

**YAPILARIN DEPREM GÜVENLİĞİNİN
PERFORMANS ESASLI İNCELENMESİ**

Zinnur ÇELİK

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yrd. Doç. Dr. Ahmet BUDAK
2010**

Her hakkı saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YAPILARIN DEPREM GÜVENLİĞİNİN PERFORMANS
ESASLI İNCELENMESİ**

Zinnur ÇELİK

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ERZURUM
2010**

Her hakkı saklıdır

Yrd. Doç. Dr. Ahmet BUDAK danışmanlığında **Zinnur ÇELİK** tarafından hazırlanan bu çalışma 07/ 04 /2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.


Başkan :Prof.Dr. Sadri ŞEN

İmza : 

Üye :Yrd.Doç.Dr.Ahmet BUDAK

İmza : 

Üye :Yrd.Doç.Habib UYSAL

İmza : 

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof.Dr.Ömer AKBULUT

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YAPILARIN DEPREM GÜVENLİĞİNİN PERFORMANS ESASLI İNCELENMESİ

Zinnur ÇELİK

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ahmet BUDAK

Deprem mühendisliğinde yeni gelişen bir kavram olan performans tabanlı sismik dizayn, önce mevcut yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesinde kullanılmış daha sonra yeni yapıların tasarımında da kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışma kapsamında şekil değiştirme kontrollü doğrusal olmayan analiz yöntemi olan Statik İtme Analizi ve performans noktasının belirlenmesi için kullanılan Kapasite Spektrumu Yöntemi hakkında bilgi verilmiştir.

Bu çalışmada, altı katlı betonarme çerçeve sistemli bir yapının üzerinde malzeme, donatı ve zemin özellikleri değiştirilerek statik itme analizleri yapılmıştır. Farklı beton ve donatı sınıflarına göre yapının kapasite eğrileri çizilerek karşılaştırılmıştır. Ayrıca farklı beton sınıflarının performans noktası üç deprem etki seviyesine göre araştırıldı. Donatı dayanımının azaltılması durumunda taban kesme kuvvetinde %30 civarında azalma olmaktadır. Beton dayanımını artırılması durumunda, taban kesme kuvvetinde %11 civarında artma olmuştur. Sonuç olarak, beş farklı beton sınıfı ve iki farklı donatı sınıfı ile yapılan karşılaştırmalarda beton dayanımının artmasından ziyade donatının dayanımının artmasının yapısal kapasite üzerinde daha fazla etkili olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca yerel zemin sınıflarının tepe deplasmanı açısından en fazla dikkate değer nokta olduğu gözlenmiştir.

2010, 91 sayfa

Anahtar Kelimeler: Statik itme analizi, betonarme yapılar, kapasite spektrum yöntemi, sismik dizayn, performans

ABSTRACT

Master Thesis

PERFORMANCE-BASED INVESTIGATION OF SEISMIC SAFETY OF BUILDINGS

Zinnur ÇELİK

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ahmet BUDAK

Performance based seismic design a new developing technique in Earthquake Engineering has been used firstly, to determine safety assessment of existing structures, and secondly, to design new structures. Some information about the pushover analysis, a displacement based non-linear analysis tool, and the capacity spectrum technique, a performance determining tool, are presented in the present work.

In this study, the static pushover analysis has been carried out in a six-story reinforced concrete frame structure for variable concrete, reinforcement and local soil conditions. According to different concrete classes and steel types, the capacity curves of the analyzed structures have been obtained and compared. Moreover, the performance point of the structure for different concrete classes is examined for three levels of earthquake ground motion. The base shear force decreased by 30% when reinforcement strength was decreased. When concrete strength was increased base shear force increased by %11. As a result, in the analyses performed with five different concrete classes and two reinforcement types, we have observed that increase in reinforcement strength has more effect on structural capacity than that of the concrete strength. We also observed that the local soil conditions were the most remarkable point for the top drift.

2010, 91 pages

Keywords: Pushover analyses, reinforced concrete, capacity spectrum technique, seismic design, performance

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum bu çalışma, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Yapı Bilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Tez çalışmamda her türlü destek, teşvik ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet BUDAK'a içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca hayatımın her anında yanımda olan, bütün çalışmalarında olduğu gibi bu çalışmalarında da hertürlü desteğini esirgemeyen, ağabeyim ve hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Semet ÇELİK'e ve çok kıymetli aileme şükranlarımı sunarım.

Zinnur ÇELİK

Mart 2010

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	12
3.1. Performans Kavramı	12
3.1.1. Performans seviyeleri	12
3.1.1.a. Taşıyıcı elemanlar için performans seviyeleri.....	12
3.1.1.b. Taşıyıcı olmayan elemanlar için performans seviyeleri.....	13
3.1.1.c. Bina performans seviyeleri.....	14
3.1.2. Deprem yer hareketleri.....	17
3.2. Performans Hedefleri	19
3.3. Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi	21
3.3.1. Kapasite spektrum yöntemi.....	23
3.3.1.a. Kapasite eğrisinin oluşturulması.....	23
3.3.1.b. Kapasite spektrum yönteminin kavramsal oluşumu	26
3.3.1.c. %5 sönümlü talep spektrumu eğrisinin oluşturulması	29
3.3.1.d. Talep spektrumunu ADRS formatına dönüştürülmesi	32
3.3.1.e. Kapasite spektrum eğrisinin kırıklı hale getirilmesi.....	34
3.3.1.f. Etkin sönümün tahmini ve %5 sönümlü talep spektrumunun indirgenmesi	35
3.3.1.g. Kapasite eğrisi ve indirgenmiş talep spektrumunun kesişimi	41
3.3.2. Performans noktasının bulunması için kullanılan yöntemler.....	42
3.3.2.a. Yöntem A'yı kullanarak performans noktasının belirlenmesi.....	42
3.3.2.b. Yöntem B'yi kullanarak performans noktasının belirlenmesi.....	45
3.3.2.c. Yöntem C'yi kullanarak performans noktasının belirlenmesi.....	48
3.3.3. Performans noktasının sınır durumları.....	49
3.3.3.a. Global bina kabul limitleri	49
3.3.3.b. Eleman kabul limitleri.....	50
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	53
4.1. Örnek 1: Altı katlı betonarme çerçeve sisteminde beton dayanımı etkisi	53
4.1.1. Problem tanımı	53
4.1.2. Boyutlamada esas alınan eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması.....	55
4.2. Sap 2000 ile Statik İtme Analizinde İzlenecek Adımlar	57
4.3. Farklı Beton Sınıflarına Göre Yapının Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması	57
4.3.1. C30 beton sınıfı için analiz sonuçları.....	58
4.3.2. C25 beton sınıfı için analiz sonuçları.....	60
4.3.3. C20 beton sınıfı için analiz sonuçları.....	62
4.3.4. C16 beton sınıfı için analiz sonuçları.....	63

4.3.5. C14 beton sınıfı için analiz sonuçları.....	63
4.4. S220 Donatı Sınıfına Göre Farklı Beton Sınıflarının Karşılaştırılması	66
4.5. Performans Noktasının Bulunması	71
4.5.1. C30 beton sınıfı için performans noktasının bulunması	71
4.6. Farklı Zemin Türlerine Göre Performans Noktalarının Bulunması.....	76
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	81
KAYNAKLAR.....	83
EKLER.....	86
EK 1.....	86
ÖZGEÇMİŞ.....	91

SİMGELER DİZİNİ

A_0	Etkin yer ivme katsayısı
$A(T)$	Spektral ivme katsayısı
β_{eff}	Etkili toplam sönüm
β_0	Eşdeğer viskoz sönüm
C_A	Zeminin etkili maksimum ivme katsayısı
C_V	Periyodu 1 sn. olan %5 sönümlü sistemin spektrum değeri
E	Deprem etki katsayısı
E_D	Bir çevrimde sönümle tüketilen enerji
E_{S_0}	Maksimum şekil değiştirme enerjisi
F_X	Statik eşdeğer deprem yükü
H_i	Kat yükseklikleri
ϕ	Dönme
ϕ_U	Sınır dönme değeri
ϕ_Y	Akma dönme değeri
κ	Sönüm düzeltme katsayısı
N_A	Deprem kaynağına olan mesafe katsayısı
N_V	Deprem kaynağına olan mesafe katsayısı
PF	Modal katılım katsayısı
R_a	Deprem yükü azaltma katsayısı
S_a	Spektral ivme
S_d	Spektral yer değiştirme
SR_A	Spektral azaltma katsayısı
SR_V	Spektral azaltma katsayısı

T	Periyot
T_A, T_B	Spektrum karakteristik periyotları
T_1	Birinci doğal titreşim periyodu
V	Taban kesme kuvveti
W	Bina ağırlığı
Z	Deprem bölge katsayısı

Kısaltmalar

ADRS	Acceleration Displacement Response Spectrum
ATC	Applied Technology Council
ATC - 40	Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings
CP	Collapse Prevention
FEMA	Federal Emergency Management Agency
IO	Immediately Occupancy
KSY	Kapasite spektrum yöntemi
LS	Life safety
PS	Performans noktası
SAP 2000	Integrated Software for Structural Analysis and Design
TGD	Temel güvenlik depremi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1.	Bina performans seviyeleri – deprem etkisi – maliyet arasındaki ilişki.....	20
Şekil 3.2.	Analitik işlemler algoritması.....	22
Şekil 3.3.	Kapasite eğrisinin elde edilmesi.....	24
Şekil 3.4.	Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi.....	28
Şekil 3.5.	%5 sönümlü talep spektrum eğrisi.....	32
Şekil 3.6.	Geleneksel talep spektrumu eğrisinin ADSR formatına dönüştürülmesi	33
Şekil 3.7.	Geleneksel ve ADSR formatındaki talep spektrumu ile kapasite spektrumunun kesişimi.....	33
Şekil 3.8.	Kapasite spektrumunun kırıklı hale getirilmesi.....	34
Şekil 3.9.	Talep spektrumu ile kapasite spektrumunun aynı grafik üzerinde gösterimi.....	35
Şekil 3.10.	Spektral indirgeme için sönümün ifadesi.....	36
Şekil 3.11.	Talep spektrumunu azaltılması.....	39
Şekil 3.12.	Kapasite spektrumu ile indirgenmiş talep spektrumunun kesişmesi..	41
Şekil 3.13.	Kapasite ve %5 sönümlü talep spektrumunun aynı grafik üzerinde gösterimi.....	42
Şekil 3.14.	Başlangıç performans noktasının bulunması.....	43
Şekil 3.15.	Kapasite spektrumunu kırıklı hale getirilmesi.....	43
Şekil 3.16.	Talep spektrumunun indirgenmesi.....	44
Şekil 3.17.	Performans noktasının bulunması.....	45
Şekil 3.18.	Kapasite spektrumu ile değişik sönümlerdeki talep spektrumu eğrilerinin aynı grafik üzerinde gösterilmesi.....	46
Şekil 3.19.	Kapasite spektrumunu kırıklı hale getirilmesi.....	47
Şekil 3.20.	Elemanlar için birincil hareketler.....	51
Şekil 3.21.	Elemanlar için ikincil hareketler.....	51
Şekil 4.1.	Altı katlı betonarme çerçeve sistem planı.....	54
Şekil 4.2.	Altı katlı betonarme çerçeve sistem kesiti.....	54

Şekil 4.3.	C30 beton sınıfına ait kapasite eğrisi.....	58
Şekil 4.4.	C25 beton sınıfına ait kapasite eğrisi.....	60
Şekil 4.5.	C20 beton sınıfına ait kapasite eğrisi.....	62
Şekil 4.6.	C16 beton sınıfına ait kapasite eğrisi.....	63
Şekil 4.7.	C14 beton sınıfına ait kapasite eğrisi.....	64
Şekil 4.8.	Farklı beton sınıflarına ait kapasite eğrileri.....	64
Şekil 4.9.	C30–S220 parametrelerine göre yapının kapasite eğrisi.....	66
Şekil 4.10.	C25–S220 parametrelerine göre yapının kapasite eğrisi.....	66
Şekil 4.11.	C20–S220 parametrelerine göre yapının kapasite eğrisi.....	67
Şekil 4.12.	C16–S220 parametrelerine göre yapının kapasite eğrisi.....	67
Şekil 4.13.	C14–S220 parametrelerine göre yapının kapasite eğrisi.....	68
Şekil 4.14.	S220 donatı sınıfına göre farklı beton sınıflarının kapasite eğrileri...	68
Şekil 4.15.	S220 ve S420 donatı sınıflarına göre farklı beton sınıflarının kapasitelerinin değerlendirilmesi.....	70
Şekil 4.16.	Kapasite eğrisinin elde edilmesi.....	71
Şekil 4.17.	Kapasite eğrisinin kapasite spektrum eğrisine dönüştürülmesi.....	71
Şekil 4.18.	%5 lik talep spektrumunun oluşturulması.....	72
Şekil 4.19.	Performans noktasının bulunması.....	73
Şekil 4.20.	Farklı betonlar için tasarım depremi performans noktası kapasite eğrileri.....	73
Şekil 4.21.	Z1 zemin sınıfına göre tasarım depremi performans noktası.....	78
Şekil 4.22.	Z2 zemin sınıfına göre tasarım depremi performans noktası.....	79
Şekil 4.23.	Z3 zemin sınıfına göre tasarım depremi performans noktası.....	79
Şekil 4.24.	Z4 zemin sınıfına göre tasarım depremi performans noktası.....	80

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.	Yapısal ve yapısal olmayan performans seviyelerinin birleşimlerinden elde edilen bina performans seviyeleri.....	15
Çizelge 3.2.	Binalar için bazı önemli performans seviyeleri.....	16
Çizelge 3.3.	Göz önüne alınabilecek deprem için parametreler.....	17
Çizelge 3.4.	Sık kullanılan deprem etki seviyeleri.....	18
Çizelge 3.5.	Bina performans amaçlarının sınıflandırılması.....	19
Çizelge 3.6.	Deprem bölge katsayısı	29
Çizelge 3.7.	Kaynağa mesafe katsayısı değerleri.....	30
Çizelge 3.8.	Zemin sınıfları ve tanımı.....	30
Çizelge 3.9.	Deprem katsayısı (C_A) değerleri.....	31
Çizelge 3.10.	Deprem katsayısı (C_V) değerleri.....	31
Çizelge 3.11.	Yapı davranış türü.....	38
Çizelge 3.12.	Sönüm düzeltme katsayısı.....	38
Çizelge 3.13.	Yapı davranış türlerine göre SR_A ve SR_V değerleri.....	40
Çizelge 3.14.	Yapı davranış türlerine göre minimum SR_A ve SR_V değerleri.....	40
Çizelge 3.15.	Performans seviyeleri için yer değiştirme limitleri.....	50
Çizelge 4.1.	Altı katlı betonarme yapının karakteristik özellikleri.....	53
Çizelge 4.2.	Yapıya etkiyen eşdeğer deprem yükleri.....	56
Çizelge 4.3.	C30 beton sınıfı için adım adım mafsalları.....	59
Çizelge 4.4.	C25 beton sınıfı için adım adım mafsalları.....	61
Çizelge 4.5.	Beton ve donatı sınıflarına göre taban kesme kuvveti ve yer değiştirme (S420).....	65
Çizelge 4.6.	Beton ve donatı sınıflarına göre plastik kesitlerin dağılımı.....	65
Çizelge 4.7.	Beton ve donatı sınıflarına göre taban kesme kuvveti ve yer değiştirme (S220).....	69
Çizelge 4.8.	S220 ve S420 için farklı beton sınıflarına ait taban kesme kuvveti karşılaştırılması.....	69
Çizelge 4.9.	Farklı deprem türleri için C14/S420'nin performans noktasının kapasite değerleri.....	74

Çizelge 4.10.	Farklı deprem türleri için C16/S420'nin performans noktasının kapasite değerleri.....	74
Çizelge 4.11.	Farklı deprem türleri için C20/S420'nin performans noktasının kapasite değerleri.....	75
Çizelge 4.12.	Farklı deprem türleri için C25/S420'nin performans noktasının kapasite değerleri.....	75
Çizelge 4.13.	Farklı deprem türleri için C30/S420'nin performans noktasının kapasite değerleri.....	75
Çizelge 4.14.	Tasarım depremi için farklı beton sınıflarının performans noktasındaki değerlerinin karşılaştırılması.....	76
Çizelge 4.15.	Zemin grupları.....	77
Çizelge 4.16.	Yerel zemin sınıfları.....	77
Çizelge 4.17.	Yerel zemin sınıflarına göre performans noktası değerlerinin karşılaştırılması.....	80

1. GİRİŞ

Performans kavramı, deprem mühendisliğinde yeni gelişen bir kavram olup, önce mevcut yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi için geliştirilmiştir. Ancak daha sonra bu yöntemin yeni yapıların tasarımında da kullanabileceği söz konusu olmuştur. Geleceğin deprem yönetmeliklerinde, klasik kuralların yanında daha ayrıntılı incelemeyi gerektiren performans kavramına dayalı boyutlama ilkelerinin bulunacağı tahmin edilmektedir. Performansa dayalı tasarım, klasik tasarım kavramının genişletilmiş olarak görülebilir (Celep ve Kumbasar 2004).

Gerçekte bütün mühendislik boyutlandırmalarının performansa dayalı olduğu söylenebilir. Bilindiği gibi, betonarme taşıyıcı sistem boyutlamasında iki performans seviyesi esas alınır: Kullanma sınır durumu ve taşıma gücü sınır durumu. Birinci performans seviyesinde kullanma durumundaki yükler altında taşıyıcı sistemin hasarın kullanıcıları rahatsız etmeyecek seviyede kalması ve aşırı derecede yer değiştirmelerin meydana gelmemesi istenir. İkinci performans seviyesinde de taşıyıcı sistemin beklenen yüklerin artırılmış değerler altında güç tükenmesine gelmeden kabul edilebilir bir güvenliğin mevcut olması beklenir (Celep ve Kumbasar 2004).

Depremlerde meydana gelen yapısal hasarın, yönetmeliklerin tanımladığı eşdeğer deprem yükleri altında yapısal elemanların mevcut dayanım kapasitelerinin aşılması ile doğrudan ilgili olmadığı, hasarın temel nedeninin sünek davranması öngörülen yapı elemanlarının şekil değiştirme kapasitelerinin aşılması olduğu uzun bir süredir bilinmektedir. Buna karşın yürürlükteki deprem yönetmelikleri ve bunlara göre gelişen mühendislik pratiği, yapıdaki doğrusal olmayan davranışı temsil ettiği varsayılan azaltılmış sanal deprem yükleri altında, yapısal elemanların dayanımlarının yeterliliği esasına dayalı olan dayanıma göre tasarım ilkesine bağlılığını sürdürmektedir. Ancak deprem mühendisliğinde özellikle son on yılda meydana gelen gelişmeler çerçevesinde giderek daha yaygın olarak benimsenen yaklaşım, mevcut yapıların deprem performanslarının belirlenmesinde ve yeni yapıların deprem tasarımında yer

değiştirmeye göre tasarım, daha doğru bir deyimle şekil değiştirmeye göre tasarım ilkesinin esas alınmasını öngörmektedir. Bu noktada temel sorun, kaçınılmaz olarak doğrusal olmayan davranışın göz önüne alınmasını zorunlu kılan bu yaklaşımın, geleneksel olarak lineer davranışa koşullandırılmış biçimde gelişen mühendislik pratiğine sokulmasında ortaya çıkmaktadır. İşte bu sorunu aşmak üzere önerilen basitleştirilmiş çözüm Doğrusal olmayan Statik Yöntem, bu yöntemin temel aracı ise statik itme analizi (pushover analysis)'dir (ATC 1996; FEMA 1997-2000). Kritik kesitlerdeki doğrusal olmayan davranışın genellikle plastik mafsal hipotezi ile modellendiği bu analizde, analiz sırasında değişmeyen bir dağılıma göre veya her adımda değiştirilen dağılımlara göre sisteme etki ettirilen yatay yüklerin genliği adım adım arttırılmakta ve her adımda iç kuvvetler, yer değiştirmeler ve plastik şekil değiştirmeler hesaplanmaktadır (Aydınoglu 2003).

İtme analizinin sonucunda elde edilen global itme eğrisi (pushover curve), taban kesme kuvvetinin en üst kattaki yatay yer değiştirmeye göre doğrusal olmayan değişimini gösterir. Ancak Doğrusal olmayan Statik Yöntem'in esas amacı, verilen bir deprem etkisi altında sistemde oluşan maksimum yer değiştirmelere ve özellikle maksimum plastik şekil değiştirmelere ilişkin deprem istemi'nin belirlenmesi, daha sonra bu istem değerlerinin, seçilen performans düzeyleri için tanımlanan şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılması ve böylece yapısal performansın değerlendirilmesidir. Bu açıdan bakıldığında itme eğrisinin, analiz edilen taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan dayanım ve yer değiştirme kapasitelerini global olarak göstermenin ötesinde doğrudan bir anlamı bulunmamaktadır. O nedenle itme eğrisinin koordinatları, sistemin birinci doğal titreşim modu ile temsil edilen tek serbestlik dereceli (TSD) eşdeğer sistemin yer değiştirmesine karşı gelen modal yer değiştirme ve aynı sistemin normalize edilmiş dayanımına karşı gelen modal sözde-ivme koordinatlarına dönüştürülür. Daha sonra, verilen deprem etkisi altında eşdeğer TSD sistemdeki en büyük yer değiştirmeyi ifade eden doğrusal olmayan spektral yer değiştirmeden yararlanılarak, yukarıda belirtilen deprem istemleri elde edilir. Doğrusal olmayan Statik Yöntem'in iki farklı versiyonu olarak geliştirilen Kapasite Spektrumu Yöntemi (ATC 1996) ile Yer değiştirme Katsayıları Yöntemi'nde

(FEMA 2000) doğrusal olmayan spektral yer değiştiriminin tanımlanması için farklı yöntemler kullanılmaktadır (Aydinoğlu 2003).

Yukarıda kısaca özetlenen Doğrusal olmayan Statik Yöntem, hiç kuşkusuz deprem mühendisliği pratiğinde bir devrim olarak nitelendirilebilecek çok önemli bir gelişmeyi ifade etmekte ve basit sistemler üzerinde yapılan başarılı uygulamalardan cesaret alan deprem mühendisleri bu yöntemi giderek daha yaygın biçimde kullanmak istemektedirler. Ancak bu noktada önemle belirtilmesi gereken husus, statik itme analizine dayalı Doğrusal olmayan Statik Yöntem'e ilişkin pek çok problemin ve kısıtlamanın (Krawinkler and Seneviratna 1998) henüz aşılamamış olmasıdır. Gerçekten, yöntemin teorik temelleri henüz tam anlamı ile ortaya konulabilmiş değildir ve yöntemin gelişimi hala büyük ölçüde sezgisel olarak devam etmektedir (Elnashai 2002).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Amerika Birleşik Devletleri'nin California eyaletinde, 1989 Loma, Prieta ve 1994 Northridge depremlerinin neden olduğu büyük hasar, deprem etkileri altında yeterli bir dayanımı öngören performans kriterlerine alternatif olarak, yer değiştirme ve şekil değiştirmeye bağlı daha gerçekçi performans kriterlerini esas alan yöntemlerin geliştirilmesi gereksinimini ortaya çıkarmıştır (Aydınoğlu 2003).

Bu kapsamda, Applied Technology Council (ATC) tarafından Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings - ATC 40 projesi ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings - FEMA 273, 356 yayınları gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, bu çalışmaların sonuçlarının irdelenerek geliştirilmesi amacıyla ATC 55 projesi yürütülmüş ve projenin bulgularını içeren FEMA 440 taslak raporu hazırlanmıştır. Bu organizasyonların yanında, Building Seismic Safety Council (BSSC), American Society of Civil Engineers (ASCE) ve Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley (EERC-UCB) tarafından yürütülen diğer projeler de bu alandaki araştırmalara katkı sağlamaktadır. Bu projeler ve yayınlardan yararlanarak, deprem bölgelerinde yer alan mevcut yapıların deprem performanslarının belirlenmesi ve yeni inşa edilecek binaların performansa dayalı tasarımı mümkün olmaktadır (Aydınoğlu 2003).

Mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi, son yıllarda ülkemizde meydana gelen depremler sonrasında giderek önem kazanmış ve bir gereksinim haline gelmiştir. Nitekim bu gereksinime cevap vermek amacıyla, yürürlükte olan 1998 Türk Deprem Yönetmeliği'ne, mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili bir bölüm eklenmesi çalışmaları yürütülmüş ve bu çalışmaların sonucunda 2007 Türk Deprem Yönetmeliği hazırlanmıştır (Aydınoğlu 2003).

Bu bölümde statik itme analizi yöntemiyle ilgili yapılan çalışmalara kısaca değinilmiştir.

Lawson *et al.* (1994) tarafından yapılan çalışmada, doğrusal olmayan statik itme analiz yöntemlerinin hangi durumlarda ve nasıl kullanılması gerektiği konusunda bir araştırma yapılmıştır. Doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin getirdiği sınırlamalar ve bu yöntemlerin uygulanmasında karşılaşılan temel sorunlar ve yatay yük dağılımına bağlı olarak analiz sonuçlarının değişimi üzerinde durulmuştur.

Moghadam and Tso (1995), simetrik olmayan yüksek katlı yapı sistemlerinde deprem esnasında büyük hasarlara neden olan burulma düzensizliğinin hasar seviyesine etkisini göstermek üzere, simetrik olmayan yapılarda doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin kullanımı üzerinde durulmuştur.

Kilar and Fajfar (1997) tarafından yapılan çalışmada, tek düze olarak artan yatay yüklere (statik itme analizi) maruz simetrik olmayan yapıların doğrusal olmayan statik itme analizi için basit bir yöntem sunmuşlardır. Bu metodun yapıların değerlendirilmesi ve sismik tasarımı için yeni yöntemlerin bir parçası olarak tasarlandığını söylemişlerdir. Yapı düzlemsel makro elemanlardan oluştuğunu ifade etmişlerdir. Çalışmada her bir düzlemsel makro eleman için, basit bir çift doğrusal veya çok doğrusal taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi varsayılmıştır. Adım adım analiz yapılarak taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirmesi arasındaki tahmini ilişkiyi hesaplamışlardır. Analiz sırasında binada meydana gelen plastik mafsalların oluşumunun gözlemlendiği ifade edilmiştir. Ayrıca burulmanın yapı davranışının üzerindeki etkisi tartışılmıştır.

Sasaki *et al.* (1998), yüksek mod etkilerine bağlı olarak yapıların göçme mekanizmalarının belirlenmesine yardımcı olacak, yüksek mod esaslı doğrusal olmayan statik itme analizi yöntemi geliştirmişlerdir. Yöntem kullanılmakta olan doğrusal olmayan statik itme analizi yöntemlerinin basitliklerini devam ettirerek, bu analizlerin yüksek mod etkilerinin de kapsayacak şekilde genişletilmiş hali olduğu söylenmiştir.

Faella and Kilar (1998) tarafından yapılan çalışmada, asimetrik yapıların sismik analizinde 3 boyutlu doğrusal olmayan statik itme analizlerinin uygunluğunu araştırmak için, doğrusal olmayan dinamik analizlerden elde edilen sonuçlar, maksimum tepe deplasmanına kadar analiz edilmiş doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Analizlerinde bir bilgisayar programı kullanmıştır.

Ghobarah *et al.* (2000) yapmış oldukları çalışmada, mevcut birkaç katlı ofis binalarının sismik performansı doğrusal olmayan statik itme analizinden elde edilen performans eğrisi kadar binaların hasar seviyesi ve potansiyel kayma açısı da değerlendirmişlerdir. Bina kolonları için farklı güçlendirme stratejileri değerlendirmişlerdir. Güçlendirme şekilleri kolon mukavemeti, düktilitesi, rijitliği veya bu parametrelerin kombinasyonlarını içermiştir. Olasılık analizini güçlendirilmiş bu mevcut çerçevenin performansını karşılaştırmada uygulamışlardır. Yapı kapasitesi kadar yer hareketini de rastgele değişken olarak göz önünde bulundurmışlardır.

Chopra and Goel (2002) , sabit yük dağılımlı güncel prosedürlerin hesapsal etkinliğini ve kavramsal basitliğinin korunduğu, yapı dinamiği teorilerini temel alan statik itme analizi yöntemi geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu modal statik itme analizinde (MPA), etkili deprem kuvvetlerinin modal büyümesindeki her bir terime bağlı olarak oluşan sismik talep, her bir moda ait atalet kuvvetlerinin dağılımını kullanarak statik itme analizleri ile belirlemişlerdir.

Antoniou *et al.* (2002), doğrusal olmayan statik itme analizi yöntemlerinin bazı kısıtlamalarını azaltmak için, yeni bir doğrusal olmayan statik itme analizi yöntemi geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri yöntem, yapının elastik ötesi davranışının çeşitli kademelerinde, elemanların değişen rijitliklerine ve yapı sisteminin dinamik özelliklerine bağlı olarak, yapı sistemi yüksekliği boyunca yatay yük dağılımının değişimini dikkate almakta ve yüksek mod etkilerini içermektedir.

Chopra *et al.* (2003), çok katlı bir binanın tepe deplasmanını tek serbestlik dereceli sistemin deformasyonundan hesaplayabilen basit bir önerme olduğunu ifade etmişlerdir.

