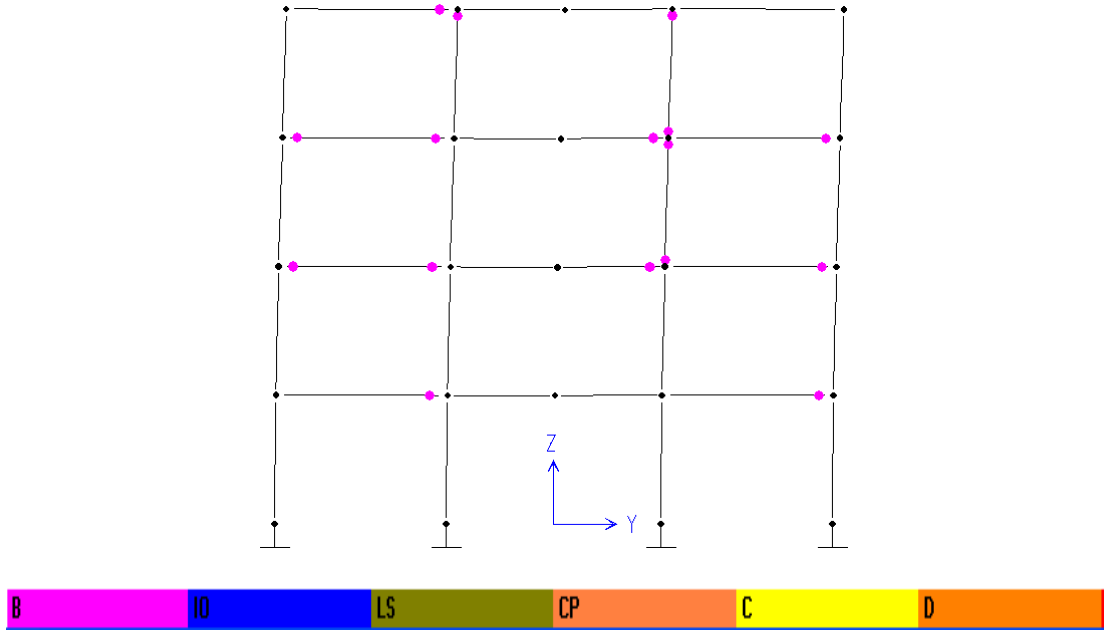
Şekil B10 : C-C Aksı (X Yönü) güçlendirilmiş durum servis depremi p.s.



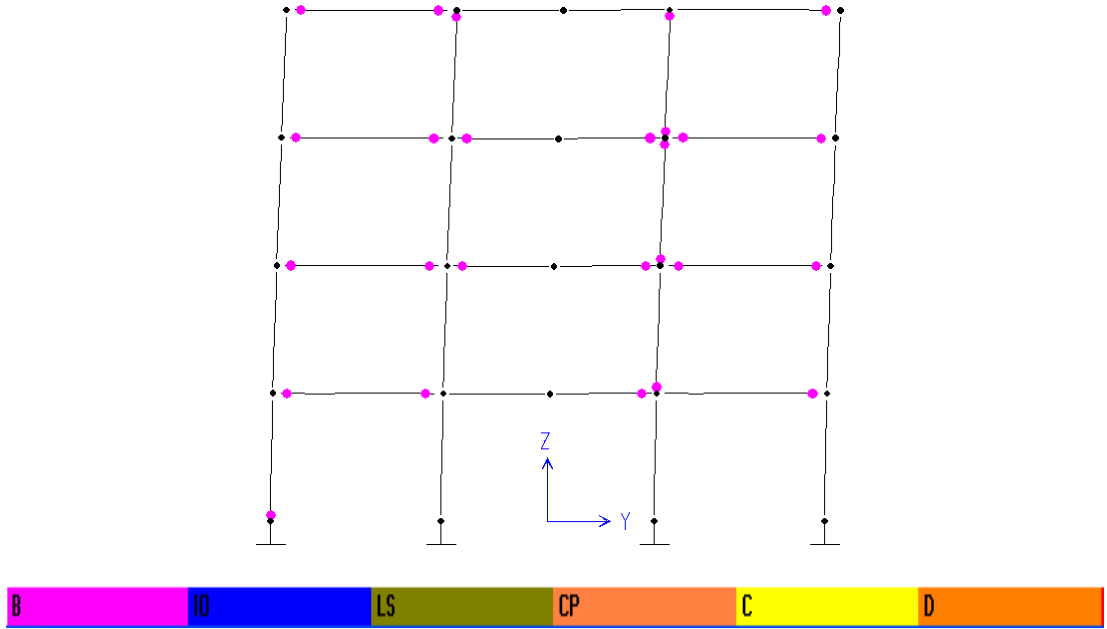
Şekil B11 : C-C Aksı (X Yönü) güçlendirilmiş durum tasarım depremi p.s.



Şekil B12 : 4-4 Aksı (Y Yönü) mevcut durum servis depremi p.s.



Şekil B13 : 4-4 Aksı (Y Yönü) güçlendirilmiş durum servis depremi p.s.



Şekil B14 : 4-4 Aksı (Y Yönü) güçlendirilmiş durum tasarım depremi p.s.

ÖZGEÇMİŞ

Değer Erkek, 1981 tarihinde İstanbul’da doğdu. İlk ve orta öğretimini İstanbul’da tamamladı. Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünü 2003 yılında tamamladıktan sonra yine 2003 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü inşaat mühendisliği bölümünde yüksek lisans yapmaya hak kazandı.