

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MEVCUT BETONARME YAPILARIN
PERFORMANS SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ
İÇİN BİR BİLGİSAYAR PROGRAMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Yunus Emre ŞAYAN**

**Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Programı : YAPI (DEPREM) MÜHENDİSLİĞİ**

OCAK 2005

**MEVCUT BETONARME YAPILARIN
PERFORMANS SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ
İÇİN BİR BİLGİSAYAR PROGRAMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Yunus Emre ŞAYAN
(501031237)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27 Aralık 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 26 Ocak 2005**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Engin ORAKDÖĞEN
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Erkan ÖZER (İ.T.Ü.)
Doç.Dr. Oğuz Cem ÇELİK (İ.T.Ü.)**

OCAK 2005

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince yardımlarını ve hoşgörüsünü benden esirgemeyen, değerli görüşleriyle destekleyen ve yönlendiren tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Engin ORAKDÖĞEN'e katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmama verdikleri destek ve değerli katkıları için Erdemli Proje'nin tüm mühendis ve teknik elemanlarına teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca bana karşı her türlü destek ve sabrı gösteren, beni başarıya teşvik eden anne ve babama sonsuz teşekkür ederim.

Aralık, 2004

Yunus Emre ŞAYAN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	xi
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. YAPI SİSTEMLERİNİN LİNEER OLMAYAN ANALİZİ	3
2.1. Lineer Olmayan Hesaba Giriş	3
2.2. Yapı Sistemlerinde Lineerliği Bozan Sebepler	4
2.3. Artan Dış Yükler Altında Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Davranışı	5
2.4. Yapı Sistemlerinin Göçme Güvenliklerinin Belirlenmesi	7
2.4.1. Limit yük ve göçme yükü	7
2.4.2. Kuvvet ve yerdeğiştirme kontrollü sistem analizleri	9
2.4.2.1. Kuvvet kontrollü analiz	10
2.4.2.2. Yerdeğiştirme kontrollü analiz	10
3. MEVCUT BETONARME YAPILARIN DEPREM GÜVENLİKLERİNİN BELİRLENMESİ	12
3.1. Yapıya Ait Belgelerin Sağlanması ve Değerlendirilmesi	12
3.2. Yapı Üzerindeki İnceleme Çalışmaları	13
3.2.1. Yapıya ait belgelerin mevcut olmaması hali	13
3.2.2. Yapıya ait belgelerin mevcut olması hali	14
3.3. Taşıyıcı Sistem Hesap Modelinin Oluşturulması	14
3.4. Hesap Modelinin Lineer Olmayan Teoriye Göre Hesabı	14
3.5. Yapının Deprem Güvenliğinin Değerlendirilmesi	15
4. PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE DEĞERLENDİRME	16
4.1. Performansa Dayalı Tasarım Kavramı	16
4.2. Performans Tanımları	17
4.2.1. Performans hedefi	17
4.2.2. Performans seviyeleri	17
4.2.2.1. Taşıyıcı elemanlar için performans seviyeleri	17
4.2.2.2. Taşıyıcı olmayan elemanlar için performans seviyeleri	19
4.2.2.3. Bina performans seviyeleri	20
4.3. Yapısal Kapasite	21

4.4. Basitleştirilmiş Lineer Olmayan Analiz Yöntemleri	22
4.4.1. Kapasite spektrumu yöntemi	22
4.4.2. Deplasman katsayısı yöntemi	24
5. YAPI SİSTEMLERİNİN PERFORMANS NOKTALARININ BELİRLENMESİ İÇİN GELİŞTİRİLEN BİR BİLGİSAYAR PROGRAMI	27
5.1. Programın Tanıtımı ve Kapsamı	27
5.2. Programın Algoritması	27
6. SAYISAL ÖRNEKLER	31
6.1. Giriş	31
6.1.1. Talep spektrumlarının tanımlanması	32
6.1.2. Yapıların kapasite eğrilerinin belirlenmesi	32
6.2. Sistem Çözümleri	33
6.2.1. Sistem 1	33
6.2.2. Sistem 2	42
6.2.3. Sistem 3A	49
6.2.4. Sistem 3B	56
7. SONUÇLAR	63
KAYNAKLAR	66
EKLER	67
ÖZGEÇMİŞ	71

KISALTMALAR

ATC	: Applied Technology Council
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
IO	: Immediate Occupancy (Hemen kullanım performans seviyesi)
LS	: Life Safety (Can güvenliği performans seviyesi)
CP	: Collapse Prevention (Göçmenin önlenmesi performans seviyesi)
KÖ	: Kullanılması Önerilmeyen performans seviyesi
KSY	: Kapasite Spektrumu Yöntemi
DKY	: Deplasman Katsayısı Yöntemi
SES	: Seismic Evaluation of Structures
ABYYHY	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
TS	: Türk Standartları

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Yapı sistemlerinin lineer olmama nedenleri	5
Tablo 4.1. Taşıyıcı elemanların performans seviyeleri	18
Tablo 4.2. Taşıyıcı olmayan elemanlar için performans seviyeleri	19
Tablo 4.3. Bina yapısal performans seviyeleri	20
Tablo 6.1. Sistem 1 kiriş kesit bilgileri	35
Tablo 6.2. Sistem 1 kolon kesit bilgileri	35
Tablo 6.3. Sistem 1 mevcut kolon donatıları	35
Tablo 6.4. Sistem 1 mevcut kiriş donatıları	36
Tablo 6.5. Sistem 1 düşey işletme yükleri	37
Tablo 6.6. Sistem 1 eşdeğer deprem yükleri	37
Tablo 6.7. Sistem 1 kapasite spektrumu yöntemine göre performans analizi sonuçları	38
Tablo 6.8. Sistem 1 deplasman katsayısı yöntemine göre performans analizi sonuçları	39
Tablo 6.9. Sistem 1 kapasite spektrumu yöntemine göre performans seviyeleri	40
Tablo 6.10. Sistem 1 deplasman katsayısı yöntemine göre performans seviyeleri	41
Tablo 6.11. Sistem 2 kiriş kesit bilgileri	43
Tablo 6.12. Sistem 2 kolon ve perde kesitleri ve mevcut kolon ve perde donatıları	44
Tablo 6.13. Sistem 2 düşey işletme yükleri	44
Tablo 6.14. Sistem 2 eşdeğer deprem yükleri	45
Tablo 6.15. Sistem 2 kapasite spektrumu yöntemine göre performans analizi sonuçları	46
Tablo 6.16. Sistem 2 deplasman katsayısı yöntemine göre performans analizi sonuçları	46
Tablo 6.17. Sistem 2 kapasite spektrumu yöntemine göre performans seviyeleri	47
Tablo 6.18. Sistem 2 deplasman katsayısı yöntemine göre performans seviyeleri	48
Tablo 6.19. Sistem 3A kiriş kesit bilgileri	50
Tablo 6.20. Sistem 3A kolon kesit bilgileri	51
Tablo 6.21. Sistem 3A mevcut kiriş donatıları	52
Tablo 6.22. Sistem 3A mevcut kolon donatıları	52
Tablo 6.23. Sistem 3A düşey işletme yükleri	53
Tablo 6.24. Sistem 3A eşdeğer deprem yükleri	53
Tablo 6.25. Sistem 3A performans analizi sonuçları	54
Tablo 6.26. Sistem 3A performans seviyeleri.....	55
Tablo 6.27. Sistem 3B kiriş kesit bilgileri	57

Tablo 6.28.	Sistem 3B kolon ve perde kesit bilgileri	57
Tablo 6.29.	Sistem 3B mevcut kiriş donatıları	58
Tablo 6.30.	Sistem 3B mevcut kolon ve perde donatıları	58
Tablo 6.31.	Sistem 3B düşey işletme yükleri	59
Tablo 6.32.	Sistem 3B eşdeğer deprem yükleri	59
Tablo 6.33.	Sistem 3B performans analizi sonuçları	60
Tablo 6.34.	Sistem 3B performans seviyeleri.....	61
Tablo A.1.	Sistem 2 mevcut kiriş donatıları.....	68

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Çeşitli teorilere göre elde edilen yük parametresi-yerdeğiştirme bağıntıları	6
Şekil 2.2 : Asimptotik P-d diyagramı ve P-p/d diyagramı	8
Şekil 2.3 : İnterpolasyon ile taşıma gücünün bulunması	9
Şekil 2.4 : Yük artımı yöntemi ile taşıma gücünün bulunması	9
Şekil 2.5 : Kuvvet ve yerdeğiştirme kontrollü analizlerin karşılaştırılması (1)	10
Şekil 2.6 : Kuvvet ve yerdeğiştirme kontrollü analizlerin karşılaştırılması (2)	11
Şekil 2.7 : Yerdeğiştirme kontrollü analizde göçme yükünün bulunması	11
Şekil 4.1 : Kapasite eğrisinde performans seviyeleri ve aralıkları	19
Şekil 4.2 : Kapasite spektrumu yöntemi ile performans noktasının belirlenmesi	22
Şekil 4.3 : Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi	23
Şekil 4.4 : Elastik istem spektrumunun ivme-yerdeğiştirme formatına dönüştürülmesi	23
Şekil 4.5 : İki doğru parçası ile idealleştirilen kapasite eğrisi	25
Şekil 5.1 : SES programının akış diyagramı	28
Şekil 6.1 : Gözönüne alınan deprem hareketlerine ait talep spektrumları	32
Şekil 6.2 : Sistem 1 tipik kat kalıp planı	34
Şekil 6.3 : Sistem 1 çerçeve düşey enkesiti	34
Şekil 6.4 : Sistem 1 kapasite diyagramı	38
Şekil 6.5 : Sistem 2 tipik kat kalıp planı	42
Şekil 6.6 : Sistem 2 perde-çerçeve düşey enkesiti	43
Şekil 6.7 : Sistem 2 kapasite diyagramı	45
Şekil 6.8 : Sistem 3A tipik kat kalıp planı.....	49
Şekil 6.9 : Sistem 3A çerçeve düşey enkesiti	50
Şekil 6.10 : Sistem 3A kapasite diyagramı	54
Şekil 6.11 : Sistem 3B tipik kat kalıp planı	56
Şekil 6.12 : Sistem 3B kapasite diyagramı	60

SEMBOL LİSTESİ

A_0	: Etkin yer ivmesi katsayısı
b	: Kiriş tabla genişliği, kolon kesit genişliği
b_w	: Kiriş enkesit genişliği
C_0	: Çok serbestlik dereceli sistemin tepe noktasının yatay yerdeğiştirmesi ile eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral yerdeğiştirmesi arasındaki ilişkiyi oluşturan modal katılım katsayısı
C_1	: Lineer elastik yerdeğiştirmeyi, beklenen maksimum inelastik yerdeğiştirmeye dönüştüren düzeltme katsayısı
C_2	: Histeresiz enerji şeklinin etkisini hesaba katan düzeltme katsayısı
C_3	: İkinci mertebe etkileri nedeniyle artan yerdeğiştirmelerin etkisini gözönüne alan düzeltme katsayısı
d	: Yerdeğiştirme
$D1$	: Hafif şiddetli deprem
$D2$	: Orta şiddetli deprem
$D3$	: Şiddetli deprem (Tasarım depremi)
$D4$	: Çok şiddetli deprem (Tasarım depremini aşan deprem)
E_x	: X yönü depremi
E_y	: Y yönü depremi
$E_{x(5)}$	: %5 dışmerkezlikle etkiyen X yönü depremi
$E_{y(5)}$	: %5 dışmerkezlikle etkiyen Y yönü depremi
F_x	: X yönü deprem kuvveti
F_y	: Y yönü deprem kuvveti
G	: Sabit yük
g	: Yerçekimi ivmesi
h	: Kiriş yüksekliği, kolon kesit yüksekliği
h_f	: Döşeme kalınlığı
I	: Yapı önem katsayısı
K_e	: Elastik rijitlik
K_i	: Başlangıç teğeti rijitliği
K_s	: Elastoplastik rijitlik
P	: Yük parametresi
P_B	: Burkulma yükü
P_{cr}	: Kritik yük
P_G	: Göçme yükü
P_L	: Limit yük
P_{L1}	: Birinci mertebe limit yük
P_{L2}	: İkinci mertebe limit yük
Q	: Hareketli yük
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
S_a	: Spektral ivme
S_d	: Spektral yerdeğiştirme
T	: Birinci doğal titreşim periyodu
T_e	: Etkin doğal periyot

T_i	: Çatlamış kesit rijitlikleri ile bulunan doğal titreşim periyodu
V_T	: Taban kesme kuvveti
V_t	: Hedef deplasman değerine karşı gelen yatay kuvvet
V_y	: İdealleştirilmiş kapasite eğrisini oluşturan doğruların kesiştiği yatay kuvvet
Δ	: Şekil değiştirme
δ_{maks}	: Tepe noktası yatay deplasmanı
δ_t	: Hedef deplasman

MEVCUT BETONARME YAPILARIN PERFORMANS SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN BİR BİLGİSAYAR PROGRAMI

ÖZET

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, deprem bölgelerindeki mevcut yapıların performans seviyelerinin belirlenmesi ve deprem güvenliklerinin değerlendirilmesi amacıyla yapı sistemlerinin performans noktalarını hesaplayan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Yapı sistemlerinin deprem güvenliklerinin gerçeğe yakın bir şekilde belirlenebilmesi için, öngörülen deprem hareketi altında performans noktaları hesaplanmalıdır. Bir yapı sisteminin performans noktasındaki deplasmanı hesap yapılan deprem hareketi altındaki deplasman talebini vermektedir. Yapının performansı hakkında karar verebilmek için, bu deplasman talebine karşı gelen noktada yapı sisteminin taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarındaki hasar durumları incelenmelidir. Bulunan sonuçların değerlendirilmesiyle yapının deprem güvenliği belirlenir.

Çalışma yedi bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm konunun tanıtıldığı ve çalışmanın amacının anlatıldığı giriş bölümüdür.

İkinci bölümde yapı sistemlerinin lineer olmayan analizi ile ilgili genel bilgiler verilmiş, konu ana hatlarıyla tanıtılmaya çalışılmıştır.

Üçüncü bölümde, mevcut betonarme yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi için yapılması gereken çalışmalar adım adım açıklanmakta ve betonarme yapıların güçlendirilmesi için bir yol haritası çizilmektedir.

Dördüncü bölümde performansa dayalı tasarım ve değerlendirme kavramı açıklanmıştır. Performans tanımları ve hedefleri anlatılarak yapıların taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarının performans seviyeleri ile bina performans seviyeleri hakkında bilgi verilmiştir. Bu bölümde ayrıca yapı sistemlerinin performans noktalarının hesaplanmasında yaygın olarak kullanılan iki basitleştirilmiş lineer olmayan analiz yöntemi ana hatlarıyla açıklanmaya çalışılmıştır.

Beşinci bölümde, tez çalışması kapsamında geliştirilen bilgisayar programı hakkında bilgi verilmektedir. Programın amacı, kapsamı ve algoritması açıklanmakta, kullanımı ve verdiği sonuçlar ile ilgili önemli bilgiler verilmektedir.

Altıncı bölümde, geliştirilen bilgisayar programının uygulamaları için çözülen sayısal örnekler yer almaktadır. İlk iki sayısal örnek, programın verdiği sonuçları doğrulamak amacıyla çözülmüştür. Son iki örnekten ilki 1975 deprem yönetmeliğine göre boyutlandırılmış çerçeve taşıyıcı sisteme sahip bir yapı, ikincisi ise önceki ile aynı malzeme ve geometri özelliklerine sahip, yapı taşıyıcı sistemi 1998 deprem yönetmeliğine uygun olarak güçlendirilmiş perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip bir yapıdır. Bu iki yapı sisteminin performans noktaları ve performans seviyeleri belirlenerek, yatay yük taşıma kapasiteleri ve deprem güvenlikleri karşılaştırılmıştır.

Yedinci bölüm sonuçlar bölümüdür. Bu bölümde çalışma kapsamında ulaşılan sonuçlar ana hatlarıyla anlatılmıştır.

A COMPUTER PROGRAM FOR DETERMINING PERFORMANCE LEVELS OF EXISTING REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

SUMMARY

In this study, presented as a master of science thesis, a computer program is developed that can calculate performance points of the structural systems in order to determine performance levels and evaluate earthquake safety of the existing structures in earthquake zones.

In recent years, performance based engineering studies revealed that a structural system's performance point must be calculated for a related earthquake level to determine earthquake safety of it. The displacement value at performance point is equal to the displacement demand of the structure for a considered earthquake level.

It is evident that, in order to decide performance levels, the structural and also non-structural component's damage levels must be examined at the displacement demand of the structures. The evaluation of the results indicates the earthquake safety of the structural systems.

The thesis contains seven chapters. The first chapter is the introduction part where the aim of the study is explained.

In the second chapter, general informations are given for the nonlinear analysis of the structural systems. The methodology and advantages of nonlinear analysis is emphasized. Force based and displacement based analysis techniques is compared in this chapter.

Third chapter indicates a destination for the seismic rehabilitation of existing buildings. The work plan that must be followed to determine earthquake safety of the existing reinforced concrete structures is explained.

Performance based design and evaluation concept is explained in the forth chapter. Performance objectives and performance levels are defined, some information is given about structural and non-structural component's performance levels and also building performance levels. In this part of the study, widely used two nonlinear static analysis methods in performance based engineering ; capacity spectrum method (ATC40) and displacement coefficient method (FEMA356) is explained.

The fifth chapter is the most important part of the study. The computer program that developed in order to calculate performance points of the structural systems is explained in this chapter. The computer program, SES (Seismic Evaluation of Structures), is written by using Visual Basic computer language and runs under the Microsoft Excel. The aim, coverage and algorithm of the program is given and some important features related with usage and the results of the program is emphasized.

In the sixth chapter, four structural systems are solved as numerical examples of the computer program. System1 and system 2 are solved in order to verify the results of the SES computer program. After that, system 3A which designed by using old

Turkish earthquake code, and system 3B , that has the same material and geometrical characteristics with the previous system but designed by using new Turkish earthquake code are solved and performance levels of each system compared and interpreted.

The last chapter of the study deals with the results and interpretation of the performance levels of numerical examples.

In the future it is inevitable that, displacement based performance design techniques will be used not only in seismic rehabilitation of existing buildings but also in the analysis and design of new buildings. The aim of this thesis is to contribute performance based engineering studies.

1. GİRİŞ

Yapı mühendisliğinde son yıllarda geliştirilen ileri hesap ve boyutlandırma yöntemleri, yapıların dış etkiler ve özellikle deprem yükleri altındaki davranışlarının gerçeğe daha yakın bir şekilde incelenmesine ve daha gerçekçi yapı tasarımına olanak sağlamıştır. Yapı sistemlerinin performansa dayalı tasarımı ve değerlendirilmesi ise bu ileri yöntemleri esas alan oldukça yeni bir çalışma konusudur.

Doğal afetlerin en önemlilerinden biri olan deprem, meydana getirdiği etkiler nedeniyle yapı sistemlerinin tasarımında önemli bir yere sahiptir. Büyük bir bölümü deprem kuşağı üzerinde yer alan ülkemizde; geçmişteki depremlerin yapılar üzerindeki etkileri, meydana getirdiği can ve mal kayıpları incelendiğinde konunun önemi daha da artmaktadır.

Deprem bölgelerindeki mevcut yapıların deprem güvenliklerinin daha gerçekçi olarak belirlenmesi ve yeterli güvenlikte olmayan yapıların güçlendirilmesi için yapılan çalışmalar performansa dayalı tasarım kavramını ortaya çıkarmıştır. Önceleri sadece mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi amacıyla kullanılan yerdeğiştirmeye bağlı performans kriterlerini esas alan yapısal değerlendirme yöntemlerinin yeni yapılacak yapıların tasarımında da kullanılabileceği görülmüştür. Bu amaçla, Applied Technology Council (ATC) [1] ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) [2] tarafından tüm dünyada kabul gören yönetmelikler geliştirilmiştir.

Bu çalışmada yapı sistemlerinin deprem güvenliklerinin belirlenmesi amacıyla FEMA 356'da yer verilen yerdeğiştirme (deplasman) katsayısı yöntemini kullanarak yapıların performans noktalarını belirleyen bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Geliştirilen bilgisayar programı ile öncelikle bundan önceki çalışmalarda [3] performans seviyeleri belirlenen yapı sistemleri çözülmüş ve yeterli yaklaşıklıkta sonuçların elde edildiği gösterilmiştir.

Bu aşamadan sonra 1975 Deprem Yönetmeliği'ne [4] göre boyutlandırılmış çerçeve taşıyıcı sisteme sahip olan bir yapı ile; aynı geometri ve malzeme özelliklerine sahip, taşıyıcı sistemi 1998 Deprem Yönetmeliği'ne [5] göre güçlendirilmiş perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip olan bir yapı ele alınmış ve performans seviyeleri bulunarak deprem güvenlikleri karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada incelenen tüm yapı sistemleri, ATC 40'da yer verilen kapasite spektrumu yöntemi ile de incelenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmanın ve bu konu ile ilgili yapılan benzer çalışmaların son yıllarda geleneksel deprem tasarımınnın yerini alması için sürdürülen performansa dayalı tasarım çalışmalarına katkısı olacağı düşünülmektedir.

2. YAPI SİSTEMLERİNİN LİNEER OLMAYAN ANALİZİ

2.1 Lineer Olmayan Hesaba Giriş

Günümüzde yaygın olarak kullanılan ve lineer teoriyi esas alan geleneksel analiz yöntemlerinde, malzemenin gerilme şekildeğiştirme bağıntıları lineer-elastik olarak alınmakta ve yerdeğiştirmelerin çok küçük olduğu varsayılmaktadır.

Buna karşılık, dış etkiler işletme yükü sınırını aşarak yapının taşıma gücüne yaklaştıkça, gerilmeler lineer-elastik sınırı aşmakta ve yerdeğiştirmeler çok küçük kabul edilemeyecek değerler almaktadır.

Yapı mühendisliğinde genellikle uygulanmakta olan ve lineer teoriyi esas alan tasarım yaklaşımlarda (güvenlik gerilmeleri esasına göre tasarım ve taşıma gücü yöntemine göre tasarım), yapı sisteminin lineer olmayan davranışı çeşitli şekillerde göz önüne alınmaya çalışılmaktadır. Örneğin, ikinci mertebe etkilerini hesaba katmak ve burkulmaya karşı güvenlik sağlamak amacıyla, moment büyütme yönteminden ve burkulma katsayılarından yararlanılmakta, lineer olmayan şekil değiştirmeler nedeniyle iç kuvvet dağılımının değişmesi, yeniden dağılım ilkesi yardımı ile gözönüne alınmaya çalışılmaktadır. Diğer taraftan, deprem etkilerine göre hesapta malzemenin lineer-elastik sınır ötesindeki davranışını hesaba katmak üzere, taşıyıcı sistem davranış katsayısı tanımlanmakta ve elastik deprem yükleri bu katsayıya bağlı bir deprem yükü azaltma katsayısı ile bölünerek küçültülmektedir [6].

Yapı malzemelerinin lineer-elastik sınırın ötesindeki taşıma kapasitesini gözönüne almak, çok küçük olmayan yerdeğiştirmelerin denge denklemlerine ve gerekli olduğu hallerde geometrik uygunluk koşullarına etkilerini hesaba katmak suretiyle, yapı sistemlerinin dış etkiler altındaki davranışlarını daha yakından izlemek ve bunun sonucunda daha gerçekçi ve ekonomik çözümler elde etmek mümkün olabilmektedir.

Lineer olmayan sistem davranışını esas alan hesap yöntemlerinin geliştirilmesinde ve uygulanmasında genel olarak iki durum ile karşılaşılmaktadır. Bunlardan birincisi, yapı sisteminin lineer olmamasına neden olan etkenlerin belirlenerek sistem davranışını gerçeğe yakın bir biçimde temsil eden hesap modelinin oluşturulması,

diğeri ise bu hesap modelinin analizi sonucunda elde edilen lineer olmayan denklem sisteminin etkin bir şekilde çözülmesidir.

Bir yapı sisteminin dış etkiler altında analizi ile elde edilen iç kuvvetler, şekil değiştirmeler ve yerdeğıştirmelerin çözüm olabilmeleri için aşağıdaki üç koşulu sağlamaları gerekmektedir.

1- Bünye denklemleri : Malzemenin cinsine ve özelliklerine bağlı olan gerilme şekildeğıştirme bağıntılarına bünye denklemleri denilmektedir.

2- Denge koşulları : Sistemi oluşturan elemanların ve bu elemanların birleştiğı düğüm noktalarının denge denklemlerinden oluşmaktadır.

3- Geometrik uygunluk koşulları : Elemanların ve düğüm noktalarının süreklilik denklemleri ile mesnetlerdeki geometrik koşullardır.

2.2 Yapı Sistemlerinde Lineerliğı Bozan Sebepler

Bir yapı sisteminin dış yükler altındaki davranışının lineer olmaması genel olarak iki nedenden kaynaklanmaktadır.

1- Malzemenin lineer-elastik olmaması nedeniyle gerilme-şekildeğıştirme bağıntılarının (bünye denklemlerinin) lineer olmaması.

2- Geometri değışimleri nedeniyle denge denklemlerinin (ve bazı hallerde geometrik süreklilik denklemlerinin) lineer olmaması.

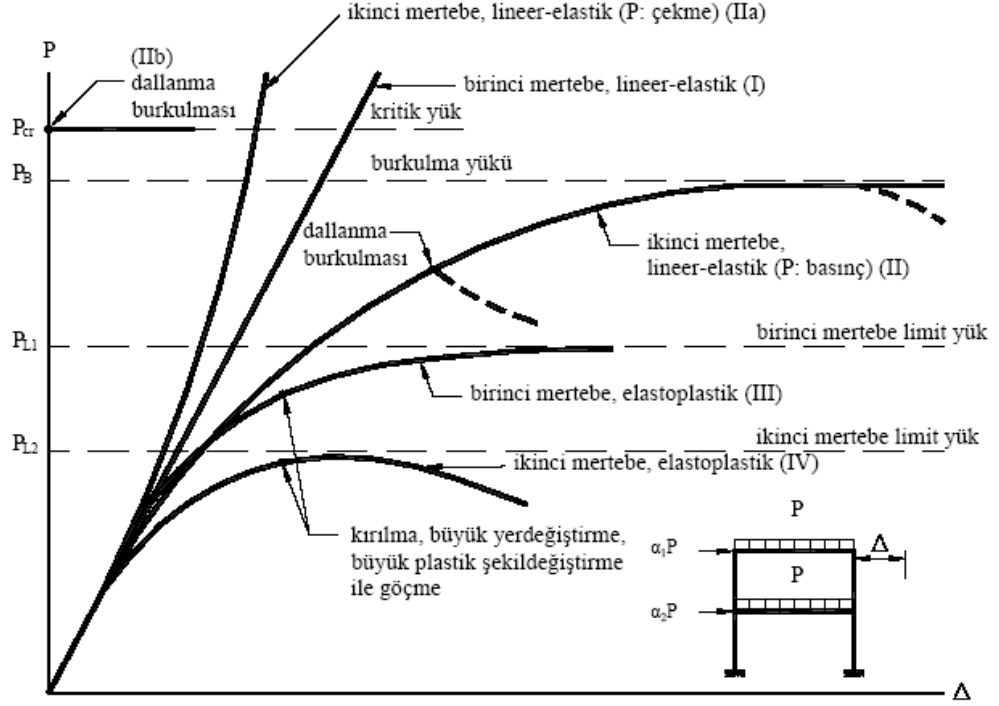
Yapı sistemlerinin lineer olmamasına neden olan etkenler ve bu etkenleri göz önüne alan teoriler Tablo 2.1 de topluca özetlenmiştir [6].

Tablo 2.1 Yapı Sistemlerinin Lineer Olmama Nedenleri

Çözümün Sağlaması Gereken Koşullar	Lineer Sistemler	Lineer Olmayan Sistemler				
		Malzeme Bakımından	Geometri Değişimleri Bakımından		Her İki Bakımdan	
			İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Deplasman Teorisi	İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Deplasman Teorisi
Bünye Denklemleri	Lineer-Elastik	Lineer- Elastik Değil	Lineer- Elastik	Lineer- Elastik	Lineer- Elastik Değil	Lineer- Elastik Değil
Denge Denklemlerinde Yerdeğiştirmeler	Küçük	Küçük	Küçük Değil	Küçük Değil	Küçük Değil	Küçük Değil
Geometrik Uygunluk Koşullarında Yerdeğiştirmeler	Küçük	Küçük	Küçük	Küçük Değil	Küçük	Küçük Değil

2.3 Artan Dış Yükler Altında Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Davranışı

Düşey ve yatay yükler etkisindeki bir yapı sisteminin lineer ve lineer olmayan teorilere göre hesabı ile elde edilen yük parametresi-yerdeğiştirme ($P-\Delta$) bağıntıları Şekil 2.1 de şematik olarak gösterilmişlerdir.



Şekil 2.1 Çeşitli teorilere göre elde edilen yük parametresi-yerdeğiştirme bağıntıları

Malzemenin sınırsız olarak lineer-elastik varsayıldığı bir yapı sisteminin artan dış yükler altında, birinci mertebe teorisine göre elde edilen davranışı şekildeki (I) doğrusu ile temsil edilmektedir. Geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisinin, diğer bir deyişle, eksenel kuvvetlerden oluşan ikinci mertebe etkilerinin hesaba katıldığı ikinci mertebe teorisinde ise, eksenel kuvvetin basınç veya çekme olmasına göre farklı sistem davranışları ile karşılaşılabilir. Örneğin eksenel kuvvetin basınç olması halinde, (II) eğrisinden görüldüğü gibi, artan dış yüklere daha hızla artan yer değiştirmeler karşı gelmektedir. Dış yüklerin şiddetini ifade eden yük parametresi artarak lineer-elastik burkulma yükü adı verilen bir P_B değerine eşit olunca yer değiştirmeler artarak sonsuza erişir ve sistem burkularak geçer. Bazı özel durumlarda, burkulmadan sonra artan yer değiştirmelere azalan yük parametresi karşı gelebilir. Örneğin asma sistemler gibi eksenel kuvvetin çekme olduğu durumlarda ise, şekilde (IIa) ile gösterilen $P-\Delta$ diyagramı pekleşen özellik gösterir.

Yanal yük etkisinde olmayan ve bu nedenle burkulmadan önce şekil değiştirmeyen sistemlerde, yük parametresinin bir P_{cr} değerinde dallanma burkulması oluşur ve şekildeki (IIb) diyagramından görüldüğü gibi, yer değiştirmeler birden artarak sonsuza erişir.

Dallanma burkulmasına neden olan yüke *kritik yük* denilmektedir. Kritik yük genellikle burkulma yükünden biraz büyük veya ona eşittir [6].

Lineer olmayan malzemeden yapılmış sistemlerde, artan dış yüklerle birlikte iç kuvvetler de artarak bazı kesitlerde lineer-elastik sınırı aşmakta ve bu kesitler dolayında lineer olmayan (plastik) şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Lineer olmayan şekil değiştirmeler genel olarak sistem üzerinde sürekli olarak yayılmaktadır. Buna karşılık, kopma sırasındaki toplam şekil değiştirmelerin lineer şekil değiştirmelere oranının büyük olduğu sünek malzemeden yapılmış sistemlerde, lineer olmayan şekil değiştirmelerin plastik mafsalları adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin lineer-elastik davrandığı varsayılabilir. Bu varsayım plastik mafsalları hipotezi olarak isimlendirilmektedir. Plastik mafsalları hipotezinin esas alındığı bir yapı sisteminin birinci mertebe teorisine göre hesabında (III eğrisi), oluşan plastik mafsallar nedeniyle sistemin tümünün veya bir bölümünün mekanizma durumuna gelmesi taşıma gücünün sona erdiğini ifade eder. Bu yüke birinci mertebe limit yük denilmektedir.

Lineerliği bozan her iki etkinin birlikte göz önüne alınması halinde, yani yapı sisteminin ikinci mertebe elastoplastik teoriye göre hesabı ile elde edilen $P-\Delta$ diyagramı şekilde (IV) eğrisi ile gösterilmiştir. Plastik mafsalları hipotezinin esas alındığı yapı sistemlerinde, dış yükler artarak bir P_{L2} sınır değerine eşit olunca, meydana gelen plastik mafsallar nedeniyle rijitliği azalan sistem stabilite yetersizliği nedeniyle taşıma gücünü yitirir. Bu yük parametresine ikinci mertebe limit yük denilmektedir [6].

Bazı hallerde, dış yükler limit yüke erişmeden önce, meydana gelen büyük yerdeğiştirmeler, büyük plastik şekil değiştirmeler ile betonarme sistemlerde oluşan çatlaklar ve kırılma yapının göçmesine neden olabilmektedir.

2.4 Yapı Sistemlerinin Göçme Güvenliklerinin Belirlenmesi

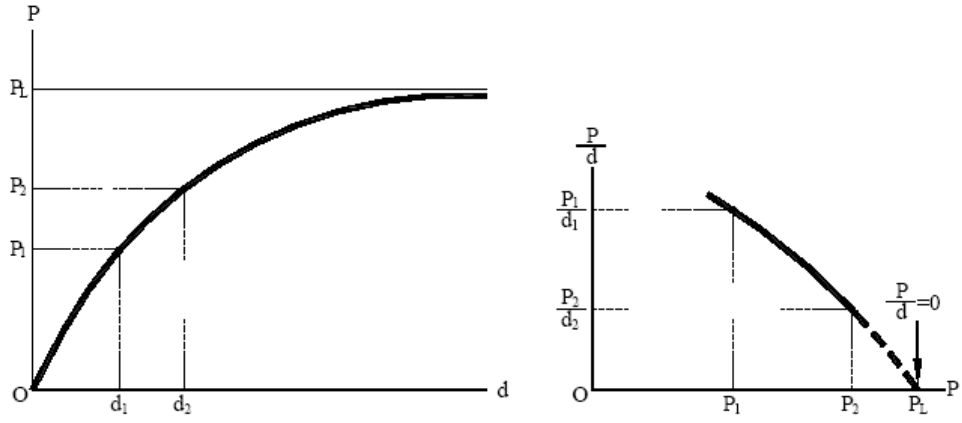
2.4.1 Limit yük ve göçme yükü

Lineer olmayan bir yapı sisteminin taşıma kapasitesini ifade eden limit yüke (veya burkulma yüküne) genel olarak iki şekilde ulaşılmaktadır:

- a- yer değiştirmelerin sonsuza erişmesi ($P-d$ bağıntısının bir asimptota sahip olması)
- b- yük parametresi - yer değiştirme bağıntısının bir maksimumdan geçmesi

Uygulamada, genellikle lineer - elastik burkulma yükünün veya birinci mertebe limit yükün hesabında karşılaşılan birinci duruma ait $P-d$ diyagramı ve bu diyagrama karşı gelen $P-d$ bağıntısı Şekil 2.2 de şematik olarak gösterilmiştir.

Şekilden görüldüğü gibi, limit yük değerine ulaşıldığında yer değiştirmeler sonsuza gitmekte ve P/d değeri sıfıra eşit olmaktadır. Buna göre, çeşitli P yük parametreleri için hesap yapılarak $P - P/d$ diyagramı çizilirse, diyagramın P eksenini kestiği noktanın absisi hesaplanarak P_L limit yükü (veya burkulma yükü) elde edilebilir. Asimptotik yük parametresi-yer değiştirme diyagramları için $P - P/d$ bağıntısı genelde doğrusala yakın olmaktadır. Bu nedenle, P_L limit yükü kolaylıkla hesaplanabilir.

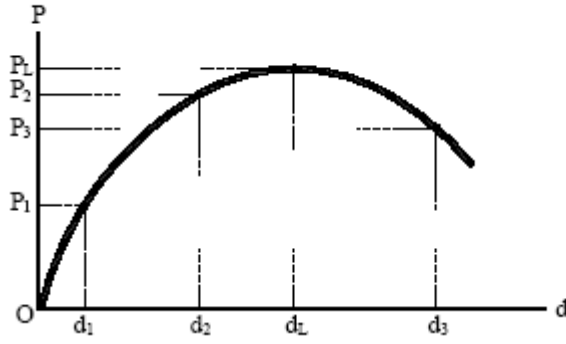


Şekil 2.2 Asimptotik P-d diyagramı ve $P - P/d$ bağıntısı

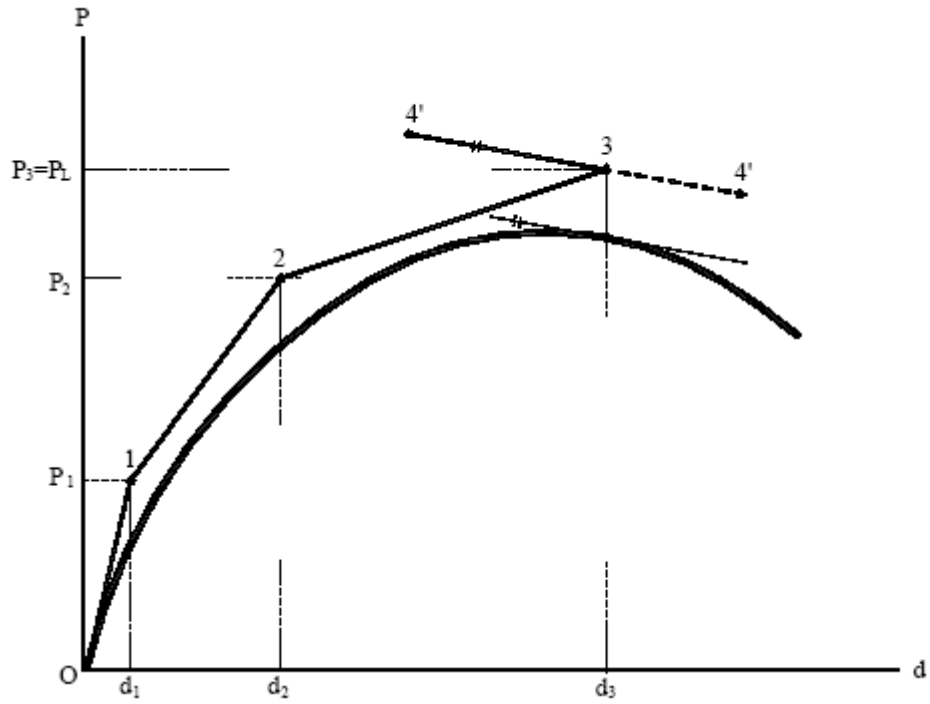
Yük parametresi - yer değiştirme diyagramının bir maksimumdan geçmesi suretiyle sistemin taşıma gücüne ulaşılması halinde (örneğin elastoplastik burkulma yükü için), taşıma gücü iki şekilde hesaplanabilir.

$P-d$ diyagramının pozitif ve negatif eğimli bölgeleri üzerinde çeşitli noktalar elde edilebilmesi halinde, bu noktalar arasında bir interpolasyon işlemi uygulayarak (örneğin Şekil 2.3 de görüldüğü gibi ardışık üç noktadan bir ikinci derece parabolü geçirerek) diyagramın maksimum noktasının ordinatı, yani sistemin taşıma gücü hesaplanabilir.

Yük parametresi - yer değiştirme diyagramının bir maksimumdan geçmesi halinde, limit yükün hesabı için uygulanabilen diğer bir yol yük artımı yöntemidir. Bu yöntemde, örneğin teğet tekniğinin uygulanması halinde, herhangi bir yük artımı için negatif yerdeğiştirme artımı elde edilmesi $P-d$ diyagramının bir maksimumdan geçtiğini ifade eder. Bu duruma ait yük parametresi Şekil 2.4 de görülebileceği gibi sistemin taşıma gücünü verir.



Şekil 2.3 İnterpolasyon ile taşıma gücünün bulunması



Şekil 2.4 Yük artımı yöntemi ile taşıma gücünün bulunması

2.4.2 Kuvvet ve yerdeğiştirme kontrollü sistem analizleri

Lineer olmayan sistemlerin artan dış yükler altındaki davranışlarının belirlenmesi, diğer bir deyişle, yük parametresi-yerdeğiştirme bağıntılarının elde edilerek taşıma güçlerinin hesaplanması için, genel olarak iki farklı analiz yöntemi mevcuttur.

2.4.2.1 Kuvvet kontrollu analiz

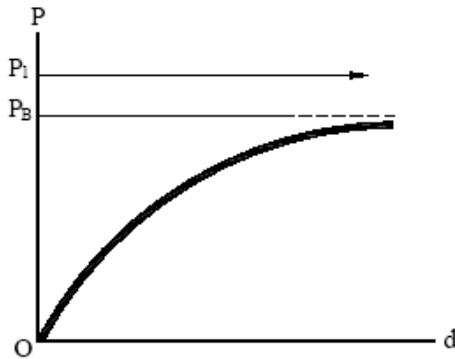
Hesabın başlangıcında yük parametresi seçilir ve ardışık yaklaşımın her adımında bu yük parametresi esas alınarak hesap yapılır. Bu durumda elde edilecek çözüm, sistemin başlangıçta seçilen yük parametresi için çözümüdür.

2.4.2.2 Yerdeğiştirme kontrollu analiz

Hesabın başlangıcında sisteme ait herhangi bir büyüklüğün değeri seçilir. Bu büyüklük yerdeğiştirme, şekil değiştirme veya bir iç kuvvet olabilir. Ardışık yaklaşımın her adımında söz konusu büyüklüğün seçilen değerini veren yük parametresinin hesabı amaçlanır. Bu durumda, ardışık yaklaşımın sonunda bulunan yük parametresi sistemde seçilen büyüklüğü meydana getiren değere eşit olacaktır. Elde edilen iç kuvvet, şekil değiştirme ve yer değiştirmeler ise sistemin bu yük parametresi için çözümünü vermektedir.

Kuvvet kontrollu ve yer değiştirme kontrollu analiz yöntemleri karşılaştırıldığında şu sonuçlara varılmaktadır:

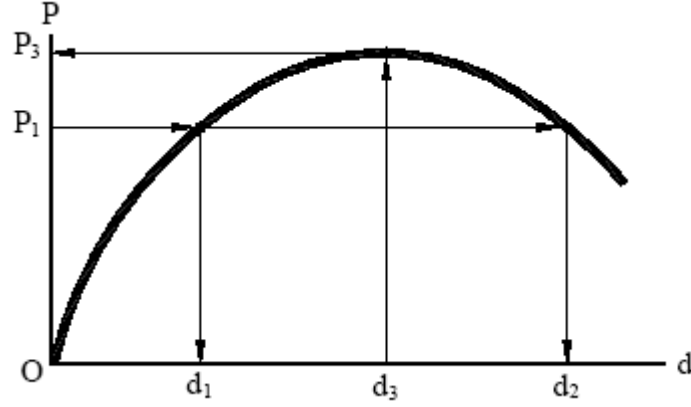
- i) Tek serbestlik dereceli sistemlerde, seçilen her hangi bir büyüklük sistemin iç kuvvet, şekil değiştirme ve yer değiştirme durumunu tanımlamak için yeterli olduğundan, yer değiştirme kontrollu hesap kesindir ve ilk adımda sistemin gerçek çözümünü vermektedir.
- ii) Sistemin taşıma gücünü aşan yük parametreleri için, kuvvet kontrollu analizde çözüm elde edilememektedir. Bu durum Şekil 2.5 de görülmektedir. Buna karşılık, yer değiştirme kontrollu analizde, seçilen her yer değiştirme değeri için bir çözüm elde edilebilir.



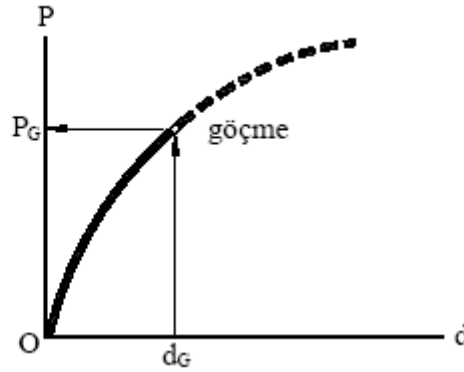
Şekil 2.5 Kuvvet ve yer değiştirme kontrollu analizlerin karşılaştırılması (1)

iii) Yük parametresi - yer değiştirme bağıntısı bir maksimumdan geçen sistemlerde, her yük parametresine birden fazla yer değiştirme durumu karşı gelebildiği halde, seçilen her yer değiştirme durumuna tek bir yük parametresi karşı gelmektedir. Bu zellik şekil 2.6 da görüldüğü gibi, söz konusu sistemlerin taşıma güçlerinin hesabında, yer değiştirme kontrollü yöntemin önemli bir üstünlüğünü oluşturmaktadır.

iv) Göçmenin kırılma (bir kesitteki i kuvvetin bir sınır değere ulaşması), büyük yerdeğiştirmeler veya büyük plastik şekil değiştirmeler nedeniyle meydana gelmesi halinde, söz konusu kritik büyüklüğün seçilen sınır değeri için hesap yapmak suretiyle göçme yükü şekil 2.7 de görüldüğü gibi doğrudan doğruya elde edilebilmektedir [6].



şekil 2.6 Kuvvet ve yer değiştirme kontrollü analizlerin karşılaştırılması (2)



şekil 2.7 Yer değiştirme kontrollü analizde göçme yükünün bulunması

3. MEVCUT BETONARME YAPILARIN DEPREM GÜVENLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Günümüzde inşaat teknolojisinin giderek gelişmesi, kaliteli inşaat malzemesi üretiminin yaygınlaşması ve geçmiş depremlerden alınan derslerin uygulamaya aktarılması suretiyle, yeni yapılacak binaların projelerine, ilgili yönetmeliklere ve temel mühendislik ilkelerine uygun olarak inşa edilmeleri mümkün olabilmektedir.

Ancak bilindiği gibi, yeni inşa edilecek olan yapıların yeterli bir deprem güvenliğine sahip olacak şekilde tasarımının ve yapımının sağlanması, olası yeni depremlerde meydana gelebilecek can ve mal kaybının önlenmesi veya azaltılması için yeterli değildir. Bunun yanında, deprem bölgelerindeki mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve yeterli güvenlikte olmayan yapıların rehabilitasyonu da önemli bir yer tutmaktadır [7].

Mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesinde uygulanan yöntemlerin bir grubunu analitik yöntemler oluşturmaktadır. Bu yöntemlerde mevcut yapının gerçek durumunu temsil eden bir taşıyıcı sistem hesap modeli kurulmakta ve bu modelin statik veya dinamik yöntemlerle analizi yapılarak deprem güvenliği belirlenmektedir.

Deprem bölgelerindeki mevcut betonarme yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesinde izlenen yol genel olarak şu aşamalardan oluşmaktadır :

- Yapıya ait belgelerin sağlanması ve değerlendirilmesi
- Yapı üzerindeki inceleme çalışmaları
- Taşıyıcı sistem hesap modelinin oluşturulması
- Hesap modelinin lineer olmayan teoriye göre hesabı
- Yapının deprem güvenliğinin değerlendirilmesi

3.1 Yapıya Ait Belgelerin Sağlanması ve Değerlendirilmesi

Bu ilk aşamada yapıya ait mevcut tüm belgeler toplanılıp değerlendirilir. Öncelikle yapının statik, mimari ve tesisat projeleri edinilmeye çalışılır. Yapının taşıyıcı sisteminin değerlendirilmesinde, statik projeler kapsamındaki statik ve betonarme projelerin özel bir önemi bulunmaktadır. Bu hesaplardan yararlanarak, yapı sisteminin boyutlandırılmasında esas alınan yükler, deprem kuvvetleri ve diğer dış

etkiler, tasarımda kullanılan yönetmelikler ve yapılan varsayımlar, uygulanan hesap yöntemleri hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir.

İnşaat bölgesine ait geoteknik rapor, yapım sırasında gerçekleştirilen malzeme deneylerine ait raporlar, eğer varsa yapım sırasında tutulan ve proje ile inşaat arasındaki farklılıkları belirten kayıtlar, yapının kullanımı sırasında taşıyıcı veya taşıyıcı olmayan elemanlar üzerinde yapılmış olan değişikliklere ilişkin kayıtlar gibi belgeler yapının hesap modelinin oluşturulmasında, malzeme ve enkesit karakteristiklerinin belirlenmesinde önemli yer tutmaktadırlar. Oluşturulan hesap modelinin kesinleşmesi için, bu bilgilerin mevcut yapı üzerinde yapılacak incelemelerle doğrulanması gerekmektedir.

3.2 Yapı Üzerindeki İnceleme Çalışmaları

Mevcut yapılar üzerindeki inceleme çalışmaları, yapıya ait belgelerin önceden sağlanıp sağlanamaması durumlarına göre iki farklı yol izlenerek yapılabilir:

3.2.1 Yapıya ait belgelerin mevcut olmaması hali

Yapıya ait belgelerin mevcut olmaması veya yetersiz olması halinde, taşıyıcı sistem hesap modelini oluşturmak için gerekli olan bilgiler, yapı üzerinde gerçekleştirilen inceleme, ölçüm, deney ve gözlemler ile elde edilir.

Bu aşamada yapılması gereken işlemler arasında; yapının taşıyıcı sistemine ait gerekli temel ve kat kalıp planları ile sistem enkesitlerinin çizilmesine yönelik olarak, sistem geometrisini, taşıyıcı elemanların konumlarını ve enkesit boyutlarını belirlemek amacıyla taşıyıcı sistem rölevesinin çıkarılması, betonarme elemanlardaki donatı miktarlarını saptamak amacıyla donatı ölçümlerinin yapılması, mevcut yapıya ait beton ve beton çeliği sınıflarını belirlemek amacıyla malzeme deneylerinin yapılması, taşıyıcı olmayan yapı elemanları üzerindeki incelemeler ve ölçümler de gözönünde tutularak yapıya etkileyen yüklerin belirlenmesi, yapının kullanım amacına bağlı olarak yapı analizinde hesaba katılması gereken diğer dış etkilerin belirlenmesi, gerekli olan hallerde, inşaat alanında geoteknik incelemeler yapılarak zemin karakteristiklerinin belirlenmesi ve bölgenin sismik özelliklerinin incelenmesi sayılabilir.

Yapının taşıyıcı sistemi üzerindeki incelemeler ile hesap modelini doğrudan etkileyen ve deprem güvenliğinin değerlendirilmesinde gözönünde tutulması gereken hususlar saptanır. Bu hususların bir bölümü arasında; plandaki ve düşey düzlemdeki düzensizlikler, yapı ile komşu yapılar arasındaki olası etkileşim, yapı taşıyıcı sisteminin süneklik düzeyi, yönetmeliklere aykırı kiriş-kolon mesnetlenmelerinin varlığı, yapı elemanlarında inşaattan sonra açılmış olan delikler ve boşluklar, daha

güçlü kolon koşulunun gerçekleşme oranı, dolgu duvarları nedeniyle meydana gelebilen kısa kolonlar gibi önemli faktörler sayılabilir.

3.2.2 Yapıya ait belgelerin mevcut olması hali

Yapıya ait belgelerin sağlanabilmesi ve bu belgelerin yeterli bilgi içermesi halinde ise bu bilgilerin mevcut yapı ile uyumunu kontrol edebilmek amacıyla , benzer inceleme çalışmalarının yapılması gerekebilir. Bu çalışmalar sonucunda bazı farklılıklar saptanırsa, yapının mevcut durumunu tanımlayabilmek için gerekli olan bilgiler yapılacak ek ölçümler, deneyler ve gözlemlerle elde edilir.

Yapının inşası sırasında yapım kusurları nedeniyle veya kullanım süresi içerisinde deprem, çevresel etkenler ve benzeri nedenlerle meydana gelen hasar ve bozulmaların saptanması amacıyla incelemeler yapılması da çoğu kere gerekli olabilir. Bu hasar ve bozulmaların başlıcaları; betonda oluşan yapısal çatlaklar, betondaki boşluklar, dökülmeler ve diğer yüzeysel kusurlar, donatının korozyonu, sülfat ve asit etkisi ile oluşan beton bozuklukları, yapı elemanlarının aşırı şekil değiştirmeleridir [7].

Taşıyıcı sistemin hesap modelinin oluşturulması sırasında gözönüne alınmasında güçlükler bulunan bu hasar ve bozulmaların yapının deprem güvenliğine etkisi ayrıca değerlendirilmelidir.

3.3 Taşıyıcı Sistem Hesap Modelinin Oluşturulması

Yapıya ait belgelerden ve mevcut yapı üzerindeki incelemelerden elde edilen bilgiler değerlendirilerek taşıyıcı sistem hesap modeli oluşturulur. Oluşturulan hesap modeli, taşıyıcı sistem geometrisi, yapı elemanlarının enkesit boyutları, donatı miktarları ve donatı yerleşim durumları, betonarme betonu ve beton çeliğinin mekanik özellikleri, düşey işletme yükleri ve deprem yükleri, zemin karakteristikleri gibi bilgileri içermelidir.

Sistem hesabında uygulanması öngörülen hesap yönteminin içeriğine bağlı olarak, yapılan incelemelerde elde edilen verilerin tümünün hesap modeline yansıtılması mümkün olmayabilir. Bu durumda, hesap modeli içinde yer almayan veriler ayrıca değerlendirilmelidir.

3.4 Hesap Modelinin Lineer Olmayan Teoriye Göre Hesabı

Yapının taşıyıcı sistemini temsil eden hesap modelinin düşey yükler ve deprem etkileri altında statik ve dinamik analizi yapılarak yapı güvenliği belirlenir.

Bir yapı sisteminin artan yükler altındaki hesabı iki şekilde yapılabilir :

- Sistem, aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artan düşey ve yatay yükler altında hesaplanarak bu yükler için ortak bir göçme güvenliği belirlenir.
- Düşey yükler bu yükler için öngörülen bir güvenlik katsayısı ile çarpılarak sisteme etkitildikten sonra, artan yatay yükler için hesap yapılır ve yatay yüklere ait limit yük bulunur. Böylece, düşey yükler için öngörülen bir güvenlik altında, sistemin yatay yük taşıma kapasitesi belirlenir.

Büyük oranda yapı ağırlığından oluşan düşey yüklerin daha belirli olduğu, buna karşılık rüzgar ve deprem etkilerini temsil eden yatay yüklerin değişme olasılığının daha fazla olduğu gözönünde tutulduğunda, yapı güvenliğinin belirlenmesi açısından, ikinci yolun daha gerçekçi sonuç vereceği söylenebilir.

3.5 Yapının Deprem Güvenliğinin Değerlendirilmesi

Hesap modelinin lineer olmayan teoriye göre analizi ile elde edilen sonuçlar değerlendirilerek yapının deprem güvenliği belirlenir. Bu aşamada, taşıyıcı sistem modeli içinde yer almadığı halde yapının deprem güvenliğini etkileyebilen, yapı elemanlarındaki hasar ve bozulmalar, taşıyıcı olmayan yapı elemanlarının sistem davranışına katkısı gibi diğer faktörler de dikkate alınabilir.

Sistemin analizi sonucunda elde edilen sonuçlar, ilgili yönetmeliklere göre değerlendirilerek yapının performans seviyesi ve deprem güvenliği belirlenir.

Yeterli güvenliğe sahip olmayan yapılar, analiz sonuçlarından elde edilen veriler de hesaba katılarak, uygun şekilde güçlendirilir. Güçlendirilen yapı sistemi lineer olmayan teoriye göre yeniden hesaplanarak, öngörülen deprem güvenliğinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir.

4. PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE DEĞERLENDİRME

4.1 Performansa Dayalı Tasarım Kavramı

Performans kavramı, yapı ve deprem mühendisliğinde yeni gelişen bir kavram olup, öncelikle mevcut yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi için geliştirilmiştir. Daha sonra performansa dayalı tasarım yöntemlerinin yeni yapılacak yapıların tasarımında da kullanılabileceği gündeme gelmiştir. Mevcut yönetmeliklerde yapılacak iyileştirmeler ile geleneksel kuralların yanında daha ayrıntılı incelemeyi gerektiren performans kavramına dayalı boyutlama ilkelerinin kullanılmaya başlanacağı düşünülmektedir.

Performansa dayalı tasarım, deprem etkisi altında yapıdan beklenen performans seviyesinin belirlenmesi için kullanılacak yöntemleri verir. Performans seviyesi, depremden sonra yapıda meydana gelecek hasar seviyesi ile ölçülür. Gerçekte deprem yönetmeliklerinde tanımlanan deprem etkisi ve sınır durumlar ile bir performans seviyesi tanımlanmıştır. Performansa dayalı tasarımda belirli bir deprem etkisinde yapıda birden fazla performans (hasar) seviyesinin ortaya çıkması öngörülür.

Deprem yönetmeliklerinin gelişimi incelendiğinde, 20 yıldan daha öncelerinde bile birden fazla performans seviyesinin tanımlandığı görülebilir. Yapıların küçük depremleri hasarsız atlatması, orta büyüklükteki depremleri sınırlı hasarla atlatması, çok büyük depremleri de can kaybını önleyerek toptan göçme olmaksızın atlatması depreme dayanıklı yapı tasarımının ana temasıdır. Performansa dayalı tasarımda, bu amaçlar daha belirgin şekilde tanımlanarak kabul edilmiştir [8].

Yapılarda, deprem yüklerinin hesabında çok büyük belirsizlikler olduğu bilinmektedir. Yapıların deprem yükleri altındaki davranışında da benzer belirsizliklerin olduğu kabul edilebilir. Taşıyıcı sistemler, kapasiteleri karşılamaları beklenen deprem etkilerinden daha büyük olacak şekilde tasarlanırlar. Bir taşıyıcı sistemin yatay yük taşıma kapasitesi, malzeme dayanımlarının, taşıyıcı sistemin türü ve düzeni ile rijitlik dağılımının ve sünekliğin oldukça karmaşık bir fonksiyonudur. Bu nedenle bir yapı için ayrıntılı olarak yapılacak her türlü değerlendirme ve çözümlemelerin de bu belirsizliklerden kaynaklanan yaklaşıklıkları içereceği gözönünde tutulmalıdır.

Günümüzde performansa dayalı tasarımda ATC-40 [1] ve FEMA-356 [2] olmak üzere birbirine yakın iki yaklaşım mevcuttur. Bu bölümde bu iki yaklaşım ana hatlarıyla açıklanacaktır.

4.2 Performans Tanımları

4.2.1 Performans hedefi

Belirli bir deprem hareketi altında, bina için öngörülen yapısal performans, performans hedefi olarak tanımlanır. Yapısal performans, bir yapıyı oluşturan taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyeleri ile tanımlanır.

Bir yapı için, birden fazla yer hareketi altında farklı performans hedefleri öngörülebilir. Buna çok seviyeli performans hedefi denir.

4.2.2 Performans seviyeleri

Performans seviyeleri verilen bir yapı için, verilen bir deprem etkisi altında öngörülen hasar miktarının sınır durumlarıdır. Bu sınır durumlar binadaki taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasarın miktarına, bu hasarın can güvenliği bakımından bir tehlike oluşturup oluşturumamasına, deprem sonrasında binanın kullanılıp kullanılmamasına ve hasarın neden olduğu ekonomik kayıplara bağlı olarak belirlenir.

Yapısal performans seviyesi, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin birleşiminden oluşmaktadır. Dolayısıyla her yapısal performans seviyesi, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin bir kombinezonu olarak belirlenir [6].

4.2.2.1 Taşıyıcı elemanlar için performans seviyeleri

ATC-40 ve FEMA-356 dökümanlarında, taşıyıcı elemanlar için tanımlanan performans seviyeleri ve performans aralıkları Tablo 4.1 de özetlenmiştir.

Tablo 4.1 Taşıyıcı elemanların performans seviyeleri

Performans seviyesi	Performans aralığı	Kod
Hemen kullanım (IO)		S-1
	Hasar kontrol	S-2
Can güvenliği (LS)		S-3
	Sınırlı güvenlik	S-4
Göçmenin önlenmesi (CP)		S-5

Tabloda belirtilerek kodlanan performans seviyeleri ve aralıkları aşağıda ayrıntılı olarak tanımlanmıştır:

Hemen kullanım performans seviyesi (S-1) :

Taşıyıcı sistem hasarı çok azdır. Mevcut yapının deprem öncesindeki dayanım, rijitlik ve sünekliği deprem sonrasında da korunmaktadır.

Hasar kontrol performans aralığı (S-2) :

Deprem sonrasında yapıda oluşan hasarın, hemen kullanım ile can güvenliği performans seviyeleri arasında bulunduğu performans aralığıdır.

Can güvenliği performans seviyesi (S-3) :

Taşıyıcı sistemde önemli hasar oluşabilir. Buna karşılık, bölgesel veya toptan göçme söz konusu değildir. Deprem sırasında yaralanmalar olabilir. Ancak bu yaralanmalar yapısal hasarlar ile ilgili değildir. Yapısal hasar kaynaklı ölüm riski çok düşüktür.

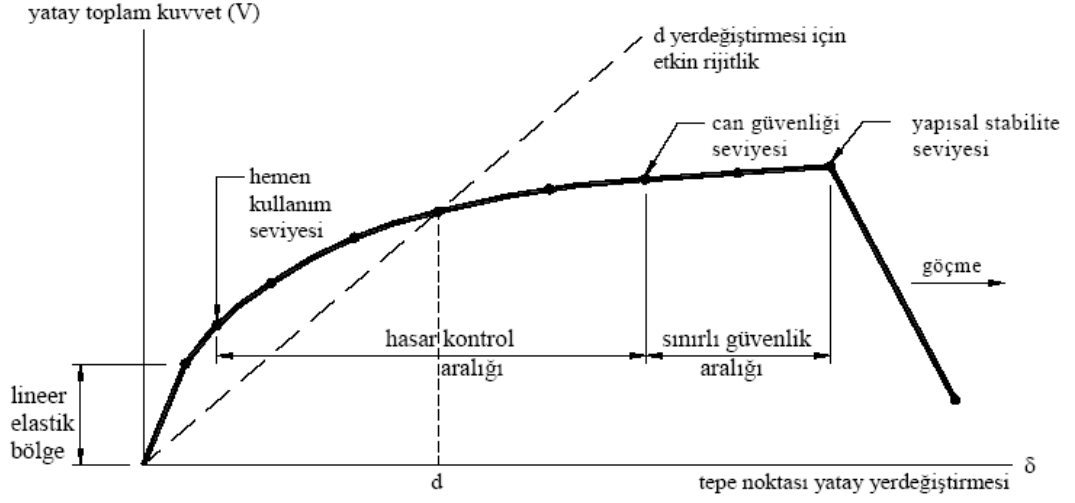
Sınırlı güvenlik performans aralığı (S-4) :

Bu aralıkta taşıyıcı elemanların performansları tamamen can güvenliği koşullarını sağlamayabilir ancak göçmenin önlenmesi performans seviyesinden daha yüksektir.

Göçmenin önlenmesi (stabilitenin korunması) performans seviyesi (S-5) :

Yapıyı bölgesel veya toptan göçme sınırına getiren ağır hasar durumunu temsil eder. Taşıyıcı elemanlarda büyük hasar oluşmuş, dayanım ve rijitliklerde önemli azalmalar meydana gelmiştir. Bununla beraber, yapının taşıma kapasitesi düşey yükleri taşımaya devam etmek için yeterlidir. Yapı stabilitesini korumakla birlikte önemli oranda can güvenliği riski bulunmaktadır.

Yukarıda tanımlanan performans seviyeleri ve aralıkları, kapasite eğrisi olarak tanımlanan toplam yatay kuvvet-tepe noktası yatay yerdeğiştirmesi (V- δ) diyagramı üzerinde Şekil 4.1 de şematik olarak işaretlenmiştir [6].



Şekil 4.1 Kapasite eğrisinde performans seviyeleri ve aralıkları

4.2.2.2 Taşıyıcı olmayan elemanlar için performans seviyeleri

Taşıyıcı olmayan yapı elemanları için tanımlanan performans seviyeleri Tablo 4.2 de gösterimiş ve aşağıda açıklanmıştır.

Tablo 4.2 Taşıyıcı olmayan elemanlar için performans seviyeleri

Performans seviyesi	Kod
Kullanıma devam	N-A
Hemen kullanım (IO)	N-B
Can güvenliği (LS)	N-C
Azaltılmış hasar	N-D
Performansın dikkate alınmadığı seviye	N-E

Kullanıma devam performans seviyesi (N-A) :

Taşıyıcı olmayan elemanlar ile tesisatta ve diğer ekipmanda hasar oluşmaz veya ihmal edilebilecek kadar az hasar meydana gelir. Bu hasar, yapının ve ekipmanın kullanımını engellemez.

Hemen kullanım performans seviyesi (N-B) :

Taşıyıcı olmayan elemanlarda, ekipman ve tesisatta hasar oluşabilir. Bazı eleman ve ekipmanın onarılması ve değiştirilmesi gerekebilir. Kullanım bakımından ortaya çıkabilecek kısıtlamalar kısa zamanda giderilerek yapı kullanılmaya devam eder.

Can güvenliği performans seviyesi (N-C) :

Taşıyıcı olmayan elemanlarda, ekipman ve tesisatta hasar oluşabilir. Ancak, binanın içinde veya dışındaki ağır elemanlarda yaralanmalara neden olabilecek makine devrilmesi kopmalar, düşmeler söz konusu değildir. Tesisat ve ekipmanda onarım ihtiyacı doğar.

Azaltılmış hasar performans seviyesi (N-D) :

Taşıyıcı olmayan elemanlarda, ekipman ve tesisatta ciddi hasar meydana gelebilir. Ancak, dış cephe kaplamalarının dökülmesi, asma tavanların düşmesi gibi insanların gruplar halinde yaralanmalarına neden olabilecek hasar oluşmaz.

Performansın dikkate alınmadığı seviye (N-E) :

Bazı hallerde, yapının davranışını ve kullanımını etkilemeyen bazı ikincil elemanlar için performansın dikkate alınmasına gerek olmayabilir [6].

4.2.2.3 Bina performans seviyeleri

Binanın toplam yapısal performans seviyesi, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin birleşiminden oluşmaktadır. Tablo 4.3 te bu performans seviyelerinin olası kombinasyonları yer almaktadır. Tabloda KÖ ile belirtilen kombinasyonlar kullanılması önerilmeyen performans seviyelerini göstermektedir.

Tablo 4.3 Bina yapısal performans seviyeleri

Taşıyıcı olmayan eleman performans seviyeleri	Taşıyıcı eleman performans seviyeleri				
	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5
N-A	1-A	2-A	KÖ	KÖ	KÖ
N-B	1-B	2-B	3-B	KÖ	KÖ
N-C	1-C	2-C	3-C	4-C	5-C
N-D	KÖ	2-D	3-D	4-D	5-D
N-E	KÖ	KÖ	3-E	4-E	5-E

Tabloda verilen performans kombinasyonlarının başlıcaları aşağıda sıralanmıştır. Bir binaya ait performans hedefinin belirlenmesinde, çok kere bu performans birleşimlerinden biri esas alınmaktadır.

1-A : Kullanıma devam yapısal performans seviyesi (S1 + NA)

Binada hasar yoktur veya kolaylıkla onarılabilecek düzeyde sınırlı hasar mevcuttur. Yapı sistemi deprem öncesi dayanım, rijitlik ve sünekliğini aynen korumaktadır. Bina kullanıma devam edilebilecek durumdadır.

1-B : Hemen kullanım (IO) performans seviyesi (S1 + NB)

Oldukça az yapısal hasar vardır. Yapı orijinal dayanım ve rijitliğini önemli ölçüde korumaktadır. Yapısal olmayan elemanlar güvenlidir ve genellikle çalışabilir durumdadır. Deprem sırasında yaralanma riski oldukça düşüktür.

3-C : Can güvenliği (LS) performans seviyesi (S3 + NC)

Yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda belirli ölçülerde hasar mevcuttur. Yapı deprem öncesi dayanım ve rijitliğinin bir bölümünü kaybetmiş durumdadır. Ancak yapısal ve yapısal olmayan elemanların can güvenliğini tehdit etmesi söz konusu değildir. Yapı onarılmaya muhtaçtır ve onarılmadan kullanılması uygun değildir.

5-E : Göçmenin önlenmesi-yapısal stabilitenin korunması (CP) performans seviyesi (S5 + NE)

Yapı taşıyıcı sistemi ancak düşey yükler altında stabilitesini korumaktadır. Binanın artçı depremlere karşı dayanımı kalmamıştır ve kullanılmaması gerekir. Onarılması da çok kere pratik veya ekonomik bakımdan uygun değildir [6].

4.3 Yapısal Kapasite

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirmenin iki temel parametresi istem ve kapasitedir. İstem (talep) yapıya etkiyen deprem yer hareketini, kapasite ise yapının bu deprem etkisi altındaki davranışını temsil etmektedir.

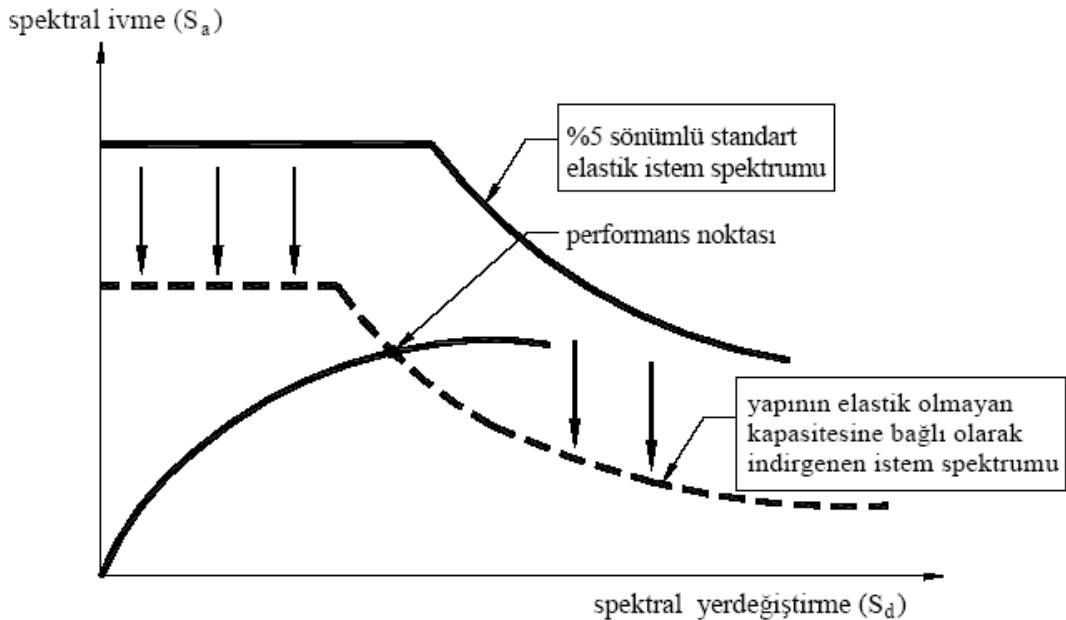
Yapısal kapasite, yapının taşıyıcı sistemini oluşturan elemanların dayanım ve şekildeğiştirme kapasitelerinin bir birleşimi olarak tayin edilir. Lineer elastik sınırın ötesindeki kapasitenin belirlenmesi istendiğinde, genel olarak malzeme ve geometri değişimleri bakımından lineer olmayan teoriye göre sistem hesabı yapılması gerekmektedir. Yapısal kapasite, kapasite eğrisi ile temsil edilir. Bu eğri, genellikle taban kesme kuvveti ile yapının tepe noktasının yatay yerdeğiştirmesi arasındaki bağıntı çizilerek elde edilmektedir. Kapasite eğrisinin elde edilmesi için, yapı sistemi sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan yatay kuvvetler altında, taşıma kapasitesinin sona erdiği limit duruma kadar hesaplanır.

4.4 Basitleştirilmiş Lineer Olmayan Analiz Yöntemleri

Yapıların deprem etkileri altındaki performanslarının belirlenmesi amacıyla kullanılan basitleştirilmiş lineer olmayan statik analiz yöntemleri, yapı sisteminin yatay kuvvetler altındaki davranışını temsil eden yatay kuvvet-yatay yerdeğiştirme (P- δ) ilişkisinin malzeme ve geometri değişimi bakımından lineer olmayan teoriye göre elde edilmesine ve bu ilişkinin değerlendirilmesine dayanmaktadır. Kapasite eğrisi adı verilen bu eğriden yararlanarak, yapının zayıf (yetersiz) elemanları, bunların yerleri ve olası bölgesel veya toptan göçme mekanizmaları belirlenebilmekte, ayrıca belirli bir deprem etkisi altında yapıdan beklenen performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmeyeceği kontrol edilebilmektedir.

4.4.1 Kapasite spektrumu yöntemi (ATC-40)

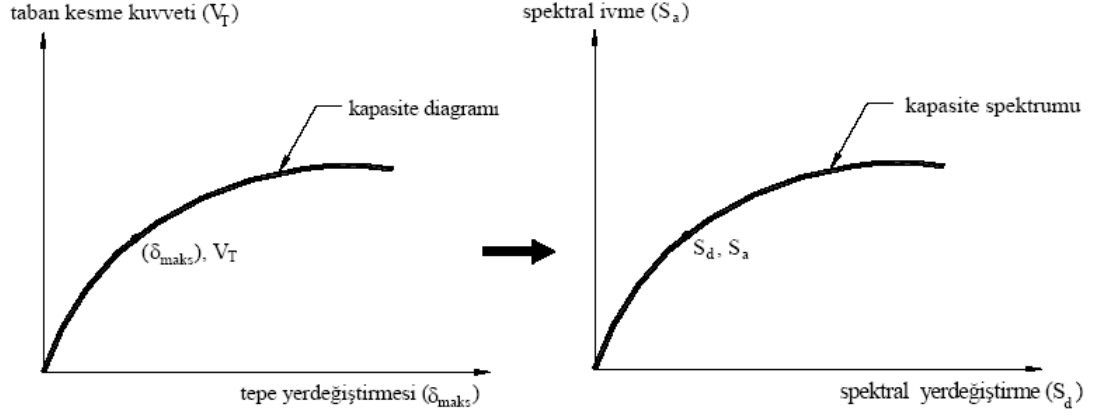
Artan deprem yükleri altındaki bir yapıda lineer olmayan şekildeğıştirmeler meydana gelir. Bu şekildeğıştirmeler yapının sönümünü artırır ve dolayısıyla deprem istemini (talebini) azaltır. Kapasite spektrumu yönteminde, yapıda meydana gelen lineer olmayan şekildeğıştirmelere bağlı olarak, elastik istem spektrumu indirgenerek kapasite ve istemin eşit olduğu nokta belirlenir. Performans noktası adı verilen bu noktada, yapıdan istenen performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilir. Bu yöntemde Şekil 4.2 de görülen üç temel büyüklüğün belirlenmesi gerekmektedir. Bunlar kapasite, yerdeğiştirme istemi ve performans noktasıdır.



Şekil 4.2 Kapasite spektrumu yöntemi ile performans noktasının belirlenmesi

Yapı sisteminin lineer olmayan teoriye göre hesaplanması sonucunda elde edilen kapasite eğrisinin istem spektrumu ile karşılaştırılabilmesi için spektral formata

dönüştürülmesi gerekmektedir. Ayrıca, istem spektrumu tek serbestlik dereceli sisteme ait olduğu için, çok serbestlik dereceli sisteme ait kapasite eğrisi de eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme dönüştürülür. Bu işlemler şematik olarak Şekil 4.3 de gösterilmiştir.

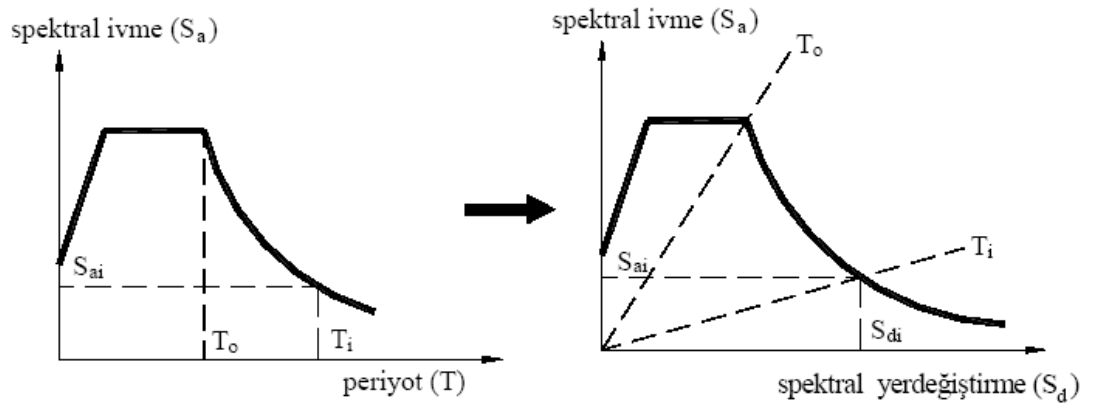


Şekil 4.3 Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi

Kapasite spektrumu ile aynı eksen takımı üzerinde gösterilebilmesi için, elastik istem spektrumunun da spektral ivme – spektral yerdeğiştirme formatına dönüştürülmesi gerekir. Bunun için, spektral ivme ile spektral yerdeğiştirme arasındaki

$$S_d = S_a \frac{T^2}{4\pi^2} \quad (4.1)$$

bağıntısından yararlanılır. Burada T, yapı sisteminin birinci doğal periyodunu, S_a ve S_d sırasıyla spektral ivme ve spektral yerdeğiştirmeyi göstermektedir. Şekil 4.4.



Şekil 4.4 Elastik istem spektrumunun ivme-yerdeğiştirme formatına dönüştürülmesi

Kapasite ve elastik istem spektrumları, aynı spektral ivme – spektral yerdeğiştirme koordinat sisteminde ifade edildikten sonra, deprem etkileri altında yapı sisteminde

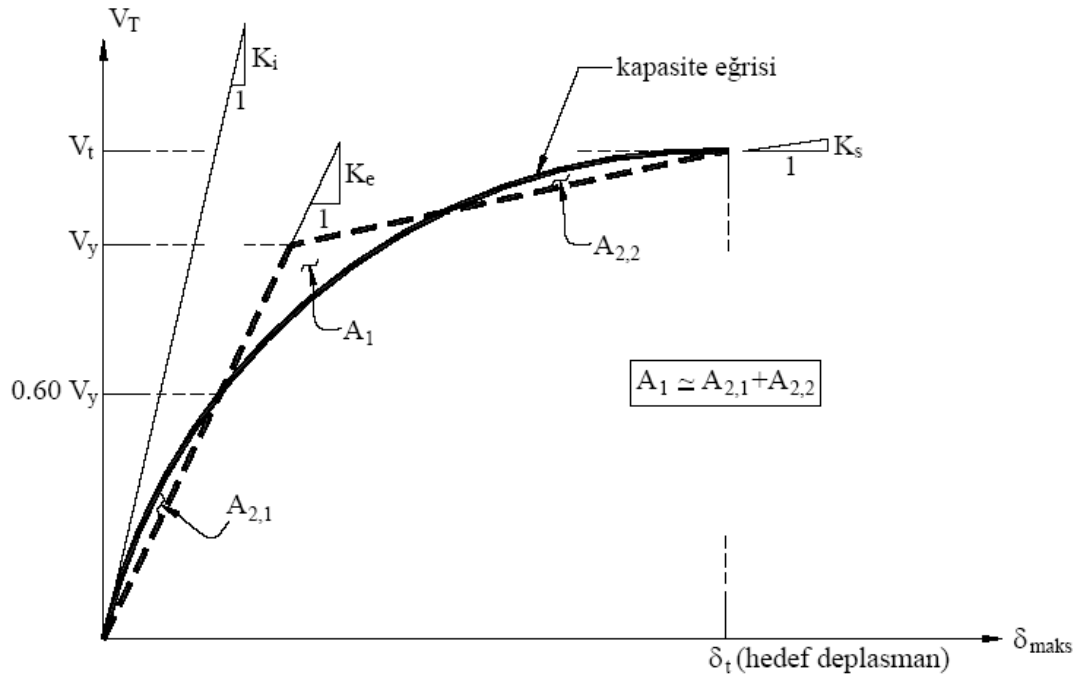
oluşan lineer olmayan şekildeğişiklikler nedeniyle artan sönüm oranına bağlı olarak, elastik istem spektrumunun indirgenmesi gerekir. İndirgeme işlemi için etkili sönüm yüzdesinden yararlanılır.

Kapasite spektrumu ile indirgenmiş istem spektrumunun kesim noktası, öngörülen deprem etkisi altında yapının performans noktasını vermektedir. Yapının performans noktası bu şekilde bulunduktan sonra, performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilir. Bunun için, sisteme ait büyüklüklerin (yerdeğişiklikler, plastik şekildeğişiklikler vd.) performans noktasındaki değerleri kendilerine ait sınır değerler ile karşılaştırılır. Bu sınır değerler, belirli bir deprem hareketi altında öngörülen performans seviyesinin gerçekleşebilmesi için, yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasar seviyelerinin üst sınırlarını vermektedir. Kapasite spektrumu yöntemi ile ilgili daha ayrıntılı bilgi için [1]'e bakılabilir.

4.4.2 Deplasman katsayısı yöntemi (FEMA-356)

Yerdeğiştirme (deplasman) katsayısı yöntemi, kapasite spektrumu yöntemine benzer olarak, kapasite ve istemin birbirine bağlı olduğu esasına dayanmaktadır. Ancak bu yöntemde, yerdeğiştirme istemi grafik olarak değil, sayısal bir şekilde belirlenmektedir. Bu durumda, kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesine de gerek olmamaktadır.

Deplasman katsayısı yönteminde önce V_T taban kesme kuvveti ile δ_{maks} tepe noktası yerdeğiştirmesi arasındaki ilişkiyi belirleyen kapasite eğrisi elde edilir. Kapasite eğrisinin çizilmesinde, yapının birinci doğal periyoduna ve etkin olan modlara bağlı olarak uygun bir yatay yük dağılımı seçilir. Sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan yatay yükler altında, lineer olmayan teoriye göre hesap yapılarak kapasite eğrisi elde edilir. Daha sonra bu eğri, birincisinin eğimi elastik rijitliği (K_e), ikincisinin eğimi ise elastoplastik rijitliği (K_s) temsil eden iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilir. İdealleştirme yapılırken, gerçek ve idealleştirilmiş kapasite diyagramlarının altında kalan alanların eşit olması ve K_e eğimli doğrunun kapasite eğrisini kestiği noktanın ordinatının, K_e ve K_s eğimli doğruların kesiştiği noktanın ordinatının 0.60 katı olması koşulları esas alınır. Ancak iki doğrunun kesim noktası başlangıçta bilinmediğinden, bir deneme-yanılma yöntemi uygulanması gerekir. Yöntem Şekil 4.5 de şematik olarak özetlenmiştir [6].



Şekil 4.5 İki doğru parçası ile idealleştirilen kapasite eğrisi

Bu şekilde idealleştirilen kapasite eğrisi için, sistemin T_e etkin doğal periyodu, T_i hesap yapılan doğrultudaki elastik doğal periyodu göstermek üzere

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (4.2)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Yapı sisteminin T_e etkin doğal periyodu bulunduğundan sonra, hedef yerdeğiştirme

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} \quad (4.3)$$

formülü ile elde edilir. Bu formüldeki katsayı ve büyüklükler aşağıda tanımlanmıştır.

C_0 : çok serbestlik dereceli sistemin tepe noktasının yatay yerdeğiştirmesi ile eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral yerdeğiştirmesi arasındaki ilişkiyi oluşturan modal katılım katsayısı

C_1 : lineer elastik yerdeğiştirmeyi, beklenen maksimum inelastik yerdeğiştirmeye dönüştüren düzeltme katsayısı

C_2 : histeresiz enerji şeklinin etkisini hesaba katan düzeltme katsayısı

C_3 : ikinci mertebe etkileri nedeniyle artan yerdeğiştirmelerin etkisini gözönüne alan düzeltme katsayısı

Sa : gözönüne alınan yapının etkin doğal periyoduna ve sönüm oranına bağlı olarak belirlenen ve g yerçekimi ivmesini de içeren spektral ivmedir.

Bu katsayı ve büyüklüklerin hesabına yönelik ayrıntılı bilgi [2]'de bulunabilir.

Yukarıdaki açıklamalardan görüldüğü gibi, yerdeğiştirme katsayısı yönteminde de, hedef yerdeğiştirmenin bulunması için bir ardışık yaklaşım yolunun izlenmesi gerekmektedir. Başlangıçta seçilen ve T_e etkin doğal periyodunun hesabına esas olan δ_t yerdeğiştirmesi ile hesap sonucunda bulunan değerlerin eşit veya birbirine yeterince yakın olması halinde hedef yerdeğiştirme bulunmuş olur ve ardışık yaklaşıma son verilir [6].

Öngörülen deprem etkisi altındaki hedef yerdeğiştirme bulunduktan sonra, performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilir. Bunun için, sisteme ait büyüklüklerin (yerdeğiştirmeler, plastik şekildeğiştirmeler vd.) değerleri kendilerine ait sınır değerler ile karşılaştırılır.

5. YAPI SİSTEMLERİNİN PERFORMANS NOKTALARININ BELİRLENMESİ İÇİN GELİŞTİRİLEN BİR BİLGİSAYAR PROGRAMI

5.1 Programın Tanıtımı ve Kapsamı

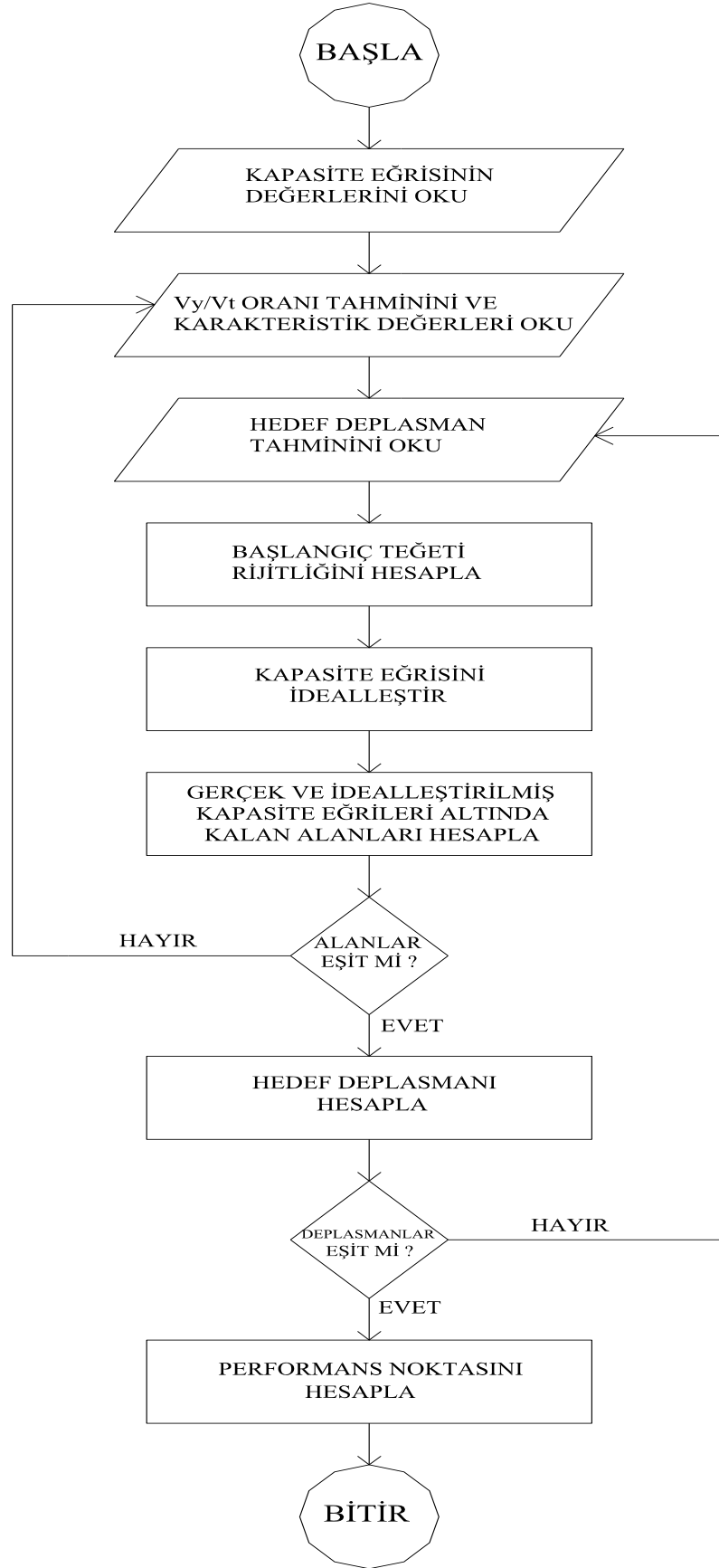
Yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi için deprem etkileri altındaki performans seviyelerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, önce yapı sistemlerinin malzeme ve geometri değişimi bakımından lineer olmayan teoriye göre hesabı yapılarak kapasite diyagramları belirlenmeli, daha sonra öngörülen deprem etkisi için performans noktası belirlenerek bu noktada yapının ve yapı elemanlarının performansları değerlendirilmelidir.

Günümüzde yerdeğiştirmeye bağlı performans kriterlerini esas alan yapısal değerlendirme ve tasarım yöntemleri olarak ATC 40'da [1] önerilen kapasite spektrumu yöntemi (KSY) ve FEMA 356'da [2] önerilen yerdeğiştirme (deplasman) katsayısı yöntemi (DKY) yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu amaca yönelik olarak, bu çalışmada FEMA 356'da önerilen yerdeğiştirme katsayısı yöntemini kullanarak yapı sistemlerinin performans noktalarını belirleyen bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Program Visual Basic bilgisayar dili ile kodlanmış olup Microsoft Excel altında çalışmaktadır.

5.2 Programın Algoritması

Yapı sistemlerinin performans noktalarının belirlenerek deprem güvenliklerinin değerlendirilmesi amacıyla geliştirilen SES (Seismic Evaluation of Structures) programının kullanılabilmesi için öncelikle ilgili yapı sisteminin malzeme ve geometri değişimi bakımından lineer olmayan teoriye göre hesabı yapılarak kapasite eğrisinin belirlenmiş olması gerekmektedir. Geliştirilen programda kapasite diyagramının değerleri lineer olmayan teoriye göre hesap yapan herhangi bir bilgisayar programından alınabilir. Çalışma kapsamında bu değerler SAP2000 programı ile yapılan itme analizi sonuç dosyalarından alınmaktadır. Programın akış diyagramı Şekil 5.1 de görülmektedir.



Şekil 5.1 SES programının akış diyagramı

Şekil 5.1 de verilen akış diyagramından da görülebileceği gibi programın çalışmaya başlaması için önce ilgili yapı sisteminin kapasite diyagramının adım adım değerlerinin veri olarak girilmesi gerekmektedir. Program, yerdeğiştirme (deplasman) katsayısı yöntemine uygun olarak kapasite diyagramını bölüm 4.4.2 de verilen kısıtlamaları dikkate alarak, iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirmektedir.

İdealleştirmenin yapılabilmesi için öncelikle performans noktasının koordinatları ve V_y / V_t oranı tahmin edilmeli ve programa veri olarak girilmelidir. Program için gerekli olan diğer veriler; yapı sisteminin elastik periyodu, zemin cinsine ait spektrum karakteristik periyodu, etkin yer ivmesi katsayısı, taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve FEMA 356 dökümanında tanımlanan ve bölüm 4.4.2 de açıklanan C_o ve C_2 katsayılarıdır.

Bu aşamadan sonra, program gerçek ve idealleştirilmiş kapasite diyagramları altında kalan alanların eşitliği kontrolünü yapar. Eğer alanlar eşit değilse V_y / V_t oranının yeniden tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu durum programda bir uyarı mesajı ile belirtilmektedir.

Gerçek ve idealleştirilmiş kapasite diyagramları altında kalan alanlar eşitse, program FEMA 356’da verilen ve bölüm 4.4.2 de açıklanan formülasyona uygun olarak hedef deplasman değerini hesaplar.

Bulunan hedef deplasman değeri ile hesabın başlangıcında ilk tahmin edilen değer birbirine eşit yada yeter derecede yakın değilse, bulunan hedef deplasman değeri ikinci tahmin hedef deplasman değeri olarak alınmalı ve hesap, gerekli karakteristik bilgilerin de güncellenmesiyle tekrarlanmalıdır. Dördüncü bölümde de açıklandığı gibi bu yöntemde hedef deplasmanın (deplasman talebinin) bulunması için yukarıda açıklanan şekilde bir ardışık yaklaşım yolunun izlenmesi gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında incelenen yapı sistemlerinde çoğunlukla ikinci adımda sonuca ulaşılmıştır.

Bulunan hedef deplasman değeri ile tahmin edilen değer birbirine eşit yada yeter derecede yakınsa hedef deplasmana ulaşılmıştır. Programda bu durum bir mesaj kutusu ile kullanıcıya bildirilmektedir. Bu aşamadan sonra program, ilgili yapı sisteminin öngörülen deprem hareketi altındaki performans noktasını hesaplamaktadır.

Yapı sistemlerinin performans noktaları yukarıda açıklandığı gibi belirlendikten sonra, bulunan sonuçların yorumlanması ve yapıların deprem güvenliklerinin değerlendirilmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, öngörülen deprem hareketi için deplasman talebi belirlenen yapı sisteminin, bu deplasman talebine karşı gelen noktada, yapı elemanlarında oluşan yerdeğiştirme, dönme ve plastik şekil değiştirme gibi büyüklükler kendilerine ait sınır değerler ile karşılaştırılarak, performans seviyelerine göre değişiklik gösteren bu sınır değerleri aşıp aşmadığı kontrol edilir ve ilgili yapı sisteminin seçilen deprem hareketi için göstereceği performans seviyesi hakkında karara varılır.

Mevcut yapı sistemlerinin deprem etkisi altındaki performans seviyelerini belirlenmesi ve deprem güvenliklerinin değerlendirilmesi amacıyla kullanılan bu yöntem, daha önce de açıklandığı gibi yeni yapılacak yapıların tasarımında da kullanılabilir. Bu durumda hesaplarda aynı yol izlenerek, ilgili deprem hareketi için deplasman talepleri belirlenen yapı sistemlerine ait büyüklükler, deplasman talebine karşı gelen noktada kendilerine ait sınır değerler ile karşılaştırılarak, yapı sisteminde başlangıçta beklenen performans hedeflerinin gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilir.

Yerdeğiştirmeye bağlı performans kriterlerini esas alan performansa dayalı tasarım yöntemlerinin yakın gelecekte geleneksel deprem tasarımının yerini alacağı düşünülmektedir.

6. SAYISAL ÖRNEKLER

6.1 Giriş

Bu bölümde, çalışma kapsamında geliştirilen bilgisayar programının uygulamaları için çeşitli yapı sistemleri incelenmiştir.

İncelenen yapı sistemlerinden ilk ikisi daha önce [3] te incelenmiş sistemler olup, bu sistemler geliştirilen bilgisayar programının verdiği sonuçları doğrulamak amacıyla ele alınmıştır. Bu yapı sistemlerinden sistem 1, 6 katlı betonarme çerçeve taşıyıcı sisteme sahip olan bir yapı, sistem 2 ise 10 katlı betonarme perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip olan bir yapıdır.

Sistem 3A olarak isimlendirilen yapı sistemi, ABYYHY (1975)'e [4] göre boyutlandırılmış olan 5 katlı betonarme çerçeve taşıyıcı sisteme sahip olan bir yapı, sistem 3B olarak isimlerden yapı sistemi ise, sistem 3A ile aynı geometri ve malzeme özelliklerine sahip, taşıyıcı sistemi yürürlükteki ABYYHY (1998)'e [5] göre güçlendirilmiş olan 5 katlı betonarme perde-çerçeve bir yapıdır.

Çalışma kapsamında incelenen tüm yapı sistemleri için, özellikleri bölüm 6.1.1 de verilen 4 ayrı deprem hareketi gözönüne alınmıştır. Tüm örnekler önce malzeme ve geometri değişimi bakımından lineer olmayan teoriye göre SAP2000 programı ile çözülmüş ve kapasite diyagramları belirlenmiştir. Bu aşamadan sonra 4 ayrı deprem hareketi için her bir yapı sisteminin performans noktaları, ATC 40'da [1] yer verilen kapasite spektrumu yöntemi (KSY) ve FEMA 356'da [2] yer verilen yerdeğiştirme (deplasman) katsayısı yöntemine (DKY) göre ayrı ayrı belirlenmiştir.

Yapıların elastik olmayan maksimum deplasmanları (deplasman talepleri) belirlendikten sonra, yapı sistemleri bu deplasman değerlerine kadar statik olarak itilmiş ve performans seviyeleri belirlenerek deprem güvenlikleri değerlendirilmiştir.

Yerdeğiştirme katsayısı yöntemine göre yapılan performans analizlerinde, çalışma kapsamında geliştirilen SES (Seismic Evaluation of Structures) adlı bilgisayar programı kullanılmıştır.

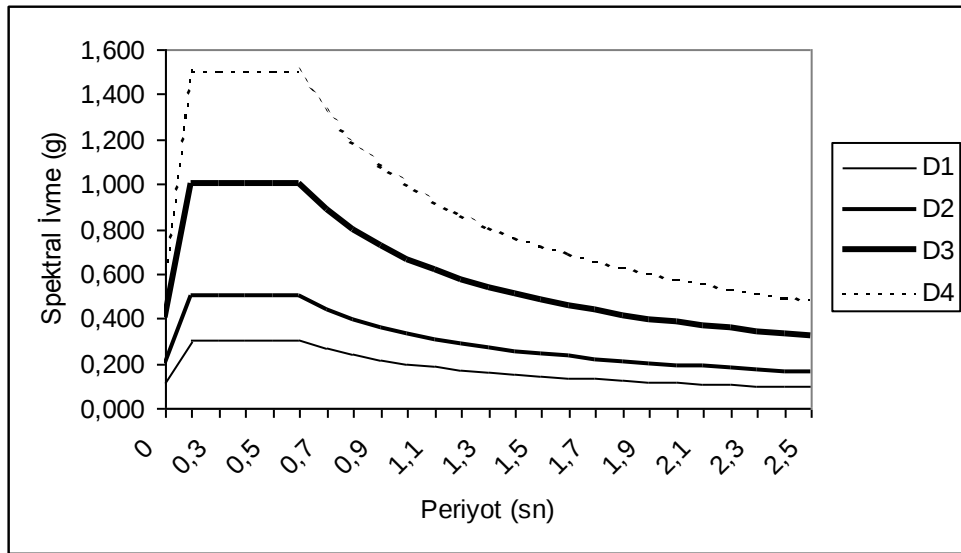
Kapasite spektrumu yöntemine göre yapılan performans analizlerinde ve yapı sistemlerinin kapasite eğrilerinin belirlenmesinde SAP2000 yapı analiz programından yararlanılmıştır [9].

6.1.1 Talep spektrumlarının tanımlanması

Çalışma kapsamında incelenen tüm yapı sistemlerinin performans seviyeleri ve deprem güvenlikleri 4 ayrı deprem hareketi için belirlenmiştir.

Deprem tehlike seviyeleri ABYYHY (1998)'de sözü edilen hafif, orta ve şiddetli deprem (tasarım depremi) ile birlikte, ilgili deprem bölgesinde beklenen en büyük depremi yaklaşık olarak temsil eden çok şiddetli depremdir. Yönetmelikte şiddetli deprem (tasarım depremi) olarak tanımlanan deprem hareketi (D3), yapı önem katsayısı 1 olan binalar için, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem tehlikesini ifade etmektedir.

Hafif şiddetteki depremin (D1), tasarım depreminin (D3) yaklaşık olarak %30'u olduğu, orta şiddetteki depremin (D2), tasarım depreminin yaklaşık %50'si olduğu, çok şiddetli depremin (D4) ise tasarım depreminin yaklaşık 1.5 katı olduğu kabul edilmiştir. Deprem etki seviyelerine ait talep spektrumları Şekil 6.1 de görülmektedir [3].



Şekil 6.1 Gözönüne alınan deprem hareketlerine ait talep spektrumları

6.1.2 Yapıların kapasite eğrilerinin belirlenmesi

Yapı sistemlerinin kapasite eğrileri, yapıların taban kesme kuvveti ile tepe noktası deplasmanı arasındaki ilişkinin elde edilmesi sonucu belirlenip, yatay yük taşıma kapasitelerini ifade etmektedir.

Yapıların kapasite eğrilerinin elde edilmesi için, sabit düşey yükler ve monoton olarak artan yatay yükler altında, malzeme ve geometri değişimi bakımından lineer olmayan teoriye göre hesap yapılır ve ikinci mertebe limit yükler belirlenir. Düşey yüklerin çok fazla değişmediği, daha çok deprem etkisi ile ortaya çıkan yatay

yüklerin ise değişken olduğu düşünülürse, bu yöntem yapıların gerçek davranışlarına daha uygun bir hesap yöntemidir.

Çalışma kapsamında incelenen tüm yapı sistemlerinin çözümlerinde, düşey yük katsayıları için, TS 500'de [10] depremlı durum için öngörülen yük kombinasyonlarındaki katsayılar (1.0G+1.0Q ve 0.9G) gözönünde bulundurulmuştur.

Deprem yüklerinin belirlenmesi için ABYYHY (1998)'de verilen eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılmıştır. Deprem yüklerinin yapı sistemlerine her iki yönde ve $\pm\%5$ dışmerkezlilikle etkimesi durumları da gözönüne alınmıştır.

İncelenen tüm yapı sistemlerinde, lineer olmayan statik analizlerde kullanılmak üzere 8 ayrı yükleme (G+Q+Ex, G+Q+Ey, G+Q+Ex(%5), G+Q+Ey(%5), 0.9G+Ex, 0.9G+Ey, 0.9G+Ex(%5), 0.9G+Ey(%5)) yapılarak kapasite eğrileri elde edilmiştir.

Yapılan hesaplarda, plastik şekil değiştirmelerin yapı elemanları üzerinde plastik kesit adı verilen belirli bölgelerde toplandığı, bu bölgelerin dışında malzeme davranışının lineer-elastik olarak kabul edildiği plastik mafsallı hipotezinden yararlanılmıştır. Yapı elemanlarının plastikleşme momentleri ve maksimum plastik dönme değerleri ATC-40 yönetmeliğine göre hesaplanmıştır. Analizlerde çatlamış kesit rijitlikleri kullanılmıştır. Çatlamış kesit rijitlikleri için FEMA-356 yönetmeliğinde önerilen değerler kullanılmıştır.

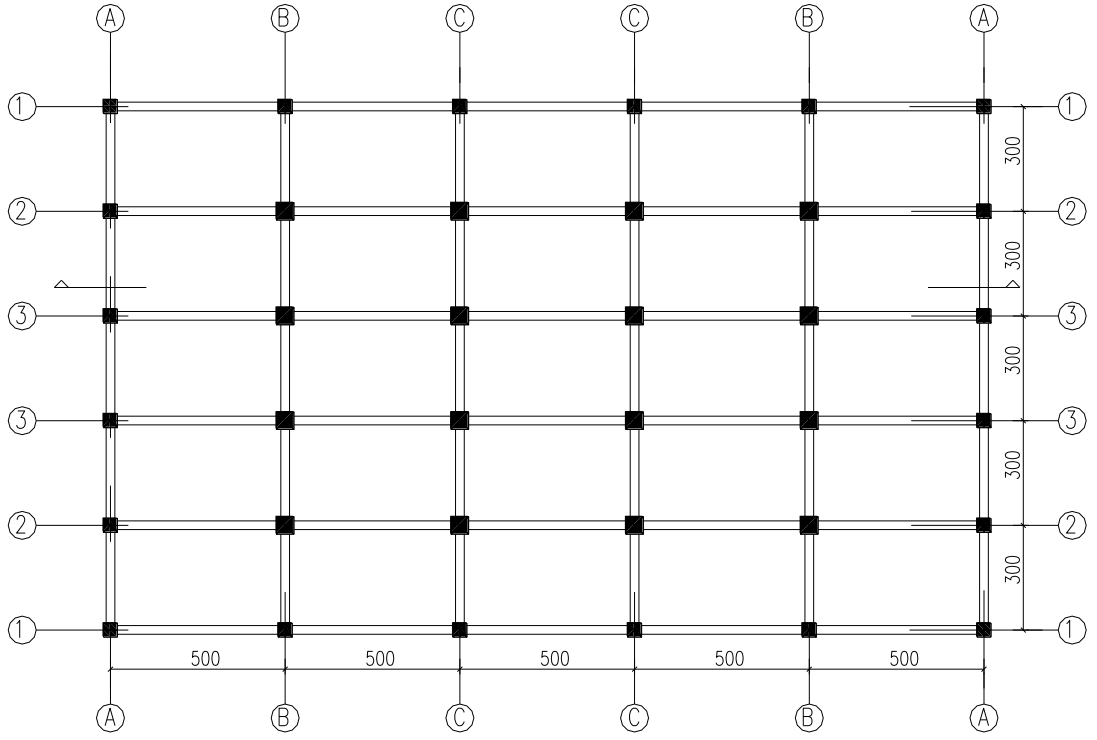
6.2 Sistem Çözümleri

6.2.1 Sistem 1

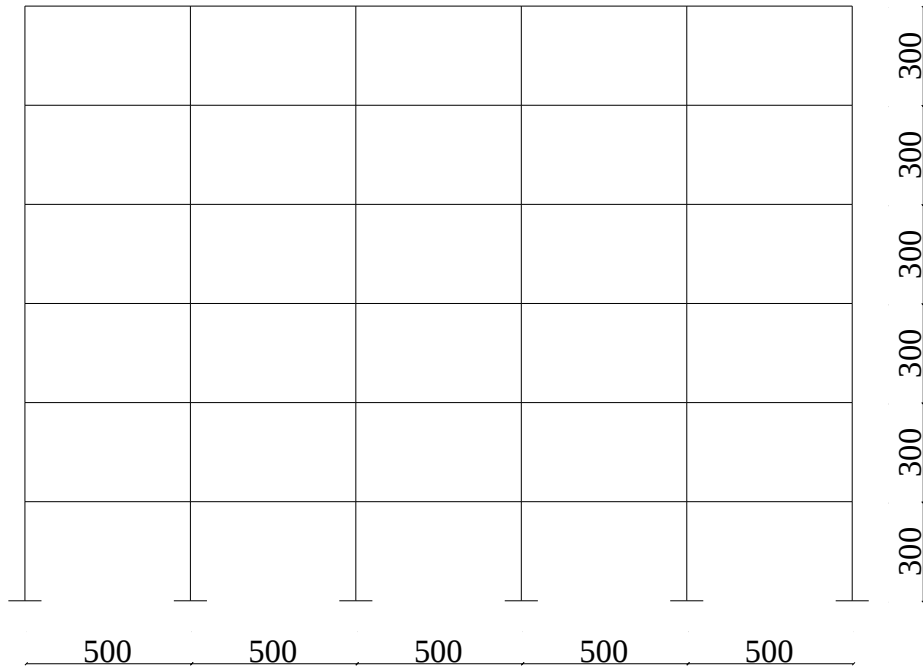
Yapı sistemi 6 katlı betonarme çerçeve taşıyıcı sisteme sahip, 1.derece deprem bölgesinde yer alan bir konut yapısı olup, ($A_o = 0.40$ ve $I = 1$) zemin sınıfı ABYYHY (1998)'de tanımlanan Z2 cinsi zemindir.

Yapının beton sınıfı C20, beton çeliği sınıfı S420 olup, hesaplarda lineer olmayan analiz yapıldığı için malzeme katsayıları 1 alınmıştır. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı R ise 8 alınmıştır.

Yapı sistemine ait tipik kat kalıp planı ve çerçeve düşey enkesiti sırasıyla Şekil 6.2 ve Şekil 6.3 te görülmektedir.



Şekil 6.2 Sistem 1 tipik kat kalıp planı



Şekil 6.3 Sistem 1 çerçeve düşey enkesiti

Yapı sisteminin kiriş ve kolon kesitlerine ait bilgiler sırasıyla Tablo 6.1 ve Tablo 6.2 de görülmektedir.

Tablo 6.1 Sistem 1 kiriş kesit bilgileri

Aks	Açıklık	Kat	bw (cm)	b (cm)	h (cm)	hf (cm)
1,A	Kenar	1-5	25	50	65	15
	İç		25	50	55	15
	Kenar	6	25	40	65	10
	İç		25	40	55	10
2,3,B,C	Kenar	1-5	25	50	105	15
	İç		25	50	85	15
	Kenar	6	25	40	105	10
	İç		25	40	85	10

Tablo 6.2 Sistem 1 kolon kesit bilgileri

Aks	Kat	b (cm)	h (cm)
A1,B1,C1,A2,A3	Tüm Katlar	40	40
B2,B3,C2,C3		50	50

Yapı sisteminin taşıyıcı elemanlarına ait mevcut donatı bilgileri sırasıyla Tablo 6.3 ve Tablo 6.4 de verilmiştir. Tüm elemanlarda paspayı 4 cm olup, kiriş donatı alanları cm² cinsindendir.

Tablo 6.3 Sistem 1 mevcut kolon donatıları

Aks	Donatı
A1,C1,A3	4Φ14 + 8Φ14
B1	4Φ16 + 6Φ16
A2	4Φ16 + 6Φ16
B2,B3,C2,C3	4Φ14 + 12Φ14

Tablo 6.4 Sistem 1 mevcut kiriş donatıları

Aks	Açıklık	Kat	Sol-üst	Sol-alt	Sağ-üst	Sağ-alt
1,A	A-B	1	12.81	6.53	12.81	4.93
		2	12.81	5.40	9.67	4.93
		3	11.68	4.93	8.54	4.52
		4	8.54	4.52	8.54	4.52
		5	6.28	3.39	6.28	3.39
		6	3.39	2.26	3.80	2.26
	B-C	1	12.81	4.93	9.67	4.93
		2	9.67	4.93	9.67	4.93
		3	8.54	4.52	8.54	4.52
		4	8.54	4.52	8.54	4.52
		5	6.28	3.39	6.28	3.39
		6	3.80	2.26	3.80	2.26
2,B	A-B	1	12.81	6.63	15.95	7.76
		2	12.81	6.63	15.95	8.64
		3	12.81	5.75	12.81	7.76
		4	9.67	4.62	12.81	6.63
		5	8.54	4.62	8.54	4.62
		6	4.27	3.39	6.28	3.39
	B-C	1	15.95	6.53	15.95	7.41
		2	15.95	7.41	15.95	7.41
		3	12.81	6.53	12.81	6.53
		4	12.81	5.40	12.81	5.40
		5	8.54	4.62	8.54	4.62
		6	6.28	3.39	5.40	3.39
3,C	A-B	1	12.81	6.16	15.95	7.76
		2	12.81	6.16	15.95	8.64
		3	12.81	5.75	12.81	7.76
		4	9.67	4.62	12.81	6.63
		5	6.28	4.62	8.54	4.62
		6	3.80	3.39	6.28	3.39
	B-C	1	15.95	6.53	15.95	7.41
		2	15.95	7.41	15.95	7.41
		3	12.81	6.53	12.81	6.53
		4	12.81	5.40	12.81	5.40
		5	8.54	4.62	8.54	4.62
		6	6.28	3.39	5.40	3.39

Yapı sisteminin kirişleri üzerindeki düşey işletme yükleri Tablo 6.5 de gösterilmiştir. ABYYHY (1998)'e göre hesaplanan eşdeğer deprem yükleri ise Tablo 6.6 da

gösterilmiştir. Eşdeğer deprem yüklerinin yapıya her iki yönde $\pm$ %5 dışmerkezlilikle etkimesi durumları da gözönüne alınmıştır. Hesaplarda yapı sisteminin kat diyaframları için rijit diyafram kabulü yapılmıştır.

Tablo 6.5 Sistem 1 düşey işletme yükleri

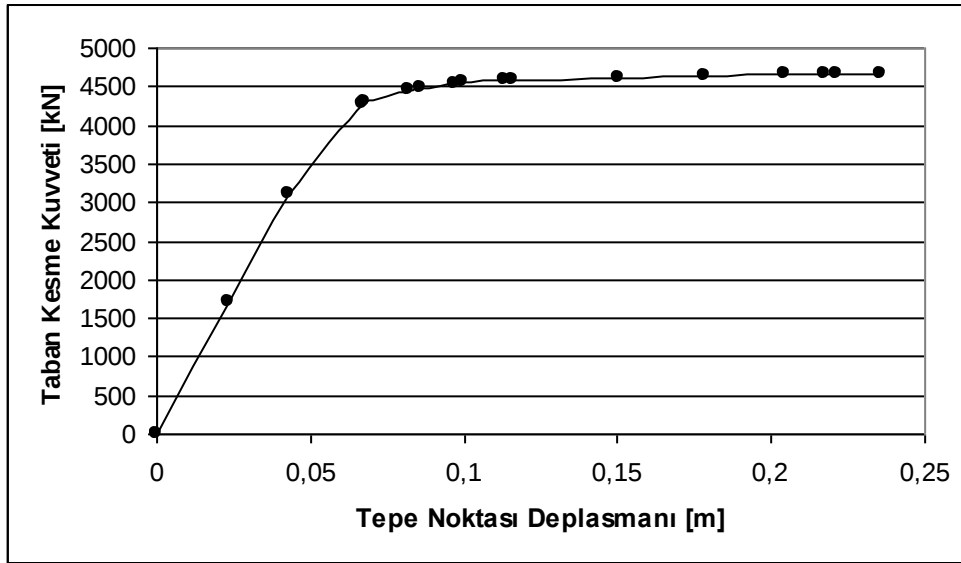
Aks	Kat	g (kN/m)	q (kN/m)
1,A	1-5	18.8	5.9
	6	11.6	3.3
2,B	1-5	23.8	6.8
	6	17.7	11.7
3,C	1-5	23.8	6.8
	6	17.7	11.7

Tablo 6.6 Sistem 1 eşdeğer deprem yükleri

Kat	Yükseklik (m)	F _x (kN)	F _y (kN)
6	18	627	627
5	15	732.6	732.6
4	12	586.3	586.3
3	9	439.7	439.7
2	6	293.2	293.2
1	3	146.6	146.6

Yapı genel bilgileri, tipik kat kalıp planı ve düşey enkesiti, taşıyıcı elemanlara ait kesit ve mevcut donatı bilgileri ile düşey ve yatay yükleri verilen yapı sistemi, sabit düşey yükler ve monoton olarak artan yatay yükler altında malzeme ve geometri değişimi bakımından lineer olmayan teoriye göre çözülerek kapasite diyagramı elde edilmiş ve Şekil 6.4 de gösterilmiştir.

Yapı sisteminin birinci doğal titreşim periyodu 0.75 sn, ikinci merteye limit yükü (yatay yük taşıma kapasitesi) $P_{LI} = 4662.0$ kN bulunmuştur.



Şekil 6.4 Sistem 1 kapasite diyagramı

Kapasite diyagramı elde edilen yapı sisteminin performans analizleri, kapasite spektrumu yöntemi ve deplasman katsayısı yöntemine göre ayrı ayrı yapılmış ve 4 farklı deprem hareketi için performans noktaları bulunmuştur. Bulunan sonuçlar [3] de bulunan sonuçlar ile karşılaştırılmış ve çalışma kapsamında geliştirilen bilgisayar programının verdiği sonuçlar değerlendirilmiştir, Tablo 6.7 ve Tablo 6.8.

Tablo 6.7 Sistem 1 kapasite spektrumu yöntemine göre performans analizi sonuçları

Deprem Seviyesi	V _t (kN)	V _t [3] (kN)	δ _t (cm)	δ _t [3] (cm)
D1	3232.7	3476.7	4.50	5.050
D2	4290.4	4376.2	6.60	7.50
D3	4596.7	4617.6	12.50	15.030
D4	II.Mertebe Limit Yük Aşılmıştır!			

Tablo 6.8 Sistem 1 deplasman katsayısı yöntemine göre performans analizi sonuçları

Deprem Seviyesi	V_t [SES] (kN)	V_t [3] (kN)	δ_t [SES] (cm)	δ_t [3] (cm)
D1	3618.4	3827	5.335	5.348
D2	4503.4	4495	8.892	8.708
D3	4636.9	4648	17.785	19.524
D4	II.Mertebe Limit Yük Aşılmıştır!			

Tabloların incelenmesinden de görülebileceği gibi bu yapı sistemi için elde edilen sonuçlar birbirine yeter derecede yakındır. Bulunan performans noktaları ve hedef deplasman değerleri arasında, bu yapı sistemi için ihmal edilebilecek derecede de olsa ufak bazı farklılıklar söz konusudur. Bu durumun nedeni, bölüm 4.4.2 de verilen deplasman katsayısı yöntemindeki etkin doğal periyot değerinin (T_e) [3] de yapının elastik periyoduna (T_i) eşit kabul edilmesidir. Çalışma kapsamında geliştirilen bilgisayar programı, gerçek kapasite eğrisini bölüm 4.4.2 deki esaslara göre idealleştirerek hesap yapmakta ve etkin doğal periyot değerini (T_e) (4.2) formülünde verildiği gibi hesaplamaktadır.

Gözönüne alınan 4 ayrı deprem hareketi için, yapı sisteminin performans noktaları (deplasman talepleri), kapasite spektrumu yöntemi ve deplasman katsayısı yöntemine göre ayrı ayrı belirlenmiştir. Bu aşamadan sonra yapı sistemi deplasman taleplerine (maksimum deplasman değerlerine) kadar lineer olmayan statik analiz ile itilmiş ve bu durumda yapı sisteminin kolon ve kirişlerinde oluşan plastik mafsalların sayıları ve ilgili performans aralıkları incelenmiştir, Tablo 6.9 ve Tablo 6.10.

Tablolardaki performans aralıklarını gösteren kısaltmalarla ilgili ayrıntılı bilgi dördüncü bölümde verilmiştir. Buna göre; IO hemen kullanım performans seviyesini, LS can güvenliği performans seviyesini, CP ise göçmenin önlenmesi performans seviyesini göstermektedir.

Tablo 6.9 Sistem 1 kapasite spektrumu yöntemine göre performans seviyeleri

Analiz Sonuçları	Deprem Seviyesi	Performans seviyelerine göre plastikleşen kesit sayısı							
		Kiriş				Kolon			
		<IO	IO-LS	LS-CP	>CP	<IO	IO-LS	LS-CP	>CP
Kaynak [3]	D1	20	-	-	-	-	-	-	-
	D2	188	-	-	-	3	-	-	-
	D3	94	148	31	-	3	33	-	-
	D4	II.Mertebe Limit Yük Aşılmıştır.							
Bulunan Hesap Sonuçları	D1	-	-	-	-	-	-	-	-
	D2	174	-	-	-	-	-	-	-
	D3	98	164	-	-	16	20	-	-
	D4	II.Mertebe Limit Yük Aşılmıştır.							

Kapasite spektrumu yöntemine göre yapılan performans analizlerinde; D1 ve D2 depremlerinde yapının [3] de olduğu gibi hemen kullanım performans seviyesinde (<IO) olduğu, D3 depreminde ise [3] de yapının sınırlı güvenlik performans aralığında (LS-CP) olduğu , ulaşılan hesap sonuçlarında ise yapının hasar kontrol performans aralığında (IO-LS) olduğu görülmektedir. Bu durum bu deprem etkisi altında hesaplanan deplasman talebinin [3] de bulunana göre biraz daha küçük olmasından kaynaklanmaktadır. D4 depreminde ise her iki durumda da yapı sisteminin ikinci mertebe limit yükünün aşıldığı, yapının bu deprem yüklemesi altında deplasman talebine ulaşmadan göçtüğü görülmektedir.

Tablo 6.10 Sistem 1 deplasman katsayısı yöntemine göre performans seviyeleri

Analiz Sonuçları	Deprem Seviyesi	Performans seviyelerine göre plastikleşen kesit sayısı							
		Kiriş				Kolon			
		<IO	IO-LS	LS-CP	>CP	<IO	IO-LS	LS-CP	>CP
Kaynak [3]	D1	48	-	-	-	-	-	-	-
	D2	214	5	-	-	14	-	-	-
	D3	99	42	158	-	-	15	21	-
	D4	II.Mertebe Limit Yük Aşılmıştır.							
SES Programı Sonuçları	D1	26	-	-	-	-	-	-	-
	D2	216	2	-	-	16	-	-	-
	D3	102	64	116	-	-	8	28	-
	D4	II.Mertebe Limit Yük Aşılmıştır.							

Yerdeğiştirme (deplasman) katsayısı yöntemine göre çalışma kapsamında geliştirilen bilgisayar programı ile yapılan performans analizlerinde ise; D1 depreminde yapının [3] de olduğu gibi hemen kullanım (<IO) performans seviyesinde olduğu, D2 depreminde ise yine [3] ile uyumlu olarak hasar kontrol performans aralığında (IO-LS) olduğu görülmektedir. D3 depreminde ise yapı yine hem [3] de hem de SES programı ile bulunan analiz sonuçlarında sınırlı güvenlik performans aralığında (LS-CP) kalmaktadır. D4 depreminde ise her iki durumda da yapı sisteminin ikinci mertebe limit yükünün aşıldığı, yapının bu deprem yüklemesi altında deplasman talebine ulaşmadan göçtüğü görülmektedir.

Burada incelenen performans seviyeleri FEMA-356 dökümanında tanımlanmış olan performans seviyeleridir. Söz konusu performans seviyeleri ülkemizdeki deprem yönetmeliğinde tanımlanan hasar durumları ile karşılaştırıldığında yaklaşık olarak yapılan bir eşleştirme ile; hafif şiddetteki depremlerde (D1) yapıların hemen kullanım (IO) performans seviyesinde, orta şiddetteki depremlerde (D2) hasar kontrol performans aralığında (IO-LS) ancak hemen kullanım performans seviyesine

daha yakın, şiddetli depremlerde ise (D3) can güvenliği performans seviyesinde (LS) veya ona çok yakın olması gerektiği kabul edilmiştir [3].

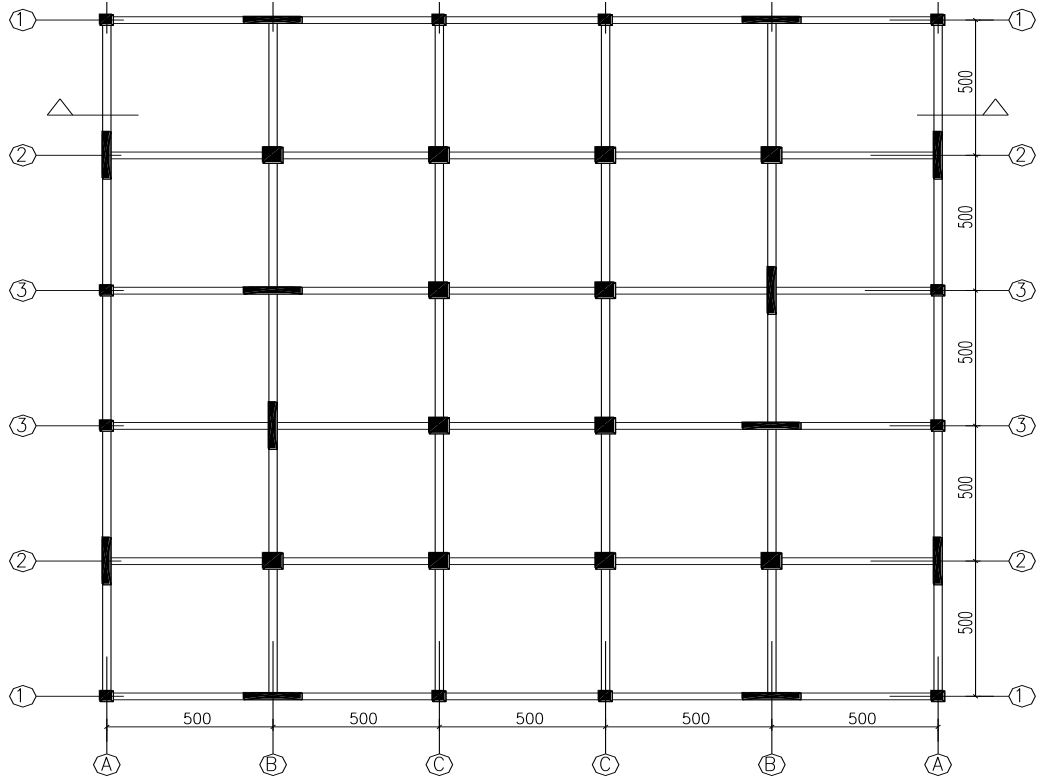
Bu durumda, sistem 1 olarak adlandırılan yapı sisteminin D1 ve D2 depremlerinde öngörülen düzeyde bir performans gösterdiği, D3 depreminde ise KSY'ne göre öngörülen düzeyde DKY'ne göre öngörülenin altında bir performans gösterdiği görülmektedir. Yapı ilgili deprem bölgesinde görülebilecek en büyük depremin (tasarım depremini aşan depremin) yüklerini ise taşıyamamaktadır.

6.2.2 Sistem 2

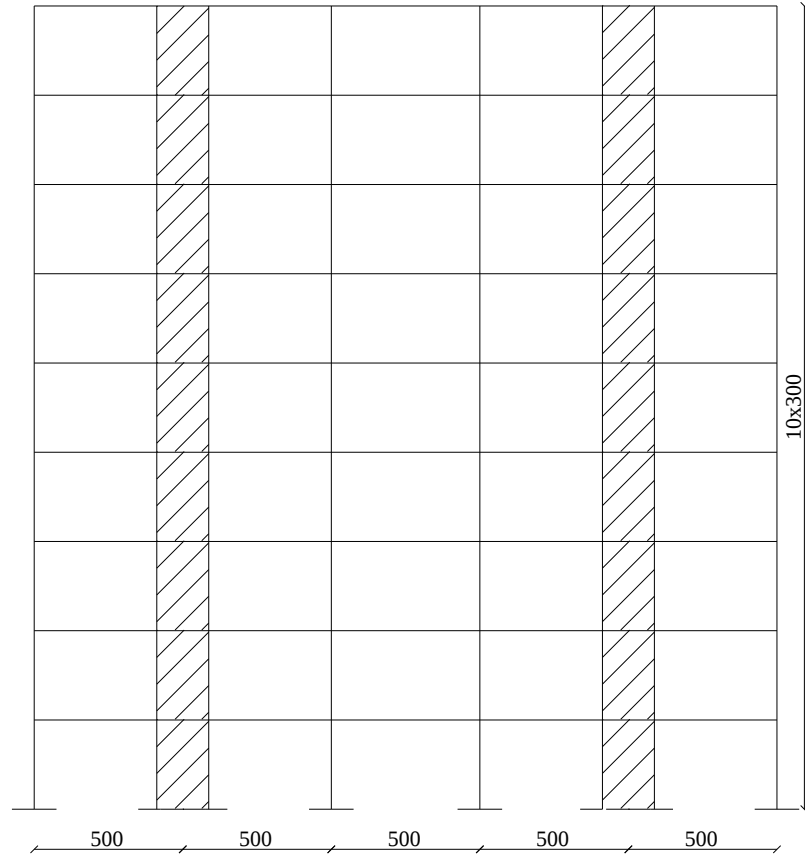
Yapı sistemi 10 katlı betonarme perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip, 1.derece deprem bölgesinde yer alan bir konut yapısı olup, ($A_o = 0.40$ ve $I = 1$) zemin sınıfı ABYYHY (1998)'de tanımlanan Z2 cinsi zemindir.

Yapının beton sınıfı C20, beton çeliği sınıfı S420 olup, hesaplarda lineer olmayan analiz yapıldığı için malzeme katsayıları 1 alınmıştır. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı R ise 7 alınmıştır.

Yapı sistemine ait tipik kat kalıp planı ve çerçeve düşey enkesiti sırasıyla Şekil 6.5 ve Şekil 6.6 da görülmektedir.



Şekil 6.5 Sistem 2 tipik kat kalıp planı



Şekil 6.6 Sistem 2 perde-çerçeve düşey enkesiti

Yapı sisteminin kiriş kesitlerine ait bilgiler Tablo 6.11 de, kolon ve perde kesitlerine ve mevcut kolon ve perde donatılarına ait bilgiler Tablo 6.12 de görülmektedir. Yapının mevcut kiriş donatıları ile ilgili bilgiler ekler bölümünde Tablo A.1 de verilmiştir. Tüm taşıyıcı elemanlarda paspayı 2.5 cm olup, mevcut kiriş donatı tablosundaki donatı alanları cm^2 cinsindendir.

Tablo 6.11 Sistem 2 kiriş kesit bilgileri

Aks	Açıklık	bw (cm)	h (cm)	b (cm)	hf (cm)
1,A	Kenar	25	50	65	15
	İç	25	50	55	15
2,3,B,C	Kenar	25	50	105	15
	İç	25	50	85	15

Tablo 6.12 Sistem 2 kolon ve perde kesitleri ve mevcut kolon ve perde donatıları

Kolon	Kat	b (cm)	h (cm)	Donatı
A1,C1,A3	Tüm Katlar	40	40	4Φ18 + 4Φ18
B1	Tüm Katlar	175	25	4Φ18 + 14Φ18
A2	Tüm Katlar	25	175	4Φ18 + 14Φ18
B2,C2,C3	1-4	60	60	4Φ18 + 12Φ18
	5-10	50	50	4Φ18 + 4Φ18
B3 (1.tip)	1-4	175	25	4Φ18 + 16Φ18
	5-10	175	25	4Φ18 + 14Φ18
B3 (2.tip)	1-4	25	175	4Φ18 + 18Φ18
	5-10	25	175	4Φ18 + 14Φ18

Yapı sisteminin kirişleri üzerindeki düşey işletme yükleri Tablo 6.13 de gösterilmiştir. ABYYHY (1998)'e göre hesaplanan eşdeğer deprem yükleri ise Tablo 6.14 de gösterilmiştir. Yapı her iki yönde simetrik olduğu için deprem yükleri de her iki yönde aynı olmaktadır. Eşdeğer deprem yüklerinin yapıya her iki yönde $\pm$ %5 dışmerkezlilikle etkimesi durumları da gözönüne alınmıştır. Hesaplarda yapı sisteminin kat diyaframları için rijit diyafram kabulü yapılmıştır.

Tablo 6.13 Sistem 2 düşey işletme yükleri

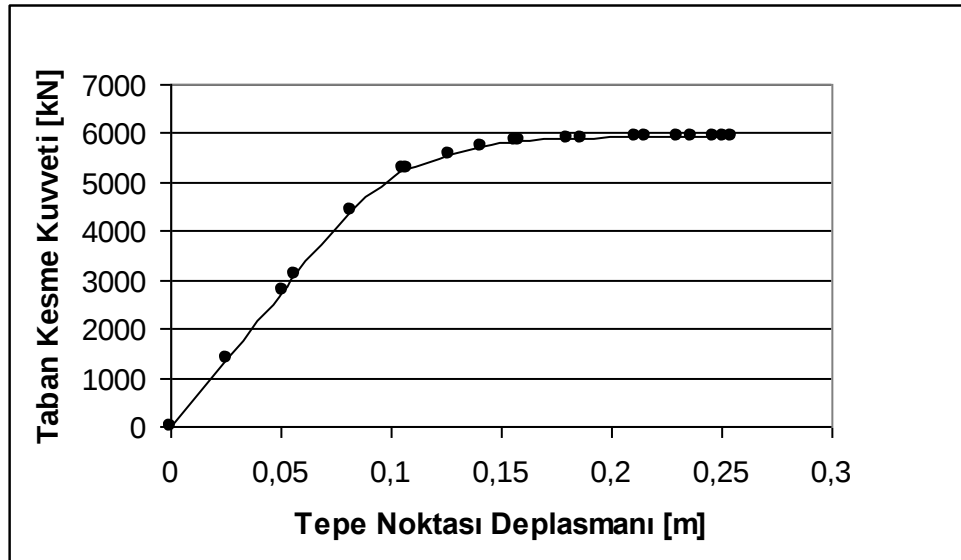
Aks	g (kN/m)	q (kN/m)
1,A	18.8	5.9
2,3,B,C	23.8	11.7

Tablo 6.14 Sistem 2 eşdeğer deprem yükleri

Kat	Yükseklik (m)	Deprem yükü (kN)
10	30	1037.8
9	27	639.7
8	24	568.6
7	21	497.5
6	18	426.4
5	15	355.4
4	12	288.9
3	9	216.6
2	6	144.4
1	3	72.2

Yapı genel bilgileri, tipik kat kalıp planı ve düşey enkesiti, taşıyıcı elemanlara ait kesit ve mevcut donatı bilgileri ile düşey ve yatay yükleri verilen yapı sistemi, sabit düşey yükler ve monoton olarak artan yatay yükler altında malzeme ve geometri değişimi bakımından lineer olmayan teoriye göre çözülerek kapasite diyagramı elde edilmiş ve Şekil 6.7 de gösterilmiştir.

Yapı sisteminin birinci doğal titreşim periyodu 1.1 sn, ikinci merteye limit yükü (yatay yük taşıma kapasitesi) $P_{LII} = 5938.3$ kN bulunmuştur.



Şekil 6.7 Sistem 2 kapasite diyagramı

Kapasite diyagramı elde edilen yapı sisteminin performans analizleri, kapasite spektrumu yöntemi ve deplasman katsayısı yöntemine göre ayrı ayrı yapılmış ve 4

farklı deprem hareketi için performans noktaları bulunmuştur. Bulunan sonuçlar [3] de bulunan sonuçlar ile karşılaştırılmış ve çalışma kapsamında geliştirilen bilgisayar programının verdiği sonuçlar değerlendirilmiştir, Tablo 6.15 ve Tablo 6.16.

Tablo 6.15 Sistem 2 kapasite spektrumu yöntemine göre performans analizi sonuçları

Deprem Seviyesi	V_t (kN)	V_t [3] (kN)	δ_t (cm)	δ_t [3] (cm)
D1	4450.8	4500.7	8.30	8.361
D2	5508.7	5489.5	12.10	12.032
D3	5905.4	5968.3	18.50	23.702
D4	II.Mertebe Limit Yük Aşılmıştır!			

Tablo 6.16 Sistem 2 deplasman katsayısı yöntemine göre performans analizi sonuçları

Deprem Seviyesi	V_t [SES] (kN)	V_t [3] (kN)	δ_t [SES] (cm)	δ_t [3] (cm)
D1	4480.1	4632	8.350	8.686
D2	5717.7	5739	13.940	14.307
D3	5938.5	5915	27.910	32.386
D4	II.Mertebe Limit Yük Aşılmıştır!			

Gözönüne alınan 4 ayrı deprem hareketi için, yapı sisteminin performans noktaları (deplasman talepleri), kapasite spektrumu yöntemi ve deplasman katsayısı yöntemine göre ayrı ayrı belirlenmiştir. Bu aşamadan sonra yapı sistemi deplasman taleplerine (maksimum deplasman değerlerine) kadar lineer olmayan statik analiz ile itilmiş ve bu durumda yapı sisteminin kolon, perde ve kirişlerinde oluşan plastik mafsalların sayıları ve ilgili performans aralıkları incelenmiştir, Tablo 6.17 ve Tablo 6.18.

Tablolarda parantez içindeki değerler perdelerde oluşan plastik mafsalları göstermektedir.

Tablo 6.17 Sistem 2 kapasite spektrumu yöntemine göre performans seviyeleri

Analiz Sonuçları	Deprem Seviyesi	Performans seviyelerine göre plastikleşen kesit sayısı							
		Kiriş				Kolon (Perde)			
		<IO	IO-LS	LS-CP	>CP	<IO	IO-LS	LS-CP	>CP
Kaynak [3]	D1	50	-	-	-	(3)	-	-	-
	D2	336	-	-	-	1(6)	-	-	-
	D3	249	300	1	-	5	19(6)	-	-
	D4	II.Mertebe Limit Yük Aşılmıştır.							
Bulunan Hesap Sonuçları	D1	40	-	-	-	-	-	-	-
	D2	349	-	-	-	1(6)	-	-	-
	D3	369	150	-	-	22	2(6)	-	-
	D4	II.Mertebe Limit Yük Aşılmıştır.							

Tablo 6.18 Sistem 2 deplasman katsayısı yöntemine göre performans seviyeleri

Analiz Sonuçları	Deprem Seviyesi	Performans seviyelerine göre plastikleşen kesit sayısı							
		Kiriş				Kolon (Perde)			
		<IO	IO-LS	LS-CP	>CP	<IO	IO-LS	LS-CP	>CP
Kaynak [3]	D1	75	-	-	-	(4)	-	-	-
	D2	427	1	-	-	2(6)	-	-	-
	D3	158	250	188	-	2	23	1(6)	-
	D4	II.Mertebe Limit Yük Aşılmıştır.							
SES Programı Sonuçları	D1	48	-	-	-	(4)	-	-	-
	D2	418	-	-	-	2(6)	-	-	-
	D3	179	293	117	-	-	24	(6)	-
	D4	II.Mertebe Limit Yük Aşılmıştır.							

Kapasite spektrumu yöntemine göre yapılan performans analizlerinde; D1 ve D2 depremlerinde yapının [3] de olduğu gibi hemen kullanım performans seviyesinde (<IO) olduğu, D3 depreminde ise [3] de yapının sınırlı güvenlik performans aralığında (LS-CP) olduğu, ulaşılan hesap sonuçlarında ise yapının hasar kontrol performans aralığında (IO-LS) olduğu görülmektedir. D4 depreminde ise her iki durumda da yapı sisteminin ikinci mertebe limit yükünün aşıldığı, yapının bu deprem yüklemesi altında deplasman talebine ulaşmadan göçtüğü görülmektedir.

Yerdeğiştirme (deplasman) katsayısı yöntemine göre çalışma kapsamında geliştirilen bilgisayar programı ile yapılan performans analizlerinde ise; D1 depreminde yapının [3] de olduğu gibi hemen kullanım (<IO) performans seviyesinde olduğu, D2 depreminde ise yine [3] ile uyumlu olarak hasar kontrol performans aralığında (IO-LS) olduğu görülmektedir. D3 depreminde ise yapı yine hem [3] de hem de SES programı ile bulunan analiz sonuçlarında sınırlı güvenlik performans aralığında (LS-CP) kalmaktadır. D4 depreminde ise her iki durumda da yapı sisteminin ikinci mertebe limit yükünün aşıldığı, yapının bu deprem yüklemesi altında deplasman talebine ulaşmadan göçtüğü görülmektedir.

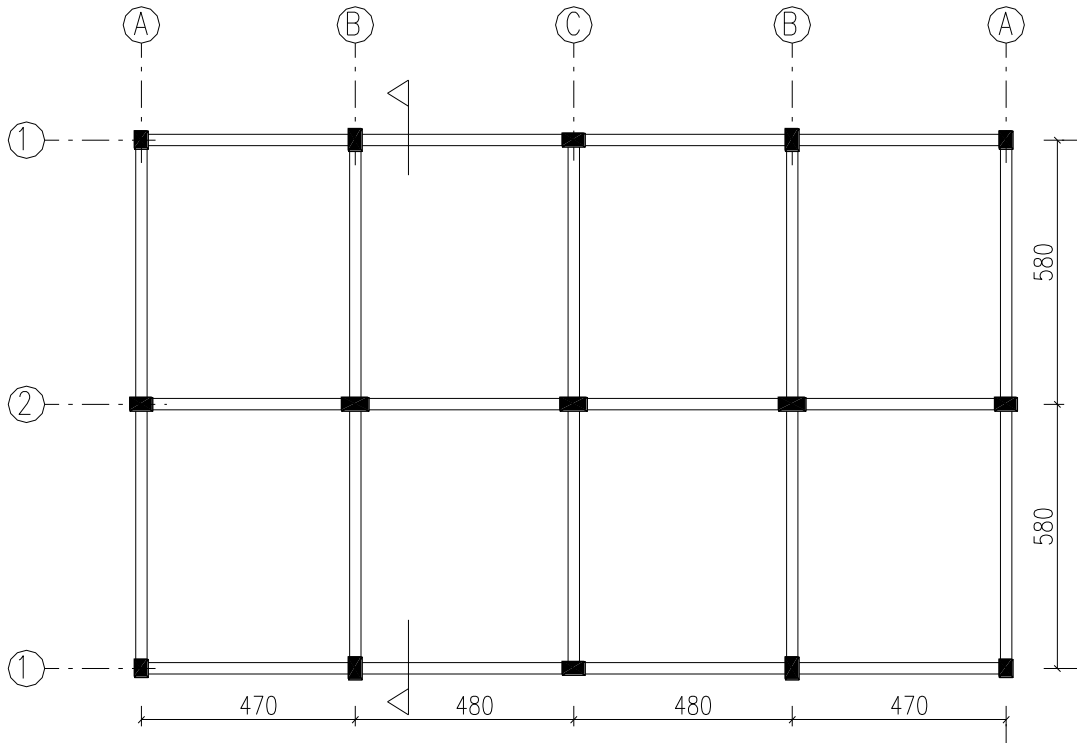
Bu durumda, sistem 2 olarak adlandırılan yapı sisteminin D1 ve D2 depremlerinde öngörülen düzeyde bir performans gösterdiği, D3 depreminde ise KSY'ne göre öngörülen düzeyde DKY'ne göre öngörülenin altında bir performans gösterdiği görülmektedir. Tasarım depremini aşan D4 depreminde ise yapı, bu deprem yüklemesini taşıyamamakta ve deplasman talebine ulaşmadan göçmektedir.

6.2.3 Sistem 3A

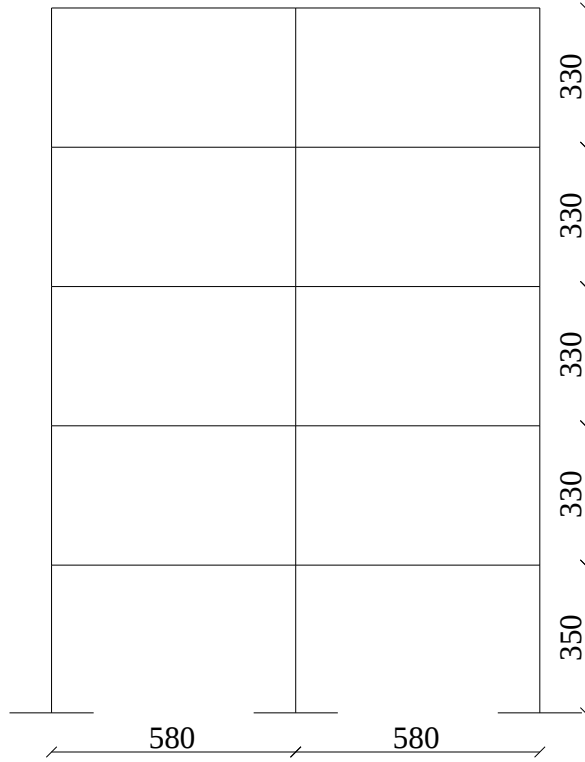
Yapı sistemi 5 katlı betonarme çerçeve taşıyıcı sisteme sahip, 1.derece deprem bölgesinde yer alan bir konut yapısı olup, ($A_o = 0.40$ ve $I = 1$) zemin sınıfı ABYYHY (1998)'de tanımlanan Z3 cinsi zemindir.

Taşıyıcı sistemi oluşturan yapı elemanları, ABYYHY (1975)'e göre boyutlandırılmıştır. Yapının beton sınıfı C20, beton çeliği sınıfı S420 olup, hesaplarda lineer olmayan analiz yapıldığı için malzeme katsayıları 1 alınmıştır.

Yapı sistemine ait tipik kat kalıp planı ve çerçeve düşey enkesiti sırasıyla Şekil 6.8 ve Şekil 6.9 da görülmektedir.



Şekil 6.8 Sistem 3A tipik kat kalıp planı



Şekil 6.9 Sistem 3A çerçeve düşey enkesiti

Yapı sisteminin 1975 deprem yönetmeliğine göre belirlenen kiriş ve kolon kesit boyutları sırasıyla Tablo 6.19 ve Tablo 6.20 de verilmiştir. Kiriş kesit boyutları tüm katlarda aynıdır.

Tablo 6.19 Sistem 3A kiriş kesit bilgileri

Aks	Açıklık	h (cm)	b (cm)	bw (cm)	hf (cm)
A	Kenar	50	71.4	25	12
B,C	Kenar	50	117.8	25	12
1	Kenar	50	62.6	25	12
	İç	50	53.8	25	12
2	Kenar	50	100.2	25	12
	İç	50	82.6	25	12

Tablo 6.20 Sistem 3A kolon kesit bilgileri

Aks	Kat	b (cm)	h (cm)
A1	1-5	30	40
B1	1-2-3	30	50
	4-5	30	40
C1	1-2-3	50	30
	4-5	40	30
A2	1-2-3	50	30
	4-5	40	30
B2	1-2-3	60	30
	4-5	40	30
C2	1-2-3	60	30
	4-5	40	30

Yapı sisteminin mevcut kiriş donatılarına ait bilgiler Tablo 6.21 de, mevcut kolon donatılarına ait bilgiler Tablo 6.22 de verilmiştir. Tüm taşıyıcı elemanlarda paspayları 4 cm'e eşittir.

Tablo 6.21 Sistem 3A mevcut kiriş donatıları

Aks	Açıklık	Kat	Sol-üst	Sol-alt	Sağ-üst	Sağ-alt
A	Kenar	1-2-3	2Φ20+2Φ16	4Φ16	3Φ20+2Φ16	4Φ16
		4-5	2Φ18+2Φ16	4Φ16	3Φ18+2Φ16	4Φ16
B	Kenar	1-2-3	2Φ20+3Φ16	4Φ16	5Φ20+3Φ16	4Φ16
		4-5	2Φ20+3Φ14	4Φ16	4Φ20+3Φ14	4Φ16
C	Kenar	1-2-3	5Φ22+3Φ14	4Φ16	5Φ22+3Φ14	4Φ16
		4-5	4Φ22+2Φ16	4Φ16	4Φ22+2Φ16	4Φ16
1	Kenar	1-2-3	2Φ20+3Φ14	4Φ16	2Φ20+3Φ14	4Φ16
		4-5	2Φ20+2Φ14	4Φ16	2Φ20+2Φ14	4Φ16
	İç	1-2-3	2Φ20+3Φ14	4Φ16	2Φ20+3Φ14	4Φ16
		4-5	2Φ20+2Φ14	4Φ16	2Φ20+2Φ14	4Φ16
2	Kenar	1-2-3	2Φ20+3Φ14	4Φ16	2Φ20+3Φ14	4Φ16
		4-5	2Φ20+2Φ14	4Φ16	2Φ20+2Φ14	4Φ16
	İç	1-2-3	2Φ20+3Φ14	4Φ16	2Φ20+3Φ14	4Φ16
		4-5	2Φ20+2Φ14	4Φ16	2Φ20+2Φ14	4Φ16

Tablo 6.22 Sistem 3A mevcut kolon donatıları

Aks	Kat	Donatı
A1	1-5	4Φ16 + 4Φ16
B1	1-2-3	4Φ20 + 4Φ20
	4-5	4Φ16 + 4Φ16
C1	1-2-3	4Φ20 + 4Φ20
	4-5	4Φ14 + 4Φ14
A2	1-2-3	4Φ20 + 4Φ20
	4-5	4Φ14 + 4Φ14
B2	1-2-3	4Φ20 + 6Φ20
	4-5	4Φ16 + 4Φ16
C2	1-2-3	4Φ20 + 6Φ20
	4-5	4Φ16 + 4Φ16

Yapı sisteminde, betonarme kat döşemeleri üzerinde 1.5 kN/m² kaplama yükü mevcut olup, hareketli yük 2 kN/m² dir. Dış cephe kirişleri üzerinde 5 kN/m duvar

yükü bulunmaktadır. Çatı katı kirişleri üzerinde duvar yükü yoktur. Buna bağlı olarak hesaplanan kirişlerin üzerindeki düşey işletme yükleri Tablo 6.23 de görülmektedir.

Tablo 6.23 Sistem 3A düşey işletme yükleri

Aks	Yük cinsi	Döşeme yükü		Duvar yükü (kN/m)
		g (kN/m)	q (kN/m)	
A	Trapez	10.6	4.7	5.00
B	Trapez	21.4	9.5	-
C	Trapez	21.6	9.6	-
1-Kenar	Üçgen	10.6	4.7	5.00
1-İç	Üçgen	10.8	4.8	5.00
2-Kenar	Üçgen	21.2	9.4	-
2-İç	Üçgen	21.6	9.6	-

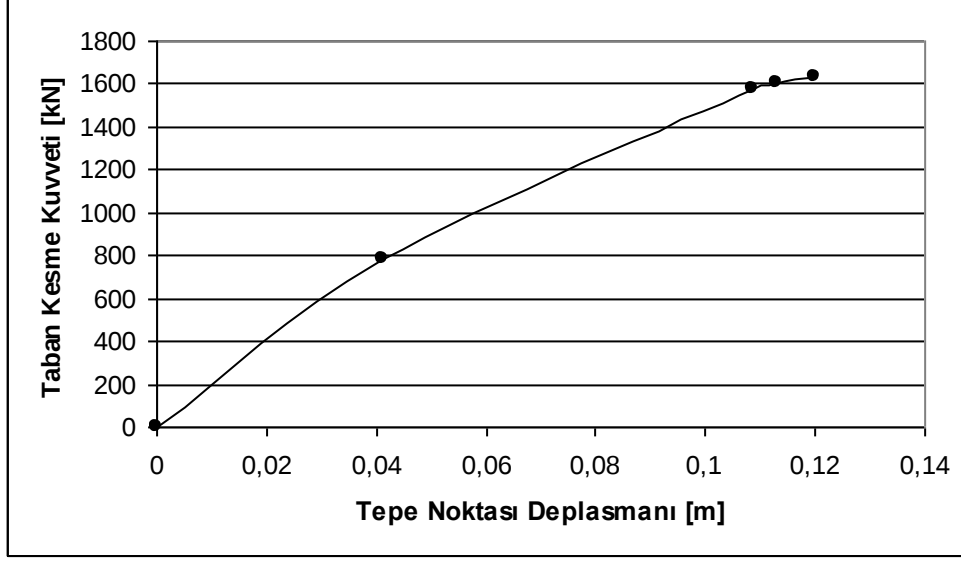
Birinci derece deprem bölgesi için, sistemin dinamik karakteristiklerine bağlı olarak hesaplanan eşdeğer deprem kuvvetleri Tablo 6.24 de verilmiştir. Eşdeğer deprem yüklerinin yapıya $\pm$ %5 dışmerkezlilikle etkimesi durumları da gözönüne alınmıştır. Hesaplarda yapı sisteminin kat diyaframları için rijit diyafram kabülü yapılmıştır.

Tablo 6.24 Sistem 3A eşdeğer deprem yükleri

Kat	Yükseklik (m)	F _x (kN)	F _y (kN)
5	16.7	626.6	556.1
4	13.4	596.9	529.7
3	10.1	457.1	405.7
2	6.8	307.8	273.1
1	3.5	159.4	141.4

Yapı genel bilgileri, tipik kat kalıp planı ve düşey enkesiti, taşıyıcı elemanlara ait kesit ve mevcut donatı bilgileri ile düşey ve yatay yükleri verilen yapı sistemi, sabit düşey yükler ve monoton olarak artan yatay yükler altında malzeme ve geometri değişimi bakımından lineer olmayan teoriye göre çözülerek kapasite diyagramı elde edilmiş ve Şekil 6.10 da gösterilmiştir.

Yapı sisteminin birinci doğal titreşim periyodu 0.72 sn, ikinci merteye limit yükü (yatay yük taşıma kapasitesi) $P_{LII} = 1630.9$ kN bulunmuştur.



Şekil 6.10 Sistem 3A kapasite diyagramı

Sistemin kapasite diyagramından da görülebileceği gibi, 1975 deprem yönetmeliğine göre boyutlandırılmış olan yapının yatay yük taşıma kapasitesi 1630.9 kN olup, bu değer 1998 deprem yönetmeliğine göre hesaplanan taban kesme kuvvetinden daha küçüktür. Bu sonuç yapı sisteminin 1998 deprem yönetmeliğindeki tasarım depreminin yüklerini karşılayamadığı anlamına gelmektedir. Sisteme ait performans analizlerinin sonuçlarını gösteren Tablo 6.25 de, bu durum daha açık bir şekilde görülebilir.

Tablo 6.25 Sistem 3A performans analizi sonuçları

Yöntem	Deprem Seviyesi	V_T (kN)	δ_t (cm)
KSY ATC40	D1	961.57	5.60
	D2	1318.14	8.70
	D3	II.Mertebe Limit Yük Aşılmıştır.	
	D4	II.Mertebe Limit Yük Aşılmıştır.	
DKY FEMA356	D1	1057.6	6.44
	D2	1561.03	10.73
	D3	II.Mertebe Limit Yük Aşılmıştır.	
	D4	II.Mertebe Limit Yük Aşılmıştır.	

Gözönüne alınan 4 ayrı deprem hareketi için, yapı sisteminin performans noktaları (deplasman talepleri), kapasite spektrumu yöntemi ve deplasman katsayısı yöntemine göre ayrı ayrı belirlenmiştir. Bu aşamadan sonra yapı sistemi deplasman taleplerine (maksimum deplasman değerlerine) kadar lineer olmayan statik analiz ile itilmiş ve bu durumda yapı sisteminin kolon ve kirişlerinde oluşan plastik mafsalların sayıları ve ilgili performans aralıkları Tablo 6.26 da incelenmiştir.

Tablo 6.26 Sistem 3A performans seviyeleri

Yöntem	Deprem Seviyesi	Performans seviyelerine göre plastikleşen kesit sayısı							
		Kiriş				Kolon			
		<IO	IO-LS	LS-CP	>CP	<IO	IO-LS	LS-CP	>CP
KSY ATC40	D1	10	-	-	-	-	-	-	-
	D2	32	-	-	-	-	-	-	-
	D3	II.Mertebe Limit Yük Aşılmıştır.							
	D4	II.Mertebe Limit Yük Aşılmıştır.							
DKY FEMA356	D1	18	-	-	-	-	-	-	-
	D2	41	10	-	-	6	-	-	-
	D3	II.Mertebe Limit Yük Aşılmıştır.							
	D4	II.Mertebe Limit Yük Aşılmıştır.							

Tablodan da görülebileceği gibi, yapı sistemi D1 depreminde her iki yönteme göre de hemen kullanım (<IO) performans seviyesindedir. D2 depremi etkisinde ise kapasite spektrumu yöntemine göre hemen kullanım (<IO) performans seviyesinde, deplasman katsayısı yöntemine göre ise hasar kontrol performans aralığında (IO-LS) yer almaktadır.

D3 ve D4 depremlerinde ise her iki yönteme ait çözümde de yapı sisteminde ikinci mertebe limit yük aşılmakta, yapı bu depremin yüklerini taşıyamayıp göçmektedir.

Buna göre, yapı hafif ve orta şiddetteki depremlerde öngörülenin üzerinde bir performans gösterirken, şiddetli ve çok şiddetli depremde (tasarım depremini aşan

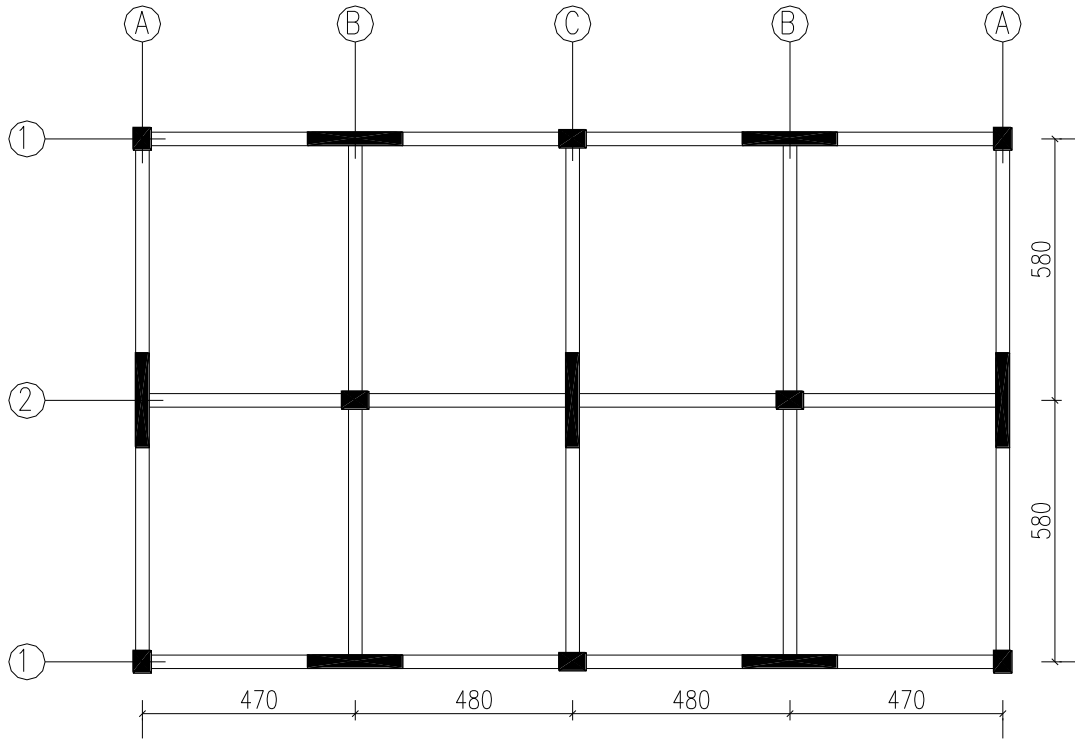
depremde) öngörülenin altında bir performans göstermekte olup taşıma gücünü kaybetmektedir.

6.2.4 Sistem 3B

Yapı sistemi, sistem 3A ile aynı geometri (her iki yönde aynı yapı boyutları, kat sayısı, kat yüksekliği) ve malzeme özelliklerine sahiptir. Yapı 1998 deprem yönetmeliğine uygun olarak güçlendirilmiş ve taşıyıcı sisteme perdeler ilave edilmiştir. Birinci derece deprem bölgesinde yer alan bir konut yapısı olup, ($A_0 = 0.40$ ve $I = 1$) zemin sınıfı ABYYHY (1998)'de tanımlanan Z3 cinsi zemindir.

Yapının beton sınıfı C20, beton çeliği sınıfı S420 olup, hesaplarda lineer olmayan analiz yapıldığı için malzeme katsayıları 1 alınmıştır. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı R ise 4 alınmıştır.

Yapı sistemine ait tipik kat kalıp planı Şekil 6.11 de görülmekte olup, çerçeve düşey enkesiti sistem 3A ile aynıdır.



Şekil 6.11 Sistem 3B tipik kat kalıp planı

Yapı sisteminin 1998 deprem yönetmeliğine göre belirlenen kiriş, kolon ve perde kesit boyutları sırasıyla Tablo 6.27 ve Tablo 6.28 de verilmiştir. Kiriş kesit boyutları tüm katlarda aynıdır.

Tablo 6.27 Sistem 3B kiriş kesit bilgileri

Aks	Açıklık	h (cm)	b (cm)	bw (cm)	hf (cm)
A	Kenar	60	76.4	30	15
B,C	Kenar	60	122.8	30	15
1	Kenar	60	67.6	30	15
	İç	60	58.8	30	15
2	Kenar	60	105.2	30	15
	İç	60	87.6	30	15

Tablo 6.28 Sistem 3B kolon ve perde kesit bilgileri

Aks	Kat	b (cm)	h (cm)
A1	1-5	40	50
B1	1-5	210	30
C1	1-2-3	60	40
	4-5	50	40
A2	1-5	30	210
B2	1-2-3	60	40
	4-5	50	40
C2	1-5	30	210

Yapı sisteminin mevcut kiriş donatılarına ait bilgiler Tablo 6.29 da, mevcut kolon ve perde donatılarına ait bilgiler Tablo 6.30 da verilmiştir. Tüm taşıyıcı elemanlarda paspayları 4 cm'e eşittir.

Tablo 6.29 Sistem 3B mevcut kiriş donatıları

Aks	Açıklık	Kat	Sol-üst	Sol-alt	Sağ-üst	Sağ-alt
A	Kenar	1-2-3	4Φ16+2Φ22	3Φ14+2Φ20	4Φ16+2Φ22	3Φ14+2Φ20
		4-5	3Φ16+2Φ22	3Φ14+1Φ20	3Φ16+2Φ22	3Φ14+1Φ20
B	Kenar	1-2-3	4Φ16+2Φ22	4Φ16	4Φ16+2Φ22	4Φ16
		4-5	3Φ16+2Φ20	4Φ16	3Φ16+2Φ20	4Φ16
C	Kenar	1-2-3	3Φ16+2Φ26	4Φ20	3Φ16+2Φ26	4Φ20
		4-5	3Φ16+2Φ22	4Φ16	3Φ16+2Φ22	4Φ16
1	Kenar	1-2-3	4Φ16+3Φ22	4Φ16+2Φ22	4Φ16+3Φ22	4Φ16+2Φ22
		4-5	4Φ16+2Φ22	4Φ20	4Φ16+2Φ22	4Φ20
	İç	1-2-3	4Φ16+3Φ22	4Φ16+2Φ22	4Φ16+3Φ22	4Φ16+2Φ22
		4-5	4Φ16+2Φ22	4Φ20	4Φ16+2Φ22	4Φ20
2	Kenar	1-2-3	3Φ16+2Φ20	4Φ16	3Φ16+2Φ20	4Φ16
		4-5	4Φ16+1Φ22	4Φ16	4Φ16+1Φ22	4Φ16
	İç	1-2-3	3Φ16+2Φ20	4Φ16	3Φ16+2Φ20	4Φ16
		4-5	4Φ16+1Φ22	4Φ16	4Φ16+1Φ22	4Φ16

Tablo 6.30 Sistem 3B mevcut kolon ve perde donatıları

Aks	Kat	Donatı
A1	1-5	4Φ20+4Φ20
B1	1-5	4Φ20+28Φ20
C1	1-2-3	4Φ16+8Φ16
	4-5	4Φ16+8Φ16
A2	1-5	4Φ20+28Φ20
B2	1-2-3	4Φ20+4Φ20
	4-5	4Φ20+4Φ20
C2	1-5	4Φ20+28Φ20

Yapı sisteminin düşey işletme yükleri Tablo 6.31 de, birinci derece deprem bölgesi için, sistemin dinamik karakteristiklerine bağlı olarak hesaplanan eşdeğer deprem kuvvetleri Tablo 6.32 de verilmiştir. Yapının her iki yöndeki spektrum katsayısı aynı olduğundan, ($T_y = 0.51$ sn, $T_x = 0.45$ sn) deprem yükleri de her iki yönde aynıdır. Eşdeğer deprem yüklerinin yapıya $\pm$ %5 dışmerkezlilikle etkimesi durumları da

gözönüne alınmıştır. Hesaplarda yapı sisteminin kat diyaframları için rijit diyafram kabülü yapılmıştır.

Tablo 6.31 Sistem 3B düşey işletme yükleri

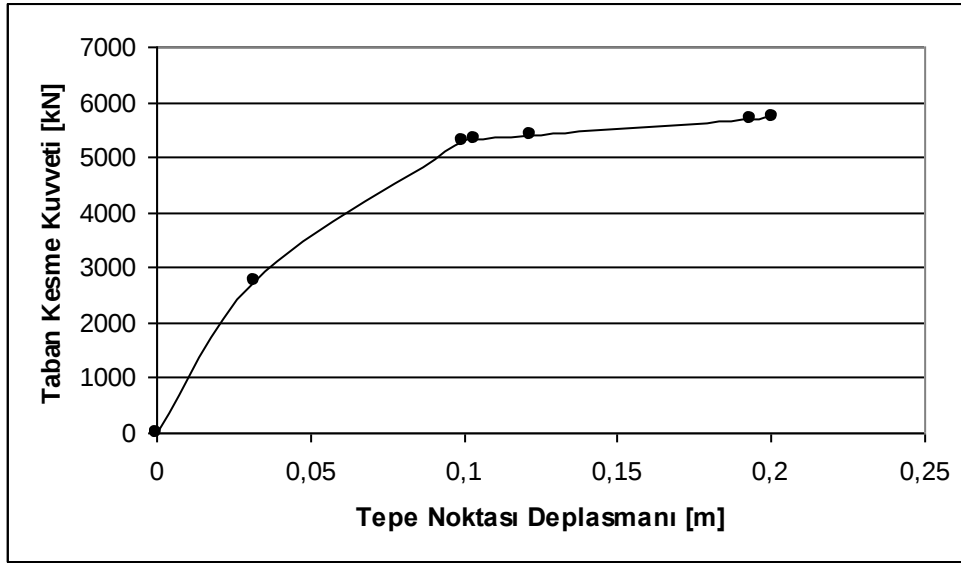
Aks	Yük cinsi	Döşeme yükü		Duvar yükü (kN/m)
		g (kN/m)	q (kN/m)	
A	Trapez	12.0	5.0	5.0
B	Trapez	24.0	10.0	-
C	Trapez	24.0	10.0	-
1-Kenar	Üçgen	12.0	5.0	5.0
1-İç	Üçgen	12.0	5.0	5.0
2-Kenar	Üçgen	24.0	10.0	-
2-İç	Üçgen	24.0	10.0	-

Tablo 6.32 Sistem 3B eşdeğer deprem yükleri

Kat	Yükseklik (m)	F _x (kN)	F _y (kN)
5	16.7	878.8	878.8
4	13.4	782.4	782.4
3	10.1	592.6	592.6
2	6.8	399.0	399.0
1	3.5	208.1	208.1

Yapı genel bilgileri, tipik kat kalıp planı, taşıyıcı elemanlara ait kesit ve mevcut donatı bilgileri ile düşey ve yatay yükleri verilen yapı sistemi, sabit düşey yükler ve monoton olarak artan yatay yükler altında malzeme ve geometri değişimi bakımından lineer olmayan teoriye göre çözümlenerek kapasite diyagramı elde edilmiş ve Şekil 6.12 de gösterilmiştir.

Yapı sisteminin ikinci mertebe limit yükü (yatay yük taşıma kapasitesi) $P_{LII} = 5730.1$ kN bulunmuştur.



Şekil 6.12 Sistem 3B kapasite eğrisi

Kapasite diyagramından da görülebileceği gibi taşıyıcı sistemi ABYYHY (1998)'e göre güçlendirilmiş olan perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip olan yapı sisteminin yatay yük taşıma kapasitesi, sistem 3A ile karşılaştırıldığında 3.5 kat daha fazladır. Sistem 3A, 1998 deprem yönetmeliğindeki tasarım depreminin yüklerini bile karşılayamazken, sistem 3B, performans analizi ve performans seviyelerini gösteren Tablo 6.33 ve Tablo 6.34 tablolarından da görülebileceği gibi çok daha tatminkar sonuçlar vermektedir.

Tablo 6.33 Sistem 3B performans analizi sonuçları

Yöntem	Deprem Seviyesi	V_T (kN)	δ_t (cm)
ATC40 KSY	D1	3065.03	4.00
	D2	3916.49	6.30
	D3	5335.07	10.70
	D4	5622.67	17.30
FEMA356 DKY	D1	3059.58	3.98
	D2	4045.40	6.64
	D3	5511.14	14.51
	D4	II.Mertebe Limit Yük Aşılmıştır.	

Gözönüne alınan 4 ayrı deprem hareketi için, yapı sisteminin performans noktaları (deplasman talepleri), kapasite spektrumu yöntemi ve deplasman katsayısı yöntemine göre ayrı ayrı belirlenmiştir. Bu aşamadan sonra yapı sistemi deplasman taleplerine (maksimum deplasman değerlerine) kadar lineer olmayan statik analiz ile itilmiş ve bu durumda yapı sisteminin kolon ve kirişlerinde oluşan plastik mafsalların sayıları ve ilgili performans aralıkları incelenmiştir. Tablo 6.34 de parantez içindeki değerler perdelerde oluşan plastik mafsalları göstermektedir.

Tablo 6.34 Sistem 3B performans seviyeleri

Yöntem	Deprem Seviyesi	Performans seviyelerine göre plastikleşen kesit sayısı							
		Kiriş				Kolon (Perde)			
		<IO	IO-LS	LS-CP	>CP	<IO	IO-LS	LS-CP	>CP
ATC40 KSY	D1	9	-	-	-	-	-	-	-
	D2	30	-	-	-	20(4)	-	-	-
	D3	86	7	-	-	12(0)	24(4)	-	-
	D4	15	81	4	-	4(0)	14(0)	20(4)	-
FEMA356 DKY	D1	9	-	-	-	-	-	-	-
	D2	30	-	-	-	26(4)	-	-	-
	D3	64	34	-	-	4(0)	28(4)	6(0)	-
	D4	II.Mertebe Limit Yük Aşılmıştır.							

Tablodan da görülebileceği gibi, yapı sistemi D1 ve D2 depremlerinde her iki yönteme göre de hemen kullanım (<IO) performans seviyesindedir. D3 depremi etkisinde ise kapasite spektrumu yöntemine göre hasar kontrol (IO-LS) performans aralığında, deplasman katsayısı yöntemine göre ise sınırlı güvenlik performans aralığında (LS-CP) yer almaktadır. D4 depreminde ise kapasite spektrumu yöntemine göre sınırlı güvenlik (LS-CP) performans aralığında yer alırken, bu deprem etkisi altında deplasman katsayısı yöntemine göre yapılan çözümde ise yapı sisteminin ikinci mertebe limit yükü aşılmaktadır. Bu yöntemle D4 depremi için bulunan

performans noktasına karşı gelen yatay yük 5840 kN olup, bu değer yapı sisteminin yatay yük taşıma kapasitesinin biraz üzerindedir.

Buna göre, yapı hafif ve orta şiddetteki depremlerde 1998 deprem yönetmeliğinde öngörülenin üzerinde, şiddetli deprem etkisinde ise yönetmelikte öngörülen performansı göstermektedir. Çok şiddetli deprem (tasarım depremini aşan deprem) etkisi altında bile yapı sisteminin performansı taşıma gücü civarında kalmakta olup, performans noktası, kapasite spektrumu yönteminde yatay yük taşıma kapasitesinin biraz altında, deplasman katsayısı yönteminde ise yatay yük taşıma kapasitesinin biraz üstünde yer almaktadır.

Bu sonuçlar ile sistem 3A ve sistem 3B olarak isimlendirilen yapı sistemleri özelinde genel bir yargıya varılmaya çalışılmış, yapı sistemlerinin ABYYHY (1998)'e uygun olarak boyutlandırılmasının ve yapı taşıyıcı sistemine perdeler eklenmesinin, yatay yük taşıma kapasitesini ve farklı deprem hareketleri altındaki yapı performansını, dolayısıyla yapının deprem güvenliğini çok önemli miktarda artırdığına dikkat çekilmek istenmiştir.

7. SONUÇLAR

1) Yapı sistemlerinin deprem güvenliklerinin gerçekçi bir şekilde belirlenebilmesi için, öngörülen deprem hareketi altında yapıların performans noktaları ve performans seviyeleri belirlenmeli, bulunan sonuçlar yapıdan beklenen performans hedefleri çerçevesinde değerlendirilmelidir.

2) Deprem bölgesindeki bir yapının farklı deprem hareketleri etkisi altındaki performans seviyelerinin hesaplanabilmesi için, ilgili deprem etkisi altındaki deplasman talebinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaca yönelik olarak yapılan çalışmalarda, hesapların daha hızlı, pratik ve gerçeğe yakın olarak yapılabilmesi için basitleştirilmiş lineer olmayan analiz yöntemlerinin (kapasite spektrumu yöntemi, deplasman katsayısı yöntemi vd.) kullanılmasının uygun olacağı düşünülmektedir.

3) Bu çalışma kapsamında, yapı sistemlerinin deprem güvenliklerinin belirlenmesi amacıyla deplasman katsayısı yöntemini kullanarak yapıların performans noktalarını belirleyen bir bilgisayar programı (SES) geliştirilmiştir.

4) Geliştirilen bilgisayar programı, yapı sistemlerinin lineer olmayan analiz sonucunda elde edilen gerçek kapasite eğrilerini, iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirmekte ve bir ardışık yaklaşım yöntemi kullanarak, farklı deprem hareketleri altında yapı sistemlerinin performans noktalarını hesaplamaktadır.

5) Programın yakınsaklık hızı, başlangıçta performans noktası ve idealleştirilmiş kapasite eğrisini oluşturan doğruların kesişim noktası için yapılan tahminlerin gerçek değerlere yakınlığına bağlı olarak değişmekte olup, çalışma kapsamında incelenen yapı sistemleri için çoğunlukla ikinci adımda sonuca ulaşılmıştır.

6) Sayısal örnekler bölümünde incelenen ilk iki yapı sistemi daha önce [3] de performans noktaları hesaplanmış sistemler olup, bu yapı sistemleri çalışma kapsamında geliştirilen bilgisayar programının verdiği sonuçları doğrulamak amacıyla ele alınmıştır. Her iki yöntemle göre (kapasite spektrumu yöntemi ve deplasman katsayısı yöntemi) yapılan değerlendirmelerde bulunan sonuçların [3] de bulunan sonuçlara yeter derecede yakın olduğu görülmüştür.

7) İlk iki yapı sistemi için, çalışma kapsamında geliştirilen SES bilgisayar programının verdiği sonuçlar ile [3] de bulunan sonuçlar arasında ihmal edilebilecek mertebede de olsa bir miktar farklılıklar bulunmaktadır. Bu durumun nedeni, [3] de çözülen yapı sistemleri için etkin doğal periyot (T_e) değerinin yapının elastik

periyoduna (T_i) eşit kabul edilmesidir. SES programı etkin doğal periyot değerini FEMA356'da verilen formülasyona uygun olarak hesaplamaktadır. Buna bağlı olarak elde edilen sonuçların gerçeğe daha yakın olduğu söylenebilir.

8) İlk iki yapı sisteminin performans analizleri incelendiğinde; D1 depremi etkisi altında her iki yöntemle göre yapılan incelemelerde de iki yapı sistemi de hemen kullanım performans seviyesindedir. D2 depreminde ise, sistem 2 her iki yöntemle göre de hemen kullanım performans seviyesinde kalırken, sistem 1 kapasite spektrumu yöntemine göre hemen kullanım performans seviyesinde, deplasman katsayısı yöntemine göre hasar kontrol performans aralığında kalmaktadır. D3 depremi (tasarım depremi) etkisi altında her iki sistem de KSY'ne göre hasar kontrol, DKY'ne göre sınırlı güvenlik performans aralığında kalmaktadır. D4 depreminde ise (tasarım depremini aşan deprem) her iki yöntemle göre de yapı sistemleri bu deprem yüklemesi altında deplasman talebine ulaşmadan geçmektedir.

9) Yapı sistemlerinin performansları ABYYHY (1998)'de öngörülen performans hedefleri kapsamında değerlendirildiğinde; ilk iki yapı sisteminin tamamı hafif ve orta şiddetli depremlerde öngörülenin üzerinde bir performans göstermektedir. Tasarım depremi (şiddetli deprem) için her iki yapı sisteminin de performansları öngörülen düzeye yakındır. Tasarım depremini aşan deprem (çok şiddetli deprem) gözönüne alındığında, sistem 1 ve sistem 2 bu deprem yüklemesi altında taşıma gücünü kaybederek geçmektedir.

10) Sayısal örneklerde sistem 3A olarak adlandırılan ve 1975 deprem yönetmeliğine göre boyutlandırılan çerçeve taşıyıcı sisteme sahip yapı ile, aynı geometri ve malzeme özelliklerine sahip, taşıyıcı sistemi 1998 deprem yönetmeliğine göre güçlendirilen perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip yapının kapasite diyagramları karşılaştırıldığında; perdeli sistemin yatay yük taşıma kapasitesinin 3.5 kat daha fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Sistem 3A'nın ikinci merteye limit yükü tasarım depremine ait elastik taban kesme kuvvetinden küçüktür. Bu durum sistem 3A'nın tasarım depreminin yüklerini taşıyamadığını göstermektedir. Sistem 3B ise tasarım depremini aşan depremde bile göçmenin önlenmesi performans seviyesi civarında kalmaktadır. Bu noktadan hareketle bu iki yapı sistemi özelinde genel bir sonuca varılmaya çalışılmış ve taşıyıcı sistemde perde kullanılmasının ve perdelerin planda doğru şekilde dağıtılmasının yapıların yatay yük taşıma güçlerini ve deprem güvenliklerini çok önemli oranlarda artırdığı vurgulanmak istenmiştir.

11) Sistem 3A ve sistem 3B'nin performans analizleri incelendiğinde; D1 depreminde her iki yapı da hem kapasite spektrumu yöntemi hem de deplasman katsayısı yöntemine göre hemen kullanım performans seviyesindedir. D2 depremi etkisi altında KSY'ne göre yine her iki yapı da hemen kullanım performans

seviyesinde kalırken, DKY'ne göre sistem 3B hemen kullanım, sistem 3A ise hasar kontrol performans aralığında ancak hemen kullanım seviyesine yakın tarafta kalmaktadır. Sistem 3A, D3 ve D4 depremlerinin yüklerini taşıyamazken, sistem 3B, D3 depreminde KSY'ne göre hasar kontrol performans aralığında, DKY'ne göre sınırlı güvenlik performans aralığında ancak can güvenliği performans seviyesine yakın tarafta kalmaktadır. D4 depreminde ise KSY'ne göre sınırlı güvenlik performans aralığında kalırken, DKY'ne göre deplasman talebine ulaşılamadan yapının ikinci mertebe limit yükü aşılmaktadır.

12) Sistem 3A ve sistem 3B'nin performansları ABYYHY (1998)'e göre değerlendirildiğinde; her iki yapı sistemi de hafif ve orta şiddetteki depremlerde öngörülenin üzerinde performans göstermektedir. Sistem 3A tasarım depremi etkisi altında yatay yük taşıma gücünü kaybederek göçerken, sistem 3B bu deprem etkisi için yönetmelikte öngörülen performansı göstermektedir. Bu yapı sistemi tasarım depremini aşan çok şiddetli deprem etkisi altında taşıma gücüne ancak ulaşmaktadır.

13) Sayısal örnekler bölümünde yapılan sistem çözümlerinde; çoğunlukla deplasman katsayısı yöntemine göre yapılan performans analizleri sonucu bulunan performans noktalarının, kapasite spektrumu yöntemine göre bulunan performans noktalarından daha ileride olduğu görülmüştür. Bu durumda DKY'ne göre bulunan deplasman talepleri KSY'ne göre bulunan değerlerden daha büyük çıkmaktadır. Yapı sistemleri bulunan deplasman taleplerine kadar itilerek performans seviyeleri bu noktalarda değerlendirildiği için, DKY'ne göre belirlenen performans seviyeleri KSY'ne göre belirlenen performans seviyelerinden daha olumsuz çıkmaktadır. Bu sonuçlar, KSY ile ilgili bugüne kadar yapılan, bu yöntemin deplasman talebini gerçek değerinden daha küçük tahmin ettiği yolundaki eleştirileri doğrulamaktadır.

14) Yerdeğiştirmeye bağlı performans kriterlerini esas alan performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemlerinin yakın gelecekte lineer olmayan etkileri yaklaşık yöntemlerle gözönüne alan geleneksel deprem tasarımının yerini alacağı düşünülmektedir.

15) Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmanın ve bu konu ile ilgili benzer çalışmaların performansa dayalı tasarım çalışmalarına katkısı olacağı düşünülmektedir. Bu çalışma, planda düzensizlik içeren yapıları kapsayacak, yapı sistemlerinde dolgu duvarların taşıyıcı sistem rijitliğine etkisini de gözönüne alacak ve yapıların kapasite eğrilerinin ikinci mertebe limit yükten sonraki azalan kısımlarını da kapsayarak performans analizi yapılacak şekilde genişletilmeye açıktır.

KAYNAKLAR

- [1] **ATC-40**, 1996. Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, *Applied Technology Council*, California, ABD.
- [2] **FEMA-356**, 2000. Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington, D.C., ABD.
- [3] **İrtem E., Türker K. ve Hasgöl U.**, 2004. Türk deprem yönetmeliğinin performans hedeflerinin lineer olmayan statik analiz yöntemleri ile değerlendirilmesi, *17. İnşaat Mühendisliği Teknik Kongre ve Sergisi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 14-17 Nisan.
- [4] **ABYYHY**, 1975. Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik, *T.C. İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı*, Ankara.
- [5] **ABYYHY**, 1998. Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik, *T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi*, Ankara.
- [6] **Özer E.**, 2004. Yapı sistemlerinin lineer olmayan analizi, Basılmamış ders notları, İTÜ, İstanbul.
- [7] **Özer E., Pala S., Orakdöğen E. ve Girgin K.**, 1999. Deprem bölgelerindeki mevcut betonarme yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve rehabilitasyonu, *Türkiye Deprem Vakfı Teknik Rapor*, **TDV/TR 028-45**, İstanbul.
- [8] **Celep Z., ve Kumbasar N.**, 2004. Deprem mühendisliğine giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı, *Beta Dağıtım*, İstanbul.
- [9] **SAP 2000**, 2002. Analysis reference manual, *Computers and Structures Inc.*, Berkeley, California, ABD.
- [10] **TS-500**, 2000. Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

EKLER

EK A

Tablo A.1 Sistem 2 mevcut giriş donatı alanları

Aks	Kat	Açıklık	Sol-üst	Sol-alt	Sağ-üst	Sağ-alt
1, A	1	A-B(1-2)	9,60	6,28	10,73	5,40
		B-C(2-3)	10,73	5,40	8,79	4,80
		C-C(3-3)	8,79	4,80	8,19	4,80
	2	A-B(1-2)	12,14	8,54	13,27	8,54
		B-C(2-3)	13,27	8,54	10,73	7,34
		C-C(3-3)	10,73	7,34	10,73	7,34
	3	A-B(1-2)	13,37	8,54	14,50	8,54
		B-C(2-3)	14,50	8,54	10,90	8,54
		C-C(3-3)	10,90	8,54	10,90	8,54
	4	A-B(1-2)	12,03	8,54	14,50	8,54
		B-C(2-3)	14,50	8,54	10,02	8,54
		C-C(3-3)	10,02	8,54	10,02	8,54
	5	A-B(1-2)	10,80	7,34	15,07	7,34
		B-C(2-3)	15,07	7,34	8,79	7,34
		C-C(3-3)	8,79	7,34	8,79	7,34
	6	A-B(1-2)	9,60	6,28	15,07	7,34
		B-C(2-3)	15,07	7,34	8,79	7,34
		C-C(3-3)	8,79	7,34	8,79	7,34
	7	A-B(1-2)	8,54	5,40	13,27	6,28
		B-C(2-3)	13,27	6,28	8,19	6,28
		C-C(3-3)	8,19	6,28	7,66	6,28
	8	A-B(1-2)	6,53	3,80	11,93	6,28
		B-C(2-3)	11,93	6,28	7,19	5,40
		C-C(3-3)	7,19	5,40	7,19	5,40
	9	A-B(1-2)	5,65	3,39	10,73	5,40
		B-C(2-3)	10,73	5,40	6,78	3,80
		C-C(3-3)	6,78	3,80	6,78	3,39
	10	A-B(1-2)	4,52	2,26	8,54	4,27
		B-C(2-3)	8,54	4,27	4,52	2,26
		C-C(3-3)	4,52	2,26	4,52	2,26

Tablo A.1 (devam) Sistem 2 mevcut kiriş donatı alanları

Aks	Kat	Açıklık	Sol-üst	Sol-alt	Sağ-üst	Sağ-alt
2, B	1	A-B(1-2)	7,66	3,80	13,06	6,28
		B-C(2-3)	13,06	6,28	13,27	6,28
		C-C(3-3)	13,27	6,28	13,27	6,28
	2	A-B(1-2)	12,09	5,40	15,63	7,34
		B-C(2-3)	15,63	7,34	16,30	7,34
		C-C(3-3)	16,30	7,34	16,30	7,34
	3	A-B(1-2)	10,90	6,28	15,63	8,54
		B-C(2-3)	15,63	8,54	16,30	8,54
		C-C(3-3)	16,30	8,54	16,30	8,54
	4	A-B(1-2)	11,96	6,28	15,63	7,34
		B-C(2-3)	15,63	7,34	16,30	7,34
		C-C(3-3)	16,30	7,34	16,30	7,34
	5	A-B(1-2)	11,21	5,62	14,09	7,10
		B-C(2-3)	14,09	7,10	14,09	7,10
		C-C(3-3)	14,09	7,10	14,09	7,10
	6	A-B(1-2)	11,68	5,56	13,22	8,04
		B-C(2-3)	13,22	7,10	14,09	7,10
		C-C(3-3)	14,09	7,10	14,09	7,10
	7	A-B(1-2)	10,48	5,15	12,02	7,16
		B-C(2-3)	12,02	6,22	12,75	6,22
		C-C(3-3)	12,75	6,22	12,75	6,22
	8	A-B(1-2)	9,42	5,15	10,96	6,56
		B-C(2-3)	10,96	5,62	11,55	5,62
		C-C(3-3)	11,55	5,62	11,55	5,62
	9	A-B(1-2)	8,54	5,15	8,95	5,56
		B-C(2-3)	8,95	4,62	9,61	4,62
		C-C(3-3)	9,61	4,62	9,61	5,09
	10	A-B(1-2)	5,65	3,39	7,19	4,52
		B-C(2-3)	7,19	4,21	7,19	4,21
		C-C(3-3)	7,35	4,21	6,88	4,21

Tablo A.1 (devam) Sistem 2 mevcut kiriş donatı alanları

Aks	Kat	Açıklık	Sol-üst	Sol-alt	Sağ-üst	Sağ-alt
3, C	1	A-B(1-2)	10,80	6,28	13,27	6,28
		B-C(2-3)	13,27	6,28	11,93	6,28
		C-C(3-3)	11,93	6,28	12,34	6,28
	2	A-B(1-2)	13,97	8,54	16,30	8,54
		B-C(2-3)	16,30	8,54	16,30	9,88
		C-C(3-3)	16,30	9,88	14,91	7,34
	3	A-B(1-2)	13,37	8,54	16,30	7,34
		B-C(2-3)	16,30	7,34	16,30	7,34
		C-C(3-3)	16,30	7,34	16,71	8,54
	4	A-B(1-2)	13,37	8,54	16,30	9,88
		B-C(2-3)	16,30	9,88	16,30	9,88
		C-C(3-3)	16,30	9,88	14,91	7,34
	5	A-B(1-2)	12,03	7,34	16,30	8,54
		B-C(2-3)	16,30	8,54	13,57	8,54
		C-C(3-3)	13,57	9,36	13,98	7,10
	6	A-B(1-2)	10,83	6,28	16,30	8,54
		B-C(2-3)	16,30	8,54	13,57	8,54
		C-C(3-3)	13,57	9,36	12,78	7,10
	7	A-B(1-2)	8,54	5,40	15,07	7,34
		B-C(2-3)	15,07	7,34	12,34	7,34
		C-C(3-3)	12,34	8,16	11,55	6,22
	8	A-B(1-2)	7,06	4,27	13,27	6,28
		B-C(2-3)	13,27	6,28	11,14	4,80
		C-C(3-3)	13,27	5,62	10,49	5,09
	9	A-B(1-2)	5,65	3,39	10,73	5,40
		B-C(2-3)	10,73	5,40	9,20	3,80
		C-C(3-3)	9,20	4,62	9,01	4,62
	10	A-B(1-2)	4,52	2,26	9,60	4,80
		B-C(2-3)	9,60	4,80	6,47	3,39
		C-C(3-3)	6,47	4,21	6,47	4,21

ÖZGEÇMİŞ

Yunus Emre Şayan, 1980 yılında İstanbul'da doğdu. İlköğrenimini Bekir Sami Dedeoğlu İlköğretim Okulu'nda tamamladıktan sonra 1991 yılında Özel Mavi Haliç Lisesi'nde orta ve lise öğrenimine başladı. 1998 yılında birincilikle mezun olup aynı yıl Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesinde inşaat mühendisliği eğitime başladı. 2003 yılında birincilikle mezun olup aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı Deprem Mühendisliği programında yüksek lisans öğrenimine başladı.