

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BETONARME BİNALARIN**  
**HASAR GÖREBİLME OLASILIKLARININ**  
**ARTIMSAL İTME ANALİZİ ESASLI YÖNTEMLE**  
**BELİRLENMESİ**

**Taner UÇAR**

**Ekim, 2011**  
**İZMİR**

**BETONARME BİNALARIN  
HASAR GÖREBİLME OLASILIKLARININ  
ARTIMSAL İTME ANALİZİ ESASLI YÖNTEMLE  
BELİRLENMESİ**

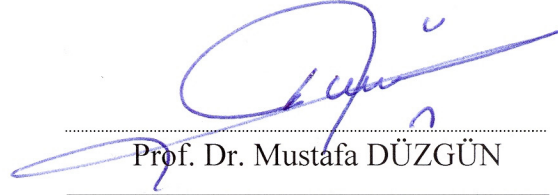
**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Doktora Tezi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Anabilim Dalı**

**Taner UÇAR**

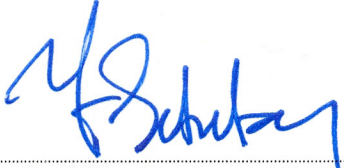
**Ekim, 2011  
İZMİR**

## DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

TANER UÇAR, tarafından PROF. DR. MUSTAFA DÜZGÜN yönetiminde hazırlanan “BETONARME BİNALARIN HASAR GÖREBİLME OLASILIKLARININ ARTIMSAL İTME ANALİZİ ESASLI YÖNTEMLE BELİRLENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

  
Prof. Dr. Mustafa DÜZGÜN

Yönetici



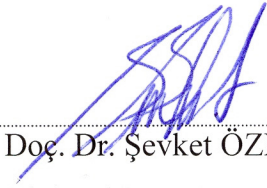
Prof. Dr. Yıldırım ERTUTAR

Tez İzleme Komitesi Üyesi



Prof. Dr. Afilla ORBAY

Tez İzleme Komitesi Üyesi



Doç. Dr. Şevket ÖZDEN

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ömer Zafer ALKU

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Doktora eğitimimin gerek ders ve gerekse tez aşamasında, değerli görüş ve önerileriyle her zaman yanımda ve yardımcı olan, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan ve çalışmanın her aşamasında büyük emeği olan danışman hocam Sn. Prof. Dr. Mustafa DÜZGÜN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezin kurgusunun oluşturulması ve gelişmesi aşamalarındaki önemli katkılarından dolayı, tez izleme komitesi üyeleri değerli hocalarım Sn. Prof. Dr. Yıldırım ERTUTAR'a ve Sn. Prof. Dr. Atilla ORBAY'a teşekkür ederim.

Çalışmada kullanılan binaların mimari ve betonarme projelerinin temini konusundaki anlayış ve sağladıkları kolaylıklardan dolayı Karabağlar ve Konak Belediye'lerine teşekkürü borç bilirim. Ayrıca çalışmanın bu aşamasındaki büyük yardımlarından dolayı Sn. İnş. Yük. Müh. Mehmet Fatih ÜRÜNVEREN'e çok teşekkür ederim.

Değerli çalışma arkadaşlarım Sn. Yrd. Doç. Dr. Yusuf YEŞİLCE'ye ve Sn. Araş. Gör. Onur MERTER'e doktora çalışmam süresindeki manevi destekleri ve daimi arkadaşlıkları için teşekkür ederim. Ayrıca, Sn. Doç. Dr. Kasım Armağan KORKMAZ'a ve Sn. Dr. Özgür BOZDAĞ'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her an ve her koşulda yanımda olan, güvenlerini her zaman hissettiğim Ailem'e, bana verdikleri tüm değerler için sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım. Küçüklüğümden beri hayatımda ve eğitimimde büyük yeri olan, doktora çalışmamın son zamanlarında kaybettiğim canım Anneannem'i minnetle anıyorum.

Taner UÇAR



# **BETONARME BİNALARIN HASAR GÖREBİLME OLASILIKLARININ ARTIMSAL İTME ANALİZİ ESASLI YÖNTEMLE BELİRLENMESİ**

## **ÖZ**

Depremlerde meydana gelen can ve mal kayıplarının çok büyük bir kısmı, binaların deprem performansı ile ilişkili hasara bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Türkiye gibi topraklarının büyük bir kısmı birinci derece deprem bölgesinde yer alan bir ülkede, geçmişte olduğu gibi gelecekte de şiddetli depremlerin ve bunlara bağlı kayıpların oluşması kaçınılmazdır. Muhtemel depremlerde meydana gelebilecek kayıpların tahmin edilebilmesi ve bu kayıpların azaltılmasına yönelik alınacak önlemlerin belirlenmesi bakımından, yeni yapılacak binaların depreme dayanıklı tasarımına ilave olarak deprem riski taşıyan bölgelerdeki mevcut bina stokunun deprem performansının ve hasargörebilirliğinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi gereklidir.

Mevcut yapı stokunun ortaya çıkardığı sismik riskin belirlenmesinde hasargörebilirlik eğrileri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tez kapsamında, Türkiye'deki büyük kentlerin deprem riskinin belirlenmesinde önemli bir yere sahip olabilecek ve mevcut yapı stokunun büyük bir kısmını oluşturan, genellikle konut ve ticari amaçlı kullanılan, az ve orta katlı betonarme binalara ait mimari ve betonarme detaylar dikkate alınarak analitik hasargörebilirlik eğrileri oluşturulmuştur. Analiz yöntemi olarak kullanılan artımsal itme analizi, binaların detaylı üç boyutlu hesap modelleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Binaların modal yerdeğiştirme istemi, Deprem Yönetmeliği-2007'ye uygun olarak üç farklı deprem düzeyi ve iki farklı yerel zemin sınıfı için belirlenmiştir.

Dikkate alınan bina sınıfları için idealleştirilmiş modal kapasite diyagramları üzerinden modal yerdeğiştirme cinsinden dört hasar sınırı tanımlanmıştır. Oluşturulan hasargörebilirlik eğrileri iki parametrelili lognormal birikimli dağılım fonksiyonları ile ifade edilmiştir. Önceden tanımlanmış olan sınır hasar seviyesine ait

modal yerdeğiştirme değerlerinin ortalaması ve lognormal dağılımına ait standart sapma değerleri kullanılarak bina sınıflarının farklı hasar seviyeleri için olasılık yoğunluk fonksiyonları elde edilmiştir. Deprem parametresi olarak seçilen modal yerdeğiştirmenin farklı değerleri için önceden tanımlanan sınır hasar seviyelerine ulaşılması veya aşılması olasılıkları hesaplanarak hasargörebilirlik eğrileri oluşturulmuştur.

Ayrıca eldeki bina verisinden elde edilen istatistikler kullanılarak kitle parametresi tahmin edilmeye çalışılmıştır ve örnekleme dağılımı kullanılarak hasargörebilirlik eğrilerinin modal yerdeğiştirme cinsinden belirlenen ortalama değerleri için %90 güven aralıkları oluşturulmuştur.

**Anahtar sözcükler:** Mevcut betonarme binalar, artımsal itme analizi, modal kapasite diyagramı, hasar sınırı, analitik hasargörebilirlik eğrileri.

# **FRAGILITY DEFINITION OF REINFORCED CONCRETE BUILDINGS BY A METHOD BASED ON NONLINEAR PUSHOVER ANALYSIS**

## **ABSTRACT**

A tremendous amount of economical and life losses, due to damages after experienced earthquakes, is related to seismic performance of the existing buildings. In earthquake prone countries as Turkey with high seismic risk, it is inevitable to experience major earthquakes and associated losses in the future, as well as in the past. In addition to the design of new buildings in accordance with seismic codes, evaluation of seismic performance and vulnerability of existing buildings is necessary to estimate losses in possible future earthquakes and to determine precautions to reduce the losses.

Fragility curves are widely used in estimating seismic risk posed by the existing buildings. In this dissertation, analytical fragility curves, that may have an important role for seismic risk assessment for the metropolitan cities, are derived. Fragility curves are sketched by using architectural and structural details of low- and mid-rise reinforced concrete buildings, which constitute the majority of the existing buildings and are generally used for residential and commercial purposes. Pushover analyses are performed by generating detailed 3D models of the buildings. Spectral displacement demand of the buildings is determined for three different earthquake levels and two local soil sites by using the successive approach given in the Turkish Earthquake Code-2007.

Four limit states in terms of spectral displacement are defined for considered building classes by using idealized capacity curves. The generated fragility curves are expressed in the form of two-parameter lognormal distribution functions. Probability density functions for different damage states of building classes are formed by using the median of spectral displacements of predefined limit states and the standard deviation of lognormal distribution values. Consequently, fragility

curves are constructed by calculating cumulative probabilities of reaching or exceeding the corresponding damage state for different values of spectral displacement, which is an earthquake parameter.

Furthermore, population parameter is estimated by using the statistics obtained from building data, and 90% confidence intervals are calculated by using sampling distribution for median values of fragility curves, which are expressed in terms of spectral displacement.

**Keywords:** Existing reinforced concrete buildings, pushover analysis, capacity curve, damage limit state, analytical fragility curves.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ .....	iv
ABSTRACT.....	vi
<b>BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Giriş .....	1
1.2 Amaç ve Kapsam.....	2
1.3 Literatürde Konu İle İlgili Yapılmış Çalışmalar .....	6
<b>BÖLÜM İKİ – BİNALARIN HASAR GÖREBİLME OLASILIKLARININ BELİRLENMESİ.....</b>	<b>21</b>
2.1 Genel .....	21
2.2 Binaların Hasar Görebilme Olasılıklarının Belirlenmesinde Kullanılan Mevcut Yöntemlerin Değerlendirilmesi.....	22
2.3 Hasargörebilirlik Eğrilerinin İstatistiksel İfadesi .....	26
2.4 Örneklem Dağılımları Kullanılarak Güven Aralığı Oluşturulması .....	28
2.4.1 Güven Aralığının Kitle Standart Sapmasının Bilinmemesi Durumu İçin Elde Edilmesi .....	30
<b>BÖLÜM ÜÇ – AZ VE ORTA KATLI BETONARME BİNALARIN HASAR GÖREBİLME OLASILIKLARININ ARTIMSAL İTME ANALİZİ ESASLI YÖNTEMLE BELİRLENMESİ .....</b>	<b>32</b>
3.1 Giriş .....	32

3.2 Hasargörebilirlilik Eğrilerinin Artımsal İtme Analizi Esaslı Yöntemle Belirlenmesi .....	32
3.2.1 Hasargörebilirlilik Eğrilerine Esas Artımsal İtme Analizi Yöntemi.....	35
3.2.2 Hasargörebilirlilik Eğrilerine Esas Modal Kapasite Diyagramının Oluşturulması.....	36
3.2.3 Hasargörebilirlilik Eğrilerine Esas Sınır Hasar Seviyelerinin Belirlenmesi .....	42
3.2.4 Hasargörebilirlilik Eğrilerinin Elde Edilmesi .....	44

**BÖLÜM DÖRT – MEVCUT BETONARME BİNALAR İÇİN GERÇEK VERİ SETİ KULLANILARAK ANALİTİK HASARGÖREBİLİRLİK EĞRİLERİNİN OLUŞTURULMASI .....**

4.1 Hedef Mevcut Bina Stokunun Belirlenmesi.....	46
4.2 Bina Verisinin Temini .....	47
4.3 Seçilen Binaların Genel Özellikleri.....	48
4.4 Seçilen Binaların Üç Boyutlu Hesap Modelinin Oluşturulmasında ve Kesitlerin Doğrusal Olmayan Davranışının Modellenmesinde Yapılan Kabuller ve İzlenen Yöntem .....	50
4.5 Seçilen Binaların Dinamik Özellikleri .....	63
4.6 Seçilen Binaların Artımsal İtme Analizi .....	66
4.6.1 Üç Katlı Binaların Modal Kapasite Diyagramları.....	68
4.6.2 Dört Katlı Binaların Modal Kapasite Diyagramları .....	70
4.6.3 Beş Katlı Binaların Modal Kapasite Diyagramları.....	72
4.6.4 Altı Katlı Binaların Modal Kapasite Diyagramları .....	74
4.6.5 Yedi Katlı Binaların Modal Kapasite Diyagramları.....	76
4.6.6 Sekiz Katlı Binaların Modal Kapasite Diyagramları.....	78
4.7 Seçilen Binaların Modal Yerdeğiştirme İsteminin Hesaplanması .....	80
4.8 Seçilen Binalar İçin Analitik Hasargörebilirlilik Eğrilerinin Oluşturulması.....	82
4.8.1 Hasar Seviyeleri ve Bunlara Ait Sınır Değerlerin Belirlenmesi.....	83
4.8.2 Mevcut Binalar İçin Oluşturulan Hasargörebilirlilik Eğrileri.....	85

4.9 Örnekleme Dağılımları Kullanılarak Hasargörebilirlik Eğrilerinin Güven Aralıklarının Oluşturulması .....	95
<b>BÖLÜM BEŞ – OLUŞTURULAN HASARGÖREBİLİRLİK EĞRİLERİNİN HASAR TAHMİN ÇALIŞMALARINDA KULLANILMASI.....</b>	<b>99</b>
5.1 Giriş .....	99
5.2 Birikimli Hasar Olasılıklarının Belirlenmesi .....	99
5.3 Ayrık Hasar Olasılıklarının Hesaplanması.....	101
<b>BÖLÜM ALTI – SONUÇLAR .....</b>	<b>103</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>114</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>121</b>

# BÖLÜM BİR

## GİRİŞ

### 1.1 Giriş

Ülkemizde özellikle son yıllarda meydana gelen şiddetli depremler, büyük çoğunluğu betonarme binalardan oluşan, yeterli mühendislik hizmeti almamış ve depreme dayanıklı olmayan çok sayıda binanın çeşitli seviyelerde hasar görmesine ve/veya göçmesine neden olmuştur. Depremlerde meydana gelen can ve mal kayıpları ile diğer ekonomik ve sosyal kayıpların çok büyük bir kısmı, binaların deprem performansı ile ilişkili hasara bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Türkiye gibi topraklarının büyük bir kısmı birinci derece deprem bölgesinde yer alan bir ülkede, gelecekte de bu tip şiddetli depremlerin ve bunlara bağlı kayıpların oluşması kaçınılmazdır. Ayrıca kentlerde ve özellikle kırsal kesimlerden göç alan bölgelerde yapılaşmanın giderek yoğunlaşması, deprem tehlikesine maruz bina sayısının daha da artmasına neden olmaktadır. Muhtemel depremlerde meydana gelebilecek kayıpların tahmin edilebilmesi ve bu kayıpların azaltılmasına yönelik alınacak önlemlerin belirlenmesi bakımından, yeni yapılacak binaların depreme dayanıklı tasarımına ilave olarak deprem riski taşıyan bölgelerdeki mevcut bina stokunun deprem performansının ve hasargörebilirliğinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi gereklidir.

Mevcut bina stokunun ortaya çıkardığı sismik riskin belirlenmesi gelecek depremlere hazırlık bakımından acil bir konudur (Erberik, 2008). Kentlerin mevcut bina stoklarının deprem risklerinin önceden tahmini, gerek afet planlaması ve gerekse deprem zararlarının azaltılması konusunda yapılması gerekenlerin belirlenmesi açısından çok önemli bir rol oynamaktadır (Tüzün ve Aydınoglu, 2007). Mevcut binalarda oluşabilecek çeşitli hasar seviyeleri hakkında önceden bilgi sahibi olunması, olası ekonomik kayıplarını da güvenilir bir şekilde tahmin edilebilmesi bakımından önemlidir. Ayrıca hasar görme olasılığı yüksek binaların belirlenmesi, bu binaların güçlendirilerek deprem performanslarının iyileştirilmesine ve böylece depreme dayanıklı binalar olarak geri kazanılmasına olanak sağlayacaktır.



Binalarda oluşabilecek hasarın önceden tahmin edilmesi ihtiyacı, deprem riski taşıyan pek çok yerleşim bölgesindeki mevcut binaların hasargörebilirliğinin belirlenmesini mühendislik çalışmalarında önemli bir araştırma konusu haline getirmiştir. Deprem mühendisliği alanında son yıllardaki gelişmelere bağlı olarak binaların dinamik davranışlarının ve deprem performanslarının daha iyi bir şekilde anlaşılması, deprem bölgelerindeki binalardaki hasar dağılımının belirlenmesine yönelik çalışmaların artmasına neden olmuştur.

Deprem afetinin etkisinin tahmini amacıyla yapılan çalışmaların iki temel bileşeni, deprem tehlikesinin tespiti ve yapı sistemlerinin hasargörebilirliğinin belirlenmesidir (Ay ve Erberik, 2007). Hasargörebilirlik çalışmaları genellikle deprem hareketini temsil eden belli bir parametre ile yapısal hasar ilişkisini matematiksel olarak ifade etmeye yöneliktir. Deprem-hasar ilişkisi çeşitli deprem parametreleri için olasılık dağılımları şeklinde verilmektedir. Bu amaca yönelik olarak en yaygın kullanılan araçlar hasar olasılık matrisleri ve hasargörebilirlik eğrileridir. Önceden tanımlanmış bir hasar seviyesine ulaşılması veya aşılması olasılığını belirli bir deprem parametresi ile ilişkilendiren hasargörebilirlik eğrilerinin farklı deprem senaryoları için kentlerdeki mevcut bina stokuna ait olası hasar oranlarının belirlenmesine yönelik kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

## **1.2 Amaç ve Kapsam**

Konu ile ilgili yapılan detaylı literatür araştırmalarında, analitik hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulmasında genel yaklaşımın ilgili ülkenin yönetmeliklerine göre tasarlanan temsili veya gerçek birkaç düzlem çerçevelerin veya belirli bir bina sınıfını temsil ettiği kabul edilen mevcut bir veya birkaç binanın üç boyutlu dinamik analizi sonucu hasargörebilirlik eğrilerinin elde edilmesi şeklinde olduğu, ancak belirli bir bölgedeki çok sayıda farklı binaların tüm verilerini dikkate alan üç boyutlu hesap modelleri üzerinden gerçekleştirilen analizlerin bulunmadığı belirlenmiştir. Ayrıca, temsili veya gerçek düzlem çerçeve çözümlerinde, binaların yatay yükler altındaki davranışında önemli bir yere sahip olan bina geometrisi ve taşıyıcı

elemanların plandaki yerleşiminin hasargörebilirliğe etkisinin dikkate alınmadığı ve malzeme dayanımları için ise, genellikle yöreden örnekleme yöntemi ile edilen ortalama bir değerin dikkate alındığı belirlenmiştir.

Ülkemizde deprem hasarlarının ve buna bağlı olarak oluşabilecek ekonomik kayıpların tahmin edilmesi amacıyla yapılan çalışmalarda, değişik ülkelerdeki binaların hasargörebilirlik bilgilerinden elde edilen verilerin ülkemizdeki bina stokuna uyarlandığı görülmektedir (Ay ve Erberik, 2007; Erberik, 2008). Ancak yapı stoku karakteristikleri arasındaki farklılıklar, elde edilen hasargörebilirlik eğrilerine de yansımakta ve sonuç olarak hasar ve kayıp tahminlerinde büyük yanılgılara yol açabilmektedir (Ay ve Erberik, 2007). Bu amaçla, ülkemiz genel ya da bölgesel yapı stoku koşullarına uygun daha gerçekçi hasargörebilirlik bilgilerine ihtiyaç bulunmaktadır.

Binaların hasargörebilirlik olasılıklarının belirlenmesinde kullanılan değişik analiz yöntemleri mevcuttur. Bu yöntemler arasından doğrusal olmayan davranışın dikkate alındığı artımsal itme veya dinamik zaman tanım alanı gibi analiz yöntemlerinin kullanılması daha gerçekçi sonuçlar vermektedir.

Bu tez kapsamında, Türkiye'deki mevcut betonarme bina stokunun yaklaşık %85'ini oluşturan az ve orta katlı çerçeve/perde-çerçeve taşıyıcı sistemli betonarme binaların analitik hasar görebilme olasılıklarının belirlenmesinde kullanılmak üzere daha gerçekçi bir yöntem çalışması yapılmıştır. Bu amaçla, belli bir yerleşim bölgesinde sokak taraması ile belirlenen gerçek çok sayıda farklı bina ele alınmış ve bunlara ait mevcut geometri ve malzeme özellikleri kullanılarak, üç boyutlu hesap modelleri üzerinden artımsal itme analizi yöntemi ile analitik hasargörebilirlik eğrileri oluşturulmuştur.

Çalışmada esas alınan bina verisi, üç milyonun üzerinde nüfusa sahip İzmir kentindeki bina stokunun önemli bir kısmını oluşturan ve genellikle konut ve/veya ticari amaçlı kullanılan, kat sayısı 3 ile 8 arasında değişen, yapılaşmanın yoğun olduğu Konak ve Karabağlar ilçe merkezlerinden seçilen 30 adet betonarme binadan

oluşmaktadır. Her kat sayısı için eşit sayıda (5 adet) bina dikkate alınmıştır. Hedef bina grubu olarak mevcut yapı stokunun büyük bir bölümünü oluşturan Deprem Yönetmeliği-1975'e göre boyutlandırılmış binalar dikkate alınmıştır.

Belirlenen pilot bölgedeki mevcut bina stokuna ait genel mühendislik uygulamalarını ve yapım özelliklerini çalışmaya yansıtılabilmek amacıyla bölge dahilinde farklı güzergahlar üzerinde sokak taraması yapılarak çalışmaya esas binalar belirlenmiş ve binalara ait onaylı mimari ve betonarme projeler ilgili belediye arşivinden temin edilmiştir. Analizlerde onaylı bu mimari ve betonarme projeler dikkate alınmıştır.

Binaların üç boyutlu hesap modelleri üzerinden, artımsal itme analizlerinin gerçekleştirilmesinde SAP 2000 (Computers and Structures, Inc., 2003) analiz programı kullanılmıştır. Kiriş, kolon ve perde elemanların etkin eğilme rijitlikleri için Deprem Yönetmeliği-2007'de verilen değerler dikkate alınmıştır (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007). Elemanların kesit analizlerinde sargılı ve sargısız beton için Mander tarafından önerilen gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları kullanılmıştır (Mander ve diğer., 1988). Donatı çeliği için kullanılan gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları ise Deprem Yönetmeliği-2007'de belirtildiği gibi alınmıştır (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007). Kesit analizlerinde XTRACT isimli bilgisayar programı kullanılmıştır (XTRACT Educational, 2006). Artımsal itme analizlerinde binaların göz önüne alınan deprem doğrultusundaki hakim doğal titreşim mod şekli genliği ile orantılı yatay yük dağılımı kullanılmıştır. Birinci titreşim moduna ait etkin kütle oranı %70'in altında kalan binaların artımsal itme analizinde ise yüksek modların katkılarını da dikkate alabilmek amacıyla üniform yatay yük dağılımı uygulanmıştır (Korkmaz, 2005).

Çalışmada 30 adet betonarme binanın iki farklı doğrultusu için belirtilen yatay yük dağılımları kullanılarak toplam 60 adet artımsal itme analizi gerçekleştirilmiştir. Artımsal itme analizinin sonuç ürünü olan ilgili deprem doğrultularındaki itme eğrileri modal kapasite diyagramına dönüştürmüş ve tüm binalara ait modal kapasite

diyagramları çalışma kapsamında Bölüm Dört’de sunulmuştur. Binaların modal yerdeğiştirme istemi, Deprem Yönetmeliği-2007’ye uygun olarak üç farklı deprem düzeyi ve iki farklı yerel zemin sınıfı için belirlenmiştir.

Bu çalışmada sınır hasar seviyeleri binaların modal kapasite diyagramları üzerinden tanımlanmıştır. Kullanılan 30 adet binanın ilgili deprem doğrultuları için elde edilen modal kapasite diyagramları incelenerek binanın zayıf doğrultusu belirlenmiştir. Binaların zayıf doğrultularına ait modal kapasite diyagramları FEMA 356’da (FEMA, 2000) verilene benzer bir yöntemle idealleştirilmiş ve idealleştirilmiş modal kapasite diyagramları kullanılarak modal yerdeğiştirme ( $S_d$ ) cinsinden dört hasar sınırı tanımlanmıştır. Bunlar sırasıyla; Hafif Hasar Sınırı ( $\overline{S_{d1}}$ ), Orta Hasar Sınırı ( $\overline{S_{d2}}$ ), İleri Hasar Sınırı ( $\overline{S_{d3}}$ ) ve Göçme (Çok Ağır Hasar) Sınırı’dır ( $\overline{S_{d4}}$ ). Bu dört hasar sınırına karşılık beş farklı hasar bölgesi tanımlanmaktadır. Bunlar, Hasarsızlık Bölgesi, Hafif Hasar Bölgesi, Orta Hasar Bölgesi, İleri Hasar Bölgesi ve Göçme (Çok Ağır Hasar) Bölgesi’dir.

Çalışmada oluşturulan hasargörebilirlik eğrileri iki parametrelili (ortalama ve standart sapma) lognormal birikimli dağılım fonksiyonları ile ifade edilmiştir. Önceden tanımlanmış olan sınır hasar seviyesine ait modal yerdeğiştirme değerlerinin ortalaması ve lognormal dağılımına ait standart sapma değerleri kullanılarak dikkate alınan bina sınıflarının farklı hasar seviyeleri için olasılık yoğunluk fonksiyonları elde edilmiştir. Bu olasılık yoğunluk fonksiyonları kullanılarak deprem parametresi olarak seçilen modal yerdeğiştirmenin farklı değerleri için sınır hasar seviyelerine ulaşılması veya aşılması olasılıkları hesaplanmıştır. Modal yerdeğiştirmelerin yatay ekseninde, hesaplanan birikimli olasılıkların ise düşey ekseninde belirtilmesiyle hasargörebilirlik eğrileri oluşturulmuştur.

Çalışmanın bundan sonraki aşamasında elde edilen bina verisinden elde edilen istatistikler kullanılarak kitle parametresi tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla örnekleme dağılımları kullanılarak hasargörebilirlik eğrilerinin modal yerdeğiştirme

cinsinden belirlenen ortalama değerleri için güven aralıkları oluşturulmuştur. Çalışmada seçilen güven düzeyi %90'dır. Bu güven düzeyine ait güven aralığının alt ve üst sınır değerleri hesaplanmış ve bu değerler dikkate alınarak bina sınıflarının farklı hasar seviyelerine ait hasargörebilirlik eğrileri tekrar oluşturulmuştur.

Tez kapsamında son olarak oluşturulan hasargörebilirlik eğrilerinin muhtemel depremlerde binalarda oluşabilecek hasar seviyelerinin tahmini amacıyla kullanımı kısaca açıklanmıştır.

### **1.3 Literatürde Konu İle İlgili Yapılmış Çalışmalar**

Singhal ve Kiremidjian, az katlı (1-3 katlı), orta katlı (4-7 katlı) ve çok katlı (8 ve daha çok katlı) betonarme çerçeve sistemli binalar için hasargörebilirlik eğrileri ve hasar olasılık matrisleri oluşturmuşlardır. Uzun doğrultuda beş açıklıklı, kısa doğrultuda ise tek açıklıklı iki, beş ve on iki katlı temsili betonarme binalar SEAOC yönetmeliğine göre boyutlandırılmıştır. Binaların zaman tanım alanı analizleri üç boyutlu olarak tasarlanan binalardan çıkarılan birer adet iç çerçeve kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Dinamik analizlerde 100 adet yapay deprem kaydı kullanılmıştır. Analizler IDARC2D ve DRAIN-2DX bilgisayar programları ile yapılmıştır. Çalışmada Park ve Ang hasar indisi cinsinden dört adet sınır hasar seviyesi tanımlanmıştır. Sonuç olarak üç farklı bina sınıfı için deprem parametresi olarak spektral ivme cinsinden hasargörebilirlik eğrileri elde edilmiştir. Hasar olasılık matrislerinde ayırık hasar olasılıkları değiştirilmiş Mercalli şiddetine göre verilmiştir (Singhal ve Kiremidjian, 1996).

Mosalam ve diğerleri, çalışmalarında genellikle sadece düşey yüklere göre boyutlandırılan dolgu duvarsız ve dolgu duvarlı az katlı betonarme çerçevelerin deprem performansının hasargörebilirlik eğrileri ile ifade edildiği analitik bir yöntem sunmuşlardır. Söz konusu yöntem Dinamik Plastik Mafsal Yöntemi'nin bir grup betonarme çerçevelere uygulanmasına dayanmaktadır. Çalışmada yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasar durumunun dikkate alındığı dört sınır hasar seviyesi

tanımlanmıştır. Eşdeğer tek serbestlik dereceli sistem olarak modellenen çerçeve için elde edilen dinamik analiz sonuçları, çerçevenin detaylı sonlu eleman modeli kullanılarak gerçekleştirilen analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Dolgusuz ve dolgu duvarlı durum için elde edilen itme eğrileri üç doğru parçası ile idealleştirilmiştir. Bina kapasitesindeki değişkenliği dikkate alabilmek amacıyla Monte Carlo Simülasyon Yöntemi kullanılarak çok sayıda itme eğrisi oluşturulmuştur. Elde edilen hasargörebilirlik eğrileri ATC-13’de verilen eğrilerle karşılaştırılmıştır (Mosalam ve diğer., 1997).

Ghobarah ve diğerleri, ACI 318-63’e göre boyutlandırılmış üç katlı mevcut betonarme bir binanın deprem performansını değerlendirmişler ve daha yeni bir yönetmeliğe (National Building Code of Canada) göre boyutlandırılmış benzer bir binanın deprem performansı ile karşılaştırmışlardır (Ghobarah ve diğer., 1998). Binanın artımsal itme analizi ve dinamik analizi IDARC2D bilgisayar programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Malzeme dayanımları ve elemanların kesit boyutlarındaki değişkenlik, literatürde bu konu ile ilgili çalışmalarda önerilen dağılımlar ve değişkenlik katsayıları kullanılarak dikkate alınmıştır. Çalışmada beş adet hasar seviyesi tanımlanmıştır. Binanın dinamik analizinde yumuşak zeminler ve kaya zeminler için yapay olarak üretilmiş deprem kayıtları kullanılmıştır. Hasar değerlendirmesi Park ve Ang (Park ve Ang, 1985) tarafından geliştirilen hasar indisi cinsinden yapılmıştır. Aynı değerlendirmeler o tarihlerde geçerli olan yönetmeliğe göre boyutlandırılan bina için de yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Vasseva, dolgu duvarlı ve dolgusuz betonarme çerçevelere ait hasargörebilirlik fonksiyonları geliştirmiştir. Çalışmada Eurocode 8’e göre boyutlandırılmış iki katlı ve tek açıklıklı bir çerçeve üzerinde üç farklı durum incelenmiştir. İlk olarak çerçeve dolgu duvarsız olarak dikkate alınmıştır. İkinci durumda, her iki kat dolgu duvarlı olarak düşünülmüş ve son olarak da sadece ikinci katta dolgu duvar kullanılmıştır. Çalışmada beş farklı sınır hasar seviyesi dikkate alınmıştır. Çerçevelerin Patras ve Vranchea deprem kayıtları kullanılarak dinamik analizi gerçekleştirilmiş ve hasargörebilirlik eğrileri oluşturulmuştur (Vasseva, 2000).

Shinozuka, Feng, Kim ve diğeri, köprülerin hasargörebilirliği ile ilgili zaman tanım alanı analizi ve Kapasite Spektrumu Yöntemi'nin kullanıldığı iki analitik yaklaşımı değerlendirmişlerdir. Çalışmada Memphis Köprüsü kullanılmış ve farklı beton ve donatı sınıfları için simülasyon yöntemleri ile aynı köprüden 10 adet köprü oluşturulmuştur. Köprülerin zaman tanım alanı analizinde 80 adet deprem ivme kaydı kullanılmıştır. İki farklı analitik yaklaşımla elde edilen hasargörebilirlik eğrileri çalışma kapsamında karşılaştırılmıştır (Shinozuka, Feng, Kim ve diğeri., 2000).

Shinozuka, Feng, Lee ve diğeri tarafından, hasargörebilirlik eğrilerinin istatistiksel analizi üzerinde durulmuştur. Çalışmada ampirik ve analitik hasargörebilirlik eğrileri oluşturulmuştur. Ampirik hasargörebilirlik eğrilerinde 1995 Kobe Depremi'nde köprülerde meydana gelen hasarlara ait veriler kullanılmıştır. Analitik hasargörebilirlik eğrileri ise iki temsili köprünün zaman tanım alanı analizlerinden elde edilen verilerin kullanılmasıyla elde edilmiştir. Hasargörebilirlik eğrileri iki parametrelili lognormal dağılım fonksiyonları ile temsil edilmiş ve bu parametreler Maksimum Olabilirlik Yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Çalışmada hasargörebilirlik parametrelerine ait hipotez testi yapılmış ve güven aralıkları oluşturulmuştur (Shinozuka, Feng, Lee ve diğeri., 2000).

Dumova-Jovanoska tarafından, deprem şiddeti-hasar ilişkisinin hasargörebilirlik eğrileri ve hasar olasılık matrisleri ile ifade edildiği bir yöntem sunulmuştur (Dumova-Jovanoska, 2000). Yöntem betonarme çerçevesi ve perde-çerçevesi sistemlere uygulanmıştır. İki farklı bina sınıfı için hasargörebilirlik eğrileri ve hasar olasılık matrisleri oluşturulmuştur. Çalışmada kat sayısı 10'dan az olan binaları temsil eden 6 katlı betonarme çerçeve sistemli bir bina ve kat sayısı 10'dan çok olan binaları temsil eden 16 katlı perde-çerçeve sistemli bir bina kullanılmıştır. Örnek binalar Makedonya Deprem Yönetmeliği'ne göre boyutlandırılmıştır. Skopje bölgesine ait kısıtlı sayıda gerçek deprem kaydının bulunması nedeniyle 240 adet yapay deprem kaydı oluşturulmuştur. Örnek binaların dinamik analizi IDARC-2D programı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada hasar seviyeleri Park ve Ang hasar indisleri cinsinden tanımlanmış ve beş farklı sınır hasar seviyesi dikkate alınmıştır.

Sonuç olarak binaların dinamik analizinden elde edilen veriler kullanılarak dikkate alınan bina tipleri için hasargörebilirlik eğrileri ve hasar olasılık matrisleri oluşturulmuştur.

Karim ve Yamazaki, otoyol köprülerinin ayakları için analitik hasargörebilirlik eğrileri oluşturmuşlardır (Karim ve Yamazaki, 2001). Çalışmada tipik bir köprü ayağı 1964 ile 1998 yıllarına ait Japonya Deprem Yönetmeliği'ne göre boyutlandırılmıştır. Her iki köprü ayağının da artımsal itme analizleri gerçekleştirilmiş ve itme eğrileri elde edilmiştir. Köprü ayaklarının akma rijitlikleri belirlenmiş ve bu değerler dinamik analizde kullanılmıştır. Japonya'da ve Amerika'da meydana gelmiş çeşitli depremlere ait kayıtlar kullanılarak köprülerin dinamik analizleri gerçekleştirilmiş ve hasar indisleri belirlenmiştir. Sınır hasar seviyeleri Park-Ang hasar indisi cinsinden ifade edilmiştir. Deprem parametresi olarak seçilen PGA (en büyük yer ivmesi) ve PGV (en büyük yer hızı) cinsinden analitik hasargörebilirlik eğrileri oluşturulmuş ve bu eğriler köprü ayakları için daha önceden elde edilmiş olan ampirik hasargörebilirlik eğrileri ile karşılaştırılmıştır.

Cherng tarafından, yeni bir artımsal itme analizi yöntemi geliştirilmiş ve bu yöntem Taipei'deki çelik binaların hasargörebilirlik eğrilerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Yükseklikleri 69 m ile 103 m arasında değişen altı adet çelik çerçeve ve altı adet çaprazlı çelik çerçeve Tayvan'da Chi-Chi Depremi'nden önce geçerli olan yönetmeliğine göre boyutlandırılmış ve her birinin kapasite eğrisi geliştirilen artımsal itme analizi yöntemi ile elde edilmiştir. Çalışmada dört adet sınır hasar seviyesi dikkate alınmıştır. Binaların kapasite spektrumlarındaki belirsizlikler, talep spektrumundaki belirsizlikler ve sınır hasar seviyelerinin tanımlanmasındaki belirsizlikler göz önünde bulundurularak Monte Carlo Simülasyon Yöntemi ile ilgili hasar seviyelerine ait hasargörebilirlik eğrileri oluşturulmuştur (Cherng, 2001).

Farklı bina sınıflarına ait hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulması ve oluşabilecek ekonomik kayıpların belirlenmesiyle ilgili yapılmış en detaylı çalışma HAZUS'dur (HAZUS, 2003). HAZUS'da kullanım amaçları, taşıyıcı sistemleri, kat sayıları ve yapım kalitesi gibi parametrelere bağlı olarak sınıflandırılmış 36 adet bina



modeli için hasargörebilirlik fonksiyonları bulunmaktadır. Çalışmada 36 farklı bina modeli için çeşitli katsayılar kullanılarak, binanın doğrusal olmayan davranışının karakterize edildiği ortalama kapasite eğrileri oluşturulmuştur. Her bir kapasite eğrisi iki kontrol noktası ile temsil edilmiştir. Bunlar binanın akma kapasitesine ve nihai kapasitesine karşılık gelen noktalardır. HAZUS'da binaların yapısal ve yapısal olmayan sistemleri için dört farklı hasar seviyesi tanımlanmıştır. Yapısal hasar sınırları görelî kat ötelenmesi cinsinden verilmiştir. Her bir bina sınıfının hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulabilmesi için gerekli olan parametreler HAZUS'da tablolar halinde sunulmuştur.

Erberik ve Elnashai tarafından, kirişsiz döşemeli betonarme binaların hasargörebilirliği araştırılmıştır. Planda simetrik, beş katlı kirişsiz döşemeli bir bina ACI 318-99'a göre boyutlandırılmış ve donatılandırılmıştır. Binanın artımsal itme analizi ve zaman tanım alanı analizi ZeusNL bilgisayar programı kullanılarak binaya ait bir düzlem çerçeve üzerinden gerçekleştirmiştir. Dinamik analizde binanın tasarımında dikkate alınan spektrum ile uyumlu 10 adet deprem kaydı kullanılmıştır. Çalışmada kat ötelenmesi cinsinden dört adet sınır hasar seviyesi dikkate alınmıştır. Malzeme dayanımındaki değişkenlik Latin Hypercube Örnekleme Yöntemi ile 30 adet rastgele değişken üretilerek dikkate alınmıştır. Zaman tanım alanı analizlerinden elde edilen veriler kullanılarak dikkate alınan hasar seviyeleri için bu tip binalara ait hasargörebilirlik eğrileri elde edilmiş ve çerçeve türü binalar için literatürdeki mevcut eğriler ile kıyaslanmıştır. Çalışmanın bundan sonraki kısımlarında ekonomik kayıpların belirlenmesi üzerinde durulmuştur (Erberik ve Elnashai, 2003).

Choi ve Jeon tarafından yapılan çalışmada, orta ve güneydoğu Amerika'da yaygın olarak bulunan köprüler için hasargörebilirlik eğrileri oluşturulmuştur. Bu amaç doğrultusunda bölgede bulunan tipik köprüler ele alınmış ve köprülerin detaylı analitik modelleri deneysel ve analitik çalışmalar esas alınarak oluşturulmuştur. Çalışmada altı adet köprü kullanılmıştır. Söz konusu bölgede kaydedilmiş güçlü yer hareketi sayısının az olması nedeniyle en büyük ivme değeri 0,07g ile 0,51g arasında değişen 100 adet yapay deprem kaydı kullanılmıştır. Oluşturulan hasargörebilirlik eğrilerinde deprem parametresi olarak PGA kullanılmıştır. Çalışmada,

hasargörebilirlik eğrileri kullanılarak çeşitli güçlendirme tekniklerinin etkinliği de ayrıca araştırılmıştır (Choi ve Jeon, 2003).

Rossetto ve Elnashai tarafından, mevcut hasargörebilirlik ilişkilerinin değerlendirilmesi yapılmış ve betonarme binalar için deneysel yolla kalibre edilmiş yeni bir hasar indisi geliştirilmiştir. Avrupa’da yaygın olarak kullanılan dört farklı tip betonarme binanın yapısal ve yapısal olmayan elemanlarındaki hasar durumu dikkate alınarak söz konusu hasar indisi cinsinden yedi adet sınır hasar seviyesi tanımlanmıştır. Çalışmada 19 adet farklı depremden sonra gözlenmiş 99 adet hasar dağılımı kullanılarak betonarme binalar için ampirik hasargörebilirlik eğrileri oluşturulmuştur. Söz konusu eğriler, deprem sonrası hasar değerlendirme çalışmalarından elde edilen verilerinden türetilmiş olması bakımından önemlidir (Rossetto ve Elnashai, 2003).

Lang ve Bachmann, çok sayıda binanın değerlendirilmesinde kullanılmak üzere basit bir değerlendirme yöntemi önermişlerdir (Lang ve Bachmann, 2004). Yöntem spektral yerdeğiştirmenin fonksiyonu olarak beklenen hasarı veren hasargörebilirlik fonksiyonlarının oluşturulmasına dayanmaktadır. Söz konusu yöntemle Basel şehrinde bulunan 87 adet konut türü bina değerlendirilmiştir. Binalar taşıyıcı sistemleri ve kat sayılarına bağlı olarak üç sınıfa ayrılmıştır. Hasargörebilirlik fonksiyonları kullanılarak ilgili bina sınıflarına ait hasargörebilirlik eğrileri elde edilmiştir.

Akkar ve diğerleri, Türkiye’de hasar görme potansiyeli en yüksek olan az ve orta katlı betonarme binalar için hasargörebilirlik fonksiyonları oluşturmuşlardır. Çalışmada kullanılan veri seti Türkiye’deki 2-5 katlı binaların genel özelliklerini temsil eden 32 adet örnek binadan oluşmaktadır. Binaların yatay rijitlikleri, dayanım ve deformasyon kapasiteleri artımsal itme analizleri ile belirlenmiş ve 2, 3, 4 ve 5 katlı binalar için artımsal itme eğrileri oluşturulmuştur. Çalışmada kat ötelenmesi cinsinden üç sınır hasar seviyesi tanımlanmıştır. Binalar eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemle temsil edilmiş ve binaların dinamik analizi 82 adet deprem kaydı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deprem parametresi olarak PGV kullanılmış ve kat

sayılarına göre sınıflandırılan binalar için hasargörebilirlik eğrileri çizdirilmiştir (Akkar ve diğer., 2005).

Rossetto ve Elnashai, betonarme binaların sismik değerlendirmesinde kullanılmak üzere yerdeğiştirme esaslı analitik hasargörebilirlik eğrilerinin türetilmesi için yeni bir yöntem önermişlerdir (Rossetto ve Elnashai, 2005). Çalışmada, Avrupa ülkelerinde kullanılan az katlı çerçeveleri temsil etmek üzere üç katlı bir çerçeve kullanılmıştır. Çerçeve 1982 yılında İtalya'da geçerli yönetmeliklere göre boyutlandırılmıştır. Betonun basınç dayanımına, donatının akma dayanımına ve dolgu duvarların basınç dayanımına ait olasılık dağılımları kullanılarak Latin Hypercube Örnekleme Yöntemi ile söz konusu çerçeveden başka tipik çerçeveler türetilmiştir. Çalışmada tüm çerçevelerin uyarlamalı artımsal itme analizleri gerçekleştirilmiştir ve tekerrür periyotları 95 yıl, 475 yıl ve 2475 yıl olan depremlere ait talep spektrumları kullanılmıştır. Sınır hasar seviyeleri en büyük görelî kat ötelenmesi cinsinden yeni bir hasar indisine bağılı olarak tanımlanmıştır. Oluşturulan hasargörebilirlik eğrileri kullanılarak yapılan hasar tahminlerinin, geçmiş depremlerde gözlenen hasar dağılımı ile uyumlu olduğu görülmüştür.

D'Ayala tarafından, limit analize dayanan ve binaların göçme mekanizmalarını esas alan hasargörebilirlik fonksiyonları geliştirilmiş ve geçerliliğı gerçek hasar verileri kullanılarak kanıtlanmıştır. Bu fonksiyonlar kullanılarak hasargörebilirlik eğrileri elde edilmiştir. Ayrıca, çalışmada yerdeğiştirme esaslı hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulması da açıklanmıştır. Göçme mekanizması yaklaşımının spektral ivme ( $S_a$ ) ve spektral yerdeğiştirme ( $S_d$ ) cinsinden tanımlanan hasar senaryolarında nasıl kullanılabileceğı gösterilmiştir. Söz konusu yaklaşım Fener-Balat yöresindeki tarihi binalara uygulanmıştır (D'Ayala, 2005).

Ramamoorthy ve diğerleri tarafından, Memphis'deki az katlı binaları temsil ettiği kabul edilen iki katlı betonarme çerçeve sistemli bir binaya ait hasargörebilirlik eğrileri türetilmiştir (Ramamoorthy ve diğer., 2005). Bina planda her iki doğrultuda da tamamen simetrik olduğundan analizlerde iki boyutlu bir çerçeve ile temsil edilmiştir. Zaman tanım alanı analizlerinde Memphis yöresi için oluşturulmuş 180

adet yapay deprem kaydı kullanılmıştır. FEMA 356'da (FEMA, 2000) verilen ve itme eğrisi üzerinden belirlenen hasar seviyelerine ait hasargörebilirlik eğrileri binanın kendisi ve güçlendirilmiş durumu için elde edilmiştir.

Liao ve diğerleri, Tayvan'daki binaların çeşitli parametrelere bağlı olarak sınıflandırılması ve bunlara ait hasargörebilirlik fonksiyonlarının oluşturulması konusunda çalışmışlardır. Kat sayısına ve taşıyıcı sistemlerine bağlı olarak 15 farklı bina sınıfı oluşturulmuştur. Çalışmada hafif hasar, orta hasar, ileri hasar ve göçme olmak üzere dört adet sınır hasar seviyesi tanımlanmıştır. Bazı tipik binalar üzerinden hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulması açıklanmış ve tüm bina sınıflarının hasargörebilirlik fonksiyonlarına ait parametreler çalışmada verilmiştir (Liao ve diğer., 2006).

Kappos ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada, betonarme ve yığma yapıların hasargörebilirliğinin değerlendirilmesi amacıyla Arirtotle Üniversitesi'nde oluşturulan bir ekibin yaptığı çalışmalar açıklanmıştır. Çalışmada az, orta ve çok katlı binaları temsil ettiği kabul edilen 2, 4 ve 9 katlı düzlem betonarme çerçeve ve perde-çerçeve sistemler kullanılmıştır. Binaların artımsal itme analizi SAP 2000, zaman tanım alanı analizi ise DRAIN 2000 bilgisayar programları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Binaların itme eğrileri elde edilmiş ve bu eğriler binanın akma kapasitesine ait nokta ve nihai kapasite noktası ile temsil edilmiştir. Binaların dinamik analizinde 16 adet deprem kaydı kullanılmıştır. Hafif hasar, orta hasar, ağır hasar, çok ağır hasar ve göçme hasar sınırlarına ait ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmış ve yatay ekseninde PGA ve  $S_d$  deprem parametreleri için hasargörebilirlik eğrileri oluşturulmuştur (Kappos ve diğer., 2006).

Erberik ve Cullu tarafından, Türkiye'deki bina stokunun yaklaşık %75'ini oluşturan ve genellikle konut amaçlı kullanılan az ve orta katlı betonarme çerçeve binalar için hasargörebilirlik eğrileri elde edilmiştir (Erberik ve Cullu, 2006). Çalışmada 1999 yılında iki büyük depremin meydana geldiği Düzce kentine ait yaklaşık 500 binadan oluşan veritabanından seçilen 28 adet betonarme bina kullanılmıştır. Bu binaların deprem sonrası hasar değerlendirmeleri mevcuttur.

2-3 katlı binalar az katlı, 4-6 katlı binalar ise orta katlı olarak sınıflandırılmıştır. Her bir bina eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemle temsil edilmiştir. Binaların kapasite spektrumları elde edilmiş ve eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme ait parametrelerin (periyot, dayanım oranı ve elastik ötesi rijitlik) ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Hemen Kullanım, Can Güvenliği ve Göçmenin Önlenmesi şeklinde üç sınır hasar seviyesi tanımlanmıştır. Farklı deprem kayıtları altında binaların doğrusal olmayan dinamik analizleri gerçekleştirilmiş ve deprem parametresi olarak PGV için hasargörebilirlik eğrileri çizdirilmiştir. Farklı parametrelerin hasargörebilirlik eğrilerine etkisi incelenmiştir.

Kwon ve Elnashai, malzeme dayanımları ile ilgili belirsizliklerin, sınır hasar seviyelerinin tanımlanmasındaki belirsizliklerin ve yer hareketindeki belirsizliklerin betonarme binaların hasargörebilirliğine olan etkisini araştırmışlardır. Analizler sadece düşey yükler dikkate alınarak boyutlandırılmış üç katlı betonarme bir bina üzerinden gerçekleştirilmiştir. Gerçek ve yapay deprem kayıtları kullanılarak söz konusu binaya ait hasargörebilirlik eğrileri oluşturulmuştur (Kwon ve Elnashai, 2006).

Kirçil ve Polat tarafından yapılan çalışmada, İstanbul'daki orta katlı betonarme çerçeve türü binalar için hasargörebilirlik eğrileri türetilmiştir. Planda her iki doğrultuda simetrik, tipik 3, 5 ve 7 katlı binalar Deprem Yönetmeliği-1975 koşullarına göre boyutlandırılmıştır. 12 adet yapay deprem kaydı kullanılarak IDARC bilgisayar programı ile binaların doğrusal olmayan dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada akma ve göçme olmak üzere iki hasar sınırı dikkate alınmıştır. Akma hasar sınırı, dinamik analiz sonucu elde edilen spektral ivme-en büyük görelî kat öteleme eğrisinin doğrusallıktan ilk ayrıldığı noktadaki spektral ivme olarak alınmıştır. Göçme hasar sınırı ise 0,03 görelî kat ötelenmesine karşılık gelen spektral ivme değeri olarak kabul edilmiştir. Hasargörebilirlik eğrileri iki parametrelî lognormal dağılım fonksiyonları ile ifade edilmiş ve deprem parametresi olarak  $S_a$ ,  $S_d$  ve PGA için hasargörebilirlik eğrileri oluşturulmuştur. Ayrıca bina kat sayısının hasargörebilirlik parametrelerine olan etkisini incelemek amacıyla regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir (Kirçil ve Polat, 2006).

Türkiye'deki yapı stokunun büyük bir kısmını oluşturan az ve orta katlı binaların deprem güvenliği, Ay ve Erberik tarafından hasargörebilirlik eğrileri aracılığıyla incelenmiştir (Ay ve Erberik, 2007). Çalışmada 3, 5, 7 ve 9 katlı betonarme çerçeve sistemli binaları temsil eden iki boyutlu analitik modeller oluşturulmuştur. Analitik modellerin tasarımı FEMA 356'ya uygun olarak oluşturulan tasarım spektrumlarına göre yapılmıştır. Binalar iyi, tipik ve zayıf olarak belirlenen üç alt sınıfa ayrılmıştır. Malzeme özellikleri (betonun basınç dayanımı ve elastisite modülü, donatının akma dayanımı ve elastisite modülü) ortalama karakteristik değerler ve değişkenlik katsayıları ile dikkate alınmıştır. Çalışmada üç hasar sınırı tanımlanmıştır. Oluşturulan bina modelleri IDARC-2D bilgisayar programı ile zaman tanım alanı yöntemi ile analiz edilmiş ve her bina sınıfına ait hasargörebilirlik eğrileri oluşturulmuştur. Bu eğriler Fatih bölgesinin hasar tahmin çalışmasında kullanılmıştır.

Erberik, yığma yapıların deprem güvenliğini hasargörebilirlik eğrileri kullanarak incelemiştir. Bu çalışmada yığma binalar dört yapısal parametreye göre sınıflandırılmıştır. Bunlar kat adedi, taşıyıcı duvar malzemesi dayanımı, plan geometrisi ve taşıyıcı duvar uzunluğu ve boşluk miktarlarıdır. Her bina sınıfı için hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulmasında iki kademeli ve kuvvete dayalı bir yöntem kullanılmıştır. Çalışmada değişik duvar malzemesi türleri için verilmiş olan ortalama basınç dayanımı normal dağılıma sahip bir değişken olarak dikkate alınmış ve her bir bina sınıfı için 20 adet farklı analitik simülasyonun artımsal itme analizi sonuçları elde edilmiştir. Hasarsızlık Bölgesi, Can Güvenliği Bölgesi ve Göçme Bölgesi olmak üzere üç farklı hasar bölgesi tanımlanmıştır. 1995 depremi sonrası Dinar'daki yığma binalarda belirlenen gerçek hasar ile hasargörebilirlik eğrileri kullanılarak tahmin edilen hasar karşılaştırılmıştır (Erberik, 2007).

Tüzün ve Aydınoglu tarafından, Bolu kent merkezindeki bina stokundan rastgele seçilen, kat sayısı 2 ile 7 arasında değişen 120 adet konut binasının artımsal dinamik analizinden elde edilen sonuçların değerlendirilmesiyle hasargörebilirlik eğrileri elde edilmiştir. Binalar kat sayısına göre 6 gruba ayrılmıştır ve her grupta 20 bina bulunmaktadır. Hasar seviyeleri Park ve Ang hasar indisi ile tanımlanmıştır.

Çalışmada kullanılan 20 adet yer hareketi mevcut deprem kataloglarından seçilmiş ve Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre 1. derece deprem bölgesinde Z3 türü zemin için tanımlanan ivme spektrumuna uygun olarak ölçeklendirilmiştir. Binaların artımsal dinamik analizi RUAUMOKO isimli bilgisayar programı ile gerçekleştirilmiş ve artımsal dinamik analiz eğrileri her bir bina grubu için elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve söz konusu binalara ait hasargörebilirlik eğrileri oluşturulmuştur (Tüzün ve Aydınoglu, 2007).

Hueste ve Bai, orta Amerika'da 1980'li yıllara ait tipik betonarme binaların hasargörebilirliğini incelemişlerdir. Çalışmada beş katlı, kirişsiz döşemeli bir bina kullanılmıştır. Binanın hem ilk durumu, hem de üç farklı güçlendirme yöntemi kullanılarak güçlendirilmiş durumları için FEMA 356'da verilen global hasar seviyeleri ve eleman bazındaki hasar seviyeleri dikkate alınarak hasargörebilirlik eğrileri elde edilmiş ve karşılaştırmaları yapılmıştır. Ayrıca bu eğriler daha önce farklı çalışmalarda oluşturulan eğriler ile karşılaştırılmış ve bu çalışmadaki sonuçların tutarlı olduğu belirlenmiştir (Hueste ve Bai, 2007).

Borzi ve diğerleri, çok sayıda binanın zaman tanım alanı analizlerinin oldukça zaman alıcı olmasına dezavantajına karşılık, geniş ölçekli hasargörebilirlik çalışmalarında kullanılmak üzere bir yöntem geliştirmiştir. Yöntemin esası basitleştirmiş artımsal itme analizine dayanmaktadır. Belirli bir bina sınıfını temsil eden prototip binalara ait elastik-tam plastik kapasite eğrileri oluşturulmuş ve bunun üzerinden dört sınır hasar seviyesi tanımlanmıştır. Deprem parametresi olarak PGA kullanılmış ve 2-8 katlı binalar için hasargörebilirlik eğrileri oluşturulmuştur (Borzi ve diğer., 2007).

Banerjee ve Shinozuka, Kaliforniya'daki tipik bir köprüye ait hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulması amacıyla Kapasite Spektrumu Yöntemi'nin kullanıldığı bir doğrusal olmayan statik yöntem geliştirmiştir (Banerjee ve Shinozuka, 2007). Çalışmada 242 m uzunluğunda beş açıklıklı bir köprü kullanılmıştır. Köprü'nün tüm analizleri SAP 2000 NL bilgisayar programı ile gerçekleştirilmiştir. Deprem talep spektrumu FEMA'nın SAC projesinde kullanılmak üzere oluşturulmuş 60 adet yer

ivmesi kaydı kullanılarak oluşturulmuştur. İnelastik talep spektrumu ile köprünün kapasite spektrumu kesiştirilerek performans noktası hesaplanmıştır. Belirlenen performans noktası için köprü kolonlarındaki plastik mafsal dönmeleri hesaplanmış ve süneklik talebine dönüştürülmüştür. Çalışmada beş adet sınır hasar seviyesi dikkate alınmış ve her birine ait sınır değerler süneklik talebi cinsinden verilmiştir. Analitik hasargörebilirlik eğrileri iki parametrelili lognormal dağılım fonksiyonları ile ifade edilmiştir. Bu yöntemle oluşturulan eğriler, köprünün her iki doğrultusu için zaman tanım alanı analizinden oluşturulan eğriler ile kıyaslanmıştır.

Erberik, az ve orta katlı betonarme binalar için Türkiye koşullarına ait yapım karakteristiklerinin dikkate alındığı hasargörebilirlik eğrileri üretmiştir. Çalışmada daha önce Erberik ve Cullu tarafından kullanılan bina verisi kullanılmış ve aynı sınıflandırma yapılmıştır (Erberik ve Cullu, 2006). Binaların kapasite spektrumları üzerinden üç adet sınır hasar seviyesi tanımlanmıştır. Dünyanın çeşitli bölgelerinde meydana gelmiş depremlere ait 100 adet ivme kaydı kullanılarak eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemle modellenen binaların doğrusal olmayan dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Buradan elde edilen veriler kullanılarak PGV cinsinden hasargörebilirlik eğrileri çizdirilmiştir. Çalışmada örnekleme tekniklerinin, örneklem büyüklüğünün, histeresis modelinin ve sınır hasar seviyelerinin hasargörebilirlik eğrilerine olan etkisi araştırılmıştır. 1999 yılındaki depremler sonrası Düzce'deki binalarda gözlenen hasar, oluşturulan hasargörebilirlik eğrileri kullanılarak tahmin edilen hasarla karşılaştırılmıştır (Erberik, 2008).

Lagaros, iki farklı grup betonarme bina için hasargörebilirlik çalışması yapmıştır. Birinci bina grubu yaygın olarak kullanılan yapım tekniklerini barındıran binalardan oluşmaktadır. Bu amaçla üç farklı çerçeve kullanılmıştır: (i) tüm katlarında ve açıklıklarında dolgu duvarların düzenli olarak bulunduğu çerçeve; (ii) birinci kattaki tüm açıklıklarda dolgu duvarların bulunmadığı çerçeve; (iii) birinci katta kısa kolon olan çerçeve (dolgu duvarların belli bir yüksekliğe kadar devam ettiği durum). Çalışmada bu farklı özelliklere sahip bu üç çerçevenin tasarım depremi altında ( $PGA=0,31g$ ) hafif, orta, ileri ve ağır hasarlı olma olasılıkları hesaplanmıştır. İkinci bina grubu ise Yunanistan Deprem Yönetmeliği'nin farklı deprem yükü katsayılarına



göre boyutlandırılmış binaları kapsamaktadır. Üç katlı iki açıklıklı altı adet çerçeve için hasargörebilirlik eğrileri türetilmiş ve bu çerçeveler için tasarım depremi dikkate alınarak hasar olasılıkları hesaplanmıştır. Çalışmada hesaplanan hasar olasılıkları üzerinden karşılaştırmalar yapılmıştır (Lagaros, 2008).

Polese ve diğerleri, HAZUS'da tanımlanan az hasar, orta hasar, ileri hasar ve göçme sınır hasar seviyelerini dikkate alarak İtalya'nın Naples bölgesinde düşey yüklere göre boyutlandırılmış betonarme binalar için hasargörebilirlik eğrileri oluşturmuştur. Naples bölgesinin Arenella yöresinde detaylı bir bina araştırması yapılmış ve bu civardaki binalara ait genel özellikler belirlenmiştir. Bölgedeki binaların büyük bir kısmının planda dikdörtgen geometriye sahip olduğu belirlenmiştir. Simülasyon yöntemleri kullanılarak dikdörtgen plan geometrisine sahip 1-3 katlı, 4-6 katlı ile 7 ve daha çok katlı örnek modeller oluşturulmuş ve bu binaların bölgedeki binaları temsil ettiği kabul edilmiştir. Söz konusu binaların artımsal itme analizleri gerçekleştirilmiş ve yatay ekseni modal yerdeğiştirme, düşey ekseni ise aşılma olasılığı olan hasargörebilirlik eğrileri elde edilmiştir (Polese ve diğer., 2008).

Barbat, Pujades ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada, hasargörebilirlik, hasar ve deprem riskinin değerlendirilmesi üzerinde durulmuş ve Kapasite Spektrumu Yöntemi uygulanarak Barselona kenti için potansiyel deprem riski belirlenmiştir. Deprem tehlikesi %5 sönümlü elastik spektrum ile temsil edilmiştir. Çalışmada 1-3 katlı, 4-6 katlı ve 7 ve daha çok katlı betonarme çerçeve sistemli temsili binalar kullanılmıştır. Binaların artımsal itme analizi RUAUMOKO-2D bilgisayar programı ile gerçekleştirilmiştir. Dört farklı sınır hasar seviyesi için spektral yerdeğiştirme cinsinden hasargörebilirlik eğrileri elde edilmiştir. Deterministik ve probabilistik afet senaryoları için kentteki binaların hasargörebilirliğinin oldukça yüksek olduğu belirlemiştir (Barbat, Pujades ve diğer., 2008).

Barbat, Lagomarsino ve diğerleri tarafından, Barselona kentindeki müstakil konut binaları için hasargörebilirlik indisleri hesaplanmıştır. Hasar indisleri kullanılarak yapılan değerlendirme ile Kapasite Spektrumu Yöntemi'nden elde edilen sonuçların

aynı olduğu görülmüştür. Sözkonusu kent için hasargörebilirlik oranının oldukça yüksek olduğu saptanmıştır. (Barbat, Lagomarsino ve diğer., 2008).

