

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MEVCUT BETONARME BİR YAPININ  
PERFORMANSININ BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İnş. Müh. Murat Cem DÖNMEZ**

**Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği  
Programı: Yapı Mühendisliği**

**EYLÜL 2008**

**MEVCUT BETONARME BİR YAPININ  
PERFORMANSININ BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İnş. Müh. Murat Cem DÖNMEZ  
(501061089)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10 Eylül 2008  
Tezin Savunulduğu Tarih : 23 Eylül 2008**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Kutlu DARILMAZ**  
**Diğer Jüri Üyeleri Doç.Dr. Turgut ÖZTÜRK (İ.T.Ü.)  
Yrd.Doç.Dr. Canan GİRGIN (Y.T.Ü.)**

## **ÖNSÖZ**

Deprem kuşağı üzerinde yer alan ülkemizde, yaşanan doğal afetler ve yaşanması muhtemel afetler nedeniyle yapı güvenliği ve buna bağlı olarak da yapıların deprem performanslarının belirlenmesi konuları son yıllarda önem kazanmıştır. İlgili yönetmeliklerde yapılan son değişikliklerde de bu konu ele alınmış, yapıların performansının belirlenmesi noktasında lineer yöntemlere ek olarak lineer olmayan yöntemlerin de kullanılması yoluna gidilmiştir. Kapsamlı ve ardışık işlemleri de beraberinde getiren lineer olmayan hesap yöntemleri, bilgisayar teknolojisindeki ilerlemeler sayesinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Mevcut yapıların deprem performanslarının belirlenmesi konusu, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007’de ayrı bir başlık altında incelenmiş, uygulanabilecek lineer ve lineer olmayan hesap yöntemleri ile bu yöntemlere ait koşullar ilgili bölümde açıklanmıştır.

Bu tez kapsamında mevcut betonarme bir yapı, artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi doğrusal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile incelenmiş ve yapının performans seviyesinin belirlenmesi noktasında iki yönteme ait sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Tez çalışmamda vermiş olduğu desteklerinden ötürü tez danışmanım Sayın Doç.Dr.Kutlu DARILMAZ’a teşekkürlerimi sunarım.

**Eylül 2008**

**Murat Cem DÖNMEZ**

## **İÇİNDEKİLER**

<b>KISALTMALAR</b>	<b>vi</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b>	<b>vii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b>	<b>viii</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b>	<b>ix</b>
<b>ÖZET</b>	<b>xi</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>xii</b>

<b>1.GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2. PERFORMANS KAVRAMI</b>	<b>3</b>
2.1 Giriş	3
2.2 Performans Seviyeleri	4
2.2.1 Betonarme elemanlardaki kesit birim şekildeğiştirme kapasiteleri	4
2.2.2 Betonarme elemanlarda kesit hasar bölgeleri	5
2.3 Yer Hareketi	5
2.4 Betonarme Binaların Deprem Performansı	6
2.5 Örnek Sistem İçin Belirlenen Hedef Performans Düzeyi	8
<b>3. KULLANILAN ANALİZ PROGRAMI</b>	<b>9</b>
3.1 Giriş	9
3.2 SAP 2000 Programı	9
3.3 SAP 2000 Programı İle İtme Analizi	9
<b>4. DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN YÖNTEMLE PERFORMANS ANALİZİ</b>	<b>11</b>
4.1 Giriş	11
4.2 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi	12
4.2.1 İtme eğrisinin belirlenmesi	13

<b>5. DOĞRUSAL ELASTİK YÖNTEMLE PERFORMANS ANALİZİ</b>	<b>14</b>
5.1 Giriş	14
5.2 Doğrusal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi	14
<b>6. ARTIMSAL EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ YÖNTEMİ İLE MEVCUT BETONARME YAPININ BİLGİSAYAR ORTAMINDA ANALİZİ</b>	<b>14</b>
6.1 Giriş	18
6.2 Yapı Bilgileri	18
6.2.1 Yapı genel bilgileri	18
6.2.2 Yapıya etkiyen düşey yükler	19
6.2.2.1 Zati yükler	19
6.2.2.2 Hareketli yükler	19
6.2.3 Taşıyıcı sistem özellikleri	19
6.3 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin Uygulanabilirlik Tahkiki	20
6.4 SAP 2000 Programı İle Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin Uygulanması	21
6.4.1 Yapı özelliklerin programa tanıtılması	21
6.4.2 Donatı alanlarının tanıtılması	21
6.4.3 Plastik mafsal özelliklerinin atanması	21
6.4.4 Etkin eğilme rijitliklerinin belirlenmesi	22
6.4.5 Analizde uygulanan yükler ve dağılım oranları	22
6.5 SAP 2000 Sonuçları	23
6.6 Hedef Deplasman Sınırının Belirlenmesi	24
6.7 Gerçek Hedef Deplasman Değeri ile Analizin Tekrarı	26
6.8 Kesit Hasar Tespiti	27
6.9 Bina Performans Seviyesinin Belirlenmesi	30
<b>7. EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ YÖNTEMİ İLE MEVCUT BETONARME YAPININ BİLGİSAYAR ORTAMINDA ANALİZİ</b>	<b>31</b>
7.1 Giriş	31
7.2 Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin Uygulanabilirlik Tahkiki	31
7.3 Göreli Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması	32
7.4 Bina Taşıyıcı Sistem Elemanlarında Performans Değeri Değeri	32
7.4.1 Kolon kesitlerinde performans değeri değeri	32
7.4.2 Kiriş kesitlerinde performans değeri değeri	33
7.5 Bina Performansının Belirlenmesi	33

<b>8. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ</b>	<b>35</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>36</b>
<b>EKLER</b>	<b>37</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>47</b>

## **KISALTMALAR**

<b>BS</b>	: Beton Sınıfı
<b>BÇ</b>	: Beton Çeliği
<b>CG</b>	: Can Güvenliği Performans Seviyesi
<b>DBYBHY 2007</b>	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007
<b>GV</b>	: Kesit Güvenlik Sınırı
<b>GÇ</b>	: Kesit Göçme Sınırı
<b>GÖ</b>	: Göçme Öncesi Performans Seviyesi
<b>HK</b>	: Hemen Kullanım Performans Seviyesi
<b>MN</b>	: Kesit Minimum Hasar Sınırı
<b>TS</b>	: Türk Standardı

## TABLO LİSTESİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
<b>Tablo 2.1:</b> Farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri.....	8
<b>Tablo 5.1:</b> Betonarme kirişler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları.....	15
<b>Tablo 5.2:</b> Betonarme kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları.....	16
<b>Tablo 5.3:</b> Betonarme perdeler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları.....	16
<b>Tablo 6.1:</b> Burulma düzensizliği katsayıları.....	20
<b>Tablo 6.2:</b> Yatay kuvvet dağılım oranları.....	23
<b>Tablo 6.3:</b> İtme analizi sonucu elemanlardaki hasar tespiti.....	29
<b>Tablo 7.1:</b> Burulma düzensizliği katsayıları.....	31
<b>Tablo 7.2:</b> Göreli kat ötelemeleri .....	32
<b>Tablo 7.3:</b> Bina performansının belirlenmesi .....	34
<b>Tablo A.1:</b> Etkin eğilme rijitlikleri.....	38
<b>Tablo A.2.a:</b> Kolon performanslarının değerlendirilmesi.....	39
<b>Tablo A.2.b:</b> Kiriş performanslarının değerlendirilmesi.....	41



## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
<b>Şekil 2.1:</b> Kesit hasar bölgeleri.....	5
<b>Şekil 6.1:</b> Yapının +X yönündeki taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi grafiği.....	24
<b>Şekil 6.2:</b> Yapının +X yönündeki spektral ivme-spektral yerdeğiştirme grafiği	25
<b>Şekil 6.3:</b> Spektral hedef deplasmanın belirlenmesi.....	26
<b>Şekil 6.4:</b> Hedef deplasman üst sınırı için hesaplanan taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi grafiği.....	27
<b>Şekil 6.5:</b> İlk plastik mafsallın oluşumu (3. itme adımı).....	28
<b>Şekil 6.6:</b> Analiz sonucunda oluşan tüm plastik mafsallar.....	28
<b>Şekil A.1:</b> Zemin kat kalıp planı.....	45
<b>Şekil A.2:</b> Kesit görünüşü.....	46

## SEMBOLLER

- A(T)** : Spektral İvme Katsayısı  
**A<sub>o</sub>** : Etkin Yer İvmesi Katsayısı  
**A<sub>t</sub>** : Birinci doğal titreşim periyodunun hesabında kullanılan eşdeğer alan [m<sup>2</sup>]  
**A<sub>wj</sub>** : Binanın temel üstündeki ilk katında j'inci perdenin brüt enkesit alanı [m<sup>2</sup>]  
**B<sub>a</sub>** : Taşıyıcı sistem elemanının **a** asal eksenini doğrultusunda tasarıma esas iç kuvvet büyüklüğü  
**B<sub>ax</sub>** : Taşıyıcı sistem elemanının **a** asal eksenini doğrultusunda, **x** doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü  
**B<sub>ay</sub>** : Taşıyıcı sistem elemanının **a** asal eksenini doğrultusunda, **x**'e dik **y** doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü  
**B<sub>B</sub>** : Mod Birleştirme Yönteminde mod katkılarının birleştirilmesi ile bulunan herhangi bir büyüklük  
**B<sub>D</sub>** : **B<sub>B</sub>** büyüklüğüne ait büyütülmüş değer  
**C<sub>t</sub>** : Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminde birinci doğal titreşim periyodunun yaklaşık olarak belirlenmesinde kullanılan katsayı  
**D<sub>i</sub>** : Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminde burulma düzensizliği olan binalar için i'inci katta ± %5 ek dışmerkezliğe uygulanan büyütme katsayısı  
**d<sub>fi</sub>** : Binanın i'inci katında **F<sub>fi</sub>** fiktif yüklerine göre hesaplanan yerdeğiştirme  
**d<sub>i</sub>** : Binanın i'inci katında deprem yüklerine göre hesaplanan yerdeğiştirme  
**F<sub>fi</sub>** : Birinci doğal titreşim periyodunun hesabında i'inci kata etkileyen fiktif yük  
**F<sub>i</sub>** : Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminde i'inci kata etkileyen eşdeğer deprem yükü  
**f<sub>e</sub>** : Mekanik ve elektrik donanımının kütle merkezine etkileyen eşdeğer deprem yükü  
**g** : Yerçekimi ivmesi (9.81 m/s<sup>2</sup>)  
**g<sub>i</sub>** : Binanın i'inci katındaki toplam sabit yük  
**H<sub>i</sub>** : Binanın i'inci katının temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliği (Bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda i'inci katın zemin kat döşemesi üstünden itibaren ölçülen yüksekliği) [m]  
**H<sub>N</sub>** : Binanın temel üstünden itibaren ölçülen toplam yüksekliği (Bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda zemin kat döşemesi üstünden itibaren ölçülen toplam yükseklik) [m]  
**h<sub>i</sub>** : Binanın i'inci katının kat yüksekliği  
**I** : Bina Önem Katsayısı  
**l<sub>wj</sub>** : Binanın temel üstündeki ilk katında j'inci perdenin, gözönüne alınan deprem doğrultusunda çalışan uzunluğu [m]  
**M<sub>r</sub>** : r'inci doğal titreşim moduna ait modal kütle  
**M<sub>xr</sub>** : Gözönüne alınan **x** deprem doğrultusunda binanın r'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle  
**M<sub>yr</sub>** : Gözönüne alınan **y** deprem doğrultusunda binanın r'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle

- $m_i$**  : Binanın  $i$ 'inci katının kütlesi ( **$m_i : w_i / g$** )  
 **$N$**  : Binanın temel üstünden itibaren toplam kat sayısı (Bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda zemin kat döşemesi üstünden itibaren toplam kat sayısı)  
 **$n$**  : Hareketli Yük Katılım Katsayısı  
 **$q_i$**  : Binanın  $i$ 'inci katındaki toplam hareketli yük  
 **$R$**  : Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı  
 **$R_a(T)$**  : Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı  
 **$S(T)$**  : Spektrum Katsayısı  
 **$S_{pa}(T_r)$**  :  $r$ 'inci doğal titreşim modu için ivme spektrumu ordinatı [ $m/s^2$ ]  
 **$T$**  : Bina doğal titreşim periyodu [s]  
 **$T_1$**  : Binanın birinci doğal titreşim periyodu [s]  
 **$T_{1A}$**  : Binanın amprik bağıntı ile hesaplanan birinci doğal titreşim periyodu [s]  
 **$T_A, T_B$**  : Spektrum Karakteristik Periyotları [s]  
 **$T_r, T_s$**  : Binanın  $r$ 'inci ve  $s$ 'inci doğal titreşim periyotları [s]  
 **$V_i(*)$**  : Gözönüne alınan deprem doğrultusunda binanın  $I$ 'inci katına etki eden kat kesme kuvveti  
 **$V_t$**  : Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde gözönüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yüğü (taban kesme kuvveti)  
 **$V_{tB}$**  : Mod Birleştirme Yönteminde, gözönüne alınan deprem doğrultusunda modlara ait katkıların birleştirilmesi ile bulunan bina toplam deprem yüğü (taban kesme kuvveti)  
 **$W$**  : Binanın, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı  
 **$w_e$**  : Mekanik veya elektrik donanımının ağırlığı  
 **$w_i$**  : Binanın  $i$ 'inci katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığı

## MEVCUT BETONARME BİR YAPININ PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

### ÖZET

Bu çalışmada, ülkemizde ilk kez “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007”de ayrı bir başlık altında ele alınmış olan performans kavramı incelenmiş, ilgili bölümlerde anlatılan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile doğrusal eşdeğer deprem yükü yöntemleri mevcut üç katlı betonarme bir yapı üzerinde uygulanmış ve sonuçlar irdelenmiştir.

Sunulan çalışmanın birinci bölümünde çalışmanın amaç ve kapsamı açıklanılmaya çalışılmıştır.

İkinci bölümde performans kavramı incelenmiş, DBYBHY 2007’de yer alan hedef performans seviyeleri, hasar seviyeleri ve koşulları açıklanmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, kullanılan bilgisayar programı hakkında genel bilgiler verilmiş, kullanılan hesap yönteminin bilgisayar modeline nasıl uygulanacağı anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde, kullanılan hesap yöntemlerinden artımsal eşdeğer yükü yöntemi açıklanarak yöntemin uygulanabilirliği, uygulanma adımları, kullanılan formüller ve yapılan hesapların nasıl irdeleneceği açıklanmıştır.

Beşinci bölümde benzer şekilde doğrusal eşdeğer deprem yükü yöntemi açıklanarak yöntemin uygulanabilirliği, uygulama adımları, kullanılan formüller ve yapılan hesapların nasıl irdeleneceği açıklanmıştır.

Altıncı bölümde ise artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin pratikte nasıl uygulanacağını açıkça belirlenmesi amacıyla yöntem, mevcut üç katlı betonarme konut türü bir yapı üzerinde uygulanmıştır.

Yedinci bölümde de benzer şekilde doğrusal eşdeğer deprem yükü yöntemi örnek yapı üzerinde uygulanarak performans analizi yapılmıştır.

Son bölümde yapı analiz sonuçları değerlendirilmiş yapı performans seviyesinin uygunluğu yorumlanmış ve iki yöntem kısaca karşılaştırılmıştır.

## **DETERMINATION OF THE SEISMIC SAFETY OF AN EXISTING REINFORCED CONCRETE STRUCTURE**

### **SUMMARY**

In this study, the seismic safety level of a RC structure is evaluated by nonlinear analysis method; “Incremental Equivalent Earthquake Load Method” and by linear analysis method; “Equivalent Earthquake Load Method” that are described in Turkish Earthquake Code 2007.

In Chapter 1, general information about earthquake is given and the content of the study is summarized.

In Chapter 2, the performance concept, performance levels for frame elements and whole structures that determined in TDY 2007 are examined in detail. Also seismic risk analysis is explained.

In Chapter 3, SAP 2000 which is a very actual structural analysis software is used for several stages of static pushover analysis is explained.

In Chapter 4, the general concept of the nonlinear analysis method, “Incremental Equivalent Earthquake Load Method” is presented. The steps of the procedure are described.

In Chapter 5 similarly, the general concept of the linear analysis method, “Equivalent Earthquake Load Method” is presented. The steps of the procedure are described.

In Chapter 6 the seismic safety level of a three story RC building is determined by the method of “Incremental Equivalent Earthquake Load Method”. The target limit of the displacement is obtained by combining the spectrum of the strong ground motion spectrum and capacity curve. Due to this limit, the performance level of the structure is determined through the damage percentage.

In Chapter 7 similarly the seismic safety level of a three story RC building is determined by the method of “Equivalent Load Method”.

In the final part, the analysis results are discussed and interpreted.

## 1.GİRİŞ

Yurdumuz dünyanın en etkin deprem kuşaklarından birinin üzerinde bulunmaktadır. Can ve mal kayıplarına sebep olacak büyüklükte depremlerin geçmişte meydana geldiği gibi, gelecekte de oluşması kaçınılmazdır. Dolayısıyla imal edilen yapıların gerek projelendirilmesi gerekse projelerine uygun olarak imali esnasında yeterli özenin gösterilmesi gerekmektedir.

Yapıların deprem performanslarının gerçekçi olarak belirlenebilmesi, kullanımı sakıncalı olan yapıların terk edilmesi ve güçlendirme yapılarak kullanımı mümkün olan yapıların belirlenmesi hem can kayıplarını önlemek hem de ekonomik kayıpları mümkün olduğunca en alt seviyeye indirmek adına önem arz etmektedir. Son yıllarda bu konu üzerinde ağırlıklı olarak durulmuş, yeni hesap yöntemlerinin kullanımı yaygınlaşmıştır.

Yapılar, hesaplarda kolaylık sağlaması amacıyla genellikle lineer elastik davranış kabulü ile projelendirilmektedir. Ancak bu kabul, taşıyıcı sistemin lineer elastik ötesi davranışını ihmal ederek yaklaşık hesap yapılmasını sağlamakta, belirli güvenlik düzeyiyle lineer olmayan hesap yöntemlerine göre daha az ekonomik çözümler elde edilmesini sağlamaktadır. Son yıllarda bilgisayar teknolojisindeki ilerlemeler sayesinde, lineer olmayan hesap yöntemlerinin kullanımı eskisi kadar zahmetli olmaktan çıkmış, kullanımı yaygınlaşmıştır.

Yapıların öngörülen yer hareketlerine ne ölçüde cevap verebileceğinin hesaplanması gereği, performans kavramını da beraberinde getirmektedir. Yapıların performans düzeyleri talep edilen deprem hareketini karşılayabilme kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Bu noktada artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi, lineer yöntemden daha gerçekçi sonuçlar vermesi nedeniyle tercih edilmektedir. Yöntem genellikle üç boyutlu taşıyıcı sistem modeli üzerinde uygulanmaktadır. Birinci hakim mod şekli ve kat kütleleri oranında belirlenen yatay yükler yapı kat seviyelerine uygulanmakta, her adımda aynı oranda artırılan yükler ve tepe yerdeğiştirme grafik

üzerine işlenerek tekrar eden bu işleme belirli bir yerdeğiştirmeye ya da yapının mekanizma durumuna geçmesine kadar devam edilmektedir. Pushover Analizi olarak da bilinen bu yöntemde elastik ötesi davranışları da göz önüne alınan kesitlerden taşıma kapasitelerine erişenlerde plastik mafsallar oluşmakta, analiz sonunda plastik mafsallara ait dönme değerleri okunmakta ve gerekli hesaplamalar sonucunda şekildeğiştirme değerlerinin şartname sınırları içerisinde kalıp kalmadığı irdelenmektedir. Son aşama ise analiz sonuçlarının değerlendirilerek yapı performans seviyesinin bulunmasıdır.

DBYBHY 2007 temel olarak üç performans düzeyi tanımlamaktadır. Hemen Kullanım Performans Düzeyi, Can Güvenliği Performans Düzeyi ve Göçme Öncesi Performans Düzeyi olarak sıralanan performans düzeylerinden, hedeflenen performans düzeyinin sağlanması amaçlanmaktadır.

## 2. PERFORMANS KAVRAMI

### 2.1 Giriş

Yapı taşıyıcı sistemi projelendirilirken genellikle hesap kolaylığı açısından elemanların yanal yükler altında elastik sınırlar içinde davrandığı kabul edilmektedir. Deprem yükleri kat seviyelerine etkilerek yerdeğiştirmeler ve iç kuvvetler bulunmaktadır. Ancak gerçekte elemanlar lineer elastik davranışın dışında kalmakta, farklı katlardaki elemanların davranışları birbirlerini etkilemekte, bu elemanlar göçme yük değerine erişmemiş ise akma dayanımı ile çalışmaya devam etmekte, kısacası elastik ötesi davranmaktadır.

Yapıların lineer yöntemle projelendirilmesinde elastik ötesi davranışa ait yükler deprem yükü azaltma katsayısı ile belirlenmektedir. Ancak bu karmaşık davranışın tek bir katsayı kullanılarak belirlenmesi, oluşacak kuvvetlerin ve yerdeğiştirmelerin tam olarak bulunması olanaksızdır.

Ortaya çıkan bu yetersizlik ve güç tükenmesi durumundaki belirsizliklerin giderilmesi amacıyla yapılan projelendirmeler ise yüksek maliyetli, ekonomik olmayan ve aşırı güvenli tasarımlara yol açmaktadır. Özellikle mevcut yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi için geliştirilen “Performans Kavramı” bu noktada öne çıkmaktadır. Performans incelemesinde ilk adım talep deprem etki seviyesi ve belirlenmiş performans seviyesinin birleştirilmesi ile oluşan “Hedef Performans Noktası”dır[5].

Deprem performansı yapının önceden kabul edilen sınırlar dahilinde oluşabilecek maksimum hasar durumlarının belirlenmesi ve sınıflandırılması, çoklu performans amacı ise deprem durumunun yanında birden çok seviyeyi kapsayan yer hareketi etkisinde oluşacak hasarların göz önünde tutulduğu durumu ifade etmektedir.

Yapı projelendirilmeden önce mühendis tarafından uygun bir performans amacı seçilmektedir. Performans amacı belirlendikten sonra mühendis yapının taşıyıcı ve



taşıyıcı olmayan sistemlerin analizinde kullanılacak sismik talebi ve kabul edilebilirlik kriterlerini belirler.

Bu bölümde performans seviyeleri, DBYBHY 2007'de belirtilen koşullar ve bu seviyelerin nasıl tespit edileceği hususlarında bilgiler verilecektir.

## 2.2 Performans Seviyeleri

Performans seviyeleri yapılar için deprem etkisi altında öngörülen hasar miktarının sınır durumlarıdır. Bu performans seviyeleri, yapıda taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarda oluşan fiziksel hasar durumları, bu hasarlar sonucu oluşması muhtemel can güvenliği tehdidi ve yapının yer hareketinden sonra kullanılabilirlik durumu ilgili kriterler irdelenerek belirlenir.

Analiz sonucunda beton ve çelikte meydana gelen birim şekil değiştirme değerleri aşağıda açıklanan yönetmelik sınırları ile kıyaslanarak yapının performans seviyesi belirlenebilmektedir.

### 2.2.1 Betonarme elemanlardaki kesit birim şekildeğiştirme kapasiteleri

Plastik şekil değiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünek taşıyıcı sistem elemanlarında, çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekil değiştirme kapasiteleri aşağıda tanımlanmıştır[1].

- Kesit Minimum Hasar Sınırı (MN): İlgili kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını tanımlamaktadır. Kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi ile donatı çeliği birim şekil değiştirmesi üst sınırları;

$$(\epsilon_{cu})_{MN}=0.0035 \quad ; \quad (\epsilon_s)_{MN}=0.010$$

- Kesit Güvenlik Sınırı (GV): İlgili kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırını tanımlamaktadır. Etriye içindeki bölgenin dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları;

$$(\epsilon_{cg})_{GV}=0.0035+0.01(\rho_s/\rho_{sm})\leq 0.0135 \quad ; \quad (\epsilon_s)_{GV}=0.040$$

- Kesit Göçme Sınırı (GC): Kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır. Etriye içindeki bölgenin dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları;

$$(\varepsilon_{cg})_{G\check{C}}=0.004+0.01(\rho_s/\rho_{sm})\leq 0.018 \quad ; (\varepsilon_s)_{GV}=0.060$$

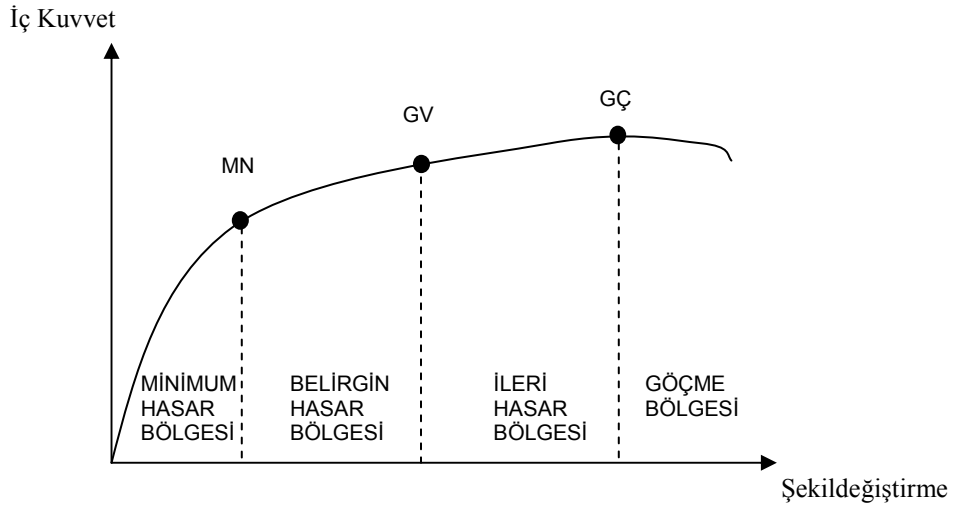
Göz önüne alınan enine donatıların özel deprem etriyeleri ve çirozları olarak düzenlenmiş olması zorunludur.

### 2.2.2 Betonarme elemanlarda kesit hasar bölgeleri

Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır. Bunlar Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ)'dir. Minimum hasar sınırı ilgili kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırını, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır. Gevrek olarak hasar gören elemanlarda bu sınıflandırma geçerli değildir.

Kritik kesitlerin hasarı MN'ye ulaşmayan elemanlar Minimum Hasar Bölgesi'nde, MN ve GV arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi'nde, GV ve GÇ arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi'nde, GÇ'yi aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi'nde yer alırlar[1].

Yukarıda açıklanan maddenin grafiksel ifadesi Şekil 2.1'de görülmektedir.



**Şekil 2.1:** Kesit hasar bölgeleri

### 2.3 Yer Hareketi

Yer hareketi ile yapıdan beklenen performans seviyesi, yapı performans amacını belirlemek için birleştirilmektedir. Analizlerde, farklı seviyelerde tanımlanan yer hareketinin belirlenmesi gerekmektedir. Deprem etki seviyesi spektrum eğrisinin tanımlanması ile belirlenmektedir.

Genel olarak üç grupta toplanan depremin etkisi aşağıda açıklanmıştır.

- Kullanım Depremi: 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan yer hareketidir. Ortalama dönüş periyodu yaklaşık olarak 72 yıl olan bu depremin yapı ömründe en az bir kere ortaya çıkması olasılığı yüksektir. Deprem etkisi katsayısı yaklaşık olarak 0.5'tir.
- Tasarım Depremi: 50 yıllık periyotlar içinde meydana gelme olasılığı %10 olan yer hareketidir. Ortalama dönüş periyodu 474 yıl olan bu depremin yapı ömrü boyunca ortaya çıkma olasılığı düşüktür.
- En Büyük Deprem: 50 yılda meydana gelme olasılığı %2, ortalama dönüş periyodu 2475 yıl olan depremdir. Deprem etkisi katsayısı yaklaşık olarak 1.5 değerindedir.

Yukarıda açıklanan tasarım depremi, bina önem katsayısı 1 olan yeni konut binaları için göz önüne alınan deprem etkisine karşılık gelmektedir. Bunu yanında en büyük depremin yeni projelendirilen toplumsal önemli binalar için göz önüne alınan deprem etkisine belirli bir yaklaşıklıkla karşılık geldiği söylenebilir. Yeni binalarda bu deprem etkisi bina önem katsayısının 1'den büyük seçilmesi ile oluşur. Kullanım depremi yeni bir etki gibi görülebilir. Yönetmelikte diğer iki depremin spektrumu tasarım depremininkine bağlı olarak yaklaşık olarak verilmiştir. Yakın gelecekte bu depremler için de, tasarım depreminde olduğu gibi haritaların geliştirilmesi beklenebilir [2].

### 2.4 Betonarme Binaların Deprem Performansı

Binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında binada oluşması beklenen hasarların durumu ile ilişkilidir ve dört farklı hasar durumu esas alınarak tanımlanmıştır[1].

- Hemen Kullanım Performans Düzeyi: Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %10'u belirgin hasar bölgesine geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü minimum hasar bölgesindedir. Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmesi kaydı ile, bu durumdaki binaların hemen kullanım performans düzeyinde olduğu kabul edilir.
- Can Güvenliği Performans Düzeyi: Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların can güvenliği performans düzeyinde olduğu kabul edilir:
  - (a) Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %30'u ve kolonların aşağıdaki (b) paragrafında tanımlanan kadarı ileri hasar bölgesi'ne geçebilir.
  - (b) İleri hasar bölgesindeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta ileri hasar bölgesindeki kolonların toplam kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir.
  - (c) Diğer taşıyıcı elemanların tümü minimum hasar bölgesi veya belirgin hasar bölgesindedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden minimum hasar sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir.
- Göçme Öncesi Performans Düzeyi: Gevrek olarak hasar gören tüm elemanların göçme bölgesinde olduğunun göz önüne alınması kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların göçme öncesi performans düzeyinde olduğu kabul edilir:
  - (a) Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %20'si göçme bölgesine geçebilir.
  - (b) Diğer taşıyıcı elemanların tümü minimum hasar bölgesi, belirgin hasar bölgesi veya ileri hasar bölgesindedir. Ancak herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden minimum hasar sınırı aşılmış olan kolonlar

tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerine oranının %30'u aşmaması gerekir.

(c) Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

- Göçme Durumu: Bina göçme öncesi performans düzeyini sağlamıyorsa göçme durumundadır. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

DBYBHY 2007'de bina türlerine göre hedeflenen minimum performans seviyeleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

**Tablo 2.1:** Farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri

Binanın Kullanım Amacı ve Türü	Deprem Aşılma Olasılığı		
	50 yılda %50	50 yılda %10	50 yılda %2
<b>Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar:</b> Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet kaymakamlık ve yönetim binaları, afet yönetim merkezleri, vb.	-	HK	CG
<b>İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar:</b> Okullar, Yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kışlalar, cezaevleri, müzeler vb.	-	HK	CG
<b>İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar:</b> Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri	HK	CG	-
<b>Tehlikeli Madde İçeren Binalar:</b> Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar	-	HK	GÖ
<b>Diğer Binalar:</b> Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları vb.)	-	CG	-

## 2.5 Örnek Sistem İçin Belirlenen Hedef Performans Düzeyi

DBYBHY 2007'ye göre, konut olarak tasarlanan örnek yapı için hedeflenen performans seviyesi Can Güvenliği Performans Düzeyi'dir.

### **3. KULLANILAN ANALİZ PROGRAMI**

#### **3.1 Giriş**

Bu çalışmada yapının analizi için SAP 2000 yazılımından yararlanılmıştır. Statik itme analizini doğrudan yapan programa ait genel bilgiler ile hesap yöntemi bu bölümde açıklanmıştır.

#### **3.2 SAP 2000 Programı**

SAP2000, kullanıcıya bir yapısal modelin oluşturulması, üzerinde değişiklikler yapılması, çözümlenmesi (analiz) ve boyutlandırılması (dizayn) ile ilgili işlemlerin tamamını aynı bilgisayar ortamı üzerinde yapma olanağı sağlar. Program hem çelik hem de betonarme yapıların dizayn edilmesine olanak veren etkin ve tam bütünleştirilmiş modüller sunar. Bu program, kullanıcıya gerilmeleri kontrol ettikten sonra yapıyı tekrardan analiz etmeye gerek kalmadan eleman kesitlerini yeniden düzenleyip dizaynı güncelleştirmek gibi uygun değişikliklerin yapılabileceği ideal bir program ortamı sağlar[3].

Son yıllarda ülkemizde kullanımı oldukça yaygınlaşan SAP 2000 programı (SAP 2000 Nonlinear Structural Analysis Program, CSI Berkeley), akademik alanda da kabul görmektedir.

#### **3.3 SAP 2000 Programı İle İtme Analizi**

İtme analizi iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada deprem sırasında düşey yüklerin yapı davranışına etkisini tanımlamak amacıyla bu yükler altında analiz yapılmaktadır. Düşey yükler etkisinde doğrusal olmayan çözümlene için kullanılan bu aşamada yük tanımlaması düşey yük kuvvet çarpanı kullanılarak yapılır.