İki sistemin tepkileri tek serbestlik dereceli sistemin deformasyonunu tahmin etmede basitleştirilmiş metotları temel alan tahminlerin herhangi birisini sunmaksızın zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizle kesin olarak belirlenebileceğinden bahsetmişlerdir.

Jan *et al.* (2004) tarafından yapılan çalışmada, mühendislerin yüksek binaların sismik taleplerinin değerlendirilmesinde daha karmaşık doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz yerine, statik itme analizi veya basitleştirilmiş doğrusal olmayan statik analizler kullandıklarını ifade etmişlerdir. Geleneksel analiz yüksek katlı binaların elastik olmayan sismik taleplerini tahmin etmede bazı yetersizliklere sahip olduğu, bu yüzden bazı iyileştirilmiş yöntemlerin son zamanlarda araştırıldığını bildirilmiştir. Bu çalışmada, daha yüksek mod etkilerini göz önünde bulunduran yeni basitleştirilmiş statik itme analiz yöntemi önermişlerdir. Yöntem beş farklı yükseklikteki binalara uygulanmıştır. İki modun yeterli sonuçlar verdiği ve diğer yüksek mod etkilerinin ihmal edilebileceği, yapılan çalışmada vurgulanmaktadır. Buna göre sadece ilk iki modu dikkate alarak gerçekleştirilen statik itme analizler sonucunda seçilen yapılara ait çatı deplasmanı, görelî kat ötelenmeleri ve plastik mafsâl dönme değerleri elde edilmiştir. Yöntemin hassasiyetini üçgen yük dağılımı ile yapılan statik itme analizleri, yüksek mod esaslı statik itme analizleri ve doğrusal olmayan dinamik analizlerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma sonucunda, önerilen yöntemin çatı deplasmanı, görelî kat ötelenmeleri ve plastik mafsâl dönmelerini diğer üç yöntemden daha doğru tahmin ettiğini göstermişlerdir.

Zou and Chan (2005), performansa dayalı doğrusal olmayan itme analizini kullanarak bilgisayar teknikleriyle itme analizini nümerik olarak gerçekleştirerek betonarme binaların performansa dayalı tasarımını yapmışlardır. Performansa dayalı tasarımın etkinliğini ve pratikliğini göstermek için çalışmasında iki çerçeve sisteme sahip betonarme bina örneği sunulmuştur.

Dinh and Ichinose (2005) tarafından yapılan çalışmada, olasılık teknikleri olacak deprem hareketlerindeki belirsizliklerden dolayı değişen binaların sismik kat

ötelenmesini tahmin etmede hayati kullanıldığından bahsedilmiştir. Bu çalışmada, kat ve toplam göçme mekanizmalarının her ikisinde göz önünde bulundurulmasıyla betonarme binaların sismik kat ötelenmesinin standart sapması ve beklenen ortalamasını hesaplamak için bir prosedür önerilmiştir.

Thomos *et al.* (2006), temel değişkenlerin rastgeleliğini dikkate alan betonarme çerçevelerin statik itme eğrilerini üretmek için bir yöntem sunmuşlardır. Betonarme çerçevelerin analizinde doğrusal olmayan statik itme yöntemini kullanmışlardır. Temel değişkenler güvenilirlik metotları kullanılarak üretilen kapasite eğrileri ve rastgele değişkenler olarak göz önünde bulundurmuşlardır. Elde edilen temel değişkenlerin rastgele değeri ve statik itme eğri serilerinin simulasyonu için Monte Carlo metotlarını kullanmışlardır. Her bir statik itme eğrisi iki eğrinin kesişimi olan noktanın performansını elde etmek için azaltılmış tepki spektrum eğrisi ile birleştirmişlerdir. Yapıların tepki değişimini etkileyen parametreler de incelenmiş ve deterministik analiz sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır.

Inel and Ozmen (2006), basitliğinden dolayı yapı mühendislerinin doğrusal olmayan işlemler veya statik itme analizini kullandıklarını ifade etmişlerdir. Bu tür analizlerin model varsayımlarına bağlı olarak yapıdaki her bir bileşenin doğrusal olmayan özelliklerinin belirlenmesine ihtiyaç duyduğu ifade edilmiştir. Statik itme analizinde, ya FEMA-356 ve ATC-40 standartlarını temel alan bazı programlarda bulunan varsayılan mafsal özelliklerini yada kullanıcı tanımlı doğrusal olmayan mafsal özelliklerini kullandıkları belirtmişlerdir. Bu tür dokümanlar mafsal özelliklerinin aralıklarını verirken, programın ortalama değerleri alacağı belirtilmiştir. Kullanıcının dikkatli olmasına gerek olduğu; varsayılan mafsal özelliklerinin yanlış kullanımı mevcut yapılar için makul olmayan yerdeğiştirme kapasitesine yol açabileceği ifade edilmiştir. Bu çalışmada, kullanıcı tanımlı ve varsayılan doğrusal olmayan bileşenlerin özelliklerinden dolayı statik itme analizi sonundaki muhtemel farklılıklar araştırılmıştır. 4 ve 7 katlı binalar bu çalışmada az katlı ve orta katlı binaları temsil etmiştir. Plastik mafsal uzunluğu ve enine donatı aralığı kullanıcı tanımlı mafsal özelliklerinde etkin parametreler olarak varsaymışlardır. Plastik mafsal uzunluğu ve enine donatı aralığı

parametrelerinin çerçevenin yer değiştirme kapasitesi üzerinde önemli etkisi var iken, temel kayma kapasitesi üzerinde önemli etkisi olmadığını belirtmişlerdir. Karşılaştırmalar sonunda enine donatı miktarındaki artışın yer değiştirme kapasitesini iyileştirdiğini göstermişlerdir. Eleman özellikleri ile uyumlu doğrusal olmayan özellikleri yansıtmada kullanıcı tanımlı mafsal modelinin varsayılan mafsal modelinden daha iyi olduğunu ifade etmişlerdir.

Kalkan and Kunnath (2007) tarafından yapılan çalışmada, performansa dayalı tasarım metotlarında kritik ve temel bileşenin sismik talep parametrelerinin doğru tahmin edilmesinin gerekliliği ifade edilmiştir. Doğrusal olmayan statik işlemlerin binaların sismik taleplerini tahmin etmede mühendislik pratiğinde genişçe kullanıldığından bahsedilmiştir.

Baros and Dritsos (2008), on yıldan daha fazla süredir mevcut binaların sismik performansını yeterli doğrulukta değerlendirmek için analitik işlemlerdeki gelişme, araştırmacıların dikkatini çektiği vurgulanmıştır. Bu durum güçlendirme stratejisi seçimi konusunda yine de yetersiz olan birkaç standardın yayınlanması ile sonuçlandırıldığından bahsedilmiştir. Bu çalışmada, mevcut kusurlu bir binada optimum çözümü belirlemek için mevcut stratejileri karşılaştıran bir prosedür önerilmiştir. Bu prosedür güçlendirilmemiş yapı için statik itme eğrisini hesaplamayı temel almıştır. Bir kapasite spektrumu kullanılan farklı güçlendirme senaryoları varsayılarak tahmin edilmiştir. Bu çalışma, ana yapısal sistem karakteristiklerini ve her bir çözümün ona nasıl fayda sağlayacağı kriterini temel almıştır. Prosedürün son adımında her bir güçlendirme çözümünün tahmini tasarımına izin veren basitleştirilmiş kurallar sunulmuştur. Önerilen prosedürleri farklı yapısal sistemli iki idealize edilmiş binaya uygulamışlardır.

Inel *et al.* (2008) tarafından yapılan çalışmada, geçmiş yirmi yılda Türkiye’de orta ve büyük ölçek de çok sayıda deprem meydana gelmiş olduğu ve sonucunda can ve mal kaybının olduğu ifade edilmiştir. Kayda değer can kaybı, ağır hasar görmüş veya tamamen yıkılmış, özellikle 3 kattan 7 kata kadar olan çok katlı betonarme binaların

yetersiz sismik performansından kaynaklandığının altını çizmişlerdir. Bu çalışmada, Türkiye'deki çok yaygın uygulanan betonarme binaların sismik performanslarını değerlendirmeyi hedeflemişlerdir. Binalar, mevcut inşaat pratiğinde düzenli bina ve ağır konsollu yumuşak kat, kısa kolon, ağır konsollar ve yumuşak katlar gibi düzensizliğe sahip binalar olarak yansıtıldığı ifade edilmiştir. İncelenen binaların kapasite eğrileri iki asal yönde etkiyen statik itme analizi ile hesaplamışlardır. Elastik olmayan dinamik karakteristikler, eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemler tarafından temsil edilmiştir. Sismik yer değiştirme talepleri seçilmiş yer hareketleri altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizi kullanılarak belirlenmiştir. Sismik performans değerlendirilmesi FEMA-356 ile benzerlikler gösteren 2006 Deprem Yönetmeliğine göre yapmışlardır. Analitik hasar değerlendirmesi sonucunda, Türkiye'de meydana gelmiş depremlerin sismik etkisinin önemli olduğu ve bazı depremlerin aşırı yer değiştirmeye zorladığını göstermişlerdir. Bu nedenle Türkiye ve benzer ülkelerdeki mevcut binaların önemli bir kısmı yeterli bir güvenliğe sahip olmayabileceğini ifade etmişlerdir. Ayrıca, yapısal düzensizliklerin yapının sismik performansını etkilediğini gözlemlemişlerdir. Ağır konsollu yumuşak kat ve kısa kolon gibi düzensizliklerin bina üzerinde en büyük olumsuzluklar olduğu ifade etmişlerdir.

Irtem and Hasgul (2009), çalışmalarında, doğrusal olmayan statik analiz işlemlerinden (NSPs) olan ATC-40'da önerilen kapasite spektrum yönteminden (CSM) ve FEMA 356'da önerilen yer değiştirme katsayıları yönteminden (DCM) elde edilen yapısal tepki taleplerini değerlendirmeyi ve karşılaştırmayı hedeflemişlerdir. Bu amaç için, farklı karakterli üç boyutlu bir kaç katlı üç betonarme binayı incelemişlerdir. Yanal yükler altında binaların doğrusal olmayan davranışını belirlemek için, taban kesme kuvveti - tepe deplasman ilişkilerini (kapasite eğrileri) P-delta eğrilerini içeren statik itme analiziyle elde etmişlerdir. Dört farklı sismik risk seviyelerinin göz önünde bulundurulmasıyla, bina performanslarını CSM kullanarak ve önceki çalışmalardan belirlenen DCM sonuçlarını kullanarak belirlemişlerdir. Birkaç katlı betonarme binalar göz önünde bulundurulurken NSPs'lerden elde edilen yapısal tepki miktarının (plastik dönmeler, kat ötelenmesi gibi) karşılaştırılmasıyla, binaların performans değerlendirmelerinde farklı NSPs'lerin etkilerine de incelemişlerdir.

Verderame *et al.* (2010) tarafından yapılan çalışmada, mevcut düzenli betonarme binaların sismik kapasitelerinin değerlendirilmesinde otomatik bir prosedürün uygulanmasını ve genel kriterleri sunmuşlardır. Özellikle, sismik kapasite binalar için birleştirilmiş bir plastik model üzerinde pushover analizi yoluyla tekrar elde etmişlerdir. Bütün bir bina poplasyonu için tek bir temsili yapısal modele dayanan son yaklaşımlardan farklı olarak, önerilen metot otomatik döngüdeki hemen hemen bütün bina poplasyonlarının analiz edilmesine izin verdiğini ifade etmişlerdir. Analiz işlemlerini otomatikleştirme ve hızlandırma amacıyla, bir yazılım yapmışlardır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Performans Kavramı

3.1.1. Performans seviyeleri

Performans seviyeleri verilen bir yapı için, verilen deprem etkisi altında öngörülen hasar miktarının sınır durumlarıdır. Bu sınır durumlar, binadaki taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasarın miktarına, bu hasarın can güvenliği bakımından tehlike oluşturup oluşturmamasına, deprem sonrasında binanın kullanıp kullanılmamasına ve hasarın neden olduğu ekonomik kayıplara göre belirlenir (Güler 2008). Taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan performans seviyelerinin kombinezonu bina performans seviyesini oluşturur. Taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan yapı elemanları için ATC 40'da tanımlanan performans seviyeleri ve aralıkları aşağıda açıklanmıştır.

3.1.1.a. Taşıyıcı elemanlar için performans seviyeleri

Hemen kullanım performans seviyesi (SP-1) : Taşıyıcı sistemde yok sayılabilecek kadar hasar oluşmuştur. Yapının dayanımı deprem öncesiyle hemen hemen aynıdır. Yapı deprem sonrası hemen kullanılabilir durumdadır.

Hasar kontrol performans aralığı (SP-2) : Deprem sonrası yapıda oluşan hasarın, hemen kullanım ile can güvenliği performans seviyeleri arasında bulunduğu aralıktır. Burada temel amaç can güvenliği olmasına rağmen, hasarında belirli ölçüde sınırlandırılmasıdır.

Can güvenliği performans seviyesi (SP-3) : Yapının taşıyıcı sisteminde önemli sayılabilecek hasarlar olmasına rağmen, bölgesel veya toptan göçme meydana gelmez.

Binada göçmeyi önleyecek ek bir kapasite mevcuttur. Deprem sonrası yapının yeniden kullanılması için güçlendirmeye gereksinim vardır (Temür 2007).

Sınırlı güvenlik performans aralığı (SP-4) : Bu aralık net bir seviye olmamakla beraber can güvenliği ile yapısal stabilite performans seviyeleri arasında ki bir aralıktır. Bu aralıkta taşıyıcı elemanlar tam olarak can güvenliği koşullarını sağlayamasa da yapıda tamamen bir göçme meydana gelmez.

Göçmenin önlenmesi performans seviyesi (SP-5) : Taşıyıcı elemanlarda büyük hasarlar oluşmuş, elemanların dayanımda büyük ölçüde azalmalar meydana gelmiştir. Yapının taşıma kapasitesi düşey yükleri taşımaya devam ederek yapının toptan göçmesine engel olur. Büyük oranda can güvenliği riski bulunmamaktadır. Meydana gelebilecek maksimum deprem durumunda, yapının bu performans seviyesini sağlaması gerekmektedir (Temür 2007).

3.1.1.b. Taşıyıcı olmayan elemanlar için performans seviyeleri

Taşıyıcı olmayan performans seviyeleri, yapının taşıyıcı sistemi dışında kalan elemanlarda meydana gelen hasar seviyelerini açıklamak için kullanılır. Yapısal olmayan performans seviyeleri NP-n harfleri ile simgelenir. Ayrıca, doğrudan değerlendirme ve güçlendirme aşamalarındaki teknik ölçütleri belirlemek için kullanılır (Esin 2005).

Kullanıma devam performans seviyesi (NP-A) : Taşıyıcı olmayan eleman ve sistemlerin deprem sonrası yerlerini ve işlevlerini korudukları hasar durumu olarak tanımlanmaktadır. Küçük onarımlar gerekse de, makine ve ekipmanlar çalışır durumdadır. Yapısal olmayan elemanların kullanımını engelleyen bir hasar mevcut değildir.

Hemen kullanım performans seviyesi (NP-B) : Yapısal olmayan elemanların yerlerinde bir değişiklik olmamakla beraber elemanlarda giderilebilir küçük hasarların meydana geldiği deprem hasar seviyesidir. Bu seviyede sismik güvenlik durumu etkilenmez (Temür 2007).

Can güvenliği performans seviyesi (NP-C) : Deprem sonrasında yapısal olmayan elemanlar ve sistemlerde dikkate değer bir hasarın oluştuğu hasar durumunu tanımlamaktadır. Bununla birlikte, yapının içinde veya dışında çeşitli yaralanmalara sebep olabilecek ağır elemanların göçmesi veya dışması söz konusu değildir. Yapısal olmayan sistemlerin, ekipmanların ve makinelerin onarılması veya yenilenmesi gerekli olabilir. Deprem esnasında yaralanmalar olmakla birlikte, yapısal olmayan hasardan dolayı can güvenliğini tehdit edecek yaralanmalar meydana gelmez (Temür 2007).

Azaltılmış hasar performans seviyesi (NP-D) : Dış duvarların, cephe kaplamasının, parapetlerin ve asma tavan gibi yapısal olmayan elemanların kısmi ya da tamamen göçmesi sonucu insanların yaralanmasına veya ölmesine neden olabildiği ancak toptan göçmenin olmadığı performans seviyesidir (Kesim 2005).

Performansın dikkate alınmadığı seviye (NP-E) : Bu seviye esas itibariyle tam bir performans seviyesi sayılmamakla beraber genel durum için tasarım olasılığı sunar. Yapısal olmayan elemanların taşıyıcı sisteme herhangi bir katkısı olmadığı kabul edilerek hesaplar yapılırsa da pratikte böyle olmadığı deprem anında çerçvelerin içine örülen duvarların yük taşıdığı bir gerçektir (Kesim 2005).

3.1.1.c. Bina performans seviyeleri

Binanın deprem etkisi altında beklenen performansı, ortaya çıkacak hasar, ekonomik kayıp ve faaliyete ara vermenin sakıncasının toplamı olarak görülür. Buna bağlı olarak binanın performans seviyesi, taşıyıcı sistemin durumunu gösteren yapısal performans seviyesi ile taşıyıcı olmayan elemanların durumunu gösteren yapısal olmayan

performans seviyesi tanımlarının birleştirilmesiyle bina performans seviyesi tanımlanır. Çizelge 3.1’de bu seviyeler gösterilmiştir (Celep ve Kumbasar 2004).

Çizelge 3.1. Yapısal ve yapısal olmayan performans seviyelerinin birleşimlerinden elde edilen bina performans seviyeleri (Celep ve Kumbasar 2004)

Yapısal olmayan performans seviyeleri	Yapısal performans seviyeleri					
	SP-1 Hemen kullanım	SP-2 Hasar kontrol (aralık)	SP-3 Can güvenliği	SP-4 Sınırlı güvenlik (aralık)	SP-5 Yapısal stabilite	SP-6 Göz önüne alınmadı
NP-A Kullanıma devam	1-A Kullanıma devam	2-A	K.Ö.	K.Ö.	K.Ö.	K.Ö.
NP-B Hemen kullanım	1-B Hemen kullanım	2-B	3-B	K.Ö.	K.Ö.	K.Ö.
NP-C Can güvenliği	1-C	2-C	3-C Can güvenliği	4-C	5-C	6-C
NP-D Azaltılmış hasar	K.Ö.	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
NP-E Göz önüne alınmadı	K.Ö.	K.Ö.	3-E	4-E	5-E Yapısal stabilite	U.

Çizelge 3.1’de isimlendirilen seviyeler yaygın olarak kabul görenler olup, Çizelge 3.2’de açıkları verilmiştir. Numaralandırılan, ancak isimlendirilmeyenler ise, sık kullanılmayan diğer performans seviyeleridir. Çizelgede K.Ö. ifadesi ile belirtilenler kullanılması önerilmeyen, U. ifadesi ile belirtilen ise uygulanamaz bina performans seviyelerini göstermektedir.

Çizelge 3.2. Binalar için bazı önemli performans seviyeleri

Bina Performans Seviyesi	Yapısal ve yapısal olmayan performans seviyeleri	Tanım
1-A	SP-1 NP-A	Kullanıma devam performans seviyesi
1-B	SP-1 NP-B	Hemen kullanım performans seviyesi
3-C	SP-3 NP-C	Can güvenliği performans seviyesi
5-E	SP-5 NP-E	Yapısal stabilite performans seviyesi
6-E	SP-6 NP-E	Uygulanamaz

Kullanıma Devam Performans Seviyesi (1-A) : Bu performans seviyesinde, yapısal ve yapısal olmayan elemanlarında oluşan hasarlar kullanıma devamı etkilemeyecek seviyededir. Yapısal sistem ve elemanlarında önemli hasar yoktur. Binanın yedek sistemlerinin devreye girmesiyle kullanıma devam edilir. Can güvenliği ile ilgili sorunun olmadığı ve onarımın gerekmediği durumdur.

Hemen Kullanım Performans Seviyesi (1-B) : Bu seviye önemli binalar için öngörülen seviyedir. Binanın sistemleri kullanılabilir durumdadır. Bu performans seviyesindeki binada can güvenliği tehlikesi yoktur.

Can Güvenliği Performans Seviyesi (3-C) : Bu seviyedeki binaların yapısal sistem ve elemanlarında orta dereceli hasar vardır ve taşıyıcı sistemde önemli miktarda kapasite

kalmış durumdadır. Yapısal olmayan elemanlarda ise düşme ve devrilme gibi durumlar ortaya çıkar. Can güvenliğinin tehlikeye girme riski çok düşüktür. Günümüz yönetmeliklerinin yeni yapılacak binalar için öngörmüş olduğu performans seviyesinden daha düşük bir seviyeye karşılık gelmektedir. Yani yönetmelikler binanın bu seviyeden daha fazla yer değiştirme yapmasını öngörür.

Yapısal Stabilité (Göçmenin Önlenmesi) Performans Seviyesi (5-E) : Bu performans seviyesi sadece binanın ana çerçevesi veya yatay yük taşıyan sistem için tanımlanabilir. Yapının düşey yük taşıyan sistemi ayaktadır. Artçı depremler için hiçbir kapasite kalmamıştır.

3.1.2. Deprem yer hareketleri

Yapıların performans hedefi belirlenirken göz önüne alınması gereken en önemli hususlardan biri depremdir. Buna bağılı olarak da istenilen performans seviyesinin ne gibi bir deprem etkisi altında gerçekleşmesi beklendiğı durumu belirlemek gerekmektedir. Bu yüzden deprem etki seviyeleri tanımlanmak suretiyle bu belirleme gerçekleştirilebilir. Deprem etki seviyesi; depremin esas alınan zaman aralığında aşılma olasılığı ve depremin dönüş periyodunun dikkate alınmasıyla belirlenmektedir. Bunun yanında yer hareketinin belirlenmesi de tasarım için gereklidir. FEMA-273 yaygın olarak kullanılan dört çeşit deprem etki seviyesi (yer hareketi) tanımlamıştır (Özdaş 2006). Bu seviyeler Çizelge 3.3'de verilmektedir.

Çizelge 3.3. Göz önüne alınabilecek deprem için parametreler (FEMA-273 2000)

Aşılma olasılığı (%)	Esas alınan zaman aralığı(yıl)	Dönüş periyodu (yıl)
50	50	72
20	50	225
10	50	474
2	50	2475

Bilindiği gibi depremin etkisi; zemin özelliklerine, aktif fay kuşaklarının nicel özelliklerine ve binaya olan mesafelerine bağlı olarak değişmektedir. Deprem yer hareketi için üç deprem etki seviyesi göz önüne alınmaktadır (Çizelge 3.4). Bu etki seviyeleri hesaplarda en çok kullanılan seviyelerdir.

Çizelge 3.4. Sık kullanılan deprem etki seviyeleri

Göz önüne alınabilecek deprem için parametreler	Deprem Etki Seviyeleri		
	Kullanım Depremi	Tasarım Depremi	Maksimum Deprem
Esas alınan zaman aralığı (yıl)	50	50	50
Aşılma olasılığı (%)	50	10	2
Ortalama dönüş periyodu (yıl)	72	474	2475

Kullanım Depremi: 50 yıllık zaman aralığında aşılma olasılığı %50 (50-%50) olan deprem olarak tanımlanmaktadır. Bu depremin ortalama dönüş periyodu ise 72 yıldır. Bu depremin binanın ömründe en az bir kere veya daha fazla ortaya çıkma olasılığı çok fazladır.

Tasarım Depremi: 50 yıllık zaman aralığında aşılma olasılığı %10 (50-%10) olan deprem olarak tanımlanmakta olan tasarım depreminin ortalama dönüş periyodu 474 yıldır. Bu deprem binanın ömründe ortaya çıkması sık olmayan bir olaydır. Bu deprem FEMA 273'te Temel güvenlik depremi-1 (TGD-1) olarak isimlendirilir.

Maksimum Deprem: 50 yıllık zaman aralığında aşılma olasılığı %2 (50-%2) olan deprem olarak tanımlanmaktadır. Bu depremin dönüş periyodu 2475 yıldır. Bu deprem,

binanın ömrü boyunca ortaya çıkma ihtimali çok azdır. Bu deprem FEMA 273'te Temel güvenlik depremi-2 (TGD-2) olarak isimlendirilir.

3.2. Performans Hedefleri

Bir bina için göz önüne alınacak performans amacı, deprem etki seviyesine ve bina performans seviyesine bağlı olarak belirlenir ve aşağıdaki Çizelge 3.5'de gösterildiği gibi ifade edilir.

Çizelge 3.5. Bina performans amaçlarının sınıflandırılması (Celep ve Kumbasar 2004)

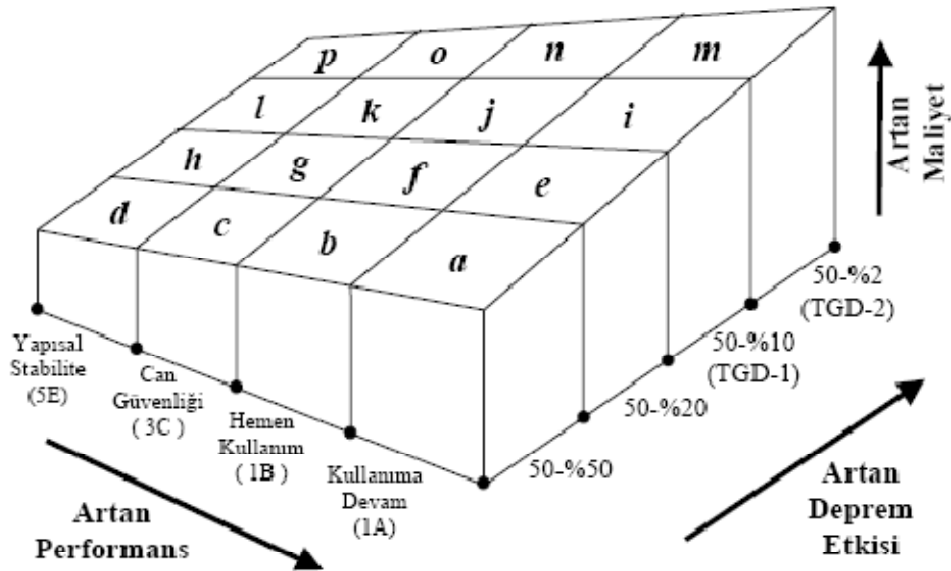
Deprem Etki Seviyeleri	Bina Performans Seviyeleri			
	Kullanıma devam (1-A)	Hemen kullanım (1-B)	Can güvenliği (3-C)	Yapısal stabilite (5-E)
Kullanım Depremi (%50-50 yıl)	a	b	c	d
%20-50 yıl	e	f	g	h
Tasarım Depremi (TGD-1) (%50-50 yıl)	i	j	k	l
Maksimum Depremi (TGD-2) (%50-50 yıl)	m	n	o	p

Bu şekilde bir çizelge oluşturularak bina performans amacının belirlenmesinin nedeni; performans-deprem etkisi-maliyet arasındaki ilişkiyi daha iyi tanımlayabilmektir. Bunun için Çizelge 3.5.'de görüldüğü gibi ilk satırdan başlayarak bina performans seviyeleri ile deprem etki seviyelerinin birleşimlerine sırasıyla harfler atanmak suretiyle tablo oluşturulmuştur. "a,f,k,p" ile simgelenen ve tablo'nun köşegenini ihtiva eden bu performans amaçları ana binalar için öngörülmektedir. "e, j, o" ile simgelenen performans amaçları önemli binalar için, "i, n" ile simgelenenler güvenliği çok özel

binalar için ve “m” harfi de hayati öneme haiz binalar için performans amacını simgelemektedir (Celep ve Kumbasar 2004). Köşegen üzerinde bulunan ‘b,g,l,c,h,d’ ile simgelenen performans amaçları ise kullanılması önerilmeyen performans amacını simgelemektedir.

Çizelge 3.5’de de görülebileceği gibi TGD-1 tasarım depremine karşılık gelmekte ve can güvenliği performans seviyesi yani “k” seçimi yapılmaktadır. Yine TGD-2 maksimum depreme karşılık gelmekte ve yapısal stabilite performans seviyesi yani “p” seçimi yapılmaktadır. Dolayısıyla “k ve p” temel güvenlik amaçları olarak tanımlanmaktadır (Celep ve Kumbasar 2004).

Yukarıda da belirtildiği gibi bina performansının belirlenmesindeki amaç, seçilecek güvenlik seviyesinin ve kabul edilecek deprem etkisi seviyesinin belirlenmesi yanında maliyetin de bu durumlarla ilişkisini gözler önüne sermektir. Performans seviyesi – deprem etkisi-maliyet arasındaki ilişki Şekil 3.1’den görülebilir. Şekil 3.1’deki 50-%50 ifadesi 50 yıllık zaman aralığında aşılma olasılığı %50 olan deprem durumudur.



