

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PERFORMANSA DAYALI TASARIM İLKELERİ İLE BETONARME
ÇERÇEVE YAPILAR İÇİN PRATİK HASAR TAHMİN YÖNTEMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Doruk BUĞDAY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

OCAK 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PERFORMANSA DAYALI TASARIM İLKELERİ İLE BETONARME
ÇERÇEVE YAPILAR İÇİN PRATİK HASAR TAHMİN YÖNTEMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Doruk BUĞDAY
(501111079)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Abdullah GEDİKLİ

OCAK 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501111079 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Doruk BUĞDAY**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**Performansa Dayalı Tasarım İlkeleri İle Betonarme Çerçeve Yapılar İçin Pratik Hasar Tahmin Yöntemi**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Abdullah GEDİKLİ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Alper İlki**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. A. Anıl Dindar
Kültür Üniversitesi

Teslim Tarihi : **16 Aralık 2013**
Savunma Tarihi : **27 Ocak 2014**

Daimi sonsuz destek ve sevgileri için, aileme,

ÖNSÖZ

Danışmanım Sayın Doç. Dr. Abdullah GEDİKLİ'ye, yüksek lisans tezimin hazırlanmasında bana verdiği bütün destek için minnet ve şükranlarımı sunarım.

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca üzerimde emeği geçen bütün hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin oluşturulma sürecinde göstermiş olduğu bütün ilgi ve yardımları için Araş.Gör.Dr. Murat YILMAZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Aileme, her zaman arkamda oldukları, her zaman destekledikleri için bütün sevgimi ve başarılarımı sunarım.

Aralık 2013

Doruk BUĞDAY

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Süneklik Kavramı.....	3
2. YAPI HASAR DURUMLARI.....	9
2.1 Yapısal Performans Seviyeleri	9
2.2 Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri	10
2.3 Yapı Performans Seviyeleri.....	11
2.4 Bina Performans Seviyeleri.....	17
3. STATİK İTME ANALİZİ (PUSHOVER).....	21
3.1 Giriş.....	21
3.2 Kapasite Spektrumunun Belirlenmesi	22
3.3 Talep Spektrumunun Belirlenmesi	25
3.4 Kapasite Spektrum Yöntemi İle Talebin Hesaplanması.....	25
3.5 Kapasite Spektrumunun Oluşturulması.....	26
3.6 Talep Spektrumunun Spektral Hale Getirilmesi	28
3.7 %5 Sönümlü Elastik Talep Spektrumu Çizimi	31
3.8 Etkin Sönüm Tahmini ve %5 Sönümlü Elastik Talep Spektrumunun İndirgenmesi.....	34
3.9 Kapasite Spektrumunun Kırıklı Hale Getirilmesi	37
3.10 Kapasite ve Talep Spektrumlarının Kesiştirilmesi	38
4. SAP 2000'DE STATİK İTME MODELLEMESİ.....	41
4.1 Bina Modellemesi	41
4.1.1 Malzeme tanımları	41
4.1.2 Kiriş tanımlaması	42
4.1.3 Kolon tanımlaması	43
4.1.4 Modelin oluşturulması	45
4.1.5 Yüklerin tanımlanması	45
4.1.6 Yükleme durumlarının tanımlanması.....	46
4.1.7 Kütle kaynağı tanımlama	47
4.1.8 Yüklerin uygulanması	48
4.1.9 Deprem yükünün uygulanması	48
4.1.10 Modelin çalıştırılması	50
4.2 İtme Analizi Modellemesi	50
5. UYGULAMA ESASLARI.....	59
6. YAKLAŞIK EFEKTİF PERİYOT HESABI (T_{reg})	67

	<u>Sayfa</u>
6.1 Hasar Spektrumu	69
6.2 Örnek Hasar Tahmini	70
6.3 Statik İtme Analizi Parametrelerinin Sonuca Etkisi	71
6.4 Değerlendirme ve Öneriler	76
KAYNAKLAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ.....	79

KISALTMALAR

İYTS	: İvme-Yer Değiştirme Tepki Spektrumu
ATC	: Applied Technology Council
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
ZEN	: Deprem Katsayısı
A	: Yapı Açıklık Sayısı
A_o	: Etkin Yer İvmesi Katsayısı
a_p	: Performans Noktası İvme Değeri
C_A	: Zemin Etkili Maksimum İvme Katsayısı
C_V	: Periyodu 1sn. Olan %5 sönümlü sistemin spektrum değeri
d_p	: Performans Noktası Yer Değiştirmesi
E	: Deprem Etki Türü Katsayısı
E_D	: Bir Çevrimde sönümle tüketilen enerji
E_{So}	: Maksimum Şekil Değiştirme Enerjisi
F	: Yanal Dış yük
g	: Yerçekimi ivmesi
K_b	: Başlangıç rijitliği
L	: Kiriş Uzunluğu
N	: Yapıdaki kat sayısı
N_A, N_V	: Deprem kaynağına olan mesafe katsayısı
PF₁	: Birinci doğal mod için modal katılma katsayısı
S_a	: Spektral İvme
S_{ai}	: Maksimum Spektral İvme
S_{api}	: Performans Noktasındaki Spektral İvme
S_{ay}	: Doğrusal elastik davranış sınırındaki spektral ivme
S_d	: Spektral Yer Değiştirme
S_{di}	: Maksimum Spektral Yer Değiştirme
S_{dpi}	: Performans Seviyesindeki Spektral Yer Değiştirme
S_{dy}	: Spektral Akma Yer Değiştirmesi
S_v	: Spektral Hız
SR_A	: Spektral İvme Azaltma Katsayısı
SR_V	: Spektral Yer Değiştirme Katsayısı
T	: Doğal Titreşim Periyodu
T_A, T_B	: Zemin Hakim Periyotları
u	: Tepe Noktası Yer Değiştirmesi
V	: Taban Kesme Kuvveti
Z	: Deprem Bölge Katsayısı
α₁	: Modal Kütle Katsayısı
β₀	: Histerik Sönüm
β_{eff}	: Etkili Toplam Sönüm Oranı
κ	: Çevrimsel Sönüm Düzeltme Katsayısı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Yapı performans seviyeleri ve aralıkları	12
Çizelge 2.2 : Hasar kontrolü ve yapı performans seviyesi	14
Çizelge 2.3 : Yapı güçlendirme amaçları	15
Çizelge 2.4 : Depremlerin ortalama dönüş periyodu	16
Çizelge 2.5 : Kirişler için izin verilen en büyük hasar oranları	18
Çizelge 2.6 : Kolonlar için verilen en büyük hasar oranları	18
Çizelge 3.1 : Deprem bölge katsayısı	31
Çizelge 3.2 : Kaynağa mesafe katsayısı	31
Çizelge 3.3 : Deprem kaynak tipi	32
Çizelge 3.4 : C_A , zemin etkili maksimum ivme	32
Çizelge 3.5 : C_V , 1 saniye periyoda sahip sistemin %5 dönümlü spektrum değeri	33
Çizelge 3.6 : Bina davranış tipi	35
Çizelge 3.7 : Sönüm düzeltme katsayısı	35
Çizelge 3.8 : Minimum SR_A ve SR_V katsayıları	36
Çizelge 3.9 : Yapı eşdeğer viskoz sönüme oranları	36
Çizelge 5.1 : İtme analizi parametrelerinin performans noktasına etkisi	63
Çizelge 5.2 : İtme analizi eğrisi talep kapasitesi	64
Çizelge 5.3 : Çerçeve eleman bağlantıları	64
Çizelge 5.4 : Çerçeve sistem, mafsallı durumları	65
Çizelge 5.5 : Birleşim noktaları koordinatları	66
Çizelge 6.1 : Çok değişkenli regresyon analizi sonuçları	67

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Kapasite eğrisi	4
Şekil 1.2 : Sünek taşıyıcı sistem kapasite eğrisi	4
Şekil 1.3 : Sünek olmayan taşıyıcı sistem kapasite eğrisi	5
Şekil 1.4 : Sünek-sünek olmayan sistemlerin kapasite eğrilerinin karşılaştırılması	5
Şekil 1.5 : Kuvvete dayalı tasarım	6
Şekil 1.6 : Deprem anı kapasite eğrisi	7
Şekil 2.1 : Beklenen deprem sonrası hasar seviyeleri	13
Şekil 2.2 : SAP2000’de itme analizi sonrası elemanlarda oluşan plastik mafsallar	19
Şekil 3.1 : Kapasite eğrisi	23
Şekil 3.2 : Kapasite eğrisi hasar seviyeleri	24
Şekil 3.3 : İYTS formatı dönüşüm formülleri	27
Şekil 3.4 : Spektral yer değiştirme	27
Şekil 3.5 : Kapasite eğrisinin İYTS formatına dönüştürülmesi	28
Şekil 3.6 : Talep spektrumunun İYTS formatına dönüştürülmesi	29
Şekil 3.7 : İYTS formatına dönüştürme formülleri	30
Şekil 3.8 : %5 Sönümlü elastik spektrum eğrisi	33
Şekil 3.9 : %5 Sönümlü elastik talep spektrumunun indirgenmesi	34
Şekil 3.10 : İndirgenmiş tepki spektrumu	36
Şekil 3.11 : Kırıklı halde kapasite spektrumu 1	37
Şekil 3.12 : Kırıklı kapasite spektrumu 2	38
Şekil 3.13 : Performans noktasının bulunması	38
Şekil 4.1 : C30 beton tanımlaması	41
Şekil 4.2 : S420 tanımlanması	42
Şekil 4.3 : Kiriş tanımlaması	43
Şekil 4.4 : Kiriş donatısı	43
Şekil 4.5 : Kolon tanımlaması	44
Şekil 4.6 : Kolon donatıları	44
Şekil 4.7 : Modelin oluşturulması	45
Şekil 4.8 : 20 Katlı, 4 açıklıklı bina modeli	45
Şekil 4.9 : Yük tanımlamaları	46
Şekil 4.10 : Yükleme durumu tanımları	46
Şekil 4.11 : Ölü yükün doğrusal olmayan hale getirilmesi	47
Şekil 4.12 : Kütle kaynağı	47
Şekil 4.13 : Örnek yük uygulaması	48
Şekil 4.14 : Deprem talep spektrumu fonksiyonu tanımı	49
Şekil 4.15 : Deprem yükünün belirlenmesi	49
Şekil 4.16 : SAP2000 betonarme tasarım	50
Şekil 4.17 : Mafsal ataması 1	51

Sayfa

Şekil 4.18 : Mafsal ataması 2	52
Şekil 4.19 : Mafsal ataması 3	52
Şekil 4.20 : Mafsal düzenlemeleri	53
Şekil 4.21 : Mafsal düzenlemeleri 2.....	53
Şekil 4.22 : X yönü itme analizi kuvveti tanımlaması	54
Şekil 4.23 : İtme analizi kuvveti ayarlaması 1	55
Şekil 4.24 : İtme analizi kuvveti ayarlaması 2	55
Şekil 4.25 : Kapasite eğrisi	56
Şekil 4.26 : Kapasite spektrumu	57
Şekil 4.27 : Kapasite spektrumu parametreleri	58
Şekil 4.28 : Analiz sonucu mafsal plastikleşme oranı	58
Şekil 5.1 : Kolon – giriş yük alanları	60
Şekil 5.2 : Ölü yük uygulanması	60
Şekil 5.3 : Duvar yükünün uygulanması	61
Şekil 5.4 : Öngörülen eleman boyutu formülleri	61
Şekil 5.5 : Örnek modelleme	62
Şekil 6.1 : Efektif periyot – yaklaşık periyot dağılımları	68
Şekil 6.2 : Efektif periyot hesabında rölatif hata dağılımı (%)	68
Şekil 6.3 : 0,2-1 Aralığına çekilmiş parametreler için hata dağılımı (%)	69
Şekil 6.4 : Hasarlı taşıyıcı eleman yüzdeleri	70
Şekil 6.5 : Çeşitli seviyelerde hasar gözlenmiş $C_A - C_V$ çiftleri	71
Şekil 6.6 : Çeşitli seviyelerde hasarlar gözlenmiş C_V ve açıklık genişliği L çiftleri ...	72
Şekil 6.7 : Çeşitli seviyelerde hasarlar gözlenmiş C_A ve açıklık genişliği L çiftleri	72
Şekil 6.8 : Çeşitli seviyelerde hasarlar gözlenmiş C_A ve açıklık adedi A çiftleri.....	73
Şekil 6.9 : Çeşitli seviyelerde hasarlar gözlenmiş C_A ve kat adedi H çiftleri.....	73
Şekil 6.10 : C_A ve C_V 'nin hasar yüzdesine etkisi	74
Şekil 6.11 : Kat sayısının hasar yüzdesine etkisi	74
Şekil 6.12 : Açıklık sayısının hasar yüzdesine etkisi	75
Şekil 6.13 : Giriş boyunun hasar yüzdesine etkisi	75

PERFORMANSA DAYALI TASARIM İLKELERİ İLE BETONARME ÇERÇEVE YAPILAR İÇİN PRATİK HASAR TAHMİN YÖNTEMİ

ÖZET

Betonarme yapıların deprem yükleri altında elastik davranması esaslı bir tasarım yaklaşımı, gereğinden büyük taşıyıcı eleman kesitleri ortaya çıkarmakla kalmayıp donatı çeliği ve beton rijitlik farkından dolayı gevrek kırılma riskini arttıracaktır.

TS500 yapı tasarım şartnamesine göre, deprem esnasında yapı taşıyıcı elemanlarında oluşacak plastikleşmeye bağlı kuvvet azaltımı, tüm yapı için öngörülen tek bir katsayı (R : deprem azaltma katsayısı) ile ele alınmaktadır. Elastik hesaplarla bulunan taban kesme kuvveti R katsayısına bölünerek azaltılmakta, böylece taşıyıcı elemanlar için ön görülen donatının deprem etkisi altında plastik davranış göstermesi hedeflenmektedir. Donatının plastik davranış gösterebilmesi, özellikle yapı elemanlarının uç noktalarındaki beton kesitlerinin büyük şekil değiştirmelere karşı dağılmadan ilgili kesit dönmesinin gerçekleşebilmesi ile sağlanabilir. Aksi durumda erken dağılan bir birleşim bölgesinde donatı burkulması ve diğer karmaşık etkiler sebebiyle ilgili eleman taşıyıcı özelliğini tamamen yitireceklerdir.

Taşıyıcı sistemde eleman bazında gerçekleşen elastik ötesi davranış kuvvetlerini tüm sistem için belirlenen azaltılmış deprem kuvvetinden elde etmeye çalışmak, hali hazırda yönetmeliklerimizde kullanılmasına rağmen, kaba bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir. “Gelişen hesap teknikleri ve yapı analiz programları göz önüne alındığında elemanların elastik ötesi davranışlarını ayrıık olarak ele alan bir hesap yöntemi ile tasarım yapmak oldukça makul gözükmektedir.”

Eşdeğer deprem yükü analizine göre daha hassas bir analiz yapabilmek için, eleman bazlı moment ve şekil değiştirme kapasitelerinin dikkate alınması gerekmektedir. Yapının gerçek deprem davranışı oldukça karmaşıktır. Deprem esnasında kat rijitlikleri, taşıyıcı eleman kesitlerinde plastikleşme olduğu üzere değişmekte olup, bu durum yapı titreşim mod ve periyotlarını etkilemekte ve yapı katlarına gelen deprem yükü dağılımını değiştirmektedir.

Plastikleşme etkilerini tam olarak göz önüne almak için tasarımda Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz “Non-Linear-Time-History-Analysis” uygulanmalıdır. Ancak uygulamada pratik bir analiz tipi değildir. Bu analiz için uygun deprem kayıtlarının bulunması veya belirli özellikleri sağlayan sanal kayıtların yaratılması gerekmektedir. Ayrıca bu analiz seçeneği diğer analizlere kıyaslandığında daha uzun sürmekte ve özellikle büyük yapılar için yüksek bilgisayar gücü gerektirmektedir.

Performansa dayalı tasarım teknikleri bu duruma oldukça basit bir çözüm getirmeye çalışmaktadır. Performansa dayalı tasarımda, öncelikle Statik İtme Analizi (Pushover) adı altında doğrusal olmayan bir analiz gerçekleştirilmektedir. Bu analiz, yapı taşıyıcı elemanlarının her birinin doğrusal olmayan davranışlarını ayrıık biçimde dikkate almaktadır ve zaman tanım alanında yapılan analizden çok daha pratiktir.

Özetle statik itme analizi, yapı elemanlarının elastik ötesi davranışları dikkate alınmak üzere, yapının deprem esnasında karşılayacağı öngörülen muhtemel kuvvetler ile bu kuvvetler sonucu yapıda oluşacak tepe yer değiştirmesi arasındaki ilişkiyi ortaya koyan yük-yer değiştirme eğrisinin (kapasite eğrisi) elde edilmesi analizidir. Bu çalışmada itme analizleri noktasal mafsallı kabulü (point-hinge) ile CSI SAP2000 ver. 15.2.1 programı ile gerçekleştirilmiştir.

Performansa dayalı tasarımda, hesaplanan kapasite eğrisi ile hedef depremin talep eğrisi arasındaki ilişkiler ortaya konularak yapının bu deprem etkisi altında ele alınan kesitlerinde oluşacak rölatif deformasyon seviyeleri (performans seviyeleri) tespit edilmeye çalışılmaktadır.

Performansa dayalı tasarım kavram ve ilkeleri ATC-40, FEMA 356, FEMA 273, FEMA 274 ve DBYBHY 1998 gibi yönetmeliklerde ayrıntılı biçimde açıklanmıştır. Birbirinin benzeri olan ve kendi içlerinde de birbirlerine atıflarda bulunan bu şartnameler özetle, yapıların deprem etkileri altındaki plastik davranışını dikkate alan statik analiz esaslarını ve parametrelerini tanımlamakta ve analizin sonucunda yapı elemanlarının muhtemel hasar durumları tespit etmek üzere kullanılacak olan ilgili performans kriterlerini ve bunları hesaplama yöntemlerini ortaya koymaktadır.

Tüm basitleştirici kabullerine rağmen performansa dayalı tasarım, ileri bir mühendislik bilgisi ve doğrusal olmayan hesaplama kapasitesine sahip statik analiz yazılımları kullanmayı gerektirmektedir. Tez kapsamında, çerçeve yapıların performansa dayalı hesap yöntemleri ile deprem sonrası hasar durumlarını tahmin etmeye yönelik olarak basitleştirici bir formülasyon ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bunun için değişik kat sayısı, açıklık sayısı ve açıklık genişliklerine sahip 144 adet çerçevenin performans analizleri gerçekleştirilmiş ve bu analizlerden elde edilen verilerle yaklaşık efektif periyot hesabı esaslı bir hasar formülasyonu ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Sonuçlar dikkate alındığında yapının efektif periyodunun yapı geometrik özellikleri ve deprem verileri cinsinden basit bir formülle hesaplanabileceği ve bu hesap sonucunda elde edilen efektif periyot değeri ile yapı elemanlarında oluşacak hasar durumlarının oransal hesabının oldukça basit bir şekilde mümkün olabileceği gözlenmektedir. Bu tür bir hesap, belirli bir bölgede bulunan mevcut yapıların deprem sonrası muhtemel hasar durumlarını hızlı bir şekilde tespit etmek için kullanılmaya aday bir hesap yöntemidir.

PRACTICAL DAMAGE STATE PREDICTION METHOD FOR REINFORCED CONCRETE FRAME STRUCTURES WITH THE PRINCIPLES OF PERFORMANCE BASED DESIGN

SUMMARY

An approach to the design, based on an elastic behavior of a concrete building under the seismic loads would cause a huge dimensioning at the member sizing and because of the rigidity difference between concrete and the steel, it will increase the risk of brittle yielding.

At the Turkish building design code TS500, the force loss during the seismic activity due to the plasticity that will occur at the structural load carrying elements is being considered with only a coefficient (R: seismic load reduction coefficient). The base shear force, which is found by the elastic calculations, is being divided by R coefficient and reduced. By this way, the plastic behavior of the necessary reinforcement needed is being targeted. The ability for the reinforcement to behave plastically, could be achieved a formation of rotation due to the related shape changes without disintegration of the concrete cross sections, at the end points of the structural elements. If not, at the early disintegrated joint region, reinforcement buckling and other complex effects could occur and the related carrying element would loose its property completely.

As it is present and being used by the current design codes, to achieve the beyond elastic behavior of the individual members from the reduced seismic load which is set for the whole system, could be taken into consideration as a rough estimation. As the improved calculation techniques and the structural analysis softwares are considered, a design based on the beyond elastic behaviors of the elements of the structure individually is quite reasonable.

To make a more accurate analysis when compared to the equivalent seismic load analysis, the element based moment and shape change capacities should be considered. The real behavior of the structure is very complex. At the moment of an earthquake, the floor rigidities changes as the plasticity occurs and this situation effects the structure vibration modes which cause a change at the distribution of seismic loads applied to the floors.

To take the plasticity effects into consideration completely, the Non-Linear-Time-History-Analysis should be applied. However, this analysis is not a practical analysis type at the application. For this analysis to be achieved, the convenient earthquake records should be founded or virtual records, which provides specific information, should be created. Also, when compared to the other analysis types, this analysis requires more time to achieve the results and especially for the larger structures, high computer power is needed.

The performance based design techniques are trying to give a practical solution to this state. At the performance based design, at first a non-linear analysis type called Pushover Analysis is performed. This analysis takes the nonlinear behavior of all

individual members into consideration and is much practical than the analysis which is performed on the time definition basis.

To summarize, the pushover analysis is the analysis of obtaining the capacity curve, which is the load-displacement curve giving the relation between the possible loads that the structure will be exposed to during a seismic activity and the top point's displacements in a result of those loads. At this work, the pushover analysis had been done with the acceptance of joint point-hinge concept via the CSI SAP2000 ver. 15.2.1. computer software.

At the design based on performance, the relation between the capacity curve and the source earthquake's demand curve are being considered so that the performance levels could be determined.

The performance based design concepts and principles are defined and explained in detail at the codes like ATC-40, FEMA 356, FEMA 273, FEMA 274 and DBYBHY. Summarized, those codes which also refers to each other among themselves defines the static analysis principles and parameters which considers the structures' plastic behavior under the seismic effects and at the end of the analysis, gives the performance criteria which will be used to determine the possible damage levels and the calculation techniques of them.

Despite all the simplified assumptions, the performance based design needs a high engineering knowledge and the ability to use the static analysis software which is capable of nonlinear calculations. At the scope of the thesis, it is been tried to give a formulation that is capable of assuming the damage levels of the frame structures based on performance analysis with simplicity. For that cause, 144 different performance analysis' are done for different floor heights, number of spans and span lengths. For that approach, for each of the structures based on parameter combinations included the performance analysis results based on different structure types and the seismic properties so that the results would be more effective. From those analysis datas, a damage state formulation, based on approximate effective period calculations is tried to be introduced via the regration analysis using a computer software using the given structure physical, seismic and structural properties. For he formulation to be used, a damage spectra is also generated using the datas gained through the analysis. For the calculated structure period, the damage state results of a structure after being subjected to pushover analysis were listed. Using the damage states of the individual elements within the structure a triangular shaped damage spectra got formed and using the effective period formulation that is being found using the regration analysis, the approximate building period during a seismic activity could be found and using the result period, as it is being used on the damage spectra that is presented also from the analysis results, the approximate damage state levels of the structure could be determined with the error range of twenty percent.

In addition to this study, the effects and the in between relations of the parameters of the pushover analysis were examined. Through that experiment, combining all the data gained from the analysis results, their impact on the effective period of the building and remotely to the damage state levels of the building were being watched. The individual impacts of the seismic constants and the building geometrical properties could be seen as graphs. The in between relations of the parameters of the pushover analysis that effect to the result of the damage states of the structure could also been seen as a matrix graphs that if the combination of two parameters would cause a major damage to the structure or not. The graphs give information about the possibility of having a major damage but not indicating the levels.

When the results are taken into consideration, the effective period of the structure could be calculated with a simple formula in terms of the structure geometric properties and the earthquake parameters and, it has been observed that the relative calculation of the damage states of the structure elements via the effective period value obtained from the result of the calculation is quite simple. This kind of a calculation is a candidate calculation method to quickly determine the possible damage states of the current structures at a certain area for the engineers.

1. GİRİŞ

Yapıların deprem hesabında kullanılan eşdeğer deprem yükü yöntemi oldukça pratik olmasına rağmen, yapıya gelecek olan gerçek deprem kuvvetleri hakkında önemli ölçüde basitleştirici kabuller içermektedir. Bu yöntemde yapı elemanlarının plastikleşmesini dikkate almak üzere, elastik hesaplarda bulunan yükler, bir azaltma katsayısı olan “R” ile küçültülmektedir.

Bu şekilde yapı elemanlarının herhangi birinde oluşacak elastik ötesi davranış etkilerini tüm yapı için önerilen tek bir katsayı ile belirlemeye çalışan eşdeğer deprem yükü yöntemi, elemanlarda oluşacak elastik ötesi davranışın yapının genel deprem davranışına olan etkisini ihmal etmektedir. Elastik kabullerde, elemanlardaki kuvvet dağılım oranları sabit iken plastik hesapta bu oranlar eleman kesit ve donatı özelliklerine göre oldukça farklılık gösterecektir. “Bu bağlamda yapı elemanlarının elastik ötesi davranışlarını ayrı ayrı dikkate alan performans dayalı tasarım ilkeleri, yapı tasarımı ile ilgili daha detaylı bir analiz seçeneği olarak karşımıza çıkmaktadır” (Seifi ve diğ, 2008).

“Plastikleşme etkilerini tam olarak göz önüne almak için tasarımda Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz “Non-Linear-Time-History-Analysis” uygulanmalıdır. Ancak uygulamada pratik bir analiz tipi değildir” (Mwafy ve Elnashai, 2001)

Performansa dayalı tasarım teknikleri bu duruma oldukça basit bir çözüm getirmeye çalışmaktadır. Performansa dayalı tasarım kavramında literatürde çeşitli çalışmalar mevcuttur.

Performansa dayalı yöntemlerde ön görülen deprem tiplerine göre yapı taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarında oluşacak hasar seviyelerini temel alan performans kriterleri ortaya konulmaktadır.

Örnek bir performans hedefi olarak “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 seklindedir” (T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2008).

Performansa dayalı tasarım kavram ve ilkeleri ATC-40, FEMA 356, FEMA 273, FEMA 274 ve DBYBHY gibi yönetmeliklerde ayrıntılı biçimde açıklanmıştır. Birbirinin benzeri olan ve kendi içlerinde de birbirlerine atıflar da bulunan bu şartnameler özetle, yapıların deprem etkileri altındaki plastik davranışını dikkate alan statik analiz esaslarını ve parametrelerini tanımlamakta ve analizin sonucunda yapı elemanlarının muhtemel hasar durumları tespit etmek üzere kullanılacak olan ilgili performans kriterlerini ve bunları hesaplama yöntemlerini ortaya koymaktadır.

Tüm basitleştirici kabullerine rağmen performansa dayalı tasarım, ileri bir mühendislik bilgisi ve doğrusal olmayan hesaplama kapasitesine sahip statik analiz yazılımları kullanmayı gerektirmektedir.