Analizin ikinci aşamasında deprem nedeniyle oluşacak yatay kuvvetler dikkate alınmıştır. Doğrusal olmayan düşey itme analizinin sonucu, yatay itme analizinin

başlangıç koşulunu oluşturmaktadır. Bu aşamada yatay yükler program tarafından kat kütle merkezlerine uygulanmaktadır.

Statik itme analizinden önce sistemin doğrusal ve modal analizleri yapılmaktadır. Daha sonra düşey yüklerin dikkate alındığı ilk aşama tamamlanmaktadır. Bu aşamadan elde edilen şekil değiştirmeler kaydedilerek ikinci aşamaya geçilmektedir.

Analiz sırasında yatay kuvvet sıfırdan başlayarak artırılır. Yapıda şekil değiştirmeler ve plastik mafsallar oluşmaya başlar. Yük artım işlemi yapı maksimum deplasman sınırına veya labil hale gelene kadar devam eder. Bu iki durumdan biri oluşunca analiz sona ermektedir.

Analiz sırasında her yük artım adımında binanın en üst katındaki yerdeğiştirme ve bu yerdeğiştirmeye karşı gelen taban kesme kuvveti değerleri kaydedilir. Analiz sonunda bu değerlerin grafik tabanında işaretlenmesiyle itme eğrisi meydana çıkar [3]. Bu eğri üzerinde DBYBHY 2007'de belirtilen şekilde modal koordinat dönüşümleri yapılarak hedef deplasman sınırı elde edilmiş olur.

Hedef deplasman değeri programa girilerek analiz tekrarlanır. Analiz sona erdiğinde ulaşılan maksimum şekil değiştirme değerleri yönetmelikte belirtilen hasar sınırları ile kıyaslanarak bina performans seviyesi belirlenmiş olur.

## 4. DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN YÖNTEMLE PERFORMANS ANALİZİ

### 4.1 Giriş

DBYBHY 2007’de yapıların deprem performanslarını belirlenmesi doğrusal elastik yöntem ve doğrusal elastik olmayan yöntemler olmak üzere iki ana başlık altında toplanmıştır.

Doğrusal yöntemin taşıyıcı sistemin davranışı anlamında “doğrusal” olduğunu kabul etmek uygun değildir. Yeni tasarımı yapılacak binalarda, doğrusal olmayan davranışla oluşacak yatay yük kapasite artımı tüm bina için öngörülen Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı  $R$  ve ona bağlı kullanılan Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı  $R_a$  ile göz önüne alınmaktadır. Mevcut binaların değerlendirilmesinde kullanılan Doğrusal Elastik Değerlendirme Yöntemi’nde her eleman için göz önüne alınan Etki/Kapasite oranı  $r$  katsayısı ile doğrusal olmayan davranışla oluşacak yatay yük kapasite artımı göz önüne alınmaktadır. Diğer bir ifade ile çözüm işlemi doğrusal olmakla beraber bu yöntemde de taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışı göz önüne alınır. Bu yöntemin iki uygulaması mevcuttur: Doğrusal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi [2].

Doğrusal elastik olmayan yöntemde ise taşıyıcı sistemin davranışı daha gerçekçi bir şekilde ele alınabilmektedir. Ancak bu yöntem doğrusal elastik yöntemle göre daha karmaşıktır. Dolayısıyla doğrusal elastik yöntemle hesap yapan yazılımların kullanılması mümkün olmamakta, daha gelişmiş yazılımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yöntemin de iki uygulaması mevcuttur: Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi.

Bu bölümde, örnek yapının deprem performansının belirlenmesinde kullanılan Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi hakkında bilgiler verilecektir.



## 4.2 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Yöntemin amacı, birinci (deprem doğrultusunda hakim) titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde, deprem istem sınırına kadar monotonik olarak adım adım arttırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında doğrusal olmayan itme analizinin yapılmasıdır. Düşey yük analizini izleyen itme analizinin her bir adımında taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvet artımları ile bunlara ait birikimli (kümülatif) değerler ve son adımda deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanacaktır[1].

Artımsal eşdeğer yüğü yönteminin kullanılabilmesi için yapının bazı şartları sağlaması gerekmektedir. DBYBHY 2007'ye göre bu şartlar şu şekilde sıralanmaktadır:

- a. Bina kat sayısının bodrum hariç 8'den fazla olmaması,
- b. Herhangi bir kattaki ek dışmerkezlik göz önüne alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının  $n_{bi} > 1.4$  koşulunu sağlaması,
- c. Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina külesine oranının en az 0.70 olması.

Yukarıda açıklanan şartları sağlayan yapılarda kullanılmak üzere, yöntemin uygulama adımları aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Yapı taşıyıcı sistemi, kullanılan bilgisayar yazılımında modellenir.
2. Yapının, kullanılacak yöntemle ait şartları sağlayıp sağlamadığı tahkik edilir.
3. Yapı kat kütle merkezleri ve mod şekli ile orantılı olarak hesaplanan yatay kuvvet oranları bilgisayar programına girilir.
4. Taşıyıcı sistem yatay ve düşey elemanlarına plastik mafsallık özellikleri atanır. Plastik mafsalların genellikle eleman uç bölgelerinde oluşacağı kabul edilmektedir.
5. Elemanların eğilme rijitliklerinde normal kuvvet durumuna göre belirli oranda azaltma yapılır. Bu oranlar ile yönetmelik koşulları ilgili bölümde açıklanmıştır.

6. Zati ve hareketli yüklerin kombinasyonu (konut türü yapılar için  $G+0.3Q$ ) altında düşey analiz yapılır. Bu yüklemenin sonuçları, yatay itme analizinin başlangıç koşulunu oluşturur.
7. Tepe yerdeğiştirmesi üst sınırı tahmini olarak belirlenerek yapıya itme analizi uygulanır. Sistem bu yerdeğiştirme değerine ulaştığında veya labil hale geldiğinde program analize son verecektir.
8. Analiz sonucunda itme eğrisi olarak adlandırılan taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi grafiği çizdirilir.
9. İtme eğrisi, modal koordinat dönüşümleri yapılarak spektral ivme-spektral yerdeğiştirme eğrisine dönüştürülür.
10. Deprem talep spektrumu ile modal kapasite diyagramı aynı grafik üzerinde çizilir ve yapı için hedef deplasman sınırı belirlenir.
11. Analiz, bu hedef deplasman üst sınır kabul edilerek tekrarlanır.
12. Analizin sonucunda taşıyıcı sistem elemanlarında meydana gelen iç kuvvet ve plastik mafsallı dönmeleri programdan okunur.
13. Elemanlarda oluşan hasarlar, yönetmelikte belirtilen kesit hasar sınırlarına göre kıyaslanır ve hasar dağılımlarına göre yapı performans seviyesi elde edilir.

#### **4.2.1 İtme eğrisinin belirlenmesi**

İtme eğrisi, analizin her adımında yapının tabanında meydana gelen kesme kuvveti ile tepe yerdeğiştirmesi değerlerinin kaydedilmesi ve grafik üzerine işlenmesi ile oluşturulur.

Yatay yük kapasite eğrisi, taşıyıcı sistemin geometrisi ve kesit malzeme özelliklerini ve taşıyıcı sistem elastik ötesi davranışı göz önüne alınarak adım adım yükleme ile oluşturulur.

## **5.DOĞRUSAL ELASTİK YÖNTEMLE PERFORMANS ANALİZİ**

### **5.1 Giriş**

Eşdeğer deprem yükü yöntemi, birinci modun etkili olduğu ve burulma düzensizliğinin sınırlı olduğu düşük katlı binalarda yeterli yaklaşımı sağlar. Bu yöntem gevrek olan, kesme veya basınç kuvvetinin kritik olduğu elemanlarda uygulanamamakta, sünek elemanlarda uygulanmaktadır.

Kolon, kiriş ve perdelerin sünek eleman olarak sayılabilmeleri için bu elemanlarda eğilme kapasitesi ile uyumlu mevcut malzeme dayanımı değerleri kullanılarak TS500'e göre hesaplanan kesme kapasitesini aşmaması gereklidir. Kolon, kiriş ve perdelerde eğilme momenti ile uyumlu kesme kuvvetinin hesabında pekleşmeli taşıma gücü momentleri yerine taşıma gücü momentleri kullanılır. Birleşim bölgesi kesme kuvvetinin kesme dayanımını aşması durumunda, kolon-kiriş birleşim bölgesi gevrek olarak tanımlanır.

Bu yöntem yeni binaların tasarımında kullanılan yöntemin mevcut binalara genişletilmiş olarak kabul edilebilir. Yeni tasarımda olduğu gibi bu yöntemde kesit ve elemanların dayanımları esas alınır. Bu amaçla taşıyıcı sistem ayrı ayrı her iki doğrultuda elastik (azaltılmamış  $R_a=1$ ) deprem yükü yüklenir. Bu işlem eşdeğer deprem yükü yönteminde azaltılmamış deprem yükü statik etki olarak yüklenerek yapılır[2].

Bu bölümde yapıların deprem performansının belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden biri olan Doğrusal elastik yöntem hakkında bilgiler verilecektir.

### **5.2 Doğrusal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi**

Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nde oluşturulan analiz modeli, yeni yapı olarak yapılan tasarımda kullanılan model ile aynıdır. Bütün kesitlerde çatlama kesite ait

eğilme rijitlikleri kullanılmakta, dolayısı ile yeni yapı tasarımındaki rijitliklerde herhangi bir azaltmaya gidilmemektedir.

Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin kullanılabilmesi için yapının bazı şartları sağlaması gerekmektedir. DBYBHY 2007'ye göre bu şartlar şu şekilde sıralanmaktadır:

- Bodrum üzerindeki toplam yüksekliği 25m'den az olan binalar,
- Toplam kat adedi 8'i aşmayan binalar,
- Burulma düzensizlik katsayısı 1,4'den küçük olan binalar.

Bodrum üzerindeki kat adedi ikiden fazla olan binalarda kütleinin bir kısmının katılımı söz konusu olduğu için eşdeğer deprem yükü toplam  $\lambda=0,85$  katsayısı çarpılarak azaltılır. Yöntemin bu tek modlu uygulamasında binaya etkiyen toplam deprem yükü;

$$V_t = \lambda W . A(T_1) / R_d$$

olarak hesaplanır.

Analizi yapılan taşıyıcı sisteme ait kiriş, kolon ve perdeler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları ( $r_s$ ) sırasıyla Tablo 3.1, Tablo 3.2 ve Tablo 3.3'te görülmektedir. Etki kapasite oranları, her eleman için sınır değerlerle karşılaştırıldıktan sonra, binaya ait genel performans değerlendirmesi 2.4'te açıklanan performans düzeyi şartlarının tahkiki ile yapılmaktadır.

**Tablo 5.1:** Betonarme kirişler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları .

Sünek Kirişler			Hasar Sınırı		
$(\rho - \rho')/\rho_b$	Sargılama	$V_e/(b_w d f_{ctm})$	MN	GV	GÇ
$\leq 0,0$	var	$\leq 0,65$	3	7	10
$\leq 0,0$	var	$\geq 1,30$	2,5	5	8
$\geq 0,5$	var	$\leq 0,65$	3	5	7
$\geq 0,5$	var	$\geq 1,30$	2,5	4	5
$\leq 0,0$	yok	$\leq 0,65$	2,5	4	6
$\leq 0,0$	yok	$\geq 1,30$	2	3	5
$\geq 0,5$	yok	$\leq 0,65$	2	3	5
$\geq 0,5$	yok	$\geq 1,30$	1,5	2,5	4

**Tablo 5.2:** Betonarme kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları

Sünek Kolonlar			Hasar Sınırı		
$N_K/(A_c f_{cm})$	Sargılama	$V_e/(b_w d f_{ctm})$	MN	GV	GÇ
$\leq 0,1$	var	$\leq 0,65$	3	6	8
$\leq 0,1$	var	$\geq 1,30$	2,5	5	6
$\geq 0,4$ ve $\leq 0,7$	var	$\leq 0,65$	2	4	6
$\geq 0,4$ ve $\leq 0,7$	var	$\geq 1,30$	1,5	2,5	3,5
$\leq 0,1$	yok		2	3,5	5
$\leq 0,1$	yok	$\leq 0,65$	1,5	2,5	3,5
$\geq 0,4$ ve $\leq 0,7$	yok	$\geq 1,30$	1,5	2	3
$\geq 0,4$ ve $\leq 0,7$	yok	$\leq 0,65$	1	1,5	2
$\geq 0,7$	-	-	1	1	1

**Tablo 5.3:** Betonarme perdeler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları

Sünek Perdeler	Hasar Sınırı		
Perde uç bölgesinde sargılama	MN	GV	GÇ
Var	3	7	10
Yok	2,5	5	8

Kullanılabilirlik şartlarını sağlayan yapılarda yöntemin uygulama adımları aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Taşıyıcı sistem G+nQ yükleri altında çözülerek MD ve ND kesit etkileri hesaplanır.
2. Taşıyıcı sistem öngörülen azaltılmamış deprem etkisi altında E deprem yükleri altında çözülerek ME ve NE kesit etkileri hesaplanır.
3. Taşıyıcı sistemin kiriş ve kolonların MK ve NK uç kesitlerinin pozitif ve negatif eğilme momenti kapasiteleri hesaplanır.
4. Bütün kolon ve kirişlerin kesme kuvveti ve normal kuvvet kapasiteleri TS500 ifadeleri esas alınarak hesaplanır. Bu değerler mevcut değerlerle karşılaştırılarak kesitlerin dolayısıyla elemanların güç tükenmesinin sünek veya gevrek olduğuna karar verilir.

5. Sünek elemanlarda  $r = \text{Etki} / \text{Kapasite}$  oranları ilgili tanımlarda hesaplanır. Bu değerler tablolardan verilen sınır değerlerle karşılaştırılarak kesitin bulunduğu hasar bölgesi belirlenir.
6. Kiriş ve kolonların uç kesitleri için belirlenen hasar bölgelerinden elema hasar bölgeleri, kat ve taşıyıcı sistem performans durumu belirlenir. Ayrıca göreli kat ötelemesi sınırları kontrol edilir.
7. Belirlenen performans durumunun verilen bina için kabul edilip edilemeyeceğine karar verilir.

Tez kapsamında incelenen örnek bina, yukarıda açıklanan sıralamaya uygun olarak incelenmiş ve hesaplar Bölüm 4'te gösterilmiştir.

## **6. ARTIMSAL EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ YÖNTEMİ İLE MEVCUT BETONARME YAPININ BİLGİSAYAR ORTAMINDA ANALİZİ**

### **6.1 Giriş**

Bu bölümde DBYBHY 2007'ye göre boyutlandırılmış, taşıyıcı sistemi betonarme çerçeve olan 3 katlı konut türü yapının Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile doğrusal olmayan analizi yapılmış ve yapı performans seviyesi belirlenmiştir. Deprem Yönetmeliğinde açıklanan yöntemin güncel bir örneğini oluşturan bu çalışmada analizler yapının X doğrultusu için yapılmış ve sonuçlar irdelenmiştir. Analizde, 4. bölümde açıklanan SAP 2000 yazılımı kullanılmıştır.

### **6.2 Yapı Bilgileri**

#### **6.2.1 Yapı genel bilgileri**

Analizi yapılan konut türü yapının projelendirilmesi ve inşaatı 2007 yılında tamamlanmıştır. Yapı, Balıkesir ili Akçay Beldesi'nde yer almaktadır. Bir zemin ve iki normal kat olarak inşa edilen yapı Y ekseninde simetrik olup düzenli bir taşıyıcı sistem ihtiva etmektedir. Analizde göz önünde bulundurulmuş olan yapı bilgileri aşağıda sıralanmıştır.

- Zemin kat yüksekliği 3.9m, normal kat yükseklikleri 3m'dir.
- Yapı oturma alanı 260 m<sup>2</sup>'dir. Bitişik nizam olarak inşa edilen yapıda bir yönde 1.5 m'lik konsol teşkil edilmiştir. Normal kat kalıp planı Şekil 5.1'de verilmiştir.
- Yapı döşeme sistemi kirişli plak döşeme ve açıklığın fazla olduğu salon kısmında asmolen döşeme şeklinde tasarlanmıştır.
- Asmolen döşemeli kısım dışında bulunan tüm kirişler 25/50 cm boyutunda, taşıyıcı sisteme ait düşey elemanlar da muhtelif ebatlarda kolonlar şeklinde tekil edilmiştir.

- Yapıda kullanılan donatı sınıfı S 420'dir.
- Yapıda C 25 sınıfında beton kullanılmıştır.
- Yapının bulunduğu yerel zemin sınıfı Z1 sınıfıdır.
- Yapı 1. derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Dolayısıyla etkin yer ivmesi katsayısı 0.40 olarak kabul edilecektir.
- Konut türü olarak inşa edilen yapıda bina önem katsayısı  $I = 1,0$ 'dir.
- Zemin hakim periyotları  $T_a = 0.10$  ve  $T_b = 0.30$ 'dur.
- Yapı taşıyıcı sistemi süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanmış olup taşıyıcı sistem davranış katsayısı  $R = 8$ 'dir.

## **6.2.2 Yapıya Etki Eden Düşey Yükler**

### **6.2.2.1. Zati yükler**

Yapıya etki eden zati yükler, yapı elemanlarının öz ağırlıkları olarak kabul edilmektedir. Bilgisayar yazılımıyla yapılan analizde, yapı duvar ve döşeme yükleri kirişlere ekstra yük olarak girilmiş, kolon ve kirişlerin kendi ağırlıkları ise bilgisayar tarafından otomatik olarak hesaba katılmıştır.

Hesaplarda beton birim hacim ağırlığı  $\gamma_{\text{beton}} = 25 \text{ kN/m}^3$  olarak kabul edilmiştir. Duvar çizgisel yükü ise  $4,5 \text{ kN/m}^3$  olarak alınmıştır.

### **6.2.2.2. Hareketli yükler**

Yapı projelendirilirken kullanılmış olan hareketli yükler, performans analizinde de göz önüne alınmıştır. Tasarımda hareketli yük  $3 \text{ kN/m}^3$  kabul edilmiş, balkon ve merdiven kısımlarında ise  $5 \text{ kN/m}^3$  alınmıştır. Bu yükler kirişlere çizgisel yük olarak etki ettirilmiş ve bilgisayar modeline tanıtılmıştır.

### **6.2.3. Taşıyıcı sistem özellikleri**

Yapı düşey taşıyıcı sistem elemanlarının tamamını kolonlar oluşturmaktadır. Yapıya ait kolon aplikasyon planı Şekil A.1'de görülmektedir. Döşeme sistemi ise iki farklı şekilde teşkil edilmiştir. Açıklığın fazla olduğu salon kısmında asmolen döşeme teşkil edilmiştir. Bu bölümde bulunan yassı kirişler  $65/32 \text{ cm}$  ve  $80/32 \text{ cm}$



boyutlarındadır. Kirişli plak döşeme olarak tasarlanan diğer bölümlerde ise tüm kirişlerin boyutları 25/50 cm boyutundadır.

### 6.3 Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminin Uygulanabilirlik Tahkiki

DBYBHY 2007’de yöntemin kullanılabilmesi için yapının sağlaması gereken üç koşul belirtilmiştir. Bunlardan ilki binanın kat sayısının bodrum hariç 8’den fazla olmaması koşuludur. Bir diğer koşul ise herhangi bir katta ek dışmerkezlik göz önüne alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı  $n_{bi}$ ’nin 1.4 değerinden küçük olmasıdır. Yönetmelikte son olarak maddelenen koşul ise göz önüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katların kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olması şartıdır.

Bu çalışmada artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak analizi yapılan yapıda yöntemin kullanılabilirlik tahkiki yapılarak aşağıda maddelenmiştir.

- Yapı kat adedi  $N=3 < 8$  1.koşul sağlanmaktadır.
- Yapı burulma düzensizliği kontrolü DBYBHY 2007 Bölüm 2’de açıklanan hesap yöntemi ile yapının her iki deprem doğrultusu için hesaplanmıştır. Hesaplanan burulma düzensizliği katsayıları Tablo 6.1’de görülmektedir.

**Tablo 6.1:** Burulma düzensizliği katsayıları

X Doğrultusu			
KAT	$(\Delta i)_{max}$	$(\Delta i)_{ort}$	$n_{bi}$
3	0,001192	0,000972	1,23
2	0,002073	0,001677	1,24
1	0,003952	0,003116	1,27
Y Doğrultusu			
KAT	$(\Delta i)_{max}$	$(\Delta i)_{ort}$	$n_{bi}$
3	0,001142	0,001077	1,06
2	0,001919	0,001799	1,07
1	0,003792	0,003416	1,11

Her iki doğrultu için de  $n_{bi} < 1.4$ ’tür.

2.koşul sağlanmaktadır.

- Yapı periyodlarının hesaplanmasının ardından, birinci (hakim) moda ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine oranı 0.94 hesaplanmıştır. Bu değer yönetmelikte belirtilen 0.70 değerinden küçüktür. 3.koşul sağlanmaktadır.

## **6.4 Sap 2000 Programı İle Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin Uygulanması**

### **6.4.1 Yapı özelliklerinin programa tanıtılması**

Analize başlanmadan önce sistemin geometrik modeli programda oluşturulmuştur. Taşıyıcı sistemin kolon ve kirişlerden oluştuğı göz önüne alınarak sistem çubuk elemanlarla temsil edilmiştir. Geometrik modelin oluşturulmasının ardından yapıda kullanılan malzeme özellikleri programa tanıtılmış ve bu malzemelerle oluşturulan kesitler model üzerinde ilgili elemanlara atanmıştır.

### **6.4.2 Donatı alanlarının tanıtılması**

Kolon ve kiriş kesitlerinde bulunan donatılar model üzerinde ilgili kesitlere atanmıştır. Programda kolon donatı özellikleri atanırken donatı çap ve adedi ile donatının kesit içerisindeki dağılımı programa girilmekte, kiriş donatı özellikleri ise elemanın i ve j uçlarında ayrı ayrı olmak üzere üst ve alt donatı alanları girilmektedir. Bu adımla model, yük kombinasyonlarının etkilmesine hazır hale gelmiştir.

### **6.4.3 Plastik mafsallık özelliklerinin atanması**

Taşıyıcı sistem elemanlarına, uygulanacak yük karşısında yapacakları şekildeğişimleri temsilen plastik mafsallar atanmıştır.

Genellikle düşey yük etkisi altında kirişlerde eğilme momentinin açıklık ve mesnette en büyük değeri alması bakımından plastik mafsallık da bu kesitlerde meydana gelmesi beklenir. Deprem yükleri etkisinde ise, kirişlerde mesnet kesitleri daha çok zorlandığı için plastik mafsallık da bu kesitlerde oluşması doğaldır [2].

Bilgisayar modeli üzerinde elemanlara üç tür plastik mafsallık atanmaktadır. Bunlar:

P: Yalnızca aksel yük taşıyan elemanlarda kullanılır. Genellikle her iki ucu mafsallık yapı elemanlarında kullanılmaktadır.

M3 veya M2: Nadir olarak kolonlar için de kullanılsa da genellikle kirişler için kullanılmadığıdır. Kesitte bulunan alt ve üst donatılar esas alınmaktadır.

PMM (PM2-M3): Kolon kesitlerinde kullanılmaktadır. Karşılıklı etki yüzeyi ve kullanım yükleri altında ortaya çıkan normal kuvvet düzeyi için mevcut donatı ile moment eğrilik ilişkisi belirlenir.

V2 veya V3: Kesme göçmeleri ortaya çıkabilecek elemanlarda kullanılır. Örnek olarak yetersiz etriye bulunan elemanlar, yüksek kirişler, bağ kirişleri, yüksekliği az olan perdeler verilebilir.

T: Burulma mafsali tanımlamak için kullanılır [4].

Yukarıdaki açıklamalar dikkate alınarak ilgili plastik mafsali özellikleri model üzerinde taşıyıcı sistem elemanlarına atanmıştır.

#### **6.4.4 Etkin eğilme rijitliklerinin belirlenmesi**

Yapıların performansının değerlendirilmesinde DBYBHY 2007'ye göre eğilme etkisindeki betonarme elemanların eğilme rijitliklerinde, kesitlere etkileyen normal kuvvetlerle orantılı olarak azaltma yapılması gerekmektedir. Yönetmelikte bulunan bu katsayılar denklem (6.1) de görülmektedir.

$$\text{Kirişlerde: } (EI)_e = 0.40 (EI)_o \quad (6.1.a)$$

$$\text{Kolon ve perdelerde, } N_D/(A_c f_{cm}) \leq 0.10 \text{ olması durumunda: } (EI)_e = 0.40 (EI)_o \quad (6.1.b)$$

$$N_D/(A_c f_{cm}) \geq 0.40 \text{ olması durumunda: } (EI)_e = 0.80 (EI)_o \quad (6.1.c)$$

Eksenel basınç kuvveti  $N_D$ 'nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir.  $N_D$ , Deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu yüklerin göz önüne alındığı ve çatlama kesitlerine ait  $(EI)_o$  eğilme rijitliklerinin kullanıldığı bir ön düşey yük hesabı ile belirlenecektir. Deprem hesabı için başlangıç durumunu oluşturan düşey yük hesabı ise, yukarıda belirtildiği şekilde elde edilen etkin eğilme rijitliği  $(EI)_e$  kullanılarak, deprem hesabında esas alınan kütlelerle uyumlu yüklerle göre yeniden yapılacaktır. Deprem hesabında da aynı rijitlikler kullanılacaktır [1].

Etkin eğilme rijitlikleri katsayıları yukarıda açıklanan yönetmelik şartlarına göre belirlenerek EK A, Tablo A1'de listelenmiştir. Hesaplanan bu katsayılar analiz programında her elemana tek tek atanmıştır.

#### **6.4.5 Analizde uygulanan yükler ve dağılım oranları**

Yapının artımsal eşdeğer yükü ile analizi yapılmadan önce zati ve hareketli yükler sisteme etkilmiştir. Daha sonra bu düşey yükler G+nQ kombinasyonu ile düşey

olarak yapıya uygulanır. Örnek sistemde n katsayısı konut türü yapılar için uygulanan 0.30 kabul edilmiştir. Aynı zamanda bu düşey yükleme artımsal itme analizinin başlangıç koşulunu oluşturmaktadır. Yatay yükleme düşey yüklemenin ardından başlayıp artarak devam etmektedir.

Yatay kuvvet dağılımı, kat kütleleri ve hakim periyodun mod şekli ile orantılı olarak belirlenmiştir. Yatay kuvvet dağılımı, Tablo 6.2’de görülmektedir.

**Tablo 6.2:** Yatay kuvvet dağılım oranları.

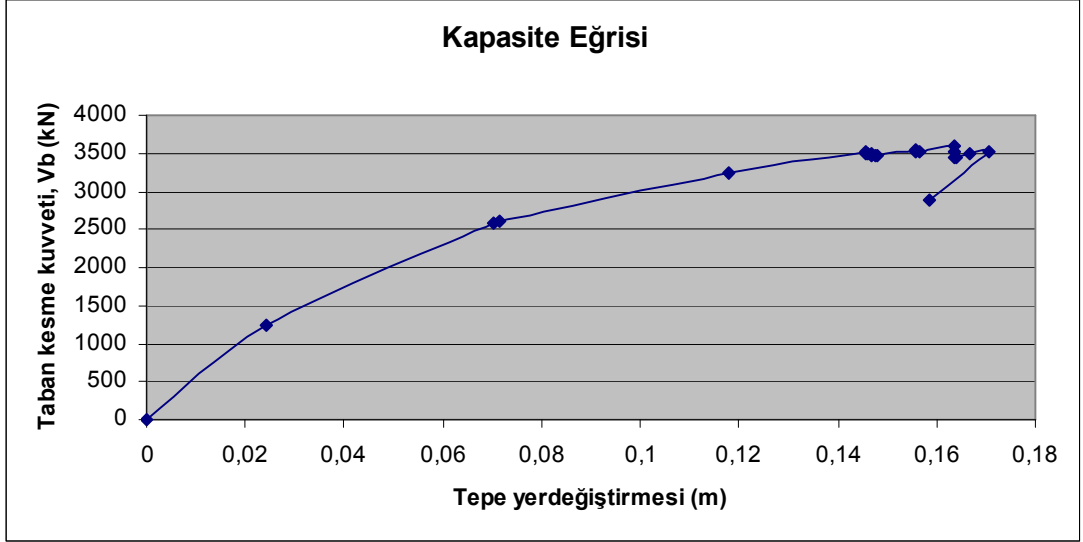
KAT NO	$\Phi_{i1}$	$m_i$	$m_i \cdot \Phi_{i1}$
3	0,0384	32,326	1,241318
2	0,032	32,326	1,034432
1	0,0209	33,699	0,704309

### 6.5 SAP 2000 analiz sonuçları

Analiz sonucunda program, her itme adımına ait taban kesme kuvveti ve tepe yerdeğiştirmesi ilişkisinin grafiksel ifadesini vermektedir. Analiz sonucunda hesaplanan bu grafik Şekil 6.1’de gösterilmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi yapının +X yönündeki taban kesme kuvveti kapasitesi 3585.94 kN, yapının karşılayabildiği en yüksek yerdeğiştirme değeri ise 0.1708m olarak hesaplanmıştır. Yapı projelendirilirken eşdeğer deprem yükü yöntemi ile aynı yön için bulunun taban kesme kuvveti ise 830.32 kN’dur. Dolayısıyla +X yönünde yapının karşıladığı taban kesme kuvvetinin yapıya etkileyen deprem yüküne oranı olan dayanım fazlalığı ise

$$D_{fx} = 3585.94 / 830.32 = 4.20$$

olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 6.1:** Yapının +X yönündeki taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi grafiği

### 6.6. Hedef Deplasman Sınırının Belirlenmesi

Analiz sonucu elde edilen taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi grafiğinin DBYBHY 2007’de verilmiş olan formüllerle modal koordinat dönüşümleri yapılarak talep deprem spektrumu ile aynı grafik üzerinde gösterilmesi gerekmektedir. Bu sayede yönetmelikte  $T_1$  başlangıç periyodunun  $T_B$ ’den büyük ve küçük olması durumlarına göre gerekli işlem yapılarak hedef deplasman sınırı belirlenebilmektedir.

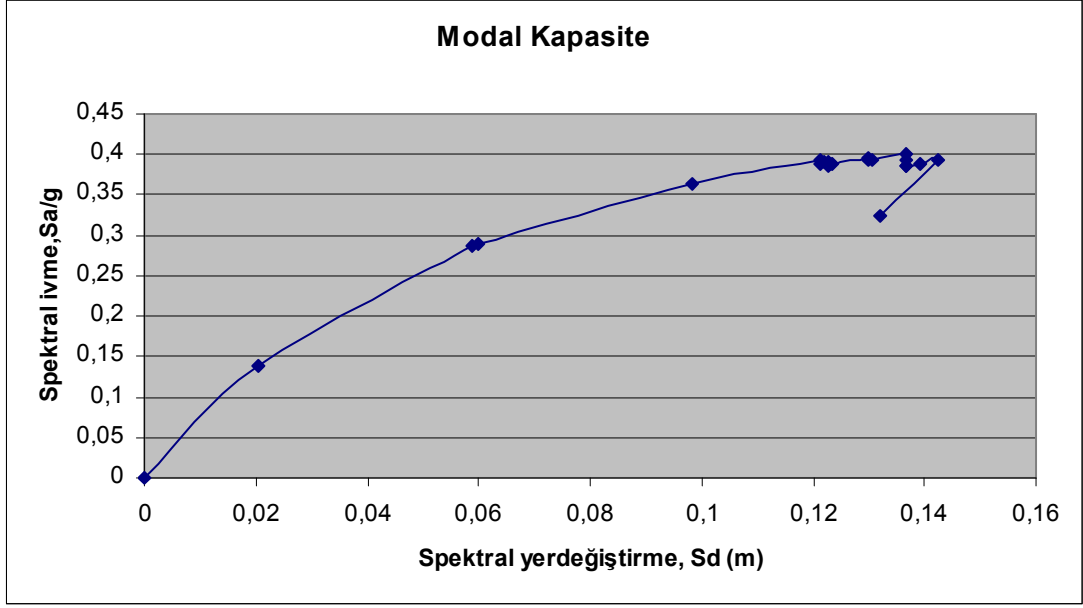
Koordinat dönüşümleri denklem (6.2)’de belirtilen formüllerle yapılmıştır.

$$[\phi_{x1}] = \begin{bmatrix} 0.0209 \\ 0.0320 \\ 0.0384 \end{bmatrix} \quad (6.2.a)$$

$$M_{x1} = \frac{\left( \sum_{i=1}^3 m_i \phi_{i1} \right)^2}{\sum_{i=1}^3 m_i \phi_{i1}^2} = 31.21 \quad (6.2.b)$$

$$\Gamma_{x1} = \frac{\sum_{i=1}^3 m_i \phi_{i1}}{\sum_{i=1}^3 m_i \phi_{i1}^2} = 93.00 \quad (6.2.c)$$

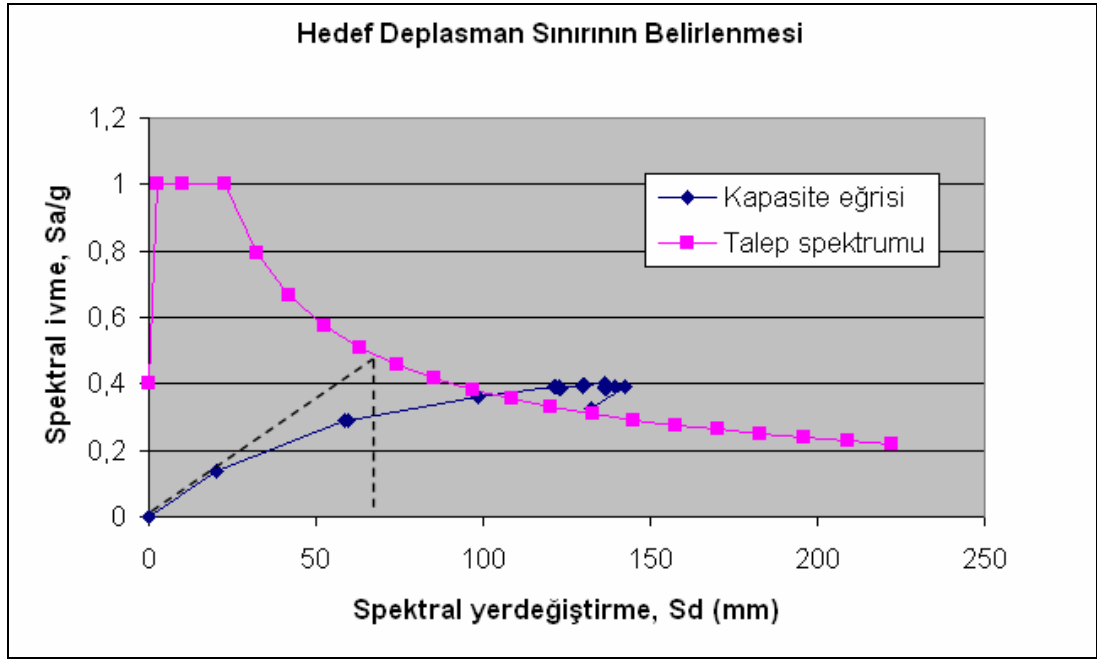
Yukarıda açıklanan şekilde koordinat dönüşümleri yapılmış olan spektral ivme-spektral yerdeğiştirme grafiği Şekil 6.2’de görölmektedir.



**Şekil 6.2:** Yapının +X yönündeki spektral ivme-spektral yerdeğiştirme grafiği

Spektrum eğrisi, tasarım depremi dikkate alınarak elastik talep deprem spektrumuna dönüştürülmüş ve modal kapasite diyagramı ile üst üste çakıştırılarak Şekil 6.3'te gösterilen grafik oluşturulmuştur.

Sistemde,  $T_1$  başlangıç periyodunun  $T_B$ 'den büyük olması nedeniyle grafik üzerinde modal kapasite eğrisinin başlangıç teğeti ile elastik deprem talep spektrum eğrisinin kesiştirilmesi sonucu modal hedef deplasman değeri 69.30 mm olarak hesaplanmıştır. Bu değer koordinat dönüşümüne tabi tutularak hedef deplasman sınırı 83.30 mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.3: Spektral hedef deplasmanın belirlenmesi

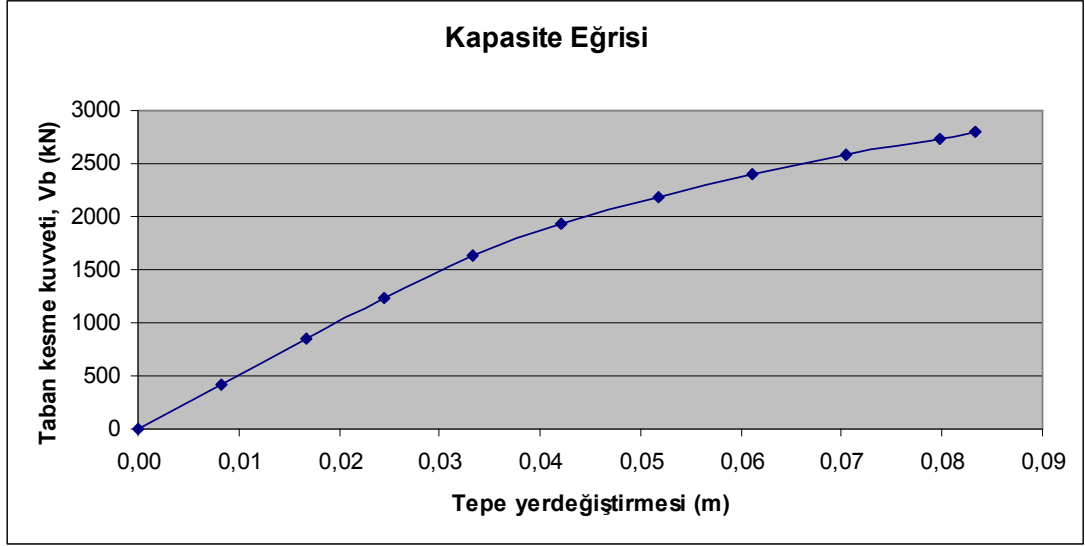
### 6.7 Gerçek Hedef Deplasman Değeri İle Analizin Tekrarı

Analiz sonucunda belirlenen hedef deplasman değeri SAP 2000 programına atanarak itme analizi bu değer üst sınır kabul edilerek tekrarlanmıştır. Program, yapı hedef deplasman üst sınırına ulaştıkça analizi sonlandırır.

Bu noktadan sonra, analiz sonuçlarının yönetmeliğe göre irdelenmesi aşamasına geçilmiştir. Analiz sonucunda kesitlerde meydana gelen iç kuvvetler kapasiteleri ile kıyaslanmış, donatı ve beton birim şekil değiştirmeleri de plastik mafsalları oluşan her kesit için hesaplanarak hasar durumları belirlenmiştir.

Yapının hedef deplasman üst sınır kabul edilerek yapılmış olan itme analizine ait grafik Şekil 6.4'te görülmektedir.

Grafikte de görüldüğü üzere, hedef deplasmana karşılık gelen taban kesme kuvveti 2793.01 kN'dur.

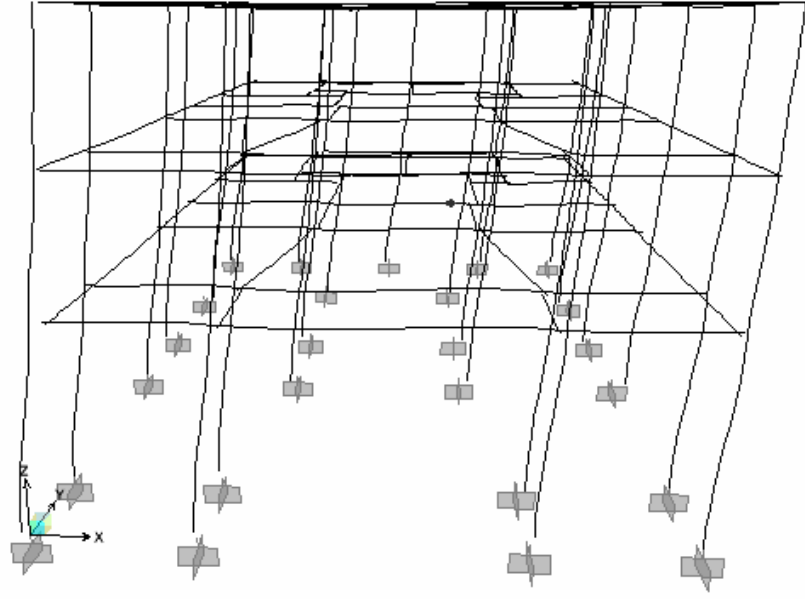


**Şekil 6.4:** Hedef deplasman üst sınırı için hesaplanan taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi grafiği

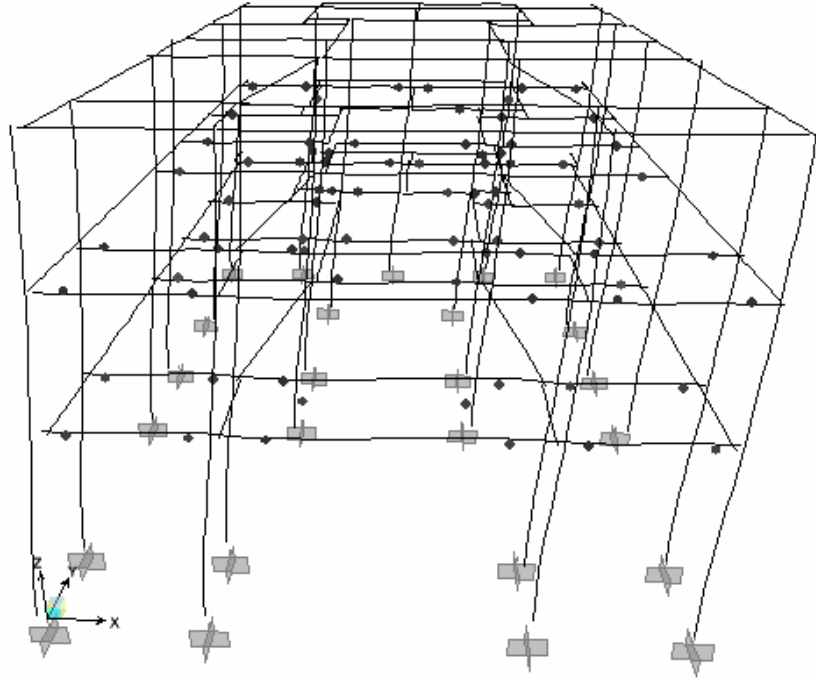
### 6.8 Kesit Hasar Tespiti

İtme analizi sonucunda SAP 2000 programından, plastik mafsalları oluşan kesitlerdeki plastik dönmeler okunmuştur. Bu değerler DBYBHY 2007’de belirtilen kesit hasar sınırları ile kıyaslanarak sonuçlar Tablo 6.3’te verilmiştir. İtme analizinde ilk plastik mafsalları oluştuğu 3. adım ve yapının hedef deplasman sınırına ulaştığı noktadaki plastik mafsalları durumunu gösteren çizimler iste sırasıyla Şekil 6.5 ve Şekil 6.6’da görölmektedir.





**Şekil 6.5:** İlk plastik mafsalın oluşumu (3. itme adımı)



**Şekil 6.6:** Analiz sonucunda oluşan tüm plastik mafsallar

**Tablo 6.3:** İtme analizi sonucu elemanlardaki hasar tespiti

Eleman	Mafsal No	$\Phi_p$	$\Phi_p$	$\Phi_e$	$\Phi_t$	$\epsilon_c$	$\epsilon_s$	$\epsilon_c$
K113	1	0,0091	0,0366	0,0092	0,0458	0,0019	0,0185	MN
K118	2	0,0084	0,0525	0,0111	0,0636	0,0036	0,0136	MN
K118	3	0,0068	0,0422	0,0111	0,0533	0,0030	0,0121	MN
K120	4	0,0078	0,0489	0,0111	0,0600	0,0029	0,0113	MN
K115	5	0,0111	0,0443	0,0092	0,0536	0,0021	0,0227	MN
K117	6	0,0108	0,0431	0,0092	0,0523	0,0020	0,0207	MN
K112	7	0,0082	0,0328	0,0092	0,0421	0,0019	0,0186	MN
K112	8	0,0078	0,0311	0,0092	0,0403	0,0018	0,0172	MN
K114	9	0,0070	0,0282	0,0092	0,0374	0,0017	0,0160	MN
K108	10	0,0050	0,0200	0,0092	0,0293	0,0014	0,0127	MN
K103	11	0,0040	0,0161	0,0092	0,0254	0,0012	0,0104	MN
K105	12	0,0026	0,0103	0,0092	0,0195	0,0011	0,0078	MN
K106	13	0,0032	0,0129	0,0092	0,0222	0,0012	0,0090	MN
K205	14	0,0039	0,0158	0,0092	0,0250	0,0012	0,0104	MN
K121	15	0,0066	0,0264	0,0092	0,0357	0,0016	0,0150	MN
K121	16	0,0059	0,0236	0,0092	0,0329	0,0015	0,0139	MN
K123	17	0,0048	0,0190	0,0092	0,0283	0,0014	0,0127	MN
K119	18	0,0042	0,0260	0,0111	0,0371	0,0012	0,0073	MN
K120	19	0,0066	0,0410	0,0106	0,0516	0,0012	0,0093	MN
K218	20	0,0050	0,0311	0,0111	0,0422	0,0012	0,0073	MN
K220	21	0,0039	0,0246	0,0111	0,0357	0,0014	0,0123	MN
K215	22	0,0056	0,0224	0,0092	0,0317	0,0014	0,0127	MN
K217	23	0,0056	0,0224	0,0081	0,0305	0,0016	0,0193	MN
SZ15	24	0,0052	0,0139	0,0014	0,0153	0,0035	0,0071	MN
SZ16	25	0,0047	0,0188	0,0014	0,0202	0,0069	0,0076	GV
K113	26	0,0067	0,0268	0,0092	0,0360	0,0017	0,0160	MN
K114	27	0,0070	0,0282	0,0081	0,0363	0,0013	0,0153	MN
K213	28	0,0048	0,0192	0,0081	0,0273	0,0012	0,0123	MN
K214	29	0,0043	0,0173	0,0092	0,0265	0,0011	0,0078	MN
K110	30	0,0097	0,0386	0,0092	0,0479	0,0019	0,0160	MN
K108	31	0,0085	0,0341	0,0081	0,0422	0,0015	0,0256	MN
K206	32	0,0044	0,0174	0,0081	0,0255	0,0011	0,0108	MN
K122	33	0,0071	0,0285	0,0081	0,0366	0,0013	0,0153	MN
K123	34	0,0048	0,0190	0,0092	0,0283	0,0011	0,0078	MN
K221	35	0,0034	0,0138	0,0092	0,0230	0,0012	0,0104	MN
K223	36	0,0043	0,0172	0,0081	0,0253	0,0011	0,0108	MN
K218	37	0,0027	0,0107	0,0081	0,0188	0,0006	0,0044	MN
K220	38	0,0034	0,0136	0,0081	0,0217	0,0010	0,0095	MN

K212	39	0,0034	0,0137	0,0092	0,0230	0,0012	0,0090	MN
K212	40	0,0033	0,0133	0,0081	0,0214	0,0010	0,0095	MN
K211	41	0,0018	0,0071	0,0092	0,0163	0,0010	0,0068	MN
K108	42	0,0053	0,0211	0,0081	0,0292	0,0012	0,0123	MN
K104	43	0,0027	0,0107	0,0092	0,0199	0,0011	0,0078	MN
K104	44	0,0042	0,0167	0,0081	0,0248	0,0011	0,0108	MN
K106	45	0,0032	0,0129	0,0092	0,0222	0,0012	0,0090	MN
K203	46	0,0038	0,0150	0,0092	0,0242	0,0012	0,0104	MN
K203	47	0,0014	0,0057	0,0081	0,0138	0,0007	0,0056	MN
K119	48	0,0042	0,0166	0,0092	0,0259	0,0012	0,0104	MN
K219	49	0,0033	0,0130	0,0081	0,0211	0,0010	0,0095	MN
K116	50	0,0041	0,0164	0,0081	0,0245	0,0011	0,0108	MN
K213	51	0,0021	0,0084	0,0092	0,0176	0,0010	0,0068	MN
K214	52	0,0027	0,0108	0,0081	0,0189	0,0009	0,0083	MN
K210	53	0,0035	0,0139	0,0092	0,0232	0,0012	0,0090	MN
K211	54	0,0031	0,0126	0,0081	0,0207	0,0009	0,0083	MN
K105	55	0,0026	0,0103	0,0081	0,0184	0,0009	0,0083	MN
K204	56	0,0022	0,0090	0,0081	0,0171	0,0008	0,0069	MN
SZ02	57	0,0036	0,0146	0,0090	0,0236	0,0020	0,0081	MN

### 6.9 Bina Performans Seviyesinin Belirlenmesi

Yapıyı oluşturan elemanların itme analizi sonucu kat bazında hasar dağılımı bir önceki bölümde elde edilmiştir. bu hasar durumlarının Bölüm 2’de anlatılan betonarme binaların deprem performansı ile karşılaştırılması ile bina performans seviyesi ortaya çıkar.

Elde edilen hasar sonuçlarında yapının, Can Güvenliği Performans Düzeyini Sağladığı görülmektedir.

## **7. EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ YÖNTEMİ İLE MEVCUT BETONARME YAPININ BİLGİSAYAR ORTAMINDA ANALİZİ**

### **7.1 Giriş**

Bu bölümde, tez kapsamında incelenen yapının deprem performansı DBYBHY 2007’de açıklanan doğrusal yöntemlerden biri olan Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile belirlenmiştir. SAP 2000 programı yardımıyla yapılan analizde yapı +X yönünde incelenmiştir.

### **7.2 Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin Uygulanabilirlik Tahkiki**

DBYBHY 2007’ye göre, yapı performansının eşdeğer deprem yüğü yöntemi ile belirlenmesinde yapının sağlaması gereken bazı koşullar mevcuttur. Bunlardan ilki yapının bodrum hariç kat yüksekliğinin 25 metreyi ve toplam kat adedinin 8’i aşmaması, ikincisi ise yapıda ek dışmerkezlilik göz önüne alınmaksızın hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının bütün katlarda  $n_{bi} < 1,4$  koşulunu sağlaması gerekliliğidir.

Eşdeğer deprem yüğü yönteminin kullanılabilirliği tahkik edilerek aşağıda maddelenmiştir.

- Yapı kat adedi  $N=3$  1.koşul sağlanmaktadır.
- Yapı burulma düzensizliği kontrolü DBYBHY 2007 Bölüm 2’de açıklanan hesap yöntemi ile yapının her iki deprem doğrultusu için hesaplanmıştır. Hesaplanan burulma düzensizliği katsayıları Tablo 7.1’de görülmektedir.

**Tablo 7.1:** Burulma düzensizliği katsayıları.

X Doğrultusu			
KAT	$(\Delta i)_{\max}$	$(\Delta i)_{\text{ort}}$	$n_{bi}$
3	0,001192	0,000972	1,23
2	0,002073	0,001677	1,24
1	0,003952	0,003116	1,27
Y Doğrultusu			
KAT	$(\Delta i)_{\max}$	$(\Delta i)_{\text{ort}}$	$n_{bi}$
3	0,001142	0,001077	1,06
2	0,001919	0,001799	1,07
1	0,003792	0,003416	1,11

Her iki doğrultu için de  $n_{bi} < 1.4$ 'tür.

2. koşul sağlanmaktadır.

### 7.3 Göreli Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması

Binanın bütün katlarındaki göreli kat ötelemesi oranları, Tablo 7.2'de görüleceği üzere DBYBHY 2007 Tablo 7.6'ya göre Can Güvenliği (CG) performans düzeyi için sınır değer olan 0.03'ün altında kalmaktadır.

**Tablo 7.2:** Göreli kat ötelemeleri.

DOĞR.	KAT	$\delta i \max (m)$	$\delta i/h$	
	X	3	0,005817	0,001939
	2	0,004837	0,001612	<0,02
	1	0,003146	0,000807	<0,02
Y	KAT	$\delta i \max (m)$	$\delta i/h$	
	3	0,005902	0,001967	<0,02
	2	0,005214	0,001738	<0,02
	1	0,003415	0,000876	<0,02

### 7.4 Bina Taşıyıcı Sistem Elemanlarında Performans Değerlendirmesi

Bilgisayar ortamında yatay ve düşey yüklemeler altında analizi yapılmış olan yapının kesit tesirleri yapı analiz programı yardımıyla elde edilmiş, kolonlar ve kirişler olmak üzere iki başlık altında performans değerlendirmeleri tablolar halinde sunulmuştur.

#### 7.4.1 Kolon kesitlerinde performans değerlendirmesi

Kolon kesitlerine ait MD, ME, ND ve NE değerleri analiz sonucunda elde edilmiş olup, bu değerler yardımıyla 5.2’de açıklanan şekilde kolonlara ait MK ve NK değerleri elde edilmiştir. Daha sonra bulunan bu değerler kullanılarak kolonlara ait alt ve üst Etki/Kapasite oranları, yönetmelik sınırları ile karşılaştırılmış ve kolonların performans hedefini sağlayıp sağlamadığı tahkik edilmiştir.

Etki/Kapasite oranının kiriş kesit moment kapasitesi kolayca bulunabildiği halde, kolonda kesit kapasite momenti normal kuvvete bağlıdır.

Bu nedenle;

$$r = \frac{M_E}{M_K - M_D} \qquad r = \frac{N_E}{N_K - N_D} \qquad (7.1)$$

7.1 ifadelerinden birine r değerinin tahmin edilmesi, diğerinde hesaplanması ve bu suretle ardışık yaklaşımla çözüm yapılması şeklinde hesap yapılmıştır.

Bulunan r değerleri ilgili eleman için verilen  $r_{sınır}$  değerleri ile karşılaştırılarak kesit, bu sonuçlarda eleman ve kat hasar bölgeleri ve sonuç olarak taşıyıcı sistem performans durumu belirlenmiştir.

Yukarıda açıklanan yöntem adımları tüm düşey taşıyıcı elemanlar için tekrarlanmış olup Ek A, Tablo A.2.a’da listelenmiştir.

Tabloda da görüleceği üzere tüm düşey taşıyıcı elemanlar, GV hasar sınırı altında, dolayısıyla minimum ve belirgin hasar bölgelerinde kalmaktadır.

#### 7.4.2 Kiriş kesitlerinde performans değerlendirmesi

Sistem yatay taşıyıcı elemanlarına ait kesit tesirleri analiz sonucunda elde edilmiş olup kesitlere ait MD, ME, ND ve NE kesitleri ile kesitlere ait MK, NK eğilme momenti ve normal kuvvetin kapasite değerleri hesaplanmıştır.

Bu aşamadan sonra kirişlere ait kesme kuvveti etkileri, kesme kuvveti kapasiteleri ile karşılaştırılarak her bir elemana ait kırılma türünün sünek olup olmadığı tahkik edilmiştir.

Bölüm 5.2’de açıklanan  $r_{sınır}$  değeri ilgili parametreler kullanılarak hesaplanmış, kiriş sol ve sağ uçlarına ait Etki/Kapasite oranları ile karşılaştırılarak eleman performansları değerlendirilmiştir.

Yukarıda açıklanan yöntem adımları tüm yatay taşıyıcı elemanlar için tekrarlanmış olup EkA, Tablo A.2.b’de listelenmiştir.

Tabloda da görüleceği üzere tüm düşey taşıyıcı elemanlar, GV hasar sınırı altında, dolayısıyla minimum ve belirgin hasar bölgelerinde kalmaktadır.

### 7.5 Bina Performansının Belirlenmesi

Bina genel performansının belirlenmesi için 2.4’te can güvenliği performans düzeyi için açıklanan sınır şartları ile karşılaştırılmış, Tablo 4.3’te sunulmuştur.

**Tablo 7.3:** Bina performansının belirlenmesi.

Kat	Eleman	Toplam	Sağlanmayan	Sağlanmayan	V-toplam	V-Sağlanmayan	Sağlanmayan	Limit
		Adet	Adedi	Yüzde	(kN)	(kN)	V-Yüzde	
1	Kolonlar	25	0	0	147,37	0	0	<20.00
	Kirişler	51	0	0		0	0	<20.00
2	Kolonlar	25	0	0	282,72	0	0	<20.00
	Kirişler	51	0	0		0	0	<20.00
3	Kolonlar	25	0	0	442,40	0	0	<20.00
	Kirişler	51	0	0		0	0	<20.00

Tabloda 7.3’te görüldüğü gibi taşıyıcı sisteme ait tüm elemanlar GV hasar sınırı altında kaldığı için yapının +X yönünde Can Güvenliği Performans Düzeyini sağladığı görülmektedir.

## 8. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Analiz sonucunda meydana gelen plastik mafsalların büyük çoğunluğunun kirişlerde toplandığı görülmektedir. Ayrıca mafsalların oluşum sırası da göz önüne alındığında yapıda kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşulunu sağlamaktadır.

Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapının 3585.95 kN'luk taban kesme kuvveti kapasitesinin olduğu belirlenmiştir. Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile tasarım sırasında hesaplanan taban kesme kuvveti ise 851.90 kN'dur. Burada, yapının bu yönde ciddi bir dayanım fazlalığı olduğu açıktır.

Dayanım fazlalığının sadece, yapı hem tasarlanırken hem de mevcut yapının performansı değerlendirilirken aynı tasarım depremi değerinin kullanılması, buna rağmen lineer olmayan analiz yönteminin daha gerçekçi bir çözüm yöntemi olması sonucu oluştuğunu söylemek bu örnek için yeterli olmayacaktır.

Nedenlerden biri de artan yükler altında sistemde bulunan yapısal elemanlar sırayla kapasitelerine ulaştıkça, bu elemanlar tarafından taşınamayan yüklerin diğer elemanlara dağılması (yeniden dağılım) sonucu taşıyıcı sistemin güç tükenme yükünün artmasıdır. Sistemin hiperstatiklik derecesi arttıkça yeniden dağılım olayı daha verimli olacağından, güç tükenme yükünün artacağı söylenebilir[6].

Yapının dayanım fazlalığı katsayısının 1.5'ten büyük olması, yapının süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlandığının bir göstergesidir. Aksi durumda sistemin dayanımı kaybetmeden büyük yerdeğiştirme değerlerine ulaşması beklenemez.

Doğrusal yöntemle yapılan performans değerlendirmesinde ise taşıyıcı sisteme ait tüm elemanların gerekli hasar sınırları içerisinde kaldığı gözlenmiştir. Bu örnek için iki yöntemin sonuçlar açısından tutarlı olduğu gözlenmekle beraber her iki yöntem sonucunda da ciddi bir dayanım fazlalığından söz edilebilir.

Bu denli ciddi bir dayanım fazlalığının, tasarım yapılırken minimum şartname değerlerinin sağlanması yerine oldukça emniyetli bir tasarım ve boyutlandırma yapılmasından kaynaklandığı açıktır.



## KAYNAKLAR

- [1] **Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, (DBYBHY 2007)**. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- [2] **Celep, Z.**, 2007 Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [3] **SAP 2000 Manual**, Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc, Berkeley, California.
- [4] **Darılmaz, K.**, 2007 Seminer Notları, İMO İstanbul.
- [5] **Celep, Z.**, 2002 Betonarme Yapılarda Deprem Sonrası Onarım ve Güçlendirme Yöntemleri, Prof. Dr. Kemal Özden'i Anma Semineri, Bildiriler Kitabı, Maya Basın Yayın, İstanbul.
- [6] **TS-500, 2000**. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [7] **TS-498, 1987**. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [8] **Celep, Z. ve Kumbasar, N.**, 2005. Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [9] **Celep, Z. ve Kumbasar, N.**, 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.

## **EKLER**

**EK-A****Tablo A.1:** Etkin eğilme rijitlikleri

ELEMAN NO	KESİT (cm*cm)	$A_c$ (m <sup>2</sup> )	$N_D$	$N_D/(A_c \cdot f_{cm})$	$*(EI)_0$
SZ1	25 x 50	0,1250	240,05	0,08	0,40
SZ2	35 x 50	0,1750	399,46	0,09	0,40
SZ3	30 x 50	0,1500	456,36	0,12	0,43
SZ4	35 x 50	0,1750	399,46	0,09	0,40
SZ5	25 x 50	0,1250	240,05	0,08	0,40
SZ6	25 x 75	0,1875	568,10	0,12	0,43
SZ7	25 x 75	0,1875	568,10	0,12	0,43
SZ8	35 x 50	0,1750	339,13	0,08	0,40
SZ9	35 x 50	0,1750	339,13	0,08	0,40
SZ10	35 x 50	0,1750	271,44	0,06	0,40
SZ11	40 x 60	0,2400	544,46	0,09	0,40
SZ12	40 x 60	0,2400	544,46	0,09	0,40
SZ13	35 x 50	0,1750	271,44	0,06	0,40
SZ14	30 x 60	0,1800	401,23	0,09	0,40
SZ15	25 x 70	0,1750	702,49	0,16	0,48
SZ16	25 x 70	0,1750	702,49	0,16	0,48
SZ17	30 x 60	0,1800	401,23	0,09	0,40
SZ18	25 x 60	0,1500	359,54	0,10	0,40
SZ19	50 x 50	0,2500	755,27	0,12	0,43
SZ20	50 x 50	0,2500	755,27	0,12	0,43
SZ21	25 x 60	0,1500	359,54	0,10	0,40
SZ22	25 x 50	0,1250	105,95	0,03	0,40
SZ23	25 x 50	0,1250	207,68	0,07	0,40
SZ24	25 x 50	0,1250	207,68	0,07	0,40
SZ25	25 x 50	0,1250	105,95	0,03	0,40

**Tablo A.2.a:** Kolon performanslarının değerlendirilmesi

Kolon	$M_D$ (kNm)	$M_E$ (kNm)	$N_D$ (kN)	$N_E$ (kN)	$N_K/(A_c f_{cm})$	$V_e/(b_w d f_{ctm})$	$r_{sirr}$	$M_{alt}$ (kNm)	$M_{üst}$ (kNm)	$r_{alt}$	$r_{üst}$	
SZ01	9,68	24,41	430,19	361,97	0,16	0,98	5,5	17,21	15,75	1,25	1,15	√
SZ02	18,90	63,00	741,19	526,21	0,25	1,40	3	45,26	39,62	0,76	0,67	√
SZ03	18,07	39,52	752,76	526,59	0,26	1,43	3	30,21	28,29	0,88	0,82	√
SZ04	18,79	63,07	736,63	521,04	0,25	1,40	3	45,40	39,90	0,76	0,67	√
SZ05	9,69	30,31	430,81	364,60	0,18	0,96	3,5	21,70	19,80	1,11	1,01	√
SZ06	34,73	225,19	926,16	627,25	0,30	1,29	4,5	184,33	118,31	0,94	0,61	√
SZ07	34,65	225,43	924,00	649,13	0,29	1,29	3	184,62	119,00	1,04	0,67	√
SZ08	25,31	103,20	604,59	489,72	0,19	1,69	2,5	79,66	51,70	1,18	1,35	√
SZ09	27,17	127,33	602,92	490,21	0,18	1,71	2,5	100,65	65,92	1,35	1,29	√
SZ10	18,15	94,08	441,65	386,61	0,15	1,26	3	84,66	58,76	1,29	1,17	√
SZ11	30,40	170,40	441,65	657,56	0,15	1,46	4,5	162,75	108,79	1,17	1,13	√
SZ12	30,31	171,97	918,71	608,42	0,23	1,57	4,5	163,34	110,17	1,13	1,30	√
SZ13	19,33	116,84	438,21	386,51	0,15	1,68	4,5	106,73	74,16	1,30	1,22	√
SZ14	13,34	37,28	557,01	455,77	0,17	0,85	4,5	37,08	31,69	1,22	1,13	√
SZ15	35,22	171,48	978,84	660,70	0,33	1,97	4,5	166,77	116,05	1,13	1,27	√
SZ16	35,12	167,95	974,43	681,40	0,32	1,97	4,5	167,26	117,03	1,27	1,03	√
SZ17	13,24	49,44	553,28	454,69	0,19	0,93	4,5	46,60	39,56	1,03	1,11	√
SZ18	10,30	23,45	457,64	389,36	0,00	1,43	4,5	22,86	20,99	1,11	0,99	√
SZ19	34,04	134,50	1134,04	753,51	0,27	1,81	4,5	121,06	79,46	0,99	0,99	√
SZ20	33,94	134,00	1130,90	749,39	0,27	1,81	4,5	121,35	80,15	0,99	1,22	√
SZ21	10,40	27,27	462,64	395,34	0,18	1,42	4,5	28,74	26,09	1,22	1,09	√
SZ22	3,53	26,19	158,92	162,85	0,09	1,17	4,5	25,60	23,84	1,09	1,20	√
SZ23	3,83	87,11	293,02	235,24	0,16	2,20	4,5	88,98	70,44	1,20	1,19	√
SZ24	8,80	90,06	293,32	175,50	0,14	2,20	4,5	88,98	70,53	1,19	1,09	√
SZ25	3,37	26,00	149,90	155,98	0,09	1,17	4,5	25,60	23,84	1,09	1,01	√
S101	8,86	29,19	284,38	229,84	0,13	0,99	5,5	16,85	17,12	0,71	0,72	√
S102	12,50	57,79	489,98	346,67	0,17	1,42	4,5	38,91	40,61	0,75	0,78	√
S103	11,91	44,13	496,06	346,77	0,18	1,44	4,5	31,62	31,96	0,91	0,92	√
S104	12,42	58,42	487,13	344,79	0,16	1,42	4,5	39,33	40,83	0,79	0,82	√
S105	9,37	29,05	285,95	230,98	0,13	0,99	4,5	16,19	16,83	0,71	0,74	√
S106	22,84	97,11	608,89	426,16	0,30	0,97	4,5	45,07	79,91	0,23	0,41	√
S107	22,79	98,63	607,65	425,52	0,29	0,82	4,5	45,91	80,03	0,26	0,45	√
S108	47,97	68,83	397,01	308,93	0,19	1,15	4,5	20,43	34,87	0,30	0,16	√
S109	46,55	63,06	397,88	309,30	0,18	1,15	4,5	12,25	32,00	0,16	0,48	√
S110	31,57	64,48	292,40	241,01	0,15	1,14	4,5	31,49	43,50	0,48	0,37	√

S111	20,08	83,91	608,46	427,70	0,15	1,13	4,5	51,25	78,16	0,37	0,36	√
S112	20,03	92,22	606,95	410,14	0,23	1,13	4,5	52,92	78,45	0,36	0,28	√
S113	32,22	60,81	291,80	240,47	0,15	1,14	4,5	23,18	40,54	0,28	0,99	√
S114	17,63	42,57	366,41	289,43	0,17	0,79	4,5	30,05	31,20	0,99	0,44	√
S115	23,11	99,02	641,94	436,62	0,33	1,53	4,5	65,21	89,64	0,44	0,51	√
S116	23,01	98,30	639,28	434,66	0,32	1,53	4,5	66,47	89,95	0,51	0,61	√
S117	17,54	41,56	366,09	289,04	0,19	0,79	4,5	27,49	30,14	0,61	1,06	√
S118	6,64	24,76	295,17	239,12	0,00	1,44	4,5	21,78	21,54	1,06	0,28	√
S119	44,94	84,63	743,40	498,87	0,27	1,84	4,5	34,63	56,35	0,28	0,29	√
S120	45,05	84,41	741,40	497,49	0,27	1,84	4,5	35,52	56,61	0,29	0,88	√
S121	6,75	24,34	300,07	243,20	0,18	1,44	4,5	20,63	21,06	0,88	0,88	√
S122	3,54	23,32	109,27	101,69	0,09	1,19	4,5	20,73	20,83	0,88	0,55	√
S123	8,55	55,03	195,33	123,40	0,16	2,24	4,5	41,19	49,46	0,55	0,55	√
S124	8,01	54,65	195,33	123,37	0,14	2,24	4,5	41,28	49,49	0,55	0,88	√
S125	3,32	23,15	103,58	97,14	0,09	1,19	4,5	20,68	20,82	0,88	0,88	√
S201	10,42	19,87	138,82	104,93	0,13	1,02	5,5	8,52	9,39	0,36	0,39	√
S202	6,28	35,52	246,34	173,98	0,25	1,47	4,5	19,74	23,16	0,33	0,39	√
S203	5,90	26,08	245,78	171,81	0,26	1,49	4,5	17,04	18,53	0,49	0,54	√
S204	6,33	35,89	245,07	173,06	0,25	1,47	4,5	19,76	23,23	0,33	0,39	√
S205	10,83	20,26	139,53	105,49	0,18	1,02	4,5	8,63	9,47	0,44	0,48	√
S206	11,50	60,89	306,65	209,54	0,30	0,63	4,5	21,56	49,84	0,11	0,26	√
S207	11,48	61,47	305,98	213,35	0,29	0,63	4,5	21,30	49,93	0,12	0,28	√
S208	67,16	71,12	198,17	148,86	0,19	0,82	4,5	9,30	21,36	0,14	0,15	√
S209	66,99	71,60	198,54	149,27	0,18	0,82	4,5	11,02	21,84	0,15	0,21	√
S210	45,65	57,57	139,87	108,64	0,15	0,82	4,5	13,56	25,77	0,21	0,17	√
S211	18,48	61,99	307,54	210,61	0,15	0,89	4,5	23,95	48,37	0,17	0,16	√
S212	20,19	63,17	306,81	209,88	0,23	0,89	4,5	23,45	48,52	0,16	0,19	√
S213	44,17	57,20	139,68	108,68	0,15	0,82	4,5	15,29	26,29	0,19	0,47	√
S214	23,94	34,72	183,98	138,66	0,17	0,83	4,5	14,38	18,21	0,47	0,21	√
S215	18,09	68,75	323,31	220,28	0,33	1,21	4,5	31,38	55,24	0,21	0,24	√
S216	17,53	68,52	321,95	219,38	0,32	1,21	4,5	31,07	55,30	0,24	0,33	√
S217	24,04	34,99	183,74	138,54	0,19	0,83	4,5	14,82	18,40	0,33	0,50	√
S218	5,25	15,56	152,45	115,19	0,00	1,46	4,5	10,33	11,94	0,50	0,14	√
S219	62,13	79,29	383,98	262,02	0,27	1,87	4,5	16,92	34,76	0,14	0,14	√
S220	61,64	79,08	382,96	261,24	0,27	1,87	4,5	16,77	34,82	0,14	0,45	√
S221	5,34	15,73	154,14	116,69	0,18	1,46	4,5	10,52	12,05	0,45	0,45	√
S222	4,30	14,57	46,27	39,60	0,09	1,21	4,5	10,50	11,55	0,45	0,31	√
S223	12,34	39,65	90,05	60,57	0,16	2,30	4,5	23,06	30,90	0,31	0,31	√
S224	11,57	39,13	90,05	60,56	0,14	2,30	4,5	23,05	30,93	0,31	0,45	√
S225	4,08	14,44	44,24	37,96	0,09	1,21	4,5	10,54	11,57	0,45	0,49	√

**Tablo A.2.b:** Kiriş performanslarının değerlendirilmesi

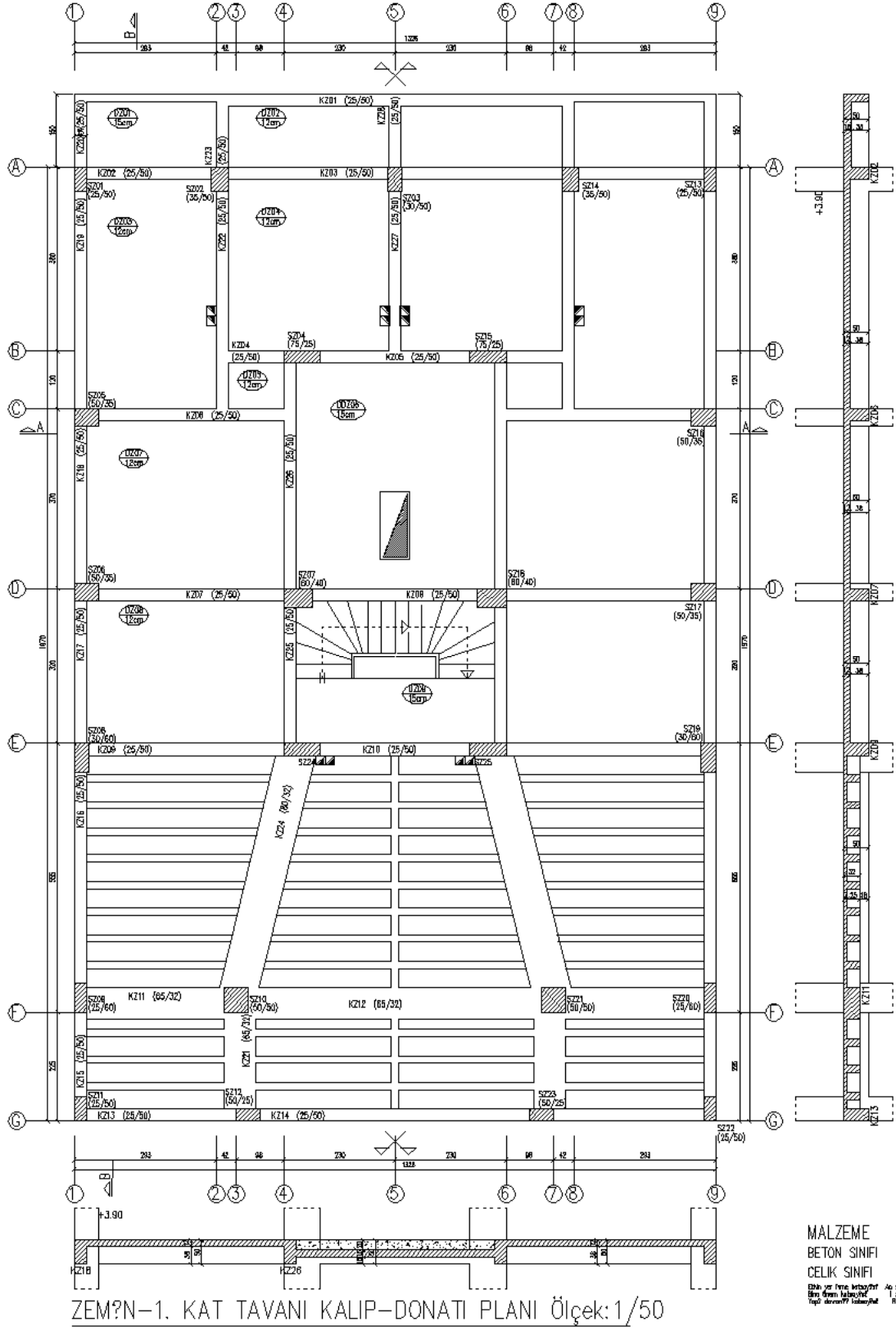
Kiriş	$\rho$	$\rho'$	$\rho b$	Vr (kN)	Ve (kN)	$(\rho-\rho')/\rho b$	Ve/(Ac.fctm)	$r_{sınır}$	Mi (kNm)	Mj (kNm)	ri	rj	
KZ01	0,0029	0,0020	0,0205	157,0	28,4	0,05	0,13	7	2,46	0,79	0,06	0,02	√
KZ02	0,0029	0,0020	0,0205	157,0	28,4	0,05	0,13	7	0,80	2,41	0,02	0,06	√
KZ03	0,0029	0,0020	0,0205	240,3	54,9	0,05	0,26	6	34,15	39,66	0,83	0,97	√
KZ04	0,0029	0,0029	0,0205	157,0	38,1	0,00	0,18	6	34,98	28,29	0,59	0,48	√
KZ05	0,0029	0,0029	0,0205	157,0	38,1	0,00	0,18	6	28,04	34,37	0,47	0,58	√
KZ06	0,0029	0,0020	0,0205	240,3	54,9	0,05	0,26	6	40,98	37,67	1,00	0,92	√
KZ07	0,0020	0,0040	0,0205	157,0	91,2	-0,10	0,43	7	0,07	66,58	0,00	0,81	√
KZ08	0,0029	0,0040	0,0205	240,3	74,0	-0,05	0,35	7	87,27	0,90	1,07	0,01	√
KZ09	0,0020	0,0040	0,0205	157,0	92,2	-0,10	0,43	7	67,92	0,07	0,83	0,00	√
KZ10	0,0039	0,0029	0,0205	157,0	91,2	0,05	0,43	6	70,43	9,31	1,16	0,15	√
KZ11	0,0039	0,0029	0,0205	157,0	93,2	0,05	0,44	6	8,23	76,29	0,14	1,26	√
KZ12	0,0029	0,0029	0,0205	157,0	57,8	0,00	0,27	6	89,20	92,18	1,47	1,52	√
KZ13	0,0029	0,0029	0,0205	157,0	60,2	0,00	0,28	6	65,14	64,88	1,07	1,07	√
KZ14	0,0029	0,0029	0,0205	157,0	66,8	0,00	0,31	6	95,41	96,15	1,57	1,59	√
KZ15	0,0029	0,0040	0,0205	157,0	51,5	-0,05	0,24	7	62,66	80,36	0,77	0,98	√
KZ16	0,0029	0,0040	0,0205	157,0	57,9	-0,05	0,27	7	100,94	100,90	1,24	1,24	√
KZ17	0,0029	0,0040	0,0205	157,0	51,5	-0,05	0,24	7	82,92	68,00	1,02	0,83	√
KZ18	0,0037	0,0025	0,0205	250,2	61,9	0,06	0,17	6	43,11	65,24	0,59	0,89	√
KZ19	0,0037	0,0025	0,0205	250,2	29,1	0,06	0,08	6	43,00	42,88	0,59	0,59	√
KZ20	0,0037	0,0025	0,0205	250,2	61,9	0,06	0,17	6	67,02	46,74	0,92	0,64	√
KZ21	0,0029	0,0039	0,0205	240,3	52,7	-0,05	0,25	7	44,66	64,01	0,56	0,80	√
KZ22	0,0020	0,0039	0,0205	157,0	25,7	-0,10	0,12	7	51,17	51,14	0,64	0,64	√
KZ23	0,0029	0,0039	0,0205	240,3	52,7	-0,05	0,25	7	64,10	44,94	0,80	0,56	√
KZ24	0,0029	0,0020	0,0205	273,7	174,9	0,05	0,82	6	4,43	4,83	0,11	0,12	√
KZ25	0,0020	0,0020	0,0205	157,0	48,8	0,00	0,23	6	4,14	3,87	0,10	0,09	√
KZ26	0,0029	0,0020	0,0205	240,3	78,3	0,05	0,37	6	1,98	2,96	0,05	0,07	√
KZ27	0,0020	0,0020	0,0205	157,0	43,1	0,00	0,20	6	3,50	3,12	0,09	0,08	√
KZ28	0,0020	0,0020	0,0205	157,0	39,9	0,00	0,19	6	3,11	2,60	0,08	0,06	√
KZ29	0,0020	0,0020	0,0205	157,0	20,6	0,00	0,10	6	0,00	0,00	0,00	0,00	√
KZ30	0,0029	0,0020	0,0205	240,3	28,4	0,05	0,13	6	0,00	0,00	0,00	0,00	√
KZ31	0,0034	0,0025	0,0205	375,7	142,2	0,04	0,40	6	3,68	1,31	0,06	0,02	√
KZ32	0,0020	0,0039	0,0205	157,0	66,7	-0,10	0,31	7	18,49	29,05	0,23	0,36	√
KZ33	0,0020	0,0039	0,0205	157,0	46,1	-0,10	0,22	7	0,10	1,58	0,00	0,02	√
KZ34	0,0025	0,0025	0,0205	278,6	55,7	0,00	0,13	6	6,59	7,28	0,11	0,12	√
KZ35	0,0020	0,0039	0,0205	240,3	94,6	-0,10	0,44	7	3,22	5,43	0,04	0,07	√
KZ36	0,0035	0,0020	0,0205	157,0	54,0	0,07	0,25	6	4,06	2,20	0,10	0,05	√
KZ37	0,0020	0,0020	0,0205	157,0	81,4	0,00	0,38	7	0,11	0,03	0,00	0,00	√

KZ38	0,0020	0,0020	0,0205	157,0	79,5	0,00	0,37	7	0,00	0,02	0,00	0,00	√
KZ39	0,0025	0,0025	0,0205	278,6	55,7	0,00	0,13	7	6,60	7,38	0,11	0,12	√
KZ40	0,0020	0,0039	0,0205	240,3	94,6	-0,10	0,44	7	2,80	5,20	0,07	0,13	√
KZ41	0,0020	0,0020	0,0205	157,0	54,0	0,00	0,25	7	4,64	2,36	0,11	0,06	√
KZ42	0,0034	0,0025	0,0205	375,7	142,2	0,04	0,40	6	3,33	1,12	0,05	0,02	√
KZ43	0,0020	0,0039	0,0205	157,0	66,7	-0,10	0,31	7	18,04	29,69	0,22	0,37	√
KZ44	0,0020	0,0039	0,0205	157,0	46,1	-0,10	0,22	7	0,10	1,56	0,00	0,02	√
KZ45	0,0029	0,0020	0,0205	240,3	28,4	0,05	0,13	6	0,00	0,00	0,00	0,00	√
KZ46	0,0020	0,0020	0,0205	273,7	174,9	0,00	0,82	7	4,79	4,78	0,12	0,12	√
KZ47	0,0020	0,0020	0,0205	157,0	48,8	0,00	0,23	7	4,08	3,80	0,10	0,09	√
KZ48	0,0029	0,0020	0,0205	240,3	77,4	0,05	0,36	6	2,03	3,00	0,05	0,07	√
KZ49	0,0020	0,0020	0,0205	157,0	43,1	0,00	0,20	7	3,51	3,10	0,09	0,08	√
KZ50	0,0020	0,0020	0,0205	157,0	39,9	0,00	0,19	7	3,13	2,66	0,08	0,06	√
KZ51	0,0020	0,0020	0,0205	157,0	20,6	0,00	0,10	7	0,00	0,00	0,00	0,00	√
K101	0,0029	0,0020	0,0205	157,0	28,4	0,05	0,13	6	1,81	0,60	0,04	0,01	√
K102	0,0029	0,0020	0,0205	157,0	28,4	0,05	0,13	6	0,64	1,81	0,02	0,04	√
K103	0,0029	0,0020	0,0205	240,3	54,9	0,05	0,26	6	26,46	29,76	0,65	0,73	√
K104	0,0029	0,0029	0,0205	157,0	38,1	0,00	0,18	6	27,71	23,13	0,47	0,39	√
K105	0,0029	0,0029	0,0205	157,0	38,1	0,00	0,18	6	23,25	27,85	0,39	0,47	√
K106	0,0029	0,0020	0,0205	240,3	54,9	0,05	0,26	6	29,86	26,25	0,73	0,64	√
K107	0,0020	0,0040	0,0205	157,0	68,7	-0,10	0,32	6	0,30	41,47	0,00	0,51	√
K108	0,0029	0,0040	0,0205	240,3	57,7	-0,05	0,27	6	54,20	0,71	0,66	0,01	√
K109	0,0020	0,0040	0,0205	157,0	68,7	-0,10	0,32	6	41,28	0,28	0,50	0,00	√
K110	0,0039	0,0029	0,0205	157,0	84,4	0,05	0,40	6	43,33	5,62	0,72	0,09	√
K111	0,0039	0,0029	0,0205	157,0	84,4	0,05	0,40	6	7,60	5,12	0,13	0,08	√
K112	0,0029	0,0029	0,0205	157,0	48,6	0,00	0,23	6	56,51	57,68	0,93	0,95	√
K113	0,0029	0,0029	0,0205	157,0	43,7	0,00	0,20	6	42,70	42,80	0,70	0,71	√
K114	0,0029	0,0029	0,0205	157,0	48,6	0,00	0,23	6	57,38	55,33	0,95	0,91	√
K115	0,0029	0,0040	0,0205	157,0	37,9	-0,05	0,18	6	45,97	54,71	0,56	0,67	√
K116	0,0029	0,0040	0,0205	157,0	44,7	-0,05	0,21	6	66,02	66,12	0,81	0,81	√
K117	0,0029	0,0040	0,0205	157,0	37,9	-0,05	0,18	6	54,59	45,33	0,67	0,56	√
K118	0,0037	0,0025	0,0205	250,2	61,9	0,06	0,17	6	31,75	42,19	0,43	0,58	√
K119	0,0037	0,0025	0,0205	250,2	29,1	0,06	0,08	6	27,55	27,58	0,38	0,38	√
K120	0,0037	0,0025	0,0205	250,2	61,9	0,06	0,17	6	42,25	31,49	0,58	0,43	√
K121	0,0029	0,0039	0,0205	240,3	52,7	-0,05	0,25	6	31,63	40,84	0,39	0,51	√
K122	0,0020	0,0039	0,0205	157,0	25,7	-0,10	0,12	6	33,79	33,80	0,42	0,42	√
K123	0,0029	0,0039	0,0205	240,3	52,7	-0,05	0,25	6	40,89	31,61	0,51	0,39	√
K124	0,0029	0,0020	0,0205	273,7	137,2	0,05	0,64	6	2,59	2,70	0,06	0,07	√
K125	0,0020	0,0020	0,0205	157,0	39,9	0,00	0,19	6	3,28	3,20	0,08	0,08	√
K126	0,0029	0,0020	0,0205	240,3	66,2	0,05	0,31	6	1,38	1,94	0,03	0,05	√
K127	0,0020	0,0020	0,0205	157,0	37,0	0,00	0,17	6	3,17	3,03	0,08	0,07	√
K128	0,0020	0,0020	0,0205	157,0	32,4	0,00	0,15	6	2,08	1,67	0,05	0,04	√
K129	0,0020	0,0020	0,0205	157,0	20,6	0,00	0,10	6	0,00	0,00	0,00	0,00	√
K130	0,0029	0,0020	0,0205	240,3	28,4	0,05	0,13	6	0,00	0,00	0,00	0,00	√
K131	0,0034	0,0025	0,0205	375,7	142,2	0,04	0,40	6	1,46	0,60	0,02	0,01	√
K132	0,0020	0,0039	0,0205	157,0	66,7	-0,10	0,31	6	13,16	17,97	0,16	0,22	√
K133	0,0020	0,0039	0,0205	157,0	46,1	-0,10	0,22	6	0,03	1,06	0,00	0,01	√
K134	0,0025	0,0025	0,0205	278,6	55,7	0,00	0,13	6	4,95	5,28	0,08	0,09	√
K135	0,0020	0,0039	0,0205	240,3	94,6	-0,10	0,44	6	3,27	4,11	0,04	0,05	√
K136	0,0035	0,0020	0,0205	157,0	46,1	0,07	0,22	6	0,79	0,15	0,02	0,00	√
K137	0,0020	0,0020	0,0205	157,0	81,4	0,00	0,38	6	0,05	0,03	0,00	0,00	√
K138	0,0020	0,0020	0,0205	157,0	79,5	0,00	0,37	6	0,00	0,00	0,00	0,00	√

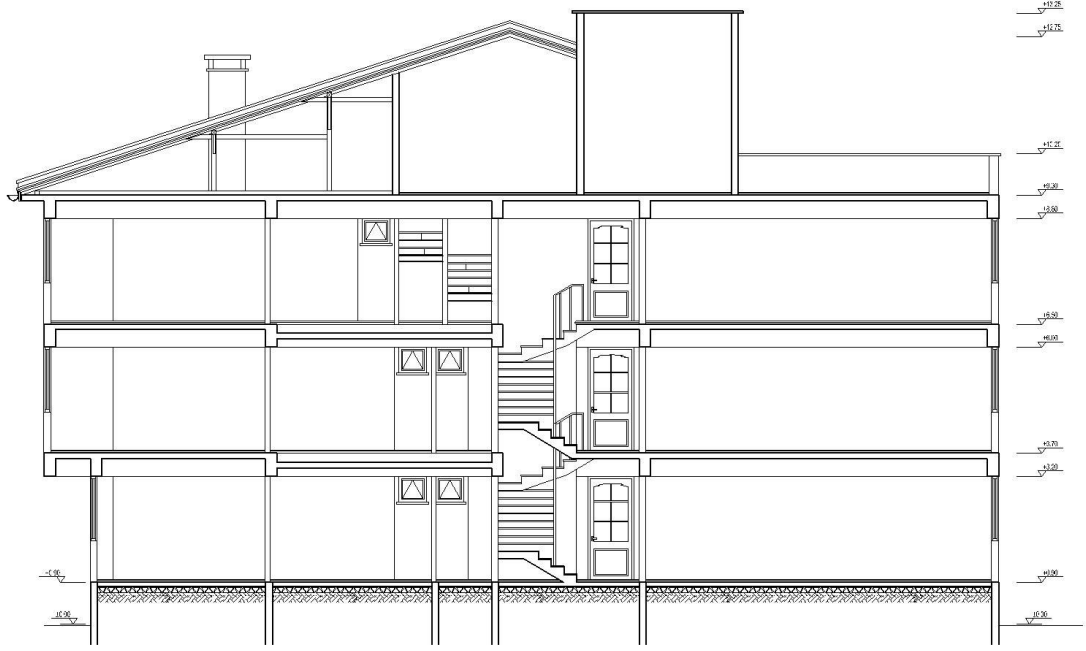
K139	0,0025	0,0025	0,0205	278,6	55,7	0,00	0,13	6	5,01	5,33	0,08	0,09	√
K140	0,0020	0,0039	0,0205	240,3	94,6	-0,10	0,44	6	3,29	4,10	0,08	0,10	√
K141	0,0020	0,0020	0,0205	157,0	54,0	0,00	0,25	6	0,82	0,02	0,02	0,00	√
K142	0,0034	0,0025	0,0205	375,7	142,2	0,04	0,40	6	1,50	0,60	0,02	0,01	√
K143	0,0020	0,0039	0,0205	157,0	66,7	-0,10	0,31	6	13,18	17,88	0,16	0,22	√
K144	0,0020	0,0039	0,0205	157,0	46,1	-0,10	0,22	6	0,03	1,09	0,00	0,01	√
K145	0,0029	0,0020	0,0205	240,3	28,4	0,05	0,13	6	0,00	0,00	0,00	0,00	√
K146	0,0020	0,0020	0,0205	273,7	122,8	0,00	0,58	6	2,93	3,04	0,07	0,07	√
K147	0,0020	0,0020	0,0205	157,0	39,9	0,00	0,19	6	3,16	3,05	0,08	0,07	√
K148	0,0029	0,0020	0,0205	240,3	66,2	0,05	0,31	6	1,36	1,89	0,03	0,05	√
K149	0,0020	0,0020	0,0205	157,0	37,0	0,00	0,17	6	3,05	2,91	0,07	0,07	√
K150	0,0020	0,0020	0,0205	157,0	32,4	0,00	0,15	6	2,02	1,63	0,05	0,04	√
K151	0,0020	0,0020	0,0205	157,0	20,6	0,00	0,10	6	0,00	0,00	0,00	0,00	√
K201	0,0029	0,0020	0,0205	157,0	28,4	0,05	0,13	6	0,82	0,23	0,02	0,01	√
K202	0,0029	0,0020	0,0205	157,0	28,4	0,05	0,13	6	0,25	0,81	0,01	0,02	√
K203	0,0029	0,0020	0,0205	240,3	54,9	0,05	0,26	6	9,80	10,60	0,24	0,26	√
K204	0,0029	0,0029	0,0205	157,0	38,1	0,00	0,18	6	11,30	8,71	0,19	0,15	√
K205	0,0029	0,0029	0,0205	157,0	38,1	0,00	0,18	6	8,74	11,26	0,15	0,19	√
K206	0,0029	0,0020	0,0205	240,3	54,9	0,05	0,26	6	10,70	9,91	0,26	0,24	√
K207	0,0020	0,0040	0,0205	157,0	64,7	-0,10	0,30	6	0,10	20,00	0,00	0,24	√
K208	0,0029	0,0040	0,0205	240,3	42,5	-0,05	0,20	6	27,07	0,27	0,33	0,00	√
K209	0,0020	0,0040	0,0205	157,0	64,7	-0,10	0,30	6	20,11	0,10	0,25	0,00	√
K210	0,0039	0,0029	0,0205	157,0	79,5	0,05	0,37	6	20,91	2,77	0,35	0,05	√
K211	0,0039	0,0029	0,0205	157,0	79,5	0,05	0,37	6	3,57	2,34	0,06	0,04	√
K212	0,0029	0,0029	0,0205	157,0	33,8	0,00	0,16	6	25,39	25,93	0,42	0,43	√
K213	0,0029	0,0029	0,0205	157,0	33,2	0,00	0,16	6	21,63	21,56	0,36	0,36	√
K214	0,0029	0,0029	0,0205	157,0	33,8	0,00	0,16	6	26,14	25,90	0,43	0,43	√
K215	0,0029	0,0040	0,0205	157,0	32,6	-0,05	0,15	6	18,57	23,79	0,23	0,29	√
K216	0,0029	0,0040	0,0205	157,0	33,9	-0,05	0,16	6	31,42	31,36	0,38	0,38	√
K217	0,0029	0,0040	0,0205	157,0	32,6	-0,05	0,15	6	23,91	18,79	0,29	0,23	√
K218	0,0037	0,0025	0,0205	250,2	61,9	0,06	0,17	6	11,96	17,82	0,16	0,24	√
K219	0,0037	0,0025	0,0205	250,2	29,1	0,06	0,08	6	14,60	14,58	0,20	0,20	√
K220	0,0037	0,0025	0,0205	250,2	61,9	0,06	0,17	6	17,91	12,08	0,24	0,17	√
K221	0,0029	0,0039	0,0205	240,3	52,7	-0,05	0,25	6	17,56	15,44	0,22	0,19	√
K222	0,0020	0,0039	0,0205	157,0	25,7	-0,10	0,12	6	16,90	16,89	0,21	0,21	√
K223	0,0029	0,0039	0,0205	240,3	52,7	-0,05	0,25	6	15,46	11,60	0,19	0,14	√
K224	0,0029	0,0020	0,0205	273,7	95,6	0,05	0,45	6	0,39	0,84	0,01	0,02	√
K225	0,0020	0,0020	0,0205	157,0	30,0	0,00	0,14	6	2,01	2,01	0,05	0,05	√
K226	0,0029	0,0020	0,0205	240,3	56,5	0,05	0,26	6	0,12	0,50	0,00	0,01	√
K227	0,0020	0,0020	0,0205	157,0	37,0	0,00	0,17	6	1,82	1,75	0,04	0,04	√
K228	0,0020	0,0020	0,0205	157,0	27,9	0,00	0,13	6	0,81	0,44	0,02	0,01	√
K229	0,0020	0,0020	0,0205	157,0	20,6	0,00	0,10	6	0,00	0,00	0,00	0,00	√
K230	0,0029	0,0020	0,0205	240,3	28,4	0,05	0,13	6	0,00	0,00	0,00	0,00	√
K231	0,0034	0,0025	0,0205	375,7	142,2	0,04	0,40	6	0,77	0,13	0,01	0,00	√
K232	0,0020	0,0039	0,0205	157,0	66,7	-0,10	0,31	6	5,64	8,85	0,07	0,11	√
K233	0,0020	0,0039	0,0205	157,0	46,1	-0,10	0,22	6	0,04	0,52	0,00	0,01	√
K234	0,0025	0,0025	0,0205	278,6	55,5	0,00	0,13	6	2,78	2,78	0,04	0,04	√
K235	0,0020	0,0039	0,0205	240,3	83,4	-0,10	0,39	6	2,06	2,68	0,03	0,03	√
K236	0,0035	0,0020	0,0205	157,0	45,9	0,07	0,22	6	0,36	0,13	0,01	0,00	√
K237	0,0020	0,0020	0,0205	157,0	81,4	0,00	0,38	6	0,03	0,00	0,00	0,00	√
K238	0,0020	0,0020	0,0205	157,0	77,5	0,00	0,36	6	0,00	0,01	0,00	0,00	√
K239	0,0025	0,0025	0,0205	278,6	55,5	0,00	0,13	6	2,78	2,80	0,04	0,05	√



K240	0,0020	0,0039	0,0205	240,3	83,4	-0,10	0,39	6	2,01	2,65	0,05	0,06	√
K241	0,0020	0,0020	0,0205	157,0	45,9	0,00	0,22	6	0,38	0,18	0,01	0,00	√
K242	0,0034	0,0025	0,0205	375,7	141,8	0,04	0,40	6	0,77	0,13	0,01	0,00	√
K243	0,0020	0,0039	0,0205	157,0	66,7	-0,10	0,31	6	5,59	8,91	0,07	0,11	√
K244	0,0020	0,0039	0,0205	157,0	46,1	-0,10	0,22	6	0,04	0,52	0,00	0,01	√
K245	0,0029	0,0020	0,0205	240,3	28,4	0,05	0,13	6	0,00	0,00	0,00	0,00	√
K246	0,0020	0,0020	0,0205	273,7	95,6	0,00	0,45	6	0,66	1,02	0,02	0,02	√
K247	0,0020	0,0020	0,0205	157,0	30,0	0,00	0,14	6	1,95	1,91	0,05	0,05	√
K248	0,0029	0,0020	0,0205	240,3	56,5	0,05	0,26	6	0,14	0,51	0,00	0,01	√
K249	0,0020	0,0020	0,0205	157,0	37,0	0,00	0,17	6	1,78	1,69	0,04	0,04	√
K250	0,0020	0,0020	0,0205	157,0	27,9	0,00	0,13	6	0,80	0,46	0,02	0,01	√
K251	0,0020	0,0020	0,0205	157,0	20,6	0,00	0,10	6	0,00	0,00	0,00	0,00	√



Şekil A.1: Zemin kat kalıp planı



**Şekil A.2:** Kesit görünüşü

## **ÖZGEÇMİŞ**

Murat Cem DÖNMEZ, 01.01.1984 tarihinde Şarkışla'da doğdu. 2001 yılında orta öğretimini İzmir Bornova Anadolu Lisesi'nde tamamlayarak aynı yıl Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2006 yılında "Çok Katlı Betonarme Bir Yapının Bilgisayar Desteği İle Analizi" konulu lisans tezini tamamlayarak aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Mühendisliği Programı'nda lisansüstü eğitime başladı. Yine aynı yıl proje mühendisi olarak çalışmaya başlayan yazar, halen özel bir firmanın sanat yapıları ağırlıklı yol projesinde kontrol mühendisi olarak çalışmaktadır.