Şekil 3.1. Bina performans seviyeleri – deprem etkisi – maliyet arasındaki ilişki (Celep ve Kumbasar 2004)

3.3. Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi

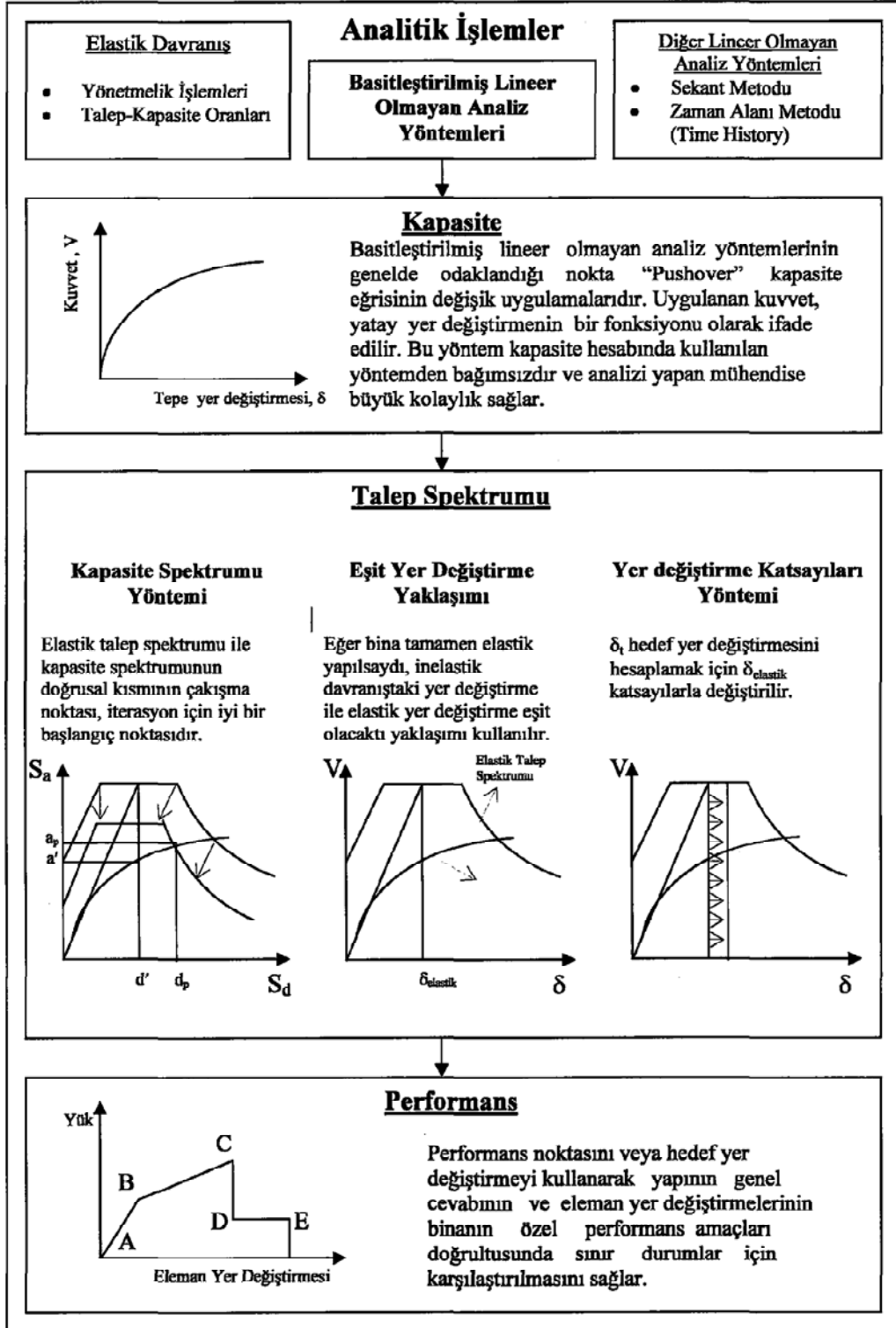
Bu bölümde, mevcut yapıların performans seviyelerinin belirlenmesi için kullanılacak analiz yönteminin seçimi ve uygulama adımları anlatılacaktır.

Mevcut betonarme yapılar için doğrusal ve doğrusal olmayan analiz olmak üzere iki ayrı yöntem uygulanabilir. Doğrusal analiz yönteminde malzemenin sadece doğrusal sınırlar içindeki davranışı göz önüne alınır. Malzemenin doğrusal olmayan davranışları hesaba katılmadığı için elemanlarda kalan ek kapasiteden yararlanılamamaktadır. Doğrusal analiz, statik yatay kuvvet, dinamik yatay kuvvet ve talep – kapasite oranlarını kullanan işlemleri içerir (Kesim 2005).

Doğrusal analiz yöntemi yapının elastik kapasitesini ve ilk akmanın nerede olacağını göstermesine karşın yapıda oluşabilecek mekanizma durumunu ve akma sırasında kuvvet dağılımını belirleyemez. Burada belirtilen mekanizma durumu, sistemin belirli sayıda plastik mafsallardan oluşan sonrakı oynak sistem halidir. Sistem mekanizma durumuna gelince de çöker. Doğrusal olmayan analiz yöntemi ise yapının göçme anına kadar ki davranışını ve yıkılma durumundaki mod şeklinin gerçekte nasıl olacağını büyük bir yaklaşımla gösterir. Yapının tasarımını yaparken doğrusal olmayan analiz yönteminin kullanımı yapının davranışı hakkında daha gerçekçi çözümler ortaya koyar (Kesim 2005).

Doğrusal olmayan analizde birçok yöntem mevcuttur. Bu yöntemler genel anlamıyla ‘Time History’ analizine dayanmaktadır. Ancak bu analiz yöntemi yaygın bir şekilde kullanılamayacak kadar karmaşık bir yöntem olmasından dolayı basitleştirilmiş doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılır. Basitleştirilmiş doğrusal analiz yöntemlerinden biri olan ‘Kapasite Spektrum Yöntemi’nde maksimum yer değiştirmeyi bulmak için kapasite (pushover) eğrisi ile indirgenmiş talep spektrumu eğrisinin kesişim noktası bulunarak doğrusal olmayan analiz yapılır (Kesim 2005).

Şekil 3.2. Analitik işlemler algoritması (Can 2005)



Performansa dayalı tasarımların temelini kapasite ve talep kavramları oluşturur. Talep deprem yer hareketinin gösterimi kapasite ise yapının sismik talebe karşılık verebilme yeteneği olarak tanımlanır. Aşağıdaki bölümlerde, yer değiştirme bazlı performans kriterlerini esas alan başlıca değerlendirme yöntemi olan Kapasite spektrum yöntemi gözden geçirilecektir.

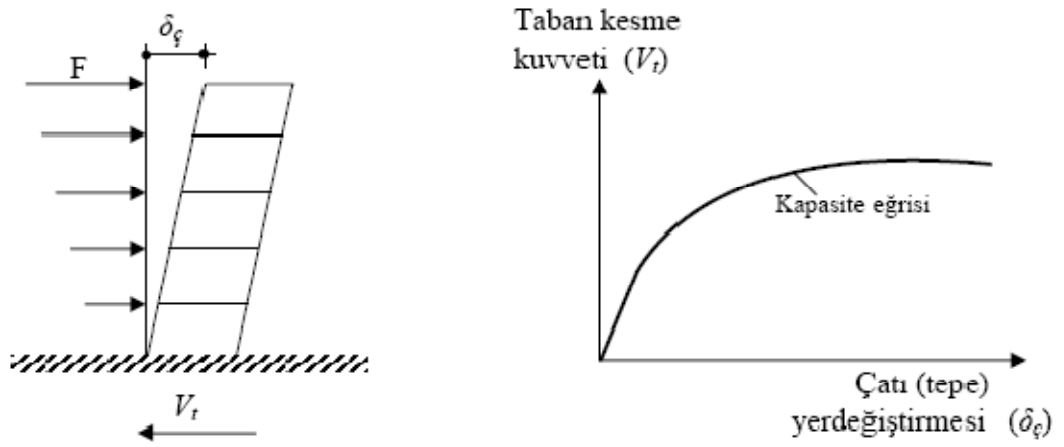
3.3.1. Kapasite spektrum yöntemi

Kapasite Spektrumu Yöntemi, belirli bir deprem yer hareketi dolayısıyla binada oluşabilecek maksimum yer değiştirmeler ile binanın yatay yük taşıma kapasitelerinin birbirine bağımlı olduğu esasına dayanmaktadır. Artan deprem yüklerine maruz kalan binada elastik olmayan deformasyonlar meydana gelir ki, bu deformasyonlar binanın sönümünü artırır ve buna bağlı olarak da artan sönümle beraber yer değiştirme talebini de azaltır. Kapasite spektrumu ve diğer doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinin daha anlaşılır olması bakımından bu yöntemin aşamalarını adım adım vererek izahını yapmak gerekir. Kapasite spektrumu yöntemi, özel olarak, kapasite spektrumu (kapasite eğrisinden üretilen) ile elastik azaltılmış (indirgenmiş) istem spektrumunun (doğrusal olmayan davranış dikkate alınmak suretiyle düzeltilmiş) kesiştiği noktanın yani performans noktasının bulunmasıdır. Dolayısıyla kapasite spektrumu yönteminin ilk aşamasını kapasite eğrisini belirlemek, son aşaması ise performans noktasının belirlenmesidir. Bu aşamaları sırasıyla aşağıdaki gibi özetleyebiliriz (Özdeş 2006)

3.3.1.a. Kapasite eğrisinin oluşturulması

Doğrusal olmayan artımsal itme analizinin ilk aşaması binanın kapasite eğrisini elde etmektir. Binanın yatay yük taşıma kapasitesini ifade eden kapasite eğrisini elde edebilmek için bina, sabit düşey yükler ve zeminden itibaren artan yatay eşdeğer deprem yükleri (F) altında, malzemenin doğrusal olmayan davranışının ve geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisinin dikkate alındığı, doğrusal olmayan artımsal itme analizine göre hesaplanarak limit duruma ulaşıncaya kadar gözlenir. Bu değişimler sonucunda, düşeyde her yük değeri için tepki kuvvetleri olan toplam taban

kesme kuvvetleri (V_t) ve yatayda da çatı (tepe) yer değiştirmelerinin (δ_φ) kesişen noktalarının geometrik olarak birleştirilmesiyle elde edilen eğri kapasite eğrisidir. Bu eğriye pushover eğrisi de denilmektedir. Şekil 3.3’de kapasite eğrisinin elde edilmesi görülmektedir (Özdaş 2006).



Şekil 3.3. Kapasite eğrisinin elde edilmesi (Özdaş 2006)

Kapasite eğrisinin belirlenebilmesi için genellikle birinci mod dikkate alınarak işlem yapılmaktadır. Bu durum birinci modun, doğal titreşim periyodunun bir saniye yada daha az olduğu binalar için geçerlidir. Çünkü bu tür binalarda, daha yüksek modların binaya etkileri oldukça küçük olduğu için bu etkiler göz ardı edilebilir. Ancak çok katlı ve daha sünek binalarda genellikle birinci modun doğal titreşim periyodu bir saniyeden fazladır. Doğal titreşim periyodunun büyük olması, yüksek modların davranışa olan katkılarının da genelde büyük olmasına neden olur ve tasarım yapılırken bu etkilerin göz önüne alınması gerekliliği ortaya çıkar (Özdaş 2006).

Binanın kapasite eğrisini belirleyebilmek için aşağıdaki yol izlenir:

1. Yatay yükler yapının kat kütle merkezlerine temel mod şekli ve ağırlıklarına göre uygulanır. Yatay yüklerin uygulama noktalarına göre beş farklı durum aşağıda belirtilmiştir.

a. Uygulaması kolay yapılarda yapının tepe noktasına yatay yük uygulanır (tek katlı yapılar).

b. Yatay yük, yapının her katının kütle merkezine deprem yönetmeliğinde belirtilen eşdeğer statik yatay yük olarak kat ağırlıkları oranında uygulanır.

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j} \quad (3.1)$$

w_i : Binanın i . katının toplam ağırlığı

H_i : Binanın i . katının yüksekliği

N : Binanın kat adeti

ΔF_N : Ek eşdeğer yük

V_t : Binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü

c. Yapının kütle merkezlerine birinci mod şekline uygun olarak yatay yük uygulanır. Ancak bu durum yapının 1. moduna ait doğal titreşim periyodunun 1.sn'den az olması gereklidir.

d. Bu modeldeki yapılar birinci mafsall oluşumuna kadar 'c' de belirtilen yapılar gibidir. Ancak birinci mafsall oluşumundan hemen sonra oluşan her artış için yükler, deforme olmuş şekle göre ayarlanmalıdır.

e. 'c ve d'de belirtilen yapılar ile aynıdır. Fakat yüksek mod şekillerinin de göz önüne alınmasıyla diğerlerinden ayrılan bir modeldir. Yüksek mod şekillerinin etkileri "Yüksek modlu artımsal itme analizi" ile belirlenir.

2. Eleman kuvvetlerinin belirlenebilmesi için yatay ve düşey yüklere göre gerekli hesaplamalar yapılır (Özdaş 2006).

3. Çoğu binalar için 1. ve 2. maddede yeterli olmasına rağmen bazı eleman veya eleman grupları için yatay yük değeri, eleman dayanımının %10'u alınarak belirlenir (Özdaş 2006).

4. Performans kontrolünün yapılabilmesi için gerekli olan çatı (tepe) yer değiştirmesi, taban kesme kuvveti, eleman kuvvetleri kaydedilir. Mafsallaşan elemanlarda rijitlik sıfır alınıp, model için hesaplamalar tekrar edilir.

5. Başka bir eleman veya eleman grubunda akma oluşuncaya (plastik mafsallık oluşuncaya) kadar yatay yükün artırılarak yükleme yapılmasına devam edilir.

6. Daha önceden belirlenen son limit değere ulaşıncaya kadar 5. ve 6. maddedeki işlemler tekrarlanmak suretiyle uygulamaya devam edilir. Yani yük ve yer değiştirmeler birbirinden çok fazla farklılık gösteren düzensiz bir duruma geldiğinde bina eleman ve eleman grupları tamamıyla yıkılmaya başlıyor ve yatay yük yanında düşey yük taşıma kapasitesini de kaybediyor demektir. Bu durum artımsal itme işleminin bitmesi demektir (Özdaş 2006).

3.3.1.b. Kapasite spektrum yönteminin kavramsal oluşumu

Kapasite spektrum yönteminin uygulanabilmesi için kapasite eğrisi, talep spektrumu ile karşılaştırılması için spektral formata dönüştürülmelidir. Yani taban kesme kuvveti (V_t) – çatı (tepe) yer değiştirmesi (δ_c) formatındaki kapasite eğrisi spektral ivme (S_a),

spektral yer değiştirme (*Sd*) formatına donüştürölür. Bu donüşüm sonucu elde edilen eğriye kapasite spektrum eğrisi denir. Bu donüşümü yapabilmek için gerekli formüller aşağıda belirtilmiştir.

$$PF_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i_1}) / g \right]}{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i_1}^2) / g \right]} \quad (3.2)$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i_1}) / g \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N w_i / g \right] \left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i_1}^2) / g \right]} \quad (3.3)$$

Buradaki;

α_1 : 1. moda ait modal kütle katsayısı (birimsiz)

PF_1 : 1. moda ait modal kütle çarpanı (birimsiz)

ϕ_{i_1} : 1. modun i. kattaki genliği

m_i : i. kattaki kütle (W_i/g)

N : Kat âdetini belirtmektedir.

Denklem 3.2 ve 3.3'den elde edilen PF_1 ve α_1 değerleri kullanılarak kapasite eğrisi üzerindeki her bir nokta denklem 3.4 ve 3.5 kullanılarak spektral ivme (*Sa*) – spektral yer değiştirmelere (*Sd*) donüştürölür.

$$S_a = \frac{V_t}{a_1 \cdot W} \quad (3.4)$$

$$S_d = \frac{\delta_{\text{çatı}}}{PF_1 \cdot \phi_{tepe_1}} \quad (3.5)$$

S_a : Spektral ivme (m/sn^2)

S_d : Spektral yer değiştirme (m)

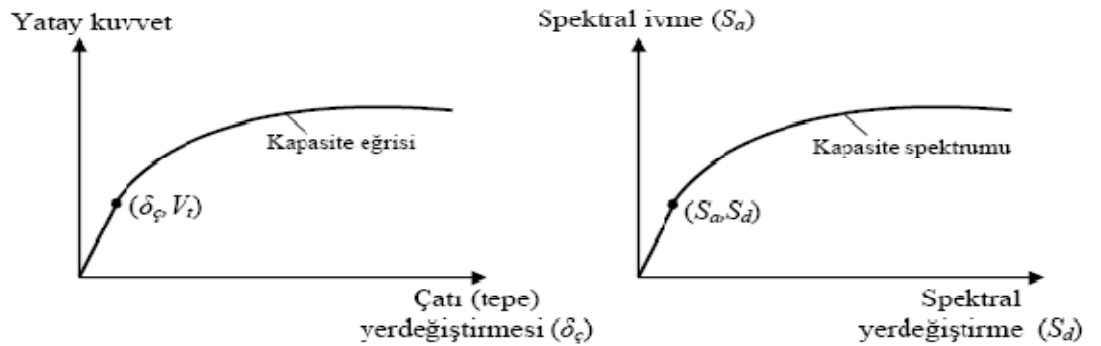
V_t : Taban kesme kuvveti (toplam yatay deprem yükü)

(δ_φ) : Çatı (tepe) yer değiştirme değeri

W : Toplam bina ağırlığı

δ_{tepe_1} : 1.modda en üst kata ait yer değiştirme

Bir binaya etkiyen taban kesme kuvveti (V_t) ile en üst katın yani çatının yer değiştirmesi (δ_φ) arasındaki mevcut olan ilişki yukarıdaki bağıntılar kullanılmak suretiyle spektral ivme (S_a) ve spektral yer değiştirme (S_d) düzleminde bir spektrum eğrisine dönüştürülür. Şekil 3.4'de kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi (zdaş 2006).

3.3.1.c. %5 sönümlü talep spektrumu eğrisinin oluşturulması

Deprem etkisinin belirlenebilmesi için C_A ve C_V sismik katsayıları kullanılarak %5 sönümlü deprem talep spektrumu oluşturulur. C_A , zeminin etkili azami ivme katsayısını, C_V , periyodu 1 sn. olan %5 sönümlü sistemin spektrum değerini temsil eder. C_A ve C_V sismik katsayıları yapının bulunduğu deprem bölgesine, bilinen bir deprem kaynağına olan uzaklığına, hesaplamalarda kullanılacak deprem türüne ve zemin sınıfına göre belirlenir.

Yapının bulunduğu deprem bölgesine göre deprem bölge katsayısı Çizelge 3.6'dan bulunur.

Çizelge 3.6. Deprem bölge katsayısı

Bölge	1	2A	2B	3	4
Bölge katsayısı (Z)	0.075	0.15	0.20	0.30	0.40

Deprem kaynağına olan uzaklığı temsil eden N_A ve N_V katsayıları yapının deprem kaynağına olan uzaklığına ve kaynağın oluşturacağı deprem türüne göre Çizelge 3.7'den bulunur.

Çizelge 3.7. Kaynağa mesafe katsayısı (ATC–40 1996)

Deprem kaynağı türü	Bilinen deprem kaynağına olan mesafe							
	≤ 2 km		5 km		10 km		≥ 15 km	
	N_A	N_V	N_A	N_V	N_A	N_V	N_A	N_V
A: Büyük bir deprem oluşturacak	1.50	2.00	1.20	1.60	1.00	1.20	1.00	1.00
B: Orta bir deprem oluşturacak kaynak	1.30	1.60	1.00	1.20	1.00	1.00	1.00	1.00
C: Küçük bir deprem oluşturacak	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Hesaplamalarda kullanılacak olan ve deprem türü etki katsayısı olarak adlandırılan E farklı deprem etkileri için ATC–40 da aşağıdaki şekilde belirtilmiştir.

- İşlevsel deprem için $E = 0.5$
- Tasarım depremi için $E = 1$
- Maksimum deprem için E ;
 - ✓ 3. Bölge için $E = 1.5$
 - ✓ 4. Bölge için $E = 1.25$

Yapını bulunduğu zemine bağlı olarak Çizelge 3.8'den zemin sınıfı belirlenir.

Çizelge 3.8. Zemin sınıfları ve tanımı

	S_A	S_B	S_C	S_D	S_E	S_F
Zemin sınıfı ve tanımı	Sert kaya	Kaya	Çok sıkı zemin, yumuşak kaya	Sert zemin	Yumuşak zemin	İncelenmesi gerekli zemin

Çizelge 3.6'dan alınacak deprem bölge katsayısı Z , deprem etki türü katsayısı E , Çizelge 3.7.den alınan ve belirli bir deprem kaynağına uzaklık olarak ifade edilen N_A ve N_V katsayılarının çarpımından oluşan ZEN parametresine ve Çizelge 3.8'den alınan zemin sınıfına göre Çizelge 3.9 ve Çizelge 3.10'dan C_A ve C_V katsayıları belirlenir.

Çizelge 3.9. Deprem katsayısı (C_A) değerleri (ATC-40 1996)

Zemin Sınıfı	Deprem Katsayısı, ZEN					
	= 0,075	= 0,15	= 0,20	= 0,30	= 0,40	>0,40
S _A	0,08	0,15	0,20	0,30	0,40	1.0* ZEN
S _B	0,08	0,15	0,20	0,30	0,40	1.0* ZEN
S _C	0,09	0,18	0,24	0,33	0,40	1.1* ZEN
S _D	0,12	0,22	0,28	0,33	0,44	1.0 * ZEN
S _E	0,19	0,30	0,34	0,36	0,36	0.9 * ZEN
S _F	Yerel zeminin incelenmesi gerekli					

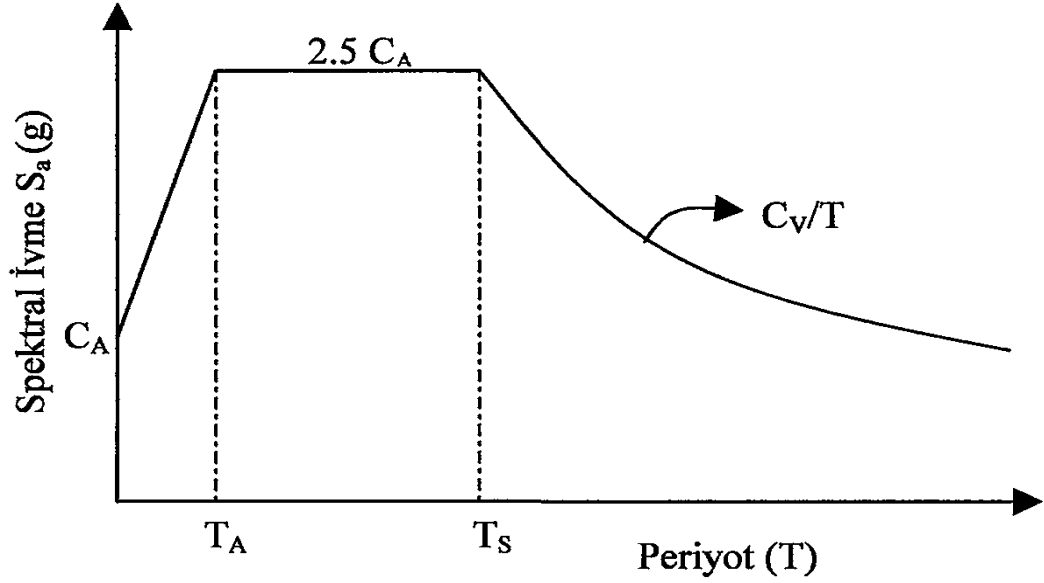
Çizelge 3.10. Deprem katsayısı (C_V) değerleri (ATC-40 1996)

Zemin Sınıfı	Deprem Katsayısı, ZEN					
	= 0,075	= 0,15	= 0,20	= 0,30	= 0,40	>0,40
S _A	0,08	0,15	0,20	0,30	0,40	1.0* ZEN
S _B	0,08	0,15	0,20	0,30	0,40	1.0* ZEN
S _C	0,13	0,25	0,32	0,45	0,56	1.4* ZEN
S _D	0,18	0,32	0,40	0,54	0,64	1.6* ZEN
S _E	0,26	0,50	0,64	0,84	0,96	2.4* ZEN
S _F	Yerel zeminin incelenmesi gerekli					

C_A ve C_V katsayıları kullanılarak, denklem 3.6 ve 3.7 yardımıyla %5 sönümlü talep spektrumu eğrisi Şekil 3.5'de gösterildiği gibi çizilir.

$$T_s = C_v / 2.5C_A \quad (3.6)$$

$$T_A = 0.2T_s \quad (3.7)$$



Şekil 3.5. %5 sönümlü talep spektrumu eğrisi (Can 2005)

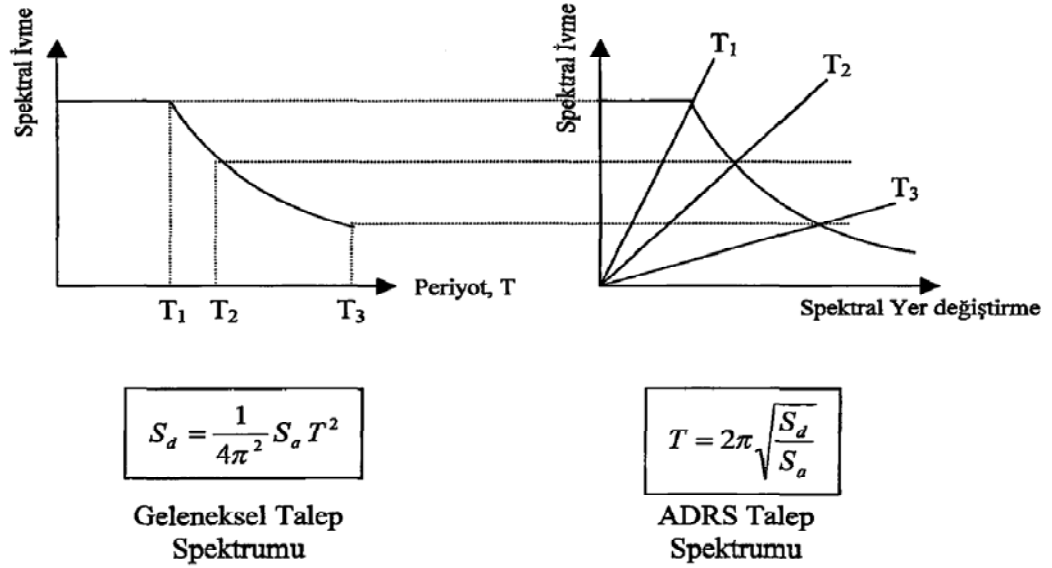
3.3.1.d. Talep spektrumunu ADRS formatına dönüştürülmesi

S_a ve periyot formatında verilen geleneksel talep spektrumunun spektral ivme – spektral yer değiştirme formatında olan kapasite spektrumu ile karşılaştırılması için ADRS formatına dönüştürülmesi gerekmektedir. Geleneksel talep spektrumu üzerinde bulunan herhangi bir noktadaki periyot ve spektral ivme, denklem 3.8 ve 3.9 kullanılarak spektral ivme-spektral yer değiştirmeye dönüştürülür.

$$S_d = \frac{1}{4\pi^2} S_a T^2 \quad (3.8)$$

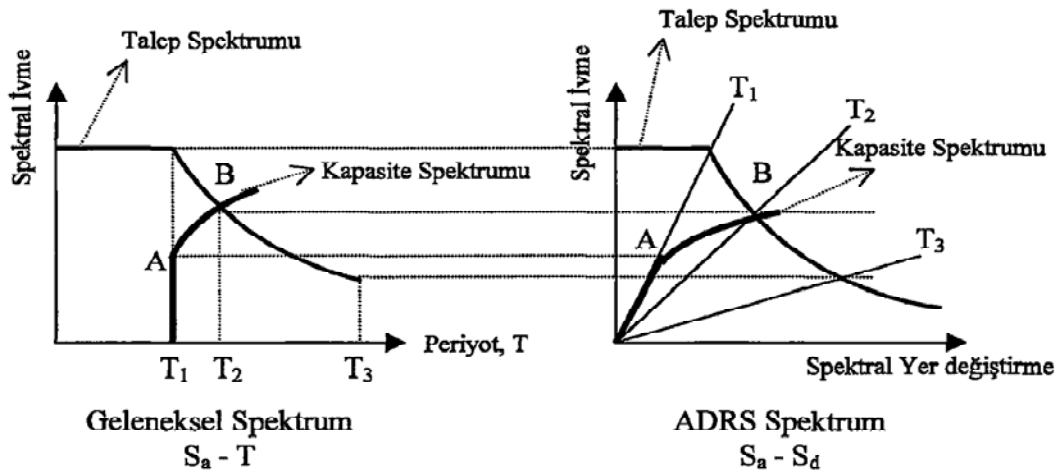
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{S_d}{S_a}} \quad (3.9)$$

Bu denklemler yardımıyla spektral ivme-spektral yer değıştirme (ADRS) formatına dönüştürülen geleneksel talep spektrumu ve ADRS talep spektrumu Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Geleneksel talep spektrumu eğrisinin ADSR formatına dönüştürülmesi (Can 2005)

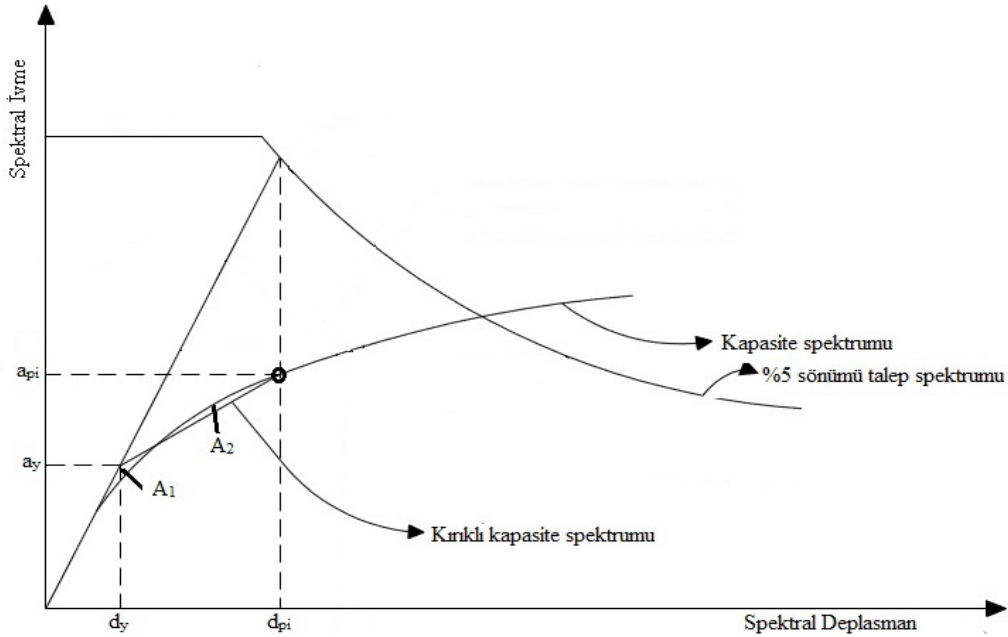
Spektral ivme-spektral yer değıştirme formatındaki talep spektrumunun elde edilmesi ile kapasite spektrumu ve talep spektrumunun kesişimi Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



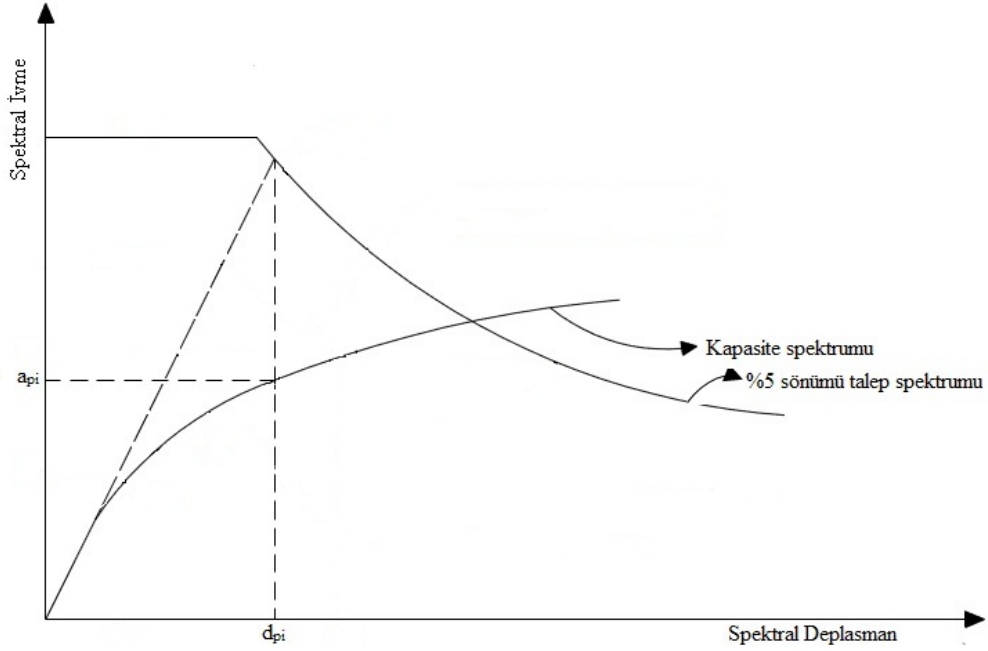
Şekil 3.7. Geleneksel ve ADSR formatındaki talep spektrumu ile kapasite spektrumunun kesişimi (Can 2005)

3.3.1.e. Kapasite spektrum eğrisinin kırıklı hale getirilmesi

Kırıklı kapasite spektrumunun doğrular şeklinde oluşturulabilmesi için etkin sönümün ve bu sönüme uygun olan talep spektrumunun tahmin edilmesi gerekir. Aynı zamanda başlangıç performans noktası olarak adlandırılan a_{pi} ve d_{pi} koordinatlarının da tahminle belirlenmesi gerekir (Şekil 3.8.). Bu noktanın tahmini için göz önüne alınan deprem bölgesine bağlı olarak %5 sönümlü talep spektrum eğrisi oluşturulur. Daha sonra oluşturulan talep spektrum eğrisi ile sisteme ait kapasite spektrum eğrisi Şekil 3.9 ' da görüldüğü gibi aynı grafik ortamında çizilir. Kapasite spektrumu eğrisinin doğrusal kısmı uzatılarak %5 sönümlü talep spektrumu ile kesiştirilir. Kesişim noktasının kapasite spektrumu üzerindeki düşey iz düşümü alınarak başlangıç performans noktasının koordinatları olan a_{pi} ve d_{pi} elde edilir. Bu koordinatları belirlendikten sonra Şekil 3.8'de gösterildiği gibi bulunan başlangıç performans noktasından geriye doğru kapasite spektrumunun üzerinde kalan A_1 alanı ile bu eğrinin altında kalan A_2 alanı eşit olacak şekilde bir doğru çizilir. Bu iki alanın eşitlenmesinin nedeni gerçek kapasite eğrisi ile oluşturulan kırıklı temsilinin aynı oranda enerji sönümlemesini sağlamaktır. Başka bir deyişle parçalı gösterimi daha gerçekçi kılmak için bu doğru çizilirken A_1 ve A_2 alanları mümkün olduğunca eşitlenmelidir (Can 2005).



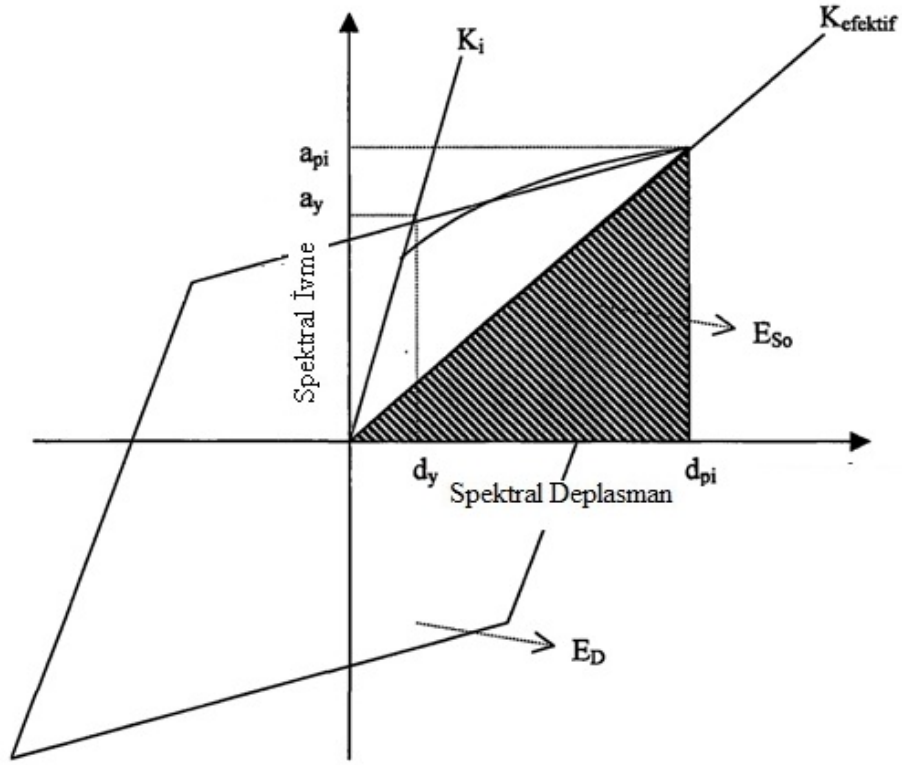
Şekil 3.8. Kapasite spektrumunun kırıklı hale getirilmesi



Şekil 3.9. Talep spektrumu ile kapasite spektrumunun aynı grafik üzerinde gösterilmesi

3.3.1.f. Etkin sönümün tahmini ve %5 sönümlü talep spektrumunun indirgenmesi

Yönetmeliklerde verilen ve bu yöntemde öngörülen elastik ivme–yer değiştirme spektrum eğrisi %5’lik viskoz sönüm içerir, ancak depremin etkisi yapıda elastik olmayan ve çevrimsel şekil değiştirmeler sonucu enerjinin tüketilmesi söz konusudur (Can 2005). Deprem etkisi altında yer değiştirme ile yük arasında veya spektral yer değiştirme–spektral ivme arasındaki bağıntı elastik sınırın aşıldığında çevrimsel değişim gösterir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Spektral indirgeme için sönümün ifadesi (ATC-40 1996)

Bu eğrinin içinde kalan alan çevrimsel sönüm ile orantılıdır. Bu sönüm β_0 olarak eşdeğer viskoz sönüme yaklaşık olarak dönüştürülebilir. Sonuç olarak etkili toplam sönüm oranı β_{ef} aşağıda belirtilen formüller yardımıyla hesaplanır.

$$\beta_{ef} = 0.05 + \kappa\beta_0 \quad (3.10)$$

$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{S0}} \quad (3.11)$$

E_D : Bir çevrimde sönümle tüketilen enerji olup çevrim içinde kalan alana eşittir.

E_{S0} : Aynı yük seviyesi altındaki maksimum şekil değiştirme enerjisi olup Şekil 3.10'da gösterilen taralı alana karşılık gelir.

E_D : Büyük paralel kenarın alanı

E_{S0} : Şekil 3.10' da gösterilen taralı üçgenin alanı

Gerekli geometrik bağıntılar kullanılarak;

$$\beta_0 = \frac{0.637(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} \quad (3.12)$$

$$\beta_{ef} = 0.05 + \kappa \beta_0 = 0.05 + 0.637 \kappa \frac{a_y d_{pi} - d_y a_{pi}}{a_{pi} d_{pi}} \quad (3.13)$$

Burada a_y ve d_y doğrusal elastik davranış sınırında, a_{pi} ve d_{pi} ise amaçlanan performans noktasındaki spektral ivme-spektral yer değiştirme değerlerini ifade eder. Çevrimsel sönüm bulunurken kullanılan paralel kenar gerçek yapıda farklı olabileceğinden κ gibi bir düzeltme katsayısı belirlenmiştir. κ katsayısını etkileyen faktörlerden biri binanın yapım kalitesidir (Celep ve Kumbasar 2004). Yapım kalitesi düşük binalarda çevrimsel sönüm tam manasıyla oluşamayacağından dolayı katsayı küçük alınır. Ayrıca binanın eski ve yeni olması da katsayıyı etkileyen faktörlerden biridir. Yeni binalarda çevrimsel sönüm eski binalara göre daha fazla olacağından katsayı büyük alınır. Katsayıyı etkileyen diğer bir parametrede deprem süresidir. Deprem süresinin uzun olması durumunda enerji tüketimi fazla olacağından, kısa süreli depreme göre düzeltme katsayısı daha büyük değer alacaktır. κ katsayısına ait değerler Çizelge 3.11'den belirlenecek yapı davranış türüne bağlı olarak Çizelge 3.12'den seçilecektir.

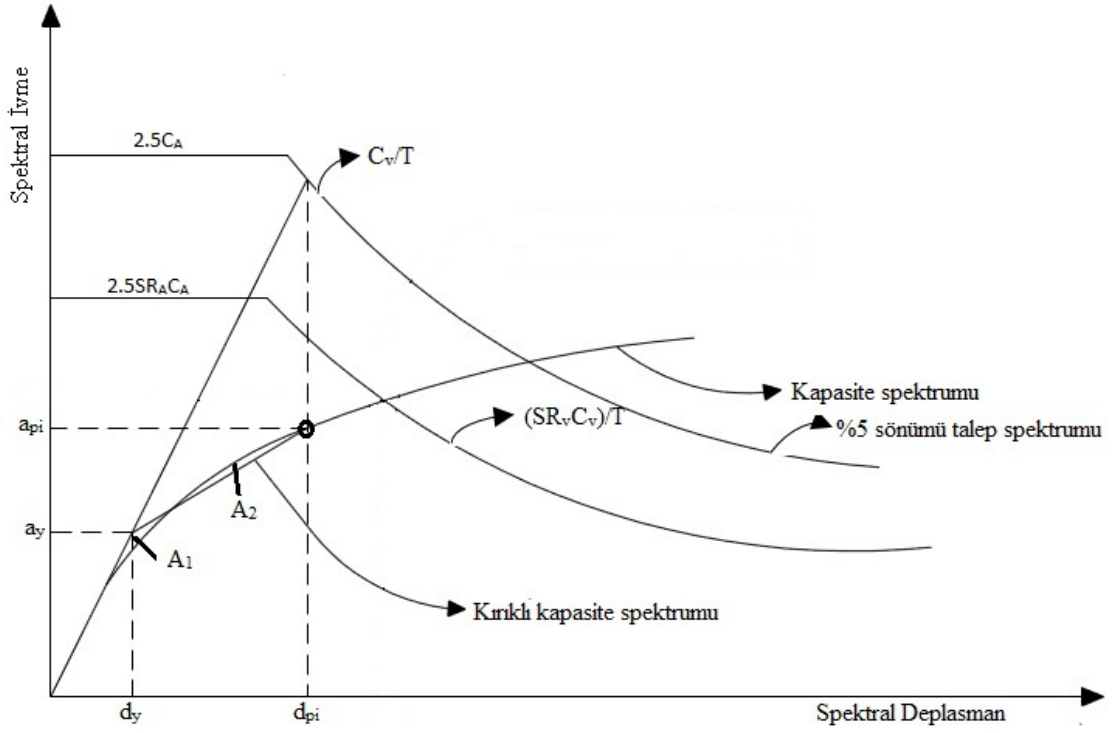
Çizelge 3.11. Yapı davranış türü (ATC-40 1996)

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

Çizelge 3.12. Sönüm düzeltme katsayısı (ATC-40 1996)

Yapı Davranış Tipi	Eşdeğer Sönüm β_0 (%)	Düzeltilme Katsayısı, κ
A	$\leq 16,25$	1,00
	$> 16,25$	$1,13 - \frac{0,51 \cdot (a_y d_{pi} - a_{pi} d_y)}{a_{pi} d_{pi}}$
B	$\leq 25,00$	0,67
	$> 25,00$	$0,845 - \frac{0,446 \cdot (a_y d_{pi} - a_{pi} d_y)}{a_{pi} d_{pi}}$
C	–	0,33

Doğrusal olmayan davranışın göz önüne alınması için tanımlanan bu eşdeğer sönüm değerlerine bağlı olarak talep spektrumunda SR_A ve SR_V katsayıları ile azaltma yapılır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Talep spektrumunun azaltılması

Bu katsayılar yapıda deprem etkisine bağlı olarak çıkacak sönüme ve yapı davranış türüne bağlı olup, Çizelge 3.13’de verilmiştir. Azaltma sönüm oranı ve yapının yeni olması ile artmaktadır. Bu azaltma katsayıları;

$$SR_A = \frac{1}{2.12} [3.21 - 0.68 \ln(100\beta_{ef})] \quad (3.14)$$

$$SR_A = \frac{1}{1.65} [2.31 - 0.41 \ln(100\beta_{ef})] \quad (3.15)$$

formülleri ile hesaplanır.

Çizelge 3.13. Yapı davranış türlerine göre SR_A ve SR_V değerleri (ATC–40 1996)

β_0 (%)	Yapı Davranış Türü								
	A Tipi			B Tipi			C Tipi		
	β_{eff}	SR_A	SR_V	β_{eff}	SR_A	SR_V	β_{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

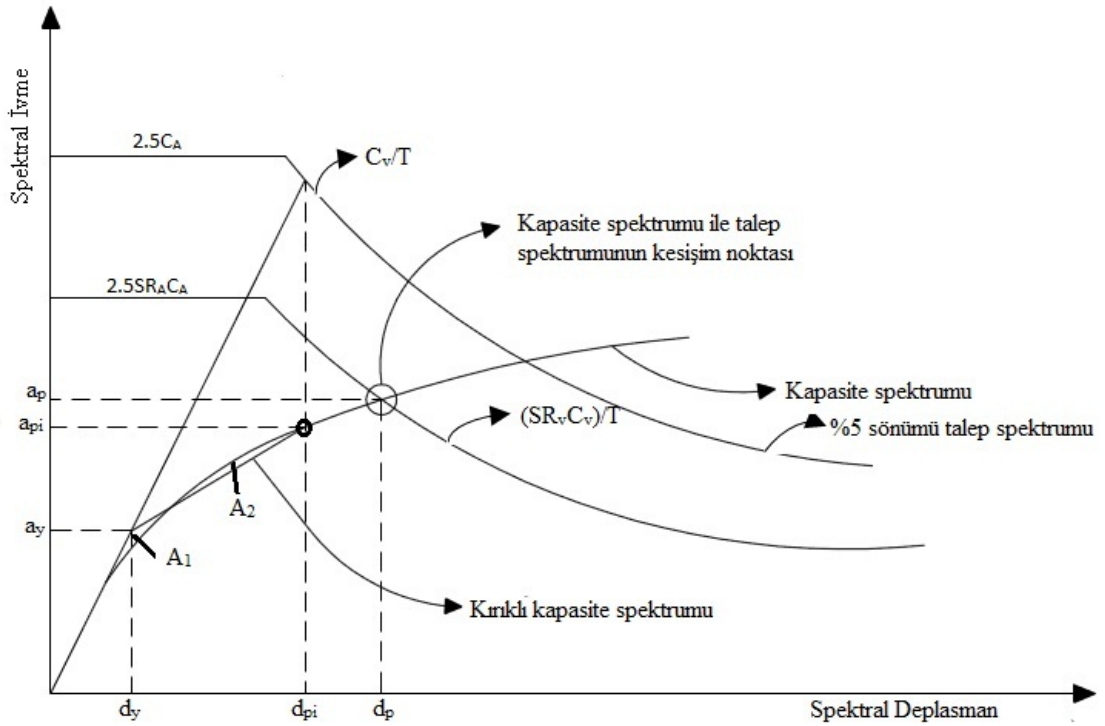
Bulunan SR_A ve SR_V azaltma katsayılarının yapı davranış tiplerine göre belli değerden az olmama koşulunu ATC–40 getirmiştir. Çizelge 3.13’den daha küçük değerlerin çıkması durumunda SR_A ve SR_V azaltma katsayılarının değeri Çizelge 3.14’den herhangi yapı davranış tipine karşılık gelen minimum değerlerden biri alınır.

Çizelge 3.14. Yapı davranış türlerine göre minimum SR_A ve SR_V değerleri (ATC–40 1996)

Yapısal Davranış Tipleri	SR_A	SR_V
A Tipi	0,33	0,50
B Tipi	0,44	0,56
C Tipi	0,56	0,67

3.3.1.g. Kapasite eğrisi ve indirgenmiş talep spektrumunun kesişimi

Kapasite spektrumu ile indirgenmiş talep spektrumu kesişim noktası yatay koordinatı olan d_p ile başlangıç performans noktasının yatay koordinatı olan d_{pi} spektral deplasman değerinden $\pm\%5$ değer aralığından farklı değilse ($0.95d_{pi} \leq d_p \leq 1.05d_{pi}$) bulunan performans noktası gerçek performans noktası olarak kabul edilebilir (Şekil 3.12). Eğer kapasite spektrumu ile indirgenmiş talep spektrumu kesişim noktası, yukarıda belirtilen aralık içinde değilse yeni bir a_{pi} ve d_{pi} noktası belirlenerek iterasyona devam edilir (Can 2005). Performans noktası deprem yer hareketine karşılık binada oluşabilecek yer değiştirmenin azami değeri olarak tanımlanır.



Şekil 3.12. Kapasite spektrumu ile indirgenmiş talep spektrumunun kesişmesi

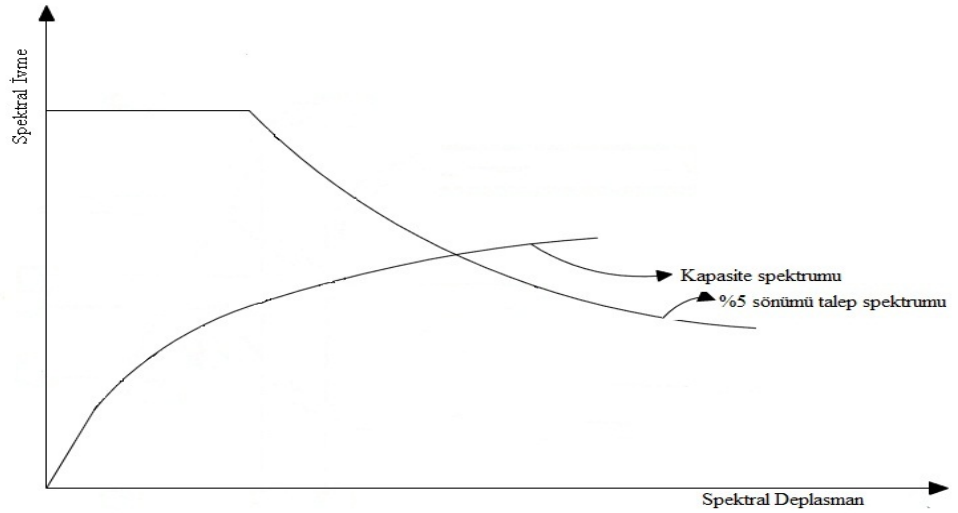
3.3.2. Performans noktasının bulunması için kullanılan yöntemler

Yukarıdaki bölümlerde, kapasite spektrum yönteminin teorik temelleri ve gerekli hesaplamaları anlatılmıştır. Bu bölümde adım adım performans noktasının bulunması için ATC-40'da belirtilen 3 yöntem anlatılacaktır.

3.3.2.a Yöntem A'yı kullanarak performans noktasının belirlenmesi

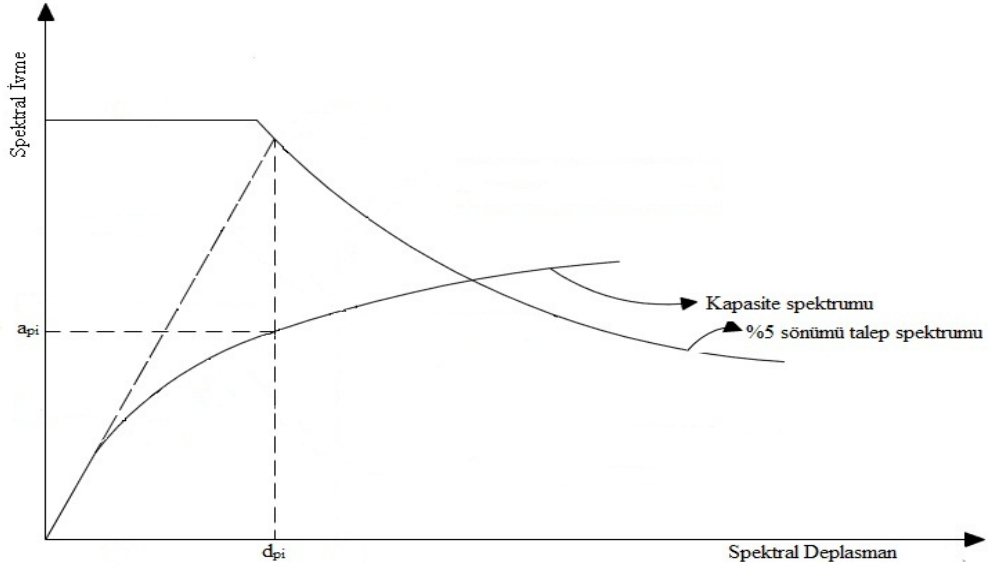
Performans noktasını bulmak için uygulanan en kolay yöntemdir. Bu yöntem daha önce bahsedilen prosedürlerin en sade biçimde anlatılmasıdır. Bu yöntemle performans noktasının bulunması aşağıdaki sırayla yapılır.

1. %5 sönümlü elastik talep spektrum eğrisi çizilir.
2. Kapasite eğrisi kapasite spektrumuna çevrilir. Kapasite spektrumu ile %5 sönümlü elastik talep spektrumu Şekil 3.13'de gibi aynı grafik üzerinde gösterilir.



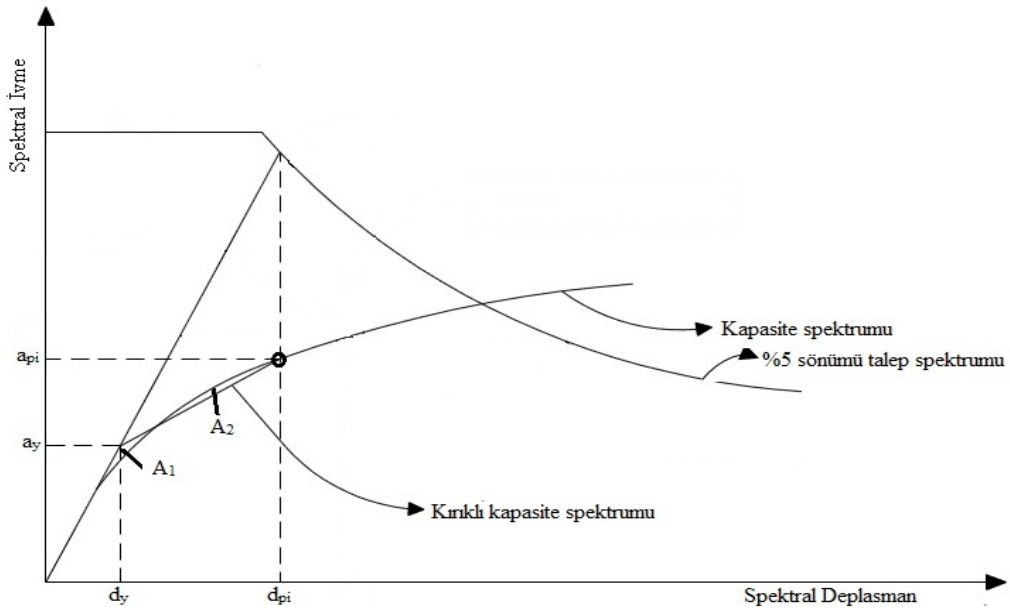
Şekil 3.13. Kapasite ve %5 sönümlü talep spektrumunun aynı grafik üzerinde gösterimi (ATC-40 1996)

3. Kapasite spektrumunun doğrusal olan kısmı uzatılarak %5 sönümlü talep spektrumu ile kesiştirilir (Şekil 3.14) ve bu noktanın kapasite spektrumu üzerindeki düşey izdüşümü alınarak tahmin bir başlangıç performans noktası (a_{pi} ve d_{pi}) belirlenir.



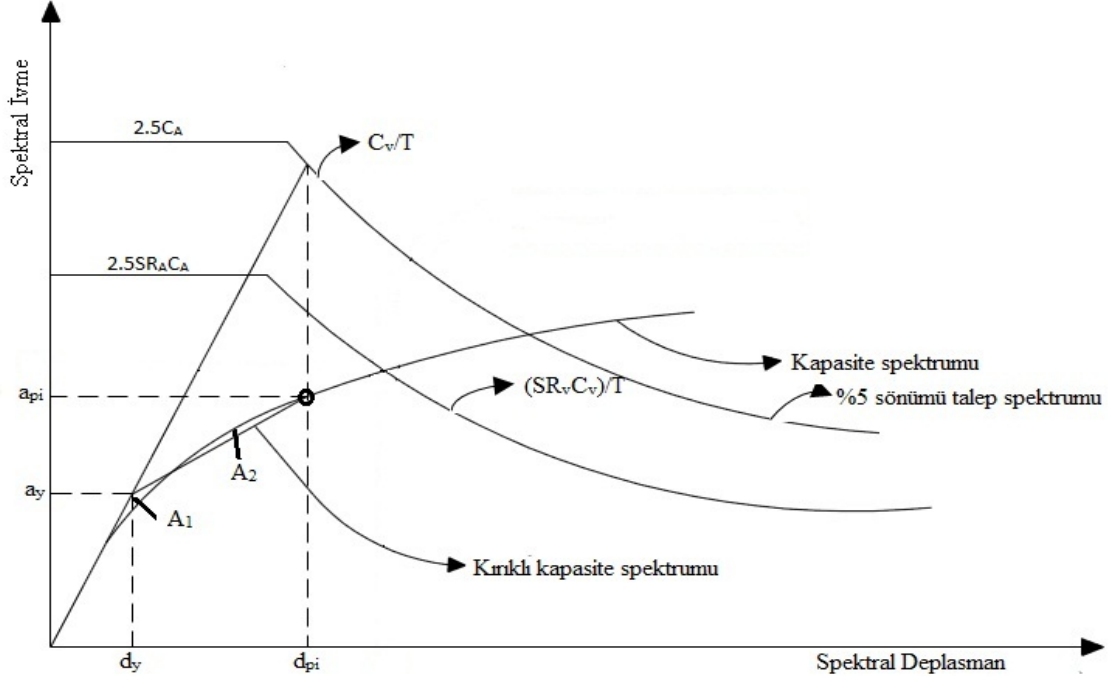
Şekil 3.14. Başlangıç performans noktasının bulunması (ATC-40 1996)

4. Kapasite spektrumu Şekil 3.15'deki gibi kırıklı hale getirilir.



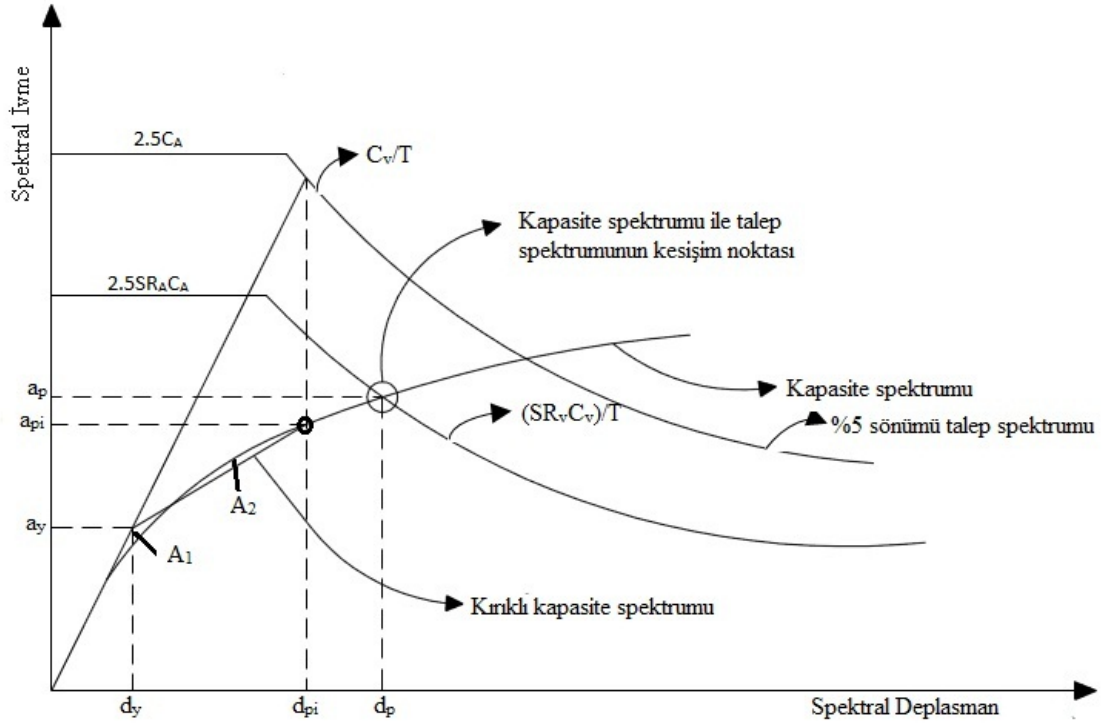
Şekil 3.15. Kapasite spektrumunun kırıklı hale getirilmesi (ATC-40 1996)

5. %5'lik talep spektrumu indirgenmiş talep spektrumu eğrisine dönüştürülür (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Talep spektrumunun indirgenmesi (ATC-40 1996)

6. Kapasite spektrumu ile indirgenmiş talep spektrumu kesişim noktası belirlenir (Şekil 3.17). Bu noktanın yatay koordinatı olan d_p ile başlangıç performans noktasının yatay koordinatı olan d_{pi} spektral deplasman değerinden $\pm\%5$ değer aralığından farklı ise $(0.95d_{pi} \leq d_p \leq 1.05d_{pi})$ bulunan performans noktası gerçek performans noktası olarak kabul edilebilir (Can 2005).



Şekil 3.17. Performans noktasının bulunması (ATC-40 1996)

7. Eğer a_p ve d_p noktası kabul edilebilir aralık olan $\pm\%5$ değerini sağlayabiliyorsa iterasyona son verilir. Ancak bu aralık sağlanmıyorsa 4. Adıma dönülerek koordinatları a_p ve d_p olarak bulunan nokta başlangıç performans noktası olarak kabul edilir ve işlemler tekrarlanır (Can 2005).

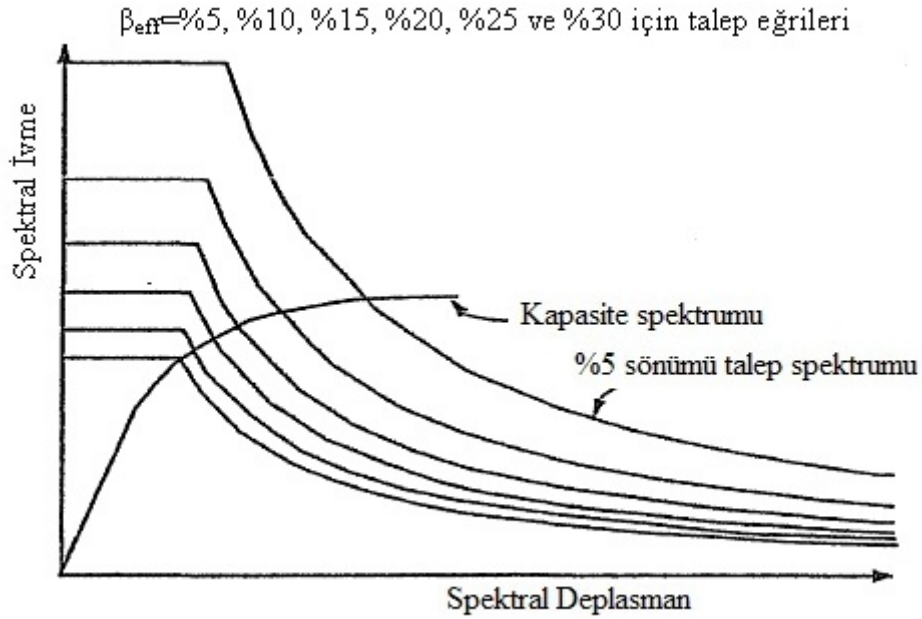
8. Eğer a_p ve d_p kabul edilebilir sınırlar içinde kalıyorsa a_{pi} ve d_{pi} başlangıç performans noktası, a_p ve d_p gerçek performans noktası, d_p ise yapının azami yer değiştirmesi olarak tanımlanır (Can 2005).

3.3.2.b Yöntem B'yi kullanarak performans noktasının belirlenmesi

Bu yöntemi diğer iki yöntemden ayıran en önemli özellik basitleştirici kabullerin yapılmasıdır. Bu kabuller; a_y ve d_y noktasının sabit kabul edilmesi ve bu noktadan

sonrada eğrinin sabit yani doğrusal olarak devam etmesidir. Bu kabullerle iterasyonla değişik eğriler oluşturmamıza gerek kalmadan çözüme gidilir.

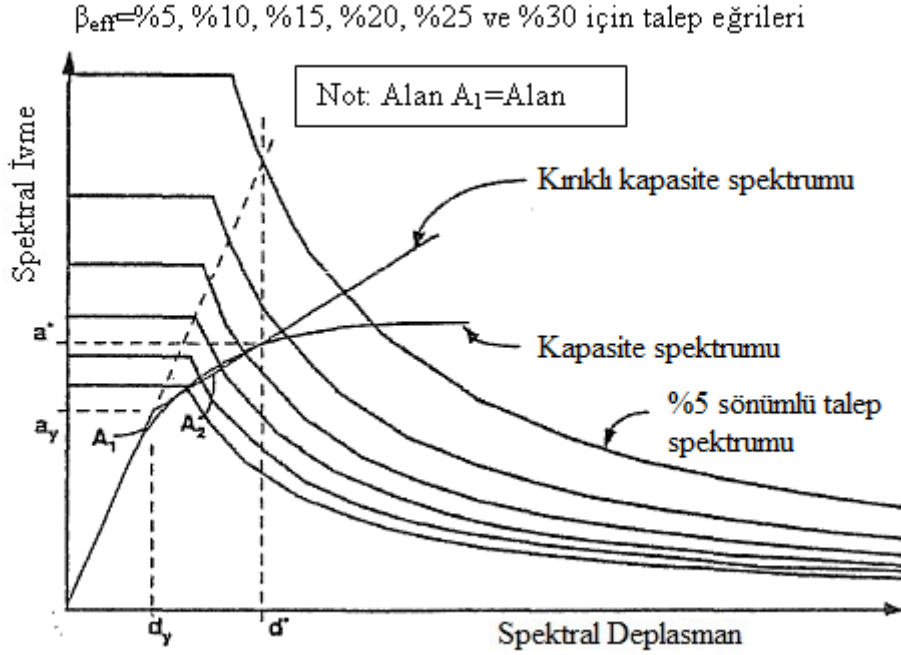
1. %5 sönümlü elastik talep spektrumu oluşturulur.
2. %5 sönümlü elastik talep spektrumu ile birlikte %10, %15, %20, %25, %30 sönümleri içinde talep spektrumu oluşturulur.
3. Kapasite eğrisi, kapasite spektrumuna dönüştürülür ve değişik sönümlerdeki talep spektrumu eğrileriyle beraber aynı grafik üzerinde gösterilir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Kapasite spektrumu ile değişik sönümlerdeki talep spektrumu eğrilerinin aynı grafik üzerinde gösterilmesi (ATC-40 1996)

4. Kapasite spektrumu kırıklı hale getirilir (Şekil 3.18). İdealleştirilen kapasite spektrumunun başlangıç eğimi yapının başlangıç rijitliğine eşittir. Kırıklı kapasite spektrumunun akma sonrası oluşan ikinci doğrusunun kapasite spektrum eğrisini kestiği

noktanın (a^* ve d^*) deplasmanı %5 sönümlü talep spektrumuyla birinci doğrunun kesiştiği noktanın deplasmanıdır (Eşit deplasman yaklaşımı). İkinci doğrunun eğimi a^* ve d^* noktası sabit kalmak şartıyla A_1 ve A_2 alanları eşitlenecek şekilde bulunur (Aydın 2005).



Şekil 3.19. Kapasite spektrumunun kırıklı hale getirilmesi (ATC-40 1996)

5. Etkin sönümü ifade eden β_{ef} , a^* ve d^* noktasına yakın noktalardaki çeşitli deplasmanlar kullanılarak hesaplanır. Kırıklı kapasite spektrum eğrisinin ikinci kısmına ait doğrunun eğimi aşağıdaki gibi hesaplanır (Aydın 2005).

$$\text{İkinci doğrunun eğimi} = \frac{a^* - a_y}{d^* - d_y} \quad (3.16)$$

İkinci doğru üzerindeki herhangi bir noktanın eğimi;

$$\frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y} \quad (3.17)$$

Eğim her noktada eşit olduğundan;

$$\frac{a^* - a_y}{d^* - d_y} = \frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y} \quad (3.18)$$

Yukarıdaki eşitlik a'_{pi} için çözümlenir ve bu değerde;

$$a'_{pi} = \frac{(a^* - a_y)(d_{pi} - d_y)}{d^* - d_y} + a_{pi} \quad (3.19)$$

Bu değer denklem 3.19'deki a_{pi} değerini ifade eder. Denklemden yerine konarak efektif sönüm belirlenir.

$$\beta_{ef} = 0.05 + \kappa\beta_0 = 0.05 + 0.64\kappa \frac{a_y d_{pi} - d_y a'_{pi}}{a'_{pi} d_{pi}} \quad (3.20)$$

Bu eşitlik κ değerleri ve farklı d_{pi} değerleri için hesaplanır.

6. Bir önceki adımda bulunan d_{pi} ve β_{ef} değerleri kapasite spektrumu – talep spektrumu eğrisi üzerinde işaretlenir.

7. Altıncı adımda belirtilen noktalar birleştirilerek bir eğri oluşturulur. Bu eğrinin kapasite spektrum doğrusu ile kesiştiği nokta performans noktasıdır. Performans noktası a^* , d^* noktası üzerinde ise bu yöntem diğer yöntemlerle aynıdır. Eğer performans noktası bu noktadan uzak çıkarsa diğer yöntemlerle kontrol edilmelidir (Aydın 2005).

3.3.2.c Yöntem C' yi kullanarak performans noktasının belirlenmesi

Performans noktasını bulmak için kullanılan grafiksel bir yöntemdir. Diğer iki yöntemle göre daha zor olduğundan ve bilgisayar programlarında uygulanamadığından fazla tercih edilmez.

3.3.3. Performans noktasının sınır durumları

Performans analizi yapılmış bir yapının, seçilen performans hedefine ulaşım ulaşmadığını belirlemek için analiz sonucunda elde edilen değerleri seçilen performans seviyesi sınır noktaları ile karşılaştırmakla mümkündür. Bu sınırlar global ve yerel olmak üzere iki kısımda açıklanmıştır.

3.3.3.a. Global bina kabul limitleri

Bu sınırlar, düşey yük kapasitesi, yatay yük direnci ve yatay deformasyon sınırlarını içermektedir.

✓ **Ağırlık yükleri**

Performans seviyesi ne olursa olsun bina düşey yük taşıma kapasitesini korumalıdır. Düşey yükler altında eleman veya elemanlar taşıma kapasitesini kaybetse bile yükleri başka bir elemana aktarabilmelidir.

✓ **Yatay yükler**

Yapı sisteminin yatay yük direnci ve buna düşey yük direncide dahil olmak üzere yapının azami direncinin %20 sinde az olmamalıdır. Genelde çerçeve süreksizliği olan yapılar yanal yükler altında iyi bir davranış gösterememektedir.

✓ **Yatay deformasyon**

Çizelge 3.15’de performans seviyeleri için yer değiştirme limitleri görülmektedir. Tabloda belirtilen maksimum toplam ötelenme, performans noktasında katlar arası yer değiştirme, maksimum elastik olmayan yer değiştirme ise sistemin akma noktasından

sonra ulaşabildiği maksimum ötelenmedir. Yapısal stabilite için denklem 3.21’de gösterilen değer aşılamaz.

$$0.33 \frac{V_i}{P_i} \quad (3.21)$$

V_i : i . kattaki toplam kesme kuvveti

P_i : i . kattaki toplam düşey yük

Çizelge 3.15. Performans seviyeleri için yer değiştirme limitleri (ATC–40 1996)

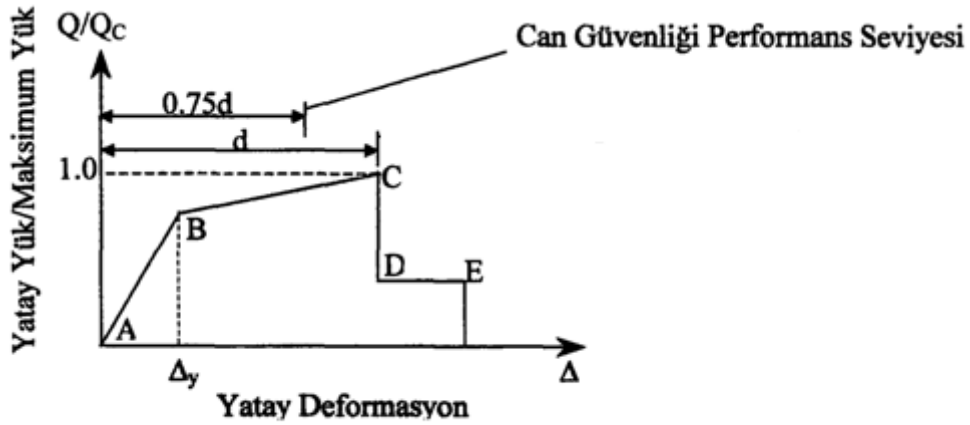
Kat Ötelenme Limiti	Performans Seviyesi			
	Hemen Kullanım	Hasar Kontrol	Can Güvenliği	Göçmenin Önlenmesi
Maksimum Toplam Ötelenme	0.01	0.01 – 0.02	0.02	$0.33 \frac{V_i}{P_i}$
Maksimum Elastik Olmayan Ötelenme	0.005	0.005 – 0.015	Limitsiz	Limitsiz

3.3.3.b. Eleman kabul limitleri

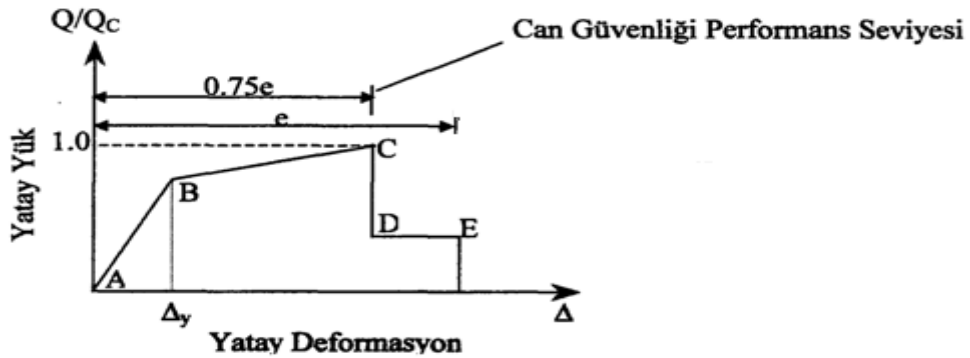
Binanın taşıyıcı sistemini oluşturan her eleman için belirlenen sınırları içermektedir. Yapı sistemini oluşturan taşıyıcı elemanlar deprem yüklerini taşıma oranlarına göre birincil ve ikincil elemanlar olarak adlandırılır. Yapının performans noktasındaki dayanımının büyük bir kısmını karşılayan elemanlar birincil diğerleri ikincil elemanlar olarak adlandırılır (Aydın 2005).

Birincil elemanlar için göçmenin önlenmesi performans seviyesindeki şekil değiştirme kapasitesi, yanal yük taşıma kapasitesinin azalmaya başladığı deformasyon olarak kabul edilir. Can güvenliği, performans seviyesindeki deformasyon kapasitesi yapısal stabilite deformasyonunun %75'i olarak tanımlanır (Şekil 3.20) (Aydın 2005).

İkincil elemanlar için göçmenin önlenmesi performans seviyesindeki şekil değiştirme kapasitesi, düşey yük taşıma kapasitesinin bittiği deformasyon olarak tanımlanır. . Can güvenliği, performans seviyesindeki deformasyon kapasitesi yapısal stabilite deformasyonunun %75'i olarak tanımlanır. (Şekil 3.21) (Aydın 2005).



Şekil 3.20. Elemanlar için birincil hareketler



Şekil 3.21. Elemanlar için ikincil hareketler

Betonarme elemanların performans seviyelerinin belirlenmesi için sınır dönme değerleri EK.1'de verilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

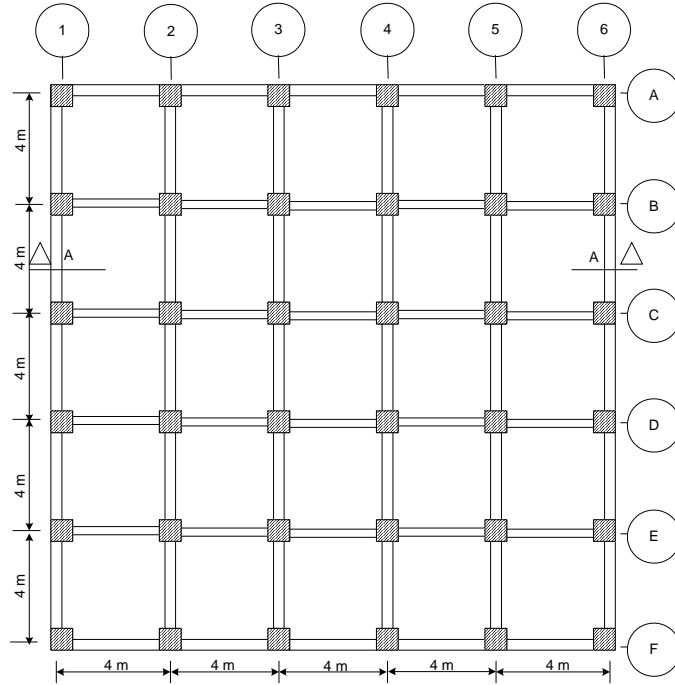
4.1. Örnek 1: 6 Katlı Betonarme Çerçeve Sisteminde Beton Dayanımı Etkisi

4.1.1. Problem tanımı

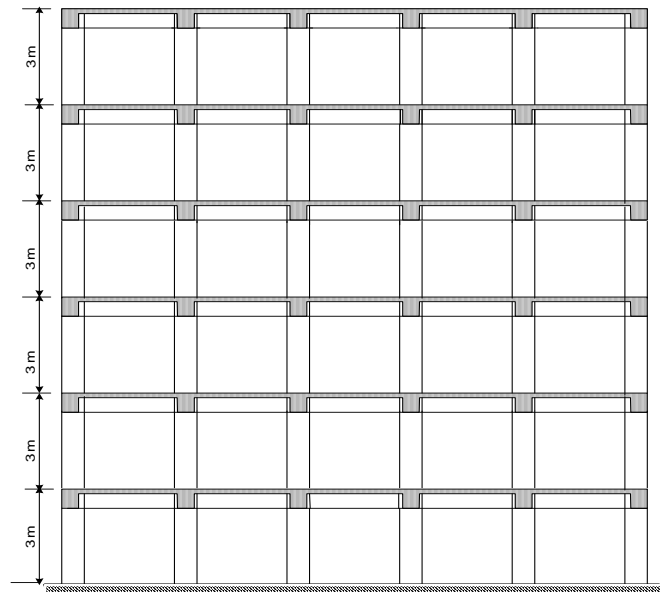
Çalışmada incelenen 6 katlı çerçeve sistemli betonarme bina süneklik koşullarını sağlayacak şekilde geometri ve malzeme bakımından uygun bir şekilde boyutlandırılmıştır. Yapının beton sınıfı C14–C30 arasında, beton çeliği sınıfı ise S420 ve S220 olarak seçilmiştir. Altı katlı çerçeve sistemli betonarme yapının karakteristik özellikleri Çizelge 4.1’de, plan ve kesiti ise Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Statik itme analizleri Sap2000 V14 programında yapılmıştır.

Çizelge 4.1. Altı katlı betonarme yapının karakteristik özellikleri

Deprem bölgesi	2
Etkin yer ivme katsayısı	0,30
Deprem bölge katsayısı (Z)	0,30
Zemin sınıfı	Z2
Yapı önem katsayısı (I)	1
Deprem türü	Tasarım depremi
Spektrum karakteristik periyotları	T _A : 0,15 T _B : 0,40
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R)	8
Beton sınıfı	C14, C16, C20, C25, C30
Beton çeliği sınıfı	S420, S220
Kiriş boyutları	40*60
Kolon boyutları	60*60
Döşeme kalınlığı	12



Şekil 4.1. Altı katlı betonarme çerçeve sistem planı



Şekil 4.2. Altı katlı betonarme çerçeve sistem kesiti

4.1.2. Boyutlamada esas alınan eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması

Deprem hesaplarında 2007 deprem yönetmeliğinde belirtilen eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle göre binanın tamamına etkiyen eşdeğer deprem yükü;

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10A_0IW \quad (4.1)$$

Burada;

W : Binanın toplam ağırlığı

T_1 : Binanın birinci doğal titreşim periyodu

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

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

Binanın toplam ağırlığı;

$$W = \sum_{i=1}^N g_i + nq_i \quad (4.2)$$

g_i : Binanın i . katındaki toplam sabit yükler

q_i : Binanın i . katındaki toplam hareketli yükler

n : Hareketli yük katılım katsayısı

Spektral ivme katsayısı;

$$A(T) = A_0IS(T) \quad (4.3)$$

A_0 : Etkin yer ivme katsayısı

I : Bina önem katsayısı

$S(T)$: T_1 periyot değerine karşılık gelen spektrum katsayısı

Spektrum katsayısı;

$$S(T) = 1 + 1.5 \frac{T}{T_A} \quad 0 \leq T \leq T_A \quad (4.4)$$

$$S(T) = 2.5 \quad T_A \leq T \leq T_B \quad (4.5)$$

$$S(T) = 2.5 \left(\frac{T_B}{T}\right)^{0,8} \quad T_B < T \quad (4.6)$$

T_A ve T_B : Zemin karakteristik periyotları

Taban kesme kuvveti belirlendikten sonra, kütlelerin toplandığı varsayılan noktalara etkiyen eşdeğer deprem yükü Denklem 4.7 ile hesaplanır. Hesaplanan eşdeğer deprem yüklerinin katlara dağılımı Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j} \quad (4.7)$$

w_i : Binanın i . katının toplam ağırlığı

H_i : Binanın i . katının yüksekliği

N : Binanın kat adedi

ΔF_N : Ek eşdeğer yük

Yapı modelinin yüksekliği 25 m’den az olunca $\Delta F_N = 0$ alınır.

Çizelge 4.2. Yapıya etkiyen eşdeğer deprem yükleri

Kat	W_i (kN)	H_i (m.)	$W_i \cdot H_i$	$\frac{W_i \cdot H_i}{\sum W_i \cdot H_i}$	F (kN)
5	5 892	18,00	106 056	0,285	691
4	5 892	15,00	88 380	0,238	577
3	5 892	12,00	70 704	0,190	460
2	5 892	9,00	53 028	0,142	344
1	5 892	6,00	35 352	0,095	230
Z	5 892	3,00	17 676	0,050	114

4.2. Sap 2000 ile Statik İtme Analizinde İzlenecek Adımlar

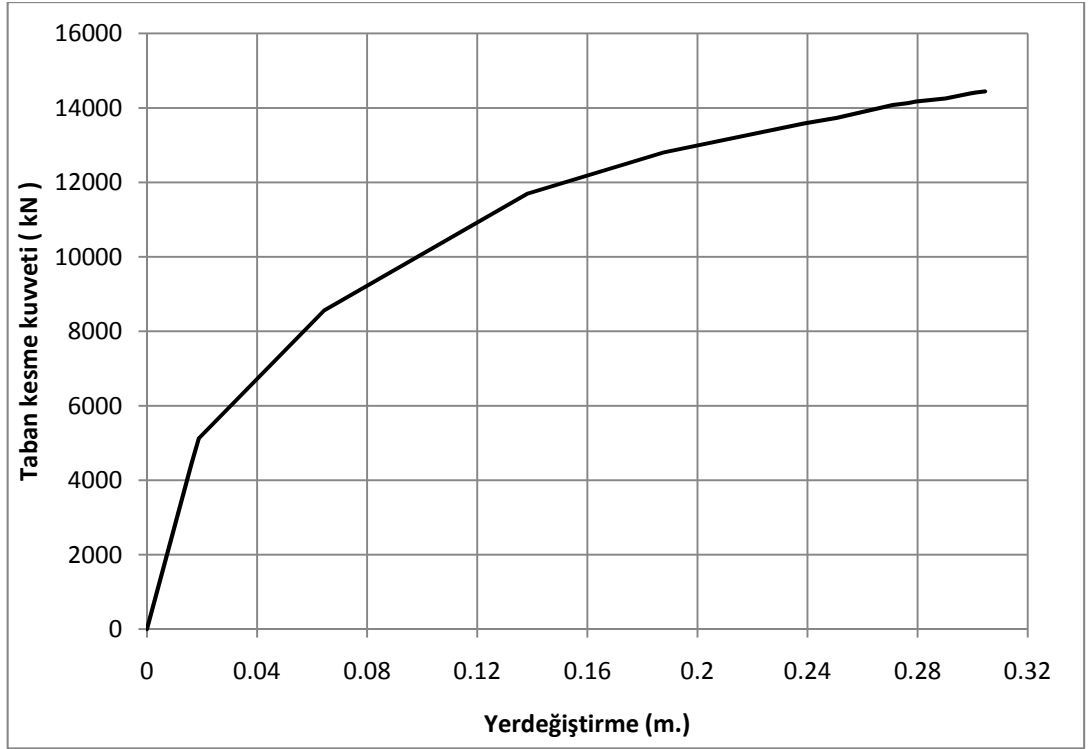
1. Yapı sisteminin hesap modeli oluşturulur.
2. Malzeme özellikleri tanımlanır.
3. Betonarme eleman kesitleri tanımlanırken mevcut donatı alanları girilir.
4. Elemanların üzerinde olabilecek plastikleşme bölgelerinde mafsal atamaları yapılır.
5. G ve Q yükleri sisteme uygulanır.
6. Yatay yükün dağılımına uygun biçimde yatay yükler tanımlanır.
7. Yük kontrollü olarak G+Q yüklemesini içeren statik itme analizi tanımlanır.
8. Yer değiştirme kontrollü olarak ilk statik itme analizinin bitiminden başlayan yatay statik itme analizi tanımlanır.
9. Çözüm yapılarak sistem davranışı incelenir.

4.3. Farklı Beton Sınıflarına Göre Yapının Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Çalışmada 6 katlı çerçeve sistemli betonarme binanın 5 farklı beton sınıfına göre statik itme analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada malzemenin doğrusal olmayan davranışını dikkate almak üzere plastik mafsal hipotezi kullanılmıştır. Buna göre plastik şekil değiştirmelerin plastik mafsal adı verilen belirli bölgelerde toplandığı diğer kısımlarda malzemenin doğrusal elastik davrandığı varsayılmaktadır. Yapıların deprem performansını belirlemek için ATC 40' da belirtilen kolon ve kirişler için farklı performans seviyelerine ait sınır dönme değerleri kullanılmıştır. Analizlerden elde edilen kapasite eğrileri ve plastik kesitlerin dağılımı takip eden bölümlerde verilmiştir. Çalışılan 5 beton sınıfından C30 ve C25 için adım adım analiz sonuçları sırasıyla Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'de gösterilmiştir.

4.3.1. C30 beton sınıfı için analiz sonuçları

Yapılan statik itme analizinin sonucunda yapının göçme durumundaki taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirmesi bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile tepe yer değiştirmesi arasındaki ilişki Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Yapının göçme yükü 14 443 kN bu göçme yüküne karşılık gelen tepe yer değiştirmesi 0,304 m.’dir. Statik itme analizi sonucunda Çizelge 4.3’de gösterildiği gibi yapıda 333 tanesi hemen kullanım performans seviyesinde (B–IO), 361 tanesi kontrol edilebilir hasar aralığında (IO–LS), 47 tanesi de sınırlı güvenlik aralığında (LS–CP) plastik mafsallar oluşarak yapı göçme durumuna ulaşmıştır.



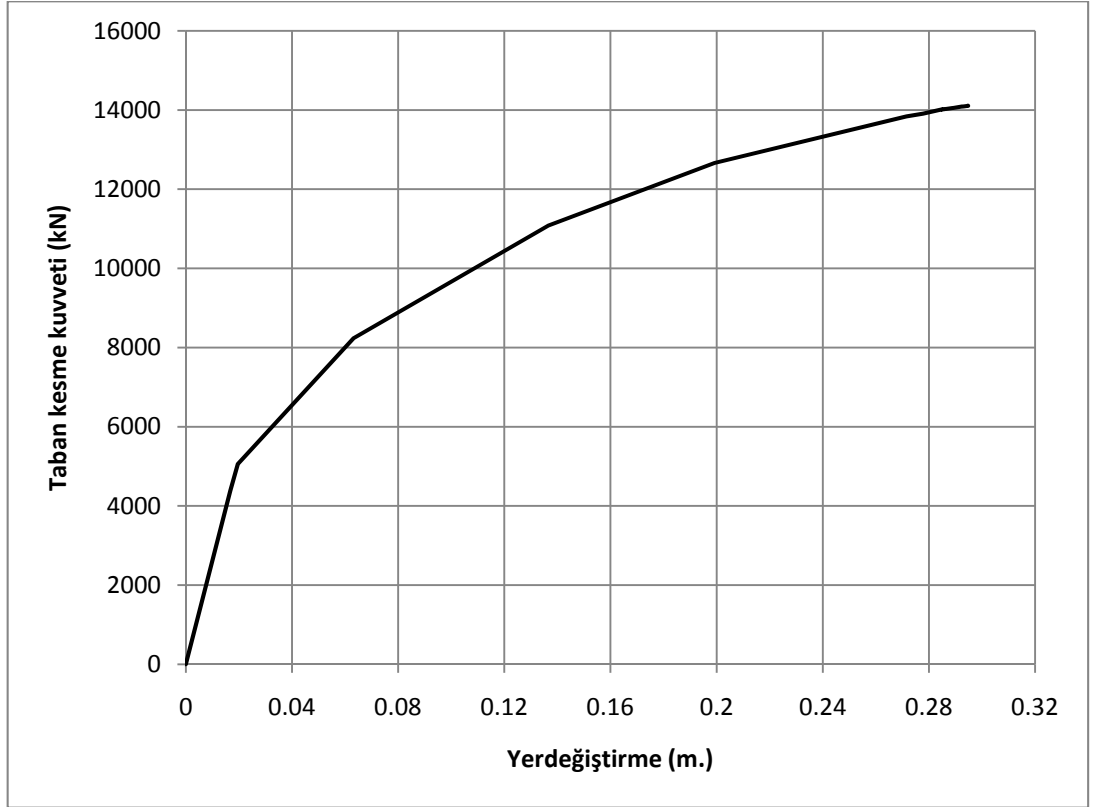
Şekil 4.3. C30 beton sınıfına ait kapasite eğrisi

Çizelge 4.3. C30 beton sınıfı için adım adım plastik mafsal oluşumları

Adım	Deplasman (m.)	V (KN)	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Toplam
0	-1,83E-15	0,000	1152	0	0	0	0	0	0	0	1 152
1	0,016141	4 433	1148	4	0	0	0	0	0	0	1 152
2	0,018885	5 125	1020	132	0	0	0	0	0	0	1 152
3	0,064438	8 562	696	456	0	0	0	0	0	0	1 152
4	0,138238	11 697	567	576	9	0	0	0	0	0	1 152
5	0,187761	12 806	477	524	151	0	0	0	0	0	1 152
6	0,238799	13 584	435	417	300	0	0	0	0	0	1 152
7	0,250690	13 735	431	395	326	0	0	0	0	0	1 152
8	0,270941	14 077	418	371	359	4	0	0	0	0	1 152
9	0,276532	14 127	416	369	359	8	0	0	0	0	1 152
10	0,279435	14 174	414	367	362	9	0	0	0	0	1 152
11	0,290127	14 254	411	352	365	24	0	0	0	0	1 152
12	0,299640	14 396	407	337	374	33	0	1	0	0	1 152
13	0,299689	14 396	407	337	374	33	0	1	0	0	1 152
14	0,301441	14 418	407	336	369	37	0	3	0	0	1 152
15	0,301552	14 418	407	336	369	37	0	3	0	0	1 152
16	0,301553	14 418	407	336	369	37	0	3	0	0	1 152
17	0,304468	14 442	407	333	361	47	0	4	0	0	1 152
18	0,304570	14 443	407	333	361	47	0	4	0	0	1 152
19	0,304571	14 443	407	333	361	47	0	4	0	0	1 152

4.3.2. C25 beton sınıfı için analiz sonuçları

Yapılan statik itme analizinin sonucunda yapının göçme durumundaki taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirmesi bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile tepe yer değiştirmesi arasındaki ilişki Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Yapının göçme yükü 14 108 kN bu göçme yüküne karşılık gelen tepe yer değiştirmesi 0,297 m.'dir. Statik itme analizi sonucunda Çizelge 4.4'de gösterildiği gibi yapıda 325 tanesi hemen kullanım performans seviyesinde (B-IO), 385 tanesi kontrol edilebilir hasar aralığında (IO-LS), 22 tanesi de sınırlı güvenlik aralığında (LS-CP) plastik mafsallar oluşarak yapı göçme durumuna ulaşmıştır.



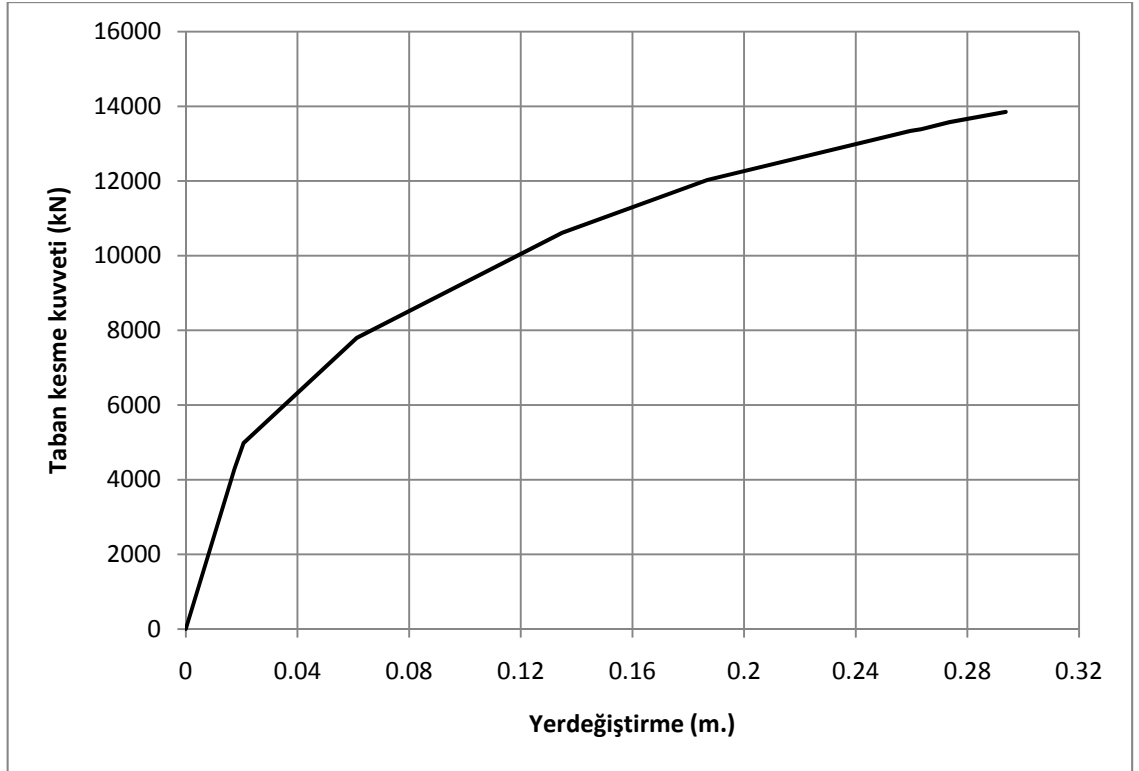
Şekil 4.4. C25 beton sınıfına ait kapasite eğrisi

Çizelge 4.4. C25 beton sınıfı için adım adım plastik mafsall oluşumları

Adım	Deplasman (m.)	V (KN)	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Toplam
1	-7,93E-16	0,000	1152	0	0	0	0	0	0	0	1 152
2	0,016771	4 382	1148	4	0	0	0	0	0	0	1 152
3	0,019612	5 056	1017	135	0	0	0	0	0	0	1 152
4	0,063219	8 234	704	448	0	0	0	0	0	0	1 152
5	0,136604	11 080	598	521	33	0	0	0	0	0	1 152
6	0,199214	12 664	465	507	180	0	0	0	0	0	1 152
7	0,271553	13 839	421	343	387	1	0	0	0	0	1 152
8	0,277723	13 906	419	341	383	8	0	1	0	0	1 152
9	0,284909	14 015	416	337	379	19	0	1	0	0	1 152
10	0,284955	14 015	416	336	380	19	0	1	0	0	1 152
11	0,284955	14 015	416	336	380	19	0	1	0	0	1 152
12	0,285916	14 025	416	336	379	20	0	1	0	0	1 152
13	0,286285	14 026	416	335	379	21	0	1	0	0	1 152
14	0,288756	14 048	416	334	380	21	0	1	0	0	1 152
15	0,289264	14 055	416	332	382	21	0	1	0	0	1 152
16	0,289290	14 055	416	332	382	21	0	1	0	0	1 152
17	0,289290	14 055	416	332	382	21	0	1	0	0	1 152
18	0,292532	14 089	416	329	382	22	0	3	0	0	1 152
19	0,293026	14 091	416	327	384	22	0	3	0	0	1 152
20	0,294269	14 102	416	325	385	22	0	4	0	0	1 152
21	0,294734	14 108	416	325	385	22	0	4	0	0	1 152

4.3.3. C20 beton sınıfı için analiz sonuçları

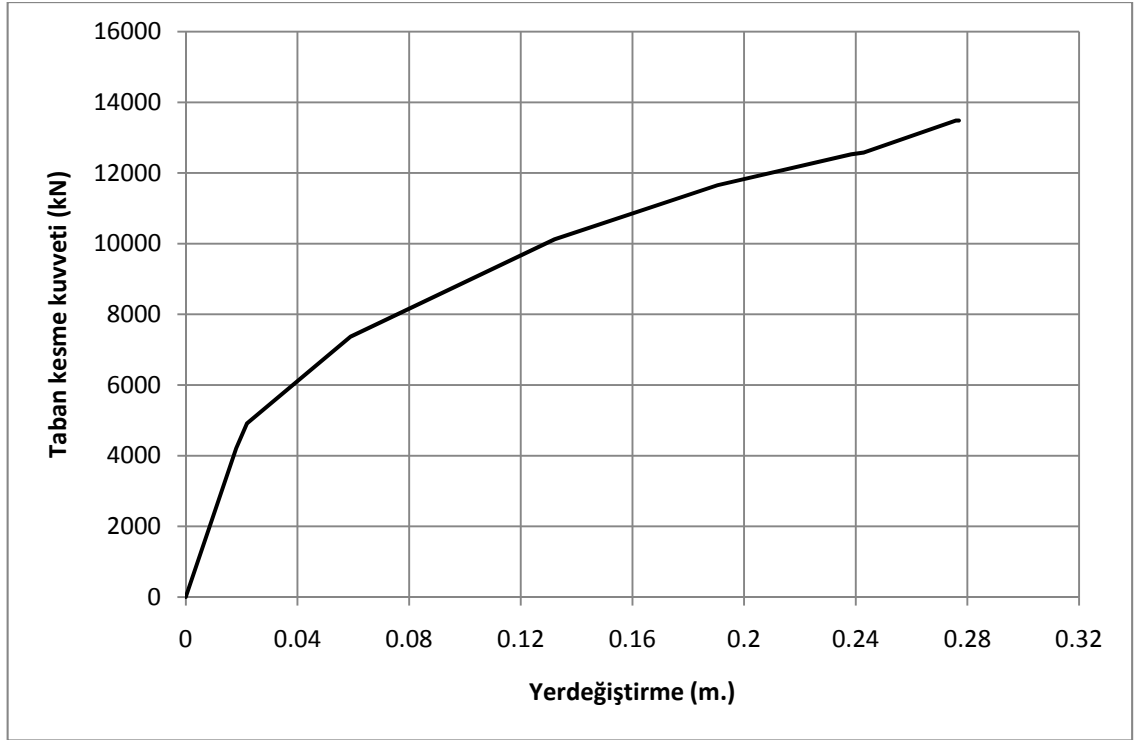
Yapılan statik itme analizinin sonucunda yapının göçme durumundaki taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirmesi bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile tepe yer değiştirmesi arasındaki ilişki Şekil 4.5’de gösterilmiştir. Yapının göçme yükü 13 850 kN bu göçme yüküne karşılık gelen tepe yer değiştirmesi 0,291 m.’dir. Statik itme analizi sonucunda yapıda 320 tanesi hemen kullanım performans seviyesinde (B–IO), 393 tanesi kontrol edilebilir hasar aralığında (IO–LS), 19 tanesi de sınırlı güvenlik aralığında (LS–CP) plastik mafsallar oluşarak yapı göçme durumuna ulaşmıştır.



Şekil 4.5. C20 beton sınıfına ait kapasite eğrisi

4.3.4. C16 beton sınıfı için analiz sonuçları

Yapılan statik itme analizinin sonucunda yapının göçme durumundaki taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirmesi bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile tepe yer değiştirmesi arasındaki ilişki Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Yapının göçme yükü 13 486 kN bu göçme yüküne karşılık gelen tepe yer değiştirmesi 0,276 m.'dir. Statik itme analizi sonucunda yapıda 310 tanesi hemen kullanım performans seviyesinde (B-IO), 409 tanesi kontrol edilebilir hasar aralığında (IO-LS), 13 tanesi de sınırlı güvenlik aralığında (LS-CP) plastik mafsallar oluşarak yapı göçme durumuna ulaşmıştır.

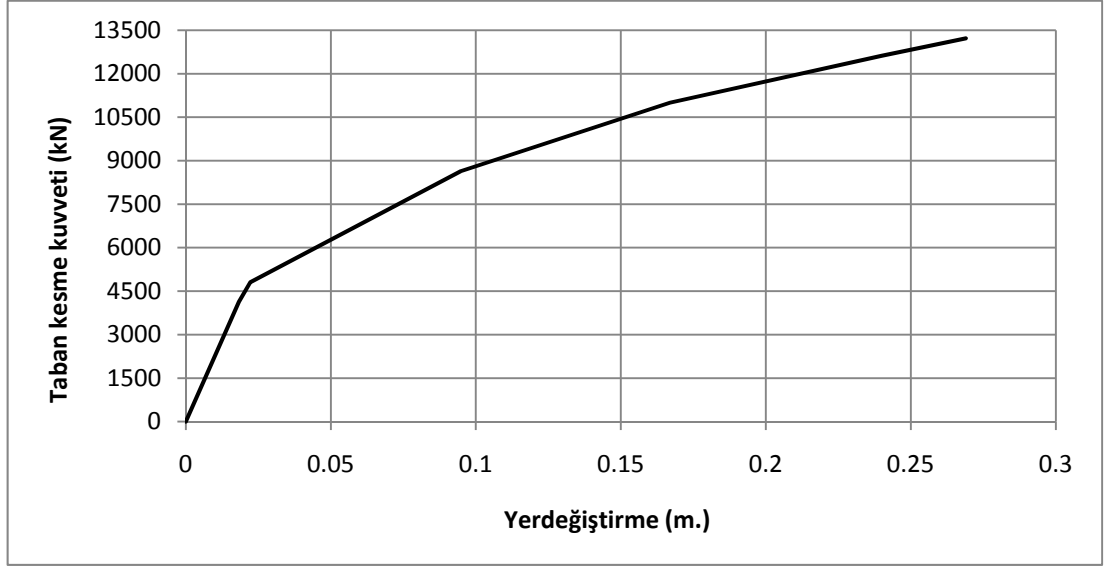


Şekil 4.6. C16 beton sınıfına ait kapasite eğrisi

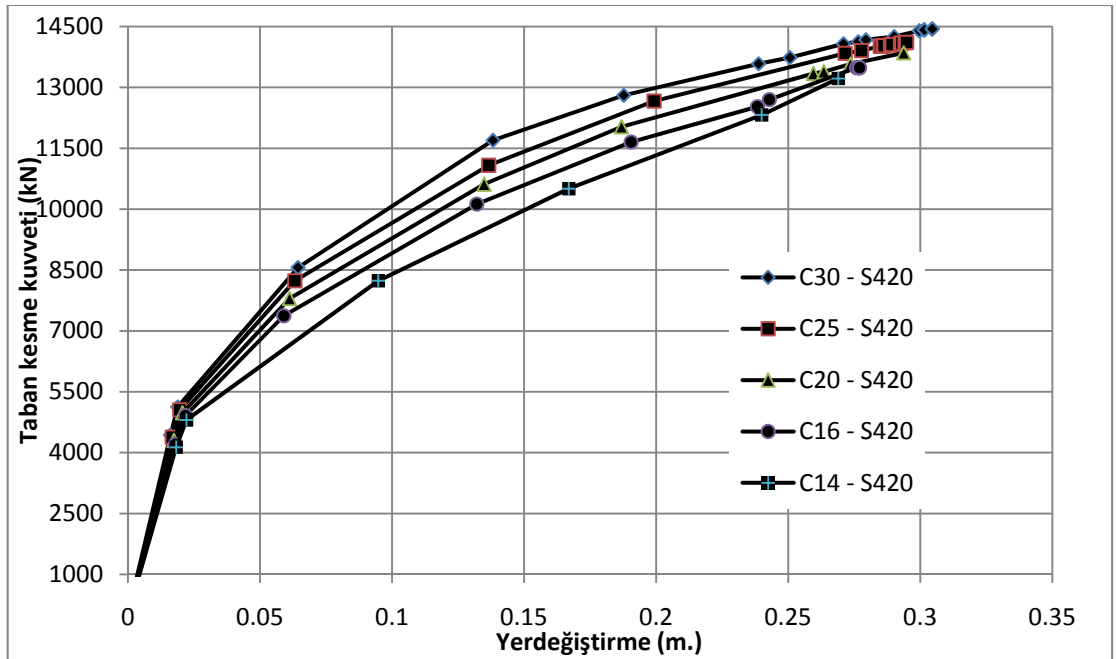
4.3.5. C14 beton sınıfı için analiz sonuçları

Yapılan statik itme analizinin sonucunda yapının göçme durumundaki taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirmesi bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile tepe yer değiştirmesi arasındaki ilişki Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Yapının göçme yükü 13 220

kN bu göçme yüküne karşılık gelen tepe yer değiştirmesi 0,268 m.'dir. Statik itme analizi sonucunda yapıda 298 tanesi hemen kullanım performans seviyesinde (B–IO), 428 tanesi kontrol edilebilir hasar aralığında (IO–LS), 7 tanesi de sınırlı güvenlik aralığında (LS–CP) plastik mafsallar oluşarak yapı göçme durumuna ulaşmıştır.



Şekil 4.7. C14 beton sınıfına ait kapasite eğrisi



Şekil 4.8. Farklı beton sınıflarına ait kapasite eğrileri

Yukarıda beş ayrı beton sınıfı için statik itme analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Kapasite eğrilerinin sonuçları değerlendirildiği zaman, beton kalitesinin artmasına bağlı olarak yapının karşıladığı taban kesme kuvvetinde artma olmaktadır.

Farklı beton ve S420 donatı sınıfına göre taban kesme kuvveti ve yer değiştirmeleri Çizelge 4.5’de gösterilmiştir. Çizelge 4.5 incelendiği zaman beton sınıfı C30 dan C14 ‘e düşürüldüğü zaman taban kesme kuvveti değerinde %8,46 oranında azalma olmuştur. Tepe noktası yer değiştirmelerinde ise %11,84 oranında azalma olmaktadır.

Çizelge 4.5. Beton ve donatı sınıflarına göre taban kesme kuvveti ve yer değiştirme (S420)

Beton ve Donatı sınıfı	V (kN)	D (m)	C30 beton sınıfına göre taban kesme kuvvetindeki azalma oranları (%)	C30 beton sınıfına göre tepe yer değiştirmelerindeki azalma oranları (%)
C30–S420	14 443	0,304	-	-
C25–S420	14 108	0,297	2,32	3,29
C20–S420	13 850	0,291	4,11	4,28
C16–S420	13 486	0,276	6,63	9,21
C14–S420	13 220	0,268	8,46	11,84

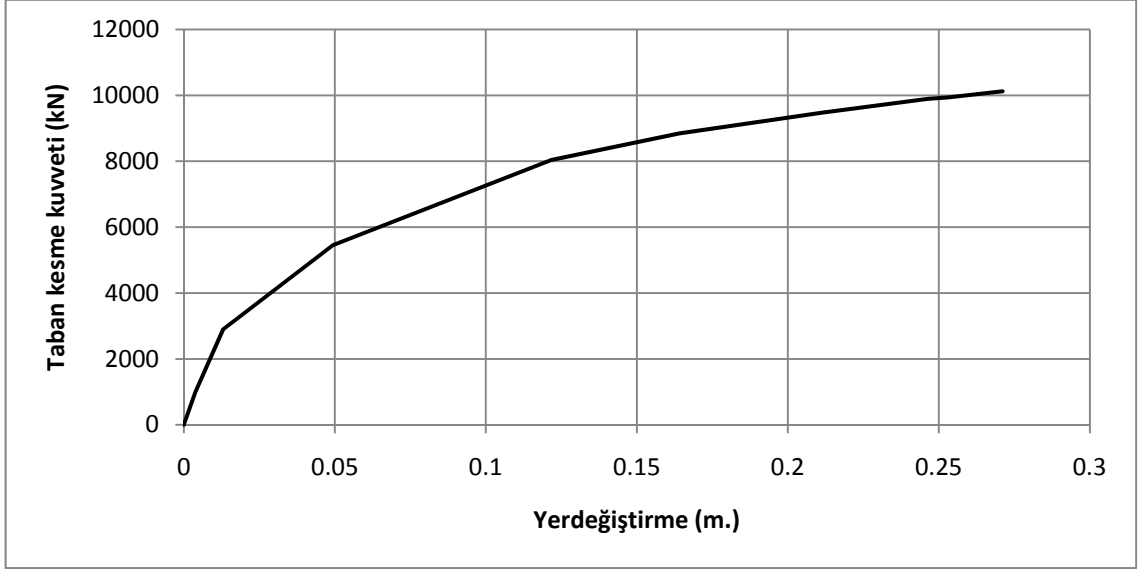
Beton kalitesindeki artma, plastik mafsal sayılarını arttırarak daha fazla yük taşımaya neden olmaktadır. Bu durum Çizelge 4.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Beton ve donatı sınıflarına göre plastik kesitlerin dağılımı

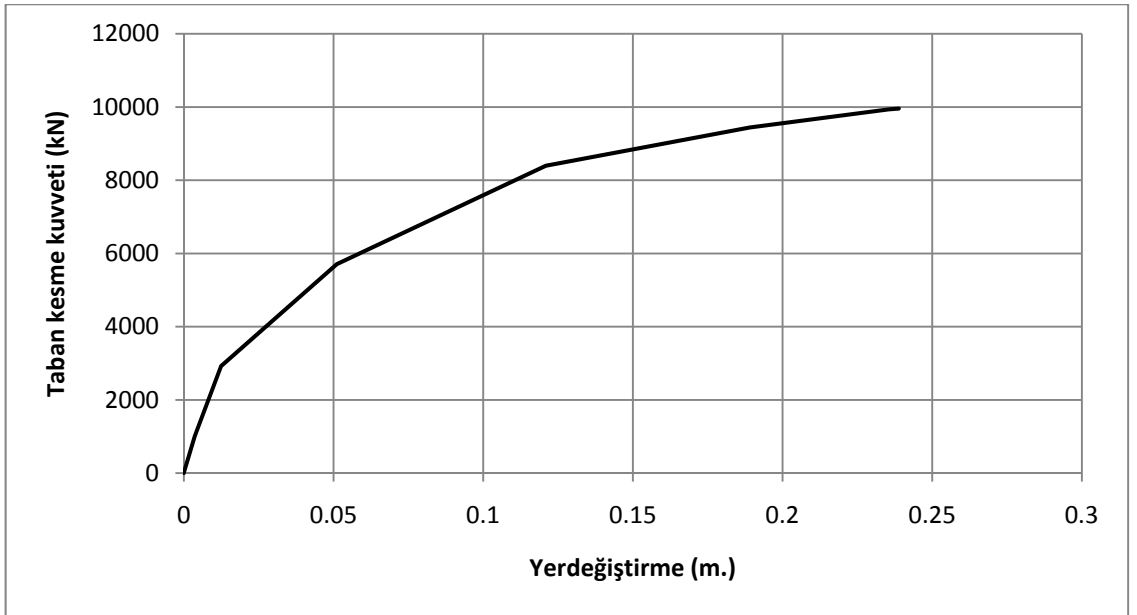
Beton Sınıfı	B - IO	IO - LS	LS - CP
C30	333	361	47
C25	325	385	22
C20	320	393	19
C16	310	409	13
C14	298	428	7

4.4. S220 Donatı Sınıfına Göre Farklı Beton Sınıflarının Karşılaştırılması

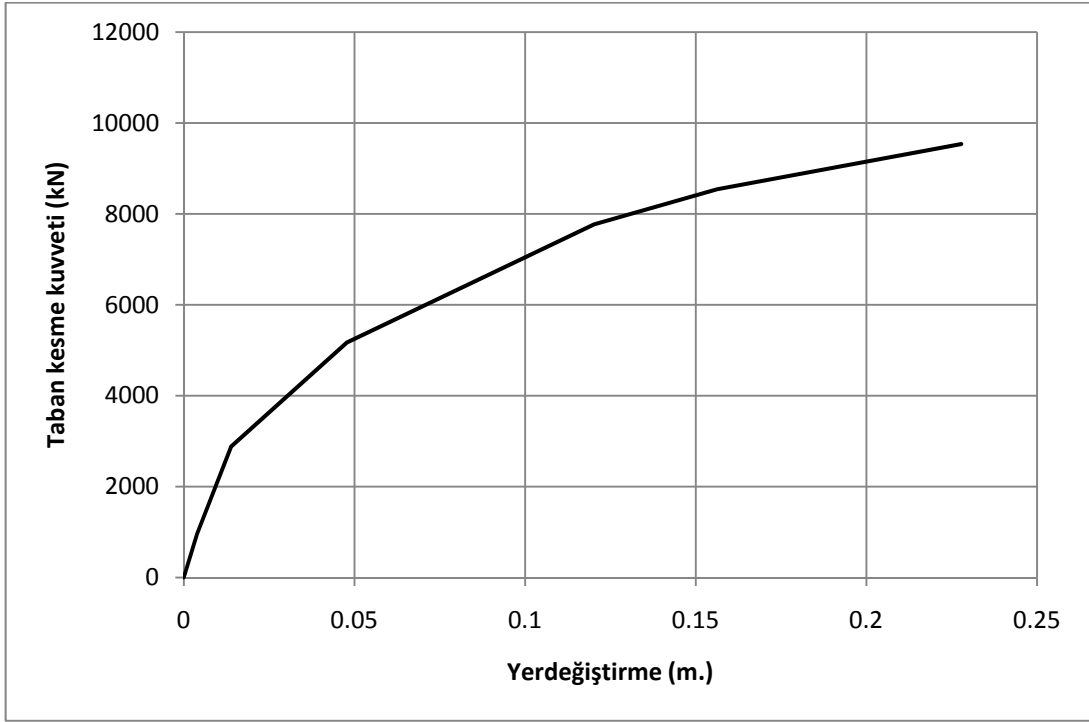
Donatı sınıfı S220 alınarak, C30, C25, C20, C16 ve C14 beton sınıfları için statik itme analizleri yapılmış ve elde edilen kapasite eğrileri sırasıyla Şekil 4.9-4.13’de gösterilmiştir.



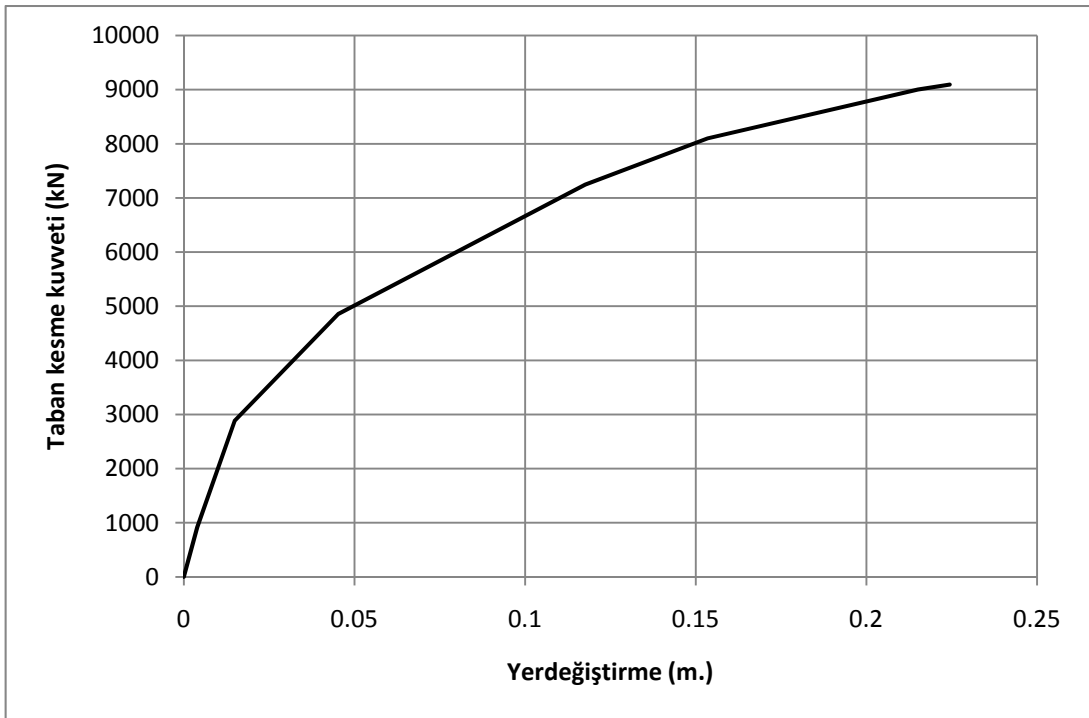
Şekil 4.9. C30-S220 parametrelerine göre yapının kapasite eğrisi



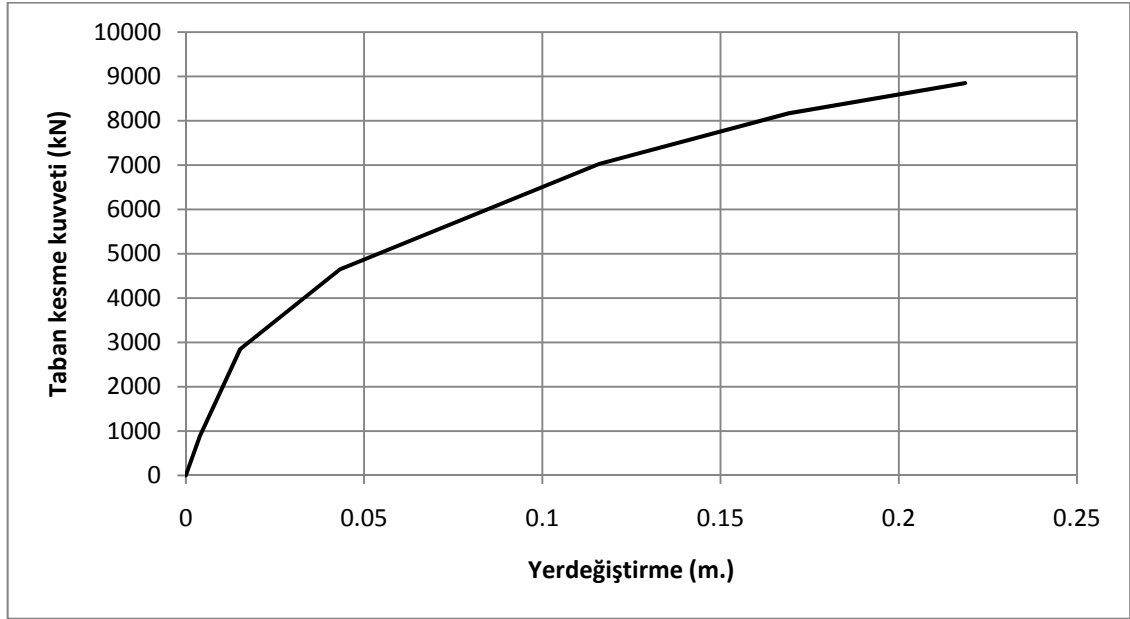
Şekil 4.10. C25-S220 parametrelerine göre yapının kapasite eğrisi



Şekil 4.11. C20-S220 parametrelerine göre yapının kapasite eğrisi

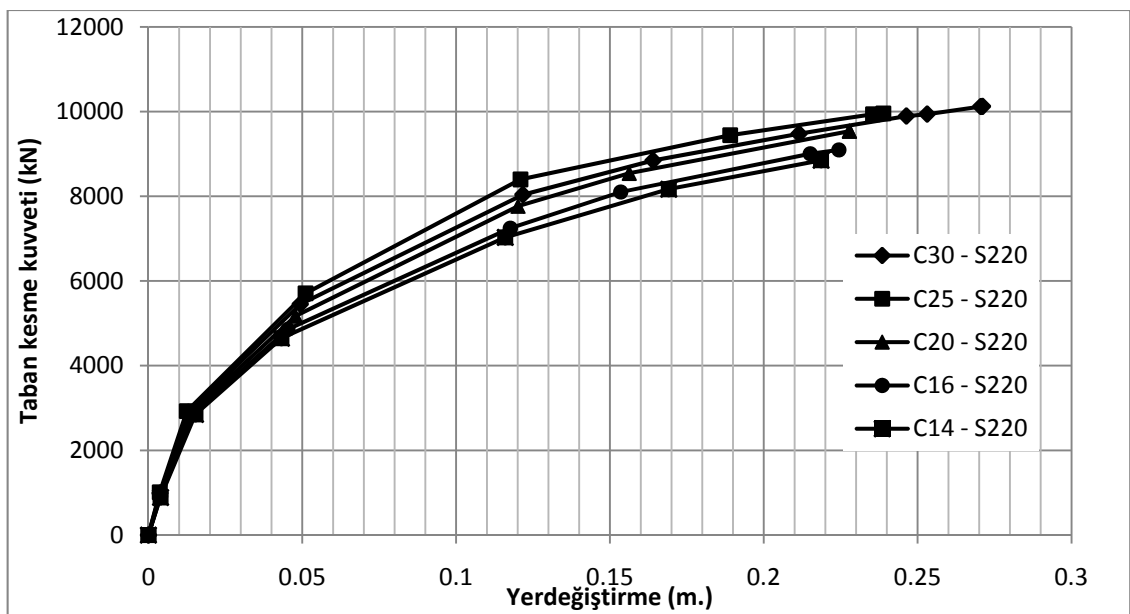


Şekil 4.12. C16-S220 parametrelerine göre yapının kapasite eğrisi



Şekil 4.13. C14-S220 parametrelerine göre yapının kapasite eğrisi

Donatı sınıfının S220 alınarak, farklı beton sınıfları için elde edilen kapasite eğrileri ayrıca tek bir grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.14). Şekil incelendiğinde, beton kalitesinin artmasına bağlı olarak yapının karşıladığı taban kesme kuvvetinde artma olduğu görülmektedir.



Şekil 4.14. S220 donatı sınıfına göre farklı beton sınıflarının kapasite eğrileri

S220 donatı sınıfı için farklı beton sınıflarına ait taban kesme kuvveti ve yer değiştirme değerleri Çizelge 4.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Beton ve donatı sınıfına göre taban kesme kuvveti ve yer değiştirme (S220)

Beton ve Donatı sınıfı	V (kN)	D (m)
C30–S220	10 122	0,271
C25–S220	9 957	0,238
C20–S220	9 538	0,227
C16–S220	9 095	0,224
C14–S220	8 849	0,218

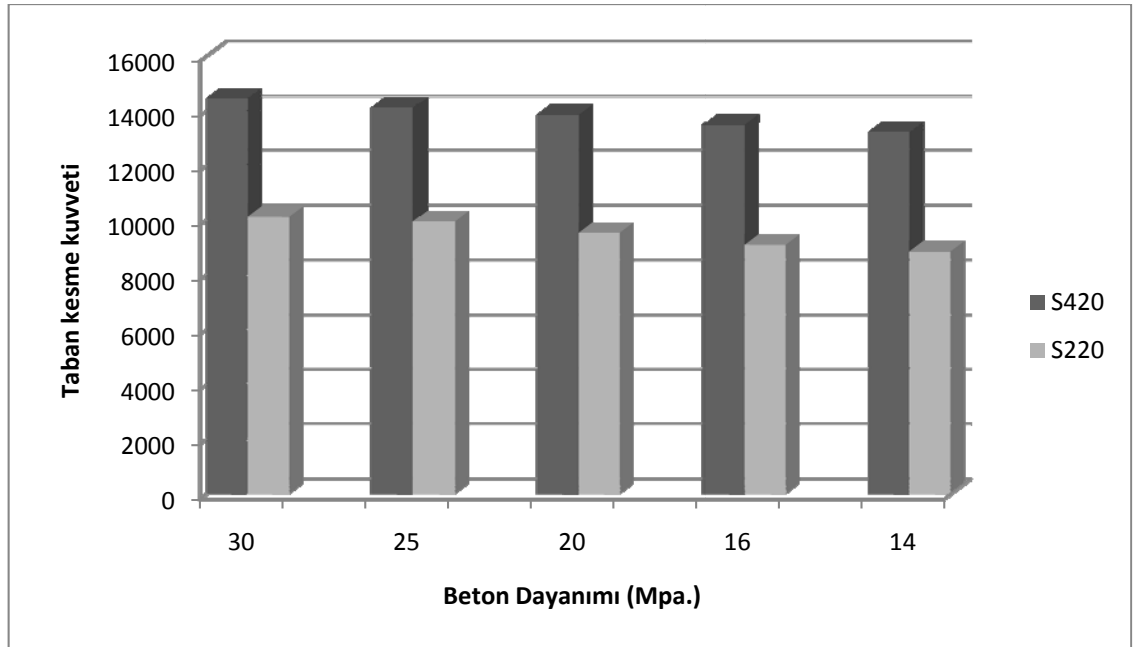
Donatı sınıfı değiştirilerek farklı beton sınıfları için elde edilen taban kesme kuvveti değerleri Çizelge 4.8’de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.8. S220 ve S420 için farklı beton sınıflarına ait taban kesme kuvveti karşılaştırılması

Beton sınıfı	V (kN) (S420)	V (kN) (S220)	$\frac{V_{S420} - V_{S220}}{V_{S420}} \cdot 100$ (%)
C30	14 443	10 122	29,9
C25	14 108	9 957	29,4
C20	13 850	9 538	31,1
C16	13 486	9 095	32,6
C14	13 220	8 849	33,1

Çizelge 4.8 incelendiğinde, donatı sınıfının S420 yerine S220 alınması durumunda bütün beton sınıfları için taban kesme kuvvetinde yaklaşık %30'luk azalmanın meydana geldiği gözlenmiştir.

Sonuç olarak, beş farklı beton sınıfı ve iki farklı donatı sınıfı ile yapılan karşılaştırmalarda beton dayanımının artmasından ziyade donatının dayanımının artmasının yapısal kapasite üzerinde daha fazla etkili olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.15).

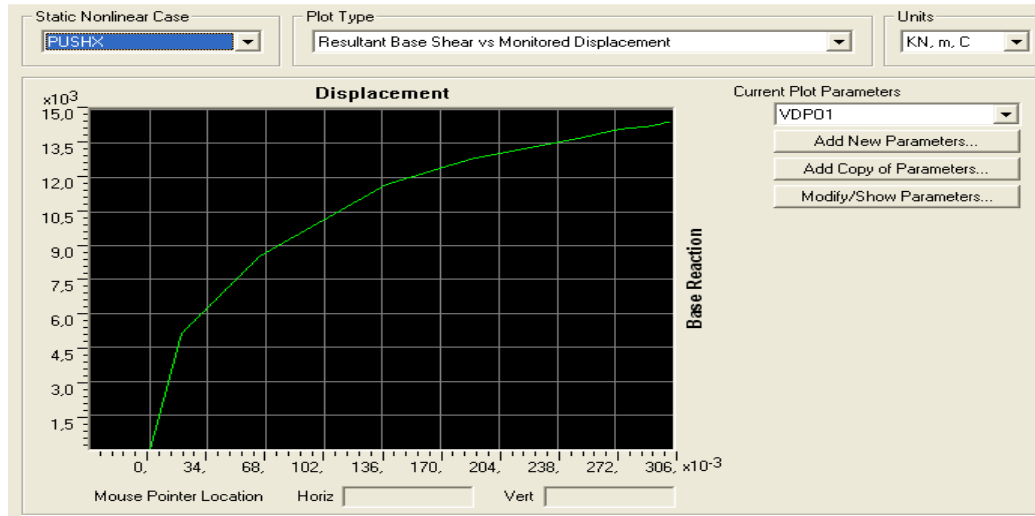


Şekil 4.15. S220 ve S420 donatı sınıflarına göre farklı beton sınıflarının kapasitelerinin değerlendirilmesi

4.5. Performans Noktasının Bulunması

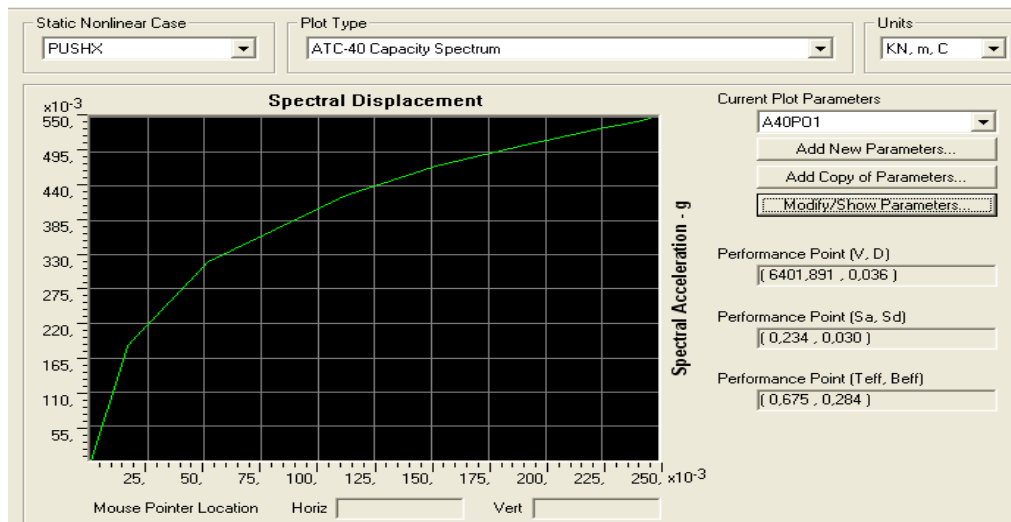
4.5.1. C30 beton sınıfı için performans noktasının bulunması

1. Adım: Kapasite eğrisinin oluşturulması (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. Kapasite eğrisinin elde edilmesi

2. Adım: Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. Kapasite eğrisinin kapasite spektrum eğrisine dönüştürülmesi

3. Adım: %5 sönümlü talep spektrumunun oluşturulması ve indirgenmesi

Yapıya ait %5 sönümlü talep spektrumu eğrisi çizilir (Şekil4.18). %5 sönümlü talep spektrumu eğrisinin çizimi için yapıya ait deprem bölge katsayısı, zemin sınıfı, deprem kaynağına olan mesafesi ve hangi deprem seviyesine göre tasarlanacağı gibi değerlerin elde edilmesi gerekir. Yaptığımız çalışmada;

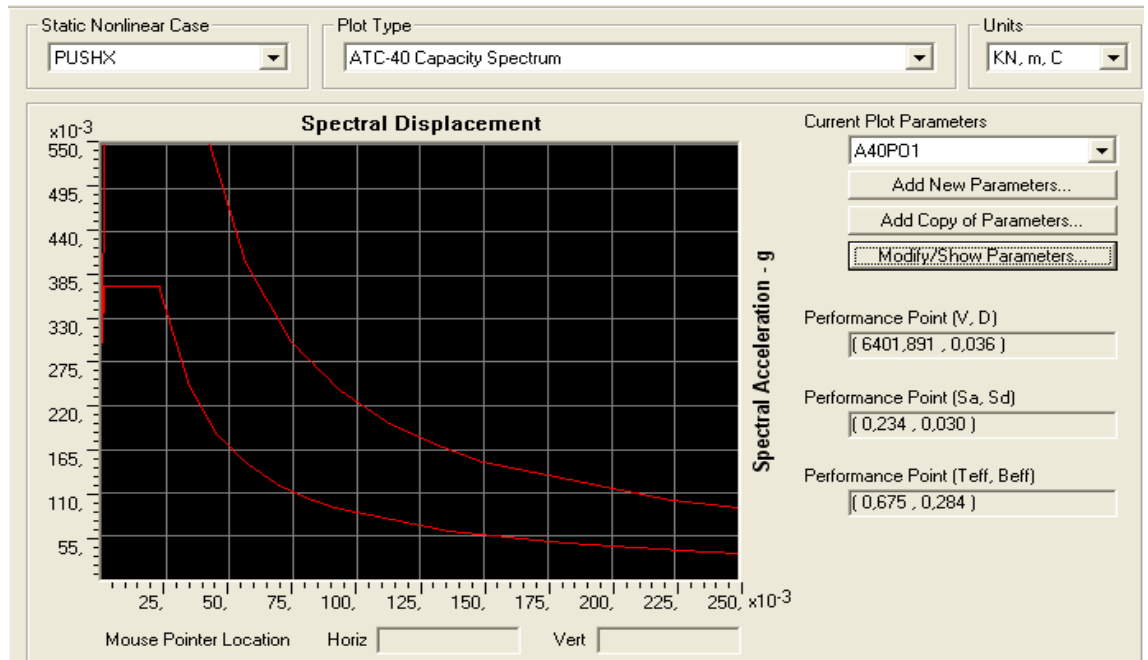
Deprem bölge katsayısı : 0,30

Zemin sınıfı : Z2

Deprem kaynağına olan mesafe katsayıları : $N_A = 1$ $N_V = 1$

Deprem seviyesi : Tasarım depremi ($E = 1$)

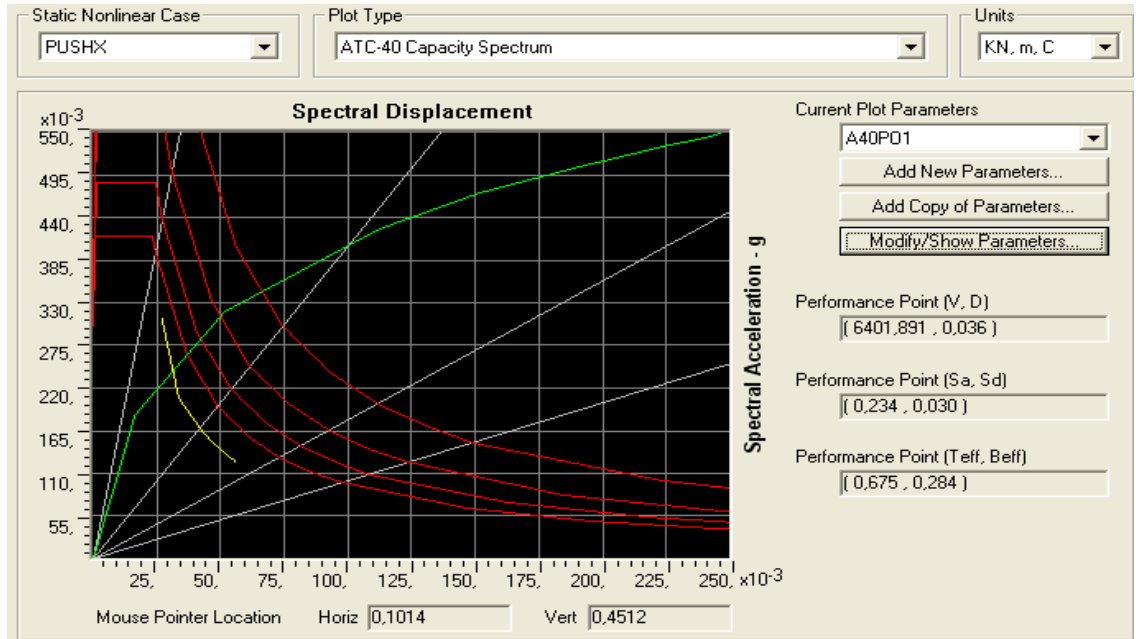
Yukarıdaki değerler Çizelgelerden okunarak ZEN çarpanı 0,30 bulunmuştur. ZEN çarpanından ve zemin sınıfından yararlanarak Çizelge 3.9'dan C_A değeri 0,30 Çizelge 3.10'dan C_V değeri 0,30 olarak okunur. Formül 3.7 ve 3.8'den C_A ve C_V katsayıları kullanılarak $T_S = 0,40$ $T_A = 0,08$ değerleri hesaplanarak %5 sönümlü talep spektrum eğrisi çizilmiştir.



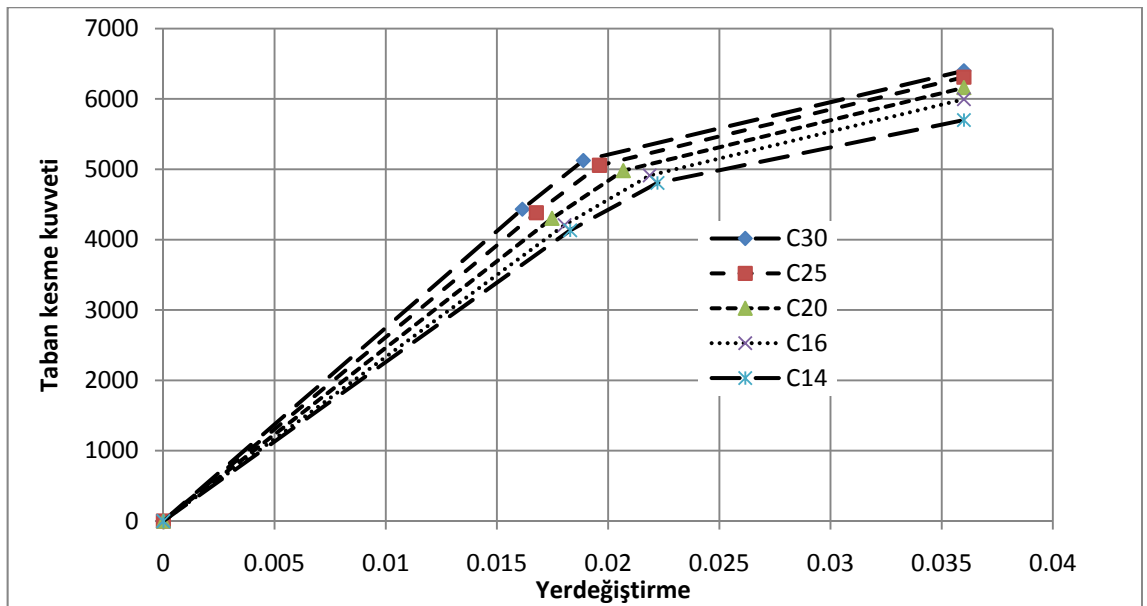
Şekil 4.18. %5 lik talep spektrumunun oluşturulması

4. Adım: Performans noktasının bulunması

Kapasite spektrumu ile talep spektrumu aynı grafikte gösterilerek yapının performans noktası bulunmuştur (Şekil 4.19).



Şekil 4.19. Performans noktasının bulunması



Şekil 4.20. Farklı betonlar için tasarım depremi performans noktası kapasite eğrileri

Performans noktasındaki kapasite değerleri incelendiği zaman, beton kalitesinin artmasına bağlı olarak binanın aynı yer değiştirme değeri için daha fazla yatay yük talep ettiği görölmektedir (şekil 4.20).

Yukarıda belirtilen işlemler diğer beton sınıfları içinde 3 farklı deprem durumuna göre yapılarak performans noktalarında talep ettikleri taban kesme kuvveti ve yer değiştirme değerleri sırasıyla Çizelge 4.9-4.13’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Farklı deprem türleri için C14/S420’nin performans noktasının kapasite değerleri

C14/S420 Deprem Bölgesi: 2	V (KN)	D (m.)
Kullanım Depremi (E=0,5)	3 950	0,017
Tasarım Depremi (E=1,0)	5 700	0,039
Maksimum Deprem (E=1,5)	7 233	0,068

Çizelge 4.10. Farklı deprem türleri için C16/S420’nin performans noktasının kapasite değerleri

C16/S420 Deprem Bölgesi: 2	V (KN)	D (m.)
Kullanım Depremi (E=0,5)	3 964	0,017
Tasarım Depremi (E=1,0)	5 995	0,038
Maksimum Deprem (E=1,5)	7 660	0,067

Çizelge 4.11. Farklı deprem türleri için C20/S420'nin performans noktasının kapasite değerleri

C20/S420 Deprem Bölgesi: 2	V (KN)	D (m.)
Kullanım Depremi (E=0,5)	4 089	0,017
Tasarım Depremi (E=1,0)	6 160	0,038
Maksimum Deprem (E=1,5)	7 948	0,065

Çizelge 4.12. Farklı deprem türleri için C25/S420'nin performans noktasının kapasite değerleri

C25/S420 Deprem Bölgesi: 2	V (KN)	D (m.)
Kullanım Depremi (E=0,5)	4 212	0,016
Tasarım Depremi (E=1,0)	6 309	0,037
Maksimum Deprem (E=1,5)	8 250	0,064

Çizelge 4.13. Farklı deprem türleri için C30/S420'nin performans noktasının kapasite değerleri

C30/S420 Deprem Bölgesi: 2	V (KN)	D (m.)
Kullanım Depremi (E=0,5)	4 290	0,016
Tasarım Depremi (E=1,0)	6 401	0,036
Maksimum Deprem (E=1,5)	8 400	0,062

Farklı beton sınıfları için tasarım depremi performans noktası değerleri Çizelge 4.14’de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.14. Tasarım depremi için farklı beton sınıflarının performans noktasındaki değerlerinin karşılaştırılması

Beton sınıfı	V (kN) (Tasarım depremi)	D (m)	C30 beton sınıfına göre performans noktası taban kesme kuvvetindeki azalma oranları (%)
C30	6 401	0,039	-
C25	6 309	0,038	1,43
C20	6 160	0,038	3,76
C16	5 995	0,037	6,34
C14	5 700	0,036	10,9

Çalışmada incelenen binanın farklı beton sınıfları için performans noktasındaki talep taban kesme kuvvetleri dikkate alındığında beton sınıfının C14 yerine C30 alınması durumunda, tasarım depreminde yaklaşık aynı yer değiştirme altında talep ettiği taban kesme kuvvetinde %10,9 arttığı Çizelge 4.14’den gözlenmiştir.

4.6. Farklı Zemin Türlerine Göre Performans Noktalarının Bulunması

Deprem yönetmeliğimizde yerel zemin koşullarının tanımlanması için esas alınan zemin grupları Çizelge 4.15’de, yerel zemin sınıfları ise Çizelge 4.16’da verilmiştir. Çizelge 4.15’de zemin parametrelerine ilişkin değerler zemin gruplarının belirlenmesine yol göstermek üzere verilen standart değerlerdir.

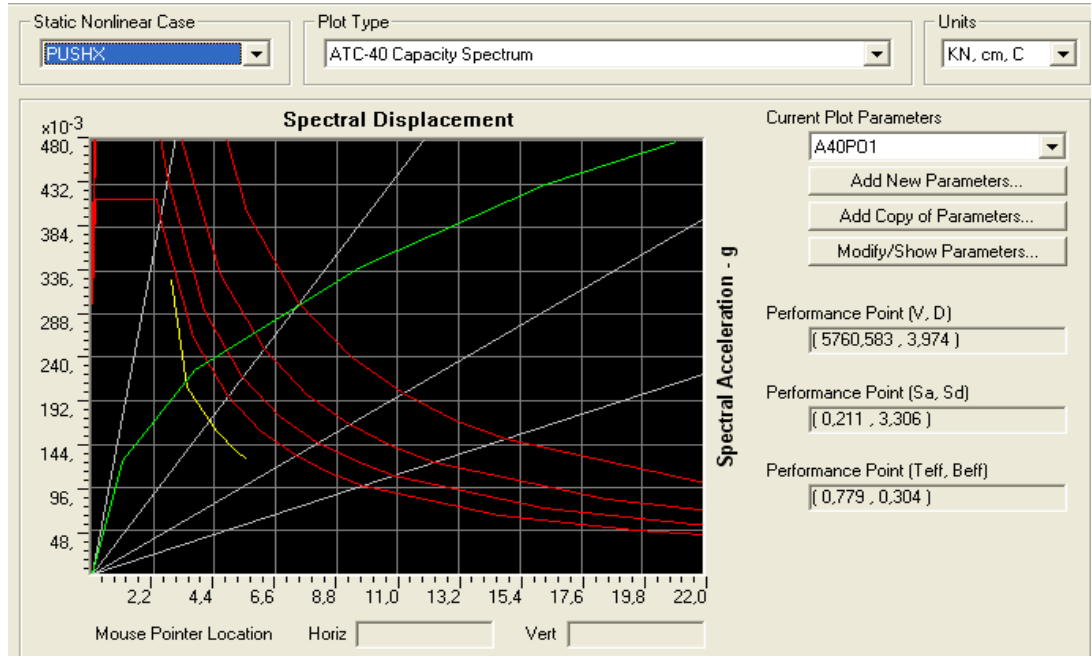
Çizelge 4.15. Zemin grupları (Deprem Yönetmeliği 2007)

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı
(A)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Masif volkanik kayalar ve ayrışmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar.... 2. Çok sıkı kum, çakıl 3. Sert kil ve siltli kil
(B)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayalar.... 2. Sıkı kum, çakıl 3. Çok katı kil ve siltli kil...
(C)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar 2. Orta sıkı kum, çakıl 3. Katı kil ve siltli kil
(D)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları 2. Gevşek kum 3. Yumuşak kil, siltli kil

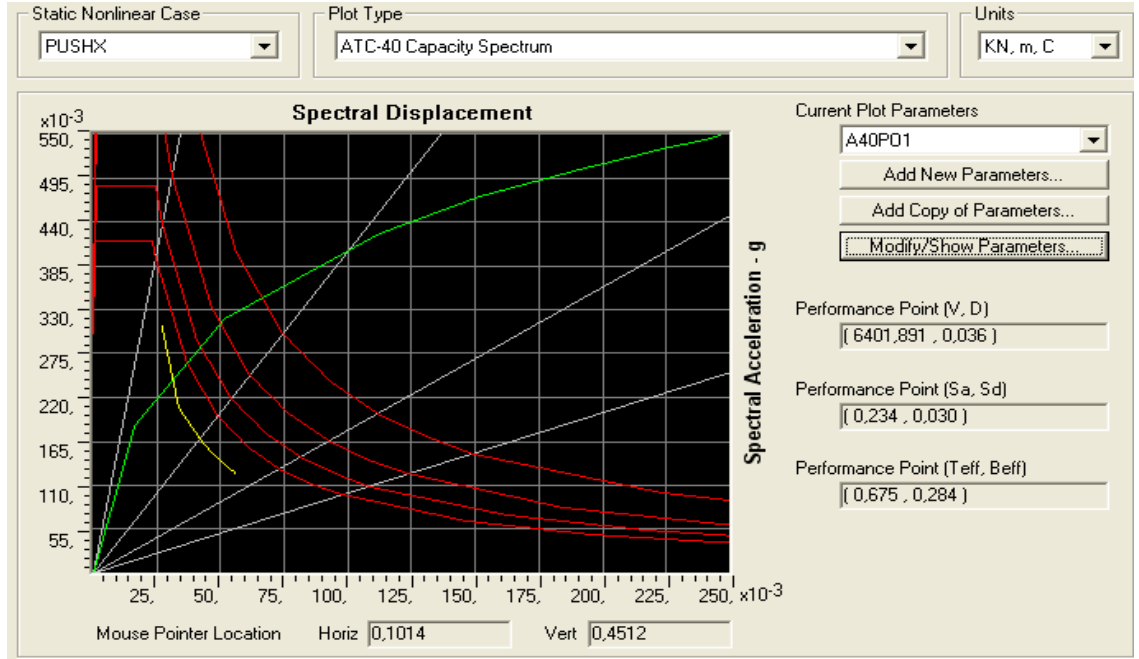
Çizelge 4.16. Yerel zemin sınıfları (Deprem Yönetmeliği 2007)

Yerel Zemin Sınıfı	Çizelge 4.13'e Göre Zemin Grubu ve En Üst Zemin Tabakası Kalınlığı (h_1)
Z1	(A) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (B) grubu zeminler
Z2	$h_1 > 15$ m olan (B) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (C) grubu zeminler
Z3	$15 \text{ m} < h_1 \leq 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 \leq 10$ m olan (D) grubu zeminler
Z4	$h_1 > 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 > 10$ m olan (D) grubu zeminler

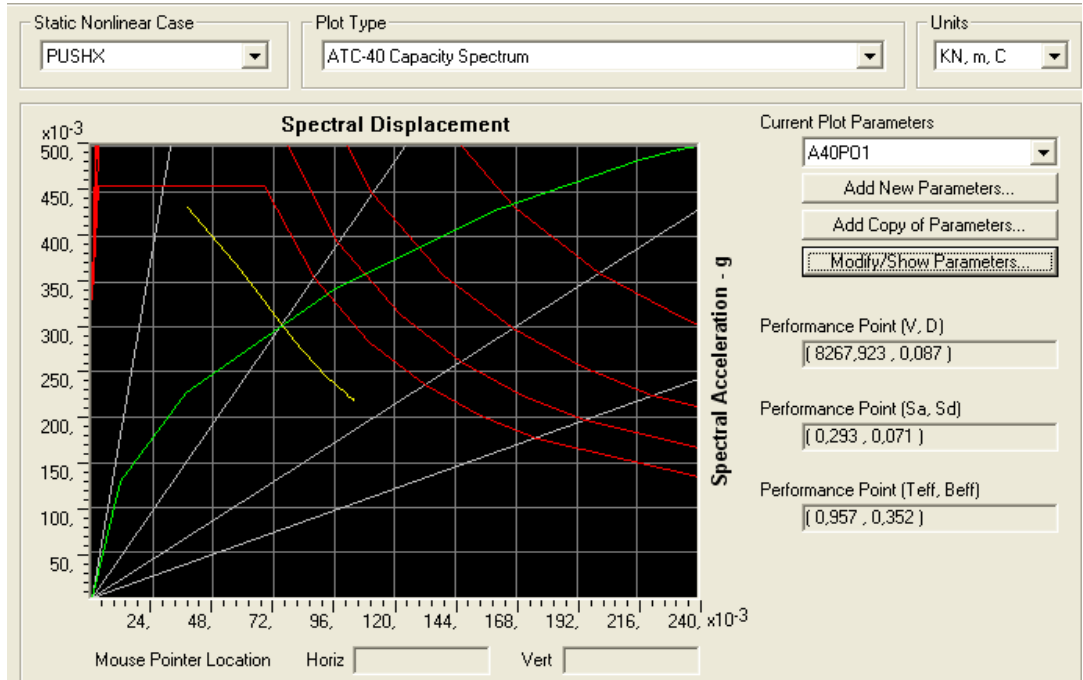
Beton sınıfı C30, donatı sınıfı ise S420 seçilerek Çizelge 4.16'da belirtilen zemin sınıfları için statik itme analizleri yapılmıştır. Tasarım depremine göre Z1, Z2, Z3 ve Z4 zemin sınıflarına göre performans noktaları bulunmuş sırasıyla Şekil 4.21-4.24'de gösterilmiştir.



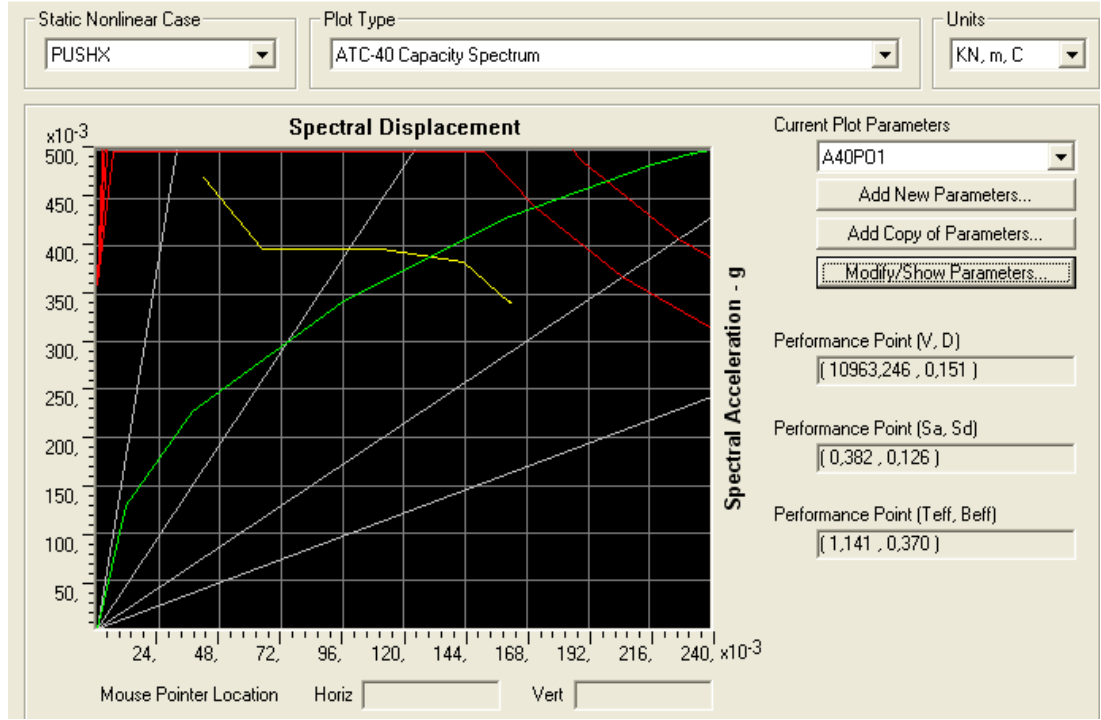
Şekil 4.21. Z1 zemin sınıfına göre tasarım depremi performans noktası



Şekil 4.22. Z2 zemin sınıfına göre tasarım depremi performans noktası



Şekil 4.23. Z3 zemin sınıfına göre tasarım depremi performans noktası



Şekil 4.24. Z4 zemin sınıfına göre tasarım depremi performans noktası

Çizelge 4.17. Yerel zemin sınıflarına göre performans noktası değerlerinin karşılaştırılması

Yerel zemin sınıfları	V (KN)	D (m)	Z1 zemin sınıfına göre zemin sınıflarının performans noktasındaki talep ettiği taban kesme kuvveti değerindeki artma oranları (%)
Z1	5 760	0,039	-
Z2	6 401	0,036	11,1
Z3	8 267	0,071	43,5
Z4	10 963	0,151	90,3

Çizelge 4.17 incelendiği zaman, yapının yerel zemin sınıfının Z4 olması durumunda tasarım depremi şartlarına göre, yapıya etkiyen taban kesme kuvveti, yerel zemin sınıfının Z1 olması durumundakine göre yaklaşık %90 oranında artmaktadır. Ayrıca tepe noktası yer değiştirme değeri de 0,039 m'den 0,151 m değerine çıkmıştır.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Çalışmada altı katlı betonarme çerçeve sistemli bina, yüksek süneklik koşullarını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

Kapasite eğrilerinin sonuçları değerlendirildiği zaman, beton kalitesinin artmasına bağlı olarak yapının karşıladığı taban kesme kuvvetinde artma olmaktadır. Beton sınıfı C14 yerine C30 kullanılması durumunda taban kesme kuvveti değerinde %8,46 oranında artma olmuştur. Tepe noktası yer değiştirmesinde ise %11,84 oranında artma olmaktadır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre, C14 beton sınıfı için sınırlı güvenlik aralığında (LS – CP) 7 plastik mafsal oluşurken, C30 beton sınıfı için bu değer 47 olmaktadır. Beton kalitesindeki artma, plastik mafsal sayılarını arttırarak daha fazla yük taşımaya neden olmaktadır.

Yapılan analizler sonucunda donatı dayanımının S420 yerine S220 kullanılması durumunda C30 beton sınıfının karşıladığı taban kesme kuvveti %30 oranında azalmıştır.

Sonuç olarak, beş farklı beton sınıfı ve iki farklı donatı sınıfı ile yapılan karşılaştırmalarda beton dayanımının artmasından ziyade donatının dayanımının artmasının yapısal kapasite üzerinde daha fazla etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Kapasite eğrileri değerlendirildiğinde, beton kalitesinin artmasına bağlı olarak binanın aynı yer değiştirme değeri için daha fazla yatay yük talep ettiği görülmektedir. Çalışmada incelenen binanın performans noktasındaki talep taban kesme kuvvetleri dikkate alındığında beton sınıfının C14 yerine C30 alınması durumunda talep taban

kesme kuvvetinin kullanım depreminde %8, tasarım depreminde %11, maksimum depremde %14 civarında arttığı gözlenmiştir.

İncelenen tüm beton sınıfları için performans düzeyleri Hemen Kullanım durumundadır. Buda beton sınıfının yapının performans düzeyini önemli ölçüde değiştirmedini göstermiştir.

Diğer bir parametre olan zemin sınıflarına göre yapılan analizlerde, yerel zemin sınıfının Z4 alınması durumunda Z1 sınıfında bulunan yapının talep ettiği taban kesme kuvveti yaklaşık %90 oranında artmaktadır. Buna karşılık tepe noktası yer değiştirme değeri de 0,39 m den 0,151 m değerine çıkmıştır.

Yukarıdaki sonuçlar değerlendirildiği zaman, beton dayanımının artması performans hesaplarında yapının taşıdığı yatay yük değiştirme kapasitesini çok az değiştirmektedir. Beton dayanımının sadece eğilme etkisindeki elemanların taşıma kapasitesinin belirlenmesinde fazla etkili olmaması, binanın yatay yük taşıma kapasitesinin belirlenmesinde beton dayanımının önemli olmadığına dair yorumlar yapılmasına neden olmaktadır.

Proje aşamasında belirlenen beton sınıflarının ülkemizde şantiye şartlarında farklı uygulanması gibi durumlar için bu çalışmanın fikir vereceği düşünülmektedir.

Ayrıca ülkemizde yapılan diğer bir yanlışlık olan zemin etüdü yapmadan proje yapılması ve uygulanmasının deprem durumunda ne kadar etkili olduğu gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Antoniou, S., Rovithakis A. and Pinho R., 2002. Development and verification of a fully adaptive pushover procedure. The Twelfth European Conference on Earthquake Engineering, London.
- Aydın, M.,2005. Mevcut bir betonarme binanın deprem performansının incelenmesi ve güçlendirilmesi.Y.Lisans Tezi, İTÜ,İstanbul.
- ATC 40, 1996. Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings. Applied Technology Council, Redwood City, California.
- Aydınoğlu, M.N., 2003. Yapıların deprem performansının değerlendirilmesi için artımsal spektrum analizi yöntemi. Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.
- Baros, D. K. and Dritsos S.E.,2008. A simplified procedure to select a suitable retrofit strategy for existing rc buildings using pushover analysis. Journal of Earthquake Engineering, 12(6), 823-848.
- Can, D.,2005. Statik itme (Pushover) yöntemiyle mevcut bir yapının güvenliğinin belirlenmesi.Y.Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Celep, Z. ve Kumbasar N.,2004. Deprem Muhendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı.Beta Yayınevi, 700s, İstanbul.
- Chopra, A. K. and Goel R.K., 2002. A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 31(3), 561-582.
- Chopra, A.K., Goel R.K. and Chintanapakdee C., 2003. Statistics of single-degree-of-freedom estimate of displacement for pushover analysis of buildings. Journal Of Structural Engineering, 129(4), 459-469.
- CSI SAP 2000 V-8.1.2., 2002. Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual. Computer and Structures Inc., California.
- DBYBHY, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
- Dinh, T.V. and Ichinose T., 2005. Probabilistic estimation of seismic story drifts in reinforced concrete buildings. Journal of Structural Engineering-ASCE, 131(3), 416-427.
- Elnashai, A.S., 2002. Do we really need inelastic dynamic analysis?. Journal of Earthquake Engineering, 6(Sp. Iss. S1), 123-130.
- Esin, D., 2005.Statik itme analiz yöntemiyle mevcut betonarme bir yapının incelenmesi ve uygulanması, Y.Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Faella, G. and Kilar V.,1998. Asymmetric multistorey R/C frame structures: push- over versus nonlinear dynamic analysis. Proceedings of the Eleventh European Conference on Earthquake Engineering, Paris.
- FEMA 273,1997. NEHRP Guidelines For The Seismic Rehabilitation Of Buildings. Federal Emergency Management Agency, Washington D.C.
- FEMA 356, 2000. Prestandard and Commentary For The Seismic Rehabilitation Of Buildings. Federal Emergency Management Agency, Washington D.C.

- Ghobarah, A., El-Attar M. and Aly N.M., 2000. Evaluation of retrofit strategies for reinforced concrete columns: a case study. *Engineering Structures*, 22(5), 490–501.
- Güler, M.G., 2008. Betonarme binaların deprem performanslarının doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler kullanılarak belirlenmesi ve karşılaştırılması, Y.Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Inel, M. and Ozmen H.B., 2006. Effects of plastic hinge properties in nonlinear analysis of reinforced concrete buildings. *Engineering Structures*, 28(11), 1494-1502.
- Inel, M., Ozmen H.B. and Bilgin H., 2008. Re-evaluation of building damage during recent earthquakes in Turkey. *Engineering Structures*, 30(2), 412-427.
- Irtem, E. and Hasgul U., 2009. Investigation of effects of nonlinear static analysis procedures to performance evaluation on low-rise RC buildings. *Journal Of Performance Of Constructed Facilities*, 23(6), 456-466.
- Jan, T.S., Liu M.W. and Kao Y.C., 2004. An upper-bound pushover analysis procedure for estimating the seismic demands of high-rise buildings. *Engineering Structures*, 26(1), 117–128.
- Kalkan, E. and Kunnath S.K., 2007. Assessment of current nonlinear static procedures for seismic evaluation of buildings. *Engineering Structures*, 29(3), 305-316.
- Kesim, B., 2005. Statik itme analizi ile mevcut bir betonarme binanın incelenmesi. Y.Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kilar, V. and Fajfar P., 1997. Simple push-over analysis of asymmetric buildings. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 26(2), 233-249.
- Krawinkler, H. and Seneviratna G.D.P.K., 1998. Pros and cons of a pushover analysis of seismic performance evaluation. *Engineering Structures*, 20(4-6), 452-464.
- Lawson, R.S., Vance V. and Karwinkler H., 1994. Nonlinear static push-over analysis- why, when, and how?. *Proceeding 5th U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, Chicago.
- Moghadam, A.S. and Tso W.K., 1995. 3-D pushover analysis for eccentric buildings. *proceedings 7th Canadian Conference on earthquake engineering*, Montreal.
- Özdaş, A., 2006. Asmolen döşemeli betonarme yapıların doğrusal olmayan statik itme analizi. Y.Lisans Tezi, KTÜ, Trabzon.
- Pakdamar, F., 2001. Mevcut betonarme binaların incelenmesi için kullanılması ve uygulamaları. Y.Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul.
- Sasaki, K.K., Freeman S.A. and Paret T.F., 1998. Multi-mode pushover procedure (MMP)-a method to identify the effect of higher modes in a pushover analysis. *Proceedings of 6th U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, Washington.
- Temür, F., 2007. Statik itme (pushover) yöntemi kullanılarak yapıların analizi, Y. Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Thomos, G.C. and Trezos C.G., 2006. Examination of the probabilistic response of reinforced concrete structures under static non-linear analysis. *Engineering Structures*, 28(1), 120-133.
- Verderame, G.M., Polese M., Mariniello C. and Manfredi G., 2010. A simulated design procedure for the assessment of seismic capacity of existing reinforced concrete buildings. *Advances in Engineering Software*, 41(2), 323-335.

Zou, X.K. and Chan C.M., 2005. Optimal seismic performance-based desing of reinforced concrete building using nonlinear pushover analysis. *Engineering Structures*, 27(8), 1289-1302.

EKLER**EK.1.: ELEMAN SINIR DÖNME DEĞERLERİ İÇİN KABUL LİMİTLERİ**

Çizelge 1. Betonarme kirişlerde plastik mafsal dönmeleri için modelleme parametreleri ve nümerik kabul kriterleri (radyan olarak) (Pakdamar 2001)

DURUMLAR			MODELEME PARAMETRELERİ			KABUL KRİTERLERİ				
			PLASTİK DÖNME AÇILARI (RADYAN)		ARTIK GÜÇ ORANI	PLASTİK DÖNME AÇISI (RADYAN)				
						ELEMEN TİPİ				
						BİRİNCİL		İKİNCİL		
								PERFORMANS SEVİYESİ		
a	b	c	IO	LS	CP	LS	CP			
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Etriye Durumu	$\frac{V}{b_{wd} - \sqrt{f'_c}}$								
1.Eğilme Etkisinde Kirişler										
≤ 0.0	Kuşatılmış	≤ 3	0.025	0.05	0.2	0.005	0.02	0.025	0.02	0.05
≤ 0.0	Kuşatılmış	≥ 6	0.02	0.04	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.04
≥ 0.5	Kuşatılmış	≤ 3	0.02	0.04	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
≥ 0.5	Kuşatılmış	≥ 6	0.015	0.02	0.2	0.005	0.005	0.015	0.015	0.02
≤ 0.0	Kuşatılmamış	≤ 3	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
≤ 0.0	Kuşatılmamış	≥ 6	0.01	0.015	0.2	0.00	0.005	0.01	0.01	0.015
≥ 0.5	Kuşatılmamış	≤ 3	0.01	0.015	0.2	0.005	0.01	0.01	0.01	0.015
≥ 0.5	Kuşatılmamış	≥ 6	0.005	0.01	0.2	0.00	0.005	0.005	0.005	0.01
2.Kesme Etkisinde Kirişler										
Etriye aralığı ≤ d/2			0.00	0.02	0.2	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02
Etriye aralığı ≥ d/2			0.00	0.01	0.2	0.00	0.00	0.00	0.005	0.01
3.Yetersiz kenetlenme boyu olan kirişler										
			0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02
			0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.005	0.01
4.Kiriş - Kolon birleşimlerinde yetersiz saplamalı kirişler										
			0.015	0.03	0.2	0.01	0.01	0.015	0.02	0.03

*

- Eleman için 1, 2, 3 ve 4 durumlarından birden fazlası oluşursa minimum olan değer kullanılır.
- Kiriş uç bölgelerinde Etriye aralığı d/3'ten küçükse ve etriyenin sağladığı kesme kuvveti dayanımı tasarım kesme kuvvetinin ¾ 'den büyükse kiriş kuşatılmış değilse kuşatılmamıştır.

Çizelge 3. Betonarme kolon – kiriş birleşim noktalarında toplam kesme açısı için modelleme parametreleri ve nümerik kabul kriterleri (radyan olarak) (Pakdamar 2001)

DURUMLAR			MODELLEME PARAMETRELERİ			KABUL KRİTERLERİ				
			PLASTİK DÖNME AÇILARI (RADYAN)		ARTIK GÜÇ ORANI	PLASTİK DÖNME AÇISI (RADYAN)				
						ELEMEN TİPİ				
					BİRİNCİL		İKİNCİL			
			PERFORMANS SEVİYESİ							
a	b	c	IO	LS	CP	LS	CP			
$\frac{P}{A_g f'_c}$	Etriye Durumu	$\frac{V}{V_n}$								
İç Birleşimler										
≤ 0.1	Uygun	≤ 1.2	0.015	0.03	0.2	0.0	0.0	0.0	0.02	0.03
≤ 0.1	Uygun	≥ 1.5	0.015	0.03	0.2	0.0	0.0	0.0	0.015	0.02
≥ 0.4	Uygun	≤ 1.2	0.015	0.025	0.2	0.0	0.0	0.0	0.015	0.025
≥ 0.4	Uygun	≥ 1.5	0.015	0.02	0.2	0.0	0.0	0.0	0.015	0.02
≤ 0.1	Uygun değil	≤ 1.2	0.005	0.02	0.2	0.0	0.0	0.0	0.015	0.02
≤ 0.1	Uygun değil	≥ 1.5	0.005	0.015	0.2	0.0	0.0	0.0	0.01	0.015
≥ 0.4	Uygun değil	≤ 1.2	0.005	0.015	0.2	0.0	0.0	0.0	0.01	0.015
≥ 0.4	Uygun değil	≥ 1.5	0.005	0.015	0.2	0.0	0.0	0.0	0.01	0.015
Diğer Birleşimler										
≤ 0.1	Uygun	≤ 1.2	0.01	0.02	0.2	0.0	0.0	0.0	0.015	0.02
≤ 0.1	Uygun	≥ 1.5	0.01	0.015	0.2	0.0	0.0	0.0	0.01	0.015
≥ 0.4	Uygun	≤ 1.2	0.01	0.02	0.2	0.0	0.0	0.0	0.015	0.02
≥ 0.4	Uygun	≥ 1.5	0.01	0.015	0.2	0.0	0.0	0.0	0.01	0.015
≤ 0.1	Uygun değil	≤ 1.2	0.005	0.01	0.2	0.0	0.0	0.0	0.005	0.01
≤ 0.1	Uygun değil	≥ 1.5	0.005	0.01	0.2	0.0	0.0	0.0	0.005	0.01
≥ 0.4	Uygun değil	≤ 1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
≥ 0.4	Uygun değil	≥ 1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Çizelge 4. Eğilmeye maruz betonarme perdelerde plastik mafsal dönmeleri için modelleme parametreleri ve nümerik kabul kriterleri (radyan olarak) (Pakdamar 2001)

DURUMLAR			MODELLEME PARAMETRELERİ			KABUL KRİTERLERİ						
			PLASTİK DÖNME AÇILARI (RADYAN)	ARTIK GÜÇ ORANI	PLASTİK DÖNME AÇISI (RADYAN)							
					ELEMEN TİPİ							
			BİRİNCİL		İKİNCİL			PERFORMANS SEVİYESİ				
			a	b	c	IO	LS	CP	LS	CP		
$\frac{(A_s - A'_s)f_y + P}{t_w I_w f'_c}$	Perde Uç Donatısı	$\frac{V}{t_w I_w \sqrt{f'_c}}$										
Perdeler												
≤ 0.1	Var	≤ 3	0.015	0.02	0.75	0.005	0.01	0.015	0.015	0.02		
≤ 0.1	Var	≥ 6	0.01	0.015	0.40	0.004	0.008	0.01	0.01	0.015		
≥ 0.25	Var	≤ 3	0.009	0.012	0.60	0.003	0.006	0.009	0.009	0.012		
≥ 0.25	Var	≥ 6	0.005	0.01	0.30	0.001	0.003	0.005	0.005	0.01		
≤ 0.1	Yok	≤ 3	0.008	0.015	0.60	0.002	0.004	0.008	0.008	0.015		
≤ 0.1	Yok	≥ 6	0.006	0.01	0.30	0.002	0.004	0.006	0.006	0.01		
≥ 0.25	Yok	≤ 3	0.003	0.005	0.25	0.001	0.002	0.003	0.003	0.005		
≥ 0.25	Yok	≥ 6	0.002	0.004	0.20	0.001	0.001	0.002	0.002	0.004		
Süreksiz perdeleri destekleyen kolonlar												
Etriye aralığı uygun			0.01	0.015	0.2	0.003	0.007	0.01				
Etriye aralığı uygun değil			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
Perdeler arası bağ kirişler												
Boyuna ve Enine Donatı												
İkisi de mevcut ve uygun			≤ 3	0.025	0.04	0.75	0.006	0.015	0.025	0.025	0.04	
			≥ 6	0.015	0.03	0.5	0.005	0.01	0.015	0.015	0.03	
Enine Donatı Uygun Değil			≤ 3	0.02	0.035	0.5	0.006	0.012	0.02	0.02	0.035	
			≥ 6	0.01	0.025	0.25	0.005	0.008	0.01	0.01	0.025	

Çizelge 5. Kesmeye maruz betonarme elemanlarda ötelenme dönmesi ve kat ötelenmeleri için modelleme parametreleri ve nümerik kabul kriterleri (radyan olarak) (Pakdamar 2001)

DURUMLAR	MODELLEME PARAMETRELERİ			KABUL KRİTERLERİ					
	PLASTİK DÖNME AÇILARI (RADYAN)	ARTIK GÜÇ ORANI	PLASTİK DÖNME AÇISI (RADYAN)						
			ELEMEN TİPİ						
			BİRİNCİL			İKİNCİL			
			PERFORMANS SEVİYESİ						
d	e	c	IO	LS	CP	LS	CP		
Perdeler									
Tüm Durumlar İçin	0.75	2.0	0.4	0.4	0.6	0.75	0.75	1.5	
Perdeler arası bağ kirişler									
Boyuna ve Enine Donatı	$\frac{V}{t_w I_w \sqrt{f'_c}}$								
İkisi de mevcut ve uygun	≤ 3	0.018	0.03	0.6	0.006	0.012	0.015	0.015	0.024
	≥ 6	0.012	0.02	0.3	0.004	0.008	0.01	0.01	0.016
Enine Donatı Uygun Değil	≤ 3	0.012	0.025	0.4	0.006	0.008	0.01	0.01	0.02
	≥ 6	0.008	0.014	0.2	0.004	0.006	0.007	0.007	0.012

Çizelge 6. Perdelerde ötelenmeler için nümerik kabul kriterleri, cm olarak (Pakdamar 2001)

DURUMLAR	KABUL KRİTERLERİ				
	PLASTİK DÖNME AÇISI (RADYAN)				
	ELEMEN TİPİ				
	BİRİNCİL		İKİNCİL		
	PERFORMANS SEVİYESİ				
	IO	LS	CP	LS	CP
Perdeler					
Tüm durumlar için	0.50	0.75	1.00	1.00	2.00

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Erzurum'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Erzurum'da tamamladı. 2001 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2005 yılında mezun oldu. 2008-2009 öğretim yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı.