

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPI SİSTEMLERİNİN GÜVENİLİRLİK ESASLI
PERFORMANSA BAĞLI ANALİZİ

Kasım Armağan KORKMAZ

Ağustos, 2005

İZMİR

YAPI SİSTEMLERİNİN GÜVENİLİRLİK ESASLI PERFORMANSA BAĞLI ANALİZİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Doktora Tezi

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Ana Bilim Dalı

Kasım Armağan KORKMAZ

Ağustos, 2005

İZMİR

DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

KASIM ARMAĞAN KORKMAZ tarafından PROF. DR. MUSTAFA DÜZGÜN yönetiminde hazırlanan “YAPI SİSTEMLERİNİN GÜVENİLİRLİK ESASLI PERFORMANSA BAĞLI ANALİZİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

.....
PROF. DR. MUSTAFA DÜZGÜN

Yönetici

.....
PROF. DR. HİKMET HÜSEYİN ÇATAL

Tez İzleme Komitesi Üyesi

.....
PROF. DR. ATTİLA ORBAY

Tez İzleme Komitesi Üyesi

.....
PROF. DR. YILDIRIM ERTUTAR

Jüri Üyesi

.....
PROF. DR. SERİF SAYLAN

Jüri Üyesi

.....
PROF. DR. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Başlarken, her zaman yanımda olan ve beni destekleyen sevgili ailem, annem Latife KORKMAZ, babam Yusuf Ziya KORKMAZ'a bana verdikleri tüm değerler için minnettarlığımı dile getirmek isterim. Özverileri, emekleri ve sevgileri için çok teşekkürler. Sevgili eşim Y. Mimar Sinem KORKMAZ'a tüm zorlu aşamalarda yanımda olduğu için, sevgisi için, gayreti için, her şey için en içten teşekkürler, kendisinin sonsuz güveni ve desteği çok değerlidir.

Doktora çalışmam boyunca tüm zorlukların üstesinden gelmeme yardımcı olan danışman hocam Prof. Dr. Mustafa DÜZGÜN, her zaman yanımda olmuştur. Kendisinden her zaman destek aldım. Kolay düşünmenin, düzenin ve sevginin önemini öğrendim. Kendisine teşekkürlerimi sunarım. Prof. Dr. Attila ORBAY her zaman çalışmalarına çok büyük katkı sağlamıştır. Her şey için çok teşekkürler. Değerli hocam Prof. Dr. Hikmet Hüseyin ÇATAL'a da teşekkür ederim. Ayrıca Prof. Dr. Yıldırım ERTUTAR, Prof. Dr. Ömer Zafer ALKU ve de Doç. Dr. Mehmet Emin KURAL ile çalışmaktan büyük onur duyduğumu ifade etmek isterim.

Bana büyük destek veren değerli hocam Prof. Dr. Şerif SAYLAN, akademisyenliğe adım atmamı sağlamıştır. Yetişmemdeki emeği ve desteği çok büyüktür. Emeklerinden ötürü teşekkürlerimi sunarım. Doç. Dr. Erdal İRTEM her zaman yanımda olmuştur. Çalışmalarına her aşamada çok büyük katkı sağlamış ve destek vermiştir. Kendisine çok teşekkür etmek isterim.

Üniversitemiz yapı ana bilim dalı araştırma görevlisi arkadaşlarıma teşekkür ederim. Çalışma arkadaşım, İnş. Y. Müh. Özgür BOZDAĞ her zaman yanımda olmuştur, teşekkür ederim. Ayrıca İnş. Y. Müh. Ali TOPAL'a da teşekkür ederim.

Amerika Birleşik Devletleri, Texas Üniversitesi, Austin’de geçirdiğim süre içinde doktora tezimin gelişmesinde ve oradaki çalışmalarım da bana çok büyük destek veren Dr. Yetkin YILDIRIM ve Dr. Ali SARI’ya çok teşekkür ederim. Kendilerine minnettarım. Doç. Dr. Lance MANUEL, Doç. Dr. Loukas KALLIVOKAS başta olmak üzere tüm hocalarıma ve çalışma arkadaşlarıma da teşekkür ederim. Purdue Üniversitesinden Yrd. Doç. Dr. Ayhan IRFANOGLU’na teşekkürlerim kifayetsiz kalacaktır. PennState Üniversitesinden Prof. Dr. Peggy JOHNSON, güvenilirlik esaslı analizlerde yardımlarını esirgememiştir. Prof. Dr. Pavel MAREK, simülasyon çalışmalarında çok büyük destek vermiştir.

İ.Y.T.E. öğretim üyelerinden Yrd. Doç. Dr. Engin AKTAŞ, çalışmalarım da büyük katkı sağlamıştır, bu sebeple kendisine teşekkürlerimi sunarım. Yrd. Doç. Dr. Cemalettin DÖNMEZ’e de teşekkür ederim. Tez çalışmalarımın başlangıcından bu yana Yrd. Doç. Dr. Bülent AKBAŞ her zaman görüşleri ile destek vermiştir. İnş. Y. Müh. Mustafa GÜNAY’a da yardımlarından ötürü teşekkür ederim.

1999 Körfez depreminde hayatını kaybeden 40.000’den fazla insanımıza ve yakınlarına saygıyla atfolunur..

Ağustos,2005
Armağan KORKMAZ

YAPI SİSTEMLERİNİN GÜVENİLİRLİK ESASLI PERFORMANSA BAĞLI ANALİZİ

ÖZ

Performansa bağılı analiz yöntemleri, yapıların deprem sırasındaki performanslarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Performansa bağılı analiz yöntemleri kuvvet esaslı yer değıştirme kontrollü, doğrudan yer değıştirme esaslı ve enerji esaslı olarak üç ana grupta toplanabilir.

Bu tez kapsamında yapı sistemlerinin deprem davranışlarının belirlenmesinde kullanılan performansa bağılı analiz yöntemleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Yapı sistemlerin performansa bağılı analizlerde kullanılan doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirmek amacıyla 3, 5, 8 ve 15 katlı betonarme çerçeve sistemler ele alınmış ve doğrusal olmayan analizler bu çerçeve sistemler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Doğrusal olmayan artımsal itme analizleri; klasik, uyarlanmış ve enerji esaslı olarak üç şekilde gerçekleştirilmiştir. Klasik yöntemlerde üçgen, dikdörtgen ve parabol yanal yükleme tipleri uygulanmıştır. Akabinde uyarlanmış ve enerji esaslı artımsal itme analizleri yapılmış ve artımsal itme analizleri, farklı zemin sınıflarından seçilen 120 deprem verisiyle gerçekleştirilen dinamik zaman tanım alanında analizlerle karşılaştırılarak artımsal itme analizleri değerlendirilmiştir.

Doğrusal olmayan analizlerin tamamlanmasından sonra performansa bağılı yöntemleri ele alınmış, kuvvet esaslı yer değıştirme kontrollü yöntemlerden kapasite spektrumu ve yer değıştirme katsayısı yöntemi ile analizler gerçekleştirilmiştir. Ardından doğrudan yer değıştirme esaslı analizlerden elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Enerji esaslı performans analizleri de tez kapsamında ele alınmıştır. Bu üç yöntem sonucunda elde edilen yer değıştirme değerleri, dinamik zaman tanım alanında analiz sonuçlarıyla karşılaştırılarak en iyi sonucun belirlenmesi amaçlanmıştır.

Performansa bağlı analiz yöntemlerinin sonuçlarının değerlendirilmesinin ardından performansa bağlı analiz yöntemlerini desteklemek amacıyla güvenilirlik esaslı performansa bağlı analizlerin yapılmasıyla daha gerçekçi sonuçlar elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla güvenilirlik esaslı performansa bağlı analizlerde mevcut kırılma olasılıklarının uygulanmasıyla aşılma olasılıklarının verildiği kırılma eğrileri elde edilmiştir.

Mevcut güvenilirlik esaslı performansa bağlı analiz yöntemlerinin geliştirilmesi için güvenilirlik esaslı performansa bağlı analizde kırılma eğrilerinin iki parametreyle elde edilmesini sağlayan bir yöntem geliştirilmiş ve kırılma yüzeyleri elde edilmiştir. İki parametreyle kırılma yüzeylerinin elde edilmesinin ardından simülasyon yöntemlerinin kırılma analizlerine uygulanmasıyla ilgili çalışmalar yapılmıştır. Simülasyon ile yapılan analizler sonucunda olasılıklı yoğunluk fonksiyonu ve eklenik yoğunluk fonksiyonu elde edilmiştir.

Güvenilirlik esaslı performansa bağlı analizde sismik yük katsayılarının amaç fonksiyonlarıyla optimizasyonun yapılması ve optimum yük katsayılarının elde edilmesi sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Performansa Bağlı Analiz, Güvenilirlik Esaslı Performansa Bağlı Analiz, Olasılıklı Sismik Analiz, Kırılma Analizleri, Simülasyon Bazlı Güvenilirlik Analizi

RELIABILITY BASED PERFORMANCE ANALYSIS OF STRUCTURAL SYSTEMS

ABSTRACT

Performance based analysis methods are used to determine the structural behavior under earthquake by performing force based, displacement based and energy based analysis methods. The main aim in performance based analysis is to determine the performance target and performance criteria of structures.

In this thesis, the performance analysis methods are evaluated in comparison. To realize the nonlinear analysis, 3-5-8-15-story frame structures are designed. These four structures are typical reinforced concrete (R/C) frame systems. The nonlinear analyses of these structures are realized with pushover and time history analyses. The push over curves are sketched by performing classical pushover analysis with rectangular, triangular and IBC load distributions and after adaptive and energy based pushover analyses. The nonlinear dynamic time history analyses are realized with 120 earthquake data in different soil type and characterization for comparison of the push over curves.

After performing the nonlinear analyses, the performance based analysis methods are evaluated. The strength based performance based analysis as capacity spectrum method, displacement coefficient method, displacement based and energy based analyses for performance prediction of the frame structures with variety of natural periods are evaluated and compared. The calculated displacements from performance based design are compared to time history analysis results to choose the best result.

After evaluating the performance based design results, reliability-based performance analysis is pursued for the same structures. Fragility analyses and evaluation of seismic fragility curves are realized. The fragility analyses are based on a probabilistic characterization of the demands and capacity of the R/C frame structures. Fragility analysis is a system reliability analysis with correlated demands and capacity.

To develop the existing one parameter-dependent fragility based reliability analysis methods, a method is developed for the fragility surfaces depending on two parameters. Another method is simulation to develop the reliability based design. Here, simulation based reliability analysis is developed to perform the fragility analysis. Probability density and cumulative distribution function curves are sketched in reliability analysis.

Optimization for seismic load parameters is realized in reliability analysis method to design structure in optimal way. Load factors depend on structural resistance criteria. It is aimed to determine the optimum load factor for optimum design.

Keywords: Performance Based Design, Reliability Based Design, Probability Based Seismic Design, Fragility Analysis, Simulation Based Reliability Analysis

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	v
ABSTRACT.....	vii

BÖLÜM BİR – GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Kapsamı ve Amacı.....	2
1.2. Çalışmanın Yöntemi.....	3
1.3. Literatürde Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	5

BÖLÜM İKİ –YAPI SİSTEMLERİNİN DEPREM

DAVRANIŞLARININ BELİRLENMESİNDE

PERFORMANSA BAĞLI ANALİZ YÖNTEMLERİ..... 13

2.1. Giriş.....	13
2.2. Yapı Kapasitelerini Belirlemede Kullanılan Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleri.....	17
2.2.1. Doğrusal Olmayan Artımsal İtme Analizleri.....	17
2.2.1.1. Doğrusal Olmayan Klasik Artımsal İtme Analizleri.....	21
2.2.1.2. Doğrusal Olmayan Uyarlanmış Artımsal İtme Analizleri.....	22
2.2.1.3. Doğrusal Olmayan Enerji Esaslı Artımsal İtme Analizleri.....	24
2.2.2. Doğrusal Olmayan Dinamik Zaman Tanım Alanında Analiz.....	27
2.2.3. Doğrusal Olmayan Analizlerde ve Kullanılan Bilgisayar Programında Yapılan Kabuller.....	28
2.2.4. Doğrusal Olmayan Artımsal İtme ve Dinamik Zaman Tanım Alanında Analizlerin Karşılaştırmaları.....	30
2.2.4.1. Analizlerde Kullanılan Örnek Betonarme Çerçeve Sistemler.....	31

2.2.4.2. Örnek Betonarme Çerçevelerin Doğrusal Olmayan Artımsal İtme Analizleri.....	34
2.2.4.2.1. Örnek Betonarme Çerçevelerin Doğrusal Olmayan Klasik Artımsal İtme Analizleri.....	34
2.2.4.2.2. Örnek Betonarme Çerçevelerin Doğrusal Olmayan Uyarlanmış ve Enerji Esaslı Artımsal İtme Analizleri.....	40
2.2.4.2.3. Örnek Betonarme Çerçevelerin Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanında Analizi.....	44
2.2.4.3. Doğrusal Olmayan Artımsal İtme ve Dinamik Zaman Tanım Alanında Analiz Yöntemlerinin Değerlendirilmesi.....	53
2.3. Yapı Sistemlerinin Deprem Davranışlarının Belirlenmesinde Kullanılan Performansa Bağlı Analiz Yöntemleri.....	59
2.3.1. Kuvvet Esaslı Yer Değiştirme Kontrollü Performansa Bağlı Analiz.....	64
2.3.1.1. Kuvvet Esaslı Yer Değiştirme Kontrollü Kapasite Spektrumu Yöntemi.....	64
2.3.1.2. Kuvvet Esaslı Yer Değiştirme Kontrollü Yer Değiştirme Katsayısı Yöntemi.....	72
2.3.2. Doğrudan Yer Değiştirme Esaslı Performansa Bağlı Analiz.....	79
2.3.3. Enerji Esaslı Performansa Bağlı Analiz.....	85
2.4. Performansa Bağlı Analiz Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Değerlendirmesi.....	90

BÖLÜM ÜÇ –YAPI SİSTEMLERİNİN DEPREM

DAVRANIŞLARININ BELİRLENMESİ İÇİN

MEVCUT GÜVENİLİRLİK ESASLI PERFORMANSA

BAĞLI ANALİZ YÖNTEMLERİ.....95

3.1. Giriş.....95

3.2. Mevcut Güvenilirlik Esaslı Performans Analiz Yöntemlerinde	
Olasılık Kavramı ve Analiz Parametreleri.....	98
3.2.1. Sismik Hasar Eğrileri.....	99
3.2.2. Limit Durumlar.....	100
3.2.3. Risk Seviyeleri.....	101
3.2.4. Olasılıklı Yapı Kapasitesi.....	103
3.2.5. Olasılıklı Yapı Tepkisi.....	104
3.3. Mevcut Tek Parametrelili Kırılabilirlik Analizlerine Dayanan Güvenilirlik	
Esaslı Performansa Bağlı Analiz Yöntemleri.....	105
3.3.1. Mevcut Tek Parametrelili Kırılabilirlik Analiz Yöntemleri.....	107
3.3.1.1. Zion Kırılabilirlik Analiz Yöntemi.....	108
3.3.1.2. Hirata Kırılabilirlik Analiz Yöntemi.....	109
3.3.2. Örnek Betonarme Çerçeve Sistemlerin Tek Parametrelili	
Kırılabilirlik Analizleri.....	110
3.4. Yapı Sistemlerinin Deprem Davranışları İçin Mevcut Güvenilirlik	
Esaslı Performansa Bağlı Analiz Yöntemlerinin Değerlendirilmesi.....	114

BÖLÜM DÖRT –YAPI SİSTEMLERİNİN DEPREM

DAVRANIŞLARININ BELİRLENMESİ İÇİN

GELİŞTİRİLEN GÜVENİLİRLİK ESASLI

PERFORMANSA BAĞLI ANALİZ YÖNTEMLERİ.....116

4.1. Giriş.....	116
4.2. Geliştirilen İki Parametrelili Kırılabilirlik Analizine Dayanan Güvenilirlik	
Esaslı Performansa Bağlı Analiz Yöntemi.....	120
4.3. Yapı Sistemlerinin Deprem Davranışlarının Belirlenmesi İçin	
Geliştirilen İki Parametrelili Kırılabilirlik Analizine Dayanan Güvenilirlik	
Esaslı Performansa Bağlı Analiz Yönteminin Değerlendirilmesi.....	128
4.4. Güvenilirlik Esaslı Performansa Bağlı Analizde Simülasyon	
Yöntemleri.....	130
4.4.1. Monte Carlo Yöntemiyle Simülasyon.....	132

4.4.2. Geliştirilen Simülasyon Yöntemleriyle Güvenilirlik	
Esaslı Performansa Bağlı Analizde Kırılma Analizleri.....	133
4.5. Simülasyon Yöntemleriyle Kırılma Analizlerine Dayanan Güvenilirlik	
Esaslı Performansa Bağlı Analiz Yönteminin Değerlendirilmesi.....	148
BÖLÜM BEŞ –GÜVENİLİRLİK ESASLI PERFORMANSA	
BAĞLI ANALİZDE YÜK	
KATSAYILARININ OPTİMİZASYONU.....	149
5.1. Giriş.....	149
5.2. Karakteristik Değerler ve Yük Katsayıları.....	150
5.3. Optimum Yük Katsayısının İki Parametreye Bağlı Olarak Belirlenmesi.....	153
5.4. Güvenilirlik Esaslı Performansa Bağlı Analiz Kapsamında Yük	
Katsayılarının Optimizasyonunun Değerlendirilmesi.....	164
BÖLÜM ALTI – SONUÇLAR.....	167
KAYNAKÇA.....	173

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Günümüzde yapıların deprem davranışlarının belirlenmesinde performansa bağlı analiz yöntemlerinin kullanılması oldukça önem kazanmıştır. Performansa bağlı analiz; kuvvet esaslı yer değiştirme kontrollü, doğrudan yer değiştirme esaslı ve enerji esaslı olmak üzere üç şekilde gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemlerde yapının deprem davranışı performans kriterleri ile belirlenmektedir. Kuvvet esaslı yer değiştirme kontrollü performans analizleri, kuvvet - yer değiştirme ilişkisine dayanan kapasite eğrilerinin kullanılmasıyla, doğrudan yer değiştirme esaslı performansa bağlı analizler, yer değiştirme hedeflerinin belirlenmesiyle, enerji esaslı performansa bağlı analizler ise, yapı sistemlerinin deprem sırasındaki performanslarının enerjilerine bağlı olarak belirlenebilmektedir.

Yapı sistemlerinin doğrusal olmayan analize bağlı kapasite eğrileri yapının elastik ötesi davranışıyla ilgili pek çok bilgi vermektedir. Bunların içinde dayanım azalması, elastik ve elastik ötesi rijitlik, elastik davranış sınırı gibi yapısal özellikler vardır ancak yapı sisteminin davranışını tam olarak ifade edebilmek için, bu kapasite eğrilerinin de değerlendirildiği yapı performansına bağlı analiz yöntemlerinin kullanılması gereklidir.

Deprem analizlerinde kullanılması gerekli olan deprem verilerindeki eksiklik ve belirsizlik, performansa bağlı analiz yöntemlerinde olasılık kavramlarının kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir. Yapıların deprem davranışlarının ilk akma veya göçme gibi belirli limit durumlarına bağlı olarak belirlenen aşılma olasılığı gibi parametrelerle değerlendirilmesi, yapının performansının daha gerçekçi tanımlanmasına olanak verecektir. Yapıların performanslarının belirlenmesinde, kırılma analiz yöntemlerine dayanan güvenilirlik esaslı olasılık analiz yöntemlerinin kullanılması daha gerçekçi sonuçlar vermektedir. Bu yöntemler yapıların deprem davranışlarında olasılıklı sismik analiz başlığı altında ele alınmakta ve güvenilirlik esaslı performansa bağlı analiz olarak isimlendirilmektedir.

Mevcut güvenilirlik esaslı performansa bağılı analiz yöntemlerinde yapıların deprem davranışlarına ait aşılma olasılıkları, kırılma analizlerinde kullanılacak deprem karakteristiklerini ifade eden ivme, hız ve yer değiştirme gibi parametrelerden sadece birine bağılı olarak belirlenmektedir. Oysa ki tek parametreyle deprem davranışının karakterizasyonu gerçekçi olamayabilmektedir. Bu nedenle yapılan analizler yapı performansını belirlemede yetersiz kalabilmekte ve analizlerin birden fazla parametreyle gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu tez çalışması kapsamında da iki parametreye bağılı kırılma analiz yöntemlerine dayanan güvenilirlik esaslı analiz yöntemi geliştirilmiştir.

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu tez çalışması kapsamında, yapı sistemlerinin deprem davranışlarının belirlenmesinde kullanılan performansa bağılı analiz yöntemlerinin değerlendirilmesi yapılmış, yöntemlerde yapı kapasitelerinin bulunmasında kullanılan doğrusal olmayan artımsal itme analiz yöntemlerinden en uygun olanının belirlenmesi, tek parametrelili kırılma analiz yöntemlerine dayanan güvenilirlik esaslı performansa bağılı analiz yöntemlerinin verilerek iki parametrelili kırılma analiz yönteminin geliştirilmesi ve güvenilirlik esaslı analizler kullanılarak sismik yük katsayılarının optimum değerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçlar doğrultusunda, yapı sistemlerinin deprem davranışlarının belirlenmesinde kullanılacak doğrusal olmayan artımsal itme analiz yöntemlerinden en uygun olanının belirlenmesi hedeflenmiştir. Örnek betonarme çerçeve sistemler seçilerek bunlar üzerinde, klasik, uyarlanmış ve enerji esaslı artımsal itme analiz yöntemleri uygulanmıştır. Bu yöntemlerden elde edilen kapasite eğrileri, daha gerçekçi sonuçlar veren seçilmiş çok sayıda deprem verisi kullanılarak yapılan doğrusal olmayan dinamik zaman tanım alanında analiz yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Böylelikle artımsal itme analizi sonuçlarının, dinamik zaman tanım alanında analiz sonuçlarından sapmalarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada, artımsal itme analiz yöntemlerinden belirlenen yapı kapasite eğrileri dikkate alınarak, yapı deprem davranışını belirleyecek “Kuvvet Esaslı Yer Değiştirme Kontrollü”, “Doğrudan Yer Değiştirme” ve “Enerji” esaslı performansa bağlı analiz yöntemleri ayrıca incelenmiştir. Örnek betonarme çerçeve sistemler üzerinde, bu yöntemlerin birbirleriyle ve doğrusal olmayan dinamik zaman tanım alanında analiz yöntemiyle karşılaştırmalı değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Deprem karakteristiklerinden biriyle gerçekleştirilen tek parametrelilik kırılma analizlerine dayalı mevcut güvenilirlik esaslı performansa bağlı analiz yöntemlerinin daha gerçekçi değerlendirilmesi amacıyla, iki parametrelilik kırılma analizlerine dayalı güvenilirlik esaslı analiz yöntemi geliştirilmesi amaçlanmış ve kırılma yüzeyinin elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu analizlerde, yapının güvenilirliği, ilk akma veya göçme gibi limit durumu aşılma olasılıklarının yapısal davranış parametreleri olarak kullanılmasıyla belirlenmiştir. Ayrıca güvenilirlik esaslı performansa bağlı analiz kapsamında kırılma analizlerinin simülasyon yöntemleriyle gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

Ayrıca, güvenilirlik esaslı performansa bağlı analiz sonuçlarından, yapı sistemlerinin yatay yük etkileri altındaki analizinde kullanılan TS500'deki deprem yük katsayısının optimizasyonu ile ilgili bir çalışma da sunulmuştur. Bu katsayının optimizasyonu için en büyük yer ivmesi ve hızına bağlı olarak amaç fonksiyonu önerilmiş ve bu amaç fonksiyonuyla optimum yük katsayısı belirlenmiştir.

1.2 Çalışmanın Yöntemi

Tez kapsamında, betonarme çerçeve yapıların performansa bağlı analizini incelemek amacıyla 3, 5, 8 ve 15 katlı betonarme çerçeve yapı örnekleri seçilmiştir. Bu çerçeve yapılar deprem yönetmeliğine uygun olarak boyutlandırılmıştır. Boyutlandırılan çerçeve yapıların klasik, uyarlanmış ve enerji esaslı doğrusal olmayan artımsal itme analizleri yapılarak, dört ayrı zemin sınıfı için 30'ar deprem verisi kullanılarak gerçekleştirilen dinamik zaman tanım alanında analizlerle karşılaştırılmıştır.

Dinamik zaman tanım alanında analizler için farklı büyüklüklerde farklı zemin sınıflarına ait deprem verileri kullanılmıştır. Doğrusal olmayan artımsal itme analizlerinin ve dinamik zaman tanım alanında analizlerin gerçekleştirilmesinde DRAIN-2DX programı kullanılmıştır.

Daha sonra Performansa bağlı analiz yöntemleri ele alınmıştır. Bu yöntemleri değerlendirmek amacıyla doğrusal olmayan analizlerde kullanılan 120 deprem verisi içinden onikisi seçilerek performansa bağlı analiz yöntemleri gerçekleştirilmiştir. Performansa bağlı analiz yöntemlerinden kuvvet esaslı yer değiştirme kontrollü analiz yöntemleri ele alınmış bu yönteme dahil olan kapasite spektrumu ve yer değiştirme katsayısı yöntemiyle analizler gerçekleştirilmiştir. Doğrudan yer değiştirme esaslı performans analizleri, Priestley ve Jonnson tarafından geliştirilen yöntemlerle gerçekleştirilmiş ve ardından enerji esaslı yöntemlerle analizler yapılmıştır. Bu üç performansa bağlı analiz yönteminin sonuçları zaman tanım alanında analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Güvenilirlik esaslı performansa bağlı analizler gerçekleştirilerek, kırılma analizleri yapılmıştır. Kırılma analizleri sonucunda kırılma eğrileri elde edilmiştir. Kırılma eğrileri yardımıyla, olasılıklı sismik davranış gerçekçi bir şekilde yapı güvenliğinin ifadesinde kullanılabilir.

Kırılma analizlerinin daha gerçekçi sonuçlar vermesi amacıyla iki parametrelilik yüzey olarak gösterildiği kırılma analiz yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen iki parametrelilik kırılma analizleri sonucunda üç boyutlu grafikler elde edilmiştir. Simülasyon yöntemlerinin, kırılma analizlerine uyarlanması ve kırılma eğrilerinin simülasyon ile elde edilmesi amaçlanmıştır.

TS500'deki deprem yük katsayısının optimizasyonu yapılmıştır. Güvenilirlik esaslı analizde kullanılan yük katsayıları için amaç fonksiyonları belirlenmiştir. Belirlenen bu amaç fonksiyonlarına karşı gelen yük katsayılarının grafikleri çizdirilerek, yük katsayılarının optimum değerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Tezin tüm bölümlerinde süreklilik olması ve karşılaştırmaların kolaylıkla yapılabilmesi açısından performans analizlerinde kullanılan 12 deprem verisi, güvenilirlik analizlerinde, kırılma analizlerinde, simülasyonlarda ve optimizasyonda kullanılmıştır. Tez kapsamında ele alınan tüm konular, her bölümün ardından genel değerlendirme başlığı altında verilmiş ve sonuçlar kısmında bu çalışmada elde edilen sonuçlar ve varılan nokta detaylı olarak sunulmuştur.

1.3. Literatürde Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Bu bölüm kapsamında, tez dahilinde yapılmış olan doğrusal olmayan artımsal itme analizleri, performansa bağlı analiz, kuvvet esaslı yer değiştirme kontrollü, doğrudan yer değiştirme ve enerji esaslı analiz, kırılma analizleri, olasılıklı sismik analiz ile güvenilirlik ve yapısal optimizasyon için literatürde yapılmış çalışmalar sunulmuştur. Günümüzde yapısal performans analizlerine ışık tutan belli başlı yöntemler mevcuttur. Bunlar, Federal Emergency Management Agency, FEMA ve Applied Technology Council, ATC, tarafından yayınlanmış ATC 40 ve FEMA 273, 274, 356 ve 440'da detaylı olarak verilmektedir 1996 yılında yayınlanan ATC 40; 1997 yılında yayınlanan FEMA 273 ve 274; 2000 yılında yayınlanan FEMA 356; 2005 yılında yayınlanan FEMA 440 ile bu çalışmalar geliştirilmektedir.

Structural Engineering Association of California (SEAOC) tarafından hazırlanmış olan Vision 2000 de performansa bağlı analizle ilgili önemli bir kaynaktır (Vision2000, 1995). International Building Code 2000'de prosedürler detaylı olarak sunulmaktadır (IBC, 2000). Naeim F. tarafından Seismic Design Handbook'da sismik esaslı performans analizlerinin genel yaklaşımı sunulmaktadır (Naeim, 2002).

Lefort (2000) tarafından "Pushover Analysis of Multi-Storey Buildings" isimli doktora tez çalışması California Üniversitesi, Berkeley'de yapılmıştır. Tezde doğrusal olmayan artımsal hesap yöntemleri hakkında genel bilgiler verilmiştir. Doğrusal olmayan artımsal itme analizinin doğrusal olmayan dinamik analize göre daha iyi bir alternatif olabilmesi için bu yöntemin geliştirilmesi gerekli olan eksikleri belirtilmiştir. Bunlar genel olarak;

- Artımsal itme analizinin teorik temelleri
- Yatay yük dağılımının seçimi
- Yüksek mod etkileri ve modal özelliklerdeki değişiklikler
- Yapının kapasitesi ve deprem talebi arasındaki ilişki
- Dinamik özellikler
- Karmaşık üç boyutlu davranışta düzensizliklerdeki basitleştirmeler

şeklinde sıralanmaktadır. Tezde, biri düzenli diğeri yumuşak kat düzensizliğine sahip iki tane on katlı düzlem yapı seçilerek, çeşitli yatay yük dağılımları için (düzgün yayılı yatay yük, ters üçgen yayılı yatay yük, birinci modun yapı rijitliğine bağlı olarak sürekli değiştirildiği yatay yük dağılımı ve ilk beş modun kombinasyonunun yapı rijitliğine bağlı olarak sürekli değiştirildiği yatay yük dağılımı) artımsal itme analizleri yapılmıştır. Bu analizlerin sonuçları doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Tezde, modal özelliklerdeki değişiklikleri içeren yeni bir yöntem önerilmektedir. “Uyarlanmış Artımsal İtme Analizi” olarak isimlendirilen bu yöntemin, klasik artımsal itme analizi metotlarına göre doğrusal olmayan dinamik yöntemlere daha yakın sonuçlar verdiği belirtilmiştir (Lefort, 2000).

Antoniou (2001) tarafından “Pushover Analysis for Seismic Assesment of Structures” isimli bir rapor yayınlanmıştır. Raporda, yapıların deprem güvenliğini değerlendirme yöntemleri hakkında genel bilgiler verilerek performansa dayalı tasarım ve değerlendirme çalışmaları kronolojik olarak sunulmuştur. Yapıların performansını değerlendirmede doğrusal olmayan artımsal itme analizinin yeri, doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemlerine göre eksiklikleri, doğrusal artımsal ve dinamik analiz yöntemlerine göre üstünlükleri belirtilmiştir. Raporda, depremi temsil eden yatay kuvvetlerin yapının modal özelliklerine bağlı olarak her hesap adımında değiştirildiği “Uyarlanmış Artımsal İtme Analizi” yöntemi önerilmektedir. Düzlem çerçeve yapılar için geliştirilen yöntem öncelikle üç katlı bir yapı üzerinde ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Daha sonra yöntemin doğrulanması amacıyla düzenli, dayanım düzensizliği bulunan ve rijitlik düzensizliği bulunan yapılar üzerinde geleneksel artımsal itme analizleri, adaptive pushover analizleri (önerilen) ve doğrusal olmayan dinamik analizler yapılmıştır (Antoniou, 2001).

Chopra ve Goel (2001) tarafından “An analysis of Estimating Seismic Demands for Buildings” isimli bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada, sabit yatay kuvvet dağılımını kullanan mevcut prosedürlerin hesapsal ve kavramsal basitliğinin korunduğu, yapı dinamiği teorisine dayanan geliştirilmiş bir artımsal itme prosedürü geliştirilmiştir. Uyarlanmış artımsal itme analizi olarak isimlendirilen prosedürde deprem talebi, etkin deprem kuvvetlerinin modal dağılımındaki bireysel terimler nedeniyle, her bir mod için atalet kuvveti dağılımını kullanan bir artımsal itme analizi ile belirlenmektedir. Daha sonra bu modal talep değerleri birleştirilerek doğrusal olmayan sistemlerdeki toplam deprem talebi belirlenmektedir. Dokuz katlı çelik düzlem bir çerçeve ele alınarak bu prosedür uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrusal olmayan dinamik analiz ile karşılaştırılmıştır (Chopra ve Goel, 2001).

Rogger (1996) tarafından hazırlanmış olan “Nonlinear Time History and Push Over Analysis for Seismic Design and Evaluation” başlıklı doktora tezinde artımsal itme analizleri ve zaman tanım alanında analizlerle çok katlı yapıların sismik analizinde kullanılan artımsal itme ve zaman tanım alanında analizler gerçekleştirilmiştir. IDARC ve DRAIN programlarından elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. zaman tanım alanında analizlerde çeşitli üretilmiş deprem verileri kullanılmıştır (Rogger, 1996).

Elmensdorp (2001) tarafından “Approximating Dynamic Response Through Nonlinear Analysis” isimli bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada, yapıların performansını değerlendirmede doğrusal olmayan artımsal analizin yeri, doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemlerine göre eksiklikleri ile doğrusal artımsal ve dinamik analiz yöntemlerine göre üstünlükleri belirtilmiştir. Artımsal itme analizinin, yer değiştirmelerin ve rölatif kat ötelemelerinin daha kesin hesabı, gevrek elemanlardaki ve birleşimlerdeki kuvvet talebinin daha gerçekçi hesabı, dayanım düzensizliklerinin belirlenmesi, özel detaylama için kritik bölgelerin şekil değiştirme taleplerinin belirlenmesi gibi yapıyla ilgili önemli bilgiler içerdiği belirtilmiştir. Kapasite spektrumu yöntemi ile performans değerlendirilmesi hakkında bazı bilgiler verilmiştir. Ayrıca, çalışmada iki katlı ve iki açıklıklı düzlem bir çerçeve üzerinde, yatay deprem yükü dağılımlarının etkisi incelenmiştir. (Elmensdorp, 2001).

Freeman (1998) tarafından eleman boyutları ve dayanımları belli olan mevcut yapıların performanslarını belirlemek için FEMA tarafından önerilen kapasite spektrumu yöntemi ve sekant yöntemi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu karşılaştırma sonucunda, yöntemin etkinliği üzerinde durulmuştur (Freeman, 1998).

SEAOC tarafından hazırlanan “Blue Book” (1999)’da doğrudan yer değiştirme esaslı bir analiz yöntemi ortaya konmuştur. Yöntem içerisinde geliştirilen analizin adımları verilmiştir. Yöntemin sınırlamaları sebebi ile uygulanmasında sıkıntılar ve bazı belirsizlikler mevcuttur (SEAOC, 1999).

Priestley (1996) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, doğrudan yer değiştirme esaslı analiz metodunun ana ilkeleri ve çıkış noktaları verilmiştir. Geliştirdiği metod, doğrudan yer değiştirme esaslı analiz yöntemi olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmada, çok serbestlik dereceli karmaşık sistemlerin eşdeğer sisteme dönüştürülmesi üzerinde durmuştur. Simetrik ve asimetrik yapılar için doğrudan yer değiştirme esaslı analizi için yöntem geliştirmiştir (Priestly, 1996).

Calvi ve Priestly (1997) yer değiştirme analizinin genel felsefesini ve yöntemini detaylı olarak incelemiş, tek serbestlik dereceli ve çok serbestlik dereceli sistemler için yer değiştirme profilleri oluşturmuşlardır. Çalışmalarında, doğrudan yer değiştirme esaslı analiz yöntemini kullanarak, çeşitli kat adetlerinde yapı sistemlerini incelemiş ve yer değiştirme davranışını belirleyerek, yer değiştirme profillerini elde etmişlerdir. Bu yer değiştirme profilleri ile zaman tanım alanında analiz sonuçları karşılaştırılarak analizin yaklaşıklığı belirlenmiştir (Calvi ve Priestley, 1997).

Jonsson (2002) yapmış olduğu çalışmada, betonarme çerçeve yapılar için doğrudan yer değiştirme esaslı tasarım metodolojisi geliştirmiştir. Doğrudan yer değiştirme esaslı analizin temelinde olan genel kavramlar belirlenmiştir. Çalışmada, doğrudan yer değiştirme analizinin kuvvet esaslı yer değiştirme kontrollü analiz yöntemlerine olan üstünlüğünü göstermiştir. Doğrudan yer değiştirme esaslı analizlerde sönüm oranına bağlı olarak yer değiştirme profillerini çıkarmıştır (Jonsson, 2002).

Fajfar ve Krawinkler (1997) çalışmalarında yer değiştirme kontrollü analize değinmişlerdir. Bu yaklaşımın en uygun performans analizi olduğunu savunmuşlar ve gelecek vaat ettiğini belirtmişlerdir (Fajfar ve Krawinkler, 1997).

Uang ve Bertero (1998) enerji parametrelerinin kullanımı ile ilgili çalışmışlardır. Yapıya giren enerjinin eşdeğer enerji hızı olarak ifadelendirilmesini gerçekleştirmişlerdir. Deneysel olarak yaptıkları analizler ile analitik çalışmalar arasında oldukça yakın sonuçlar bulmuşlardır. (Uang ve Bertero, 1998).

Akbaş (1999), yapmış olduğu doktora çalışmasında, enerji kriterlerini ortaya koyarak enerji esaslı sismik analizlerde enerji parametrelerinin kullanılabilmesi için bir yöntem ortaya koymuş ve enerji kavramının kullanımı için kolaylaştırılmış bir yöntem sunmuştur. Enerji talebinin dağılımını ve elemanlar üzerindeki etkisini araştırmıştır. (Akbaş, 1999).

Sarı (2003) tarafından Texas Üniversitesi Austin’de yapılmış olan “Energy Considerations in Ground Motion Attenuation and Probabilistic Seismic Hazard Studies” başlıklı doktora tezinde, enerji esaslı yöntemlerin, kuvvet esaslı yer değiştirme kontrollü yöntemlerden çok daha gerçekçi sonuçlar verdiğini analizlerle göstermiş ve enerji yöntemleri ile olasılıklı hasar analizi yapmıştır (Sarı, 2003).

Teran (1996) yapmış olduğu “Performance Based Earthquake Resistant Design of Frame Structures Using Energy Concepts” isimli tez çalışmasında, birçok enerji parametrelerini performansa bağlı analize dahil etmeye çalışmıştır. Bu konuda yapılmış ilk çalışmalardandır. Tezin yaklaşımında performans analizlerinin kuvvet esaslı yer değiştirme kontrollü yöntemlerle elde edilmesinde bir çok hatalı yaklaşım olduğu savunulmuştur. Bu nedenle, performans analizlerinin enerji parametreleri ile ifade edilmesinin en uygun yöntem olduğu savunulmuştur. Sismik talebin sismik kapasiteye eşit olduğu noktada enerji parametrelerinin kullanımı ile performans noktalarının tespiti yapılmıştır.

Singhal (1996) tarafından hazırlanan “A Method for Earthquake Motion Damage Relationships with Application to RC Frame Structures” isimli doktora tezinde, olasılıklı yapı analizi anlayışı ile yapıların olasılıklı performans analizlerinin özel bir teknik ile (Bayesian tekniği) yapılmasını ele almış ve bu yöntem sonuçlarını kesin hesap sonuçları ile karşılaştırmıştır (Singhal, 1996).

Andez-Montes ve Aschheim (2004) tarafından hazırlanmış olan “An Energy-Based Formulation for First-And Multiple-Mode Nonlinear Static (Pushover) Analyses” adlı çalışmada, modal artımsal itme analizleri üzerine enerji parametrelerinin ilave edilmesi amaçlanmıştır. Enerji esaslı artımsal itme analizleri gerçekleştirilmiştir. Yer değiştirme hedefleri enerji esaslı olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmada artımsal itme analizleri zaman tanım alanında analizlerle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma göstermiştir ki; enerji esaslı artımsal itme analizleri, zaman tanım alanında analizlere daha yakın sonuçlar vermekte ve daha gerçekçi bir hal almaktadır. Aynı yazarlar, 2004’de “Estimates Of Peak Roof Displacement Using “Equivalent” Single Degree Of Freedom Systems” başlıklı bir teknik not yazmışlar ve bu notta geliştirilmiş olan yöntemi diğer analizlerle desteklemişlerdir (Andez-Montes ve Aschheim, 2004).

Scott (2002) tarafından editörlüğü yapılmış olan “Recent Advances in Optimal Structural Design” adlı komite raporunda, yapısal optimizasyon alanındaki son gelişmeler, yeni bilgisayar programları ve çözüm metotları hakkında bilgilendirme yapılmıştır. Ayrıca değinilen bir başka nokta da, yapısal tasarım sürecinde ve stokastik yaklaşım çerçevesinde optimizasyonun yeridir. Çalışmada, optimal performans bazlı tasarım ile ilgili bir bölüm bulunmakta olup, bu bölüm kapsamında çoklu optimum tasarım kriterlerinden, sismik dayanımlı yapılardan, güvenilirlik ve maliyet merkezli optimal tasarımdan bahsedilmiştir. (Scott, 2002).

Irfanoğlu (2000) tarafından California Institute of Technology’de “Structural Design under Seismic Risk Using Multiple Objectives” adlı doktora tezi yapılmıştır. Tez kapsamında, sismik risk altında çok kriterli performans bazlı bir analiz yapılmıştır. Çalışmada genel anlamda güvenilirlik esaslı performans kriterlerinin

maliyet kriterleri ile örtüşmesi üzerinde durulmuştur. Üç adımdan oluşan bir analiz kurulmuştur. Bu adımlar; analiz, değerlendirme ve değerlendirme aşamalarıdır. Olasılıklı tepki analizinde, modelleme ve yükleme belirsizlikleri göz önüne alınmış ve ödünleşim (trade-off) kavramının nasıl değerlendirileceği belirlenmiştir. Tezde verilmiş olan performans bazlı tasarımda geliştirilen yaklaşım kapsamında çeşitli yapısal tasarım uygulamaları ele alınmıştır (Irfanoğlu, 2000).

Hui (1991) tarafından hazırlanan “Reliability Based Seismic LRFD Criteria for Reinforced Concrete Frame Buildings” başlıklı tez çalışması kapsamında, LRFD yöntemi ile optimum yük katsayılarının çerçeve yapılar için elde edilmesi gerçekleştirilmiştir. Tez kapsamında Hirata yöntemi kullanılarak, olasılıklı yapı davranışının belirlenmesinde kullanılan aşılma olasılığı hesaplanmıştır. Kırılma eğrilerinin elde edilmesinin ardından, yük katsayılarının belirlenmesinde optimizasyon uygulamaları yapılmıştır (Hui, 1991).

Marek (2003) “Probabilistic Assessment of Structures” adlı çalışmasında, Monte Carlo simülasyonları üzerine kurulmuş modelleme esaslı farklı programlar geliştirmiş ve bu programlar yardımı ile Monte Carlo simülasyonlarını kullanarak, deprem verilerinin olasılıklı olarak sismik davranışla ilgili analizler yapmıştır. Çalışmada, olasılıklı yapı davranışının detaylı açıklanması verilmiş ve modelleme üzerine çeşitli teoriler sunulmuştur. (Marek, 2003)

Ellingwood (1996), yayınlamış olduğu “Reliability Based Condition Assessment and LRFD for Existing Structures” adlı makalesinde, güvenilirlik esaslı analizin temel kavramlarını vermiştir. Makale, bu konuda yayınlanmış olan ilk örneklerdendir. Bu makalede, kesin hesaplara güvenilirlik kavramlarının dahil edilmesi üzerinde çalışmalar sunulmuştur. Bu çalışmalarda, yapıların sismik güvenilirlikli analizlerinin üzerinde durulmuştur. Güvenilirlik analizlerin yapılmasında kullanılan başlıca yöntemler irdelenmiştir (Ellingwood, 1996).

Mostafa (2003) “Seismic Fragility and Cost Benefit Analysis of Structural and Non-Structural Systems” başlıklı çalışmasında, yapılan maliyet etkenini göz önüne alarak yapısal ve yapısal olmayan elemanların farklı davranışlarını incelemiştir. Sismik hasar, kırılma analizleri ve maliyet analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, sismik analizde kırılma analizi uygulanarak hasar tespiti yapılmış ve hasarın maliyet ile ilişkisi kurulmuştur (Mostafa, 2003).

Corvera (2000) “Spectral Evaluation of Seismic Fragility of Structure” adlı tez çalışmasında, yapıların sismik kırılma analizleri üzerinde durmuştur. Yapısal olasılıklı tepki ile yapısal kapasite arasındaki olasılıklı sismik analiz değerlendirilmiştir (Corvera, 2000).

Tsopelas ve Pekcan (1999) “Seismic Fragility and Retrofit of Non Ductile RC Structure Using New Technologies” adlı çalışmalarında, sismik kırılma eğrilerini ve performans yöntemlerini kullanarak güçlendirme ve iyileştirme üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Yapı davranışının kırılma analizleri ile modellenmesi üzerinde durmuşlardır. Geliştirdikleri yöntemlerde, yapı davranışı deprem talebinin doğrudan etki ettirilmesi ile elde edilmektedir (Tsopelas ve Pekcan, 1999).

BÖLÜM İKİ

YAPI SİSTEMLERİNİN DEPREM DAVRANIŞLARININ BELİRLENMESİNDE PERFORMANSA BAĞLI ANALİZ YÖNTEMLERİ

2.1. Giriş

Günümüz deprem yönetmeliklerinde, yapı sistemlerinin farklı deprem seviyeleri altında performans hedeflerinin ne ölçüde gerçekleştiğinin kontrolü, deprem güvenliğinin sağlanması açısından oldukça önemlidir. Ancak, öngörülen performans hedeflerinin kontrol edilmesi, doğrusal olmayan dinamik zaman tanım alanında analiz, kuvvet esaslı yer değiştirme kontrollü, doğrudan yer değiştirme esaslı ve enerji esaslı performansa bağlı analiz yöntemleri gibi karmaşık hesap yöntemlerini gerektirmektedir.

Son yıllarda bilgisayara dayalı hesap yöntemlerindeki gelişmelere bağlı olarak bu karmaşık ileri hesap yöntemlerinin kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Bunun bir neticesi olarak klasik tasarım yöntemlerinden bu ileri hesap yöntemlerine geçilerek yapı tasarımında daha uygun çözümler elde edilmeye başlanmıştır. Performansa bağlı tasarımda performans kriterleri için karar verme, oldukça geniş bir çözüm kümesi içinden en uygununun seçilmesidir. Mevcut yapı sistemlerinin performans güvenilirliği açısından, yapının taşıma kapasitesini aşan yüklerin belirlenmesi buna bir örnek olarak verilebilir. Performansa bağlı optimum tasarımda yapı davranışı için performans kriterleri olarak; oldukça sık görülen depremler için tam işlevsel, olağan sıklıkta görülen depremler için işlevsel, nadir sıklıkta görülen depremler için can güvenliği seviyesi, çok nadir sıklıktaki depremler için göçme güvenliği seviyeleri ön görülebilir. Yapı performans kriterlerini belirlemede yardımcı olması amacıyla 1996'da yayınlanan Vision2000 öneri yönetmeliği, yapı tasarımında mevcut yönetmeliklere ilave olarak performansa bağlı analizde yol gösterici yayınların ilki olmuştur. Daha sonra FEMA 273, 274, 356, ATC 40 ve son olarak da FEMA 440 (ATC 55) hazırlanmıştır.

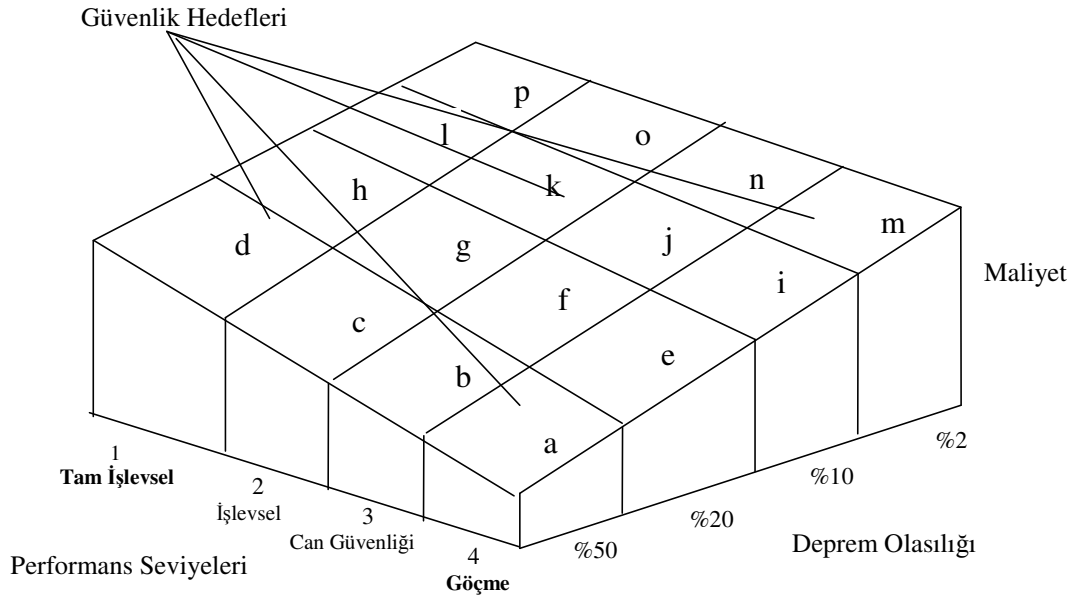
Vision2000'de bazı performans kriterleri için uygun performans değerleri, tablo 2.1'de verilmiştir. Depremler için yapı tasarım kriterleri depremlerin sıklıklarına göre sınıflandırılmıştır. Şekil 2.1'de bu değerler matris formunda, Şekil 2.2'de ise yapı performans seviyesiyle maliyet ilişkisi, güvenlik hedefleri matrisi üç boyutlu formatta verilmiştir.

Tablo 2.1. Sıradan yapılar için deprem tasarım kriterleri (Vision 2000)

<i>Deprem Görülme Sıklığı</i>	<i>Görülme Aralığı</i>	<i>Olma Olasılığı</i>	<i>Yapı Performansı</i>
<i>Sık</i>	43 Yıl	30 Yılda %50	Tam İşlevsel
<i>Olağan</i>	72 Yıl	50 Yılda %50	İşlevsel
<i>Nadir</i>	475 Yıl	50 Yılda %10	Can Güvenliği
<i>Çok Nadir</i>	970 Yıl	100 Yılda %10	Göçme Güvenliği

	Tam işlevsel (1)	İşlevsel (2)	Can Güvenliği (3)	Göçme (4)
Sık (43 yıl)				
Olağan (72 yıl)		Kritik Amaç		
Nadir (475 yıl)		Temel Amaç		
Çok Nadir (970 yıl)		Gerekli Amaç		

Şekil 2.1. Sismik performans hedefleri (Vision 2000)



Şekil 2.2. Yapı performans seviyeleri – deprem olasılığı – maliyet ilişkisi

Günümüzde yapıların deprem davranışlarının, performans değerlendirmesinde; “Kuvvet Esaslı Yer Değiştirme Kontrollü”, “Doğrudan Yer Değiştirme” ve “Enerji Esaslı” deterministik yaklaşımli performans yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerde yapının performansı, performans kriterleri ile belirlenmektedir. Bu bölümde kuvvet esaslı yer değiştirme kontrollü, doğrudan yer değiştirme ve enerji esaslı deterministik yaklaşımli performansla bağlı yöntemlerle örnek betonarme çerçeve sistemler üzerinde deprem davranışı belirlenerek, zaman tanım alanında analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Deterministik yaklaşımli performansla bağlı analiz yöntemlerinden kuvvet esaslı yer değiştirme kontrollü analiz yöntemleri, FEMA273-274-356 ve 440 ve ATC40 yönetmeliklerinde kapasite spektrumu ve yer değiştirme katsayısı yöntemi olarak verilmektedir. Bu yöntemlerde yapı kapasitesinin değerlendirilmesi genel olarak iki parametreyle yapılmaktadır. Bunlardan birincisi, istenen performans kriterine göre ulaşılan kuvvet seviyesi, ikincisi ise belirli bir yatay deprem yükü seviyesi için yapıdaki yer değiştirme talebidir.

Kuvvet esaslı yer değiştirme kontrollü yöntemlerde yapı kapasitesini belirlemek için basitleştirilmiş doğrusal olmayan artımsal itme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler temel olarak, yapının yatay kuvvet dayanımını temsil eden yatay kuvvet-yer değiştirme ilişkisinin, malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan teoriye göre elde edilmesine ve bunun değerlendirilmesine dayanmaktadır.

Artımsal itme eğrisi olarak isimlendirilen yatay kuvvet-yer değiştirme ilişkisinin elde edilmesi sayesinde, yapının zayıf elemanları ve yerleri, olabilecek kısmi veya toptan göçme mekanizma durumları belirlenebilmektedir. Belirli bir deprem hareketi için yapıdan istenen performans hedefinin gerçekte gerçekteşmeyeceği artımsal itme analizleri sonucu elde edilen kapasite eğrileri kullanılarak kontrol edilebilmektedir. Burada, performans hedefi, belirli bir deprem yükü için yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasarın belirlenen sınırları içinde olması şeklinde açıklanmaktadır.

Bir diğer performans analiz yöntemi doğrudan yer değiştirme esaslı yöntemdir. Doğrudan yer değiştirme esaslı analizde öncelikle uygun bir yer değiştirme hedefi belirlenir. Yer değiştirme davranış spektrumu, yer değiştirmeye karşı periyot arasındaki grafiğe göre çizilir. Davranış spektrumun seçimi, yapının konumuna ve kullanılabilirlik durumuna uygun olarak yapılmalıdır. Maksimum yer değiştirme talebinin belirlenebilmesi için maksimum yer değiştirme oranı eğrilerinin belirlenmesi gereklidir. Yapılar için yer değiştirme oranı, yatay yer değiştirmenin, yapı yüksekliğine bölünmesiyle elde edilir.

Enerji esaslı performans analizinde ise yapı sistemlerinin deprem sırasındaki performansları enerjilerine bağlı olarak belirlenebilmektedir. Orta ve şiddetli yer hareketlerine maruz yapılarda deprem hareketinin yol açacağı hasarı ölçebilmenin en uygun yolu enerji parametrelerini kullanmaktır (Bertero ve ark., 1994). Bir yapıya etkiyen deprem hareketinin sonundaki enerji denklemi kullanılarak toplam enerji, çevrimsel enerji ve sönüm enerjisinin toplamı olarak yazılabilir (Shen ve ark., 2000).

Enerji kavramlarının performansa bağlı analizde etkin olarak kullanılmasında halen üç ana sorun gündemdedir. Bunlar, deprem sırasında yapıya girecek olan enerji miktarının belirlenmesi, yapıya giren enerjinin yapı tarafından nasıl tüketileceği, yapı elemanlarının enerji tüketme kapasiteleridir. Bu sorulara cevap bulunabilirse, bir yapıya enerji girişı ve enerji kapasitesini karşılaştırmak mümkün olacaktır.

2.2. Yapı Kapasitelerini Belirlemede Kullanılan Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleri

Bu bölümde performansa bağlı analizde, yapı kapasitelerini belirlemede kullanılan doğrusal olmayan artımsal itme ve doğrusal olmayan dinamik zaman tanım alanında analiz yöntemlerinin teorileri açıklanmıştır. Doğrusal olmayan artımsal itme analiz yöntemleri klasik, uyarlanmış ve enerji esaslı artımsal itme analiz yöntemleri olarak verilmiştir. Bu analiz yöntemlerinin karşılaştırmalı değerlendirmesini yapabilmek amacıyla seçilen 3, 5, 8 ve 15 katlı betonarme çerçeve örnekleri bu yöntemlerle ayrı ayrı çözülmüş ve elde edilen kapasite eğrileri, aynı çerçevelerin doğrusal olmayan dinamik zaman tanım alanında analiz yöntemiyle çözümünden elde edilen kapasite eğrileriyle karşılaştırılmıştır.

2.2.1. Doğrusal Olmayan Artımsal İtme Analizleri

Günümüzde yapıların kapasitelerinin belirlenmesinde doğrusal olmayan artımsal itme analizi yöntemlerinin kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır. Doğrusal olmayan artımsal itme analiz yöntemleriyle elde edilen yapı kapasitelerinden yapının performans seviyesinin belirlenmesi;

- a) yatay kuvvet-yer değiştirme ilişkisinin verildiği kapasite eğrilerinin elde edilmesi,
- b) her deprem verisi için talep spektrumlarının elde edilmesi,
- c) kapasite eğrileri ve talep spektrumları kullanılarak yapının performans noktasının belirlenmesi ve deprem davranışının tahmini, şeklinde gerçekleştirilmektedir

Yapı sistemlerinin kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılan doğrusal olmayan artımsal itme analizi, yapının yatay deprem yükleri altında dayanımını ifade eden kuvvet-yer değiştirme kapasite eğrisinin elde edilmesini sağlamaktadır. Kapasite eğrileri kat seviyelerinde artımsal yatay yükler uygulanarak elde edilir. Bu yükleme işlemine yapının stabilitesi bozulana veya belirlenen sınır değerine ulaşana kadar devam edilir.

Yatay bir yer hareketi etkisindeki şekil 2.3’de verilmiş sönümlü tek serbestlik dereceli bir sistemin hareket denklemleri şu şekilde yazılabilir:

$$m\ddot{u}_t + c\dot{u}_t + f_s = 0 \quad (2.1)$$

Burada **m**: kütle, **c**: sönüm, **f_s**: yay kuvveti, **f_s=ku**, **k**: rijitlik, **u**: kütle için rölatif yer değiştirme, **u_g**: yer değiştirme, ve **u_t**: yapının toplam yer değiştirme (**u_t=u+u_g**) dir.

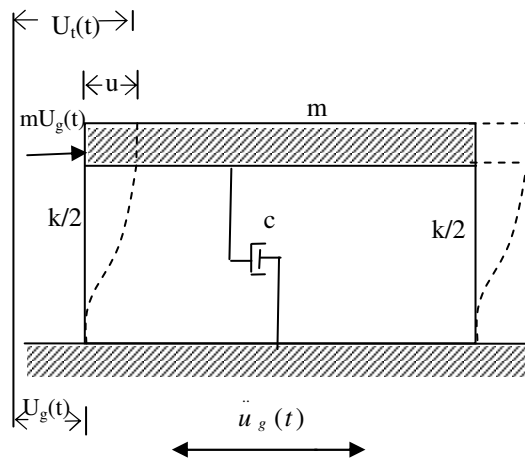
Denklem 2.1, bu ifadeler kullanılarak yeniden yazılacak olursa denklem 2.2 şu şekilde elde edilir (Chopra ve Goel, 2002):

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + f_s = -m\ddot{u}_g \quad (2.2)$$

veya,

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + f_s = -m\mathbf{1}\ddot{u}_g(t) \quad (2.3)$$

Burada **u**: yanal yer değiştirme vektörü, **m**: kütle, **c**: sönüm, **f_s**: yay kuvvetidir ve **f_s=ku**, **k**: rijitlik matrisidir. **1** vektörü, her elemanı 1 olan kolon vektörüdür, **u_g**: yer değiştirmedir.



Sekil 2.3. Yer Hareketine Maruz Tek Serbestlik Dereceli Sistem

Yer değiştirme vektörü \mathbf{u} , serbest titreşim modu ϕ_n ve n. modal koordinat \mathbf{q}_n 'e bağlı olarak yazılırsa,

$$\mathbf{u} = \sum_{n=1}^N \phi_n q_n(t) \quad (2.4)$$

Denklem 2.4'de yer değiştirme vektörünün, mod şekilleri cinsinden yazılması ve denklem 2.4'ün denklem 2.3'de uygulanması ve \mathbf{m} , \mathbf{c} ve \mathbf{k} 'ya bağlı olarak serbest titreşim mod şekillerinin ortogonallik özellikleri sonucunda denklem 2.5 yazılabilir.

$$\ddot{q}_n(t) + 2\zeta_n \omega_n \dot{q}_n(t) + \omega_n^2 q_n(t) = -\Gamma_n \ddot{u}_g(t) \quad (2.5)$$

Burada, ζ_n : sönüm oranı, ω_n : doğal titreşim frekansı, Γ_n : modal katılım faktörüdür.

Bir diğer kolaylaştırma, $q_n(t) = \Gamma_n D_n(t)$ ile geręekleřtirilebilmektedir. Tek serbestlik dereceli yapısal sistemler için diferansiyel hareket denklemi şu şekilde yazılabilir:

$$\ddot{D}_n(t) + 2\zeta_n \omega_n \dot{D}_n(t) + \omega_n^2 D_n(t) = -\ddot{u}_g(t) \quad (2.6)$$

Her moda karşı gelen $D_n(t)$ için, denklem 2.6'nın çözümü zaman tanım alanında analizin temelini oluşturmaktadır. Burada \mathbf{u} vektörü denklem 2.7'de ifadelendirildiği gibidir:

$$\mathbf{u}(t) = \sum_{n=1}^N \mathbf{u}_n(t) = \sum_{n=1}^N \Gamma_n \phi_n D_n(t) \quad (2.7)$$

Her modda yapıya etkiyen kuvvetleri ifadelendirmek için tek serbestlik dereceli sistemin hareket denklemi n. mod için ifade edilir ve yer değiştirmeler n. mod şekliyle orantılı olarak şu şekilde yazılabilir:

$$\mathbf{u}_n(t) = \phi_n q_n(t) \quad (2.8)$$

Böylece, denklem 2.3 aşağıdaki formata dönüşebilir:

$$m\phi_n \ddot{q}_n(t) + c\phi_n \dot{q}_n(t) + k\phi_n q_n(t) = -m1u_g(t) \quad (2.9)$$

$$m\phi_n \ddot{q}_n(t) + c\phi_n \dot{q}_n(t) + k\phi_n q_n(t) = \sum_{n=1}^N m\phi_n \ddot{u}_g(t) \quad (2.10)$$

Denklem 2.10'da her iki taraf, ϕ_n^T ile çarpılırsa,

$$\phi_n^T \left(m \ddot{q}_n(t) + c \dot{q}_n(t) + k q_n(t) = \sum_{n=1}^N m \phi_n u_g(t) \right) \quad (2.11)$$

denklemini elde edilmiş olur.

Eşdeğer statik yük n. mod yer değiştirmesi $u_n(t)$ ile ilişkili olarak yazılabilir:

$$f_n(t) = k u_n(t) = k \phi_n q_n(t) = \omega_n^2 m \phi_n \Gamma_n D_n(t) \quad (2.12)$$

Burada $\mathbf{A}_n(t)$: yalancı ivme olmak üzere,

$$A_n(t) = \omega_n^2 D_n(t) \quad (2.13)$$

şeklinde yazılabilir. Elastik tepki için $r(t)$ tepki değerleri, (örneğin, yer değiştirme ve eleman kuvvetleri) her modal tepkinin $r_n(t)$ kombinasyonu olarak hesaplanabilir.

$$r(t) = \sum_{n=1}^N r_n(t) = \sum_{n=1}^N r_n^{st} A_n(t) \quad (2.14)$$

Burada r_n^{st} : dış yükler sebebiyle oluşan statik tepkidir.

\mathbf{r} değerinin n. mod için aldığı en büyük değer \mathbf{r}_{no} ile ifadelendirilmektedir. $r_{no} = r_n^{st} \cdot A_n$ şeklinde yazılır. \mathbf{A}_n : n. modal periyottaki yalancı ivme spektrumunun ordinatıdır. R değerinin toplam tepkisinin en büyük değeri r_o , karelerin toplamının kare kökü ve tam karesel birleştirme gibi yöntemlerle belirlenmektedir. Her mod için en büyük yer değiştirmeyi meydana getiren statik kuvvet f_{no} ,

$$f_{no} = s_n A_n = m \phi_n \Gamma_n A_n = s_n^* \Gamma_n A_n \quad (2.15)$$

n. mod artımsal ivme eğrisi tepe yer değiştirmesi u_m yazılacak olursa aşağıdaki denklem elde edilir:

$$u_m(t) = \phi_m \Gamma_m D_m(t) \rightarrow D_m(t) = \frac{u_m(t)}{\phi_m \Gamma_m} \quad (2.16)$$

Denklem 2.16, tek serbestlik dereceli sistemin itme eğrisi yer değiştirmesi D_n ile n . mod tepe yer değiştirmesi u_m arasındaki ilişkiyi vermektedir. Böylece, oldukça yaygın olarak kullanılan n . mod artımsal itme $\frac{u_m}{\phi_m \cdot \Gamma_n}$ şeklinde olacaktır.

Taban kesme kuvveti V_{tn} ile tepe yer değiştirmesi u_m arasındaki ilişki, eğrinin elastik kısmında tanımlanan $k_m = V_{tn}/u_m$ eğim katsayısına bağlı olarak denklem 2.17 ve 2.18'deki gibi geliştirilebilir.

$$V_m = k_m \cdot u_m = k_m \cdot \phi_m \cdot \Gamma_n D_n \frac{\omega_n^2}{\omega_n^2} \rightarrow \omega_n^2 \cdot D_n = \frac{V_m \cdot \omega_n^2}{k_m \cdot \phi_m \cdot \Gamma_n} \quad (2.17)$$

$$V_m = f_n^T \cdot 1 = u_n^T \cdot k \cdot 1 = \phi_n^T \cdot k \cdot 1 \Gamma_n D_n = \phi_n^T \cdot k \cdot 1 \frac{u_m}{\phi_m} \rightarrow k_m = \frac{\phi_n^T \cdot k \cdot 1}{\phi_m} \quad (2.18)$$

Sönümsüz serbest titreşim mod şeklini belirlemek için,

$$\phi_n^T \cdot k \cdot 1 = \omega_n^2 \phi_n^T \cdot m \cdot 1 \quad (2.19)$$

Böylece, artımsal itme eğrilerinin ordinatları aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$A_n = \frac{V_m \cdot \omega_n^2}{k_m \cdot \Gamma_n \cdot \phi_m} = \frac{V_m}{L_n \cdot \Gamma_n} = \frac{V_m}{\alpha_n} \quad (2.20)$$

Burada α_n : n . mod için modal kütle katılım oranıdır.

2.2.1.1. Doğrusal Olmayan Klasik Artımsal İtme Analizleri

Klasik artımsal itme analizlerinde, yapı malzemesinin doğrusal elastik ötesi davranışı ve/veya büyük yer değiştirmelerin meydana gelmesi durumları göz önüne alınır. Süperpozisyon ilkesi geçerli değildir. Yapının elastik ötesi davranışı incelendiği için klasik artımsal itme analizlerinde belirli yanal yük dağılımları kullanılarak artımsal itme analizleri yapılır. Yapının mevcut düşey yükler altında davranışı incelenir. Herhangi bir kesitte plastik mafsall oluşmaması istenir. Daha sonra bu yapıya yatay yükler etkiltilir. Yapıya etkiltilen yatay yükler adım adım artırılarak plastik mafsalların oluşmalarının sıraları belirlenir. Klasik artımsal itme analizlerinde yük şekilleri belirlenerek yapı bu yük şekliyle yüklenerek tüm analiz boyunca değişmeksizin itilir.

Yanal yük dağılımının seçimine göre plastik mafsallı oluşum sırası değiştiği için artımsal itme analizleri farklı sonuçlar vermektedir. Yük seçiminin doğru seçilmesi yapının doğrusal olmayan davranışının doğru ifade edilmesini sağlar. Doğrusal olmayan artımsal itme analizi temel olarak, yapının yatay kuvvetler altındaki dayanımını ifade eden yatay kuvvet-yer değiştirme ilişkisinin, malzeme ve geometri değişimi bakımından elde edilmesine ve bunun değerlendirilmesine dayanmaktadır (Li, Y.R., 1996). Artımsal itme analizleri, taban kesme kuvveti/yapı ağırlığı (V/W) oranıyla tepe yer değiştirmesi arasındaki ilişkiyi gösteren eğrileri elde etmek amacıyla yapılır. Taban kesme kuvveti V , yapıya etkiyen toplam yatay kuvvettir. Yapı ağırlığı W , tüm katların toplam ağırlığıdır.

2.2.1.2. Doğrusal Olmayan Uyarlanmış Artımsal İtme Analizleri

Uyarlanmış artımsal itme analizi olarak adlandırılan doğrusal olmayan artımsal itme analizi deprem kuvvetlerinin dağılımındaki her bir mod için atalet kuvveti dağılımını kullanan bir elastik ötesi analiz yöntemidir. Uyarlanmış artımsal itme analizlerinde, artımsal itme eğrilerinin elde edilmesinde yüksek mod etkileri dikkate alınmaktadır. Uyarlanmış artımsal itme analizlerinde öne sürülen bir çok yaklaşım mevcuttur. Bu yaklaşımlardan ilki Chopra ve Goel tarafından öne sürülen uyarlanmış artımsal itme analizidir (Chopra ve Goel, 2002). Bunun yanı sıra Mwafy ve Elnashai birleştirilmiş mod yöntemini öne sürmüşlerdir (Mwafy ve Elnashai, 2001). Gupta ve Kunnath çok modlu analiz için geliştirdikleri programlarla uyarlanmış artımsal itme analizini gerçekleştirmişlerdir (Gupta ve Kunnath, 2000). Bu analiz yöntemlerinde yanal yüklemeler klasik yöntemde olduğu gibi adım adım artırılarak uygulanmaktadır. Uyarlanmış yöntemlerin klasik yöntemlerden farkı, yatay yük dağılımının yapıda her seferinde kütle katılım oranı ve mod şekliyle orantılı olarak değiştirilmesidir.

Artımsal itme analizinin bir takım eksiklikleri mevcuttur. Örneğin çok güçlü bir teorik alt yapısı yoktur. Ayrıca yapının dinamik etkilerinden kaynaklanan kinetik ve viskoz sönüm enerjileri ihmal edilmektedir. Analiz kuvvet bazlıdır ve önemli yapısal bozuklukların olması durumunda yanlış sonuçlar verebilmektedir (Lefort, 2000). Bu sorunların bir kısmı yüksek mod etkilerinin dikkate alınmaması durumunda daha da artmaktadır. Artımsal itme analizlerinde analiz, yapının iki boyutlu olarak analiz edilmesi üzerine kurulmuştur ve burulma etkilerinin dikkate alınması oldukça zordur. Artımsal itme analizleri statik bir yaklaşım olduğu için zaman ve toplam enerji etkileri ihmal edilmektedir. Yapısal hasar, sadece yapının yanal yer değiştirmesinin fonksiyonudur. Dolayısıyla, artımsal itme analizi dinamik yüklemenin önemli etkilerini dikkate alamamaktadır. Ancak, tüm bu olumsuzluklara rağmen dinamik zaman tanım alanında analizin uygulamadaki zorlukları sebebiyle alternatif bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Statik yöntemler, uyarlanmış artımsal itme analizi yöntemlerinin geliştirilmesiyle dinamik zaman tanım alanında analize alternatif olmaya başlamaktadır. Ancak, uyarlanmış artımsal itme analizleri de zaman tanım alanında analizler gibi, klasik artımsal itme analizlerine göre oldukça zahmetlidir.

Uyarlanmış artımsal itme analizleri sayesinde yüksek mod etkileri ve buna ilaveten yapıda zorlamalar sonucu meydana gelen akma ve çatlama ile atalet kuvvetlerinin yeniden dağılımı dikkate alınmaktadır. Yük dağılımı, rijitlik azalımı dikkate alınarak her adımda yenilenmektedir. Özellikle, yapılarda düzensizlik olması durumunda veya yapı yüksekliğinin fazla olması durumunda uyarlanmış artımsal itme analizi, klasik artımsal itme analizlerine göre daha gerçekçi sonuçlar vermektedir. Bu analizler yeni geliştirilmekte olduğu için dinamik analiz programlarıyla bu analizleri gerçekleştirmek oldukça zahmetlidir. Yöntemin iyi sonuç vermesi için analizde yeterli sayıda mod kullanılması gereklidir. Artımsal itme analizinde her ardışık adımda modal analiz yapılarak mod şekilleri ve modal katılım oranları bulunarak bunların değişimine göre yeni yük dağılımı belirlenir. Her adımda bu yeni yük dağılımıyla işlemler tekrarlanır.

2.2.1.3. Doğrusal Olmayan Enerji Esaslı Artımsal İtme Analizleri

Enerji esaslı artımsal itme analizleri ilk defa Montes tarafından ortaya atılmıştır (Montes, 2004). Bu yöntem, artımsal itme eğrisi elde edilirken x ekseninde tepe yer değiştirme değerinin yerine yapı tarafından tüketilen enerjiden elde edilen yer değiştirmenin kullanılması üzerine kurulmuştur. Yapı tarafından tüketilen enerji, uyarlanmış artımsal itme analizinde her adımda elde edilmektedir. Klasik ve uyarlanmış artımsal itme analizleri kuvvet esaslı analizlerdir ve enerji parametreleri bu analizlerde dikkate alınmaz. Enerji esaslı artımsal itme analizinde ise, yapının yapacağı yer değiştirme artımsal itme analizinden elde edilen iş ile hesaplanmaktadır. V/W değeri ise uyarlanmış artımsal itme analizinden elde edilmektedir. Böylece, elde edilen yer değiştirme enerjiye bağlı olarak bulunmaktadır. Deprem sırasında meydana gelen enerji, Uang ve Bertero tarafından yer değiştirmeye bağlı olarak entegrasyon ifadesiyle verilmiştir (Uang ve Bertero, 1988).

$$\frac{1}{2} \dot{u}_i^T m \dot{u}_i + \int \dot{u}^T c du + \int f_s^T du = \int \left(\sum_{i=1}^N m_i \ddot{u}_i \right) du_g \quad (2.21)$$

Burada m_i : i. kat için topaklanmış kütle, \ddot{u}_i : i. kattaki ivmedir. f_s : yay kuvveti ($f_s = ku$, k: rijitlik).

Tüketilen enerji, $E_a = \int f_s^T du$ elastik şekil değiştirme enerjisi ve yapısal elemanların çevrimsel enerjinin bileşiminden oluşmaktadır. $f_n(t)$: n. moddaki statik kuvvettir. Yay kuvveti, modal bileşenlerin $f_n(t)$ toplamına eşit olarak alınır. Yay kuvvetleri f_s şu şekilde ifade edilir:

$$f_s(t) = \sum_n f_n(t) = \sum_n \omega_n^2 m \phi_n \Gamma_n D_n(t) \quad (2.22)$$

Rijitliğe (k) bağlı olarak modların ortagonelliği ilkesinden f_n , sadece n. moddaki yer değiştirmeler için iş yapmaktadır. Bu kuvvetin diğer modal yer değiştirmeler üzerinde yaptığı iş sıfırdır. Elastik halde, f_n 'e bağlı olarak tüketilen enerji, sıfırdan başlayarak u_n 'e kadar bir elastik yer değiştirme meydana getirir.

$$E_n = \frac{1}{2} f_n^T u_n = \frac{1}{2} \omega_n^2 \phi_n^T m \phi_n \Gamma_n^2 D_n^2(t) = \frac{1}{2} \omega_n^2 \Gamma_n^2 M_n D_n^2(t) \quad (2.23)$$

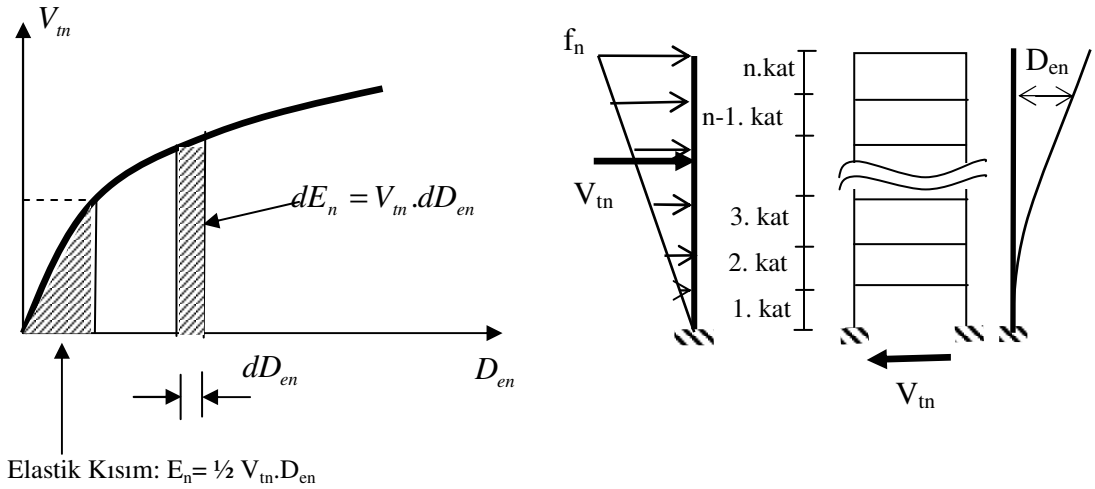
n. mod artımsal itmesinde meydana gelen taban kesme kuvveti:

$$V_m = f_n^T 1 = \omega_n^2 \Gamma_n \phi_n^T m 1 D_n(t) = \omega_n^2 \Gamma_n^2 M_n D_n(t) \quad (2.24)$$

elde edilir. Böylece aşağıdaki denklem elde edilir.

$$E_n = \frac{1}{2} V_m D_n(t) \quad (2.25)$$

Şekil 2.4'de elastik haldeki D_n 'e karşı gelen V_{bn} çizdirilmiştir. $D_{en} = 2E_n/V_{tn}$ halinde yazılabilir. Çünkü elastik halde, $D_{en} = D_n$ 'dir.



Şekil 2.4. Elastik ve elastik ötesi kısımda dD_{en} 'in gösterimi ve hesaplanması

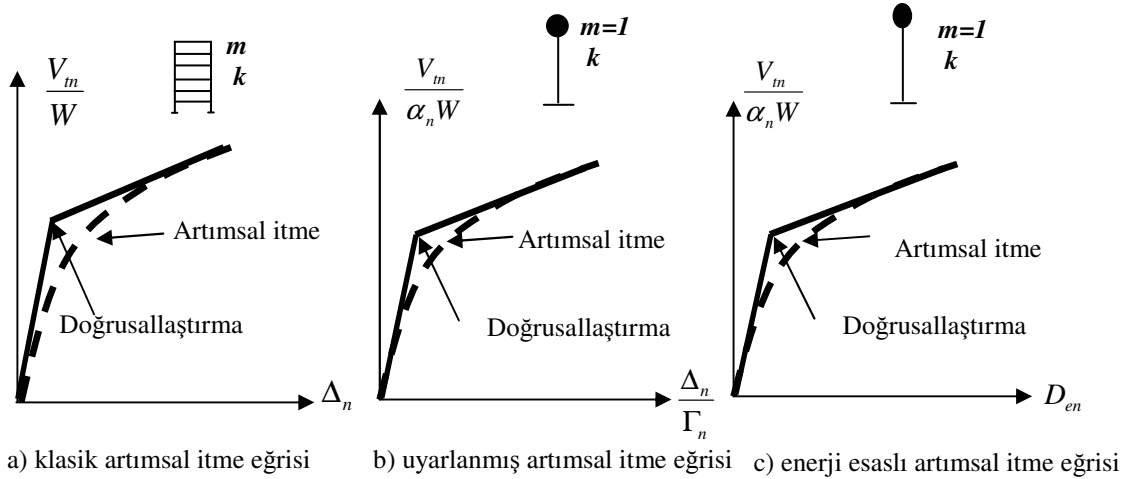
Daha genel olarak, elastik ve elastik ötesi tepki için, V_{tn} tarafından yapılan iş diferansiyel yer değiştirmede şu şekilde ifade edilir,

$$dE_n = V_m dD_{en} \quad (2.26)$$

V_{tn} tarafından yapılan iş, bu mod için yapının diferansiyel yer değiştirmesinde statik kuvvet f_n tarafından yapılan işe eşit olmaktadır. Artımsal bir yöntemin kullanılmasıyla, ΔE_n ve V_{tn} artımsal itme analizinde her adım için hesaplanabilir. Böylelikle enerji esaslı yer değiştirme ΔD_{en} şöyle elde edilebilecektir;

$$\Delta D_{en} = \frac{\Delta E_n}{V_m} \quad (2.27)$$

Şekil 2.5.'de; (a)'da $\frac{V_m}{W}$ 'a karşı Δ_n 'in gösterdiği klasik artımsal itme eğrisi, (b)'de, $\frac{V_m}{\alpha_n W}$ 'e karşı $\frac{\Delta_n}{\Gamma_n}$ 'in gösterdiği uyarlanmış artımsal itme eğrisi ve (c)'de ise $\frac{V_m}{\alpha_n W}$ 'e karşı D_{en} 'in gösterdiği enerji esaslı artımsal itme eğrisi şematik olarak çizdirilmiştir. Şekil 2.5'de görüldüğü gibi üç farklı artımsal itme analizi üç farklı artımsal itme eğrisi vermektedir.



Şekil 2.5. Artımsal itme analizlerinin şematik olarak karşılaştırılması

Enerji esaslı artımsal itme analizi yönteminin diğer artımsal itme analizlerine göre üstünlüğü enerji parametrelerinin de analizlere dahil edilmesidir. Diğer artımsal itme analizlerinde enerji parametreleri analizlere girmemektedir. Bu nedenle enerjinin tüketilmesinden kaynaklanan etkiler dikkate alınamamaktadır. Enerji esaslı artımsal itme analizlerinde yer değiştirme değerleri enerji parametreleri dikkate alınarak ifadelendirilmektedir. Doğrusal olmayan artımsal itme analizi metotları, kısa sürede cevap vermesi ve kolay uygulanabilmesi açısından oldukça kullanışlıdır Enerji esaslı artımsal itme analizleri enerji parametrelerinin ifade edilmesini sağlamaktadır.

2.2.2. Doğrusal Olmayan Dinamik Zaman Tanım Alanında Analiz

Doğrusal olmayan dinamik zaman tanım alanında analiz, belirli bir yer hareketinin zaman tanım alanındaki kaydı ile yapıda meydana gelen elastik ötesi davranışı elde etmek için kullanılmaktadır. Doğrusal olmayan artımsal itme analizinin aksine bu metotla deprem tarafından üretilen yer değiştirme talepleri doğrudan elde edilebilmektedir. Analizden elde edilen sonuçlardan yapının performans seviyesi bulunabilmektedir. Doğrusal olmayan dinamik zaman tanım alanında analiz, depremin tersinir etkisini temsil edebildiği için doğrusal olmayan artımsal itme analizine göre daha doğru sonuçlar vermektedir. Ancak uygulamadaki zorlukları sebebiyle doğrusal olmayan artımsal itme analizleri daha çok tercih edilmektedir. Belirli yapı performans seviyelerinde sismik taleplerin tahmin edilmesi için, yapının doğrusal olmayan dinamik davranışının göz önünde tutulması gereklidir.

Doğrusal olmayan dinamik zaman tanım alanında analizlerde, depremlere ait kesin ivme kayıtları kullanılmaktadır. Hareket denklemleri, yapının kütle ve rijitlik karakteristiklerinin ifade edilmesi için gerekli olan serbestlik derecesi kadar kurulabilir. Yapının sismik tepkisi önemli birkaç yanal yer değiştirme moduyla ifadelendirilebilir. Örneğin, deprem sırasında yapıların en büyük tepe yer değiştirmeleri, %90 mertebesinde ilk veya hakim moduyla belirlenebilmektedir. Bu nedenle hareket denklemini fiziksel halden doğal koordinatlara getirmek daha uygun olabilir. Matematiksel olarak doğrudan entegrasyon modeliyle zaman tanım alanında analiz yapılabilmektedir. Artımsal dinamik yükler altındaki yapının analizi, hareket denklemi kullanılarak gerçekleştirilir. Bu denklemin zaman tanım aralığında nümerik olarak çözümü gerçekleştirilebilir.

Doğrudan entegrasyon yöntemi, dinamik zaman tanım alanında analizler için en doğru sonuçları veren yöntemdir. Denklem 2.3'de verilen hareket denklemi üzerine oturan yöntemde, dinamik yükler yapıya Δt zaman aralıklarında artımsal olarak etkililmektedir. Zaman tanım aralığında denklem 2.3'ün çözümü nümerik olarak doğrudan entegrasyon yöntemiyle çözülebilmektedir. Doğrusal entegrasyonun

çözümünün en uygun yolu, merkezi farklar yönteminin kullanılmasıdır. Hareket denklemindeki hız ve ivme ifadeleri aşağıda verilen denklemler yardımıyla elde edilebilmektedir.

$$\dot{u}_t = \frac{1}{2\Delta t}(-u_{t-\Delta t} + u_{t+\Delta t}) \quad \text{ve} \quad \ddot{u}_t = \frac{1}{\Delta t^2}(u_{t-\Delta t} - 2u_t + u_{t+\Delta t}) \quad (2.28)$$

Denklem 2.28'deki hız ve ivme ifadeleri, denklem 2.3'de yerine konulacak olursa, hareket denklemi,

$$\left(\frac{1}{\Delta t^2}m + \frac{1}{2\Delta t}c\right)u_{t-\Delta t} = p(t) - \left(K - \frac{2}{\Delta t^2}m\right)u_t - \left(\frac{1}{\Delta t^2}m - \frac{1}{2\Delta t}c\right)u_{t+\Delta t} \quad (2.29)$$

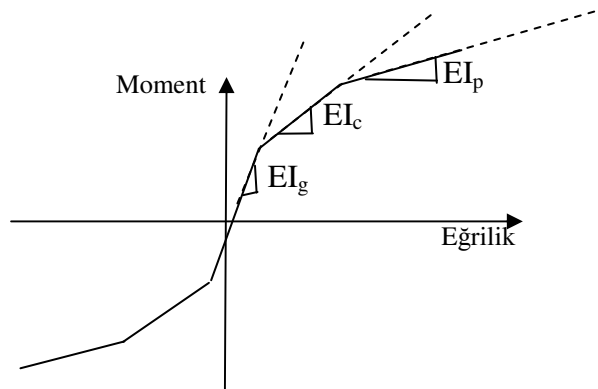
şeklinde elde edilir. Hareket denklemi $t+\Delta t$ anında $u_{t+\Delta t}$ için doğrudan çözülebilir. Aynı zamanda Newmark metodu ile $t+\Delta t$ anı için çözüm yapılabilir. Buradaki artımsal Δt değeri, t 'nin yanında oldukça küçüktür.

2.2.3. Doğrusal Olmayan Analizlerde ve Kullanılan Bilgisayar Programında Yapılan Kabuller

Tez kapsamında doğrusal olmayan analizlerde DRAIN-2DX bilgisayar programı kullanılmıştır. Program, en çok güvenilen doğrusal olmayan analiz programları arasında yer almaktadır. Yapılan analizlerde ve kullanılan programdaki kabuller şöyledir;

1. Her düğüm noktası için üç serbestlik derecesi dikkate alınmaktadır,
2. Çerçeve sistemlerin modellemesinde kiriş ve kolonlar çubuk elemanlar olarak alınmaktadır,
3. Kütlelerin düğüm noktalarında topaklandığı kabul edilmektedir,
4. Betonarme kiriş ve kolon elemanların çevrimsel davranışları düğüm noktalarında tanımlanmaktadır,

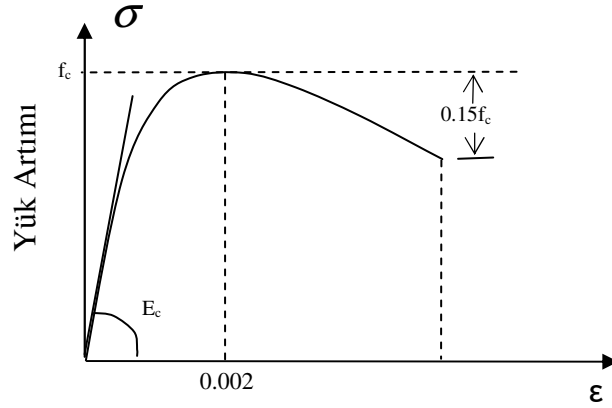
5. Kesit özellikleri ve moment-eğrilik ilişkisi programa dışardan verilmektedir,
6. Deprem hareketleri, zaman tanım aralığında tanımlanmakta ve yer ivmesi değerleri programa veri olarak sunulmaktadır,
7. Dinamik tepkiler, adım adım artımsal entegrasyon yöntemiyle yapılmaktadır,
8. P- Δ ikinci mertebeye etkileri olarak, yatay düzlemdeki yer değiştirmeler dikkate alınarak geometrik doğrusal olmayan analizler hesaplara dahil edilmektedir,
9. Eğilme ve kesme etkileri yer değiştirmelerin hesaplanmasında dikkate alınmaktadır,
10. Kirişlerde ve kolonlarda aksel şekil değiştirmeler ihmal edilmektedir,
11. Deprem kuvvetinin etkilenmesi sırasında meydana gelebilecek rijitlik değişimleri dikkate alınmaktadır,



Şekil 2.6. Betonarme elemanlar için DRAIN-2DX'de verilen moment-eğrilik ilişkisi

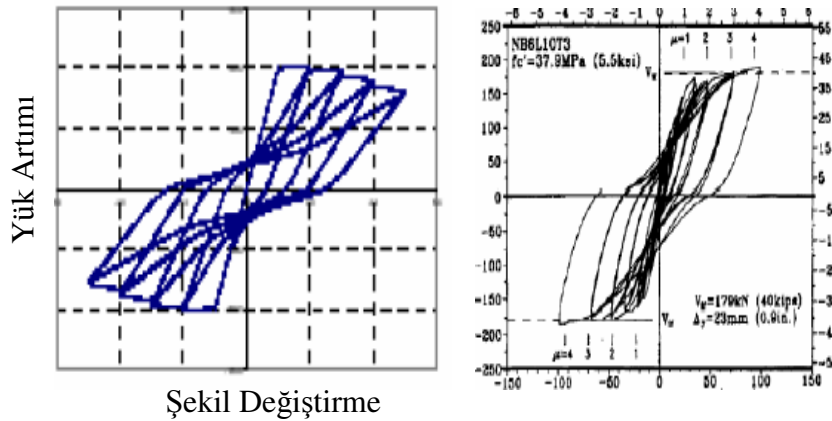
Betonarme elemanlar için moment eğrilik ilişkisi, şekil 2.8'de gösterildiği gibi modellenmiştir. Şekil 2.6'da EI_g: toplam rijitlik, EI_c: çatlamış kesit (kritik) rijitliği, EI_p: plastik kesit rijitliği şeklinde ifade edilmiştir.

12. Analizlerde şekil 2.7'de gösterilen Hognestad malzeme modeli kullanılmakta, Modelde $\sigma - \varepsilon$ eğrisinin maksimum gerilmeye kadar olan kısmı ikinci derece bir parabol kabul edilmektedir,



Şekil 2.7. Hognestad malzeme modelinde $\sigma - \varepsilon$ eğrisi

13. Kiriş, kolon elemanların yük-şekil değiştirme ilişkisi ise Şekil 2.8'de verilmektedir.



Şekil 2.8. DRAIN-2DX'de betonarme kiriş-kolon eleman için yük-şekil değiştirme davranışı

2.2.4. Doğrusal Olmayan Artımsal İtme ve Dinamik Zaman Tanım Alanında Analizlerin Karşılaştırmaları

Bu bölümde seçilen 3, 5, 8 ve 15 katlı örnek betonarme çerçeveler üzerinde doğrusal olmayan artımsal itme analiz yöntemlerinden elde edilen kapasite eğrileriyle dinamik zaman tanım alanında analiz yönteminden elde edilen kapasite eğrilerinin karşılaştırması ve buna bağlı olarak artımsal itme analiz yöntemlerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2.2.4.1. Analizlerde Kullanılan Örnek Betonarme Çerçeve Sistemler

Tez kapsamında analizler seçilen betonarme çerçeve sistemler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Seçilen 3, 5, 8 ve 15 katlı şekil 2.9'da açıklık, yükseklik ve en kesit boyutları verilen dört adet örnek betonarme çerçeve, yönetmeliklerdeki kuvvet esaslı doğrusal yöntemler kullanılarak boyutlandırılmıştır.

Analizlerde çerçevelere etkiyecek yatay yüklerin hesaplanmasında yapı önem katsayısı 1 olarak alınmıştır. Tüm çerçevelerin kolonları zemine tam ankastre mesnetlendiği kabulü yapılmıştır. Hesaplarda donatı malzeme karakteristik akma dayanımı $f_y = 22 \text{ kN/cm}^2$ (S220), beton malzeme karakteristik basınç dayanımı ise $f_c = 1.6 \text{ kN/cm}^2$ (C16) olarak alınmıştır.

3 katlı betonarme çerçevenin kirişleri 25x55 cm, kolonları 40x40 cm ve doğal periyodu 0.54 s'dir.

5 katlı çerçevenin kirişleri 25x55 cm, kolonları ilk üç kat için 50x50 cm, son iki kat için ise 40x40 cm, doğal periyodu 0.72 s'dir.

8 katlı çerçevenin kirişleri 30x60 cm kolonları ilk beş kat için 60x60 cm, son üç kat için 50x50 cm, doğal periyodu 0.90 s'dir.

15 katlı çerçevenin kirişleri 30x60 cm, kolonlar ilk 10 katta 80x80 cm, son beş katta 60x60 cm, doğal periyodu 1.20 s'dir.

Çerçevelere ait bu özellikler tablo 2.2'de özetlenmiştir. Tablo 2.3'de çerçevelerin modal katılım oranları verilmiştir.

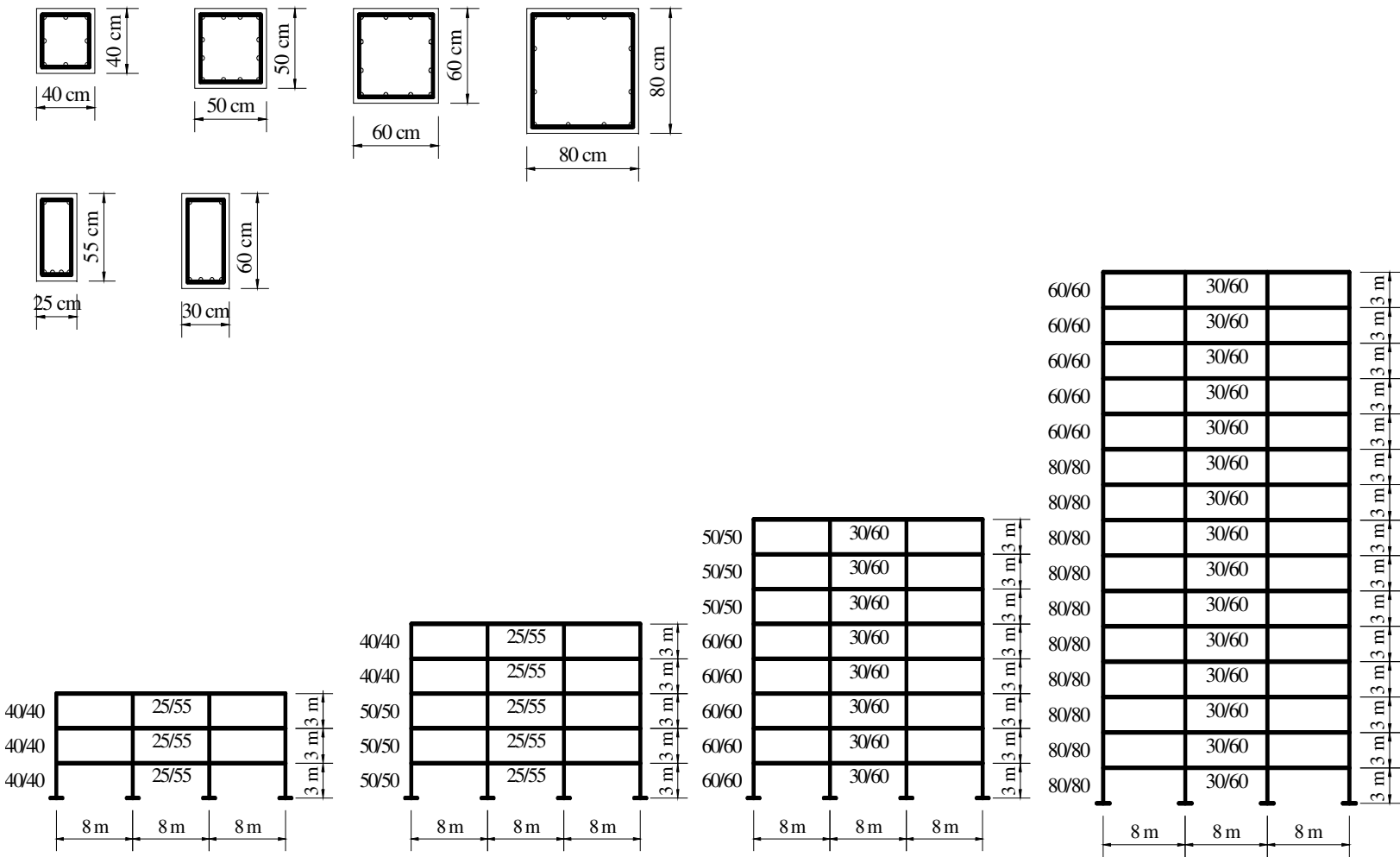
Tablo 2.2. Örnek betonarme çerçevelerin özellikleri

	3 Katlı Yapı	5 Katlı Yapı	8 Katlı Yapı	15 Katlı Yapı
Periyot (s)	0.54	0.72	0.90	1.20
Kat adedi	3	5	8	15
Açıklık sayısı	3	3	3	3
Kat yükseklikleri (cm)	300	300	300	300
Açıklık mesafeleri (cm)	800	800	800	800
Kolon Boyutları ve Donatıları	40x40 As= 30.40cm ²	<i>İlk Üç Kat</i>	<i>İlk Beş Kat</i>	<i>İlk 10 Kat</i>
		50x50 As = 45.20 cm ²	60x60 As = 75.00 cm ²	80x80 As = 145.00cm ²
		<i>Son İki Kat</i>	<i>Son Üç Kat</i>	<i>Son Beş Kat</i>
		40x40 As = 30.40cm ²	50x50 As = 45.20 cm ²	60x60 As = 75.00 cm ²
Kiriş Boyutları ve Donatıları	25x55 As = 13.26 cm ²	25x55 As = 13.26 cm ²	30x60 As = 45.00 cm ²	30x60 As = 45.00 cm ²
f_c (Betonun Basınç Dayanımı)	1.6 kN/cm ²	1.6 kN/cm ²	1.6 kN/cm ²	1.6 kN/cm ²
f_y (Çeliğin Akma Dayanımı)	22 kN/cm ²	22 kN/cm ²	22 kN/cm ²	22 kN/cm ²

Tablo 2.3. Betonarme çerçevelerin doğal titreşim periyotları ve modal katılım oranları

Modlar	Periyot (T(s))			Modal Katılım Oranı (Γ(%))		
	1. Mod	2. Mod	3. Mod	1. Mod	2. Mod	3. Mod
3 Katlı	0.54	0.14	0.07	94	5	1
5 Katlı	0.72	0.21	0.11	87	9	3
8 Katlı	0.90	0.27	0.14	80	11	4
15 Katlı	1.20	0.48	0.26	78	10	5

Şekil 2.9. 3-5-8-15 Katlı Betonarme Çerçeve Yapıların ve Kesit Alanlarının Şematik Gösterimi

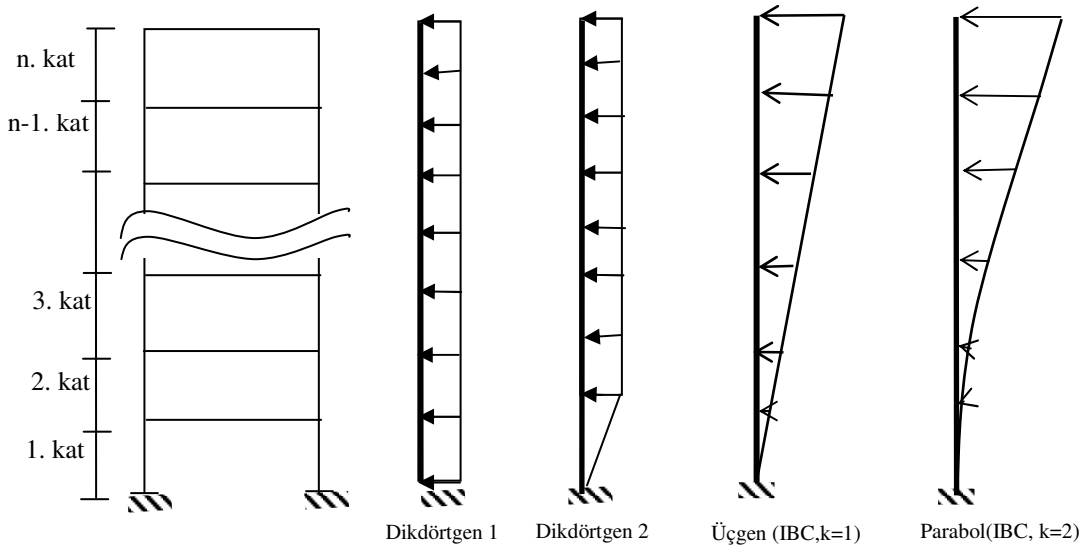


2.2.4.2. Örnek Betonarme Çerçevelerin Doğrusal Olmayan Artımsal İtme Analizleri

2.2.4.2.1. Örnek Betonarme Çerçevelerin Doğrusal Olmayan Klasik Artımsal İtme Analizleri. İtme analizlerinde yanal yüklemeler, tepe yer değiştirmeleri, 3, 5 ve 8 katlı binalarda 50 cm'e; 15 katlı binada ise 100 cm'e ulaşıncaya kadar arttırılmıştır. Çerçeve sistemlerin analizi için kiriş ve kolon elemanlar kullanılmıştır. Elastik olmayan etkiler eleman uç noktalarında plastik mafsallarla tanımlanmıştır. Donatı pekleşmesi tüm elemanlar için ihmal edilmiştir. Analizlerde, kiriş ve kolon elemanları için çatlamış kesit atalet momenti I_c , değerleri alınmıştır. Çatlamış kesit atalet momenti değeri olarak, gerçek kesit atalet momenti, I_g , değerinin yarısı alınmıştır.

Artımsal itme analizleri 3, 5, 8 ve 15 katlı betonarme çerçeveler için, dikdörtgen (1,2), üçgen (IBC, k=1) ve parabol (IBC, k=2) yük dağılımı dikkate alınarak toplam dört ayrı yük dağılımı için ve her bir çerçeve sistem için gerçekleştirilmiştir. Artımsal itme analizleri için DRAIN-2DX programı kullanılmıştır (Prakash ve Powell, 1993).

Şekil 2.11'den şekil 2.14'e kadar klasik artımsal itme analizi sonuçları grafikler halinde verilmiştir. Grafikler, her yükleme dağılımı ve çerçeve sistem için taban kesme kuvveti/yapı ağırlığı oranının; kat yer değiştirmelerine karşı gösterdiği eğrileri vermektedir. Eğrilerin eğimlerindeki ilk değişimler, yapısal sistemdeki akma noktalarını göstermektedir. Seçilen yük dağılımlarının şematik gösterimi şekil 2.10'da verilmiştir. Dikdörtgen (1,2) yük dağılımları diğer yük dağılımlarıyla karşılaştırıldığında daha büyük etki yüküne sahip olduğundan, çerçeve davranışında tüm mod katkılarını dikkate alan yükleme tipini temsil etmektedir. Dolayısıyla, dikdörtgen (1,2) yükleme dağılımından elde edilen yapı davranışı, üçgen (IBC, k=1) ve parabol (IBC, k=2) yükleme dağılımlarına göre daha gerçekçi sonuçlar vermektedir.

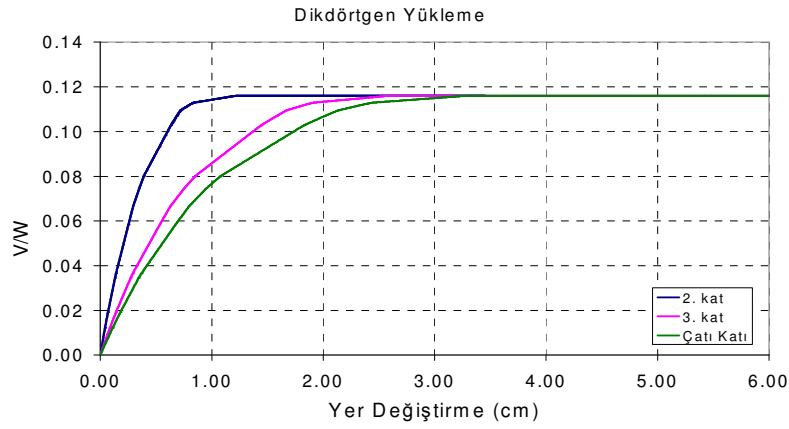


Şekil 2.10. Örnek dikdörtgen (1,2), üçgen (IBC, $k=1$) ve parabol (IBC, $k=2$) yük dağılımları

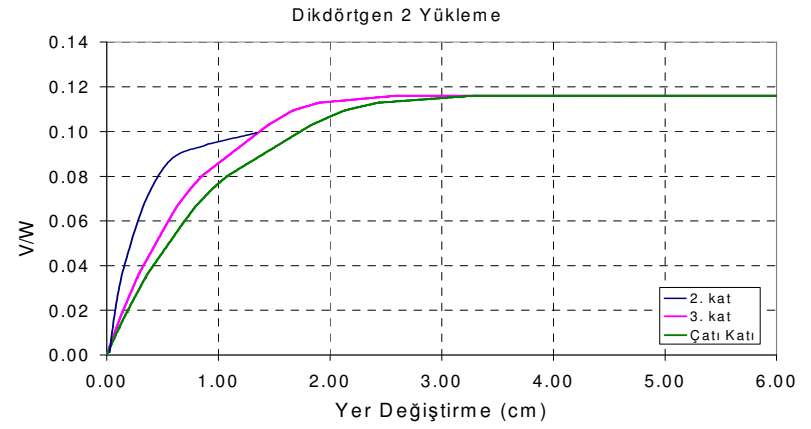
Kapasite eğrilerini (artımsal itme eğrilerini) elde edebilmek için, yapının malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan teoriye göre elastik ötesi artımsal itme analizi yapılmıştır. Artımsal itme analizlerini gerçekleştirmek amacıyla kat sayıları birbirinden farklı dört adet betonarme çerçeve seçilerek bu çerçevelerin matematik modelleri oluşturulmuş ve deprem yönetmeliği ve TS500'e göre boyutlandırılmıştır. Analizlerde kullanılacak malzeme (beton ve beton çeliği) özellikleri ve eleman boyutları ve rijitlikleri tablo 2.2'de verildiği gibi tanımlanmıştır.

İncelenen betonarme çerçeve sistemler üzerinde dikdörtgen (1,2), üçgen (IBC, $k=1$) ve parabol (IBC, $k=2$) yük dağılımları kullanılarak statik itme analizleri yapılmıştır. Burada k , IBC 2000'de ifade edildiği şekliyle, yapının periyoduna bağlı olarak yük dağılımını ifade etmek için kullanılan katsayıdır (IBC,2000). Bu artımsal itme analizlerinin gerçekliklerinin irdelenmesi amacıyla zaman tanım alanında analizler yapılmıştır. Zaman tanım alanında analizler, seçilen yapılar üzerinde dört ayrı zemin sınıfı için 30'ar deprem verisi ile gerçekleştirilmiştir.

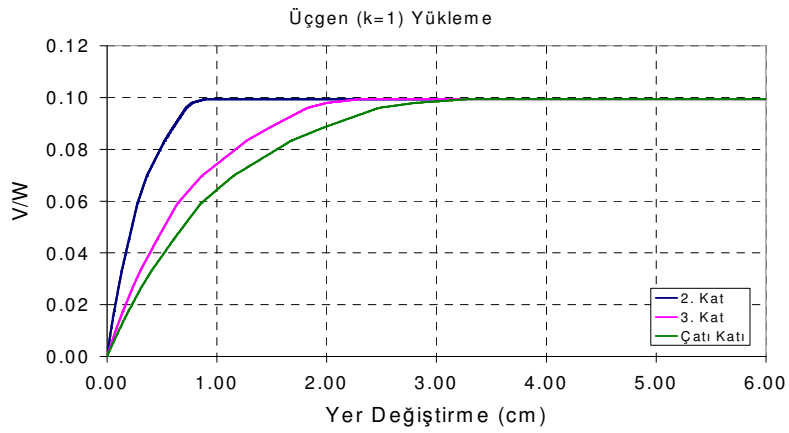
Sekil 2.11. 3 Katlı Betonarme Çerçevenin Dört Farklı Yük Tipine Göre Artımsal İtme Analizi



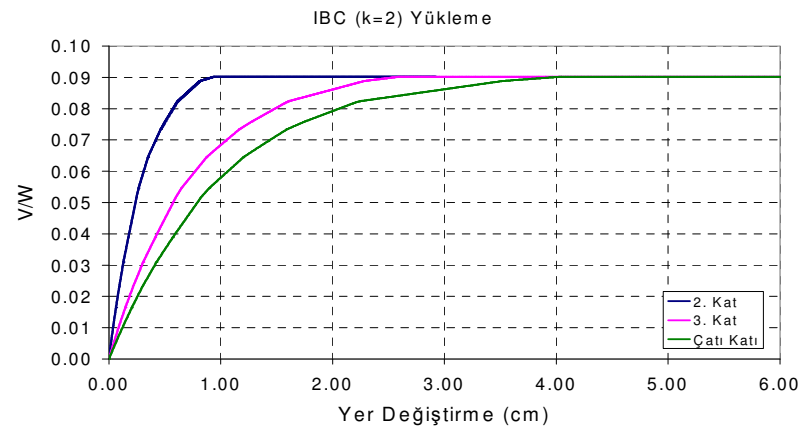
a) 3 Katlı yapı için dikdörtgen yükleme



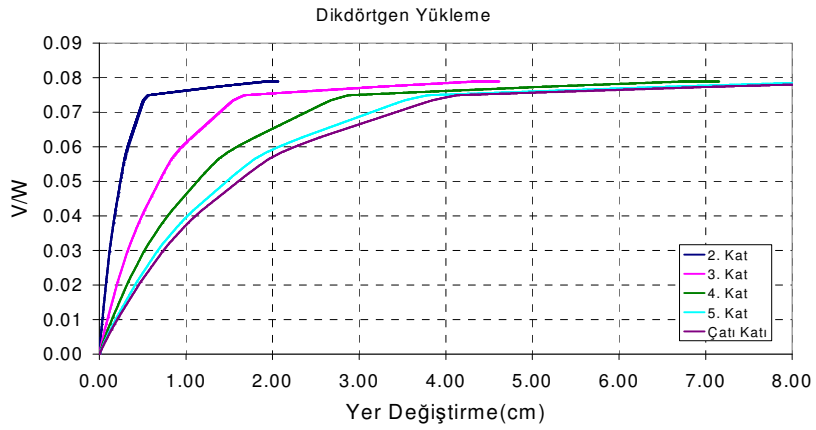
b) 3 Katlı yapı için dikdörtgen 2 yükleme



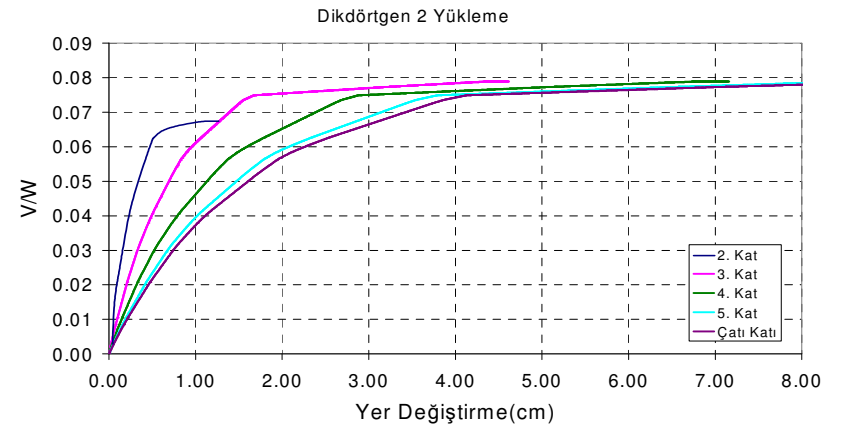
c) 3 Katlı yapı için üçgen yükleme



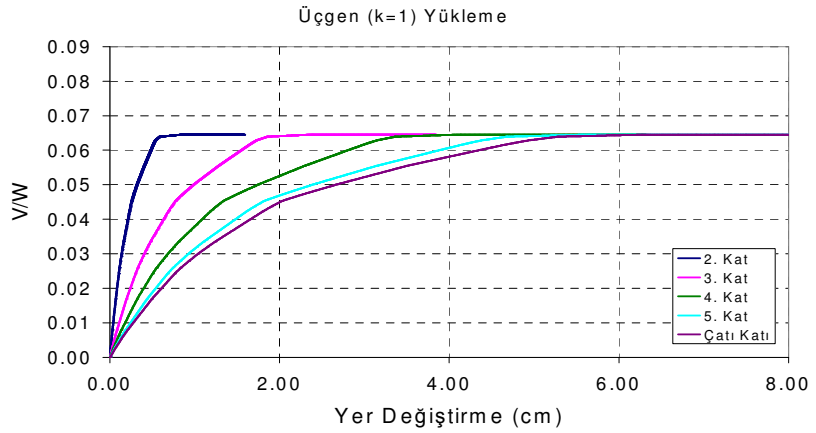
d) 3 Katlı yapı için ibc yükleme



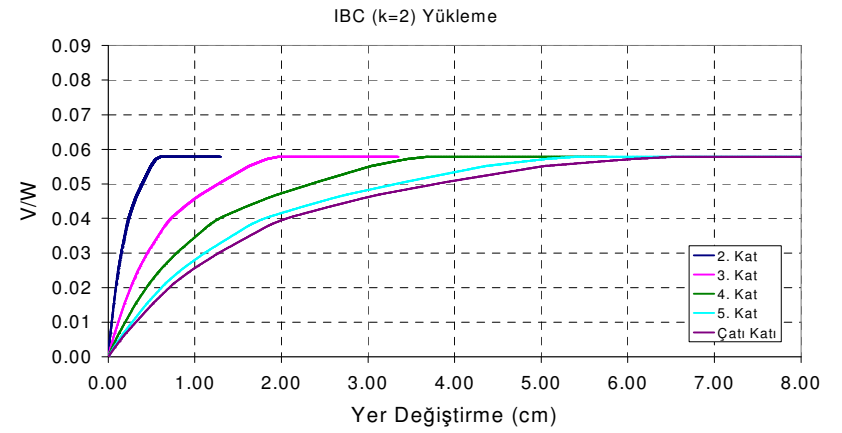
a) 5 Katlı yapı için dikdörtgen yükleme



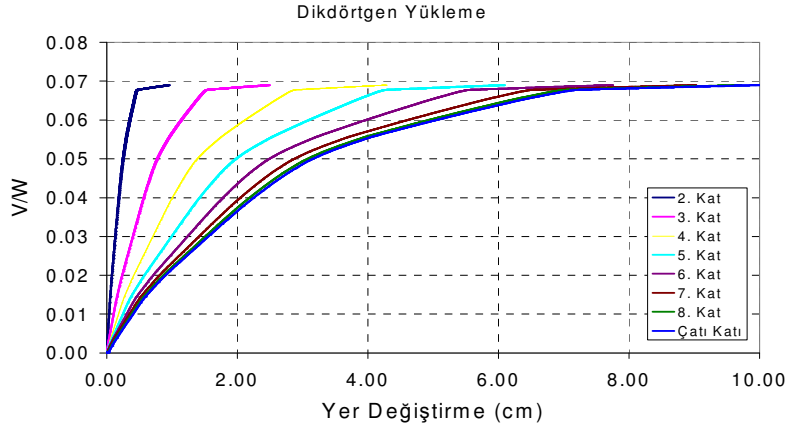
b) 5 Katlı yapı için dikdörtgen 2 yükleme



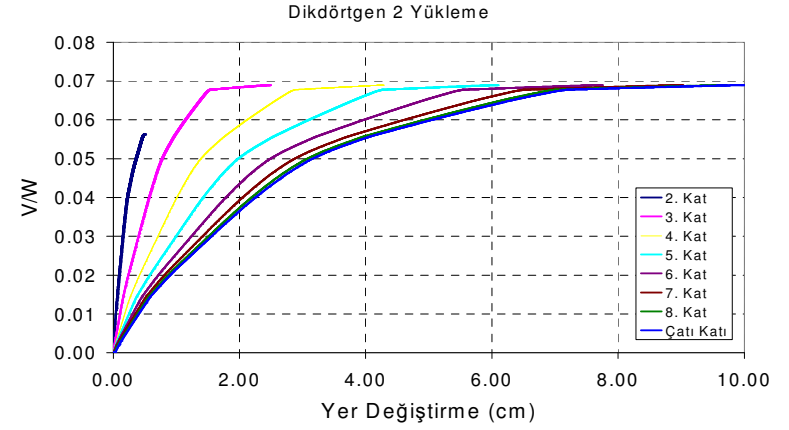
c) 5 Katlı yapı için üçgen yükleme



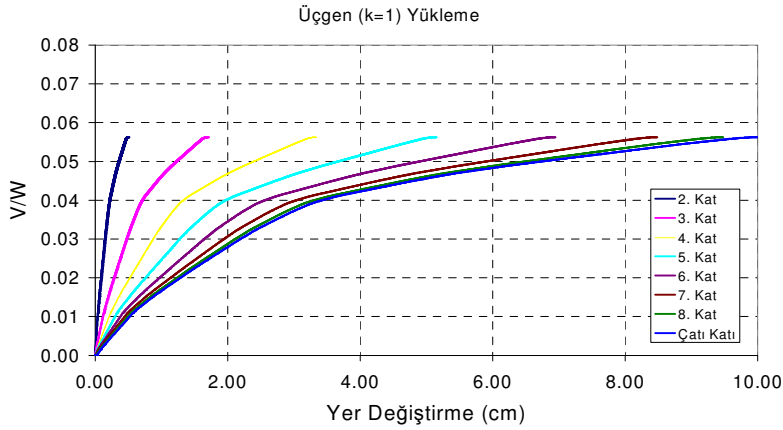
d) 5 Katlı yapı için IBC yükleme



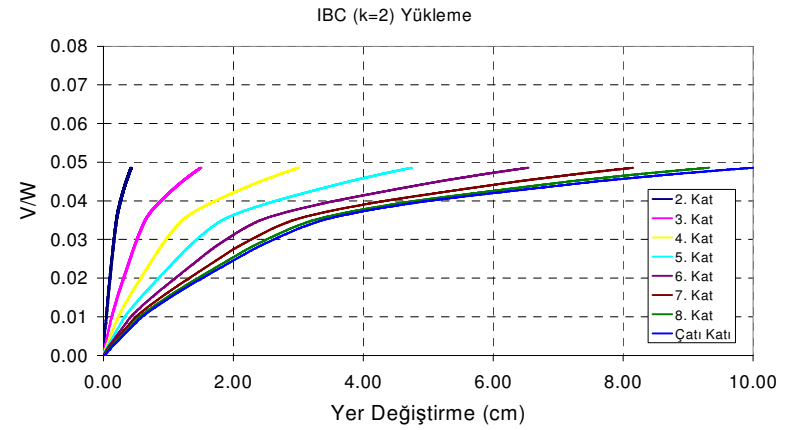
a) 8 Katlı Yapı İçin Dikdörtgen Yükleme



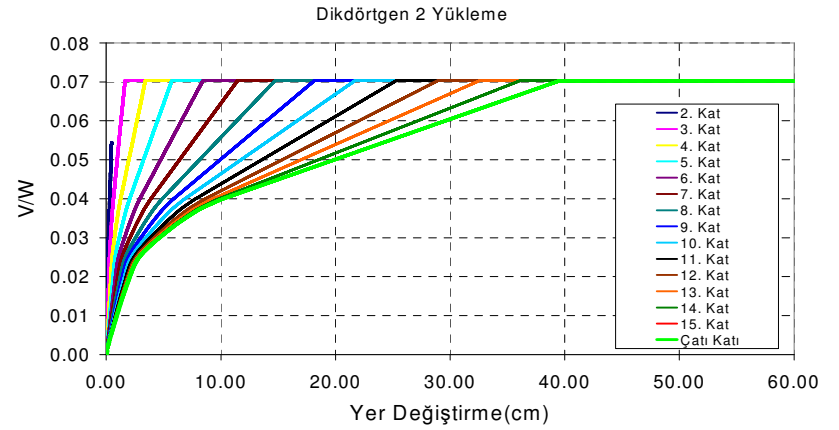
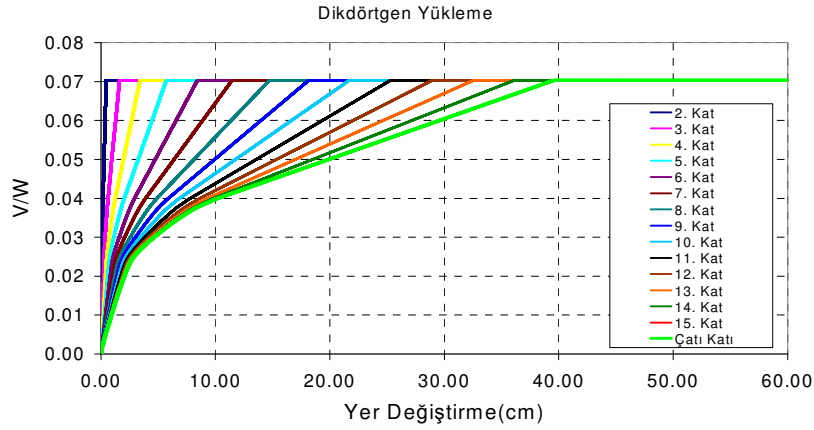
b) 8 Katlı Yapı İçin Dikdörtgen 2 Yükleme



c) 8 Katlı Yapı İçin Üçgen Yükleme

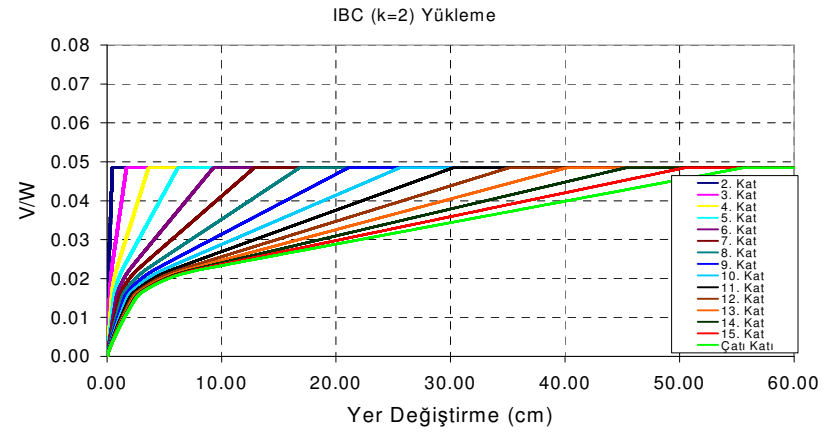
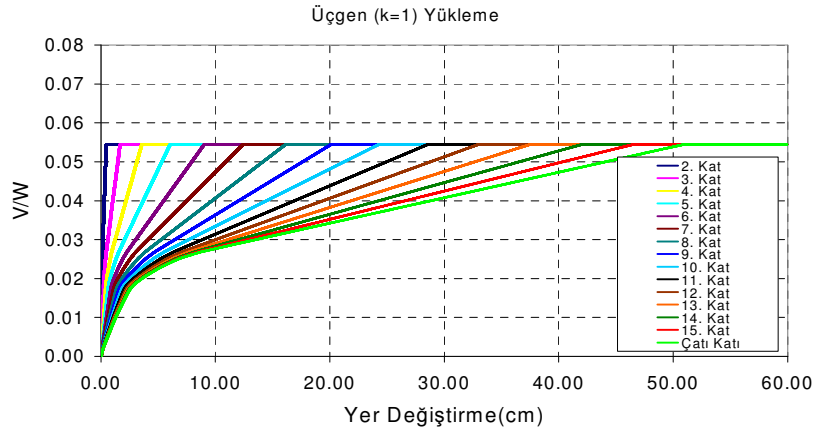


d) 8 Katlı Yapı İçin IBC Yükleme



a) 15 Katlı yapı için dikdörtgen yükleme

b) 15 Katlı yapı için dikdörtgen 2 yükleme



c) 15 Katlı yapı için üçgen yükleme

d) 15 Katlı yapı için IBC yükleme

2.2.4.2.2. *Örnek Betonarme Çerçevelerin Doğrusal Olmayan Uyarlanmış ve Enerji Esaslı Artımsal İtme Analizleri.* Tez kapsamında uyarlanmış artımsal itme ve enerji esaslı artımsal itme analizleri de seçilen yapı sistemleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Uyarlanmış artımsal itme analizlerinde yüksek mod etkileri dikkate alınmış, yanal yüklemeler klasik yöntemde olduğu gibi sabit tutulmayarak, sürekli olarak mod şekillerine ve özdeğer analizlerinden elde edilen mod katılım faktörlerine göre arttırılmıştır. Enerji esaslı artımsal itme analizlerinde ise enerji parametreleriyle yer değiştirme değerleri belirlenmiş, V/W değerleri ise uyarlanmış artımsal itme analizinden elde edilen değerler olarak alınmıştır. Bu iki analiz sonuçlarından elde edilen eğriler şekil 2.16'da çizdirilmiştir. Uyarlanmış artımsal itme ve enerji esaslı artımsal itme analizlerinde uygulanan, şekil 2.15'de akış şeması verilen yöntem adımları şu şekildedir:

1. Her adımda bir önceki adımdaki sistem rijitliği belirlenerek, öz değer analizi yapılır, periyotlar hesaplanarak mod vektörleri bulunur.

2. Seçilen spektrumun şekline ve öz değer sonuçlarına göre, kat kuvvetleri her mod için şu şekilde kullanılır:

$$F_{ij} = \Gamma_j \phi_{ij} m_i \quad (2.30)$$

i: kat sayısı, j: mod sayısı, Γ_j : j. Mod için modal katılım faktörü, ϕ_{ij} : j. Mod, i. kat için normalize edilmiş modal şekil değeri, m_i : i. katın kütesidir. Bu bağıntı sistemin modal özelliklerini içermektedir. Eğer spektral şekil de göz önüne alınmak istenirse bu durumda,

$$F_{ij} = \Gamma_j \phi_{ij} M_i S_a(j) \quad (2.31)$$

elde edilir. Burada $S_a(j)$: j. mod için spektral ivmedir.

3. Her mod için yanal yük dağılımının tanımlanmasından sonra, her kata gelen kuvvet dağılımı F_i hesaplanır.

$$F_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n F_j^2} \quad (\text{karelerin toplamının kare kökü}) \quad \text{veya}$$

$$F_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n (F_j^{i^2} \cdot \varepsilon_{ik} \cdot F_j^{k^2})} \quad (\text{tam karesel birleştirme}) \quad (2.32)$$

$$\text{Burada, } \varepsilon_{ik} = \frac{8\xi^2(1+r)r^{3/2}}{(1-r^2)^2 + 4\xi^2r(1+r)^2} \quad \text{ve} \quad r = \frac{\omega_k}{\omega_i} \quad (2.33)$$

ve kat kuvvetleri F_i 'nin rölatif değerleri önemli olduğu için, belirlenen kat kuvvetleri normalleştirilir:

$$\bar{F}_i = \frac{F_i}{\sum F_i} \quad (2.34)$$

4. Her adımda yük faktörü yenilenerek her kata gelen yük değeri bu yük faktörüyle çarpılır. Her bir katta uygulanan kuvvet P_i , arttırılmış yük çarpanı, o kattaki fiktif (nominal) yük ve F_i kuvvetinin bileşkesi olarak değerlendirilir.

$$P_i = \lambda \cdot \bar{F}_i \cdot P_{i,0} \quad (2.35)$$

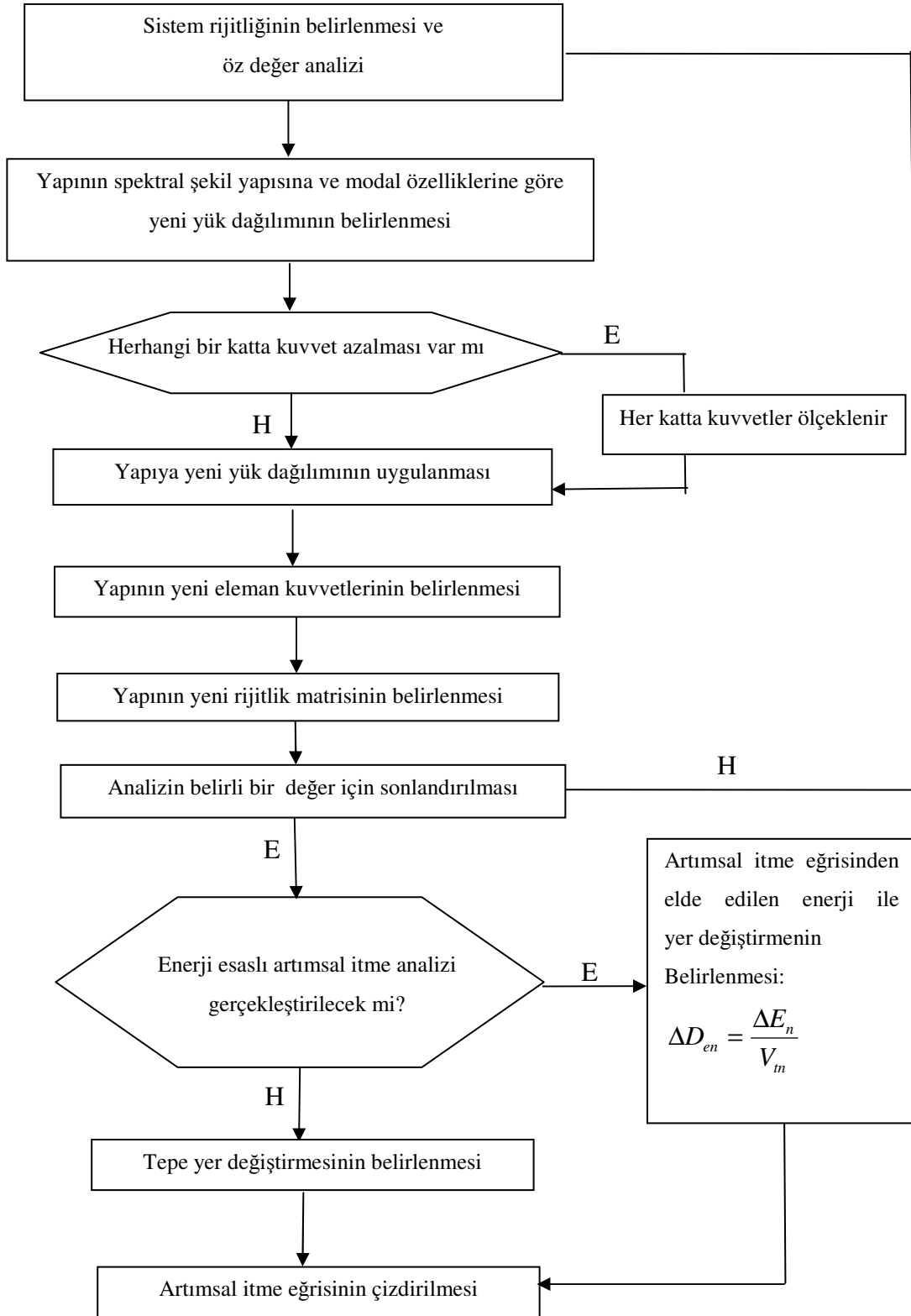
Burada, $P_{i,0}$ i nolu kattaki fiktif yüküdür. Genel olarak tüm katlardaki fiktif yüklerin eşit olması gerekir, çünkü farklı kat kütlelerinin etkisi F_i ile hesaba katılmaktadır. Bu yöntemde toplam ölçekleme hesaba katılmaktadır.

5. Yapı modeli üzerinde yeni hesaplanan kuvvetler uygulanır ve eleman kuvvetleri, yer değiştirmeler ve dönmeler hesaplanır. Yeni denge durumunda katlar arası yer değiştirme, yeni taban kesme kuvveti, tepe yer değiştirmeleri elde edilir.

6. Her adımda yeni rijitlik matrisi belirlenerek işlemler bu yeni rijitlik matrisiyle yapılır.

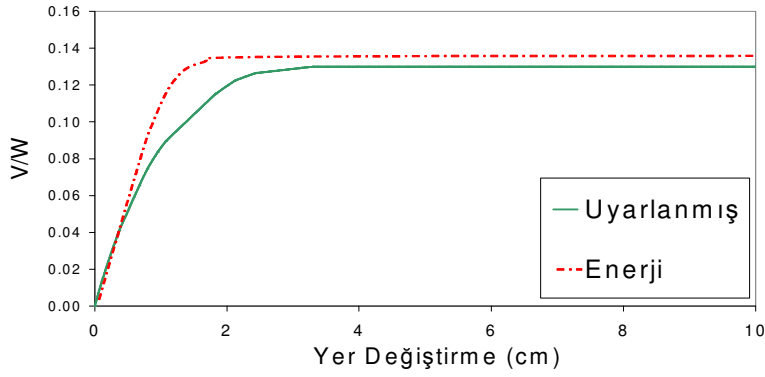
7. Analiz sonuçlanıncaya kadar tekrar 1. adıma dönülür.

8. Enerji esash yöntemde bu adımlara ilave olarak yer değiştirme değeri, artımsal itme analizinden elde edilen iş ile hesaplanır.

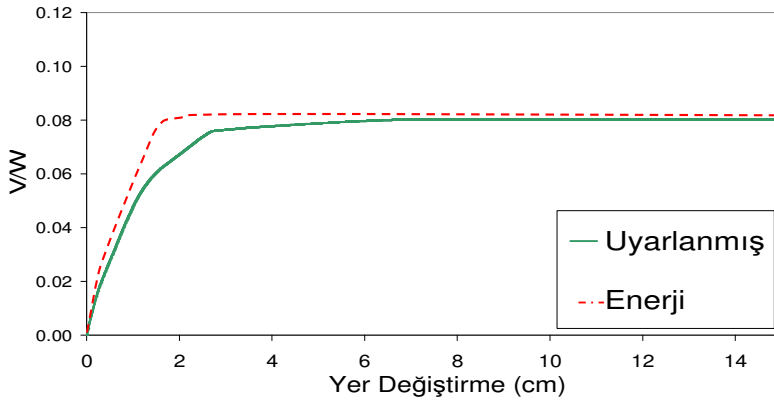


Şekil 2.15. Uyarlanmış ve enerji esaslı artımsal itme analizleri için akış şeması

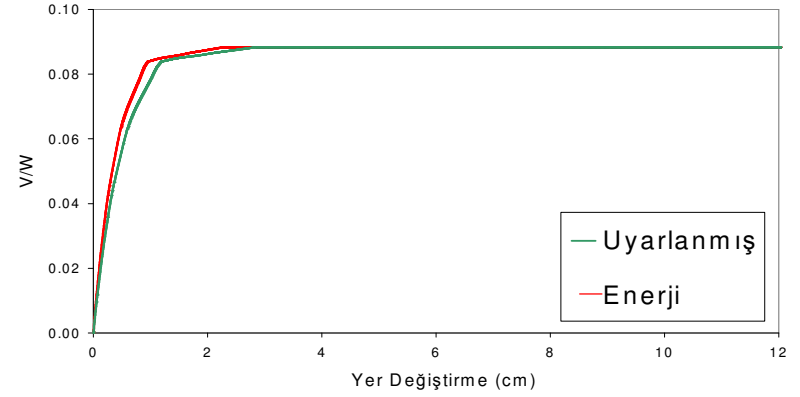
Şekil 2.16. Betonarme çerçeve yapıların uyarlanmış ve enerji esaslı artımsal titre analizleri



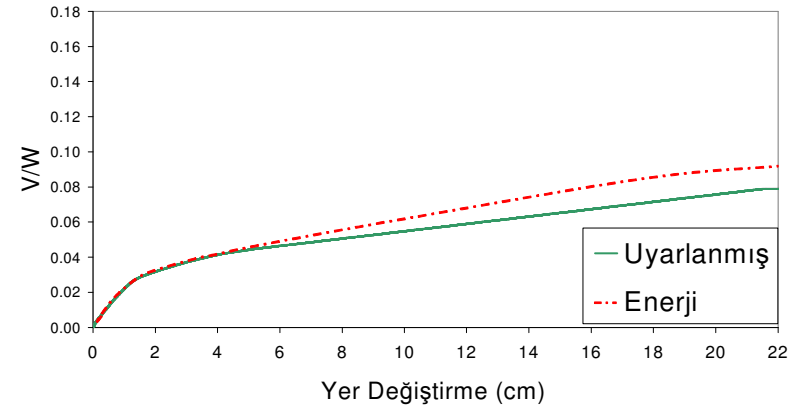
a) 3 Katlı yapı için uyarlanmış ve enerji esaslı



c) 8 Katlı yapı için uyarlanmış ve enerji esaslı



b) 5 Katlı yapı için uyarlanmış ve enerji esaslı



d) 15 Katlı yapı için uyarlanmış ve enerji esaslı

2.2.4.2.3. *Örnek Betonarme Çerçevelerin Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanında Analizi.* Artımsal itme analizlerinde kullanılan betonarme çerçeveler, zati ve hareketli yük etkileri altında, P- Δ etkileri de dikkate alınarak zaman tanım alanındaki dinamik analizlerde de kullanılmıştır. Tez kapsamında yürütülen zaman tanım alanında analiz için DRAIN-2DX programı kullanılmıştır. zaman tanım alanında analizde, özellikleri tablo 2.4, 2.5, 2.6, ve 2.7’de verilen farklı kaynaklardan alınmış farklı deprem verileri kullanılmıştır. Tablolardan görüleceği gibi seçilmiş olan deprem verileri farklı frekanslara ve en büyük yer ivmesi değerlerine sahiptir.

Kullanılan deprem kayıtları, “Anza (Horse Canyon), Parkfield, Morgan Hill, Kocaeli, Coyote Lake, N. Palm Springs, Northridge, Santa Barbara, Imperial Valley, Kobe, Central California, Lytle Creek, Whittier Narrows, Hollister Westmoreland, Landers, Livermore ve Cape Mendocino” depremlerine aittir.

Zaman tanım alanında analizde kullanılan bu deprem verileri, PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center) sayfasından (<http://peer.berkeley.edu>) elde edilebilir. Zemin sınıfları için deprem kayma dalgası hızları, A zemin sınıfı için $V_s > 750$ m/s; B zemin sınıfı için 360 m/s ile 750 m/s arasında; C zemin sınıfı için 180 m/s ile 360 m/s arasında, ve D zemin sınıfı için <180 m/s şeklindedir. Bu değerler tablo 2.8’de verilmiştir. Bu dört farklı zemin sınıfına göre betonarme çerçevelerin her bir zemin sınıfı için 30 deprem verisine göre yapılan zaman tanım alanında analiz sonuçları ile, dikdörtgen (1,2), üçgen (IBC, k=1), parabol (IBC, k=2) yükleme tiplerine bağlı klasik artımsal itme, uyarlanmış artımsal itme ve enerji esaslı artımsal itme analiz sonuçlarının karşılaştırılması amacıyla, şekil 2.17 ile 2.20 arasında doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analiz sonuçları verilmiştir. Doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analizden elde edilen en büyük yer değiştirmeye karşı gelen en büyük V/W oranı için elde edilen noktalar için çizdirilen eğilim çizgileriyle ifade edilmiştir.

Tablo 2.4. A zemin sınıfına ait deprem verileri

No	Deprem	Tarih	Moment Büyükük (M_w)	Kayıt	Yer Hızı (cm/s)	Yer ivmesi (g)	Odak Uzaklığı (km)	Tip
1	Anza (Horse Canyon)	25/02/1980	4.9	AZF315	2.6	0.066	12.1	Yanal Atımlı
2	Morgan Hill	24/04/1984	6.2	G01320	2.9	0.098	16.2	Yanal Atımlı
3	Coyote Lake	06/08/1979	5.7	G01320	8.3	0.132	9.3	Yanal Atımlı
4	Landers	28/06/1992	7.3	GRN180	14.1	0.041	141.6	Yanal Atımlı
5	Landers	28/06/1992	7.3	ABY090	20	0.146	69.2	Yanal Atımlı
6	Landers	28/06/1992	7.3	SIL000	3.8	0.05	51.7	Yanal Atımlı
7	Landers	28/06/1992	7.3	29P000	3.7	0.08	42.2	Yanal Atımlı
8	Loma Prieta	18/10/1989	6.9	G01090	33.9	0.473	11.2	Ters Eğik Atımlı
9	Loma Prieta	18/10/1989	6.9	SGI360	8.4	0.06	30.6	Ters Eğik Atımlı
10	Loma Prieta	18/10/1989	6.9	MCH000	3.5	0.073	44.8	Ters Eğik Atımlı
11	Loma Prieta	18/10/1989	6.9	PTB297	12.9	0.072	78.3	Ters Eğik Atımlı
12	Lytle Creek	12/09/1970	5.9	CSM095	1.8	0.071	88.6	Ters Eğik Atımlı
13	N. Palm Springs	08/07/1986	6.0	AZF225	5.8	0.099	20.6	Ters Eğik Atımlı
14	N. Palm Springs	08/07/1986	6.0	ARM360	3.4	0.129	46.7	Ters Eğik Atımlı
15	N. Palm Springs	08/07/1986	6.0	H02090	1.8	0.093	45.6	Ters Eğik Atımlı
16	N. Palm Springs	08/07/1986	6.0	H02000	1.9	0.07	57.6	Ters Eğik Atımlı
17	Whittier Narrows	01/10/1987	5.3	MTW000	40	0.123	20.4	Ters Eğik Atımlı
18	Anza (Horse Canyon)	25/02/1980	4.9	AZF225	3.3	0.065	12.1	Yanal Atımlı
19	Anza (Horse Canyon)	25/02/1980	4.9	PTF135	5.1	0.131	13	Yanal Atımlı
20	Anza (Horse Canyon)	25/02/1980	4.9	TVY135	1.7	0.081	5.8	Yanal Atımlı
21	Coyote Lake	06/08/1980	5.7	G01-UP	2.5	0.072	9.3	Yanal Atımlı
22	Düzce	12/11/1999	7.1	1060-E	5.3	0.053	30.2	Yanal Atımlı
23	Düzce	12/11/1999	7.1	1060-N	11	0.028	30.2	Yanal Atımlı
24	Hollister	28/11/1974	5.2	G01247	4.0	0.132	12.3	Yanal Atımlı
25	Kocaeli	17/8/1999	7.4	GBZ000	50.3	0.244	17	Yanal Atımlı
26	Kocaeli	17/8/1999	7.4	GBZ270	30	0.137	17	Yanal Atımlı
27	Cape Mendocino	25/4/1992	7.1	CPM-UP	63	0.754	8.5	Ters Eğik Atımlı
28	Loma Prieta	18/10/1989	6.9	RIN090	10.4	0.092	79.7	Ters Oblik Atımlı
29	N. Palm Springs	08/07/1986	6.0	WWT180	34.7	0.492	7.3	Ters Oblik Atımlı
30	Whittier Narrows	01/10/1987	5.3	MTW090	35	0.036	21.2	Yanal Atımlı

Tablo 2.5. B zemin sınıfına ait deprem verileri

No	Deprem	Tarih	Moment Büyükük (M _w)	Kayıt	Yer Hızı (cm/s)	Yer ivmesi (g)	Odak Uzaklığı (km)	Tip
1	Parkfield	28/06/1966	5.6	C12320	6.8	0.0633	14.7	Yanal Atımlı
2	Morgan Hill	24/04/1984	6.2	GIL067	3.6	0.1144	16.2	Yanal Atımlı
3	Kocaeli	17/08/1999	7.4	ARC000	17.7	0.2188	17	Yanal Atımlı
4	Morgan Hill	24/04/1984	6.2	G06090	36.7	0.2920	11.8	Yanal Atımlı
5	Coyote Lake	06/08/1979	5.8	G06230	49.2	0.4339	3.1	Yanal Atımlı
6	Northridge	17/01/1994	6.7	ORR090	52.1	0.5683	22.6	Ters Eğik Atımlı
7	Loma Prieta	18/10/1989	7.1	CLS000	55.2	0.6437	5.1	Ters Oblik Atımlı
8	Kobe	16/01/1995	6.9	KJM000	79.3	0.8213	6.9	Yanal Atımlı
9	Santa Barbara	13/08/1978	7.2	SBA222	16.3	0.203	14.0	Ters Oblik Atımlı
10	Livemor	27/01/1980	7.4	LMO355	9.8	0.252	8.0	Yanal Atımlı
11	N. Palm Springs	08/07/1986	6.0	DSP000	33.8	0.331	8.2	Ters Oblik Atımlı
12	N. Palm Springs	08/07/1986	6.0	FVR045	41.2	0.129	13.0	Ters Oblik Atımlı
13	Northridge	17/01/1994	6.7	TPF000	17.6	0.364	37.9	Ters Eğik Atımlı
14	San Fernando	02/09/1971	6.6	ORR021	15.6	0.324	24.9	Ters Eğik Atımlı
15	Whitter Narrows	10/01/1987	6.0	ALH180	22	0.333	13.2	Ters Eğik Atımlı
16	Kocaeli	17/08/1999	7.4	SKR090	79.5	0.376	3.1	Yanal Atımlı
17	Victoria, Mexica	09/06/1980	6.1	CPE045	31.6	0.62	34.8	Yanal Atımlı
18	Anza (Horse Canyon)	25/02/1980	4.9	BAR225	2.6	0.047	40.6	Yanal Atımlı
19	Anza (Horse Canyon)	25/02/1980	4.9	RDA045	6.7	0.097	19.6	Yanal Atımlı
20	Borrego Mtn	09/04/1968	6.8	PAS270	4.7	0.090	203.0	Yanal Atımlı
21	Coyote Lake	06/08/1979	5.8	SJ3337	7.6	0.124	17.2	Yanal Atımlı
22	Coyote Lake	06/08/1979	5.8	SJ5337	7.4	0.114	17.2	Yanal Atımlı
23	Imperial Valley	15/10/1979	7.0	CPEWVN	6.8	0.116	8.3	Yanal Atımlı
24	Imperial Valley	15/10/1979	7.0	PTS315	16.1	0.204	14.2	Yanal Atımlı
25	Hollister	28/11/1974	5.2	D-SG3295	9.3	0.339	14.9	Yanal Atımlı
26	Cape Mendocino	25/04/1992	7.1	EUR090	28.3	0.178	44.6	Ters Eğik Atımlı
27	Cape Mendocino	25/04/1992	7.1	FOR000	30	0.116	23.6	Ters Eğik Atımlı
28	Kern County	21/07/1952	7.4	PAS180	5.6	0.045	127.0	Ters Oblik Atımlı
29	Kern County	21/07/1952	7.4	SBA132	15.5	0.127	87.0	Ters Oblik Atımlı
30	Loma Prieta	18/10/1989	6.9	A09137	15.6	0.113	46.9	Ters Oblik Atımlı

Tablo 2.6. C zemin sınıfına ait deprem verileri

No	Deprem	Tarih	Moment Büyükük (M _w)	Kayıt	Yer Hızı (cm/s)	Yer ivmesi (g)	Odak Uzaklığı (km)	Tip
1	Borrego Mtn	09/04/1968	6.8	A-ELC180	26.3	0.13	46.0	Yanal Atımlı
2	Borrego Mtn	09/04/1968	6.8	A-PEL090	2.9	0.012	217.4	Yanal Atımlı
3	Borrego Mtn	09/04/1968	6.8	A-TLI249	2.8	0.01	195.0	Yanal Atımlı
4	Coyote Lake	06/08/1979	5.7	G02140	40.0	0.339	7.5	Yanal Atımlı
5	Coyote Lake	06/08/1979	5.7	G03050	40.0	0.272	6.0	Yanal Atımlı
6	Coyote Lake	06/08/1979	5.7	G04270	25.0	0.248	4.5	Yanal Atımlı
7	Coyote Lake	06/08/1979	5.7	HVR150	15.0	0.039	31.2	Yanal Atımlı
8	Imperial Valley	15/10/1979	7.0	I-ELC180	29.8	0.313	8.3	Yanal Atımlı
9	Imperial Valley	15/10/1979	7.0	H-AEP045	42.8	0.327	8.5	Yanal Atımlı
10	Imperial Valley	15/10/1979	7.0	H-BCR230	40.0	0.775	2.5	Yanal Atımlı
11	Imperial Valley	15/10/1979	6.5	H-BRA315	40.0	0.220	8.5	Yanal Atımlı
12	Imperial Valley	15/10/1979	6.5	H-CX0225	40.0	0.275	10.6	Yanal Atımlı
13	Hollister	28/11/1974	5.2	A-HCH271	10.3	0.177	10.0	Yanal Atımlı
14	Cape Mendocino	25/04/1992	7.1	PET090	89.7	0.662	9.5	Ters Eğik Atımlı
15	Coalinga	02/05/1983	6.4	H-C05270	10.8	0.147	47.3	Ters Oblik Atımlı
16	Coalinga	02/05/1983	6.4	H-C08000	8.6	0.098	50.7	Ters Oblik Atımlı
17	Kern County	21/07/1952	7.4	HOL180	5.3	0.057	120.5	Ters Oblik Atımlı
18	Kern County	21/07/1952	7.4	PEL180	6.2	0.058	120.5	Ters Oblik Atımlı
19	Loma Prieta	18/10/1989	6.9	HCH090	38.5	0.247	28.2	Ters Oblik Atımlı
20	Loma Prieta	18/10/1989	6.9	G02000	32.9	0.367	12.7	Ters Oblik Atımlı
21	Loma Prieta	18/10/1989	6.9	G03000	35.7	0.555	14.4	Ters Oblik Atımlı
22	Loma Prieta	18/10/1989	6.9	G04000	38.8	0.417	16.1	Ters Oblik Atımlı
23	Loma Prieta	18/10/1989	6.9	HVR000	15.4	0.134	31.6	Ters Oblik Atımlı
24	Loma Prieta	18/10/1989	6.9	AGW000	26.0	0.172	28.2	Ters Oblik Atımlı
25	Loma Prieta	18/10/1989	6.9	CAP000	36.5	0.529	14.5	Ters Oblik Atımlı
26	Loma Prieta	18/10/1989	6.9	GMR090	16.6	0.323	24.2	Ters Oblik Atımlı
27	Loma Prieta	18/10/1989	6.9	SFO090	27.9	0.329	64.4	Ters Oblik Atımlı
28	Loma Prieta	18/10/1989	6.9	NAS180	22.0	0.268	75.2	Ters Oblik Atımlı
29	Loma Prieta	18/10/1989	6.9	A2E000	13.7	0.171	57.4	Ters Oblik Atımlı
30	Loma Prieta	18/10/1989	6.9	TIB270	36.1	0.244	77.4	Ters Oblik Atımlı

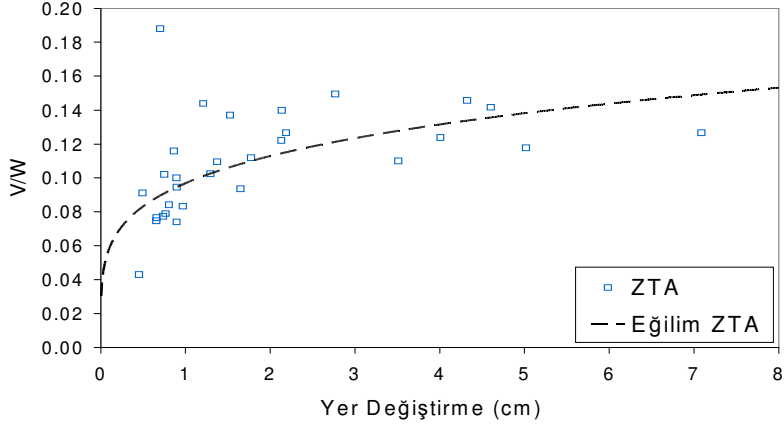
Tablo 2.7. D zemin sınıfına ait deprem verileri

No	Deprem	Tarih	Moment Büyüklik (M_w)	Kayıt	Yer Hızı (cm/s)	Yer ivmesi (g)	Odak Uzaklığı (km)	Tip
1	Imperial Valley	15/10/1979	5.2	H-E03140	40.0	0.266	9.3	Yanal Atımlı
2	Imperial Valley	15/10/1979	5.2	A-E03140	40.0	0.179	17.9	Yanal Atımlı
3	Kobe	16/01/1995	6.9	KAK090	27.6	0.345	26.4	Yanal Atımlı
4	Kobe	16/01/1995	6.9	NIS000	37.3	0.509	11.1	Yanal Atımlı
5	Kobe	16/01/1995	6.9	OSA000	18.3	0.079	8.5	Yanal Atımlı
6	Kobe	16/01/1995	6.9	SHI000	37.8	0.243	15.5	Yanal Atımlı
7	Kobe	16/01/1995	6.9	TAZ090	68.3	0.694	1.2	Yanal Atımlı
8	Kobe	16/01/1995	6.9	TAK090	120.7	0.616	0.3	Yanal Atımlı
9	Morgan Hill	24/04/1984	6.2	A01310	3.9	0.068	54.1	Yanal Atımlı
10	Superstition Hills(B)	24/11/1987	6.7	B-WLF315	18.3	0.167	27.1	Yanal Atımlı
11	West Moreland	26/04/1981	5.8	WLF225	16.4	0.199	10.1	Yanal Atımlı
12	Duzce, Turkey	12/11/1999	6.7	ATS030	7.4	0.038	193.3	Yanal Atımlı
13	Kocaeli, Tukey	17/8/1999	7.4	ATS000	40	0.249	78.9	Yanal Atımlı
14	Loma Prieta	18/10/1989	6.9	A02043	53.6	0.274	47.9	Ters Oblik Atımlı
15	Loma Prieta	18/10/1989	6.9	TRI090	32.8	0.159	82.9	Ters Oblik Atımlı
16	Chi-Chi, Taiwan	20/09/1999	7.6	CHY002-E	45.2	0.117	26.81	Ters Eğik Atımlı
17	Chi-Chi, Taiwan	20/09/1999	7.6	CHY004-E	20	0.099	50.89	Ters Eğik Atımlı
18	Chi-Chi, Taiwan	20/09/1999	7.6	CHY008-E	28.9	0.13	45.31	Ters Eğik Atımlı
19	Chi-Chi, Taiwan	20/09/1999	7.6	CHY012-N	16.6	0.063	64.23	Ters Eğik Atımlı
20	Chi-Chi, Taiwan	20/09/1999	7.6	CHY016-N	19	0.105	71.92	Ters Eğik Atımlı
21	Chi-Chi, Taiwan	20/09/1999	7.6	CHY017-N	18.6	0.056	64.44	Ters Eğik Atımlı
22	Chi-Chi, Taiwan	20/09/1999	7.6	CHY025-V	37.9	0.165	18.79	Ters Eğik Atımlı
23	Chi-Chi, Taiwan	20/09/1999	7.6	CHY026W	46.2	0.076	29.25	Ters Eğik Atımlı
24	Chi-Chi, Taiwan	20/09/1999	7.6	CHY027W	21	0.057	44.13	Ters Eğik Atımlı
25	Chi-Chi, Taiwan	20/09/1999	7.6	CHY032W	26.4	0.088	39.34	Ters Eğik Atımlı
26	Chi-Chi, Taiwan	20/09/1999	7.6	CHY033W	16.9	0.068	48.2	Ters Eğik Atımlı
27	Chi-Chi, Taiwan	20/09/1999	7.6	CHY039W	28.6	0.114	36.72	Ters Eğik Atımlı
28	Chi-Chi, Taiwan	20/09/1999	7.6	CHY041W	20.4	0.639	25.96	Ters Eğik Atımlı
29	Chi-Chi, Taiwan	20/09/1999	7.6	CHY044W	19.7	0.077	60.23	Ters Eğik Atımlı
30	Chi-Chi, Taiwan	20/09/1999	7.6	CHY054W	17.9	0.097	53.83	Ters Eğik Atımlı

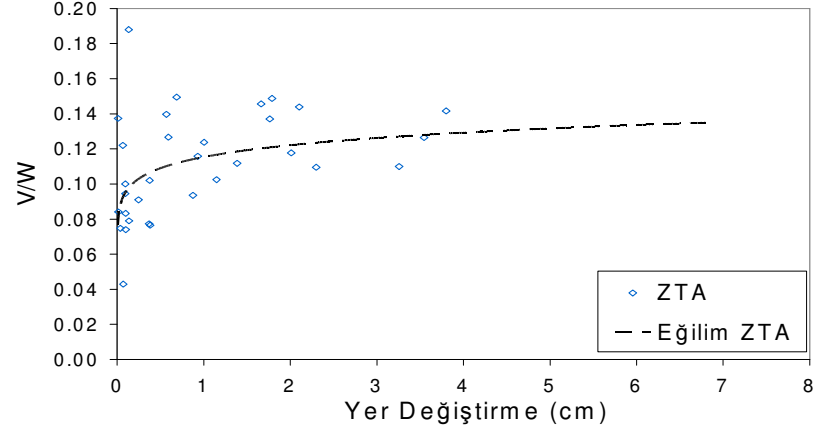
Tablo 2.8. USGS sınıflandırmasına göre kayma dalgası hızına göre zemin sınıfları

Zemin Sınıfları	Zemin Profili	V_s (Kayma Dalgası Hızı)
A	Kaya	> 750 m/s
B	Çok Sıkı Zemin/ Yumuşak Kaya	360 m/s ile 750 m/s
C	Sert Zemin	180 m/s ile 360 m/s
D	Yumuşak Zemin	< 180 m/s

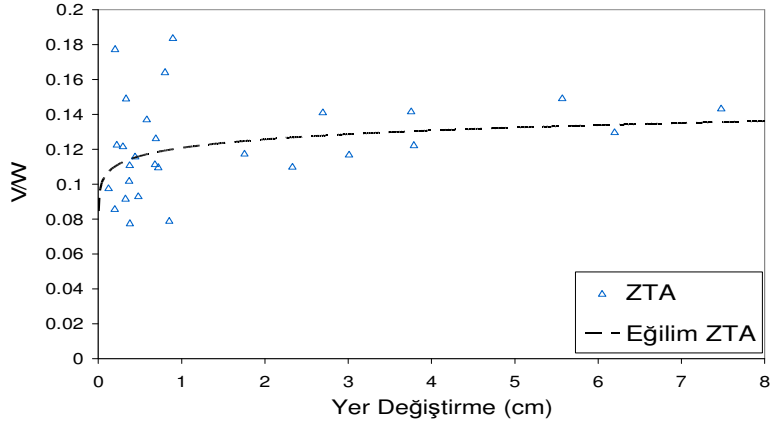
Şekil 2.17. 3 Katlı yapının zaman tanım alanında analizleri



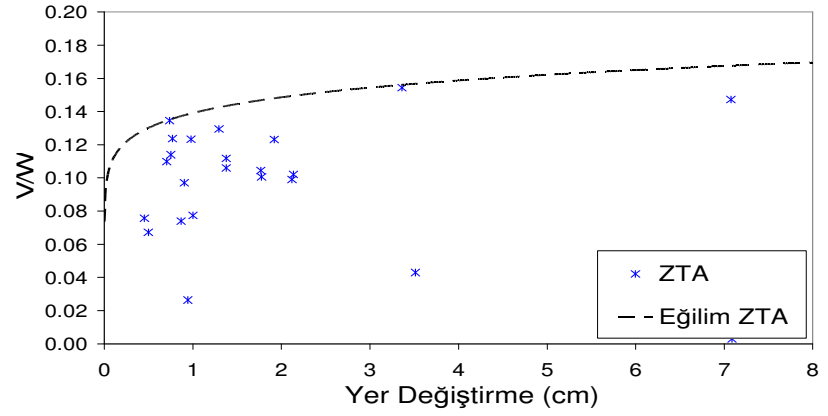
a) A Zemin sınıfı için zaman tanım alanında analiz



b) B Zemin sınıfı için zaman tanım alanında analiz

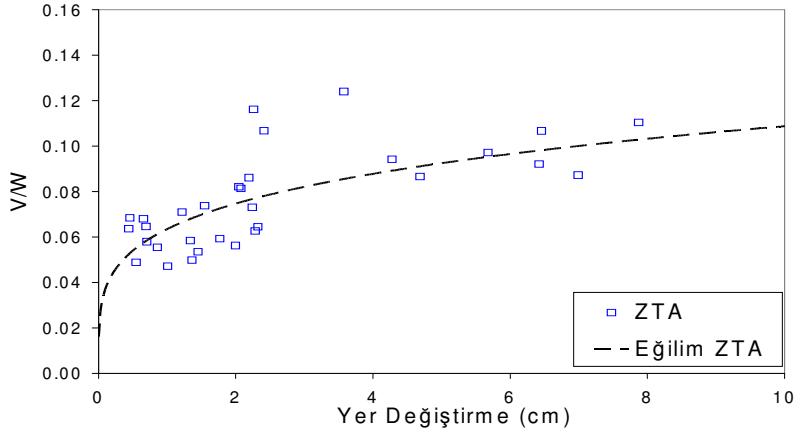


c) C Zemin sınıfı için zaman tanım alanında analiz

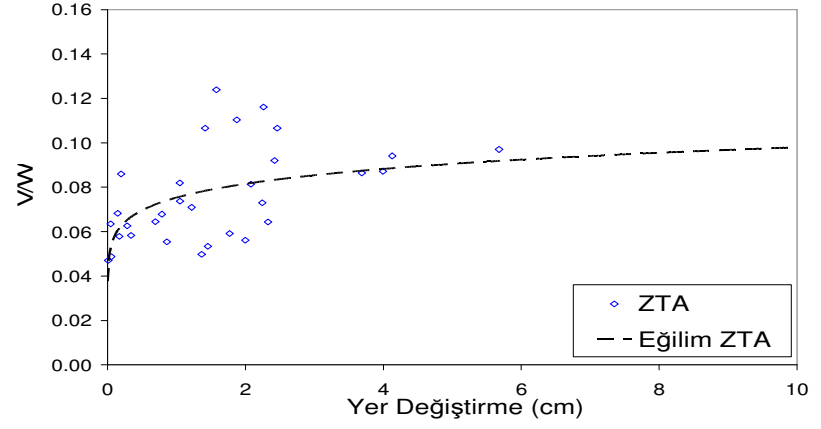


d) D Zemin sınıfı için zaman tanım alanında analiz

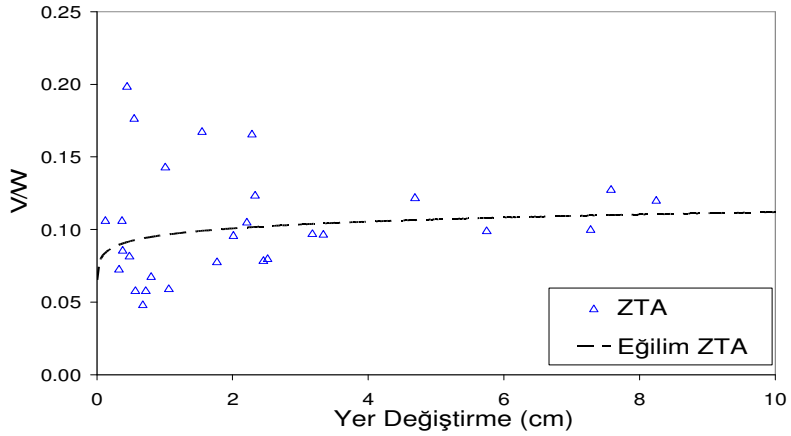
Şekil 2.18. 5 Katlı yapının zaman tanım alanında analizleri



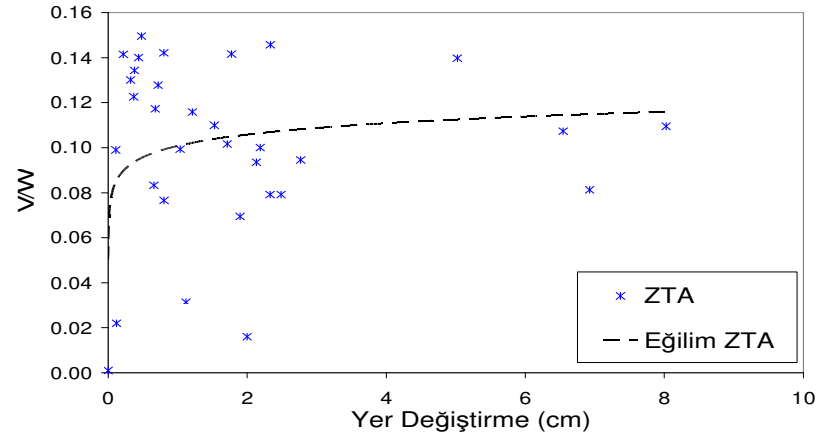
a) A Zemin sınıfı için zaman tanım alanında analiz



b) B Zemin sınıfı için zaman tanım alanında analiz

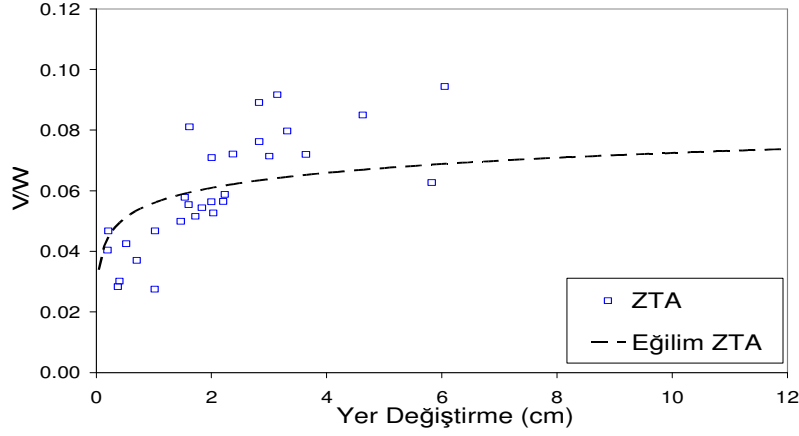


c) C Zemin sınıfı için zaman tanım alanında analiz

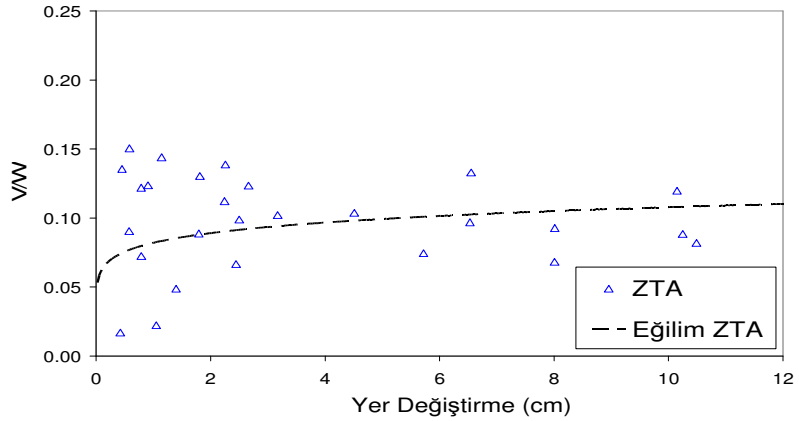


d) D Zemin sınıfı için zaman tanım alanında analiz

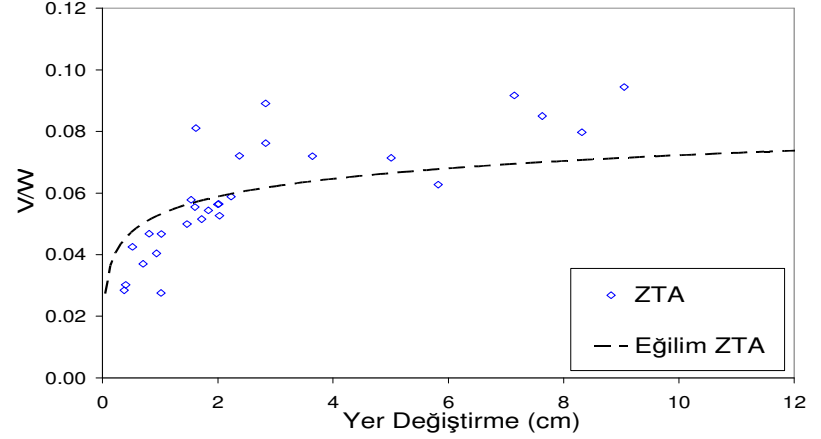
Şekil 2.19. 8 Katlı yapının zaman tanım alanında analizleri



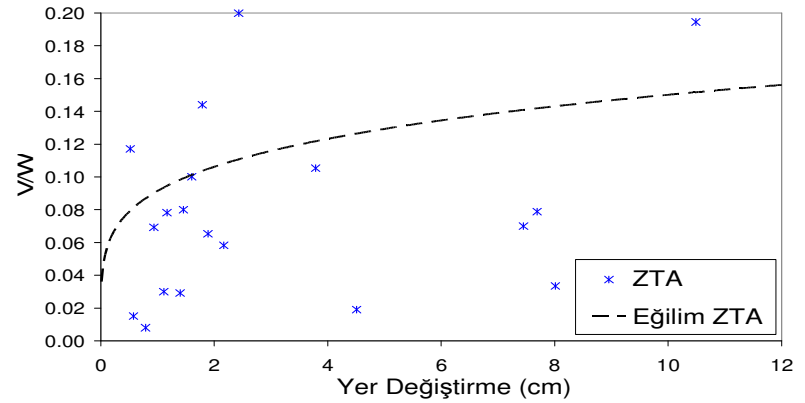
a) A Zemin sınıfı için zaman tanım alanında analiz



c) C Zemin sınıfı için zaman tanım alanında analiz

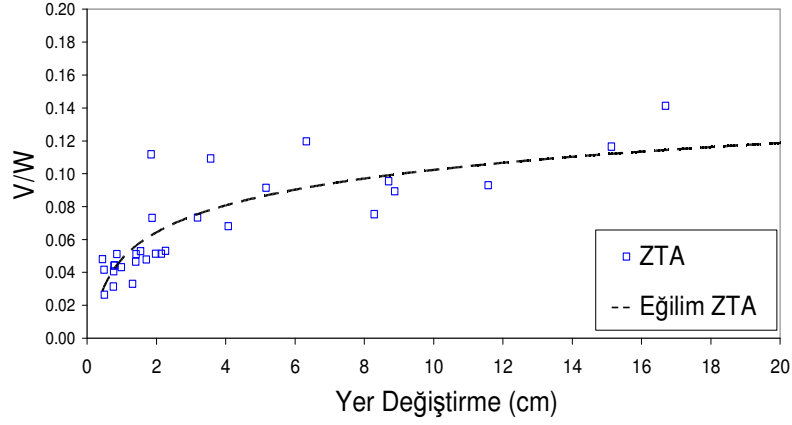


b) B Zemin sınıfı için zaman tanım alanında analiz

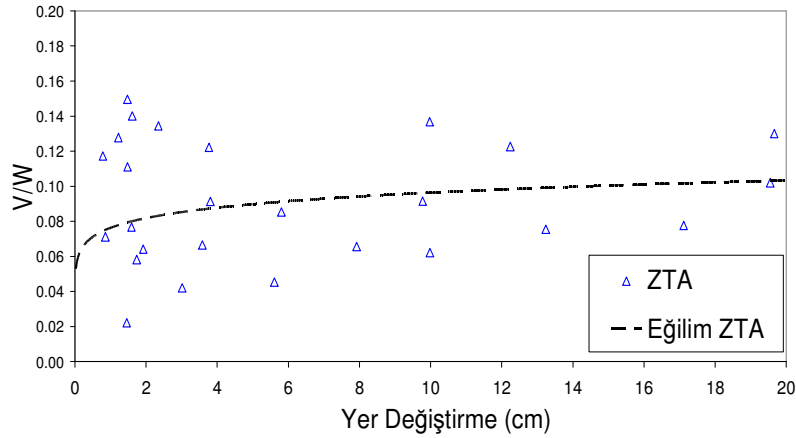


d) D Zemin sınıfı için zaman tanım alanında analiz

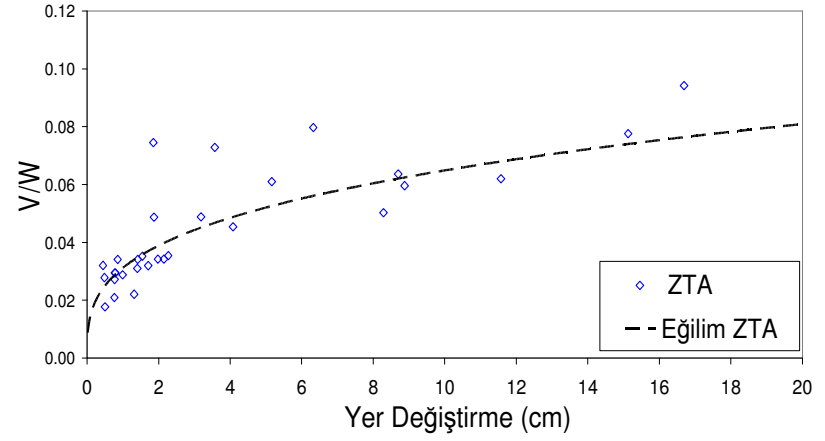
Şekil 2.20. 15 Katlı yapının zaman tanım alanında analizleri



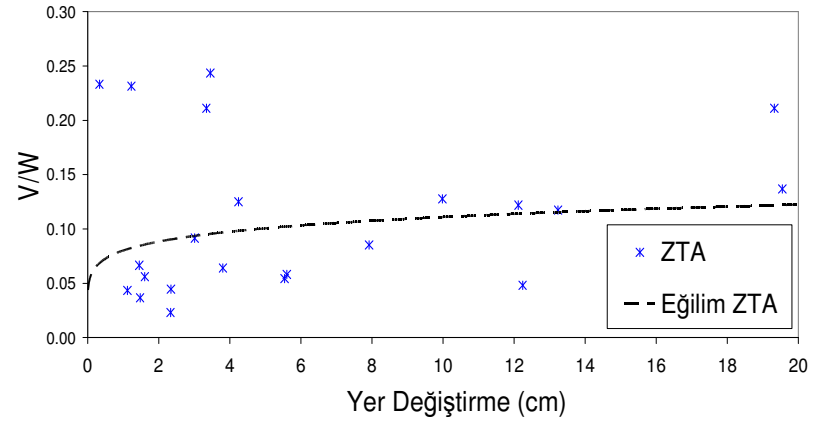
a) A Zemin sınıfı için zaman tanım alanında analiz



c) C Zemin sınıfı için zaman tanım alanında analiz



b) B Zemin sınıfı için zaman tanım alanında analiz



d) D Zemin sınıfı için zaman tanım alanında analiz

2.2.4.3. Doğrusal Olmayan Artımsal İtme ve Dinamik Zaman Tanım Alanında Analiz Yöntemlerinin Değerlendirilmesi

Klasik, uyarlanmış ve enerji esaslı olmak üzere üç farklı artımsal itme analizi ele alınmış ve bu analizler tüm detaylarıyla incelenmiştir. Tez kapsamında artımsal itme analizleri betonarme çerçeveler için incelenmiştir. Betonarme çerçevelerin artımsal itme analizlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla dört adet betonarme çerçeve ele alınmış, bu yapılar önce TS 500 ve Türk Deprem Yönetmeliği koşulları altında boyutlandırılmış, daha sonra doğrusal olmayan artımsal itme ve doğrusal olmayan dinamik zaman tanım alanında analiz yöntemlerine göre incelenmiştir. Klasik artımsal itme analizlerinin gerçekleştirilmesinde dört farklı yükleme şekli kullanılmıştır. Klasik artımsal itme analizinin ardından uyarlanmış ve enerji esaslı artımsal itme analizleri gerçekleştirilmiştir. Artımsal analiz yöntemlerinin ardından en gerçekçi ancak karmaşık bir analiz yöntemi olan doğrusal olmayan dinamik zaman tanım alanında analiz yöntemlerine geçilmiştir. zaman tanım alanında analizler dört farklı zemin grubu için her bir zemin sınıfından 30'ar veri alınarak toplam 120 deprem verisi ve dört yapı için gerçekleştirilmiştir.

Zaman tanım alanında analizlerin yerine performans analizinde önerilen doğrusal olmayan artımsal itme analizlerindeki yükleme tiplerinin, yüksek mod etkilerinin ve enerji parametrelerinin analizlere dahil edilmesinin sonuçları nasıl etkilediği araştırılmıştır. Klasik artımsal itme analizlerinde dikdörtgen (1,2), üçgen (IBC, $k=1$) ve parabol (IBC, $k=2$) yük dağılım tipleri uygulanmıştır. Ardından uyarlanmış ve enerji esaslı artımsal itme analizleri gerçekleştirilmiştir.

Artımsal itme analizleri sonuçlarında her tip için V/W değerlerine bağlı tepe artımsal itme eğrileri Şekil 2.21 ile 2.24 arasında verilmiştir. Bu şekillerdeki klasik artımsal itme eğrileri incelendiğinde, her bir çerçevede katlara ait aynı yer değiştirme değerlerine karşı gelen V/W oranına bağlı akma değerleri, sırasıyla, parabol, üçgen ve dikdörtgen (1,2) yükleme etkilerine bağlı olarak artmaktadır. Buradan, dikdörtgen (1,2) yük dağılımının; üçgen ve parabol yük dağılımlarıyla karşılaştırıldığında her zaman daha yüksek taban kesme kuvveti/yapı ağırlığı (V/W) oranı verdiği

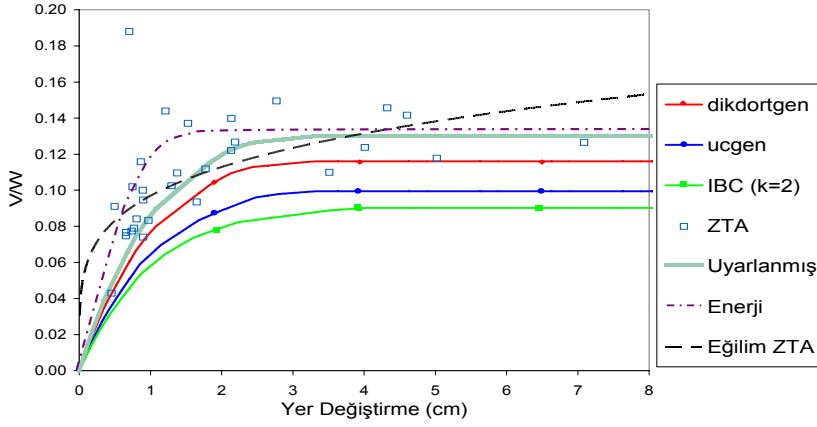
görülmektedir. Uyarlanmış Artımsal itme eğrileri irdelendiğinde ise uyarlanmış artımsal itme eğrilerinin klasik artımsal itme eğrilerine göre zaman tanım alanında analiz sonuçlarına daha yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Enerji esaslı artımsal itme eğrileri ise, zaman tanım alanında analizlere en yakın sonuçları vermektedir. Bunun sebebi diğer yöntemlerde hesaba katılmayan enerji parametrelerinin de analizlere dahil edilmesidir.

DRAIN-2DX bilgisayar programıyla gerçekleştirilen zaman tanım alanında analizlerden, A, B, C ve D zemin sınıfları için her bir deprem verisinden elde edilen en büyük yer değiştirmeye karşı gelen en büyük V/W oranına bağlı sonuçlar, bir eğilim çizgisiyle ifade edilmiştir. Zaman tanım alanında analizden elde edilen bu eğriler, dikdörtgen (1,2), üçgen (IBC, $k=1$) ve Parabol (IBC, $k=2$) yük dağılımları kullanılarak elde edilen klasik artımsal itme eğrilerinin, uyarlanmış artımsal itme ve enerji esaslı artımsal itme eğrilerinin grafik değerleriyle karşılaştırılmıştır. Grafikler, artımsal itme değerlerinin zaman tanım alanında analiz sonuçlarıyla tam olarak örtüşmediğini göstermektedir.

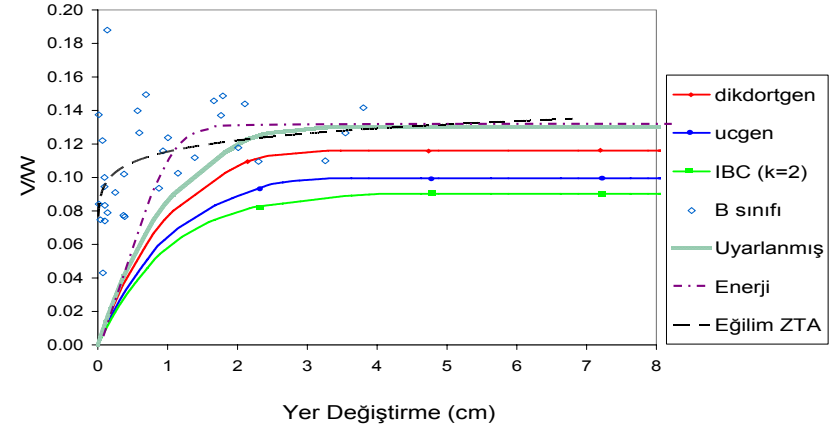
Çerçeve sistemlerin kat adetleri arttıkça artımsal itme eğrileri zaman tanım alanında analiz sonuçlarından uzaklaşmaktadır. Klasik artımsal itme analizlerindeki dikdörtgen (1,2) yük dağılımına bağlı artımsal itme eğrileri, üçgen (IBC, $k=1$) ve parabol (IBC, $k=2$) yük dağılımlarından elde edilen artımsal itme eğrilerine göre, zaman tanım alanında analizden elde edilen eğrilere daha çok yaklaşmaktadır.

Yapılan analizler göstermektedir ki, artımsal itme analizlerinde dikdörtgen (1,2) yük dağılımının kullanılması, tüm mod bileşenlerinin dikkate alınması bakımından en uygun yük dağılımıdır. Ancak, uyarlanmış artımsal itme analiz yöntemlerine doğru gidilmesi daha gerçekçi sonuçlar vermektedir. Pratikte uyarlanmış ve enerji esaslı artımsal itme analizlerinin karmaşıklığı ve uygulama zorlukları sebebiyle klasik artımsal itme analizlerinin uygulanmasında, dikdörtgen (1,2) yük dağılımının kullanılmasının daha gerçekçi olacağı söylenebilir.

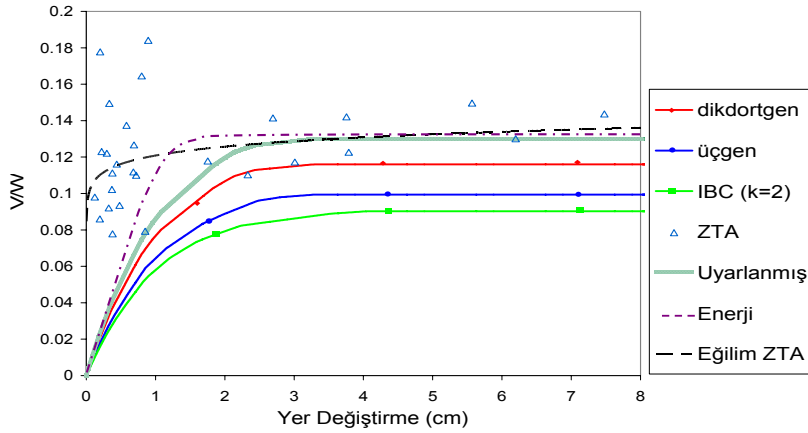
Şekil 2.21. 3 Katlı yapının artımsal itme eğrilerinin zaman tanım alanında analizi sonuçlarıyla zemin sınıflarına göre karşılaştırılması



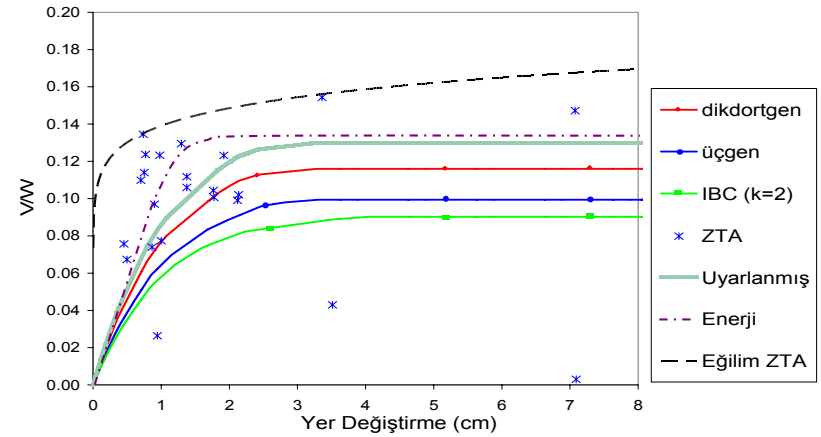
a) A Zemin sınıfında artımsal itme ile zaman tanım alanı karşılaştırılması



b) B Zemin sınıfında artımsal itme ile zaman tanım alanı karşılaştırılması

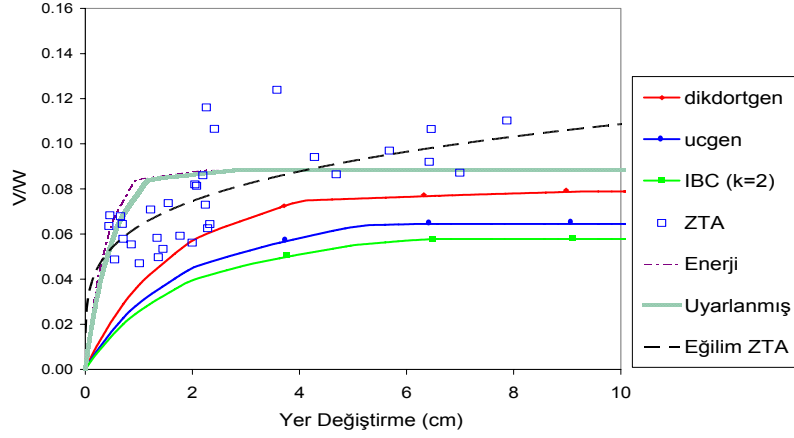


c) C Zemin sınıfında artımsal itme ile zaman tanım alanı karşılaştırılması

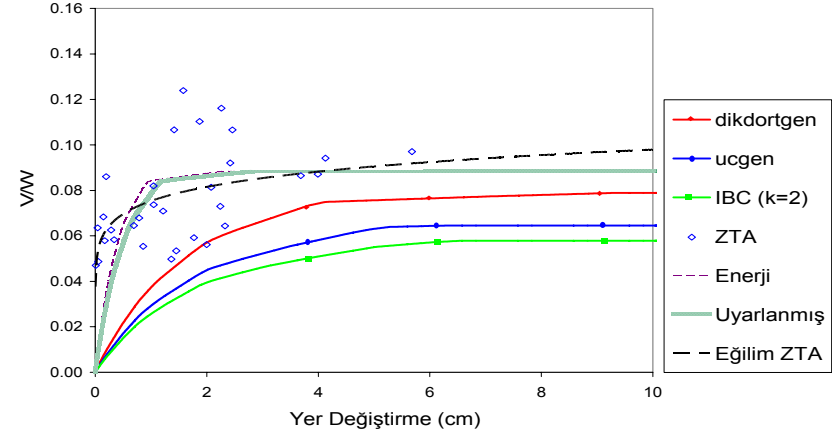


d) D Zemin sınıfında artımsal itme ile zaman tanım alanı karşılaştırılması

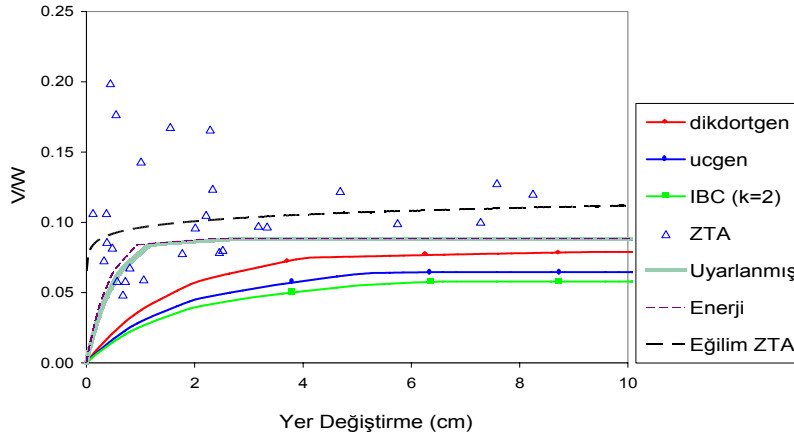
Şekil 2.22 5 Katlı yapının artımsal itme eğrilerinin zaman tanım alanında analizi sonuçlarıyla zemin sınıflarına göre karşılaştırılması



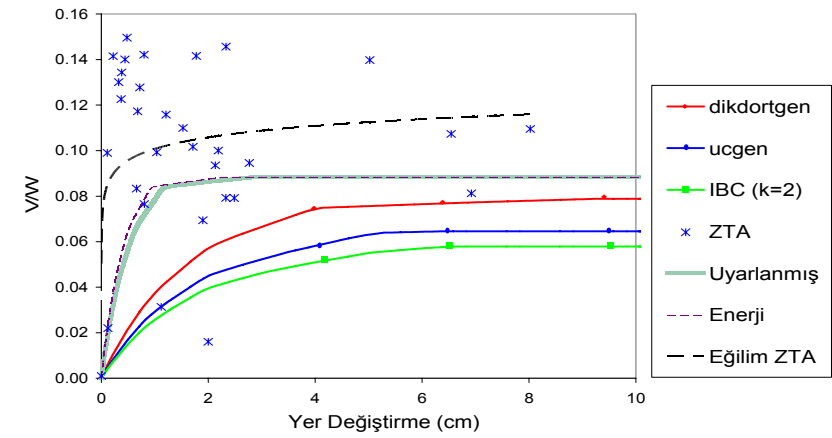
a) A Zemin sınıfında artımsal itme ile zaman tanım alanı karşılaştırılması



b) B Zemin sınıfında artımsal itme ile zaman tanım alanı karşılaştırılması

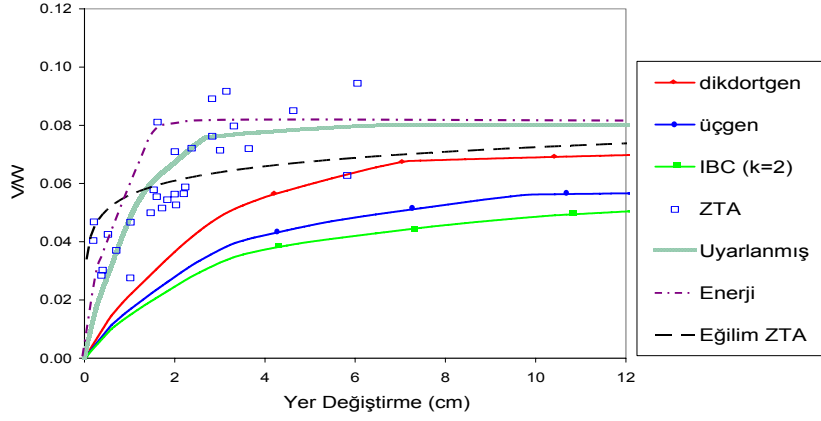


c) C Zemin sınıfında artımsal itme ile zaman tanım alanı karşılaştırılması

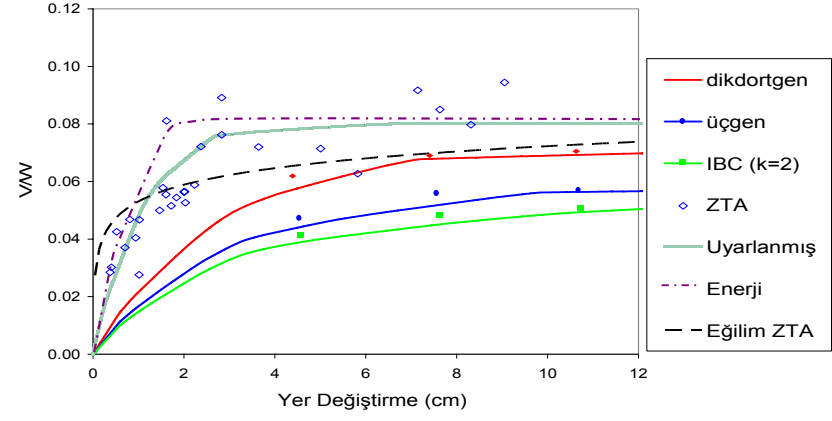


d) D Zemin sınıfında artımsal itme ile zaman tanım alanı karşılaştırılması

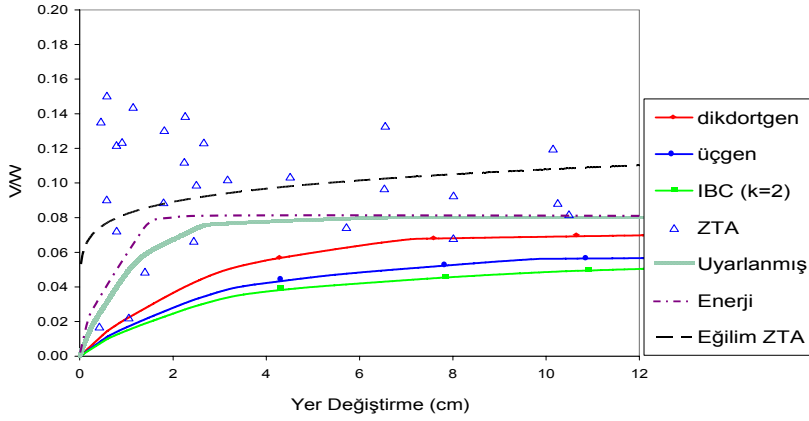
Şekil 2.23 8 Katlı yapının artımsal itme eğrilerinin zaman tanım alanında analizi sonuçlarıyla zemin sınıflarına göre karşılaştırılması



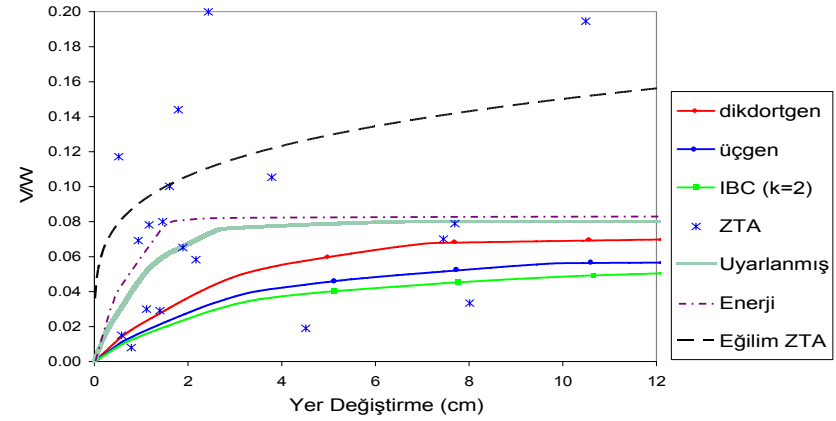
a) A Zemin Sınıfında artımsal itme ile zaman tanım alanı karşılaştırılması



b) B Zemin Sınıfında artımsal itme ile zaman tanım alanı karşılaştırılması

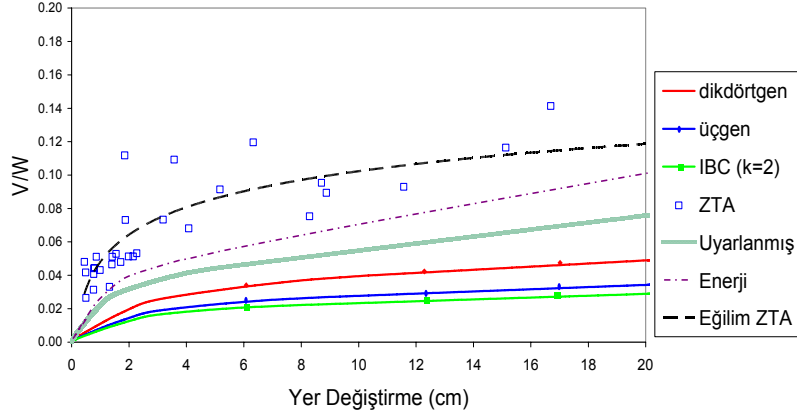


c) C Zemin Sınıfında artımsal itme ile zaman tanım alanı karşılaştırılması

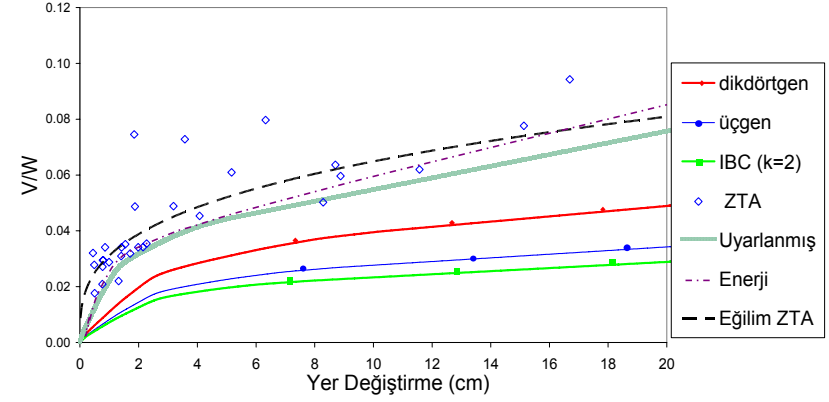


d) D Zemin Sınıfında artımsal itme ile zaman tanım alanı karşılaştırılması

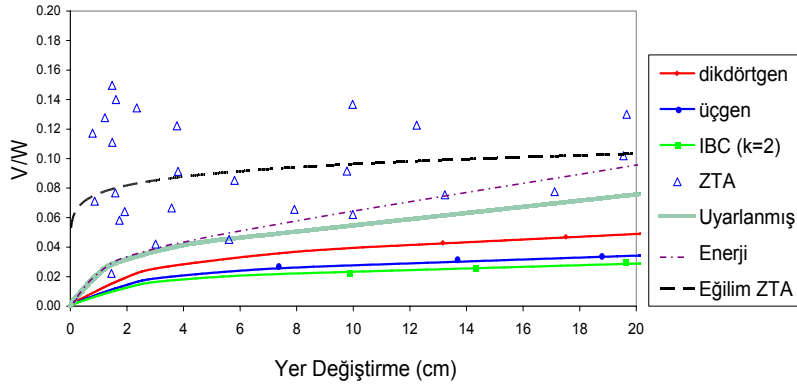
Şekil 2.24 15 Katlı yapının artımsal itme eğrilerinin zaman tanım alanında analizi sonuçlarıyla zemin sınıflarına göre karşılaştırılması



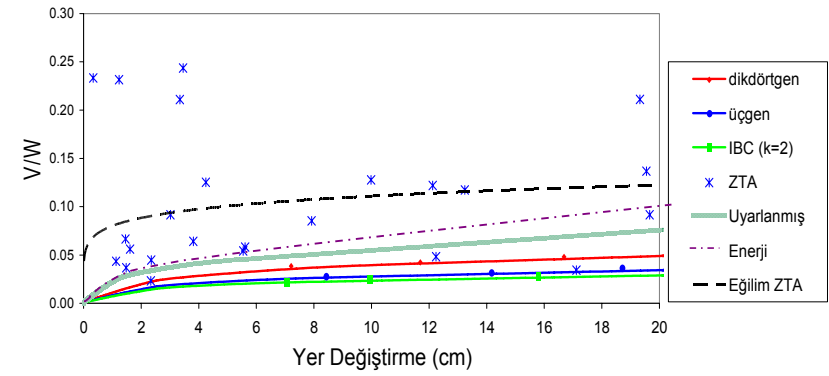
a) A Zemin sınıfında artımsal itme ile zaman tanım alanı karşılaştırılması



b) B Zemin sınıfında artımsal itme ile zaman tanım alanı karşılaştırılması



c) C Zemin Sınıfında artımsal itme ile zaman tanım alanı karşılaştırılması



d) D Zemin Sınıfında artımsal itme ile zaman tanım alanı karşılaştırılması

2.3. Yapı Sistemlerinin Deprem Davranışlarının Belirlenmesinde Kullanılan Performansa Bağlı Analiz Yöntemleri

Performansa bağlı analiz yöntemlerinden öncelikle kuvvet esaslı yer değiştirme kontrollü yöntemler ele alınmış bu yöntemlerden, Kapasite spektrumu yöntemi ve yer değiştirme katsayısı yöntemi ele alınmıştır. Bu yöntemlerle elde edilen yer değiştirme değerleri diğer yöntemlerle ve zaman tanım alanında analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Kuvvet esaslı yer değiştirme kontrollü yöntemlerde, yapı kapasitesini belirlemek için basitleştirilmiş doğrusal olmayan artımsal itme analizleri kullanılmaktadır.

Doğrudan yer değiştirme esaslı analizde ise öncelikle uygun bir yer değiştirme hedefi belirlenir. Yer değiştirme davranış spektrumu, yer değiştirmeye karşı periyot arasındaki grafiğe göre çizilir. Spektrum o bölgedeki beklenen deprem zorlamalarının kombinasyonunu gösteren düzleştirilmiş bir tasarım eğrisini içerir. Spektrumun seçimi yapının konumuna ve kullanılabilirlik durumuna uygun olarak yapılmalıdır. Doğrudan yer değiştirme analizi yönteminin değerlendirilmesi için Jonnson ve Priestley tarafından ortaya atılan doğrudan yer değiştirme analiz yöntemleri analizlerde kullanılmıştır.

Enerji esaslı performans analizinde, yapı sistemlerinin deprem sırasındaki performansları enerjilerine bağlı olarak belirlenebilmektedir. Bir yapıya etkiyen deprem hareketinin sonundaki enerji denklemi kullanılarak toplam enerji, çevrimsel enerji ve sönüm enerjisinin toplamı olarak yazılabilir (Shen ve ark., 2000). Enerji esaslı performansa bağlı analizler, enerji esaslı artımsal itme analizlerinin kullanılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Enerji esaslı performansa bağlı analiz yöntemi, artımsal itme eğrisi elde edilirken x ekseninde tepe yer değiştirme değerinin yerine yapı tarafından tüketilen enerjiden elde edilen yer değiştirmenin kullanılması üzerine kurulmuştur. Yapı tarafından tüketilen enerji, uyarlanmış artımsal itme analizinde her adımda elde edilmektedir.

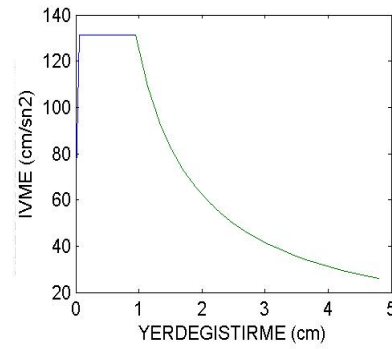
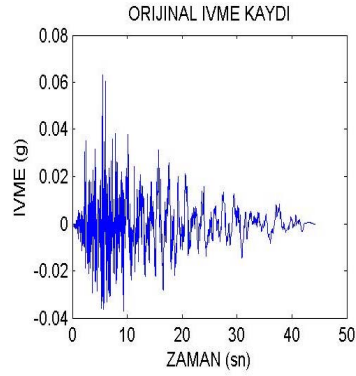
Performansa bağılı analiz yöntemleri kuvvet esaslı yer değiştirme kontrollü, doğrudan yer değiştirme esaslı ve enerji esaslı olarak üç ana grupta toplanmaktadır. Tez kapsamında, bu üç yöntemle performans analizi yapılmıştır ve karşılaştırılmıştır. Bu amaçla performans analizlerinde artımsal itme analizlerinde kullanılan deprem verilerinden tablo 2.9'daki deprem verilerinden 12 tanesi seçilmiştir.

Tablo 2.9'da verilmiş olan deprem verilerinin, rölatif yer değiştirme ve ivme grafikleriyle idealleştirilmiş talep spektrumları şekil 2.25'de gösterilmiştir. Talep spektrumlarının idealleştirilmesi için Matlab programıyla hazırlanmış olan idealleştirme programı kullanılmıştır (Matlab, V.6.5). Seçilmiş olan depremlerin en büyük yer ivmesi değerleri, 0.0633g ile 0.8213g arasında en büyük yer hızı değerleri ise 6.8 cm/s ile 81.3 cm/s arasında değişmektedir. Tüm veriler için zemin sınıfı B (çok yoğun zemin veya yumuşak kaya) olarak alınmıştır. Deprem verileri yakını odaklı deprem verileri içinden seçilmiştir.

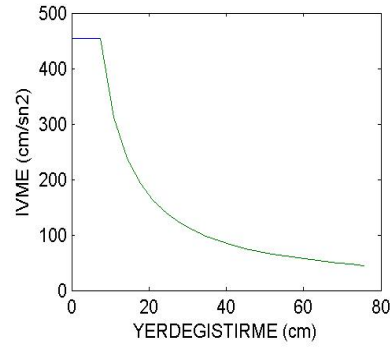
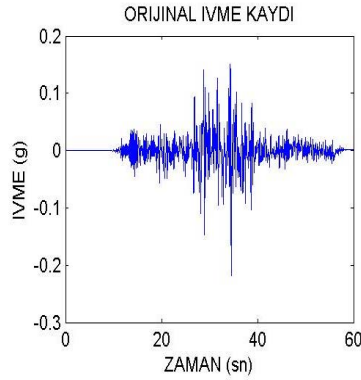
Tablo 2.9. Performans analizlerinde kullanılan deprem verileri

Deprem	Tarih	İsim	Moment Büyüküğü (M _w)	Yer Hızı (cm/s)	Yer İvmesi (g)	Odak Uzaklığı (km)	Fay Tipi
Parkfield	28/06/1966	C12320	5.6	6.8	0.0633	14.7	Yanal Atımlı
Morgan Hill	24/04/1984	GIL067	6.2	3.6	0.1144	16.2	Yanal Atımlı
Kocaeli	17/08/1999	ARC000	7.4	17.7	0.2188	17	Yanal Atımlı
Morgan Hill	24/04/1984	G06090	6.2	36.7	0.2920	11.8	Yanal Atımlı
Coyote Lake	06/08/1979	G06230	5.8	49.2	0.4339	3.1	Yanal Atımlı
Northridge	17/01/1994	ORR090	6.7	52.1	0.5683	22.6	Ters Eğik Atımlı
Loma Prieta	18/10/1989	CLS000	7.1	55.2	0.6437	5.1	Ters Oblik Atımlı
Kobe	16/01/1995	KJM000	6.9	79.3	0.8213	6.9	Yanal Atımlı
Santa Barbara	13/08/1978	SBA222	7.2	16.3	0.203	14.0	Ters Oblik Atımlı
Livermore	27/01/1980	LMO355	7.4	9.8	0.252	8.0	Yanal Atımlı
N. Palm Springs	08/07/1986	DSP000	6.0	33.8	0.331	8.2	Ters Oblik Atımlı
N. Palm Springs	08/07/1986	FVR045	6.0	41.2	0.129	13.0	Ters Oblik Atımlı

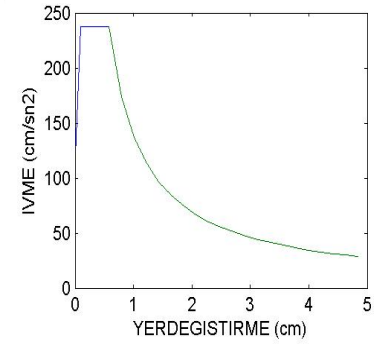
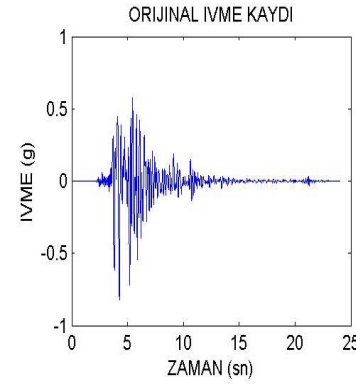
Şekil 2.25. Deprem verilerinin talep spektrumlarının idealleştirilmesi



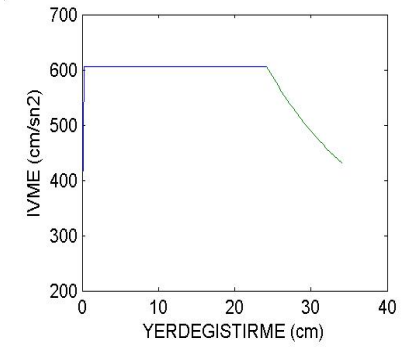
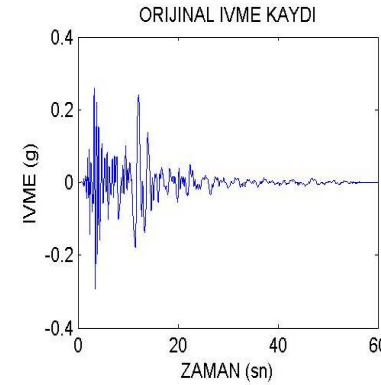
a) C12320 için yer değıştirme, ivme spektrumu idealleştirilmesi



c) ARC000 için yer değıştirme, ivme spektrumu idealleştirilmesi

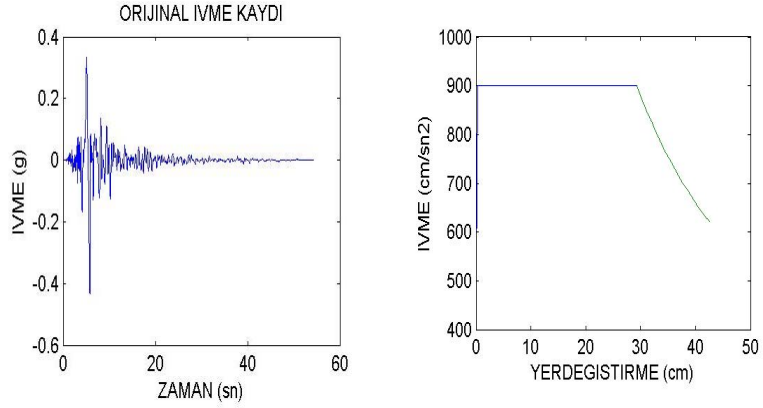


b) GIL067 için yer değıştirme, ivme spektrumu idealleştirilmesi

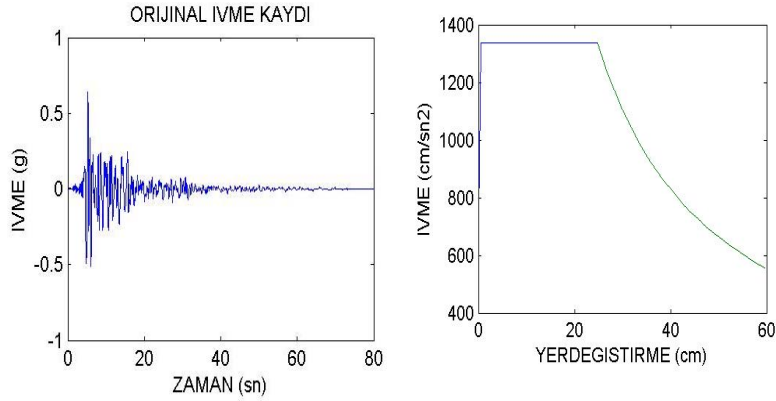


d) G06090 için yer değıştirme, ivme spektrumu idealleştirilmesi

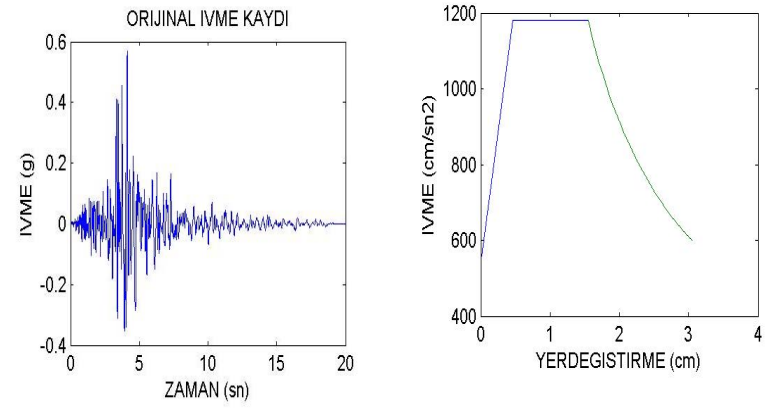
Şekil 2.25. Deprem verilerinin talep spektrumlarının idealleştirilmesi



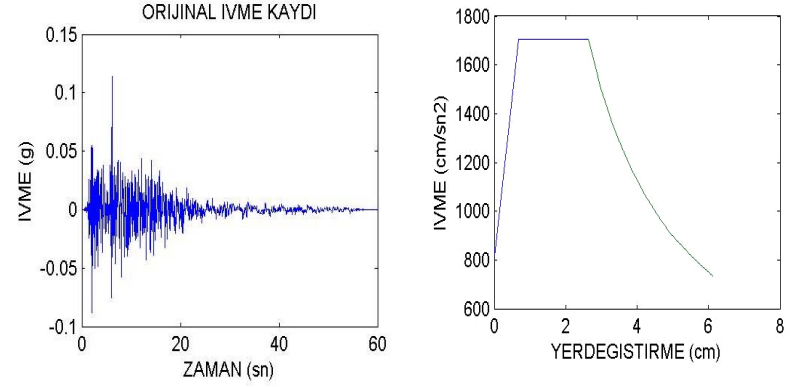
e) G06230 için yer değıştirme, ivme spektrumu idealleştirilmesi



g) CLS000 için yer değıştirme, ivme spektrumu idealleştirilmesi

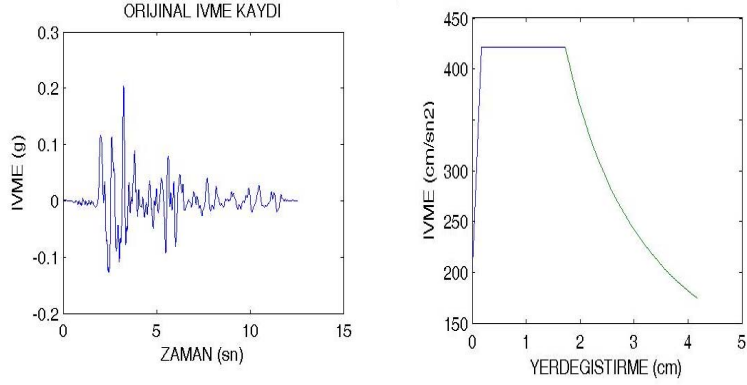


f) ORR090 için yer değıştirme, ivme spektrumu idealleştirilmesi

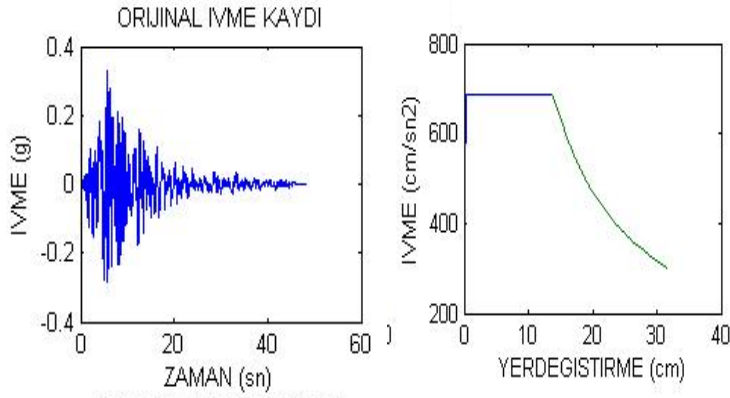


h) KJM000 için yer değıştirme, ivme spektrumu idealleştirilmesi

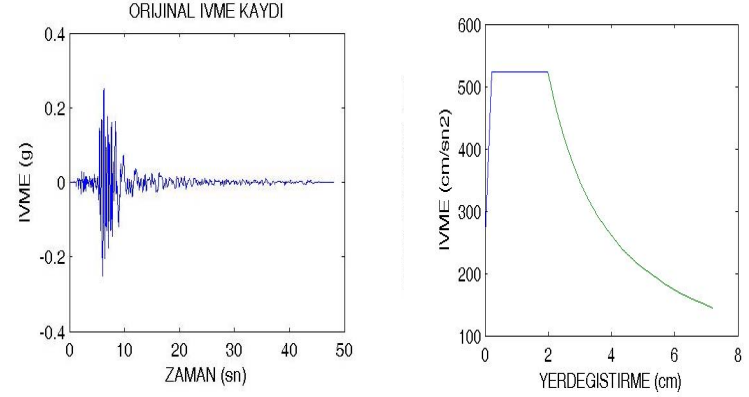
Şekil 2.25. Deprem verilerinin talep spektrumlarının idealleştirilmesi



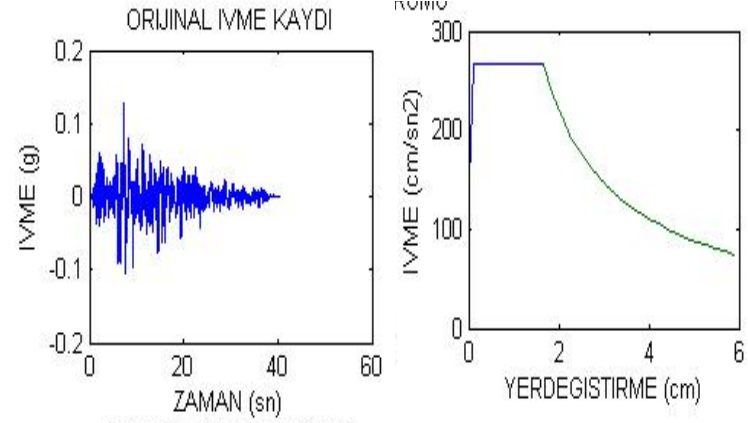
i) SBA222 için yer değiştirme, ivme spektrumu idealleştirilmesi



k) DSP000 için yer değiştirme, ivme spektrumu idealleştirilmesi



j) LMO355 için yer değiştirme, ivme spektrumu idealleştirilmesi



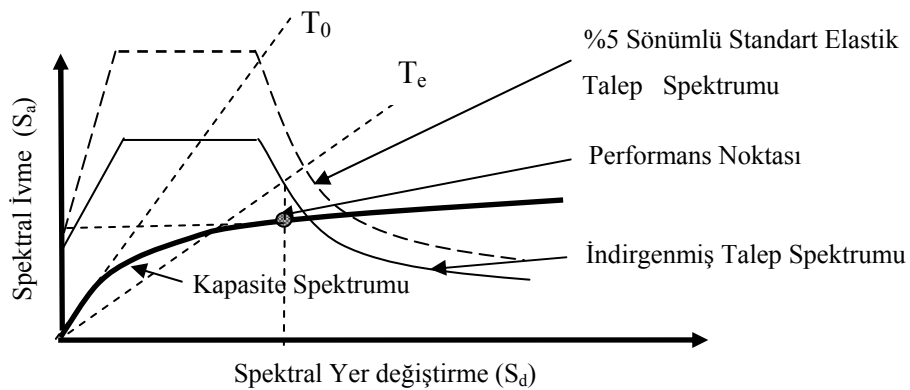
l) FVR045 için yer değiştirme, ivme spektrumu idealleştirilmesi

2.3.1. Kuvvet Esaslı Yer Değiştirme Kontrollü Performansa Bağlı Analiz

2.3.1.1. Kuvvet Esaslı Yer Değiştirme Kontrollü Kapasite Spektrumu Yöntemi

Tez kapsamında kapasite spektrumu yöntemiyle seçilen örnek çerçevelerin performans noktaları belirlenmiştir. Yöntemin uygulanmasında FEMA 440'da yapılan güncellemeler dikkate alınmıştır. Kapasite eğrisi olarak, artımsal itme analizleri sonucunda klasik itme analizlerinde tüm yükleme şekilleri içinde en uygun sonuçlar veren dikdörtgen yükleme ile elde edilen artımsal itme eğrisi alınmıştır.

1996 yılında Sigmund Freeman ve daha sonra Applied Technology Council tarafından yayınlanan ATC 40'da, Kapasite Spektrumu yöntemiyle performansa bağlı analiz yöntemi geliştirilmiş ve bu yöntemle yapıların deprem etkisindeki yatay yer değiştirme talepleriyle yatay yük taşıma kapasitelerinin birbirlerine bağımlı olduğu ifade edilmiştir. Bu yöntem, 2005 yılında yayınlanan FEMA 440'da güncellenmiştir. Performansa bağlı analiz yöntemleriyle yapıların deprem sırasındaki doğrusal olmayan davranışları ve yapıda meydana gelmesi muhtemel hasarları belirlemek mümkün olmaktadır. Kapasite spektrumu yönteminde, şekil değiştirmelere bağlı olarak elastik talep spektrumları indirgenip, performans noktasının belirlenmesi amaçlanmaktadır (FEMA, 2005).



Şekil 2.26. Performans noktasının belirlenmesi

Artımsal itme eğrilerinin elde edilmesinin ardından, itme eğrileri, spektral formata dönüştürülür. Böylece, şekil 2.26'da gösterildiği gibi kapasite spektrumu eğrileri elde edilmiş olur. İtme eğrilerinin spektral formata dönüştürülmesinin başlıca sebebi talep spektrumlarıyla karşılaştırılacak olmasıdır. Ancak, talep spektrumu tek serbestlik dereceli sisteme ait olduğu için, çok serbestlik dereceli sistemin eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme dönüştürülmesi gerekmektedir.

Betonarme yapılar elastik olmayan yer değiştirmeler nedeniyle rijitlik kaybeder, rijitlik kaybettikçe periyodları ve sönümleri artar. Kapasite spektrumu yardımıyla, yutulan enerji miktarı ve buna karşılık gelen eşdeğer sönüm hesaplanabilir. Viskoz sönüm oranı genellikle %5 olarak alınmaktadır. Çevrimsel sönüm ise kapasite spektrumu içeren çevrimsel alanıyla ilgilidir ve eşdeğer viskoz sönüm cinsinden ifade edilebilir. Etkin sönüm oranı, sünekliğe bağlı olarak şu şekilde elde edilebilmektedir (FEMA, 2005):

$$\mu < 4.0 \text{ için; } \quad \beta_{etkin} = 4.9(\mu - 1)^2 - 1.1(\mu - 1)^3 + \beta_0 \quad (2.36)$$

$$4.0 < \mu < 6.5 \text{ için; } \quad \beta_{etkin} = 14 + 0.32(\mu - 1) + \beta_0 \quad (2.37)$$

$$\mu > 6.5 \text{ için; } \quad \beta_{etkin} = 19 \left[\frac{0.64(\mu - 1) - 1}{[0.64(\mu - 1)]^2} \right] \left(\frac{T_{etkin}}{T_0} \right)^2 + \beta_0 \quad (2.38)$$

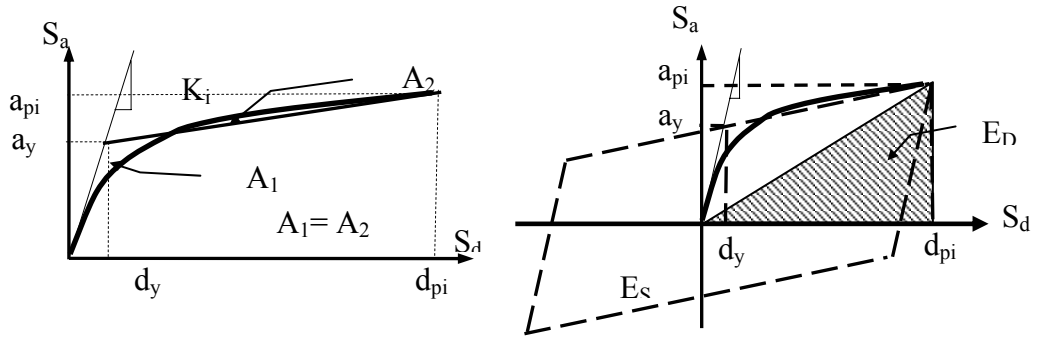
Burada β_e : etkin sönüm oranı, β_0 : eşdeğer viskoz sönüm cinsinden çevrimsel sönüm oranı ve süneklik ise $\mu = \frac{d_{pi}}{d_y}$ şeklindedir. Denklem 2.39 ve 2.40 yardımıyla,

E_D ve E_{SO} , şekil 2.27 kullanılarak bulunabilir. Denklemlerde kullanılan a_y , d_{pi} , d_y , a_{pi} değerleri şekil 2.27'de grafik üzerinde belirtilmiştir (FEMA, 2005)..

$$E_D = 4(a_y d_{pi} - d_y a_{pi}) \quad (2.39)$$

$$E_{SO} = \frac{a_{pi}}{2} \quad (2.40)$$

Burada E_D : sönümle yutulan enerji, E_{SO} : elastik şekil değiştirme enerjisidir.



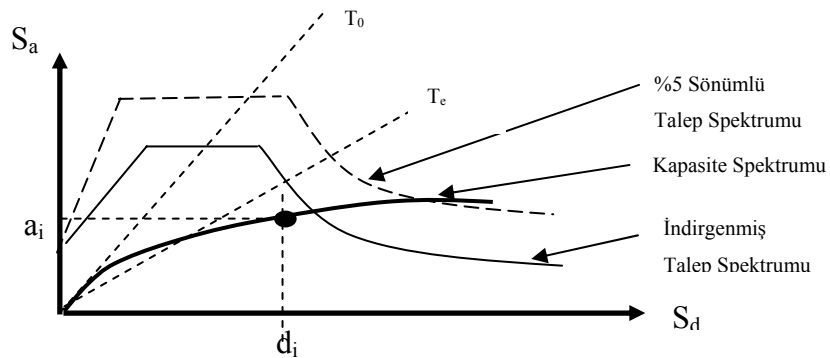
Şekil 2.27. Kapasite spektrumu yardımı ile eşdeğer viskoz sönümün hesabı

Talep spektrumunun spektral ivme–spektral yer değiştirme cinsine dönüştürülür. Spektral formata dönüştürülen talep spektrumunun indirgenmesinde aşağıdaki ifadelerden yararlanılır. Şekil 2.28’de spektrumun indirgenmesi ve ivme-yer değiştirme formatına dönüştürülmesi verilmiştir. Şekil 2.29’da yöntemin akış şeması sunulmuştur. Şekil 2.30’da elde edilen sonuçlar tek bir grafikte gösterilmiştir. Şekil 2.27’de her depreme ait yer değiştirme talepleri grafikler halinde verilmiştir (FEMA, 2005).

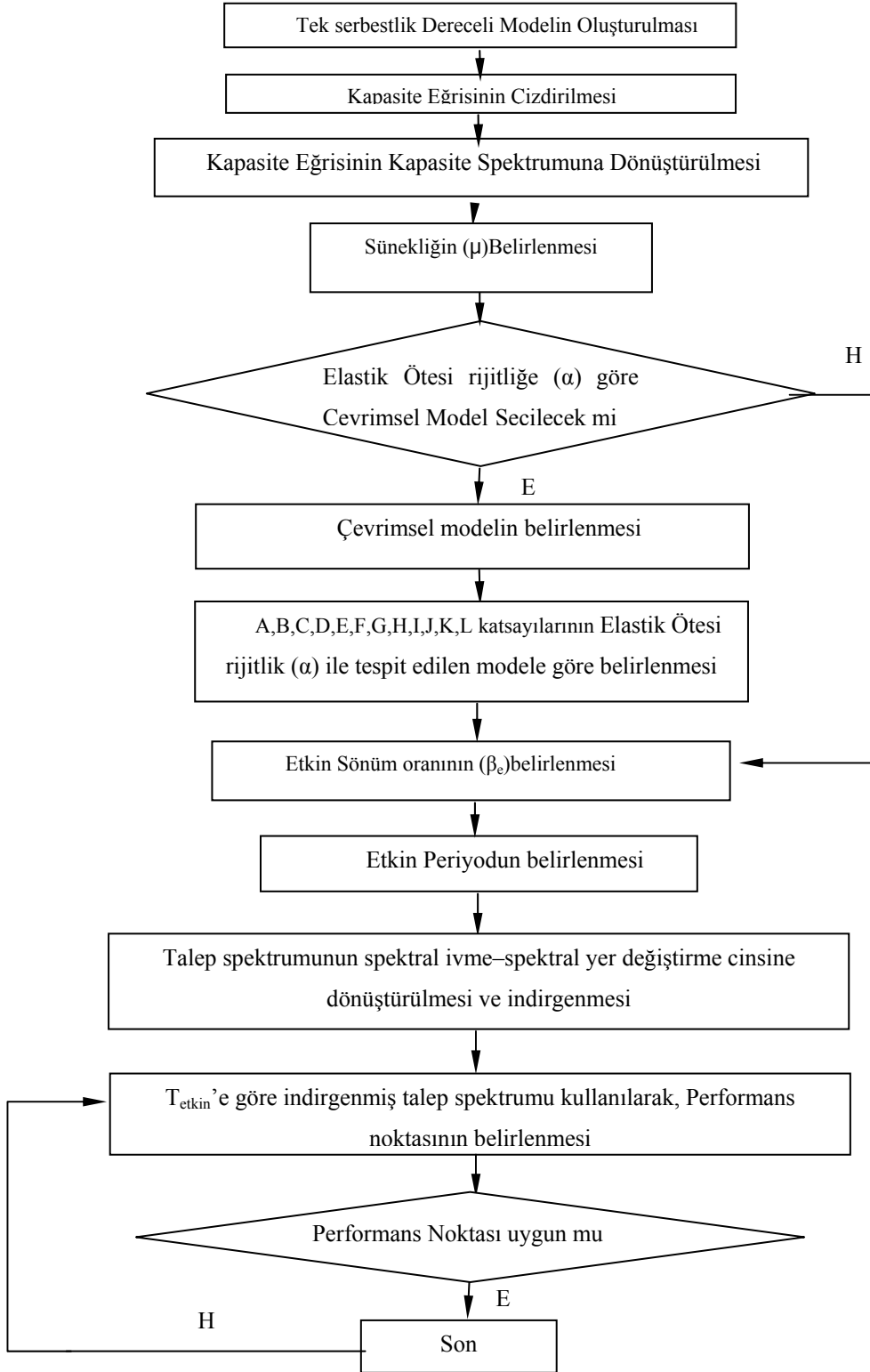
$$(S_a)_\beta = \frac{(S_a)_{\%5}}{B(\beta_{etkin})} \quad (2.41)$$

$$B = \frac{4}{5.6 - \ln \beta_{etkin}} \quad (2.42)$$

$$S_d = \frac{T_{etkin}}{4\pi^2} S_a \quad (2.43)$$

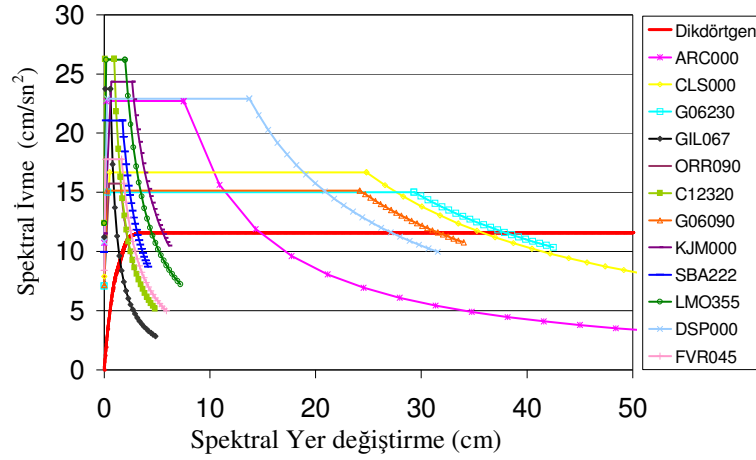


Şekil 2.28. Spektrumun indirgenmesi ve ivme-yer değiştirme formatına dönüştürülmesi

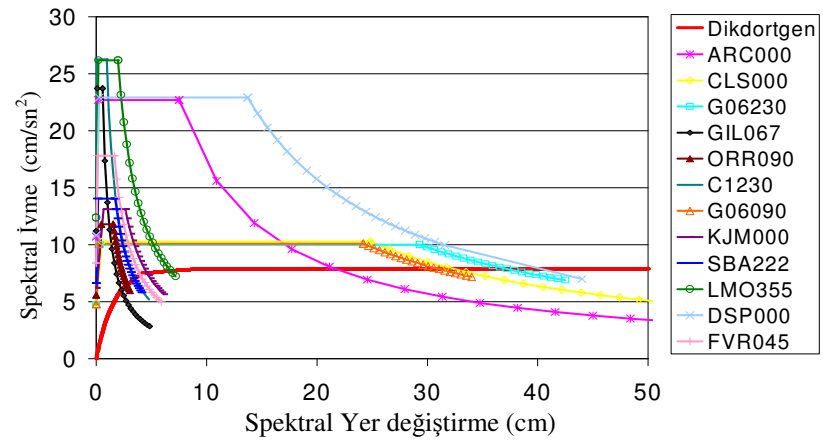


Şekil 2.29. Kapasite spektrumu yönteminin akış şeması

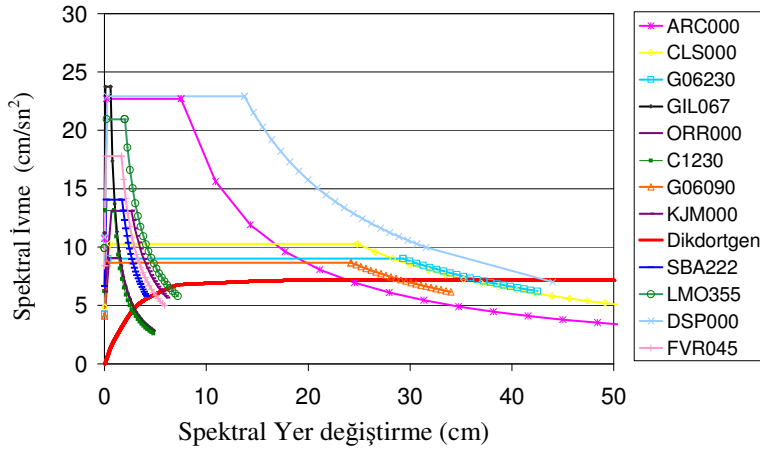
Şekil 2.30. Tüm deprem verileri kullanılarak dikdörtgen yüklemeye için kapasite spektrumunu yöntemiyle performans noktasının belirlenmesi



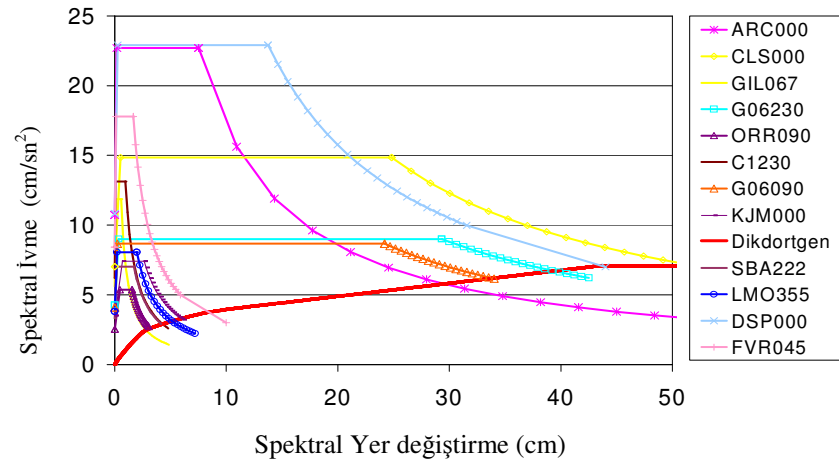
a. 3 Katlı yapı için kapasite spektrumu yöntemi



c. 5 Katlı yapı için kapasite spektrumu yöntemi

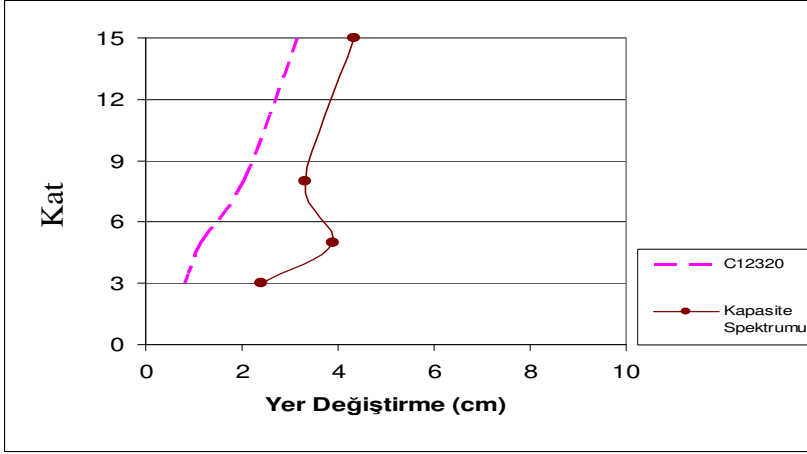


a. 8 Katlı yapı için kapasite spektrumu yöntemi

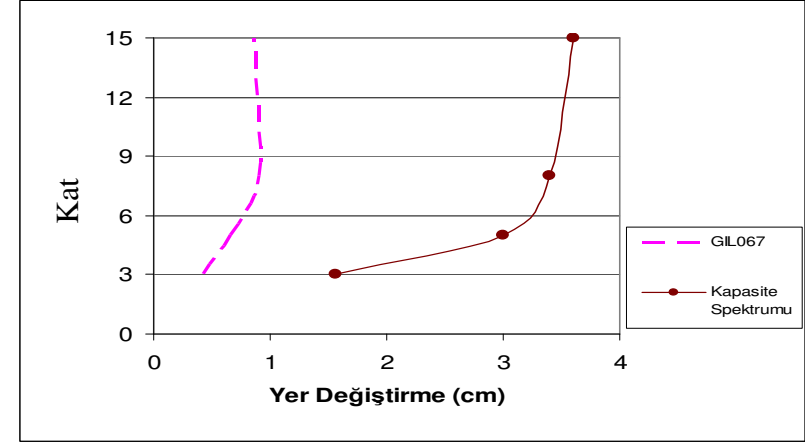


d. 15 Katlı yapı için kapasite spektrumu yöntemi

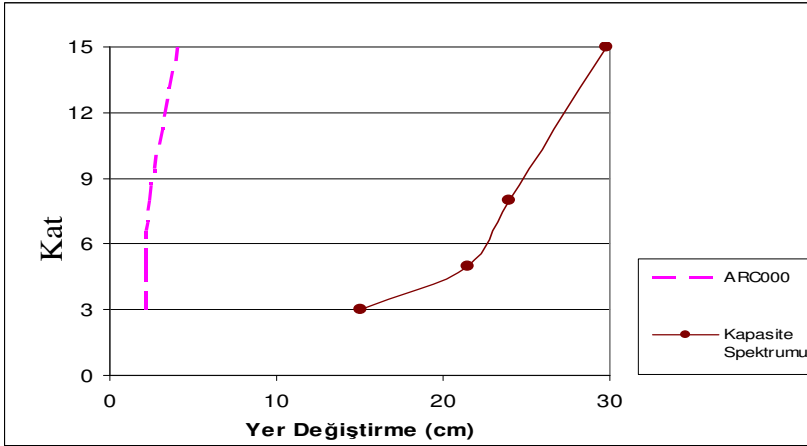
Şekil 2.3.1. Kapasite spektrumu yöntemiyle zaman tanım alanında analizlerin karşılaştırılması



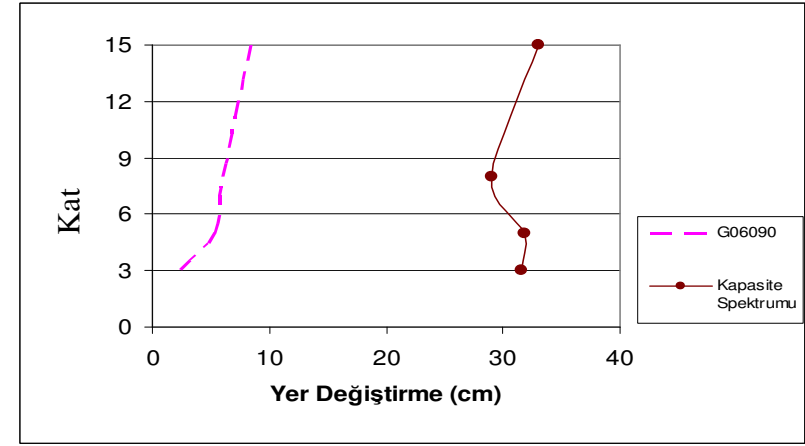
a) C12320 Deprem verisi için karşılaştırma



b) GIL067 Deprem verisi için karşılaştırma

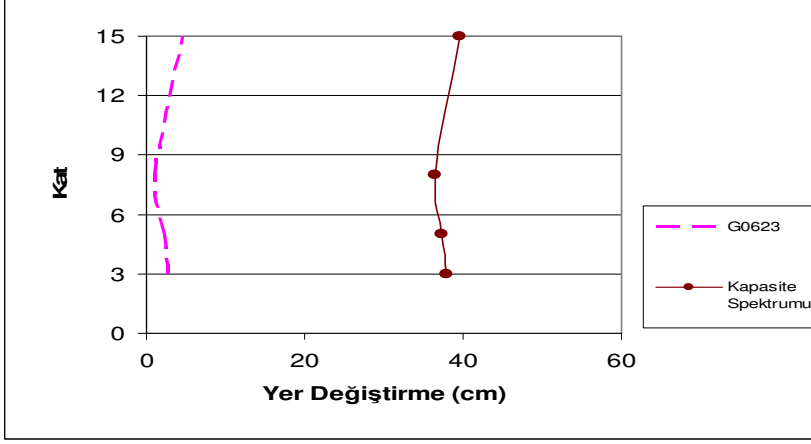


c) ARC000 Deprem verisi için karşılaştırma

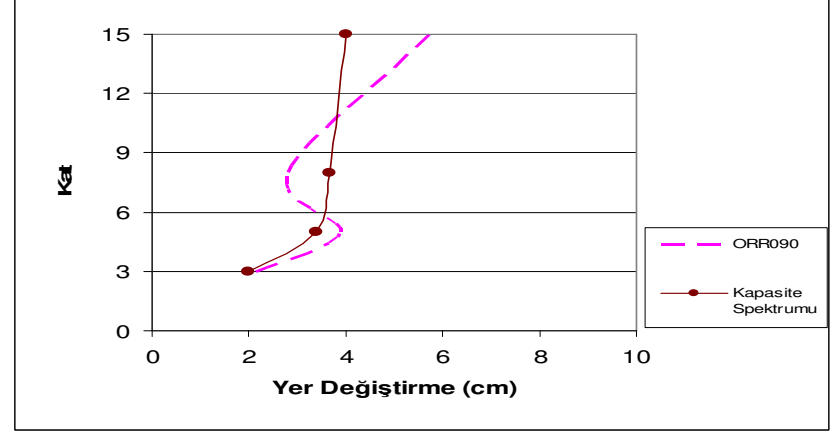


d) G06090 Deprem verisi için karşılaştırma

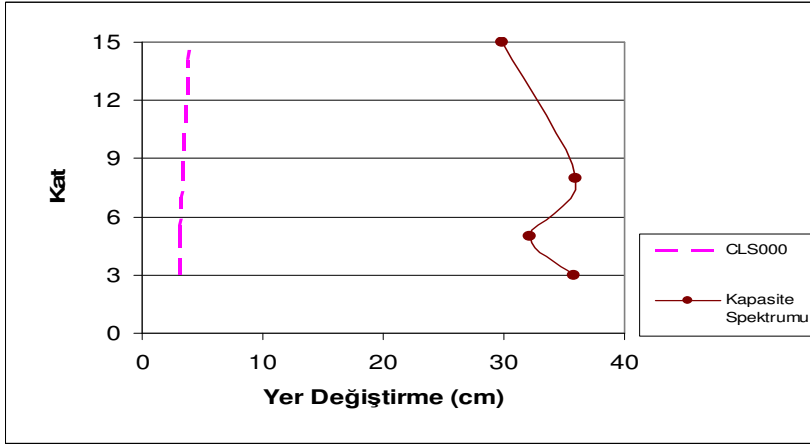
Şekil 2.31. Kapasite spektrumunu yöntemiyle zaman tanım alanında analizlerin karşılaştırılması



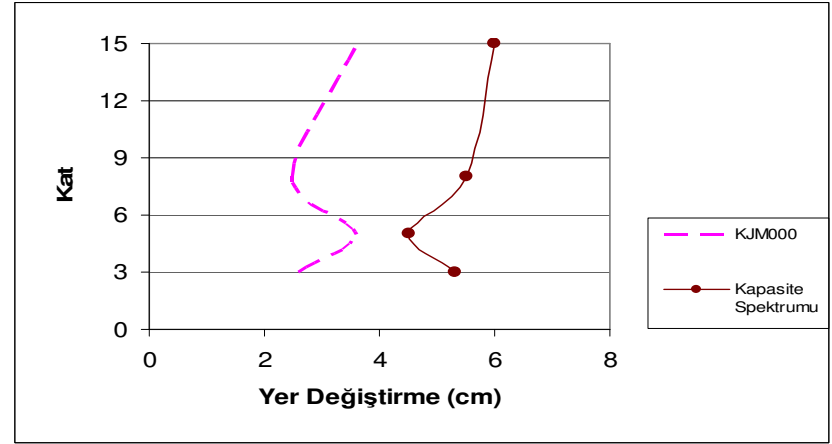
e) G0623 Deprem verisi için karşılaştırma



f) ORR090 Deprem verisi için karşılaştırma

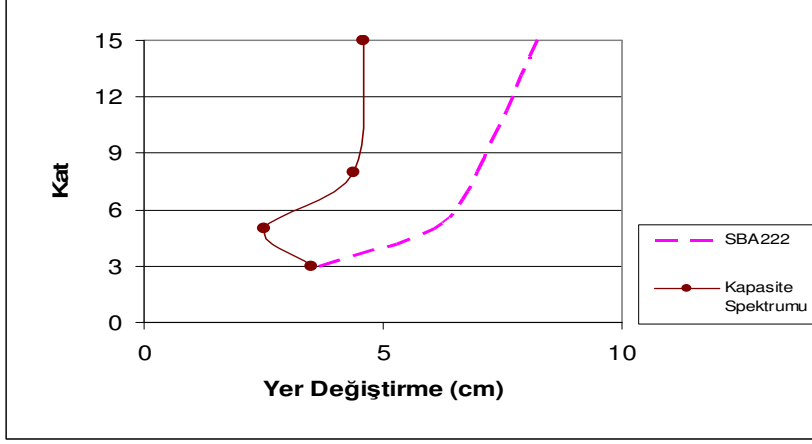


g) CLS000 Deprem verisi için karşılaştırma

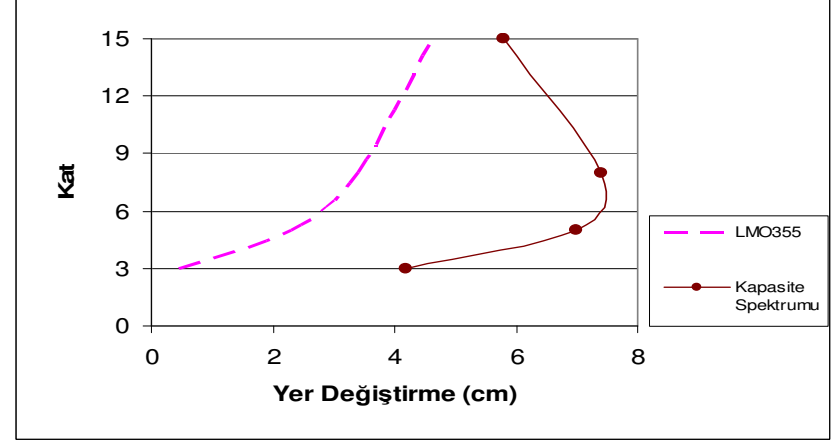


h) KJM000 Deprem verisi için karşılaştırma

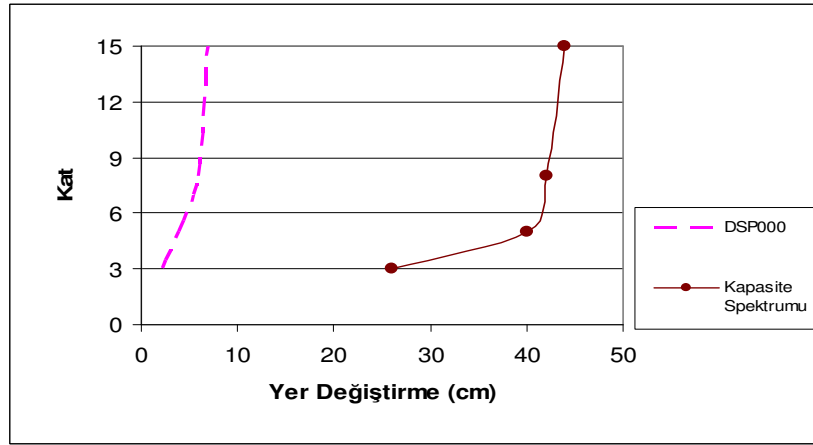
Şekil 2.31. Kapasite spektrumunu yöntemiyile zaman tanım alanında analizlerin karşılaştırılması



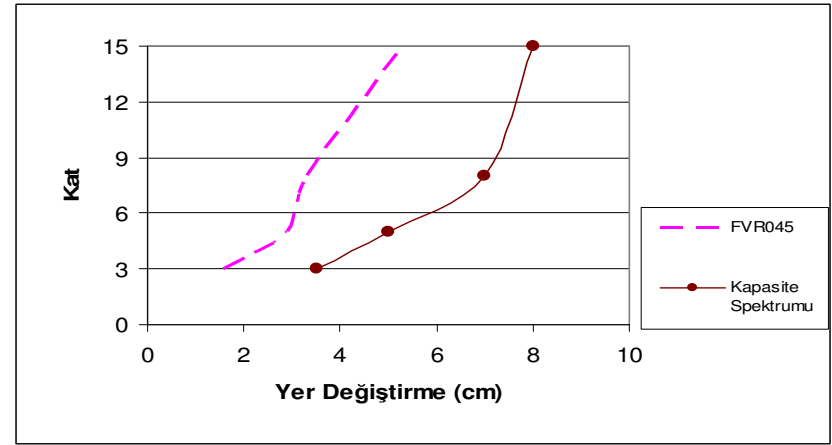
i) SBA222 Deprem verisi için karşılaştırma



j) LMO355 Deprem verisi için karşılaştırma



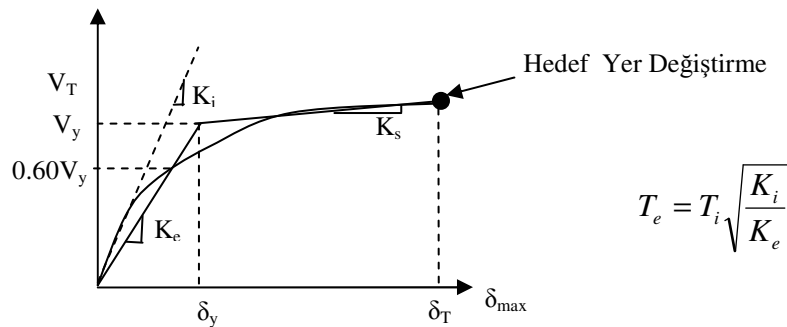
k) DSP000 Deprem verisi için karşılaştırma



l) FVR045 Deprem verisi için karşılaştırma

2.3.1.2. Kuvvet Esaslı Yer Değiştirme Kontrollü Yer Değiştirme Katsayısı Yöntemi

Bu yöntem de kapasite spektrumu yönteminde olduğu gibi, belirli bir yer hareketi için yapıya yüklenen yer değiştirme talebiyle yapının yatay yük taşıma kapasitesinin birbirine bağımlı olduğu esasına dayanmaktadır. Ancak, yer değiştirme talebi grafiksel olarak değil doğrudan olarak sayısal bir yöntemle hesaplanmaktadır. Buna göre, yer değiştirme talebi yapı sisteminin özelliklerine bağlı olarak belirlenen ve yapının periyodunu, çevrimsel davranışını, ikinci mertebe etkilerini temsil eden katsayılar kullanılarak hesaplanmaktadır. Kolay ve hızlı bir yöntem olması nedeniyle avantajlıdır. Ancak bu yöntemde, ikinci mertebe etkileri ve çevrimsel davranışı temsil eden katsayıların çeşitli yapılar için araştırılması gerektiği bilinmektedir. Bu yöntem yapının kapasite eğrisinin belirlenmesi, maksimum yer değiştirmenin (hedef yer değiştirmesi) hesaplanması ve performans seviyesinin belirlenmesi aşamalarından oluşmaktadır. Yapıya ait kapasite eğrisi elde edildikten sonra bu eğri, elastik rijitliği ifade eden (K_e) ve elastik sonrası rijitliği ifade eden (K_s) doğru parçalarıyla şekil 2.32’de gösterildiği gibi idealleştirilmektedir. Bu idealleştirme yapılırken K_e doğrusunun kapasite eğrisini kestiği noktanın ordinatının, K_e ve K_s doğrularının kesim noktasının ordinatının %60’ı ($0.60V_y$) olması sağlanır. Ancak iki doğru parçasının kesişim noktası başlangıçta bilinmediği için bir deneme yanılma yöntemi uygulanmaktadır. Buna göre, bir K_e doğrusu seçilerek V_y değeri belirlenir. K_e doğrusunun kapasite eğrisini kestiği noktanın ordinatı kontrol edilir. Eğer, bu değer $0.60V_y$ ’ye eşit değilse K_e için yeni bir değer seçilerek işlem tekrarlanır. Bu şartı sağlayan idealleştirme yapıldıktan sonra etkin periyot (T_e) hesaplanmaktadır



Şekil 2.32. Kapasite eğrisinin iki doğru parçasıyla idealleştirilmesi

Burada T_i , yapının elastik dinamik analizle bulunan birinci doğal periyodu, K_i yapının elastik yanal rijitliği, K_e ise elastik etkin rijitliğidir. Yapının performans kontrolünün yapılacağı talep yer değiştirmesi (δ) :

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\Pi^2} g \quad (2.44)$$

Burada, C_0 yapının tepe yer değiştirmesinin spektral yer değiştirmeyle ilişkilendiren katsayıdır. Bu katsayı birinci moda ait modal katılım çarpanına bağlı olarak hesaplanır veya FEMA 273'de yapı kat adedine bağlı olarak hazırlanan tablolardan alınabilir. C_1 doğrusal-elastik davranış için hesaplanmış yer değiştirmelerle beklenen maksimum elastik olmayan yer değiştirmeleri ilişkilendiren katsayıdır ve şu bağıntıyla hesaplanır.

$$T_e < T_0 \text{ için } C_1=1.0 \text{ veya, } T_e > T_0 \text{ için } C_1=1.0 + \frac{R-1}{aT_e^2} \quad (2.45)$$

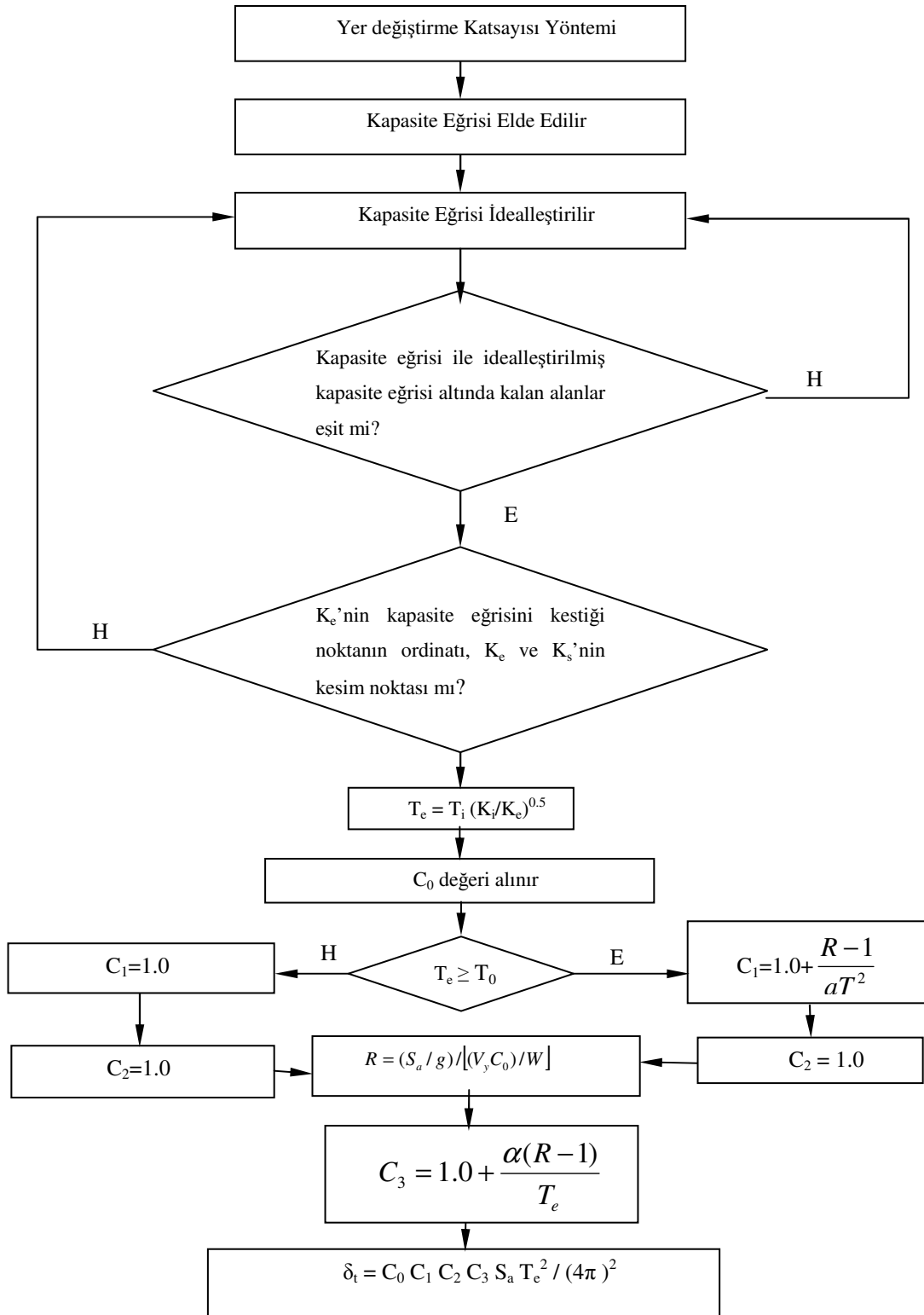
Burada T_0 davranış spektrumunda sabit ivme bölgesinden sabit hız bölgesine geçişe karşılık gelen karakteristik periyot değeri, R elastik olmayan dayanım talebinin akma dayanımına (V_y) oranı olup aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$R = (S_a / g) / [(V_y C_0) / W] \quad (2.45)$$

V_y akma dayanımı, S_a yapının birinci doğal periyoduna karşılık gelen spektral ivmedir. C_2 çevrimsel şeklin maksimum yer değiştirme davranışı üzerindeki etkisini temsil eden değişiklik katsayısıdır. C_3 2. mertebe etkiler nedeniyle arttırılmış yer değiştirmeleri temsil eden değişiklik katsayısıdır.

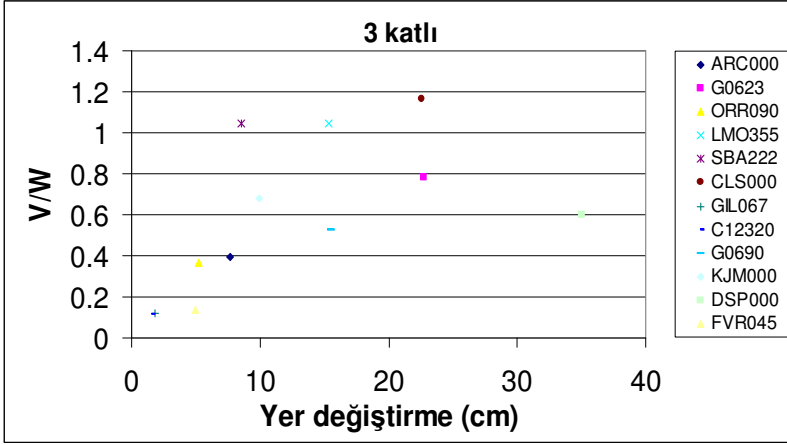
$$C_3 = 1.0 + \frac{\alpha(R-1)}{T_e} \quad (2.46)$$

Burada, α , elastik sonrası rijitliğin, etkin elastik rijitliğe oranıdır. Kapasite spektrumu yöntemindeki performans noktasına karşılık gelen hedef yer değiştirmesi hesaplandıktan sonra yapı elemanlarının iç kuvvet-şekil değiştirme durumları sınır değerler ile karşılaştırılarak yapının performans seviyesi belirlenir. Şekil 2.33'de akış şeması verilmiştir. Uygulanan yer değiştirme katsayısı yöntemiyle elde edilen yer değiştirme talepleri analizi sonuçları Şekil 2.34'da verilmiştir. Şekil 2.35'de ise zaman tanım alanında analizlerle yer değiştirme taleplerinin karşılaştırmaları gösterilmektedir.

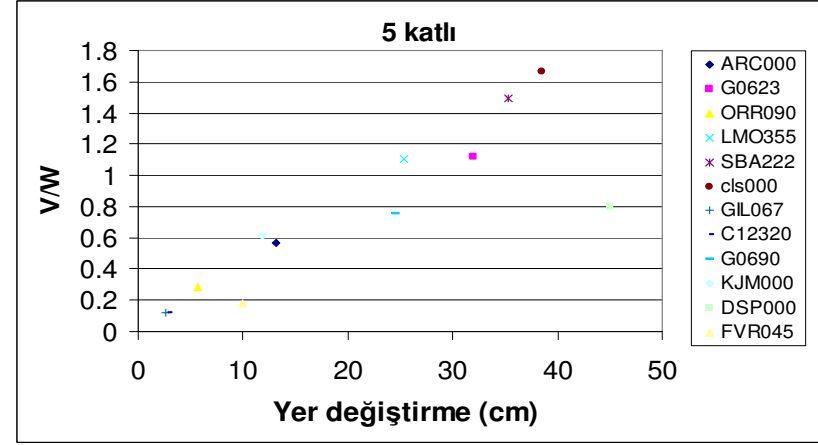


şekil 2.33. Yer değiştirme katsayıları yöntemi için akış diyagramı

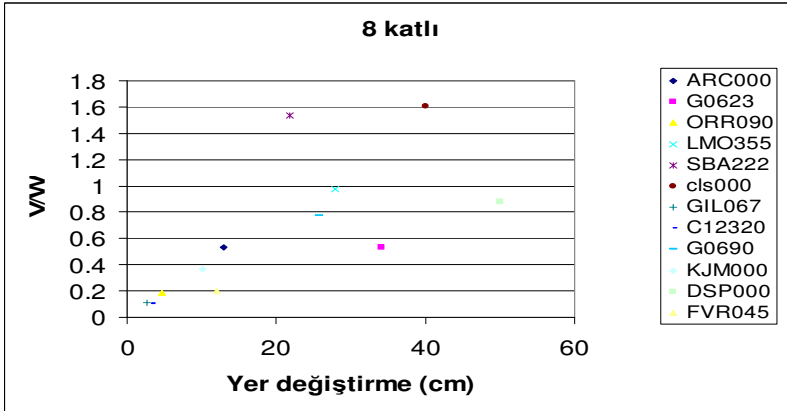
Şekil 2.34. Yer değiştirme katsayıları yöntemiyle elde edilen yer değiştirme talepleri-
v/w analizi sonuçları



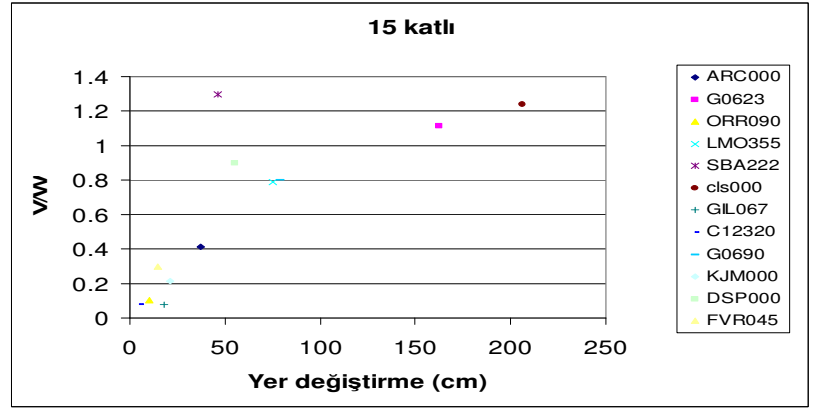
a) 3 Katlı yapı için yer değiştirme sonuçları



b) 5 Katlı yapı için yer değiştirme sonuçları

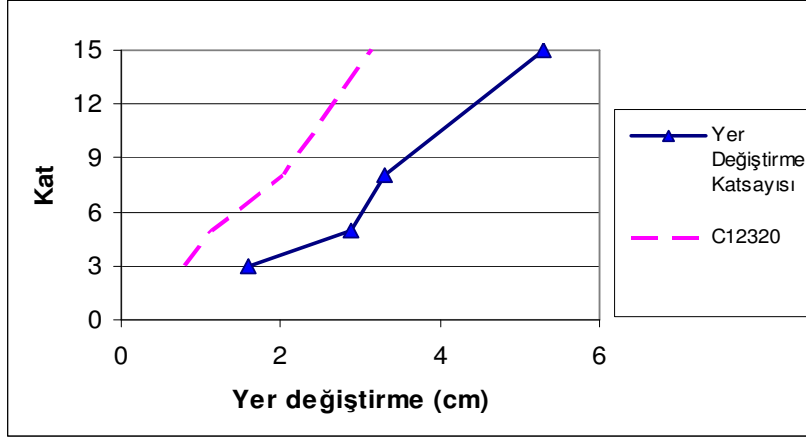


c) 8 Katlı yapı için yer değiştirme sonuçları

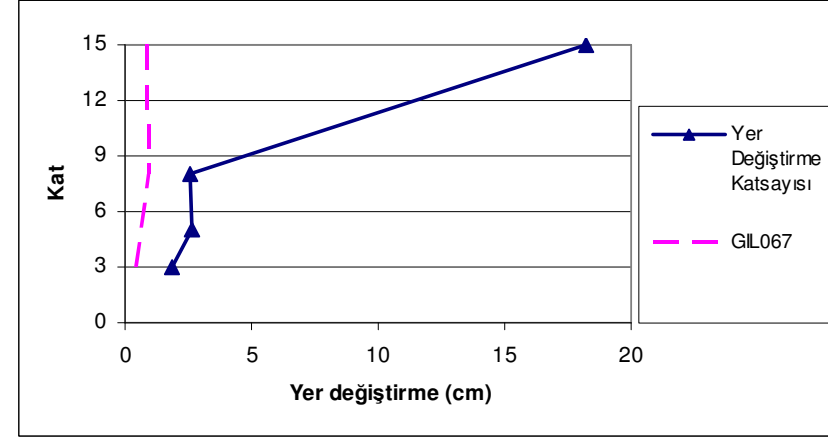


d) 15 Katlı yapı için yer değiştirme sonuçları

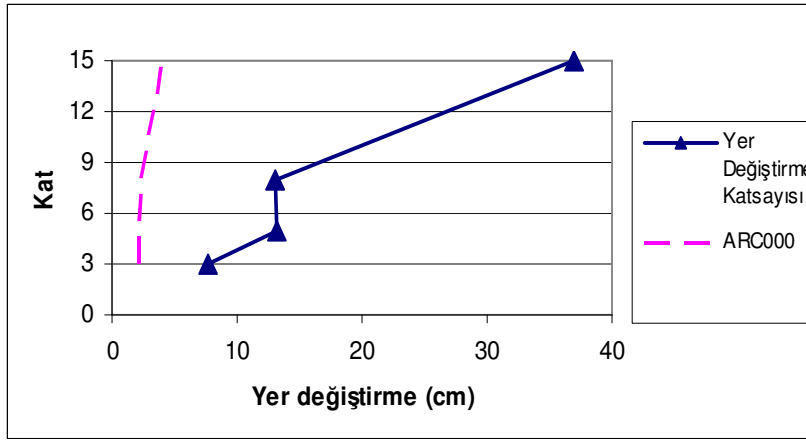
Şekil 2.35. Yer değiştirme katsayısı yöntemiyle zaman tanım alanında analiz sonuçlarının karşılaştırılması



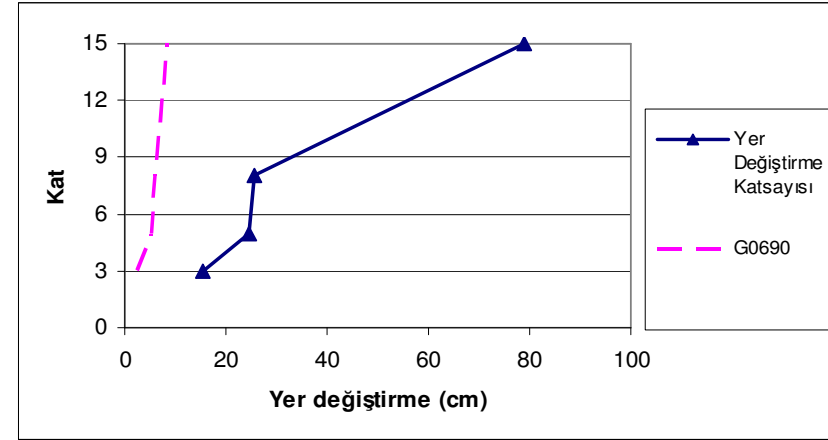
a) C12320 verisi için karşılaştırılma



b) GIL067 verisi için karşılaştırılma

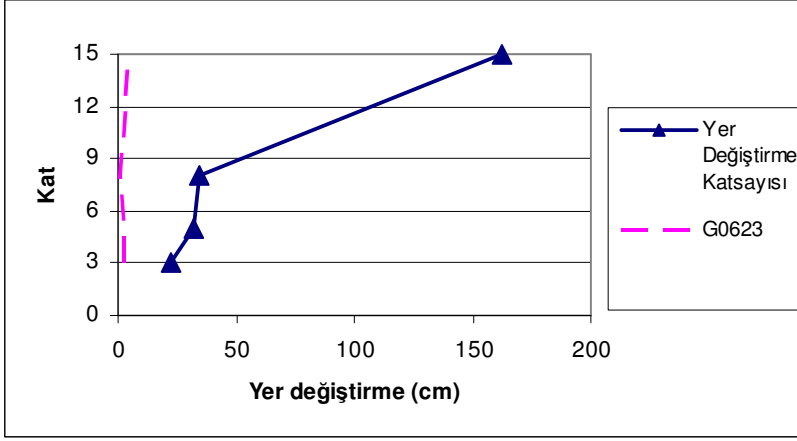


c) ARC000 verisi için karşılaştırılma

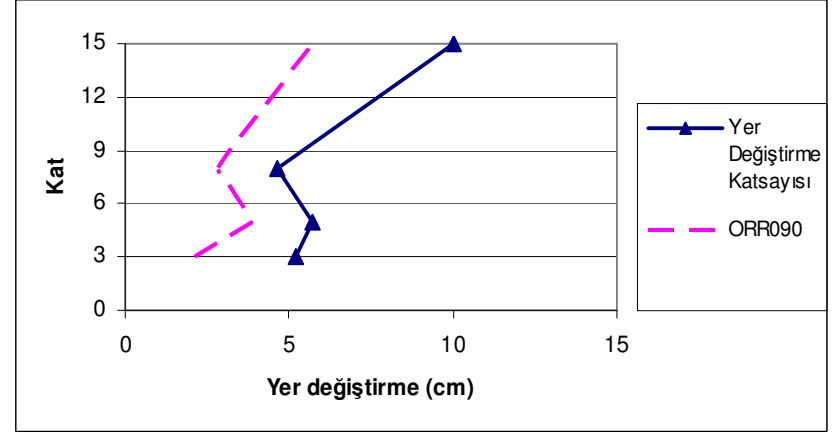


d) G06090 verisi için karşılaştırılma

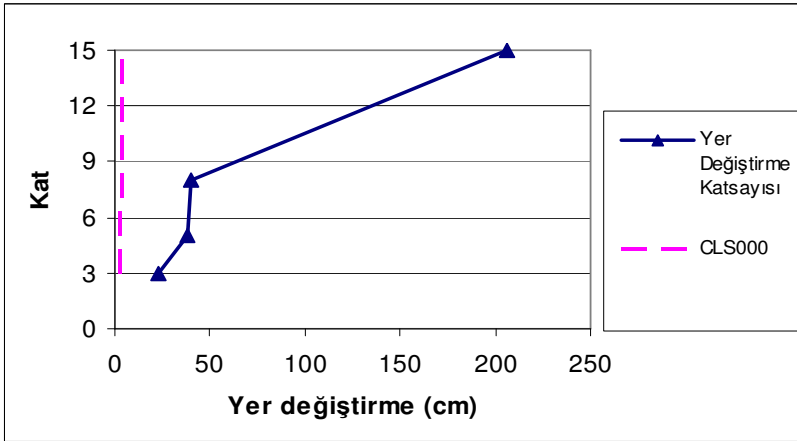
Şekil 2.35. Yer değiştirme katsayısı yöntemiyle zaman tanım alanında analiz sonuçlarının karşılaştırılması



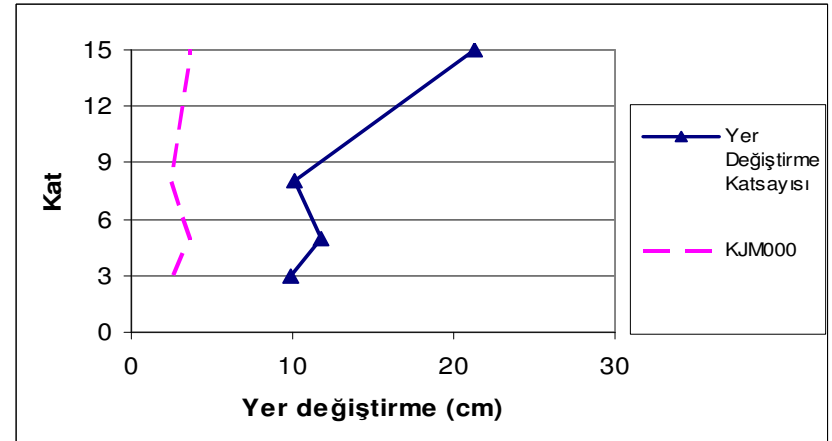
e) G06230 verisi için karşılaştırma



f) ORR090 verisi için karşılaştırma

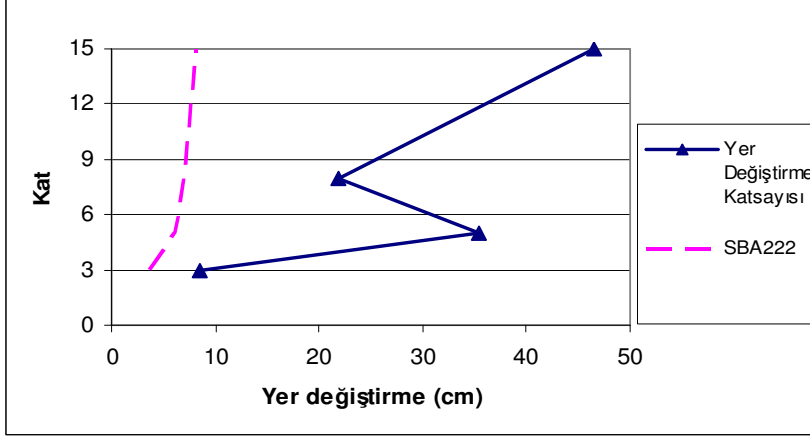


g) CLS000 verisi için karşılaştırılma

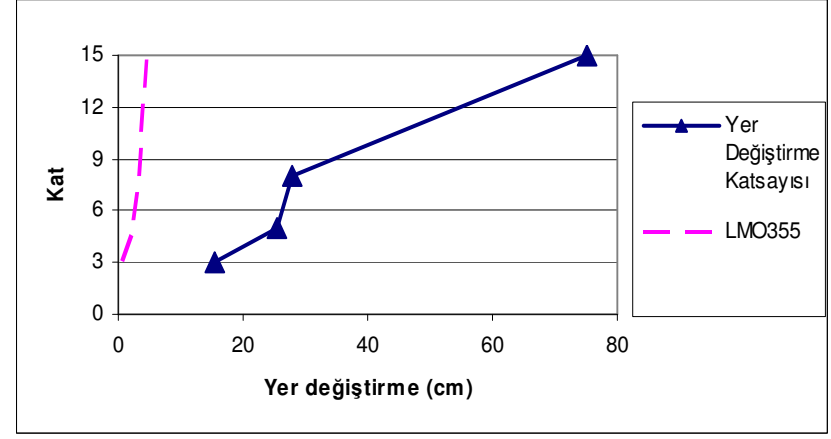


h) KJM000 verisi için karşılaştırma

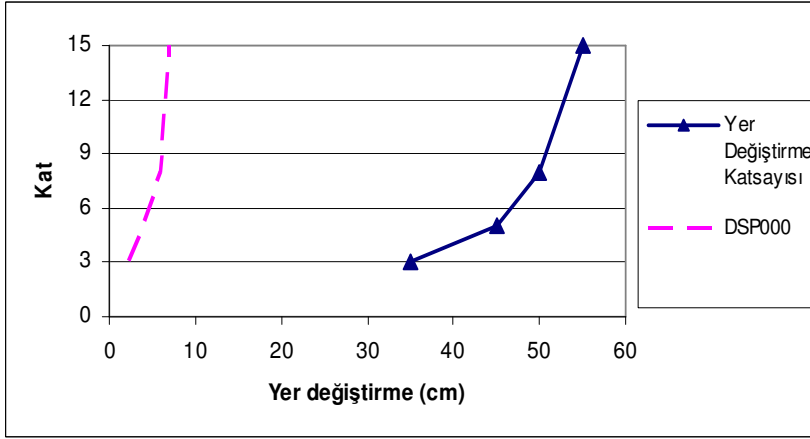
Şekil 2.35. Yer değiştirme katsayısı yöntemiyle zaman tanım alanında analiz sonuçlarının karşılaştırılması



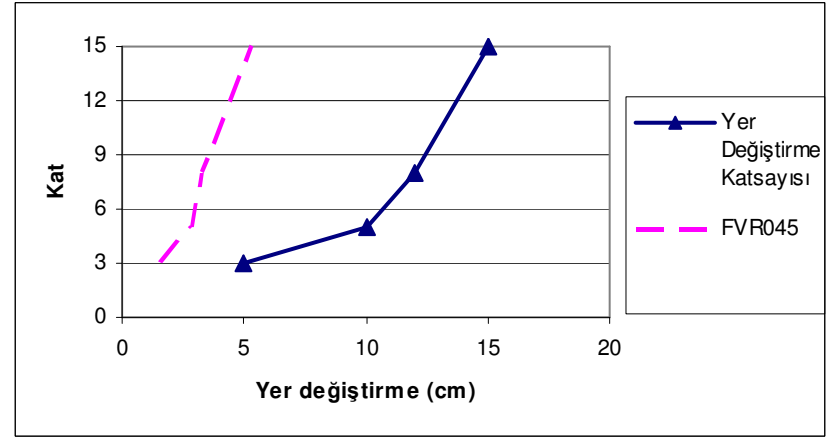
i) SBA222 verisi için karşılaştırılma



j) LMO355 verisi için karşılaştırılma



k) DSP000 verisi için karşılaştırılması



l) FVR045 verisi için karşılaştırılması

2.3.2. Doğrudan Yer Değiştirme Esaslı Performansa Bağlı Analiz

Doğrudan yer değiştirme esaslı analizlerde, tasarımcı yapıyı hedef bir yer değiştirme veya yer değiştirme profiline göre tasarlar. Dayanım ve rijitlikler bu yöntemde tasarım değişkeni değil, tasarımın bir sonucudur. Bu yöntem diğer yöntemlere göre yapı davranış katsayısı kullanılmasına gerek olmaması ve deprem sırasında yapıda oluşacak doğrusal olmayan davranışların yönetime dahil edilmesi açısından farklılık göstermektedir. Doğrudan yer değiştirme analiz yönteminde Priestley ve Jonnson, önemli çalışmalar yapmıştır. Tez kapsamında ele alınan doğrudan yer değiştirme esaslı analizlerde Priestley ve Jonnson tarafından ortaya konan yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemlerin uygulanmasında genel olarak öncelikle yer değiştirme spektrumları belirlenmekte ve ardından çerçeveler için başlangıç yer değiştirme profilleri elde edilmektedir (Priestley, 1996; Jonsson, 2002).

Priestley yer değiştirme analizinin genel felsefesini ve yöntemini ortaya koymuş, tek serbestlik dereceli ve çok serbestlik dereceli sistemler için yer değiştirme yöntemleri ve yer değiştirme profilleri oluşturulmuştur. Çalışmalarında yer değiştirme yöntemini kullanarak, çeşitli kat adetlerinde yapı sistemlerini incelemiş ve yer değiştirme davranışını belirleyerek, yer değiştirme profillerini elde etmişlerdir. Bu yer değiştirme profilleri zaman tanım alanında analiz sonuçlarıyla karşılaştırılarak analizin yaklaşıklığı belirlenmiştir (Priestley, 1996; Calvi ve Priestley, 1997). Jonnson, yapmış olduğu çalışmada, betonarme çerçeveler için doğrudan yer değiştirme esaslı tasarım metodolojisi geliştirmiştir. Doğrudan yer değiştirme esaslı analizlerde sönüm oranına bağlı olarak yer değiştirme profillerini çıkarmıştır (Jonsson, 2002).

Doğrudan yer değiştirme esaslı analizde öncelikle, yer değiştirme başlangıç profilleri oluşturulmaktadır. Bu amaçla Priestly ve Jonnson tarafından çerçeveler için önerilen uygulanması oldukça kolay olan bu yöntemler kullanılabilir. Tez kapsamında kullanılan bu yöntemlerle elde edilen yer değiştirme profilleri, diğer performans yöntemleriyle ve zaman tanım alanında analiz sonuçlarından elde edilen yer değiştirme profilleri ile genel değerlendirme kısmında karşılaştırılmıştır.

Doğrudan yer değiştirme esaslı analizde öncelikle uygun bir yer değiştirme hedefi belirlenir. Yer değiştirme davranış spektrumu, yer değiştirmeye karşı periyot arasındaki grafiğe göre çizilir. Spektrum o bölgedeki beklenen deprem zorlamalarının kombinasyonunu gösteren düzleştirilmiş bir tasarım eğrisini içerir. Spektrumun seçimi yapının konumuna ve kullanılabilirlik durumuna uygun olarak seçilmelidir. Maksimum yer değiştirme talebinin belirlenebilmesi için maksimum yer değiştirme oranı seviyesinin veya maksimum tepe yer değiştirmesinin belirlenmesi gereklidir. Yapılar için yer değiştirme oranı, yatay yer değiştirmenin bina yüksekliğine bölünmesiyle elde edilir. Sıradan moment aktaran betonarme çerçeveler için Priestley tarafından bir yer değiştirme profili önerilmiştir. Bu yer değiştirme profili için verilmiş olan denklemler şu şekildedir (Priestley, 1996):

$$\Delta_i = \theta_d h_i \quad (n \leq 4) \quad (2.47)$$

$$\Delta_i = \theta_d h_i \left(1 - \frac{(n-4)h_i}{32h_n} \right) \quad (4 \leq n \leq 20) \quad (2.48)$$

$$\Delta_i = \theta_d h_i \left(1 - \frac{h_i}{2h_n} \right) \quad (20 \leq n) \quad (2.49)$$

Burada θ_d : seçilen maksimum yer değiştirme talebi, n: toplam kat adedi'dir.

Denklem 2.47, kat adedi 4 ve daha az olan çerçevelerin doğrusal yer değiştirme profili olduğunu göstermektedir. Denklem 2.48, 2.49 ise kat adedi 4'den fazla olan yapıların yer değiştirme profilinin parabolik olduğunu göstermektedir. Genel yer değiştirme profilinin hesaplanabildiği bu yöntem, çoğu sıradan yapı için uygulanabilir niteliktedir. Eğer ikinci adımda maksimum yer değiştirme seçilirse maksimum öteleme seviyesi bu denklemler kullanılarak her kat yer değiştirmesi için uygulanabilir.

Diğer bir yer değiştirme profili elde etme yöntemi ise Jonsson tarafından ortaya atılmıştır. Bu yöntemde, az katlı yapıların yer değiştirme profilleri doğrusal olarak ifade edilmiş, çok katlı yapıların profilleri ise üstel bir fonksiyon olan doğrusal olmayan davranışla ifade edilmiştir.

Bu da betonarme çerçeveler için şu denklemlerle ifade edilir:

$$\Delta_i = \theta_d h_n \left(\frac{h_i}{h_n} - \frac{(1-\chi)}{\gamma} \cdot \left(\frac{h_i}{h_n}\right)^\gamma \right) \quad (2.50)$$

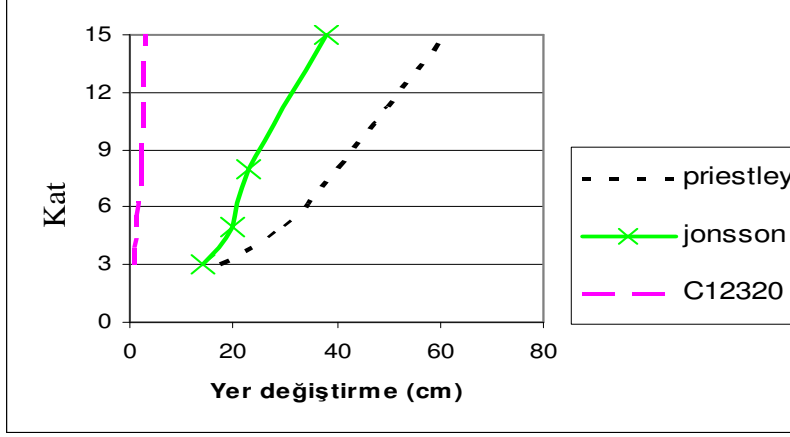
Yapıların yer değiştirme profillerini veren üstel fonksiyonda tepe seviyesi eğimi çoğunlukla χ değişkeni ve tasarım yer değiştirme oranı θ_d ile kontrol edilir. Tepe yer değiştirme oranı, $\chi = 0$ iken 0, $\chi = 1$ iken θ_d olarak alınmaktadır. γ değişkeniyle, üstel fonksiyonun eğriliği kontrol edilir. Yapılan doğrusal olmayan analizle sıradan moment aktaran yapılar için $\chi = 0.180$ olarak elde edilmiştir. Betonarme çerçeveler için γ değişkeni az katlı yapılar için büyük değerler alırken, çok katlı yapılar için daha düşük değerler almaktadır. 3-5-8 ve 15 katlı betonarme çerçevelere ait χ ve γ değişkenleri tablo 2.10'da verilmiştir. Tablo 2.10'da verilen değerler, Jonsson tarafından önerilen değişken değerleridir. Bu değerler kullanılarak yer değiştirme talepleri belirlenebilmektedir (Jonsson, 2002).

Seçilen betonarme çerçeveler için Priestley ve Jonsson tarafından sunulan yer değiştirme profillerine göre 3-5-8 ve 15 katlı betonarme çerçevelerin yer değiştirme talepleri her deprem verisi için Şekil 2.36'da gösterilmiş ve zaman tanım alanında analizlerle karşılaştırılmıştır. Şekil 2.36'da Priestley ve Jonsson tarafından sunulan yer değiştirme değişkenlerine göre belirlenen yer değiştirme talep profiliyle kuvvet esaslı yer değiştirme kontrollü analizden elde edilen yer değiştirme sonuçlarına göre çizdirilmiş yer değiştirme profilleri karşılaştırılmıştır.

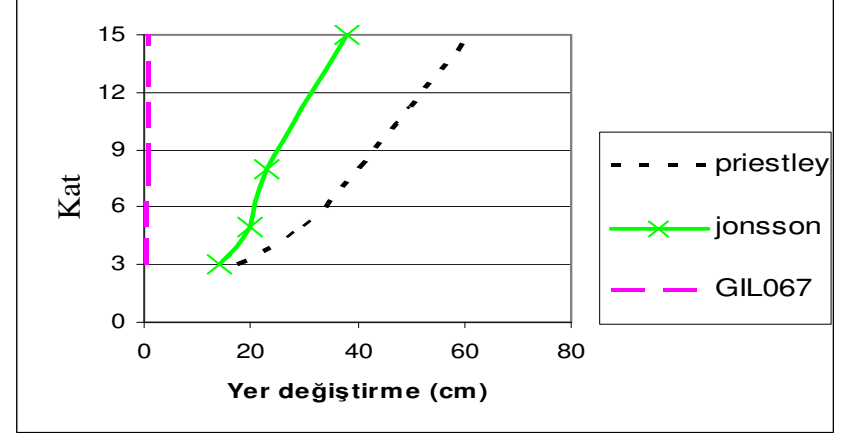
Tablo 2.10. Betonarme çerçeveler için χ ve γ değişkenler (Jonsson, 2002)

Kat Adedi	χ	γ
3 Katlı	0.180	5.70
5 Katlı	0.180	2.67
8 Katlı	0.180	1.84
15 Katlı	0.180	1.44

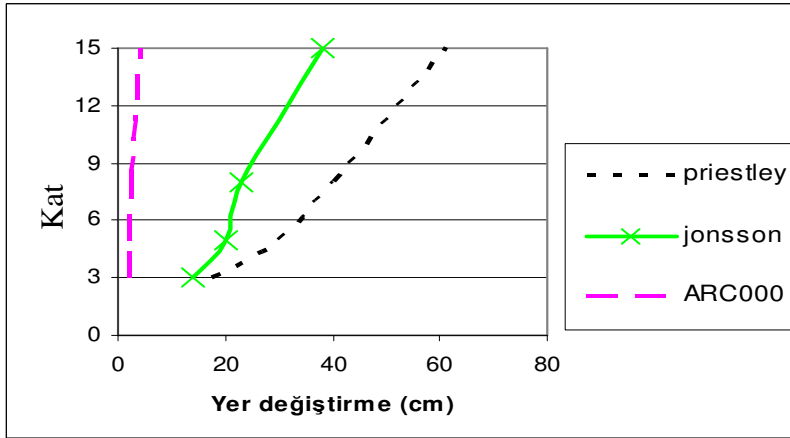
Şekil 2.36. Doğrudan yer değiştirme esası analizle zaman tanım alanında analiz sonuçlarının karşılaştırılması



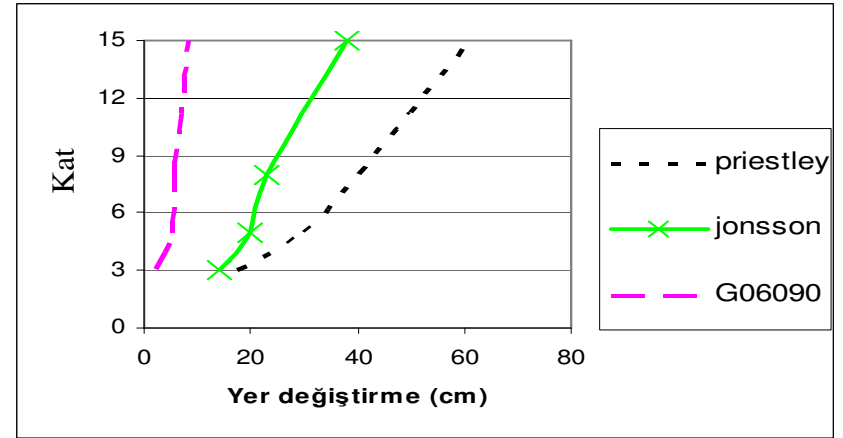
a) Yer değiştirme esası analizle C12320 verisi için karşılaştırılma



b) Yer değiştirme esası analizle GIL067 verisi karşılaştırılma

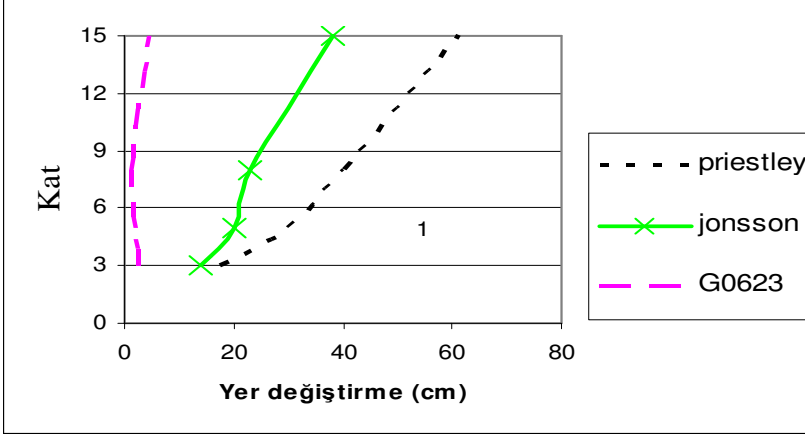


c) Yer değiştirme esası analizle ARC000 verisi için karşılaştırılma

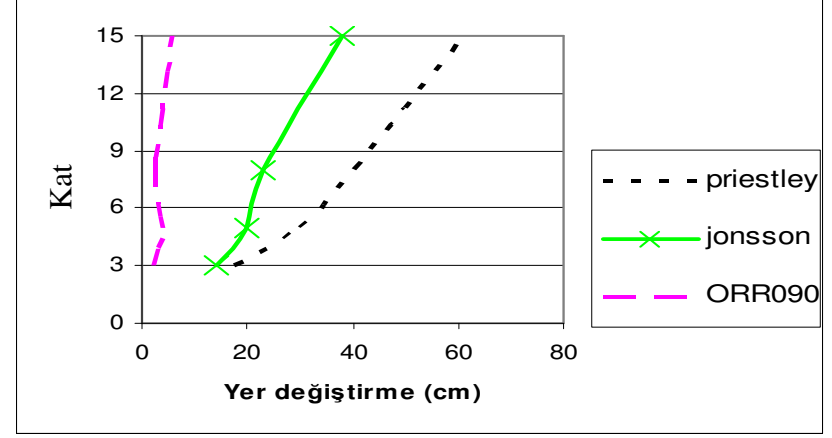


d) Yer değiştirme esası analizle G06090 verisi için karşılaştırılma

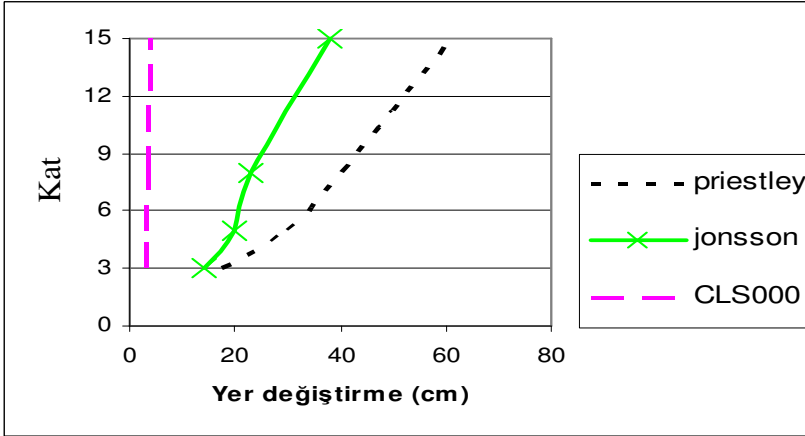
Şekil 2.36. Doğrudan Yer değiştirme esaslı analizle zaman tanım alanında analiz sonuçlarının karşılaştırılması



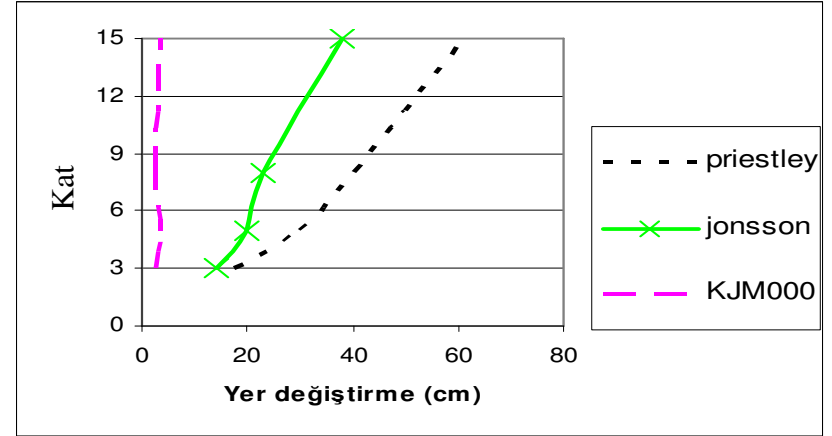
e) Yer değiştirme esaslı analizle G06230 verisi için karşılaştırılma



f.) Yer değiştirme esaslı analizle ORR090 verisi için karşılaştırılma

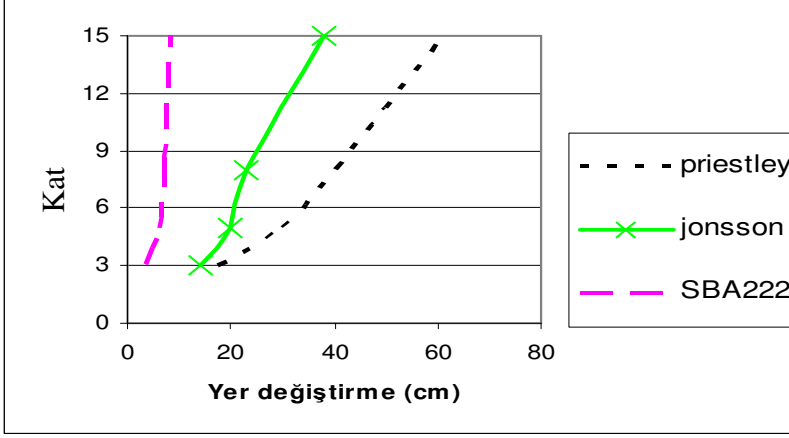


g) Yer değiştirme esaslı analizle CLS000 verisi için karşılaştırılma

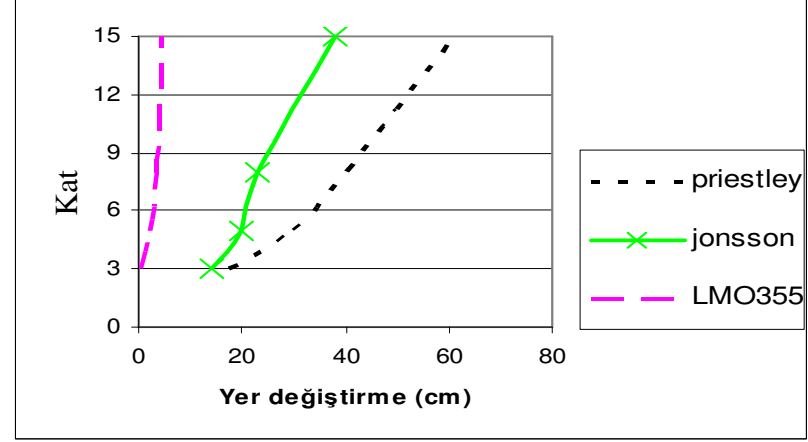


h) Yer değiştirme esaslı analizle KJM000 verisi için karşılaştırılma

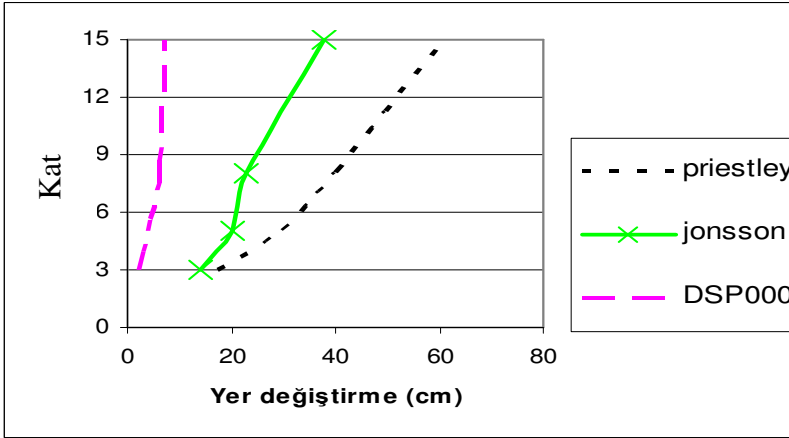
Şekil 2.36. Doğrudan yer değiştirme esaslı analizle zaman tanım alanında analiz sonuçlarının karşılaştırılması



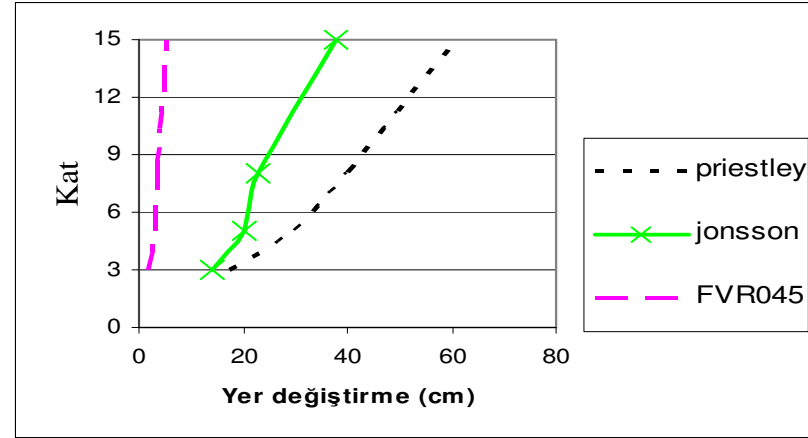
i) Yer değiştirme esaslı analizle SBA222 verisi için karşılaştırılma



j) yer değiştirme esaslı analizle LMO000 verisi için karşılaştırılma



k) Yer değiştirme esaslı analizle DSP000 verisi için karşılaştırılma

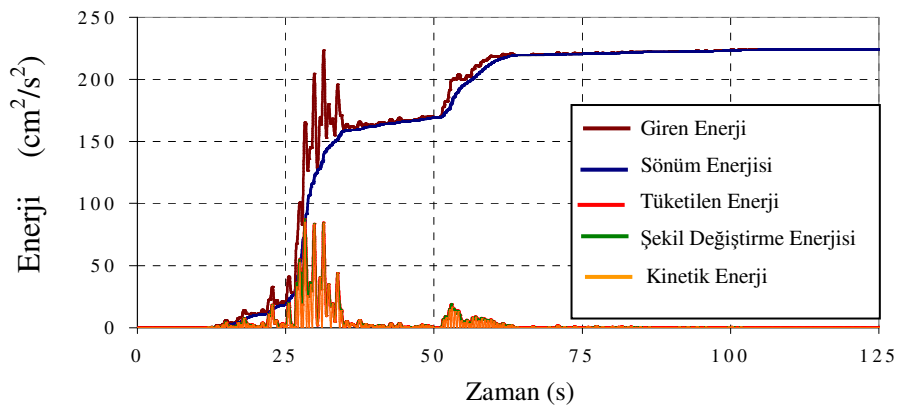


l) Yer değiştirme esaslı analizle FVR045 verisi için karşılaştırılma

2.3.3. Enerji Esaslı Performansa Bağlı Analiz

Depreme dayanıklı yapı tasarımında genel olarak şu iki problemten bahsetmek mümkündür. Birincisi; kritik yer hareketinin belirlenmesidir. İkincisi ise; yapının kapasitesinin ve tepkisinin belirlenmesidir. Depreme dayanıklı yapı tasarımında bir seçenek olarak enerjinin kullanılmasını ilk defa Housner önermiştir. Enerjiye dayalı yapı performans analiz ve tasarımında temel ilke bir yer hareketi süresince oluşan enerji talebini tahmin etmek ve yapının veya yapısal elemanların enerji tüketme kapasitelerini belirlemektir.

Bu tez kapsamında değerlendirilen diğer performansa bağlı analiz yöntemlerinde spektral ivme ve yer değiştirme esas alınarak deprem değerlendirilmesi yapılmaktadır. Oysa ki, enerji esaslı yöntemlerde enerji ve enerji parametreleri kullanılarak performans tanımı yapılmaktadır. Yapılar, deprem sırasında yapıya giren bütün enerjiyi tüketmek zorundadır. Bu enerjinin bir kısmı elastik birim şekil değiştirme enerjisi ve kinetik enerji olarak depolanmaktadır. Diğer kısmı ise yapısal ve yapısal olmayan elemanlar tarafından sönüm ve doğrusal olmayan davranış yoluyla tüketilmektedir. Depremler oldukça düzensiz yer hareketleri olmalarına karşın yapıya giren enerji oldukça kararlı bir düzeydedir. Enerjiye bağlı performans analizleri diğer performans analizlerine göre daha güvenilir olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.37'de Kocaeli Depremi verisine ait enerji grafikleri görülmektedir.



Şekil 2.37. Kocaeli deprem verisi için enerji-zaman grafiği

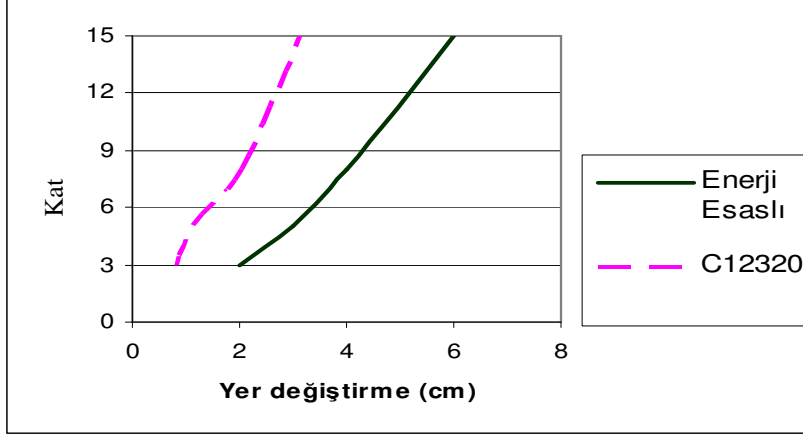
Doğrusal olmayan yapı sistemlerine enerji girişini doğru bir şekilde belirleyebilmek için en büyük yer değiştirme yerine, doğrusal olmayan yer değiştirme artımlarının toplam değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Herhangi bir yapı için enerji kavramları kullanılarak tasarım yapılabilmesi için, enerji talebinin enerji tüketme kapasitesinden küçük veya eşit olması gerekir. Deprem sonucu oluşacak yer hareketi süresince enerji talebinin tahmin edilmesi ve buna bağlı olarak uygun enerji tüketme kapasitesine sahip yapıların tasarlanması gerekmektedir. Eğer, enerji tüketme kapasitesi enerji talebinden büyükse depreme dayanıklı tasarım sağlanmıştır.

Enerji kavramlarının performansa bağlı analizde etkin olarak kullanılmasında halen üç ana sorun gündemdedir. Bunlar, deprem sırasında yapıya girecek olan enerji miktarının belirlenmesi, yapıya giren enerjinin yapı tarafından nasıl tüketileceği, yapı elemanlarının enerji tüketme kapasiteleridir. Bu sorulara cevap bulunabilirse, bir yapıya enerji girişi ve enerji kapasitesini karşılaştırmak mümkün olacaktır.

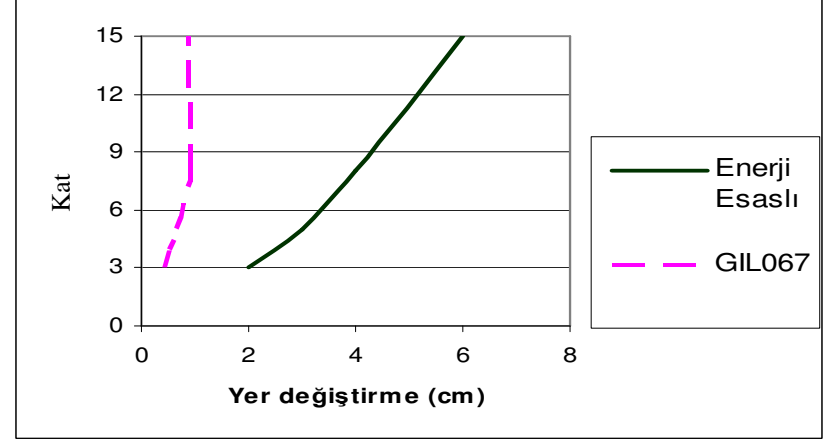
Tez kapsamında ele alınan enerji esaslı performans analizi, yapının tepe yer değiştirme değeri yerine artımsal itme analizinde yapı tarafından tüketilen enerjinin kullanılması üzerine oturtulmuştur. Enerji esaslı yer değiştirme ΔD_{en} , $\Delta D_{en} = \frac{\Delta E_n}{V_m}$ şeklinde ifade edilebilecektir. Bu değerler Şekil 2.38'de zaman tanım alanında analizlerle karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Bu yöntemle enerji parametreleri kullanılarak tek serbestlik dereceli sistemlerin kapasitelerinin belirlenmesi mümkün olmaktadır. Hareket denklemi kuvvetleri, kuvvetlerin dinamik dengesi üzerine kurulabilmekte veya enerji parametreleriyle ifade edilebilmektedir. Yöntem, Chopra tarafından ortaya atılmış olan Uyarlanmış Artımsal itme analizinin (Chopra ve Goel, 2002) geliştirilerek enerji esaslı artımsal itme analizlerinin gerçekleştirilmesi üzerine kurulmuştur. Bu enerji esaslı artımsal itme analizleri ilk defa Montes ve arkadaşları tarafından ortaya atılmıştır (Montes, 2004).

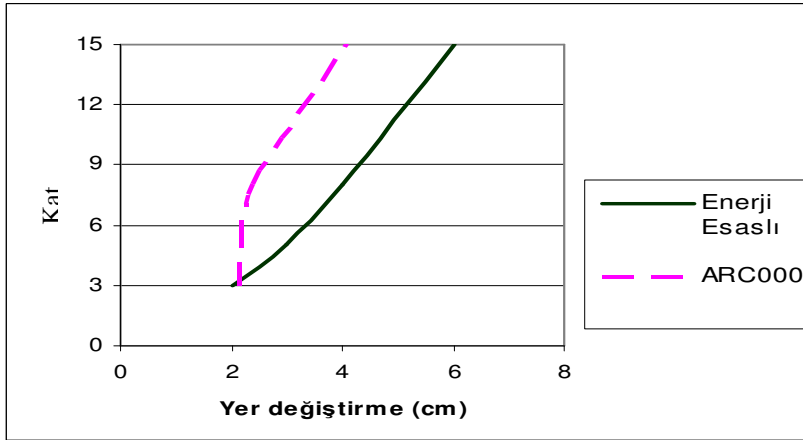
Şekil 2.38. Enerji esaslı yer değiştirme sonuçlarının zaman tanım alanında analiz sonuçlarıyla karşılaştırılması



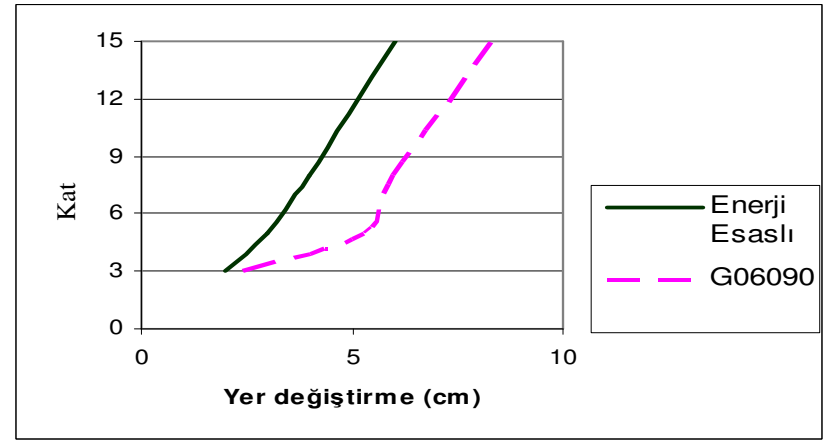
a) C12320 deprem verisiyle karşılaştırma



b) GIL067 deprem verisiyle karşılaştırma

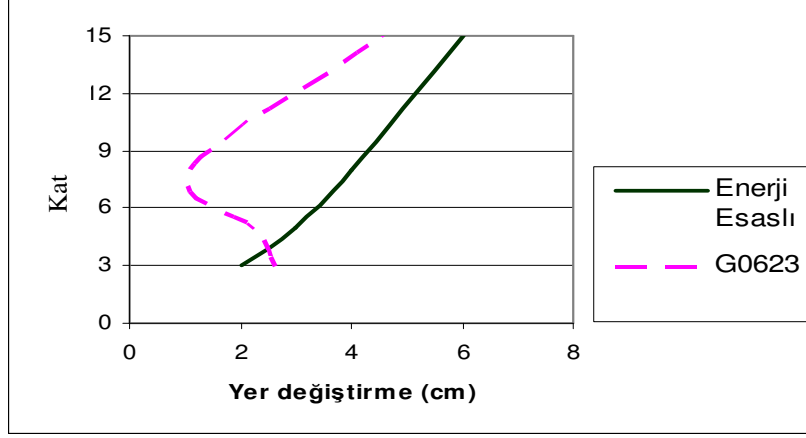


c) ARC000 deprem verisiyle karşılaştırma

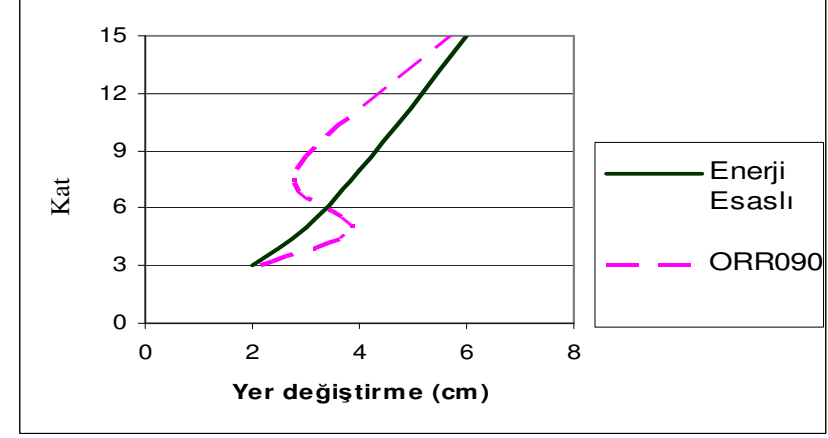


d) G06090 deprem verisiyle karşılaştırma

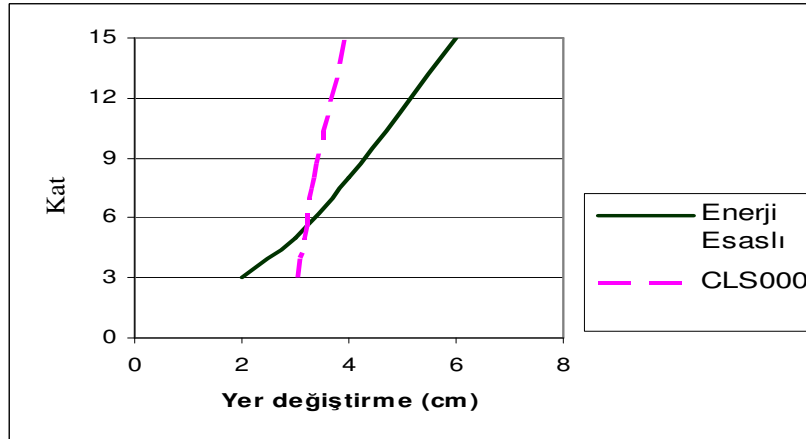
Şekil 2.38. Enerji esaslı yer değiştirme sonuçlarının zaman tanım alanında analiz sonuçlarıyla karşılaştırılması



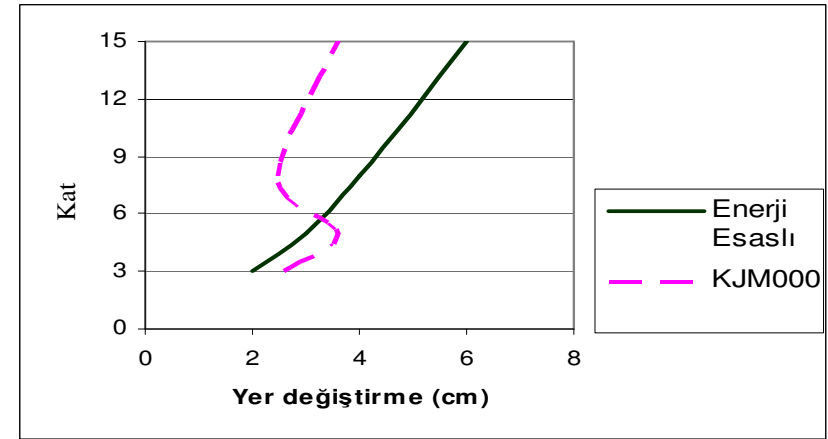
e) G06230 deprem verisiyle karşılaştırma



f) ORR090 deprem verisiyle karşılaştırma

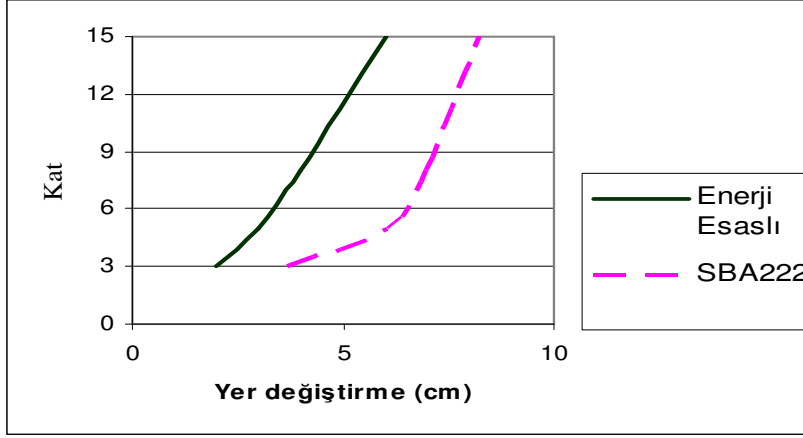


g) CLS000 deprem verisiyle karşılaştırma

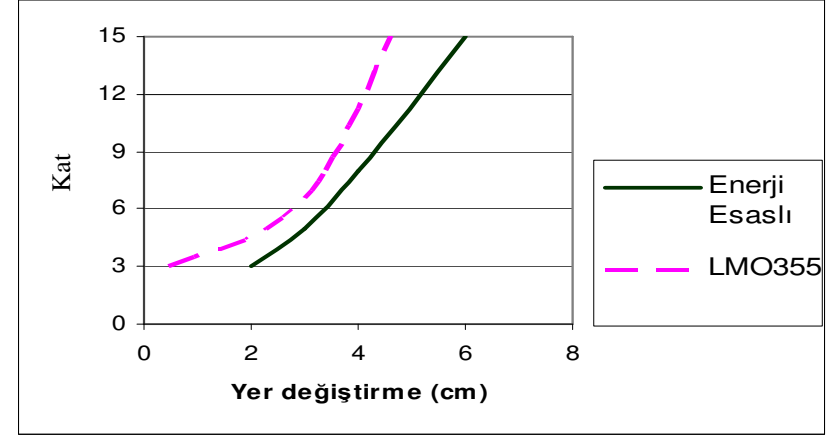


h) KJM000 deprem verisiyle karşılaştırma

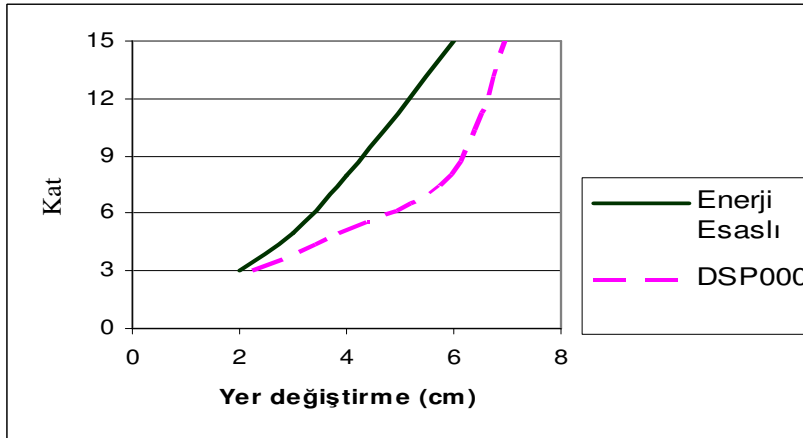
Şekil 2.38. Enerji esaslı yer değiştirme sonuçlarının zaman tanım alanında analiz sonuçlarıyla karşılaştırılması



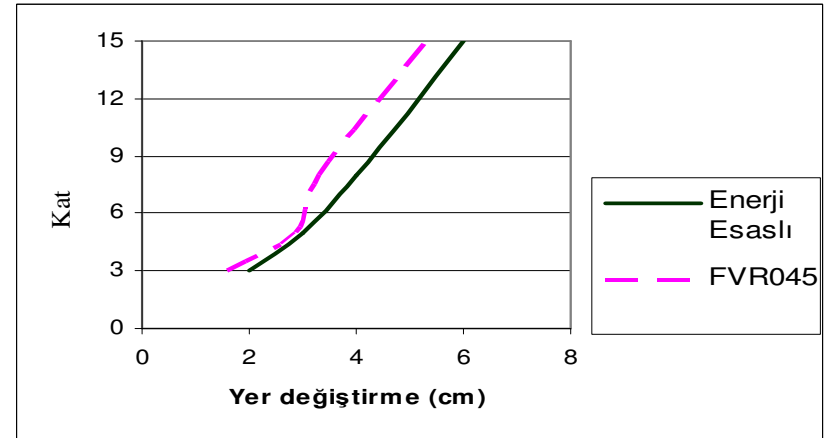
i. SBA222 deprem verisiyle karşılaştırma



j. LMO355 deprem verisiyle karşılaştırma



k. DSP000 deprem verisiyle karşılaştırma



l. FVR045 deprem verisiyle karşılaştırma

2.4. Performansa Bağlı Analiz Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Değerlendirmesi

Bu bölümde, betonarme çerçevelerin sismik esaslı performansa bağlı analizlerinin farklı yöntemlerle gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, performansa bağlı analiz yöntemlerinden kuvvet esaslı yer değiştirme kontrollü, doğrudan yer değiştirme esaslı ve enerji esaslı analiz yöntemleri ele alınmıştır. Performansa bağlı analiz yöntemleri, kapasite spektrumu yöntemi ve yer değiştirme katsayısı yöntemi olarak gerçekleştirilmiştir. Doğrudan yer değiştirme esaslı analiz kapsamında da Pristley ve Jonsson tarafından önerilen yöntemler uygulanmıştır. Enerji esaslı analizlerin gerçekleştirilmesi için ise, enerji parametreleriyle yer değiştirme talepleri belirlenmiştir.

Analizlerin gerçekleştirilmesi amacıyla PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center sayfasından (<http://peer.berkeley.edu>) 12 deprem verisi seçilmiştir. Seçilmiş olan bu depremler için idealleştirmeler yapılmış ve kapasite spektrumlarıyla karşılaştırılacak olan talep spektrumları elde edilmiştir. Verilmiş olan idealleştirmeler Matlab programı kullanılarak elde edilmiştir. Tüm performans analizleri sonucunda elde edilen yer değiştirme değerleri zaman tanım alanında analiz sonucunda elde edilen yer değiştirme değerleriyle karşılaştırılmıştır. Performans analizi sonuçları her deprem verisi için yapılmış olan zaman tanım alanında analiz sonuçlarıyla karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

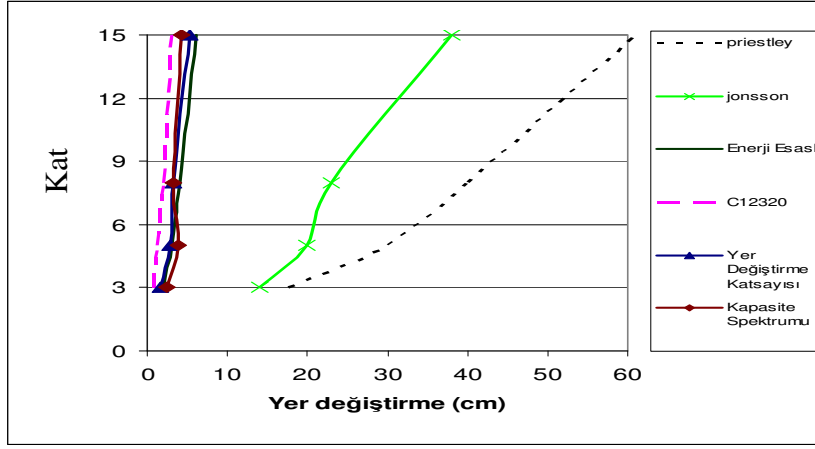
Kuvvet esaslı yer değiştirme kontrollü performansa bağlı analiz yöntemlerinden kapasite spektrumu yöntemi ve yer değiştirme katsayısı yöntemi FEMA 440'da verilmiş olan tüm güncellemeler gerçekleştirilerek uygulanmıştır. Kapasite spektrumu yöntemi ve yer değiştirme katsayısı yöntemi detaylı olarak incelenmiştir. Yöntemlerin uygulanması betonarme çerçeveler üzerinde yapılmıştır. Analiz sonuçları da şekiller üzerinde gösterilmiştir. Kapasite spektrumu ve yer değiştirme katsayısı analiz yöntemi sonuçları özellikle yapı yükseklikleri arttıkça gerçek sonuçlardan uzaklaşmaktadır. Bu yöntemler, belirli bir yer hareketi için yapıya yüklenen yer değiştirme talebiyle yapının yatay yük taşıma kapasitesinin birbirine bağlı olduğu esasına dayanmaktadır.

Kuvvet esaslı yer değiştirme kontrollü performansa bağlı analiz yöntemlerinin ardından doğrudan yer değiştirme esaslı yöntemlerle analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizler, Priestley ve Jonnson tarafından verilen yer değiştirme profilleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemin uygulanmasında genel olarak öncelikle yer değiştirme spektrumları belirlenmekte ve ardından çerçeve sistemler için başlangıç yer değiştirme profilleri elde edilmektedir. Yer değiştirme esaslı profillerin zaman tanım alanında analizlerle karşılaştırılması mevcuttur. Bu grafikte Priestley ve Jonnson sonuçları birlikte verilmiştir.

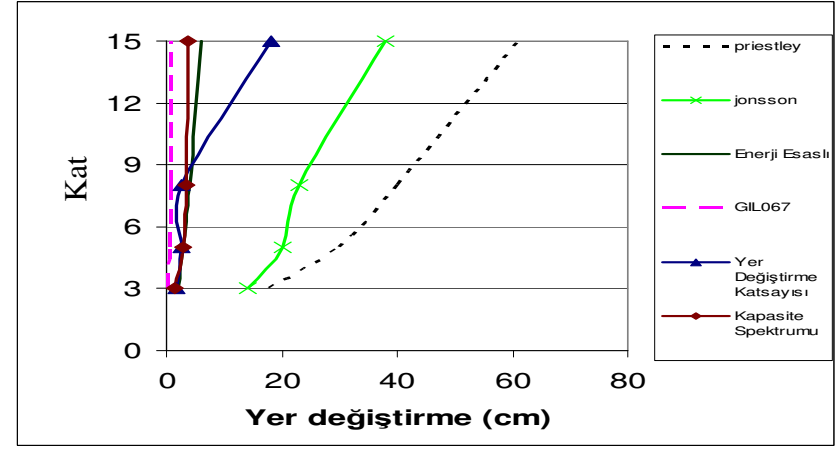
Son olarak enerji esaslı performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizler kapsamında elde edilmiş olan enerji esaslı artımsal itme eğrileri kullanılmıştır. Enerji esaslı analiz sonuçlarının zaman tanım alanında analiz sonuçlarıyla karşılaştırılması verilmiştir. Bu yöntem diğer yöntemlere göre enerji parametrelerinin de analizlere katılması sebebiyle zaman tanım alanında analiz sonuçlarına daha yakın sonuçlar vermektedir.

Kat yüksekliklerine karşı yer değiştirme grafiklerinde çoğunlukla, doğrudan yer değiştirme esaslı yöntemler zaman tanım alanında analiz sonuçlarından uzak çıkmaktadır. Yer değiştirme katsayısı yöntemi sonuçları da kat yükseklikleri arttıķça zaman tanım alanında analiz sonuçlarından uzaklaşmaktadır. Aynı durum kapasite spektrumu yöntemi için de geçerlidir. Performansa bağlı analiz yöntemleri, zaman tanım alanında analiz yöntemleriyle bire bir örtüşmemektedir. Enerji esaslı analiz yöntemlerinden elde edilen yer değiştirme değerleri, zaman tanım alanında analizlerden elde edilen sonuçlara daha yakın sonuçlar vermektedir. Bunun sebebi, enerji esaslı analizlerde, enerji parametrelerinin de analize dahil edilmesidir. Dolayısıyla, enerji esaslı performans analizleri en gerçekçi yaklaşımı sunmaktadır.

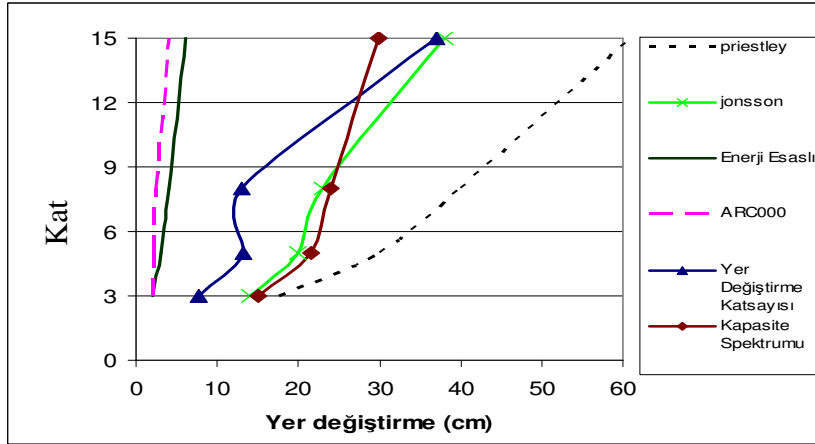
Genel olarak performansa bağlı analiz yöntemlerinin zaman tanım alanında analiz sonuçlarından uzak sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu sebeple, performansa bağlı analizleri daha gerçekçi kılmak amacıyla sismik performansın olasılıklı olarak ifade edilmesi en gerçekçi yaklaşım olacaktır.



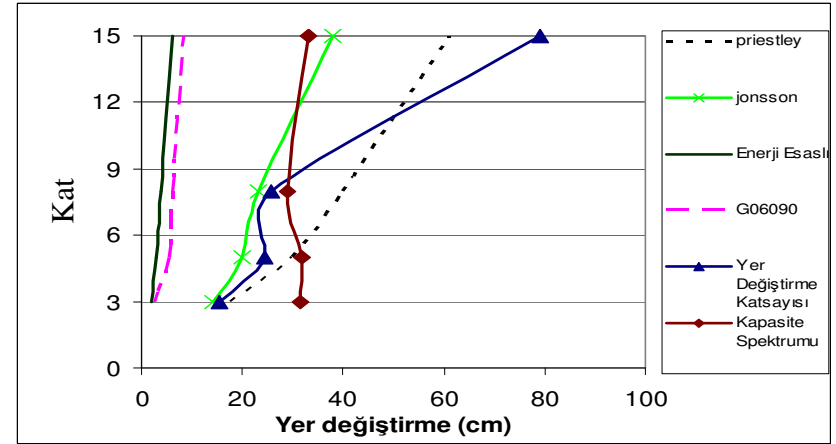
a) Tüm sonuçların C12320 deprem verisiyle karşılaştırılması



b) Tüm sonuçların GIL067 deprem verisiyle karşılaştırılması

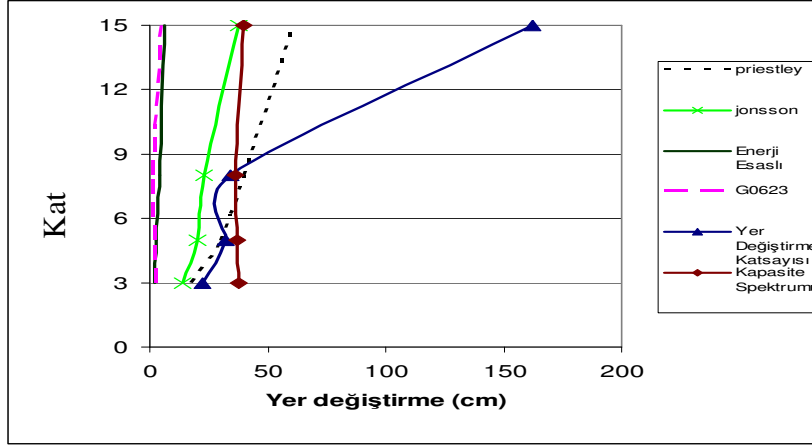


c) Tüm sonuçların ARC000 deprem verisiyle karşılaştırılması

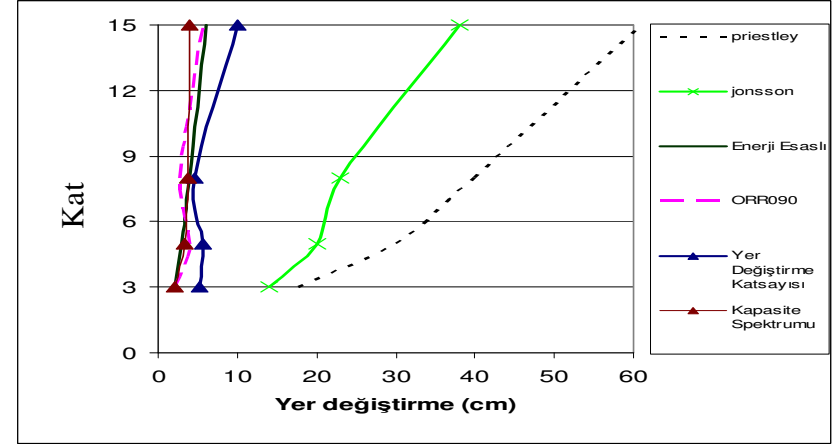


d) Tüm sonuçların G06090 deprem verisiyle karşılaştırılması

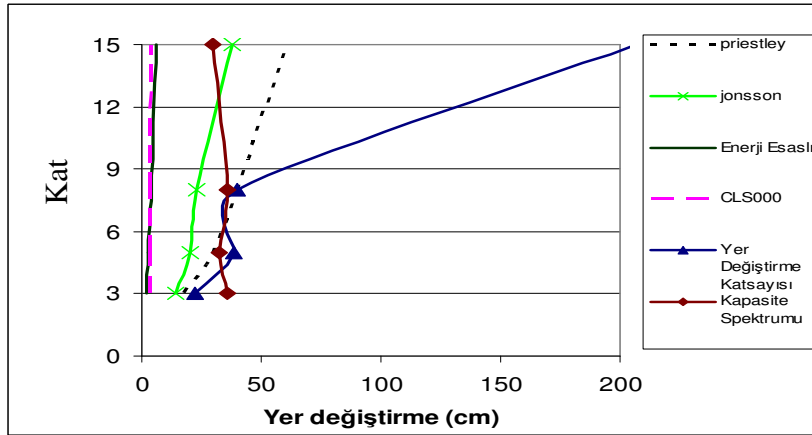
Şekil 2.39. Performansa bağlı analiz sonuçlarının zaman tanım alanında analizle karşılaştırılması



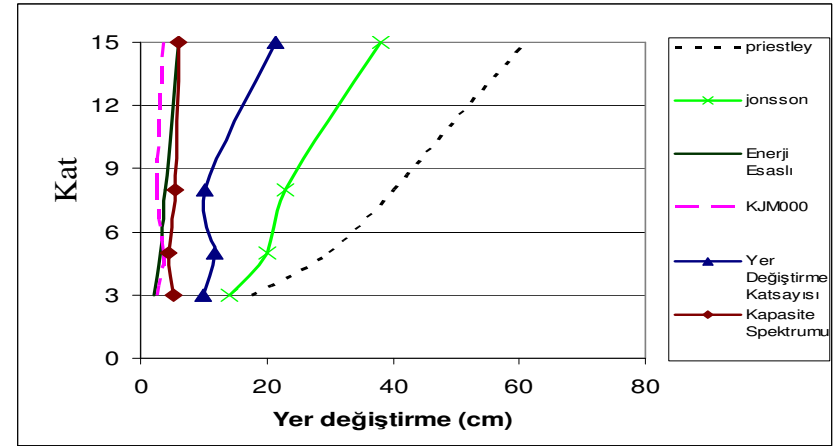
e) Tüm Sonuçların G06230 deprem verisiyle karşılaştırılması



f) Tüm Sonuçların ORR090 deprem verisiyle karşılaştırılması

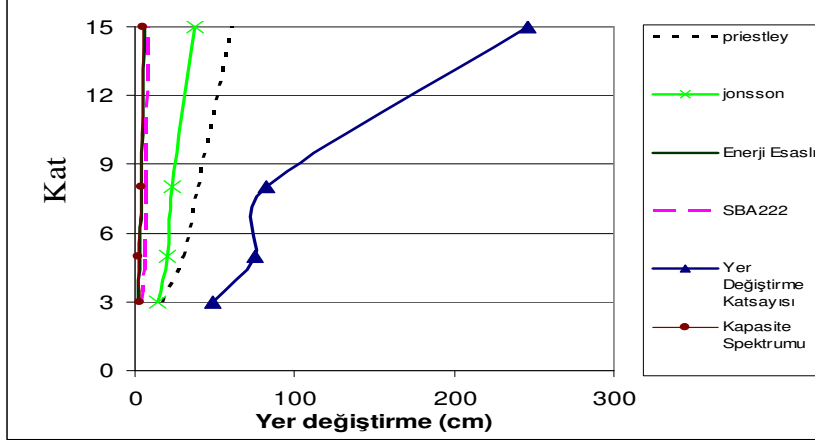


g) Tüm Sonuçların CLS000 deprem verisiyle karşılaştırılması

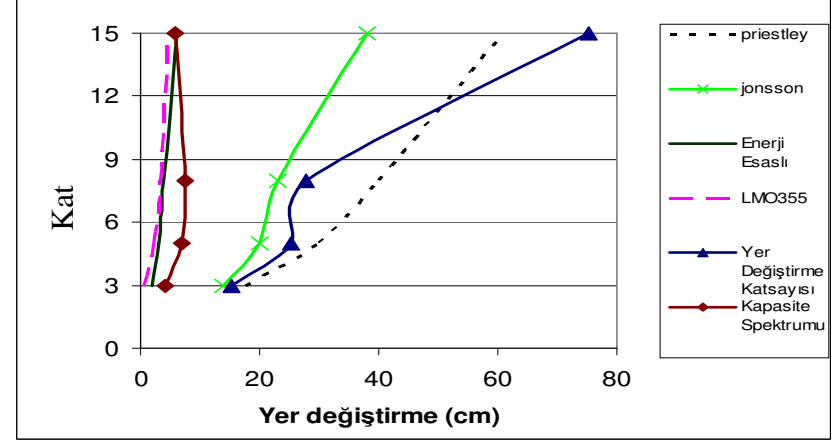


h) Tüm Sonuçların KJM000 deprem verisiyle karşılaştırılması

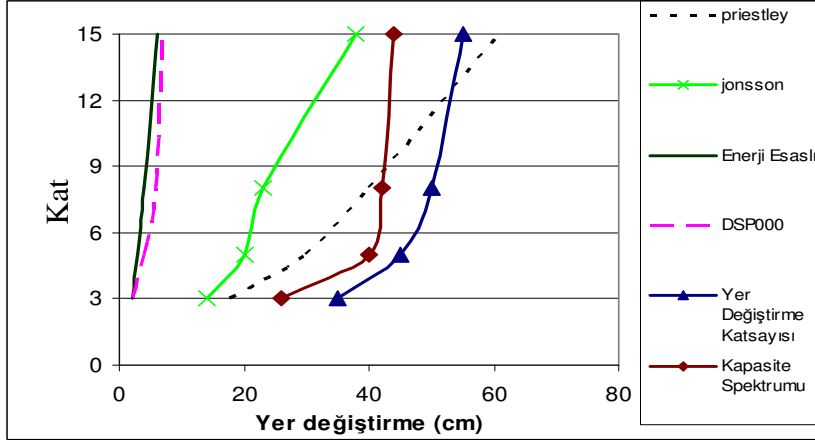
Şekil 2.39. Performansa bağlı analiz sonuçlarının zaman tanım alanında analizle karşılaştırılması



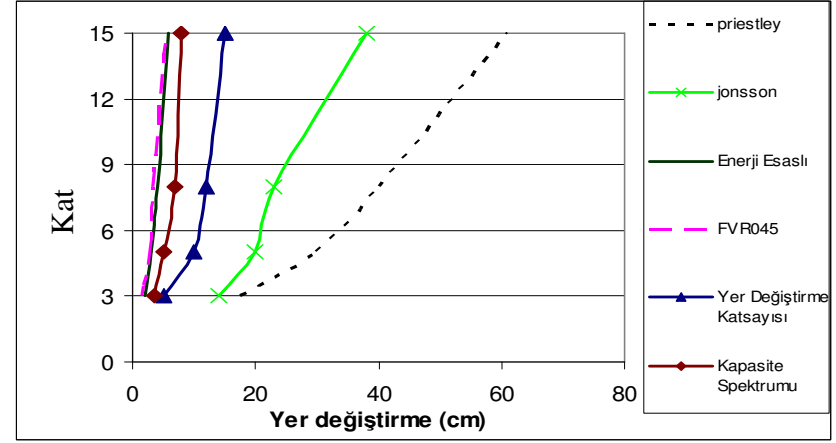
i) Tüm Sonuçların SBA222 deprem verisiyle karşılaştırılması



j) Tüm Sonuçların LMO355 deprem verisiyle karşılaştırılması



k) Tüm Sonuçların DSP000 deprem verisiyle karşılaştırılması



l) Tüm Sonuçların FVR045 deprem verisiyle karşılaştırılması

BÖLÜM ÜÇ

YAPI SİSTEMLERİNİN DEPREM DAVRANIŞLARININ BELİRLENMESİ İÇİN MEVCUT GÜVENİLİRLİK ESASLI PERFORMANSA BAĞLI ANALİZ YÖNTEMLERİ

3.1 Giriş

Güvenilirlik esaslı performansa bağlı analiz yöntemleri, yapı davranışının olasılıklı olarak ifade edilmesi üzerine dayanan yöntemlerdir. Yapı sistemlerinin analizinde risk, meydana gelmesi istenmeyen bir olayın olma olasılığıdır. Genellikle yapısal güvenilirlik yapının göçme olasılığı üzerine kurulur, bu da, analizlerde yapıların kırılma performansı olarak isimlendirilir.

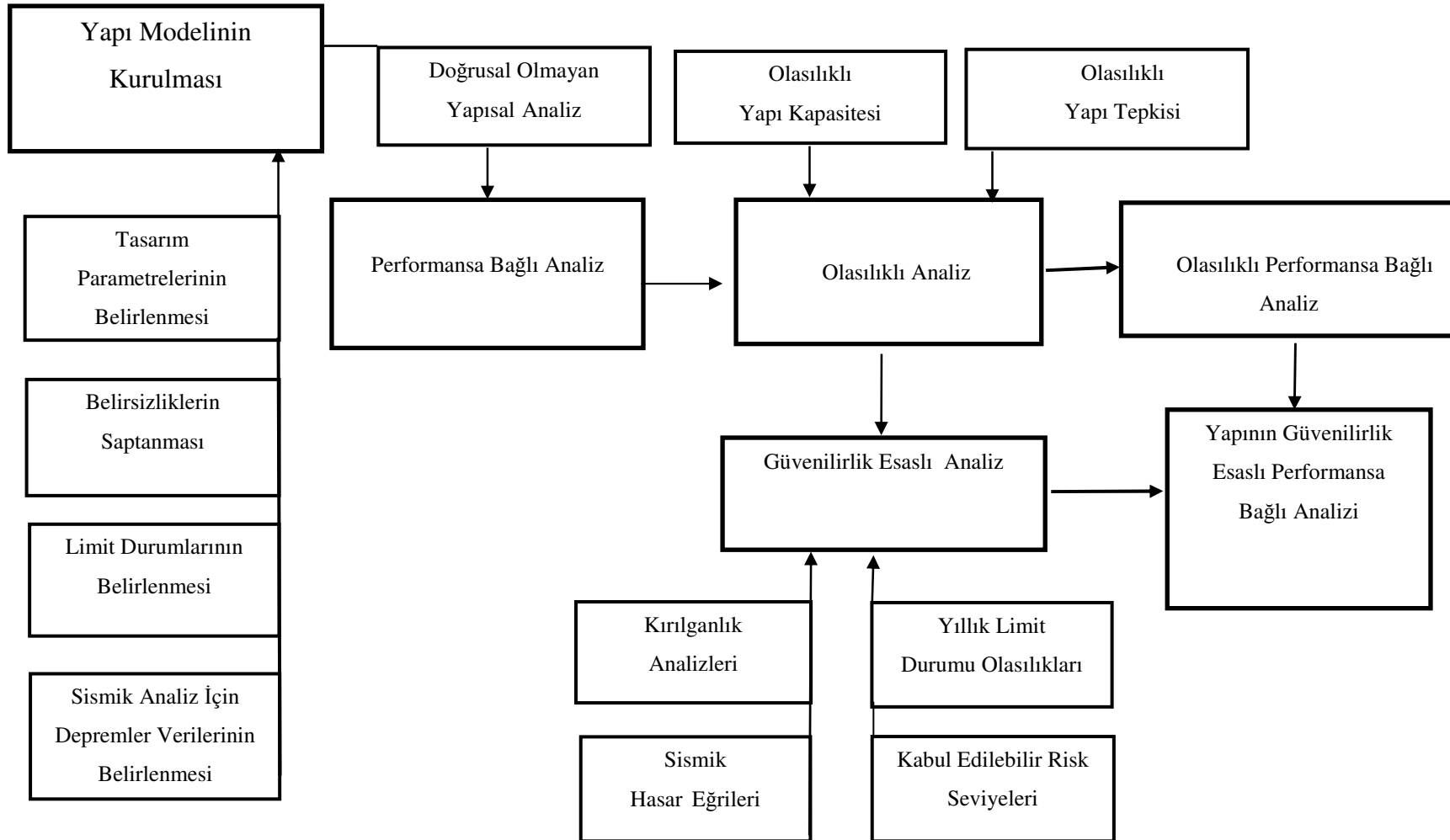
Yapısal analiz, yapı için kurulan bir model üzerine dayandırılır. Yapısal model belirli bir yapı ve limit durumu için kurulur. Model, rastsal karakteristik gösteren yapısal parametrelerin analizlerde kullanılarak yapının deprem davranışının olasılıklı ifadelendirilmesini sağlar. Modellemelerin yetkinliği, yapılan kabullerin ve edinilen bilgilerin güvenilirliğine bağlıdır. Güvenilirlik de bilgilerin veya modellerin test edilebilirliği ile ilişkilidir. Sınırlı bilgi durumunda yapılan kabullerin sonuçlara etkisi duyarlılık analizleriyle irdelenmelidir.

Güvenilirlik esaslı performans analizi yöntemleri üç ana başlık altında toplanabilir. Bunlar, “Tam Olasılıklı”, “Yaklaşık Olasılıklı” ve “Yarı Olasılıklı” yöntemlerdir. Tam olasılıklı yöntemler, göçme olasılıklarını tanımlayan entegrallerin tam çözümlerine dayanır. Yaklaşık olasılıklı yöntemler, göçme olasılıklarının yaklaşık olarak hesaplanmasına dayanır. Bu yöntemler, tüm yapı davranışını ifade etmek için kullanışlı değildir. Ancak yarı olasılıklı yöntemlerde kullanılan kısmi güvenlik katsayılarının belirlenmesinde ve yapısal elemanların belirli limit durumu risklerini ifade etmekte kullanılabilirler. Yarı olasılıklı yöntemler ise, yapısal güvenilirlik, yüklerle ve malzeme mukavemetleriyle ilgili karakteristik değerlerle ve kısmi güvenlik katsayılarıyla sağlanır. Yarı olasılıklı yöntemler güvenilirlik esaslı analizlerde en çok kullanılan ve en uygun yöntemlerdir (Gündüz, 1991).

Güvenilirlik esaslı performans analizi, yapının kırılma durumu için kabul edilen limit durumun aşılma olasılık kavramının yapısal analizlere dahil edilmesi olarak ifade edilir. Kırılma analizleri, yapının hasar alabilmeye olan yatkınlığının ifadesidir. Güvenilirlik esaslı performans analizlerinde kullanılan kırılma analizleri aynı zamanda sismik hasar eğrileri yardımıyla hasar tespitinde de kullanılmaktadır.

Yapısal tasarımı, üç aşamada değerlendirmek gereklidir. Bunlar; ön tasarım, yapısal analiz ve değerlendirme aşamalarıdır. İlk ön tasarım aşamasında, tasarımı yapılacak olan veya mevcut yapının maruz kalacağı deprem etkilerinin olabileceği gerçeği bir modellenme ile belirlenmesidir. Bu modellerin kurulmasında sismik davranışı, yapı geometrisini ve malzeme bilgilerini ifade eden parametrelerde belirsizlikler söz konusu ise bunlar olasılıklı olarak tanımlanmalıdır.

Doğru bir biçimde belirlenen tasarım parametreleriyle, seçilen bir yapısal performans analiz yöntemiyle gerçekleştirilen analiz sonucunda, performans parametreleri elde edilmiş olur. Analiz sonucunda elde edilen performans parametreleri tasarım parametrelerinin fonksiyonu olarak tanımlanabilir. Diğer taraftan da belirli olmayan yanal ötelemler gibi güvenilirlik esaslı performans parametrelerinin belirlenmesinde, olasılıklı sismik hasar modelleri ve olasılıklı analiz yöntemlerini uygulamak gereklidir. Performans parametreleri belirlendikten sonra, mutlaka her performans kriterinin ne kadar uygun olduğu değerlendirilmelidir. Bu adıma değerlendirme adımı denir. Yapının performansı, tasarımcı tarafından belirlenen güvenlik sınırları altında değerlendirilir. Güvenilirlik, yapı elemanları için ayrı ayrı ve yapı sisteminin tümü için belirlenebilir. Örneğin, deprem etkisiyle yapının tüm ömrü boyunca göstermesi olası yanal yer değiştirmeler bir belirsizlik olarak düşünülebilir ve böylece, doğrudan yanal yer değiştirme güvenilirliği ile ilişkili olan performans parametreleri seçilmiş olur. Daha sonra da belirlenmiş katlar arası yanal yer değiştirme limitlerine bağlı olan yapısal güvenilirliğini veya hasar güvenilirliğini belirlemek amacıyla güvenilirlik esaslı performans analizi yapılması gerekli olur. Şekil 3.1.'de yapıların güvenilirlik esaslı performans analizinin hesap adımları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Yapıların güvenilirlik esaslı performans analizinin hesap adımlarının şematik gösterimi

3.2. Mevcut Güvenilirlik Esaslı Performans Analiz Yöntemlerinde Olasılık Kavramı ve Analiz Parametreleri

Performans analizlerinin olasılığın dahil edilmediği deterministik yöntemlerle yapılması, yapının deprem davranışının ifade edilmesinde yetersiz kalmaktadır. Çünkü analizlerde yapı kapasitesi ve tepkisi gibi ifadelerde değişik nedenlere bağlı belirsizlik ve eksiklik olabilir. Bu belirsizlik ve eksikliklerin olasılıklı bir şekilde ifade edilmemesi deterministik yöntem sonuçlarını güvenli kılmaz.

Olasılık kavramı, yapı güvenliğinin belirlenmesinde ilk defa 1940'larda kullanılmaya başlamıştır (Marek, 2003). Son yıllarda, olasılıklı yapı analiz yöntemleri büyük gelişmeler göstermiştir. Yapıda, kullanım yükleri, dış etkiler ve malzeme özelliklerindeki belirsizlikler, yapısal analizlerde olasılıklı güvenilirlik esaslı analiz yöntemlerinin kullanılmasını gerektirmiştir. Güvenilirlik esaslı analizde olasılık kavramı, iç ve dış etkiler altındaki yapının güvenliğinin belirlenmesi ve hasar tahminin yapılması amacıyla kullanılmaktadır. Olasılıklı analizlerin kullanılması belirsizlik ve rasgelelik kavramları üzerine oturtulmuştur. Bu analizlerin doğru yapılması için, yapının analizinde kullanılan verinin güvenilir olmasının yanında kullanılan analiz yönteminin de doğruluğu önemlidir.

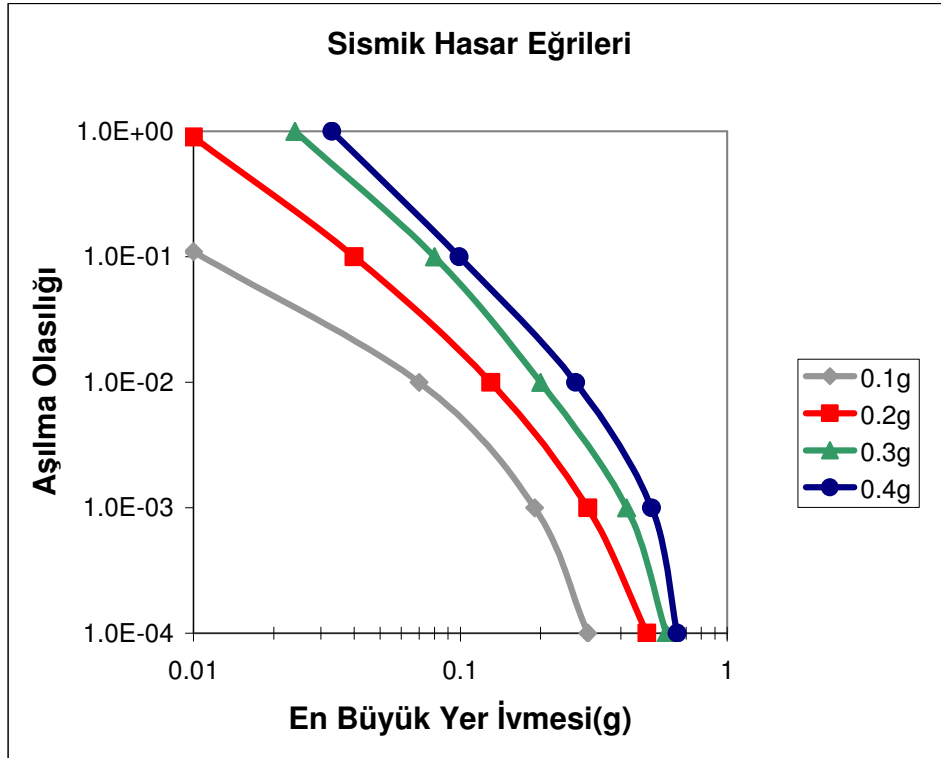
Güvenilirlik esaslı performans analizlerinde, olasılık kavramlarının tanımlanması, aynı zamanda risk değerlendirme analizlerinin de yapılabilmesini sağlamaktadır. Böylelikle yapı sistemlerinin risk ifadeleri ve aşılma olasılıkları durumları elde edilir. Analizler yapılırken, sismik hasar eğrileri, yapıların limit durumları, risk seviyeleri kavramlarına yer verilir. Kabul edilebilir risk seviyesinin belirlenmesi açısından olasılıklı analiz büyük önem taşımaktadır. Yapı analizlerinde kullanılan olasılıklı yapı kapasitesi ve tepkisi gibi parametreler güvenilirlik esaslı analizin temel unsurları olarak kabul edilmektedir. Tüm bu güvenilirlik analiz kavramları bu bölüm kapsamında açıklanmıştır.

3.2.1. Sismik Hasar Eğrileri

Sismik hasar, aşılma olasılığına karşı en büyük yer ivmesi ile gösterilen sismik eğriler ile ifade edilmektedir. Sismik hasar eğrileri jeolojik yapı, sismik ve bölgesel özellikler ve yerel şartlar esas alınarak elde edilir. Şekil 3.2’de, 0.05g’den 0.4g’ye kadar değişen çeşitli seviyelerdeki tasarım depremlerine bağlı olarak geniş kapsamlı sismik risk eğrileri verilmektedir. Bu sismik risk eğrileri, NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) standardına göre çizdirilmiştir (NEHRP, 1999).

Yapı şartnamelerinde, tasarım depremi, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem olarak tanımlanmaktadır. Bu deprem dönüş periyodu 475 yıl olan deprem anlamına gelmektedir. Bu tasarım depremi ne orta şiddette, ne de büyük şiddette bir depremdir. Gerçekte birçok yapı şartnamesi orta ve büyük şiddetteki depremi net olarak tanımlayamamaktadır. Orta ve büyük şiddetli deprem tanımlarını, şöyle yapmak mümkün olabilir: Orta şiddetteki depremler, yıllık aşılma olasılığı 0.01 (100 yıllık depremler) olan depremlerdir. büyük şiddetteki depremler ise yıllık aşılma olasılığı 0.0005 (2000 yıllık depremler) olan depremlerdir. Orta ve büyük depremlerin üst sınırları da sırası ile 100 yıllık ve 2000 yıllık depremler olarak tanımlanabilir.

Sismik hasar eğrileri (Şekil 3.2) kullanılarak, bu iki depreme göre uç değer hedef güvenilirlik indisleri belirlenmiş ve Tablo 3.1’de gösterilmiştir. Sismik hasar eğrileri, NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program)’de Amerika Birleşik Devletleri için oluşturulmuştur. Bu eğrilerin dünyanın farklı bölgeleri için oluşturulması çalışmaları devam etmektedir. Sismik hasar eğrileri bölgenin jeolojik yapısı, yayılım azalması (attenuation), bölgesel özellikler ve yerel yerleşime göre elde edilmektedir. Sismik hasar eğrileri, deprem oluşma sıklıkları göz önüne alınarak çizdirilmektedir.



Şekil 3.2. Sismik hasar eğrileri (NEHRP standardındaki değerleri ile çizilmiştir)

3.2.2. Limit Durumlar

Limit durumları genel olarak ele alınacak olursa, yapının göçme, burkulma, denge kararsızlığı, yanal yer değiştirme limiti ve kullanılabilirlik gibi tüm olası durumlar göz önüne alınarak tasarım gerçekleştirilir. Ancak, ilk akma ve göçme bu limit durumlar içinden iki ana limit durumudur. Bir moment dayanım çerçevesi için, ilk akma yapının herhangi bir yerinde ilk plastik mafsallın oluşumu olarak tanımlanır. Deprem etkisinde kalan bir yapı ilk akma noktasına ulaşmazsa yapının tepkisi elastik sınırdan kalır. Oysaki talep değerleri elastik sınırı geçmiş olabilir. Bu nedenle, ilk akma limit durumu kullanılabilirlik limit durumu olarak ele alınabilir. Yapının göçmesi tükenme mekanizmasının oluşumu olarak tanımlanır. Göçme limit durumu dayanım limit durumunu temsil eder.

3.2.3. Risk Seviyeleri

Birçok yapı şartnamesi kabul edilebilir risk seviyesini açıkça ifade etmemektedir. Genel olarak risk, yıllık limit durumu olasılıkları veya ölenler ve hasar maliyeti cinsinden tanımlanabilir. Depremlerle, ölenler arasındaki ilişki açıkça tanımlanmamıştır. Hasar maliyeti doğrudan ve dolaylı kayıpları içine alır. Dolaylı kayıpları birçok durumda tahmin etmek oldukça zordur. Bu nedenle, kabul edilebilir riskleri temsil etmek üzere yıllık limit durum olasılıkları kullanılır. Risk seviyesini açıklamak için güvenilirlik indeksi; β kullanılmaktadır. 50 yıllık tasarım ömrü için zati ve hareketli yük etkisindeki yapılar için, yapı şartnamelerinde yer alan dayanım limit durumuna karşılık β güvenilirlik indeksi değeri 3.0 olarak verilmiştir (Ellingwood, 1980). Deprem etkisindeki yapılar için β 'nin değeri değişmekte ve yaklaşık olarak 1.75 olmaktadır. Galambos yapmış olduğu çalışmada, yapının göçmesine eşdeğer olan toplam hasara (yaşam kaybı) karşılık hedef güvenilirlik indeksi β_H 'nin değerlerini araştırmıştır. Tablo 3.1'de Hedef Güvenilirlik İndisleri β_H değerleri verilmiştir (Galambos, 1980).

Tablo 3.1. β_H Hedef güvenilirlik indisleri (Galambos, 1980)

Limit Durum	β_H
Hafif Hasarlar	2.0
Orta Hasarlar	2.5
Ciddi Hasarlar	3.0
Tüm Hasar (Yaşam kaybı olmadan)	3.5
Tüm Hasar (Yaşam kaybı mevcut)	4.0

Kabul edilebilir risk seviyesi, yapı fonksiyonunu, limit durumlarının özelliklerini, artan limit durumlarını ve hasar maliyetini temel alarak saptanmalıdır. Bu nedenle, kabul edilir risk seviyesinin veya hedef limit olasılığının, değişik limit durumları için aynı olması gerekliliği yoktur. Hedeflenen olasılık, kabul edilir risk anlayışına göre bir değişim etkisindedir. Kabul edilir risk seviyeleri üç farklı yapı tipi için sınıflandırılabilir: Bunlar, çok önemli, yüksek riskli ve sıradan yapılardır.

Çok önemli yapılar, felaket sonrası hemen iyileştirilmesi gereken ve deprem sırasında veya sonrasında ölenlerin ya da tıbbi müdahale gerekenlerin toplanacağı yapılar olarak tanımlanmaktadır. Tipik örnekleri itfaiye ve hastane yapılarıdır. Yüksek riskli yapılar, öncelikli olarak çok sayıda insanın toplanabileceği yapılar olarak tanımlanmaktadır. Bu iki kategoride yer almayan yapılar da sıradan yapılar olarak gruplanmaktadır. Sıradan yapılar için şiddetli depremlerin meydana gelmesi durumunda, ilk akma limit durumuna ulaşmanın kabul edilir olasılığı her yıl için 1/50'dir. Büyük depremlerin meydana gelmesi halinde göçme limit duruma ulaşmanın kabul edilir olasılığı her yıl için 1/1000'dir.

Çok önemli yapılar için limit durum olarak ilk akması için kabul edilir risk seviyesi yıllık olasılıkların 1/100'ü olarak alınır. Göçme limit durumu için kabul edilir risk seviyesi 1/5000 ve 1/10000 arasındadır. Çok önemli yapılar için limit durumlara ulaşma sonuçları daha ciddi olduğundan, bu durumda kabul edilir risk seviyeleri daha sıkı tutulmuştur. Yüksek riskli yapıların göçmesi için kabul edilir risk seviyesi çok önemli ve sıradan yapıların seviyeleri arasında olmalıdır. Bu nedenle kabul edilir risk seviyesi 1/2000 olarak seçilebilir. İlk akma limit durumu için, çok önemli yapıların risk düzeyi ile aynı olan, kabul edilir risk seviyesi yıllık olasılığı 1/100 olarak verilmiştir. Üç yapı sınıfı için kabul edilir risk seviyeleri Tablo 3.2'de özetlenmiştir. Burada $P_{FI,H}$ ve $P_{FG,H}$ sırası ile kabul edilir ilk akma ve göçme limit durum olasılığını simgelemektedir (Galambos, 1980).

Tablo 3.2 Yapılar için limit durum olasılığı risk seviyeleri (Galambos, 1980)

Yapı Sınıfı	Limit Durum Olasılığı	
	İlk Akma ($P_{FI,H}$) (/yıl)	Göçme ($P_{FG,H}$) (/yıl)
Sıradan Yapılar	1/50	1/1000
Yüksek Riskli Yapılar	1/100	1/2000
Çok Önemli Yapılar	1/100	1/5000 1/10000

3.2.4. Olasılıklı Yapı Kapasitesi

Malzeme çeşitliliği, yapısal geometri ve işçilik, yapı kapasitesini etkileyen önemli faktörlerdir. Bu sebeple, olasılıklı model, yapının gerçek davranışını daha iyi anlayabilmek için kullanılmaktadır. Özellikle, mevcut yapıların güçlendirilmesi konusunda karşımıza çıkan olasılıklı değerlendirme, malzeme ve işçilikte var olan beklenmeyen sonuçların olasılıklı ifadelendirilmesinde ve analizlerin değerlendirilmesinde istatistiksel ve olasılıklı yolun izlenmesi çok daha gerçekçi bir yaklaşım olacaktır.

Genellikle, olasılıklı yapı kapasitesinin log-normal dağılım gösterdiği kabul edilmektedir. Yapı kapasitesi, iki ana parametreye bağlıdır, bunlar medyan $\overline{S_{AK}}$ ve logaritmik standard sapma β_K 'dir. Hwang'ın yapmış olduğu çalışmalardan β_K 'nin, 0.28 ile 0.30 arasında olduğu belirlenmiştir. β_K ilk akma limit durumu için 0.3 olarak alınabilir (Hwang, 1990).

$$S_{AK} = \text{Lognormal}(\overline{S_{AK}}; \beta_K) \quad (3.1)$$

Medyan kapasitesi, spektral ivme cinsinden kapasite spektrumu yöntemine dayanan kapasite eğrisinden elde edilir. Bu metotta çerçeve sistemin yapısal yatay kuvvet kapasitesi, yapıya etkiyen yatay yüklerin adım adım arttırılması ile yapı elemanlarının üzerinde oluşan plastik mafsallara göre elde edilir.

Bir elemanın gerçek en üst kapasitesini belirlemek için, nominal dayanımlarını kullanmak yerine malzeme dayanımlarının aritmetik ortalama değerlerini kullanmak daha kolay olabilir. İyi tasarlanmış yapılar için kesme kapasitesinin eğilme kapasitesinden daha büyük olacağı düşünülmektedir. Bu yaklaşımla yapı elemanlarının eğilme göçmesine uğraması beklenir. Kirişlerin ve kolonların eğilme kapasiteleri, yapısal elemanların gerçek kapasitelerini belirlemede kullanılır. Buna ilave olarak kolon kapasitelerinin değerleri yanal yükler ile değişim gösterir. Bu sebeple kiriş kapasiteleri aynı kalırken kolon kapasiteleri değişir.

3.2.5. Olasılıklı Yapı Tepkisi

Olasılıklı yapı tepkisi, yapının dış etkiler altında ortaya koyacağı tepkinin olasılıklı olarak ifade edilmesidir. Yapının maruz kalacağı yüklerin olasılıklı özellikte olması yapının tepkisinin de olasılıklı olarak ifade edilmesini gerektirmektedir. Olasılıklı yaklaşımlar, yapıların olasılıklı tepkisinin olasılıklı kapasitesine oranı ile ifade edilmektedir. Sismik yapı tepkisi sismik kaynaklardan, yerel zemin koşullarından, sönüm ve yapısal periyot gibi özelliklerden etkilenir. Olasılıklı yapı tepkisi S_{AR} genellikle log-normal dağılım kullanılarak elde edilir.

$$S_{AT} = \text{Lognormal} (\overline{S_{AT}} ; \beta_T) \quad (3.2)$$

Burada $\overline{S_{AT}}$: Medyan Spektral İvme; β_T :Yapı tepkisinin logaritmik standart sapmasıdır. Tepki spektrumu, en büyük yer ivmesi ile normalize edilmiş tepki spektrumunun çarpımı olarak ifadelendirilmiştir.

$$\text{Spektral tepkinin medyan değeri: } \overline{S_{AT}} = A_p * \overline{S_{An}} \quad (3.3)$$

Burada A_p : en büyük yer ivmesi, kırılma analizinde parametre olarak kullanılır, $\overline{S_{An}}$: normalize edilmiş spektral ivmenin medyan değeridir.

S_{An} değeri, %5 sönüm oranlı normalize edilmiş tasarım tepki spektrumundan elde edilebilir. Eğer sönüm oranı %5'den farklı ise, sönüm uyarlama katsayısı kullanılmalıdır. Betonarme binalar için sönüm oranları %5 ile %10 arasında alınmaktadır. Hwang ve arkadaşları çalışmalarında, varyasyon katsayısını (COV) 0.3 ile 0.5 arasında elde etmişlerdir. Buna karşı gelen β_T , 0.29 ile 0.48 arasındadır. Yaptıkları çalışmada yapı tepkisinin standart sapması β_T 'nin değerinin yaklaşık olarak 0.35 alınabileceğini belirtmişlerdir (Hwang,1990). Böylelikle β_T için belirli bir parametrik değer elde edilmiş olmaktadır. FEMA'da HAZUS prosedürlerinde bu parametrik değerler olasılıklı ifadeler için önceki deneyimlere bağlı olarak belirlenmiştir (FEMA,1999).

3.3. Mevcut Tek Parametrelili Kırılmalı Analizlerine Dayanan Güvenilirlik Esaslı Performansa Bağlı Analiz Yöntemleri

Kırılmalı analizleri, ilk defa, nükleer yapıların sismik performansının belirlenmesinde kullanılmıştır (Gergly, 1985). Kırılmalı analizleri son zamanlarda, diğer yapıların da sismik analizinde kullanılmaya başlanmıştır (Mosalam ve ark., 1997). Olasılıklı yapı performansının tespitinde, kırılmalı analizleri, yapının taşıdığı hasar riskinin olasılıklı olarak ifadelendirilmesi üzerine kurulmuştur. Deprem nedeniyle oluşan elastik ötesi şekil değiştirmeler yapı stabilitesinde kayıplara neden olur. Yapılarda ortaya çıkabilecek büyük şekil değiştirmeler ve stabilite kayıpları hasar ile ifadelendirilmektedir. Yapı stabilitesindeki azalma ve dolayısıyla ortaya çıkabilecek hasar, güvenilirlik esaslı performansa bağlı analiz yöntemlerinde kırılmalı analizleriyle tanımlanır.

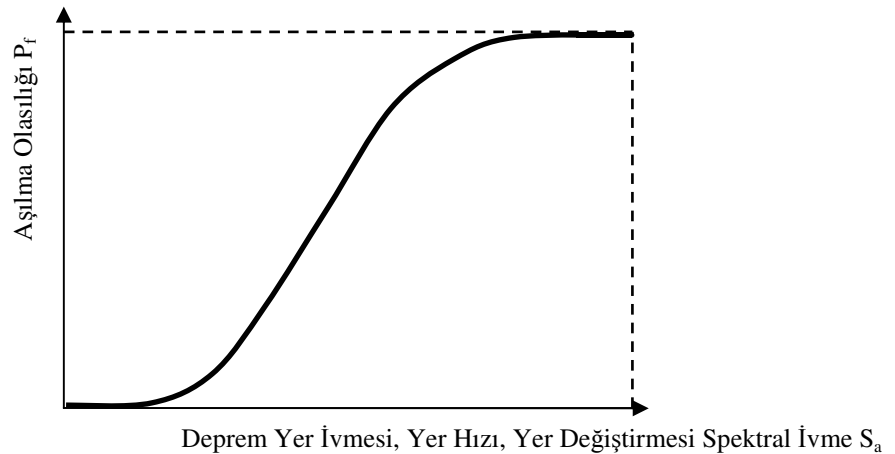
Kırılmalı, yapının hasar görülebilirliğinin olasılıklı ifadesidir. Deprem tehlikesi altındaki yapıların belirli bir deprem parametresi ile hasar risklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan analizlere kırılmalı analizleri denilmektedir. Gelecekteki depremlerin büyüklüklerinin ve etkilerinin bilinmemesi nedeniyle, yapısal performansı veya hasarı tahmin etmek için güçtür. Kırılmalı analizlerinde yapının sismik risk analizini ve sismik yer hareketine karşı olasılıklı tepkisini ifade etmek oldukça önemlidir.

Kırılmalı analizindeki belirsizlikler genellikle üç ana başlık altında toplanabilir, bunlar, yapının modellenmesindeki belirsizlikler, yapıya etkiyebilecek deprem karakteristiği ve yapı performans limit durumlarındaki belirsizliklerdir. Yapı performansının belirlenmesinde kullanılan kırılma olasılığı ifadesi olarak belirtilen P_f 'in tespitinde, deprem verisinin en büyük yer ivmesi, en büyük yer hızı, en büyük yer değiştirmesi, spektral ivme S_a veya enerji parametrelerinin bir fonksiyonu olan kırılma eğrisi, yapının olasılıklı performans değerlendirmesinde kullanılmaktadır. Kırılmalı ifadesi, yapı için belirlenecek; yapısal tepki değeri, ilk akma veya göçme gibi limit durumları, en büyük yer ivmesi veya en büyük yer hızına bağlı olarak belirlenir.

Kırılmalık analizlerinde basitleştirilmiş doğrusal olmayan yapısal analiz yöntemlerinden yararlanılmaktadır. İleride meydana gelecek depremlerin bilinmemesinden ötürü, hesaplamaların geçmişte olmuş depremler üzerine kurulması gereklidir. Bu sebeple, geçmiş depremler kullanılarak geleceğe yönelik analizler yapılmaktadır.

Günümüz tek parametrelilik kırılmalık analiz yöntemleri, örneğin, FEMA-HAZUS yönetmeliğinde, kırılmalık; yapısal tepki spektrumuna bağılı olarak verilmiştir (FEMA,1999; Dutta ve Manner, 1998). Bu yöntemlerde, aşılma olasılığı P_f ve spektral değerlerin dağılımı logaritmik normal dağılım şeklinde kabul edilmiştir. Kırılmalık eğrileri bir grup yapının tümü için ifade edilebileceği gibi ayrı ayrı olarak da ifade edilebilir. Bu eğriler deprem verilerinin nümerik analizlerine bağılı olarak elde edilebileceği gibi deneysel sonuçlar üzerinden de elde edilebilir.

Kırılmalık analizleri; verilerinin tespiti, yer hareketinin tanımı, yapısal hasarın tanımı ve kırılmalık analizi sonuçlarının değerlendirilmesi şeklinde dört adımda gerçekleştirilir. Şekil 3.3'de kırılmalık eğrilerinin şematik olarak gösterimi yapılmıştır. Bu gösterimde, y ekseninde aşılma olasılığı, x ekseninde ise deprem yer ivmesi veya yer hızı veya yer değıştirmesi spektral ivme değerlerinden biri verilir.



Şekil 3.3. Kırılmalık eğrilerinin şematik gösterimi

3.3.1. Mevcut Tek Parametrelili Kırılabilirlik Analiz Yöntemleri

Yapıların sismik analizinde kırılabilirlik, yapının belirli bir limit durumu için belirli bir yer hareketinde hasar olasılığının tanımlanmasıdır. Bir yapının şiddetli bir depreme maruz kalması ekonomik ömrü içinde bir olasılıktır, yani risk mutlak değildir. Bu süreç içinde şiddetli bir deprem oluşmama ihtimali de mevcuttur. Yapılar sismik açıdan değerlendirilirken olasılık modelleri gerçek davranışlarının farklılıkları da dikkate alınarak incelenmelidir. Kırılabilirlik analizleri, hasar olasılıklarını ve yapıların tepkilerini belirlemede bir araç olarak kullanılmaktadır.

Hwang ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmalarda kırılabilirlik eğrileri detaylı olarak verilmiştir (Hwang, 1988, 1994). Petrovski ve Nocevski, çalışmalarında ele aldıkları yapıların kırılabilirlik eğrilerini elde etmişlerdir (Petrovski, Nocevski, 1993). Singhal ve Kiremidjian hasar olasılık matrisini geliştirmişler ve kırılabilirlik analizlerini hasarla ilişkilendirmişlerdir (Singhal ve Kiremidjian, 1998). Tüm bu çalışmalar kırılabilirlik analizlerinin olasılıklı yapı davranışının belirlenmesinde kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Malzeme çeşitliliği, yapısal geometri önemli faktörlerdendir ve rasgele değişken olmalarından ötürü göçme olasılığı sıfırdan büyüktür. Bu sebeple, yapısal güvenilirlik, olasılıklı model kullanılarak göçme olasılığının hesaplanmasıyla ifade edilebilir. Genellikle olasılıklı yapı kapasitesinin ve tepkisinin log-normal dağılım gösterdiği kabul edilmektedir.

Yapıların kırılabilirlik analizleri, maruz kalacakları depremlerin en büyük yer ivmesi ve en büyük yer hızı değerleri ve belirlenen limit durumları için S_{AT} (yapısal tepki)'nin S_{AK} (yapısal kapasite)'yi geçme olasılığı üzerine kurulmuştur. Limit durumu olasılığı $P_f = \Pr(S_{AK} / S_{AT} \leq 1)$ dir. S_{AT} (yapısal tepki) ve S_{AK} (yapısal kapasite) log-normal dağılım gösterdiği için, denklem 3.4 ve denklem 3.5 ile kırılabilirlik analizlerinde kullanılmak üzere aşılma olasılığı olarak ifade edilen P_f elde edilebilmektedir (Ellingwood, 1980; Hwang ve ark., 1987, Hirata, 1994). Kırılabilirlik analizlerinde ortaya konan yaklaşımlardan en önemlileri, Zion ve Hirata tarafından geliştirilen metotlardır. Bunlar, klasik tek parametrelili kırılabilirlik analiz yöntemleridir.

3.3.1.1. Zion Kırılma Analiz Yöntemi

Bu metod, ismini Illinois'deki Zion nükleer enerji fabrikasından almıştır. Kırılma analizleri ilk defa bu fabrikanın olasılıklı risk analizinin gerçekleştirilmesi sırasında kullanılmaya başlanmıştır (Kennedy, 1984). Bu metoda, belirli bir hasar düzeyinde zemin ivmesinin rasgele bir değişken olduğu kabulü yapılmıştır. Bu analizde kırılma, bir zemin ivmesi değerine karşı gelen rasgele değişkenin istenen bir değerden büyük olması ihtimaliyle ifade edilmiştir. Denklem 3.4'de aşılma ihtimali değeri verilmiştir:

$$F(i) = P[I_d \leq i] \quad (3.4)$$

Bu denklemde I_d : log normal dağılım gösterdiği düşünülen rasgele değişken, i : yer hareketi değeri, F : herhangi bir i değeri için kırılma değeri.

$$F(i) = \Phi \left[\frac{1}{\beta_d} \ln \left(\frac{i}{\bar{I}_d} \right) \right] \quad (3.5)$$

Denklem 3.5'de, Φ : standart Gauss (normal) toplam dağılım fonksiyonudur. \bar{I}_d : rasgele değişkenin medyan değeri, β_d : önceki deneyimlere dayalı olarak tahmin edilen standart sapma değeridir.

FEMA'nın yayınlamış olduğu HAZUS yönteminde, Zion metodundan bahsedilmekte ve referans verilmektedir. Dört farklı hasar seviyesi için farklı yapıların kırılma eğrileri çizdirilmiştir (FEMA, 1999). Burada kullanılan standart sapma ve medyan değerleri deneyimlere dayalı olarak tahmin edilmiş veya standartlara dayandırılarak geliştirilmiştir.

3.3.1.2. Hirata Kırılgenlik Analiz Yöntemi

Sismik kırılgenlik Hirata metodunda, yapının sismik kapasitesi ve tepkisiyle ifade edilmektedir. Bu değerlerin log-normal dağılım gösterdiği kabulüyle rasgele değişkenler olduğu düşünülmüştür. Belirli bir limit durumu için yapının sismik kapasitesinin medyan ve standart sapma değeri, deneyimlere dayalı olarak tahmin edilmektedir (Hirata, 1994).

$$P_f = \Pr(S_{AK} / S_{AT} \leq 1) \quad (3.6)$$

En büyük Yer ivmesiyle elde edilen aşılma olasılığı;

$$P_f (PGA) = \phi \left[\frac{- \ln \left(\frac{S_{AK}}{S_{AT}} \right)}{(\beta_K^2 + \beta_T^2)^{1/2}} \right] \quad (3.7)$$

S_{AK} : yapısal kapasite için spektral ivme , S_{AT} : yapısal tepki için spektral ivme, PGA : en büyük yer ivmesi, β_T : yapı tepkisinin standart sapması, β_K : yapı kapasitesinin standart sapması

En büyük yer hızıyla elde edilen aşılma olasılığı ;

$$P_f (PGV) = \phi \left[\frac{\ln(PGV) - \lambda}{\zeta} \right] \quad (3.8)$$

PGV : en büyük yer hızı, ϕ : standart normal dağılım,, λ : PGV değerleri için aritmetik ortalama, ζ : PGV değerleri için standart sapmadır.

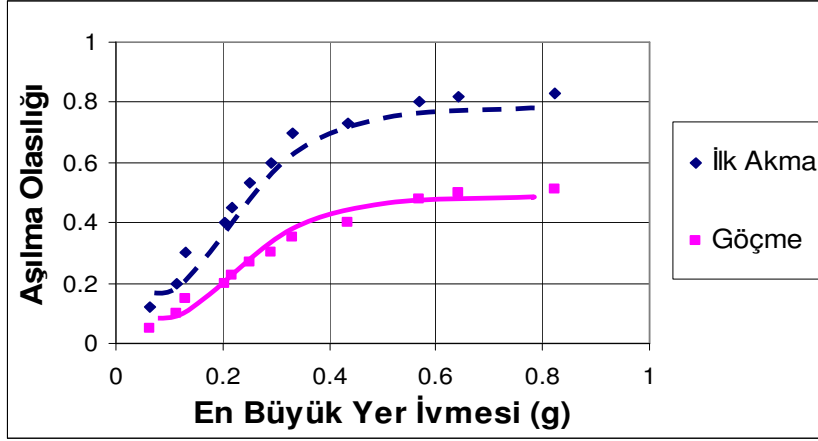
Bu denklemler kullanılarak şartlı limit durumu olasılıkları hem ilk akma hem de çökme limit durumlarına göre çeşitli en büyük yer ivmesi ve en büyük yer hızı değerleri altında hesaplanır. Kırılgenlik eğrilerinde y eksenini oluşturan P_f değerleri için limit durumu olasılığı en büyük yer ivmesi veya en büyük yer hızı değerleri arttıkça artış gösterir. Deprem şiddeti arttıkça yapının limit durumu aşılma olasılığı değeri artacaktır. Aşılma olasılığı ile yapının istenmeyen yapı limit durumuna ulaşma olasılığı ifade edilmektedir. Tez kapsamında, kırılgenlik analizleri Hirata metoduyla gerçekleştirilmiştir. Hirata metodu, günümüz kırılgenlik analizi anlayışının temelini oluşturmaktadır (Hirata, 1994).

3.3.2. Örnek Betonarme Çerçeve Sistemlerin Tek Parametrelilik Kırılmalılık Analizleri

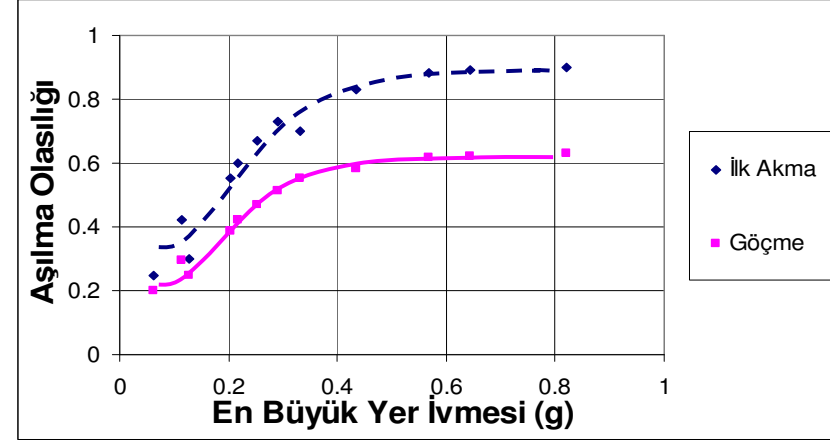
Betonarme çerçeve sistemlerin kırılmalılık analizleri 2. bölümde performans analizleri için kullanılan 12 deprem verisi için yapılmıştır. Bu deprem verileri tablo 2.9'da verilmiştir. Bu analizlerde ilk akma limit durumu için β_K değeri 0.30 olarak alınmıştır. Limit durumları olarak yapının göçme, burkulma durumu, denge kararsızlığı veya kullanılabilirlik gibi durumlar alınabilir. Ancak, ilk akma ve göçme iki ana limit durumdur. Dolayısıyla, analizlerde ilk akma ve göçme limit durumları dikkate alınmıştır. İlk akma ve göçme limit durumları yapıların performans davranışlarının belirlenmesinde en kritik limit durumlarıdır. Moment dayanım çerçeveleri için, ilk akma noktası yapının herhangi bir yerinde ilk plastik mafsallın oluşumu olarak tanımlanır. Bu nedenle ilk akma limit durumu kullanılabilirlik limit durumu olarak ele alınabilir. Yapının göçme durumu ise yapıda tükenme mekanizmasının oluşumu olarak tanımlanır. Göçme limit durumu dayanım limit durumunu temsil eder (Hui, 1991).

Analizler için güvenlik değeri $S_G = S_{AK}/S_{AT}$ ile belirlenmiştir. Seçilmiş olan dört çerçeve için en büyük yer ivmesi değerleri 0.0633g ile 0.8213g arasında değişen depremler uygulanarak, S_{AK} , S_{AT} ve S_G değerleri elde edilmiştir. S_{AK} yapısal kapasite değerini, S_{AT} ise yapısal tepki değerini ifade etmektedir. Belirtilen limit durumlarına göre kırılmalılık eğrileri elde edilerek tüm yapılar için en büyük yer ivmesiyle şekil 3.4'de çizdirilmiştir. Şekil 3.5'de de en büyük yer hızıyla çizdirilen kırılmalılık eğrileri verilmiştir. Şekil 3.6'da tüm yapılar için en büyük yer ivmesi ve en büyük yer hızı değerlerine karşı ilk akma ve göçme limit durumu olasılıkları tek bir grafik halinde verilmiştir. Böylece, en büyük yer ivmesi ve en büyük yer hızıyla çizdirilen kırılmalılık eğrileri karşılaştırılmıştır. Bu grafiklerde kullanılan aşılma olasılıkları, denklem 3.4 ve denklem 3.5 kullanılarak limit durumu olasılıkları, limit durumlarına göre en büyük yer ivmesi ve en büyük yer hızı değerlerine karşı hesaplanarak kırılmalılık eğrileri elde edilir. Şekil 3.6 incelenecek olursa, en büyük yer ivmesi ve en büyük yer hızıyla elde edilen kırılmalılık eğrileri arasındaki farklılık görülecektir.

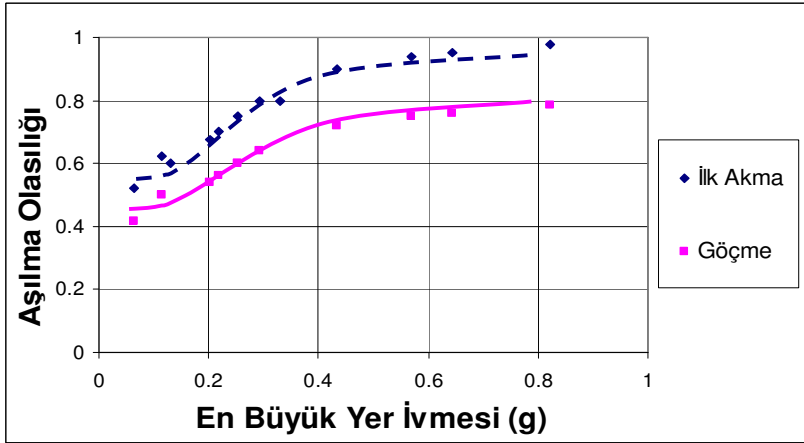
Şekil 3.4. 3, 5, 8 ve 15 Katlı çerçeveslerin ilk akma ve göçme değerleri için en büyük yer ivmesiyle kırılma eğrileri



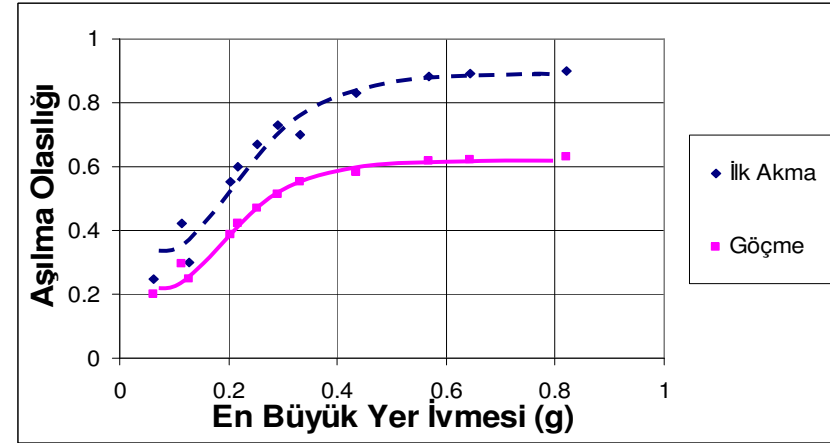
a) 3 Katlı yapının kırılma eğrileri



b) 5 Katlı yapının kırılma eğrileri

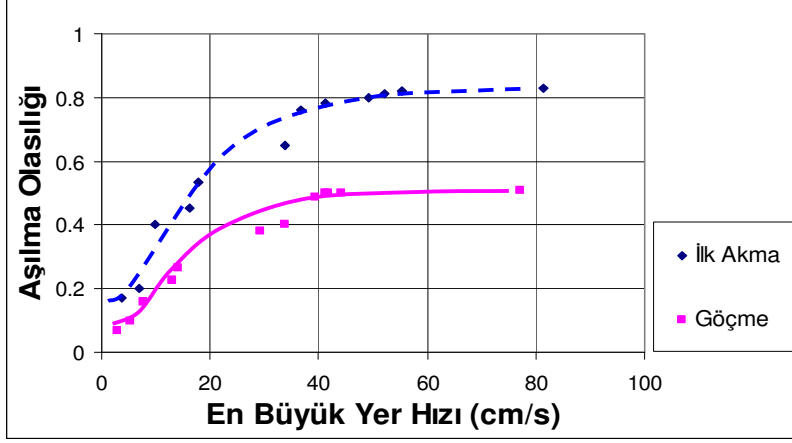


c) 8 Katlı yapının kırılma eğrileri

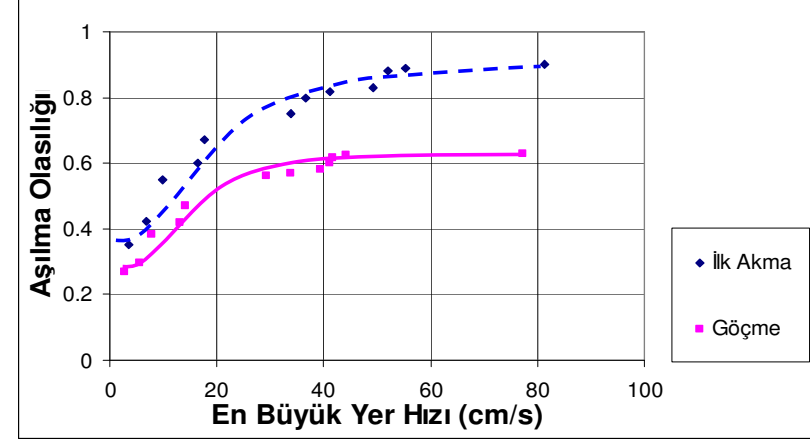


d) 15 Katlı yapının kırılma eğrileri

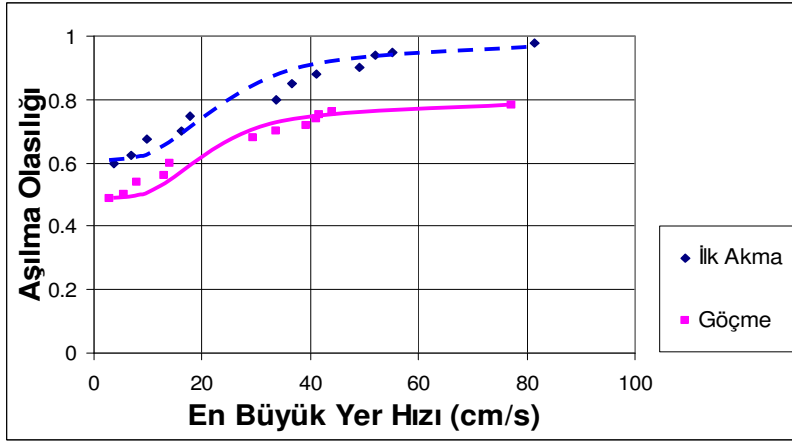
Şekil 3.5. 3, 5, 8 ve 15 Katlı geçvelelerin ilk akma ve göçme değerleri için en büyük yer hızıyla kırılma eğrileri



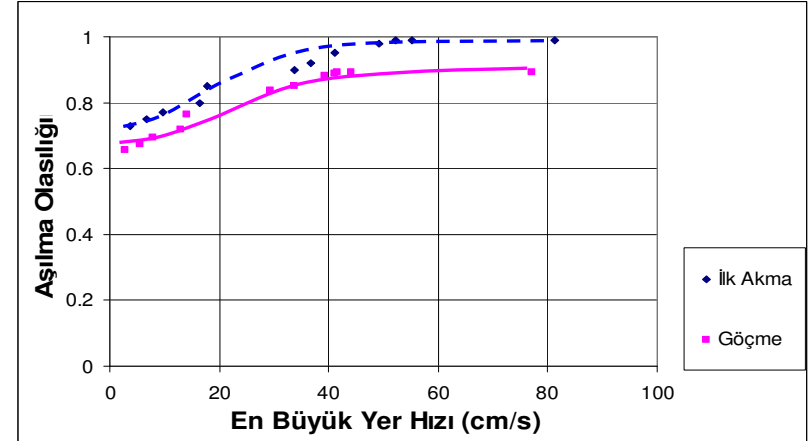
a) 3 Katlı yapının kırılma eğrileri



b) 5 Katlı yapının kırılma eğrileri

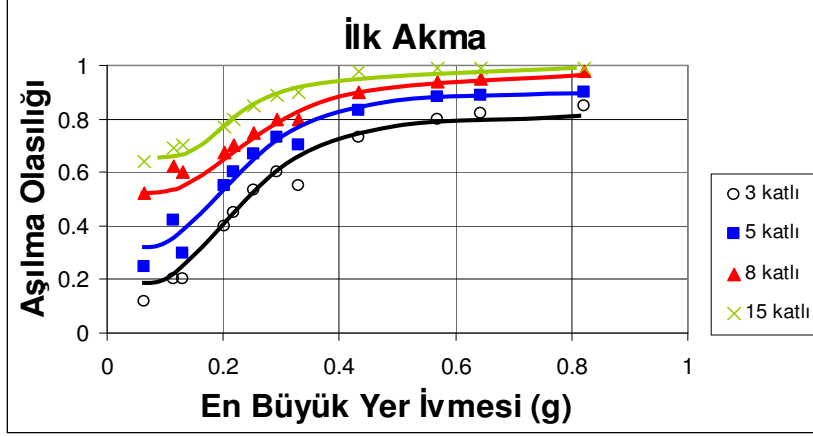


c) 8 Katlı yapının kırılma eğrileri

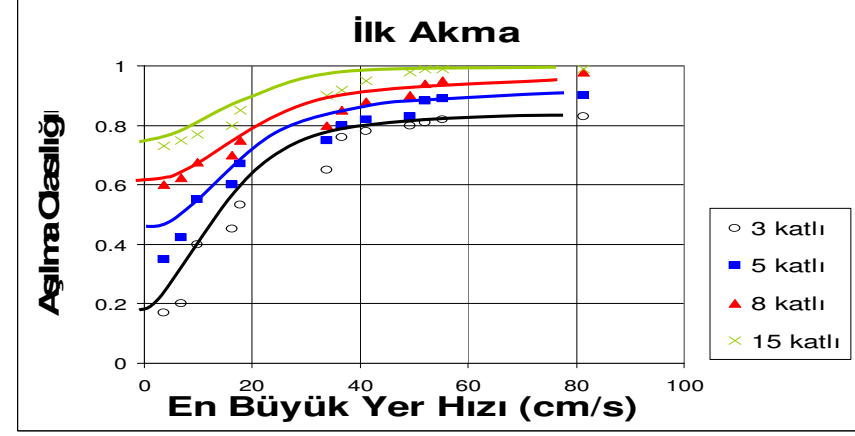


d) 15 Katlı yapının kırılma eğrileri

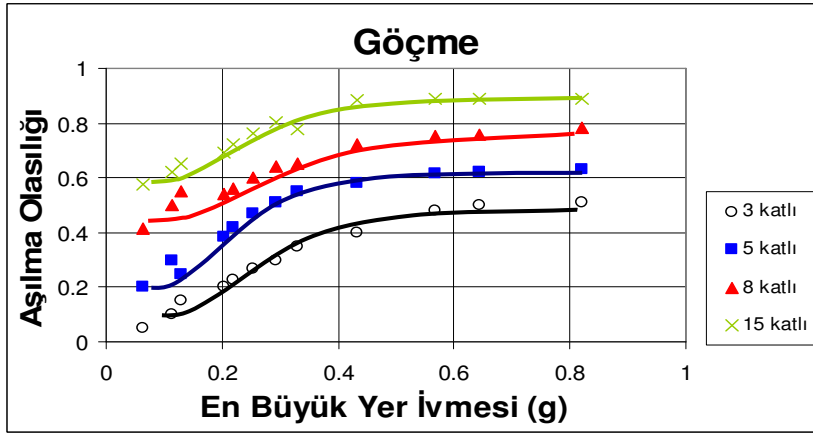
Şekil 3.6.3, 5, 8 ve 15 Katlı gerçevelerin ilk akma ve göçme için en büyük yer ivmesi ve en büyük yer hızıyla kırılma eğrileri



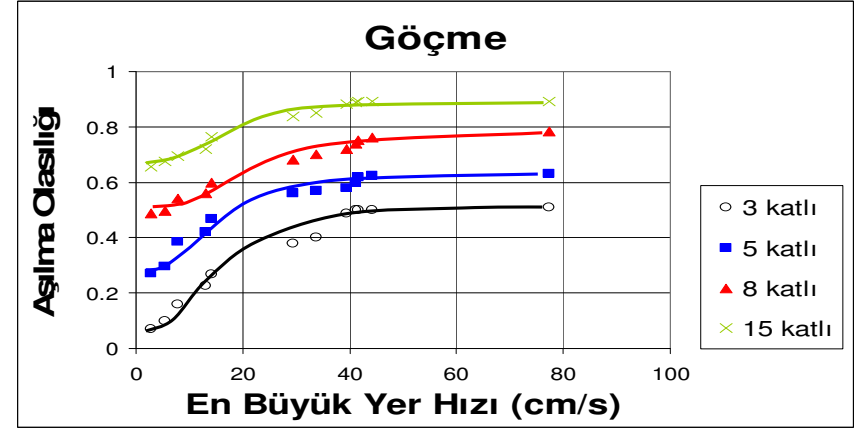
a) İlk akma için en büyük yer ivmesiyle kırılma eğrileri



b) İlk akma için en büyük yer hızıyla kırılma eğrileri



c) Göçme için en büyük yer ivmesiyle kırılma eğrileri



d) Göçme için en büyük yer hızıyla kırılma eğrileri

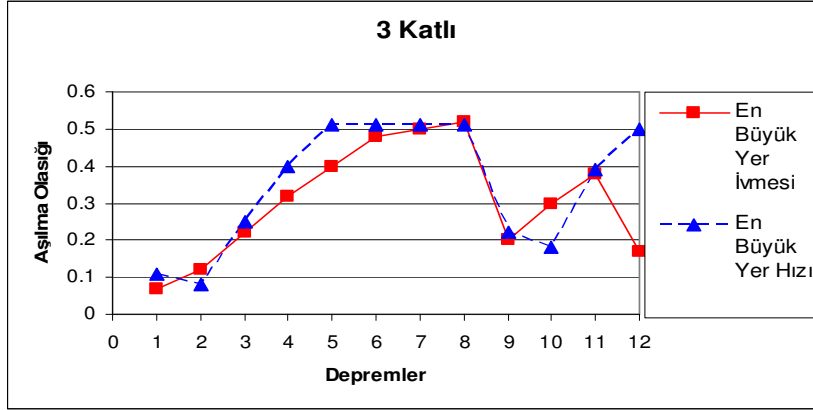
3.4. Yapı Sistemlerinin Deprem Davranışları İçin Mevcut Güvenilirlik Esaslı Performansa Bağlı Analiz Yöntemlerinin Değerlendirilmesi

Bu bölümde, güvenilirlik esaslı analiz ele alınmış, güvenilirlik esaslı analiz kapsamında kırılma analizleri gerçekleştirilerek betonarme çerçevelerin olasılıklı sismik analizleri için ilk akma ve göçme limit durumları için kırılma analizleri yapılmıştır. Kırılma eğrilerinden görülmektedir ki, göçme limit durumu yapı tasarımını belirleyen limit koşuludur. Yapıların göçme seviyeleri, yapıların sadece elemanlarının göçmelerine değil, bina sistemlerinin tümünden göçme mekanizmalarına da bağlıdır (Singhal ve Kiremidjian, 1998). Kırılma analizleri yapılması, yapı kapasitesini ortaya koyan medyan $\overline{S_{AK}}$ ve logaritmik standart sapma β_K sayesinde artımsal itme analizlerinin sonuçları ile yapının olası deprem karşısındaki davranışının daha iyi tahmin edilmesini mümkün hale getirmektedir.

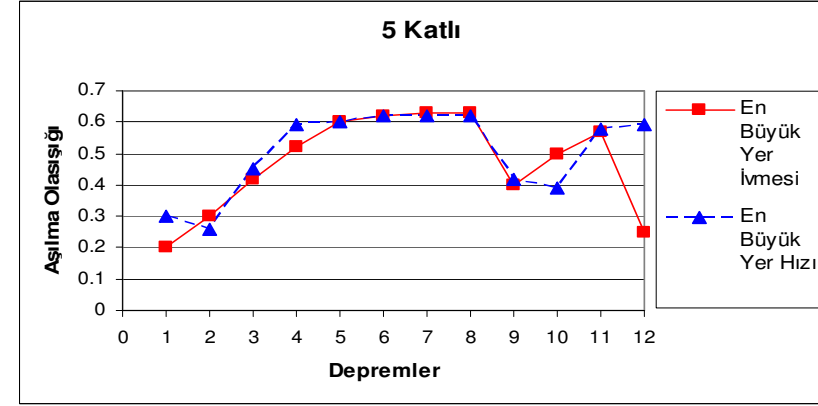
Şekil 3.4’de betonarme çerçeve sistemlerin en büyük yer ivmeleriyle elde edilen kırılma eğrileri, her yapı için ayrı ayrı ilk akma ve göçme limit durumlarına göre verilmiştir. Şekil 3.5’de de kırılma eğrileri en büyük yer hızı değerleriyle elde edilmiştir. Şekil 3.6’da ise, bu iki kırılma eğrisi karşılaştırılmıştır.

Şekil 3.7’de betonarme çerçevelerin göçme limit durumu için en büyük yer ivmesi ve en büyük yer hızıyla elde edilen aşılma olasılıkları değerleri verilmiştir. Aşılma olasılıkları değerleri, farklı parametreler için farklı sonuçlar vermektedir. En büyük yer ivmesi ve en büyük yer hızı değerleri için bulunmuş olan aşılma olasılığı değerleri farklılık arz etmektedir. Sonuçlardan elde edilen farklı aşılma olasılıkları değerleri yanıltıcı olacaktır. Bu sebeple tek bir parametreyle kırılma analizlerinin gerçekleştirilmesi doğru olmayacaktır. Buradan hareketle 4. bölüm kapsamında geliştirilen iki parametrelili yöntem verilmiştir. Bu yöntem kullanılarak iki parametreye bağlı olarak belirlenen aşılma olasılıkları daha gerçekçi sonuçlar verecektir. Daha gerçekçi sonuçlar, daha gerçekçi değerlendirme yapılabilmesini sağlayacaktır.

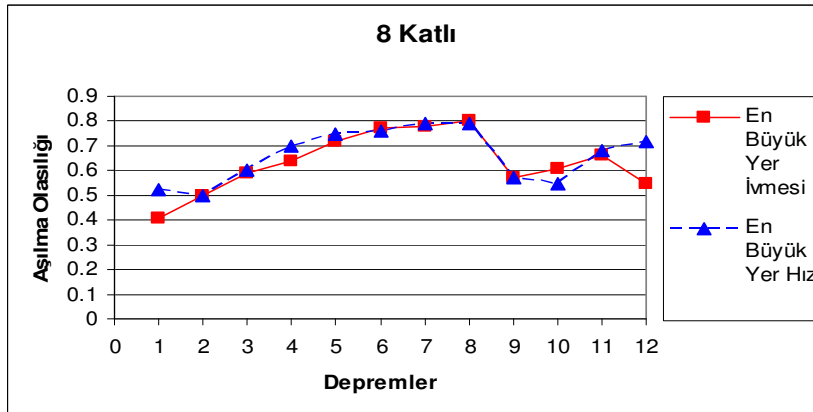
Şekil 3.7. 3, 5, 8 ve 15 Katlı yapıların göçme durumu için en büyük yer ivmesi ve en büyük yer hızıyla elde edilen aşılma olasılıkları



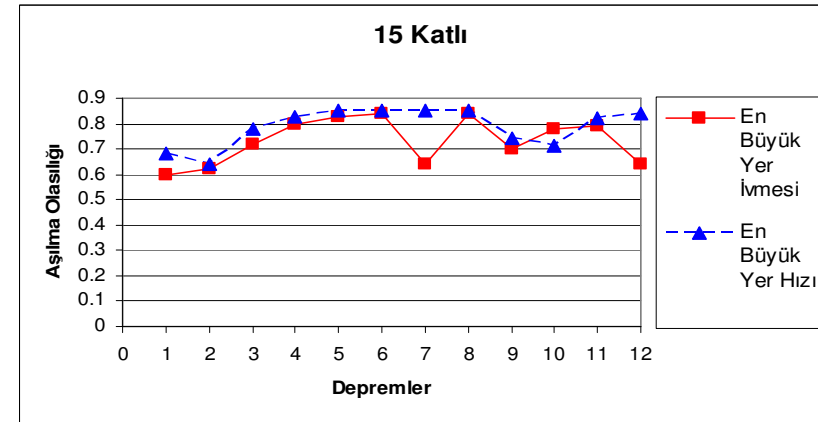
a) 3 Katlı yapıda en büyük yer ivmesi ve hızı için aşılma olasılıkları



b) 5 Katlı yapıda en büyük yer ivmesi ve hızı için aşılma olasılıkları



c) 8 Katlı yapıda en büyük yer ivmesi ve hızı için aşılma olasılıkları



d) 15 Katlı yapıda en büyük yer ivmesi ve hızı için aşılma olasılıkları

BÖLÜM DÖRT

YAPI SİSTEMLERİNİN DEPREM DAVRANIŞLARININ BELİRLENMESİ İÇİN GELİŞTİRİLEN GÜVENİLİRLİK ESASLI PERFORMANSA BAĞLI ANALİZ YÖNTEMLERİ

4.1. Giriş

Performansa bağlı analiz yöntemleri tez kapsamında 2. bölümde detaylı olarak incelenmiştir. 2. bölüm kapsamında günümüz mevcut performansa bağlı analiz yöntemleri ele alınmış ve bu yöntemlerle yapılan analiz sonuçları değerlendirilmiştir. 3. bölüm kapsamında da mevcut güvenilirlik esaslı performansa bağlı analiz yöntemleri ele alınmıştır. Bu bölüm kapsamında da yapısal davranışın daha iyi ifade edilebilmesi için geliştirilen güvenilirlik esaslı performansa bağlı analiz yöntemleri sunulmuştur. Geliştirilen yöntemler, kırılma analizlerinde iki parametrelilik kırılma yüzeylerinin elde edilmesi ve simülasyon yöntemlerinin kırılma analizlerine uyarlanması şeklindedir.

Performansa bağlı analizler, olasılıklı yaklaşımları dikkate almadıkları için yapıların deprem davranışını belirlemede yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle depremin yapıda meydana getireceği etkilerin olasılıklı ifadesinin performans analizlerine dahil edilmesi gereklidir. Böylelikle güvenilirlik esaslı performansa bağlı analiz yöntemleri ortaya çıkmaktadır. Yapıda meydana gelecek olası hasarın tespitinde kırılma eğrilerinin kullanılmasıyla “Güvenilirlik Esaslı Performansa Bağlı Analiz” tamamlanmış olmaktadır.

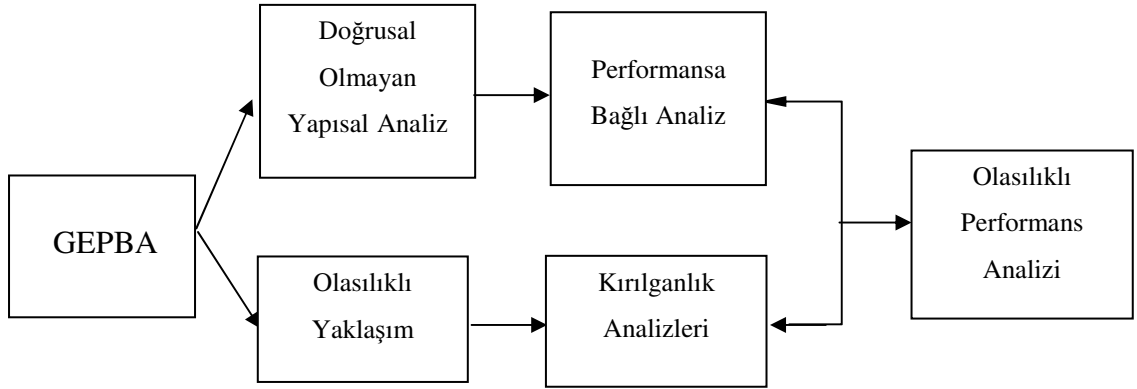
Performansa bağlı analiz yöntemlerinde kullanılan kapasite eğrileri için geçerli standart sapmayı belirlerken, artımsal itme ve zaman tanım alanında analizler arasındaki etkileri standart sapma β içinde ifade edilebilir, böylelikle sadece artımsal itme ya da kapasite eğrisiyle oldukça gerçekçi sonuçlar elde edilebilir. Zaman tanım alanında analizle artımsal itme analizleri arasındaki fark 2. bölüm kapsamında detaylı olarak verilmiştir.

Gerçek davranış değerleriyle, yapılan analiz sonuçları arasındaki fark bilindiği için bu farkın analiz sonuçlarına standart sapma β içinde dahil edilmesi mümkün olabilmektedir. Böylece analiz yaparken artımsal itme ve kırılma analizleri birlikte kullanılarak sonuca varılabilir. Ancak zaman tanım alanında ve artımsal itme analizleri arasındaki farkın ortaya doğru bir şekilde konulması gereklidir. Özellikle yapı yüksekliği arttıkça artan farkın doğurduğu belirsizliklerin tam olarak belirlenmesi gereklidir. Bu bölümde bu belirsizliklerin analizlere dahil edilmesi ve geliştirilen iki parametrelili kırılma analiziyle güvenilirlik esaslı performansa bağlı analiz verilmiştir.

Mevcut güvenilirlik esaslı performansa bağlı analizler, yapısal güvenilirlik analizlerinde kırılma eğrilerinin elde edilmesi ve böylelikle hasarın belirlenmesine dayanmaktadır. Kırılma analizleri, mevcut yöntemlerde en büyük yer ivmesi veya yer hızının ayrı ayrı kullanılması sonucu elde edilen kırılma eğrileri şeklinde yapılmaktadır. Tez kapsamında geliştirilen yöntemde iki parametrelili kırılma analizi sonucu kırılma yüzeyleri elde edilmiştir. Ayrıca yapılan simülasyonlarla kırılma analizlerine simülasyon yöntemlerinin uyarlanması sağlanmıştır.

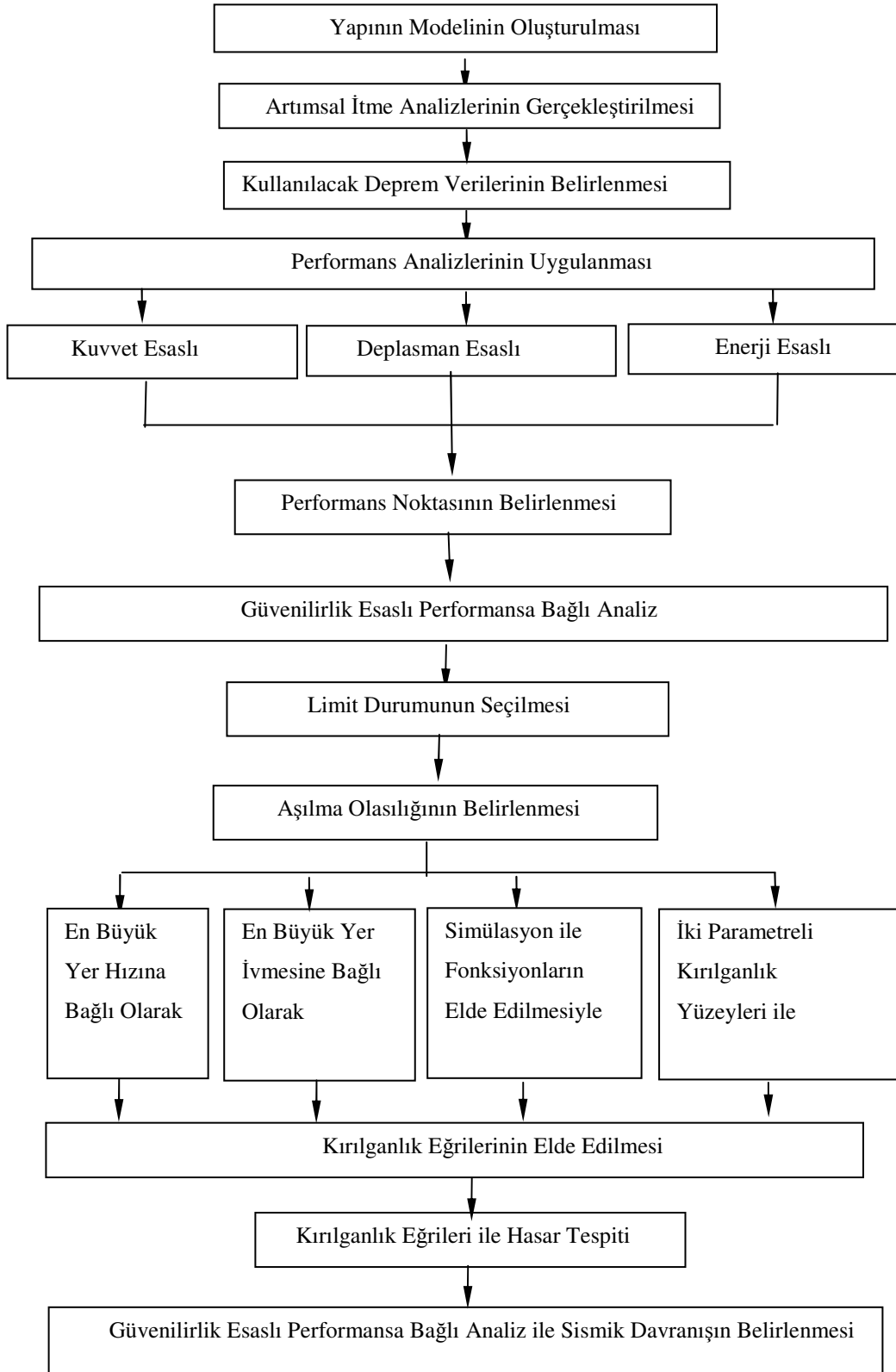
Güvenilirlik esaslı performansa bağlı analizde öncelikle yapının kapasitesi ve tepkisi belirlenerek doğrusal olmayan analiz gerçekleştirilir. Analizde kullanılacak olası depremler belirlenir. Belirlenen bu deprem verileriyle performans analizleri gerçekleştirilir. Belirsizliklerin ve olasılıkların ifade edilmesiyle analizde kullanılacak parametrelerin tayin edilmesi sağlanır. Limit durumları belirlenir. Yapıdan beklenen davranış ortaya konur. Performans analizleri gerçekleştirilerek, performans noktası belirlenir. Güvenilirlik esaslı performansa bağlı analize geçilir. Bu analizler için limit durumu aşılma olasılıkları belirlenerek, yapının kırılma fonksiyonları kurulur ve kırılma eğrileri elde edilir. Geliştirilen iki parametrelili yöntemde ise deprem verisine ait iki parametre kullanılarak kırılma yüzeyleri elde edilerek daha gerçekçi sonuçlar elde edilmesi amaçlanmıştır.

Şekil 4.1’de yapısal tasarımda kırılmalık analizleriyle doğrusal olmayan analizlerin etkileşimli olarak kullanılmasının gösterildiği güvenilirlik esaslı performansa bağılı analiz (GEPBA) uygulaması şematik olarak verilmiştir. Şekil 4.2’de ise güvenilirlik esaslı performansa bağılı analizinin akış şeması verilmiştir. Yapının olasılıklı performans analizlerinin gerçekleştirilmesinde doğrusal olmayan analizler uygulanırken, artımsal itme eğrisi elde edilerek bu eğri üzerinde limit koşullarına göre elde edilen aşılma olasılık değerleri belirlenir. Bu aşılma olasılığı değerlerine karşı gelen kuvvet–yer değiştirme koordinatları, yapının aşılma olasılığının meydana geldiği nokta olarak tanımlanır.



Şekil 4.1. Güvenilirlik esaslı performansa bağılı analiz (GEPBA) uygulaması

Güvenilirlik esaslı performansa bağılı analizinin simülasyon yöntemleriyle geliştirilmesi analizlerin gerçekçi sonuçlar vermesinde bir diğer yöntemdir. Bu nedenle tez çalışmasında simülasyon yöntemlerinin kırılmalık analizlerine uygulanması amaçlanmıştır. Bir yapıya etkiyen deprem verisine ait en büyük yer ivmesi değerlerine karşı gelen aşılma olasılığının belirlenmesi ve olasılıklı olarak ifadelendirilmesi yoluyla simülasyon yöntemleri uygulanmıştır. Uygulanan simülasyon yöntemiyle en büyük yer ivmesi değerine karşı elde edilen aşılma değerleri belirlenmiştir. Her bir deprem verisi için simülasyon yapılarak deprem verisine ait yaklaşık 6000 yer ivmesi değerine karşı gelen aşılma olasılığı değeri hesaplatılmıştır. Elde edilen aşılma değerleri için olasılık yoğunluk fonksiyonu çizdirilmiş ve ardından eklenik yoğunluk fonksiyonu elde edilmiştir.



Şekil 4.1. Güvenilirlik esaslı performansa bağlı analiz için akış şeması

4.2. Geliştirilen İki Parametrelilik Kırılmalılık Analizine Dayanan Güvenilirlik Esaslı Performansa Bağlı Analiz Yöntemi

Geliştirilen iki parametrelilik yöntemle, performansa bağli analiz yöntemlerinin olasıllıkli olarak değeriendirilmesi ve daha gerçeki bir yaklaşıml ortaya konması amaçlanmıştır. Geliştirilen yöntem, tek parametrelilik yöntemde olduğu gibi yapının kapasitesiyle deprem talebi arasındaki ilişkisinin belirli yapısal parametrelere dayandırılarak, yapının olasıllıkli deprem davranışını ifade etmektedir. Geliştirilen yöntemde, deprem davranışını karakterize eden iki parametre kullanılarak analizler gerçekleştirilmektedir.

Deterministik yöntemlerin yapıların deprem davranışlarının belirlenmesinde yeterli olmaması sebebiyle kırılmalılık analizleriyle olasıllıkli yaklaşımların yapıların deprem davranışının belirlenmesinde kullanılması oldukça önemlidir. Ancak, tek parametreye bağli olarak yapılan kırılmalılık analizleri gerçek olasıllığı tam olarak ifade edemeyebilmektedir. Bu nedenle, tez kapsamında iki parametreye bağli olarak kırılmalılıkların belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla iki parametrelilik uygulanabilir bir yöntem sunulmuştur. Mevcut tek parametrelilik yöntemlerdeki en önemli sorun, bir deprem verisinin tek parametresi kullanılarak elde edilen aşılma olasıllığının en büyük aşılma olasıllığı değeriinde olmamasıdır. Bu nedenle, birden fazla parametre kullanımıyla elde edilecek olan kırılma eğrileri ve yüzeyleri olasıllık ifadesinde daha güvenilir olmaktadır. Bir deprem verisinin en büyük yer ivmesi verisi için aşılma olasıllığı, o depremin en büyük yer hızı verisi için aşılma olasıllığından farklı olacaktır.

Geliştirilen yöntemde, deprem verisinin iki parametresi en büyük yer ivmesi ve en büyük yer hızı değeriilerine göre, aşılma olasıllıkları belirlenerek, üç eksenli olarak grafikler halinde verilmiştir. Bu grafiklerden, yapının kırılma yüzeyi elde edilmiştir. Sadece en büyük yer ivmesiyle bir depremin ifade edilmesi depremin karakteristiğinin ortaya konmasında yeterli değildir ve tek bir parametreyle tam olarak ifade etmek mümkün değildir (Sewel, 1989).

Bir olasılık ifadesini tanımlamada iki değişken parametre kullanılırsa, bu iki parametrenin birlikte davranışları, birleşim olasılığı kuralına göre belirlenir. Sadece en büyük yer ivmesiyle bir depremin ifade edilmesi depremin karakteristiğinin ortaya konmasında yeterli değildir ve tek parametreyle yapının olasılıklı deprem davranışının ifade edilmesi gerçekçi olmayacaktır (Sewel, 1989). Bu nedenle olasılıklı yapı davranışının ifadesinde iki parametre kullanılması daha gerçekçi olacaktır. Bu iki parametrenin birlikte kullanımı sonucu, birleşim olasılığı kuralına göre olasılık ifadesi belirlenir. X ve Y parametrelerinin birlikte bir olasılık ifade ettiği birleşim olasılığı yazılacak olursa olasılık ifadesi,

$$P[(x_1 < X < x_2) \text{ ve } (y_1 < Y < y_2)] = \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} f_{x,y}(x, y) dy dx \quad (4.1)$$

şeklini alır. Bu birleşim olasılığı, olasılık yoğunluk fonksiyonu için;

$$f_{x,y}(x, y) \geq 0, \quad \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f_{x,y}(x, y) dy dx \quad (4.2)$$

ve eklenik yoğunluk fonksiyonu için;

$$\begin{aligned} F_{x,y}(x, y) &= P[(X \leq x) \text{ ve } (Y \leq y)] = P[(-\infty \leq X \leq x) \text{ ve } (-\infty \leq Y \leq y)] \\ &= \int_{-\infty}^x \int_{-\infty}^y f_{x,y}(x', y') dy' dx' \end{aligned} \quad (4.3)$$

$$f_{x,y}(x, y) = \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} F_{x,y} \quad (4.4)$$

şeklinde yazılır. Buradan, Birleşim olasılık yoğunluk ve eklenik yoğunluk fonksiyonları Marjinal dağılım olarak yazılacak olursa,

$$f_x(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_{x,y}(x, y) dy \quad (4.5)$$

$$F_x(x) = P[X \leq x] = \int_{-\infty}^x f_x(x') dx' \quad (4.6)$$

$$F_x(x) = F_{x,y}(x, \infty) \quad (4.7)$$

$$f_x(x) = \frac{\partial}{\partial x} F_{x,y}(x, \infty) \quad (4.8)$$

Şeklinde ifade edilebilir.

Kırılma analizlerinde ise, iki parametrelili aşılma olasılığının herhangi bir limit durumu için ifadesi denklem 4.9'daki gibidir,

$$F_i(x, y) = P_f(PGA, PGV)[S_{AT} \geq S_{AK} / PGA = x, PGV = y] \quad (4.9)$$

En büyük yer ivmesiyle elde edilen aşılma olasılığı;

$$P_f(PGA) = \phi \left[\frac{-\ln\left(\frac{S_{AK}}{S_{AT}}\right)}{(\beta_K^2 + \beta_T^2)^{1/2}} \right] \quad (4.10)$$

En büyük yer hızıyla elde edilen aşılma olasılığı

$$P_f(PGV) = \phi \left[\frac{(\ln(PGV) - \lambda)}{\zeta} \right] \quad (4.11)$$

Burada S_{AT} :yapısal tepki spektral ivme değeri, S_{AK} :yapısal kapasite spektral ivme değeri, β_T :yapı tepkisinin standart sapması, β_K : yapı kapasitesinin standart sapması, ϕ : standart normal dağılım katsayısı, λ :PGV değerleri için aritmetik ortalama, ζ : PGV değerleri için standart sapmadır. **PGA** ve **PGV**: en büyük yer ivmesi ve hızıdır.

Olasılık fonksiyonu iki değişkene bağlı olarak zamanın fonksiyonu olarak tanımlanacak olursa,

$$P(t) = \frac{\text{Yapının Limit Durumunun Aşılması Durumu}}{\text{Dikkate Alınan Tüm Yapı Durumları}} \quad (4.12)$$

Bu fonksiyonun geçerli olduğu A tanım alanını d_1 ve d_2 boyutlarına bağlı olarak ;

$$A = (-d_1, d_1) \times (-d_2, d_2) \quad (4.13)$$

şeklinde yazılabilir.

$0 < P(t) < 1$ içinde yapının olasılık fonksiyonunun geçerli olduğu kabulüyle,

$$x_m = \frac{\mu}{\sqrt{1 + \delta^2}} \quad (4.14)$$

Burada, μ : Olasılık değerlerinin aritmetik ortalaması, δ : varyasyon katsayısı: $\frac{\sigma}{\mu}$

σ : Standart sapmadır.

Limit durumlarının aşılması için olasılık fonksiyonu şu şekilde tanımlanabilir;

$$P(\text{Limit Durumu} < P(t) < 1) = (1 - P_{\text{limit}}) \times \left[1 - \Phi\left(\frac{\ln(\text{Limitdurumu}) - \lambda}{\xi}\right) \right] \quad (4.15)$$

Burada, λ : $\ln x_m$, ξ : $\sqrt{\ln(1 + \delta^2)}$ ve Φ : standart normal dağılımı ifade etmektedir.

Olasılık fonksiyonunun limit durumunu aşması durumu için ise,

$$P(P(t) \geq \text{Limit Durumu}) = P_{\text{limit}} + (1 - P_{\text{limit}}) \times \left[1 - \Phi\left(\frac{\ln(\text{Limitdurumu}) - \lambda}{\xi}\right) \right] \quad (4.16)$$

veya, işçilik, yapım hataları gibi hataları ifade etmek için β standart sapma parametresine bağlı olarak da yazılabilir;

$$P(P(t) \geq \text{Limit Durumu}) = \left[1 - \Phi\left(\frac{\ln(\text{Limitdurumu}) - \lambda}{\sqrt{\beta_1^2 + \beta_2^2}}\right) \right] \quad (4.17)$$

şeklinde yazılabilir.

Burada aşılma olasılığını iki boyutlu yazmak için kullanılan denklem, karelerin toplamının kare kökü ifadesi kullanılarak gerçekleştirilebilir;

$$P(t) = \sqrt{\left(\frac{\Delta_{\text{max},x}}{\Delta_{\text{Limit},x}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{\text{max},y}}{\Delta_{\text{Limit},y}}\right)^2} \quad (4.18)$$

Böylelikle aşılma olasılığı iki eksene bağlı olarak ifade edilebilir. Burada Δ_{max} deprem sırasında yapıdan yapması beklenen yer değiştirme, Δ_{limit} ise, yapının yapabileceği yer değiştirme olarak tanımlanır. Yapının iki parametreye bağlı olarak elde edilen bu yer değiştirme oranları “toplamlarının karelerinin kare kökü” yöntemi kullanılarak elde edilebilir. Kırılma analizlerinin iki parametreliliği bir yüzey olarak ifade edilebilmesi için talep ile kapasite arasındaki ilişkinin her iki parametreye bağlı olarak yazılması gerekir. Bu nedenle,

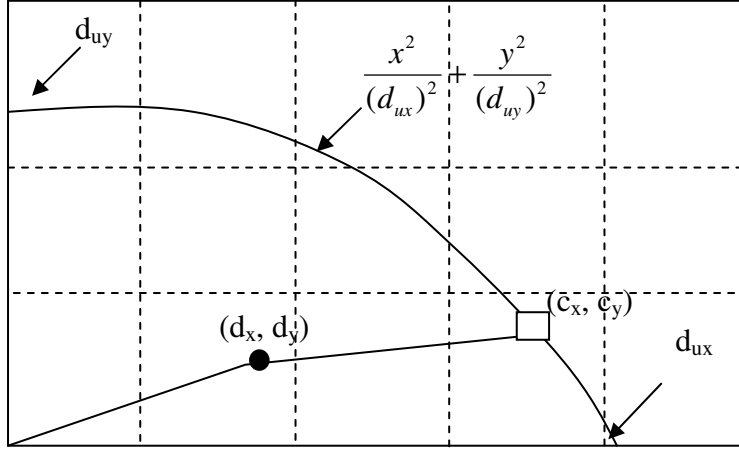
$$\text{Talep-Kapasite Oranı: } R(x_i) = \Delta_{xi} / u_{xi} \text{ ve } W_x = u_{xi} / \sum u_{xi} \quad (4.19)$$

$$\text{Tüm yapı için, } R(x) = \sum W_{xi} \cdot R(x_i) \quad (4.20)$$

$$\text{Talep-Kapasite Oranı: } R(y_i) = \Delta_{yi} / u_{yi} \text{ ve } W_y = u_{yi} / \sum u_{yi} \quad (4.21)$$

$$\text{Tüm yapı için, } R(y) = \sum W_{yi} \cdot R(y_i) \quad (4.22)$$

Δ : sistemin talebi u : sistemin kapasitesi, R : talep kapasite oranıdır.



Şekil 4.3. İki eğrinin yüzey oluşturmasının şematik gösterimi

Şekil 4.3'de eğrilerin şematik olarak iki eksene bağlı olarak yüzey oluşturulması verilmiştir. Burada c_x, c_y kesişme noktasıdır.

$$d_x = R(x) \cdot d_{ux}, \quad d_y = R(y) \cdot d_{uy} \text{ ise } d = \sqrt{(d_x)^2 + (d_y)^2} \quad (4.23)$$

şeklinde yazılabilir. $s = d_y/d_x$ olarak yazılırsa,

$$C = \sqrt{(C_x)^2 + (C_y)^2} \quad (4.24)$$

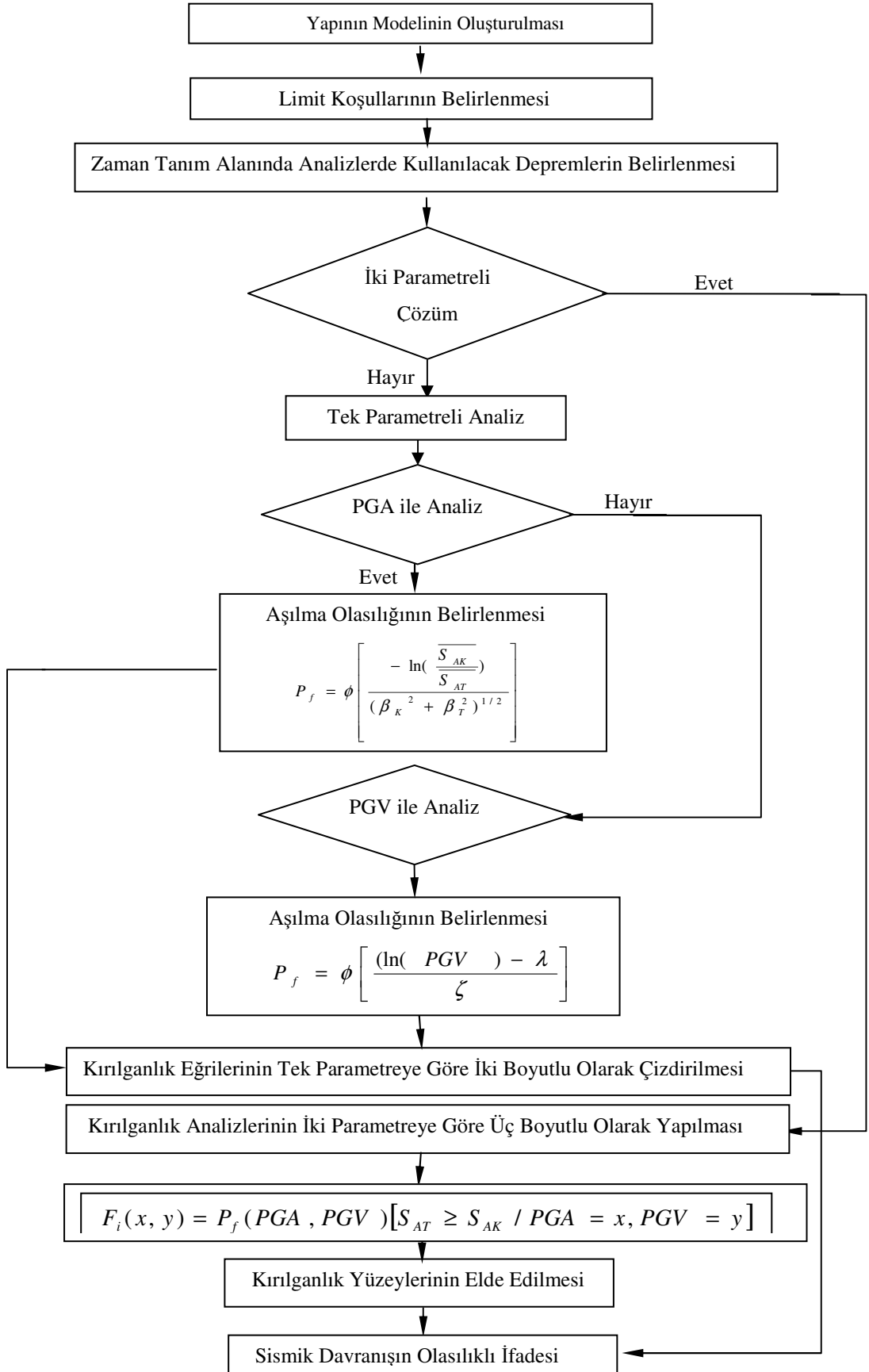
$$C_x = \sqrt{\frac{(d_{ux})^2 (d_{uy})^2}{s^2 (d_{ux})^2 + (d_{uy})^2}} \quad C_y = \sqrt{\frac{s^2 (d_{ux})^2 (d_{uy})^2}{s^2 (d_{ux})^2 + (d_{uy})^2}} \quad (4.25)$$

R bir oran olarak yazılacak olursa,

$$R = d/C = \sqrt{\alpha_x (R(x))^2 + \alpha_y (R(y))^2} \quad (4.26)$$

$$\text{Burada } \alpha_x: \frac{s^2 (d_{ux})^2 + (d_{uy})^2}{(1 + s^2)(d_{uy})^2} \quad \alpha_y: \frac{s^2 (d_{ux})^2 + (d_{uy})^2}{(1 + s^2)(d_{ux})^2} \quad (4.27)$$

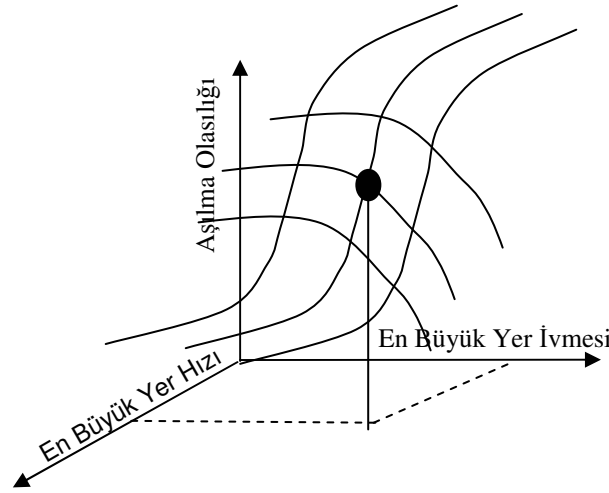
şeklindedir.



Şekil 4.4. Geliştirilen iki parametrelili kırılmalık analizinin akış şeması

Geliştirilen iki parametrelili kırılmalık analizinin akış şeması Şekil 4.4'de, verilmiştir. Yöntemde en büyük yer ivmesi ve en büyük yer hızına bağılı olarak iki parametrelili kırılmalık ifadesi tanımlanmıştır. Şekil 4.5'de kırılmalık yüzeyi şematik olarak gösterilmiştir. Bu şematik gösterimde, kırılmalık yüzeyleri, deprem en büyük yer ivmesi ve yer hızına bağılı olarak ifade edilmiştir. Şekil 4.6'da ise seçilen yapıların en büyük yer ivmesi ve en büyük yer hızı değerleri kullanılarak göçme limit durumu için kırılmalık yüzeyleri elde edilmiştir. Bu grafiklerde x ve y eksenleri en büyük yer ivmesi ve en büyük yer hızı değerleriyle z eksenini de aşılma olasılığı değerleriyle verilmiştir.

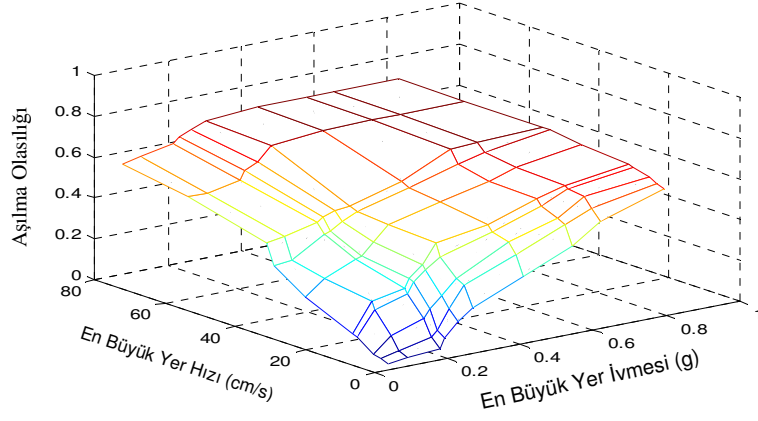
Kırılma yüzeylerinin bu şekilde elde edilmesi kırılmalık analizlerinin doğru olarak ifade edilmesine katkı sağlamıştır. Sewel'in ifade ettiği gibi, deprem verilerini tek bir parametreyle tam olarak ifade etmek mümkün değildir (Sewel, 1989). Bu nedenle, tek parametreyle olasılıklı yapı ifadesinin tam olarak yapılması mümkün değildir.



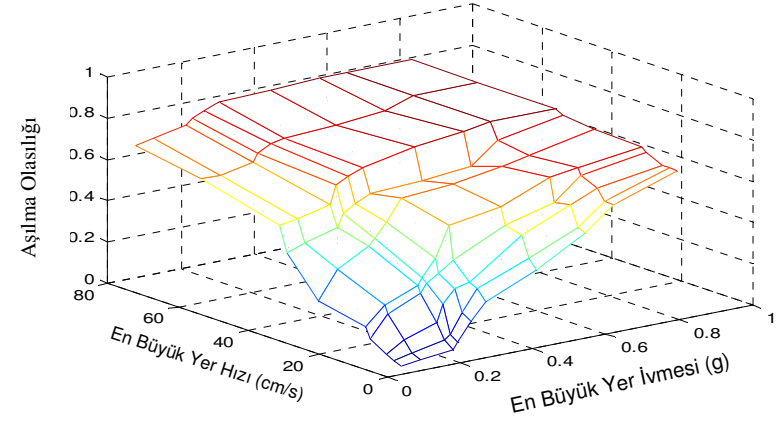
Şekil 4.5. Kırılmalık analizlerinin kırılmalık yüzeyi olarak ifade edilmesi

Şekil 4.6'da, 3,5,8 ve 15 katlı betonarme çerçeve yapıların geliştirilen yöntemle kırılmalık yüzeylerini verilmektedir.

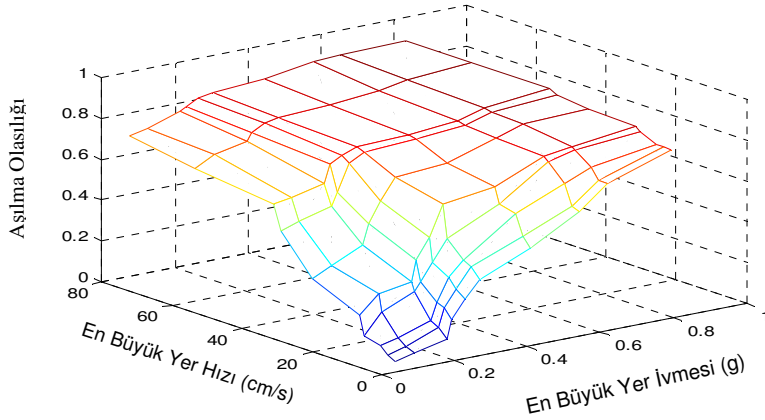
Şekil 4.6. Tüm yapıların ilk akıma ve göçme için kırılma yüzeyleri



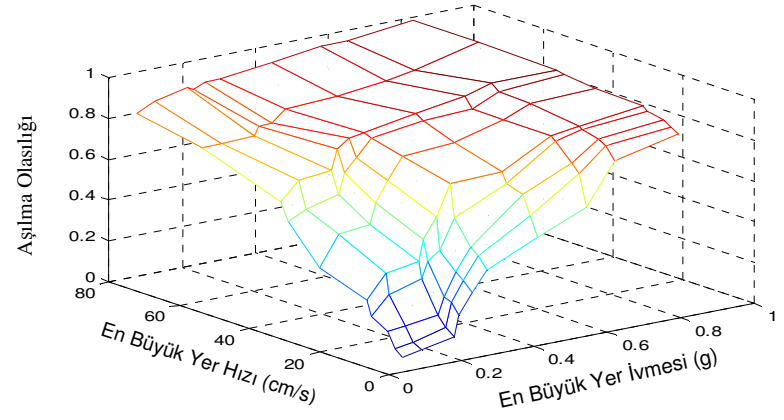
a) 3 Katlı yapı göçme kırılma yüzeyleri



b) 5 Katlı yapı göçme kırılma yüzeyleri



c) 8 Katlı yapı için göçme kırılma yüzeyleri



d) 15 Katlı yapı için göçme kırılma yüzeyleri

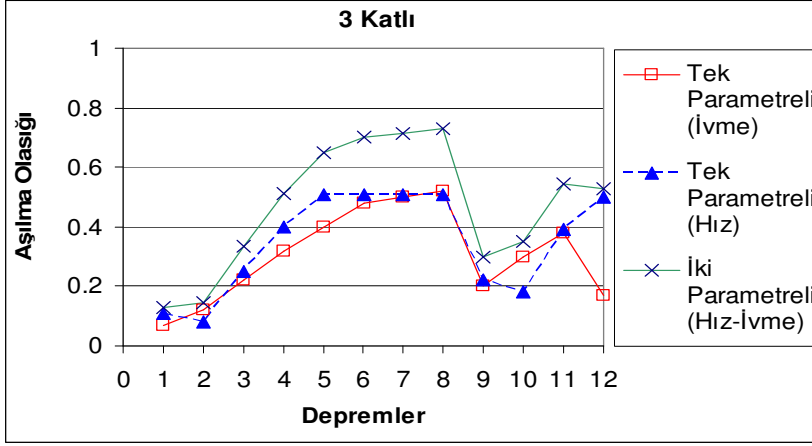
4.3. Yapı Sistemlerinin Deprem Davranışlarının Belirlenmesi İçin Geliştirilen İki Parametrelilik Kırılmalık Analizine Dayanan Güvenilirlik Esaslı Performansa Bağlı Analiz Yönteminin Değerlendirilmesi

Tez kapsamında, yapı sistemlerinin deprem davranışlarının belirlenmesi için iki parametrelilik kırılmalık analiz yöntemi geliştirilmiştir. Kırılmalık analizleri sonucunda, olasılıklı kırılmalık değeri P_f , en büyük yer ivmesi ve hız değerlerinin fonksiyonu olan kırılmalık yüzeyine bağlı olarak ifadelendirilmiştir. Olasılıklı kırılmalık ifadesinin en büyük yer ivmesi ve yer hızı parametreleriyle ifade edilmesi yapı sisteminin sismik davranışının analizini daha gerçekçi kılmakta ve performansın değerlendirilmesinde daha güvenilir sonuçlar vermektedir.

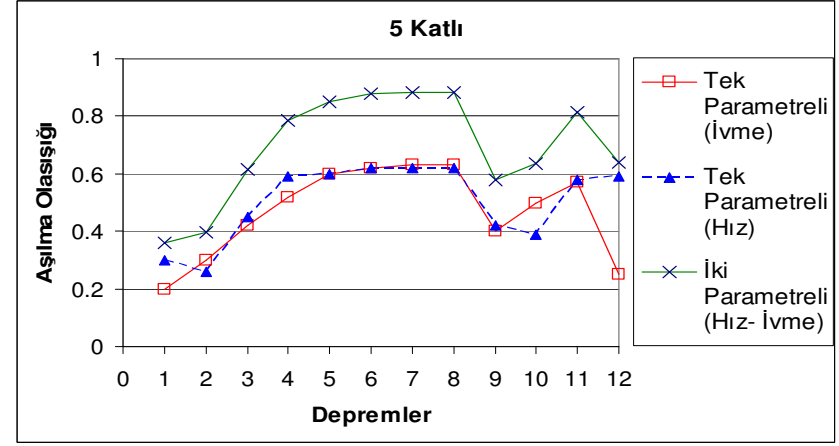
Seçilen 3, 5, 8 ve 15 katlı betonarme çerçeve sistemler, geliştirilen iki parametrelilik kırılmalık analiz yöntemiyle göçme limit durumu için çözülmüş ve kırılma yüzeyleri üç boyutlu grafik halinde tüm yapılar için ayrı ayrı verilmiştir. Geliştirilen yöntem kullanılarak, seçilen deprem verilerinin en büyük yer ivmesi ve yer hızı değerlerine bağlı olarak belirlenen hasar limit durumu için olasılıklı kırılma değerleri elde edilebilmektedir. Böylece, daha doğru kırılmalık analizi yapılabilmekte ve yapının olasılıklı kırılma ifadesi daha gerçekçi olarak ortaya konulabilmektedir. Geliştirilen yöntem, tek parametrelilik yöntemde olduğu gibi yapının kapasitesiyle talebi arasındaki ilişkinin belirli yapısal parametrelere dayandırılarak, yapının olasılıklı sismik dayanım davranışını ifade etmektedir. Ancak deprem davranışını karakterize eden iki parametre kullanılarak analizler gerçekleştirilmektedir.

Mevcut yöntemlerdeki en önemli problem, belirli bir deprem verisinin tek bir parametresi kullanılarak elde edilen aşılma olasılığının en büyük aşılma olasılığı değerinde olmaması durumudur. Bu nedenle, birden fazla parametre kullanımıyla elde edilecek olan yüzeyleriyle olasılık ifadesi daha güvenilir olmaktadır. Bir deprem verisinin en büyük yer ivmesi verisine karşı gelen aşılma olasılığı, o depremin en büyük yer hızı verisine karşı gelen aşılma olasılığından farklı olacaktır. Şekil 4.7'de geliştirilen iki parametrelilik yöntemle tek parametrelilik yöntem sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir.

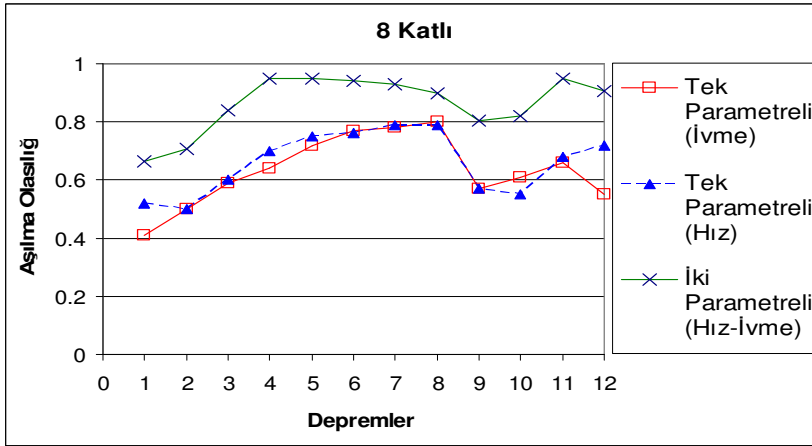
Sekil 4.7: 3, 5, 8 ve 15 Katlı yapıların göçme durumu için ivme veya hız tek parametrelili ve geliştirilen iki parametrelili yöntem ile elde edilen aşılma olasılıklarının karşılaştırılması



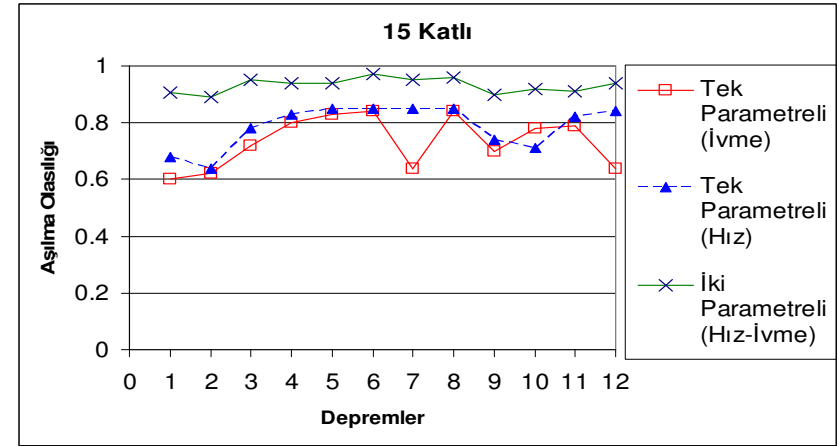
a) 3 katlı yapı için aşılma olasılıkları



b) 5 katlı yapı için aşılma olasılıkları



c) 8 katlı yapı için aşılma olasılıkları



d) 15 katlı yapı için aşılma olasılıkları

4.4. Güvenilirlik Esaslı Performansa Bağlı Analizde Simülasyon Yöntemleri

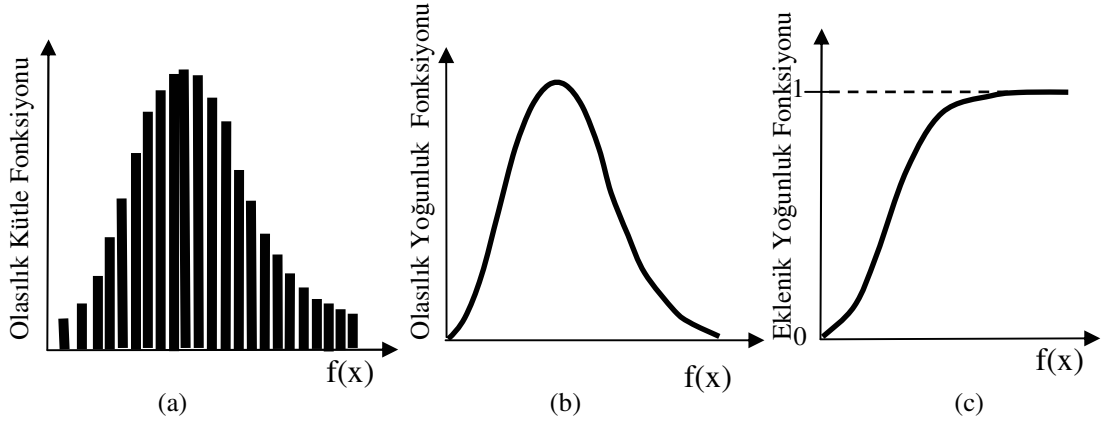
Simülasyon, gerçek sistem yerine bir model üzerinde yapılan sanal bir incelemedir. Simülasyonların asıl amacı, bir olayın gerçekte görülme ve meydana gelme olasılığını anlamaktır. Kullanımı yaygınlaşmakta olan simülasyon yöntemleriyle deney yapma teknikleri gittikçe yaygın hale gelmektedir. Asıl uygulama alanı modelleme yapmak olan simülasyon yöntemleri, her geçen gün farklı alanlarda uygulama alanı bulmakta ve bir çok alanda çok güvenilir sonuçlar vermektedir. Günümüz simülasyon yöntemleri içinde en çok kullanılan yöntem Monte Carlo simülasyonlarıdır. Bu yöntem oldukça yaygın bir alanda kullanılabilir.

Olasılık belirlemede bir olayın modelinin formüle edilmesi oldukça gereklidir. Bazı durumlarda model ölçekleme yapılarak daha uygulanabilir bir hale getirilebilir. Bunu bir sismik olay üzerinde örneklemek gerekirse, belirli bir en büyük yer ivmesi için deprem kaydı örneklerinin ölçekleme yapılarak yapıya etki ettirilmesiyle yapının deprem davranışı incelenebilir.

Olasılık fonksiyonu, x parametresine bağlı sürekli bir fonksiyon olarak olasılık yoğunluk fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. x 'in her değeri için $f_x(x)=P[X=x]$ şeklinde ifade edilir. Belirli bir değere karşı tanımlanmış bir rasgele değişken için olasılık fonksiyonu, olasılık kütle fonksiyonu olarak adlandırılır. Değişken dağılımını göstermek için kolaylıkla uygulanabilirler.

Eklenik yoğunluk fonksiyonu ise, $P[X \leq x_0] = F_x(x_0)$ şeklinde ifade edilir. Olasılık yoğunluk fonksiyonunun $(-\infty, x_0]$ aralığında entegrali toplam dağılım fonksiyonunu vermektedir. $(-\infty, x_0]$ aralığındaki olasılık değerlerinin toplanarak $F_x(x_0)$ elde edilir.

Simülasyon yöntemleri, verilen fonksiyonları kullanarak belirli bir problemin çözümünü sunabilmektedir. Bu yöntemle problemlerin modellemelerinde kullanılan rasgele değişkenler tahmin edilebilir. Şekil 4.8'de a) Olasılık kütle fonksiyonu, b) Olasılık yoğunluk fonksiyonu c) Eklenik yoğunluk fonksiyonu gösterilmiştir.



Şekil 4.8. (a) Olasılık kütle fonksiyonu ve (b) Olasılık yoğunluk fonksiyonu (c) Eklenik yoğunluk fonksiyonu

Yeterli derecede simülasyon uygulamalarından sonra, problemin çözümü simülasyonların değerlendirilmesi ve fonksiyonların çizdirilmesiyle gerçekleştirilir. Yöntemin doğruluğunun temelinde, yapılacak olan simülasyon sayısının çok olması yatmaktadır. Bu da “merkezi limit teoremine” dayanmaktadır. Bu teoreme göre, “*ard arda yapılmış sonsuza yakın sayıda örneğin aritmetik ortalamaları, istenen değere yakın sonuç verir*” (Gustar, 2003). Simülasyonların güvenilirliğini belirlemek için merkezi limit teoremine ve verdiği olasılıklı yaklaşıma bakmak gereklidir. Merkezi limit teoreminde olasılık; denklem 4.28’deki gibi verilmiştir.

$$\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n X_k \quad (4.28)$$

Aritmetik ortalama değeri μ ise yaklaşık olarak,

$$\int_{-t}^t \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2}} du \quad (4.29)$$

olarak verilmiştir. Standart sapma ise,

$$\frac{\sqrt{\text{Var}(X)}}{\sqrt{n}} \quad (4.30)$$

şeklinde yazılabilir.

Buradan, normal yoğunluk şu halde yazılabilmektedir:

$$-t \leq \frac{\left(\frac{1}{n} \sum X_k - \mu \right)}{\sigma / \sqrt{n}} \leq t \quad (4.31)$$

Merkezi limit teoreminde σ örnek standart sapma olarak kullanılabilir. Herhangi bir olasılık seviyesi için bu aralık t 'nin bir fonksiyonu olarak,

$$\left[-t \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, t \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right] \quad (4.32)$$

şeklinde yazılabilir. Burada t , istenen olasılık seviyesinin fonksiyonudur. Buradan,

$$\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n X_k = \bar{X} \quad (4.33)$$

elde edilir. Olasılık değerinin \bar{X} medyan değerine eşit olduğu belirlenmiş olur.

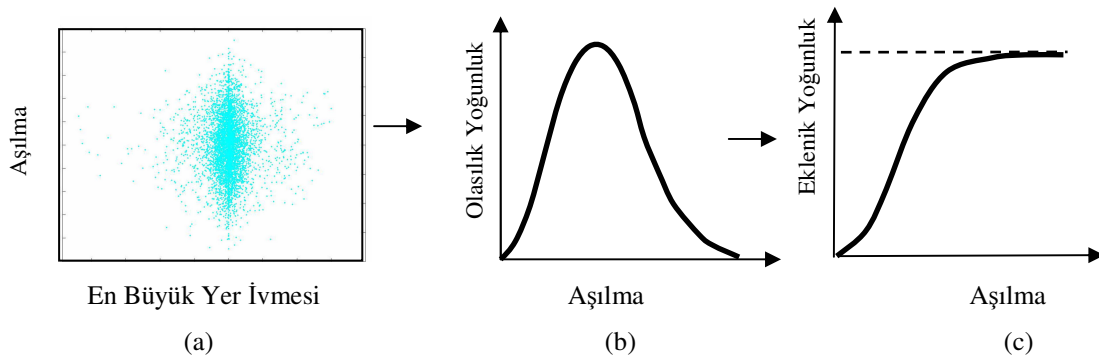
4.4.1. Monte Carlo Yöntemiyle Simülasyon

Monte Carlo simülasyonları, 1940'lı yıllarda kullanılmaya başlanmış olup, atom bombasının yapılmasında çalışan Manhattan Araştırma Merkezi'nin bilim adamları tarafından geliştirilmiştir. 1970'li yılların başında mühendislik uygulamalarında da kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde pek çok mühendislik probleminin olasılıklı çözümünde kullanılan yöntem, güvenilirlik analizlerinde de başarıyla kullanılmaktadır. Hatta güvenilirlik esaslı olarak kullanılan en güvenilir yöntem olarak da ifade edilmektedir. Monte Carlo simülasyon yönteminin en önemli problemi, simülasyonu yapılacak olan sistemin tanımlı entegral olarak ifade edilmesi gerekliliğidir. Bu da her problem için mümkün olmayabilmektedir (Marek, 2003). Yöntemin yoğun olarak bilgisayar analizi gerektirmesi analizlerin oldukça uzun sürmesine neden olmaktadır. Monte Carlo simülasyon yöntemi, her türlü olasılık analizine kolaylıkla uygulanabilir. Simülasyon yardımıyla, verilerinin belirsizlikleri ve rasgelelikleri incelenebilir. Bu, yöntemin önemli avantajlarından. Monte Carlo yöntemiyle güvenilirlik analizi yaparken aşağıdaki adımlar uygulanır.

1. Elde edilen her veri için, analiz yapılır. Bu analiz sonuçları belirli bir değerden büyük olmalarına göre kategorize edilir.
2. Herhangi bir limit seviyesi için kategorize edilmiş analiz sonuçlarıyla fonksiyonlar ifade edilebilir.
3. Her yer küme verisi için bu işlemler tekrar edilir.
4. Herhangi bir limit düzeyi için analiz sonuçları elde edilir.

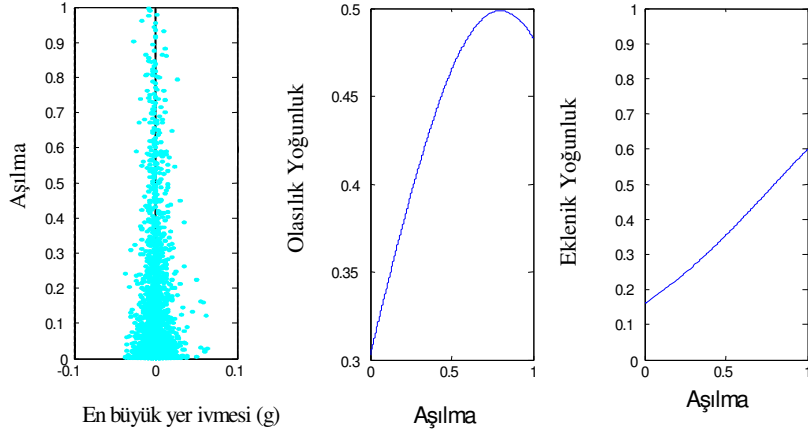
4.4.2. Geliştirilen Simülasyon Yöntemleriyle Güvenilirlik Esaslı Performansa Bağlı Analizde Kırılma Analizleri

Tez çalışmasının amaçlarından biri simülasyon yöntemlerinin kırılma analizlerine uyarlanmasıdır. Bir yapıya etkiyen deprem verisine ait en büyük yer ivmesi değerlerine karşı gelen aşılma olasılığının belirlenmesi ve olasılıklı olarak ifade edilmesi yoluyla simülasyon yöntemleri uygulanmıştır. Uygulanan simülasyon yöntemiyle en büyük yer ivmesi değerine karşı elde edilen aşılma değerleri belirlenmiştir. Kırılma analizi, elde edilen bu aşılma olasılığı değerleri üzerine kurulmuştur. Kırılma analizlerinin yapılmasında kullanılan 12 deprem verisi, simülasyonla yapılan analizlerde de kullanılmışlardır. Kullanılan deprem verileri tablo 2.9'da mevcuttur. Her bir deprem verisi için simülasyon yapılarak deprem verisine ait yaklaşık 6000 yer ivmesi değerine karşı gelen aşılma olasılığı değeri hesaplatılmıştır. Elde edilen aşılma değerleri için olasılık yoğunluk fonksiyonu çizdirilmiş ve ardından eklenik yoğunluk fonksiyonu elde edilmiştir. Şekil 4.9'da simülasyonla elde edilen aşılma olasılıkları değerlerinin olasılık yoğunluk fonksiyonu haline getirilerek ardından eklenik yoğunluk fonksiyonunun elde edilmesi verilmiştir. Şekil 4.10 ile 4.13 arasında betonarme çerçeve yapılar için 12 deprem verisiyle uygulanmış olan simülasyon sonuçları verilmiştir. Şekil 4.14'de bu deprem simülasyonlarına ait olasılık yoğunluk fonksiyonları çizdirilmiştir. Şekil 4.15'de ise eklenik yoğunluk fonksiyonu verilmiştir.

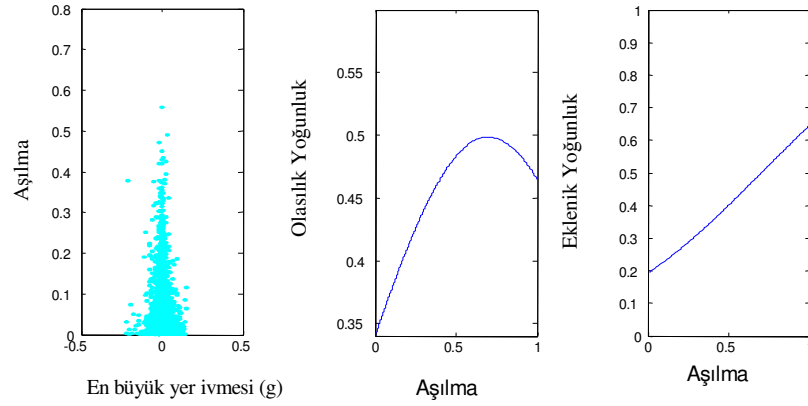


Şekil 4.9. (a) Simülasyonla elde edilen rasgele değişken dağılımı (b) Olasılık yoğunluk fonksiyonu (c) Eklenik yoğunluk fonksiyonu

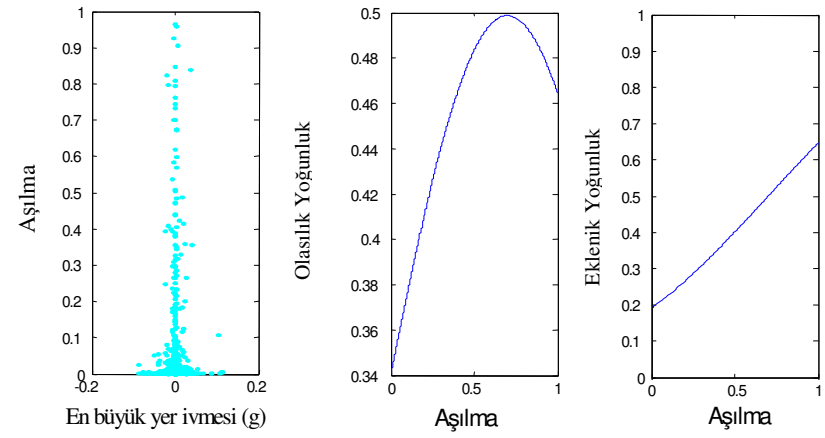
Şekil 4.10. 3 Katlı yapının simülasyonu ile kırılma analizini



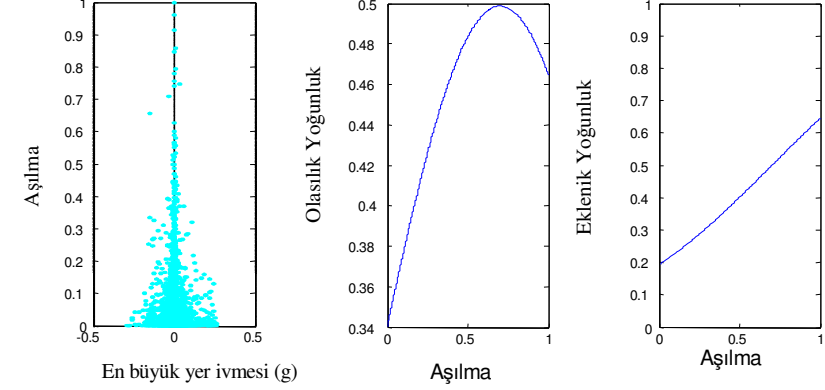
a) C12320 verisi ile simülasyon



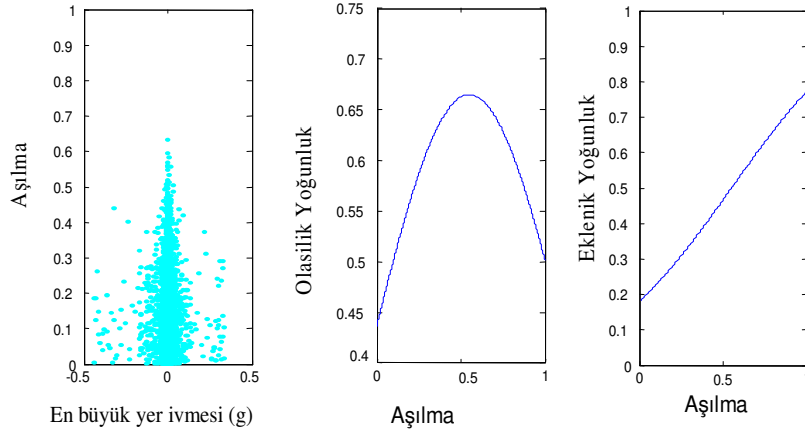
c) ARC000 verisi ile simülasyon



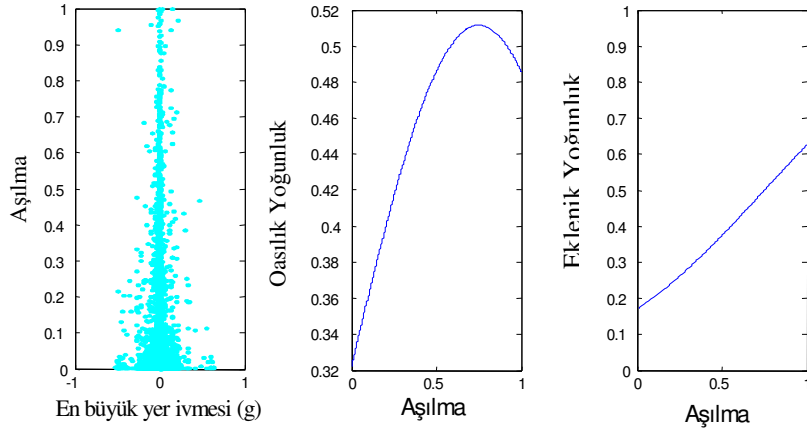
b) GIL067 verisi ile simülasyon



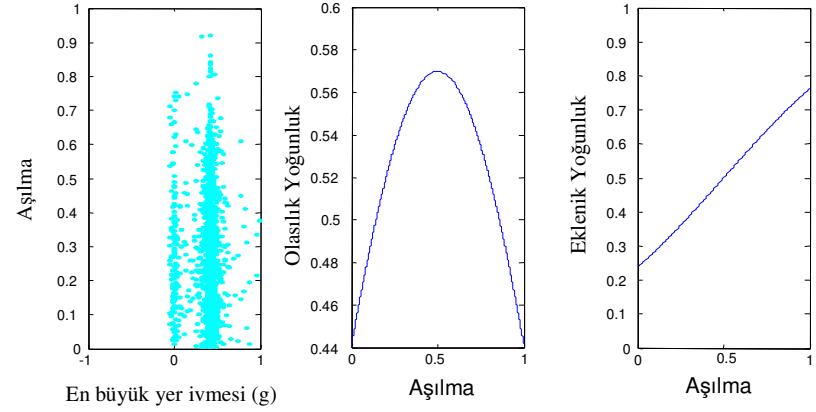
d) G06090 verisi ile simülasyon



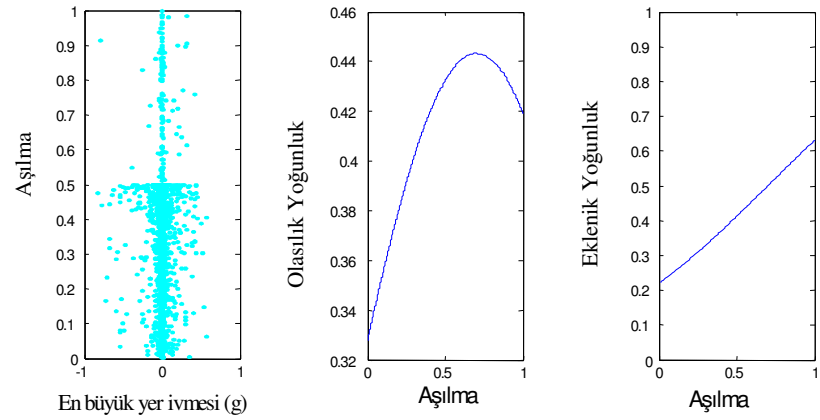
e) G06230 verisi ile simülasyon



g) CLS000 verisi ile simülasyon

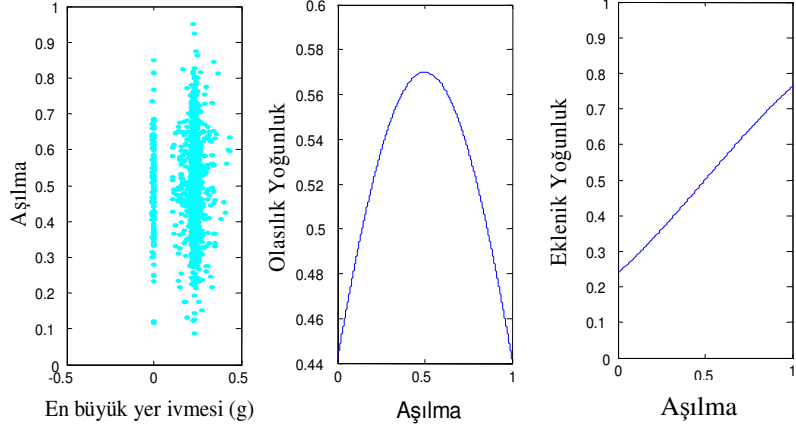


f.) ORR090 verisi ile simülasyon

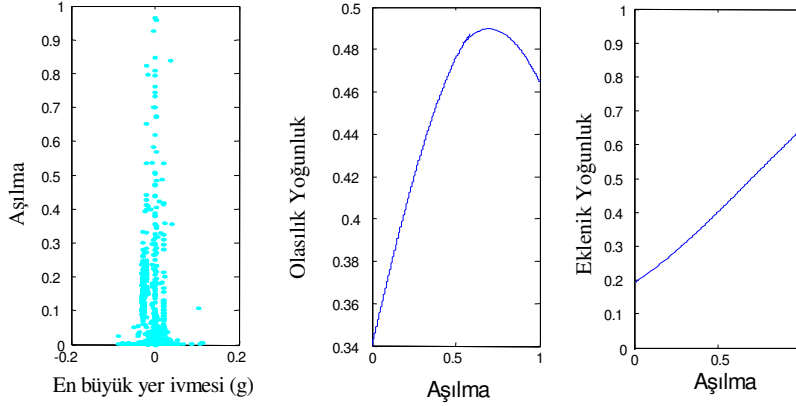


h) KJM000 verisi ile simülasyon

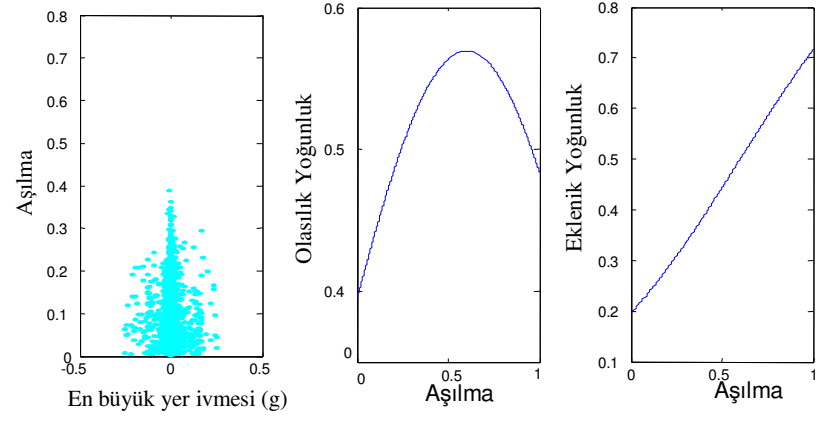
Şekil 4.10. 3 Katlı yapının simülasyonu ile kırılma analizini



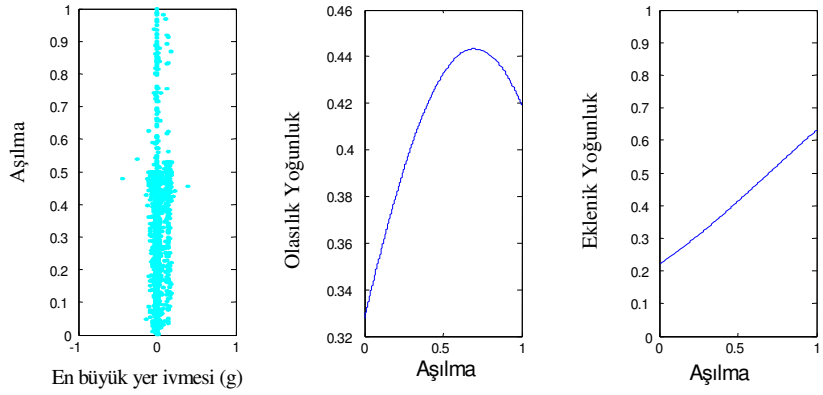
i) SBA222 verisi ile simülasyon



k) DSP000 verisi ile simülasyon

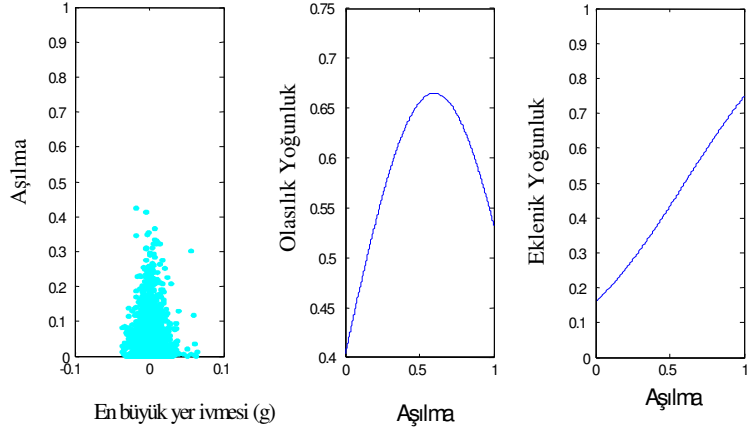


j) LMO355 verisi ile simülasyon

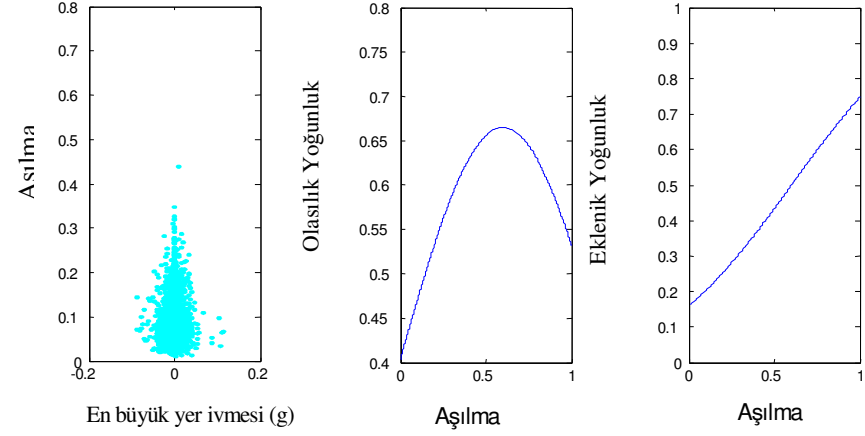


l) FVR045 verisi ile simülasyon

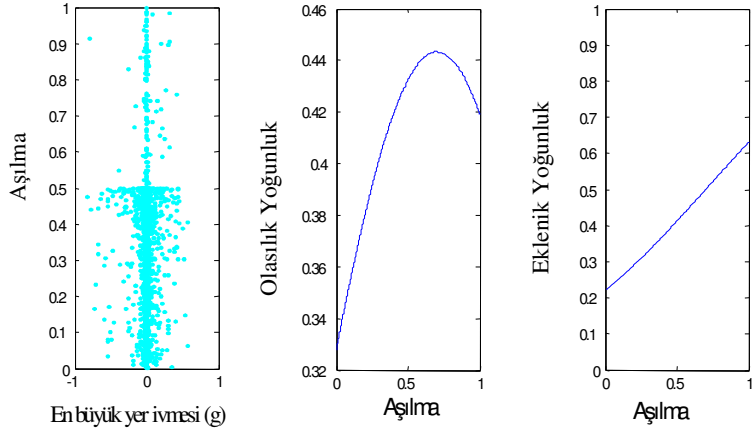
Şekil 4.11. 5 Katlı yapının simülasyonu ile kırılma analizini



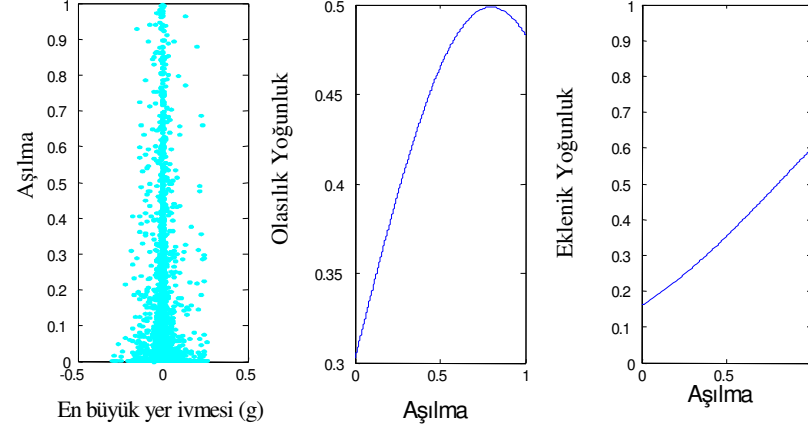
a) C12320 verisi ile simülasyon



b) GIL067 verisi ile simülasyon

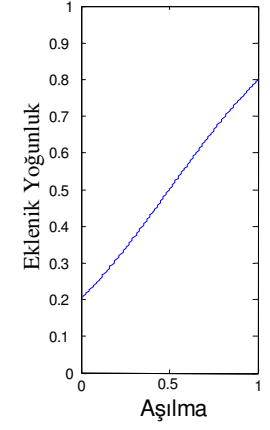
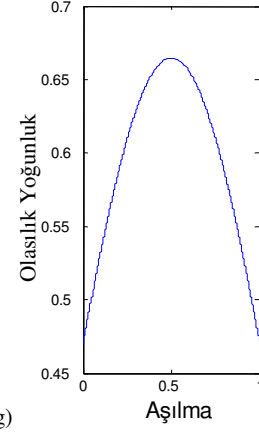
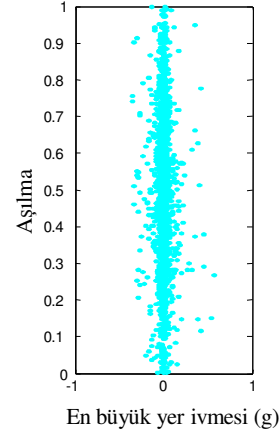
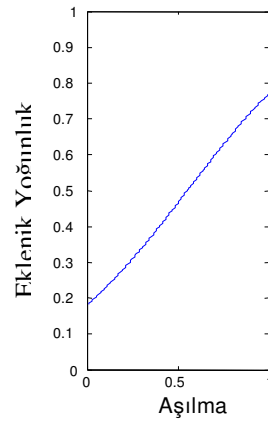
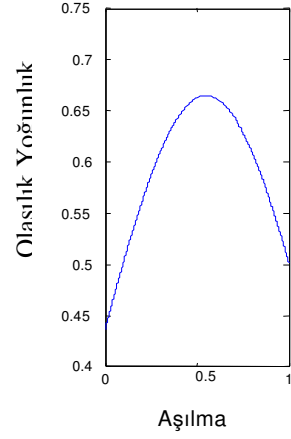
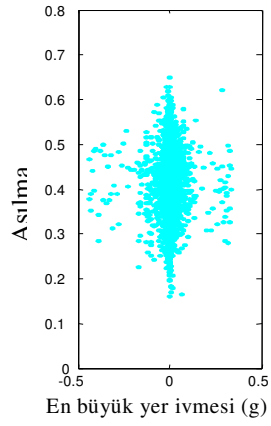


c) ARC000 verisi ile simülasyon



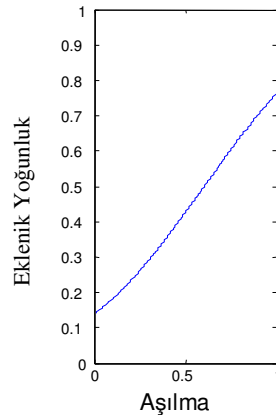
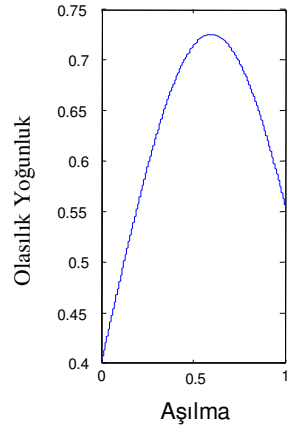
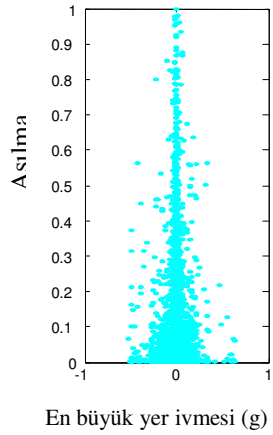
d) G06090 verisi ile simülasyon

Şekil 4.11. 5 Katlı yapının simülasyonu ile kırılma analizini

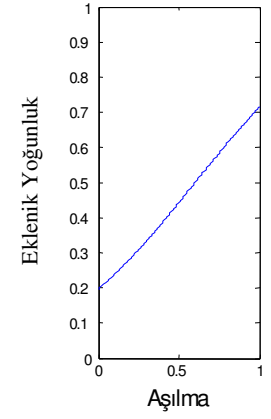
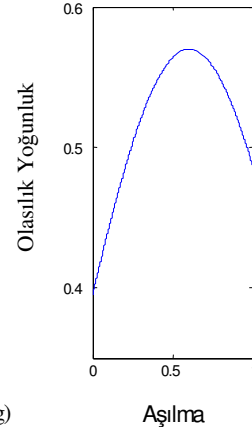
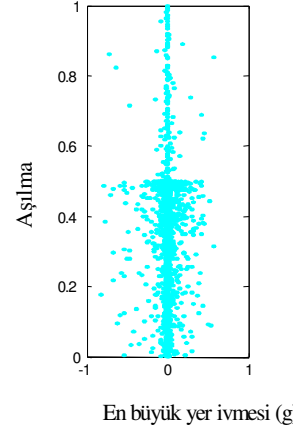


e) G06230 verisi ile simülasyon

f.) ORR090 verisi ile simülasyon

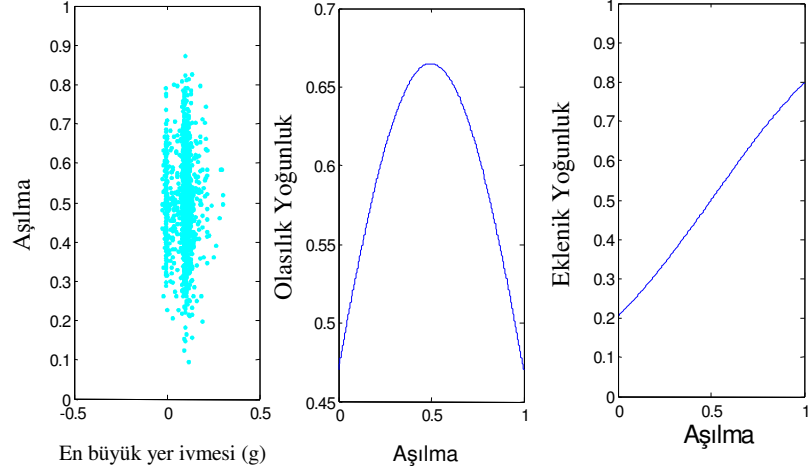


g) CLS000 verisi ile simülasyon

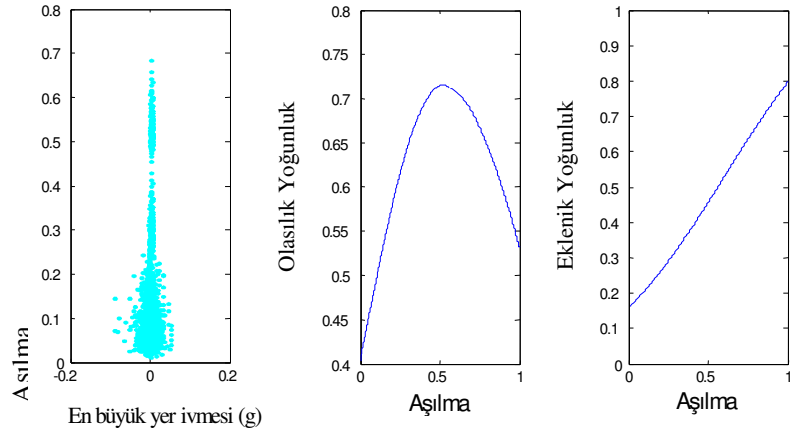


h) KJM000 verisi ile simülasyon

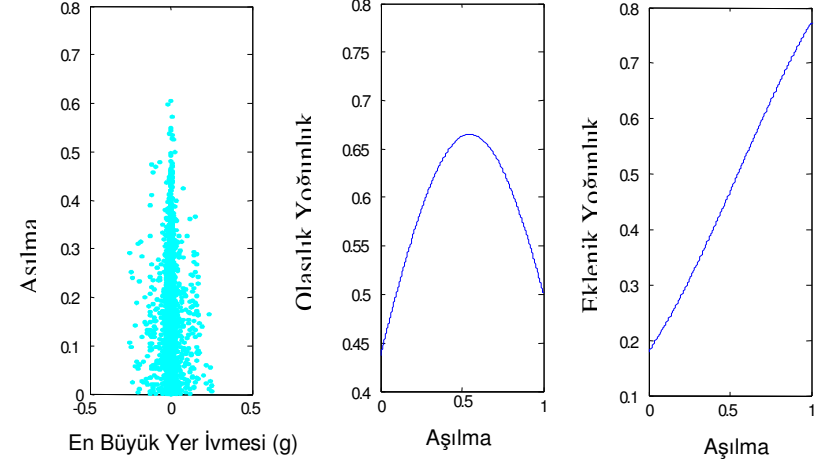
Şekil 4.1.1. 5 Katlı Yapının simülasyonu ile kırılma analizi



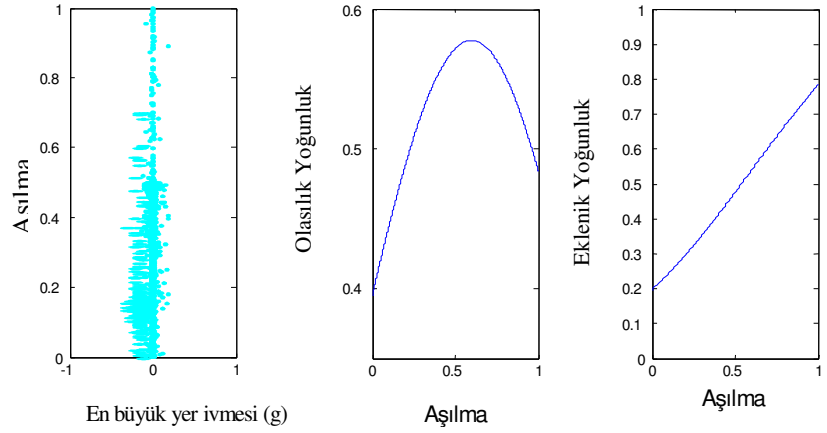
i) SBA222 verisi ile simülasyon



k) DSP000 verisi ile simülasyon

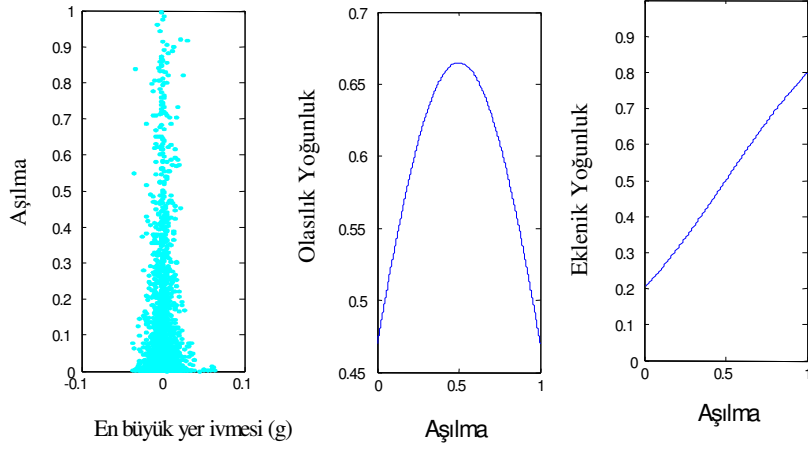


j) LMO355 verisi ile simülasyon

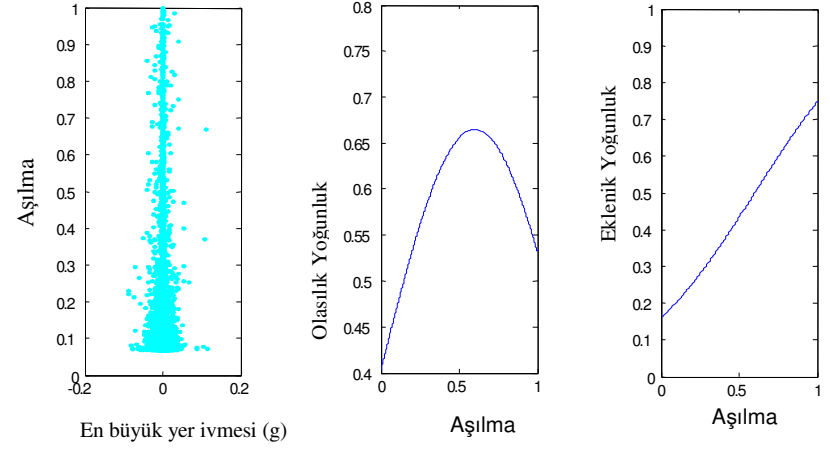


l) FVR045 verisi ile simülasyon

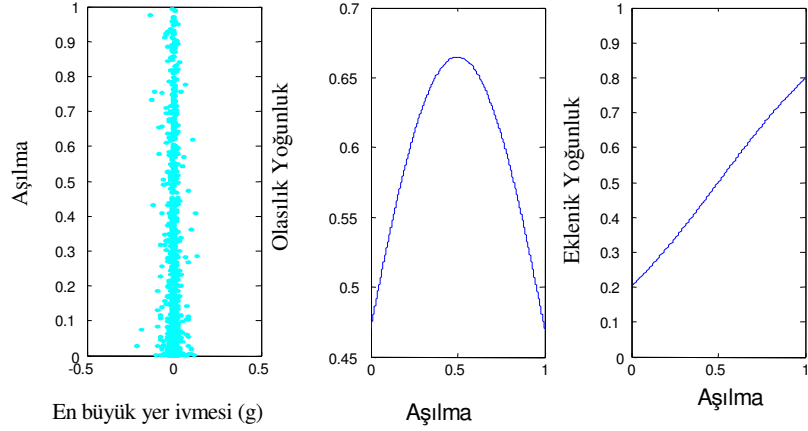
Şekil 4.12. 8 Katlı yapının simülasyonu ile kırılma analizi



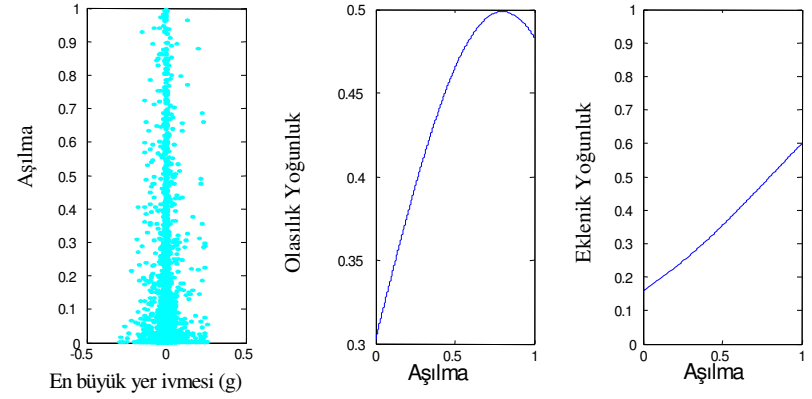
a) C12320 verisi ile simülasyon



b) GIL067 verisi ile simülasyon

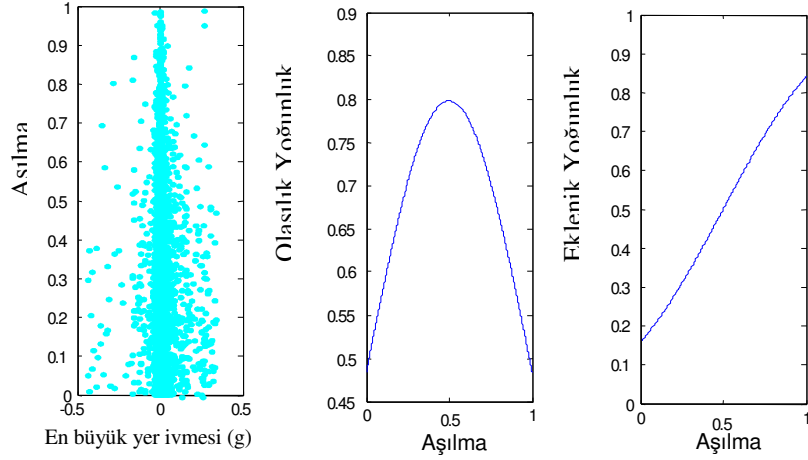


c) ARC000 verisi ile simülasyon

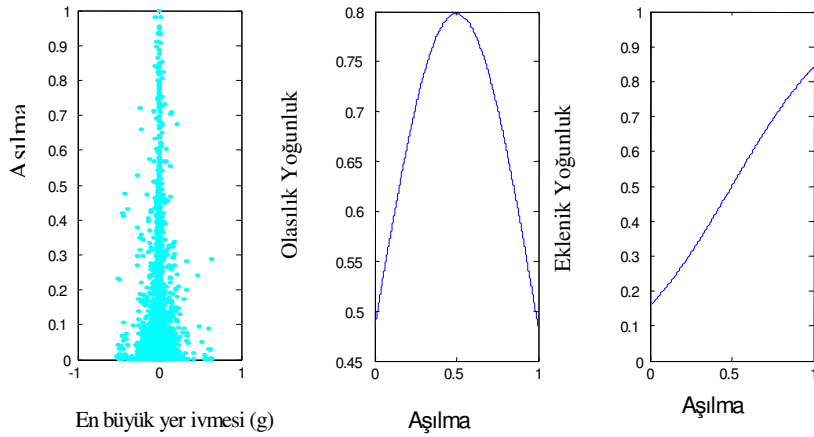


d) G06090 verisi ile simülasyon

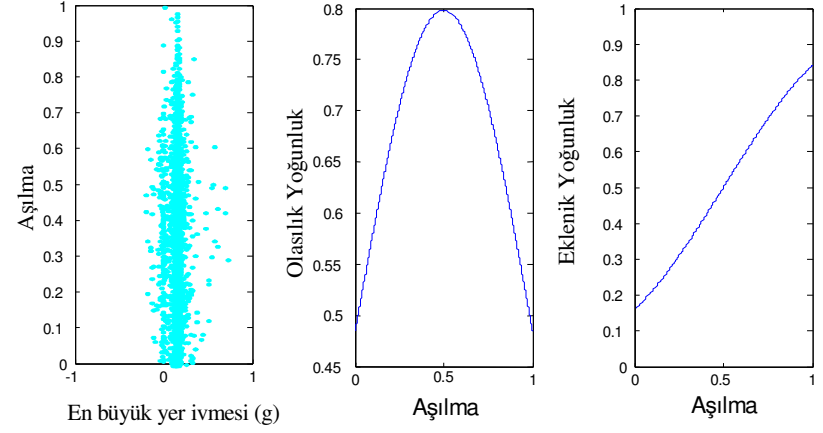
Şekil 4.12: 8 Katlı yapının simülasyonu ile kırılma analizleri



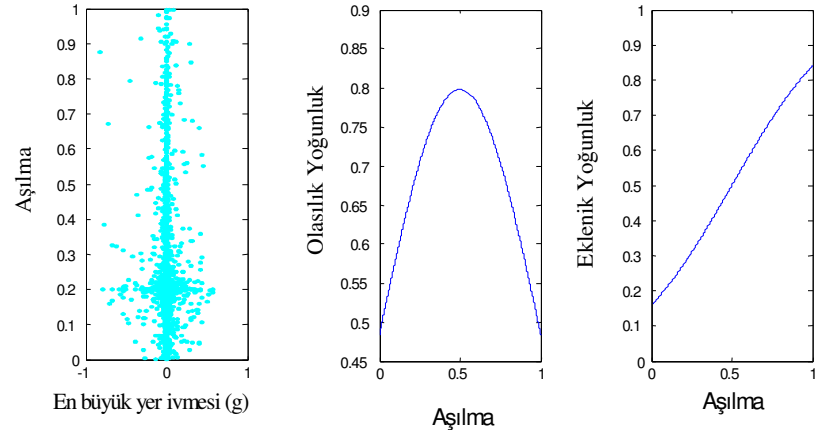
e) G06230 verisi ile simülasyon



g) CLS000 verisi ile simülasyon

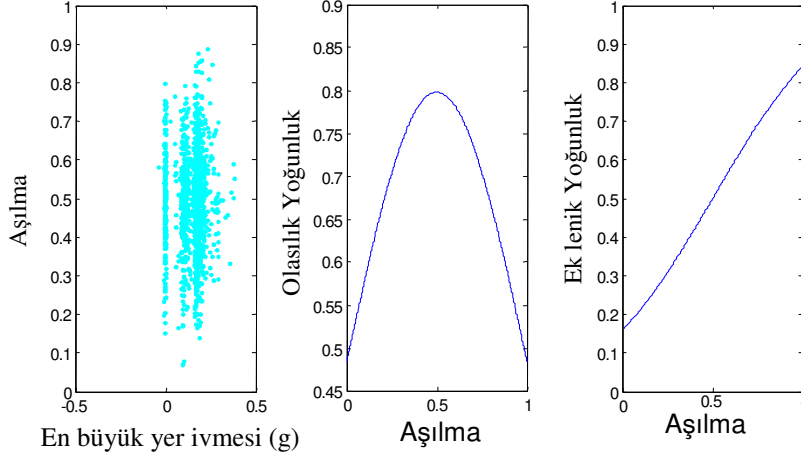


f) ORR090 verisi ile simülasyon

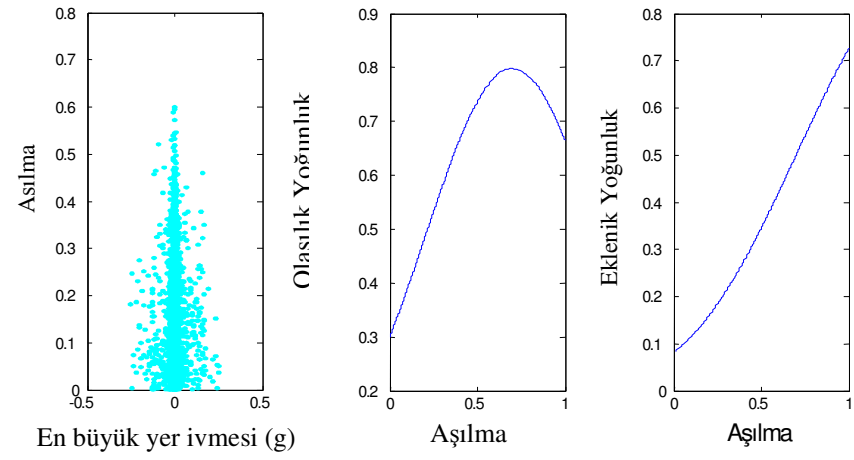


h) KJM000 verisi ile simülasyon

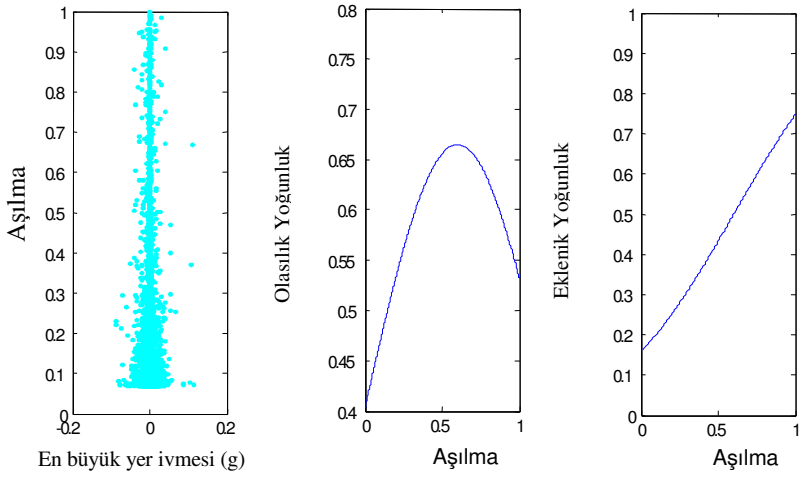
Şekil 4.12: 8 Katlı yapının simülasyonu ile kırılma analizleri



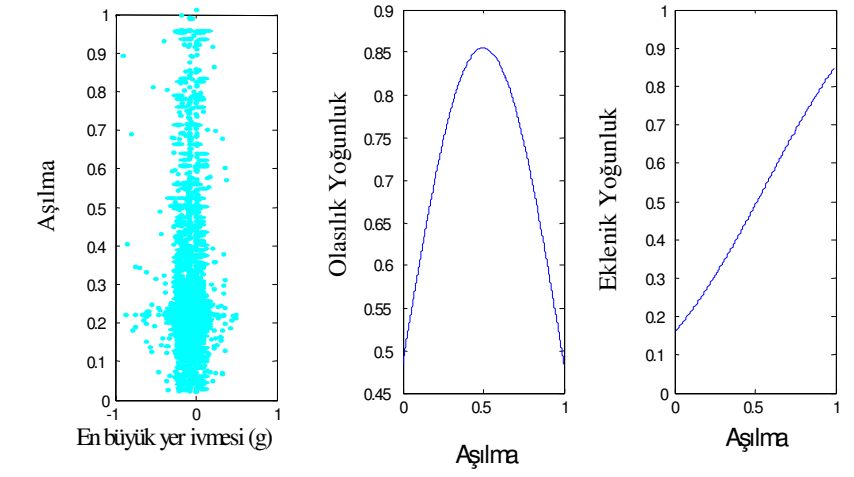
i) SBA222 verisi ile simülasyon



j) LMO355 verisi ile simülasyon

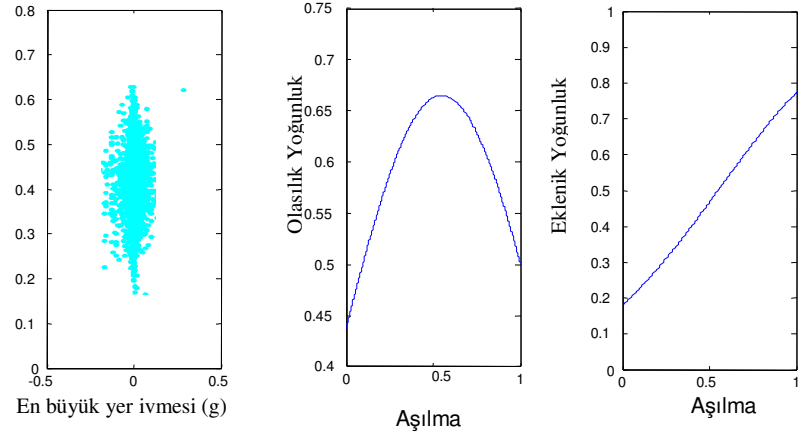


k) DSP000 verisi ile simülasyon

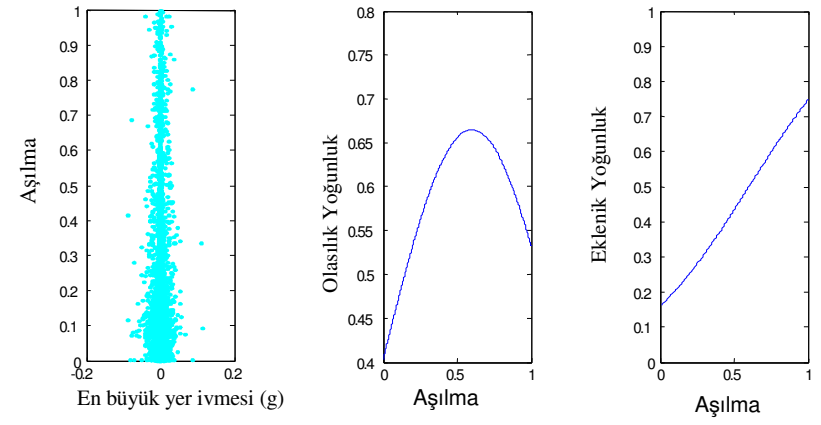


l) FVR045 verisi ile simülasyon

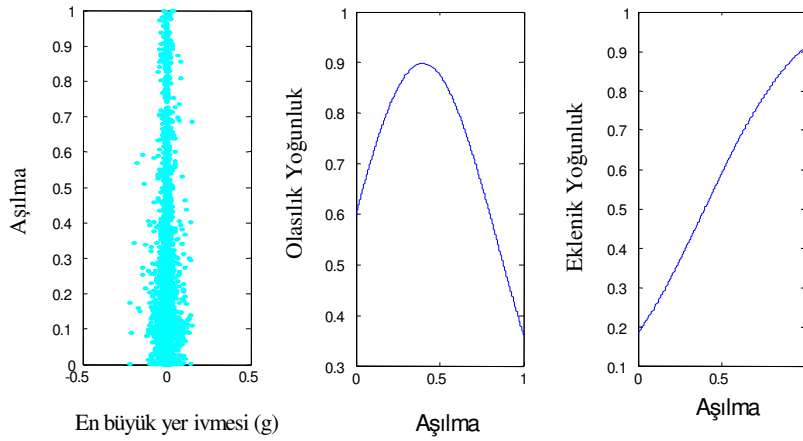
Şekil 4.13. 15 Katlı yapının simülasyonu ile kırılma analizleri



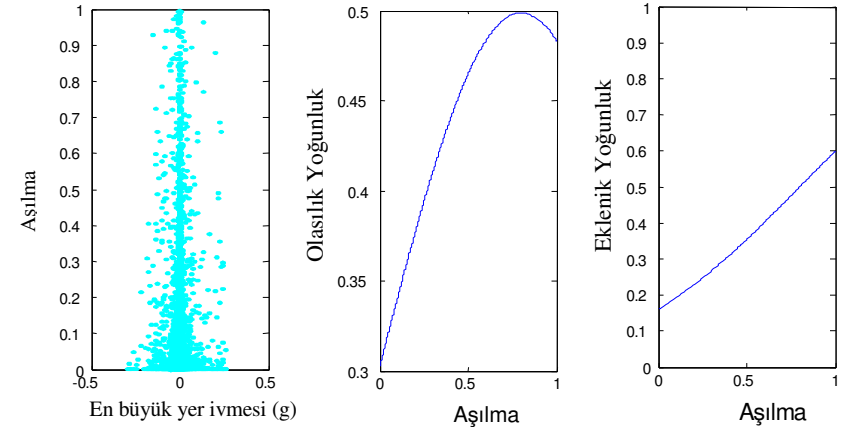
a) C12320 verisi ile simülasyon



b) GIL067 verisi ile simülasyon

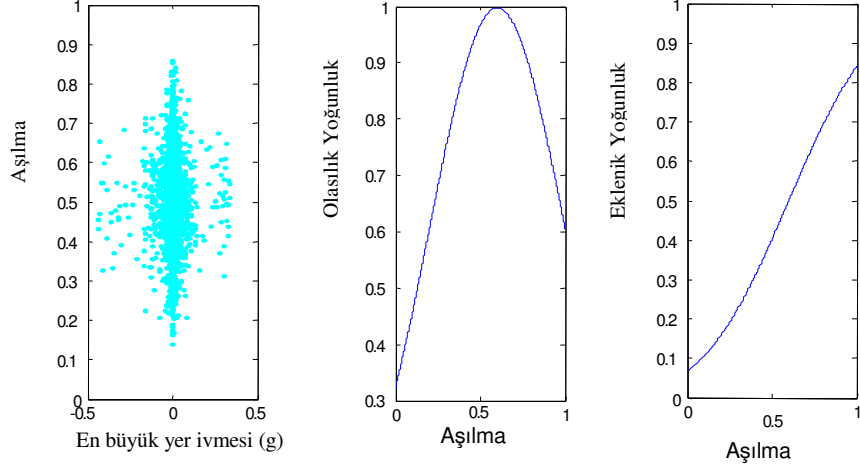


c) ARC000 verisi ile simülasyon

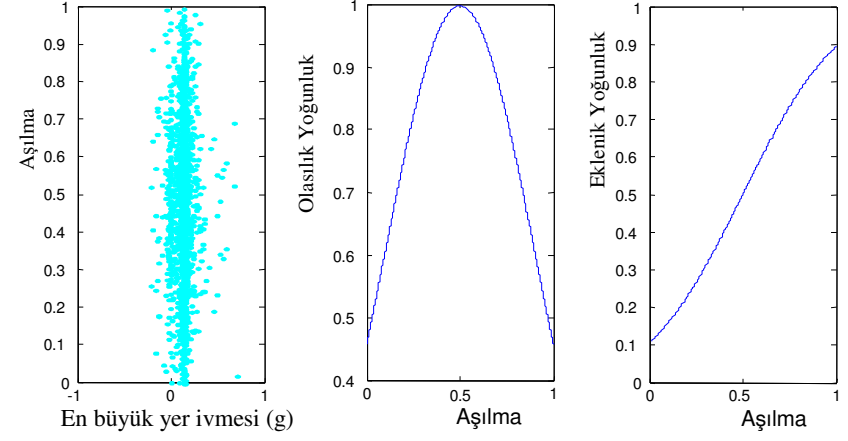


d) G06090 verisi ile simülasyon

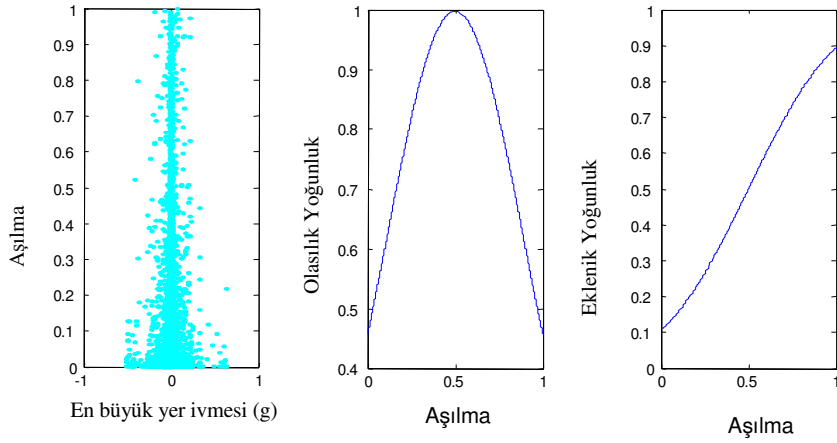
Sekil 4.13: 15 Katlı yapının simülasyonu ile kırılma analizleri



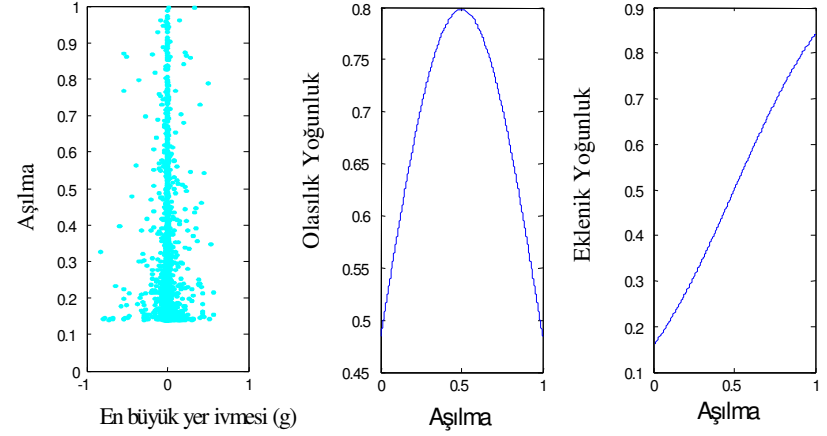
e. G06230 verisi ile simülasyon



f. ORR090 verisi ile simülasyon

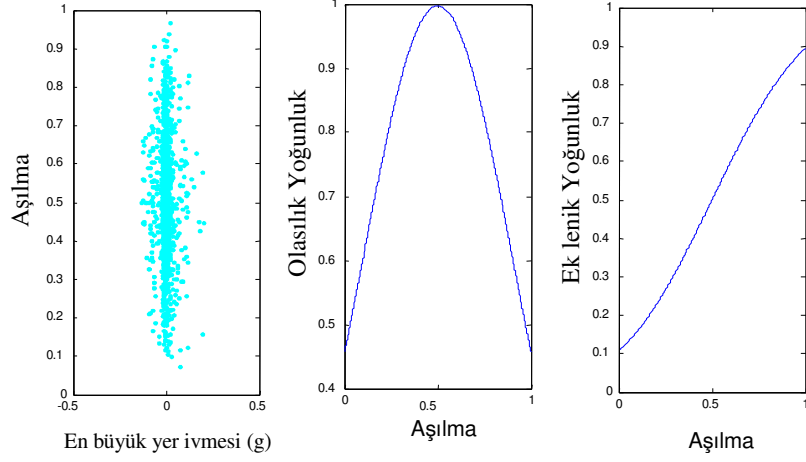


g. CLS000 verisi ile simülasyon

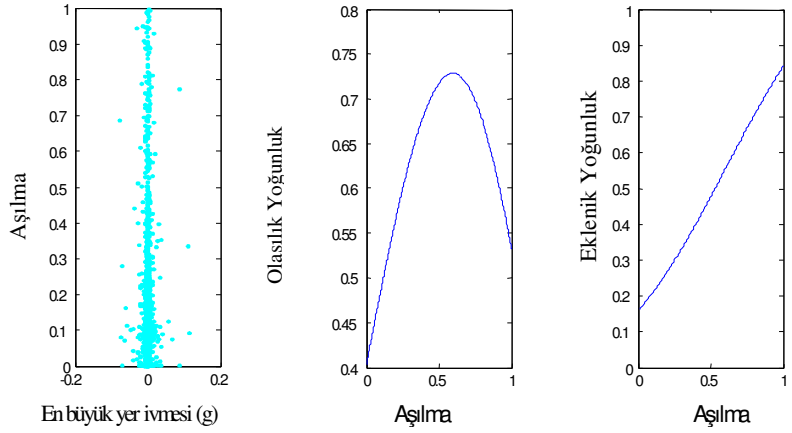


h. KJM000 verisi ile simülasyon

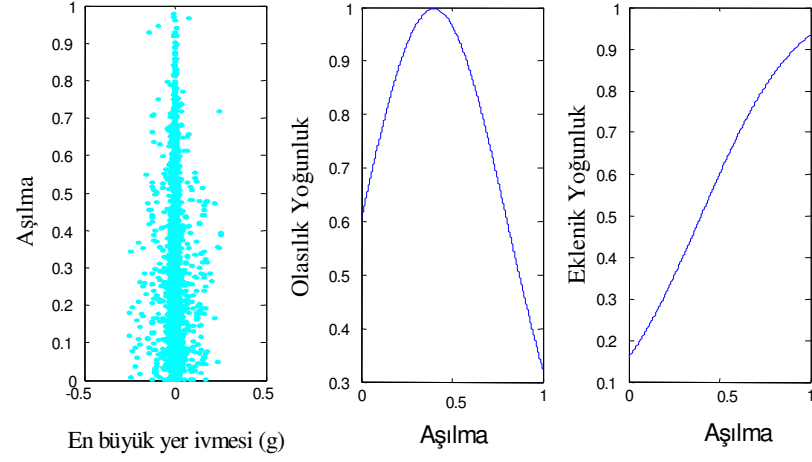
Şekil 4.13. 15 Katlı yapının simülasyonu ile kırılma analizini



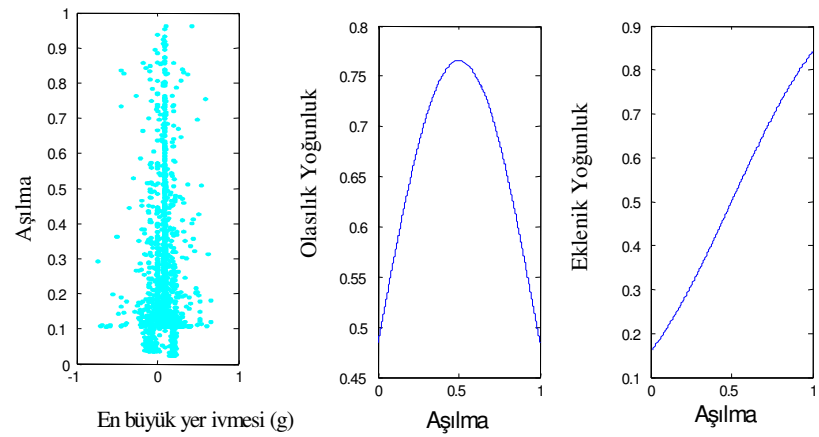
i. SBA222 verisi ile simülasyon



k. DSP000 verisi ile simülasyon

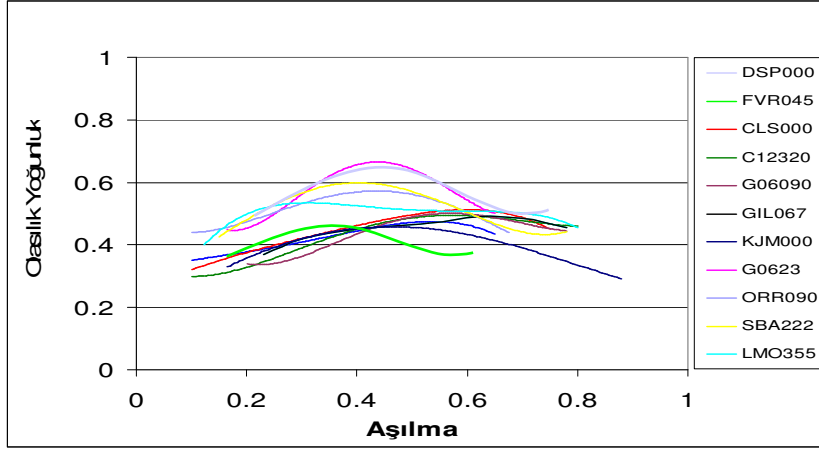


j. LMO355 verisi ile simülasyon

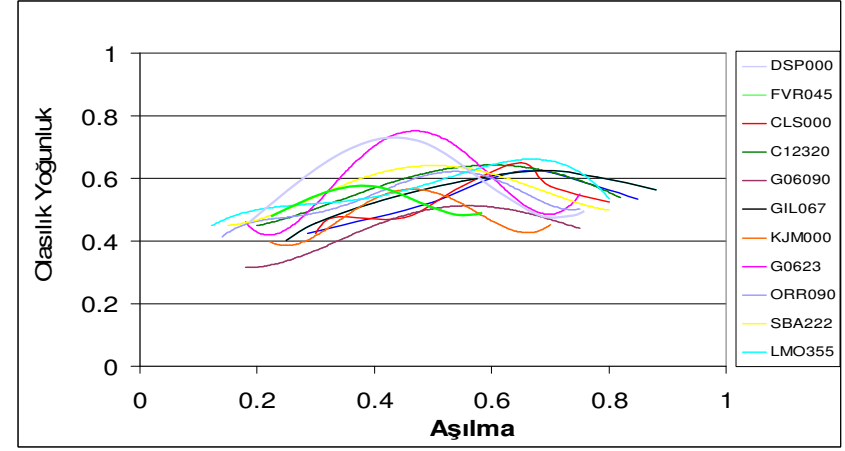


l. FVR045 verisi ile simülasyon

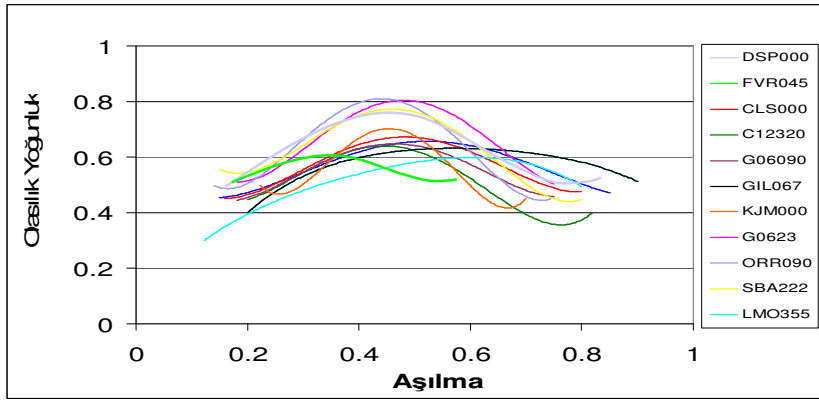
Şekil 4.14. Tüm yapılar için tüm deprem verileri ile eklenik yoğunluk fonksiyonları



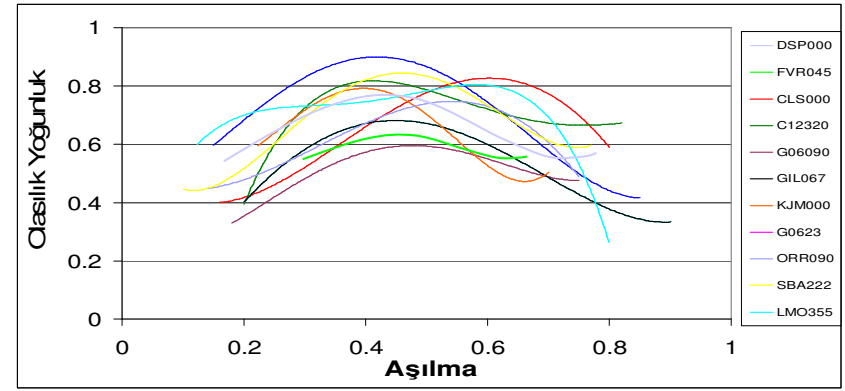
a) 3 Katlı yapı için olasılıklı yoğunluk fonksiyonları



b) 5 Katlı yapı için olasılıklı yoğunluk fonksiyonları

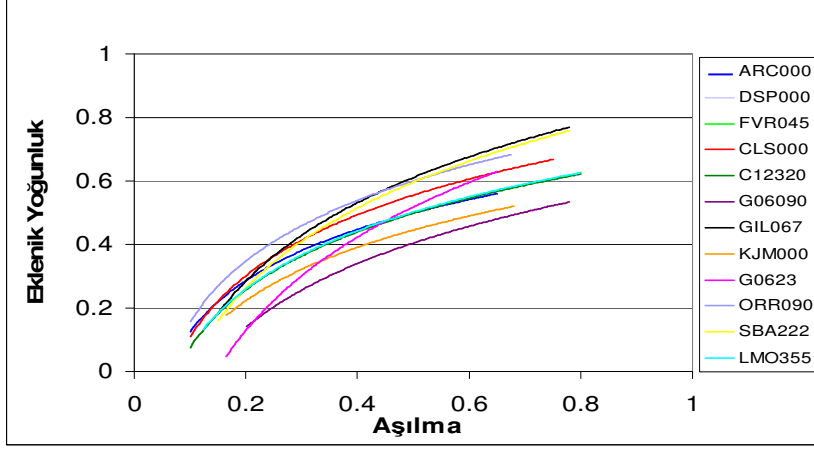


c) 8 Katlı yapı için olasılıklı yoğunluk fonksiyonları

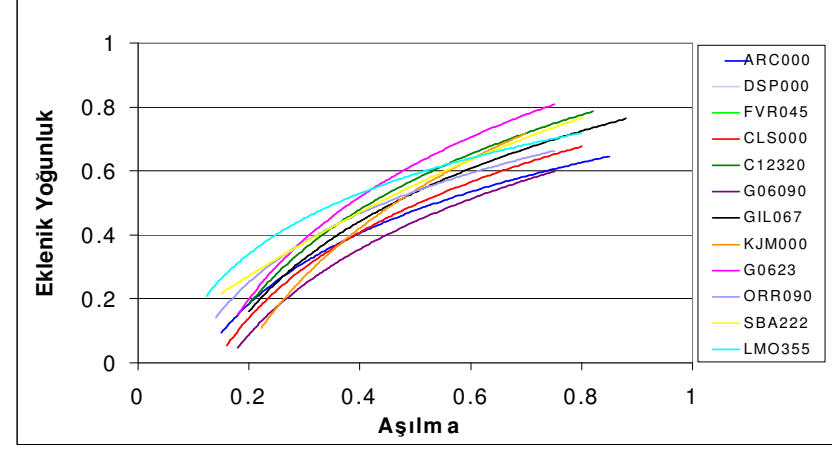


d) 15 Katlı yapı için olasılıklı yoğunluk fonksiyonları

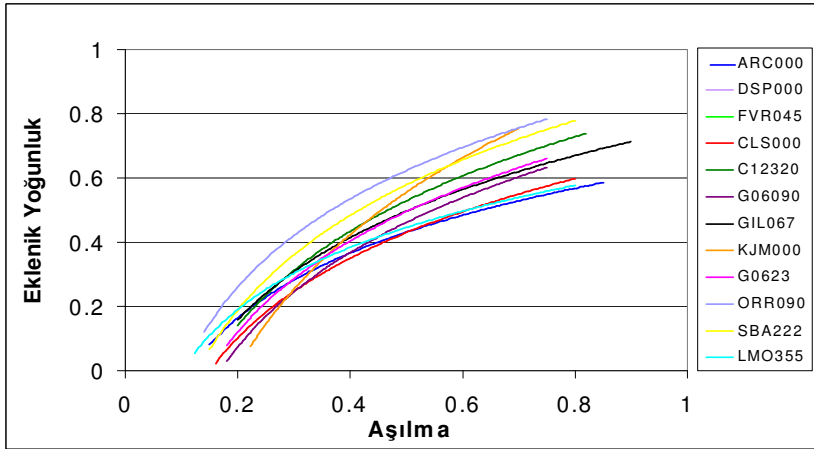
Şekil 4.15. Tüm yapılar için tüm deprem verileri ile eklenik yoğunluk



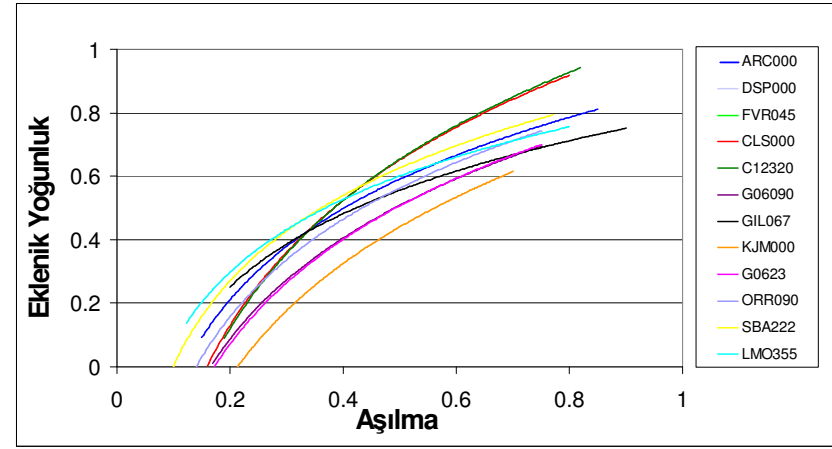
a) 3 Katlı yapı için eklenik yoğunluk fonksiyonları



b) 5 Katlı yapı için eklenik yoğunluk fonksiyonları



c) 8 Katlı yapı için eklenik yoğunluk fonksiyonları



d) 15 Katlı yapı için eklenik yoğunluk fonksiyonları

4.5. Simülasyon Yöntemleriyle Kırılma Analizlerine Dayanan Güvenilirlik Esaslı Performansa Bağlı Analiz Yönteminin Değerlendirilmesi

Ayrıca kırılma analizlerine dayanan güvenilirlik esaslı performans analizlerinde, günümüzde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanan simülasyon yöntemlerinin uygulanması sağlanmıştır. 3, 5, 8 ve 15 katlı betonarme çerçeve sistemlerin sanal test yöntemi olarak adlandırılan simülasyon yöntemine bağlı kırılma analizleri, tablo 2.9’da verilen 12 deprem verisiyle gerçekleştirilmiştir. Her bir deprem verisi için simülasyon yapılarak her deprem verisine ait yaklaşık 6000 yer ivmesi verisine karşı gelen aşılma olasılığı değeri elde edilmiştir. Elde edilen aşılma olasılığı değerlerinin dağılımı, şekil 4.10 ile şekil 4.13 arasında gösterilmiştir. Olasılıklı kırılma ifadesini vermek için olasılık yoğunluk fonksiyonu Şekil 4.14’de gösterilmiştir. Şekil 4.15’de eklenik yoğunluk fonksiyonları elde edilerek kırılma analizleri simülasyonla gerçekleştirilmiştir. Böylelikle kırılma ifadelerinin olasılıklı olarak verilmesi sağlanmış olmaktadır.

Simülasyon esaslı yöntemlerin kırılma analizlerine uyarlanması, analizlerin daha gerçekçi olarak yapılmasına olanak vermiştir. Ancak simülasyonların çok zaman alıcı olması ve yoğun bir uğraşı gerektirmesi sebebiyle uygulamaya çok uygun değildir. Ancak gelişen teknoloji ile birlikte simülasyon analizleri değer kazanacak ve analizlerde kolaylıkla kullanılabilir olacaktır.

Simülasyon yöntemleri, olasılıklı fonksiyonları kullanarak yapının aşılma olasılığının meydana gelmesi durumunun ortaya konmasını sağlamaktadır. Simülasyon yardımıyla, verilerinin belirsizlikleri ve rasgelelikleri incelenebilir. Bu, yöntemin önemli avantajlarından biridir. Simülasyon, deneme sayısına da bağlı olarak analiz hatalarını çok aza indirmekte ve hataları en aza indirmektedir. Çünkü çok sayıda deneme yapılmakta ve her bir ivme değeri için bir aşılma olasılığı belirlemek mümkün olabilmektedir.

BÖLÜM BEŞ

GÜVENİLİRLİK ESASLI PERFORMANSA BAĞLI ANALİZDE YÜK KATSAYILARININ OPTİMİZASYONU

5.1. Giriş

Yapı tasarımında en önemli noktalardan biri, güvenilirliktir. Yapı tasarımının güvenilirliği yapının analizinin güvenilirliğiyle özdeştir. Öte yandan, aşırı güvenilirlikli yapı tasarımı maliyet açısından sorunlar doğurabilmektedir. Betonarme yapıların en elverişsiz yüklemeler altında bütününde veya elamanlarında aşırı sehim, çatlama gibi istenmeyen durumların meydana gelmemesi istenir. Bu durum, aykırı bir koşul altında, yapının hasar görmeyeceği veya bir yıkılma durumuyla karşı karşıya gelmeyeceği anlamına gelmemektedir. Bu sebeple yapıda belirli bir yapısal güvenliğin sağlanması gereklidir. Bu yapısal güvenlik için en gerçekçi analiz yapılması gereklidir. Ekonomik sınırlar içinde normal bir güvenliğin sağlanması yapısal tasarımın amacıdır (Orbay, 2002).

Yapıların yıllık limit durumu aşılma olasılıklarının belirlenmesinde güvenilirlik esaslı analizler uygulanmaktadır. Bu analizlerde sismik yük katsayısının optimum değerinin bulunması için optimizasyon tekniklerinin geliştirilmesi oldukça önemlidir. Çeşitli deprem etkileri altında, yapıların tasarımına ait sismik yük katsayıları belirlenmesi güvenilirlik esaslı sismik analiz gerçekleştirilmesinde büyük rol oynayacaktır. Yük katsayılarının belirlenmesinde seçilen amaç fonksiyonlarının kullanılmasıyla yük katsayılarının optimum değeri bulunabilecektir.

Betonarme yapıların güvenlik katsayıları için, belirlenen limit durumlarında, basitleştirilmiş yöntemlerle sismik yük katsayıları için optimizasyon yapılması bu bölümün konusunu oluşturmaktadır. Betonarme çerçeve sistemler için güvenilirlik esaslı sismik analiz yöntemlerinde, yıllık aşılma olasılıkları için, seçilen amaç fonksiyonları için yük katsayılarının optimizasyonu yapılmıştır.

Analizlerde, betonarme çerçeve sistemler için tablo 2.9’da verilen deprem verileri kullanılmıştır. Amaç fonksiyonları, yapının aşılma olasılığının minimize edilmesi üzerine kurlumıştır. Belirlenen bu amaç fonksiyonlarına karşı gelen yük katsayılarının grafikleri elde edilerek en uygun yük katsayısı değerleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Güvenilirlik esaslı analizde yük katsayılarının optimizasyonu, sismik davranışın doğru tahmini için oldukça önemlidir. Sismik analiz, belirli deprem yüklerine göre yapının deprem davranışını en doğru şekilde belirlemeye yönelik yapılmalıdır. Yapının sismik analizinde kullanılan yük katsayılarının optimum değerinin belirlenmesi ve amaç fonksiyonlarının kullanılmasıyla limit durumu aşılma olasılığını en aza indirilmesi amaçlanmıştır.

5.2. Karakteristik Değerler ve Yük Katsayıları

Yapı tasarımında, öncelikle tasarım yük etkilerine karşı dayanımın sağlanması gereklidir. İyi bir tasarım, yapının güvenliğini belirli sınırlar içinde sağlayan tasarımdır. Güvenlik kavramı için öncelikle karakteristik değer tanımının yapılması ve kavranması gereklidir. TS500, yapı güvenliğini belirli şartlara ve kurallara bağlayarak sağlamaya çalışmaktadır. TS500’de karakteristik yük etkisi, istatistiki verilere bağlı olarak belirlenen ve yapının kullanım ömrü süresince aşılma olasılığı belirli bir değerde olan yük etkisi olarak tanımlanmıştır. Yük etkisinin karakteristik değeri F_k olarak belirtilir ve bu tanıma göre, yapının kullanım ömrü boyunca yapıya etkileyecek daha büyük bir değer ortaya çıkma olasılığının %10 olduğu belirtilmiştir. Karakteristik malzeme dayanımı değeri R_k da istatistiksel değerlere dayalı olarak belirlenen ve bu değerden daha küçük dayanım değeri elde edilme olasılığı belirli bir oran olan dayanım değeridir. TS500’de yapı dayanımı için verilen yük katsayıları şu şekilde tanımlanmaktadır (TS500, 2000):

$$R_k \geq F_k \quad (5.1)$$

Yapıya etkiyen yükler, malzemenin dayanım karakteristik değerlerinden farklı olabilir. Yapı, projede öngörülenden daha büyük yük etkileri altında kalabilir. Malzemenin dayanımı da istenen değerden daha düşük olabilir. Ayrıca tasarım veya yapım aşamasında yapılan yanlışlıklar söz konusu olabilir. Bunlar, analizlerde eleman boyutlandırmasında, donatı seçiminde veya yerleştirilmesinde, ve benzeri şekilde yapılan hatalardır. Bütün bu olasılıklar göz önüne alınarak, bunlardan doğacak sakıncaları önlemek amacıyla yük katsayıları kullanılır (Orbay, 2002).

TS 500'de yük etkileri, yük katsayısı (γ_f) olarak adlandırılan katsayılarla çarpılır. Malzeme dayanımları ise, malzeme katsayılarına (γ_m) bölünür. Yapıya, kullanım ömrü süresinde etkimesi muhtemel yüklerin belirli bir katsayıya bağlı olarak ifade edilmesiyle yapının dayanımı belirlenmektedir. Yük katsayılarının kullanılmasıyla denklem 5.1 şu halde yazılabilir;

$$R_k / \gamma_m \geq \gamma_f F_k \quad (5.2)$$

Sabit yüklerin aritmetik ortalama değerleri yaklaşık olarak, nominal değerdedir ve sabit yüklerde oldukça az değişiklik görülür. Tanımlanan hareketli yük ise genellikle en büyük değere yakındır. Depremin dahil edildiği yük kombinasyonu için, sismik yük katsayısını belirlemede optimizasyona gitmek uygundur. Yük güvenlik katsayıları, yapıya etkimesi olası yüklerde belirsizlik bulunması sebebiyle kullanılmaktadır. Örneğin, yapı tasarımı sırasında yüklerin belirlenmesinde hata yapılmış olabilir.

Yapının öngörülüş işlevinden vazgeçilerek, yapıya farklı bir işlev verilmesi halinde öngörülenin dışında yüklerin yapıya etkimesi halinde bir takım ek yüklerle karşılaşılabilir. Bu nedenle, özellikle hareketli yük güvenlik katsayısı kalıcı yüklere göre daha büyük olarak ele alınır. Öte yandan, farklı tip yüklerin ayrı ayrı veya bir arada etkimesi olasılıkları da farklılıklar gösterebilir. Örneğin, yapının hem sabit hem de hareketli yüklerle birlikte tam yüklü olması olasılığıyla bunlara ilave olarak deprem yüklerinin de etkimesi olasılığı eşit değildir.

Tasarımda yapıya etkiye olasılığı olan, TS500'de verilen tüm yük birleşimlerinin dikkate alınması gereklidir. TS500'de değişik yük kombinasyonları ve etkiye olasılıkları göz önünde bulundurularak, değişik yüklerin birlikte etkimeleri durumlarına ait yük katsayılarıyla hesaplarda kullanılacak yük tipleri ve yük birleşimleri verilmektedir. Deprem yüklerinin de göz önüne alındığı durumda;

$$\gamma_f F_k = 1.0G+1.0Q+1.0E \quad (5.3)$$

$$\gamma_f F_k = 0.9G+1.0E \quad (5.4)$$

Sol taraf ise yük katsayısı (γ_f) çarpılmış nominal kapasiteyi göstermektedir. Denklem 5.3 hareketli yükün dikkate alındığı durumu, denklem 5.4 ise, sadece ölü yükün dikkate alındığı durumu vermektedir.

TS500'de verilmiş olan bu 5.3 ve 5.4 denklemleriyle yapıların deprem etkimesi durumundaki yük değerlerinin belirlenmesi sağlanmaktadır. Yapıların deprem davranışlarının belirlenmesi amacıyla kullanılmakta olan bu denklemler kullanılarak, yapılara etkiyeceği düşünülen yükler belirlenmektedir. Bu yüklerin belirlenmesinde kullanılan yük katsayılarından deprem yük katsayısı, depremin etkimsi durumu için denklemlere dahil edilmektedir. Deprem olması durumunun ifade edilmesinde kullanılacak bu yük değerleri doğrudan sismik analiz sonuçlarıyla ilişkilidir.

Bu bölümde, TS500'de verilmiş olan yük katsayılarının iki amaç fonksiyonu altında ve belirli deprem verileri için optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Güvenilirlik esaslı sismik analizin bir parçası olan bu optimizasyon yaklaşımıyla yapıların sismik analizinde kullanılan yük katsayılarının belirlenmesi sağlanacaktır. Çeşitli tasarım koşullarında yapıların depreme karşı dayanım göstermesi seçilen deprem kriterlerinin uygunluğundan, kullanılan yöntemlere kadar çok çeşitli parametrelere bağlıdır. Yapılan sismik analizler, çeşitli yapı malzemelerinin yük katsayılarının ve kombinasyonlarının verildiği koşullarda gerçekleştirilmektedir.

5.3. Optimum Yük Katsayısının İki Parametreye Bağlı Olarak Belirlenmesi

Betonarme yapıların sismik analizinde kullanılan yük katsayılarının optimizasyonu, kabul edilebilir risk seviyesinde hedeflenen limit durum için belirlenen amaç fonksiyonu yardımı ile gerçekleştirilir. Bu amaç fonksiyonu, yapının limit durumu aşılma olasılığını minimum yapmayı amaçlamaktadır. Ellingwood ve arkadaşlarının aşılma olasılığını minimize etmek için önerdiği amaç fonksiyonu denklem 5.5’de verilmiştir. Ellingwood, bu amaç fonksiyonunda göçme limit durumunu aşılma olasılığının minimize edilmesinde kullanılan bir parametre olarak kullanmıştır. Betonarme yapıların kuvvet esaslı tasarımında yapının göçme limit durumunun dikkate alınmasında kullanılan deprem yük katsayılarının optimizasyonunda, Ellingwood tarafından önerilen, gerçek limit durumu ve hedef limit durumu olasılığı arasındaki farkı dikkate alan ve bu farkın, hedef limit durumu olasılığına oranını amaç fonksiyonu olarak kabul eden bir yöntem verilmiştir (Ellingwood, 1980).

Ellingwood tarafından önerilen amaç fonksiyonu yapının göçme limit durumu için şu şekilde yazılabilir;

$$\Omega_1(\min) = \sum_{j=1}^N \left\{ \frac{\log(P_{FGj}) - \log(P_{FGH})}{\log(P_{FGH})} \right\}^2 \quad (5.5)$$

Bu amaç fonksiyonuyla karşılaştırılmak üzere göçme limit durumu olasılığının, amaçlanan göçme limit durumu olasılığına olan oranına dayanan bir amaç fonksiyonu önerilmiştir. Önerilen bu amaç fonksiyonu denklem 5.6’da gösterilmiştir:

$$\Omega_2(\min) = \sum_{j=1}^N \left\{ \frac{\log(P_{FGj})}{\log(P_{FGH})} \right\}^2 \quad (5.6)$$

Bu iki denklemde, P_{FGH} : hedeflenen göçme limit durumu aşılma olasılığı, P_{FGj} : j. yapı için hesaplanan göçme limit durumu aşılma olasılığı, N : ele alınan toplam yapı sayısıdır.

Bu iki denklem kullanılarak 3, 5, 8 ve 15 katlı betonarme yapılar için amaç fonksiyonları minimize edilmiş ve elde edilen grafiklerle yük katsayılarının optimum değeri elde edilmiştir. Limit durumu aşılma olasılığı göçme durumu için en büyük yer ivmesine ve en büyük yer hızına bağlı olarak şu şekilde elde edilir:

$$P_F = \Pr(S_{AK} / S_{AT} \leq 1) \quad (5.7)$$

En büyük Yer ivmesiyle elde edilen aşılma olasılığı;

$$P_F (PGA) = \phi \left[\frac{- \ln \left(\frac{S_{AK}}{S_{AT}} \right)}{(\beta_K^2 + \beta_T^2)^{1/2}} \right] \quad (5.8)$$

S_{AK} : yapısal kapasite, S_{AT} : yapısal tepki, PGA: en büyük yer ivmesi, β_T : yapı tepkisinin standart sapması, β_K : yapı kapasitesinin standart sapması

En büyük yer hızıyla elde edilen aşılma olasılığı ;

$$P_F (PGV) = \phi \left[\frac{\ln(PGV) - \lambda}{\zeta} \right] \quad (5.9)$$

PGV: en büyük yer hızı, ϕ : standart normal dağılım,, λ : PGV değerleri için aritmetik ortalama, ζ : PGV değerleri için standart sapmadır.

Gerçekleştirilen optimizasyon çalışması en büyük yer ivmesi ve yer hızına bağlı olarak elde edilen aşılma olasılığı ile belirlenen amaç fonksiyonlarının minimize edilmesiyle gerçekleştirilmiştir. En büyük yer ivmesine ve hızına göre belirlenen aşılma olasılıkları farklı değerlerde olacaklarından elde edilecek amaç fonksiyonlarının minimum değerleri de farklı olacaktır. Bu sebeple optimizasyonun iki parametreye bağlı olarak gerçekleştirilmesi gerekli olacaktır.

İlk akma limit durumunda limit durumu aşılma olasılığı, 100 yıllık depremlerden belirlenir. Göçme limit durumunda ise 2000 yıllık depremlerden belirlenir. P_{FA} veya P_{FG} değerleri, depremlerde meydana gelen hasarların tespitinde kullanılan en önemli parametrelerdendir. Bu parametreler, optimum yük katsayılarının tespiti için de kullanılmaktadır. Göçme ve ilk akma limit durumlarının olasılıklarının yük katsayılarının belirlenmesinde kullanılması, güvenlik esaslı analizin bir adımını oluşturmaktadır. Sabit, hareketli ve sismik yük katsayıları dikkate alınarak sadece sismik yük katsayısı için yapılan optimizasyonda, sabit ve hareketli yük katsayıları TS500'de verildiği gibi alınmıştır. Sismik yük katsayısı diğer katsayılar sabitken değiştirilmektedir. Genel tasarım standartlarını göz önüne alırsak, deprem sırasındaki bina davranışının, hem ilk akma hem de göçme limit durumları için kontrol edilmesi en uygun olanıdır.

$$\mathbf{AI: Akma indeksi} = \frac{P_{FA}}{P_{FAH}} \quad (5.10)$$

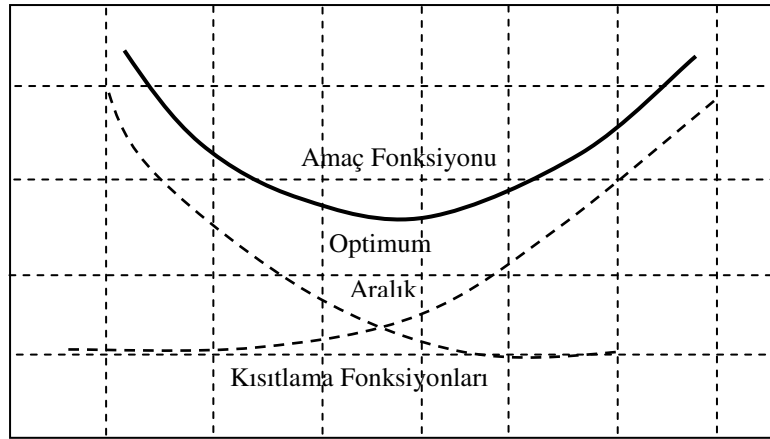
$$\mathbf{GI: Göçme İndeksi} = \frac{P_{FG}}{P_{FGH}} \quad (5.11)$$

P_{FA} : ilk akma limit durumu aşılma olasılığı, P_{FG} : göçme limit durumu aşılma olasılığı, P_{FAH} : hedeflenen ilk akma limit durumu aşılma olasılığı, P_{FGH} : hedeflenen göçme limit durumu aşılma olasılığıdır.

$P_{FA} \geq P_{FAH}$ ise $AI \geq 1.0$ 'dir ve Yapısal performans ilk akma durumu için yeterli değildir. Buna benzer olarak $GI \geq 1.0$ ise Yapı performansı Göçme durumu için yeterli değildir. Göçme indeksi (GI) her durum için akma indeksine (AI) göre çok daha büyüktür. Bunun iki sebebi vardır. Birincisi büyük bir depremin (2000 yıllık deprem) üst sınırı tasarım depreminden (475 yıllık deprem) çok büyüktür. Dolayısıyla büyük depremlerin üst sınırının göçme olasılığına etkisi oldukça büyüktür. İkincisi ilk akma için hedeflenen limit durumu aşılma olasılığı göçme için hedeflenen aşılma olasılığı değerinden daha büyüktür. Dolayısıyla göçme limit durumu aşılma olasılığının sağlanması bakımından oldukça zordur ve göçme limit durumunun dikkate alınması daha uygun olabilir. Tez çalışmasında optimizasyon için göçme limit durumu dikkate alınarak amaç fonksiyonu minimize edilmiştir.

Yapısal optimizasyon problemlerinin uygulanmasında, önce yapının matematiksel modeli kurulur ve bu model üzerinde amaç ve kısıtlama fonksiyonları belirlenir. Optimizasyon formülasyonlarında amaç fonksiyonu ve tasarım değişkenlerinin sınırlarını belirleyen kısıtlama fonksiyonu ve yan kısıtlamalar, genellikle açık şekilde tanımlanır. Bu nedenle bu fonksiyonların açık formüllerinin yazılması, çözümün daha kolay yapılmasını sağlamakla birlikte daha gerçekçi sonuçlar vermektedir.

Amaç fonksiyonu ve kısıtlamaların mutlaka açık fonksiyonlar olarak yazılması gerekli değildir. Bu fonksiyonların nümerik olarak hesaplanması da mümkündür. Ancak amaç fonksiyonları nümerik olarak hesaplanırken, sonucun sağlıklı olarak elde edilmesi için Δx_i değişim artırımlarının uygun seçilmesi gereklidir (Orbay, 1982).



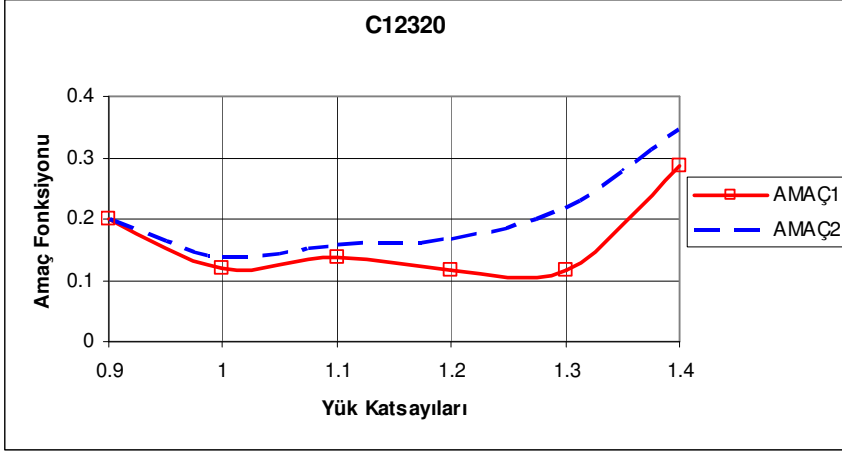
Şekil 5.1. Amaç ve kısıtlama fonksiyonları yardımıyla optimum aralığın belirlenmesi

Şekilde 5.1'de optimum tasarım için bir şema verilmiştir. Bu şekilde belirli kısıtlamalar altında, optimum değer elde edildiği bölge gösterilmektedir. Şekil 5.2'de çerçeve sistemler için 12 deprem verisi kullanılarak, en büyük yer ivmesi değerleri için elde edilen amaç fonksiyonlarının en düşük değerinin ve böylelikle optimum yük katsayılarının elde edilmesi verilmektedir. Şekil 5.3'de de en büyük yer hızına göre optimum amaç fonksiyonu belirlenmeye çalışılmıştır. Optimum yük katsayıları belirli bir amaç fonksiyonunun en küçük değerine karşı gelen yük katsayılarıdır.

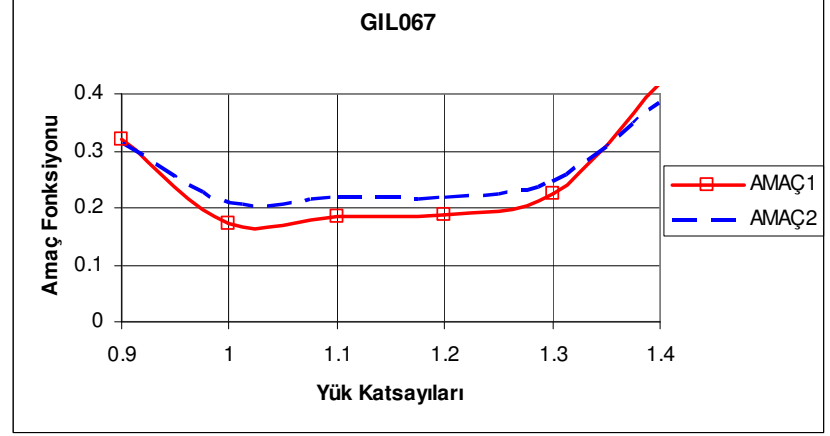
Yapısal tasarımda amaç, işlevsel ve gerekli koşulları sağlayan uygun tasarımı ortaya çıkarmaktır (Orbay, 1982). Genellikle optimizasyonda birden çok uygun çözüm olacağı için, bir çok çözümden en iyisinin seçilmesi gereklidir. En iyi çözümü belirlemek için belirli kriterler ve sınırlamalar konulur. Tasarım değişkenin bir fonksiyonu şeklinde tanımlanan amaç fonksiyonu belirlenerek bu fonksiyon minimize edilir. Bütün optimizasyon yöntemlerinde genel yaklaşım bu çerçevede yapılmaktadır.

Bu bölüm kapsamında betonarme çerçeve sistemler için iki amaç fonksiyonu kullanılmıştır. Sismik yük katsayıları için tablo 2.9'daki deprem verilerine ait en büyük yer ivmesi ve hızı için elde edilen amaç fonksiyonlarının optimum değerleri bulunmaya çalışılmıştır. Ellingwood ve arkadaşlarının bulduğu amaç fonksiyonu ve tez kapsamında önerilen amaç fonksiyonu birbirleriyle karşılaştırılmıştır. TS500'de kullanılan sismik yük katsayısı 1.0'dır. Bu bölüm kapsamında bu değer optimumunun belirlenmesiyle sismik yük katsayısının en uygun değeri elde edilmiş olacaktır.

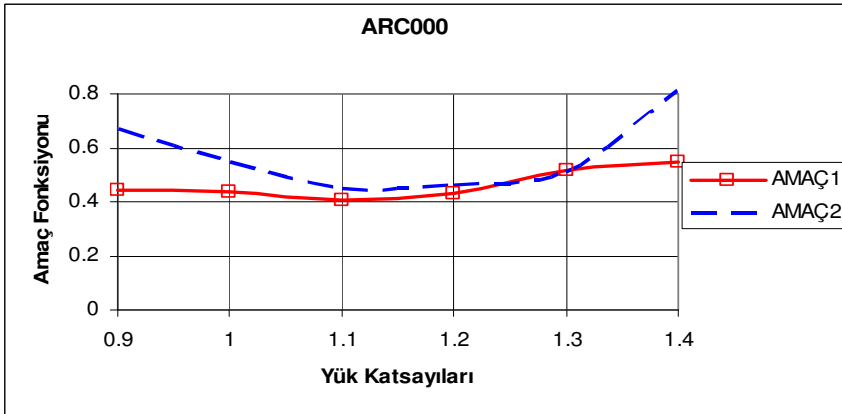
Bu iki amaç fonksiyonu, göçme limit durumları için minimize edilmeye çalışılmış ve bu minimizasyonu sağlayan sismik yük katsayıları belirlenmiştir. Sismik yük katsayısının optimum değerini elde etmek için, limit durumu aşılma olasılıkları kullanılarak belirlenen amaç fonksiyonu $\Omega_{1,2}(\min)$ her bir sismik yük katsayısı değeri için elde edilir. Sismik yük katsayılarına karşı gelen amaç fonksiyonu $\Omega_{1,2}(\min)$ grafikleri elde edilmiştir. Bu grafiklerden hem optimum değerler hem de yük katsayılarına karşı gelen amaç fonksiyonu değerleri elde edilebilmektedir. Bu grafiklerin kullanımıyla yük katsayısı değerine karşı gelen amaç fonksiyonu değeri belirlenebilir. 12 deprem verisi için sismik yük katsayısına, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 değerleri verilerek, amaç fonksiyonlarının hem en büyük yer ivmesi için hem de en büyük yer hızı için en küçük $\Omega_{1,2}(\min)$ değerleri elde edilmiştir. Amaç fonksiyonun en düşük değerde olduğu nokta, amaç fonksiyonunun minimize edildiği noktayı göstermektedir. Amaç fonksiyonun minimize edilmesi yapının sismik analizinde kullanılan yük katsayılarının en uygun değerinin elde edilmesini sağlamaktadır.



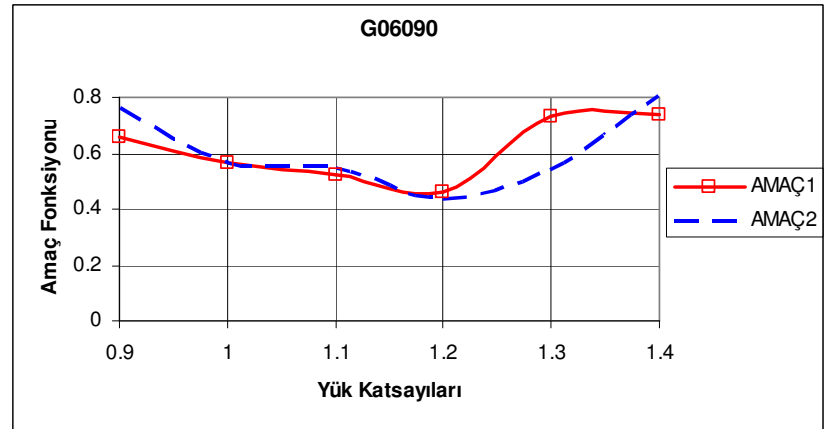
a) C12320 Deprem verisiyle optimizasyon



b) gıl067 deprem verisiyle optimizasyon

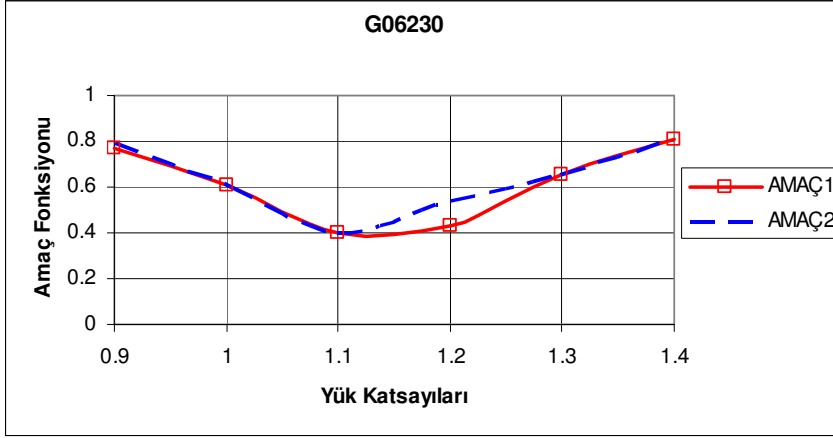


c) ARC000 Deprem verisiyle optimizasyon

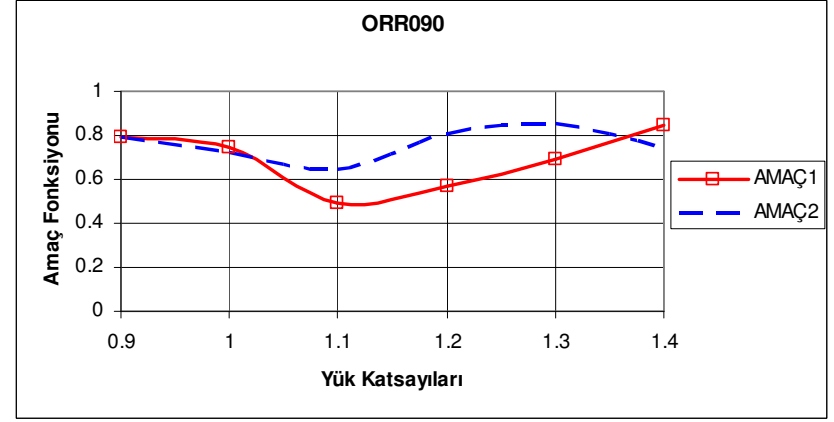


d) G06090 Deprem verisiyle optimizasyon

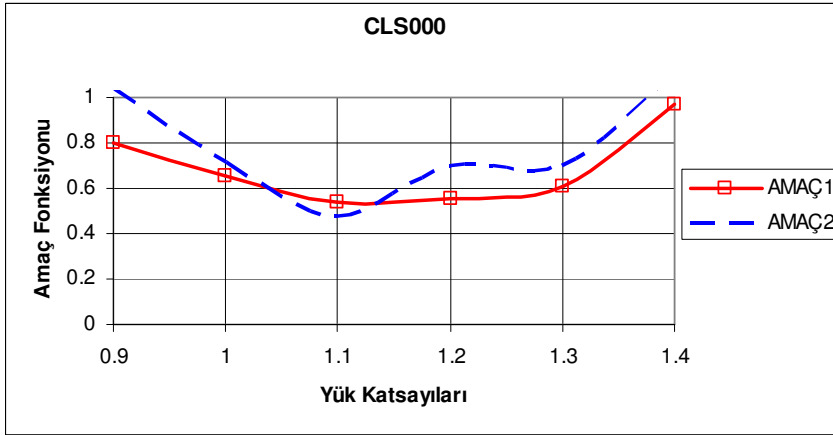
Şekil 5.2. Tüm Yapılar İçin En Büyük Yer İvmesine Göre Belirlenen Amaç Fonksiyonlarıyla Yük Katsayılarının Minimize Edilmesi



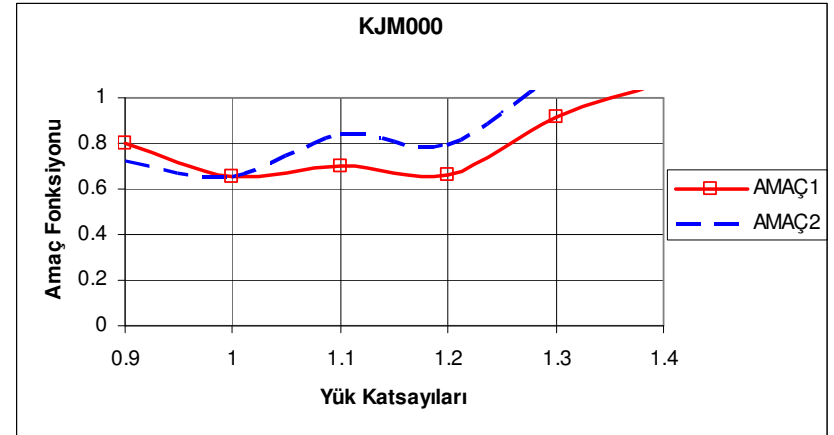
e) G06230 Deprem Verisiyle Optimizasyon



f) ORR090 Deprem Verisiyle Optimizasyon

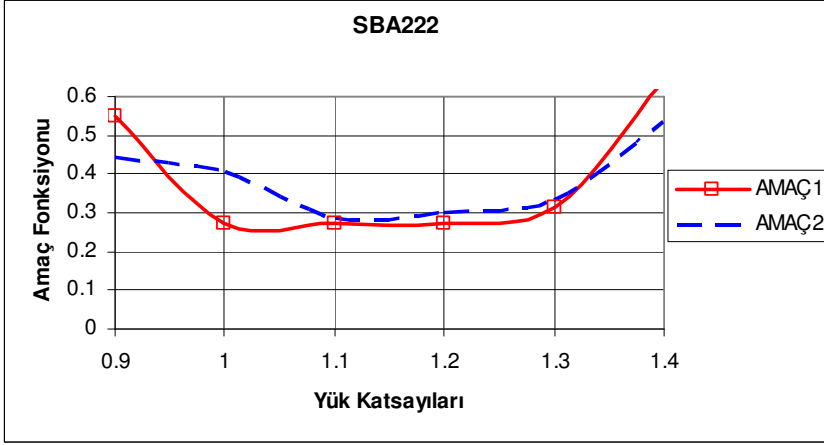


g) CLS000 Deprem Verisiyle Optimizasyon

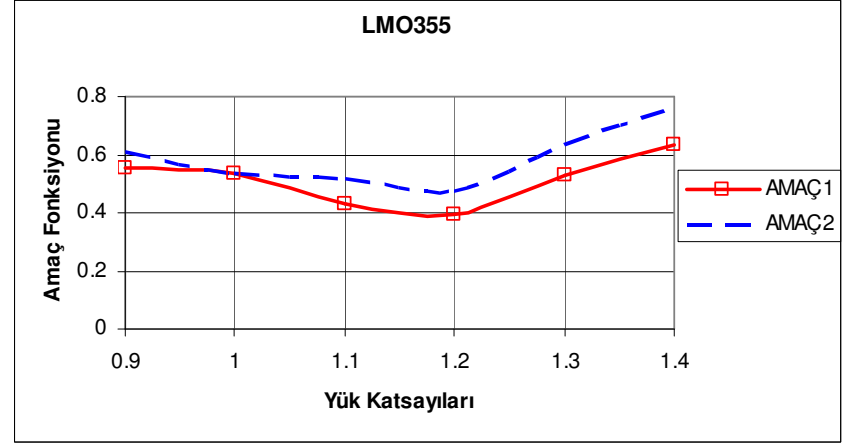


h) KJM000 Deprem Verisiyle Optimizasyon

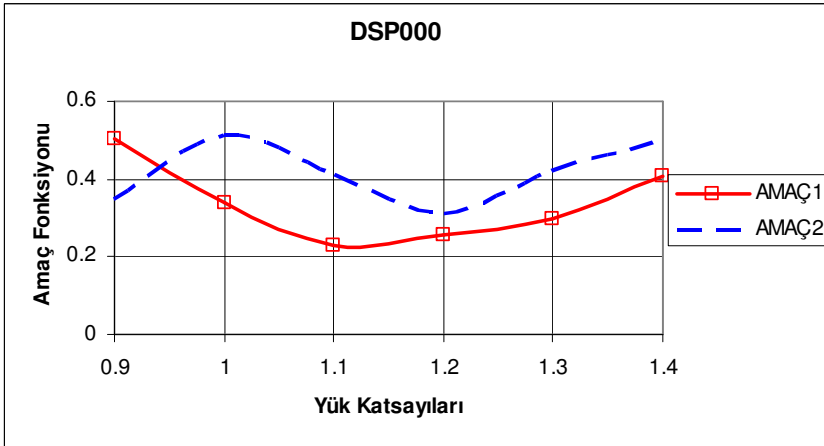
Şekil 5.2. Tüm Yapılar İçin En Büyük Yer İrimesine Göre Belirlenen Amaç Fonksiyonlarıyla Yük Katsayılarının Minimize Edilmesi



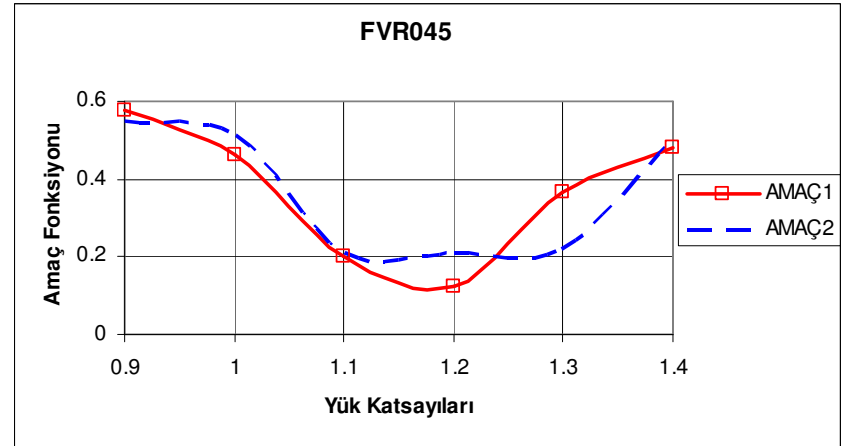
i) SBA222 Deprem Verisiyle Optimizasyon



j) LMO355 Deprem Verisiyle Optimizasyon

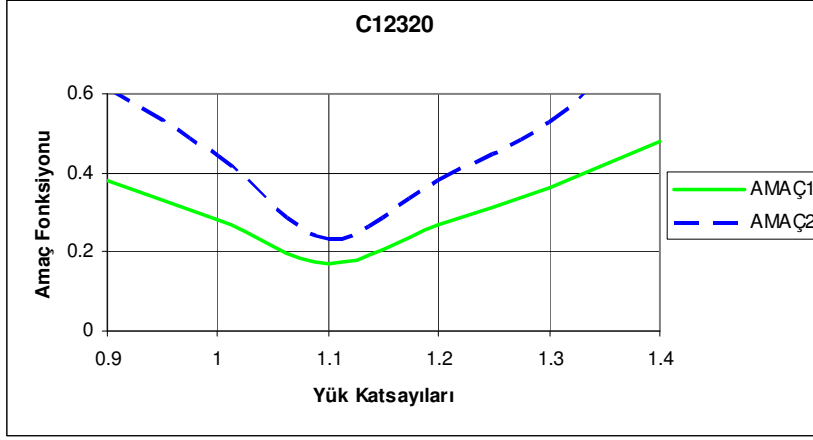


k) DSP000 Deprem Verisiyle Optimizasyon

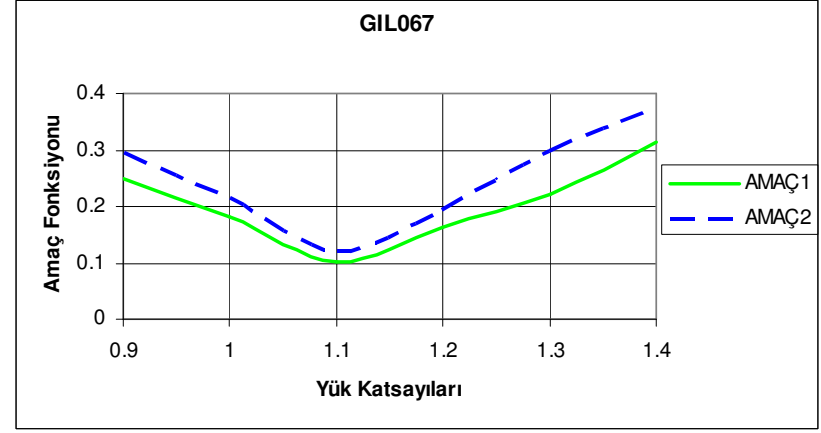


l) FVR045 Deprem Verisiyle Optimizasyon

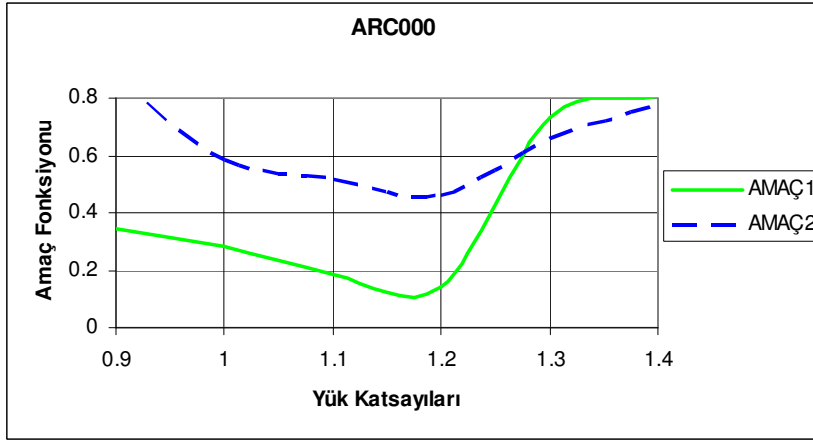
Şekil 5.3. Tüm Yapılar İçin En Büyük Yer Hızına Göre Belirlenen Amaç Fonksiyonlarıyla Yük Katsayılarının Minimize Edilmesi



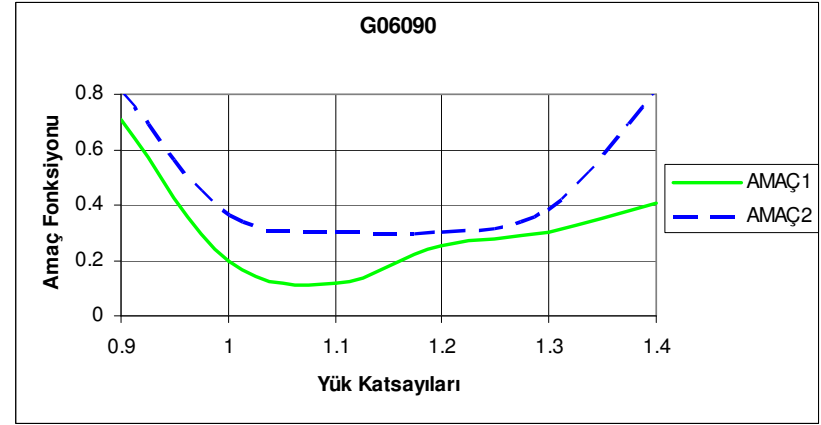
a) C12320 Deprem Verisiyle Optimizasyon



b) GIL067 Deprem Verisiyle Optimizasyon

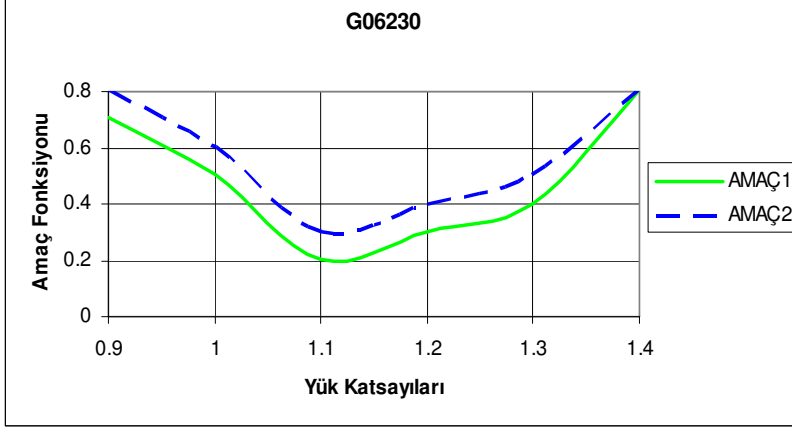


c) ARC000 Deprem Verisiyle Optimizasyon

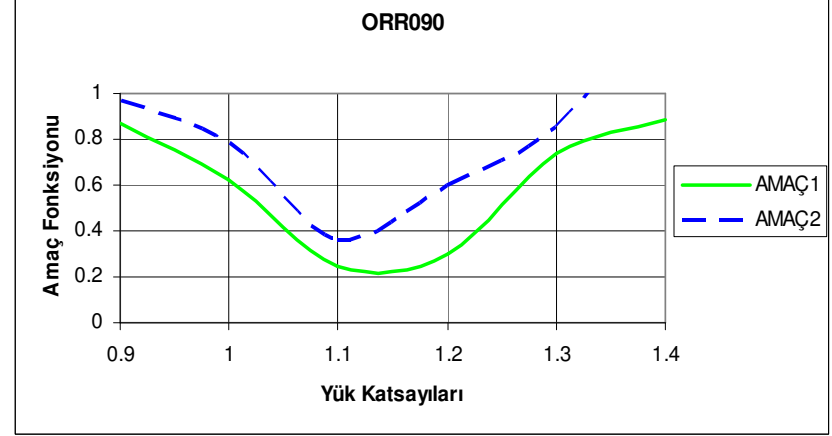


d) G06090 Deprem Verisiyle Optimizasyon

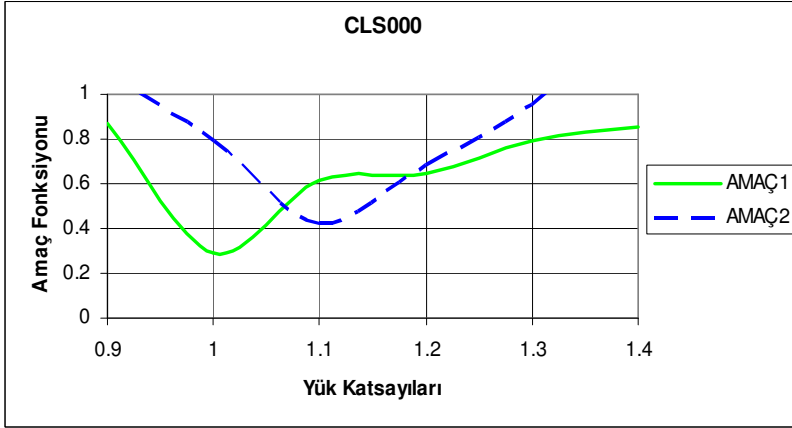
Şekil 5.3. Tüm Yapılar İçin En Büyük Yer Hızına Göre Belirlenen Amaç Fonksiyonlarıyla Yük Katsayılarının Minimize Edilmesi



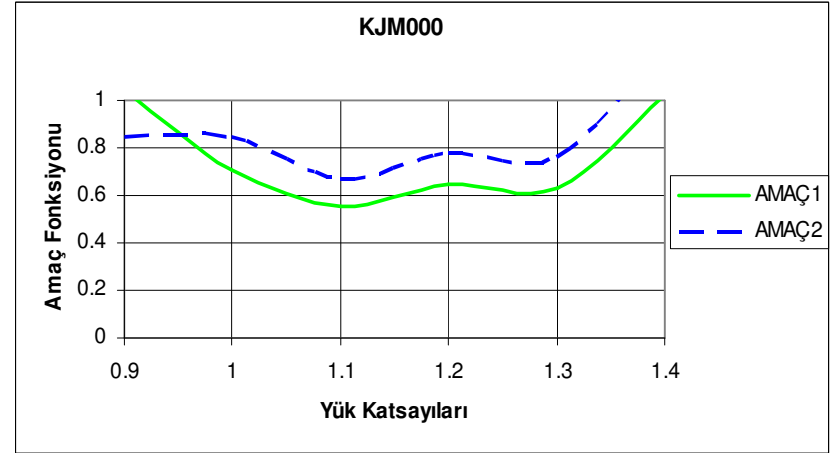
e) G06230 Deprem Verisiyle Optimizasyon



f) ORR090 Deprem Verisiyle Optimizasyon

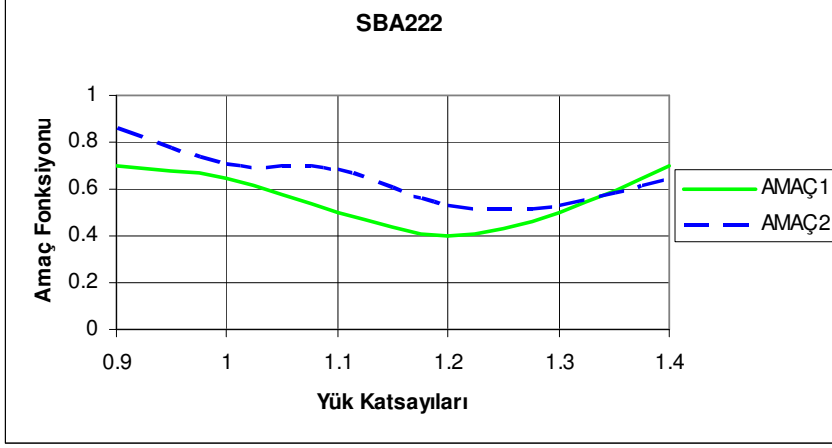


g) CLS000 Deprem Verisiyle Optimizasyon

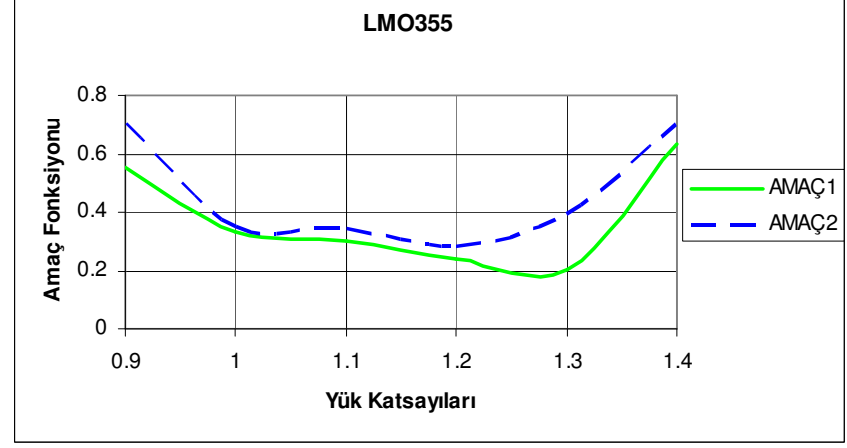


h) KJM000 Deprem Verisiyle Optimizasyon

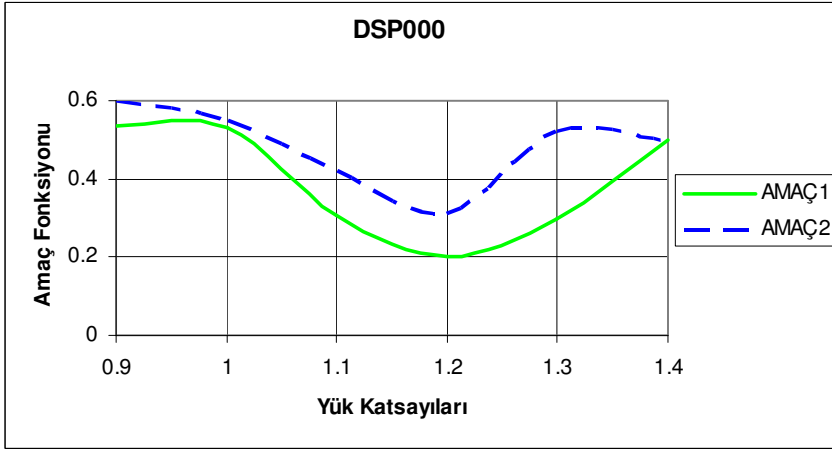
Şekil 5.3. Tüm Yapılar İçin En Büyük Yer Hızına Göre Belirlenen Amaç Fonksiyonlarıyla



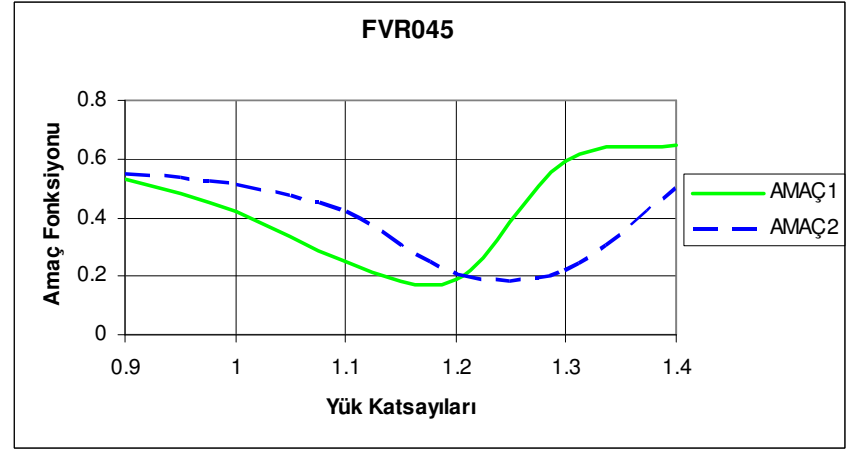
i) SBA222 Deprem Verisiyle Optimizasyon



j) LMO355 Deprem Verisiyle Optimizasyon



k) DSP000 Deprem Verisiyle Optimizasyon



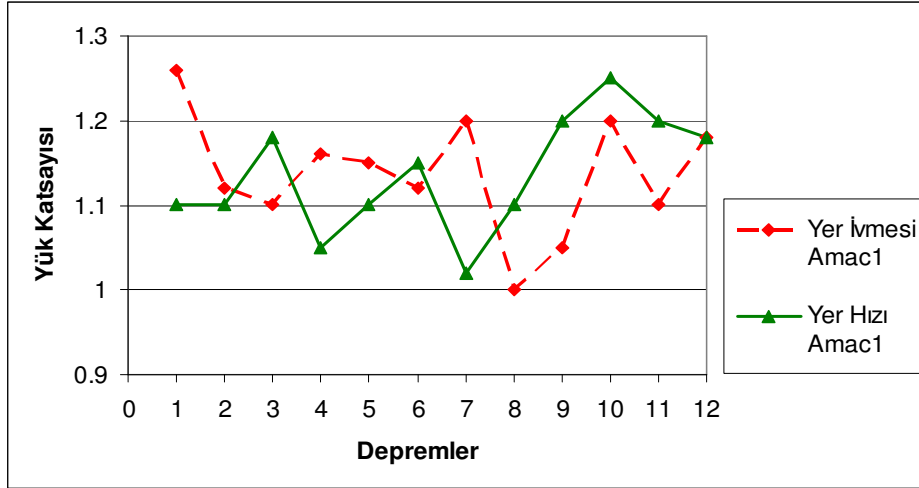
l) FVR045 Deprem Verisiyle Optimizasyon

5.4. Güvenilirlik Esaslı Performansa Bağlı Analiz Kapsamında Yük Katsayılarının Optimizasyonunun Değerlendirilmesi

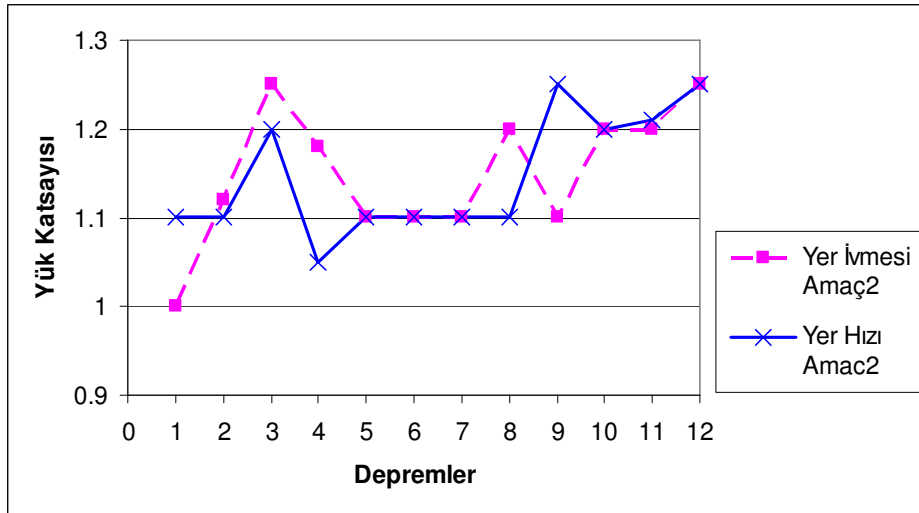
Bu bölüm kapsamında, optimizasyon çalışmalarıyla ilgili olarak güvenilirlik esaslı analiz kapsamında tasarım sürecini doğrudan etkileyen sismik yük katsayılarının optimum değerlerinin elde edilmesi sağlanmıştır. Betonarme çerçeve sistemlerin sismik analizlerinde yük katsayılarının optimizasyonu diğer yük katsayıları sabit tutularak gerçekleştirilmiştir. Sismik yük katsayıları, seçilen depremlerin risk seviyelerine göre, optimizasyon yöntemleriyle belirlenmiştir. Güvenilirlik esaslı performansa bağlı analiz yöntemleri, farklı tipteki yapılara kolaylıkla uygulanabilir. Analizlerde göçme limit durumu göz önüne alınmıştır. Göçme limit durumu yapı tasarımını belirleyen limit durumudur. Bunu bir başka şekilde ifade etmek gerekirse, eğer yapı büyük depremlerde “can güvenliği” aşamasını sağlayabiliyorsa, orta dereceli bir depremde hasarsızlık aşamasını sağlar demektir.

Yapının göçmesi, yapı elemanlarının ayrı ayrı göçmelerinden yapı sisteminin göçme mekanizmasıyla ilişkilendirilir. Dolayısıyla, ele alınan betonarme çerçeve sistemlerin güvenilirlik esaslı analizinde, sismik analizin yapılmasında kullanılan yük katsayıları, min. amaç fonksiyonuna göre belirlenmelidir. Sıradan yapılarda sismik yük katsayılarına farklı deprem verileriyle optimizasyon yapılmıştır. Elde edilen optimizasyon sonuçları grafikler halinde her bir deprem için Şekil 5.2’de en büyük yer ivmesi için, Şekil 5.3’de de en büyük yer hızı için optimizasyon sunulmuştur.

İki amaç fonksiyonuyla elde edilen grafiklerden sismik analizlerde kullanılması en uygun olan yük katsayılarının ortalama değerlerinin 1.1, 1.2 arasında değiştiği görülmektedir. Dolayısıyla sismik yük katsayılarının 1.1 ve 1.2 arasında seçilmesi uygun olacaktır. Şekil 5.4 ve 5.5’de de yük katsayılarının depremlere göre dağılımları verilmiştir.



Şekil 5.4. En Büyük Yer İvmesi ve Hızı İçin Elde Edilen Amaç1'in Aldıkları Değerler



Şekil 5.5. En Büyük Yer İvmesi ve Hızı İçin Elde Edilen Amaç2'nin Aldıkları Değerler

Sismik yük katsayıları, farklı risk seviyelerine göre, optimizasyon yöntemleriyle belirlenirse, yük katsayısı değerinin optimumu belirlenmiş olur. Böylelikle yapıların güvenilirlik esaslı sismik analizinde farklı koşullar altında yük değerlerindeki sapmalar azalacaktır.

En büyük yer ivmesi değeri arttıkça, amaç fonksiyonu, daha büyük değerler almaktadır. Bunun sebebi yapısal kapasitenin ve yapısal tepkinin tasarım deprem büyüklüğünün artışıyla doğrusal bir orantı içinde olması ve düşey yüklerin sabit kalmasındandır.

Grafiklerde AMAÇ1 ile gösterilen amaç fonksiyonu Ellingwood ve arkadaşlarının önerdiği amaç fonksiyonudur. AMAÇ2 ile gösterilen amaç fonksiyonu ise tez kapsamında önerilen amaç fonksiyonudur. Önerilen amaç fonksiyonuyla Ellingwood'un amaç fonksiyonu birbirlerine yakın sonuçlar vermektedir. Ellingwood'un amaç fonksiyonuna göre, önerilen amaç fonksiyonu, daha büyük değerler almaktadır. Bunun sebebi, belirli bir değer için elde edilen göçme limit durumu olasılığının amaçlanan göçme limit durumuna oranının doğrudan ifade edilmesidir.

Bu bölümde yapılmış olan optimizasyon çalışmaları, güvenilirlik esaslı analizlerin sismik analize dahil edilmesi çalışmasının bir parçasıdır. Güvenilirlik esaslı analizle amaç fonksiyonlarının belirlenmesine göre elde edilen yük katsayılarının kullanılması sonucunda optimum yaklaşımla sismik analiz yapılabilecektir.

BÖLÜM ALTI

SONUÇLAR

Günümüzde yapı sistemlerinin deprem performanslarının belirlenmesi, değişik deprem karakteristikleri ve yapı davranışına ait güvenilirlik esaslı yöntemler dikkate alınmadan deterministik yöntemlerle yapılmaktadır. Bu da deprem performansının belirlenmesini tam olarak ifade edememektedir. Yapı sistemlerinin performanslarının belirlenmesinde deterministik yöntemlerin dışında güvenilirlik esaslı olasılıklı yöntemlerin analizlere dahil edilmesi yapı performansının daha güvenli bir şekilde belirlenmesini mümkün kılacaktır. Bu amaçla tez kapsamında literatürde yer alan tek parametrelili kırılma analizine dayanan güvenilirlik esaslı performansa bağlı analiz yöntemleri yerine iki parametrelili kırılma analizlerine dayanan güvenilirlik esaslı performansa bağlı analiz yöntemi geliştirilmiştir.

Performansa bağlı analiz yöntemlerinde yapı kapasitesinin belirlenmesinde daha gerçekçi çözümler ortaya koyan ancak çözüm yöntemi açısından oldukça karmaşık olan doğrusal olmayan dinamik zaman tanım alanında analiz yönteminin yerine günümüzde artımsal itme analiz yöntemlerinin kullanılması çoğunlukla tercih edilmektedir. Tez kapsamında seçilen örnek betonarme çerçeve sistemler “Klasik”, “Uyarlanmış” ve “Enerji” esaslı Artımsal İtme ve doğrusal olmayan dinamik zaman tanım alanında analiz yöntemleriyle çözülmüş, elde edilen kapasite eğrilerinin karşılaştırılmalı sonuçlarına göre yapı sistemlerinin deprem kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılacak doğrusal olmayan artımsal itme analiz yöntemlerinden en uygun olanı belirlenmiştir.

3, 5, 8 ve 15 katlı örnek betonarme çerçeve sistemlerin yapı kapasitelerini ifade eden, kuvvet – yer değiştirme kapasite eğrileri, doğrusal olmayan “Klasik”, “Uyarlanmış” ve “Enerji” esaslı artımsal itme analizi yöntemleriyle elde edilmiştir. Bu çerçeve sistemlerin kuvvet yer değiştirme kapasite eğrileri daha gerçekçi sonuçlar veren doğrusal olmayan dinamik zaman tanım alanında analiz yöntemiyle dört farklı zemin grubu için, her bir zemin sınıfından 30’ar veri alınarak toplam 120 deprem verisi ile elde edilmiştir.

Örnek çerçeve sistemlerin kapasite eğrilerinin doğrusal olmayan artımsal itme ve zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemleriyle değerlendirilmesinden, her bir çerçeve sistemde kat yer değiştirme değerlerine karşı gelen taban kesme kuvveti / yapı ağırlığı (V/W) oranına bağlı akma ve göçme değerleri, parabol ve üçgen yüklemeye göre dikdörtgen yükleme de daha fazla olmaktadır. Buradan, dikdörtgen yükleme tipinin; üçgen ve parabol yükleme tipine göre her zaman daha yüksek (V/W) oranı verdiği görülmektedir. Ayrıca karşılaştırmalar sonucunda uyarlanmış artımsal itme analizlerinden elde edilen kapasite eğrilerinin, klasik artımsal itme analizinden elde edilen kapasite eğrilerine göre zaman tanım alanı analizlerden elde edilen kapasite eğrilerine daha yakın olduğu görülmektedir.

Yapılan bu analizlerin sonucunda, doğrusal olmayan artımsal itme yöntemlerinden enerji esaslı ve tüm mod katkılarının dikkate alındığı uyarlanmış artımsal itme analiz yöntemleri yapı kapasitesini belirlemede klasik yöntemlere göre daha gerçekçi sonuçlar verdiği görülmektedir. Ancak bu iki yöntemin uygulamasında karşılaşılan zorluklar, uygulaması daha kolay olan klasik artımsal itme analizlerinin kullanımını arttırmaktadır. Seçilen betonarme çerçeve sistemler üzerinde klasik artımsal itme analizindeki yük tiplerinden dikdörtgen, üçgen ve parabol yükleme ile yapılan analiz sonuçlarının, doğrusal olmayan dinamik zaman tanım alanında yapılan analizlerle karşılaştırılmasıyla, dikdörtgen yük dağılımının kullanılmasının daha gerçekçi olacağı görülmüştür. Ancak çerçeve sistemlerin kat adetleri arttıkça klasik artımsal itme eğrileri zaman tanım alanında analiz sonuçlarından uzaklaşmaktadır. Bu nedenle çok katlı yapı sistemlerinin analizlerinde yüksek mod etkilerini de dikkate alındığı uyarlanmış veya enerji esaslı artımsal itme analizlerinin kullanılması daha gerçekçi sonuçlar verecektir.

Tez kapsamında yapıların deprem davranışının belirlenmesinde “Kuvvet Esaslı Yer Değiştirme Kontrollü”, “Doğrudan Yer Değiştirme” ve “Enerji Esaslı” performansa bağlı analiz yöntemleri ayrıca incelenmiş ve yapı kapasitesinin bulunmasında kullanılan örnek betonarme çerçeve sistemler üzerinde, bu yöntemlerin birbirleriyle ve doğrusal olmayan dinamik zaman tanım alanında analiz

sonuçlarıyla karşılaştırmalı performans değerlendirilmeleri yapılmıştır. “Kuvvet”, “Doğrudan Yer Değiştirme” ve “Enerji Esaslı” performansa bağlı deterministik analiz yöntemleriyle örnek betonarme çerçeve sitemler üzerinde yapılan performans analizleri sonucunda her yöntemden elde edilen tepe yer değiştirme değerleri, zaman tanım alanı analiz sonuçlarından elde edilen tepe yer değiştirme değerleriyle bire bir örtüşmemektedir. Enerji Esaslı Performansa Bağlı analiz sonucunda elde edilen tepe yer değiştirme değerleri, zaman tanım alanı analizlerinden elde edilen tepe yer değiştirme değerlerine diğer performansa bağlı analiz yöntemlerine kıyasla daha yakın sonuçlar vermektedir. Bunun nedeni, enerji esaslı performans analizlerinde, enerji parametrelerinin de analize dahil edilmesidir. Dolayısıyla, bu yöntemler içinde enerji esaslı performans analizleri en gerçekçi yaklaşımı sunmaktadır. Ancak mevcut bu deterministik yöntemlerde deprem karakteristikleri ve yapı davranışına ait güvenilirlik esaslı olasılık yaklaşımlarının dikkate alınmaması, yapı performansını daha gerçekçi değerlendirmede yeterli olmamaktadır. Bu nedenle güvenilirlik esaslı performansa bağlı analiz yöntemlerine ihtiyaç vardır.

Güvenilirlik esaslı performansa bağlı analiz yöntemleri, yapı davranışının olasılıklı olarak ifade edilmesine dayanan yöntemlerdir. Risk; yapı sistemlerinin analizinde, meydana gelmesi istenmeyen bir olayın olma olasılığıdır. Genellikle yapısal güvenilirlik yapının göçme olasılığı üzerine kurulur, bu, analizlerde yapıların güvenilirlik esaslı performansı olarak isimlendirilir.

Yapıların sismik analizinde kırılma, belirli bir yer hareketinde yapıda meydana gelmesi muhtemel ilk akma veya göçme gibi belirli bir limit durumu için hasar olasılığının tanımlanmasıdır. Olasılıklı yapı davranışının tanımlanması ile güvenilirlik esaslı performansa bağlı analizler, deprem sırasında limit durumu aşılma olasılıklarının belirlenmesini sağlamaktadır. Ancak, performans analizlerine olasılıklı yaklaşımlar tam olarak entegre edilememiştir. Bunun sebebi, olasılık kavramının performans analizlerinde kullanımının analizi daha karmaşık bir hale getirmesidir.

Yapı davranışına ait güvenilirlik esaslı olasılık yaklaşımları, genellikle literatürde deprem karakteristiklerinden birinin dikkate alındığı tek parametrelilik kırılma analiz yöntemlerine dayanmakta, dolayısıyla, bu basitleştirilmiş güvenilirlik esaslı performansa bağlı analiz kavramında diğer deprem karakteristiklerini de dikkate alan yöntemlerin geliştirilmesi gerekmektedir.

İlk akma veya göçme gibi limit durumlarının aşılma olasılık değerleri, aynı depremin ifadeleri olan ivme, hız ve yer değiştirme parametrelerinin her biri için farklı sonuçlar vermektedir. Bu nedenle tek parametrelilik analiz sonuçlarından elde edilen aşılma olasılıkları farklı değerlerde olabilmekte ve yapı performansını değerlendirmede yetersiz kalabilmektedir. Dolayısıyla tek parametrelilik kırılma analizlerinin gerçekleştirilmesi doğru sonuçlar vermeyebilmektedir. Bu amaçla tez kapsamında, güvenilirlik esaslı performansa bağlı analiz yöntemlerinden daha gerçekçi sonuçlar elde etmek için deprem karakteristiklerinden ikisine bağlı kırılma analiz yöntemi geliştirilmiştir.

4. bölüm kapsamında tezin ana amacı doğrultusunda geliştirilen iki parametrelilik kırılma analizleri seçilen örnek çerçeveler üzerinde yapılarak karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda iki parametrelilikte bağlı olasılık değerlerinin tek parametrelilikte değerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Çalışmada ayrıca 4. bölümde geliştirilen ve yapı performansının yine daha gerçekçi değerlendirmesine imkan veren simülasyon yöntemleri kullanılmıştır. Tek parametrelilik kırılma analizlerinde depremin en büyük yer ivme verisine karşılık elde edilen aşılma olasılığı değeri yerine, mevcut çok sayıda deprem verisinin kullanılmasıyla elde edilen aşılma olasılığı değerlerinin olasılıklı yoğunluk ve eklenik yoğunluk fonksiyonları şeklinde ifadesini sağlayan simülasyon yöntemleri yapı davranışını gerçekçi olarak ifade edebilecektir.

5. bölüm kapsamında, betonarme yapıların kuvvet esaslı tasarımında yer alan ve yapıya etkiyecek deprem yüklerinin TS500’de tanımlanan yük katsayısının optimizasyonu hedeflenmiştir. Betonarme yapıların sismik analizinde kullanılan yük katsayılarının optimizasyonu, kabul edilebilir risk seviyesinde hedeflenen limit durum için belirlenen amaç fonksiyonu yardımı ile gerçekleştirilir. Bu amaç fonksiyonu, yapının limit durumu aşılma olasılığını minimum yapmayı amaçlar. Çalışmada Ellingwood tarafından önerilen, gerçek limit durumu ve hedef limit durumu olasılığı arasındaki farkı dikkate alan ve bu farkın, hedef limit durumu olasılığına oranını amaç fonksiyonu olarak kabul eden bir yöntem verilmiştir.

Optimizasyon çalışmaları, sismik analize güvenilirlik esaslı analizlerin dahil edilmesi çalışmasının devamıdır. Güvenilirlik esaslı analiz ile amaç fonksiyonlarının belirlenmesinden sonra yük katsayıları elde edilir. Böylelikle optimum yaklaşım ile sismik analiz yapılmış olur. Betonarme çerçeve sistemlerin TS500’de tanımlanan deprem yük katsayılarının optimizasyonu için, yapıya etkiyen ölü ve hareketli yük katsayıları sabit tutularak en büyük yer ivmesi ve hızına bağlı olarak belirlenen Ellingwood tarafından ve tez kapsamında önerilen amaç fonksiyonlarıyla optimizasyonu yapılmıştır. Deprem yük katsayıları, öngörülen deprem verilerine ve risk seviyelerine göre, optimizasyon yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir.

Tez çalışmasında, Ellingwood tarafından önerilen amaç fonksiyonu, AMAÇ1 ile, tez kapsamında önerilen amaç fonksiyonu ise, AMAÇ2 ile gösterilmiştir. Örnek yapılar için, önerilen AMAÇ2 amaç fonksiyonundan elde edilen optimizasyon eğrileri, Ellingwood’un amaç fonksiyonundan elde edilen amaç fonksiyonu eğrileriyle birbirlerine yakın sonuçlar vermektedir. Amaç fonksiyonları kullanılarak yapılan optimizasyon ve güvenilirlik esaslı performans analizleri sonucunda, hem en büyük yer ivmesi hem de en büyük yer hızına bağlı olarak belirlenen uygun deprem yük katsayısı 1.1 ile 1.2 arasında değerler almaktadır. TS500’de 1.0 olarak verilen bu deprem yük katsayısı değerinin güvenilirlik esaslı performansa bağlı analizler sonucunda 1.1 ile 1.2 arasında bir değer şeklinde alınması daha uygun olacaktır.

Yapıların deprem davranışlarında sadece kuvvet-tepe yer değiştirmesine bağlı yapı kapasitesinin kullanılması, performanslarının değerlendirmesinde yetersiz kalmaktadır. Yapı performans değerlerinin kırılma analizlerine dayanan güvenilirlik esaslı olasılık yaklaşımlarıyla değerlendirilmesi daha gerçeği olacaktır. Bu tez kapsamında bu amaca yönelik değişik performans analiz yöntemleri değerlendirilmiş ve tek parametrelili kırılma analizlerine dayanan güvenilirlik esaslı olasılık analiz yöntemlerine göre daha gerçeği sonuç veren iki parametrelili kırılma analizlerine dayanan güvenilirlik esaslı olasılık analiz yöntemi geliştirilmiştir. Deprem karakteristiklerinin birden fazla parametreyle ifade edilmesi daha gerçeği sonuçlar ortaya koymuştur.

Yapı sistemlerinin deprem davranışları altında performans analizlerinin daha gerçeği yapılması için, ileriki çalışmalarda daha fazla değişik deprem parametresinin kullanıldığı kırılma analiz yöntemlerine dayanan performans yöntemlerinin geliştirilmesi hedeflenmelidir.

KAYNAKÇA

American Concrete Institute (2000). ACI-318, Building Code Requirements for R/C, American Concrete Institute, Michigan, ABD.

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY) (1998). Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü Ankara.

Akbas B. (1997). Energy-Based Earthquake Resistant Design of Steel Moment Resisting Frames, Doktora Tezi, Graduate College of Illinois Institute of Technology, Chicago, Illinois, ABD.

Akbas, B., Shen, J., Kara I. ve Tugsal, U. M. (2003). Seismic Behavior and Pushover Analyses in Steel Frames, 5. Ulusal Deprem Konferansı, İstanbul, Türkiye.

Akiyama, H. (1985). Earthquake-resistant Limit-State Design for Buildings, Tokyo Üniversitesi Basısı, Japonya.

Ambraseys, N. ve Finkel, C. (1995). The Seismicity of Turkey and Adjacent Areas, A Historical Review, 1500-1800, Eren Yayıncılık, İstanbul.

Andez-Montes E. ve Ascheim M. A. (2004). An Energy Based Formulation for Non Linear Anaysis, Engineering Structures, V34-2 (3) 332-355

Ang, AH-S. ve Tang, W. H. (1975). Probability Concepts in Engineering Planning and Design, V I- Temel Prensipler, Kanada.

Antoniou, S. (2001). Pushover Analysis for Seismic Assesment of Structures, Teknik Rapor, Illinois Üniversitesi, Urbana, IL, ABD.

Applied Technology Council. (1996). ATC40 Seismic evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, V.1, Applied Technology Council, Redwood City, CA, ABD.

- Baron, C., R. (2000). Spectral Evaluation of Seismic Fragility Structures, Doktora Tezi, New York Devlet Üniversitesi, Buffalo, NY, ABD.
- Barka, A. (2000). 17 Ağustos İzmit Depreminin Araştırma Raporu, Science Online
- Chintanapakdee C. ve Chopra A. K. (2003). Evaluation of Modal Pushover Analysis Using Generic Frames, Earthquake Engineering, V23 (4) 234-250.
- Chopra, A. K., Clough, D. P. ve Clough, R. W. (1973). Earthquake Resistance of Buildings with a Soft First Story, Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 1, 347-355.
- Chopra, A. K. ve Goel, R. K. (2001). Capacity-Demand-Diagram Methods Based on Inelastic Design Spectrum, Earthquake Spectra, 15(4), 637-656.
- Frangopol, Dan M. (1996). Advances in Structural Optimization, CA, Wood yayınları, Peek Woelery, ABD.
- Dutta, A. ve Manner, J., B. (1998). Seismic Fragility Analysis of Highway Bridges, INCEEDE-MCEER, Çalıştay Sonuç Raporu, Tokyo, Japonya
- Ellingwod B ve Galambos T. V. (1980). Probability Based Load Criteria for American National Standard, Washington, ABD.
- Elmensdrop, J. ve Eribarne, J., (2001). Approximating Dynamic Response Nonlinear Analysis, 14. Uluslararası Deprem Mühendisliği Konferansı, Cincinnati, ABD.
- Erdik, M. (2000). 1999 Kocaeli and Duzce (Turkey) Earthquakes, Boğaziçi Üniversitesi, Rapor No:2000-12.
- Fajfar, P., Vidic, T. ve Fischinger, M. (1991). On the Energy Input into Structures, Pasifik Deprem Konferansı, V.23, 523-537.

- Fajfar, P. ve Krawinkler, C. (1997). Displacement Based Design of Steel and Reinforced Concrete Structures, ASCE, Journal of Structural Engineering, 194-211.
- Federal Emergency Management Agency, (1997). Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings and other Structures, FEMA-273-274, Washington, ABD.
- Federal Emergency Management Agency, (1999). HAZUS 99, Estimated Annualized Earthquake Losses for The United States FEMA 366, Washington, ABD.
- Federal Emergency Management Agency, (2000). Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings and other Structures, FEMA-356, Washington, ABD.
- Federal Emergency Management Agency, (2005). Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings and other Structures, FEMA-440, Washington, ABD.
- Frankling, B. ve Cheng U. (1986). Recent Developments in Structural Optimization, Feerwood yayınları, Washington, ABD.
- Freeman, T., (1998). Performance Based Seismic Design Approach for RC Frame Structures, Teknik Rapor No:19998-0832, Kanada.
- Galambos, T.V. (1980). System Reliability and Structural Design, Journal of Structural Safety, V7 2-4.
- Gergly, P. (1985). Seismic Fragility of RC Structures and Components for Application to Nuclear Facilities, Teknik Rapor, Lawrence Laboratuvarları, Livermore, CA, ABD.

- Gutenberg, B. ve Richard, C., (1984). Seismicity of the Earth and Associated Phenomena, Princenton Üniversitesi, New Jersey, ABD.
- Gündüz, A. (1991). Yapısal Güvenilirlik ve Betonarme Yapısal Sistemlerin Güvenilirliğe Dayanan Tasarımı, İnşaat Mühendisleri Odası, Teknik Dergi, Ankara.
- Hirata, K. (1994). Fragility Estimation of an Estimation of an Isolated FBR Structures Considering The Ultimate State of Bearings, Nuclear Engineering Design, 147(3).
- Hui, Mi Hsu, (1999). Reliability Based Seismic LRFD Criteria for Reinforced Concrete Frame Buildings, Journal of Structural Engineering V.119 223-256.
- Hwang H., ve Huo J.R., (1994). Generation of hazard consistent fragility curves, Soil Dynamic and Earthquake Engineering, 13, 345-354.
- Hwang H.M., Jaw J.W., (1988) Seismic Fragility analysis of frame structures, Teknik Rapor, NCEER-88-00009 New York Devlet Üniversitesi, Buffalo, NY, ABD.
- International Building Code, (2000). International Building Code, International Conference of Building Officials, Whittier, CA, ABD.
- Irfanoglu, Ayhan (2000) Structural design Under Seismic Risk Using Multiple Objectives, Doktora Tezi, California Teknoloji Enstitüsü, CA, ABD.
- İrtem, E., Turker K., (2002). Yapıların Deprem Yükleri Altındaki Lineer Olmayan Davranışının Belirlenmesinde Kullanılan Statik Yöntemlerin Karşılaştırılması, Balıkesir Üni., IV. Müh-Mim Sempozyumu, Balıkesir.
- İrtem, E. Turker, K. Hasgöl U., (2000). Pushover Yönteminin Hesap Adımları, SAP2000 Havuzu Bilgi Bankası.

- Jonsson R., (2002). Direct Displacement Based Design of Seismic Moment Resisting Concrete Frames, M. Sc. Thesis, University of Washington DC, ABD.
- Kafale, C., Grinogirio M., Seismic Fragility Analysis, 9. Yıllık Güvenilirlik Kongresi, Cornell Üniversitesi, ABD.
- Kumbasar, N., Celep, Z., (2004). Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İstanbul.
- Kuwamura, H. ve Galambos, T. V. (1989). Earthquake Load for Structural Reliability, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 115, No. 6.
- Kramer, S., L. (1980). Geotechnical Earthquake Engineering, 3879 Upper Slide River.
- Lawson, R. S., Vance, V. ve Krawinkler, H. (1994). Nonlinear Static Pushover Analysis-Why, When, and How?, 5. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, V.13
- Lefort, T., (2000). Push Over Analysis of Multi Storey Buildings, Doktora Tezi, Berkeley, San Francisco, CA, ABD.
- Li, Y.R., (1996). Non-Linear Time History And Pushover Analyses for Seismic Design and Evaluation, Doktora Tezi, Texas Üniversitesi, Austin, TX, ABD.
- Matlab™ Program, V 6.5. R 13, The MathWorks, Inc. Software License Agreement.
- Marek, P., (2003). Probabilistic Assesment of Structures, 2. Bası, TEREKO, Prak,CR.
- Mostafa E., (2003) Seismic Fragility and Cost Benefit Analysis of Structural and Non Structural Design, Doktora Tezi, Cornell Üniversitesi, Cornell, ABD.
- Naeim (2002). Seismic Design hand book, 3. Baskı, San Francisco, CA, ABD.

- Nakamura, (1998). A Study of failure probability by Earthquake Based on Statistical Method, 10. Japon Deprem Mühendisliği Sempozyumu, Japonya.
- National Earthquake Hazards Reduction Program, (1988). Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations, Seismic Safety Council, W DC, ABD.
- Orbay, A. (1982). Betonarme ve Çelik Çerçevelerin Doğrusal Elastik Yöntemlerle Optimum Tasarımı, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
- Orbay, A. (2002). Betonarme I, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, İzmir
- Park, Y. J., Ang, A. H-S. (1985). Mechanistic Seismic Damage Model for Reinforced Concrete, Journal of Structural Engineering, 111(4), 722-739.
- Park, Y. J., Ang, A. H-S. ve Wen, Y. K. (1986). Damage-Limiting Aseismic Design of Buildings. Earthquake Spectra, V23-16 234-245.
- Petrovski S. ve Nocevski N.K., (1993). Definition of empirical and theoretical models for assesment of high rise buildings, Teknik Rapor, IZIIS Skopje.
- Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) internet veri sayfası
<http://peer.berkeley.edu/smcat/>.
- Prakash, V., Powell, G. H. ve Campbell, S. (1993). DRAIN-2DX, Program Kullanım Klavuzu, Version 1.10, UCB/SEMM-93/17, California Üniversitesi, CA, ABD.
- Priestley, M. J. N., Calvi, G. M. (1997). Concepts and Procedures for Direct Displacement-Based Design and Assessment. Bled Konferansı, Slovenia, 171-181.
- Rahnama, M., Manuel, L. (1996). The Effect of Strong Motion Duration on Seismic Demands, 11. Dünya Deprem Konferansı, Meksika.

Reinhorn, A. M., Kunnath, S. K., Valles-Mattox R., (1996)., IDARC 2D V. 4.0: Kullanım Klavuzu, New York Devlet Üniversitesi, Buffalo, NY, ABD.

Rogger Y., (1996). Nonlinear Time History and Push Over Analysis for Seismic Design and Evaluation, Doktora Tezi, Illinois Üniversitesi, Urbana, IL, ABD.

Sarı A., (2003). Energy Consideration in Ground Motion Attenuation and Probabilistic Seismic Hazard Studies, Doktora Tezi, Texas Üniversitesi, Austin, TX, ABD.

Structural Engineering Association of California, (1999)., Recommended Lateral Force Requirements, Sacramento, CA, ABD.

Seong, H. ve Elnashai, A. (2001). Fragility Analysis Using New 3D Damage Index, Technical Report, Illinois Üniversitesi, Urbana, IL, ABD.

Sewel, R.T. (1989). Damage Effectiveness of Earthquake Ground Motions, Doktora Tezi, Standford Üniversitesi, CA, ABD.

Scott A. Burns, (2002). Recent Advances in Optimal Structural Design, California Üniversitesi, Berkeley, CA, ABD.

Singhal A., (1996). A Method for Earthquake Motion Damage Relations with Application to RC Frames, Doktora Tezi, New York Devlet Üniversitesi, NY, ABD.

Singhal A. ve Kiremidjan A. (1997). A method for Earthquake Motion Damage Relationship Technical Report, New York Devlet Üniversitesi Buffalo, NY, ABD.

Shen J. ve Akbas, B. (2000). Seismic Energy Demand in Steel Moment Frames, Journal of Earthquake Engineering, 3(4) 276-289.

Teran, A., (2003). Performance Based Earthquake Resistant Design of Frame Structures, Doktora Tezi, Delaware Üniversitesi, Delaware, ABD.

Türk Standartları Enstitüsü(2000) TS 500-2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, T.S.E. Kurumu, Ankara.

Tsopelas, P., (1999). Seismic Fragility and Retrofit of non Ductile RC Structures, Technical Report, New York Devlet Üniversitesi, Buffalo, NY, ABD.

Uang, L. ve Bertero, C. (1998). Energy Based Design Parameters in Performance Approach, Seismic Research Letters, V3, 123-134.

Vision 2000, (1995). Komite Raporu, Structural Engineering Association, CA, ABD.

Wilson, E. ve Habibullah A., (1998). SAP 2000 Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis, Kullanım Klavuzu, CA, ABD.