Lagomarsino, İtalya’da kiliselerde oluşan hasarları belirlemeye yönelik bir çalışma yapmıştır (Lagomarsino, 2008). Kiliselerde meydana gelebilecek hasarların nedenleri 18 madde olarak bir formda toplanmıştır. Umbria ve Marche’de 2000’den fazla kilise bu form kullanılarak değerlendirilmiş ve kiliseler için hasar olasılık histogramları oluşturulmuştur. Artımsal itme analizi yerine limit analizin kinematik teoremi kullanılarak tarihi binalar için kapasite eğrilerinin elde edilmesi açıklanmıştır. Santa Maria del Mar kilisesinin itme eğrileri hem limit analizden hem de artımsal itme analizinden elde edilmiş ve Kapasite Spektrumu Yöntemi kullanılarak performans noktası belirlenip hasar durumu araştırılmıştır.

Ryu ve diğerleri tarafından, orta sınıf bir yönetmeliğe göre boyutlandırılmış az katlı çelik çerçeveler için HAZUS’da verilen kapasite eğrilerinden faydalanılarak binanın nihai kapasitesinden sonraki dayanım kaybının da dikkate alınabildiği çok parçalı kapasite eğrileri oluşturulmuştur (Ryu ve diğer., 2008). Çalışmada, oluşturulan kapasite spektrumlarının tipik noktalarına ait spektral ivme değerleri, dikkate alınan dört sınır hasar seviyesi için verilmiştir.

Ramamoorthy ve diğerleri, düşey yüklere göre boyutlandırılmış betonarme çerçeve türü binaların hasargörebilirliğini araştırmıştır (Ramamoorthy ve diğer., 2008). Çalışmada beş adet çerçeve kullanılmış ve 1, 2 ve 3 katlı çerçevelerin az katlı binaları, 6 ve 10 katlı çerçevelerin ise orta katlı binaları temsil ettiği kabul edilmiştir. Binaların hasargörebilirliği detayları Ramamoorthy ve diğerleri (Ramamoorthy ve diğer., 2006) tarafından yapılan başka bir çalışmada açıklanan bir yöntemle belirlenmiştir. Hasargörebilirlik eğrileri, FEMA 356’da kat ötelenmesi cinsinden verilen hasar durumları ile binaların kapasite eğrileri üzerinden tanımlanmış ilk akma ve plastik mekanizmanın başlangıcı durumları için oluşturulmuştur. Eğriler için güven aralıkları belirlenmiş ve ayrıca iki değişkenli hasargörebilirlik eğrileri de elde edilmiştir.

Park ve diğeri, iki katlı yığma bir bina dikkate alarak Amerika’da yaygın olarak kullanılmakta olan az katlı yığma binalar için hasargörebilirlik eğrileri oluşturmuşlardır (Park ve diğeri., 2009). Yığma binanın yapımında kullanılan malzemenin mekanik özelliklerine ait istatistiksel dağılımlar deneysel çalışmalardan alınmıştır. Çalışmada söz konusu binanın modellenmesi detaylı olarak açıklanmıştır. Binanın dinamik analizi DRAIN-2DX bilgisayar programı ile on adet yapay deprem kaydı altında binanın üç farklı analitik modeli için gerçekleştirilmiş ve görelî kat ötelenmesi cinsinden dört adet sınır hasar seviyesi tanımlanmıştır. Malzeme özellikleri ile ilgili belirsizlikler Latin Hypercube Örnekleme Yöntemi kullanılarak çalışmaya yansıtılmıştır. Çalışmada binanın iki analitik modeli için hasargörebilirlik eğrileri oluşturulmuş ve az katlı yığma binalar için HAZUS’da verilen eğrilerle karşılaştırılmıştır.

Rota ve diğeri, yığma binaların hasargörebilirlik eğrilerinin belirlenmesi için yeni bir analitik yaklaşım önermişlerdir (Rota ve diğeri., 2010). Çalışmada güney İtalya’da bulunan üç katlı gerçek bir bina kullanılmıştır. Binanın yapımında kullanılan malzemenin mekanik özelliklerine ait sınır değerler laboratuvar testleri ile belirlenmiştir. Binaya ve kullanılan malzemeye ilişkin çeşitli parametreler rastgele değişken olarak dikkate alınmış ve bu şekilde tek bir binaya ait çok sayıda kapasite eğrisi oluşturulmuştur. Kapasite eğrisi üzerinden tanımlanmış dört sınır hasar seviyesi dikkate alınmıştır. Yedi adet deprem ivme kaydı kullanılarak binanın zaman tanım alanı analizleri gerçekleştirilmiş ve hasargörebilirlik eğrileri elde edilmiştir.

## BÖLÜM İKİ

### BİNALARIN HASAR GÖREBİLME OLASILIKLARININ BELİRLENMESİ

#### 2.1 Genel

Deprem etkileri altında betonarme binalarda oluşabilecek çeşitli hasarların önceden belirlenebilmesi her zaman önemli bir araştırma konusu olmuştur. Yaşanan depremler sonucu yapılarda oluşan büyük hasar ve ekonomik kayıplar, gelecek depremlerde oluşabilecek hasarın tahmin edilebilmesi için mevcut bina stokunun hasar görebilme riskinin değerlendirilmesi ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Deprem tehlikesine maruz belli bir bölgede oluşabilecek yapısal hasarın belirli bir deprem parametresi için olasılık dağılımı, genellikle hasar olasılık matrisleri ve hasargörebilirlik eğrileri kullanılarak ifade edilmektedir.

Hasar olasılık matrisi, hasar dağılımının tablo şeklinde gösterilmesi ile elde edilmektedir. Tablodaki her bir kolon depremin şiddetini, bu kolonlardaki sayılar ise değişik hasar seviyelerindeki binaların oranını göstermektedir (Cimellaro ve diğer., 2006). Her bir kolondaki sayıların toplamı 1'dir. Hasar olasılık matrisi, farklı deprem şiddetleri için önceden tanımlanan hasar durumlarına ulaşılmasının ayrı olasılığını vermektedir. Tipik bir hasar olasılık matrisi Tablo 2.1'de görülmektedir.

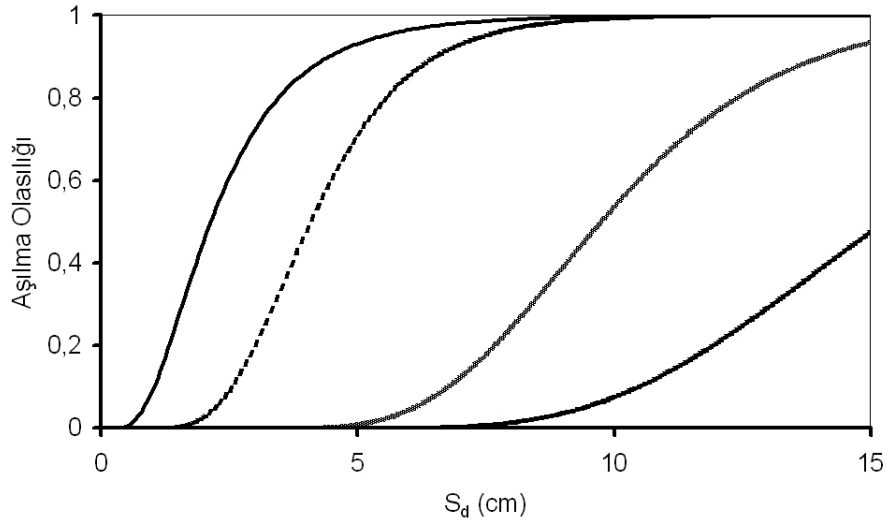
Tablo 2.1 Tipik hasar olasılık matrisi (Cimellaro ve diğer., 2006)

Hasar Seviyesi	Deprem Şiddeti						
	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Hasarsız	%20,4						
Çok Az Hasar	%70,3	%15,5					
Az Hasar	%9,3	%84,5	%88,4	%28,9	%1,4		
Orta Hasar			%11,6	%71,1	%81,6	%38,7	%3,8
Ağır Hasar					%17,0	%61,3	%88,7
Çok Ağır Hasar							%7,5
Göçme							

Hasargörebilirlik eğrileri ise, belirli bir deprem parametresine bağlı olarak ( $S_a$ ,  $S_d$ , PGA vb.) belirli bir hasar seviyesine ulaşılması veya aşılması olasılığını ilişkilendiren ve deprem riskinin grafiksel olarak gösterimini sağlayan

fonksiyonlardır. Belirli bir hasar seviyesine ait hasargörebilirlik eğrisi, seçilen bir yer hareketi parametresi için önceden belirlenmiş sınır hasar seviyesine ulaşılması veya aşılması koşullu olasılığının hesaplanması ile elde edilir. Hesaplanan koşullu olasılığın belirlenen yer hareketi parametresine karşılık çizilmesi, söz konusu hasar seviyesine ait hasargörebilirlik eğrisini tanımlamaktadır (Tüzün ve Aydınöglu, 2007).

Hasargörebilirlik eğrilerinde yatay eksen seçilen deprem parametresini, dikey eksen ise hasarın önceden belirlenmiş hasar seviyelerine erişmesinin veya onları aşmasının birikimli olasılığını göstermektedir. Şekil 2.1’de deprem parametresi olarak seçilen modal yerdeğiştirme ( $S_d$ ) cinsinden farklı hasar seviyeleri için elde edilmiş tipik hasargörebilirlik eğrileri görülmektedir.



Şekil 2.1 Dört farklı hasar seviyesi için oluşturulmuş hasargörebilirlik eğrileri

## 2.2 Binaların Hasar Görebilme Olasılıklarının Belirlenmesinde Kullanılan Mevcut Yöntemlerin Değerlendirilmesi

Binaların hasar görebilme olasılıklarının belirlenmesinde kullanılan mevcut yöntemler; deprem sonrası hasar inceleme çalışmalarına dayanan “ampirik yöntem”, belirli bir kişi veya kişilerin bilgi ve tecrübesine dayanan “uzman (bilirkişi) görüşü”, belirli bir veri setinin analitik olarak simülasyonuna dayalı “analitik yöntem” veya

sözü edilen yöntemlerinin kombinasyonundan oluşan “karma yöntem” olarak sınıflandırılabilir (Rossetto ve Elnashai, 2003; Tüzün ve Aydınöglu, 2007).

Genel olarak dört grup şeklinde sınıflandırılan bu yöntemlerin her birinin avantaj ve dezavantajlarından bahsedilebilir.

Ampirik yöntemlerde, geçmiş depremlerden elde edilen bina hasar dağılımları ait veriler kullanılmaktadır. Binanın hasar görmesine neden olabilecek birçok etkenin (bina-zemin etkileşimi, binanın bulunduğu bölgenin topografik özellikleri vb.) dikkate alınabilmesi nedeniyle gözleme dayalı olarak belirlenen bu veriler oldukça gerçekçidir. Bununla birlikte gözlemsel verilere dayanan ampirik yöntemler kısıtlı bir uygulama alanına sahiptir. Örneğin Avrupa ülkeleri için ampirik olarak elde edilmiş yer hareketi-hasar ilişkileri, genel olarak belirli bölgeler için gerçekleştirilmiştir veya belirli bir depremden sonra yapılmış az sayıda hasar inceleme çalışmalarının sonuçlarına dayanmaktadır. Sonuç olarak ampirik yöntemlere bağlı olarak elde edilmiş hasargörebilirlik eğrileri, sadece incelenen bölgenin sismik, geoteknik özelliklerine ve o civardaki binalara ait olmakta, genelleştirilememektedir.

Ampirik yöntemler çok sayıda binanın deprem performansına ait verinin elde edilmesi ile daha geniş bir uygulama alanına sahip olabilir. Pratikte bu durum farklı bölgelerde meydana gelmiş değişik depremlerden elde edilen verilerin kombinasyonu ile mümkün olabilir. Bununla birlikte yerleşimin yoğun olduğu bölgelerde büyük bir depremin oluşma olasılığı oldukça düşüktür. Bu nedenle, ampirik yöntemlerle hasargörebilirlik eğrilerinin elde edilmesinde kullanılan veriler oldukça zor elde edilebilmekte ve veriler genellikle daha küçük depremlere ait olmaktadır. Söz konusu eğrilerin daha şiddetli depremlerde olabilecek hasarın tahmin edilmesinde kullanılması büyük belirsizlikleri de beraberinde getirmektedir (Rossetto ve Elnashai, 2003).

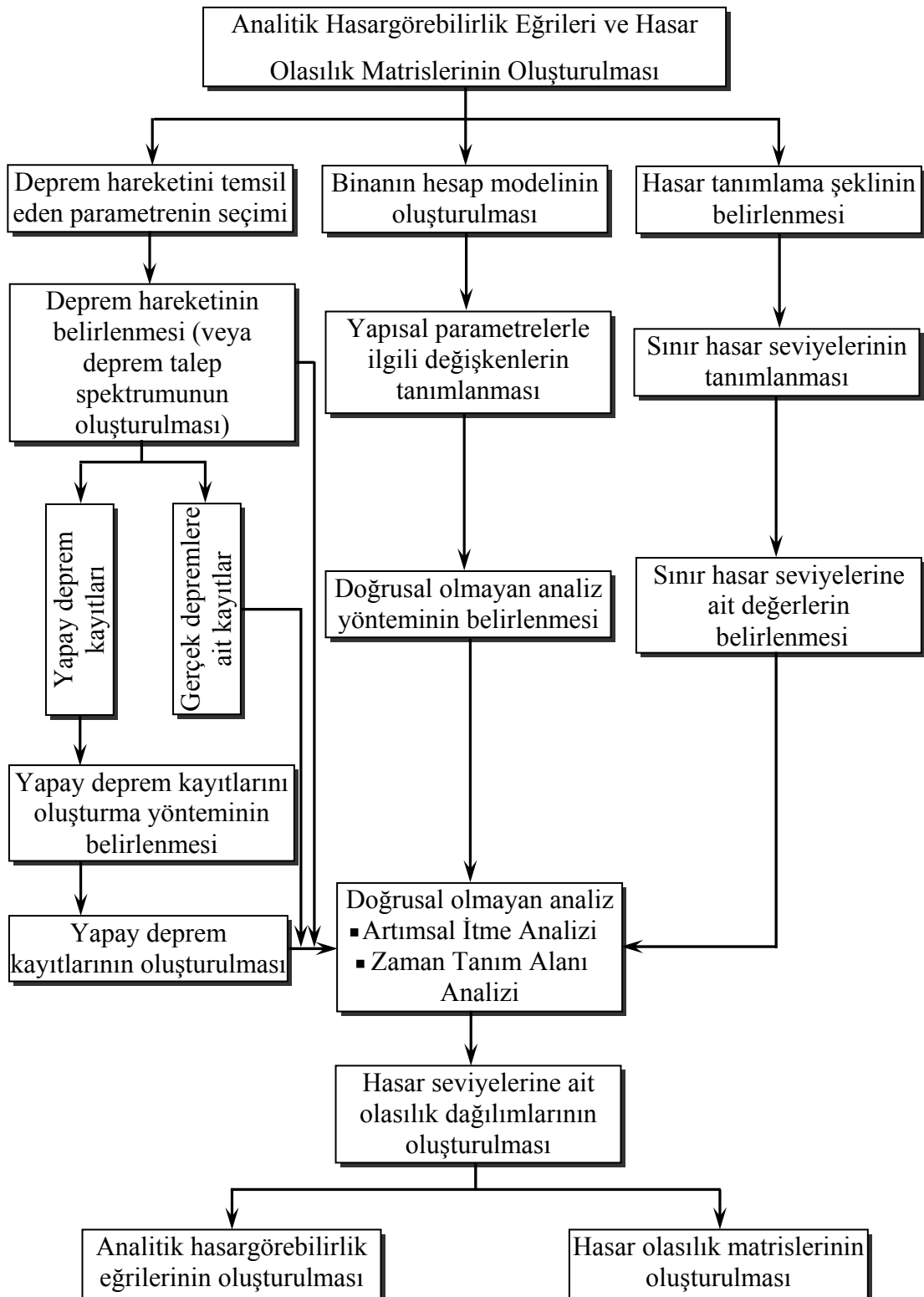
Uzman görüşüne bağlı yöntemlerde, deprem mühendisliği alanında bilgi ve tecrübeye sahip inşaat mühendisleri, farklı deprem etkileri için binalarda

oluşabilecek hasar dağılımı hakkında tahminde bulunmaktadır. Bu yöntemde farklı deprem seviyelerindeki hasar oranının belirlenebilmesi için uzman kişilerin tahminlerine bağlı olasılık dağılım fonksiyonları elde edilmektedir. Belirli bir hasarın oluşma olasılığı bu olasılık dağılım fonksiyonları kullanılarak belirlenmekte ve bu olasılığın ilgili deprem şiddetine karşılık çizilmesiyle hasargörebilirlik eğrisi elde edilmektedir.

Hasar olasılık matrislerinin ve hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulmasında “uzman görüşü” ABD’de yayınlanmış ATC 13, ATC 40 gibi yönetmeliklerde sıkça kullanılmıştır. Bu tip hasargörebilirlik eğrilerinin güvenilirliği görüş alışverişinde bulunan uzman kişinin bilgi ve tecrübesine bağlı olarak değişmektedir (Rossetto ve Elnashai, 2003). Genel olarak uzman kişinin görüşüne bağlı kalınan bu yöntemin hassasiyetini tahmin etmek mümkün değildir.

Analitik olarak elde edilen hasargörebilirlik eğrilerinde, binaların artan deprem yükleri altındaki analizinden elde edilen hasar dağılımları kullanılmaktadır. Analitik yöntemlerde kullanılacak veri seti, zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizinden, elastik spektrum analizinden ve doğrusal olmayan statik analizden elde edilebilir (Cimellaro ve diğer., 2006). Analitik hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulmasında kullanılan analizler önyargıyı azaltmakta ve uzman kişi görüşüne dayanan yöntemler ile karşılaştırıldığında değişik binalar için hasar tahminlerinin güvenilirliğini arttırmaktadır. Buna rağmen binaların modellenmesindeki sınırlamalar ve gerektirdiği yüklü işlem hacmi nedeniyle geçmiş yıllarda analitik yöntemle betonarme binalara ait çok az sayıda hasargörebilirlik eğrileri elde edilebilmiştir (Rossetto ve Elnashai, 2003). Son yıllarda yapı elemanlarının doğrusal olmayan davranışının daha gerçekçi olarak modellenebilmesi ve bilgisayarların kapasitelerinin artmasıyla analitik yöntemler ön plana çıkmıştır.

Analitik hasargörebilirlik eğrilerinin ve hasar olasılık matrislerinin oluşturulmasına ait genel bir yaklaşım Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2 Analitik hasargörebilirlilik eğrileri ve hasar olasılık matrislerinin oluşturulmasında kullanılan genel yaklaşıma ait akış diyagramı (Dumova-Jovanoska, 2000; Borzi ve diğer., 2007; Tüzün ve Aydınöglu, 2007)



Karma yöntemler yukarıda sözü edilen yöntemlerin birkaçının kombinasyonuna dayanmaktadır. Karma yöntemlerle oluşturulmuş mevcut hasargörebilirlik eğrileri, genel olarak analitik olarak elde edilmiş veya uzman kişi görüşüne dayanan hasar-olasılık ilişkilerinin gözlemsel veriler ile modifikasyonu sonucu elde edilmiştir (Rossetto ve Elnashai, 2003).

### 2.3 Hasargörebilirlik Eğrilerinin İstatistiksel İfadesi

Hasargörebilirlik eğrileri genel olarak lognormal birikimli dağılım fonksiyonu ile ifade edilmektedir. Normal dağılımın özelliklerinin iyi bilinmesi ve kullanımının kolay olması, normal dağılmış olmayan (çarpık dağılmış) değişkenlerin de uygun bir dönüşümle normal dağılıma uydurulmasına çalışmamıza yol açar. Bu amaçla en çok kullanılan dönüşüm logaritmik dönüşümdür. X rastgele değişkenine  $Y = \ln X$  şeklinde logaritmik bir dönüşüm uygulandığında, dönüştürülmüş Y değişkeninin dağılımı normal ise X'in dağılımına lognormal denir (Bayazıt ve Oğuz, 1994).

Lognormal dağılıma sahip bir rastgele değişkeninin olasılık yoğunluk fonksiyonu (OYF), (2.1) numaralı bağıntı ile verilmektedir.

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_Y\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln x - \mu_Y)^2}{2\sigma_Y^2}\right], (0 < x < +\infty) \quad (2.1)$$

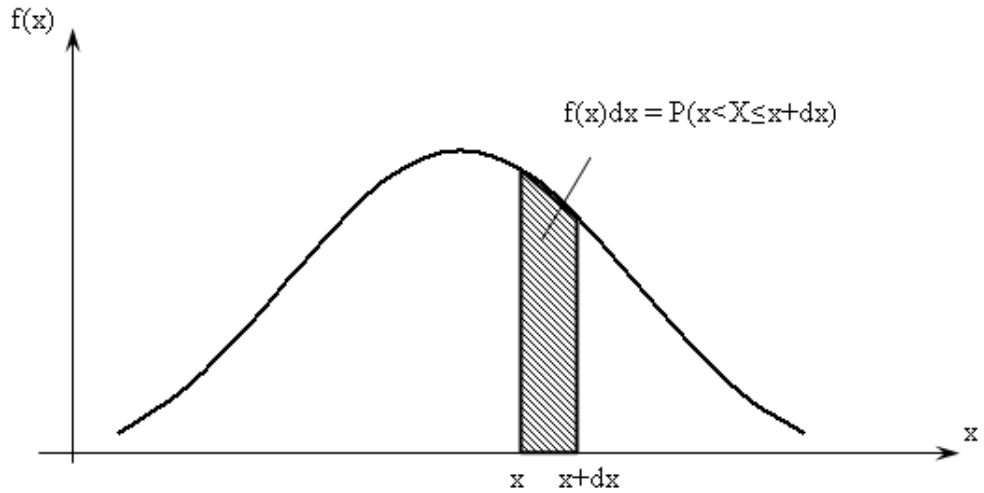
Bu dağılımdaki  $\mu_Y$  ve  $\sigma_Y$  parametreleri, Y değişkeninin istatistik momentleri (lognormal dağılmış değişkenin ortalaması ve standart sapması) olup X değişkenin istatistik momentlerine (2.2a) ve (2.2b) numaralı bağıntılarla bağlıdır. Bu bağıntılarda,  $\mu_X$  rastgele değişkenin ortalaması,  $\sigma_X$  ise standart sapmasıdır.

$$\mu_Y = \ln\left[\mu_X / \left(\frac{\sigma_X^2}{\mu_X^2} + 1\right)^{1/2}\right] \quad (2.2a)$$

$$\sigma_Y = \left[ \ln \left( \frac{\sigma_X^2}{\mu_X^2} + 1 \right) \right]^{1/2} \quad (2.2b)$$

Hasargörebilirlik eğrilerine ait olasılık yoğunluk fonksiyonları  $\mu_Y$  ve  $\sigma_Y$  parametrelerinin hesaplanmasıyla tanımlanmış olur. Bu parametrelerinin hesaplamak için ya örnekteki  $X$  değerlerine logaritmik dönüşüm uygulayarak elde edilen  $Y$  değerlerinin  $\mu_Y$  ve  $\sigma_Y$  momentleri hesaplanır, ya da doğrudan doğruya  $\mu_X$  ve  $\sigma_X$  hesaplanarak  $\mu_Y$  ve  $\sigma_Y$  yukarıdaki denklemlerden hesaplanır. İkinci yolun  $X$  değişkeninin (yani fiziksel değişkenin) istatistiklerini koruduğu için daha uygun olduğu düşünülebilir (Bayazıt ve Oğuz, 1994).

Hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulabilmesi için bundan sonraki aşamada seçilen bir yer hareketi parametresi için önceden belirlenmiş sınır hasar seviyesine ulaşılması veya aşılması koşullu olasılığının hesaplanması gerekir. Bunun için temel istatistik bilgilerinden faydalanılabilir. Bilindiği gibi olasılık yoğunluk fonksiyonu  $f(x)$ 'in eğrisi ile  $x$  eksenini ve  $x$ ,  $x+dx$  noktalarından çizilen düşey çizgiler arasında kalan alan, değişkenin  $(x, x+dx)$  aralığında bir değer alması olasılığını göstermektedir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Sürekli rastgele değişkenlerde olasılık hesabı

Sürekli rastgele bir değişkenin sonlu bir aralıkta bulunması olasılığı, bu aralığı küçük parçalara ayırıp bu parçalarda bulunma olasılıklarının toplanmasıyla

hesaplanabilir (Bayazıt ve Oğuz, 1994). Sonuç olarak sürekli rastgele bir değişkenin  $[a,b]$  aralığında bulunma olasılığı (2.3) numaralı bağıntıdaki gibi yazılabilir.

$$P(a < X \leq b) = \int_{x=a}^{x=b} f(x) dx = \int_{x=a}^{x=b} \frac{1}{x\sigma_Y \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln x - \mu_Y)^2}{2\sigma_Y^2}\right] dx \quad (2.3)$$

(2.3) numaralı bağıntıda  $z = (\ln x - \mu_Y)/\sigma_Y$  şeklinde bir dönüşüm uygulanarak olasılık hesabında standart normal dağılımdan faydalanılabilir.

$$z = \frac{\ln x - \mu_Y}{\sigma_Y} \rightarrow dz = \frac{1}{x\sigma_Y} dx \quad (2.4)$$

(2.4) numaralı bağıntıda gösterilen dönüşüm yardımıyla sürekli rastgele bir değişkenin  $[a,b]$  aralığında bulunma olasılığı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$P(a < X \leq b) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{\ln a - \mu_Y}{\sigma_Y}}^{\frac{\ln b - \mu_Y}{\sigma_Y}} \exp\left[-\frac{z^2}{2}\right] dz = \Phi\left(\frac{\ln b - \mu_Y}{\sigma_Y}\right) - \Phi\left(\frac{\ln a - \mu_Y}{\sigma_Y}\right) \quad (2.5)$$

(2.5) numaralı bağıntıda  $\Phi$  standart normal birikimli dağılım fonksiyonunu göstermektedir.

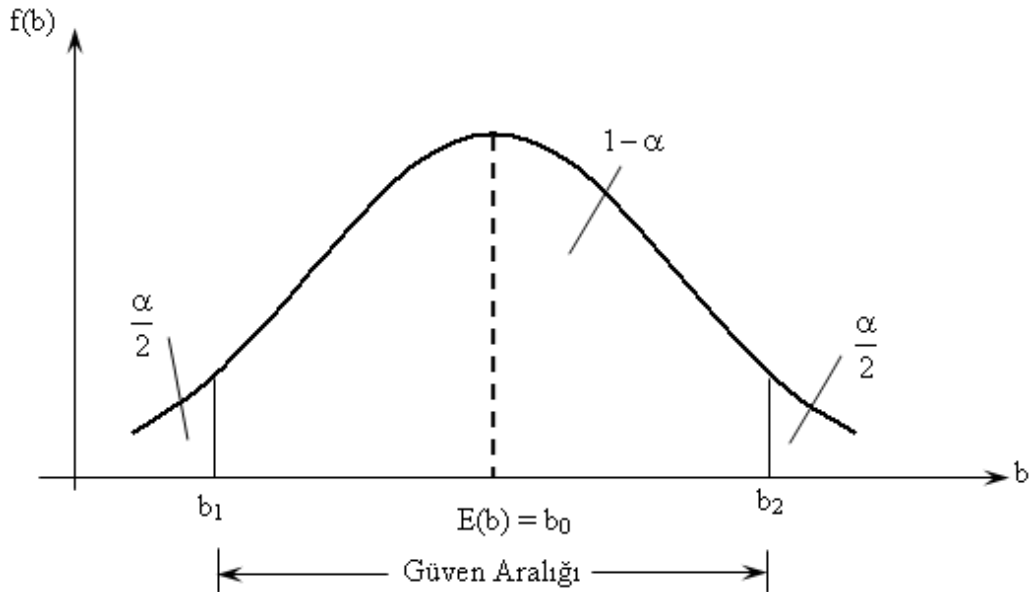
## 2.4 Örneklem Dağılımları Kullanılarak Güven Aralığı Oluşturulması

Bir rastgele değişkenin toplumunun tümünü gözlemlemek mümkün olmadığı için bu değişkenin olasılık dağılımının herhangi bir parametresinin gerçek değeri hiçbir zaman belirlenemez (Bayazıt ve Oğuz, 1994). Kitleye ulaşmanın mümkün olmadığı durumlarda kitleden çekilmiş ve kitleyi iyi bir şekilde tanımlayabilecek bir alt küme seçmek yöntemi ile kitle için tahmine dayalı bilgiler edinilmeye çalışılır. Bu yöntemle örneklem yöntemi, kitleden çekilen alt küme de örneklem denir. Örneklemde elde edilen bilgiler kitleyi tanımlamak için kullanılır ve bu bilgilere istatistik adı

verilir (Cula ve Muluk, 2006). Herhangi bir istatistik değeri (örneğin  $b$  istatistiği) kitlenin ilgili parametre değerine ( $\beta$  parametresi) eşit olmayıp bu parametrenin eldeki örneklemden elde edilebilecek en iyi tahminidir.

İlk bakışta örnekleme yöntemi ile kitle hakkında bilgi edinmek fikri tatmin edici gibi görünmeyebilir. Eğer çekilen örnek kitleyi iyi temsil etmiyor ise bu kuşku yerindedir (Ersoy ve Erbaş, 1996). Ancak kitleden örneklem seçim işleminin doğru yapılması halinde elde edilen istatistikler de güvenilir olacaktır. Araştırmalarda örneklem ile çalışmak ekonomik ve daha kısa zamanda sonuç almamızı sağlar (Cula ve Muluk, 2006).

Kitlenin tümü gözlenmedikçe kitle parametrelerinin değerini tam doğrulukla belirlemek mümkün olmaz. Ancak kitleye ait bilinmeyen parametre değerinin hesaplanan istatistik değerinin çevresinde verilen bir olasılıkla hangi aralık içinde kalacağı belirlenebilir. Bunun için o istatistiğin örnekleme dağılımını bilmek gerekir (Bayazıt ve Oğuz, 1994).  $\beta$  parametresinin eleman sayısı  $N$  olan örneklemden hesaplanan  $b$  istatistiğinin  $f(b)$  örnekleme dağılımı bilindiğine göre bu dağılımın, beklenen değeri eldeki örneklemden belirlenen  $b_0$  değeri olacak şekilde çizildiğini kabul edelim (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 (1- $\alpha$ ) güven düzeyinde güven aralığı oluşturulması

Kitlenin değeri bilinmeyen  $\beta$  parametresinin verilen bir  $(1-\alpha)$  olasılığı ile içinde kalacağı  $(b_1, b_2)$  aralığını belirlemek için  $b_0$ 'ın çevresinde iki yana doğru simetrik olarak öyle bir  $(b_1, b_2)$  aralığı işaretlenir ki örnekleme dağılımının bu aralıkta kalan yüzdesi  $(1-\alpha)$  olsun. Burada  $(1-\alpha)$ 'ya güven düzeyi,  $(b_1, b_2)$  aralığına bu düzeydeki güven aralığı denir (Bayazıt ve Oğuz, 1994).  $\beta$  parametresini  $(1-\alpha)$  olasılıkla içeren  $(b_1, b_2)$  aralığının belirlenmesi işleme aralık tahmini adı verilir.  $b_1$ 'e güven aralığının alt sınırı,  $b_2$ 'ye ise güven aralığının üst sınırı denir.  $\alpha$ , aralığın  $\beta$ 'yı içermeme olasılığı olup pratikte  $(1-\alpha)$  için 0,90, 0,95 ve 0,99 gibi değerler kullanılır.

Güven düzeyi ve güven aralığı kavramları şu şekilde yorumlanabilir: söz konusu kitleden çekilecek aynı büyüklükteki örneklemden tahmin edilecek  $\beta$  parametre değerinin  $\%(1-\alpha)$ 'sı bu güven düzeyi için belirlenen  $(b_1, b_2)$  aralığı içinde kalacaktır. Başka bir deyişle bilinmeyen  $\beta$  değerinin  $(b_1, b_2)$  güven aralığı içinde bulunmasına  $(1-\alpha)$  düzeyinde güven duyulabilir (Bayazıt ve Oğuz, 1994).

Ortalamaya ilişkin güven aralıkları oluşturulurken kullanılacak dağılım belirlenmesinde örneklemdaki eleman sayısı etkili olmaktadır. Ayrıca kitlenin standart sapma değerinin bilinip bilinmemesine göre de kullanılacak dağılım değişmektedir.

Genelde kitlenin tümünün gözlemlenmesi zor olduğundan dolayı bu kitleye ait standart sapmanın belirlenmesi de zor olmaktadır. Bu nedenle aşağıdaki paragraflarda sadece kitlenin standart sapmasının bilinmemesi durumu için ortalamaya ilişkin güven aralıklarının ne şekilde belirlendiği kısaca açıklanmıştır.

#### ***2.4.1 Güven Aralığının Kitle Standart Sapmasının Bilinmemesi Durumu İçin Elde Edilmesi***

Genel olarak kitlenin ortalaması bilinmiyorken, aynı şekilde kitlenin standart sapması da bilinmez (Ersoy ve Erbaş, 1996). Bu durumda örneklemden hesaplanmış standart sapma değerinden yararlanılır ve  $\bar{X}$  istatistiğinin örnekleme dağılımı, eldeki

örneklerden hesaplanan standart sapma değeri kullanılarak belirlenebilir. Örneklem büyüklüğü küçük ( $N < 30$ ) ve kitlenin dağılımı normal ise  $\bar{X}$  istatistiğinin örnekleme dağılımı (2.6) numaralı bağıntıda verilen t istatistiğine bağlı olarak belirlenebilir.

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{S / \sqrt{N}} \quad (2.6)$$

Yukarıdaki bağıntıda  $\bar{X}$  örneklem ortalaması, S örneklem standart sapması, N örneklemdeki eleman sayısı,  $\mu$  ise kitlenin ortalamasıdır. t istatistiğinin dağılımı serbestlik derecesi (s.d.)  $n = N - 1$  olan t dağılımıdır (Bayazıt ve Oğuz, 1994). Bu durumda kitle ortalaması için güven aralığı (2.7) numaralı bağıntı ile hesaplanır.

$$P\left(\bar{X} - t_{\alpha/2; n-1} \frac{S}{\sqrt{N}} < \mu < \bar{X} + t_{\alpha/2; n-1} \frac{S}{\sqrt{N}}\right) = 1 - \alpha \quad (2.7)$$

(2.7) numaralı bağıntıdaki  $t_{\alpha/2; n-1}$  değeri,  $(1 - \alpha)$  güven düzeyi için olasılık değerlerinin bulunduğu t dağılım tablosu kullanılarak bulunur (Cula ve Muluk, 2006).

Kitle standart sapmasının bilinmediği durumlarda eğer örneklem büyüklüğü yeterince büyükse ( $N \geq 30$ ) örneklem standart sapması kullanılarak yapılan standartlaştırmada,  $\frac{\bar{X} - \mu}{S / \sqrt{N}}$  olan değerler standart normal dağılıma yakınsar. Bu yaklaşım sonunda kitle ortalamasının güven aralığı (2.8) numaralı bağıntı ile belirlenir (Cula ve Muluk, 2006).

$$P\left(\bar{X} - Z_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{N}} < \mu < \bar{X} + Z_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{N}}\right) = 1 - \alpha \quad (2.8)$$

(2.8) numaralı bağıntıdaki  $Z_{\alpha/2}$  değerleri standart normal dağılım tablosundan elde edilir.

## **BÖLÜM ÜÇ**

### **AZ VE ORTA KATLI BETONARME BİNALARIN HASAR GÖREBİLME OLASILIKLARININ ARTIMSAL İTME ANALİZİ ESASLI YÖNTEMLE BELİRLENMESİ**

#### **3.1 Giriş**

Binaların hasargörebilirlik fonksiyonlarının ya da hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulmasında kullanılan değişik analiz yöntemleri mevcuttur. Hangi analiz yöntemi kullanılırsa kullanılсын seçilecek yer hareketinin karakteristikleri, oluşturulacak analitik model, kullanılan malzemelerin dayanımları, tanımlanacak sınır hasar seviyeleri vb. parametrelere bağlı olarak hasargörebilirlik analizleri çok sayıda belirsizlik içermektedir. Bu belirsizlikler içinden yapının deprem davranışını daha çok etkileyecek parametrenin seçilmesi ve analizlerde kullanılacak diğer parametrelerin de hassas bir şekilde belirlenmesi önemlidir. Bu nedenle, çok sayıda gerçek binanın üç boyutlu olarak ele alınması ve doğrusal olmayan davranışı dikkate alan analiz yöntemlerinden birisi ile analiz edilmesi, binaların hasar görebilme olasılıklarının belirlenmesine yönelik daha gerçekçi sonuçlar verecektir. Bu yöntemlerden, dinamik zaman tanım alanı analiz yöntemi kullanılarak çok sayıda binanın üç boyutlu analizinin zor ve zaman alıcı olması, artımsal itme analizi yöntemlerinin kullanılmasını ön plana çıkarmaktadır. Bu nedenle tez kapsamında, betonarme binaların analitik hasar görebilme olasılıkları, artımsal itme analizi esaslı yöntemle belirlenecektir.

#### **3.2 Hasargörebilirlik Eğrilerinin Artımsal İtme Analizi Esaslı Yöntemle Belirlenmesi**

Mevcut betonarme binaların hasargörebilirlik eğrilerinin analitik olarak oluşturulmasında kullanılan yöntem, gerçek binaların artımsal itme analizi sonuçlarından elde edilen modal kapasite eğrileri üzerinde belirlenen hasar sınırlarının istatistiksel değerlendirilmesine dayanmaktadır.

Yöntemin ilk aşaması bina analizlerde kullanılacak bina verisinin elde edilmesidir. Hasargörebilirlik çalışmalarında kullanılacak bina verisinin bulunabilirliği oldukça önemlidir ve hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulmasında izlenecek yöntemin de belirleyicisidir. Bu çalışmada kullanılan bina verisi, mümkün mertebe yerinde görülerek belirlenen gerçek, az ve orta katlı binaların mimari ve betonarme projelerinden temin edilmiştir. Böylece mevcut bina stokunun genel karakteristiklerini de yansıtan değerli bir veri seti oluşturulmuştur.

Yöntemin ikinci aşaması binaların üç boyutlu hesap modellerinin oluşturulmasıdır. Binaların hesap modelleri mevcut binanın geometrisi, taşıyıcı elemanların plandaki yerleşimi ve kesit boyutları dikkate alınarak detaylı olarak hazırlanmıştır.

Çalışmada analiz yöntemi olarak artımsal itme analizi kullanılmıştır. Bu aşamada tüm binaların tasarımında esas alınan malzeme özellikleri ile kiriş, kolon ve perde elemanlara ait enine ve boyuna donatı miktarları ve detayları binaların betonarme projelerinden elde edilmiş ve kesitlerin doğrusal olmayan davranışı bu veriler esas alınarak modellenmiştir.

Hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulmasında önemli bir yere sahip sınır hasar seviyeleri, binaların iki doğru parçası ile idealleştirilen modal kapasite diyagramları üzerinden tanımlanmıştır. Çalışmada, modal yerdeğiştirme cinsinden dört hasar sınırı (Hafif Hasar Sınırı ( $\overline{S}_{d1}$ ), Orta Hasar Sınırı ( $\overline{S}_{d2}$ ), İleri Hasar Sınırı ( $\overline{S}_{d3}$ ) ve Göçme Sınırı ( $\overline{S}_{d4}$ )) ve beş farklı hasar bölgesi (Hasarsızlık Bölgesi, Hafif Hasar Bölgesi, Orta Hasar Bölgesi, İleri Hasar Bölgesi ve Göçme Bölgesi) oluşturulmuştur.

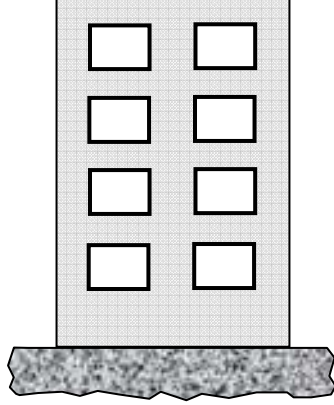
Çalışmada kullanılan yöntemin bundan sonraki aşamaları binaların modal kapasite diyagramı üzerinde belirlenen hasar sınırlarından elde edilen verilere istatistiksel dağılımlar uygulayarak analitik hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulmasıdır.

Analitik hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulması için bu çalışmada kullanılan yöntemle ait şematik gösterim Şekil 3.1'de verilmiştir. Ayrıca, artımsal itme analizi,

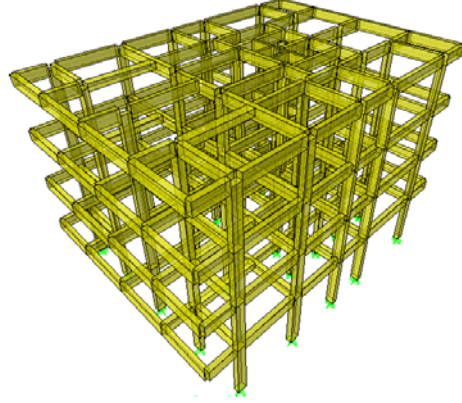


modal kapasite diyagramlarının oluşturulması, sınır hasar seviyelerinin tanımlanması ve hasargörebilirlik eğrilerinin elde edilmesi işlemleri sırayla alttaki bölümlerde açıklanmıştır.

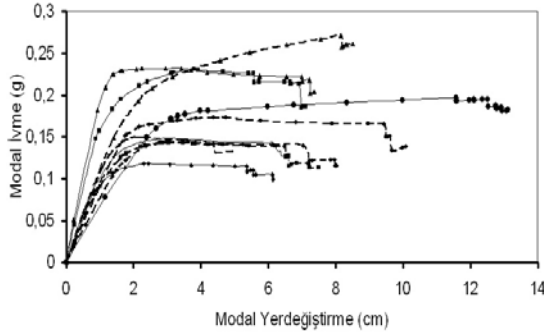
### 1. Gerçek Bina Verisinin Temini



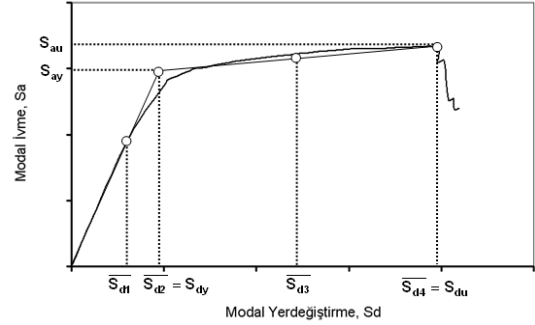
### 2. Binaların Üç Boyutlu Hesap Modelinin Oluşturulması



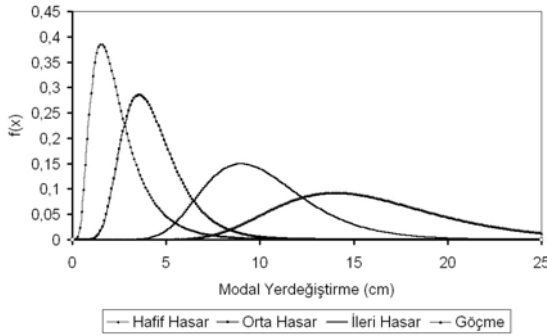
### 3. Artımsal İtme Analizi



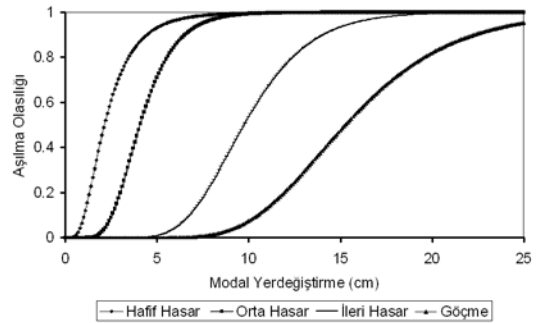
### 4. Sınır Hasar Seviyelerinin Tanımlanması



### 5. Hasar Seviyelerine Ait Olasılık Yoğunluk Fonksiyonlarının Oluşturulması



### 6. Analitik Hasargörebilirlik Eğrilerinin Çizdirilmesi



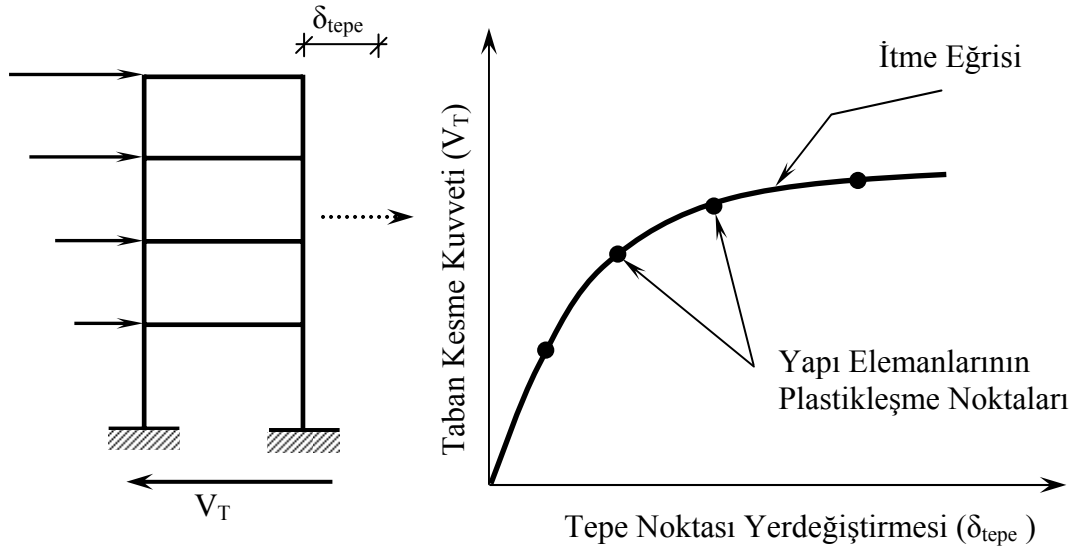
Şekil 3.1 Analitik hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulmasında kullanılan yöntemin şematik gösterimi

### ***3.2.1 Hasargörebilirlilik Eğrilerine Esas Artımsal İtme Analizi Yöntemi***

Yapıların deprem yükleri altındaki doğrusal olmayan davranışlarının belirlenmesinde kullanılan artımsal itme analizi, yapının deprem yükleri altındaki dayanımını temsil eden yatay yük-yerdeğiştirme (genellikle tepe noktasının yatay yerdeğiştirmesi) ilişkisinin, malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan teoriye göre elde edilmesi esasına dayanmaktadır.

Artımsal itme analizinde yapı dinamik atalet kuvvetlerini temsil etmek üzere, kat seviyelerine etki eden yatay yükler ile zorlanmaktadır. Taşıyıcı sistemin geometrisi, kesit ve malzeme özellikleri ile elastik ötesi davranışı göz önüne alınarak sistem adım adım yüklenmekte (statik itme analizi) ve toplam yatay yükle en üst noktanın yerdeğiştirmesi arasındaki ilişki elde edilmektedir (Celep, 2008). Yatay yükler aralarındaki oran sabit kalacak şekilde arttırılmaya devam ederken, kesitlerin biri veya birkaçı taşıma kapasitelerine erişmekte ve bu kesitlerde plastik mafsall oluşmaktadır. Plastik mafsall oluşan kesitler, taşıma güçlerinde değişme olmaksızın dönmeye devam etmektedir. Plastik mafsallar arasında sistemin, doğrusal-elastik davrandığı kabul edilmektedir. Yatay yükler arttırılmaya devam edilerek, yapının bir bölümünü veya tamamını mekanizma durumuna getiren göçme yüküne (limit yük) ulaşılmaktadır. Her yük değeri için, toplam taban kesme kuvveti ( $V_T$ ) ile buna karşılık gelen tepe noktası yerdeğiştirmesi ( $\delta_{tepe}$ ) arasındaki ilişki belirlenerek yapının itme eğrisi elde edilmektedir (Şekil 3.2).

İtme eğrisi sayesinde yapıda veya yapı elemanlarında oluşabilecek hasar, kısmi veya toptan göçme durumları elde edilebilmektedir. Ayrıca yapının zayıf elemanları ve bunların oluşma yerleri, yapı sisteminin göçmesine ait limit yük ve göçme anındaki yerdeğiştirme değeri, yapı sisteminin ve elemanların deformasyon talepleri belirlenebilmektedir (İrtem ve Türker, 2002).



Şekil 3.2 İtme eğrisinin elde edilmesi (Uçar, 2005)

### 3.2.2 Hasargörebilirlik Eğrilerine Esas Modal Kapasite Diyagramının Oluşturulması

Modal kapasite diyagramı, artımsal itme analizinden elde edilen itme eğrisine uygulanan koordinat dönüşümüdür. Modal kapasite diyagramında, yatay eksendeki tepe noktası yerdeğiştirmesi modal yerdeğiştirmeye, düşey eksendeki taban kesme kuvveti ise modal ivmeye dönüştürülmektedir.

Yapının modal kapasite diyagramının elde edilmesi çok serbestlik dereceli sistemin dinamik davranışının incelenmesiyle açıklanabilir. Yatay yer ivmesi  $\ddot{u}_g(t)$  etkisindeki çok katlı bir yapının hareket denklemi aşağıdaki gibidir (Chopra ve Goel, 2002).

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\ddot{u}_g(t) \quad (3.1)$$

(3.1) numaralı bağıntıda  $m$  sistemin kütle matrisi,  $c$  sistemin sönüm matrisi,  $k$  sistemin yatay rijitlik matrisi,  $u$  kat döşemelerinin yatay yerdeğiştirme vektörü ( $N \times 1$  boyutlu),  $1$  ise her elemanı bir olan kolon vektördür.

n. modda titreşim yapan bir yapıda katların yatay yerdeğiştirmeleri (3.2) numaralı bağıntı ile ifade edilebilir.

$$u_n(t) = \phi_n q_n(t) \quad (3.2)$$

Bu bağıntıda,  $u_n(t)$  n. moda ait yatay yerdeğiştirme vektörü,  $\phi_n$  n. moda ait mod şekli genliği,  $q_n(t)$  ise n. modal koordinattır.

Yatay yerdeğiştirme vektörü  $u(t)$  tüm modların katkısını dikkate almak üzere (3.3) numaralı bağıntıdaki gibi yazılabilir. Burada N sistemin serbestlik derecesidir.

$$u(t) = \sum_{n=1}^N u_n(t) = \sum_{n=1}^N \phi_n q_n(t) \quad (3.3)$$

(3.3) numaralı bağıntı ile verilen  $u(t)$  yatay yerdeğiştirme vektörü (3.1) numaralı bağıntıda yerine yazılarak aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$\sum_{n=1}^N m \phi_n \ddot{q}_n(t) + \sum_{n=1}^N c \phi_n \dot{q}_n(t) + \sum_{n=1}^N k \phi_n q_n(t) = -m \ddot{u}_g(t) \quad (3.4)$$

(3.4) bağıntısının her iki tarafı  $\phi_r^T$  ile çarpılarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\sum_{n=1}^N \phi_r^T m \phi_n \ddot{q}_n(t) + \sum_{n=1}^N \phi_r^T c \phi_n \dot{q}_n(t) + \sum_{n=1}^N \phi_r^T k \phi_n q_n(t) = -\phi_r^T m \ddot{u}_g(t) \quad (3.5)$$

(3.5) bağıntısında  $\phi_r^T$ , r. moda ait mod şekli genliği vektörünün transpozesidir.

Modların ortogonallik özelliklerinden dolayı (3.5) numaralı bağıntıda toplamlardaki terimler ( $n=r$ ) durumu hariç sıfırdır. Bu durumda toplam işareti kalkar ve ( $n=r$ ) için (3.6) numaralı bağıntı elde edilir.

$$\left(\phi_n^T m \phi_n\right) \ddot{q}_n(t) + \left(\phi_n^T c \phi_n\right) \dot{q}_n(t) + \left(\phi_n^T k \phi_n\right) q_n(t) = -\phi_n^T m l \ddot{u}_g(t) \quad (3.6)$$

$M_n = \phi_n^T m \phi_n$ ,  $C_n = \phi_n^T c \phi_n$  ve  $K_n = \phi_n^T k \phi_n$  ifadeleri (3.6) numaralı bağıntıda yerine yazılarak

$$M_n \ddot{q}_n(t) + C_n \dot{q}_n(t) + K_n q_n(t) = -\phi_n^T m l \ddot{u}_g(t) \quad (3.7)$$

elde edilir. (3.7) numaralı bağıntının her iki tarafı  $M_n$ 'e bölünerek (3.8) numaralı bağıntı yazılabilir.

$$\ddot{q}_n(t) + 2\zeta_n \omega_n \dot{q}_n(t) + \omega_n^2 q_n(t) = -\Gamma_n \ddot{u}_g(t) \quad (3.8)$$

Burada  $\zeta_n$  n. moda ait sönüm oranı,  $\omega_n$  ise binanın doğal titreşim frekansıdır.  $\Gamma_n$  n. moda ait modal katkı çarpanı olup aşağıdaki gibi yazılır.

$$\Gamma_n = \frac{\phi_n^T m l}{\phi_n^T m \phi_n} = \frac{L_n}{M_n} \quad (3.9)$$

$\ddot{u}_g(t)$  yer ivmesi etkisindeki tek serbestlik dereceli sistemin hareket denklemini n. modla ilişkilendirmek için bu hareket denkleminde  $u(t)$  yerine  $D_n(t)$ ,  $\zeta$  yerine  $\zeta_n$  yazılırsa (3.10) numaralı bağıntı elde edilir (Chopra, 1995).

$$\ddot{D}_n(t) + 2\zeta_n \omega_n \dot{D}_n(t) + \omega_n^2 D_n(t) = -\ddot{u}_g(t) \quad (3.10)$$

(3.8) numaralı bağıntı ile (3.10) numaralı bağıntı karşılaştırdığında n. modal koordinatın aşağıdaki gibi yazılabileceği görülür.

$$q_n(t) = \Gamma_n D_n(t) \quad (3.11)$$

(3.11) numaralı bağıntının (3.2) numaralı bağıntıda yerine yazılmasıyla n. modun yerdeğiştirmeye olan katkısı (3.12) numaralı bağıntı olarak elde edilir.

$$u_n(t) = \Gamma_n \phi_n D_n(t) \quad (3.12)$$

n. moddaki eşdeğer statik yük  $f_n(t)$ , n. mod yerdeğiştirmesine bağlı olarak (3.13) numaralı bağıntı ile ifade edilebilir.

$$f_n(t) = k u_n(t) = \omega_n^2 m \phi_n q_n(t) = \omega_n^2 m \phi_n \Gamma_n D_n(t) \quad (3.13)$$

Tek serbestlik dereceli sistemlerinin dinamik analizinden bilinen  $A(t) = \omega_n^2 u(t)$  bağıntısı,  $A_n(t)$  n. moda ait sözde ivme olmak üzere aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$A_n(t) = \omega_n^2 D_n(t) \quad (3.14)$$

Bu ifadelere bağlı olarak kat kütlelerinin kat döşemesi seviyesinde topaklandığı kabul edilen ve kat döşemeleri rijit diyafram olarak modellenen binalarda n. mod için j. kat seviyesindeki yatay yerdeğiştirme aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$u_{jn}(t) = \phi_{jn} q_n(t) = \phi_{jn} \Gamma_n D_n(t) \quad (3.15)$$

(3.15) numaralı bağıntıda  $u_{jn}(t)$  n. moda ait j. kattaki yatay yerdeğiştirme vektörü,  $\phi_{jn}$  j. kat seviyesindeki n. moda ait mod şekli genliğidir. Bu durumda n. moddaki modal yerdeğiştirme  $D_n(t)$  aşağıdaki gibi elde edilir.

$$D_n(t) = \frac{u_{jn}(t)}{\Gamma_n \phi_{jn}} \quad (3.16)$$

(3.9) numaralı bağıntıda verilen  $L_n$  ve  $M_n$  değerleri binanın tüm katları için yazılırsa (3.17a) ve (3.17b) bağıntıları elde edilir.

$$L_n = \phi_n^T m l = \sum_{j=1}^N m_j \phi_{jn} \quad (3.17a)$$

$$M_n = \phi_n^T m \phi_n = \sum_{j=1}^N m_j \phi_{jn}^2 \quad (3.17b)$$

Bu durumda n. moda ait modal katkı çarpanı (3.18) numaralı bağıntıdaki gibi yazılır.

$$\Gamma_n = \frac{L_n}{M_n} = \frac{\sum_{j=1}^N m_j \phi_{jn}}{\sum_{j=1}^N m_j \phi_{jn}^2} \quad (3.18)$$

Binanın tepe noktasında (N. katında) birinci moda ait yatay yerdeğiştirmenin hesaplanması için (3.16) numaralı bağıntıda n=1 ve j=N yazılması yeterlidir.

$$D_1(t) = \frac{u_{N1}(t)}{\Gamma_1 \phi_{N1}} \quad (3.19)$$

(3.19) numaralı bağıntıda  $D_1(t)$  birinci moda ait modal yerdeğiştirme,  $u_{N1}(t)$  binanın tepe noktasının birinci moda ait yerdeğiştirmesi ve  $\phi_{N1}$  binanın tepe noktasında birinci moda ait mod şekli genlidir.  $\Gamma_1$  ise birinci moda ait modal katkı çarpanı olup (3.18) numaralı bağıntıda n=1 yazılarak (3.20) numaralı bağıntıdaki gibi elde edilir.

$$\Gamma_1 = \frac{L_1}{M_1} = \frac{\sum_{j=1}^N m_j \phi_{j1}}{\sum_{j=1}^N m_j \phi_{j1}^2} \quad (3.20)$$

n. moddaki taban kesme kuvveti  $V_n$  ise n. mod için her kata etki eden eşdeğer statik yüklerin ( $f_{jn}(t)$ ) toplamından ibarettir.

$$V_{tn} = \sum_{j=1}^N f_{jn}(t) = \sum_{j=1}^N ku_{jn}(t) = \omega_n^2 q_n(t) \sum_{j=1}^N m_j \phi_{jn} \quad (3.21)$$

$q_n(t)$  modal koordinatı modal katkı çarpanı ve modal yerdeğiştire cinsinden (3.21) numaralı bağıntıda yerine yazılırsa (3.22) numaralı bağıntı elde edilir.

$$V_{tn} = \omega_n^2 \Gamma_n D_n(t) \sum_{j=1}^N m_j \phi_{jn} \quad (3.22)$$

(3.22) numaralı bağıntıda gerekli düzenlemelerin yapılmasıyla n. moda ait taban kesme kuvveti  $V_{tn}$  n. moda ait modal ivme  $A_n(t)$  ile ilişkilendirilmiş olur.

$$A_n(t) = \omega_n^2 D_n(t) = \frac{V_{tn}}{\Gamma_n \sum_{j=1}^N m_j \phi_{jn}} = \frac{V_{tn}}{\Gamma_n L_n} \quad (3.23)$$

Sadece birinci modun katkısının dikkate alınması durumunda modal ivme, (3.23) numaralı bağıntıda  $n=1$  yazılmasıyla (3.24) numaralı bağıntıdaki gibi elde edilir.

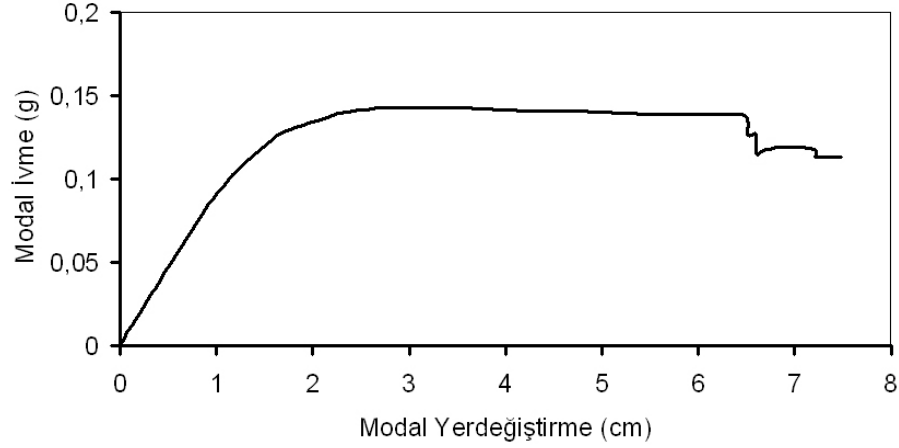
$$A_1(t) = \frac{V_{t1}}{\Gamma_1 \sum_{j=1}^N m_j \phi_{j1}} = \frac{V_{t1}}{\Gamma_1 L_1} \quad (3.24)$$

Burada  $V_{t1}$  birinci moda ait taban kesme kuvvetidir.  $\Gamma_1 L_1$  değeri ise (3.25) numaralı bağıntıdaki gibi yazılır.

$$\Gamma_1 L_1 = \frac{\sum_{j=1}^N m_j \phi_{j1}}{\sum_{j=1}^N m_j \phi_{j1}^2} \times \sum_{j=1}^N m_j \phi_{j1} = \frac{\left( \sum_{j=1}^N m_j \phi_{j1} \right)^2}{\sum_{j=1}^N m_j \phi_{j1}^2} \quad (3.25)$$



Genel olarak bu işlemler sonucunda elde edilen tipik bir modal kapasite diyagramı Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Tipik modal kapasite diyagramı

### 3.2.3 Hasargörebilirlik Eğrilerine Esas Sınır Hasar Seviyelerinin Belirlenmesi

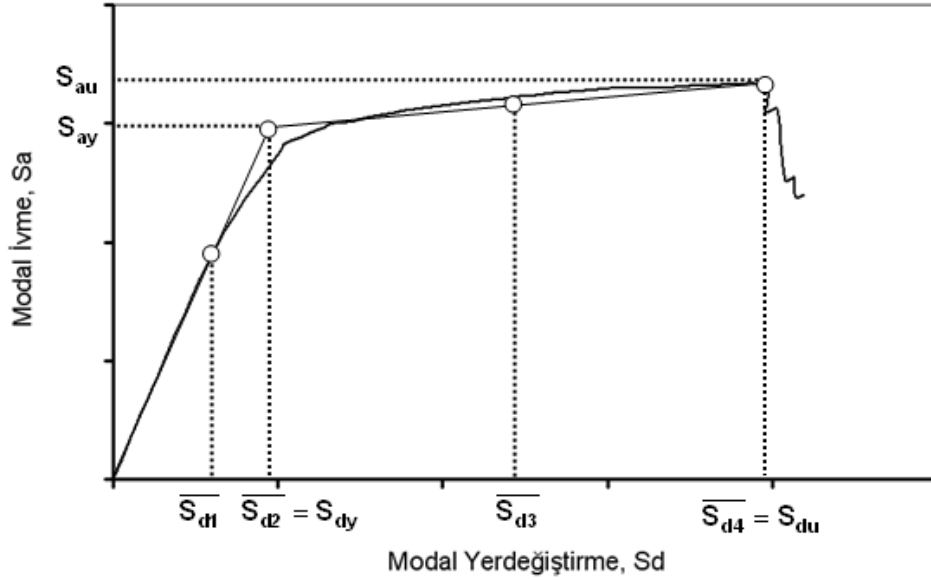
Hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulmasında, sınır hasar seviyeleri hasargörebilirlik parametrelerini direkt etkilemektedir. İyi tanımlanmış sınır durumları, gerçek sismik davranışı yansıtan hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulması için vazgeçilmez unsurlardır (Ay ve Erberik, 2007).

Sınır hasar seviyeleri eleman veya bina bazında olmak üzere ayrı ayrı tanımlanabilmektedir. Literatürde bina bazında en çok kabul gören kriter kat ötelenmesidir. Deprem Yönetmeliği-2007’de ve bazı diğer ülke yönetmeliklerinde de tanımlanmış hasar sınırları bulunmaktadır. Ancak mevcut binaların hasargörebilirlik eğrilerinin elde edilmesinde, sınır hasar seviyelerinin bu binalara ait verilerin kullanıldığı analizlerin sonuçlarına bağlı olarak tanımlanması daha gerçekçi olmaktadır.

Bu çalışmada modal yerdeğiştirme ( $S_d$ ) cinsinden dört hasar sınırı tanımlanmıştır. Bunlar sırasıyla Hafif Hasar Sınırı ( $\overline{S}_{d1}$ ), Orta Hasar Sınırı ( $\overline{S}_{d2}$ ), İleri Hasar Sınırı

( $\overline{S}_{d3}$ ) ve Göçme (Çok Ağır Hasar) Sınırı'dır ( $\overline{S}_{d4}$ ). Bu dört hasar sınırına karşılık beş farklı hasar bölgesi tanımlanmaktadır. Bunlar Hasarsızlık Bölgesi, Hafif Hasar Bölgesi, Orta Hasar Bölgesi, İleri Hasar Bölgesi ve Göçme (Çok Ağır Hasar) Bölgesi'dir.

Çalışmada tanımlanan hasar sınırlarının belirlenmesinde kullanılacak modal kapasite diyagramları FEMA 356'da (FEMA, 2000) verilen yöntemdeki gibi iki doğru parçası ile idealleştirilmiştir. Yapılan idealleştirme işlemi ve idealleştirilmiş modal kapasite diyagramı üzerinden sınır hasar seviyelerinin belirlenmesi, tek bir diyagram kullanılarak Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Sınır hasar seviyelerinin idealleştirilmiş modal kapasite diyagramı üzerinden tanımlanması

Buna göre; Hafif Hasar Sınırı, modal kapasite diyagramının doğrusallıktan ayrıldığı noktadaki modal yerdeğiştirme değeri olarak alınmıştır. Bu nokta yapı elemanlarında ilk akma durumuna karşılık gelir ( $\overline{S}_{d1}$ ). Orta Hasar Sınırı, elastik rijitliği ve elastik ötesi rijitliği temsil eden iki doğru parçasının kesiştiği noktadaki modal yerdeğiştirme değeri olarak belirlenmiştir. Bu nokta aynı zamanda binanın akma taban kesme kuvveti kapasitesinin aşıldığı nokta olarak kabul edilmektedir ( $\overline{S}_{d2}$ ). Göçme Sınırı, modal kapasite diyagramındaki nihai modal yerdeğiştirme

değeri olarak alınmıştır. Bu noktaya gelindiğinde bina aşırı deformasyon sonucu göçer veya göçmeye çok yakın bir duruma gelir ( $\overline{S_{d4}}$ ). İleri Hasar Sınırı ise, Orta Hasar Sınırı ile Göçme Sınırı arasındaki mesafenin yarısı olarak alınmıştır ( $\overline{S_{d3}}$ ).

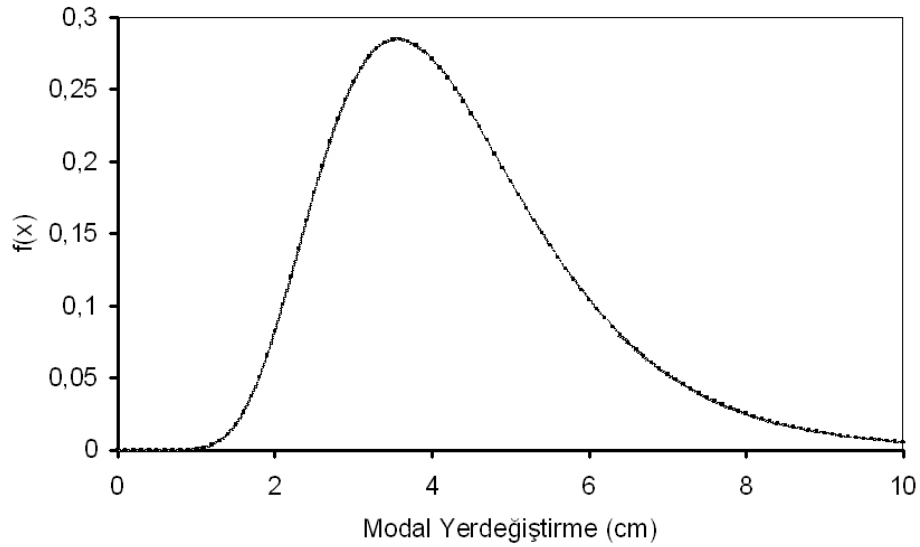
### 3.2.4 Hasargörebilirlik Eğrilerinin Elde Edilmesi

Depremde hasar-olasılık dağılımının lognormal dağılıma uyduğu varsayımına bağlı olarak hasargörebilirlik eğrileri lognormal birikimli dağılım fonksiyonu ile ifade edilmektedir. Buna göre ilgili hasar seviyesine ait hasargörebilirlik eğrisinin analitik ifadesi aşağıdaki bağıntıdaki gibi yazılır.

$$P(d \geq ds_i | S_d) = \Phi \left( \frac{\ln(S_d) - \overline{S_{ds_i}}}{\beta_{ds_i}} \right) \quad (3.26)$$

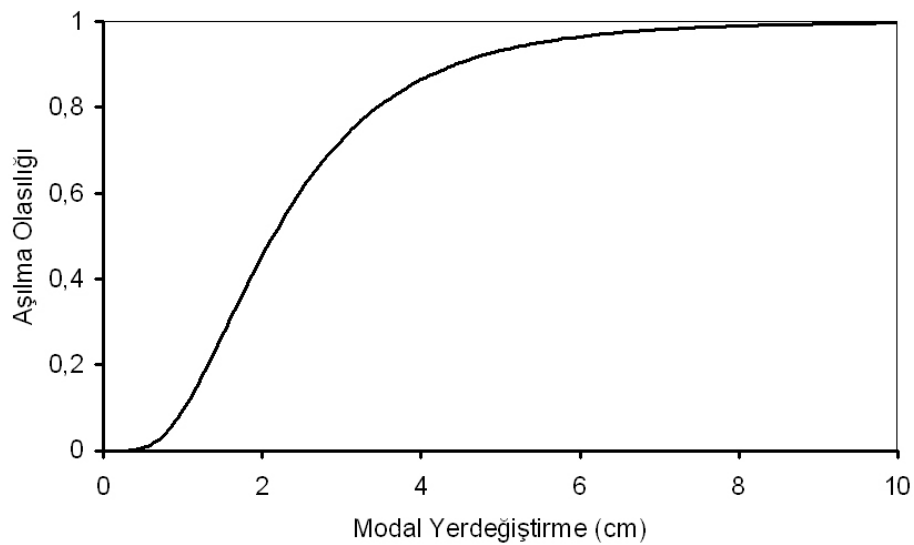
(3.26) numaralı bağıntıda, P sembolik olarak hasarı temsil eden d'nin modal yerdeğiştirme  $S_d$  ile ifade edilen deprem parametresi için i'inci hasar seviyesine ait  $ds_i$  değerine ulaşma veya aşma olasılığını göstermektedir.  $\overline{S_{ds_i}}$  bina hasarının ilgili hasar seviyesine (hafif, orta, ileri ve göçme) eriştiği duruma karşı gelen ortalama modal yerdeğiştirmeyi,  $\beta_{ds_i}$  ilgili sınır hasar seviyeleri için modal yerdeğiştirme değerlerinin doğal logaritmalarına ait standart sapmayı,  $\Phi$  ise birikimli standart dağılım fonksiyonunu göstermektedir.

İlgili sınır hasar seviyelerine ait hasargörebilirlik eğrileri, binaların idealleştirilmiş modal kapasite diyagramlarından elde edilen ortalama modal yerdeğiştirme değeri ( $\overline{S_{ds_i}}$ ) ve bunların doğal logaritmalarına ait standart sapma değeri ( $\beta_{ds_i}$ ) gibi iki parametre ile tanımlanır.  $\overline{S_{ds_i}}$  ve  $\beta_{ds_i}$  değerleri kullanılarak bina sınıflarının farklı hasar seviyelerine ait olasılık yoğunluk fonksiyonları (OYF) oluşturulur. Lognormal dağılıma ait bir olasılık yoğunluk fonksiyonu grafiği Şekil 3.5'de gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Lognormal dağılıma ait olasılık yoğunluk fonksiyonu grafiği

Daha sonra, oluşturulan olasılık yoğunluk fonksiyonları kullanılarak deprem parametresi olarak belirlenen modal yerdeğiştirmenin farklı değerleri için önceden tanımlanmış olan sınır hasar seviyelerine ulaşılması veya aşılması olasılıkları hesaplanır. Belirlenen deprem parametresi olan modal yerdeğiştirmenin yatay ekseninde, hesaplanan birikimli olasılıkların da düşey ekseninde gösterilmesiyle elde alınan bina grubunun ilgili hasar seviyelerine ait hasargörebilirlik eğrileri oluşturulur. Tipik bir hasargörebilirlik eğrisi Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6 Tipik bir hasargörebilirlik eğrisi

**BÖLÜM DÖRT**  
**MEVCUT BETONARME BİNALAR İÇİN**  
**GERÇEK VERİ SETİ KULLANILARAK ANALİTİK**  
**HASARGÖREBİLİRLİK EĞRİLERİNİN OLUŞTURULMASI**

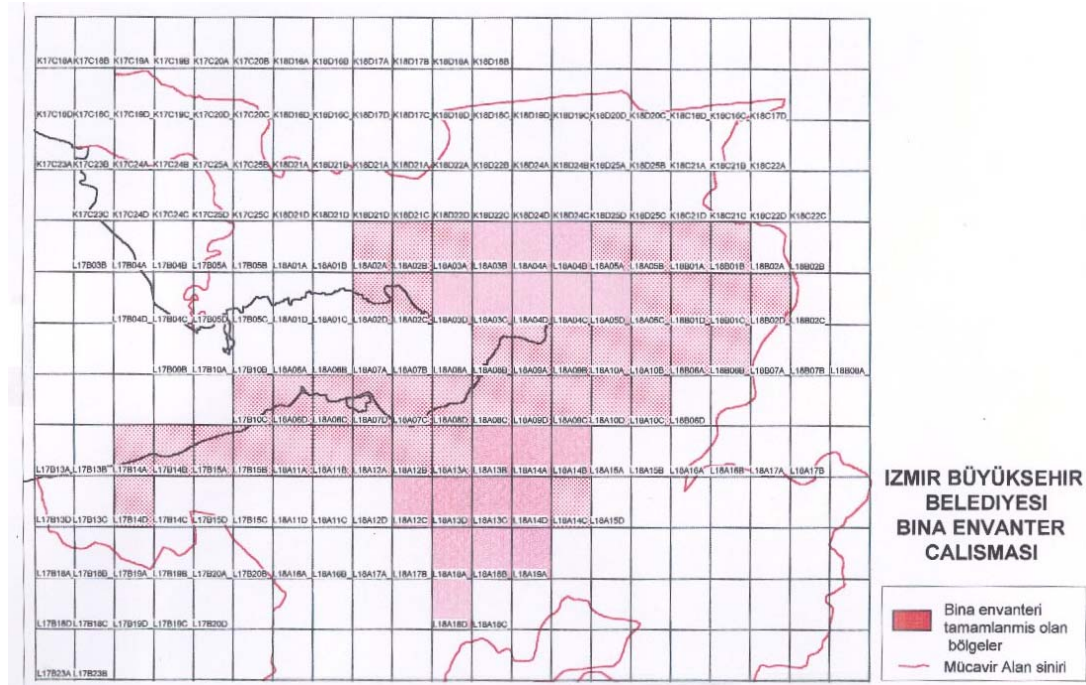
**4.1 Hedef Mevcut Bina Stokunun Belirlenmesi**

Bu çalışmada esas alınan bina verisi İzmir kentindeki bina stokunun önemli bir kısmını oluşturan ve genellikle konut ve/veya ticari amaçlı kullanılan, kat sayısı 3 ile 8 arasında değişen 30 adet betonarme binadan oluşmaktadır. Çalışmada pilot bölge olarak Konak ve Karabağlar ilçeleri seçilmiştir. Hedef bina grubu olarak ise 1975 yılında yürürlüğe giren Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre boyutlandırılmış ve yerinde uygulanmış betonarme binalar dikkate alınmıştır.

Çalışmanın kapsamının belirlenmesinde ve kullanılan binaların seçiminde İzmir Deprem Senaryosu ve Deprem Master Planı araştırma projesindeki sayısal verilerden de faydalanılmıştır (İzmir Deprem Senaryosu ve Deprem Master Planı, 1998). İzmir Deprem Senaryosu ve Deprem Master Planı projesi çerçevesinde İzmir kenti için bina envanteri çalışması, Büyükşehir Belediyesi sınırları içinde Şekil 4.1'de verilen haritada taralı olarak işaretlenen toplam 61 bölgede İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi'nin uzman mühendis üyelerinden oluşan ekipler tarafından gerçekleştirilmiştir. Tez çalışması kapsamında dikkate alınan mevcut bina veri seti haritada işaretlenen bölgelerden seçilmiştir.

İzmir Deprem Senaryosu ve Deprem Master Planı araştırma projesi çerçevesinde gerçekleştirilen bina envanteri çalışması sonucunda, İzmir Büyükşehir Belediye sınırları içinde 190419 adet betonarme bina, 23362 adet yığma kargir bina, 4043 adet diğer türde binalar olmak üzere toplam 217824 adet bina bulunduğu tespit edilmiştir (İzmir Deprem Senaryosu ve Deprem Master Planı, 1998). Bina envanter çalışması yapılan bölgelerdeki betonarme binaların mevcut bina stokunun çok büyük bir yüzdesini (%87) teşkil etmesi, bu tez çalışmasında mevcut betonarme binaların

dikkate alınmasının gerekçesini açıkça ortaya koymaktadır. Betonarme binaların bu oranı İzmir ve diğer büyük kentler için genelleştirilebilir.



Şekil 4.1 İzmir Deprem Senaryosu ve Deprem Master Planı projesi çerçevesinde bina envanter çalışması yapılan bölgeler (İzmir Deprem Senaryosu ve Deprem Master Planı, 1998)

## 4.2 Bina Verisinin Temini

Çalışmada kullanılan mevcut bina veri seti belirlenen pilot bölge sınırları dahilinde, tüm bölgeyi oldukça iyi temsil ettiği kabul edilebilecek dört farklı güzergah üzerinden sokak taramasıyla seçilmiştir. Bu şekilde pilot bölgedeki mevcut bina stokuna ait genel mühendislik uygulamaları ve yapım özellikleri çalışmaya yansıtılmaya çalışılmıştır.

Sokak taramasında önce 150 adet civarında değişik kat sayısına sahip bina belirlenmiştir. Benzer proje ve yapım özelliklerine sahip binalar arasından seçim yapılarak, belediye arşivinde projeleri bulunan 3-4-5-6-7-8 katlı olmak üzere her birinden 5'erli set halinde toplam 30 adet bina belirlenmiştir.

### 4.3 Seçilen Binaların Genel Özellikleri

Projesi temin edilen 30 adet binanın geometrisini ve taşıyıcı elemanların yerleşimini gösteren kat kalıp planları, binaların projelerinde belirtilen veriler ve gereğinde yerinde yapılan incelemeler esas alınarak yeniden oluşturulmuştur. Binaların her farklı katına ait kalıp planları tez çalışmasının “Ekler” bölümünde sunulmuştur. Çalışmada kullanılan 30 adet betonarme binaya ait genel özellikler ise Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1 Binaların genel özellikleri

<b>Kat Sayısı</b>	<b>Bina Kodu</b>	<b>Yapım Yılı</b>	<b>Toplam Bina Yüksekliği (m)</b>	<b>Malzeme</b>
3	B3_1	1983	8,64	C14-S220
	B3_2	1990	8,50	C14-S220
	B3_3	1992	8,40	C16-S220
	B3_4	1995	8,40	C14-S220
	B3_5	1996	9,30	C14-S220
4	B4_1	1975	11,10	C14-S220
	B4_2	1981	11,70	C14-S220
	B4_3	1982	11,70	C14-S220
	B4_4	1984	11,40	C14-S220
	B4_5	1997	10,80	C16-S220
5	B5_1	1985	14,00	C16-S220
	B5_2	1989	14,30	C16-S220
	B5_3	1991	13,90	C14-S220
	B5_4	1991	13,50	C16-S220
	B5_5	1997	13,80	C14-S220
6	B6_1	1976	16,80	C14-S220
	B6_2	1985	15,80	C16-S220
	B6_3	1986	16,80	C14-S220
	B6_4	1995	16,30	C14-S220
	B6_5	1997	16,20	C18-S420
7	B7_1	1976	19,10	C16-S220
	B7_2	1977	18,55	C18-S220
	B7_3	1978	18,76	C18-S220
	B7_4	1994	18,90	C20-S420
	B7_5	1994	18,90	C20-S420
8	B8_1	1976	21,85	C18-S420
	B8_2	1978	21,75	C18-S420
	B8_3	1982	22,60	C14-S220
	B8_4	1982	21,80	C14-S220
	B8_5	1983	22,90	C18-S220

Tablo 4.1’de kullanılan bina kodlarında ilk rakam kat sayısını, ikinci rakam ise bina numarasını belirtmektedir. Tüm binaların taşıyıcı elemanlarının kesit boyutları, kesitlerdeki mevcut enine ve boyuna donatıların konum, miktar ve aralıkları binaların arşivden temin edilen betonarme projelerinden alınmıştır. Böylece ülkemiz genelindeki az ve orta katlı binalarla ilgili mühendislik bilgi birikimi ve uygulama özelliklerini taşıyan bir veri seti oluşturulmuştur.

Çalışmada kullanılan binaların projelerinde ve yerinde yapılan incelemeler sonucunda binaların taşıyıcı sistemi ile ilgili öne çıkan bazı ortak özellikler aşağıdaki gibidir:

- 3-5 katlı binalar monolitik kiriş-kolon birleşimli çerçeve sistemli binalardır.
- Kat sayısı 6’dan az olan binalarda perde-çerçeve sistemin kullanımına rastlanmamıştır.
- Çerçeve sistemli 6-8 katlı binalar da bulunmakla birlikte, bu binalarda betonarme perde-çerçeve sistemin kullanımı yaygın olarak göze çarpmaktadır.
- Binaların tasarımında dikkate alınan hareketli yük değerleri iç mekanlarda  $2 \text{ kN/m}^2$ , merdiven ve balkonlarda ise  $3,5 \text{ kN/m}^2$  ve  $5 \text{ kN/m}^2$ ’dir.
- Tipik kat yüksekliği olarak 2,65 m, 2,70 m ve 2,80 m değerleri ön plana çıkmaktadır. Birinci katı ticari amaçla kullanılan binalarda bu katın yüksekliğinin 3,9 m’ye kadar yapıldığı gözlenmiştir.
- Yaygın olarak kullanılan döşeme kalınlıkları iç döşemelerde 10-12 cm, balkon ve sahanlıklarda ise 15 cm’dir. Bazı binalarda 13-14 cm kalınlığında döşemelere de rastlanmıştır.



- Söz konusu yıllarda yapılan binalarda en yaygın olarak kullanılan kiriş kesit boyutları 20/50 cm'dir. 1995 yılı sonrası yapılan bazı binalarda kiriş boyutlarının 25/50 cm olduğu belirlenmiştir.
- Kolon boyutları 25/40 cm'den başlamak üzere kat sayısı ve projesine göre değişkenlik göstermektedir.
- Projelerde, tipik olarak kiriş ve kolon orta bölgelerinde  $\phi 8/20$ , kolon-kiriş birleşim bölgelerinde ise  $\phi 8/10$  tek etriye kullanıldığı belirlenmiştir.
- Zemin katı ticari amaçla kullanılan bazı binaların zemin kat tavan kirişlerinde yatık kiriş uygulamasına da rastlanmıştır.
- 3-5 katlı binalarda genellikle tekil temel, bazılarında sürekli temel, bazılarında ise tekil ve sürekli temelin birlikte kullanıldığı belirlenmiştir.
- 6 katlı binalarda genellikle sürekli temel uygulaması yapılırken, 7 ve 8 katlı binaların bazılarında sürekli temel ve genelde de kirişli radye temel sisteminin kullanıldığı belirlenmiştir.

#### **4.4 Seçilen Binaların Üç Boyutlu Hesap Modelinin Oluşturulmasında ve Kesitlerin Doğrusal Olmayan Davranışının Modellenmesinde Yapılan Kabuller ve İzlenen Yöntem**

Bu tez çalışmasında seçilen tüm binaların üç boyutlu hesap modelleri oluşturulmuş ve her bir binanın artımsal itme analizleri bu modeller üzerinden ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

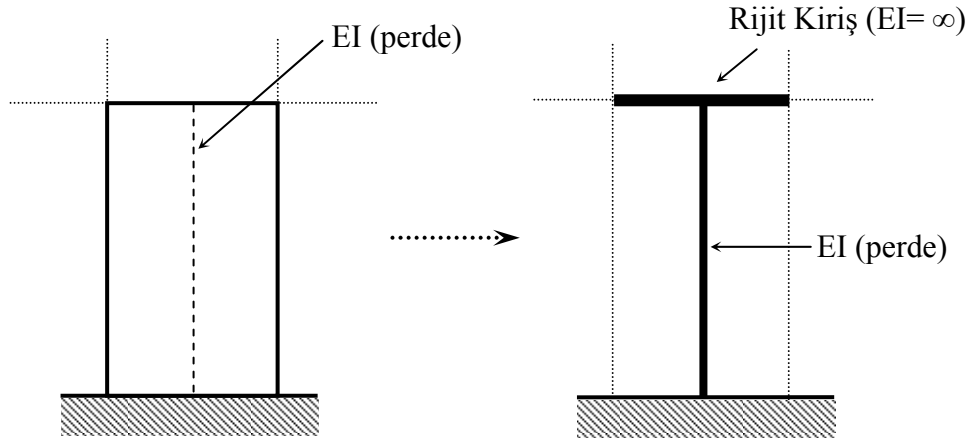
Binaların hesap modellerinin oluşturulmasında yapılan kabuller ve izlenen yöntem aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

1) Binaların geometri ve malzeme özellikleri ile betonarme detaylarının mevcut projeye tamamen uyduğu kabul edilmiştir.

2) Betonarme sistemlerin eleman boyutlarının tanımında, birleşim bölgeleri sonsuz rijit uç bölgeleri olarak göz önüne alınmıştır.

3) Binaların kat döşemeleri rijit diyafram olarak idealleştirilmiştir ve yüzeysel eleman olarak modellenmiştir.

4) Kullanılan bilgisayar programında doğrusal olmayan davranışın sadece çubuk elemanlarda tanımlanabilmesi nedeniyle, değerlendirilen binalarda bulunan perde elemanlar kendileriyle aynı enkesit özelliklerine sahip eşdeğer kolon olarak modellenmiş ve perdelerin eğilme etkisi altındaki davranışlarının tam olarak elde edilebilmesi için rijit kiriş kullanılmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Perdenin eşdeğer kolon olarak modellenmesi

5) Yapı-zemin etkileşimi dikkate alınmamıştır. Zemin kat kolon ve perdelerinin alt uçları, projelerindeki kabuller doğrultusunda tam ankastre olduğu varsayılmıştır.

6) Binaların üç boyutlu hesap modelleri SAP 2000 (Computers and Structures, Inc., 2003) bilgisayar programı ile oluşturulmuştur.

7) İç ve dış duvarların konumları binaların mimari projelerinde belirtildiği şekilde alınmıştır. Duvar yükü olarak 20 cm tuğla + sıva için  $3,80 \text{ kN/m}^2$ , 10 cm tuğla + sıva için  $2,50 \text{ kN/m}^2$  alınmıştır.

8) Döşemeler için sıva + kaplama yükü  $1,50 \text{ kN/m}^2$ , hareketli yükleri ise projelerinde belirtilen değerlerde alınmıştır.

9) Dinamik serbestlik derecesi olarak her katın kütle merkezindeki birbirine dik iki yatay ötelenme ile kütle merkezinden geçen eksen etrafındaki dönme göz önüne alınmıştır. Kütleler düşey yüklerle uyumlu olarak belirlenmiştir ( $G + nQ$ ). Kullanım amacı konut olan binalar için hareketli yük katılım katsayısı  $n = 0,3$  alınmıştır.

10) Eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlama kesite ait etkin eğilme rijitlikleri  $(EI)_e$  kullanılmıştır. Etkin eğilme rijitlikleri için Deprem Yönetmeliği-2007'de verilen değerler kullanılmıştır (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007). Buna göre kirişlerin etkin eğilme rijitlikleri  $(EI)_e = 0,40 (EI)_o$  olarak alınmıştır. Kolon ve perdelerin etkin eğilme rijitlikleri ise  $N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0,10$  olması durumunda  $(EI)_e = 0,40 (EI)_o$  ve  $N_D / (A_c f_{cm}) \geq 0,40$  olması durumunda  $(EI)_e = 0,80 (EI)_o$  olarak alınmıştır. Burada  $A_c$  kolon veya perdenin brüt kesit alanını,  $f_{cm}$  mevcut beton dayanımını göstermektedir. Eksenel basınç kuvveti  $N_D$ 'nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılmıştır.  $N_D$  deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu yüklerin göz önüne alındığı ve çatlamamış kesitlere ait  $(EI)_o$  eğilme rijitliklerinin kullanıldığı bir ön düşey yük hesabı ( $G + 0,3Q$ ) ile belirlenmiştir.

11) Kolonların eksenel basınç kapasiteleri düşey yüklere göre kontrol edilmiştir. Düşey yüklerden dolayı kolonlarda hesaplanan eksenel yükün ( $N_D$ ) aynı elemanların eksenel basınç kapasitesine ( $N_0$ ) oranına ait ortalama değerler, kolonların kat planındaki konumlarına bağlı olarak Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2 Kolonlar için hesaplanan  $N_D/N_0$  oranlarının ortalama değerleri

Bina Grubu	Kat	Köşe Kolonlar ( $N_D/N_0$ )	Kenar Kolonlar ( $N_D/N_0$ )	İç Kolonlar ( $N_D/N_0$ )
3 Kath	1	0,11880	0,14674	0,16625
	2	0,08424	0,10646	0,12122
	3	0,03310	0,04316	0,05030
4 Kath	1	0,14566	0,18837	0,18082
	2	0,11620	0,15341	0,14939
	3	0,07552	0,10158	0,10551
	4	0,02641	0,03815	0,04189
5 Kath	1	0,13920	0,19130	0,20390
	2	0,11798	0,15605	0,16639
	3	0,09444	0,12034	0,13554
	4	0,06245	0,07619	0,08726
	5	0,01920	0,02599	0,03411
6 Kath	1	0,18960	0,24380	0,22020
	2	0,16850	0,21911	0,19480
	3	0,13842	0,18587	0,16382
	4	0,10435	0,14750	0,13116
	5	0,06518	0,09951	0,08722
	6	0,02306	0,03599	0,03358
7 Kath	1	0,16970	0,20608	0,19228
	2	0,15163	0,18326	0,16733
	3	0,13376	0,15848	0,14785
	4	0,11454	0,13240	0,11732
	5	0,08947	0,10290	0,09469
	6	0,05540	0,06298	0,05940
	7	0,01877	0,02264	0,02254
8 Kath	1	0,21060	0,23061	0,20703
	2	0,19812	0,22431	0,20697
	3	0,19016	0,21542	0,19688
	4	0,15885	0,18196	0,16883
	5	0,13077	0,15830	0,14533
	6	0,10008	0,12148	0,11310
	7	0,06605	0,08262	0,08139
	8	0,02119	0,02949	0,03203

12) Kiriş, kolon ve perde kesitlerinin doğrusal olmayan davranışlarının modellenmesinde sargılı ve sargısız beton için Mander tarafından önerilen gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları kullanılmıştır (Mander ve diğer., 1988). Mander sargılı beton modelinde, beton basınç gerilmesi  $f_c$ , basınç birim şekildeğiştirmesi  $\epsilon_c$ 'nin fonksiyonu olarak (4.1) numaralı bağıntı ile verilmektedir.

$$f_c = \frac{f_{cc} x^r}{r - 1 + x^r} \quad (4.1)$$

Yukarıdaki bağıntıda sargılı beton dayanımı  $f_{cc}$  ile sargısız beton dayanımı  $f_{co}$  arasındaki ilişki (4.2a) ve (4.2b) numaralı bağıntılarda verildiği gibidir.

$$f_{cc} = \lambda_c f_{co} \quad (4.2a)$$

$$\lambda_c = 2,254 \sqrt{1 + 7,94 \frac{f_e}{f_{co}}} - 2 \frac{f_e}{f_{co}} - 1,254 \quad (4.2b)$$

Buradaki  $f_e$  etkili sargılama basıncı, dikdörtgen kesitlerde birbirine dik iki doğrultu için aşağıda verilen değerlerin ortalaması olarak alınabilir.

$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} \quad (4.3a)$$

$$f_{ey} = k_e \rho_y f_{yw} \quad (4.3b)$$

(4.3a) ve (4.3b) numaralı bağıntılarda  $f_{yw}$  enine donatının akma dayanımını,  $\rho_x$  ve  $\rho_y$  ilgili doğrultulardaki enine donatıların hacimsel oranlarını,  $k_e$  ise (4.4) numaralı bağıntıda tanımlanan sargılama etkinlik katsayısını göstermektedir.

$$k_e = \left( 1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o} \right) \left( 1 - \frac{s}{2b_o} \right) \left( 1 - \frac{s}{2h_o} \right) \left( 1 - \frac{A_s}{b_o h_o} \right)^{-1} \quad (4.4)$$

Burada  $a_i$  kesit çevresindeki düşey donatıların eksenleri arasındaki uzaklık,  $b_o$  ve  $h_o$  göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutları,  $s$  düşey doğrultudaki etriye eksenleri arasındaki aralık,  $A_s$  ise boyuna donatı alanıdır.

(4.1) numaralı bağıntıdaki normalize edilmiş beton birim şekildeğiştirmesi  $x$  ile  $r$  değişkenine ilişkin bağıntılar ise (4.5a), (4.5b), (4.6a), (4.6b) ve (4.6c) numaraları

bağıntılarda belirtildiği gibidir. (4.5a) numaralı bağıntıda  $\varepsilon_{cc}$  sargılı beton dayanımına karşılık gelen basınç birim şekildeğiştirmesidir. (4.5b) numaralı bağıntıda  $\varepsilon_{co}$  sargısız betonun basınç dayanımına karşılık gelen basınç birim şekildeğiştirmesidir ve  $\varepsilon_{co} \cong 0,002$  olarak alınabilir.

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad (4.5a)$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} [1 + 5(\lambda_c - 1)] \quad (4.5b)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad (4.6a)$$

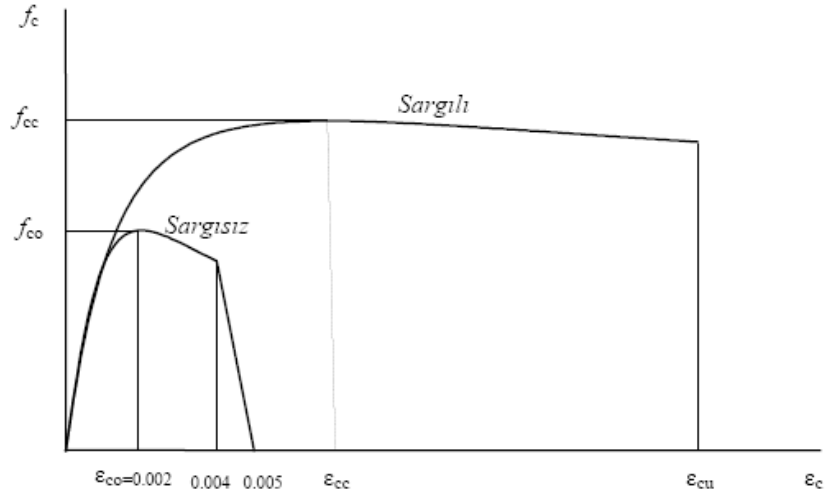
$$E_c = 5000\sqrt{f_{co}} \quad [\text{MPa}] \quad (4.6b)$$

$$E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (4.6c)$$

Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi  $\varepsilon_{cu}$ , (4.7) numaralı bağıntı ile hesaplanmaktadır. Bu bağıntıda  $\rho_s$  toplam enine donatının hacimsel oranını (dikdörtgen kesitlerde  $\rho_s = \rho_x + \rho_y$ ),  $\varepsilon_{su}$  enine donatı çeliğinde maksimum gerilme altındaki birim uzama şekildeğiştirmesini göstermektedir.

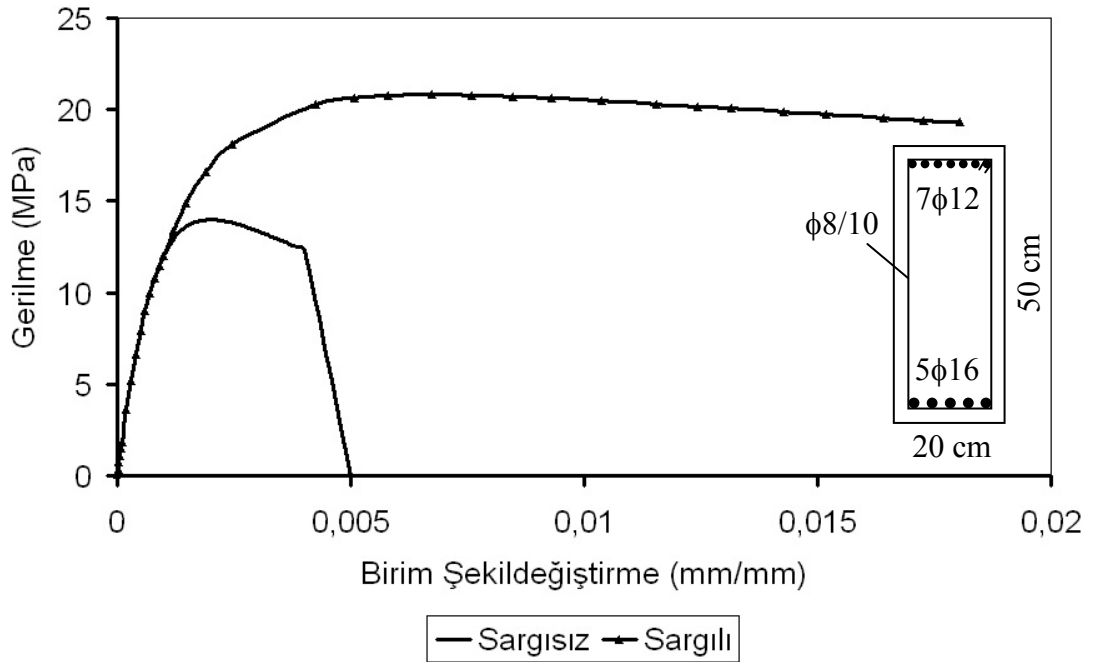
$$\varepsilon_{cu} = 0,004 + \frac{1,4\rho_s f_{yw} \varepsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (4.7)$$

Sargılı beton için verilen (4.1) numaralı bağıntı,  $\varepsilon_c=0,004$ 'e kadar olan bölgede sargısız beton için de geçerlidir. Sargısız betonda etkin sargılama basıncı  $f_e = 0$  ve buna bağlı olarak  $\lambda_c = 1$  olacağından  $f_{cc} = f_{co}$  ve  $\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co}$  alınmaktadır.  $\varepsilon_c = 0,005$ 'de  $f_e = 0$  olarak tanımlanmaktadır.  $0,004 < \varepsilon_c \leq 0,005$  aralığında betona ait gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi doğrusaldır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Sargısız ve sargılı Mander beton modeline ait gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri

Çalışma kapsamında kullanılan XTRACT programı (XTRACT Educational, 2006) ile hazırlanmış C14 beton sınıfı ile üretilmiş bir kiriş için sargısız ve sargılı Mander beton modeline ait gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri Şekil 4.4'de sunulmuştur. Kullanılan kesit 20/50 cm boyutlarında olup enine donatısı  $\phi 8/10$  tek etriyedir.



Şekil 4.4 C14 beton sınıfı için sargısız ve sargılı Mander beton modeline ait gerilme-birim şekil değiştirme ilişkileri dikkate alınarak oluşturulan gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri

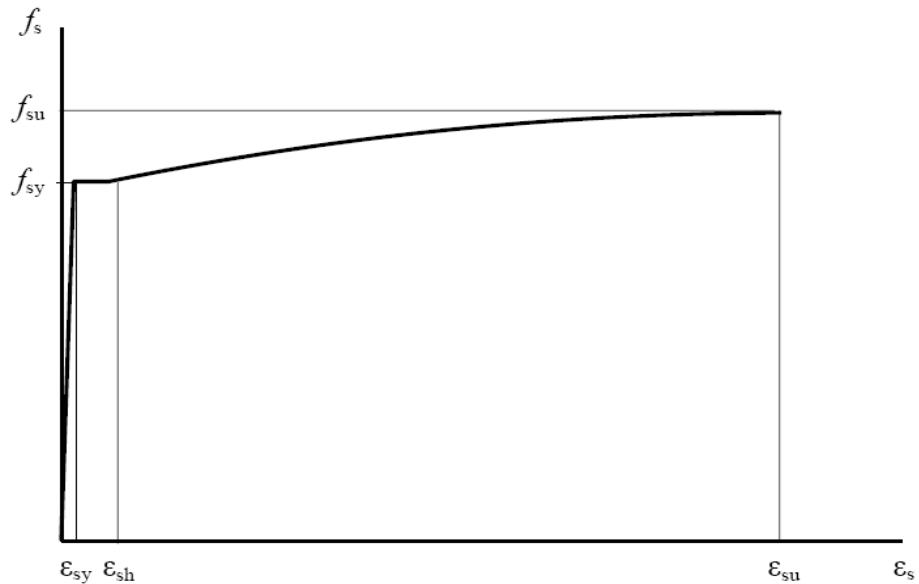
13) Donatı çeliği için kullanılan gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları aşağıdaki gibi alınmıştır (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007).

$$f_s = E_s \varepsilon_s \quad (\varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy}) \quad (4.8a)$$

$$f_s = f_{sy} \quad (\varepsilon_{sy} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh}) \quad (4.8b)$$

$$f_s = f_{su} - (f_{su} - f_{sy}) \frac{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_s)^2}{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh})^2} \quad (\varepsilon_{sh} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su}) \quad (4.8c)$$

(4.8a), (4.8b) ve (4.8c) numaralı bağıntılarda  $f_s$  donatı çeliğindeki gerilmeyi,  $f_{sy}$  donatı çeliğinin akma dayanımını,  $f_{su}$  donatı çeliğinin kopma dayanımını,  $\varepsilon_{sy}$  donatı çeliğinin akma birim şekildeğiştirmesini,  $\varepsilon_s$  donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim şekildeğiştirmesini,  $\varepsilon_{sh}$  donatı çeliğinin kopma birim şekildeğiştirmesini,  $E_s$  ise donatı çeliğinin elastisite modülünü ( $E_s = 200$  GPa) göstermektedir. Donatı çeliği için kabul edilen gerilme-birim şekildeğiştirme eğrisi Şekil 4.5’de sunulmuştur.



Şekil 4.5 Donatı çeliği modeline ait gerilme-birim şekildeğiştirme eğrisi

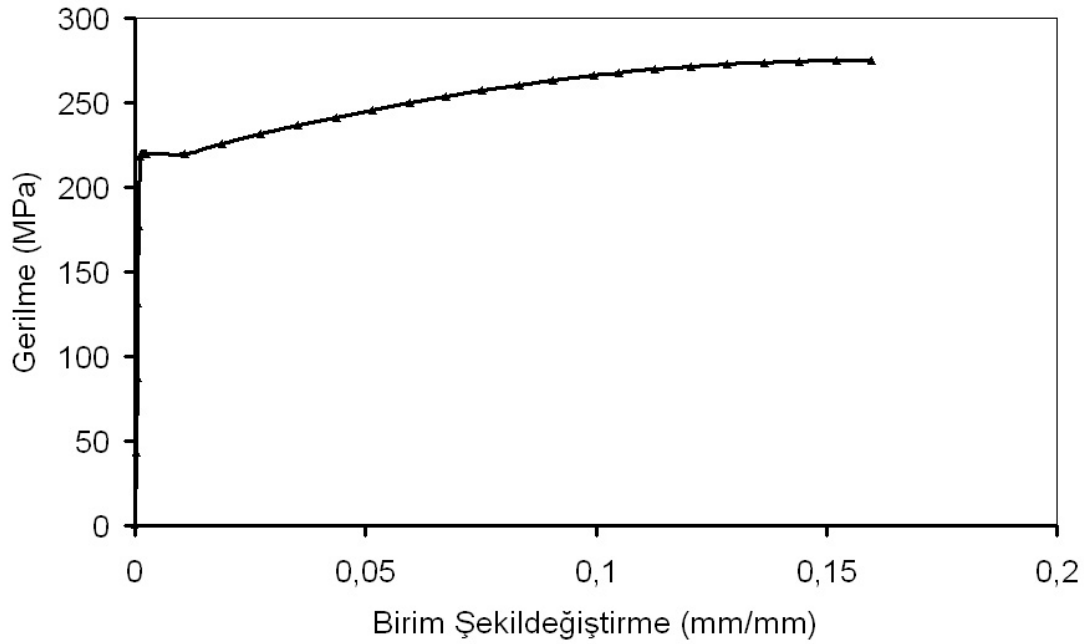


S220 ve S420 çeliğine ait bazı karakteristik gerilme ve birim şekildeğiştirme değerleri Tablo (4.3)'de verilmektedir (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007).

Tablo 4.3 Değişik çelik sınıfları için gerilme-birim şekildeğiştirme değerleri

Çelik Sınıfı	$f_{sy}$ (MPa)	$\epsilon_{sy}$	$\epsilon_{sh}$	$\epsilon_{su}$	$f_{su}$ (MPa)
S220	220	0,0011	0,011	0,16	275
S420	420	0,0021	0,008	0,10	550

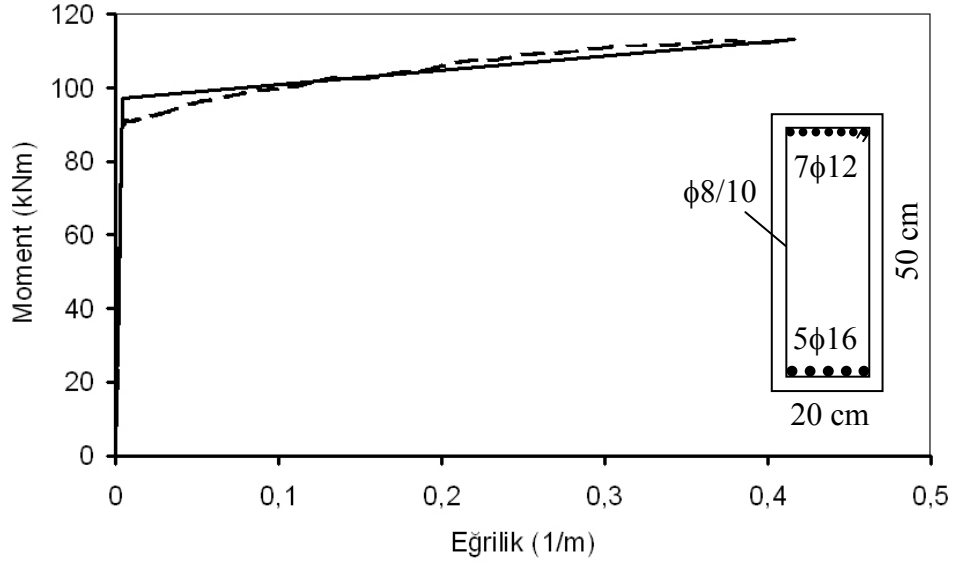
Çalışma kapsamında kullanılan XTRACT programı ile (XTRACT Educational, 2006) S220 donatı çeliği sınıfı için elde edilmiş gerilme-birim şekildeğiştirme eğrisi Şekil 4.6'da sunulmuştur.



Şekil 4.6 S220 donatı çeliğine ait gerilme-birim şekildeğiştirme eğrisi

14) Artımsal itme analizinde plastik mafsallık olarak tanımlanacak kesitlerin iç kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntılarının tanımlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla plastikleşme ihtimali bulunan bütün kesitlerin eğilme momenti-eğrilik ilişkileri XTRACT programı kullanılarak belirlenmiştir (XTRACT Educational, 2006).

Şekil 4.7’de programdan elde edilmiş gerçek ve iki doğru parçası ile idealleştirilmiştir pozitif eğilme moment-eğrilik ilişkileri gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Gerçek ve idealleştirilmiş pozitif eğilme momenti-eğrilik ilişkisi

Kesitlerin eğilme momenti-eğrilik ilişkilerinin belirlenmesinde kirişlerde aksel yükün sıfır olduğu kabul edilmiştir. Kolon ve perdelerin aksel yükleri ise ölü ve hareketli yüklerin toplamından ( $G + 0,3Q$ ) hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında kiriş, kolon ve perde kesitlerinin doğrusal olmayan davranışlarının modellenmesinde yaklaşık 17500 adet kesit analizi gerçekleştirilmiştir.

15) Malzeme bakımından doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesinde mühendislik uygulamalarında büyük bir kolaylık sağlayan yığılı plastik davranış modeli esas alınmıştır (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007). Basit eğilme durumunda plastik mafsal hipotezine karşı gelen bu modelde, çubuk eleman olarak idealleştirilen kiriş, kolon ve perde türü taşıyıcı sistem elemanlarındaki iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekil değiştirmelerin düzgün yayılı biçimde olduğu varsayılmaktadır. Plastik mafsal boyu olarak adlandırılan plastik şekil değiştirme bölgesinin boyu ( $L_p$ ), (4.9) numaralı bağıntıdaki gibi alınmıştır. Bu bağıntıdaki  $h$ , çalışan doğrultudaki kesit boyutudur.

$$L_p = 0,5h \quad (4.9)$$

16) Eğilme momenti-eğrilik ilişkisi belirlenen kesitlerdeki plastik eğrilik  $\chi_p$ ,

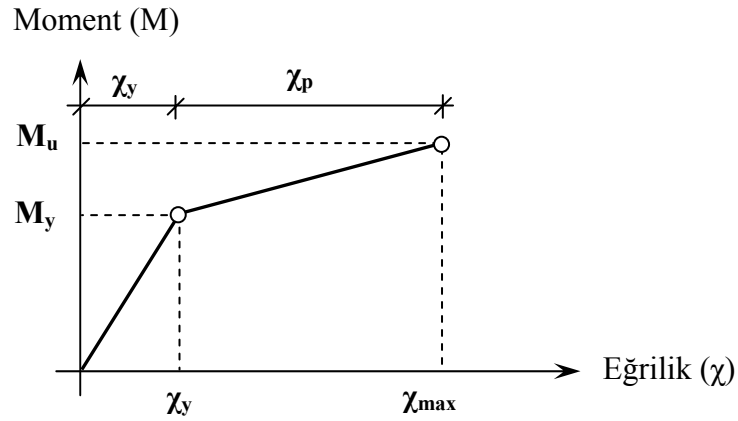
$$\chi_p = \chi_{\max} - \chi_y \quad (4.10)$$

şeklinde, kesitteki plastik dönme değerleri  $\theta_{p,\max}$  ise

$$\theta_{p,\max} = \chi_p L_p \quad (4.11)$$

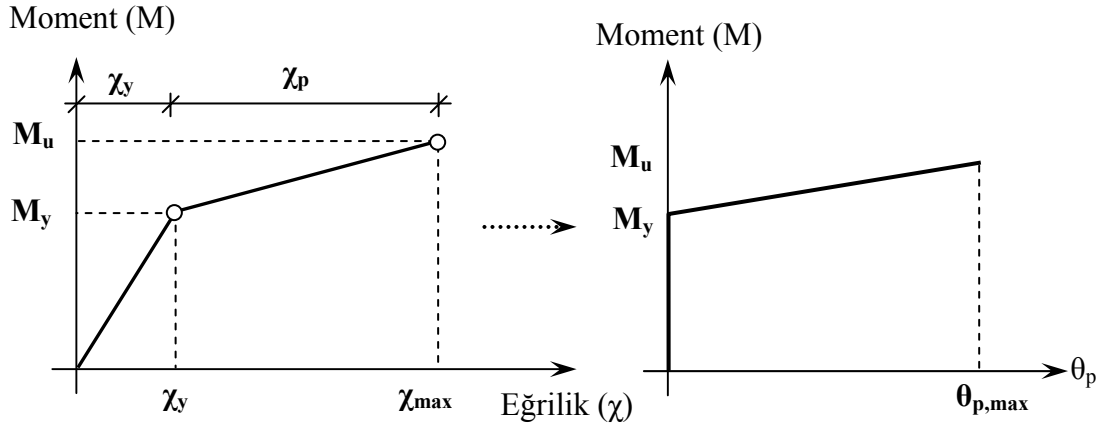
şeklinde alınmıştır.

(4.10) numaralı bağıntıda  $\chi_{\max}$  kesitin nihai eğilme momenti kapasitesi  $M_u$ 'ya karşılık gelen eğrilik,  $\chi_y$  ise kesitin akma eğriliğidir. Bu indisler Şekil 4.8'de verilen idealleştirilmiş eğilme momenti-eğrilik grafiği üzerinde de gösterilmiştir.



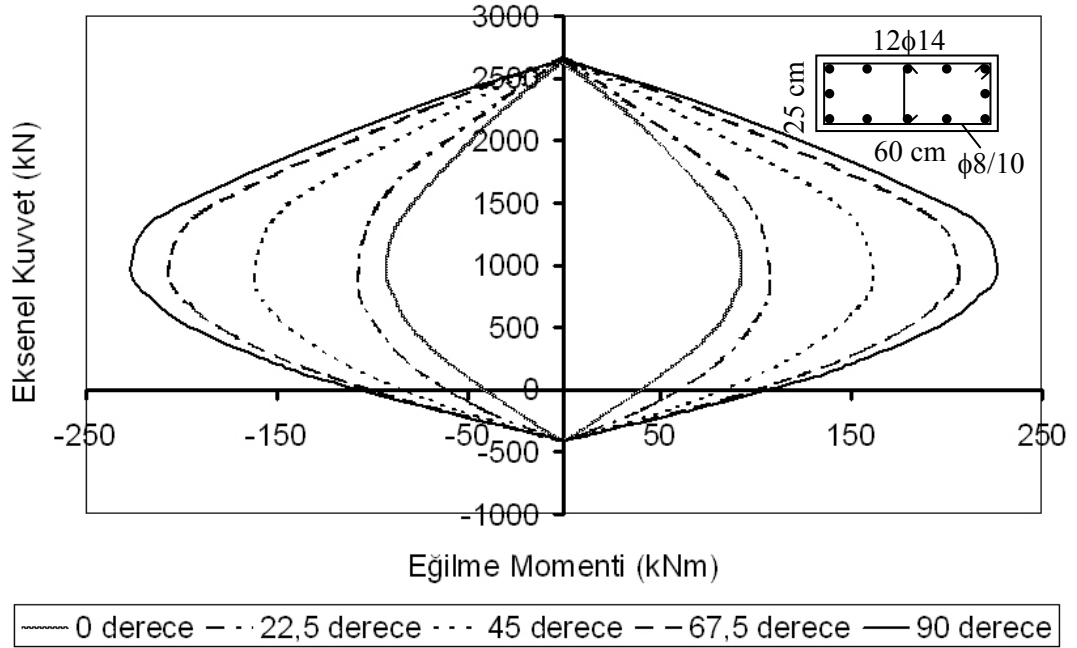
Şekil 4.8 İdealleştirilmiş eğilme momenti-eğrilik ilişkisi

17) Plastik kesitlere ait iç kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntıları, plastik dönme artışına bağlı olarak plastik eğilme momentinin artışı (pekleşme etkisi) de dikkate alınarak belirlenmiştir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 İç kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntısı

18) Kolonlar için etkileşim diyagramları (akma yüzeyleri) üç boyutlu olarak oluşturulmuştur. Bunun için XTRACT programı kullanılarak kesitin yatay ekseninde ( $0^\circ$ ) ve yatay eksene göre  $22,5^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $67,5^\circ$  ve  $90^\circ$  (düşey eksen) açı yapan eksenlerde etkileşim diyagramları analizi yapılmıştır. Bu diyagramlar doğrusallaştırılarak analizin yapıldığı SAP 2000 bilgisayar programına girilmiştir. Şekil 4.10'da C14/S220 malzemesi ile yapılmış bir kolona ait etkileşim diyagramları görülmektedir.



Şekil 4.10 Yatay eksende ( $0^\circ$ ) ve yataya göre  $22,5^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $67,5^\circ$  ve  $90^\circ$  (düşey eksen) açı yapan eksenlerde etkileşim diyagramları

19) Kesitlerin kesme dayanımları TS 500'e göre hesaplanmış ve kesme mafsalı tanımlanmıştır. Kesitin kesme dayanımı  $V_r$ ,  $V_c$  betonun katkısı ve  $V_s$  kesme donatısının katkısı olmak üzere (4.12) numaralı bağıntıdaki gibi elde edilmiştir (TS 500, 2000).

$$V_r = V_c + V_s \quad (4.12)$$

Kesitin kesme dayanımına betonun katkısı (4.13) numaralı bağıntı ile hesaplanmıştır. Bu bağıntıda  $V_{cr}$  kesitin kesmede çatlama dayanımını,  $f_{ctk}$  betonun karakteristik aksenal çekme dayanımını,  $b_w$  kesit genişliğini,  $d$  kesit faydalı yüksekliğini,  $A_c$  gövde kesiti beton alanını göstermektedir. (4.13) numaralı bağıntıda  $N$  aksenal kuvvet değeri çekmede de basınçta da pozitif alınmaktadır. Aksenal basınç durumunda  $\gamma = 0,07$ , aksenal çekme durumunda ise  $\gamma = -0,3$  alınmaktadır.

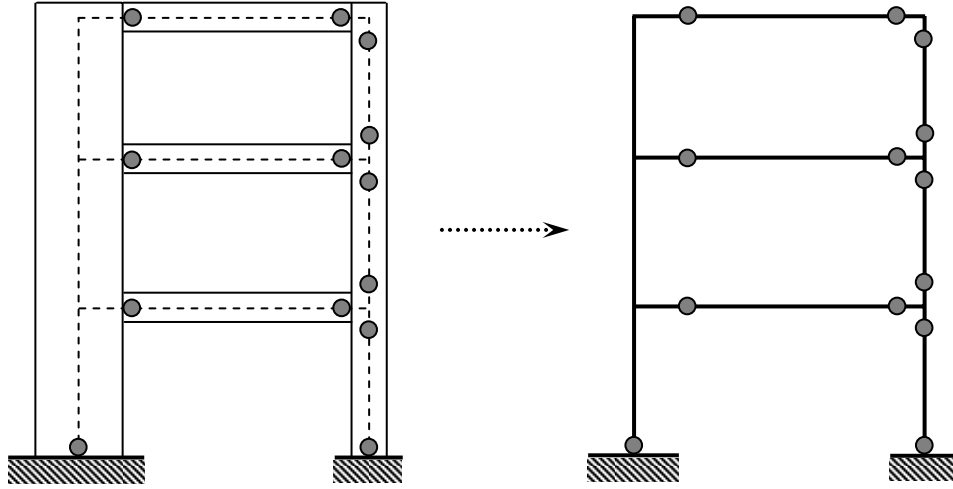
$$V_c = 0,8V_{cr} = 0,8 \left[ 0,65f_{ctk} b_w d \left( 1 + \gamma \frac{N}{A_c} \right) \right] \quad (4.13)$$

Kesitin kesme dayanımına enine donatının katkısı ise (4.14) numaralı bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır.

$$V_s = \frac{A_{sw}}{s} f_{ywk} d \quad (4.14)$$

(4.14) numaralı bağıntıda  $A_{sw}$  enine donatının toplam kesit alanını,  $s$  etriye aralığını,  $f_{ywk}$  ise enine donatının karakteristik akma dayanımını göstermektedir.

20) Plastik mafsallar kolon ve kirişlerin net açıklıklarının uçlarına konulmuştur. Yatay yük altındaki perde türünden taşıyıcı sistem elemanlarda ise kritik kesit mesnet olup, bir tanedir (Celep, 2008). Kiriş, kolon ve perde elemanlar için plastik mafsalların atanması Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11 Kiriş, kolon ve perde elemanlarda plastik mafsalların atanması (Türker, 2008)

21) Artımsal itme analizinden önce kütlelerle uyumlu düşey yüklerin göz önüne alındığı doğrusal olmayan statik analiz yapılmıştır. Bu analizin sonuçları, artımsal itme analizinin başlangıç koşulu olarak dikkate alınmıştır.

#### 4.5 Seçilen Binaların Dinamik Özellikleri

Çalışmada kullanılan binaların dinamik özellikleri Bölüm 4.4’de açıklanan kabuller altında önce elemanların çatlamamış kesitlerine ait rijitlik değerleri, daha sonra da çatlamış kesitlerine ait etkin rijitlikleri kullanılarak SAP 2000 analiz programı ile belirlenmiştir (Computers and Structures, Inc., 2003).

Seçilen binalara ait doğal titreşim periyotları ve birinci titreşim moduna ait etkin kütle oranları 3-4 katlı binalar için Tablo 4.4’de, 5-6 katlı binalar için Tablo 4.5’de, 7-8 katlı binalar için Tablo 4.6’de verilmiştir. Bu tablolardaki  $U_x$ ,  $U_y$  ve  $\Phi_z$  indisleri, dinamik serbestlik derecesi olarak dikkate alınan her katın kütle merkezindeki birbirine dik iki yatay ötelenme (X ve Y doğrultusunda) ile kütle merkezinden geçen eksen (Z-ekseni) etrafındaki dönmeyi göstermektedir.

Tablo 4.4 3-4 katlı binaların dinamik özellikleri

Kat Sayısı	Bina Kodu	Mod	Çatlamamış Kesitli				Çatlamış Kesitli			
			Birinci Titreşim				Birinci Titreşim			
			Periyot (sn)	Oranları			Periyot (sn)	Oranları		
				U <sub>X</sub> (%)	U <sub>Y</sub> (%)	Φ <sub>Z</sub> (%)		U <sub>X</sub> (%)	U <sub>Y</sub> (%)	Φ <sub>Z</sub> (%)
3	B3_1	1	0,432	68,61	0,72	17,83	0,611	69,71	0,37	16,55
		2	0,393	17,76	5,54	62,82	0,550	16,12	3,72	65,69
		3	0,332	0,11	79,79	6,25	0,483	0,09	81,21	4,11
	B3_2	1	0,416	0,84	62,20	24,23	0,584	0,97	61,97	24,19
		2	0,335	85,36	1,70	0,18	0,487	84,64	1,80	0,12
		3	0,277	1,07	22,05	62,29	0,403	0,98	21,96	62,30
	B3_3	1	0,477	65,27	0,05	22,44	0,678	63,44	0	23,06
		2	0,433	0,05	87,70	0	0,626	0	86,11	0
		3	0,372	19,37	0	60,75	0,535	20,11	0	58,97
	B3_4	1	0,369	68,38	0	17,31	0,541	67,07	0	17,91
		2	0,318	0	83,20	0	0,460	0	82,50	0
		3	0,286	17,21	0	67,06	0,419	17,67	0	65,81
	B3_5	1	0,545	0	95,35	0,24	0,799	0	95,31	0,30
		2	0,355	5,98	0,17	86,73	0,521	5,12	0,24	87,78
		3	0,271	84,29	0	6,44	0,394	85,41	0	5,56
4	B4_1	1	0,488	0	27,12	62,58	0,699	0	33,73	55,10
		2	0,436	0	61,63	26,52	0,619	0	54,22	32,89
		3	0,402	88,21	0	0	0,583	87,37	0	0
	B4_2	1	0,547	89,88	0,29	0	0,765	89,26	0,10	0
		2	0,504	0,72	55,31	35,07	0,692	0,30	45,21	44,63
		3	0,458	0	34,91	55,63	0,630	0	43,79	45,15
	B4_3	1	0,537	82,59	0	8,63	0,756	89,19	0	0,78
		2	0,511	8,12	0,01	82,26	0,729	0,65	0	89,19
		3	0,487	0	88,95	0	0,689	0	87,77	0
	B4_4	1	0,464	0,85	1,39	80,67	0,669	0,46	1,40	80,32
		2	0,454	80,83	0	0,81	0,651	80,51	0	0,44
		3	0,392	0	81,50	1,65	0,569	0	80,84	1,68
	B4_5	1	0,490	0,05	79,62	3,32	0,713	0,06	78,98	2,69
		2	0,427	79,42	0,25	1,89	0,611	75,83	0,38	4,23
		3	0,376	2,12	3,07	76,96	0,542	4,47	2,30	74,21

Tablo 4.5 5-6 katlı binaların dinamik özellikleri

Kat Sayısı	Bina Kodu	Mod	Çatlamamış Kesitli			Çatlamış Kesitli						
			Birinci Titreşim			Birinci Titreşim						
			Periyot (sn)	Oranları			Periyot (sn)	Oranları				
				$U_X$ (%)	$U_Y$ (%)	$\Phi_Z$ (%)		$U_X$ (%)	$U_Y$ (%)	$\Phi_Z$ (%)		
5	B5_1	1	0,462	0	80,67	0	0,653	0	80,41	0		
		2	0,408	7,98	0	73,98	0,571	7,25	0	74,67		
		3	0,310	73,39	0	7,77	0,443	73,83	0	7,16		
	B5_2	1	0,593	0,16	68,85	13,68	0,815	0,25	67,09	14,49		
		2	0,541	82,45	0,37	0,14	0,759	81,17	0,47	0		
		3	0,484	0,33	14,39	69,38	0,675	0,30	15,00	67,49		
	B5_3	1	0,547	71,96	0,05	10,08	0,755	73,44	0,18	8,03		
		2	0,450	0,18	78,71	0	0,651	0,53	77,32	0,96		
		3	0,366	9,90	0,34	71,27	0,528	7,72	1,05	72,07		
	B5_4	1	0,566	28,46	0	55,55	0,779	36,52	0	45,91		
		2	0,527	0	83,06	0	0,740	45,98	0	36,30		
		3	0,526	55,72	0	28,09	0,732	0	81,88	0		
	B5_5	1	0,489	80,10	0,10	0,15	0,692	78,17	0	1,46		
		2	0,448	0	30,51	48,72	0,635	0,57	45,96	31,45		
		3	0,414	0,24	47,36	30,87	0,598	0,89	31,22	46,16		
6	B6_1	1	0,704	1,79	0,06	79,57	0,969	1,84	0,05	77,59		
		2	0,675	0,05	80,33	0,05	0,925	0,06	78,53	0,03		
		3	0,558	79,27	0,04	1,80	0,779	77,12	0,05	1,87		
	B6_2	1	0,746	56,84	2,39	20,92	0,970	59,74	2,05	17,82		
		2	0,553	9,41	64,31	5,38	0,769	8,88	61,84	7,37		
		3	0,470	13,61	12,18	53,35	0,672	10,83	14,02	53,66		
	B6_3	1	0,823	23,84	0,61	56,82	1,073	26,18	0,33	53,45		
		2	0,702	1,06	78,90	0,04	0,946	0,56	77,90	0,02		
		3	0,660	55,72	0,54	23,82	0,897	52,46	0,27	25,83		
B6_4	1	0,789	79,40	0	0,07	1,031	77,72	0	0,05			
	2	0,687	0,07	10,84	68,76	0,882	0,05	14,51	64,43			
	3	0,598	0	68,50	10,21	0,776	0	63,71	14,22			
B6_5	1	0,541	62,57	0	17,10	0,755	63,76	0	15,63			
	2	0,441	16,91	0,02	61,88	0,614	15,43	0	63,06			
	3	0,370	0,02	76,74	0,01	0,486	0	77,58	0			



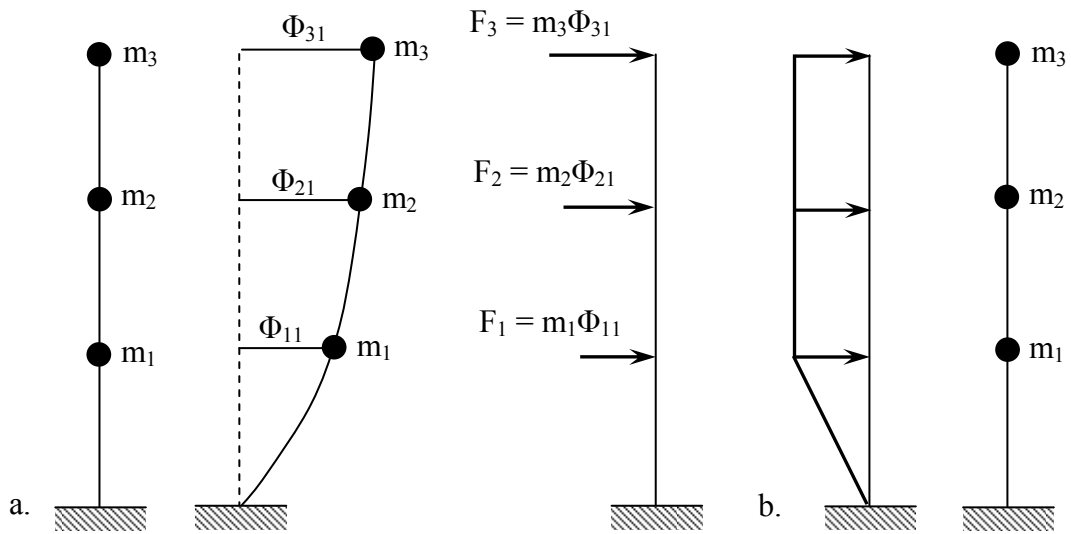
Tablo 4.6 7-8 katlı binaların dinamik özellikleri

Kat Sayısı	Bina Kodu	Mod	Çatlamamış Kesitli			Çatlamış Kesitli				
			Birinci Titreşim			Birinci Titreşim				
			Periyot (sn)	Ait Etkin Kütle Oranları			Periyot (sn)	Ait Etkin Kütle Oranları		
				U <sub>X</sub> (%)	U <sub>Y</sub> (%)	Φ <sub>Z</sub> (%)		U <sub>X</sub> (%)	U <sub>Y</sub> (%)	Φ <sub>Z</sub> (%)
7	B7_1	1	0,618	79,87	0,69	0	0,870	79,53	0,64	0
		2	0,506	0,69	60,98	15,43	0,708	0,35	23,62	53,09
		3	0,489	0,12	15,37	62,71	0,680	0,42	52,51	24,35
	B7_2	1	0,678	59,91	0,53	18,12	0,932	58,04	0,35	19,59
		2	0,556	2,35	73,72	1,73	0,784	1,38	74,81	0,74
		3	0,516	15,40	3,60	58,79	0,723	17,74	1,79	57,37
	B7_3	1	0,589	0	67,98	11,00	0,843	0	67,07	11,56
		2	0,412	61,78	2,56	12,75	0,569	53,38	3,89	20,08
		3	0,378	15,32	7,71	54,92	0,529	24,05	6,92	46,79
	B7_4	1	0,755	18,51	0,34	60,51	1,020	18,60	1,67	58,04
		2	0,715	0,02	78,50	0,31	0,970	0,73	76,09	0,92
		3	0,634	59,02	0,03	18,53	0,861	57,47	0,06	19,39
	B7_5	1	0,796	0	0,02	80,46	1,091	0	0	79,32
		2	0,760	78,14	0	0	1,041	77,66	0	0
		3	0,608	0	77,53	0,02	0,812	0	76,87	0
8	B8_1	1	0,826	43,41	0,13	33,35	1,114	40,59	0,17	35,92
		2	0,652	15,58	43,18	17,98	0,904	23,83	28,15	24,06
		3	0,627	16,75	33,41	26,39	0,859	11,47	47,91	16,64
	B8_2	1	1,003	68,01	0,07	15,52	1,378	65,79	0,07	17,14
		2	0,865	14,50	0	68,27	1,207	16,45	0	65,38
		3	0,578	0,08	79,71	0	0,805	0,08	78,85	0
	B8_3	1	1,026	3,22	23,58	47,85	1,306	3,07	26,19	45,03
		2	0,797	67,70	6,64	0,15	1,072	66,57	7,20	0,03
		3	0,693	3,36	45,47	26,55	0,943	3,95	41,48	28,97
	B8_4	1	0,863	60,15	0	21,92	1,181	58,81	0	22,12
		2	0,762	0	79,09	0	1,050	0	78,19	0
		3	0,640	21,14	0	58,27	0,890	21,64	0	59,92
	B8_5	1	0,860	0	62,08	22,28	1,174	0	60,07	23,28
		2	0,735	18,71	16,73	46,82	1,002	2,62	21,64	57,03
		3	0,732	63,51	4,61	14,13	0,992	78,97	0,62	2,00

#### 4.6 Seçilen Binaların Artımsal İtme Analizleri

Binaların dinamik özelliklerinin belirlenmesinden sonra 30 adet binanın üç boyutlu hesap modelleri kullanılarak SAP 2000 bilgisayar programı (Computers and Structures, Inc., 2003) ile artımsal itme analizleri gerçekleştirilmiştir.

Artımsal itme analizlerinde, binaların birinci titreşim moduna ait etkin kütle oranları dikkate alınarak iki farklı yatay yük dağılımı kullanılmıştır. Buna göre birinci titreşim moduna ait etkin kütle oranı %70'in üzerinde kalan binaların artımsal itme analizinde göz önüne alınan deprem doğrultusundaki hakim doğal titreşim mod şekli genliği ile orantılı yatay yük dağılımı kullanılmıştır. Genel olarak birinci mod etkilerinin hakim olduğu düzgün yapılarda, yatay yük dağılımı bu mod şekline benzer bir dağılım olarak seçilebilmektedir. Yüksek mod etkilerinin önemli olduğu yapılarda ise artımsal itme analizinde kullanılacak yatay yük dağılımları, yüksek modların katılımını da içermelidir. Bu nedenle birinci titreşim moduna ait etkin kütle oranı %70'in altında kalan binaların artımsal itme analizinde ise yüksek modların katkılarını da dikkate alabilmek amacıyla üniform yatay yük dağılımı uygulanmıştır (Korkmaz, 2005). Çalışmada dikkate alınan bu yatay yük dağılımları Şekil 4.12'de gösterilmiştir.

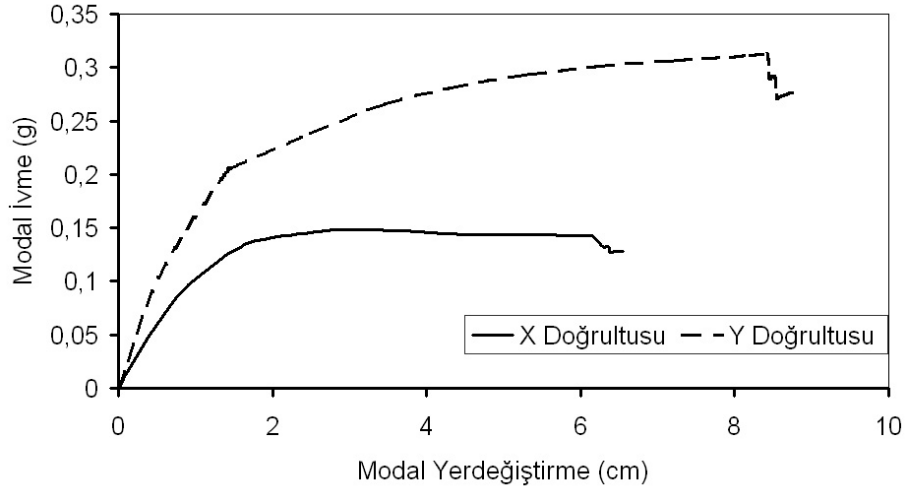


Şekil 4.12 Artımsal itme analizinde kullanılan yatay yük dağılımları: a. Doğal titreşim mod şekli genliği ile orantılı yatay yük b. Üniform yatay yük

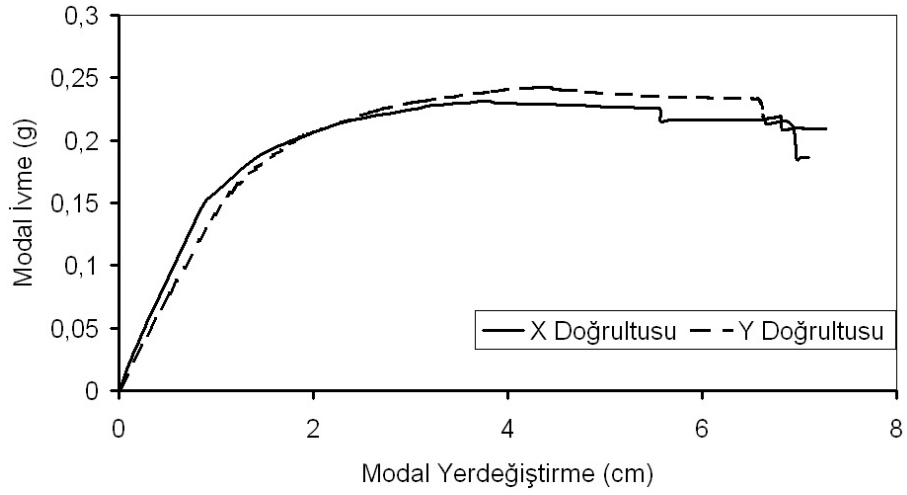
Binaların birinci titreşim moduna ait etkin kütle oranları dikkate alınarak belirlenen yatay yük dağılımları kullanılarak binaların ilgili deprem doğrultusundaki itme eğrileri elde edilmiştir. Oluşturulan itme eğrileri söz konusu binaların hasargörebilirlik ilişkilerinin belirlenmesinde kullanılmak üzere modal kapasite diyagramına dönüştürülmüş ve 3, 4, 5, 6, 7 ve 8 katlı binalar için ayrı ayrı elde edilen modal kapasite diyagramları aşağıdaki bölümlerde gösterilmiştir.

#### 4.6.1 Üç Katlı Binaların Modal Kapasite Diyagramları

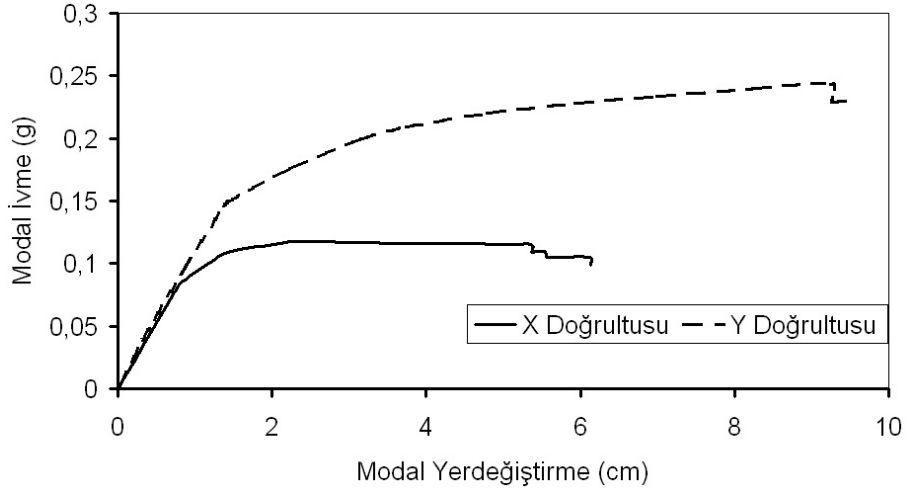
Üç katlı binaların, ilgili deprem doğrultularına ait modal kapasite diyagramları Şekil 4.13-Şekil 4.17’de verilmiştir.



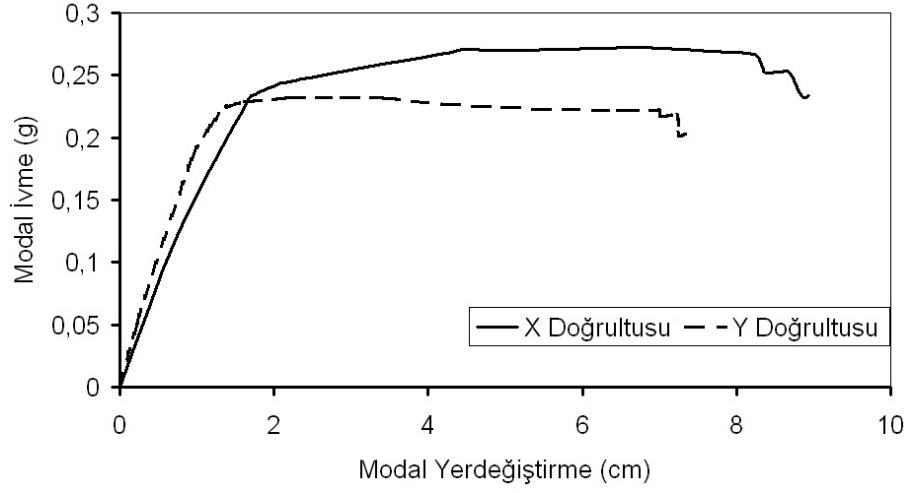
Şekil 4.13 B3\_1'in modal kapasite diyagramları



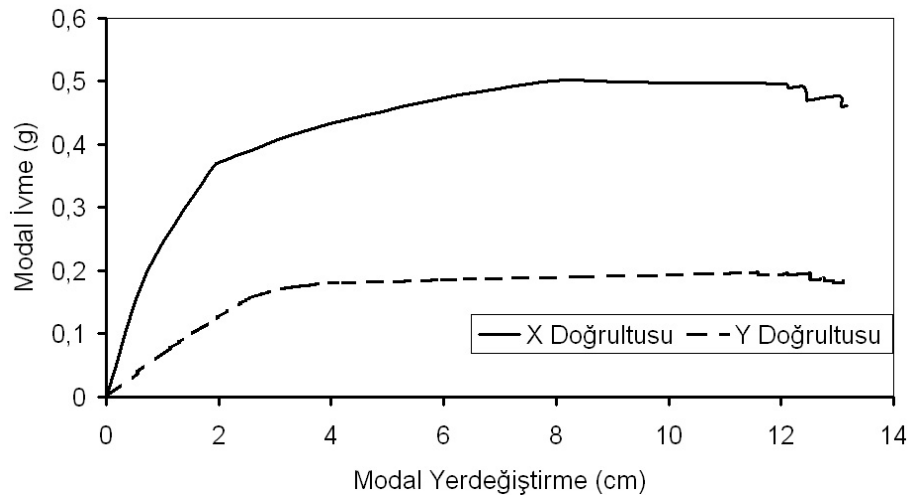
Şekil 4.14 B3\_2'nin modal kapasite diyagramları



Şekil 4.15 B3\_3'ün modal kapasite diyagramları



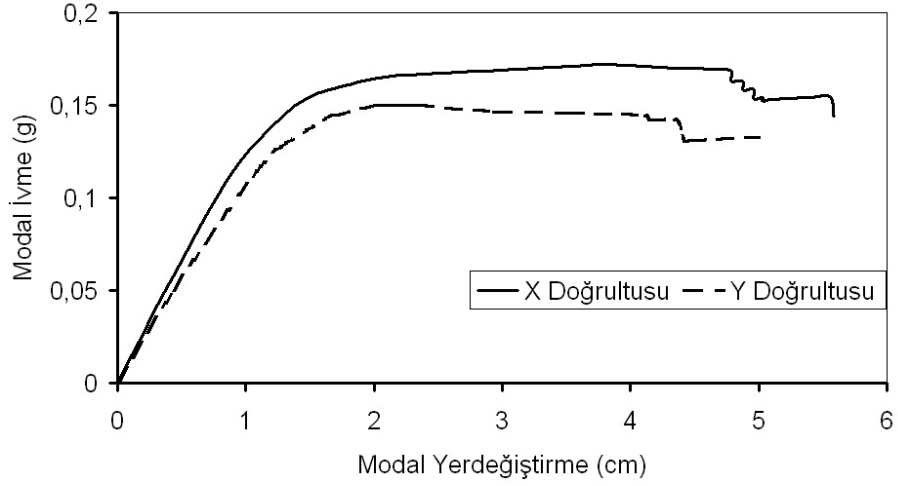
Şekil 4.16 B3\_4'ün modal kapasite diyagramları



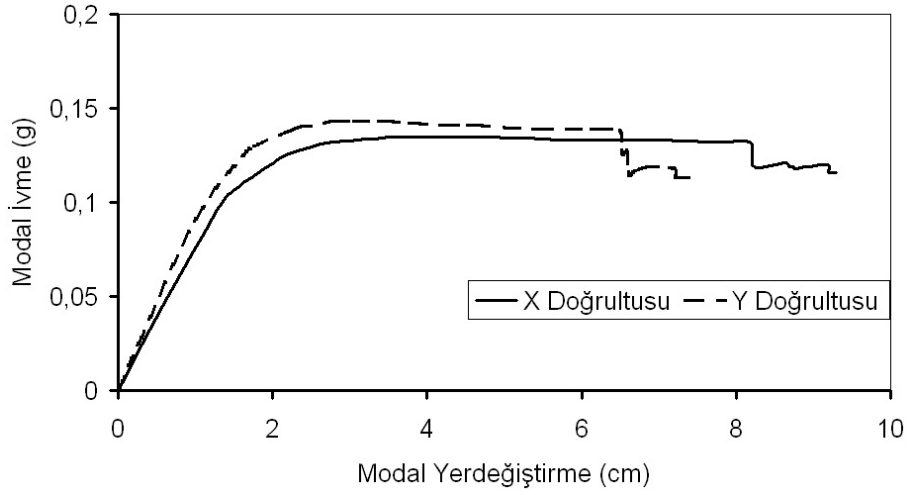
Şekil 4.17 B3\_5'in modal kapasite diyagramları

#### 4.6.2 Dört Katlı Binaların Modal Kapasite Diyagramları

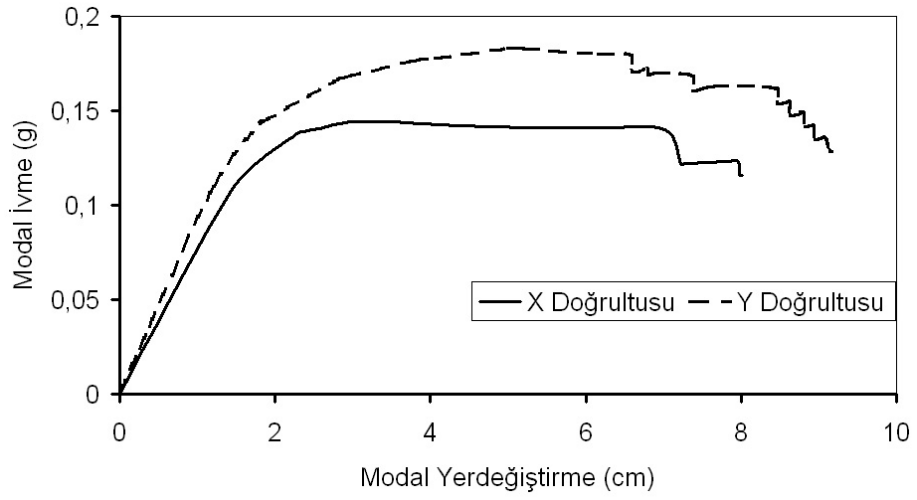
Dört katlı binaların, ilgili deprem doğrultularına ait modal kapasite diyagramları Şekil 4.18-Şekil 4.21’de verilmiştir.



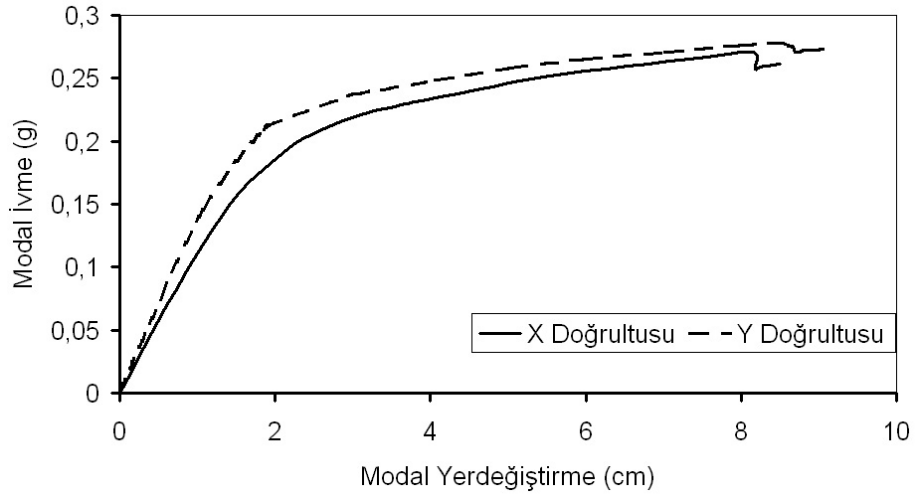
Şekil 4.18 B4\_1'in modal kapasite diyagramları



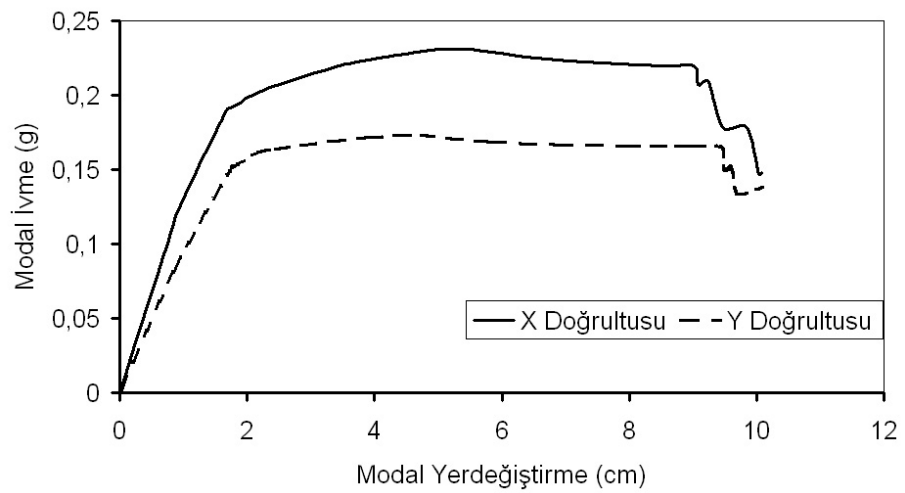
Şekil 4.19 B4\_2'nin modal kapasite diyagramları



Şekil 4.20 B4\_3'ün modal kapasite diyagramları



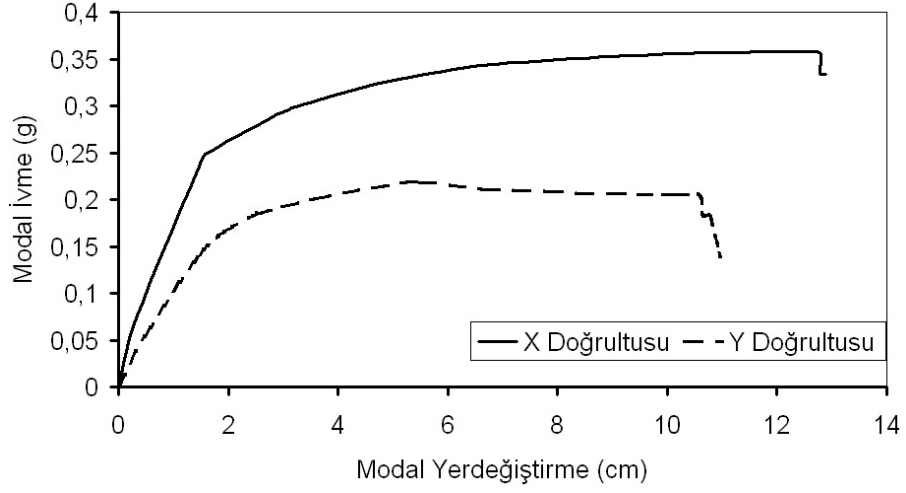
Şekil 4.21 B4\_4'ün modal kapasite diyagramları



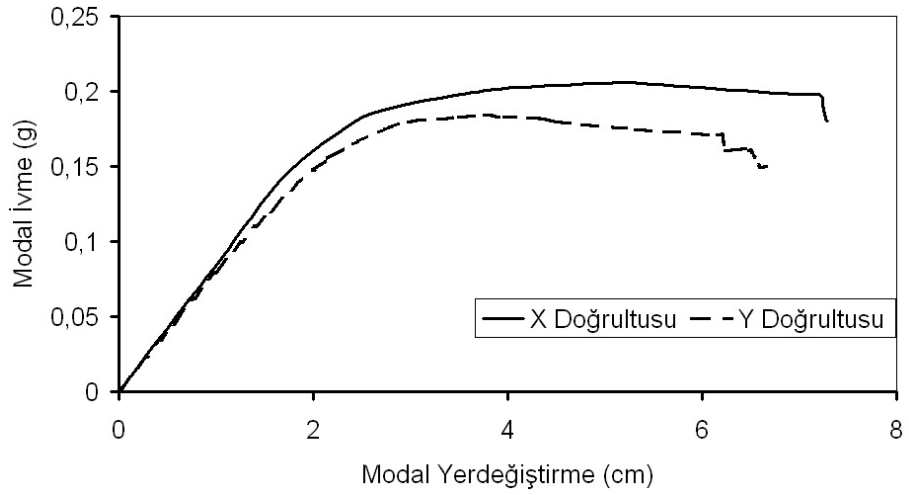
Şekil 4.22 B4\_5'in modal kapasite diyagramları

### 4.6.3 Beş Katlı Binaların Modal Kapasite Diyagramları

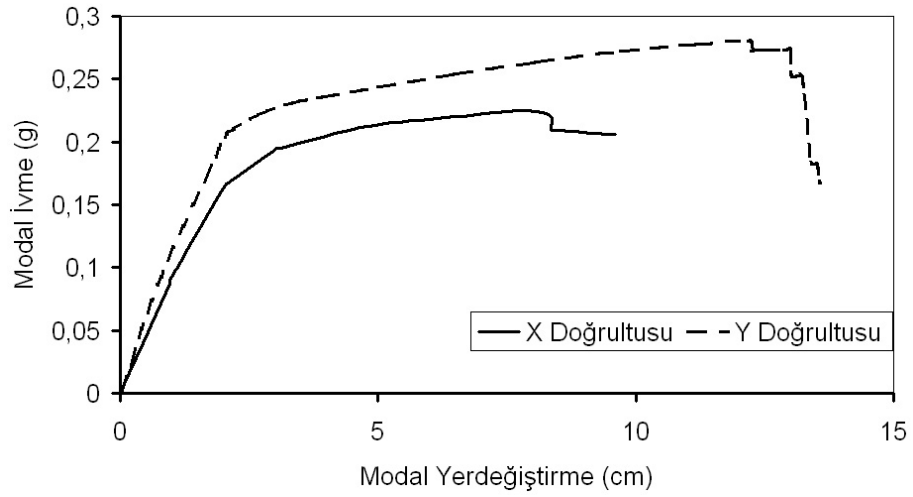
Beş katlı binaların, ilgili deprem doğrultularına ait modal kapasite diyagramları Şekil 4.23-Şekil 4.27’de verilmiştir.



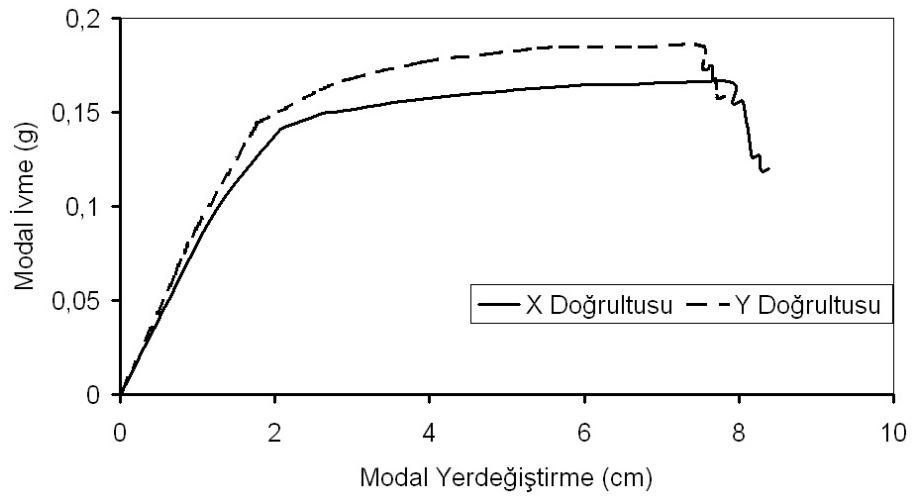
Şekil 4.23 B5\_1'in modal kapasite diyagramları



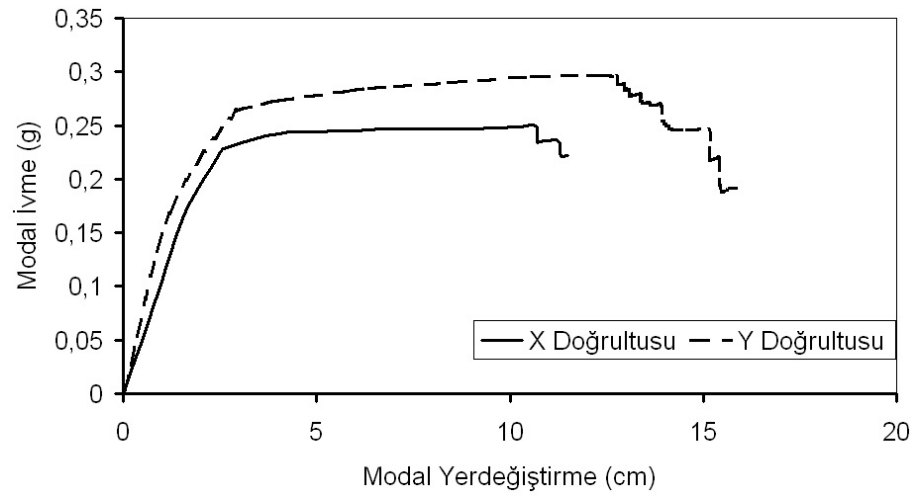
Şekil 4.24 B5\_2'nin modal kapasite diyagramları



Şekil 4.25 B5\_3'ün modal kapasite diyagramları



Şekil 4.26 B5\_4'ün modal kapasite diyagramları

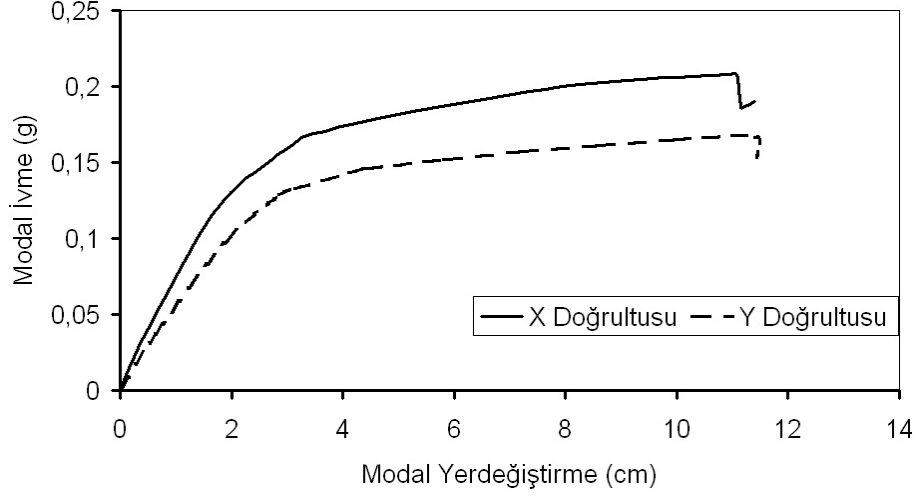


Şekil 4.27 B5\_5'in modal kapasite diyagramları

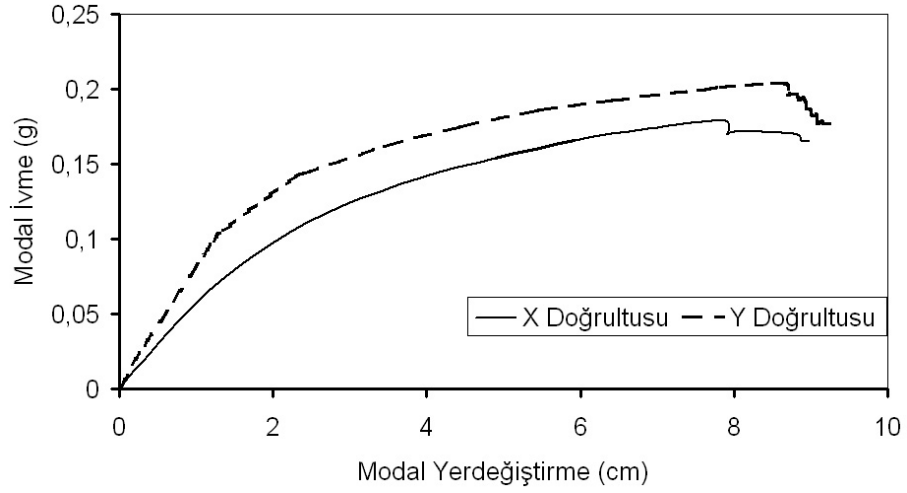


#### 4.6.4 Altı Katlı Binaların Modal Kapasite Diyagramları

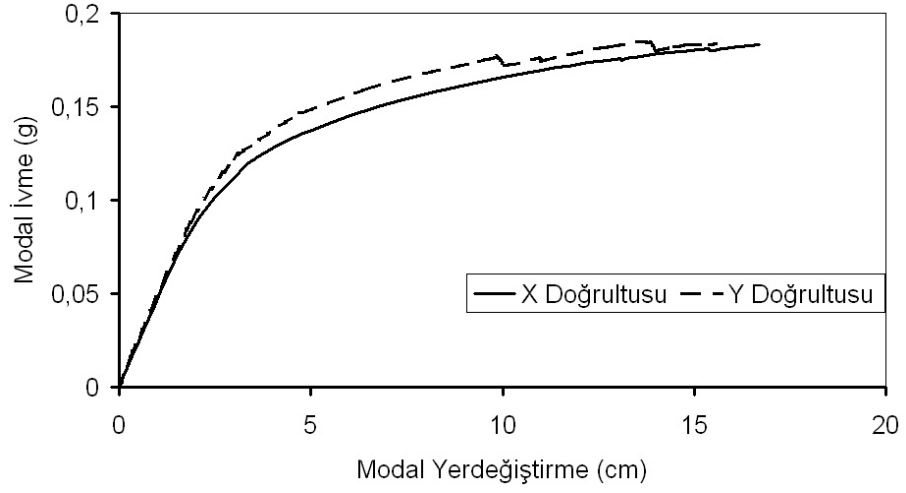
Altı katlı binaların, ilgili deprem doğrultularına ait modal kapasite diyagramları Şekil 4.28-Şekil 4.32’de verilmiştir.



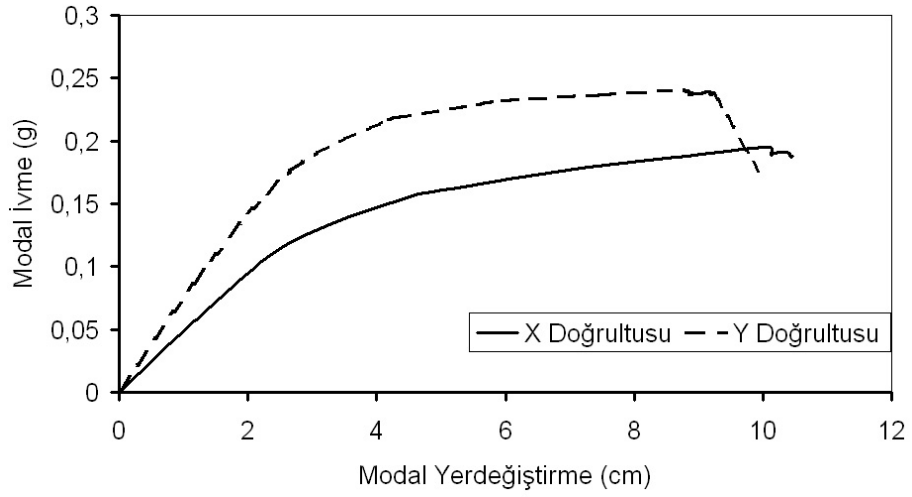
Şekil 4.28 B6\_1'in modal kapasite diyagramları



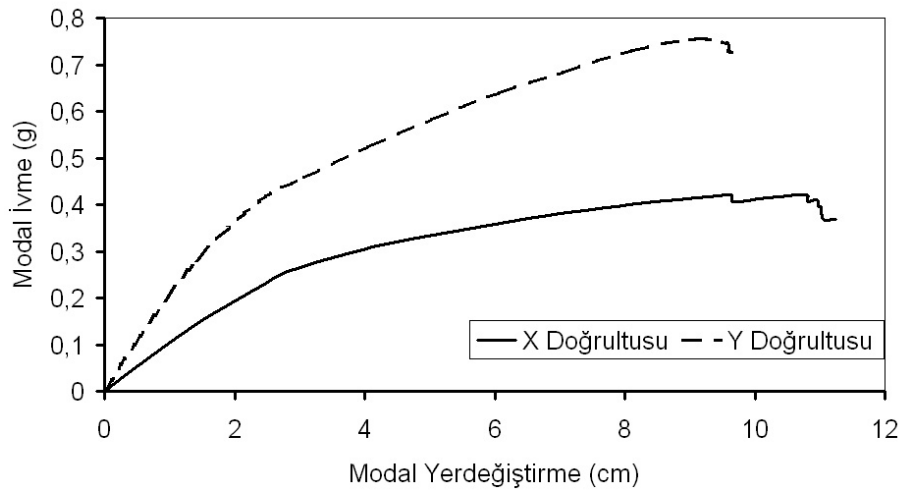
Şekil 4.29 B6\_2'nin modal kapasite diyagramları



Şekil 4.30 B6\_3'ün modal kapasite diyagramları



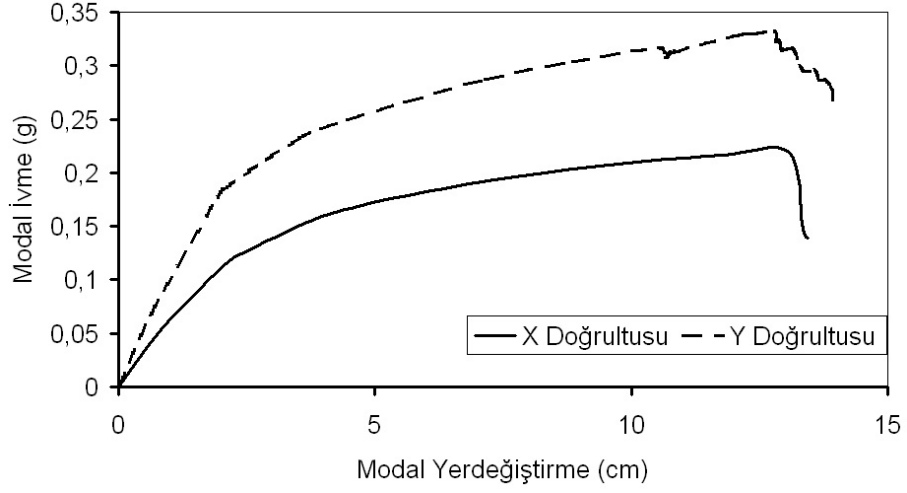
Şekil 4.31 B6\_4'ün modal kapasite diyagramları



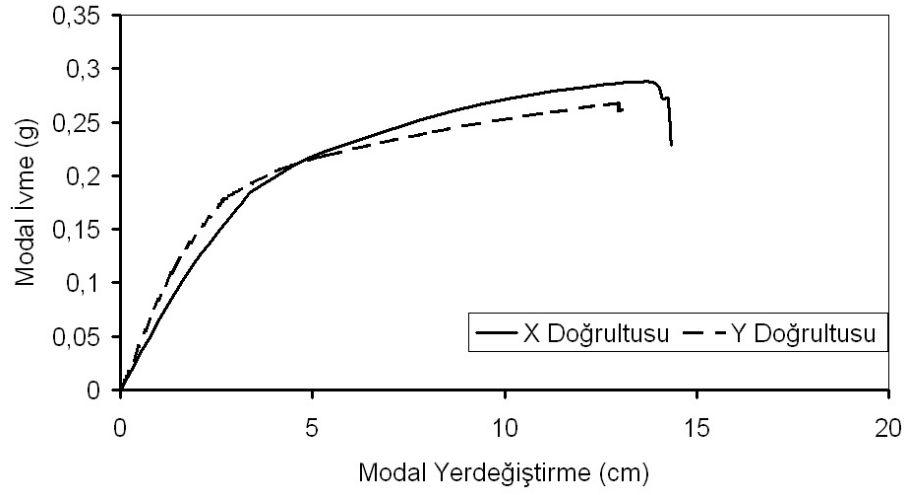
Şekil 4.32 B6\_5'in modal kapasite diyagramları

#### 4.6.5 Yedi Katlı Binaların Modal Kapasite Diyagramları

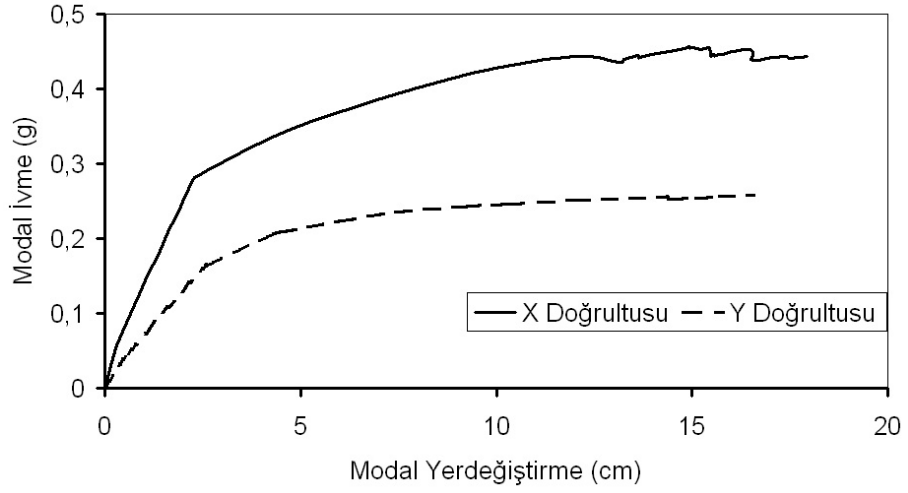
Yedi katlı binaların, ilgili deprem doğrultularına ait modal kapasite diyagramları Şekil 4.33-Şekil 4.37’de verilmiştir.



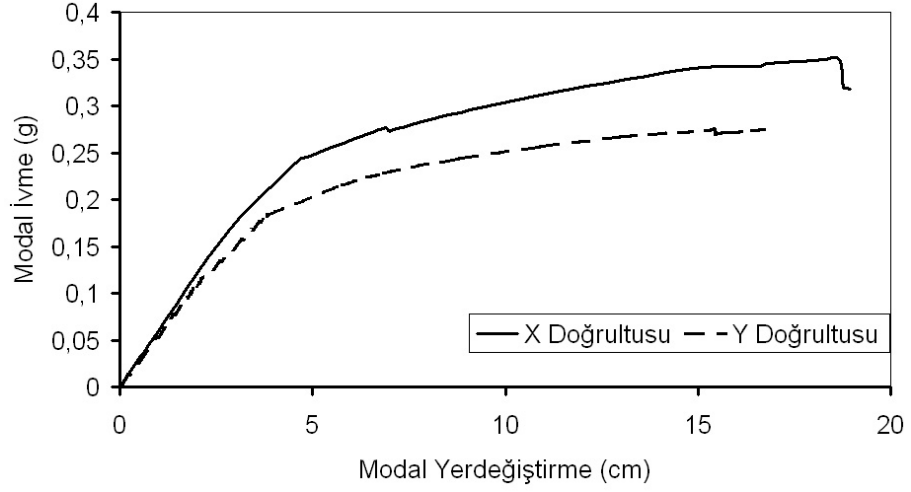
Şekil 4.33 B7\_1'in modal kapasite diyagramları



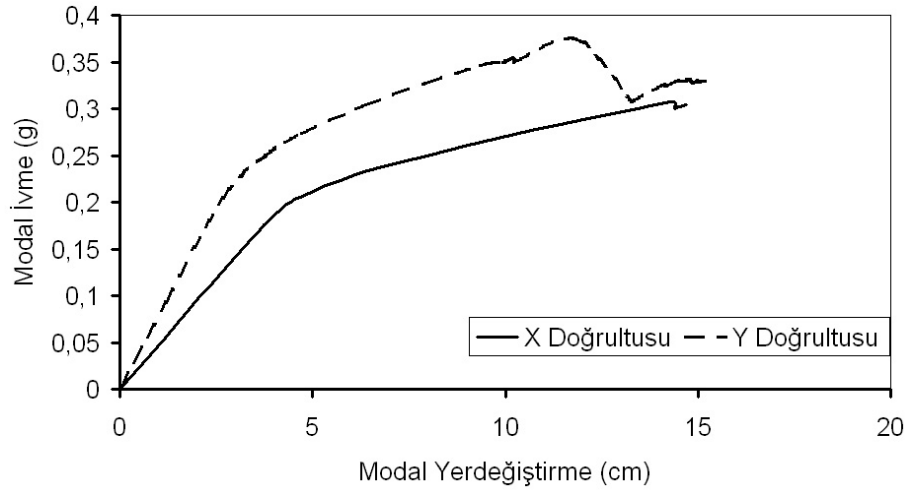
Şekil 4.34 B7\_2'nin modal kapasite diyagramları



Şekil 4.35 B7\_3'ün modal kapasite diyagramları



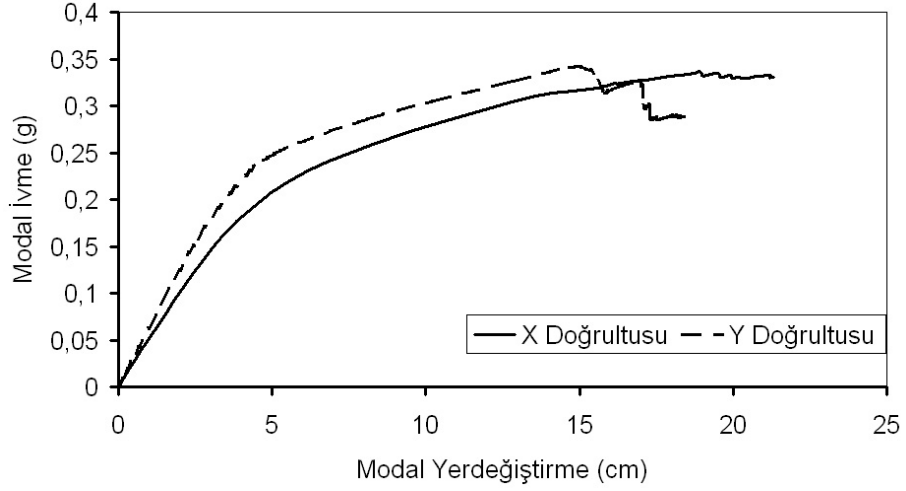
Şekil 4.36 B7\_4'ün modal kapasite diyagramları



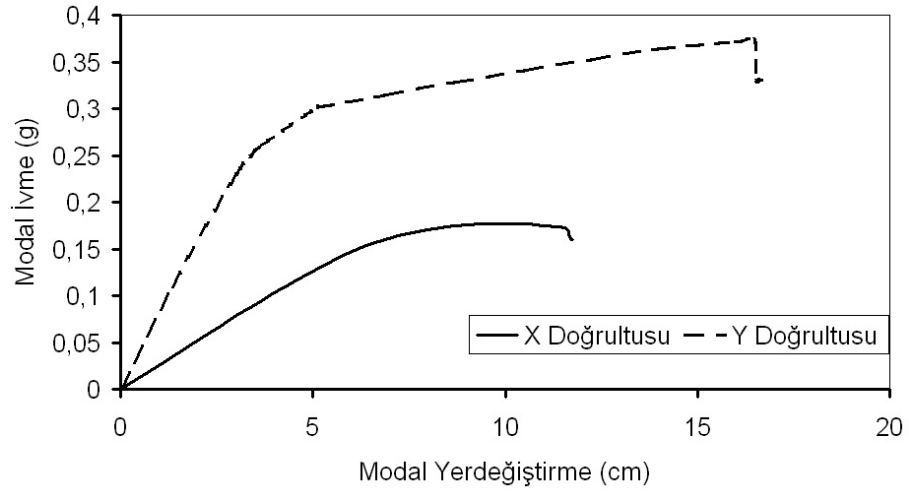
Şekil 4.37 B7\_5'in modal kapasite diyagramları

#### 4.6.6 Sekiz Katlı Binaların Modal Kapasite Diyagramları

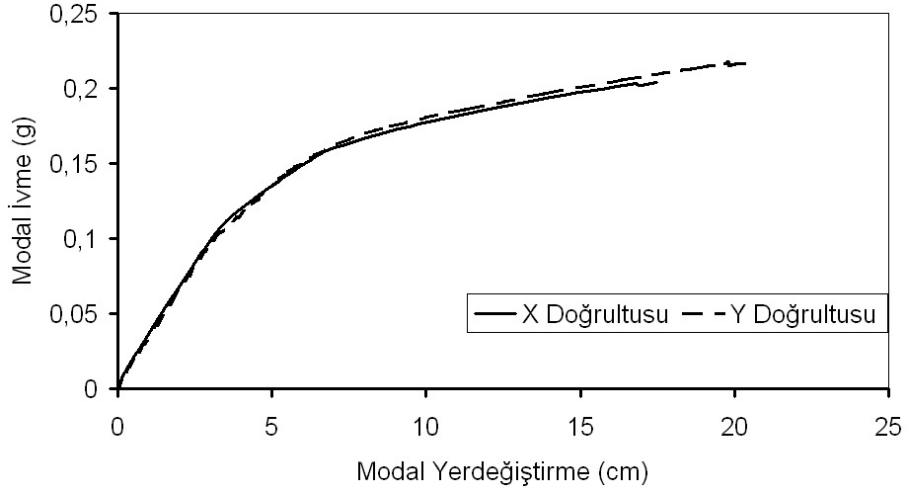
Sekiz katlı binaların, ilgili deprem doğrultularına ait modal kapasite diyagramları Şekil 4.38-Şekil 4.42’de verilmiştir.



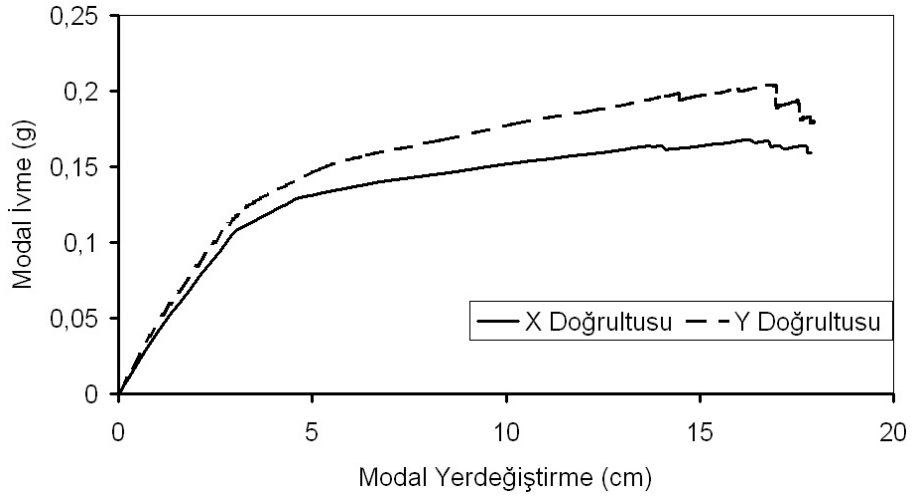
Şekil 4.38 B8\_1'in modal kapasite diyagramları



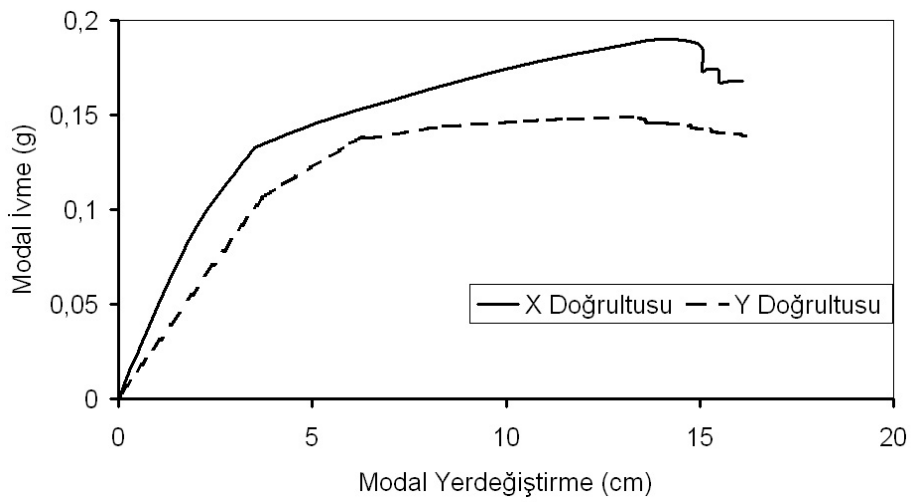
Şekil 4.39 B8\_2'nin modal kapasite diyagramları



Şekil 4.40 B8\_3'ün modal kapasite diyagramları



Şekil 4.41 B8\_4'ün modal kapasite diyagramları

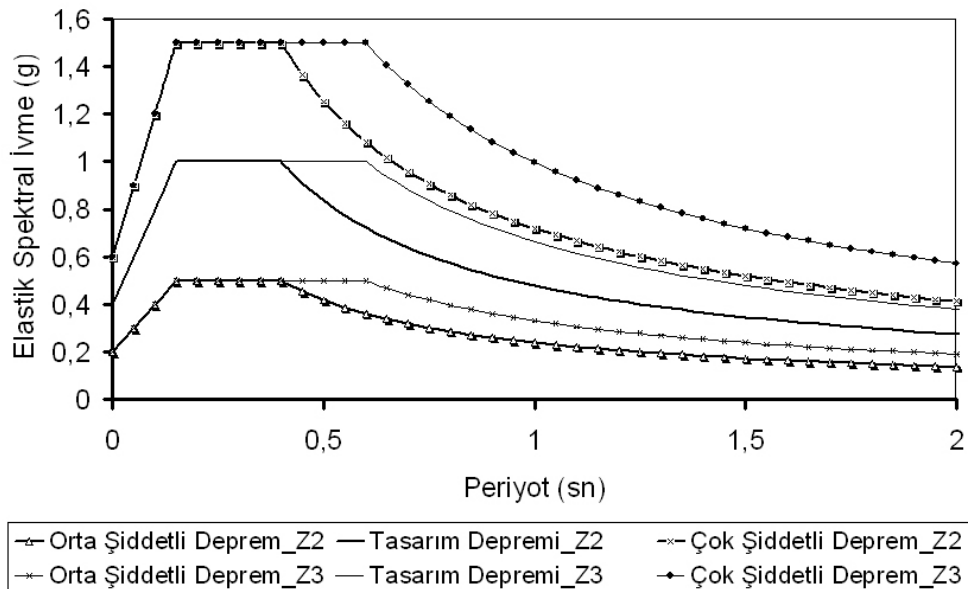


Şekil 4.42 B8\_5'in modal kapasite diyagramları

#### 4.7 Seçilen Binaların Modal Yerdeğiştirme İsteminin Hesaplanması

Çalışmanın bu bölümünde, binaların hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulmasında esas alınan zayıf doğrultularına ait modal kapasite diyagramları kullanılarak üç farklı deprem şiddeti ve iki farklı yerel zemin sınıfı için modal yerdeğiştirme istemleri belirlenmiştir.

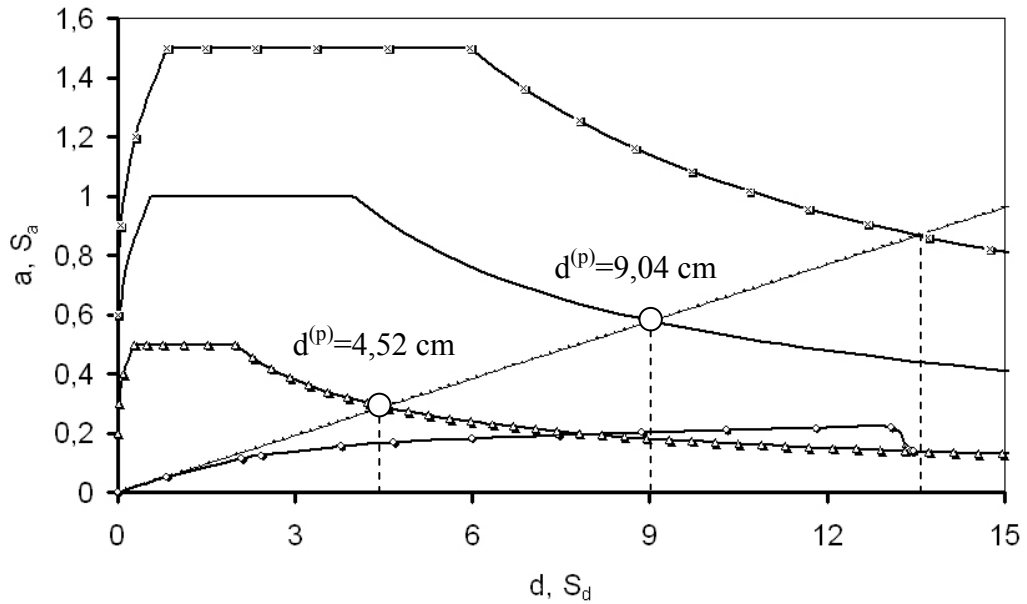
Binaların modal yerdeğiştirme isteminin hesaplanmasında, Deprem Yönetmeliği-2007’de bina önem katsayısı  $I=1$  olan binalar için 50 yıllık bir süre içinde farklı aşılma olasılıklarına sahip üç farklı deprem şiddeti dikkate alınmıştır. Depreme dayanıklı bina tasarımında Tasarım Depremi, *şiddetli* depreme karşılık gelen ve 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremdir. Orta Şiddetli Deprem ise 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan deprem olup bu depreme ait ivme spektrum değerleri, Tasarım Depremi’ne ait spektrumun ordinatlarının yarısı olarak ele alınmıştır. Çok Şiddetli Deprem için ise 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem tanımlanmıştır. Çok Şiddetli Deprem’in ivme spektrum değerleri ise, Tasarım Depremi’ne ait spektrumun ordinatlarının 1,5 katı olarak kabul edilmiştir (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007). Elastik spektral ivme  $S_{ac}(T)$ ’nin hesaplanmasında, etkin yer ivmesi katsayısı  $A_0=0,40$  alınmıştır.



Şekil 4.43 Farklı deprem şiddetleri ve yerel zemin sınıfları için elastik ivme spektrumları

Z2 yerel zemin sınıfı (spektrum karakteristik periyotları  $T_A=0,15$  sn ve  $T_B=0,40$  sn) ve Z3 yerel zemin sınıfı (spektrum karakteristik periyotları  $T_A=0,15$  sn ve  $T_B=0,60$  sn) için üç farklı deprem şiddetine ait elastik ivme spektrumları Şekil 4.43'de gösterilmiştir.

Oluşturulan elastik ivme spektrumları, binalara ait modal kapasite diyagramları ile birlikte kullanılarak binaların modal yerdeğiştirme istemleri, Deprem Yönetmeliği-2007'de açıklandığı gibi hesaplanmıştır. Örnek olarak, B7\_1 binasının Z2 yerel zemin sınıfı ve üç farklı deprem şiddeti için modal yerdeğiştirme isteminin belirlenmesi Şekil 4.44'de gösterilmiştir.



Şekil 4.44 B7\_1'in modal yerdeğiştirme isteminin belirlenmesi

Tüm binaların iki farklı zemin sınıfı ve üç farklı deprem şiddeti için hesaplanan modal yerdeğiştirme istemleri ise Tablo 4.7'de verilmiştir.



Tablo 4.7 Farklı deprem düzeyleri ve yerel zemin sınıfları için binaların modal yerdeğiştirme istemleri

Bina	Z2 Zemin Sınıfı			Z3 Zemin Sınıfı		
	Orta Şiddetli Deprem	Tasarım Depremi	Çok Şiddetli Deprem	Orta Şiddetli Deprem	Tasarım Depremi	Çok Şiddetli Deprem
	$d^{(p)}$ (cm)	$d^{(p)}$ (cm)	$d^{(p)}$ (cm)	$d^{(p)}$ (cm)	$d^{(p)}$ (cm)	$d^{(p)}$ (cm)
B3_1	2,947	5,970	Belirsiz	4,057	Belirsiz	Belirsiz
B3_2	2,346	4,691	Belirsiz	3,027	6,484	Belirsiz
B3_3	3,391	Belirsiz	Belirsiz	4,680	Belirsiz	Belirsiz
B3_4	2,111	4,253	6,326	2,477	5,820	Belirsiz
B3_5	4,395	8,760	Belirsiz	6,058	12,146	Belirsiz
B4_1	3,198	Belirsiz	Belirsiz	4,509	Belirsiz	Belirsiz
B4_2	3,536	Belirsiz	Belirsiz	4,869	Belirsiz	Belirsiz
B4_3	4,027	Belirsiz	Belirsiz	5,539	Belirsiz	Belirsiz
B4_4	3,168	6,319	Belirsiz	4,536	Belirsiz	Belirsiz
B4_5	3,524	7,038	Belirsiz	4,890	Belirsiz	Belirsiz
B5_1	3,162	6,315	9,519	4,536	8,728	Belirsiz
B5_2	3,972	Belirsiz	Belirsiz	5,471	Belirsiz	Belirsiz
B5_3	3,670	7,352	Belirsiz	5,077	Belirsiz	Belirsiz
B5_4	3,648	7,341	Belirsiz	5,055	Belirsiz	Belirsiz
B5_5	3,169	6,716	10,037	4,635	9,271	Belirsiz
B6_1	3,929	7,857	Belirsiz	5,419	10,850	Belirsiz
B6_2	4,464	Belirsiz	Belirsiz	6,170	Belirsiz	Belirsiz
B6_3	4,902	9,805	14,654	6,774	13,548	Belirsiz
B6_4	4,137	8,274	Belirsiz	5,730	Belirsiz	Belirsiz
B6_5	3,442	6,993	10,297	4,754	9,478	Belirsiz
B7_1	4,520	9,040	Belirsiz	6,266	12,485	Belirsiz
B7_2	3,811	7,645	11,433	5,293	10,574	Belirsiz
B7_3	4,127	8,013	11,975	5,541	11,070	Belirsiz
B7_4	5,008	10,054	15,081	6,919	13,894	Belirsiz
B7_5	5,441	10,839	Belirsiz	7,494	Belirsiz	Belirsiz
B8_1	4,790	9,240	13,853	6,425	12,784	Belirsiz
B8_2	7,768	Belirsiz	Belirsiz	10,767	Belirsiz	Belirsiz
B8_3	6,539	12,964	Belirsiz	9,938	Belirsiz	Belirsiz
B8_4	6,070	12,141	Belirsiz	8,382	17,017	Belirsiz
B8_5	7,261	14,453	Belirsiz	10,001	Belirsiz	Belirsiz

#### 4.8 Seçilen Binalar İçin Analitik Hasargörebilirlik Eğrilerinin Oluşturulması

Bu çalışmada, mevcut az ve orta katlı betonarme binaların analitik hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulmasında, İzmir kentindeki bina stokunun önemli bir kısmını oluşturan ve genellikle konut veya ticari amaçlı kullanılan, 3-4-5-6-7-8

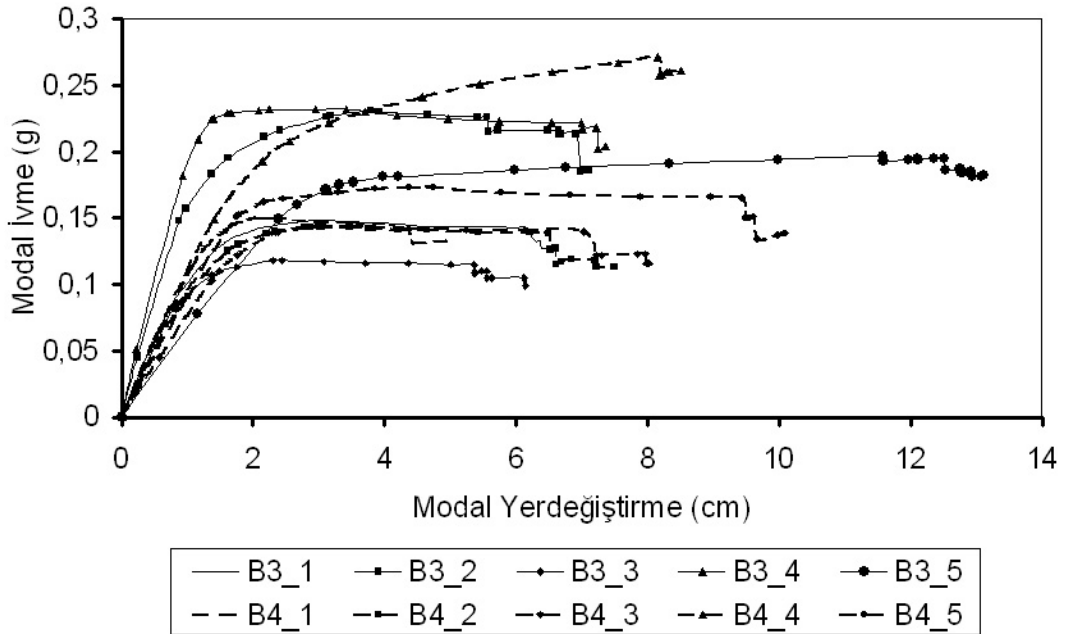
katlı olmak üzere her birinden 5'erli set halinde toplam 30 adet bina dikkate alınmıştır.

Seçilen binalar için analitik hasargörebilirlik eğrileri; 3-4, 5-6 ve 7-8 katlı üç grup halinde elde edilmiştir.

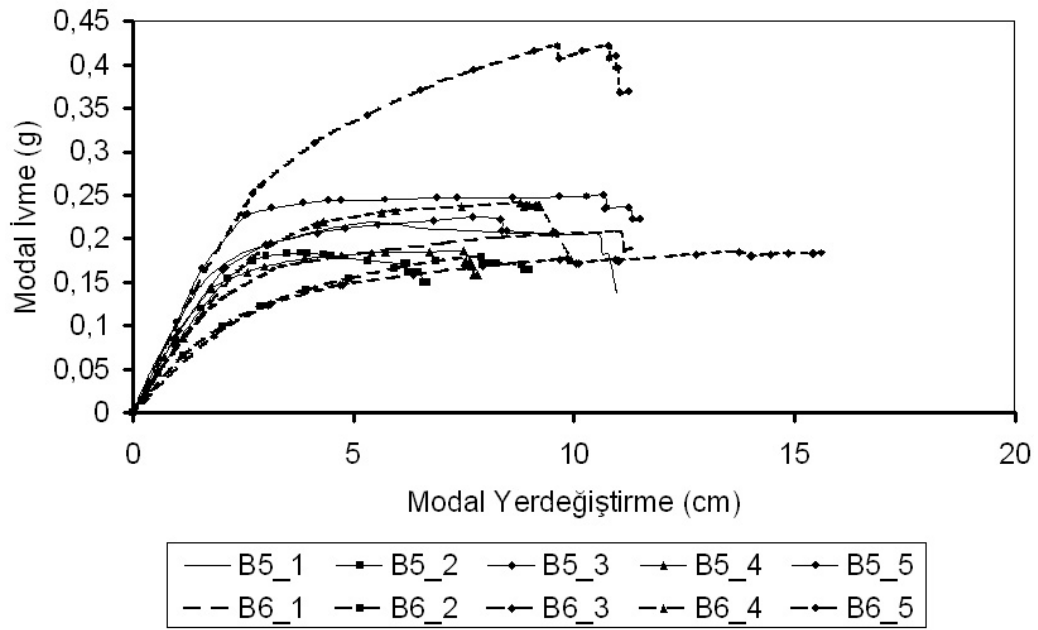
#### 4.8.1 Hasar Seviyeleri ve Bunlara Ait Sınır Değerlerin Belirlenmesi

Hasar seviyeleri ve bunlara ait sınır değerleri, 30 adet binanın ilgili deprem doğrultuları için ayrı ayrı elde edilen modal kapasite diyagramları kullanılarak binanın zayıf doğrultusuna ait diyagramlar üzerinden tanımlanmıştır.

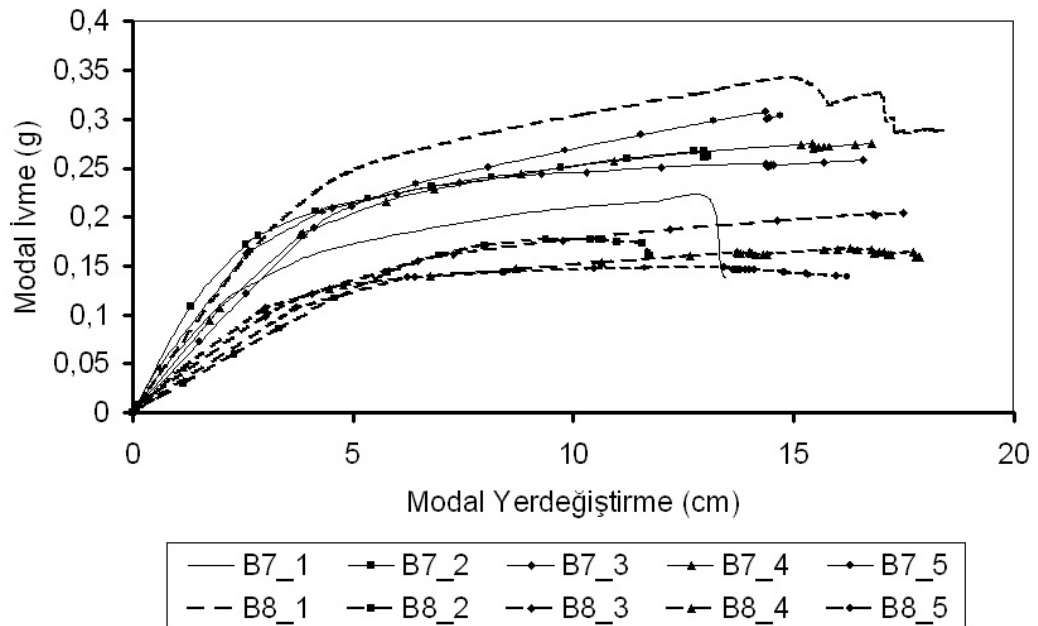
Dikkate alınan bina sınıfları için hasar seviyeleri ve sınır değerlerinin belirlenmesinde kullanılan modal kapasite diyagramları 3-4 katlı binalar için Şekil 4.45'de, 5-6 katlı binalar için Şekil 4.46'da ve 7-8 katlı binalar için Şekil 4.47'de verilmiştir.



Şekil 4.45 3-4 katlı binaların sınır hasar seviyelerinin belirlenmesinde esas alınan modal kapasite diyagramları



Şekil 4.46 5-6 katlı binaların sınır hasar seviyelerinin belirlenmesinde esas alınan modal kapasite diyagramları



Şekil 4.47 7-8 katlı binaların sınır hasar seviyelerinin belirlenmesinde esas alınan modal kapasite diyagramları

Hasar seviyeleri ve sınır değerlerin belirlenmesinde kullanılacak her bir modal kapasite diyagramı, FEMA 356'daki (FEMA, 2000) gibi iki doğru parçası ile idealleştirilmiştir. Kabul edilen hasar seviyeleri ve sınırları Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.8 Sınır hasar seviyeleri

$\overline{S_{d1}} = \text{İlk Akma}$	Hafif Hasar
$\overline{S_{d2}} = S_{dy}$	Orta Hasar
$\overline{S_{d3}} = 0,5(S_{dy} + S_{du})$	İleri Hasar
$\overline{S_{d4}} = S_{du}$	Göçme

Tablo 4.8’de verilen hasar seviyeleri dikkate alınarak 3-4, 5-6 ve 7-8 katlı binalar için idealleştirilmiş modal kapasite diyagramlarından elde edilen sınır hasar seviyelerine ait ortalama modal yerdeğiştirme değerleri,  $\overline{S_{ds_i}}$  ve bunların lognormal dağılımına ait standart sapma değerleri,  $\beta_{ds_i}$  Tablo 4.9’da verilmiştir.

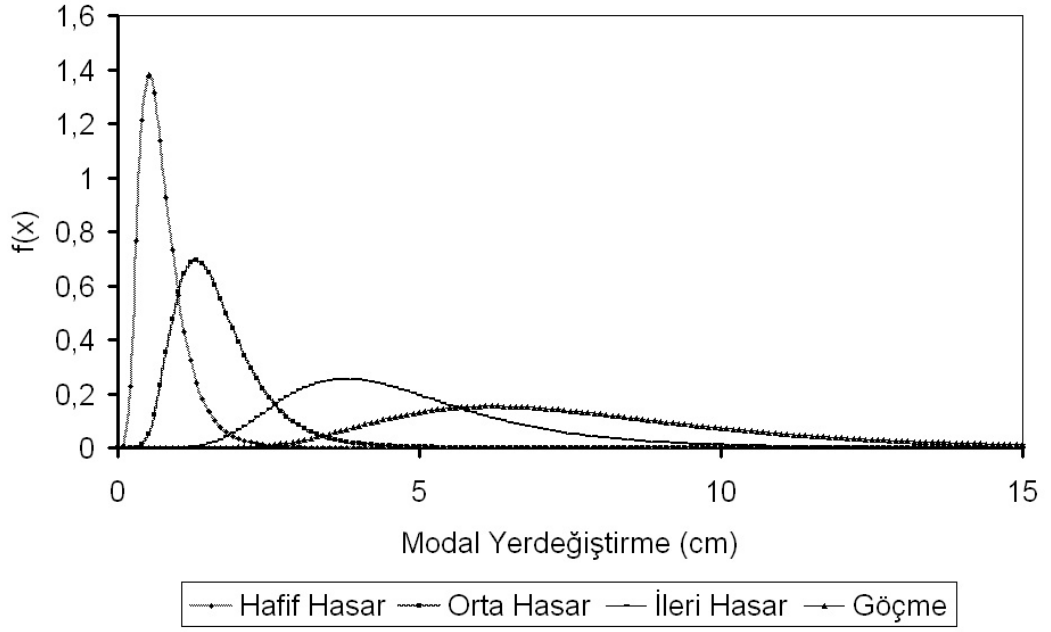
Tablo 4.9 Hasargörebilirlik eğrilerinin farklı hasar seviyelerine ait parametreleri

Bina Sınıfı	Sınır Hasar Seviyeleri							
	Hafif Hasar		Orta Hasar		İleri Hasar		Göçme	
	$\overline{S_{d1}}$ (cm)	$\beta_1$	$\overline{S_{d2}}$ (cm)	$\beta_2$	$\overline{S_{d3}}$ (cm)	$\beta_3$	$\overline{S_{d4}}$ (cm)	$\beta_4$
3-4 Katlı	0,719	0,4976	1,598	0,4103	4,554	0,3869	7,509	0,3872
5-6 Katlı	1,114	0,4302	2,528	0,3740	6,310	0,3872	10,091	0,4025
7-8 Katlı	2,432	0,5703	4,222	0,3669	9,824	0,2852	15,425	0,2943

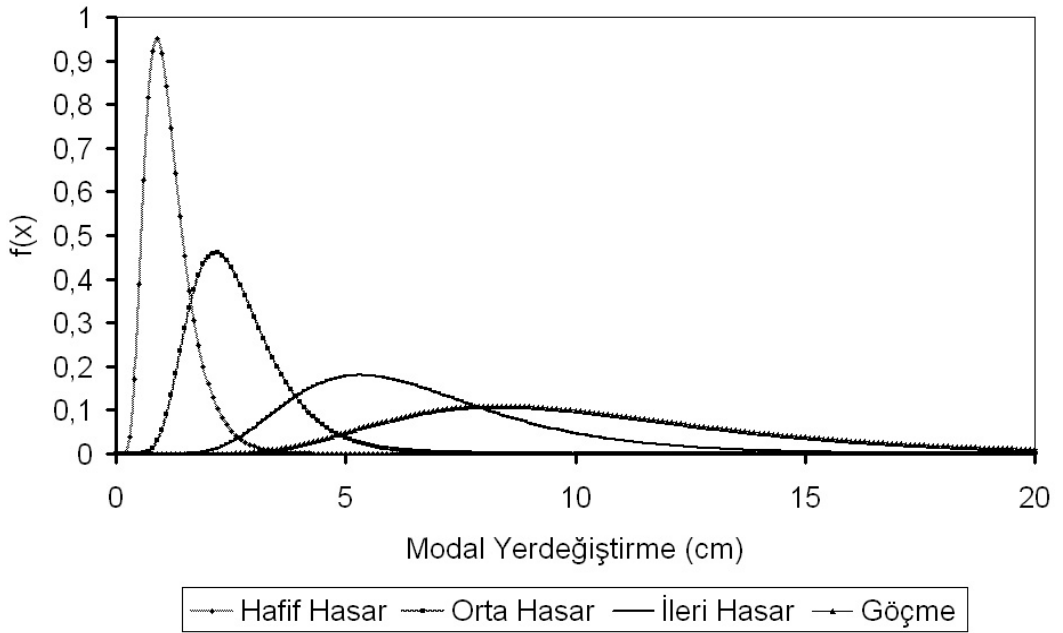
#### 4.8.2 Mevcut Binalar İçin Oluşturulan Hasargörebilirlik Eğrileri

Bundan sonraki aşamada tanımlanan sınır hasar seviyelerine ait ortalama modal yerdeğiştirme değerleri ve lognormal dağılıma ait standart sapma değerleri kullanılarak her bir bina sınıfı için farklı hasar seviyelerine ait olasılık yoğunluk fonksiyonları elde edilmiştir.

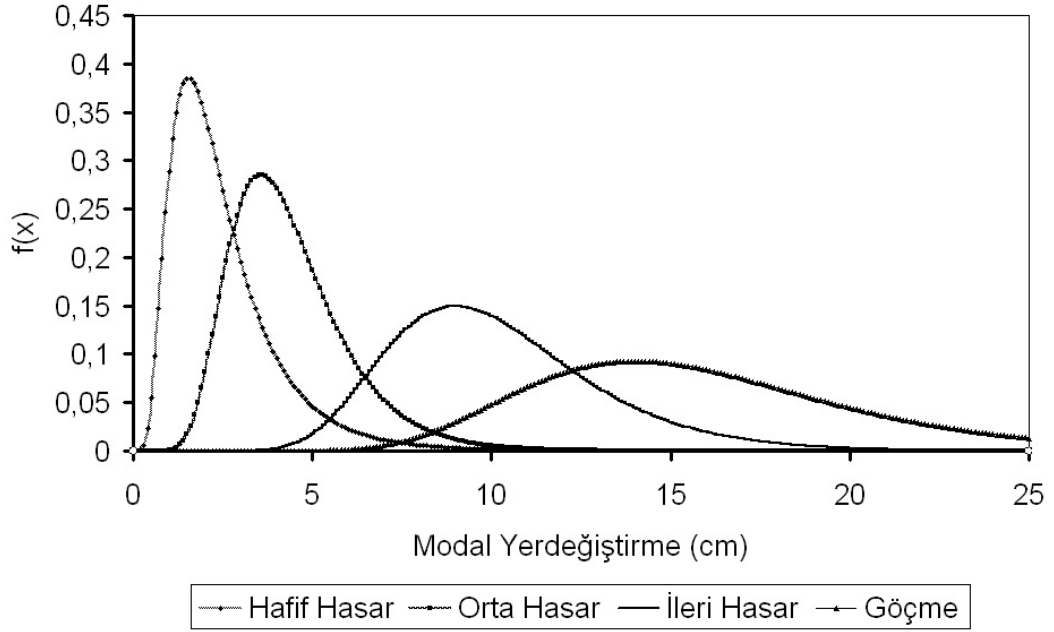
Belirlenen hasar seviyelerine ait olasılık yoğunluk fonksiyonlarının grafikleri 3-4 katlı binalar için Şekil 4.48’de, 5-6 katlı binalar için Şekil 4.49’da, 7-8 katlı binalar için ise Şekil 4.50’de gösterilmiştir.



Şekil 4.48 3-4 katlı binaların farklı hasar seviyeleri için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının grafikleri

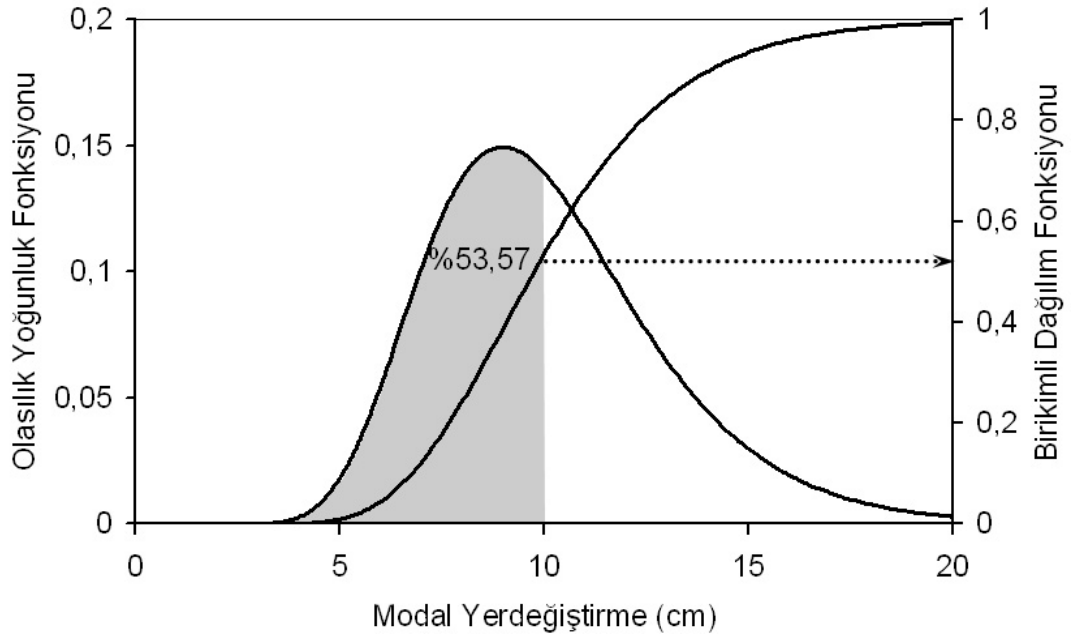


Şekil 4.49 5-6 katlı binaların farklı hasar seviyeleri için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının grafikleri



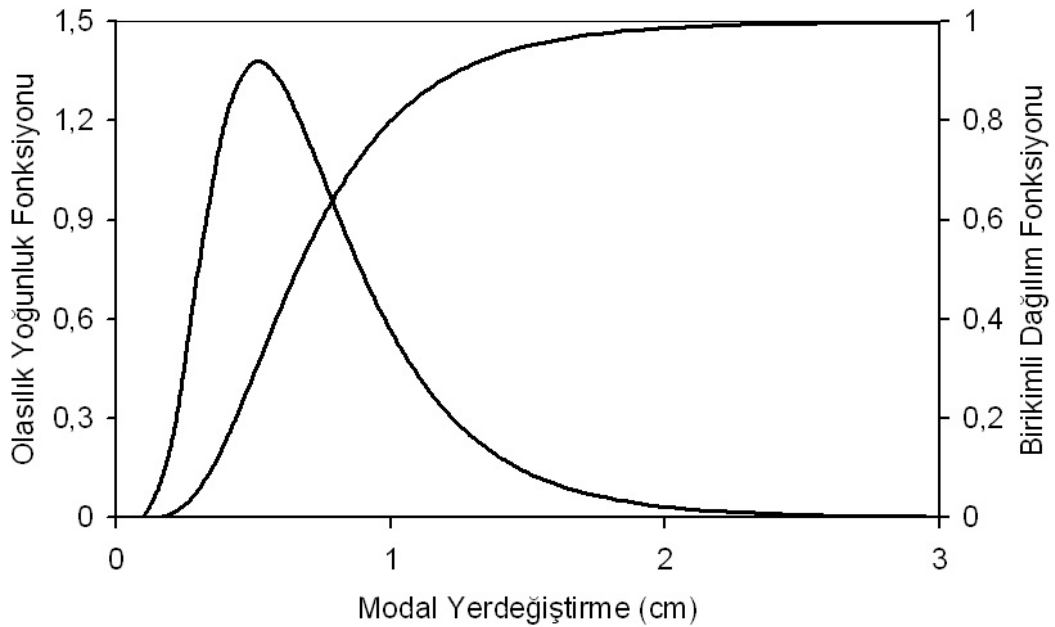
Şekil 4.50 7-8 katlı binaların farklı hasar seviyeleri için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının grafikleri

Oluşturulan olasılık yoğunluk fonksiyonları kullanılarak deprem parametresi olarak seçilen modal yerdeğiştirmenin farklı değerleri için önceden tanımlanmış olan sınır hasar seviyelerine ulaşılması veya aşılması olasılıkları hesaplanmıştır. Olasılık yoğunluk fonksiyonlarından hareketle söz konusu olasılıkların ne şekilde hesaplandığı Şekil 4.51’de örnek olarak gösterilmiştir. Bu örnekte modal yerdeğiştirmenin  $S_d = 10$  cm değeri için hesaplanan alan (şekilde boyalı olarak gösterilen alan) %53,57’dir. Aynı alan, birikimli dağılım fonksiyon değeri olarak da gösterilebilir (şeklin sağ tarafındaki grafik).

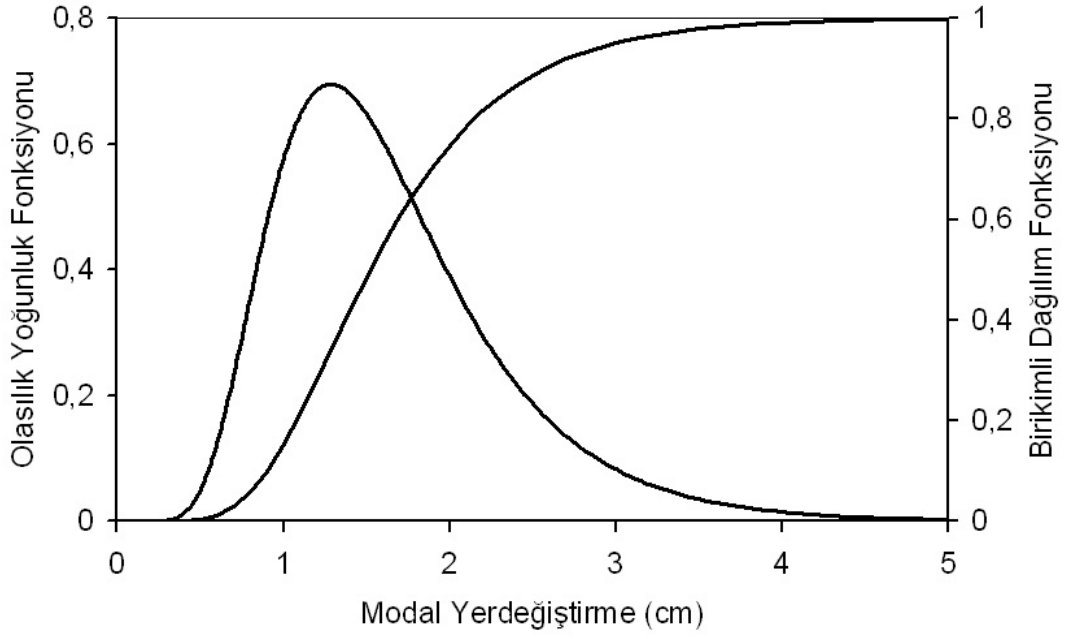


Şekil 4.51 Olasılık hesabı

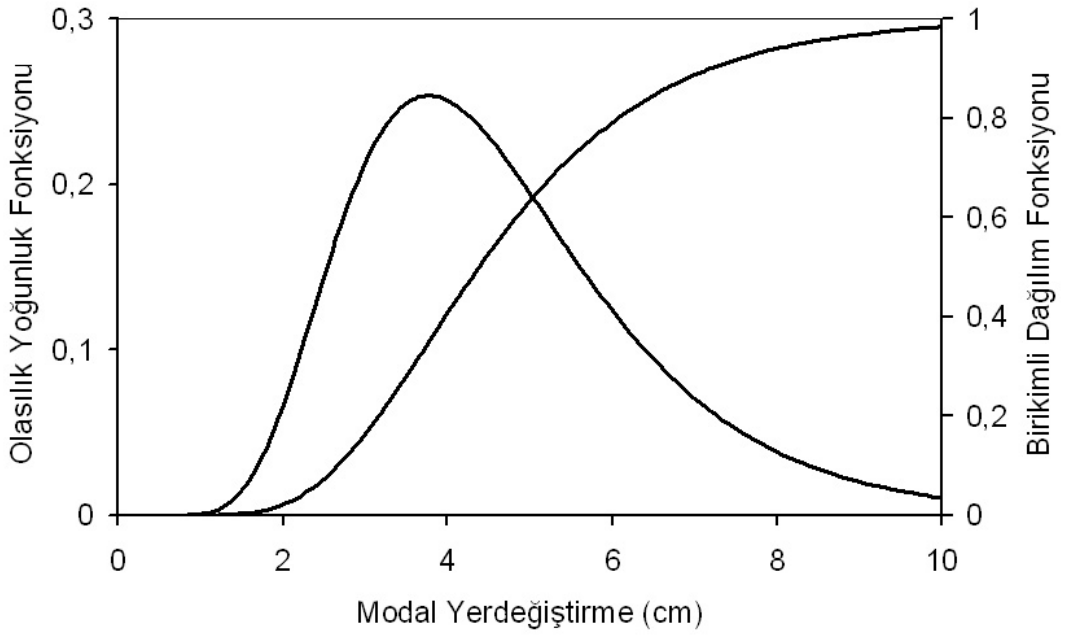
Aynı işlemler tekrarlanarak çalışmada kullanılan her bir bina grubu için hasar seviyelerine ait lognormal birikimli dağılım fonksiyonları oluşturulmuştur. Bu fonksiyonlara ait grafikler Şekil 4.52 – Şekil 4.63’de verilmiştir.



Şekil 4.52 3-4 katlı binaların hafif hasar seviyesine ait olasılık yoğunluk ve birikimli dağılım fonksiyonlarının grafikleri

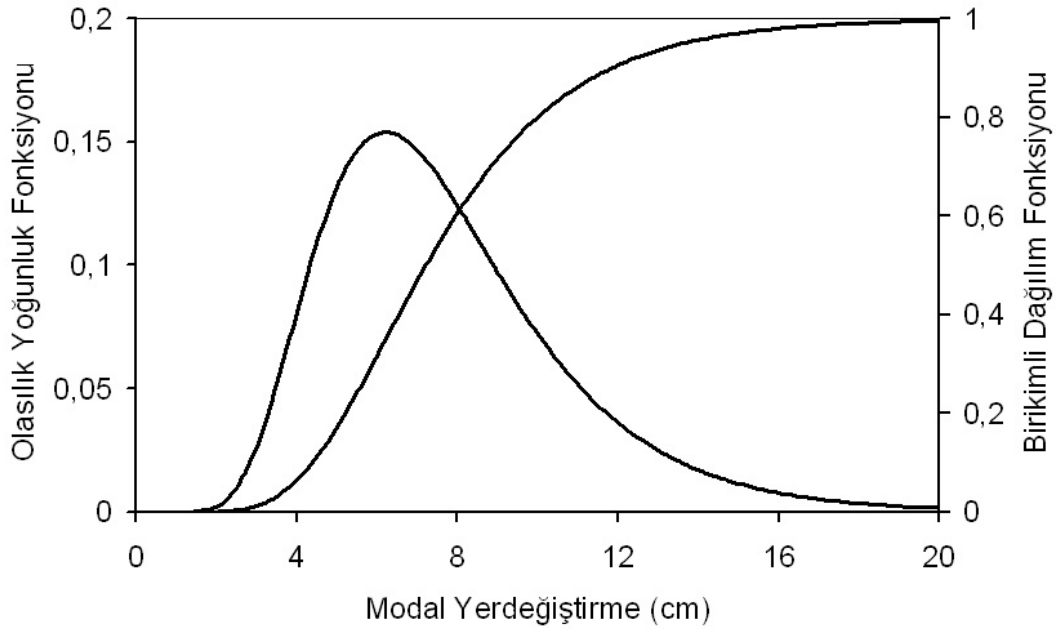


Şekil 4.53 3-4 katlı binaların orta hasar seviyesine ait olasılık yoğunluk ve birikimli dağılım fonksiyonlarının grafikleri

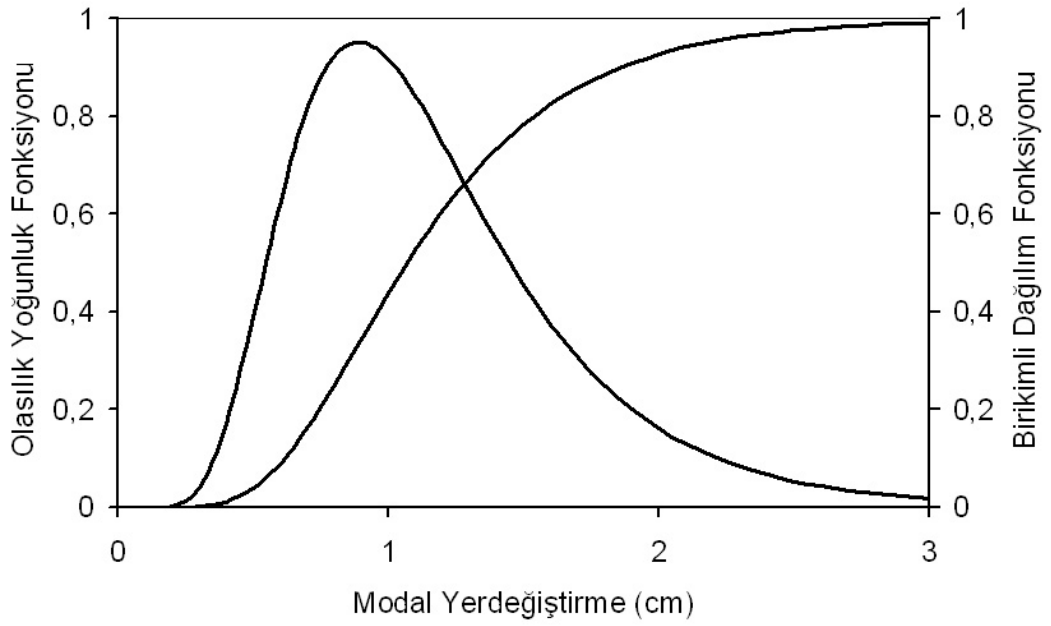


Şekil 4.54 3-4 katlı binaların ileri hasar seviyesine ait olasılık yoğunluk ve birikimli dağılım fonksiyonlarının grafikleri

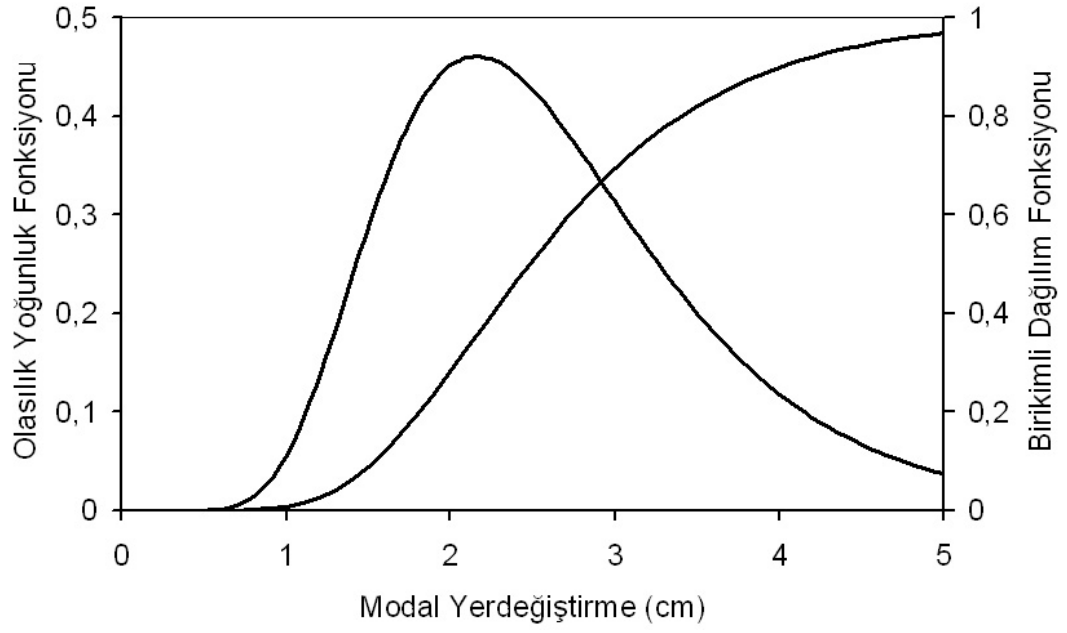




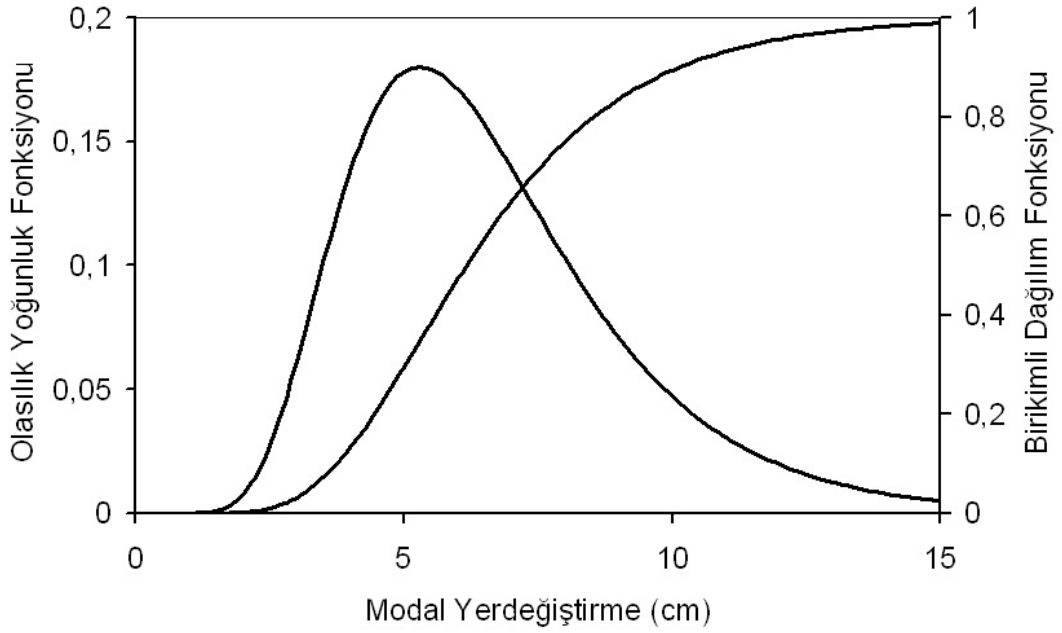
Şekil 4.55 3-4 katlı binaların göçme seviyesine ait olasılık yoğunluk ve birikimli dağılım fonksiyonlarının grafikleri



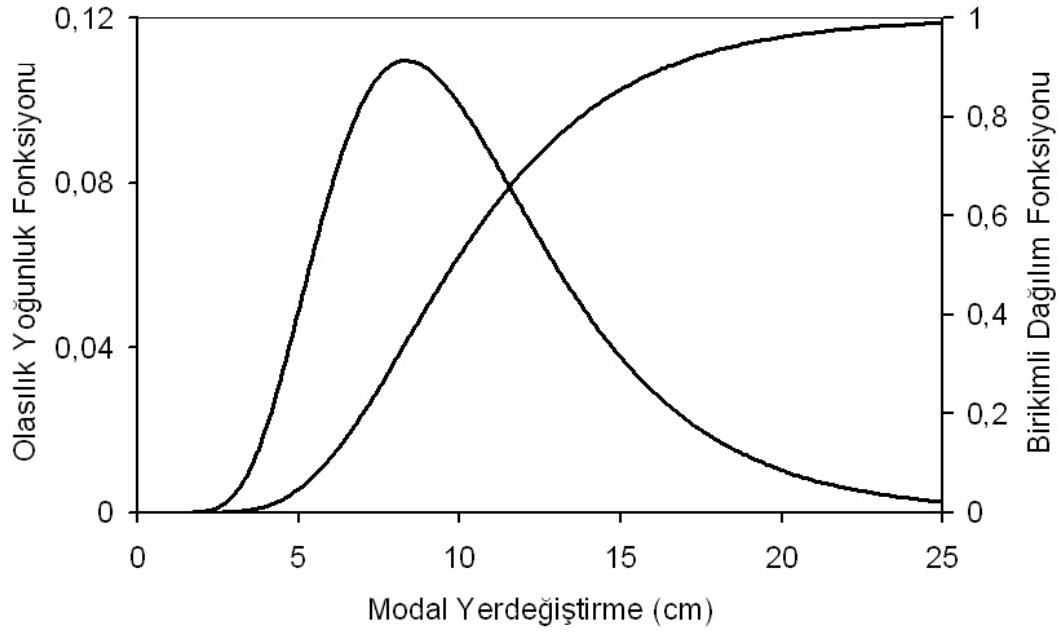
Şekil 4.56 5-6 katlı binaların hafif hasar seviyesine ait olasılık yoğunluk ve birikimli dağılım fonksiyonlarının grafikleri



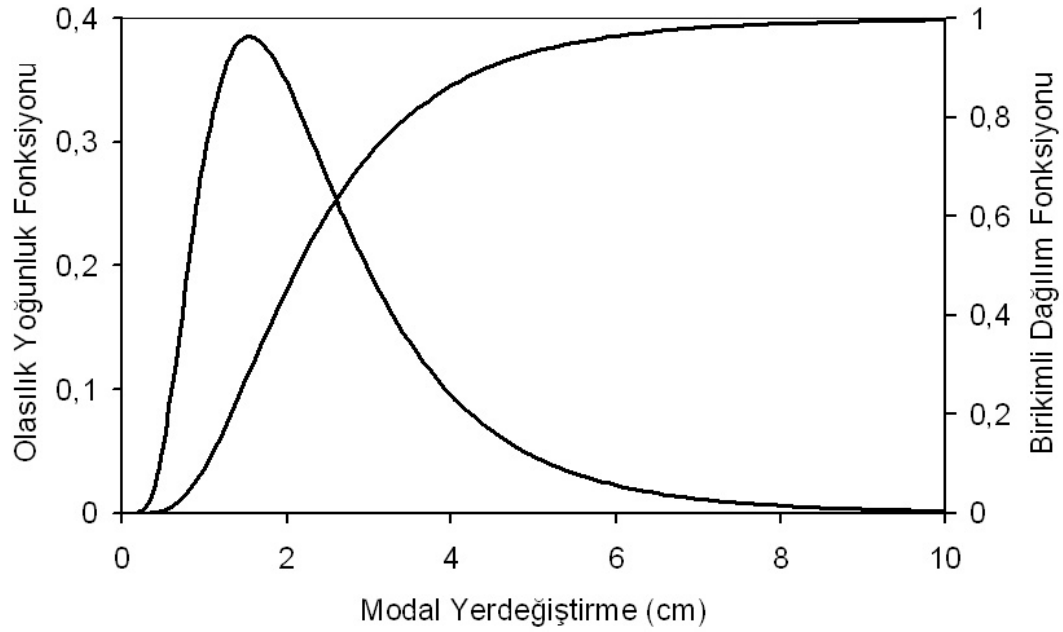
Şekil 4.57 5-6 katlı binaların orta hasar seviyesine ait olasılık yoğunluk ve birikimli dağılım fonksiyonlarının grafikleri



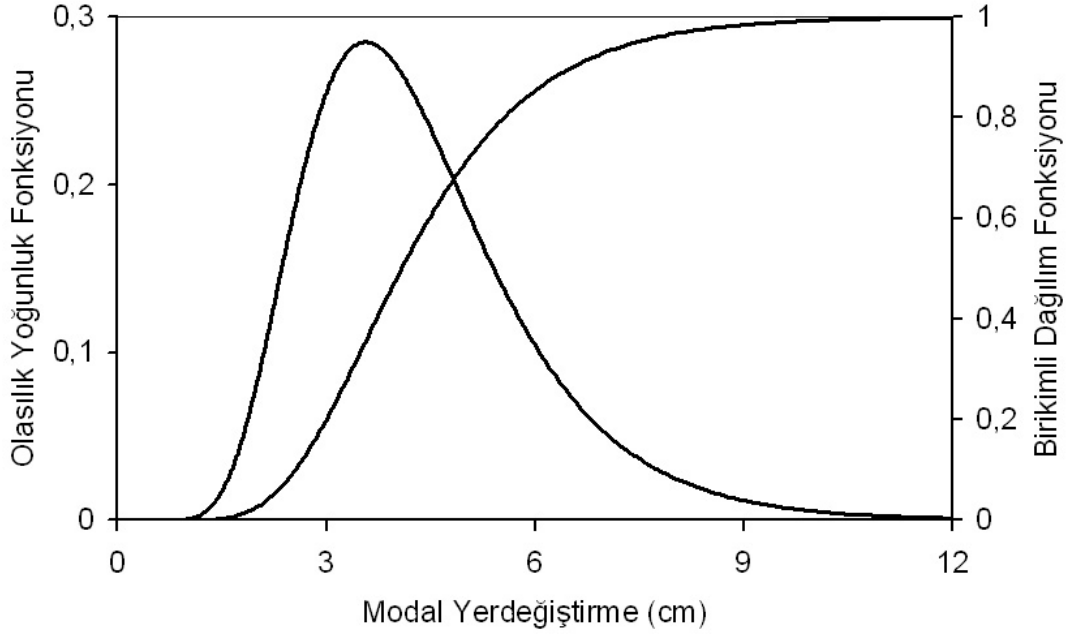
Şekil 4.58 5-6 katlı binaların ileri hasar seviyesine ait olasılık yoğunluk ve birikimli dağılım fonksiyonlarının grafikleri



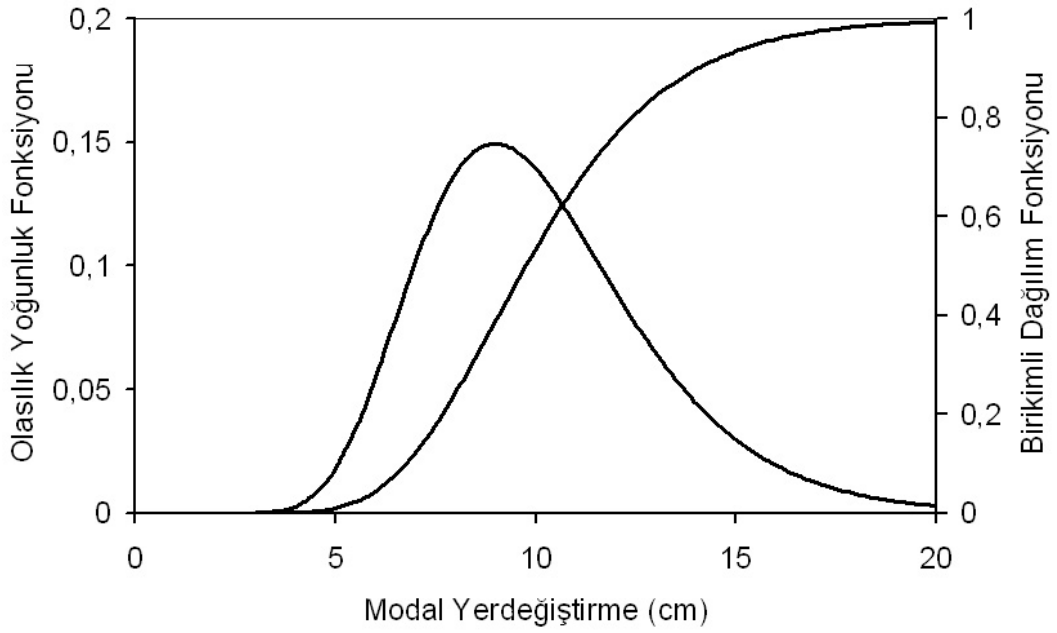
Şekil 4.59 5-6 katlı binaların göçme seviyesine ait olasılık yoğunluk ve birikimli dağılım fonksiyonlarının grafikleri



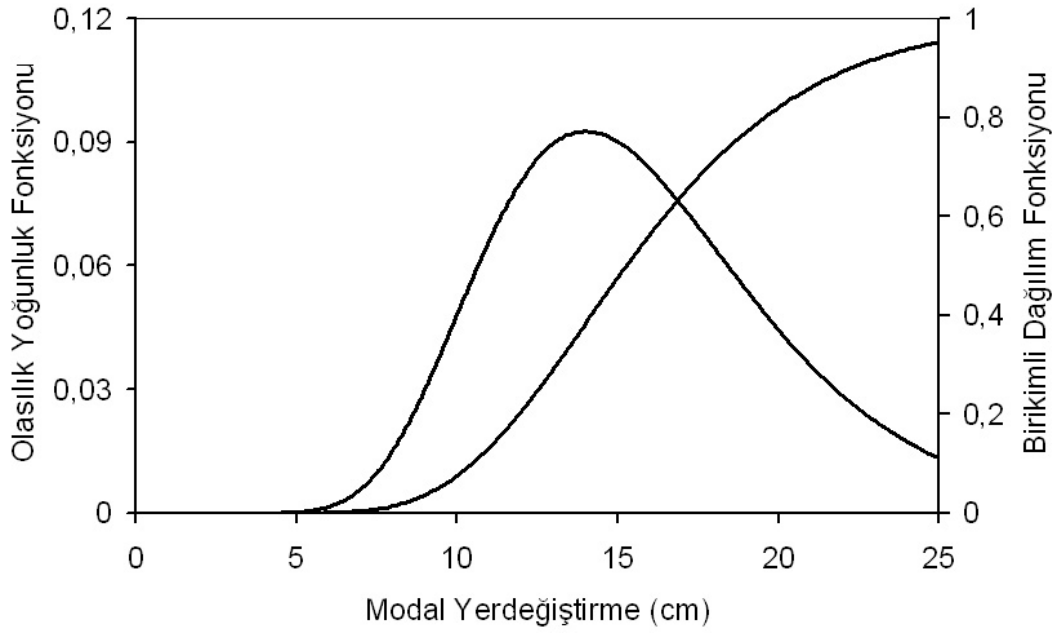
Şekil 4.60 7-8 katlı binaların hafif hasar seviyesine ait olasılık yoğunluk ve birikimli dağılım fonksiyonlarının grafikleri



Şekil 4.61 7-8 katlı binaların orta hasar seviyesine ait olasılık yoğunluk ve birikimli dağılım fonksiyonlarının grafikleri

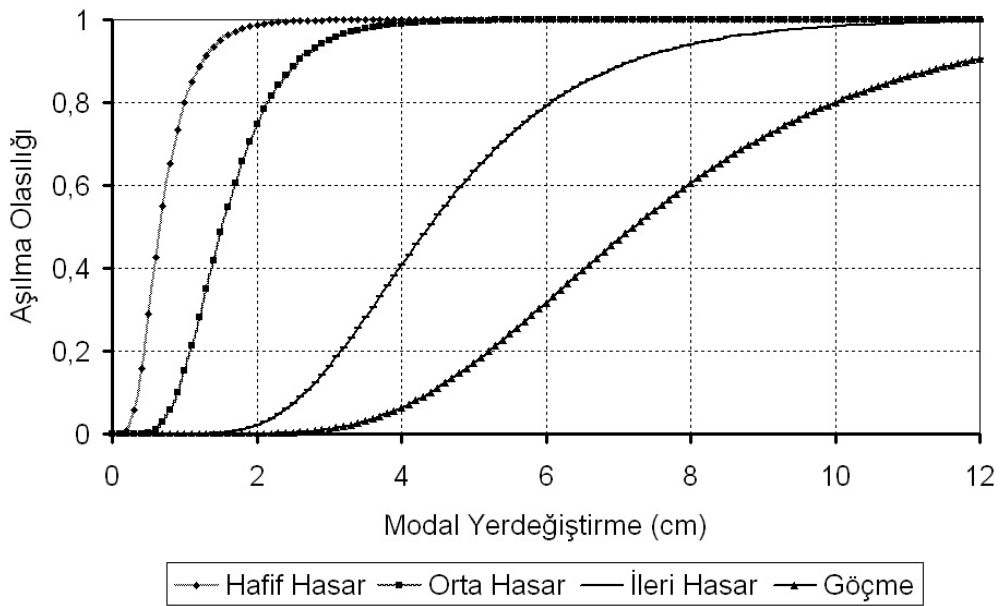


Şekil 4.62 7-8 katlı binaların ileri hasar seviyesine ait olasılık yoğunluk ve birikimli dağılım fonksiyonlarının grafikleri

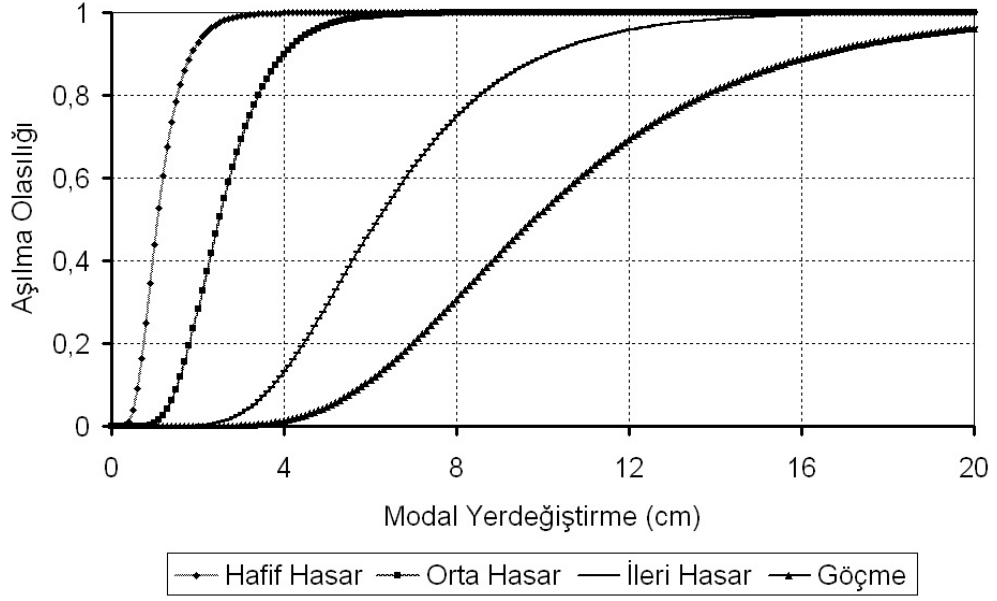


Şekil 4.63 7-8 katlı binaların göçme seviyesine ait olasılık yoğunluk ve birikimli dağılım fonksiyonlarının grafikleri

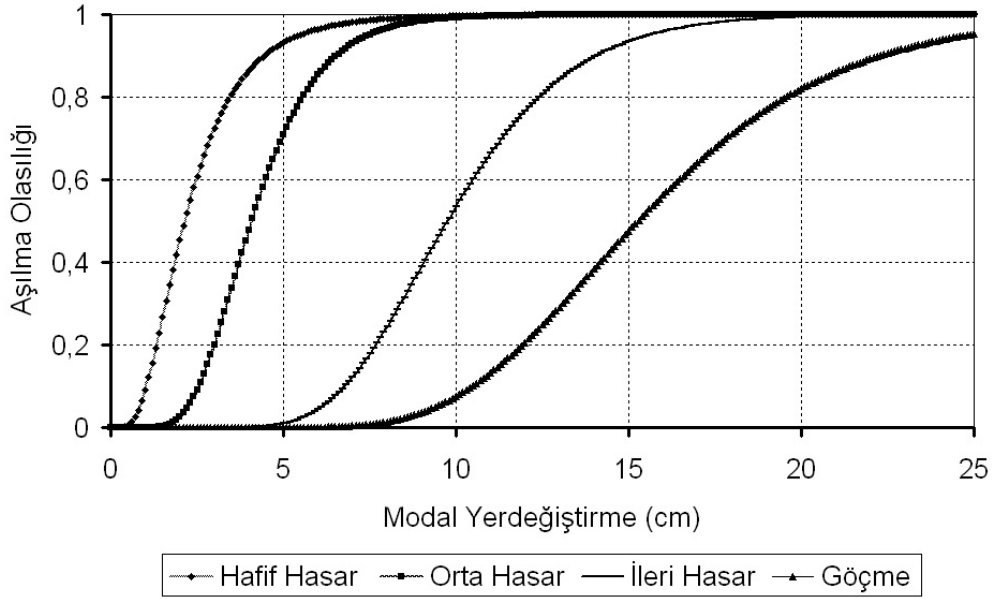
Oluşturulan bu lognormal birikimli dağılım fonksiyonları çalışmanın sonuç ürünü olan hasargörebilirlik eğrilerini tanımlamaktadır. Her bir bina grubunun her hasar seviyesi için elde edilen birikimli dağılım fonksiyonları birleştirilerek bina sınıflarına ait hasargörebilirlik eğrileri oluşturulmuştur. Oluşturulan sonuç hasargörebilirlik eğrileri Şekil 4.64-Şekil 4.66'da verilmiştir.



Şekil 4.64 3-4 katlı binalar için hasargörebilirlik eğrileri



Şekil 4.65 5-6 katlı binalar için hasargörebilirlik eğrileri



Şekil 4.66 7-8 katlı binalar için hasargörebilirlik eğrileri

#### 4.9 Örneklem Dağılımları Kullanılarak Hasargörebilirlik Eğrilerinin Güven Aralıklarının Oluşturulması

Çalışmanın bu aşamasında elde edilen bina verisinden elde edilen istatistikler kullanılarak benzer özellikler sahip bütün binalar için geçerli olacak kitle parametresi

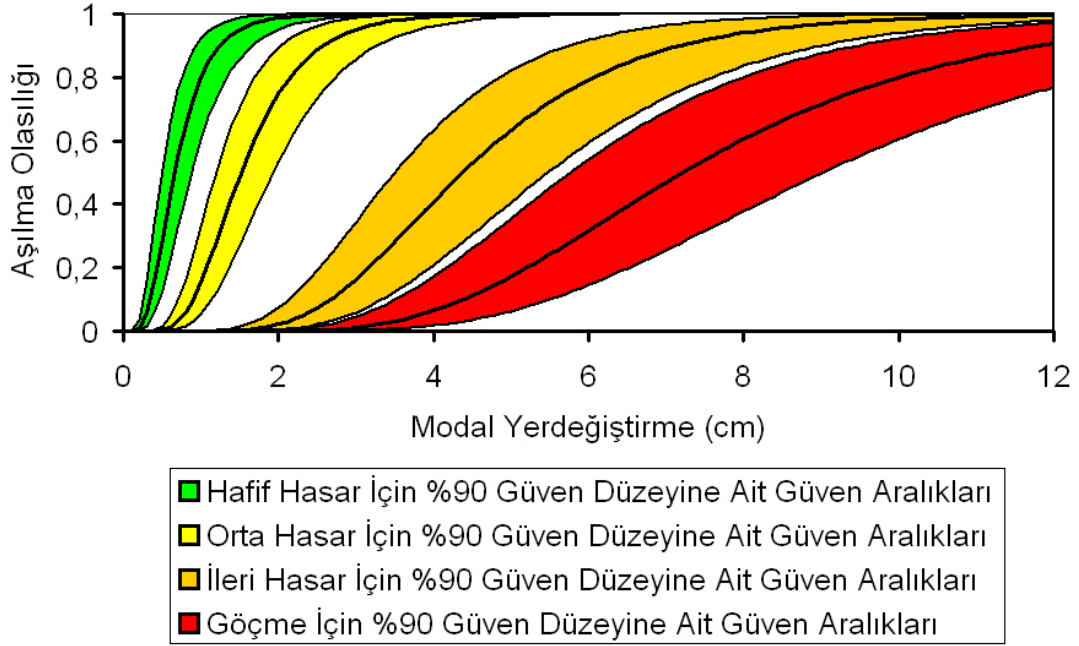
tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla çalışmanın sonuç ürünü olan hasargörebilirlik eğrilerinin ortalama değerleri için örnekleme dağılımları kullanılarak güven aralıkları oluşturulmuştur.

Mevcut tüm betonarme binaları tek tek ele alıp değerlendirmek mümkün olmadığından dolayı bu çalışmada kitlenin standart sapması bilinmemektedir. Bu nedenle eldeki örneklemden hesaplanan standart sapma değerleri kullanılarak kitle ortalaması için güven aralıkları oluşturulmuştur. Çalışmada, hasargörebilirlik eğrilerinin ortalamasına ilişkin güven aralıklarının belirlenmesinde t dağılımı (t istatistiği) kullanılmıştır. Her bina grubu bir örneklem olarak alındığında bu örneklemden eleman sayısı  $N=10$  olmaktadır. Çalışmada hasargörebilirlik eğrilerinin ortalamasına ilişkin seçilen güven düzeyi  $1-\alpha = 0,90$ 'dır. %90 güven düzeyi risk esaslı çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Wen ve Ellingwood, 2005). Bu güven düzeyine ait güven aralığının alt sınır ve üst sınır değerleri hesaplanmıştır. Analitik hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulmasında kullanılan ortalama değerler ile %90 güven düzeyine ait güven aralığının sınır değerleri Tablo 4.10'da verilmiştir.

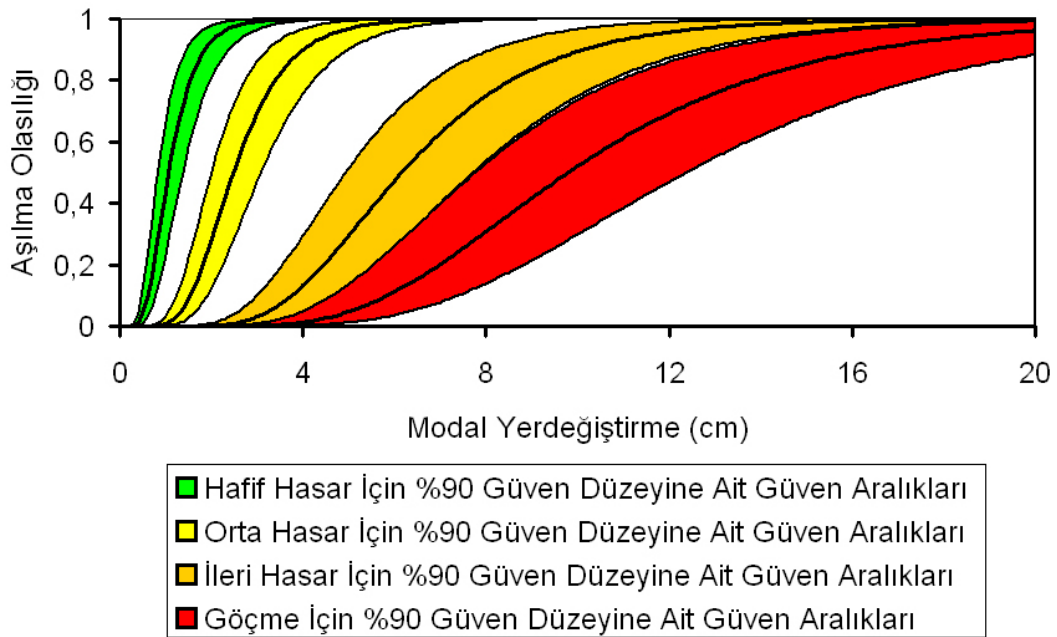
Tablo 4.10 Hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulmasında kullanılan ortalama değerler ve %90 güven düzeyine ait güven aralığının sınır değerleri

<b>Hasargörebilirlik Eğrilerine Ait Parametreler</b>							
Bina Sınıfı	Sınır Hasar Seviyeleri	Ortalama Değerler		%90 Güven Aralığına Ait Üst Sınır Değerler		%90 Güven Aralığına Ait Alt Sınır Değerler	
		$\overline{S_{di}}$ (cm)	$\beta_i$	$\overline{S_{di}}$ (cm)	$\beta_i$	$\overline{S_{di}}$ (cm)	$\beta_i$
3-4 Katlı	Hafif Hasar	0,719	0,4976	0,994	0,4976	0,558	0,4976
	Orta Hasar	1,598	0,4103	2,101	0,4103	1,305	0,4103
	İleri Hasar	4,554	0,3869	5,905	0,3869	3,773	0,3869
	Göçme	7,509	0,3872	9,727	0,3872	6,215	0,3872
5-6 Katlı	Hafif Hasar	1,114	0,4302	1,505	0,4302	0,914	0,4302
	Orta Hasar	2,528	0,3740	3,307	0,3740	2,142	0,3740
	İleri Hasar	6,310	0,3872	8,314	0,3872	5,312	0,3872
	Göçme	10,091	0,4025	13,410	0,4025	8,415	0,4025
7-8 Katlı	Hafif Hasar	2,432	0,5703	3,499	0,5703	1,806	0,5703
	Orta Hasar	4,222	0,3669	5,400	0,3669	3,527	0,3669
	İleri Hasar	9,824	0,2852	11,973	0,2852	8,608	0,2852
	Göçme	15,425	0,2943	18,922	0,2943	13,441	0,2943

Tablo 4.10'daki değerler dikkate alınarak bina sınıflarının farklı hasar seviyelerine ait hasargörebilirlik eğrileri tekrar oluşturulmuştur. Oluşturulan %90 güvenirlilikli hasargörebilirlik eğrileri 3-4 katlı binalar için Şekil 4.67'de, 5-6 katlı binalar için Şekil 4.68'de ve 7-8 katlı binalar için Şekil 4.69'da verilmiştir.

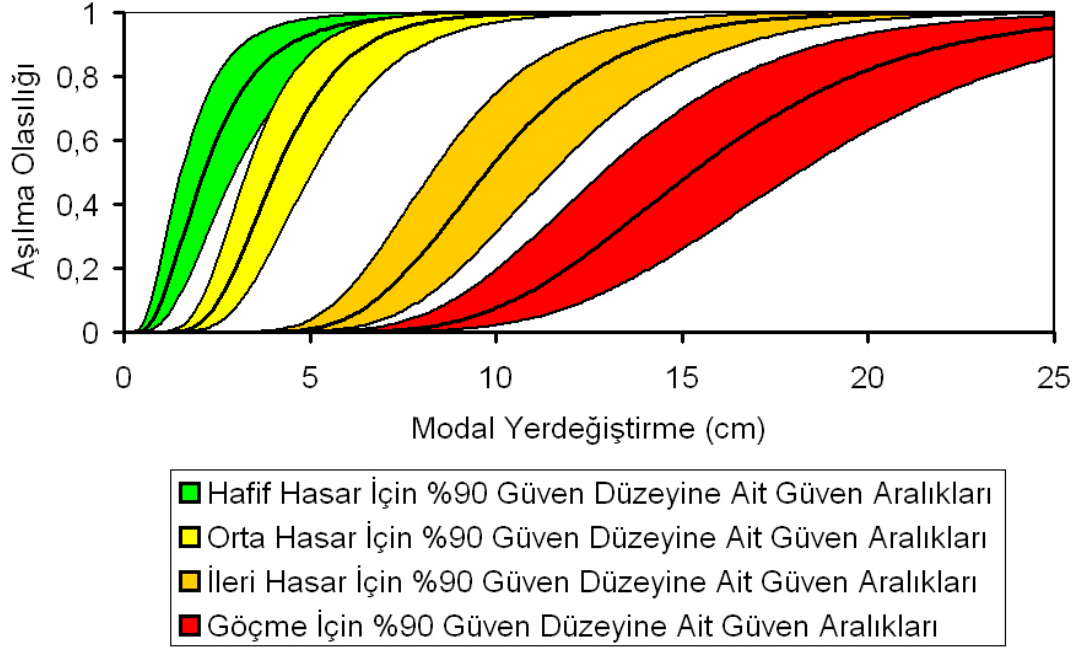


Şekil 4.67 3-4 katlı binalar için %90 güven aralıklı hasargörebilirlik eğrileri



Şekil 4.68 5-6 katlı binalar için %90 güven aralıklı hasargörebilirlik eğrileri





şekil 4.69 7-8 katlı binalar için %90 güven aralıklı hasargörebilirlik eğrileri

## **BÖLÜM BEŞ**

### **OLUŞTURULAN HASARGÖREBİLİRLİK EĞRİLERİNİN HASAR TAHMİN ÇALIŞMALARINDA KULLANILMASI**

#### **5.1 Giriş**

Önceden tanımlanmış bir hasar seviyesine ulaşılması veya aşılması olasılığını belirli bir deprem parametresi ile ilişkilendiren hasargörebilirlik eğrilerinin farklı deprem senaryoları için kentlerdeki mevcut bina stokuna ait olası hasar oranlarının belirlenmesine yönelik kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Hasargörebilirlik eğrilerin kullanılmasıyla olası depremlerde binalarda oluşabilecek çeşitli hasar seviyeleri hakkında önceden bilgi sahibi olunabilmekte ve farklı seviyelerde yapısal hasara maruz kalacak bina sayısı tahmin edilebilmektedir. Bu tip bilgiler kentlerin deprem afeti planlamalarında öncelikli önem teşkil etmektedir. Ayrıca söz konusu bilgiler kullanılarak depremlerde oluşabilecek ekonomik kayıpların tahmin edilmesine yönelik çalışmalar da yapılabilmektedir.

Bu bölümde çalışma kapsamına oluşturulan hasargörebilirlik eğrilerinin muhtemel depremlerde binalarda oluşabilecek hasarın tahmini amacıyla kullanımı ana hatlarıyla açıklanmıştır.

#### **5.2 Birikimli Hasar Olasılıklarının Belirlenmesi**

Bu çalışmada oluşturulan hasargörebilirlik eğrileri, olası depremlerde mevcut binalarda meydana gelebilecek hasar dağılımının tahmin edilmesinde Kapasite Spektrumu Yöntemi, Deprem Yönetmeliği-2007’de verilen ardışık yaklaşım gibi binaların performans noktasının (yerdeğiştirme isteminin) belirlenmesine yönelik yöntemlerle birlikte kullanılabilir.

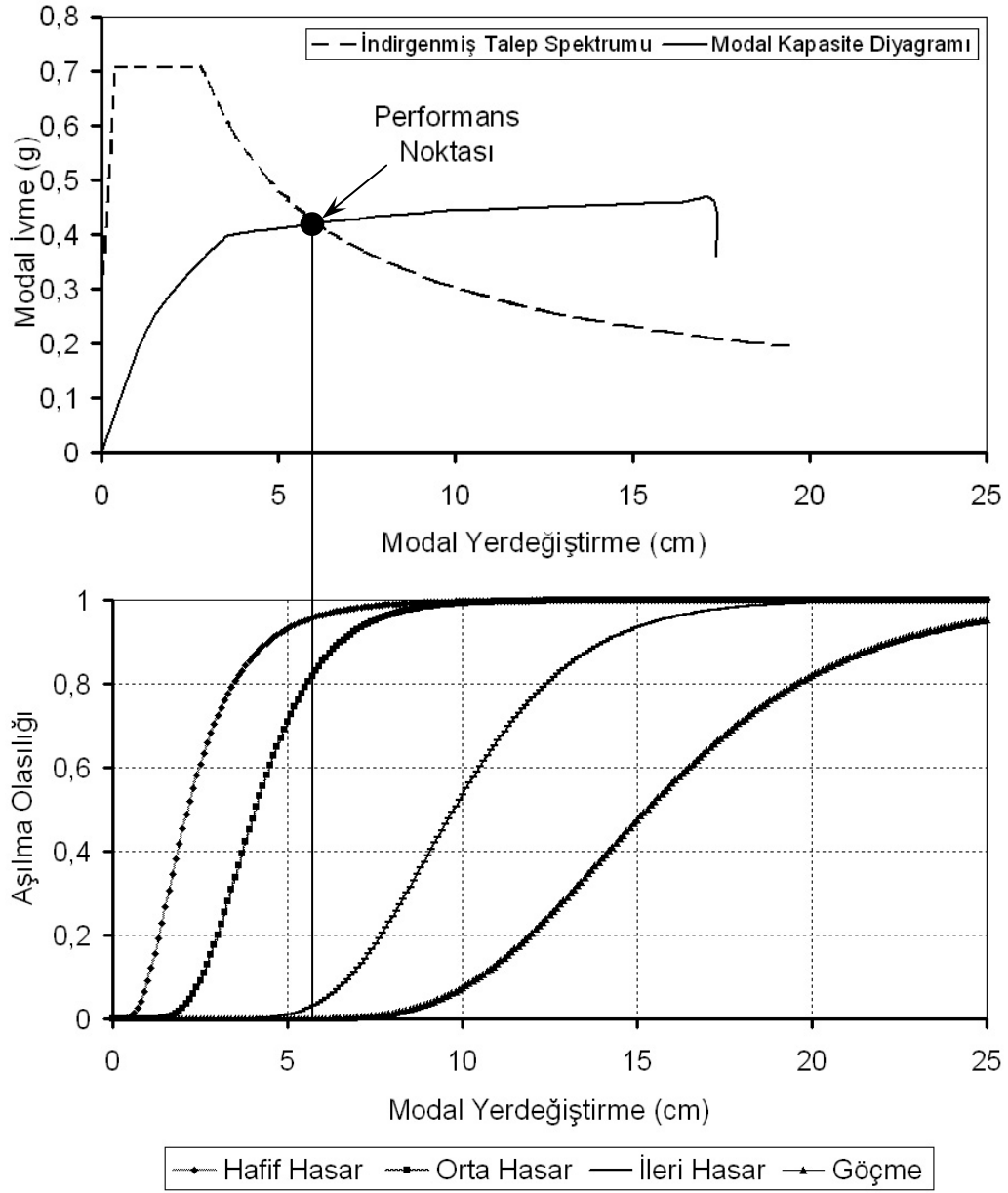
Kapasite Spektrumu Yöntemi’nin esası deprem etkileri altında plastik deformasyonların meydana geldiği çok serbestlik dereceli sistemin uygun bir sönüm

oranına sahip eşdeğer tek serbestlik dereceli sistem olarak modellenebileceği kabulüne dayanmaktadır (Bommer ve diğer., 2002). Oluşan plastik deformasyonlar binanın sönüm oranı arttırmakta, dolayısıyla da deprem talebini azaltmaktadır. Kapasite Spektrumu Yöntemi'nde elastik deprem talep spektrumu belli katsayılar kullanılarak indirgenmekte ve bina modal kapasite diyagramı ile birlikte aynı grafik üzerine çizilerek ardışık bir yaklaşım yolu ile binaya ait performans noktası (yerdeğiştirme istemi) belirlenmektedir. Bu yöntemde, performans noktası binaya ait kapasite spektrumu ile deprem talep spektrumunun kesim noktasıdır.

Deprem Yönetmeliği-2007'de açıklanan yaklaşımda ise artımsal itme analizi sonucu koordinatları modal yerdeğiştirme-modal ivme olarak oluşturulan birinci (hakim) moda ait modal kapasite diyagramı, farklı aşılma olasılıklarına sahip depremler için tanımlanan elastik davranış spektrumu ile birlikte kullanılarak birinci moda ait modal yerdeğiştirme istemi belirlenmektedir (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007).

Hasar tahmin çalışmalarında tüm binaların tek tek ele alınıp değerlendirilmesi mümkün olmadığından her bina sınıfı ortalama bir modal kapasite diyagramı ile temsil edilmektedir. Binanın bulunduğu bölge için oluşturulacak (veya yönetmeliklerde tanımlanan) deprem talep spektrumu da dikkate alınarak yukarıda açıklanan yöntemlerden birisi kullanılarak binanın modal yerdeğiştirme cinsinden performans noktası belirlenmektedir. Performans noktasındaki modal yerdeğiştirme değeri ile hasargörebilirlik eğrilerine girilmekte ve modal yerdeğiştirmenin bu değeri için yapısal hasarın ilgili hasar seviyesine erişmesinin veya aşmasının birikimli olasılığı bulunmaktadır.

Hasargörebilirlik eğrilerinin Kapasite Spektrumu Yöntemi ile birlikte kullanımı Şekil 5.1'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Yapısal hasarın birikimli olasılığının belirlenmesi

### 5.3 Ayrık Hasar Olasılıklarının Hesaplanması

Sınır hasar seviyelerine ait birikimli olasılıkların farkları alınarak hasar bölgelerine ait ayrık olasılıklar hesaplanmaktadır. Bu çalışmada elde edilen hasargörebilirlik eğrileri kullanılarak oluşturulan beş farklı hasar bölgesine ait ayrık olasılık değerleri aşağıdaki gibi hesaplanabilir. Bu bağıntılardaki  $P_{fi}$  ( $i = 1, \dots, 4$ ) değerleri çalışmada belirlenen hasar seviyelerine ait birikimli olasılık değerleridir.

$$P_{\text{Hasarsızlık}} = 1 - P_{f1} \quad (5.1a)$$

$$P_{\text{Hafif Hasar}} = P_{f1} - P_{f2} \quad (5.1b)$$

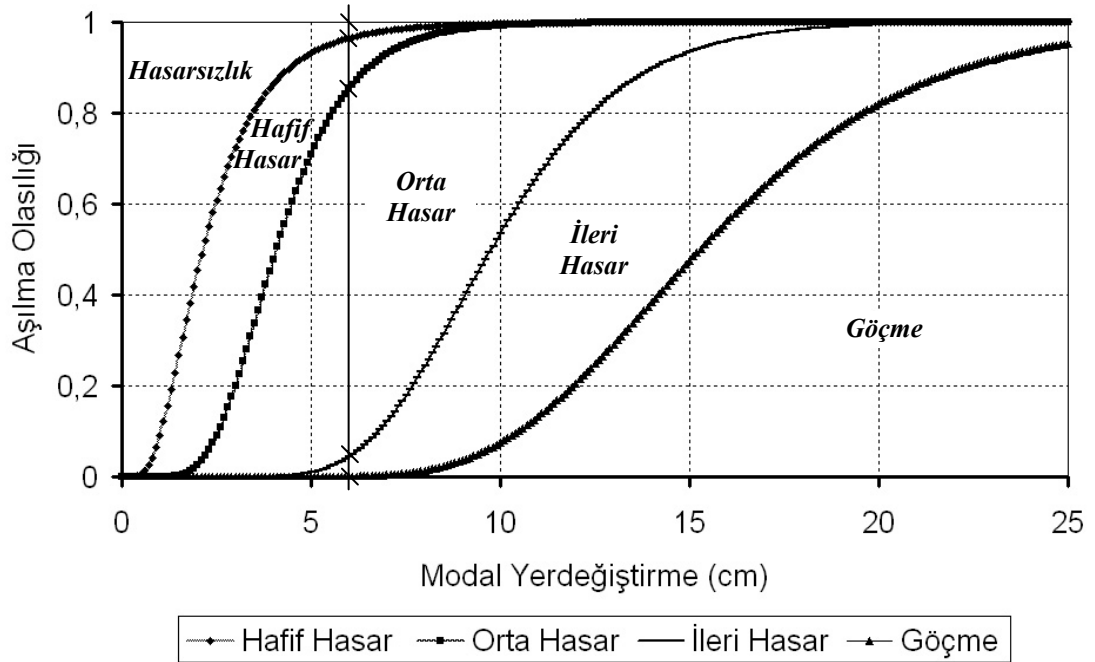
$$P_{\text{Orta Hasar}} = P_{f2} - P_{f3} \quad (5.1c)$$

$$P_{\text{İleri Hasar}} = P_{f3} - P_{f4} \quad (5.1d)$$

$$P_{\text{Göçme}} = P_{f4} \quad (5.1e)$$

Sonuç olarak her bir bina türü için elde edilen ayırık hasar olasılıkları, ilgili bölgedeki bina sayıları ile çarpılarak farklı seviyelerde hasara maruz kalacak bina sayıları tahmin edilmektedir.

Hasargörebilirlik eğrileri üzerinden ayırık hasar olasılıklarının belirlenmesi Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Ayrık hasar olasılıklarının belirlenmesi

## BÖLÜM ALTI

### SONUÇLAR

Binaların deprem performansı ile ilişkili hasara bağlı olarak ortaya çıkan can ve mal kayıpları ile diğer ekonomik ve sosyal kayıpların tahmin edilebilmesi ve bu kayıpların azaltılmasına yönelik önlemlerin alınabilmesi bakımından deprem riski taşıyan bölgelerdeki mevcut bina stokunun hasargörebilirliğinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaca yönelik olarak, önceden tanımlanan belirli bir hasar seviyesine ulaşılması veya aşılması olasılığını belirli bir deprem parametresi ile ilişkilendiren hasargörebilirlik eğrileri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu tez kapsamında, hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulmasında kullanılan geleneksel yaklaşımlardan farklı olarak, belli bir yerleşim bölgesi ele alınarak, bu bölgede yapılan sokak taraması ile belirlenen gerçek çok sayıda farklı betonarme binanın, mevcut geometri ve malzeme özellikleri dikkate alınarak hazırlanan detaylı üç boyutlu hesap modelleri üzerinden gerçekleştirilen artımsal itme analizlerinin sonuçları kullanılarak analitik hasargörebilirlik eğrileri oluşturulmuştur. Böylece, Türkiye'deki mevcut betonarme bina stokunun büyük kısmını oluşturan az ve orta katlı çerçeve/perde-çerçeve taşıyıcı sistemli betonarme binaların hasar görebilme olasılıklarının belirlenmesinde kullanılmak üzere daha gerçekçi bir yöntem çalışması yapılmıştır. Ayrıca, olası depremlerde oluşabilecek çeşitli hasar seviyelerinin ve kayıpların tahmininde kullanılmak üzere, ülkemiz genel ya da bölgesel yapı stoku koşullarına uygun hasargörebilirlik bilgileri elde edilmiştir.

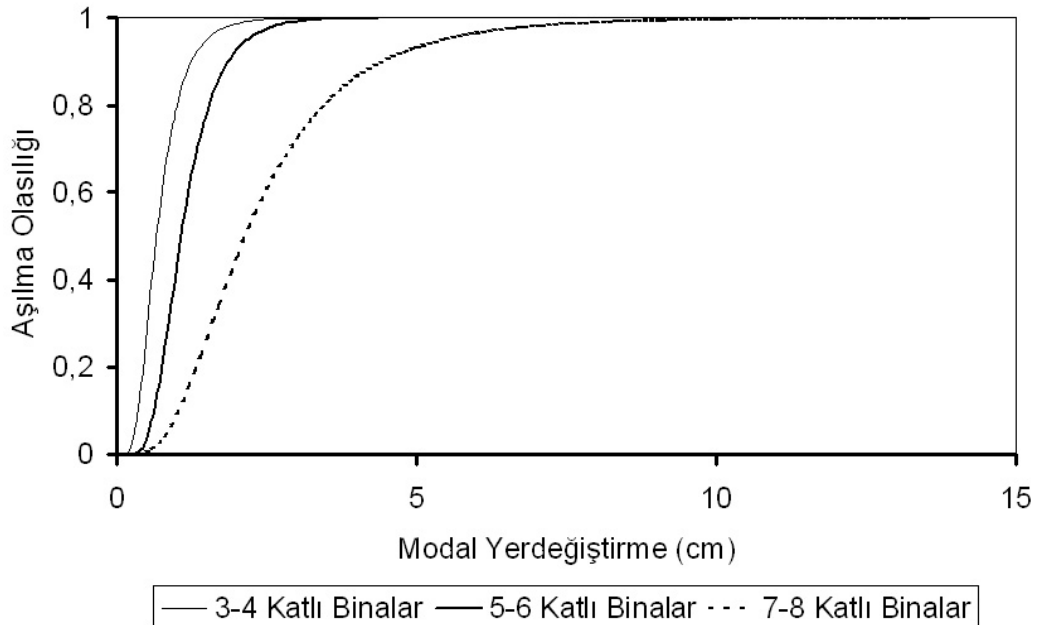
Tez kapsamında, ele alınan mevcut betonarme binalar için oluşturulan hasargörebilirlik eğrilerinin değerlendirilmesinden elde edilen sonuçlar ve bu binaların üç boyutlu hesap modelleri üzerinden gerçekleştirilen artımsal itme analizi yöntemi sonuçları aşağıdaki paragraflarda açıklanmıştır.

Tez kapsamında oluşturulan hasargörebilirlik eğrilerinin eğimi, ilgili sınır hasar seviyeleri için modal yerdeğiştirme değerlerinin doğal logaritmalarına ait standart sapmayı ifade eden  $\beta_{ds_i}$  parametresi tarafından kontrol edilmektedir. Modal

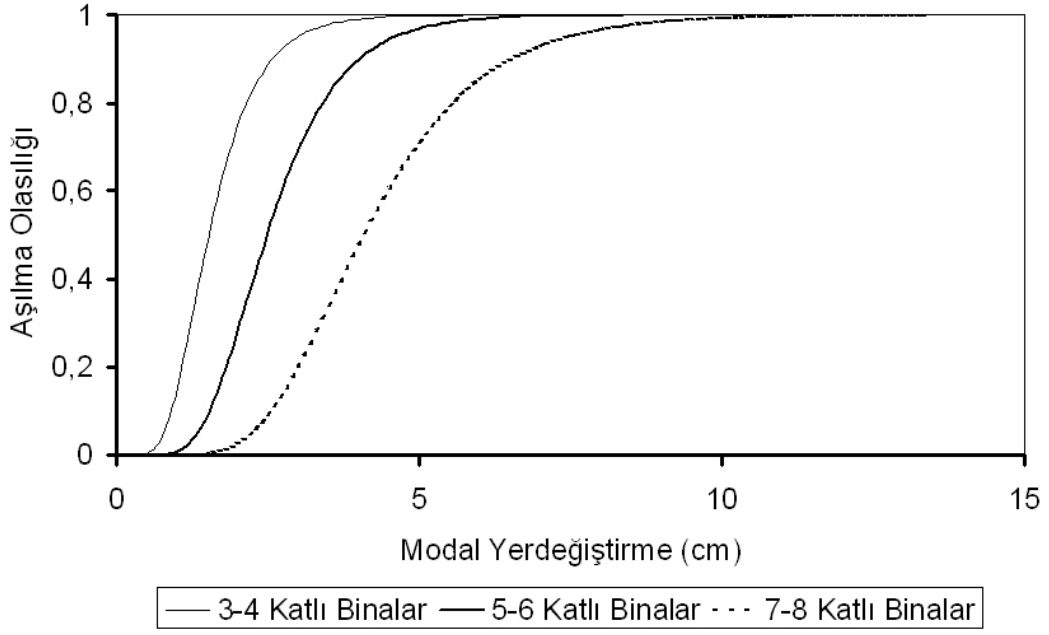
yerdeğiştirmenin aynı değerleri için  $\beta_{ds_i}$  değeri büyük olan eğrinin eğimi daha az,  $\beta_{ds_i}$  değeri küçük olan eğrinin eğimi ise daha fazladır. Yani  $\beta_{ds_i}$  'nın küçük değerleri için hasargörebilirlik eğrileri daha diktir.

3-4 katlı, 5-6 katlı ve 7-8 katlı binaların farklı hasar seviyeleri için Bölüm 4.8.2'de verilen hasargörebilirlik eğrileri incelendiğinde, her bina sınıfı için Hafif Hasar ve Orta Hasar seviyelerine ait hasargörebilirlik eğrilerinin birbirine daha yakın olduğu görölmektedir. Bunun nedeni, binanın taşıyıcı elemanlarında ilk plastik şekildeğiştirmeler meydana geldikten sonra, binanın modal yerdeğiştirmenin artan değerleri için hızlı bir şekilde akma taban kesme kuvveti kapasitesine erişmedir. Başka bir değişle, binadaki hasar hızlı bir şekilde Hafif Hasar Bölgesi'ni terk edip, Orta Hasar Bölgesi'nde yoğunlaşmaktadır.

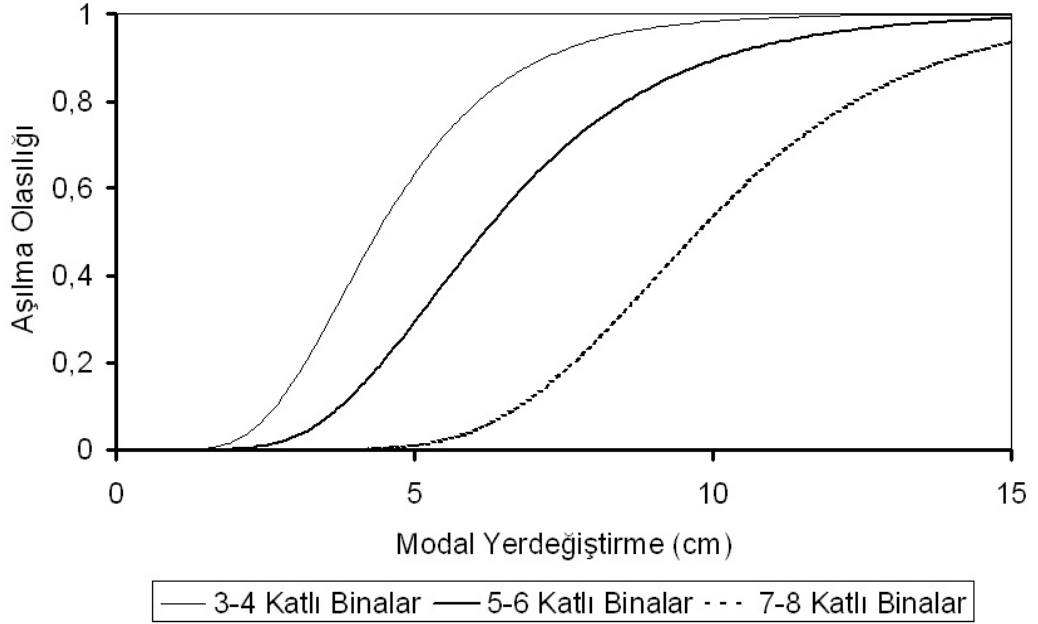
Tez kapsamında dikkate alınan 3-4 katlı, 5-6 katlı ve 7-8 katlı betonarme binaların aynı hasar seviyelerine ait hasargörebilirlik eğrileri Şekil 6.1-Şekil 6.4'de gösterilmiştir.



Şekil 6.1 Hafif hasar seviyesine ait hasargörebilirlik eğrileri

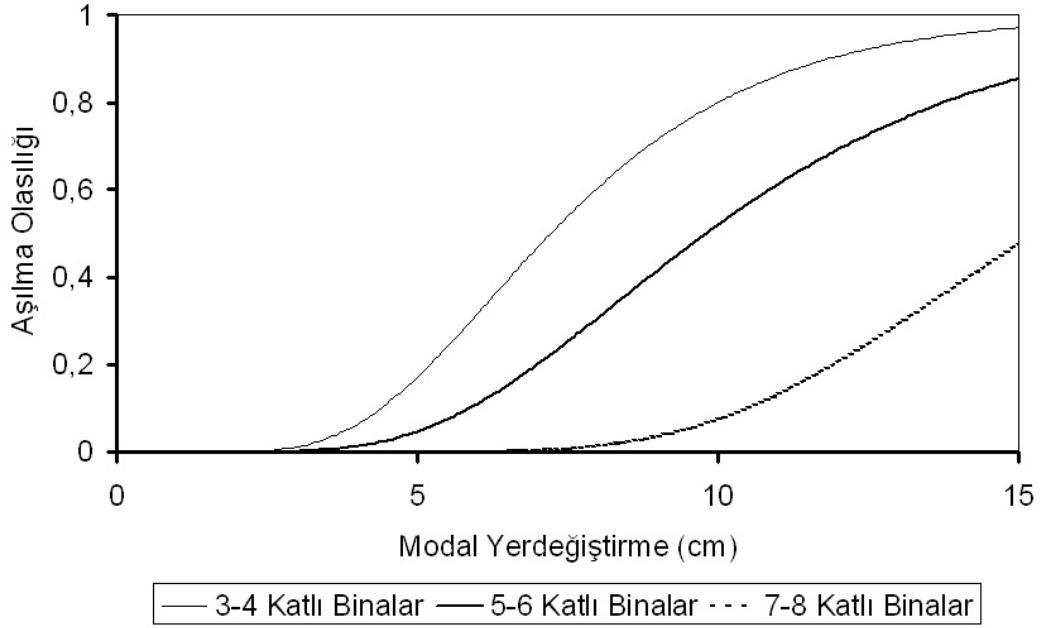


Şekil 6.2 Orta hasar seviyesine ait hasargörebilirlik eğrileri



Şekil 6.3 İleri hasar seviyesine ait hasargörebilirlik eğrileri





Şekil 6.4 Göçme seviyesine ait hasargörebilirlik eğrileri

Şekil 6.1–Şekil 6.4 incelendiğinde, 3-4 katlı binaların hasargörebilirlik eğrileri ile 5-6 katlı binaların hasargörebilirlik eğrilerinin özellikle Hafif Hasar seviyesi için birbirine çok yaklaştığı görülmektedir. Bu durum dikkate alınan bina sınıfları için kat sayısının Hafif Hasar seviyesi üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Ayrıca, 3-4 katlı bina grubu ile 5-6 katlı bina grubu için oluşturulan hasargörebilirlik eğrileri dikkate alınan tüm hasar seviyeleri için 7-8 katlı bina grubuna ait eğrilere oranla birbirine daha yakındır. Nispeten yüksek bina sınıfına da sokulabilecek 7-8 katlı binaların hasargörebilirliği diğer bina sınıflarından ayrılmaktadır.

Her bir hasar seviyesi için modal yerdeğiştirme cinsinden tanımlanan sınır değerleri kullanılarak ilgili hasargörebilirlik eğrisine giriş yapılması durumunda karşılık gelen birikimli olasılık değeri %50'dir. Modal yerdeğiştirmenin aynı değeri için hesaplanan en büyük ayırık hasar olasılıkları ise, ilgili hasargörebilirlik eğrisinin sınır teşkil ettiği hasar bölgelerine aittir. Başka bir deyişle, binanın hasar durumunun bu iki hasar bölgesinden birinde olması beklenmektedir ve farklı bir hasar bölgesinde bulunma olasılığı çok düşüktür. Bu iki sonuç durum için hesaplanan birikimli ve ayırık olasılık değerleri Tablo 6.1'de verilmiştir.

Tablo 6.1 Hasar seviyelerinin sınır değerleri için hesaplanan birikimli ve ayrıklı hasar olasılıkları

Bina Sınıfı	$\overline{S_{di}}$ (cm)	Birikimli Hasar Olasılıkları				Ayrıklı Hasar Olasılıkları				
		Hafif Hasar ( $P_{f1}$ )	Orta Hasar İleri Hasar ( $P_{f2}$ )	İleri Hasar ( $P_{f3}$ )	Göçme ( $P_{f4}$ )	Hasarsızlık ( $1-P_{f1}$ )	Hafif Hasar ( $P_{f1}-P_{f2}$ )	Orta Hasar İleri Hasar ( $P_{f2}-P_{f3}$ )	İleri Hasar ( $P_{f3}-P_{f4}$ )	Göçme ( $P_{f4}$ )
3-4 Katlı	0,719	<b>0,500</b>	0,020	0,000	0,000	0,500	0,480	0,020	0,000	0,000
	1,598	0,954	<b>0,500</b>	0,003	0,000	0,046	0,454	0,497	0,003	0,000
	4,554	1,000	0,995	<b>0,500</b>	0,099	0,000	0,005	0,495	0,401	0,099
	7,509	1,000	1,000	0,901	<b>0,500</b>	0,000	0,000	0,098	0,401	0,500
5-6 Katlı	1,114	<b>0,500</b>	0,012	0,000	0,000	0,500	0,488	0,012	0,000	0,000
	2,528	0,975	<b>0,500</b>	0,009	0,000	0,025	0,475	0,491	0,009	0,000
	6,310	1,000	0,993	<b>0,500</b>	0,125	0,000	0,007	0,492	0,375	0,125
	10,091	1,000	1,000	0,884	<b>0,500</b>	0,000	0,000	0,116	0,384	0,500
7-8 Katlı	2,432	<b>0,500</b>	0,039	0,000	0,000	0,500	0,461	0,039	0,000	0,000
	4,222	0,872	<b>0,500</b>	0,001	0,000	0,128	0,372	0,499	0,001	0,000
	9,824	0,996	0,991	<b>0,500</b>	0,064	0,004	0,005	0,491	0,436	0,064
	15,425	1,000	1,000	0,942	<b>0,500</b>	0,000	0,000	0,058	0,442	0,500

Bina sınıflarının bulunma olasılığının yüksek olduğu hasar bölgelerine ait modal yerdeğiştirme aralıkları, bu tez kapsamında oluşturulan hasargörebilirlik eğrileri kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 6.2’de verilmiştir. Bu tabloda verilen değişim aralıkları için bina sınıflarının belirtilen hasar bölgesinde bulunma olasılıkları, diğer hasar bölgelerinde bulunma olasılıklarına oranla daha yüksektir. Hesaplanan bu değişim aralıkları, benzer özelliklere sahip az ve orta katlı çerçeve/perde-çerçeve taşıyıcı sistemli betonarme binalarda oluşabilecek hasar dağılımının hızlı bir şekilde belirlenmesine önemli katkılar sağlayacaktır. Aynı tablodan, tüm bina sınıflarının modal yerdeğiştirmenin daha geniş değişim aralıkları için Orta Hasar bölgesinde bulunma olasılıklarının daha yüksek olduğu da görülmektedir.

Tablo 6.2 Bina sınıflarının bulunma olasılığı yüksek hasar bölgelerine ait modal yerdeğiştirme aralıkları

Hasar Bölgesi	Modal Yerdeğiştirme Aralığı (cm)		
	3-4 Katlı	5-6 Katlı	7-8 Katlı
<b>Hasarsızlık</b>	0-0,6	0-1,0	0-2,2
<b>Hafif Hasar</b>	0,7-1,4	1,1-2,4	2,3-3,7
<b>Orta Hasar</b>	1,5-4,6	2,5-6,6	3,8-9,9
<b>İleri Hasar</b>	4,7-6,7	6,7-9,0	10,0-14,8
<b>Göçme (Çok Ağır Hasar)</b>	≥ 6,8	≥ 9,1	≥ 14,9

Dikkate alınan bina sınıflarının farklı hasar seviyeleri için Bölüm 4.9’da verilen %90 güven düzeyine sahip hasargörebilirlik eğrileri, hasar tahmin çalışmalarında mevcut bina stokunun hasargörebilirliğine dair daha geniş bir bakış açısı sağlayacaktır. Her aşamasında çok sayıda belirsizliğe ve kabule dayalı olarak oluşturulan hasargörebilirlik eğrilerinde deprem parametresi ile hasar seviyeleri arasında geçerli tek bir bağıntının kurulması oldukça zordur. Her bina sınıfı için daha fazla sayıda binanın dikkate alınması söz konusu güven düzeyine ait güven aralığının daralmasını sağlayacaktır. Bununla birlikte, oluşturulan %90 güvenilirlikli hasargörebilirlik eğrilerinin birbirini kesmemesi, sınır hasar seviyelerinin birbirinden belirgin bir şekilde ayrıldığını göstermektedir.

Hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulmasına yönelik işlemlerden birisi olarak elde edilen ve bina sınıflarının farklı hasar seviyeleri için Bölüm 4.8.2’de verilen olasılık

yoğunluk fonksiyonlarının grafikleri incelendiğinde, bu grafiklerdeki sivriliğin artan hasara bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Bu sivrilik, özellikle 3-4 katlı ve 5-6 katlı bina sınıflarının Hafif Hasar seviyesi için diğer hasar seviyelerindeki sivriliğe oranla daha fazladır. Bunun sonucu olarak modal yerdeğiştirme değerlerindeki ufak artımlar için hesaplanan birikimli olasılık değerlerinde büyük farklar ortaya çıkmaktadır. Aynı grafiklerden, her bir hasar seviyesine ait olasılık yoğunluk fonksiyonunun tepe noktası değerinin, binaların kat sayılarındaki artışa bağlı olarak azaldığı da görülmektedir.

Ayrıca, tez kapsamında kullanılan binaların itme eğrileri değerlendirilerek mevcut bina stokunun genel karakteristikleri yansıtan önemli sonuçlar elde edilmiştir. Hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulmasında esas alınan itme eğrilerinin önemli parametreleri ve bunlara ait istatistikler Tablo 6.3’de verilmiştir.

Tablo 6.3’deki veriler dikkate alınarak binaların yatay yerdeğiştirme cinsinden süneklik kapasiteleri hesaplandığında ( $\mu = \delta_u / \delta_y$ ), çerçeve sistemli binalar için bu değere ait ortalamanın 3,78; perde-çerçeve sistemli binalar için ise 3,28 olduğu görülmektedir. Hesaplanan bu değerler, değerlendirilen binaların süneklik kapasitelerinin oldukça düşük olduğunu göstermektedir. Deprem Yönetmeliği’nde dayanım fazlalığı katsayısının  $D=1,5$  ve deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı, süneklik düzeyi yüksek sistemler olarak projelendirilen binalar için taşıyıcı sistem davranış katsayısının  $R=8$  olduğu hatırlanırsa, bu tip binalar için beklenen yerdeğiştirme sünekliğinin yaklaşık  $\mu=5,333$  gibi bir değer olduğu görülür. Deprem yüklerinin çerçeveler ile perdeler tarafından birlikte taşındığı süneklik düzeyi yüksek sistemler için ise yaklaşık  $\mu=4,667$  gibi bir yerdeğiştirme sünekliği hesaplanmaktadır.

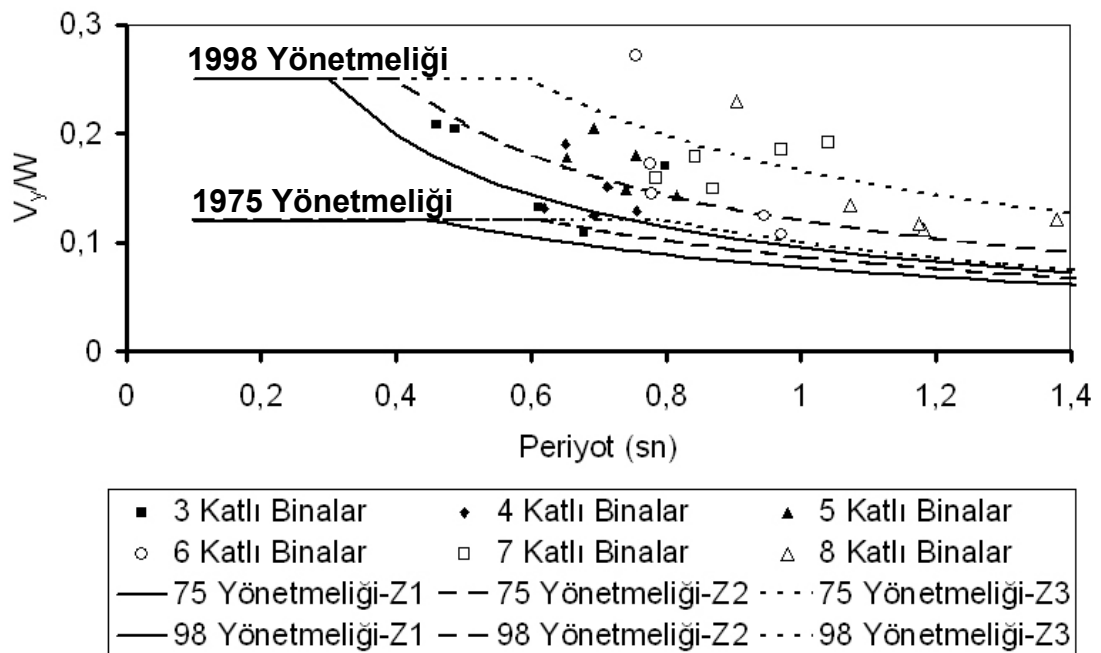
Aynı tablodan, binanın tepe noktasının en büyük yatay yerdeğiştirmesinin ( $\delta_u$ ) toplam bina yüksekliğine ( $H$ ) oranı olarak hesaplanan bina yatay yerdeğiştirme kapasitesinin tüm binalar için yaklaşık %1 civarında olduğu görülmektedir. İtme eğrisinde iki doğru parçasının kesiştiği noktadaki tepe noktası yerdeğiştirmesinin ( $\delta_y$ ) toplam bina yüksekliğine ( $H$ ) oranı ise %0,2 ile %0,3 arasında değişmektedir.

Tablo 6.3 Binaların itme eğrilerindeki çeşitli parametrelere ait istatistikler

<b>Bina Kodu</b>	<b><math>V_y/W</math></b>	<b><math>\delta_v/H</math></b>	<b><math>\delta_u/H</math></b>	<b><math>\delta_u/\delta_v</math></b>
B3_1	0,13221	0,002281	0,008533	3,74090
B3_2	0,20446	0,002090	0,009904	4,73876
B3_3	0,10866	0,001556	0,007447	4,78599
B3_4	0,20807	0,002092	0,010458	4,99904
B3_5	0,17028	0,004234	0,015842	3,74162
<b>Ortalama</b>	<b>0,16474</b>	<b>0,002451</b>	<b>0,010437</b>	<b>4,40126</b>
B4_1	0,13155	0,001337	0,004342	3,24757
B4_2	0,12447	0,001636	0,006549	4,00306
B4_3	0,12909	0,002168	0,007273	3,35470
B4_4	0,19038	0,002837	0,010110	3,56362
B4_5	0,15122	0,002612	0,010645	4,07542
<b>Ortalama</b>	<b>0,14534</b>	<b>0,002118</b>	<b>0,007784</b>	<b>3,64887</b>
B5_1	0,17798	0,002336	0,009652	4,13185
B5_2	0,14381	0,002851	0,006594	2,31287
B5_3	0,17993	0,002632	0,008759	3,32789
B5_4	0,14849	0,002204	0,007205	3,26906
B5_5	0,20484	0,002590	0,010188	3,93359
<b>Ortalama</b>	<b>0,17101</b>	<b>0,002523</b>	<b>0,008480</b>	<b>3,39505</b>
B6_1	0,14463	0,002562	0,009152	3,57221
B6_2	0,10764	0,002028	0,006716	3,31164
B6_3	0,12464	0,002745	0,011270	4,10565
B6_4	0,17226	0,001730	0,004194	2,42428
B6_5	0,27146	0,002667	0,008323	3,12073
<b>Ortalama</b>	<b>0,16413</b>	<b>0,002346</b>	<b>0,007931</b>	<b>3,30690</b>
B7_1	0,14933	0,002709	0,009237	3,40975
B7_2	0,15967	0,001875	0,009336	4,97920
B7_3	0,17911	0,002264	0,010966	4,84364
B7_4	0,18546	0,003481	0,011608	3,33467
B7_5	0,19136	0,004023	0,010741	2,66990
<b>Ortalama</b>	<b>0,17299</b>	<b>0,002870</b>	<b>0,010378</b>	<b>3,84743</b>
B8_1	0,23003	0,002569	0,009793	3,81199
B8_2	0,12171	0,004684	0,008974	1,91588
B8_3	0,13461	0,003800	0,010859	2,85763
B8_4	0,11246	0,002184	0,010220	4,67949
B8_5	0,11689	0,001579	0,006503	4,11843
<b>Ortalama</b>	<b>0,14314</b>	<b>0,002963</b>	<b>0,009270</b>	<b>3,47668</b>

Dayanım açısından kıyaslama yapabilmek amacıyla iki doğru parçası ile idealleştirilen itme eğrisinde, doğru parçalarının kesişim noktasındaki taban kesme kuvvetinin ( $V_y$ ) toplam bina ağırlığına ( $W$ ) oranı şeklinde belirlenen taban kesme kuvveti katsayısı tüm binalar için hesaplanmış ve sonuçları Tablo 6.3’de verilmiştir. Bu katsayının bina periyoduna bağlı olarak değişimi ise Şekil 6.5’de verilmiştir.

Aynı şekil üzerinde söz konusu katsayının Deprem Yönetmeliği-1975'deki sünek olmayan çerçeveler ile Deprem Yönetmeliği-1998'de süneklik düzeyi normal sistemler (taşıyıcı sistem davranış katsayısı  $R=4$ ) ve farklı zemin türleri için değişimi de görülmektedir. Deprem Yönetmeliği-1975 koşullarına göre boyutlandırılan bu binalar için hesaplanan taban kesme kuvveti katsayıları yönetmelikteki sınır değerleri ile kıyaslandığı vakit, binaların taban kesme kuvveti kapasitelerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Söz konusu binaların bir kısmı Deprem Yönetmeliği-1998 gereksinimlerini dahi sağlamaktadır.



Şekil 6.5 Binalar için hesaplanan taban kesme kuvveti katsayılarının Deprem Yönetmeliği-1975'deki ve Deprem Yönetmeliği-1998'deki değerleri ile kıyaslanması

Bu sonuçlar dikkate alındığında, Deprem Yönetmeliği-1975'e uygun olarak boyutlandırılan bu binaların yatay yük kapasitelerinin yüksek olmasına rağmen yatay yerdeğiştirme ve süneklik kapasitelerinin oldukça düşük olduğu görülmektedir.

Tez kapsamında ele alınan binaların Bölüm 4.5'de verilen dinamik özellikleri incelendiğinde ise, çatlamış kesit özellikleri kullanılarak hesaplanan birinci doğal titreşim periyotlarının, çatlamamış kesite ait özellikler kullanılarak hesaplanan birinci doğal titreşim periyotlarına göre 3-4 katlı binalar için ortalama %43,35, 5-6 katlı

binalar için ortalama %37,99 ve 7-8 katlı binalar için ise ortalama %37,35 civarında arttığı görülmektedir. Periyotlardaki bu artışın artan kat sayısına bağlı olarak azalmasının nedeni, binaların düşey taşıyıcı elemanlarda hesaplanan eksenel yük seviyesinin kat sayısına bağlı olarak artmasıdır.

Tez kapsamında gerçekleştirilen itme analizleri sonuçlarının değerlendirilmesiyle bina geometrisinin ve taşıyıcı elemanların plandaki yerleşiminin, binanın yatay yük-tepe noktası yerdeğiştirmesi ilişkisine önemli etkisi olduğu belirlenmiştir.

Bölüm 4.6’da verilen modal kapasite diyagramları incelendiğinde, binalarda her iki itme doğrultusunda etkin çalışan kolon sayılarının birbirine yakın olması durumunda binanın zayıf doğrultusunun kısa doğrultusu olduğu görülmektedir. Kolon kesit boyutları arasında önemli farklar bulunmayan binalarda, ilgili doğrultudaki etkin kolon sayısının bir kattaki toplam kolon sayısının %65 ve daha fazlasını oluşturması durumunda ise, genellikle kolonların etkin çalıştığı doğrultuda bina daha büyük yatay yük dayanım ve yerdeğiştirme kapasitesine sahiptir. Bu durumda binanın plandaki boyutlarının binanın zayıf doğrultusu üzerinde önemli bir belirleyiciliği yoktur. Tez çalışmasında incelenen binalar genellikle dikdörtgen tabanlı olup, tabandaki uzun kenarın kısa kenara olan oranının ortalaması 1,60 civarındadır.

Plandaki boyutlarında ve her iki doğrultuda yatay yükler etkisinde etkin çalışan kolon sayılarında önemli farklar bulunmayan binaların, her iki doğrultuda da deprem yükleri altında davranışlarının (dayanım ve yerdeğiştirme kapasitelerinin) birbirine yakın olduğu söylenebilir. Binaların taşıyıcı sistemini oluşturan çerçevelerin, özellikle binanın plandaki her iki doğrultusu boyunca sürekli olması, binanın yatay yük dayanım ve yerdeğiştirme kapasitesini arttırmaktadır.

Gerçek binaların artımsal itme analizleri sonucu oluşturulan modal kapasite diyagramlarının incelenmesiyle elde edilen bu sonuçların, yeni binaların tasarımında düşey taşıyıcı elemanların plandaki konumlarının belirlenmesi ve oluşturulan çerçevelerin sürekliliği konularında önemli fikirler vereceği düşünülmektedir.

Mevcut bina stokunun hasargörebilirliğinin belirlenmesinde tüm binaların tek tek ele alınıp değerlendirilmesi hem ekonomik ve pratik değildir, hem de fiziksel olarak mümkün görünmemektedir. Bu durumda söz konusu bina stokunu iyi bir şekilde temsil edebilecek binalara ait hasargörebilirlik bilgilerinin dikkate alınması kaçınılmazdır. Bu bağlamda tez kapsamında oluşturulan hasargörebilirlik eğrileri, ülkemiz genelindeki mevcut bina stokunun önemli kısmını oluşturan benzer özellikteki binaların hasar potansiyellerinin belirlenmesine önemli katkılar sağlayacaktır.

Oluşturulan hasargörebilirlik eğrilerinin kullanılmasıyla belirlenecek hasar oranlarının ilgili bölgelerde meydana gelmiş depremlerin neden olduğu gerçek hasar oranları ile karşılaştırılması söz konusu eğrilerinin hassasiyeti konusunda önemli bilgiler verecektir. Ayrıca, oluşturulan bu analitik hasargörebilirlik eğrilerinin yeterince hasar verisinin bulunması durumunda elde edilebilecek ampirik hasargörebilirlik ilişkileri dikkate alınarak modifiye edilmesi, mevcut bina stokunun olası deprem hasarının önceden tahmin edilmesi çalışmalarına önemli katkılar sağlayacaktır.



## KAYNAKLAR

- Akkar, S., Sucuoğlu, H. ve Yakut, A. (2005). Displacement-based fragility functions for low- and mid-rise ordinary concrete buildings. *Earthquake Spectra*, 21, 901-927.
- Ay, B.Ö. ve Erberik, M.A. (2007). *Türkiye'deki az ve orta katlı betonarme yapıların deprem güvenliği açısından incelenmesi. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*. İstanbul, Türkiye.
- Banerjee, S. ve Shinozuka, M. (2007). Nonlinear static procedure for seismic vulnerability assessment of bridges. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 22, 295-305.
- Barbat, A.H., Lagomarsino, S. ve Pujades, L.G. (2008). Vulnerability assessment of dwelling buildings. C.S. Oliveira, A. Roca ve X. Goula, (Ed.), *Assessing and managing earthquake risk* (115-134). Netherlands: Springer.
- Barbat, A.H., Pujades, L.G. ve Lantada, N. (2008). Seismic damage evaluation in urban areas using the capacity spectrum method: Application to Barcelona. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 28, 851-865.
- Bayazıt, M. ve Oğuz, B. (1994). *Mühendisler için istatistik*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Bommer, J., Spence, R., Erdik, M., Tabuchi, S., Aydınoğlu, N., Booth, E., Re, D.D. ve Peterken, O. (2002). Development of an earthquake loss model for Turkish catastrophe insurance. *Journal of Seismology*, 6, 431-446.
- Borzi, B., Pinho, R. ve Crowley, H. (2008). Simplified pushover-based vulnerability analysis for large-scale assessment of RC buildings. *Engineering Structures*, 30, 804-820.

- Celep, Z. (2008). *Betonarme taşıyıcı sistemlerde doğrusal olmayan davranış ve çözümleme*. İstanbul: Beta Dağıtım.
- Cherng, R.H. (2001). Preliminary study on the fragility curves for steel structures in Taipei. *Earthquake Engineering and Engineering Seismology*, 3, 35-42.
- Choi, E. ve Jeon, J.C. (2003). Seismic fragility of typical bridges in moderate seismic zone. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 7, 41-51.
- Chopra, A.K. (1995). *Dynamics of structures, theory and applications to earthquake engineering*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Chopra, A.K. ve Goel, R.K. (2002). A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31, 561-582.
- Cimellaro, G.P., Reinhorn, A.M., Bruneau, M. ve Rutenberg, A. (2006). Multi-dimensional fragility of structures: Formulation and evaluation. *Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Technical Report MCEER-06-0002*, University at Buffalo, State University of New York, Red Jacket Quadrangle, Buffalo, NY.
- Computers and Structures, Inc. (2003). *SAP 2000 Nonlinear, Version 8.2.3, Structural Analysis Program*. Berkeley, CA.
- Cula, S. ve Muluk, Z. (2006). *Temel istatistik yöntemleri*. Ankara: Başkent Üniversitesi Ticari Bilimler Fakültesi.
- D'Ayala, D.F. (2005). Force and displacement based vulnerability assessment of traditional buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 3, 235-265.

- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) (2007). Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. Ankara, Türkiye.
- Dimova, S.L. ve Negro, P. (2005). Seismic assessment of an industrial frame structure designed according to Eurocodes. Part 2: Capacity and vulnerability. *Engineering Structures*, 27, 724-735.
- Dumova-Jovanoska, E. (2000). Fragility curves for reinforced concrete structures in Skopje (Macedonia) region. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 19, 455-466.
- Erberik, M.A. ve Elnashai, A. S. (2003). Seismic vulnerability of flat-slab structures. *Mid-America Earthquake (MAE) Center, Report No. 03-06*, University of Illinois at Urbana-Champaign, IL.
- Erberik, M.A. ve Cullu, S. (2006). Assessment of seismic fragility curves for low- and mid-rise reinforced concrete frame buildings using Duzce field database. S.T. Wasti ve G. Özcebe, (Ed.), *Advances in earthquake engineering for urban risk reduction* (151-166). Netherlands:Springer.
- Erberik, M.A. (2007). *Türkiye'deki yığma yapıların hasargörebilirliği. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*. İstanbul, Türkiye.
- Erberik, M.A. (2008). Fragility-based assessment of typical mid-rise and low-rise RC buildings in Turkey. *Engineering Structures*, 30, 1360-1374.
- Ersoy, N. ve Erbaş, S.O. (1996). *Olasılık ve istatistiğe giriş*. Ankara: Gazi Büro Kitabevi.
- Federal Emergency Management Association (FEMA) (2000). Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. FEMA 356, ASCE, Reston, Virginia.

- Ghobarah, A., Aly, N.M. ve Attar, M.E. (1998). Seismic reliability assessment of existing reinforced concrete buildings. *Journal of Earthquake Engineering*, 2, 569-592.
- HAZUS (2003). Multi-hazard loss estimation methodology – earthquake model: HAZUS-MH MR1. Advanced engineering building module – Technical and user’s manual. National Institute of Building Sciences for Federal Emergency Management Agency. Washington, D. C.
- Hueste, M.B.D. ve Bai, J.W. (2007). Seismic retrofit of a reinforced concrete flat-slab structure: Part II – seismic fragility analysis. *Engineering Structures*, 29, 1178-1188.
- İrtem E. ve Türker K. (2002). *Yapıların deprem yükleri altındaki lineer olmayan davranışının belirlenmesinde kullanılan statik yöntemlerin karşılaştırılması. Balıkesir Üniversitesi IV. Mühendislik-Mimarlık Sempozyumu*. Balıkesir, Türkiye.
- İzmir Deprem Senaryosu ve Deprem Master Planı (1998). Araştırma Projesi. Boğaziçi Üniversitesi. İstanbul, Türkiye.
- Kappos, A.J., Panagopoulos, G., Panagiotopoulos, C. ve Penelis, G. (2006). A hybrid method for the vulnerability assessment of R/C and URM buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 4, 391-413.
- Karim, K.R. ve Yamazaki, F. (2001). Effect of earthquake ground motions on fragility curves of highway bridge piers based on numerical simulation. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 30, 1839-1856.
- Kırçıl, M.S. ve Polat, Z. (2006). Fragility analysis of mid rise R/C frame buildings. *Engineering Structures*, 28, 1335-1345.

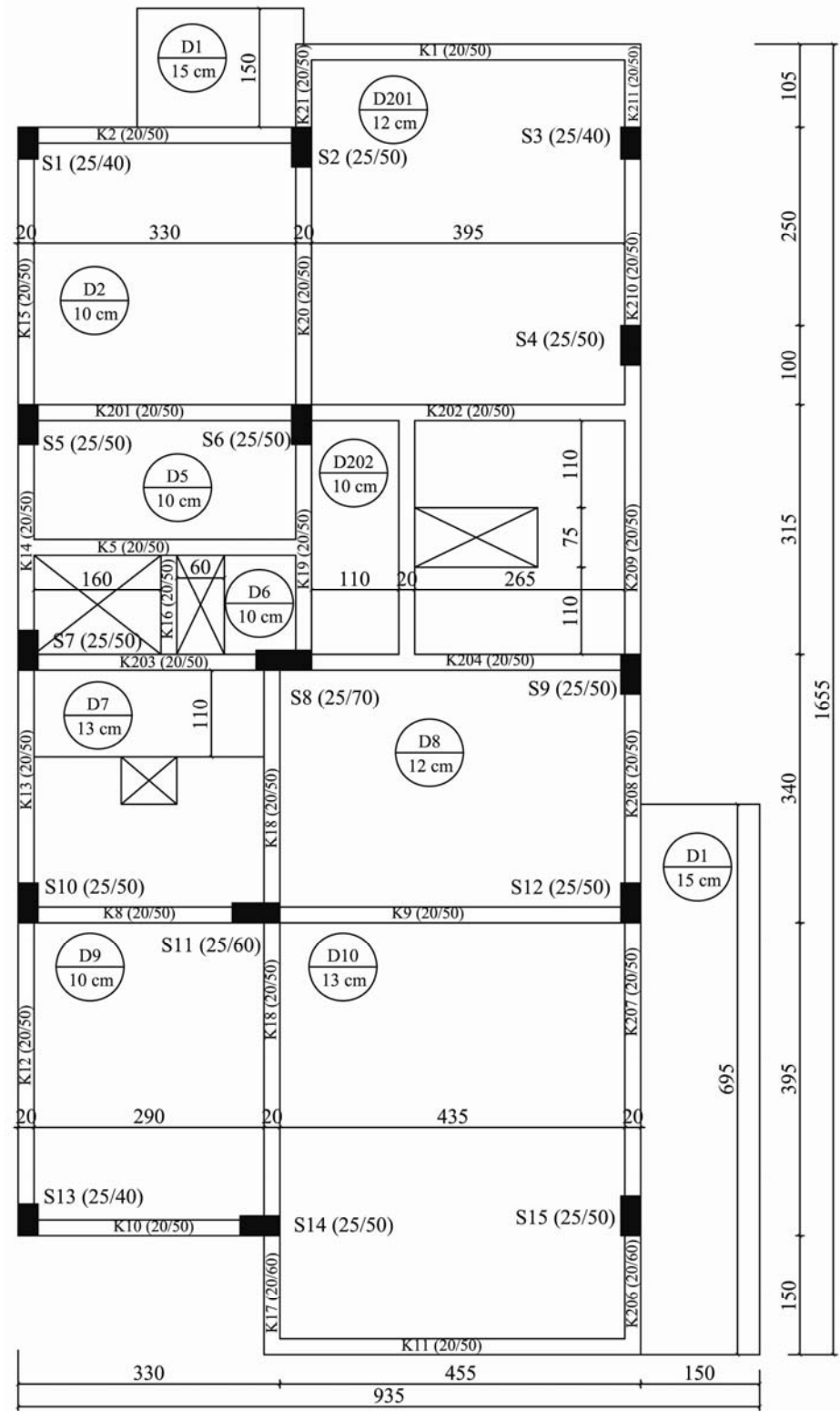
- Korkmaz, K.A. (2005). *Yapı Sistemlerinin Güvenirlik Esaslı Performansa Bağlı Analizi (Doktora Tezi)*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kwon, O.S. ve Elnashai, A. (2006). The effect of material and ground motion uncertainty on the seismic vulnerability curves of RC structure. *Engineering Structures*, 28, 289-303.
- Lagaros, N.D. (2008). Probabilistic fragility analysis: A tool for assessing design rules of RC buildings. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 7, 45-56.
- Lagomarsino, S. (2008). Vulnerability assessment of historical buildings. C. S. Oliveira, A. Roca ve X. Goula, (Ed.), *Assessing and managing earthquake risk* (135-158). Netherland: Springer.
- Lang, K. ve Bachmann, H. (2004). On the seismic vulnerability of existing buildings: A case study of the city of Basel. *Earthquake Spectra*, 20, 43-66.
- Liao, W.I., Loh, C.H. ve Tsai, K.C. (2006). Study on the fragility of building structures in Taiwan. *Natural Hazards*, 37, 55-69.
- Mander, J.B., Priestley, M.J.N. ve Park, R. (1988). Theoretical stress-strain model for confined concrete. *Journal of Structural Division (ASCE)*, 114(8), 1804-1826.
- Mosalam, K.M., Ayala, G., White, R.N. ve Roth, C. (1997). Seismic fragility of LRC frames with and without masonry infill walls. *Journal of Earthquake Engineering*, 1, 693-720.
- Park, Y.J. ve Ang, A.H.S. (1985). Seismic damage analysis of reinforced concrete buildings. *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, 111, 740-757.

- Park, J., Towashiraporn, P., Craig, J.I. ve Goodno, B.J. (2009). Seismic fragility analysis of low-rise unreinforced masonry structures. *Engineering Structures*, 31, 125-137.
- Polese, M., Verderame, G.M., Mariniello, C., Iervolino, I. ve Manfredi, G. (2008). Vulnerability analysis for gravity load designed RC buildings in Naples – Italy. *Journal of Earthquake Engineering*, 12, 234-245.
- Ramamoorthy, S.K., Gardoni, P. ve Bracci, J.M. (2005). Probabilistic demand models and fragility curves for reinforced concrete frames. *Journal of Structural Engineering*, 132, 1563-1572.
- Ramamoorthy, S.K., Gardoni, P. ve Bracci, J.M. (2008). Seismic fragility and confidence bounds for gravity load designed reinforced concrete frames of varying height. *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, 134, 639-650.
- Rossetto, T. ve Elnashai, A. (2003). Derivation of vulnerability functions for European-type RC structures based on observational data. *Engineering Structures*, 25, 1241-1263.
- Rossetto, T. ve Elnashai, A. (2005). A new analytical procedure for the derivation of displacement-based vulnerability curves for populations of RC structures. *Engineering Structures*, 27, 397-409.
- Rota, M., Penna, A. ve Magenes, G. (2010). A methodology for deriving analytical fragility curves for masonry buildings based on stochastic nonlinear analyses. *Engineering Structures*, 32, 1312-1323.
- Ryu, H., Luco, N., Baker, J.W. ve Karaca, E. (2008). *Converting hazus capacity curves to seismic hazard-compatible building fragility functions: effect of hysteretic models. The 14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering*. Beijing, China.

- Shinozuka, M., Feng, M.Q., Kim, H.K. ve Kim, S.H. (2000). Nonlinear static procedure for fragility curve development. *Journal of Engineering Mechanics*, 126, 1287-1295.
- Shinozuka, M., Feng, M.Q., Lee, J. ve Naganuma, T. (2000). Statistical analysis of fragility curves. *Journal of Engineering Mechanics*, 126, 1224-1231.
- Singhal, A. ve Kiremidjian, A.S. (1996). Method for probabilistic evaluation of seismic structural damage. *Journal of Structural Engineering*, 122, 1459-1467.
- Structural Engineers Association of California (SEAOC) (1995). Performance based seismic engineering of buildings. Sacramento, California.
- Türk Standartları Enstitüsü (2000). TS 500–Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. T.S.E. Kurumu, Ankara, Türkiye.
- Türker, K. (2008). *Yapı statikinde özel konular ders notları*. 14 Mayıs 2008, <http://w3.balikesir.edu.tr/~kturker/>.
- Tüzün, C. ve Aydınoglu, M.N. (2007). *Gerçek binaların doğrusal olmayan analizlerinden hasargörebilirlik ilişkilerinin elde edilmesi*. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı. İstanbul, Türkiye.
- Uçar, T. (2005). *Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Analizinde Çözüm Yöntemleri (Yüksek Lisans Tezi)*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Wen, Y.K. ve Ellingwood, B.R. (2005). The role of fragility assessment in consequence-based engineering. *Earthquake Spectra*, 21, 861-877.
- XTRACT Educational 3.0.7 (2006). Imbsen Software Systems, Sacramento.

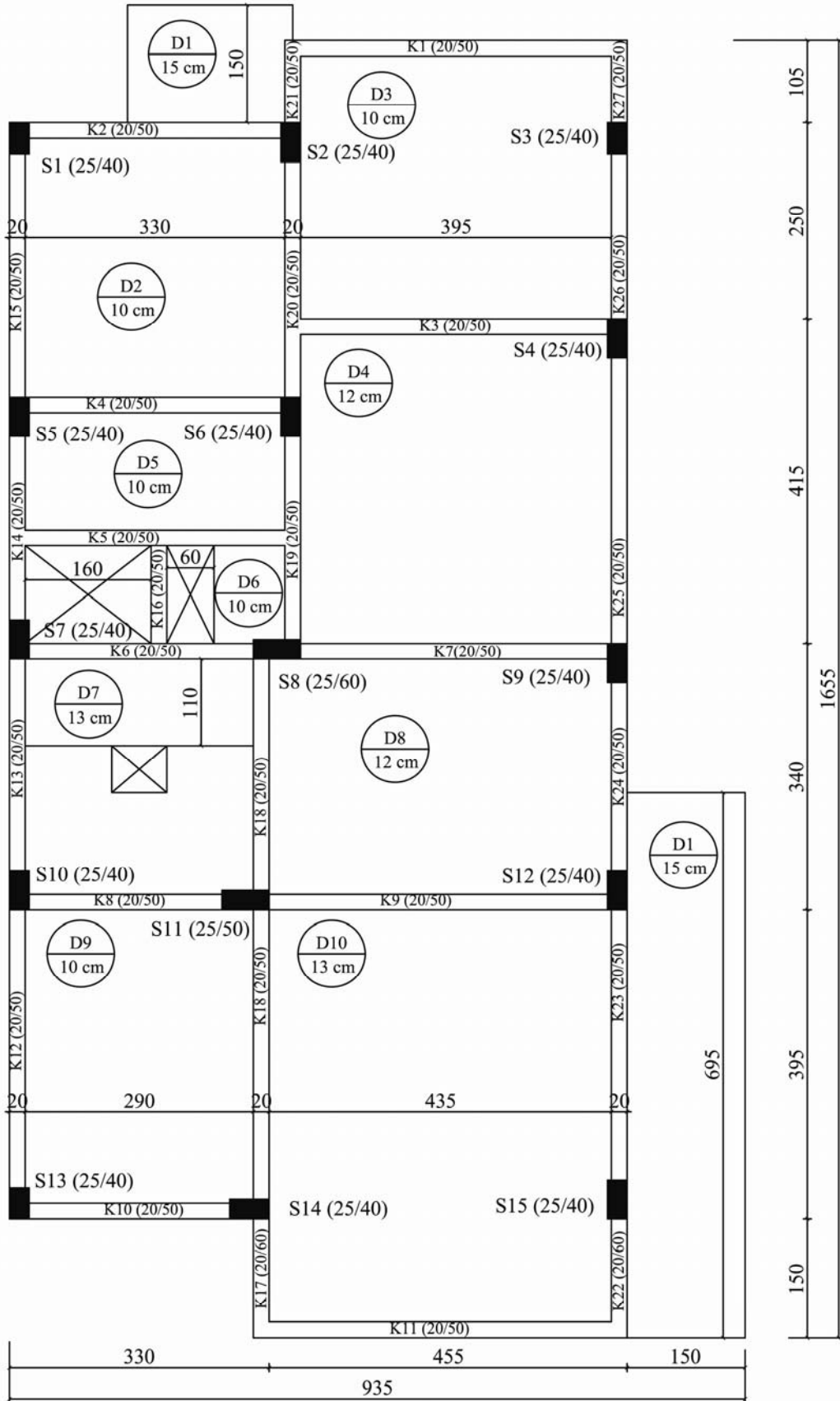
## EKLER

## Ek-1: Üç Katlı Binaların Kat Kalıp Planları



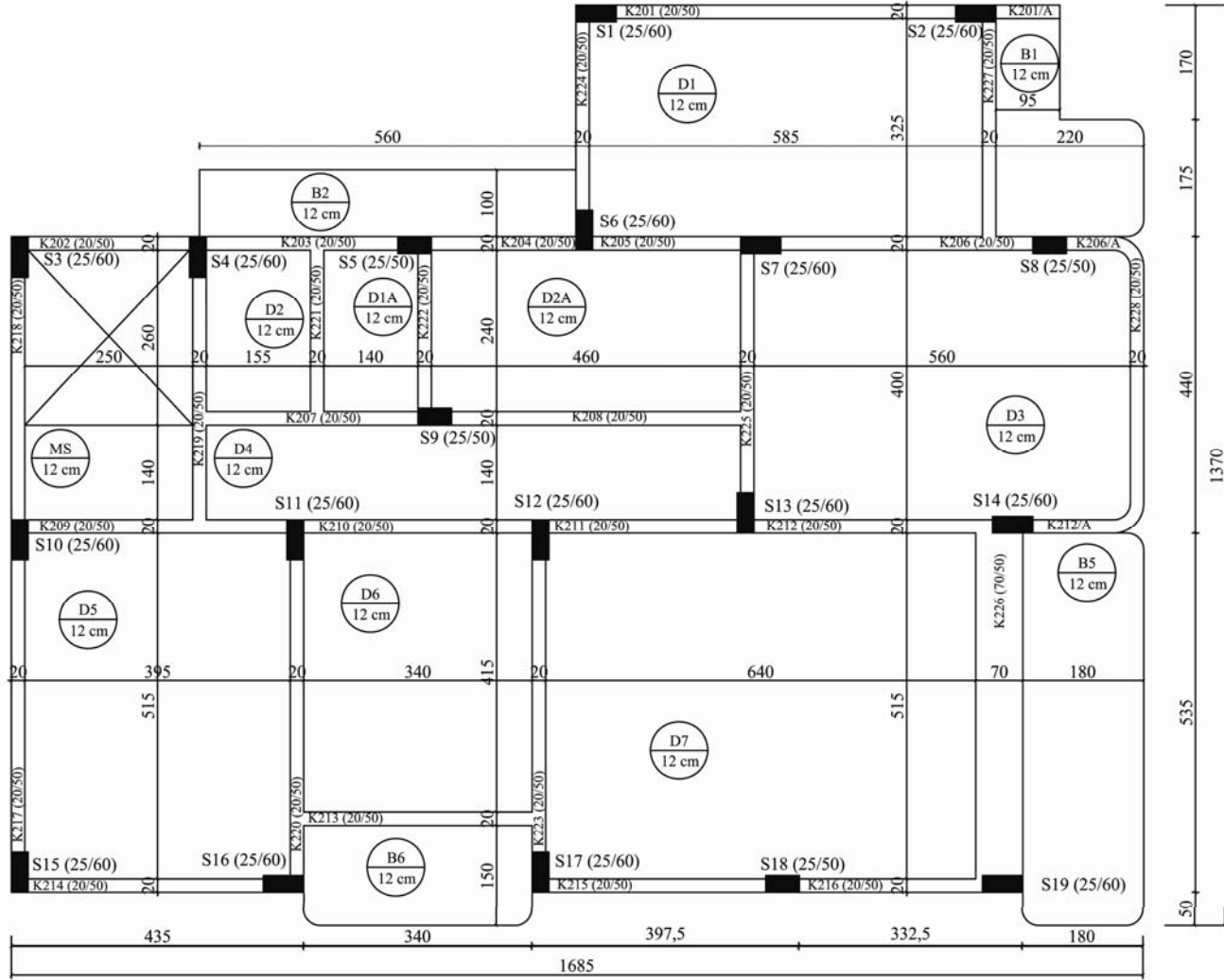
Şekil Ek-1.1a B3\_1'in 1. kat kalıp planı



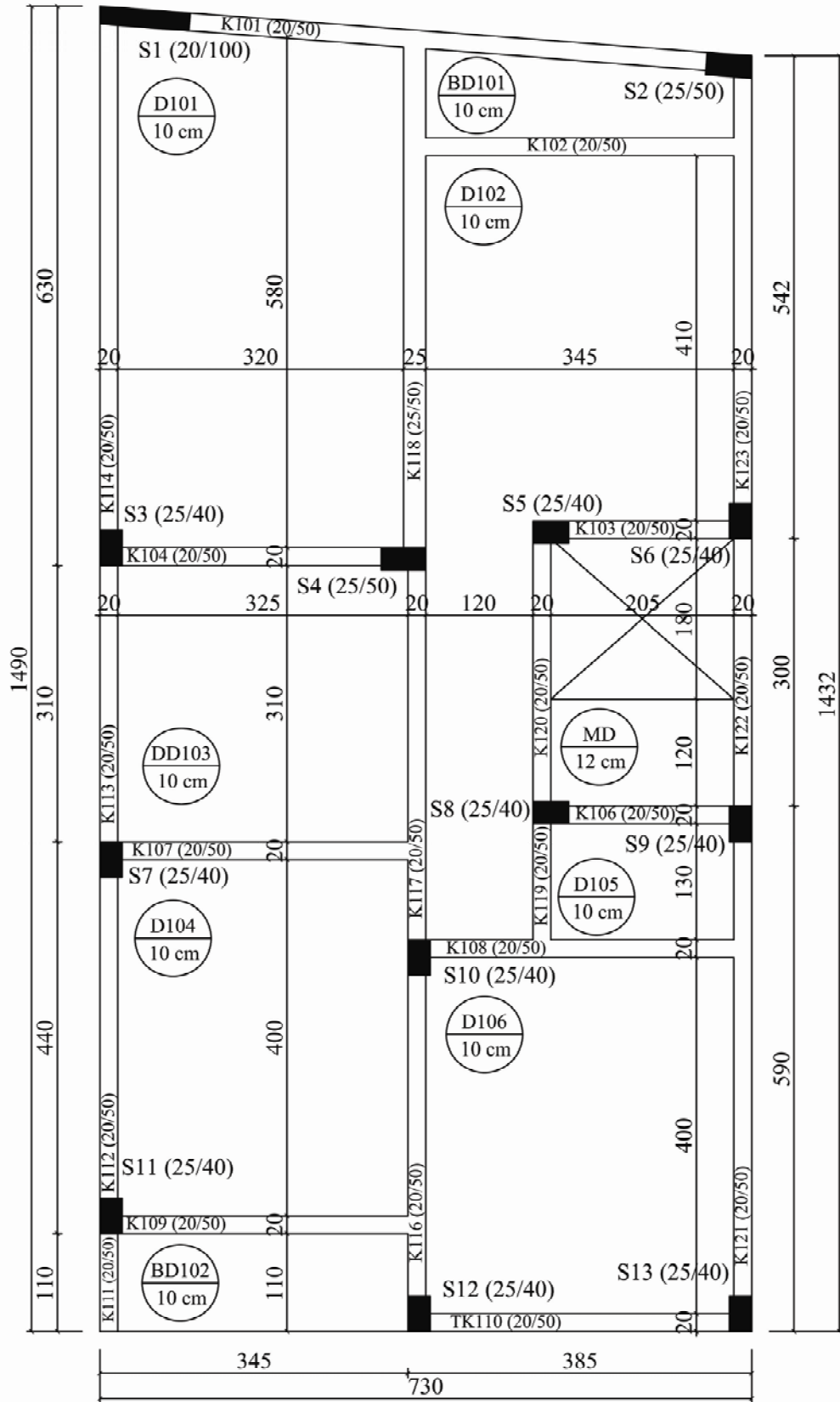


Şekil Ek-1.1b B3\_1'in 2. ve 3. kat kalıp planı



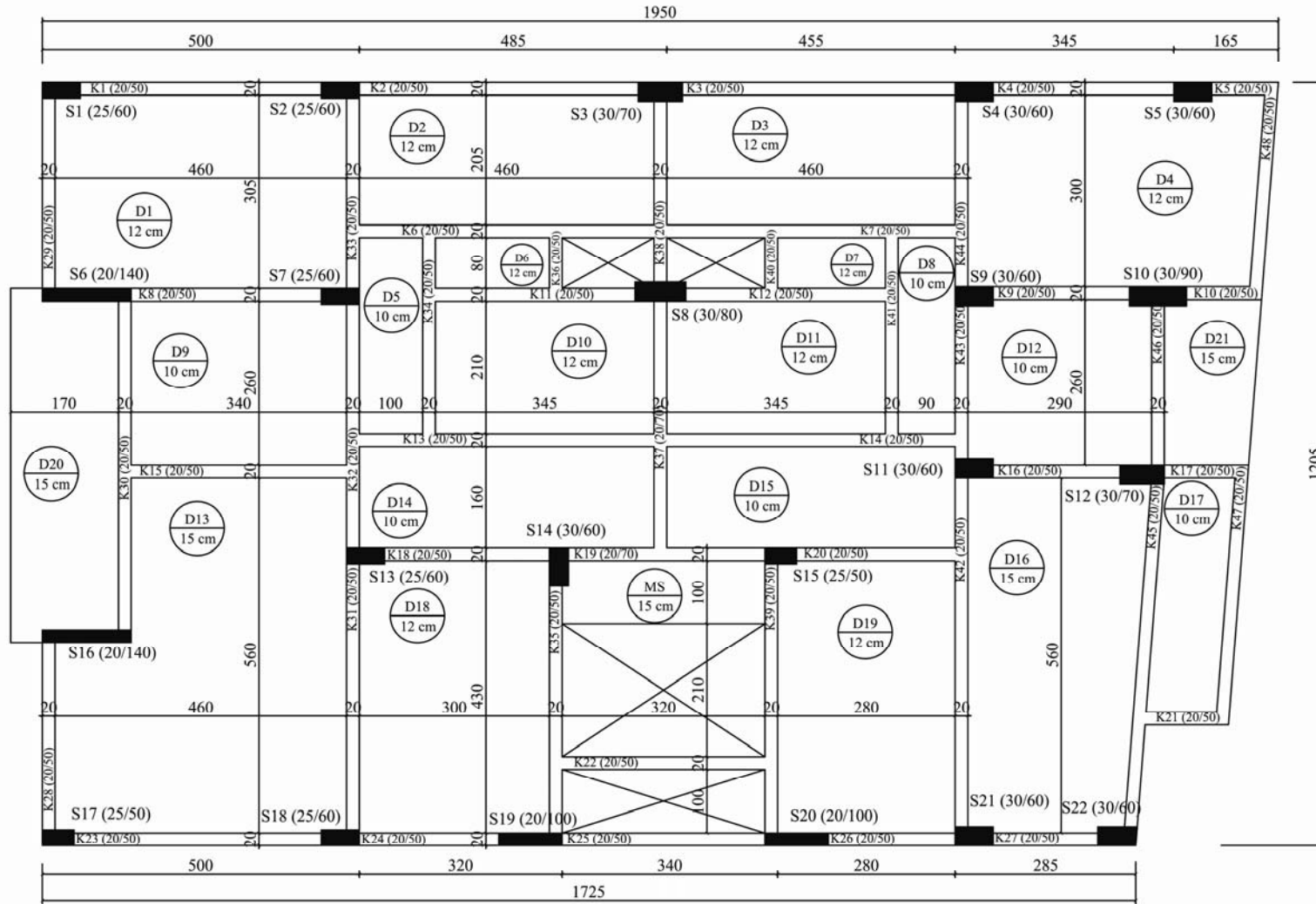


Şekil Ek-1.2b B3\_2'in 2. ve 3. kat kalıp plan



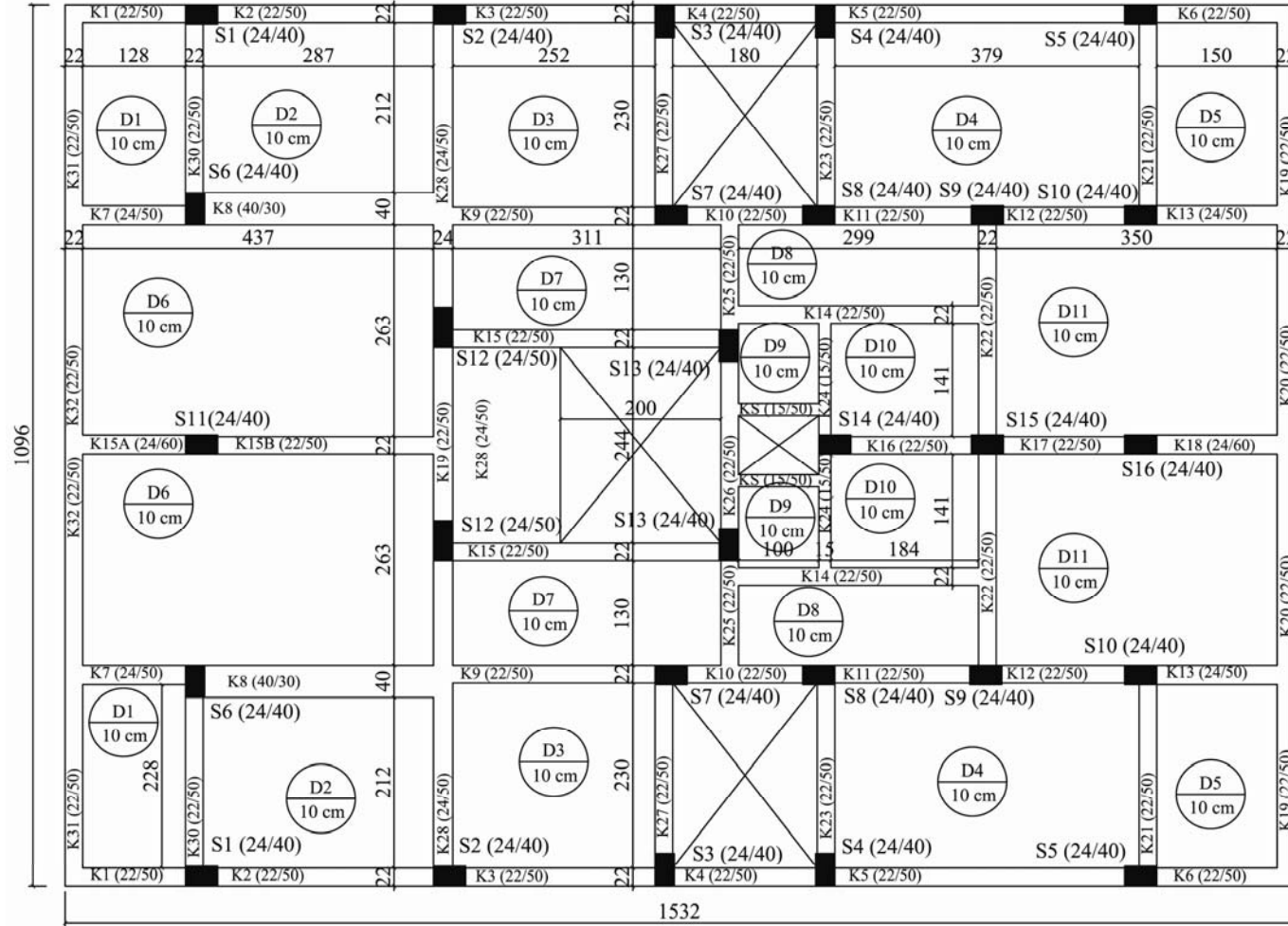
Şekil Ek-1.3 B3\_3'ün kat kalıp planı



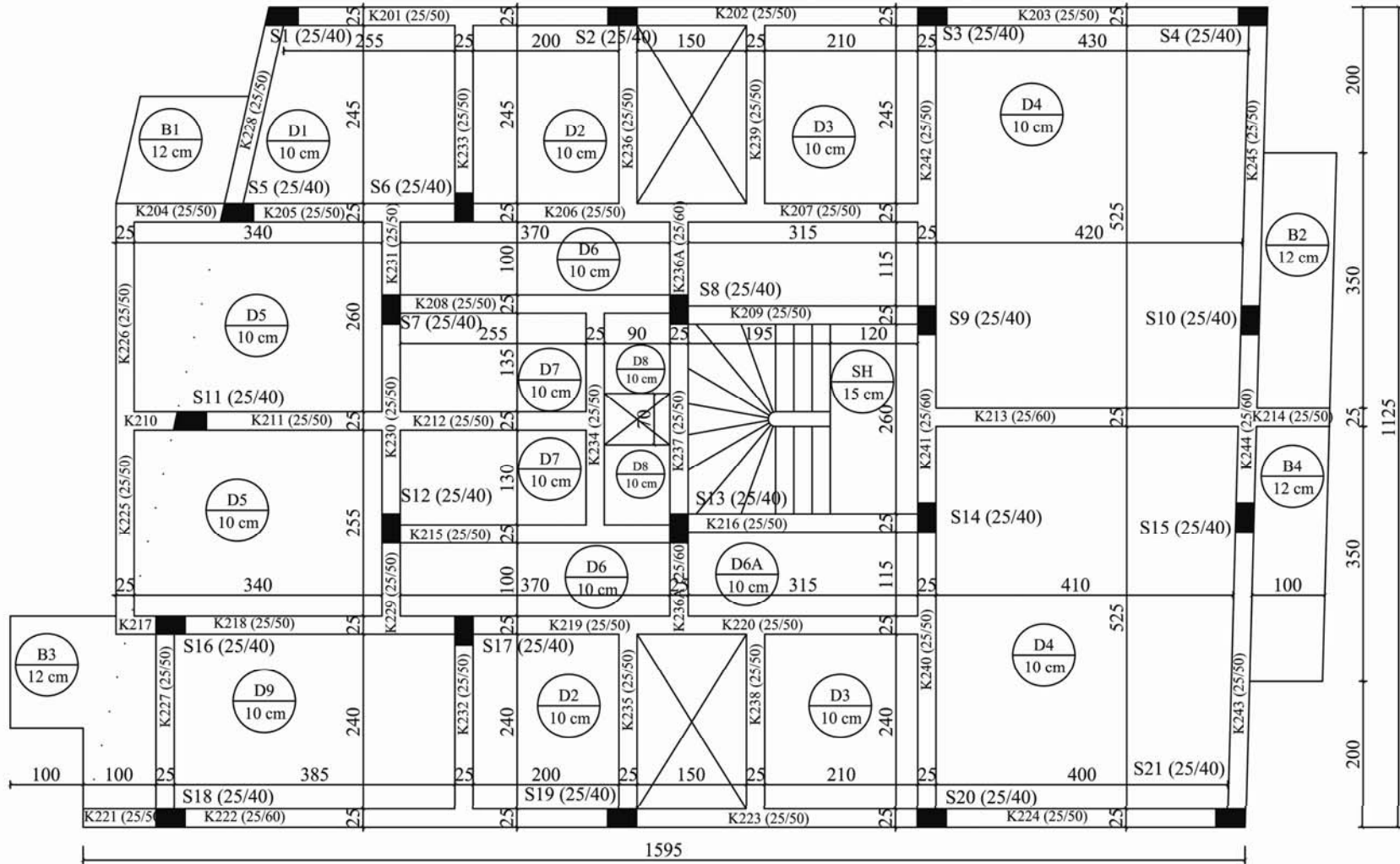


Şekil Ek-1.5 B3\_5'in kat kalıp planı

## Ek-2: Dört Kath Binaların Kat Kalıp Planları

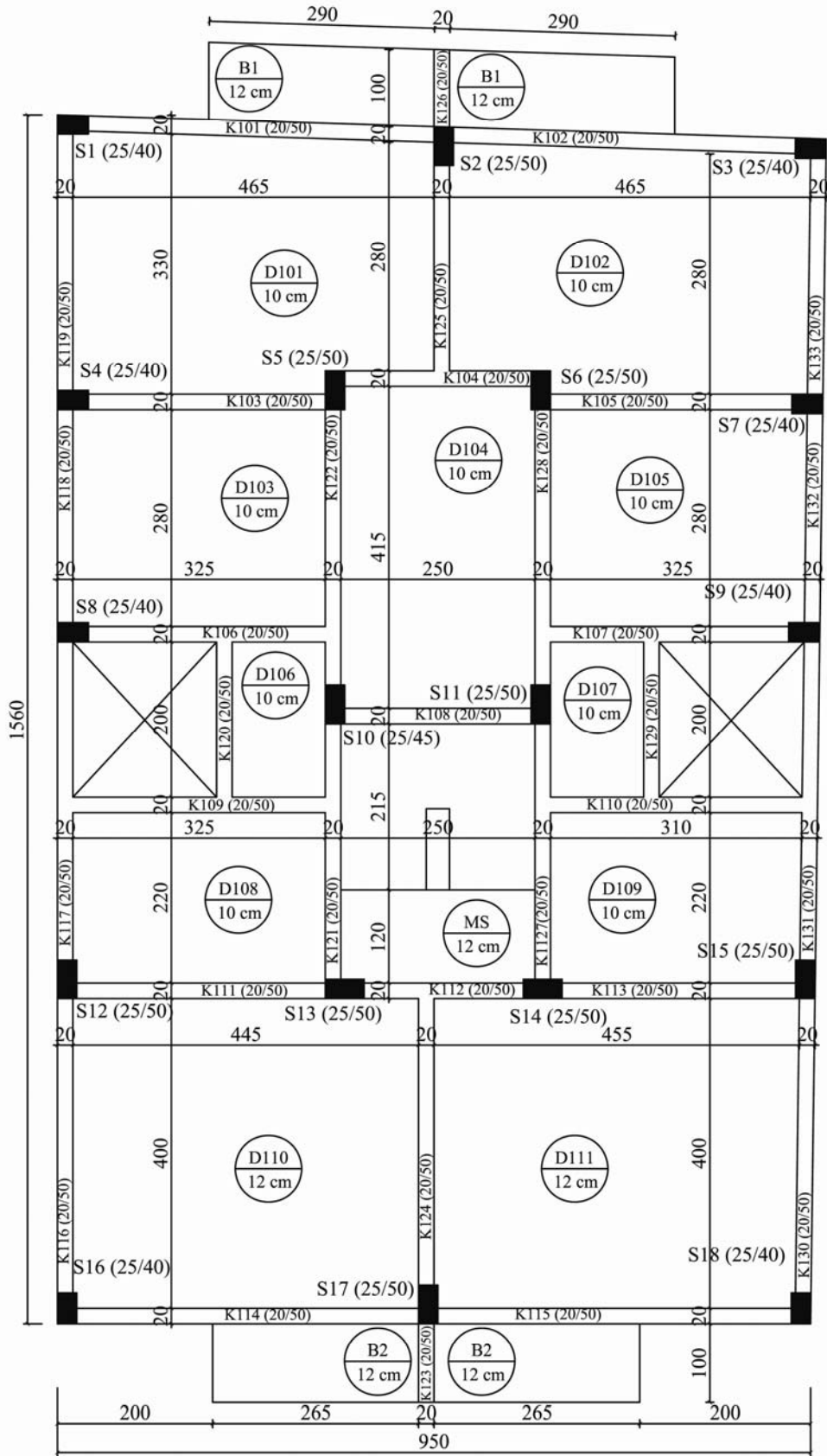


Şekil Ek-2.1 B4\_1'in kat kalıp planı

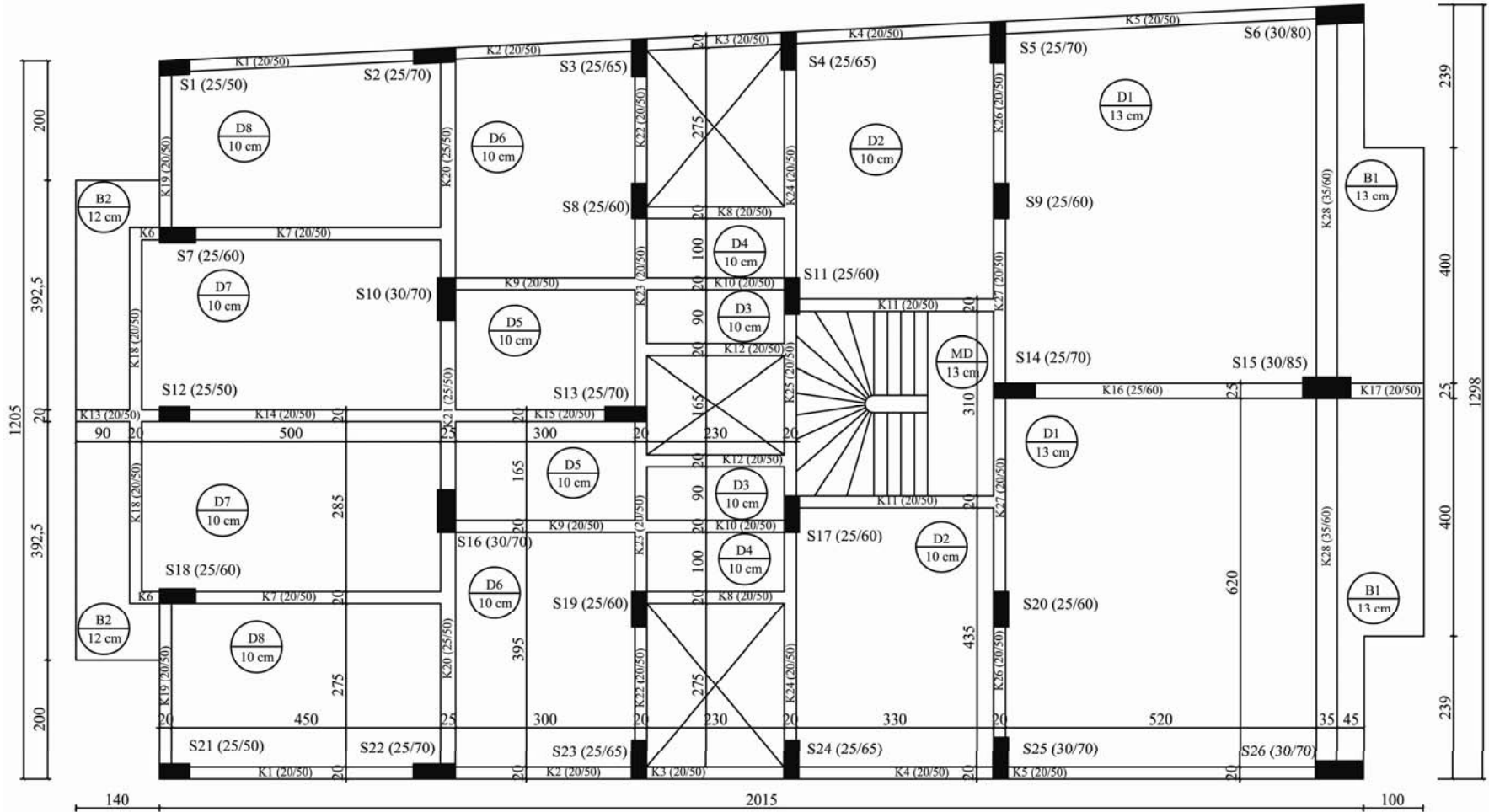


Şekil Ek-2.2 B4\_2'in kat kalıp planı

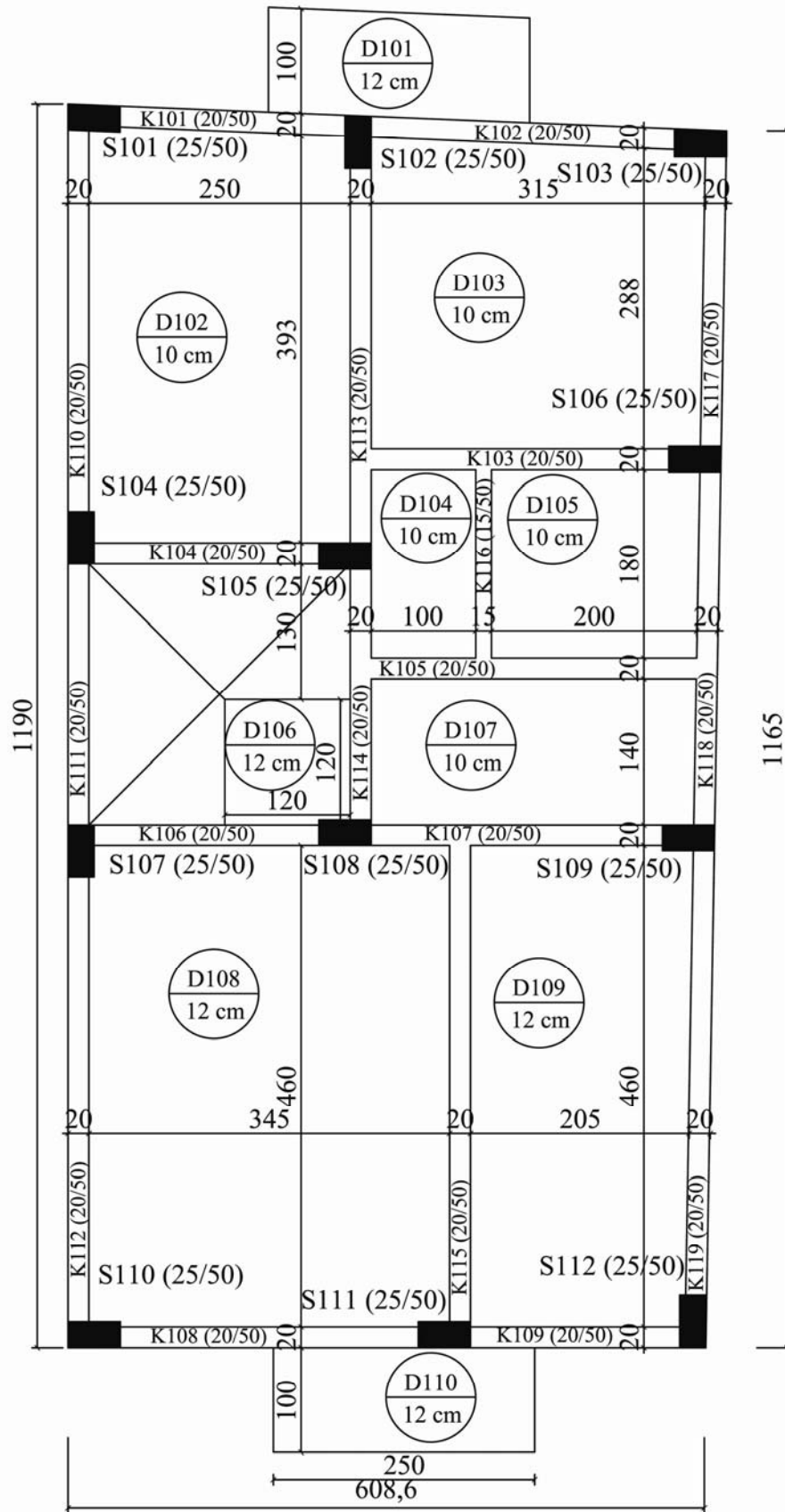




Şekil Ek-2.3 B4\_3'ün kat kalıp planı



Şekil Ek-2.4 B4\_4'ün kat kalıp planı

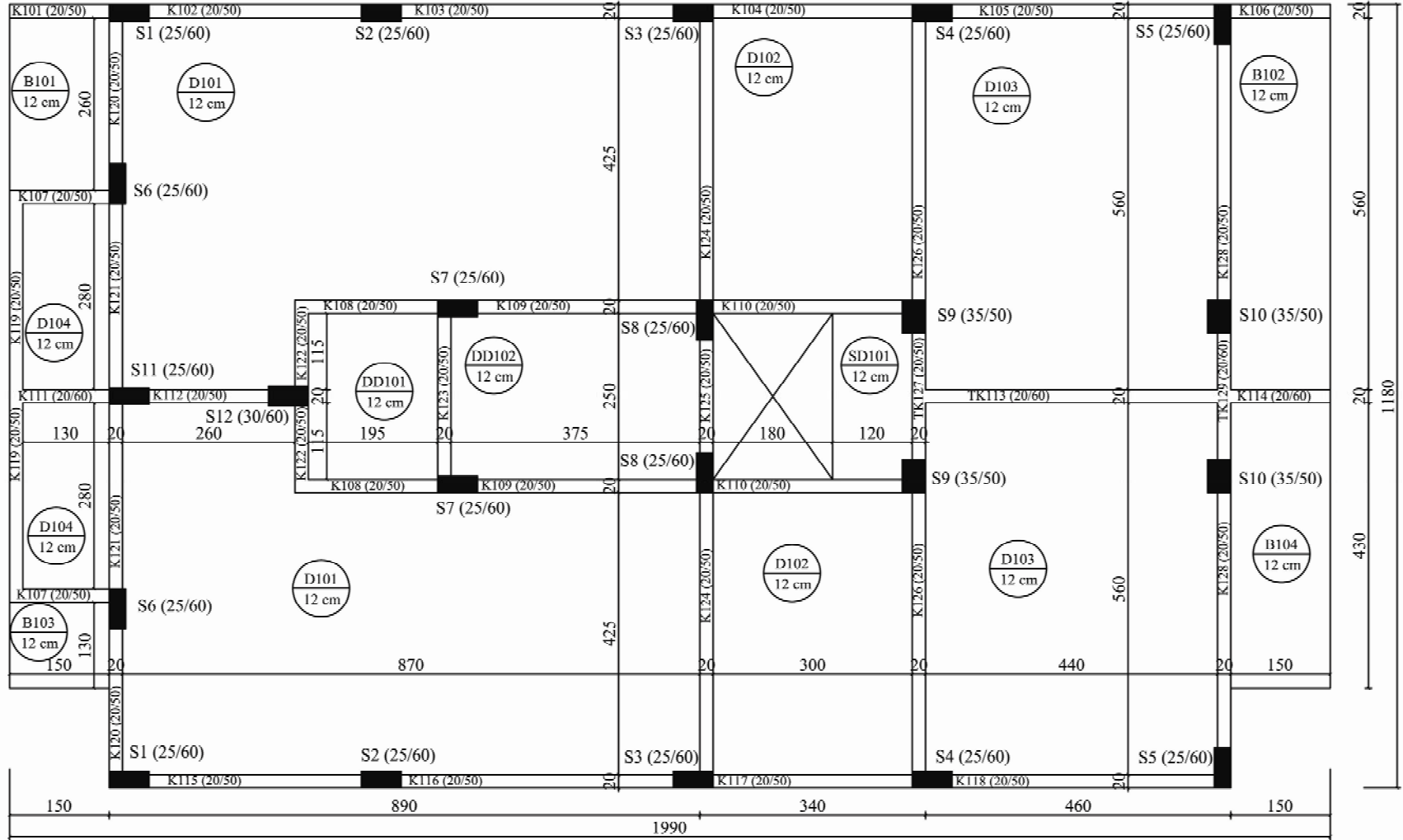


Şekil Ek-2.5 B4\_5'in kat kalıp planı





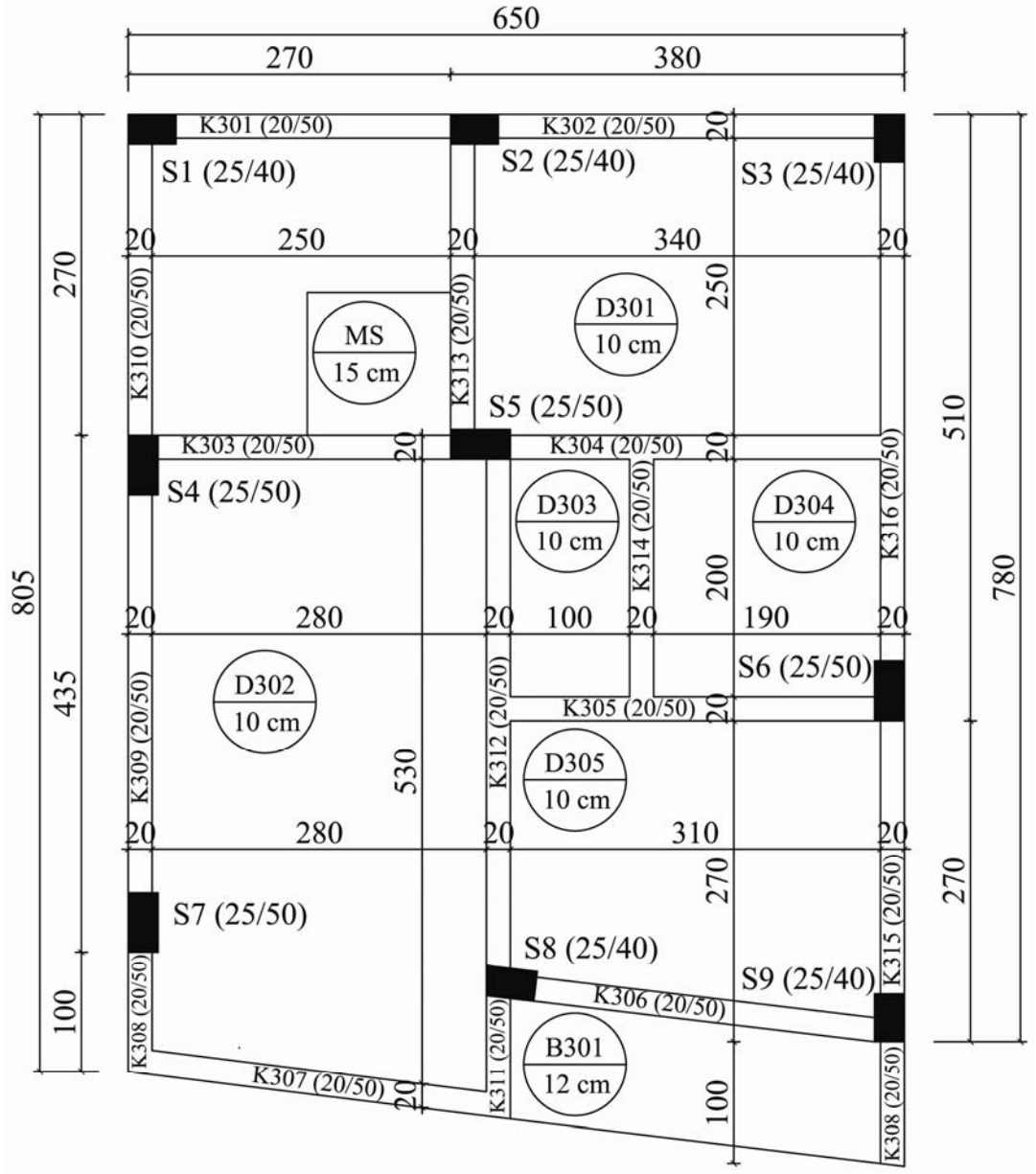




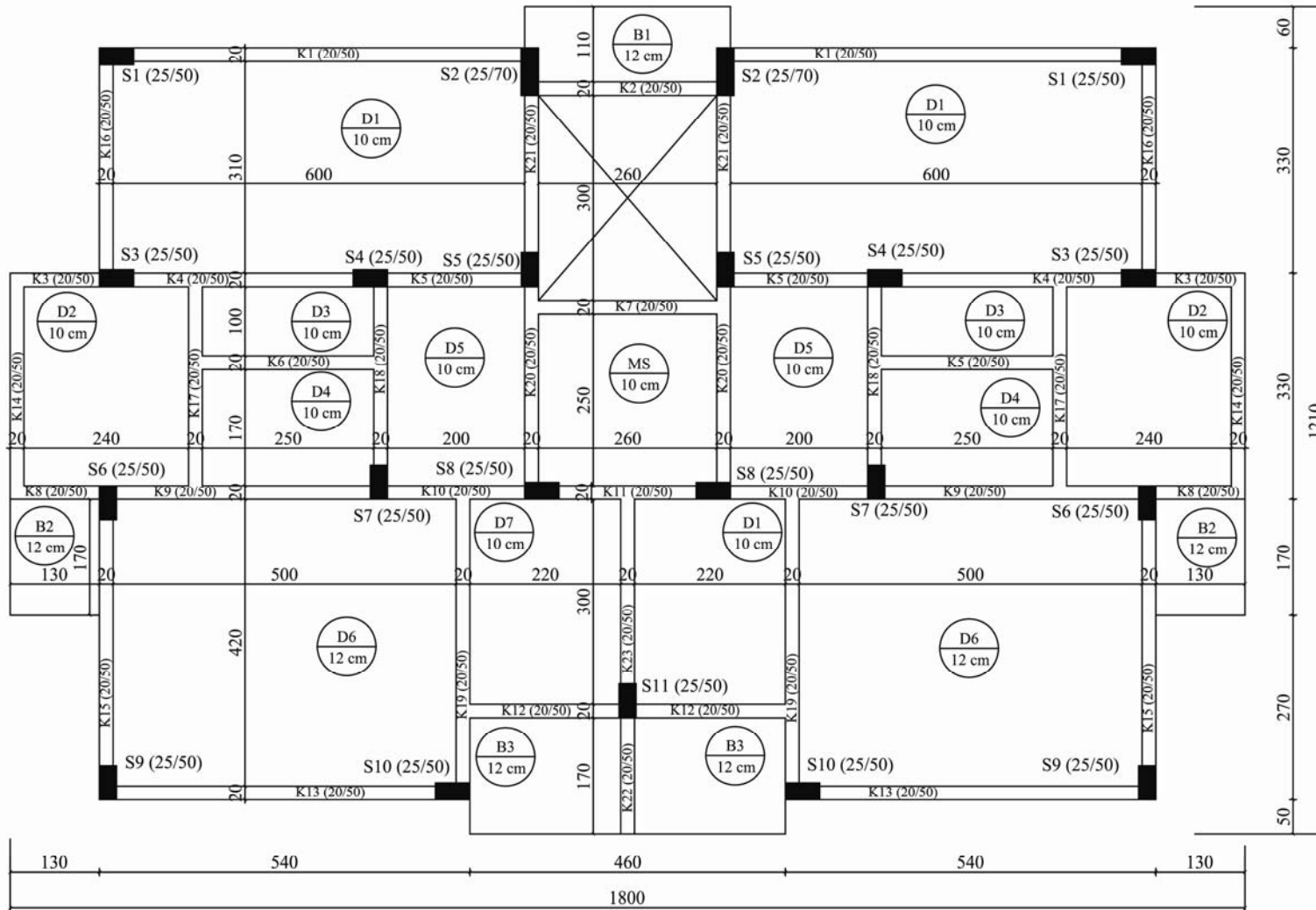
Şekil Ek-3.4 B5\_2'in 1. kat kalıp planı



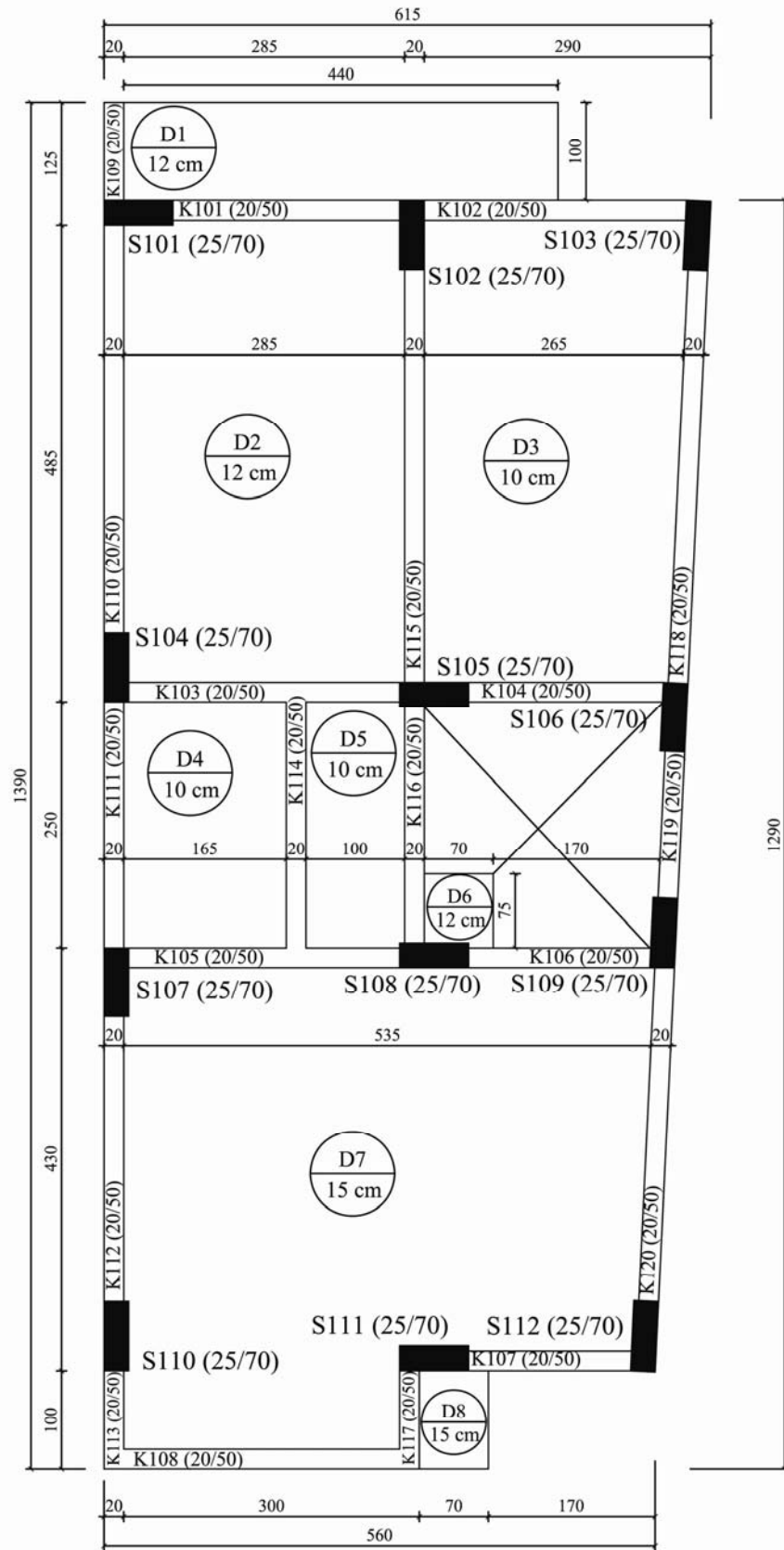




Şekil Ek-3.6 B5\_3'ün kat kalıp planı

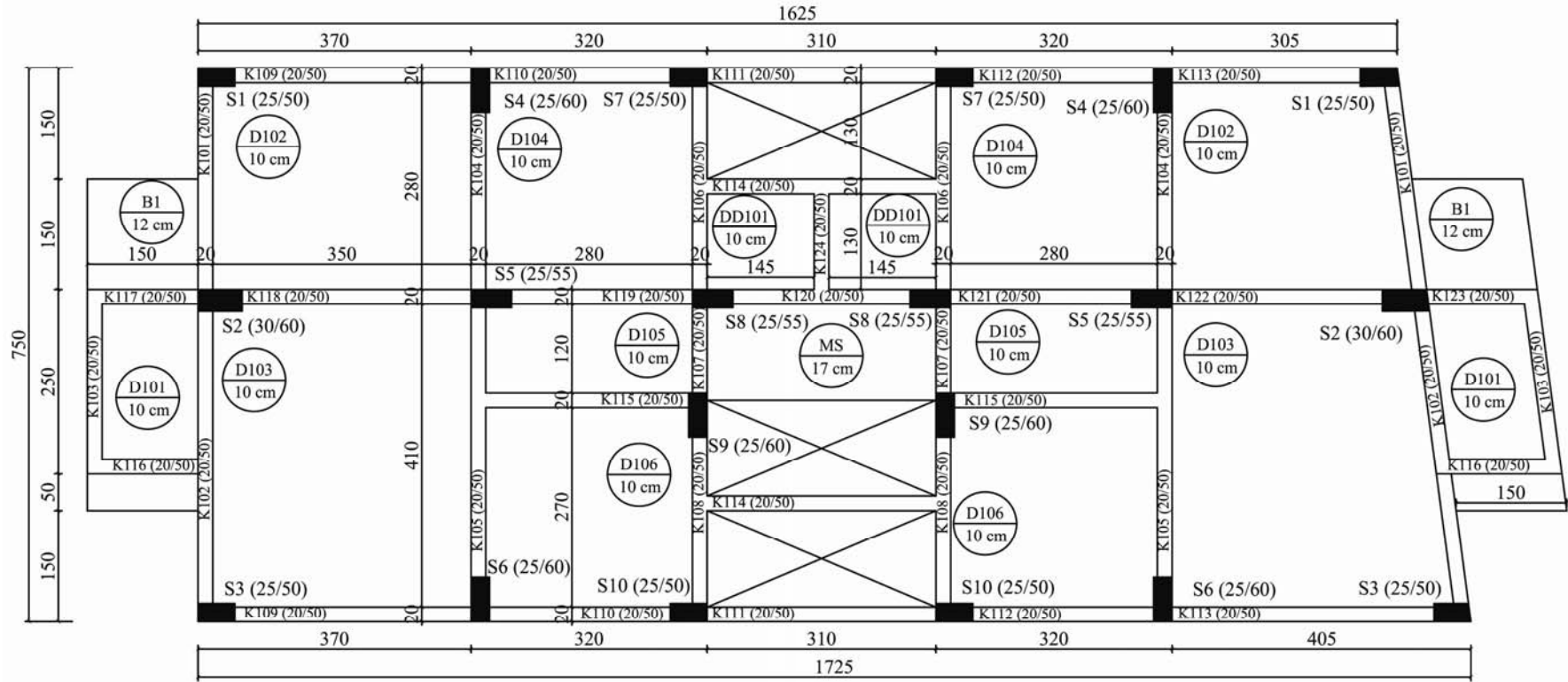


Şekil Ek-3.7 B5\_4'ün kat kalıp planı

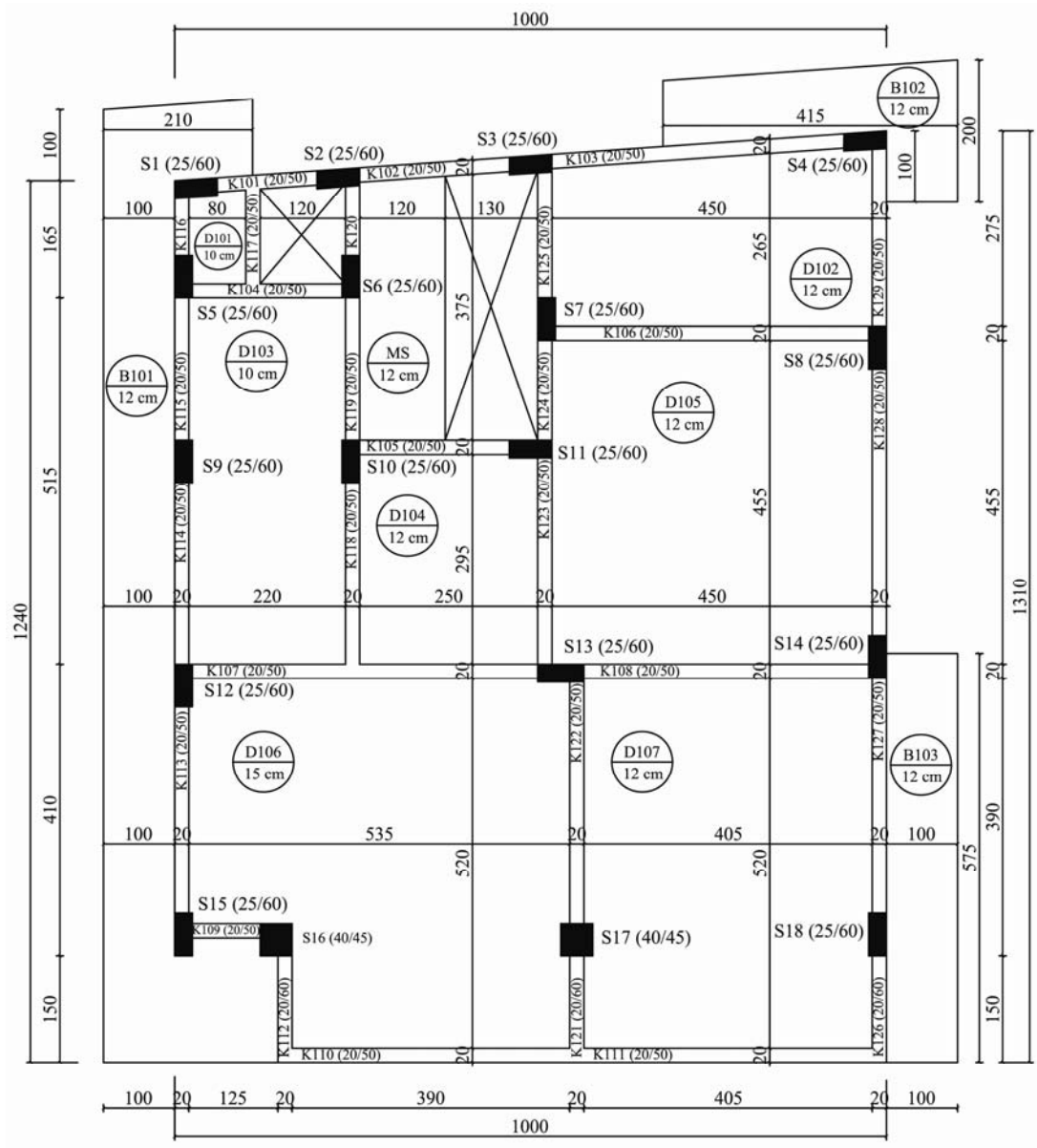


Şekil Ek-3.8 B5\_5'in kat kalıp planı

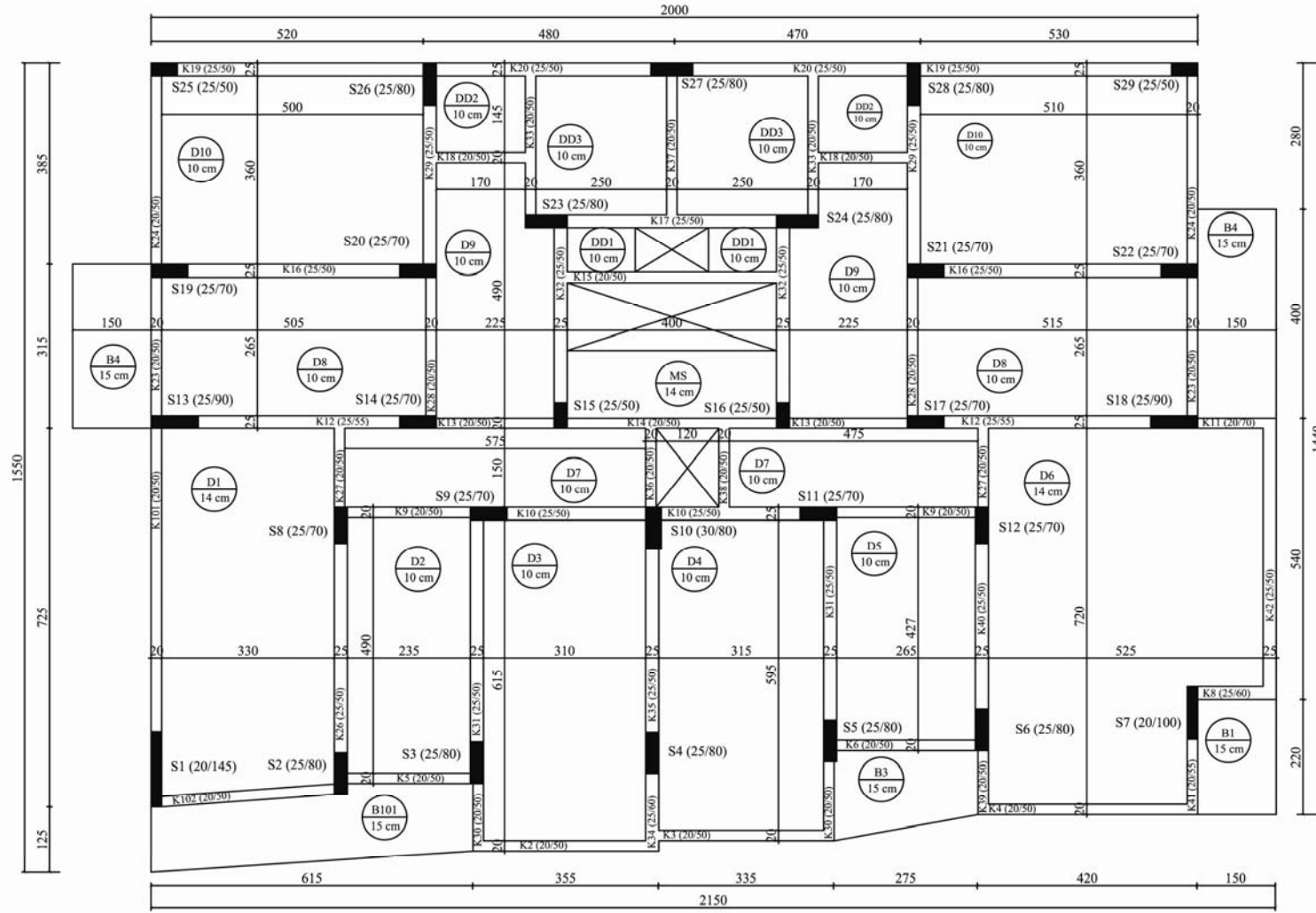
**Ek-4: Altı Katlı Binaların Kat Kalıp Planları**



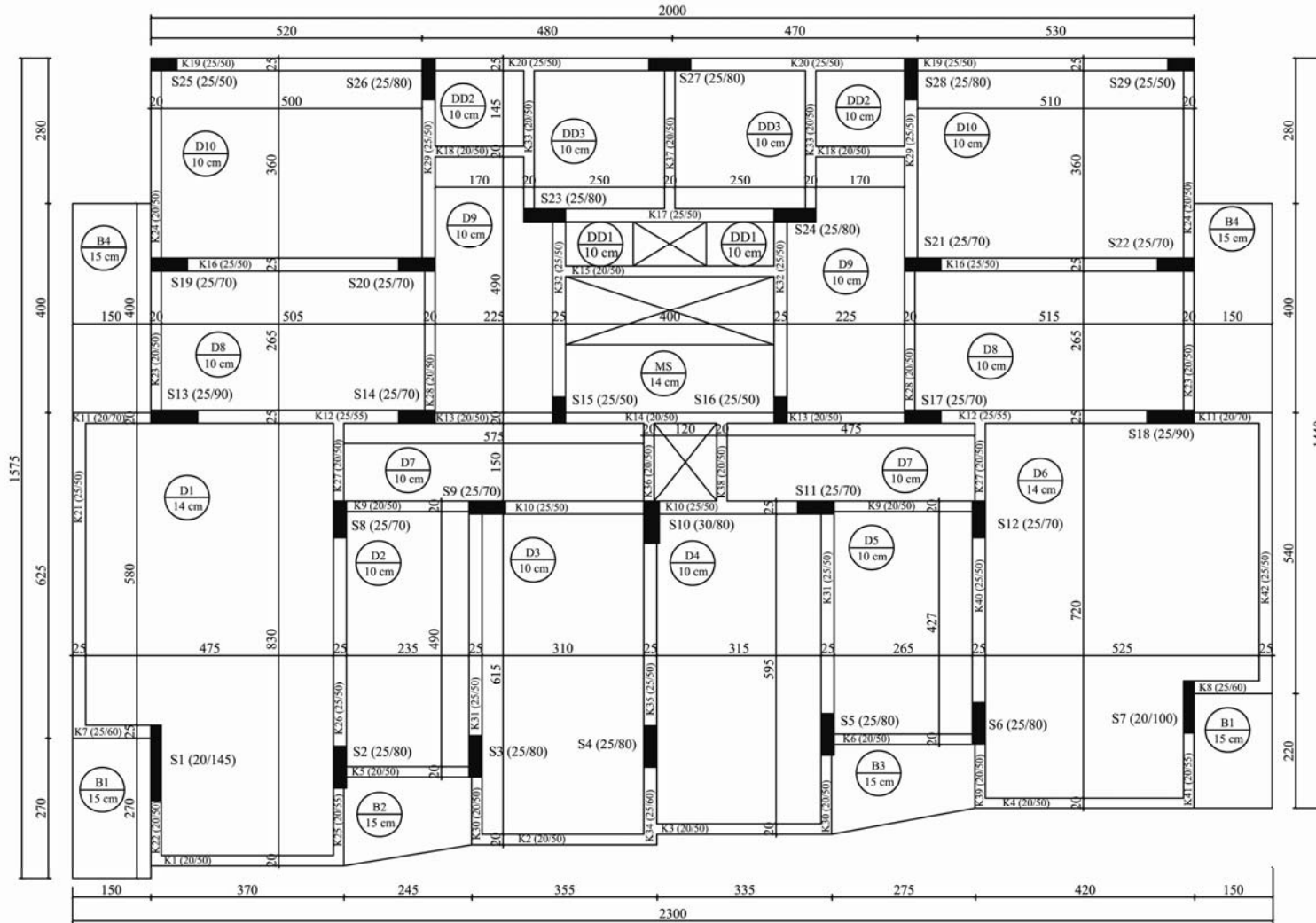
Şekil Ek-4.1 B6\_1'in kat kalıp planı



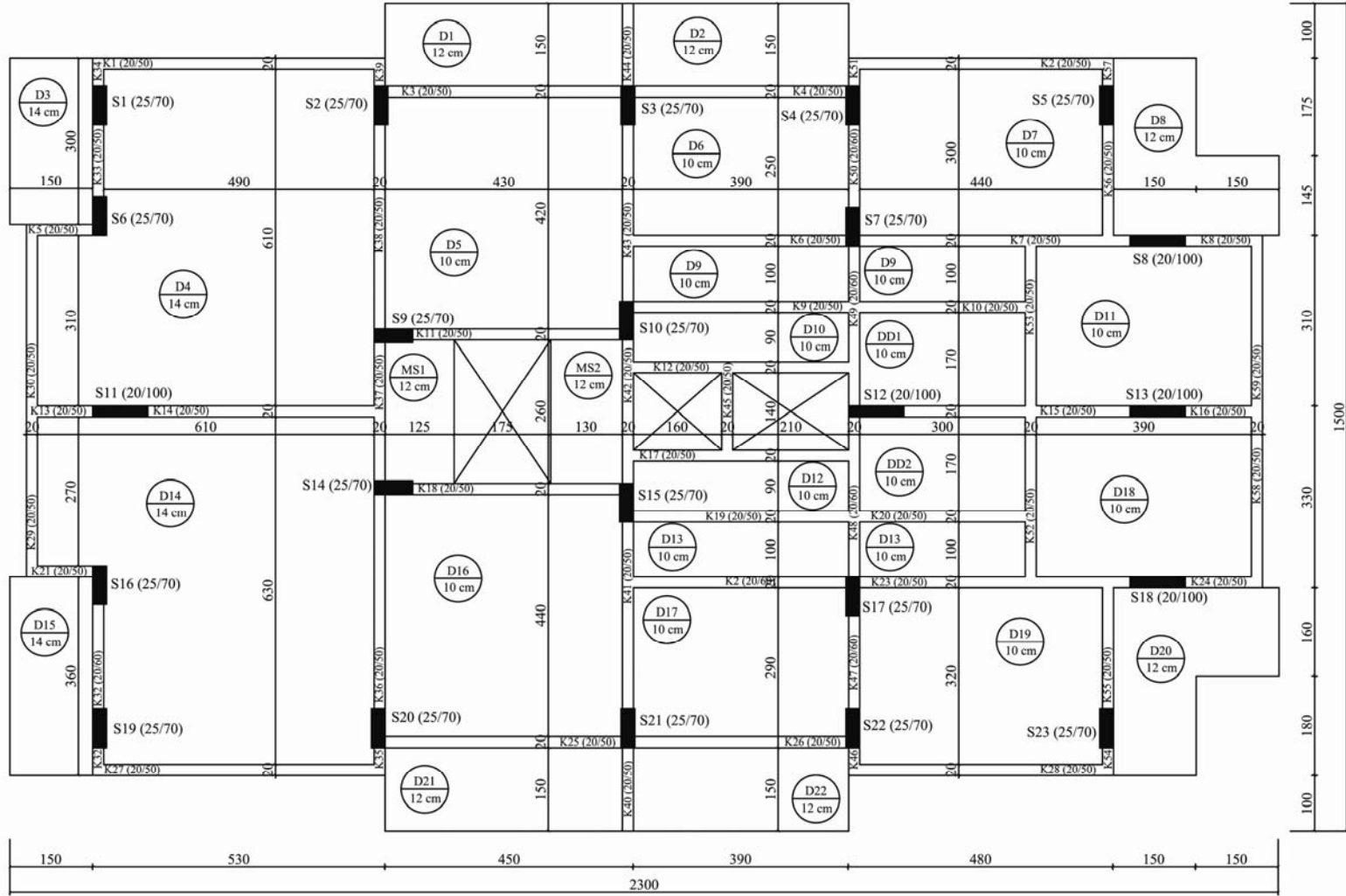
Şekil Ek-4.2 B6\_2'in kat kalıp planı



Şekil Ek-4.3 B6\_3'ün 1. kat kalıp planı

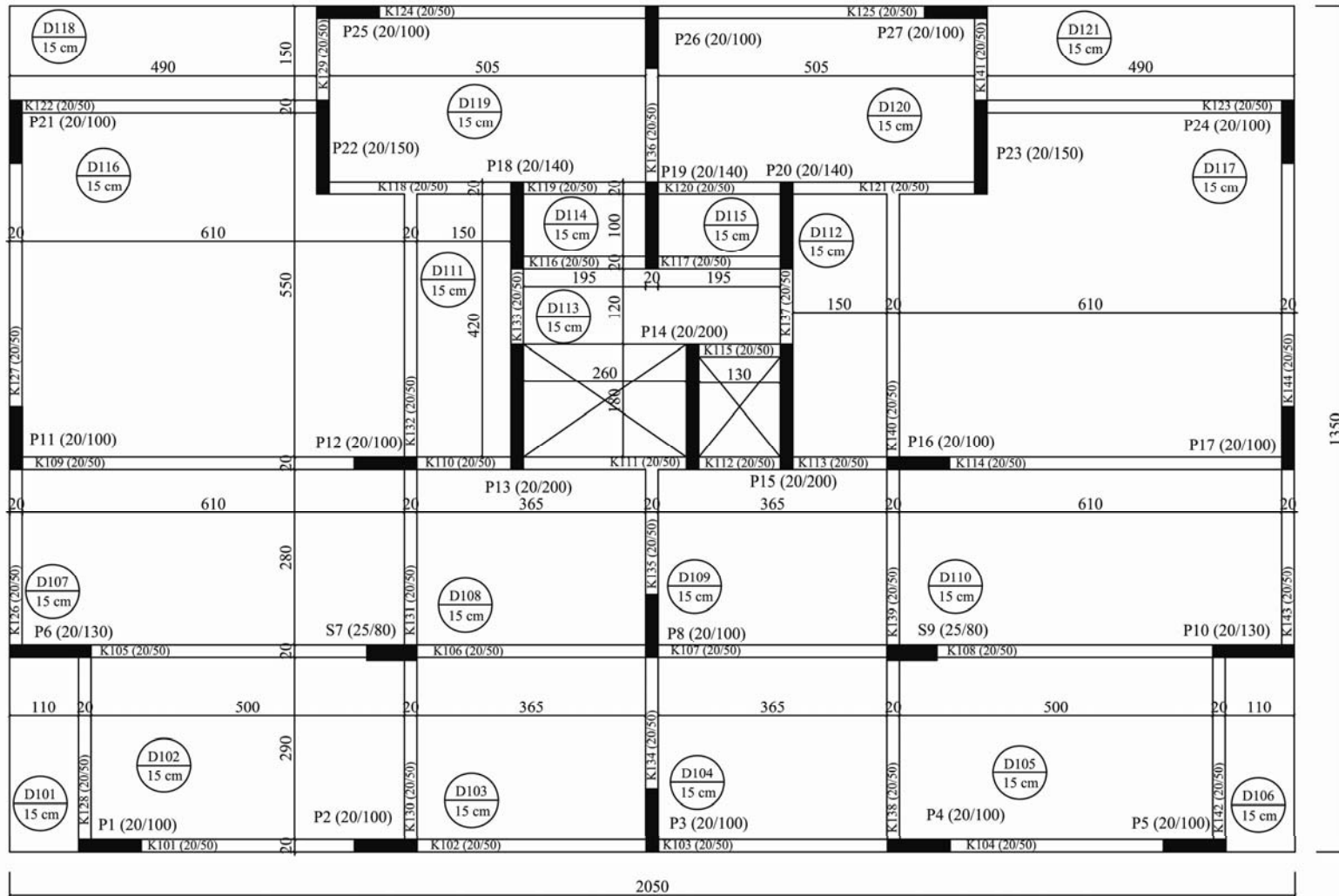


Şekil Ek-4.4 B6\_3'ün 2., 3., 4., 5. ve 6. kat kalıp planı



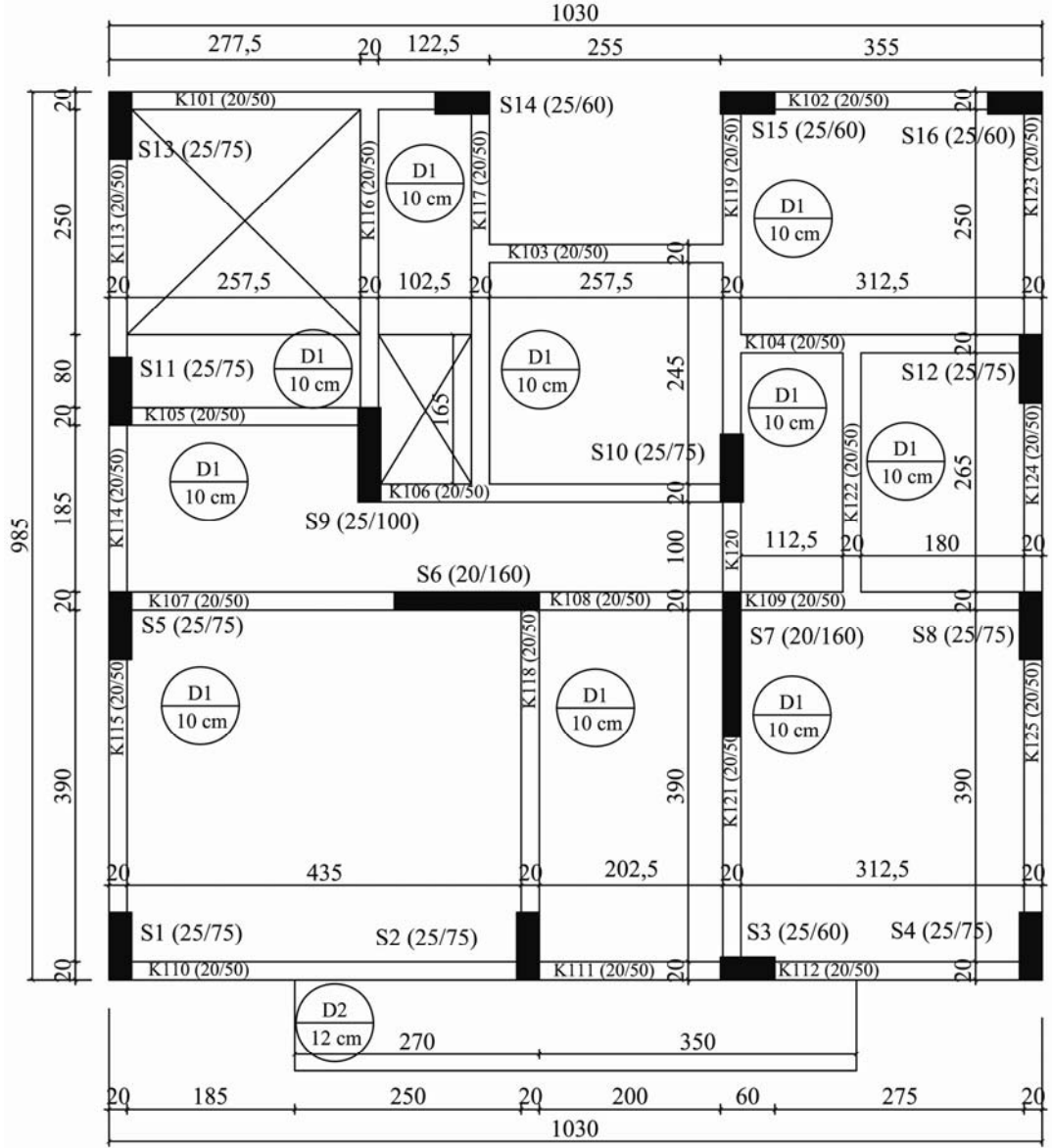
Şekil Ek-4.5 B6\_4'ün kat kalıp planı



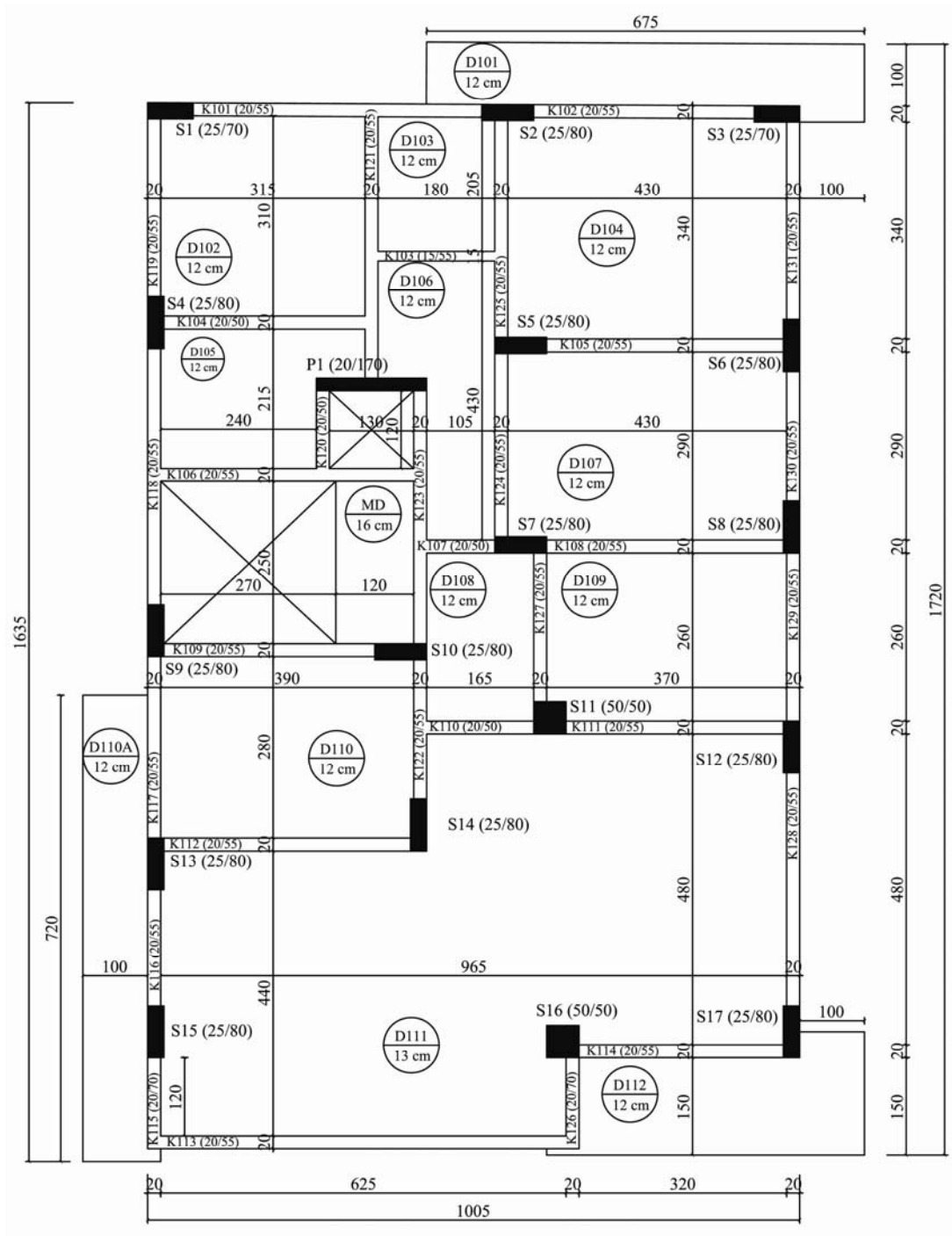


Şekil Ek-4.6 B6\_5'in kat kalıp planı

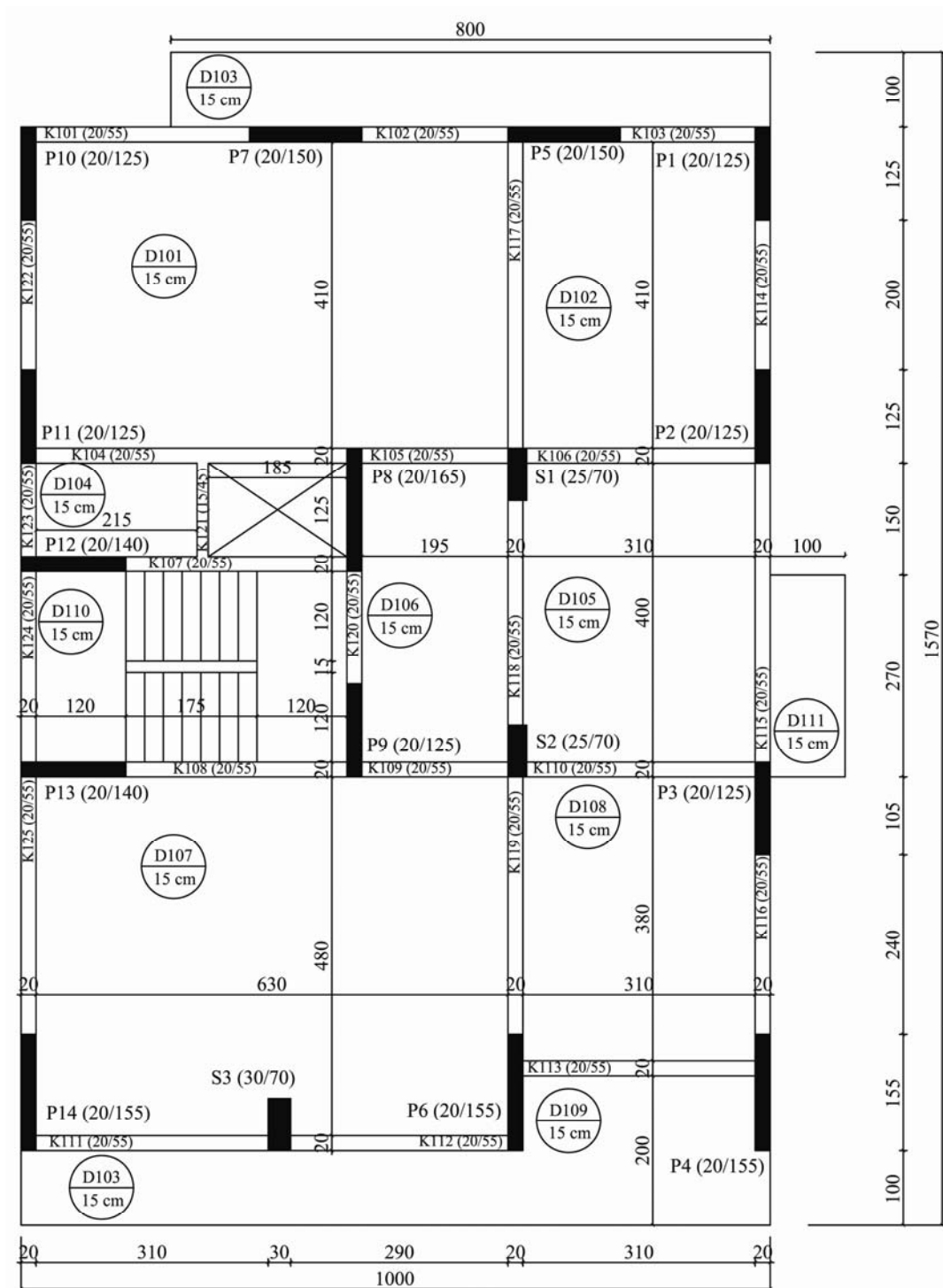
### Ek-5: Yedi Katlı Binaların Kat Kalıp Planları



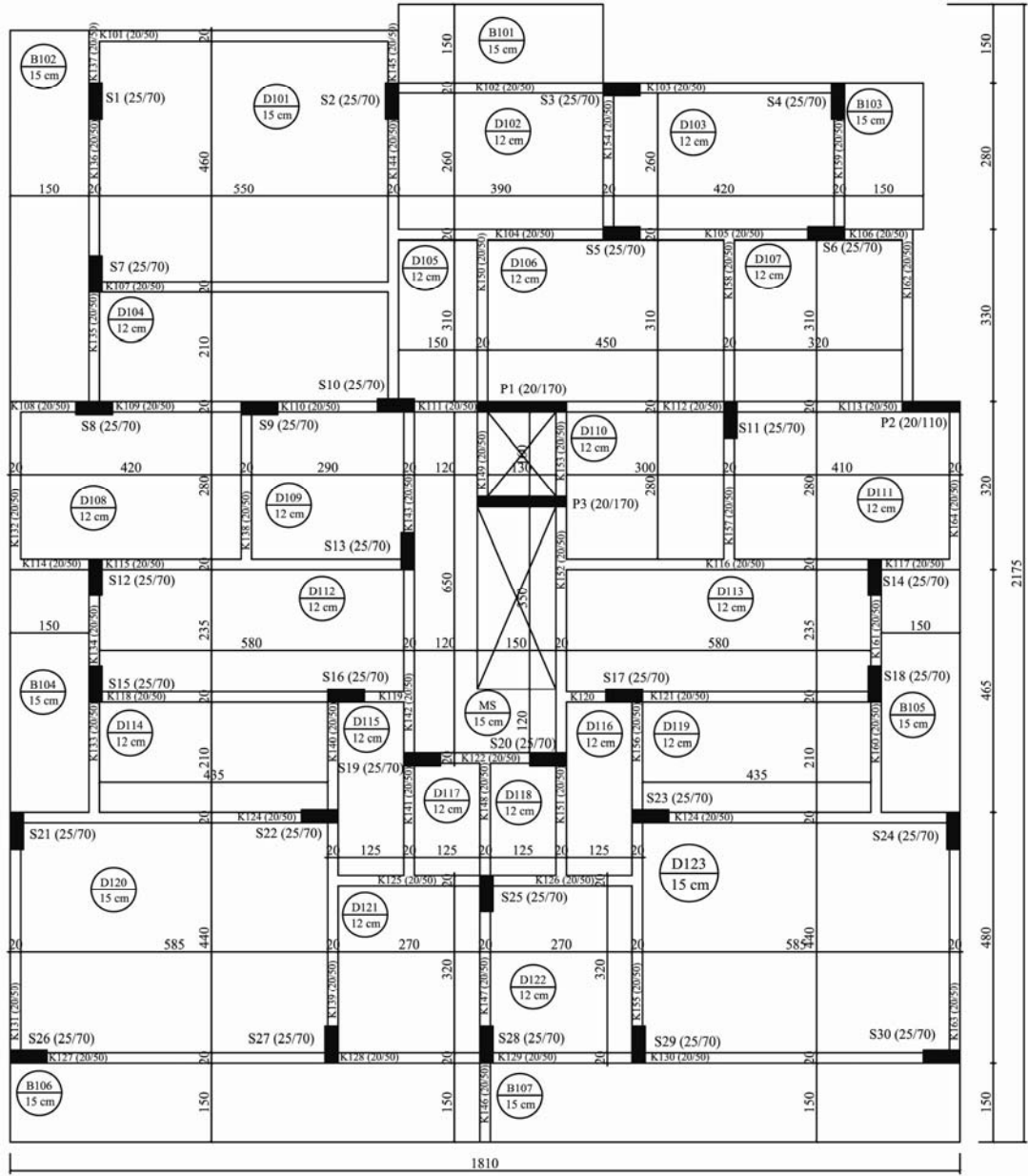
Şekil Ek-5.1 B7\_1'in kat kalıp planı



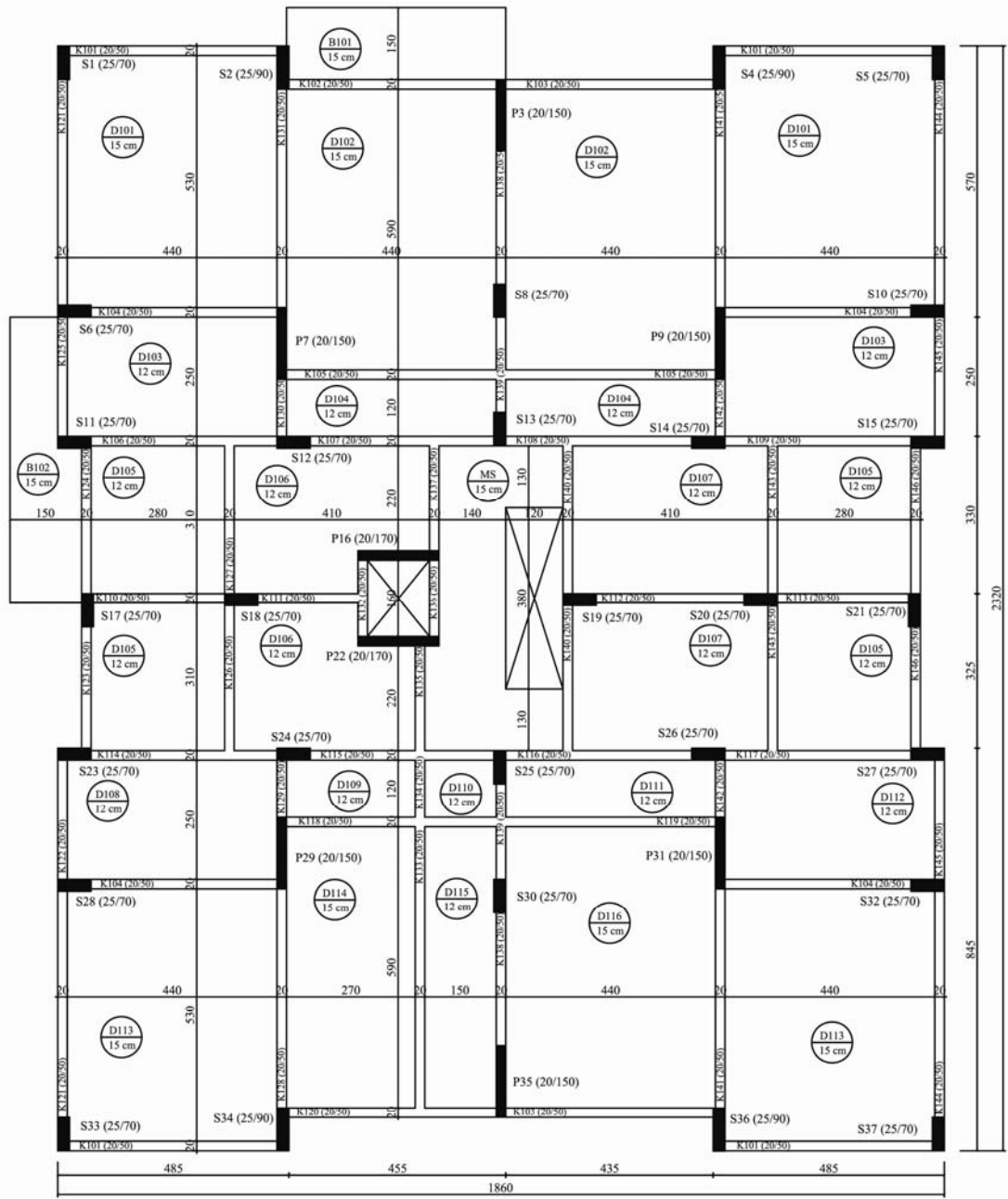
Şekil Ek-5.2 B7\_2'nin kat kalıp planı



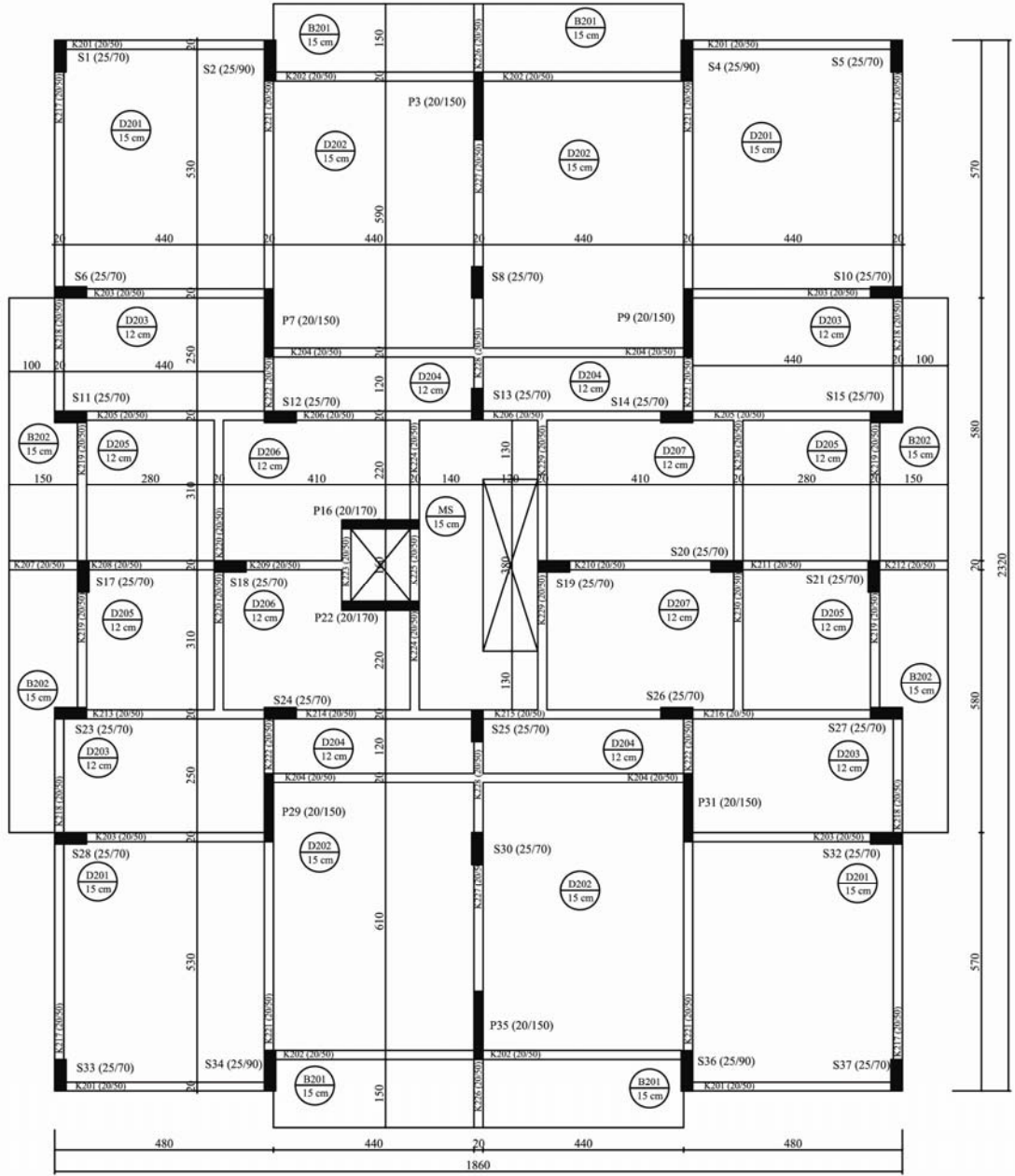
Şekil Ek-5.3 B7\_3'ün kat kalıp planı



Şekil Ek-5.4 B7\_4'ün kat kalıp planı

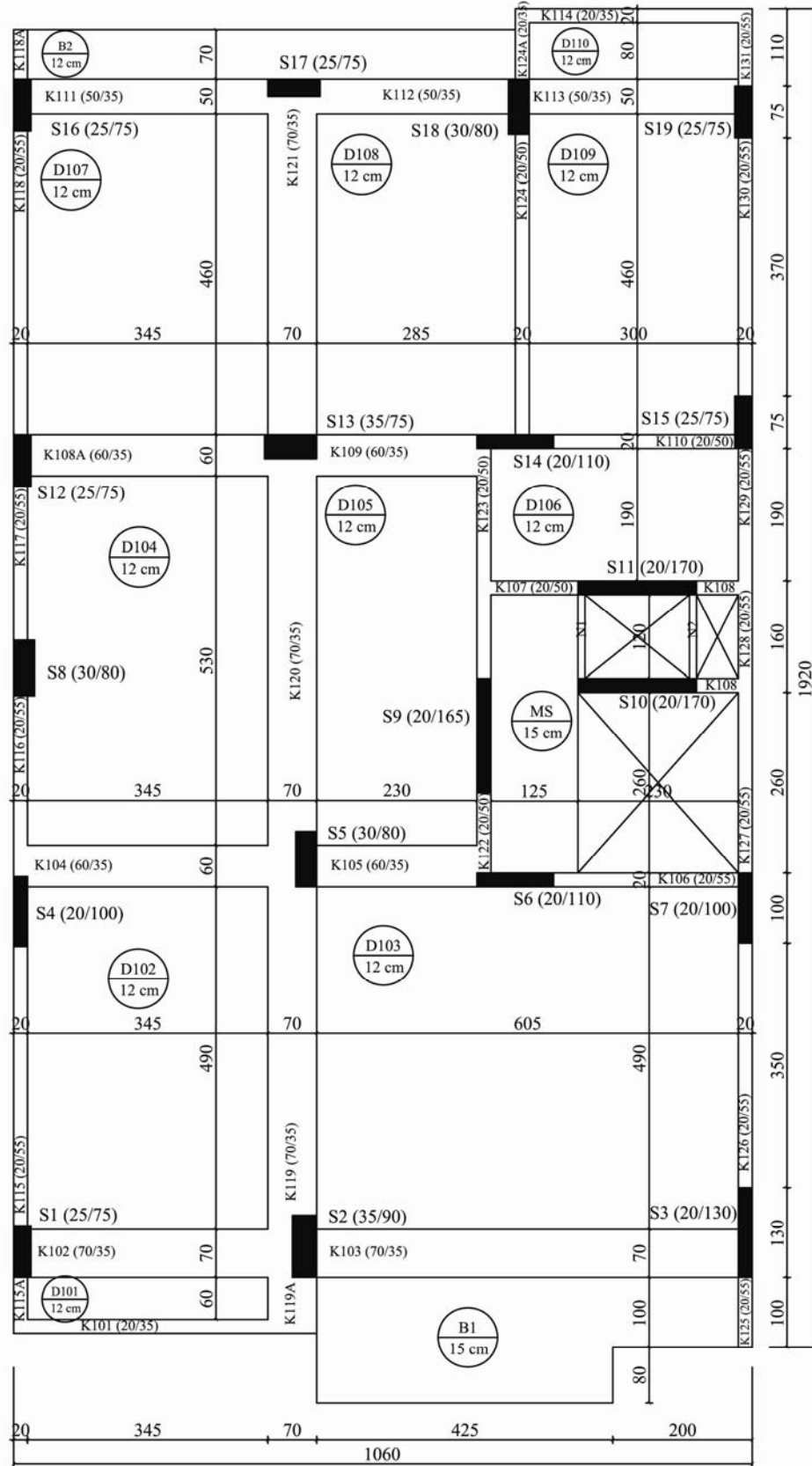


Şekil Ek-5.5 B7\_5'in 1. kat kalıp planı



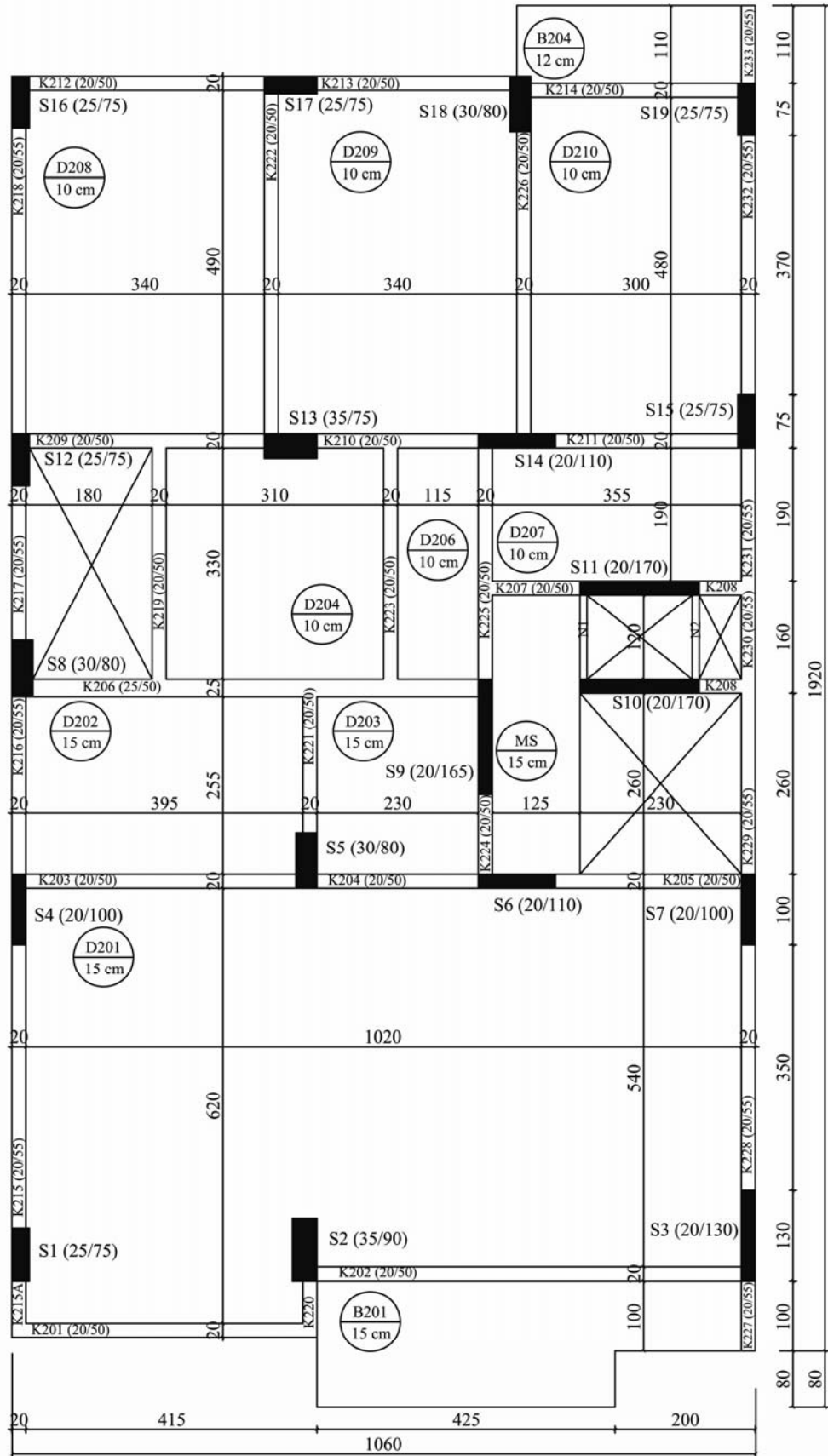
Şekil Ek-5.6 B7\_5'in 2., 3., 4., 5., 6. ve 7. kat kalıp planı

## Ek-6: Sekiz Katlı Binaların Kat Kalıp Planları

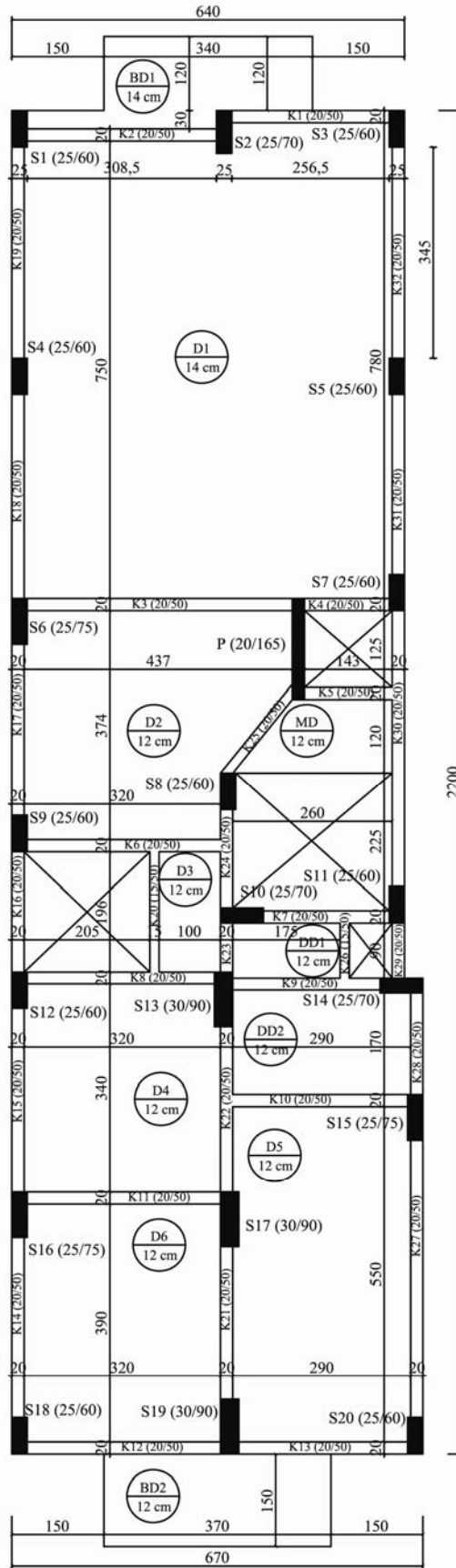


Şekil Ek-6.1 B8\_1'in 1. kat kalıp planı

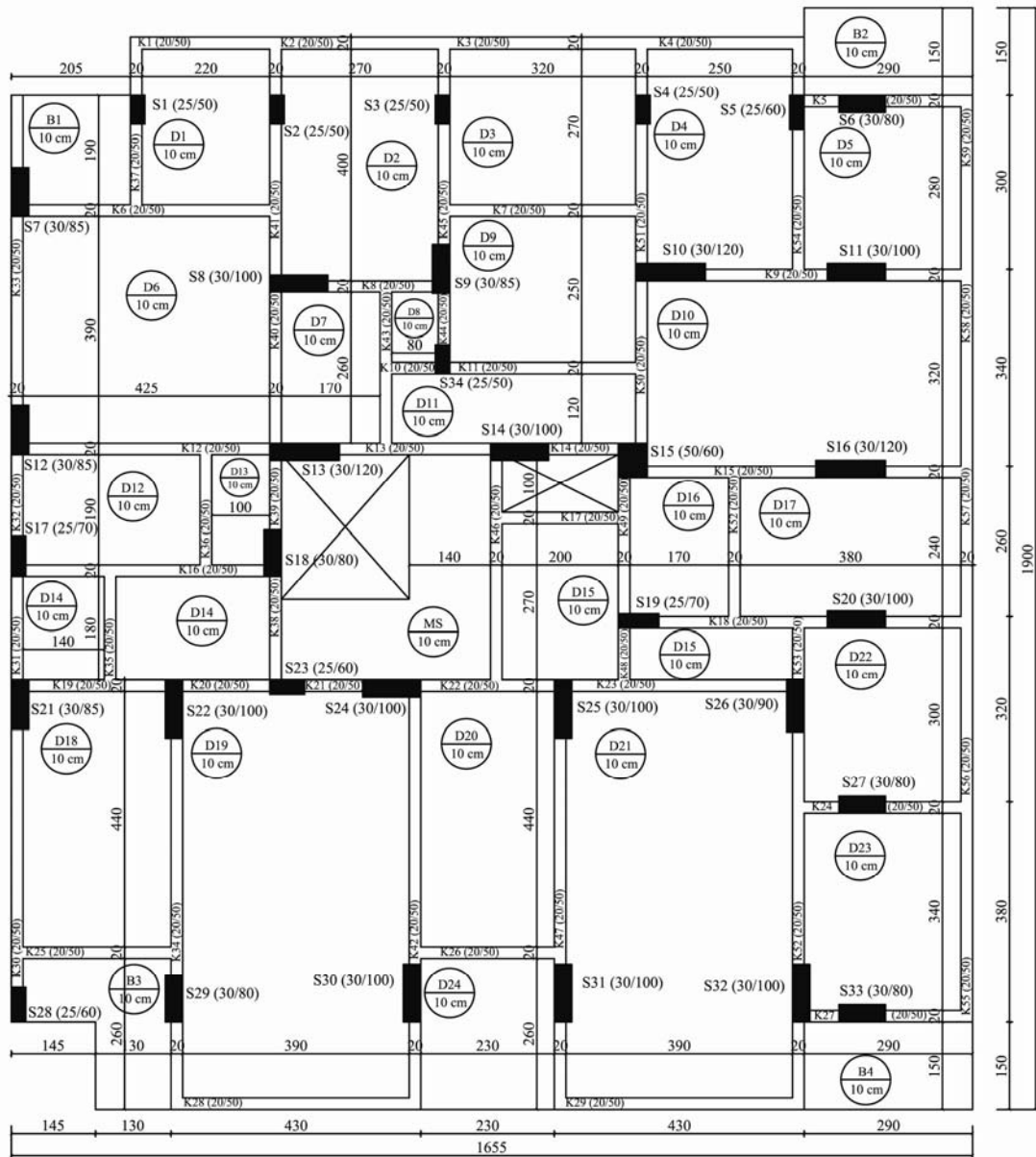




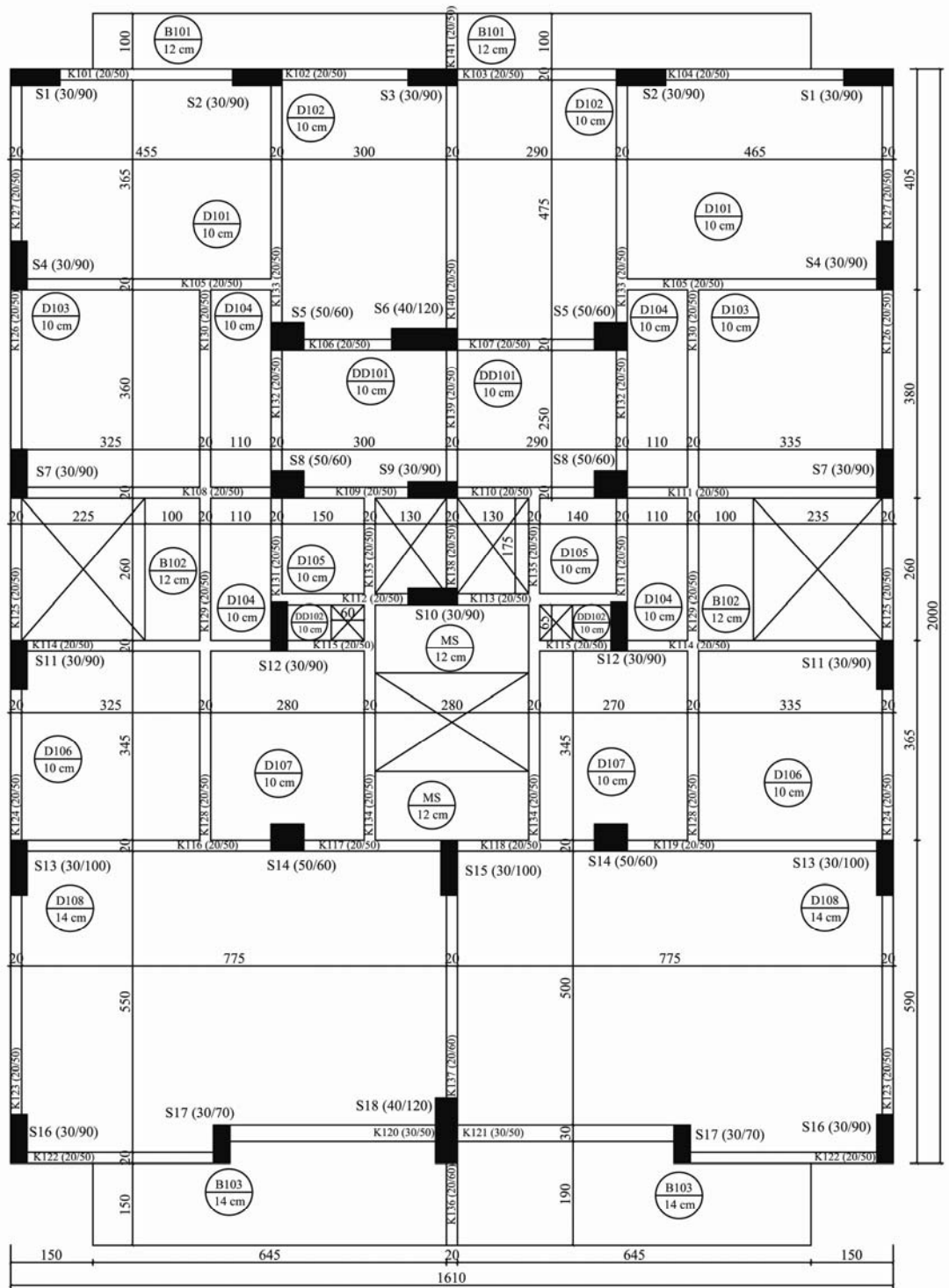
Şekil Ek-6.2 B8\_1'in 2., 3., 4., 5., 6., 7. ve 8. kat kalıp planı



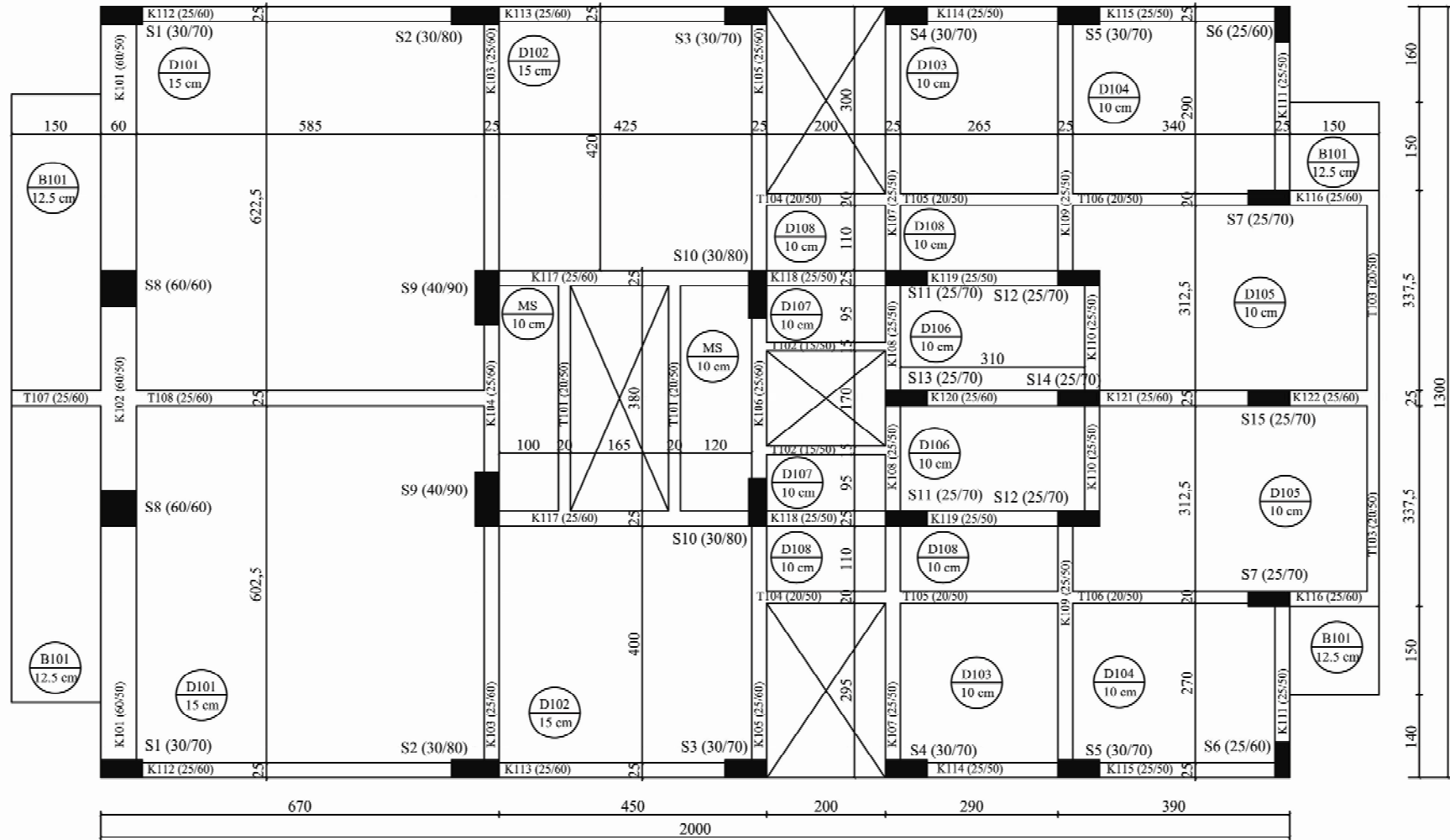
Şekil Ek-6.3 B8\_2'nin kat kalıp planı



Şekil Ek-6.4 B8\_3'ün kat kalıp planı



Şekil Ek-6.5 B8\_4'ün kat kalıp planı



Şekil Ek-6.6 B8\_5'in kat kalıp planı