Bu bilgiyi kullanarak mühendis bina yapısını modeller. Analiz prosedürü hangi elemanın ilk çökeceğini belirlemektedir. Yük ve yer değiştirme arttıkça, diğer elemanlar elastik olmayan bir biçimde akma sınırını geçmeye başlayacaklardır. Sonuç olarak ortaya çıkacak “eğri”, bina kapasitesini görsel olarak sunmak için iyi bir yöntemdir. Bu teknikler, belirli deprem için talebi alarak veya zemin hareketinin büyüklüğünü, kapasite eğrisi ile birleştirerek kapasite ve talebin eşit olduğu bir nokta bulmaktadır. Bu “performans noktası” yapının belirtilen deprem anındaki zemin hareketine karşılık yapacağı gerçek yer değiştirmenin bir yaklaşımıdır. Mühendis, bu performans noktasını kullanarak, yapının hasar durumunu karakterize edebilir ve bunu istenilen performans kriterleri ile kıyaslayabilir. Bu, mühendislere, bir yapıda yapı elemanında oluşacak hasarları ve hasarların yerlerini belirleyerek, sadece gerekli noktalara müdahalesini mümkün kılmaktadır. Özetle bu yöntem, mühendise yapının sismik performans karakterlerini daha iyi anlama, sonucunda daha efektif ve etkili maliyet kontrol imkânı vermektedir.

Tez kapsamında, çerçeve yapıların performansa dayalı hesap yöntemleri ile deprem sonrası hasar durumlarını tahmin etmeye yönelik olarak basitleştirici bir formülasyon ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bunun için değişik kat sayısı, açıklık sayısı ve açıklık genişliklerine sahip 144 adet çerçevenin performans analizleri

gerçekleştirilmiş ve bu analizlerden elde edilen verilerle yaklaşık efektif periyot hesabı ve esaslı bir hasar formülasyonu ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Performansa dayalı tasarımda yapı taşıyıcı elemanlarının boyutları ve donatı oranları oldukça önemlidir. Ele alınan çerçevenin eleman kesit boyutları için Bölüm 5’te verilen formülasyonlar geliştirilmiştir. İlgili kesitlerin donatı oranları için FEMA 356’nın ön gördüğü ve SAP2000 programında ön tanımlı şartnamelerde belirlenen donatı oranları kullanılmıştır. Kapasite eğrisinin elde edilmesinde yapı üzerindeki sabit ve hareketli yüklerin de önemi büyüktür. Hesap yapılan çerçeveye etkitilen yükler yine Bölüm 5’te verilmiştir.

Bu şekilde genel yapıların olası kapasite eğrilerinin, sadece yapı kat ve açıklık adedi ve açıklık genişliğinden oluşan üçlü parametre seti ile yaklaşık olarak tespit edilmesi hedeflenmiştir.

Sonuçlar dikkate alındığında yapının efektif periyodunun yapı geometrik özellikleri ve deprem verileri cinsinden basit bir formülle hesaplanabileceği ve bu hesap sonucunda elde edilen efektif periyot değeri ile yapı elemanlarında oluşacak hasar durumlarının oransal hesabının oldukça basit bir şekilde mümkün olabileceği gözlenmektedir. Bu tür bir hesap, belirli bir bölgede bulunan mevcut yapıların deprem sonrası muhtemel hasar durumlarını hızlı bir şekilde tespit etmek için kullanılmaya aday bir hesap yöntemidir.

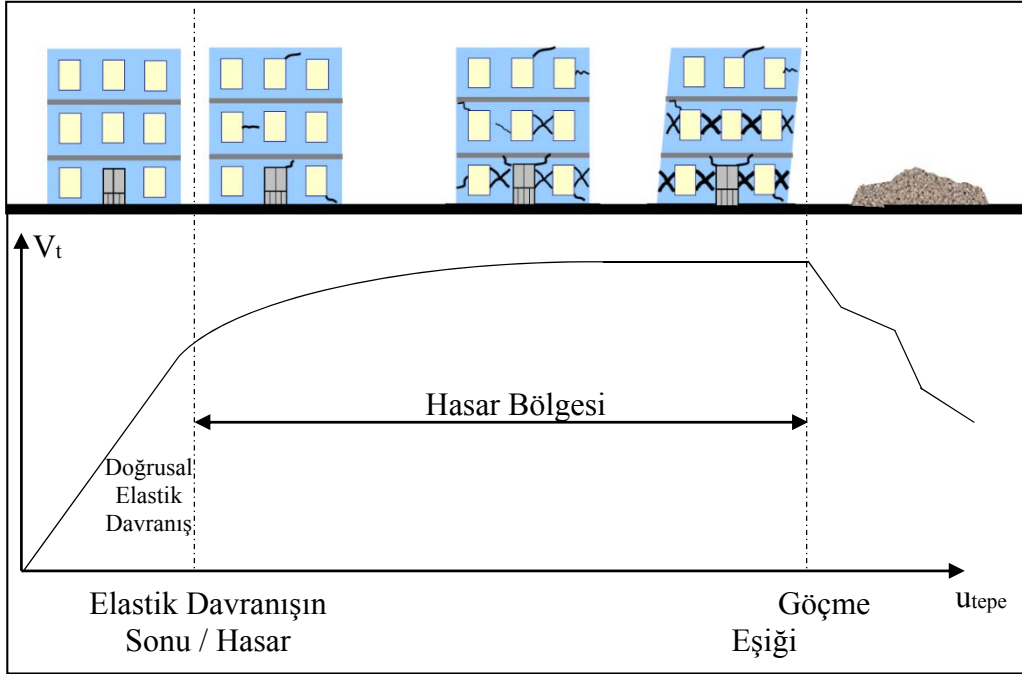
1.1 Süneklik Kavramı

Yapının elastik ötesi davranışı göz önüne alındığında süneklik kavramı önemli rol oynamaktadır. Bu amaçla, süneklik kavramının açıklanması uygun görülmüştür.

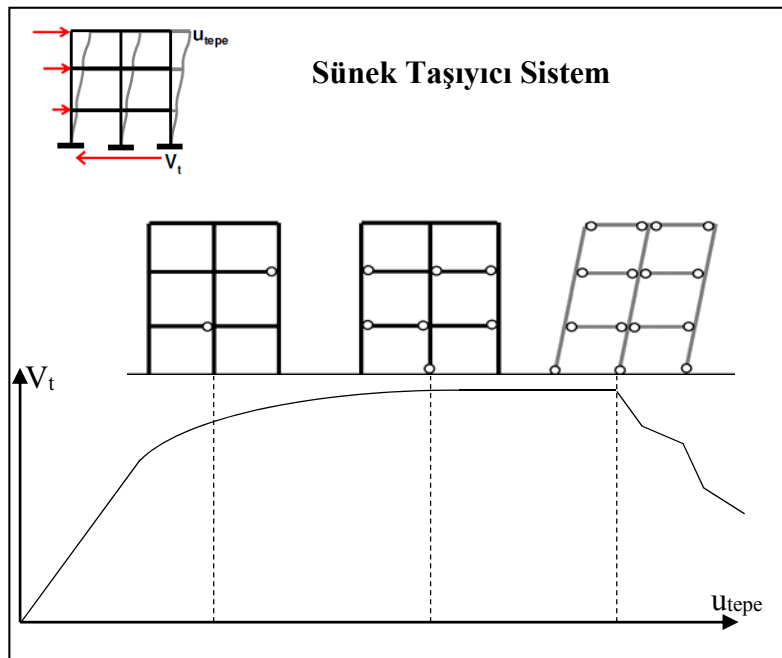
“Süneklik, taşıyıcı sistemin yük taşıma kapasitesinde önemli bir azalma olmadan yer değiştirme yapabilme yeteneğidir. Bir başka deyişle, kesit sünekliği olarak açıklanmak istenirse, kesitin taşıma gücünde önemli bir azalma olmadan şekil değiştirebilme yeteneği olarak açıklanabilir. Şekil 1.1’de gösterildiği gibi, elastik davranış ötesi davranışta, yapı sünekliğine bağlı olarak, yapı hasar kapasitesi artmaktadır” (Kırçıl, 2010).

Yapılarda bu etkiyi, yapı elemanlarının elastik ötesi davranış göstermesi olarak tanımlayabiliriz. Bu anlamda, plastikleşme kavramı ortaya çıkmaktadır. Şekil 1.1’de

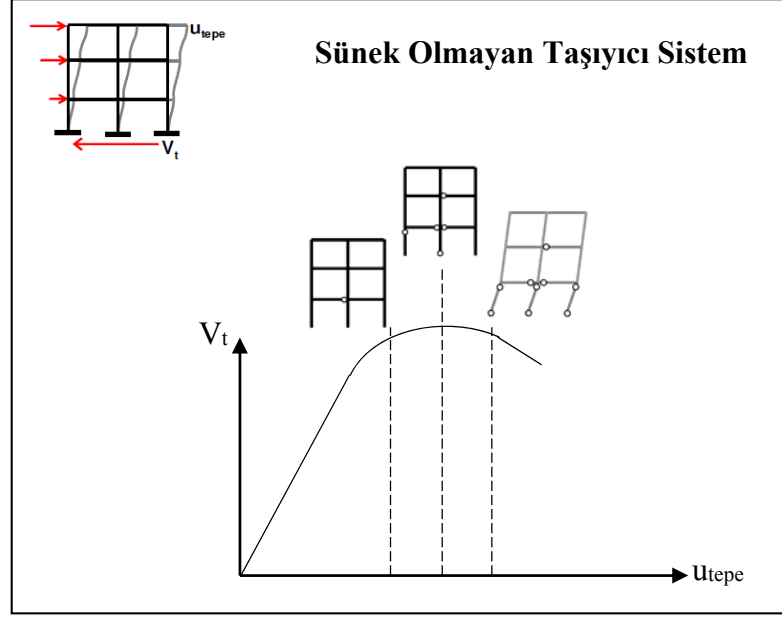
gösterildiği şekilde bir yapının kapasite eğrisi göz önüne alındığında, süneklığe bağlı karşı koyabileceği hasar seviyesi kapasitesi değişmektedir.



Şekil 1.1: Kapasite eğrisi.



Şekil 1.2: Sünek taşıyıcı sistem kapasite eğrisi.

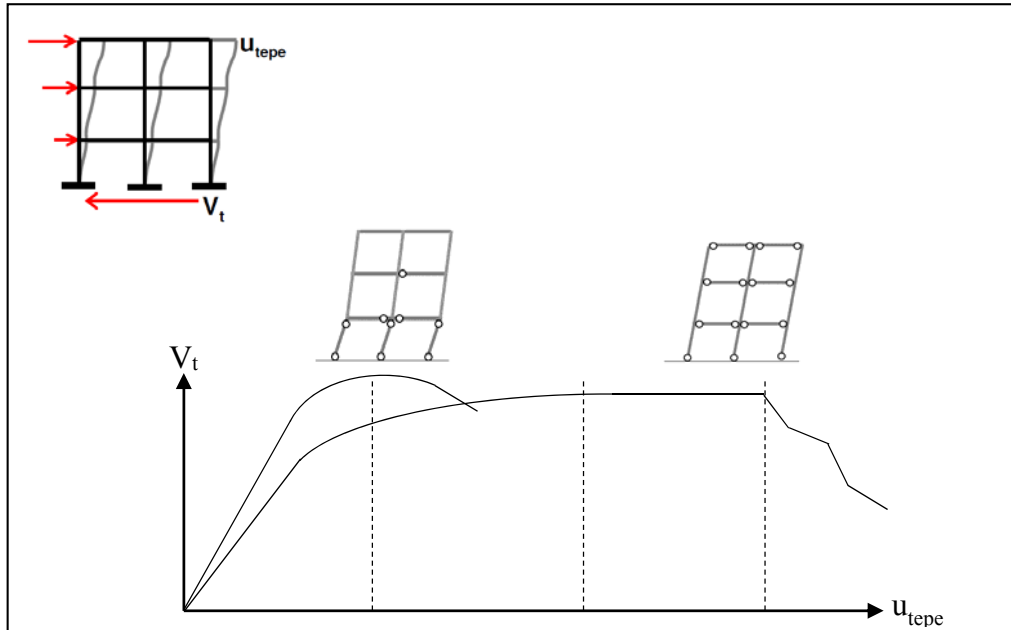


Şekil 1.3: Sünek olmayan taşıyıcı sistem kapasite eğrisi.

Sünek Taşıyıcı Sistem: Şekil 1.2’te gösterildiği gibi, akmadan sonra yatay yük kapasitesinde ciddi bir azalma olmadan yatay yer değiştirme yapılabiliyor.

Sünek Olmayan Taşıyıcı Sistem: Şekil 1.3’te belirtilen şekilde, akmadan sonra fazla yer değiştirme yapmadan taşıma gücünü kaybetmektedir.

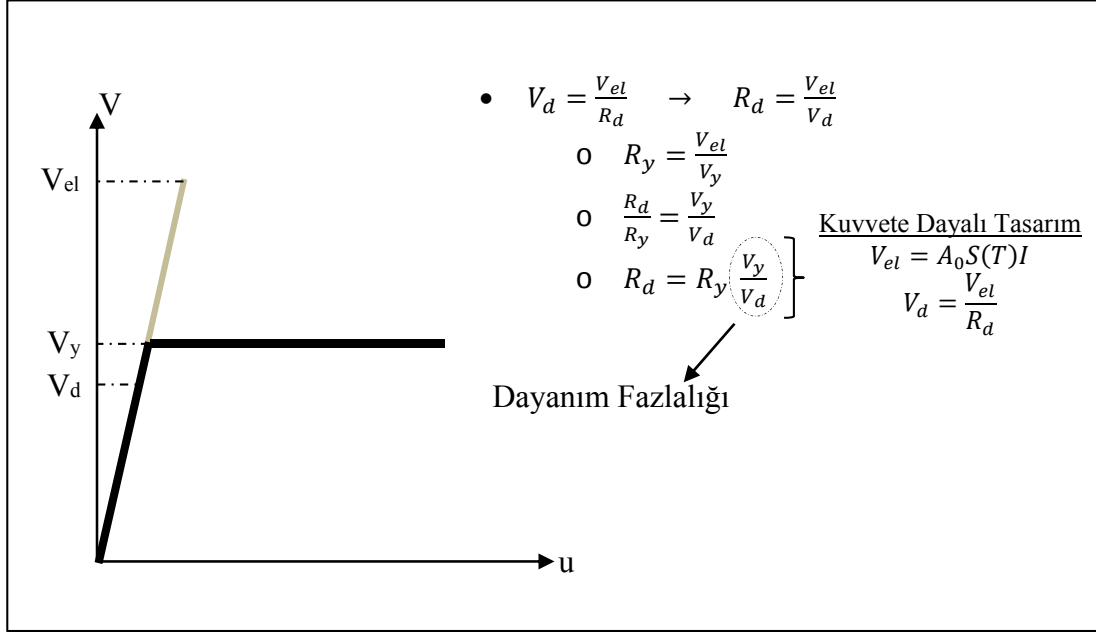
Şekil 1.4, sünek ve sünek olmayan yapılardaki hasar kapasite farklarını belirtmektedir.



Şekil 1.4: Sünek-sünek olmayan sistemlerin kapasite eğrilerinin karşılaştırılması.

Yapının sadece elastik davranışını göz önüne alarak yapılan tasarımlar, çelik ile beton arasındaki rijitlik farkı nedeni ile büyük ölçülerde kesit alanları çıkartmaktadır. Günümüz yapı tasarım şartnameleri, yapılarda oluşabilecek plastikleşme etkilerini bir R katsayısı ile ele aldığından, tasarımcı da belirtilen yük azaltması doğrultusunda belirli bir güvenlik kat sayısı ile tasarım değerlerini bulmaktadır. Bu yapılan kuvvete dayalı tasarım sonucunda yapıda istenmeden, dayanım fazlalığı ortaya çıkmaktadır. (Kırçıl, 2010)

Bu fazlalık Şekil 1.5’te açıklandığı şekildedir.



Şekil 1.5: Kuvvete dayalı tasarım.

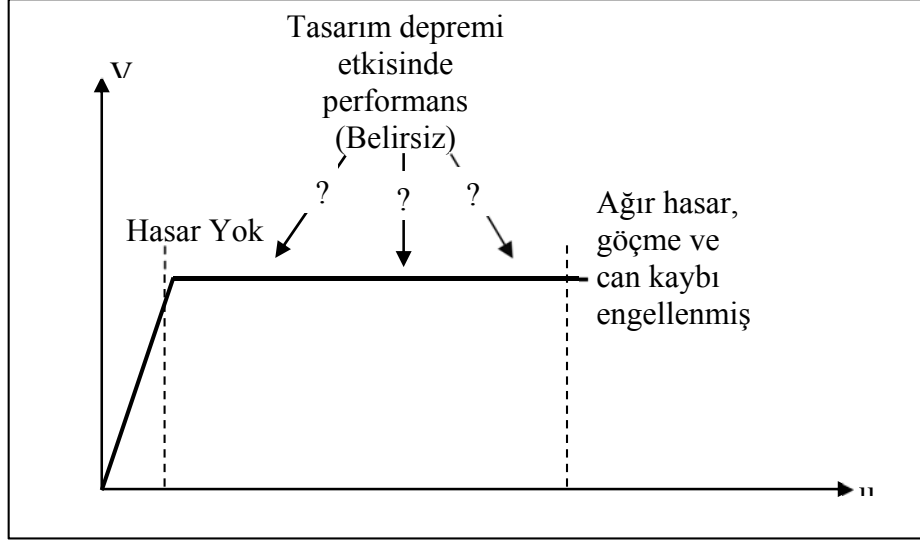
Klasik depreme dayanıklı yapı tasarımı düşüncesi can kaybını önlemek ilkesinden hareketle çıkmıştır ve birçok modern deprem yönetmeliğinde olduğu gibi ülkemizde yürürlükte bulunan deprem yönetmeliğinde de (ABYYHY, 2007) şu ifade ile belirtilmektedir:

Hafif şiddetteki depremlerde; binadaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının her hangi bir hasar görmemesi.

Orta şiddetteki depremlerde; yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasarın onarılabilir düzeyde olması.

Şiddetli depremlerde; can kaybını önlemek amacı ile binaların kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesi.

“Buradan anlaşılacağı gibi, binalardan beklenen performans, tasarım depremi altında can güvenliğinin korunmasıdır” (Kırçıl, 2010).



Şekil 1.6: Deprem anı kapasite eğrisi.

Yapının elastik ötesi davranışında, kuvvete dayalı günümüz tasarım kuralları içerisinde, yapı davranışı ve performansı belirsizdir. Bu belirsiz yapı davranış Şekil 1.6’da belirtilmiştir.

“Günümüzde de geçerli olan depreme dayanıklı yapı tasarımı düşüncesi, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan sistem elemanlarında hasarı sınırlandırmak amacıyla bazı dayanım, süneklik ve rijitlik koşulları ve sınırlandırmaları getirmekle beraber, aşağıdaki sorulara cevap vermekte yetersiz kalmaktadır” (Kırçıl, 2010).

- i. Hangi taşıyıcı ve/veya taşıyıcı olmayan sistem elemanlarda hasar oluşacaktır?
- ii. Hasar dağılımı nedir? Muhtemel göçme mekanizmaları nelerdir?
- iii. Bu hasarların miktarı nedir?

Geleneksel yapı tasarım tekniklerinde, elastik hesapta gelen yükler küçültülerek plastikleşme kabulü yapılmaktadır. Gerçekte ise, büyük depremler gelen enerjiyi dağıtan elastik olmayan bir davranış sergileyerek yapılarda ciddi ölçülerde hasar meydana getirebilmektedir. “Bu nedenden dolayı, plastikleşmenin tasarımı yapan mühendisin kontrolünde olması gerekmektedir.” Mevcut yapılarda kullanılan geleneksel yöntemler eksiklikler hakkında hatalı sonuçlara ve gereksiz yüksek onarım maliyetleri çıkarmaktadır. Daha rahatsız edici etkisi ise, bazı yapılarda önemli kusurların atlanabilmesidir.

Bu sebeplerden ötürü yeni analiz çeşitleri, binanın yapısal elemanlarının, elastik olmayan davranışlarını herhangi bir katsayıya bağlı kalmadan göz önüne almaktadır.

Bu teknikler, belirli bir zemin hareketi karşısında, binanın gerçek davranışını gerçeğe daha yakın bir şekilde tahmin edebilmektedir.

Yapı elemanlarının doğrusal olmayan davranışları göz önünde bulundurularak, yapılar için, sabit düşey yükler altında, yatay yüklerin kademeli artırılmasıyla yapılan doğrusal olmayan hesap yöntemine “Statik İtme Yöntemi (Pushover)” denir. Bu yöntem, binanın deprem esnasındaki davranışını daha gerçekçi olarak temsil ettiği için, hesaplamaların daha doğru bir şekilde yapılmasına imkân tanımaktadır. Statik itme yönteminde binanın tüm elemanlarının deformasyon davranışları tanımlanır. Bu hesaplama yönteminde malzemenin plastiklik kapasitesinden de yararlanılmaktadır. (Temür, 2007)

Bu tez çalışmasında ikinci bölümde yapı taşıyıcı elemanlarının ve yapısal olmayan elemanların deprem sonrası beklenen hasar seviyeleri, yapının bir bütün olarak sismik hareket sonrası hasar seviyesi, deprem sonrası yapı hasar durumuna bağlı olarak yapı taşıyıcı elemanlarındaki kabul edilebilir en büyük hasar oranları ve hasar sonrası planlanan yapı güçlendirme amaçları belirtilmiştir.

Tezin üçüncü kısmı, “Statik İtme” performans analizi esaslarını ATC-40 yönetmeliği temel alarak açıklamaktadır. Dördüncü bölümde ise, bu esaslara bağlı olarak, SAP2000 yapı analizi programında, statik itme analizi uygulaması adımları açıklanmıştır.

Tezin beşinci bölümünde, statik itme analizi esasları ele alınarak, eleman boyutları ve yüklemeler için yapılan kabuller ile tez çalışması kapsamındaki modellerin oluşturulması ve analizler sonrası her bir model için bulunan sonuç tabloları açıklanmıştır.

Tezin son bölümünde ise, performans analizi yapılmış yapıların sonuçlarından regresyon analizi ile yapı geometrik özelliklerine ve zemin koşullarına bağlı olarak efektif bir periyot formülü ortaya koyulmaya ve bu performans formülüne bağlı deprem sonrası muhtemel hasar durumunu belirleyici hasar spektrumu oluşturulmaya çalışılmıştır. Ayrıca, yapı fiziksel özelliklerinin ve zemin parametrelerinin, statik itme yöntemine hangi oranlarda etkide bulundukları ve parametrelerin çeşitli kombinasyonlarında, deprem sonrası büyük çaplı hasar meydana oluşma ihtimali üzerinde çalışma yapılmış ve sonucunda tez çalışması değerlendirmesi ve önerileri açıklanmıştır.

2. YAPI HASAR DURUMLARI

“Depreme dayanıklı yapı tasarımında tüm dünyada uygulanan ilke, yapının sık ve küçük şiddetteki depremleri elastik sınırlar içerisinde kalarak; orta şiddetteki depremleri elastik sınırın ötesinde, fakat taşıyıcı sistemde kolayca onarılabilecek önemsiz hasarlarla; çok seyrek olan şiddetli depremleri büyük hasarlarla fakat taşıyıcı sistem tamamen göçmeden, can kaybı olmaksızın taşıyabilmesidir” (Bozan, 2008).

FEMA 356’da elemanlarında oluşacak hasarın büyüklüğü, tanımlanan performans seviyeleri ile gruplandırılmaktadır. Bu seviyeler tasarımcının, yapı elemanlarının kesitlerinde oluşan deformasyonları dikkate alarak hasarı derecelendirilmesini mümkün kılmaktadır.

Yapı performansı, yapısal ve yapısal olmayan bileşenlerin performanslarının kombinasyonu şeklindedir. Bina performansı, bu standartlar çerçevesinde Yapı Performans Seviyeleri olarak açıklanmaktadır. Bu hedef Yapı Performans Seviyeleri, deprem esnasında karşılaşılabilecek birbirinden farklı olası hasar durumlarının sonsuz spektrumu arasından seçilmiştir. FEMA da belirtilen bu Yapı Performans Seviyeleri, mühendisler tarafından, deprem sonrası anlamlı sonuçlar tanımlayabildiği için seçilmiştir. Bu seviyeler binanın normal fonksiyonlarını yerine getirebilmesi, makul deprem sonrası kullanım ve can güvenliğinin riskte olması durumlarını içermektedir.

2.1 Yapısal Performans Seviyeleri

FEMA-356 bir binanın yapısal performans seviyesinin seçimini, dört yapısal performans seviyesi ve iki orta dereceli yapısal performans aralığı olarak gruplandırmaktadır.

- i. Hemen kullanım yapısal performans seviyesi (S-1) :

Deprem sonrası kullanımın güvenli olduğu hasar durumudur. Deprem öncesi mukavemeti ve dayanıklılığını aynı seviyede korumaktadır. Sınırlı hasar meydana

gelmiştir. Bir yapısal hasardan dolayı hayat tehdit etme riski çok düşüktür. Sadece küçük onarımlar gerekebilir.

ii. Hasar kontrol yapısal performans aralığı (S-2) :

Can güvenliği performans seviyesi (S-3) ve hemen kullanım performans seviyeleri (S-1) aralığındaki sürekli hasar aralığıdır. Hemen kullanım seviyesi sonrası yapı içerisinde önemli olarak nitelendirilebilecek içerik bulunduruyorsa veya değerli eşyaların korunması amacı ile tamir ve işletme süresinin kısaltılmak istenmesi durumunda tasarım bu aralığa göre yapılabilir.

iii. Can güvenliği yapısal performans seviyesi (S-3) :

Yapısal elemanlarda hasar meydana gelmiştir fakat kısmi veya tamamen çökme durumunun mevcut olmadığı deprem sonrası hasar durumudur. Çoğu yapı için tasarıma esas hasar durumudur.

iv. Kısıtlı güvenlik yapı performans aralığı (S-4) :

Can güvenliği performans seviyesi (S-3) ve göçmenin engellendiği yapı performans seviyeleri (S-5) aralığındaki sürekli hasar aralığıdır.

v. Göçmenin engellendiği yapı performans seviyesi (S-5) :

Yapı deprem sonrası sadece düşey yükleri taşıyabildiği, ancak yapı göçmeye karşı koyacağı kuvvetten yoksun kalmadığı deprem sonrası hasar seviyesidir.

vi. Yapısal performansın göz önüne alınmaması (S-6) :

Bina içerisinde önemli eşyalar bulunmakta ise, bazı yapı sahipleri tarafından değerlendirilmektedir. Bina yıkılması durumunda bile, içerisindeki eşyalara zarar gelmeyecek şekilde belirlenen performans seviyesidir.

2.2 Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri

“Yapısal olmayan performans seviyeleri farklı beş seviyeden oluşmaktadır. Bu yapısal olmayan elemanlar dış kaplama, asma tavan gibi mimari elemanları, ışıklandırma, su giderleri, yangın sistemleri gibi mekanik ve elektrik elemanlarını ele almaktadır” (FEMA-356, 2000).

i. İşlevsel bakımdan yapısal olmayan performans seviyesi (N-A) :

Deprem sonrası, taşıyıcı olmayan elemanların, deprem öncesi binada bulunan fonksiyonlarını taşıyabilmektedir.

ii. Hemen kullanım bakımından yapısal olmayan yapı seviyesi (N-B) :

Yapısal olmayan elemanlarda oluşmuş hasarı kapsayan ancak, bina erişim ve can güvenliği sistemlerinin gerekli gücü aldığı takdirde mevcut ve kullanılabilir durumda olduğu deprem sonrası hasar seviyesidir. Kapılar, merdivenler, yangın alarmları bu duruma örnek verilebilir.

iii. Can güvenliği bakımından yapısal olmayan yapı seviyesi (N-C) :

Deprem sonrası yapısal olmayan elemanlarda hasar meydana gelmiştir fakat can tehdidi oluşturmamaktadır.

iv. Düşme, devrilme tehlikesi bakımından yapısal olmayan performans seviyesi (N-D) :

Deprem sonrası, düşme ile tehlike oluşturabilecek yapısal olmayan elemanlarda hasar meydana gelmektedir.

v. Yapısal olmayan performansın göz önüne alınmaması (N-E) :

Bazı durumlarda bina yenilenmesinde yapıda bulunan yapısal olmayan elemanların hassasiyetleri dikkate alınmamaktadır.

2.3 Yapı Performans Seviyeleri

“Hedef yapı performans seviyesi, yapısal performans seviyelerinden alacağı numaralardan ve yapısal olmayan performans seviyelerinden alacağı harflerden meydana gelir” (FEMA-356, 2000). FEMA-356’da belirtilen seviyeler Çizelge 2.1 ve 2.2’de açıklanmıştır.

i. *B* Kullanıma hazır bina performans seviyesi (1-A) :

Yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasar minimum veya yok kabul edilir. Yapı deprem öncesi özelliklerini korumaktadır.

ii. *IO* Hemen kullanım bina performans seviyesi (1-B) :

Yapısal elemanlarda minimum veya yok olarak hasarlar kabul edilirken, yapısal olmayan elemanlara ufak derecede hasar geldiği kabul edilir. Yapı deprem öncesi özelliklerini korumaktadır.

iii. *LS* Can güvenliği bina performans seviyesi (3-C) :

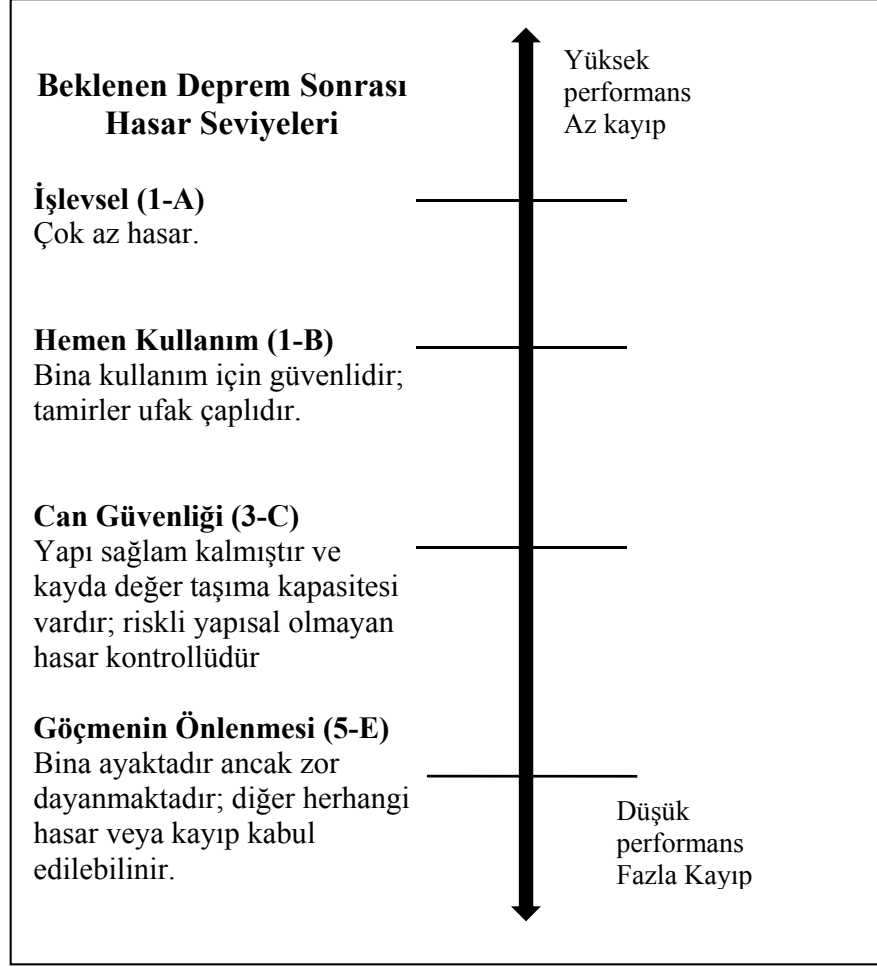
Bina, yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda yoğun hasara maruz kalmıştır. Kullanılmaya başlanmadan önce güçlendirmeye ve yenilenmeye gidilmesi gerekebilir. Bina performans seviyesinde, can güvenliği riski düşüktür.

iv. *CP* Çökmenin engellendiği bina performans seviyesi (5-E) :

Bu bina performans seviyesine hedef olan binalarda yapısal olmayan elemanlarda can güvenliğini tehlikeye atacak çökmeler meydana gelebilmektedir. Buna karşı, bina çökmemiştir ve büyük çaplı bir can kaybı önlenmiştir. Bu seviyeye yakalanan binalar ekonomik kayıp olarak görülmektedir. Çizelge 2.1 yapısal ve yapısal olmayan performans seviyelerinin kombinasyonlarını ve sonucunda yapı performans seviyelerini belirtmektedir.

Çizelge 2.1: Yapı performans seviyeleri ve aralıkları.

YAPI PERFORMANS SEVİYELERİ VE ARALIKLARI						
YAPISAL OLMAYAN PERFORMANS SEVİYELERİ	Yapısal Performans Seviyeleri ve Aralıkları					
	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6
N-A	1-A	2-A	*	*	*	*
N-B	1-B	2-B	3-B	*	*	*
N-C	1-C	2-C	3-C	4-C	5-C	6-C
N-D	*	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
N-E	*	*	*	4-E	5-E	*
*: ÖNERİLMEZ						



Şekil 2.1: Beklenen deprem sonrası hasar seviyeleri.

Şekil 2.1’de belirtildiği biçimde, deprem sonrası yapıda beklenen performans seviyesi ne kadar yüksek ise, bunu sağlayacak yapının yüksek bir performansa sahip olması gerektiğinden, deprem sonrası beklenen hasar o derece az olacaktır.

Çizelge 2.2: Hasar kontrolü ve yapı performans seviyesi.

<i>Hasar Kontrolü ve Yapı Performans Seviyesi</i>				
	Hedef Bina Performans Seviyesi			
	Yapısal Göçmenin Engellenmesi	Can Güvenliği Seviyesi	Hemen Kullanım Seviyesi	İşlevsel Seviye
<i>Genel Hasar</i>	Şiddetli	Orta	Az	Çok Az
<i>Genel</i>	Az mukavemet ve direnç kalmıştır ama yük taşıyıcı kolon ve perdeler işlevseldir. Büyük kalıcı akmalar meydana gelmiştir. Dolgular ve parapetler çökmek üzere veya çökmüştür. Bina yıkılmaya yakın seviyededir.	Bütün katlarda az mukavemet ve direnç kalmıştır. Düşey yük taşıyıcı elemanlar çalışır durumdadır. Duvar veya parapetlerde düzlem dışı hasar oluşmaz. Bazı kalıcı akmalar meydana gelir. Bazı bölümler hasarlıdır. Tamiri ekonomik seviyeleri geçebilir.	Kalıcı akma yoktur. Yapı elemanları gücünü ve mukavemetini korur. Küçük çatlaklar oluşabilir.	Kalıcı akma yoktur. Yapı elemanları gücünü ve mukavemetini korur. Küçük çatlaklar oluşabilir.
<i>Yapısal Olmayan Elemanlar</i>	Yoğun Hasar	Düşme tehlikesi olan riskler azaltılmıştır ancak mimari, mekanik ve elektrik sistemleri hasarlanmıştır.	Donanım ve içerik genel olarak güvendedir ancak mekanik aksaklık veya kaynak yetersizliğinden kullanılamama ihtimali vardır.	İhmal edilebilir hasar meydana gelir. Elektrik ve diğer hizmetler büyük ihtimalle destek kaynaklardan sağlanmaktadır.

FEMA-356’da belirtilen, deprem sonrası bir yapıda beklenen hasar performans seviyesine bağlı, yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasar durumu tanımları Çizelge 2.2’de belirtildiği biçimdedir.

Çizelge 2.3: Yapı güçlendirme amaçları.

Yapı güçlendirme amacı, tasarımda büyük ölçüde, herhangi bir Güçlendirme veya onarım projesinde uygulanabilirliğini ve maliyetini, bununla beraber geliştirilmiş güvenlik, yapı hasarında azaltma ve gelecek depremler anında kullanım durdurmasına, karar vermek için bir esas olarak alınır.					
Güçlendirme Amaçları					
		Hedef Bina Performans Seviyeleri			
		İşlevsel Performans Seviyesi (1-A)	Hemen Kullanım Performans Seviyesi (1-B)	Can Güvenliği Performans Seviyesi (3-C)	Göçmenin Engellendiği Performans Seviyesi (5-E)
Deprem Hasar Seviyesi	%50/50 Yıl	a	b	c	d
	%20/50 Yıl	e	f	g	h
	BSE-1 (%10/50 Yıl)	i	j	k	l
	BSE-2 (%2/50 Yıl)	m	n	o	p
Notlar:					
1. Yukarıdaki her bir hücre ayrı bir Güçlendirme Amacı matrisini belirtmektedir.					
2. Yukarıdaki güçlendirme matrisleri 3 belirli güçlendirme amacını temsil etmektedir.					
$k + p$ = Temel Güvenlik Hedefi					
$k + p + (a,e,i,b,f,j,n)$ = Geliştirilmiş Hedefler					
Sadece o, n veya m = Geliştirilmiş Hedefler					
Sadece p veya k = Sınırlı Hedefler					
c, g, d, h, l = Sınırlı Hedef					

Çizelge 2.4: Depremlerin ortalama dönüş periyodu.

<i>Deprem'in Aşılma İhtimali</i>	<i>Ortalama Dönüş Periyodu (Yıl)</i>
<i>%50 / 50 Yıl</i>	72
<i>%20 / 50 Yıl</i>	225
<i>%10 / 50 Yıl</i>	474
<i>%2 / 50 Yıl</i>	2475

Çizelge 2.3 ve 2.4'te belirtildiği şekilde, yapıda oluşması muhtemel deprem hasar seviyelerinde, yapının deprem sonrası beklenen genel performans seviyesi, mühendise tasarım ve güçlendirme konularında bilgilendirme sağlamaktadır. FEMA 356'da belirtilen güçlendirme hedefleri aşağıda belirtildiği şekildedir.

- i. **Temel Güvenlik Hedefi:** Geleneksel olarak yapılan analizlerdeki kabul edilen seviye olarak deprem riskini can güvenliği seviyesinde kabul etmektedir. Bu amaçtaki yapılarda, orta seviye, kısmen sık görülen depremlerden ufak hasarlar aldığı ancak, daha büyük gelecek depremlerde daha büyük hasar ve muhtemel ekonomik kaybın göz önüne alındığı kabul edilir. Yeni düzgün tasarlanmış ve inşa edilmiş yapılara göre, bu amaçta güçlendirilen yapılarda daha büyük hasar ve ekonomik kayıp beklenmektedir.
- ii. **Geliştirilmiş Güçlendirme Hedefleri:** Güçlendirmesi temel güvenlik seviyesini geçen binalar geliştirilmiş güçlendirme amaçları olarak tanımlanır. Bu amaçtaki tasarımlar yüksek bina performans seviyesi göz önüne alınarak, daha yüksek deprem hasar seviyesi kabul edilerek veya her ikisinin de aynı anda kabul edildiği kombinasyon şeklinde yapılır.
- iii. **Sınırlı Güçlendirme Hedefleri:** Temel güvenlik amacından daha az bir deprem hasarı veya bina performans seviyesi olan binaların güçlendirilmesine cevap vermektedir. Uygulandığı amaçlar
 1. BSE-1'den az hasarlı depremler için can güvenliği seviyesi (3-C).
 2. BSE-2'den az hasarlı depremler için göçmenin engellendiği performans seviyesi (5-E).
 3. BSE-1'den az hasarlı depremler için bina Performans Seviyeleri 4-C, 4-D, 4-E, 5-C, 5-D, 5-E, 6-D veya 6-E.

2.4 Bina Performans Seviyeleri

“Binanın bir bütün olarak deprem sonrası performans seviyesinde kolon ve kirişler için izin verilen en büyük hasar oranları Çizelge 2.5 ve Çizelge 2.6’da ve bu performans seviyelerine oranla beklenen hasar durumu açıklamaları aşağıda belirtilmiştir” (Kırçıl, 2010).

i. Hemen Kullanım Performans Seviyesi;

Hemen kullanım durumu’nda, her hangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için kirişlerin en fazla %10’unun belirgin hasar bölgesinde olmasına izin verilir. Diğer taşıyıcı sistem elemanlarının tamamı minimum hasar bölgesinde olmalıdır. Aksi halde bina *hemen kullanım durumu*’nda kabul edilemez. Bu koşulların sağlanması durumunda binanın güçlendirilmesine gerek yoktur.

ii. Can Güvenliği Performans Seviyesi;

Can güvenliği durumu’nda her hangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için kirişlerin en fazla %30’unun (tali kirişler hariç) ve kolonların bir kısmının ileri hasar bölgesinde olmasına izin verilir. Ancak her bir katta ileri hasar bölgesindeki kolonların, kolonlar tarafından taşınan toplam kesme kuvvetine katkısı %20’nin altında olmalıdır (en üst katta %40). Diğer tüm taşıyıcı sistem elemanları minimum hasar bölgesi veya belirgin hasar bölgesindedir.

iii. Göçme Öncesi Performans Seviyesi;

Göçmenin önlenmesi durumu’nda, her hangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için kirişlerin en fazla %20’sinin ve kolonların bir kısmının göçme bölgesinde olmasına izin verilir. Diğer tüm taşıyıcı sistem elemanları minimum hasar bölgesi, belirgin hasar bölgesi veya ileri hasar bölgesindedir. Her hangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden minimum hasar sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30’u aşmaması gerekir.

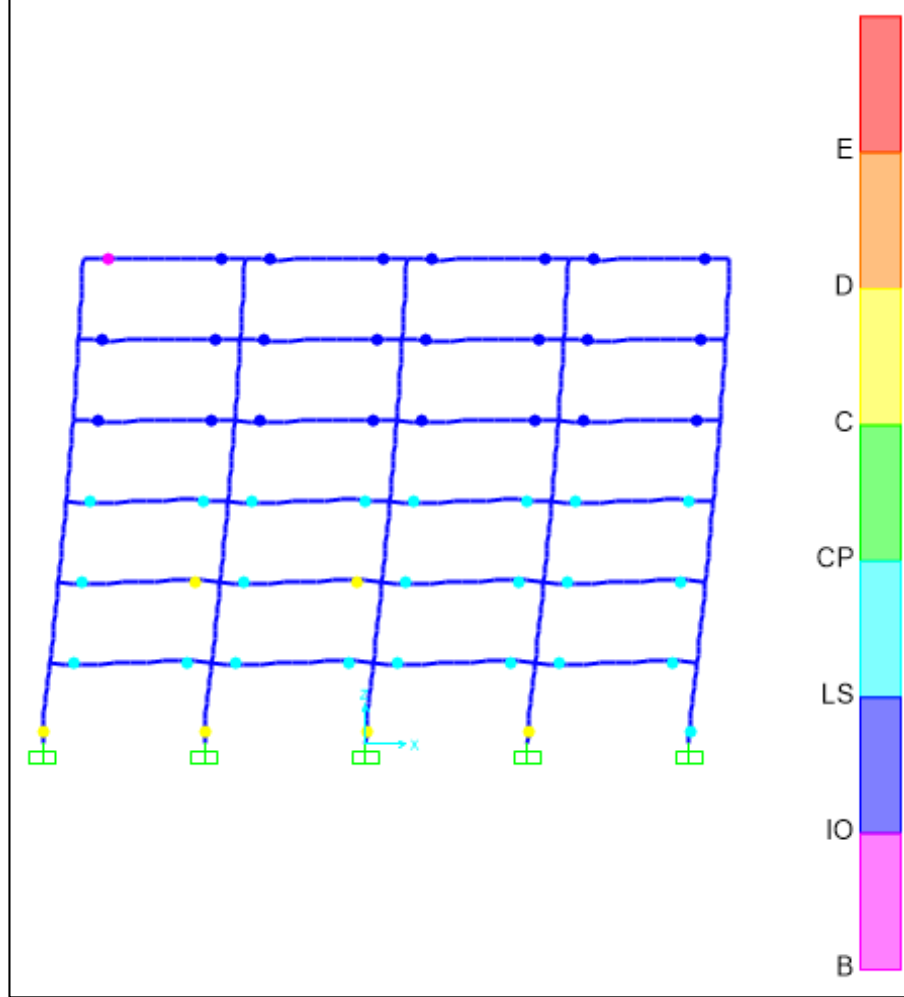
Çizelge 2.5: Kirişler için izin verilen en büyük hasar oranları.

Kirişler İçin İzin Verilen En Büyük Hasar Oranları				
Bina Performans Seviyesi	Minimum Hasar Bölgesi	Belirgin Hasar Bölgesi	İleri Hasar Bölgesi	Göçme
Hemen Kullanım	% 90	% 10		
Can Güvenliği	%70		%30	
Göçmenin Önlenmesi	%80			%20

Çizelge 2.6: Kolonlar için verilen en büyük hasar oranları.

Kolonlar İçin İzin Verilen En Büyük Hasar Oranları				
Bina Performans Seviyesi	Minimum Hasar Bölgesi	Belirgin Hasar Bölgesi	İleri Hasar Bölgesi	Göçme
Hemen Kullanım	% 100			
Can Güvenliği	Kolon kesme kuvveti oranı>%80 (en üst katta >%60)		Kolon kesme kuvveti oranı <%20 (en üst katta <%40)	
Göçmenin Önlenmesi	Kolon kesme kuvveti oranı >%80 (en üst katta >%60)			Kolon kesme kuvveti oranı<%20 (en üst katta<%40)

SAP2000 yazılımında itme analizi sonrasında yapı elemanlarının performans seviyeleri Şekil 2.1’de örneklendirildiği gibi, çeşitli renklerle bir çizelgede ve eleman birleşimlerinde gösterilebilmektedir.



Şekil 2.1: SAP2000’de itme analizi sonrası elemanlarda oluşan plastik mafsallar.

3. STATİK İTME ANALİZİ (PUSHOVER)

3.1 Giriş

“Statik itme analizi, bir binanın elastik ötesi davranışı dikkate alınarak deprem esnasında karşılayacağı kuvvetlerin (kuvvet dağılımının) bina üzerine etkilerek, yük çarpanı - deplasman (kontrol noktası deplasmanı, genellikle en üst kat deplasmanı) eğrisinin (kapasite eğrisi) elde edilmesi analizidir” (Oğuz, 2005). Bu analizler noktasal mafsalsal kabulü (point hinge) ile CSI SAP2000 ver.15.2.1 programı ile gerçekleştirilmiştir. (Not: çalışmanın geri kalanında itme analizi olarak anılacaktır).

Yazılım aynı zamanda kapasite eğrisi ile indirgenmiş talep spektrumu kesiştirilerek, (Kapasite Spektrum Yöntemi) performans noktasını vermektedir. Analiz sonrası incelemede, tanımlanan mafsalsal noktalarının performans seviyeleri her itme adımı için ayrıca çıktı olarak incelenebilmektedir.

“Statik itme analizinde, yapının zemin hareketi sonucu oluşacak sismik talebi hakkında elverişli bilgi sağlaması beklenmektedir” (Krawinkler ve Senevirtna, 1998). Performans noktasının bulunacağı bu analiz şeklinde, talep ve kapasite kavramlarının bilinmesi gerekmektedir. Bu kavramlar, itme analizinin temelini oluşturmaktadır. Analizde alınacak performans, talebin karşılanmasıyla bağlıdır. Bir başka deyişle, yapı, maruz kaldığı deprem etkileri altında kendisi ne derecede karşılayabilir, ne oranda bir kapasiteye sahip olması gerektiği biçiminde açıklanabilir.

Performansa dayalı tasarım yönteminde talep ve kapasite olmak üzere iki ana kavram bulunmaktadır. Kısaca, “Talep, deprem zemin hareketini temsil etmektedir.” Kapasite ise, yapının sismik talebe karşı koyabilme yeteneğini temsil etmektedir. Performans, kapasitenin, talebi karşılayabilme gücüne bağlıdır. Başka bir deyişle, yapının sahip olduğu kapasite, deprem talebini karşılamalı ki, yapı performansı, tasarım amaçları ile uyumlu olsun. (ATC-40, 1996)

Bu analiz, çok serbestlik derecesine sahip bir sistemin tepkisini, tek serbestlik dereceli bir sistemin tepkisine ilişkilendirme öngörüsünü yapmaktadır.

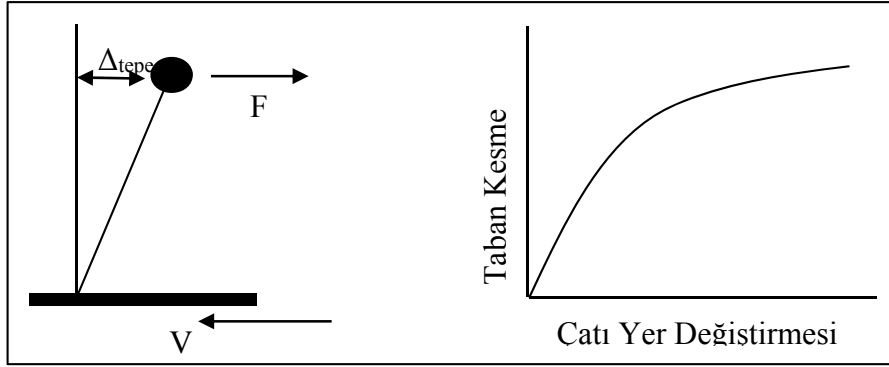
“Kapasite spektrumu ve yer değiştirme katsayısı metodu gibi, statik itme yöntemlerini kullanan basitleştirilmiş doğrusal olmayan analiz yöntemleri, 3 ana bilginin belirlenmesine ihtiyaç duyar. Bu bilgiler detaylı bir şekilde aşağıda açıklanmıştır” (ATC-40, 1996).

- i. **Kapasite:** Yapı toplam kapasitesi, her bir ayrı elemanın mukavemet ve deformasyon kapasitesine bağlıdır. Elastik limitlerin ötesindeki kapasiteleri bulabilmek için, doğrusal olmayan yapısal analiz, itme analizi prosedürü gibi yöntemler gerekmektedir. Bu prosedür sırasal elastik analizleri birleştirerek, yapı için ortalama bir yaklaşık kuvvet-yer değiştirme kapasite eğrisi oluşturmaktadır. Yapının matematiksel modeli, elemanların akma dayanımlarının düşürölmesini dikkate alarak düzenleme yapmaktadır. Bu işlem, yapı stabilitesi bozulana kadar veya önceden belirlenmiş limitlere ulaşılana kadar devam etmektedir. İki boyutlu sistemler için, bilgisayar programları doğrudan itme analizi eğrisini verebilmektedir. Statik itme eğrisi, yapının elastik limit aşıldığında ki davranışını yaklaşık olarak değerlendirmektedir.
- ii. **Talep:** Deprem etkisi altındaki bir yapıda her yönde belirsiz zaman dilimlerinde değişik büyüklüklerde zeminde yer hareketi meydana gelebilmektedir. Belirli yapı ve zemin hareketine göre, yer değiştirme talebi, yapının, zemin hareketi anında vereceği maksimum beklenen tepkisinin yaklaşımıdır.
- iii. **Performans:** Performans noktası, yapının kendisine özgü kapasite eğrisi ve talep spektrumu belirlendikten sonra sahip olacağı noktadır. Performans kontrolü, yer değiştirme talebi tarafından açıklanan kuvvet ve yer değiştirmeler için yapısal ve yapısal olmayan bileşenlerin kabul edilebilir sınırların üzerinde bir hasar almadığını teyit eder.

3.2 Kapasite Spektrumunun Belirlenmesi

Yapı kapasitesi statik itme eğrisi ile temsil edilmektedir. şekil 3.1’de gösterildiği gibi, kuvvet-yer değiştirme eğrisini çizmenin en etkili yolu, yapı tepe noktası (atı) ve taban kesme kuvvetlerinin takibi ile olmaktadır. Bu uygulamada yapı sıfır konumundan kararsız hale gelinceye kadar süre içinde arttırılan taban kesme kuvveti ile çatı yer değiştirme değerlerinin elde edildiği grafiklerdir.

“Kapasite eğrisinin belirlenmesi için, yapının tepe noktasına belirli bir yer değiştirme miktarına kadar, sıfırdan, belirlenen seviyeye kadar bir yer değiştirme verilip buna karşın taban kesme kuvveti ile olan ilişkisi incelenir. Sonuçta oluşturulacak grafik, kapasite eğrisini belirleyecektir” (ATC-40, 1996).



Şekil 3.1: Kapasite eğrisi.

Bazı doğrusal olmayan bilgisayar programları (DRAIN-2DX gibi) iterasyona ihtiyaç duymadan statik itme analizini doğrudan yapabilmektedir. Eğer bu programlar kullanılmıyacaksa, izlenilmesi gereken yol şu şekildedir:

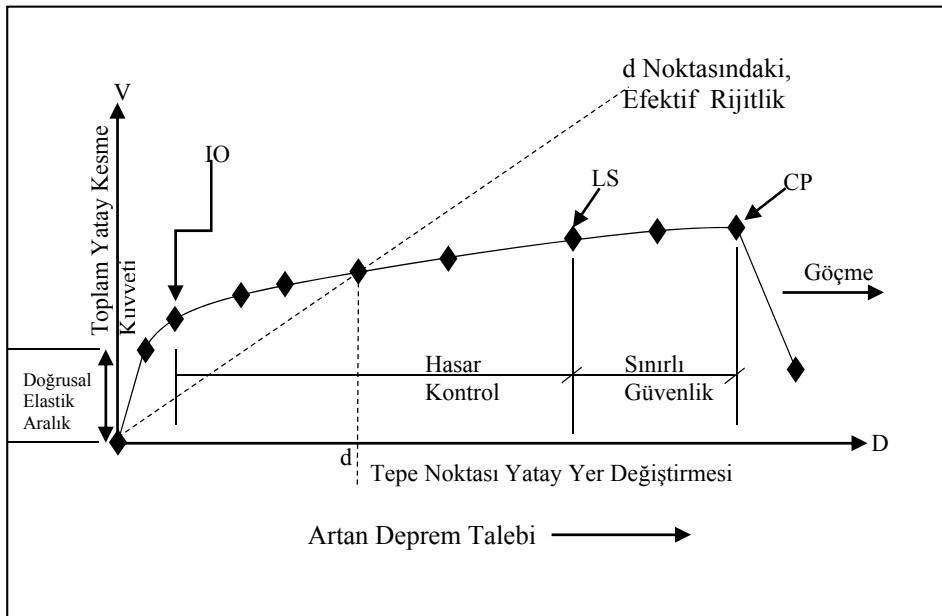
“Kapasite eğrisi genel olarak yapının birinci titreşim modunu göz önüne alarak oluşturulmaktadır. “Doğal titreşim periyodu bir saniye veya az olan yapılar için genellikle geçerli kabul edilir.” Periyodu bir saniyenin üzerindeki daha esnek yapılar için mühendis, yüksek mod etkilerini de göz önüne almalıdır” (ATC-40, 1996).

- i. Yapı bilgisayar modeli oluşturulur.
- ii. Yatay kat yükleri, yapıya kütle ve temel mod şekline uygun dağıtılmalıdır. Bu analiz ayrıca düşey yükleri de içermektedir.

Statik itme analizi, adından anlaşılacağı gibi, yatay yönde itme ile yapı sınır seviyesine gelene kadar bir yük dağılımı ile yapılmaktadır. Statik itme analizinin bu şekilde uygulanabileceği çeşitli seviyeler mevcuttur. Örnek olarak bu seviyelerden beş tanesi aşağıda belirtilmiştir. Üçüncü seviye, bu kılavuz için temel yöntem olarak kabul edilebilse de, zayıf katlara sahip yapılar için dördüncü seviye kullanılabileceği gibi, beşinci seviye yapıda, temel mod titreşimi dışındaki modlarında etkili olduğu yapılarda kabul edilebilir:

- a) Basitçe, tek bir yatay yükün yapının tepe noktasına etki edilmesi

- b) Deprem şartnamesinin kabul ettiği biçimde, yapı tepe noktasına ilave V_x koyulmadan etkitilmesi
 - c) Yatay yüklerin, kat ağırlıkları ve yapının elastik birinci mod şekline oranla etkitilmesi. Yapının baskın titreşim periyodu birinci mod olarak kabul alarak, kapasite eğrisi genel olarak birinci modu temsil etmektedir. Bu genel olarak yapı titreşim periyodu bir saniye altındaki yapılar için gereklidir.
 - d) Üçüncü adımın aynısıdır. Aradaki fark, ilk akma noktasına kadar gitmektedir. Akma meydana geldikten sonra her bir artışta, yüklerin deforme olmuş yapı şekline göre ayarlanması gerekmektedir.
 - e) Üç ve dördüncü adımlara ilave olarak yapının yüksek titreşim modlarını, birinci mod yatay yükler ve yer değiştirmeler için kapasite eğrisini çizerken ayrı elemanların akmasını içermektedir.
- iii. Elemanların kesit ölçüleri hesaplanır.
 - iv. Bazı elemanların, mukavemetlerinin %10'una maruz kalacak şekilde yatay yük seviyesi ayarlanmalıdır.
 - v. Taban kesme kuvvetleri ve çatı yer değiştirmeleri kaydedilir.
 - vi. Akan elemanlar için rijitliği sıfır (veya çok küçük) olarak güncellenir.
 - vii. Yeni bir eleman akma noktasına gelene kadar yük artırılır.
 - viii. Yapı nihai sınırına ulaşana kadar bu adımlar devam ettirilir. Analiz sonucunda, Şekil 3.2'de gösterildiği şekilde yapı kapasite eğrisine ulaşılır.



Şekil 3.2: Kapasite eğrisi hasar seviyeleri.

3.3 Talep Spektrumunun Belirlenmesi

Gerçekte yapılar dinamik açıdan çok serbestlik dereceli sistemlerdir. Buna karşılık modal analiz yöntemleri ile yapı davranışı eşdeğer tek serbestlikli sistemlerin doğrusal kombinasyonu şeklinde ifade edilebilir. Bu durumda çeşitli periyotlara sahip çok serbestlik dereceli sistemlerde, ele alınan depremin yaratacağı ivmenin maksimum değerleri önceden hesaplanıp bir grafik halinde verilebilir. Bu grafiğe ivme spektrumu denir.

Talep spektrumu ise ivme spektrumuna benzer olarak, depremin tek serbestlik dereceli sistemlerde yaratacağı maksimum deplasmanı buldurmayı hedefleyen grafikdir.

Talep spektrumu, belirli bir yapının deprem hareketine, deprem süresince verdiği maksimum karşılığı göstermektedir. Talep Spektrumunda; eğer bina tamamen elastik yapılısa idi, elastik ötesi deplasman elastik deplasmana eşit olurdu yaklaşımı kullanılır.

Performans seviyesinin belirlenmesinde kapasite eğrisi üzerinde, sismik talep ile tutarlı bir yer değiştirmenin bilinmesi gerekmektedir. Bu belirleme için iki adet yöntem mevcuttur.

“Bu yöntemlerden birisi “Kapasite Spektrum Yöntemidir.” Kapasite eğrisi üzerinde, doğrusal olmayan etkiler için azaltılmış talep tepki spektrumunda da mevcut olan bir noktanın bulunmasını esas alır” (Erkan, t.y.).

“Kapasite spektrumu yönteminde, talep yer değiştirmesi kapasite spektrumu üzerinde, performans noktası olarak anılan nokta da oluşmaktadır” (ATC-40, 1996).

İkinci yöntem ise FEMA-273’te “katsayı yöntemi” olarak anılmaktadır

3.4 Kapasite Spektrum Yöntemi ile Talebin Hesaplanması

Deprem yükleri altında, yapıda elastik olmayan deformasyonlar meydana gelmektedir. Bu deformasyonlar yapının sönümünü artırmakta, dolayısıyla da deprem talebini azaltmaktadır. Kapasite Spektrum Yönteminde, yapıda meydana gelen elastik olmayan deformasyonlara bağlı olarak elastik talep spektrumu indirgenmekte ve ardışık bir yaklaşım yolu takip edilerek yapıya ait performans noktası belirlenmeye çalışılmaktadır. “Sismik talep, yapının doğrusal olmayan analizi yapılarak, yatay

yüklerin hedef yer değıştirme seviyesine geldiği noktaya kadar etkitilmesi ile hesaplanır” (Goel ve Chopra, 2004).

Performans noktasının yeri, iki ilişkiyi sağlamak zorundadır:

- i. Belirli yer değıştirme için, performans noktası kapasite spektrumu üzerinde bulunmaktadır.
- ii. Performans noktası, aynı yapısal yer değıştirmedeki doğrusal olmayan talebi temsil eden, elastik halden %5 sönümlenmiş tasarım spektrumu olan bir spektral talep eğrisi üzerinde bulunmalıdır.

“Sonuçta, performans noktasının bulunması, istenilen kabul aralığına bu iki şartı sağlayacak şekilde deneme yanılmalar yapılarak bulunmaktadır. Bu iterasyonu yapabilmek için üç yöntem mevcuttur” (ATC-40, 1996).

- A.** Bu kavramın ve ilişkilerin en doğrudan uygulamasıdır. Tamamen iterasyona dayalıdır ancak, bilgisayar ortamında rahatça çözümlenebilmektedir. Grafiksel bir yöntemden çok, bir analitik yöntemdir. Yeni başlayanlar için en iyi yöntem olabilir.
- B.** Kapasite eğrisinin iki doğrultuda modellemesine imkân sağlar. Performans noktası, küçük iterasyonlar ile bulunur. A yöntemi gibi analitik bir yöntemdir. Bilgisayar ortamına aktarılması en rahat olanıdır.
- C.** Performans noktasını bulmak için tamamen bir grafiksel yöntemdir. El ile çözme için en uygun olanıdır ancak bilgisayar ortamında uygulaması zordur.

3.5 Kapasite Spektrumunun Oluşturulması

“Kapasite spektrum yöntemini kullanabilmek için, taban kesme kuvveti ve çatı yer değıştirmesi şeklinde bulunan kapasite eğrisinin, Şekil 3.5’teki İvme-Yer Değıştirme Tepki Spektrumu (İYTS) biçimine çevrilmesi gerekmektedir” (ATC-40, 1996).

$$PF_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n \frac{w_i \phi_{i1}}{g} \right]}{\left[\sum_{i=1}^n \frac{w_i \phi_{i1}^2}{g} \right]} \quad (1)$$

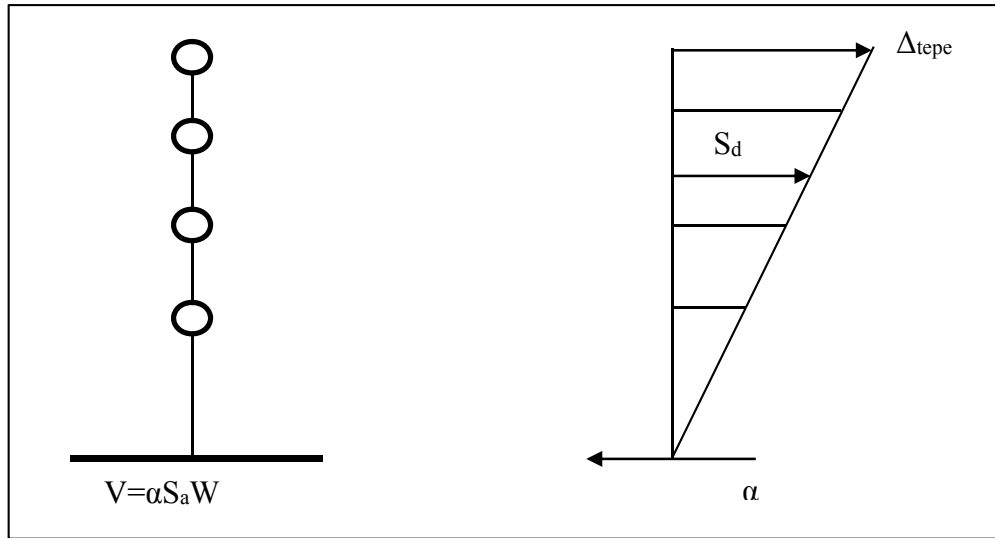
$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n \frac{w_i \phi_{i1}}{g} \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^n \frac{w_i}{g} \right] * \left[\sum_{i=1}^n \frac{w_i \phi_{i1}^2}{g} \right]} \quad (2)$$

$$S_{ai} = \left(\frac{V_i}{W} \right) / \alpha_1 \quad (3)$$

$$S_{di} = \frac{\Delta_{\text{çatı}}}{PF_1 \phi_{1\text{çatı}}} \quad (4)$$

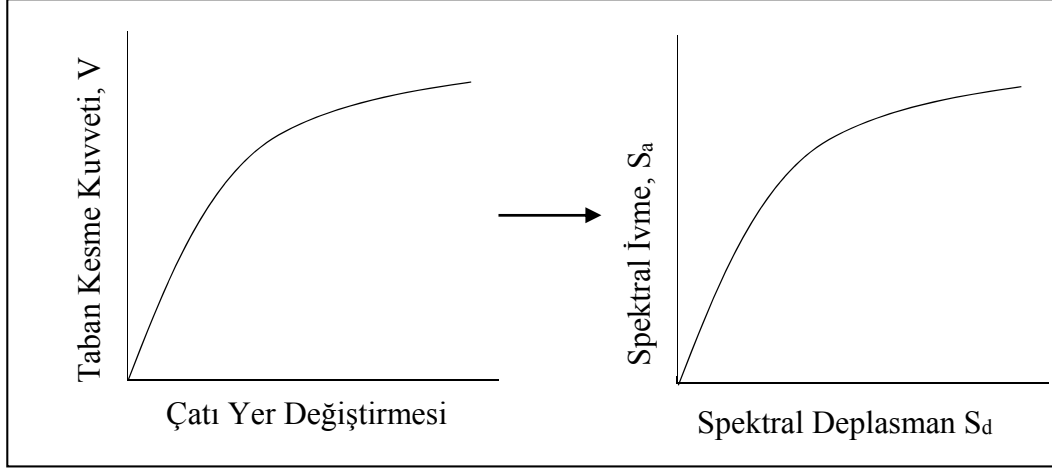
- ❖ PF_1 = Birinci doğal mod için, modal etki katsayısı
- ❖ α_1 = Birinci mod için, modal kütle katsayısı
- ❖ w_i/g = i seviyesindeki atanmış kütle
- ❖ ϕ_{i1} = i seviyesinde birinci modun şiddeti
- ❖ N = kat sayısı
- ❖ V = taban kesme kuvveti
- ❖ W = ölü yük + hareketli yük
- ❖ $\Delta_{\text{çatı}}$ = Çatı yer değiştirmesi
- ❖ S_a = Spektral ivme
- ❖ S_d = Spektral yer değiştirme

Şekil 3.3: İYTS formatı dönüşüm formülleri.



Şekil 3.4: Spektral yer değiştirme.

“Şekil 3.4’te gösterildiği biçimde spektral yer değiştirmenin bulunması için Şekil 3.3’te belirtilen formüller kullanılmaktadır” (Temür, 2007). Kapasite eğrisini İYTS formatındaki kapasite spektrumuna dönüştürmek için yapılması gereken temel işlemler şunlardır: ilk olarak Şekil 3.3’teki denklem (1) ve (2) kullanılarak birinci doğal titreşim modu için modal kütle katsayısı α_1 hesaplanır. Daha sonra kapasite eğrisi üzerindeki her bir nokta Denklem (3) ve (4) kullanılarak S_a (Spektral ivme) ve S_d ’lere (Spektral Yer Değiştirmelere) dönüştürülür.



Şekil 3.5: Kapasite eğrisinin İYTS formatına dönüştürülmesi.

3.6 Talep Spektrumunun Spektral Hale Getirilmesi

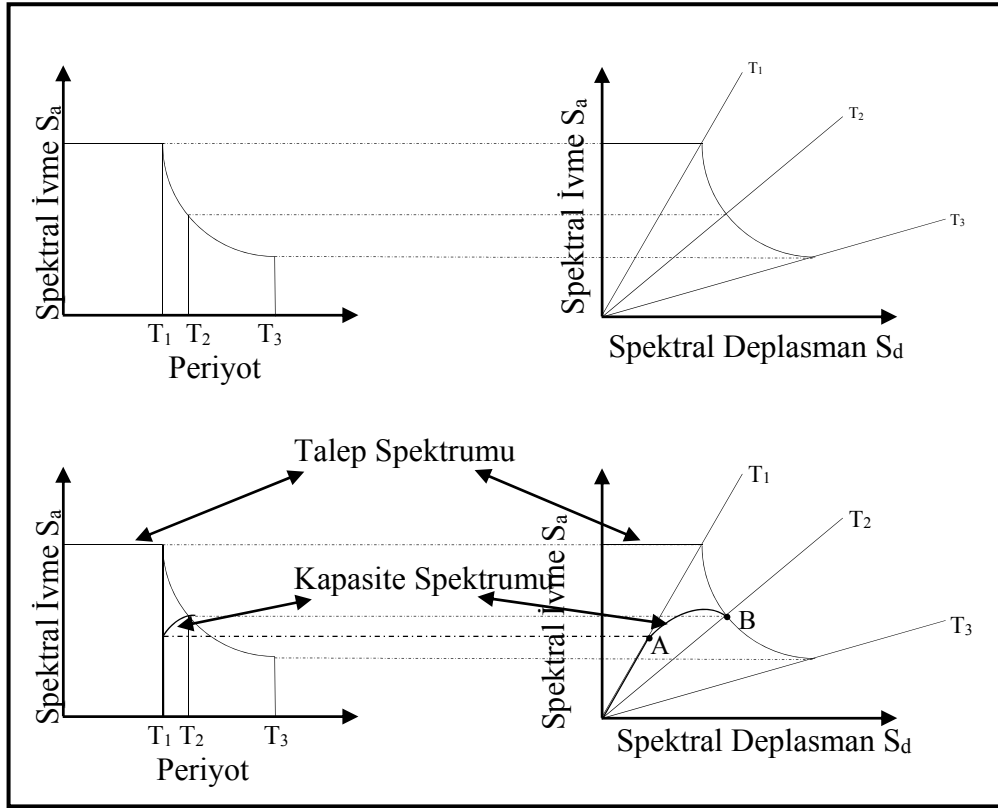
Standart S_d ve T formatındaki spektrumu İYTS formatına çevirmek için S_{di} değerlerini belirlemek gerekir. Bu da aşağıdaki formülle yapılır.

$$S_{di} = \left(\frac{T_i^2}{4\pi^2} \right) \cdot S_{ai} \cdot g \quad (3.1)$$

Standart talep spektrumunda, spektral ivme değerleri için bir sınır vardır. T_i periyodundaki spektral ivme ve hız değerleri aşağıdaki formüllerle bulunur:

$$S_{ai} \cdot g = \frac{2\pi}{T_1} \cdot S_v \quad (3.2)$$

$$S_{di} = \frac{T_i}{2\pi} \cdot S_v \quad (3.3)$$

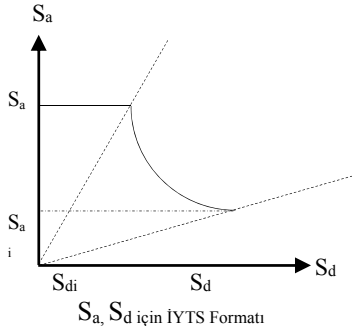
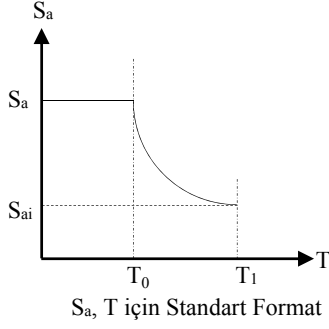


Şekil 3.6: Talep spektrumunun İYTS formatına dönüştürülmesi.

“Şekil 3.6’da görüldüğü gibi kapasite spektrumu, T_1 periyodunda A noktasına kadar sabittir. B noktasına ulaştığında ise periyot T_2 ’dir. Bu durum yapı elastik olmayan davranış göstermeye başladığı zaman periyodunun arttığını ifade eder. Bu periyot artışları, hem geleneksel spektrum hem de İYTS formatlı spektrum üzerinden açıkça gözlemlenebilir” (Temür, 2007).

ATC-40’ta belirtilen talep ve kapasite spektrumuna dönüştürme formülleri Şekil 3.7’de belirtilmiştir.

İYTS SPEKTRUMUNA DÖNÜŞTÜRME



Talep Spektrumuna Dönüştürme

Talep spektrumu üzerindeki her nokta S_a , S_v , S_d ve T değerlerini içermektedir. Standart S_d ve T formatındaki spektrumu İYTS formatına çevirmek için S_{di} değerlerini belirlemek gerekir. Bu da aşağıdaki formülle yapılır:

$$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} * S_{ai} * g$$

Standart talep spektrumunda, spektral ivme değerleri için bir sınır vardır. T_i periyodundaki spektral ivme ve hız değerleri aşağıdaki formüllerle bulunur:

$$S_{ai} * g = \frac{2\pi}{T_i} * S_v$$

$$S_{di} = \frac{T_i}{2\pi} * S_v$$

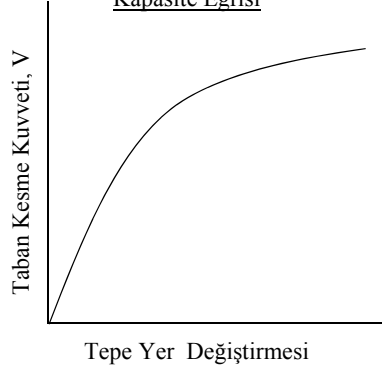
Kapasite Spektrumuna Dönüştürme

Kapasite (itme analizi) eğrisinden kapasite spektrumuna geçmek için birinci mod spektral koordinatlarının noktadan noktaya dönüşümünün yapılması gerekir. Kapasite eğrisi üzerindeki her bir V_i tepe noktası, bunlara karşılık gelen S_{ai} , S_{di} kapasite noktalarına aşağıdaki eşitlikler kullanılarak çevrilir:

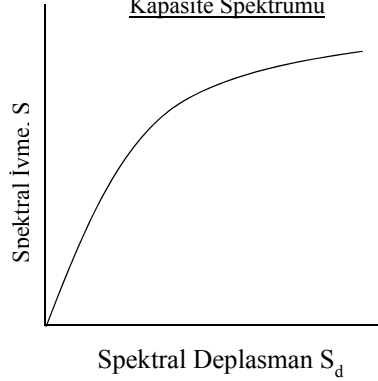
$$S_{ai} = \frac{V_i}{\alpha_1}$$

$$S_{di} = \frac{\Delta_{tepe}}{PF_1 \phi_{1tepe}}$$

Kapasite Eğrisi



Kapasite Spektrumu



Şekil 3.7: İYTS formatına dönüştürme formülleri.

3.7 %5 Sönümlü Elastik Talep Spektrumu Çizimi

“Depremi oluşturacağı etkiyi tanıtabilme amacı ile ATC-40 yönetmeliğine göre C_A ve C_V katsayılarına bağlı %5 sönümlü elastik talep spektrum eğrisi çizilir” (Temür, 2007).

C_A : Zemin etkili maksimum ivme

C_V : 1 saniye periyoda sahip sistemin %5 dönümlü spektrum değeri

“Yumuşak zeminlerde tasarım yapılırsa, büyük depremler için C_A katsayısı 1,1 C_V katsayısı 1,5 ile çarpılır. Etkinin küçük olduğu zeminlerde ise C_A 1,0 C_V ise 3,0 ile çarpılır” (ATC-40, 1996).

Çizelge 3.4’te belirtilen C_A ve Çizelge 3.5’te belirtilen C_V değerleri, Çizelge 3.1, 3.2 ve 3.3’te belirtilen

- i. Deprem Bölgesi
- ii. Deprem Kaynağına Olan Mesafe
- iii. Deprem Türü
- iv. Zemin Sınıfı

değerlerine bağlı olarak bulunur.

Çizelge 3.1: Deprem bölge katsayısı.

Bölge	4	3		2	1	TR
	1	2A	2B	3	4	ATC-40
$Z (A_0)$	0,0075	0,15	0,2	0,3	0,4	

Çizelge 3.2: Kaynağa mesafe katsayısı.

Sismik Kaynak Tipi	Deprem Kaynağına Bilinen Mesafe							
	≤ 2 km		5km		10km		≥ 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

Çizelge 3.3: Deprem kaynak tipi.

<i>Sismik Kaynak Açıklaması</i>			
<i>Sismik Kaynak Tipi</i>	<i>Tanımlama</i>	<i>Maksimum Moment</i>	<i>Kayma Oranı</i>
<i>A</i>	Büyük Bir Deprem Oluşturacak Kaynak	$M \geq 7.0$	$SR \geq 5$
<i>B</i>	Orta Derece Deprem Oluşturacak Kaynak	Uygulanamaz	Uygulanamaz
<i>C</i>	Küçük Deprem Oluşturacak Kaynak	$M < 6.5$	$SR < 2$

Hesaplamalarda kullanılacak E değeri;

- i. Kullanım depremi için: $E=0.5$
- ii. Tasarım depremi için: $E=1.0$
- iii. Maksimum Deprem için;
 - a) 4. Bölge: $E=1.25$
 - b) 3. Bölge: $E=1.50$

Zemin Sınıfları :

- i. S_B : Kaya
- ii. S_C : Yoğun Toprak Ve Kaya
- iii. S_D : Sert Toprak
- iv. S_E : Yumuşak Toprak
- v. S_F : Kil

Çizelge 3.4: C_A , zemin etkili maksimum ivme.

<i>Deprem Katsayısı ZEN</i>						
<i>Zemin Sınıfı</i>	$= 0.075$	$= 0.15$	$= 0.2$	$= 0.3$	$= 0.4$	> 0.40
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	0.3	0.34	0.36	0.36	0.9(ZEN)
S_F	Yerinde zemin incelemesi gerekmektedir					

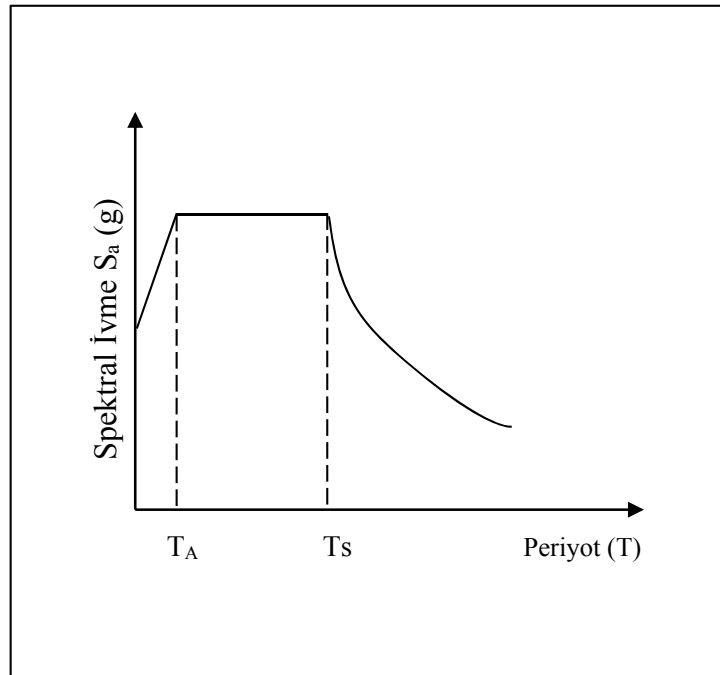
Çizelge 3.5: C_v , 1 saniye periyoda sahip sistemin %5 dönümlü spektrum değeri.

<i>Deprem Katsayısı ZEN</i>						
<i>Zemin Sınıfı</i>	= 0.075	= 0.15	= 0.2	= 0.3	= 0.4	> 0.40
S_B	0.085	0.15	0.20	0.30	0.40	1.0(ZEN)
S_C	0.13	0.25	0.32	0.45	0.56	1.0(ZEN)
S_D	0.18	0.32	0.40	0.54	0.64	1.1(ZEN)
S_E	0.26	0.50	0.64	0.84	0.96	0.9(ZEN)
S_F	Yerinde zemin incelemesi gerekmektedir					

C_A ve C_v katsayıları bulunduğundan sonra T_s ve T_A değerlerine bağlı olarak Şekil 3.8’te belirtilen %5 sönümlü elastik talep spektrumu çizilir. $2.5C_A$ da %5’lik sönümlü kısa periyotlu sistemin maksimum ivmesine karşı gelmektedir.

$$T_s = \frac{C_v}{2.5C_a} \quad (3.4)$$

$$T_A = 0.2T_s \quad (3.5)$$

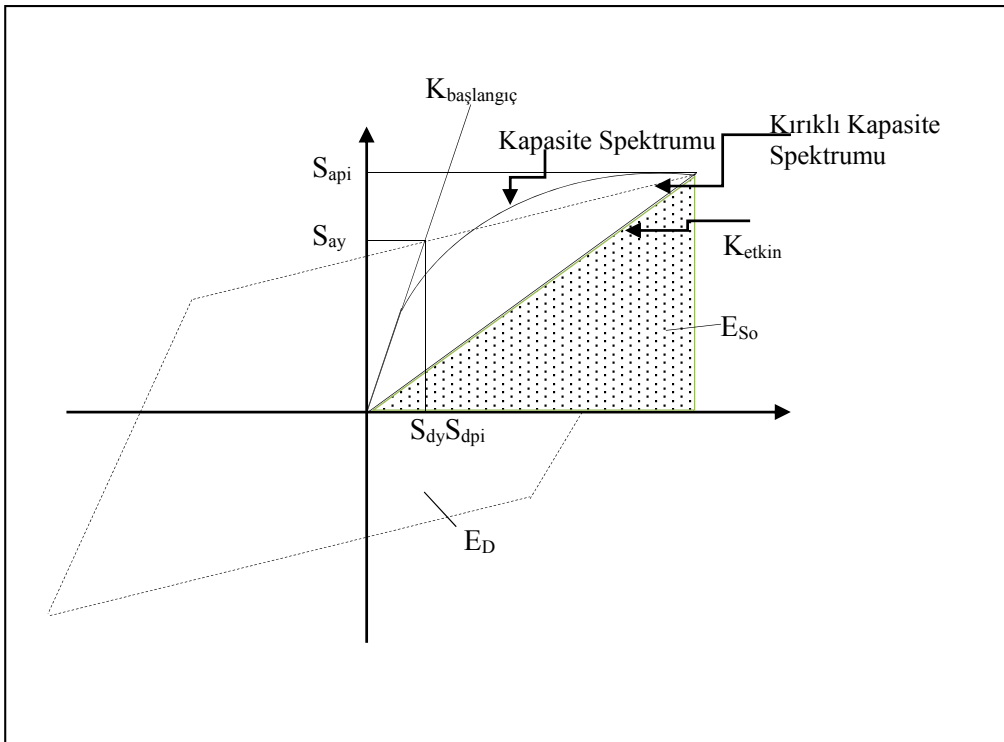


Şekil 3.8: %5 Sönümlü elastik spektrum eğrisi.

3.8 Etkin Sönüm Tahmini ve %5 Sönümlü Elastik Talep Spektrumunun İndirgenmesi

“Yapıyı plastik deformasyona zorlayan deprem hareketi, sönüm oluşturmaktadır. Yapının viskoz sönümünün ve histerik sönümünün bileşkesidir. Histerik sönüm, deprem anındaki taban kesme kuvveti ve yapı deplasmanının oluşturduğu eğrilerin içinde kalan alanla ilgilidir. Histerik sönüm, eşdeğer viskoz sönüm cinsinden ifade edilebilir” (ATC-40, 1996).

Yapıda oluşacak plastik yer değiştirmeye bağlı sönümleme, ATC-40’ta Şekil 3.9’da belirtildiği şekildedir.



Şekil 3.9: %5 Sönümlü elastik talep spektrumunun indirgenmesi.

“Bu eğri içinde Deprem etkisi altında yer değiştirme ile yük arasındaki veya benzer olan spektral yer değiştirme ile spektral ivme arasındaki bağıntı, elastik sınır aşıldığında bir çevrimsel değişim gösterir. Bu değişim sönüm ile orantılıdır. Bu sönüm β_0 olarak eşdeğer viskoz sönüme dönüştürülür” (Temür, 2007).

$$\beta_{eff} = \kappa\beta_0 + 0.05 \quad (3.6)$$

$$\beta_0 = \frac{E_D}{4\pi E_{S0}} \quad (3.7)$$

E_D : Bir çevrimde sönümle tüketilen enerji

E_{s0} : Maksimum şekil değiştirmesi enerjisi

Geometrik bağlantılar kullanıldığında;

$$B_{eff} = \kappa\beta_o + 0.05 = 0.05 + \frac{0.64\kappa(S_{dpi} - S_{dy}S_{api})}{S_{api}S_{dpi}} \quad (3.8)$$

- S_{dy} ve S_{ay} elastik davranış sınırındaki, S_{dpi} ve S_{api} hedeflenen performans noktasındaki spektral ivme ve yer değiştirmelerdir.
- Paralel kenarın doğruluğu için Çizelge 3.6’da belirtilen bina davranış tipine göre, Çizelge 3.7’de açıklanan κ düzeltme katsayısı konulmaktadır.

Çizelge 3.6: Bina davranış tipi.

<i>Deprem Süresi</i>	<i>Yeni Bina</i>	<i>Orta Mevcut Yapı</i>	<i>Zayıf Mevcut Yapı</i>
<i>Kısa</i>	A	B	C
<i>Uzun</i>	B	C	C

Çizelge 3.7: Sönüm düzeltme katsayısı.

<i>Davranış Tipi</i>			
	A	B	C
κ	1,00	0,67	0,33

Doğrusal olmayan davranışın göz önüne alınması için SR_A ve SR_V katsayıları ile güvenli tarafa geçilir. Bu katsayılar;

$$\beta_{eff} = \frac{63.7\kappa}{\alpha_{pi}d_{pi}}(ay_{dpi} - dy_{api}) + 5 \quad (3.9)$$

$$SR_A = BS = \frac{1}{2.12}(3.21 - 0.68 \ln \beta_{eff}) \quad (3.11)$$

$$SR_V = \frac{1}{BL} = \frac{1}{1.65}(2.31 - 0.41 \ln \beta_{eff}) \quad (3.12)$$

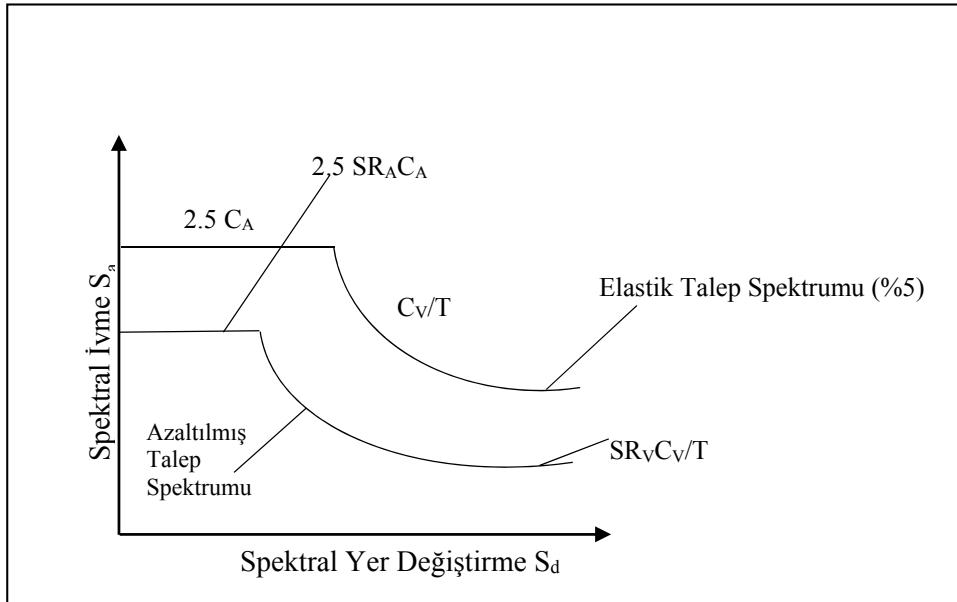
Ancak Çizelge 3.8’de belirtilen minimum değerlerden küçük olamazlar.

Çizelge 3.8: Minimum SR_A ve SR_V katsayıları.

	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
SR_A	0,33	0,44	0,56
SR_V	0,50	0,56	0,67

Çizelge 3.9: Yapı eşdeğer viskoz sönüme oranları.

	<i>A</i>			<i>B</i>			<i>C</i>		
β_o	B_{eff}	SR_A	SR_V	B_{eff}	SR_A	SR_V	B_{eff}	SR_A	SR_V
0	5	1.00	1.00	5	1.00	1.00	5	1.00	1.00
5	10	0.78	0.83	8	0.83	0.87	7	0.91	0.93
15	20	0.55	0.66	15	0.64	0.73	10	0.78	0.83
25	28	0.44	0.57	22	0.53	0.63	13	0.69	0.76
35	35	0.38	0.52	26	0.47	0.59	17	0.61	0.70
≥ 45	40	0.33	0.50	29	0.44	0.56	20	0.56	0.67



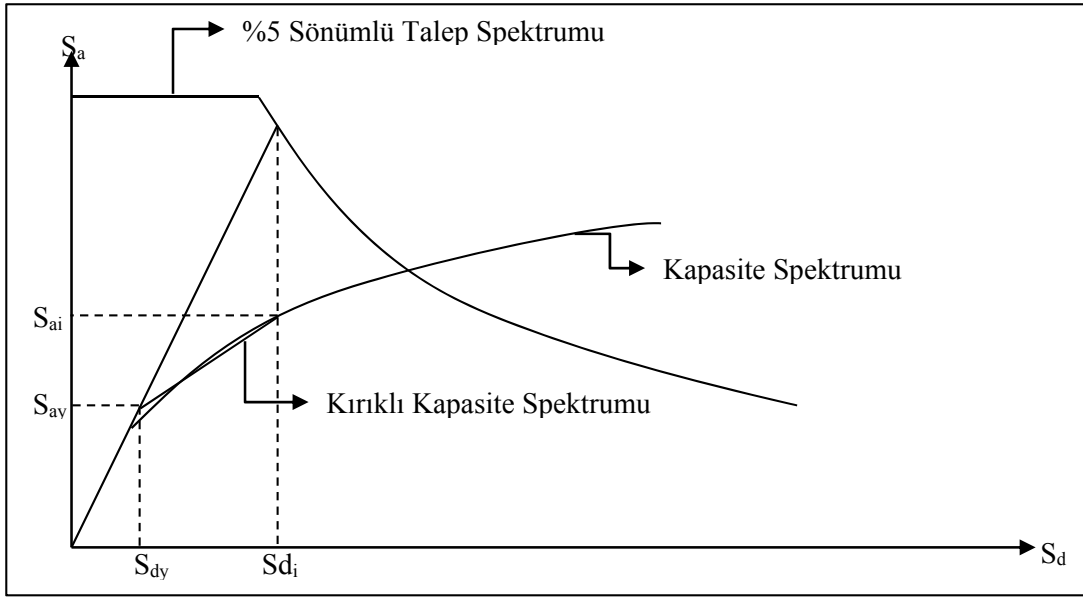
Şekil 3.10: İndirgenmiş tepki spektrumu.

Sonuçta, Çizelge 3.9’da belirtilen değerce, Şekil 3.10’da belirtilen indirgenmiş talep spektrumu oluşturulmaktadır.

3.9 Kapasite Spektrumunun Kırıklı Hale Getirilmesi

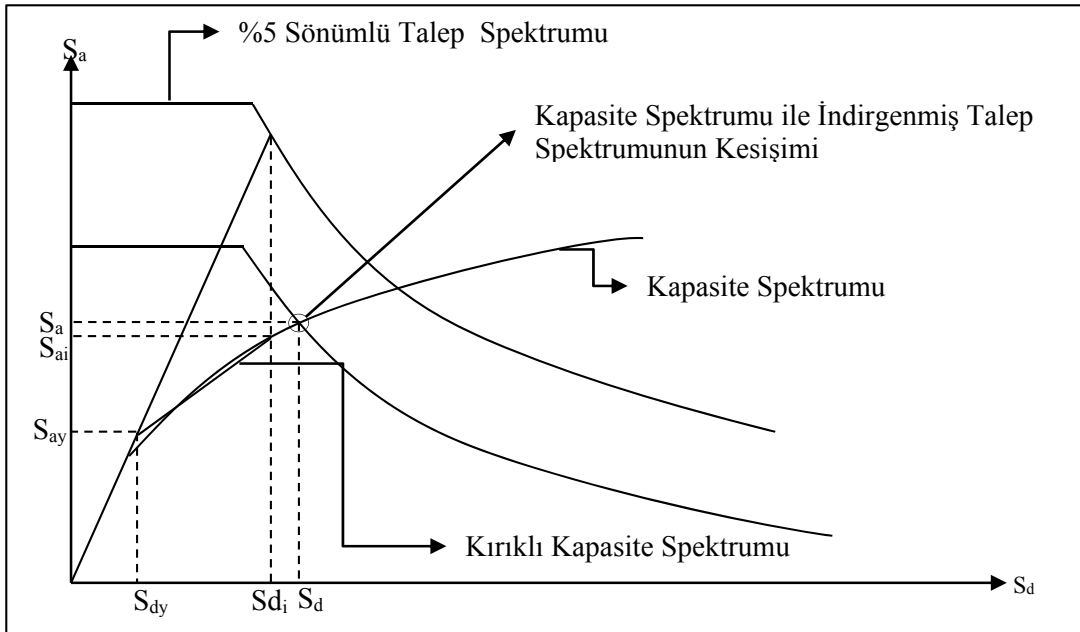
Deprem anında, yapı elemanları plastik şekil değiştirme yapabildiğinden yapı periyodu ve sönümlemesi artmaktadır. Kapasite spektrumu Şekil 3.11’de gösterilen şekilde kırıklı hale geçirilmesi ile sistem efektif periyodu bulunabilmektedir.

İndirgenmiş talep spektrumunun tahmin edilmesi için Sai ve Sdi değerlerinin belirlenmesi gerekir. Koordinatları Sai ve Sdi olarak bulunan nokta, başlangıç performans noktası olarak adlandırılır. Bu noktanın tahmini için, öncelikle göz önüne alınan deprem bölgesine bağlı olarak %5 sönümlü talep spektrumu ve kapasite spektrumu Sekil 3,7’de görüldüğü gibi üst üste çizilir. Kapasite eğrisinin doğrusal kısmı uzatılarak %5 sönümlü talep spektrumu ile kesiştirilir. Bu kesişim noktasının kapasite eğrisi üzerindeki düşey izdüşümü alınarak başlangıç performans noktasının koordinatları olan Sai ve Sdi bulunur. Bu nokta belirlenirken, yapının bu noktada gerek elastik, gerekse plastik davranışında aynı deplasmanı yapacağı kabul edilmiştir”. (ATC-40, 1996)



Şekil 3.12: Kırıklı kapasite spektrumu 2.

3.10 Kapasite ve Talep Spektrumunun Kesiştirilmesi



Şekil 3.13: Performans noktasının bulunması.

Şekil 3.13'te gösterilen şekilde, kapasite spektrumu ile indirgenmiş talep spektrumunun kesişim noktasının yatay koordinatı olan S_d spektral deplasmanı, başlangıç performans noktasının yatay koordinatı olan S_{di} spektral deplasmanından $\pm$ %5 kadar farklı ise ($0,95 S_{di} \leq S_d \leq 1,05 S_{di}$) bulunan performans noktası, gerçek performans noktası olarak kabul edilebilir. Eğer kapasite spektrumu ile talep

spektrumunun kesişim noktası, kabul edilebilir toleranslar içinde değilse, yeni bir Sai, Sdi noktası seçilir ve iterasyona devam edilir. Şayet bir önceki iterasyonda bulunan performans noktası, yeni başlangıç performans noktası olarak alınırsa yapılan iterasyonun gerçek performans noktasına yaklaşımı daha hızlı olur. Performans noktası deprem yer hareketine karşılık binada oluşabilecek maksimum yapısal yer değiştirmeyi gösterir.

4. SAP 2000'DE STATİK İTME MODELLEMESİ

4.1 Bina Modellemesi

Bu bölümde, SAP 2000 v15.2.1'de örnek bir betonarme çerçeve sistem için itme analizi modellemesinin nasıl yapıldığı bir örnek olarak anlatılmıştır. Bu alanda, CSI firmasının kendi hazırladığı SAP2000'de statik itme analizi kılavuzundan yararlanılmıştır. (CSI, 1998)

4.1.1 Malzeme Tanımları

Öncelikli olarak Şekil 4.1'de belirtilen beton tanımlaması yapılır. Beton karakteristik özellikleri tanımlanarak, yapı elemanları için kullanacağımız beton sınıfı ayarlanmış olur.

The image shows a 'Material Property Data' dialog box for defining the properties of C30 concrete. The dialog is organized into several sections:

- General Data:**
 - Material Name and Display Color: C30 (with a red color swatch)
 - Material Type: Concrete (dropdown menu)
 - Material Notes: Modify/Show Notes...
- Weight and Mass:**
 - Weight per Unit Volume: 2.5493
 - Mass per Unit Volume: 0.26
- Units:**
 - Units: Tonf, m, C (dropdown menu)
- Isotropic Property Data:**
 - Modulus of Elasticity, E: 3059148.6
 - Poisson's Ratio, U: 0.2
 - Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.000E-05
 - Shear Modulus, G: 1274645.2
- Other Properties for Concrete Materials:**
 - Specified Concrete Compressive Strength, f_c: 3059.1486
 - ☐ Lightweight Concrete
 - Shear Strength Reduction Factor: (empty field)
- Switch To Advanced Property Display:** ☐

At the bottom of the dialog are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Şekil 4.1: C30 beton tanımlaması.

C30 beton tanımlandıktan sonra, Şekil 4.2’te belirtilen beton donatıları için demir özellikleri tanımlanır.

The image shows a 'Material Property Data' dialog box for defining the properties of S420A rebar. The dialog is organized into several sections:

- General Data:** Material Name and Display Color is set to 'S420A' with a blue color swatch. Material Type is set to 'Rebar'. There is a 'Modify/Show Notes...' button.
- Weight and Mass:** Weight per Unit Volume is 7.849 and Mass per Unit Volume is 0.8004. Units are set to 'Tonf, m, C'.
- Uniaxial Property Data:** Modulus of Elasticity, E is 20389019. Poisson's Ratio, U is 0. Coefficient of Thermal Expansion, A is 1.170E-05. Shear Modulus, G is 0.
- Other Properties for Rebar Materials:** Minimum Yield Stress, Fy is 42000. Minimum Tensile Stress, Fu is 52000. Expected Yield Stress, Fye is 42000. Expected Tensile Stress, Fue is 52000.

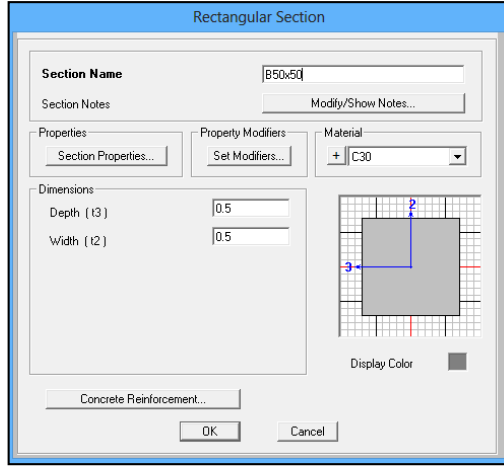
At the bottom, there is a checkbox for 'Switch To Advanced Property Display' and 'OK' and 'Cancel' buttons.

Şekil 4.2: S420 tanımlanması.

Malzemeler tanımlandıktan sonra, kiriş özellikleri ve kolon özellikleri tanımlanır. “Elemanların donatı yerleşimi ve mevcut alanları esas alınarak karşılıklı etki diyagramları ve moment-dönme bağıntıları kullanıcı tarafından belirlenir” (Darılmaz, t.y.)

4.1.2 Kiriş Tanımlaması

Şekil 4.3’te gösterilen pencerede kirişlerin öncelikle yükseklikleri ve genişlikleri tanımlanır. Daha sonra kullanılacak beton sınıfı ve donatı sınıfı belirlenir. İsteğe göre, şekil 4.4’te gösterilen pencereden ön donatı koyulabilir veya programın analiz sonrası kendisinin kiriş donatı hesabı yapması sağlanabilir.



Rectangular Section

Section Name [B50x50]

Section Notes [Modify/Show Notes...]

Properties [Section Properties...]

Property Modifiers [Set Modifiers...]

Material [+ C30]

Dimensions

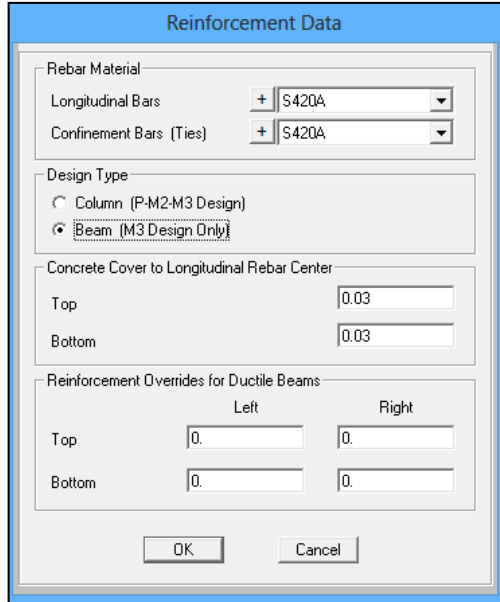
Depth (t3) [0.5]

Width (t2) [0.5]

Concrete Reinforcement... [OK] [Cancel]

Display Color [X]

Şekil 4.3: Kiriş tanımlaması.



Reinforcement Data

Rebar Material

Longitudinal Bars [+ S420A]

Confinement Bars (Ties) [+ S420A]

Design Type

☐ Column (P-M2-M3 Design)

☒ Beam (M3 Design Only)

Concrete Cover to Longitudinal Rebar Center

Top [0.03]

Bottom [0.03]

Reinforcement Overrides for Ductile Beams

	Left	Right
Top	[0.]	[0.]
Bottom	[0.]	[0.]

[OK] [Cancel]

Şekil 4.4: Kiriş donatısı.

4.1.3 Kolon Tanımlaması

Şekil 4.5'te belirtilen pencerede kolonların en ve boyları belirlenir. Sonrasında beton sınıfları seçilir.

Rectangular Section

Section Name: C60x60

Section Notes: [Modify/Show Notes...](#)

Properties: [Section Properties...](#)

Property Modifiers: [Set Modifiers...](#)

Material: + C30

Dimensions:
 Depth (t3): 0.6
 Width (t2): 0.6

Reinforcement Diagram: A grid showing a rectangular section with 8 red dots representing reinforcement bars. Blue arrows indicate dimensions: 2 for the vertical spacing and 3 for the horizontal spacing.

Display Color: ■

[Concrete Reinforcement...](#)

[OK](#) [Cancel](#)

Şekil 4.5: Kolon tanımlaması.

Şekil 4.6’da ki pencereden betonarme tasarım için önceden donatılar belirlenebilir, etriye çapları ve aralıkları, donatı pas payları belirlenebilir. Sadece donatıların geometrik dizilimi seçilerek te bırakılabilir. SAP2000 analiz sonrası içerisindeki mevcut şartnamelerden istenilene göre veya kullanıcının atayacağı tasarım öğelerine göre betonarme tasarımı da yapabilmektedir.

Reinforcement Data

Rebar Material:
 Longitudinal Bars: + S420A
 Confinement Bars (Ties): + S420A

Design Type:
☒ Column (PM2M3 Design)
☐ Beam (M3 Design Only)

Reinforcement Configuration:
☒ Rectangular
☐ Circular

Confinement Bars:
☒ Ties
☐ Spiral

Longitudinal Bars - Rectangular Configuration:
 Clear Cover for Confinement Bars: 0.03
 Number of Long Bars Along 3-dir Face: 4
 Number of Long Bars Along 2-dir Face: 4
 Longitudinal Bar Size: + 26d

Confinement Bars:
 Confinement Bar Size: + 8d
 Longitudinal Spacing of Confinement Bars: 0.15
 Number of Confinement Bars in 3-dir: 2
 Number of Confinement Bars in 2-dir: 2

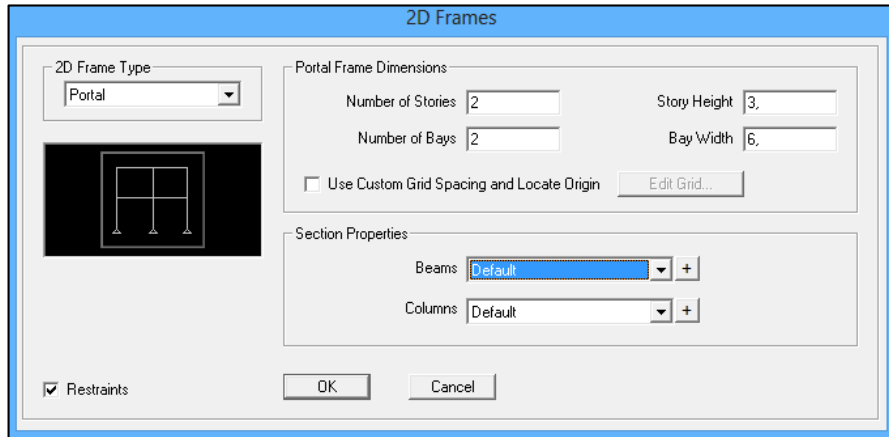
Check/Design:
☒ Reinforcement to be Checked
☐ Reinforcement to be Designed

[OK](#) [Cancel](#)

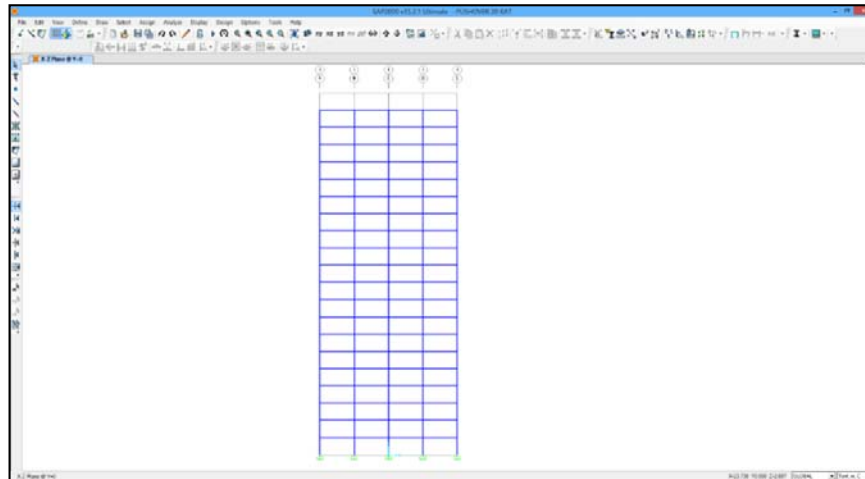
Şekil 4.6: Kolon donatıları.

4.1.4 Modelin Oluşturulması

şekil 4.7’de gösterilen pencereden modelleme oluşturulurken kolonlar ve kirişler için önceden tanımlanmış olan kolon ve kiriş özelliklerinin ataması yapıldıktan sonra, yapı kat sayısı, kat yüksekliği ile aks genişliği ve sayısı belirlendikten sonra, isteğe bağlı kolon tabanlarına mesnet ataması yapılabilir veya modelleme sonrası el ile atamaları yapılabilir. Sonucunda, şekil 4.8’de gösterildiği şekilde yapı iskeleti oluşmaktadır.



şekil 4.7: Modelin oluşturulması.

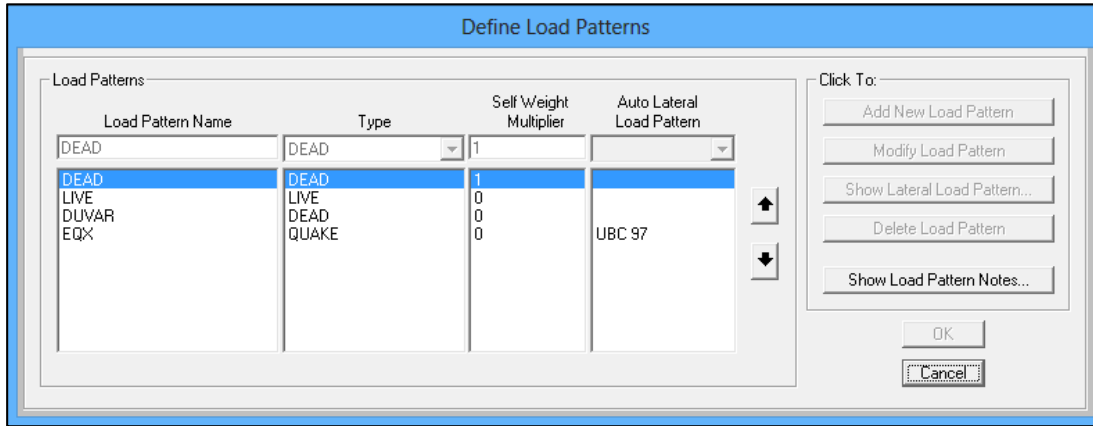


şekil 4.8: 20 Katlı, 4 açıklıklı bina modeli.

4.1.5 Yüklerin Tanımlanması

- i. l
- ii. Hareketli
- iii. Duvar
- iv. Deprem

şeklinde Şekil 4.9’da gösterilen pencerede 4 adet yük tanımlanır.



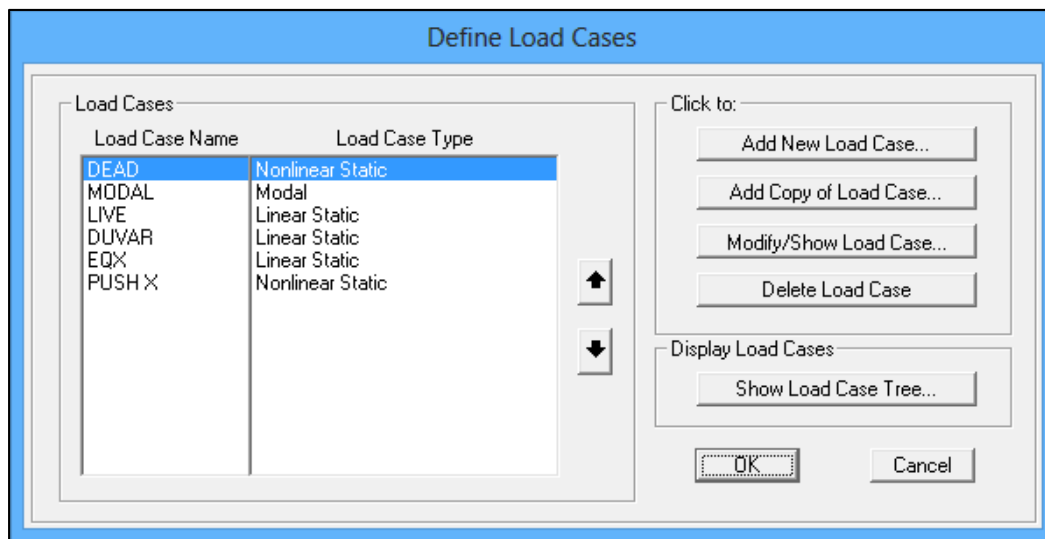
Şekil 4.9: Yük tanımlamaları.

4.1.6 Yükleme Durumlarının Tanımlanması

Şekil 4.10’deki pencerede

- i. DEAD
- ii. MODAL
- iii. LIVE
- iv. EQX
- v. DUVAR
- vi. PUSH X

olmak üzere 6 adet yük durumu tanımlanmıştır.



Şekil 4.10: Yükleme durumu tanımları.

İtme analizi için doğrusal olmayan analiz yapılacağından öncelikle ölü yük Şekil 4.11’de belirtilen pencereden doğrusal olmayan hale getirilir.

Load Case Data - Nonlinear Static

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

Load Case Type: Static [Design...]

Initial Conditions:
☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
☐ Continue from State at End of Nonlinear Case []
 Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type:
☐ Linear
☒ Nonlinear
☐ Nonlinear Staged Construction

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

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	DEAD	1.0
Load Pattern	DEAD	1.0

[Add] [Modify] [Delete]

Other Parameters:
 Load Application: Full Load [Modify/Show...]
 Results Saved: Final State Only [Modify/Show...]
 Nonlinear Parameters: Default [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Şekil 4.11: Ölü yükün doğrusal olmayan hale getirilmesi.

4.1.7 Kütle Kaynağı Tanımlama

Kütle kaynağı için Şekil 4.12’de belirtilen pencerede ölü yük (G) ve hareketli yük (Q) kombinasyonu kullanılmaktadır: $1,0 * G + 0,3 * Q$.

Define Mass Source

Mass Definition:
☐ From Element and Additional Masses
☒ From Loads
☐ From Element and Additional Masses and Loads

Define Mass Multiplier for Loads:

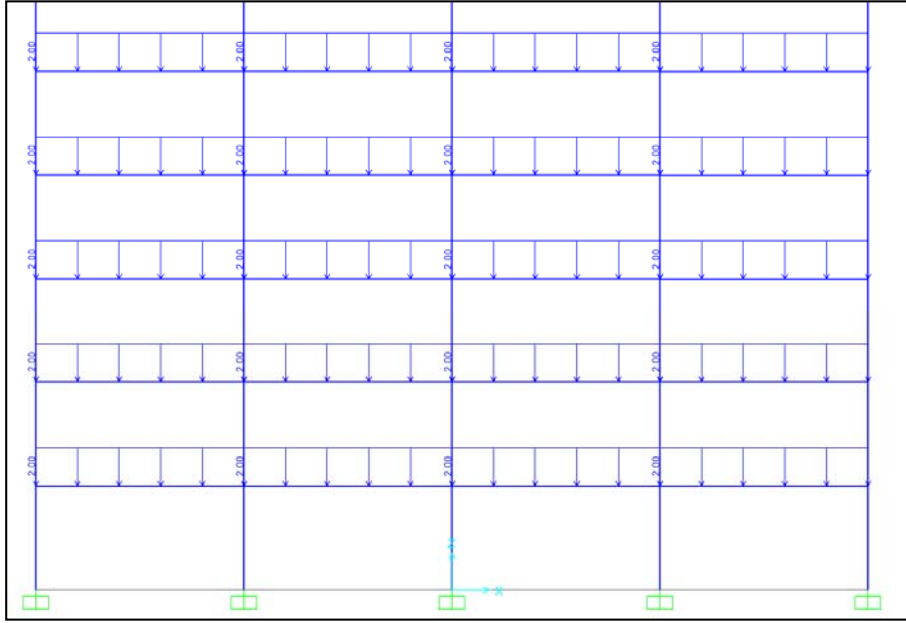
Load	Multiplier
DEAD	1.0
DEAD	1.0
LIVE	0.3
DUVAR	1.0

[Add] [Modify] [Delete]

[OK] [Cancel]

Şekil 4.12: Kütle kaynağı.

4.1.8 Yüklerin Uygulanması



Şekil 4.13: Örnek yük uygulaması

Şekil 4.13’te örneklendiği şekilde, yapı taşıyıcı elemanlarının modellenmesi sonrası, maruz kalacakları yükler, yapı üzerine etkililir.

4.1.9 Deprem Yükünün Uygulanması

Deprem hesabı ve betonarme taraşımda, SAP2000’de tanımlı şartnamelerden birisi kullanılabilir.

İlk önce, istenilen şartnamede tanımlı talep spektrumu, sismik katsayılar olan C_A ve C_v 0,4 olmak şartı ile, Şekil 4.14’te gösterilen periyot – ivme spektrumu oluşturulur.

Response Spectrum UBC 97 Function Definition

Function Name UBC97

Parameters

Seismic Coefficient, Ca 0.4

Seismic Coefficient, Cv 0.4

Function Damping Ratio 0.05

Define Function

Period	Acceleration
0.	0.4
0.08	1.
0.4	1.
0.6	0.6667
0.8	0.5
1.	0.4
1.2	0.3333
1.4	0.2857
1.6	0.25

Function Graph

Şekil 4.14: Deprem talep spektrumu fonksiyonu tanımı.

Talep spektrumu ayarlandıktan sonra, yükleme durumu belirlenmektedir. Yükleme durumu tipi olarak talep spektrumu ayarlanır. Etki edilen yük, pozitif yönde ivme olacak şekilde kabul edilen talep spektrum fonksiyonu kullanılarak, ölçeklendirme katsayısı ile orantılanarak, deprem kuvveti tanımlaması Şekil 4.15'teki biçimde tamamlanır.

Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name EQX

Notes

Modal Combination

☒ CQC ☐ SRSS ☐ Absolute ☐ GMC ☐ NRC 10 Percent ☐ Double Sum

GMC R1 1.

GMC R2 0.

Periodic + Rigid Type SRSS

Load Case Type Response Spectrum

Directional Combination

☒ SRSS ☐ CQC3 ☐ Absolute

Scale Factor

Modal Load Case

Use Modes from this Modal Load Case MODAL

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	UBC97	0.49
Accel	U1	UBC97	0.49

☐ Show Advanced Load Parameters

Other Parameters

Modal Damping Constant at 0.05

Şekil 4.15: Deprem yükünün belirlenmesi.

(kontrol noktası deplasmanı, genellikle en üst kat deplasmanı) eğrisinin (kapasite eğrisi) elde edilmesi analizidir. Bu analizler noktasal mafsalları kabulü (point hinge) ile gerçekleştirilmiştir.

“Doğrusal olmayan davranış, çerçeve sistem yapılar için plastik mafsallarda yoğunlaşmaktadır” (Kadid ve Bourmik, 2008)”. Bu nedenle itme Analizi modellemesinde ilk olarak, kolon ve kirişlere mafsalları tanımlamaları yapılmalıdır. İtme analizi sonrası, bu koyulan mafsallarda, hangi ölçüde hasar olduğuna karar verilip, deprem sonrası elemanların her birinde oluşacak hasar boyutu görülmektedir. Bunun için öncelikle tüm kolonların seçilmesinden sonra mafsalları atamaları yapılır. Burada SAP2000 otomatik olarak FEMA 356 şartnamesinden mafsalları atamalarını yapmaktadır. Tek yönlü tasarım olduğundan serbestlik derecesi olarak “P-M3” seçmek yeterli olmaktadır. Elemanlarda oluşacak hasarı görmek istediğimizden, mafsalları yük taşıma kapasiteleri, elastik bölge aşıldığında da devam etmesi istenmesinden dolayı, “E Noktasından (mafsalları kapasite eğrisinde çökme seviyesi)” sonra devam edecek şekilde Şekil 4.17’deki biçimde ayarlanır.

Şekil 4.17: Mafsalları ataması 1.

Atamalar, kolonun 2 uç noktasına da yerleştirileceğinden, kolonun diğer ucuna da Şekil 4.18’de gösterilen aynı mafsalları ataması yapılır.

Frame Hinge Assignments

Frame Hinge Assignment Data

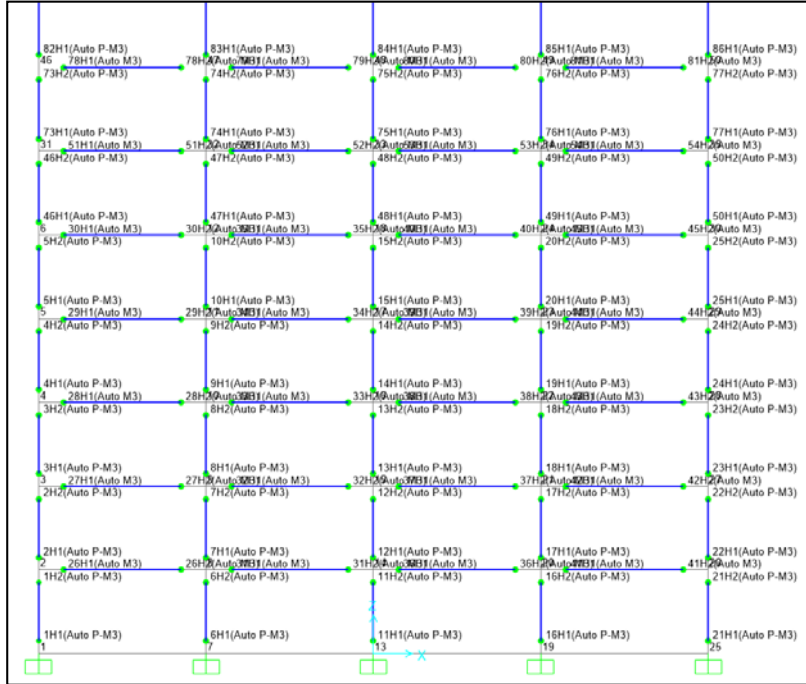
Hinge Property	Relative Distance
Auto	1.
Auto P-M3	0.
Auto P-M3	1.

Auto Hinge Assignment Data

Type: From Tables In FEMA 356
Table: Table 6-8 (Concrete Columns - Flexure) Item i
DOF: P-M3

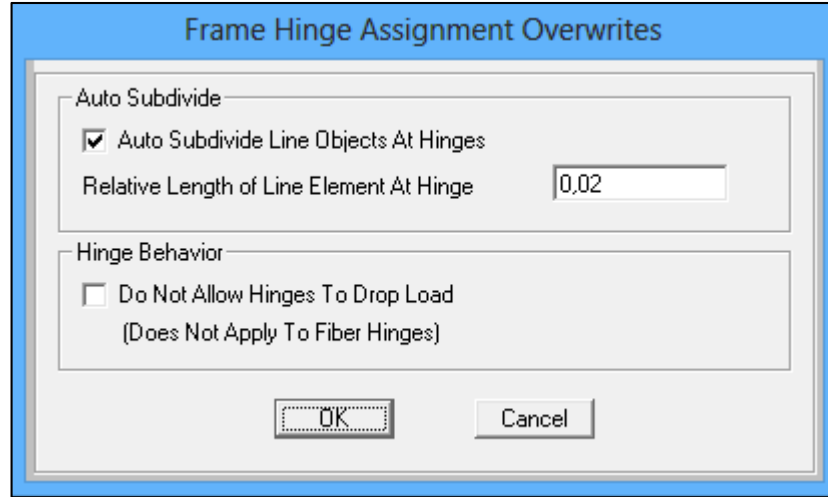
Şekil 4.18: Mafsal ataması 2.

Aynı işlem kirişler içinde yapıldıktan sonra, bütün yapıdaki kolon kiriş birleşimlerinde mafsallarımız Şekil 4.19'da görülebildiği üzere bulunur hale gelmektedir.

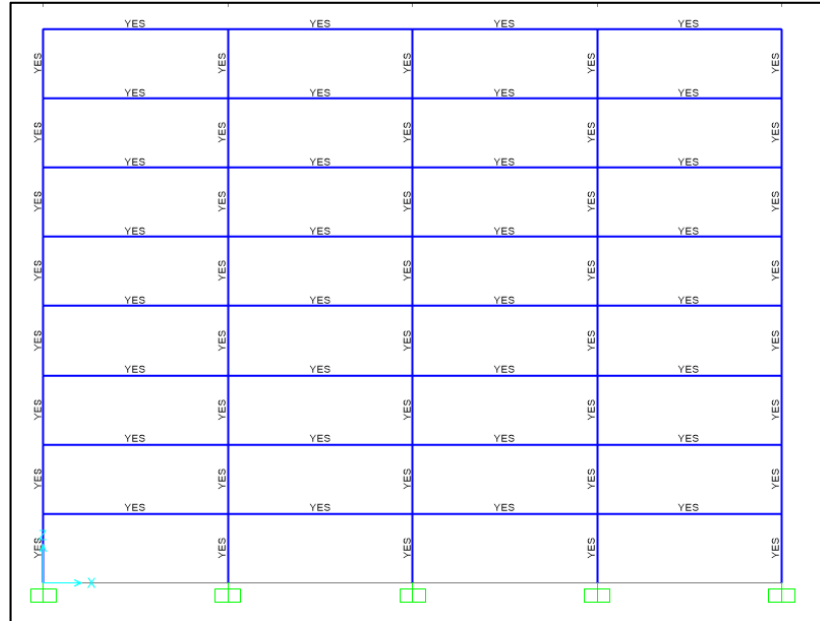


Şekil 4.19: Mafsal ataması 3.

Yazılımda mukavemet kaybı otomatik olarak %10 da sınırlamaya ayarlıdır. Daha keskin bir mukavemet kaybının göz önüne alınması için küçük orantısal bir uzunluk olarak kabul mümkün olmaktadır. Bu nedenle Şekil 4.20’de belirten ayarlamalar yapılır ve doğrulu Şekil 4.21’deki şekilde kontrol edilir.



Şekil 4.20: Mafsal düzenlemeleri.



Şekil 4.21: Mafsal düzenlemeleri 2.

Mafsal tanımından sonra, itme analiz modellemesi için Şekil 4.22’de gösterilen “PUSH X”(istenilen isim verilebilmektedir), doğrusal olmayan yükleme durumu tanımlaması yapılır.

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: PUSH X [Set Def Name] [Modify/Show...]

Load Case Type: Static [Design...]

Initial Conditions:
☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
☒ Continue from State at End of Nonlinear Case [DEAD : PUSH]
Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

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

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Accel	UX	-1.
Accel	UX	-1.

[Add] [Modify] [Delete]

Analysis Type:
☐ Linear
☒ Nonlinear
☐ Nonlinear Staged Construction

Geometric Nonlinearity Parameters:
☐ None
☒ P-Delta
☐ P-Delta plus Large Displacements

Other Parameters:
Load Application: Displ Control [Modify/Show...]
Results Saved: Multiple States [Modify/Show...]
Nonlinear Parameters: Default [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Şekil 4.22: X yönü itme analizi kuvveti tanımlaması.

İtme analizi yükleme durumu için, yükleme uygulaması ayarlarının yapılması gerekmektedir. Yük uygulama kontrolü, itme analizi ile yapılacağından ve çatı yer değiştirmesi kontrolü ile analiz gerçekleştirileceğinden, yük uygulama ayarı mesafe kontrolü olarak ayarlanmalıdır. Kontrol mesafesi için belirlenmiş gözlemlenen yer değiştirme ayarlı mevcut olmalıdır. Kontrol mesafesi, kat yüksekliğinin yüzde dördü bir büyüklükte esas alınmaktadır. Yapılacak olan öteleme, yapının en üst noktasında köşe eleman birleşiminden yapılmaktadır. Yapı, tepe yer değiştirmesine göre itme analizi eğrileri oluşturulmaktadır. Bundan dolayı, gözlemlenen yer değiştirme, birinci aks yönünde, tepe birleşim noktası seçilir. Bu ayarlamanın yapılması için gerekli pencere Şekil 4.23'te gösterilmiştir.

Load Application Control for Nonlinear Static Analysis

Load Application Control

☐ Full Load

☒ Displacement Control

Control Displacement

☐ Use Conjugate Displacement

☒ Use Monitored Displacement

Load to a Monitored Displacement Magnitude of

Monitored Displacement

☒ DOF at Joint

☐ Generalized Displacement

Şekil 4.23: İtme analizi kuvveti ayarlaması 1.

Doğrusal olmayan statik yükleme durumlarında, kaydedilen adımlar, görüntülenmek istendiğinden, her bir aşama için, çoklu adım seçeneği ve bunun için en düşük ve en yüksek değerler girilmektedir. Yapılan örnekte Şekil 4.24'te belirtildiği biçimde en düşük 10 ve en yüksek 100 değerleri kabul edilmiştir.

Results Saved for Nonlinear Static Load Cases

Results Saved

☐ Final State Only ☒ Multiple States

For Each Stage

Minimum Number of Saved States

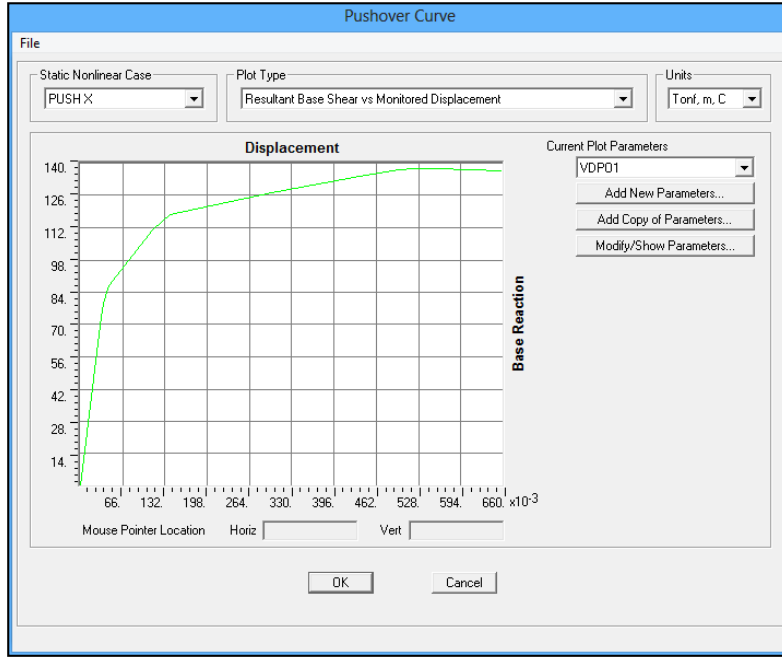
Maximum Number of Saved States

☒ Save positive Displacement Increments Only

Şekil 4.24: İtme analizi kuvveti ayarlaması 2.

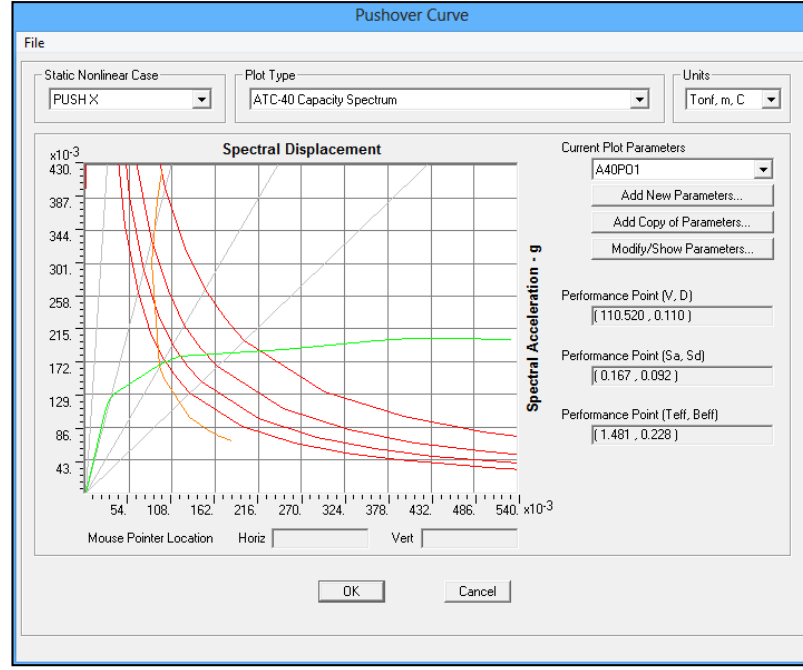
Model oluşturması, yüklerinin tanımlanıp uygulanması, itme analizi için gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra, SAP2000 modelleme alıştırma ayarları sadece düzlem ereve olacak şekilde ayarlanarak modelleme çalıştırılır.

Program analiz sonrası doğrusal olmayan yükleme durumuna göre itme analizi eğrisini oluşturmaktadır. İlk adım şekil 4.25'teki yapı tepe yer değiştirmesi – taban tepkisi grafiğini vermektedir.



şekil 4.25: Kapasite eğrisi.

2. Adım olarak, itme analizinin sonucu olacak kapasite spektrumunu çıkartılır. Kapasite spektrumu yapının performans noktasını bize vermektedir. Bu performans noktası, yapının doğrusal olmayan bir öteleme ite statik analizi yapıldıktan sonra efektif periyodunu bularak, bu periyoda karşılık olarak, yapının hangi periyot modunda çalıştığını bize verir. Bunun sonucunda, kaçıncı periyot modunda çalışıyorsa, bu mod için elemanlarda oluşacak plastik mafsallaşma ve bu mafsallaşmanın oranı izlenebilmektedir.



Şekil 4.26: Kapasite spektrumu.

Şekil 4.26’da gösterildiği şekilde, itme analizi eğrisi oluşturulduktan sonra, Şekil 4.27’de belirtilen “ATC-40 Kapasite Eğrisi Parametreleri” bölümünde, itme analizi için gerekli katsayılar değiştirilerek, yapının maruz kaldığı deprem durumuna en uygun itme analiz eğrisi çıkartılabilir. Bu ayarlarda zemin sismik katsayıları, yapının tipi, talep spektrumu ayarlarını değiştirmek mümkündür. Sonuçta Şekil 4.28’de gösterildiği biçimde yapı elemanlarının deprem sonrası plastikleşme oranları eleman birleşim noktalarında hasar seviyesine göre renklendirerek göstermektedir.

Parameters For ATC-40 Capacity Spectrum

Pushover Parameters Name: **Name** A40PD1 **Units** Tonf, m, C

Plot Axes: ☒ Sa - Sd ☐ Sa - T ☐ Sd - T **Axis Labels and Range** Set Axis Data...

Demand Spectrum Definition

☐ Function SF
☒ User Coeffs Ca 0.4 Cv 0.4

Damping Parameters Definition

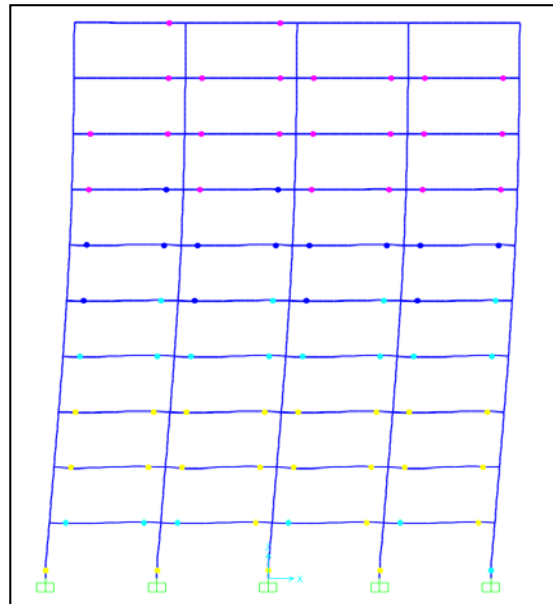
Inherent + Additional Damping 0.05
 Structural Behavior Type ☐ A ☒ B ☐ C ☐ User Modify/Show...

Items Visible On Plot

☒ Show Capacity Curve Color ■
☒ Show Family of Demand Spectra Color ■
 Damping Ratios 0.05 0.1 0.15 0.2
☒ Show Single Demand Spectrum (ADRS) (Variable Damping) Color ■
☒ Show Constant Period Lines at 0.5 1. 1.5 2 Color ■
 Reset Default Colors

Update Plot
 OK Cancel

Şekil 4.27: Kapasite spektrumu parametreleri.



Şekil 4.28: Analiz sonucu mafsallı plastikleşme oranı.

5. UYGULAMA ESASLARI

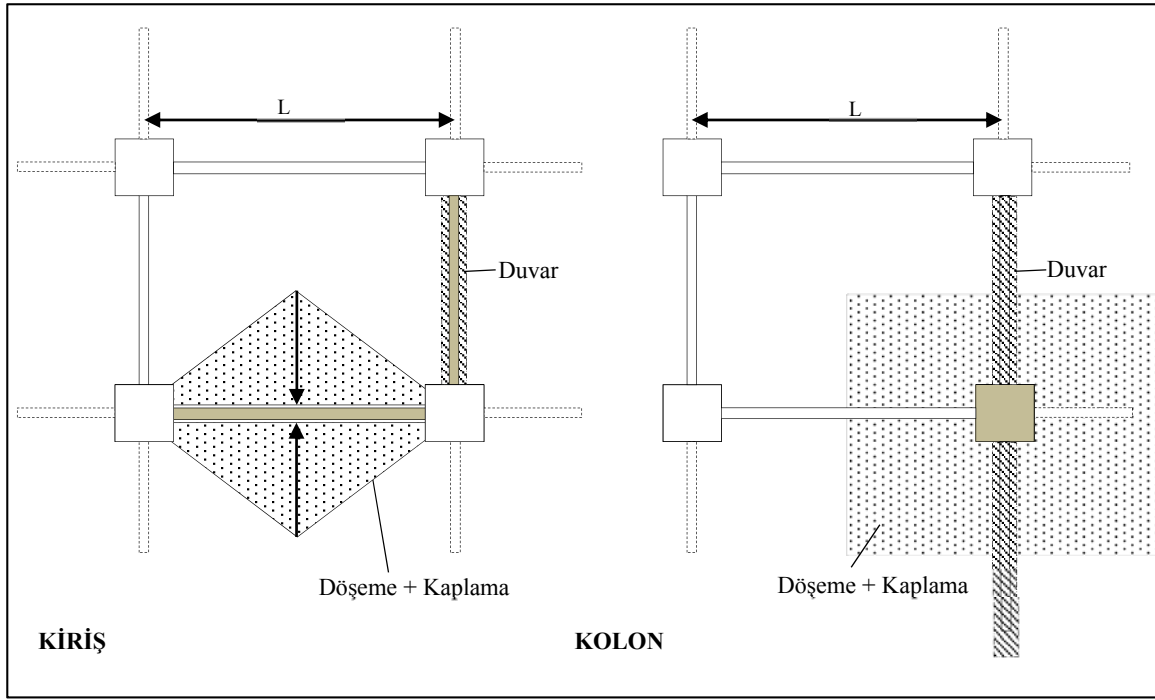
Yapılan uygulamada, değişik çerçeve yapıları için itme analizi yapılmıştır. Bu işlemlerde betonarme çerçeve sisteminde kat sayısı, aks genişliği ve aks sayısı değiştirmeleri yapılmıştır.

Yapılan modellemede alınan kabuller:

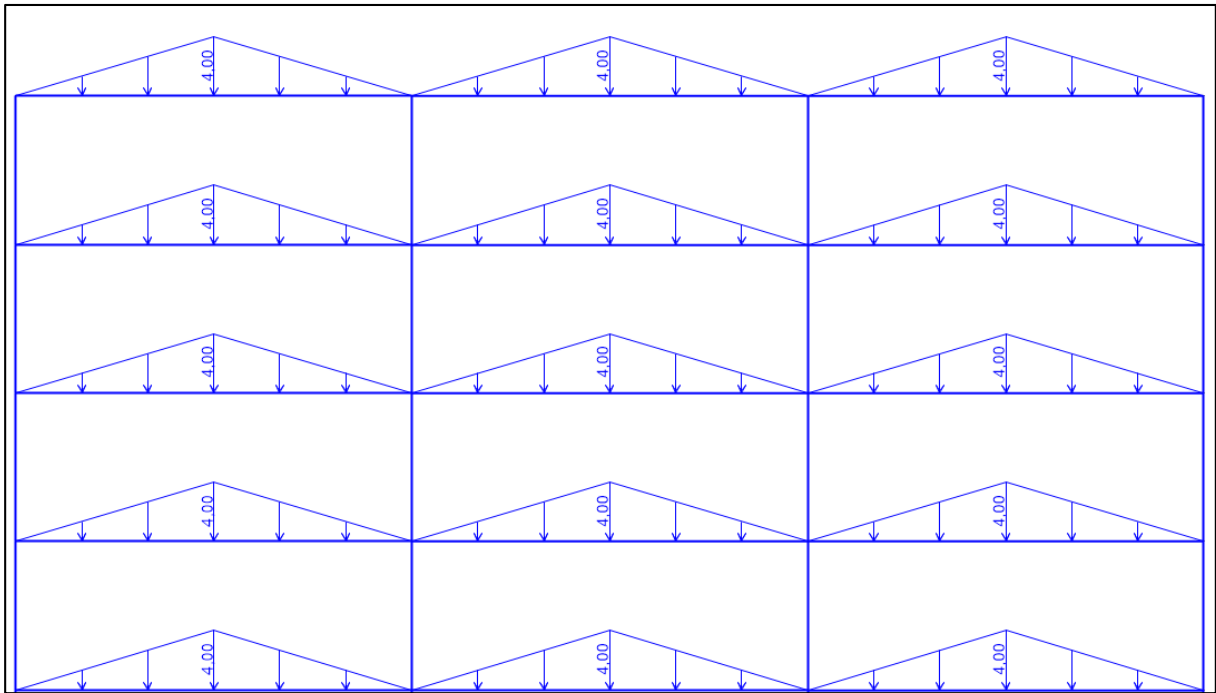
- i. Beton sınıfı C20 $\rightarrow f_{ck}=2000$
- ii. Döşeme yükü:
 $0,12(\text{döşeme kalınlığı}) * 2,5(\text{beton yoğunluğu}) + 0,2(\text{kaplama}) = 0,5 \text{ t/m}^2$
- iii. Hareketli yük: $0,2 \text{ t/m}^2$
- iv. Duvar yükü: $0,625 \text{ t/m}^2$

Yapı üç boyutlu düşünülür ve 2 yönde de açıklık uzunlukları aynı kabul edilirse, kirişler ölü ve hareketli yükleri döşemelerden üçgen yayılı olarak alacaktır. SAP2000’de bu uygulamayı yapmak için ölü ve hareketli yükler için f_0 değerleri bulunup, ölü ve hareketli yükler, kiriş ortasında en büyük değer olan f_0 alacak şekilde üçgen olarak yayılmıştır. Elemanların yükleme alanları Şekil 5.1’de ve yükleme durumları Şekil 5.2’de belirtilmiştir.

- i. $f_0 = \text{Açıklık Uzunluğu (m)} * \text{Ölü/Hareketli Yük (t/m}^2\text{)}$

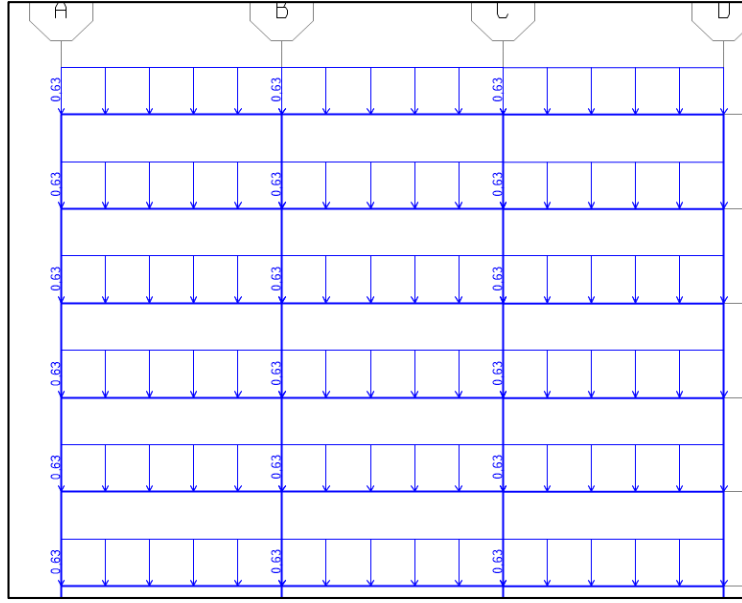


Şekil 5.1: Kolon – kiriş yük alanları.



Şekil 5.2: Ölü yük uygulanması.

Şekil 5.3'te gösterildiği şekilde duvar yükü kiriş üzerinde sabit yükleme olarak uygulandığından, yapılan uygulamada ki değeri $0,625 \text{ t/m}^2$ olacak şekilde düzgün yayılı yük olarak uygulanmıştır.



Şekil 5.3: Duvar yükünün uygulanması.

Uygulamada, değişik geometriye sahip yapılar için statik itme kuvveti yapılacağından, yapıların her değişik geometrisi için sabit bir gerilme kabulü yapılarak, yaklaşık eleman boyutları için, düşey yükler altında eleman boyutlandırma formülleri geliştirilmiştir. Ölü yük, duvar yükü ve hareketli yük altında boyutlandırılan elemanlar da kullanılan formüller Şekil 5.4’te belirtildiği gibidir.

Kiriş

$$\sigma = \frac{M}{bh^2} = \alpha * \frac{f_{ck}}{F.S.}$$

$$\frac{\left(\frac{(1,4\rho_G + 1,6\rho_Q)L^3}{12} + \frac{1,4q_{duvar}L^2}{8} \right)}{\frac{bh^2}{6}} = \frac{\alpha_{kir} f_{ck}}{F.S.}$$

Kolon

$$\sigma = \frac{P}{A} = \alpha * \frac{f_{ck}}{F.S.}$$

$$\frac{(1,4\rho_G + 1,6\rho_Q)L^2 + 1,4q_{duvar}2L}{\frac{bh}{H}} = \frac{\alpha_{kol} f_{ck}}{F.S.}$$

ρ_G = Ölü yük
 ρ_Q = Hareketli Yük
 ρ_{duvar} = Duvar Yükü
F.S. = Güvenlik Katsayısı
 α = Düzeltme Katsayısı
L = Kiriş uzunluğu
 f_{ck} = Beton karakteristik dayanım

Şekil 5.4: Öngörülen eleman boyutu formülleri.

Kiriş İçin;

$$\frac{\left(\frac{(1,4\rho_G + 1,6\rho_Q)L^3}{12} + \frac{1,4q_{duvar}L^2}{8}\right)}{\frac{bh^2}{6}} = \frac{\alpha_{kir}f_{ck}}{FS} \quad (5.1)$$

Kolon İçin;

$$\frac{(1,4\rho_G + 1,6\rho_Q)L^2 + 1,4q_{duvar}2L}{\frac{bh}{H}} = \frac{\alpha_{kol}f_{ck}}{FS} \quad (5.2)$$

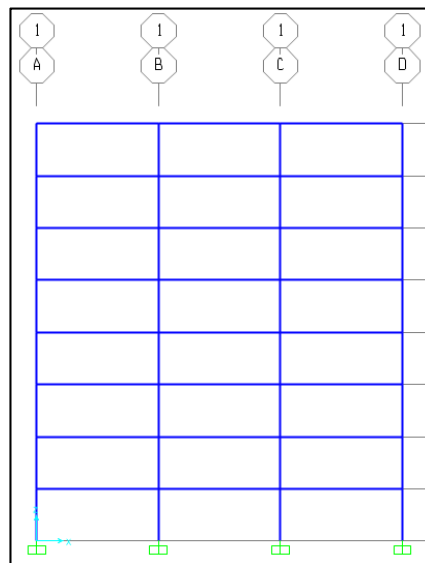
Belirlenen eleman boyutlarına ve yüklerine uyarak betonarme çerçeve örnekleri SAP2000’de modellenerek itme analizleri yapılmıştır.

Modellenen her bir yapının değerleri Microsoft Excel tablosu olarak kaydedilmiştir. Kaydetme işleminde her bir yapı için dosya isimlendirmesi sırası ile kat sayısı, açıklık sayısı ve kiriş uzunluğu olacak şekilde belirlenmiştir.

- H_kat.sayısı_A_açıklık.sayısı_L_kiriş.uzunluğu

Örnek: H_8_A_3_L_7_

İsimlendirmede yapının kat sayısı 8, 3 açıklıklı ve 7 metre uzunluğunda kirişlere sahip olduğu bilgisi ortaya çıkmaktadır. Örnek yapı modellemesi Şekil 5.5’te gösterilmiştir.



Şekil 5.5: Örnek modelleme.

Bu uygulama, toplamda kat sayısı 3 ile 8 arasında, aks aralığı 1 ile 4 arasında ve kiriş uzunlukları 3 ile 8 metre aralığında olarak toplam 144 model üzerinde yapılmıştır.

Her bir excel sonuç dosyası içerisinde beş adet ayrı tablo bulundurmaktadır. İtme analizi sonrası yapının performans noktası ve bu performans noktasının yapı tipi, C_A ve C_V katsayılarına oranla değişimi Çizelge 5.1’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.1: İtme analizi parametrelerinin performans noktasına etkisi.

Yapı Tipi	C_A	C_V	Performance Point (Teff, s)
A	0,2	0,2	0,223
A	0,2	0,4	0,223
A	0,2	0,6	0,223
A	0,2	0,8	0,223
A	0,2	1	0,223
A	0,4	0,2	0,24
A	0,4	0,4	0,246
A	0,4	0,6	0,246
A	0,4	0,8	0,246
A	0,4	1	0,246
A	0,6	0,2	0,24
A	0,6	0,4	0,272
A	0,6	0,6	0,272
A	0,6	0,8	0,272
A	0,6	1	0,272
A	0,8	0,2	0,24
A	0,8	0,4	0,288

Çizelge 5.2 itme analizi eğrisi talep kapasitesini vermektedir. Yapı itme analizi sonrası elde edilen performans noktasının bu tablo ile kıyaslanması ile yapının belirlenen koşullar altında hangi adımda davranacağı ve bu adımdaki plastik mafsallaşmalar ve oranları görüntülenebilmektedir.

Çizelge 5.2: İtme analizi eğrisi talep kapasitesi.

TABLE: Pushover Curve Demand Capacity - ATC40 - PUSH X							
Step	Teff	Beff	SdCapacity	SaCapacity	SdDemand	SaDemand	Alpha
			m		m		
0	0,223114	0,050000	0,000000	0,000000	0,012366	1.000.000	1.000.000
1	0,223114	0,050000	0,007266	0,587580	0,012366	1.000.000	0,821639
2	0,225718	0,059247	0,007873	0,622104	0,011941	0,943486	0,825046
3	0,271417	0,154635	0,014853	0,811683	0,011634	0,635770	0,874405
4	0,292783	0,187584	0,018242	0,856690	0,012219	0,573813	0,885155
5	0,316819	0,223614	0,021643	0,868019	0,012902	0,517457	0,891300
6	0,577930	0,328322	0,071940	0,867085	0,032158	0,387590	0,957000
7	0,588194	0,328883	0,074721	0,869447	0,032729	0,380827	0,956309
8	0,602719	0,358434	0,074880	0,829801	0,033537	0,371649	0,956960

Çizelge 5.3 çerçeve elemanlarının koordinatlarını, uzunluklarını ve bağlı oldukları birleşim noktalarını belirtmektedir.

Çizelge 5.3: Çerçeve eleman bağlantıları.

TABLE: Connectivity - Frame							
Frame	JointI	JointJ	IsCurved	Length	CentroidX	CentroidY	CentroidZ
Text	Text	Text	Yes/No	m	m	m	m
1	1	2	No	3	0	0	1,5
2	2	3	No	3	0	0	4,5
3	3	4	No	3	0	0	7,5
9	10	11	No	3	8	0	1,5
10	11	12	No	3	8	0	4,5
11	12	13	No	3	8	0	7,5
41	2	11	No	8	4	0	3
42	3	12	No	8	4	0	6
43	4	13	No	8	4	0	9

Çizelge 5.4, çerçeve sistemdeki elemanların mafsallı plastikleşme oranlarını ve hangi seviyede olduklarını göstermektedir.

Çizelge 5.4: Çerçeve sistem, mafsal durumları.

TABLE: Frame Hinge States														
Frame	OutputCase	CaseType	StepType	StepNum	AssignHinge	GenHinge	RelDist	AbsDist	P	M3	U1Plastic	R3Plastic	HingeState	HingeStatus
Text	Text	Text	Text	Unitless	Text	Text	Unitless	m	Tonf	Tonf-m	m	Radians	Text	Text
1	PUSH X	NonStatic	Step	0	Auto P-M3	1H1	0	0	-46,335	-3,51659	0	0	A to B	A to IO
1	PUSH X	NonStatic	Step	0	Auto P-M3	1H2	1	3	-42,96	7,75767	0	0	A to B	A to IO
1	PUSH X	NonStatic	Step	1	Auto P-M3	1H1	0	0	-22,4557	57,92775	0	0	B to C	A to IO
1	PUSH X	NonStatic	Step	1	Auto P-M3	1H2	1	3	-19,0807	-10,50361	0	0	A to B	A to IO
1	PUSH X	NonStatic	Step	2	Auto P-M3	1H1	0	0	-20,7518	57,44664	0,000036	0,000119	B to C	A to IO
1	PUSH X	NonStatic	Step	2	Auto P-M3	1H2	1	3	-17,3768	-11,6859	0	0	A to B	A to IO
1	PUSH X	NonStatic	Step	3	Auto P-M3	1H1	0	0	-4,7727	53,14171	0,000595	0,001967	B to C	A to IO

Çizelge 5.5 ise düğüm noktalarının yapıdaki koordinatlarını vermektedir.

Çizelge 5.5: Birleşim noktaları koordinatları.

TABLE: Joint Coordinates									
Joint	CoordSys	CoordType	XorR	Y	Z	SpecialJt	GlobalX	GlobalY	GlobalZ
Text	Text	Text	m	m	m	Yes/No	m	m	m
1	GLOBAL	Cartesian	0	0	0	No	0	0	0
2	GLOBAL	Cartesian	0	0	3	No	0	0	3
3	GLOBAL	Cartesian	0	0	6	No	0	0	6
4	GLOBAL	Cartesian	0	0	9	No	0	0	9
5	GLOBAL	Cartesian	0	0	12	No	0	0	12
6	GLOBAL	Cartesian	0	0	15	No	0	0	15
7	GLOBAL	Cartesian	0	0	18	No	0	0	18
8	GLOBAL	Cartesian	0	0	21	No	0	0	21
9	GLOBAL	Cartesian	0	0	24	No	0	0	24
10	GLOBAL	Cartesian	3	0	0	No	3	0	0

6. YAKLAŞIK EFEKTİF PERİYOT HESABI (T_{reg})

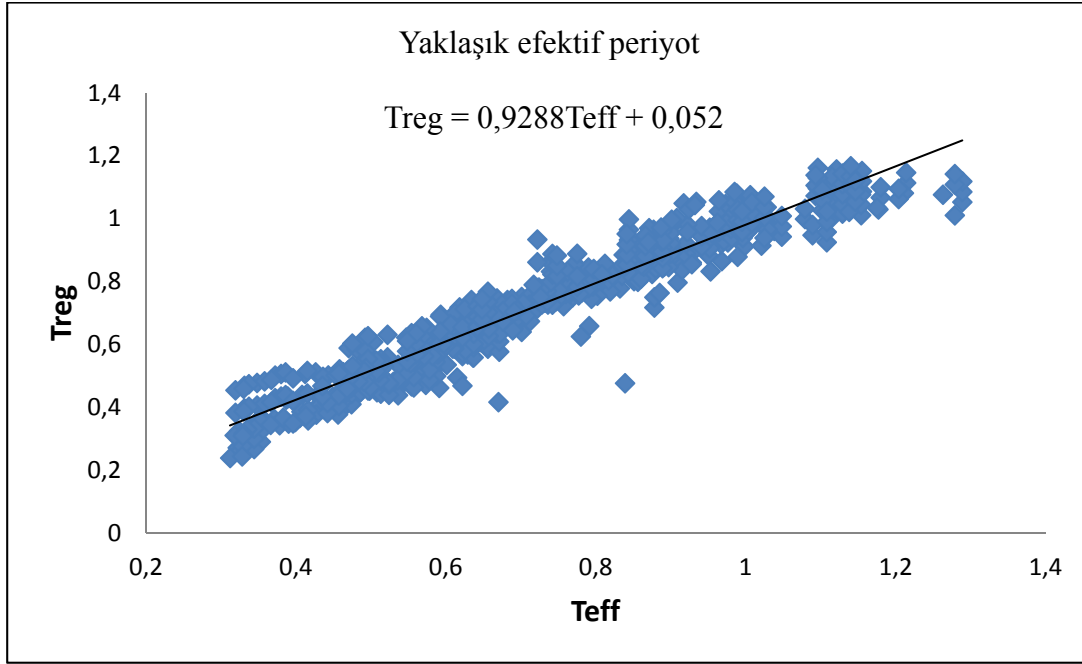
H, A, L, C_A ve C_v parametreleri esas değişkenler alınmak üzere analiz sonuçlarından elde edilen efektif periyotlar Microsoft Excel yazılımı ile, çok değişkenli doğrusal regresyon analizine tabi tutulmuştur. Regresyon Analiz sonuçları ve elde edilen çok değişkenli bağıntısı (T_{reg}) Çizelge 6.1’de verilmektedir.

Çizelge 6.1: Çok değişkenli regresyon analizi sonuçları.

<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0,9637							
R Square	0,9288							
Adjusted R Square	0,9283							
Standard Error	0,0633							
Observations	706							
ANOVA								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	5	36,5578	7,3116	1825,2	0			
Residual	700	2,8041	0,0040					
Total	705	39,3619						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Sabit	-0,3562	0,0255	-13,9816	0,0000	-0,4062	-0,3061	-0,4062	-0,3061
H	0,1151	0,0015	78,4742	0,0000	0,1123	0,1180	0,1123	0,1180
A	0,0234	0,0024	9,8848	0,0000	0,0187	0,0280	0,0187	0,0280
L	-0,0050	0,0016	-3,0528	0,0024	-0,0082	-0,0018	-0,0082	-0,0018
C_A	0,1638	0,0140	11,7265	0,0000	0,1363	0,1912	0,1363	0,1912
C_v	0,3594	0,0163	22,0133	0,0000	0,3273	0,3914	0,3273	0,3914

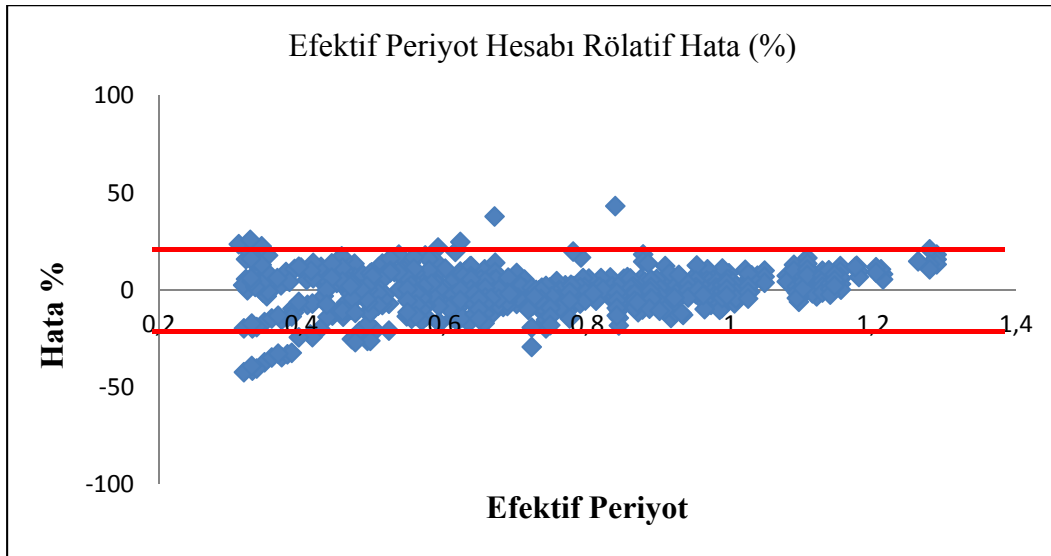
$$T_{reg} = -0.3562 + 0.1151 H + 0.0234 A - 0.0050 L + 0.1638 C_a + 0.3594 C_v \quad (6.1)$$

Analiz sonuçlarından elde edilen efektif periyotlarla regresyon analizinden bulunan periyotlar arasındaki doğrusal ilişki Şekil 6.1 de verilmiştir.



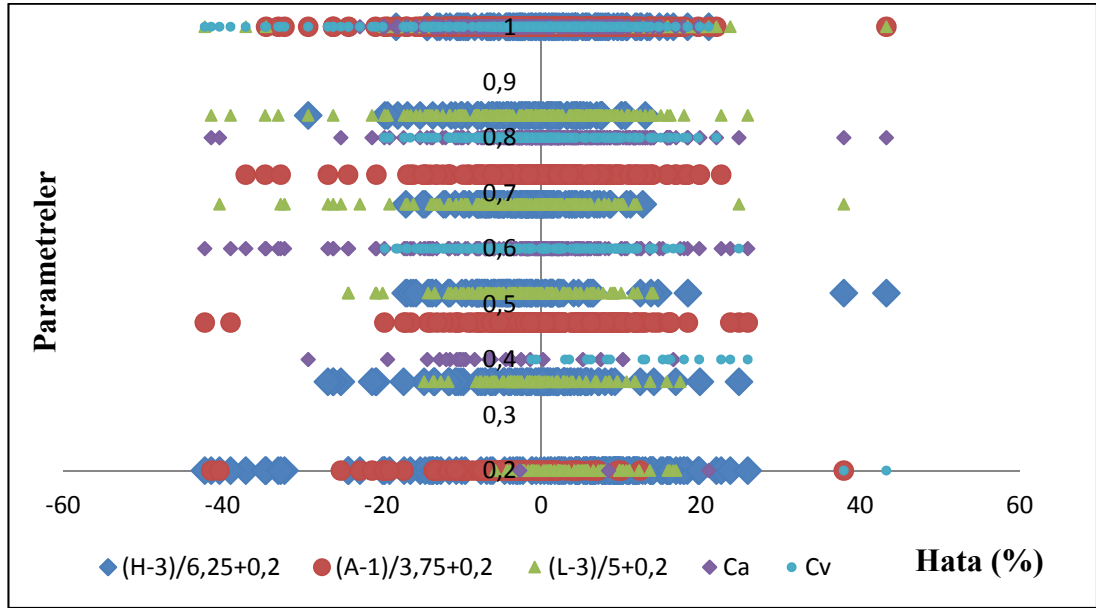
Şekil 6.1: Efektif periyot – yaklaşık periyot dağılımları.

Şekil 6.1 den de görüleceği üzere regresyon analizi sonucunda elde edilen T_{reg} bağıntısı ile oldukça iyi bir efektif periyot tahmini yapmak mümkün olmaktadır. Tahmini periyotlar ile gerçek periyotlar arasındaki hata dağılımı Şekil 6.2 de verilmiştir.



Şekil 6.2: Efektif periyot hesabında rölatif hata dağılımı (%).

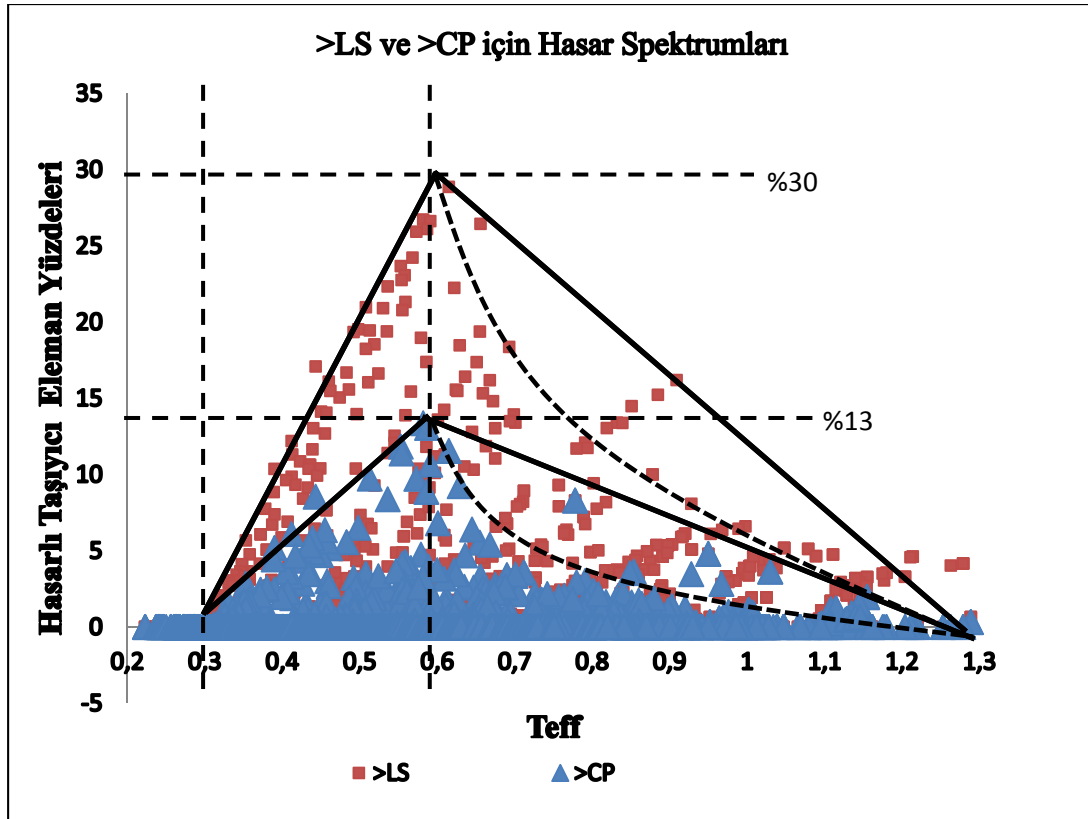
Şekil 6.2 den de görüleceği üzere periyot hesabında baskın hata bandı $\pm\%20$ aralığındadır. Ana parametreler 0,2-1.0 aralığına çekilmek üzere her biri için elde edilen ayrıık hata dağılımları Şekil 6.3 te verilmiştir.



Şekil 6.3: 0,2-1 Aralığına çekilmiş parametreler için hata dağılımı (%).

6.1 Hasar Spektrumu

FEMA 356 ya göre performans hedefleri belirli aralıklar olarak verilmektedir. Fakat yapı hasar durumu söz konusu olduğunda belirli bir sınır hasar değeri tanımlamanın hasarı değerlendirmede daha etkili bir yöntem olacağı düşünülmüştür. Bu bağlamda yapı elemanlarında oluşacak muhtemel hasar durumlarının üst sınırlarını belirlemek üzere LS ve CS performans noktalarından daha kritik durumda olan elemanların tüm yapı elemanlarına oranını hesaplamak iyi bir yaklaşık hasar tahmin kriteri olarak belirlenmiştir. Şekil 6.4 de analiz sonucu elde edilen efektif periyota (T_{eff}) bağlı olarak yapıda meydana gelmesi beklenebilecek hasarlı taşıyıcı eleman yüzdeleri verilmektedir. Bu yüzdeler olası hasar beklentisi söz konusu olduğunda bir hasar spektrumu olarak değerlendirilebilir.



Şekil 6.4: Hasarlı taşıyıcı eleman yüzdeleri.

Regresyon analizi ile elde edilen yaklaşık efektif periyot Şekil 6.4 de verilen hasar spektrumu ile kullanılarak ilgili yapıda beklenebilecek hasarın üst sınırı kolaylıkla tespit edilmiş olur ki bu bilgi daha ileri hasar olasılık tespitleri için bir ön model olarak kullanılabilir kanaatindeyiz.

Şekil 6.4 de verilen hasar spektrumu ile ilgili önemli bir gözlem de hasar üst sınırının $T_{eff}=0,6$ sn efektif periyoduna karşı gelmesidir. Bu durum eşdeğer tepki spektrum analizinde rastlanan spektrumlarla örtüşmektedir. Ayrıca hasar spektrumunun $T_{eff} = 0,3-0,6$ aralığında doğrusal ardan, $T_{eff} = 0,6-1,3$ aralığında doğrusal veya üstel azalan olarak seçilebileceği gözlemlenmektedir.

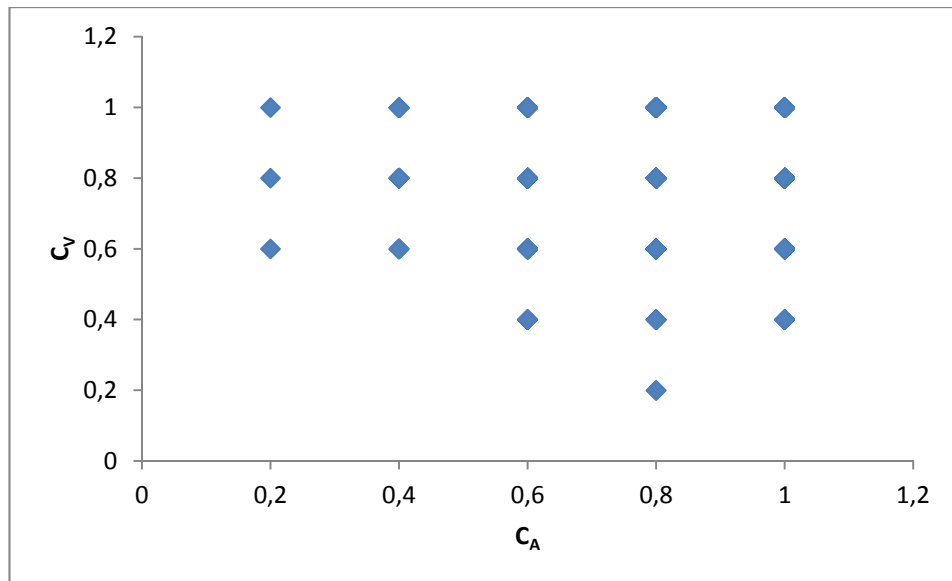
6.2 Örnek Hasar Tahmini

Örnek olarak yapı özellikleri H (kat sayısı)=5, L (kiriş uzunluğu)=5.5, A (açıklık sayısı)=10, $C_A=0.4$ ve $C_v=0.6$ olan bir durum ele alındığında, regresyon analizi sonucu 6.1 formülünde açıklanan regresyon periyodu formülüne örnek yapı parametreleri koyulduğu zaman, $T_{reg} = 0,7069$ olarak hesaplanmaktadır. Bu periyot Şekil 6.4'te belirtilen hasar spektrumunda gözlenerek en çok %18 LS hasar seviyesi üzerinde ve

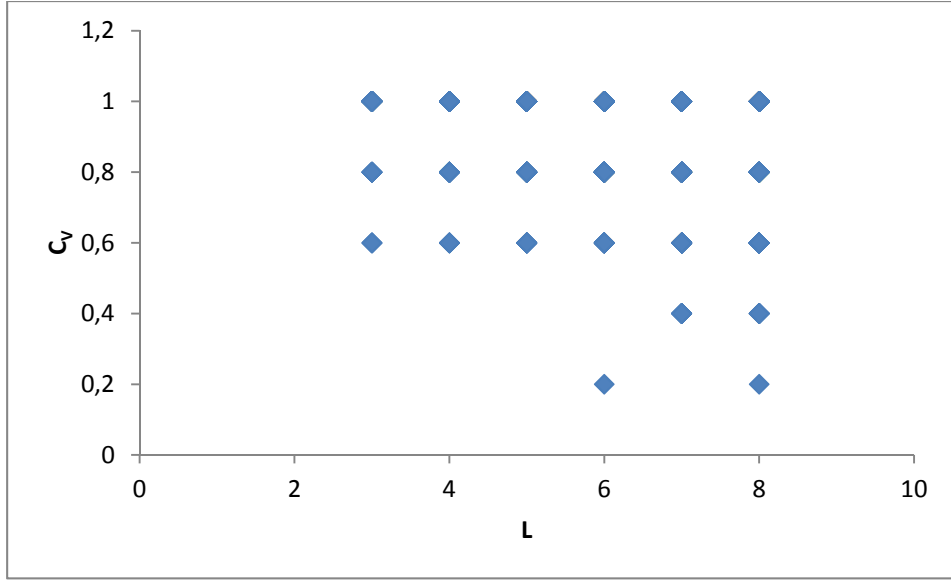
en çok %5 CP hasar seviyesi üzerinde eleman veya elemanlar olabileceği anlamına gelmektedir.

6.3 Statik İtme Analizi Parametrelerinin Sonuca Etkisi

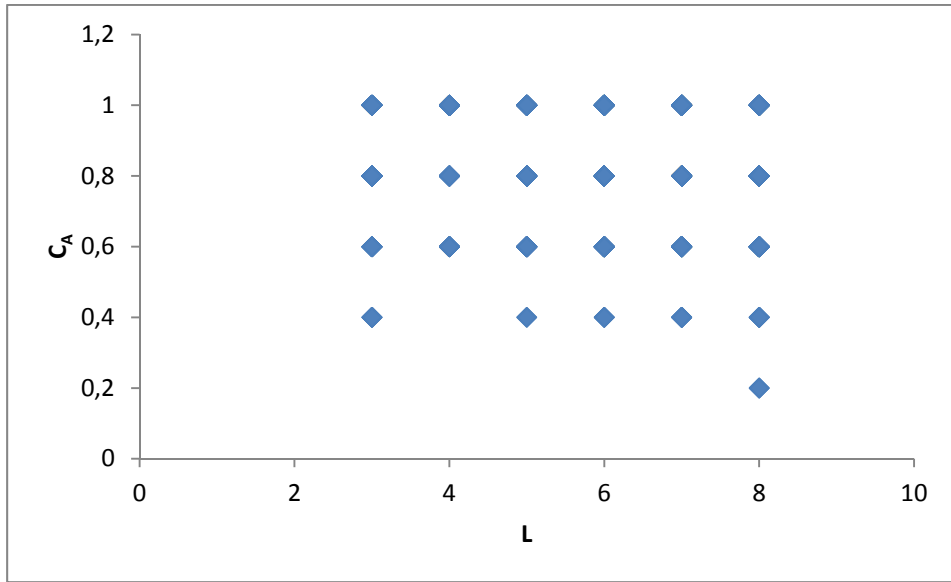
Statik itme analizi kullanılarak yapılan analizler sonrası, analizde kullanılan parametrelerin, analiz sonucuna etkileri ayrıca görülebilmektedir. Yapıda performans seviyesi olarak can güvenliği performans seviyesi önemli bir hasar kriteri olacağından, analiz sonrası yapı performansı can güvenliği performans seviyesi altındaki modellemeler elendiği takdirde, Şekiller 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9 birer matris olarak ele alınırsa, katsayıların belirli değerlerinin kombinasyonlarında yapı performans seviyesinin can güvenliği performans seviyesine gelmediği gözlemlenmiştir. Şekillerde belirtilen noktalar, yapının o grafikteki değerlerinin kombinasyonu durumunda, deprem sonrası, yapı elemanlarında hasar durumu can güvenliği hasar seviyesi ve üzeri hasar durumlarında eleman yada elemanlar olabileceği anlamına gelmektedir.



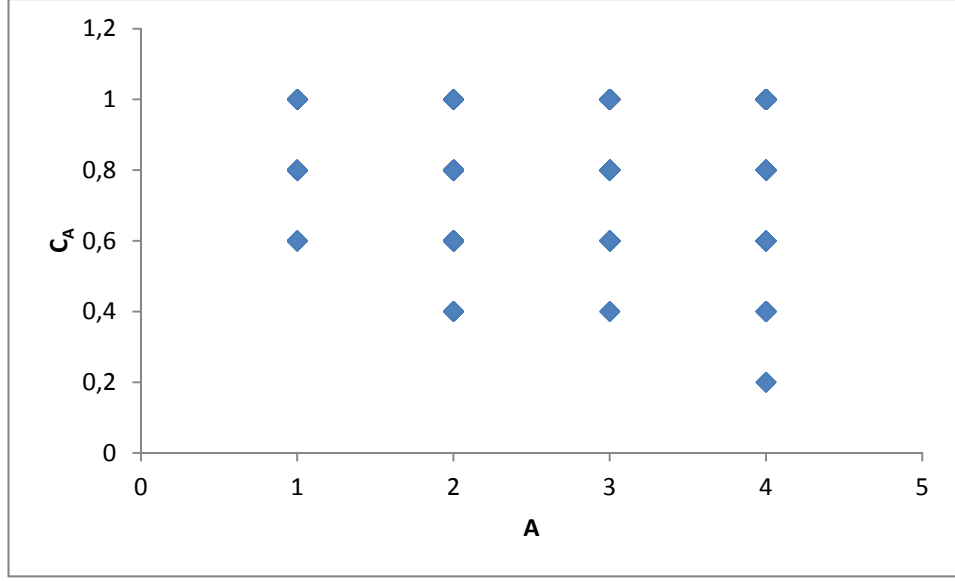
Şekil 6.5: Çeşitli seviyelerde hasar gözlenmiş $C_A - C_V$ çiftleri.



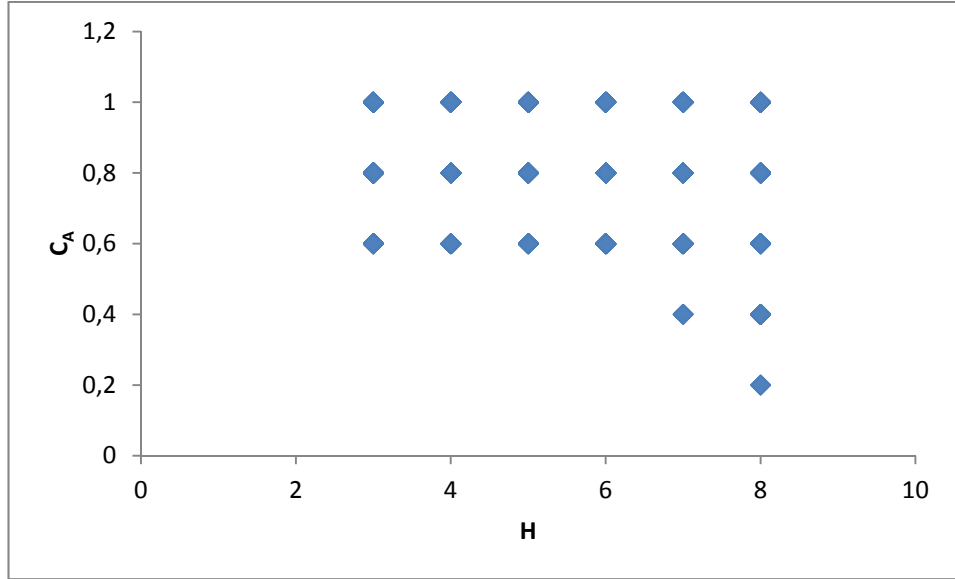
Şekil 6.6: Çeşitli seviyelerde hasarlar gözlenmiş C_v ve açıklık genişliği L çiftleri.



Şekil 6.7: Çeşitli seviyelerde hasarlar gözlenmiş C_A ve açıklık genişliği L çiftleri.

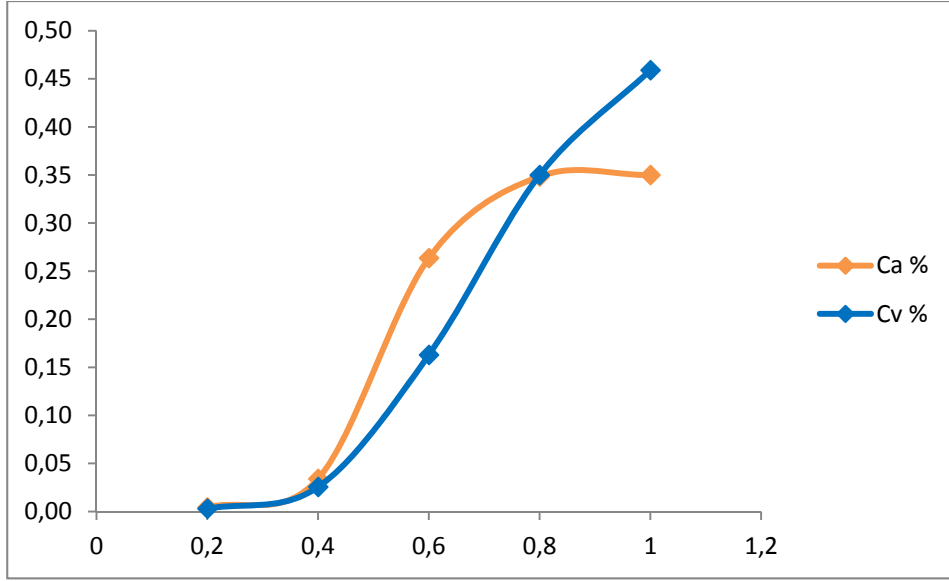


Şekil 6.8: Çeşitli seviyelerde hasarlar gözlenmiş C_A ve açıklık adedi A çiftleri.



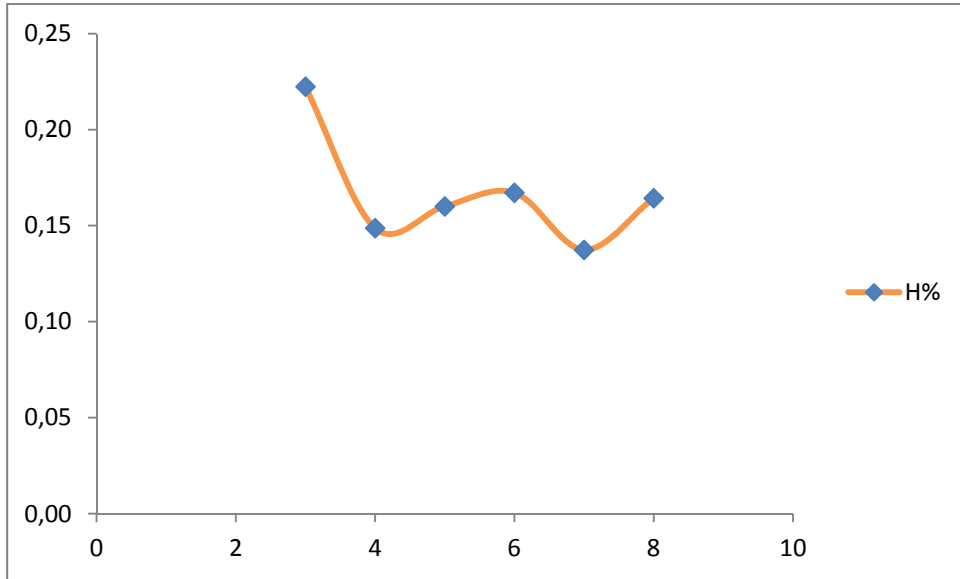
Şekil 6.9: Çeşitli seviyelerde hasarlar gözlenmiş C_A ve kat adedi H çiftleri.

Ayrıca, statik itme parametrelerinin değişimine bağlı yapılarıdaki toplam hasarlı eleman yüzdesinin belirlenmesinde mümkündür. Bu verilere göre;



Şekil 6.10: C_A ve C_v 'nin hasar yüzdesine etkisi.

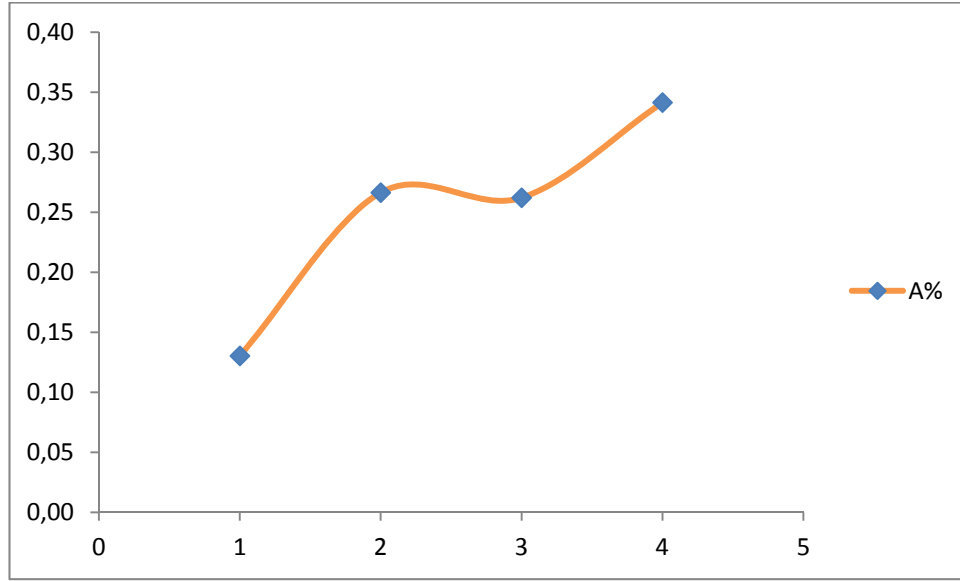
Şekil 6.10 da görüldüğü üzere, C_A ve C_v değerleri, yapının maruz kalacağı deprem sonrası hasar seviyesine doğrudan etkisi olduğu görülebilmektedir. Özellikle C_v değerinin C_A ya göre daha etkili olduğu ve C_v değerindeki artışın hasar seviyesini ciddi ölçüde artırırken, C_A değerinin 0,6 değerinden sonra etkisinin azaldığı ve sabit kaldığı gözlemlenmektedir.



Şekil 6.11: Kat sayısının hasar yüzdesine etkisi.

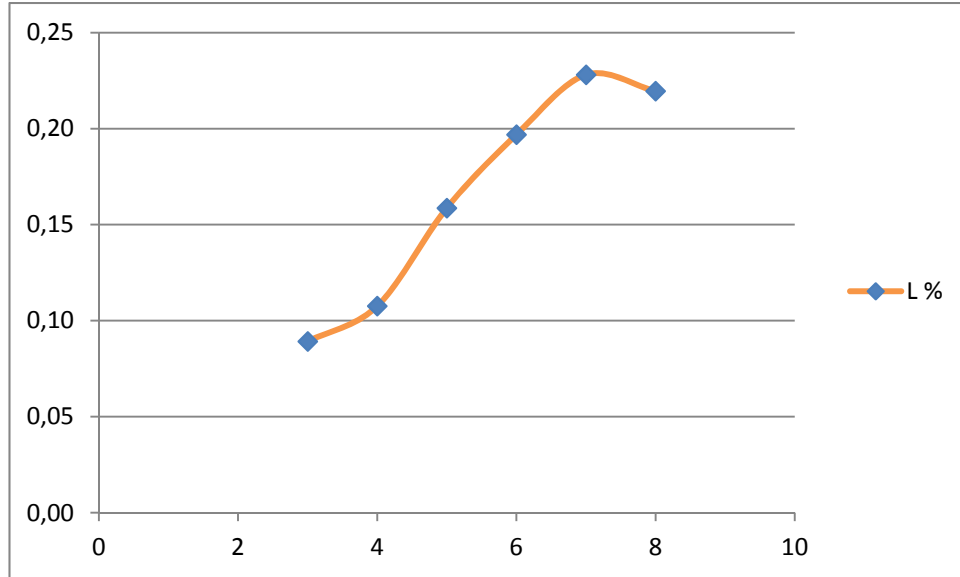
Şekil 6.11 de görüldüğü üzere, belirli bir yüksekliğe kadar, kat yüksekliğinin artması, yapıdaki deprem sonrası yapı elemanlarındaki muhtemel hasar yüzdesini

azaltmakla beraber, yapı belirli bir yüksekliğe ulaştığında, yapının rijitliği azalacağından, hasar yüzdesinin geri yükseldiğini gözlemlenmektedir.



Şekil 6.12: Açıklık sayısının hasar yüzdesine etkisi.

Yapıdaki açıklık sayısının Şekil 6.12’de görülebileceği gibi, artışı ile beraber, yapıdaki can güvenliği performans seviyesi ve üzeri performansta ki hasar oranının arttığı görülmektedir.



Şekil 6.13: Kiriş boyunun hasar yüzdesine etkisi.

Şekil 6.13 te görüldüğü gibi, yapı kiriş uzunlukları arttıkça, hasar seviyesinin düzgün bir biçimde arttığı kaydına ulaşılmaktadır.

6.4 Değerlendirme ve Öneriler:

Çalışma her bir model için FEMA-356'da tanımlanan performans seviyeleri tanımlarınca ve ATC-40 yönetmeliğinin performansa dayalı tasarım ilkelerini belirttiği bir biçimde SAP2000 analiz programında, sabit yükler altında, bütün yapı için aynı kiriş ve kolon boyutlarında uygulanmıştır.

Performansa dayalı hesap yöntemlerinin önemli bir parametresi olan efektif yapı periyodu (T_{eff}), yapı geometrik verileri yanında C_A ve C_v katsayıları yardımıyla pratik olarak hesaplanabilmektedir.

Yapı efektif periyodu, yapı elemanlarında deprem sonrası oluşması muhtemel hasarlı eleman yüzdelerini tespit etmek ve deprem sonrası muhtemel hasar beklentisini tahmin etmek üzere oldukça önemli bir veri olarak ortaya çıkmıştır.

Bu çalışma kapsamında mevcut yapılarda deprem sonrası beklenen olası hasar durumlarını tespit etmek üzere uygulanması önerilen hasar spektrumu yönteminin hali hazırda uygulanan yöntemlerle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi ve hatta deprem sonrası gözlenen hasar durumları ile bu yöntemle elde edilecek sonuçlar arasında olabilecek korelasyonların incelenmesi, yöntemin güvenilirliğinin test edilmesi açısından oldukça önemli olmakla beraber bu tespit çok daha kapsamlı bir çalışmanın konusu olabilir.

Performansa dayalı tasarım yöntemlerinin yapı tasarımındaki mühendislik hassasiyetini belirli ölçüde arttırdığı aşikârdır. Önerilen yöntemle deprem sonrası hasar senaryolarının oluşturulmasındaki hassasiyetin de artacağı ve bu çalışma ile bu yolda önemli bir adım atıldığı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- ATC-40** (1996). Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. Applied Technology Council. California Seismic Safety Commision.
- Bozan, A.** (2008). Mevcut Çok Katlı Yapının Statik İtme (Pushover) Yöntemi İle Analizi, Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Darılmaz, K.** (t.y.). SAP2000 İle Statik İtme Analizi (Pushover Analysis). İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Erkan, M.** (t.y.). Performans Bazlı Tasarım. İtme (Pushover) Analizi – Temel Kavramlar ve Metot.,
- FEMA 356** (2000). Prestandart and Commentary for he Seismic Rehabilitation of Buildings. Federal Emergency Management Agency, USA.
- Goel, R. K. ve Chopra, A. K.** (2004) Evaluation of Modal and FEMA Pushover Analyses: SAC Buildings. Earthquake Spectra: February 2004, Cilt. 20, Sayı. 1, Sf. 225-254.
- Kadid, A. ve Bourmrkik, A.**(2008). Pushover Analysis of Reinforced Concrerte Frame Structures. Department of Civil Engineering, University of Batna, Algeria. Asian Journal of Civil Engineering (Buidling and Housing). Cilt 9, sayı 1, Sf. 75-83.
- Kırçıl, M. S.** (2010). Performansa Dayalı Tasarım, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı.
- Krawinkler, H. ve Seneviratna, G. D. P. K.** (1998). Pros and Cons of a Pushover Analysis of Seismic Performance Evaluation. Engineering Structures, Cilt. 20, Sayı 4-6, Sf. 452-464.
- Mwafy, A.M. ve Elnashai, A.S.** (2001). Static Pushover Versus Dynamic Collapse Analysis of RC Buildings. Engineering Structures 23 Sf. 407–424.

- Oğuz, S.** (2005). Evaluation Of Pushover Analysis Procedures For Frame Structures. Degree of Masters of Science In Civil Engineering, The Graduate School of Natural And Applied Sciences Of Middle East Technical University.
- SAP2000 Integrated Finite Element Analysis and Design Structures** (1998). Detailed Tutorial Including Pushover Analysis. Computers and Structures, Inc. Berkeley, California, USA.
- Seifi, M., Noorzaei, J., Jaafar, M. S., Panah, E. Y.** Nonlinear Static Pushover Analysis in Earthquake Engineering: State of Development. International Conference on Construction and Building Technology ICCBT 2008 - C - (06) – Sf. 69-80.
- T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı** (2008). Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Ankara.
- Temür, F.** (2007). Statik İtme (Pushover) Yöntemi Kullanılarak Yapıların Analizi, Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Doruk BUĞDAY

Doğum Yeri ve Tarihi: Eskişehir / 06.06.1990

E-Posta: dorukbugday@hotmail.com

Lisans: Atılım Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği