

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME BİNALARDA
DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK İTME ANALİZ
YAKLAŞIMININ ETKİNLİĞİNİN İNCELENMESİ

ÖZCAN YILMAZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

GEBZE
2023

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME BİNALARDA
DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK İTME ANALİZ
YAKLAŞIMININ ETKİNLİĞİNİN İNCELENMESİ

ÖZCAN YILMAZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

TEZ DANIŞMANLARI
DR. AHMET ANIL DİNDAR
DOÇ. DR ALİ BOZER

GEBZE
2023

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**INVESTIGATION OF THE EFFECTIVENESS OF
NONLINEAR STATIC PUSHOVER ANALYSIS
APPROACH IN REINFORCED CONCRETE
BUILDINGS**

ÖZCAN YILMAZ
M.Sc. THESIS
CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
EARTHQUAKE AND STRUCTURAL ENGINEERING PROGRAM

THESIS SUPERVISORS
DR. AHMET ANIL DİNDAR
DOÇ. DR ALİ BOZER

GEBZE
2023



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve/..... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından/...../..... tarihinde tez savunma sınavı yapılan'ın tez çalışmasıAnabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) :

ÜYE

(TEZ EŞ DANIŞMANI) :

ÜYE

ÜYE

ÜYE

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Bu tez çalışmasında, Sabit Tek Modlu İtme Analizi (STMİA) ile Uyarlanan Tek Modlu İtme Analizi (UTMİA) yöntemlerinin sonuçlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bununla birlikte, bu yöntemlerin “ETABS (Extended Three-Dimensional Analysis of Building Systems)” adlı yapısal analiz programında kolaylıkla uygulanabilmesi ve hızlı bir şekilde sonuçlarının değerlendirilebilmesi amacıyla bir Excel makro uygulaması geliştirilmiştir. Çalışmada Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği – 2018’e göre tasarlanmış, taşıyıcı sistemi betonarme moment çerçevelerinden oluşan 5 ve 10 katlı yapı modelleri ve bunların zemin kat kolon donatıları azaltılmış varyasyonları olmak üzere dört farklı yapı modeli kullanılmıştır. Uyarlanan tek modlu itme analizi (UTMİA) yönteminde, her biri yapıda yaklaşık 10mm tepe deplasmanı oluşturacak şekilde çok sayıda ardışık itme analizi yapılmıştır. Ardışık itme analizlerinin her birinin son adımı, bir sonraki itme analizinin başlangıç koşulu olarak kabul edilmiştir. Bununla birlikte sonlu miktarda her itme aralığı sonunda (örneğin 10mm tepe deplasmanlarında), bir sonraki analizde kullanılacak olan yatay yük dağılımını belirlemek için güncel hakim mod şekli belirlenmiştir. Analizler X ve Y doğrultularında, farklı deprem düzeyleri (DD1, DD2 ve DD3) için yürütülmüştür. Analizlerin sonucunda binaların kapasite eğrileri, UTMİA boyunca binaların titreşim periyodundaki ve birinci mod şeklindeki değişim, elemanların hasar seviyeleri, binaların deprem performans seviyeleri ve kolonların bina tepe deplasmanı – birim şekil değiştirme ilişkileri incelenmiş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, binaların taşıyıcı elemanlarında meydana gelen plastik şekil değiştirmeler arttıkça, iki analiz yönteminden elde edilen sonuçların farklılaştığı, düşük dayanımlı ve/veya deprem talebinin yüksek olduğu binalarda sonuçlar arasındaki farkların daha belirgin olduğu, deprem talebinin düşük olduğu durumlarda ise iki yöntemin birbirine çok yakın sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme Binalar, Deprem Performans Hesabı, Artımsal Doğrusal Olmayan Analiz

SUMMARY

In this thesis, it is aimed to compare the results of Constant Single Mode Pushover Analysis (CSMPA) and Adaptive Single Mode Pushover Analysis (ASMPA) methods. Besides, an Excel macro application has been developed to apply these methods on the structural analysis program named ETABS (Extended Three-Dimensional Analysis of Building Systems) and evaluate the results fastly. In this work, four building models were used: 5 and 10 storey building models with the structural system consisting of reinforced concrete moment frames which are designed according to Turkish Building Seismic Code -2018 and variations of these buildings with reduced reinforcement in the ground floor columns. In ASMPA method, numerous consecutive pushover analysis where each are causing approximately 10mm of roof displacement on the building were performed. Results of each consecutive pushover analysis have been accepted as the beginning condition of the next pushover analysis. On the other hand, at the end of each incremental pushover step with finite displacement (e.g, 10mm roof displacements), the current dominant mode shape has been designated to determine the horizontal force distribution along the building to be used in the next analysis. Analyses were performed in the direction of X and Y for different earthquake levels (DD1, DD2 and DD3). At the end of the analysis, the capacity curve of the buildings, the change in the vibration period and the first mode shape of the buildings, damage levels of the elements, earthquake performance levels of the buildings and roof displacement – strain relations of columns during ASMPA were examined and compared with each other. As a result of this study, it has been revealed that the results from both methods differ when plastic deformation on the carrying elements of the buildings increase, that the results have bigger difference on buildings with lower strength and/or with high seismic demand and that the results of both methods are close to each other in cases of where the seismic demand is low.

Keywords: Reinforced Concrete Buildings, Earthquake Performance Evaluation, Incremental Nonlinear Analysis

TEŞEKKÜR

Başta, tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen, çalışmamın kalitesini arttırmak adına değerli önerilerde bulunan ve yol gösteren saygıdeğer hocalarım Dr. Ahmet Anıl Dindar’a ve Doç. Dr. Ali Bozer’e derin bir minnettarlık duyuyor ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Beni yüksek lisans eğitimim için teşvik eden ve cesaretlendiren değerli yöneticilerim M. Görkem Yıldız’a ve Murat Çelik’e,

Bana huzurlu bir çalışma ortamı sağlayarak destek olan ve çalışmalarımı odaklanabilmem için çoğu zaman planlarını bana göre düzenleyen, bu süreç boyunca anlayışlı ve özverili olan sevgili aileme, annem Nilgün Yılmaz’a, babam Hüseyin Yılmaz’a ve abim Özkan Yılmaz’a,

Evliliğimizin ilk yılında bu yoğun çalışma tempomdan dolayı hiç şikayet etmeden beni destekleyen, çalışmamı tamamlamam konusunda beni daima motive eden, sevgisiyle ve tüm fedakarlıklarıyla hep yanımda olan çok kıymetli eşim Duygu Yılmaz’a tüm içtenliğimle teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xvi
1.GİRİŞ	1
1.1 Kapsam	2
1.2 İçerik	3
2. DOĞRUSAL OLMAYAN YAPI ANALİZİ İLE TASARIM YAKLAŞIMI	5
2.1. Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi Yöntemleri	6
2.2. Yönetmeliklerde Doğrusal Olmayan Modelleme ile Analiz	9
2.2.1. DBYBHY-2007'ye Göre Doğrusal Olmayan Modelleme ile	10
Analiz ve Yapı Deprem Performansının Belirlenmesi	
2.2.2. TBDY-2018'e Göre Doğrusal Olmayan Modelleme ile	14
Analiz ve Yapı Deprem Performansının Belirlenmesi	
3. YÖNTEM	19
3.1. Hedef Tepe Deplasmanının Belirlenmesi	20
3.2. Yapısal Analizlerde Kullanılan Araçlar	22
3.2.1. Tez Kapsamında Oluşturulan Excel Makro Uygulaması	24
3.2.2. Excel Makro Uygulamasının Kodlama Akışı	25
4. SAYISAL ÖRNEKLER	30
4.1. Tez Kapsamında Kullanılan Bina Modelleri	30
4.2. Analizlerde Dikkate Alınan Deprem Etkileri	36
4.3. İtme Analizi Sonuçları	37
4.3.1. Kapasite Eğrilerinin Karşılaştırılması	39

4.3.2. Uyarlanan Tek Modlu İtme Analizi Boyunca Bina Periyodunun Değişimi	49
4.3.3. Binaların Performans Noktasındaki Kiriş Hasar Dağılımları	54
4.3.4. Binaların Performans Noktasındaki Kolon Hasar Dağılımları	58
4.3.5. Kolonlarda Bina Tepe Deplasmanı – Kesit Birim Şekil Değiştirmesi İlişkisinin İncelenmesi	62
4.3.6. Binaların Deprem Performans Seviyeleri	66
5. SONUÇLAR	68
KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ	72
EKLER	73

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Açıklamalar</u>
<u>Kısaltmalar</u>	
C_R	: Spektral yer değiştirme oranı
$d_{1,max}^{(X)}$: Modal tek serbestlik dereceli sistemin en büyük yer değiştirmesi
DD1	: 50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD2	: 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD3	: 50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
EI_0	: Çatlamamış kesite ait eğilme rijitliği
EI_e	: Çatlamış kesite ait eğilme rijitliği
f_e	: Elastik dayanım talebi
f_y	: Akma dayanımı
R_y	: Akma dayanımı azaltma katsayısı
$S_{ae}(T_1)$: Elastik dayanım talebine karşılık gelen elastik spektral ivme
S_{D1}	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
$S_{de}(T_1)$: Elastik tasarım spektral yer değiştirme
$S_{di}(T_1)$: Taşıyıcı sistemin birinci doğal titreşim periyodu T_1 'e karşı gelen doğrusal olmayan spektral yer değiştirme
T	: Yapının birinci doğal titreşim periyodu
T_A	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumunun köşe periyodu
T_B	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumunun köşe periyodu
u_{xN1}	: Yapı tepe noktası hedef deplasman değeri
ω	: Yapının doğal titreşim açısal frekansı
Γ_{x1}	: Yapının birinci moduna ait modal katılım çarpanı
ϕ_{xN1}	: Yapı tepe noktası mod şekli genliği

API	: Application Programming Interface
BH	: Belirgin Hasar Sınırı
CG	: Can Güvenliği Sınırı
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
DGT	: Dayanıma Göre Tasarım
ETABS	: Extended Three-Dimensional Analysis of Building Systems
GD	: Göçme Durumu
GÇ	: Göçme Sınırı
GÖ	: Göçme Öncesi Hasar Sınırı
GV	: Güvenlik Sınırı
HK	: Hemen Kullanım Performans Seviyesi
İYTS	: İvme – Yer Değiştirme Tepki Spektrumu
KH	: Kontrollü Hasar Sınırı
MN	: Minimum Hasar Sınırı
SH	Sınırlı Hasar Sınırı
SRSS	Square Root of Sum of Squares
STMİA	Sabit Tek Modlu İtme Analizi
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
UTMİA	Uyarlanan Tek Modlu İtme Analizi
ZTADOA	Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Kesit Hasar Bölgeleri	10
2.2 Kesit Hasar Bölgeleri	15
3.1 $T < TB$ Olması Durumunda Spektral Yer Değiştirme Hedefi	21
3.2 $T > TB$ Olması Durumunda Spektral Yer Değiştirme Hedefi	22
3.3 Excel Makro Uygulamasının Görünümü	25
4.1 5 Katlı Binaların Kolon Donatı Detayları	32
4.2 10 Katlı Binaların Kolon Donatı Detayları	33
4.3 5 Katlı Binanın Taşıyıcı Sistem Planı	34
4.4 5 Katlı Binanın Perspektif Görünümü	35
4.5 10 Katlı Binanın Taşıyıcı Sistem Planı	35
4.6 10 Katlı Binanın Perspektif Görünümü	36
4.7 Binalar İçin Elde Edilen Yatay Elastik Tasarım İvme Spektrumu	37
4.8 5 Katlı Binanın İtme Analizlerinden Elde Edilen Kapasite Eğrileri (+X)	40
4.9 5 Katlı Binanın İtme Analizlerinden Elde Edilen Kapasite Eğrileri (+Y)	40
4.10 5 Katlı Binanın UTMİA Sonucunda Birinci Mod Şeklinde Meydana Gelen Değişim (+X)	41
4.11 5 Katlı Binanın UTMİA Sonucunda Birinci Mod Şeklinde Meydana Gelen Değişim (+Y)	42
4.12 10 Katlı Binanın İtme Analizlerinden Elde Edilen Kapasite Eğrileri (+X)	42
4.13 10 Katlı Binanın İtme Analizlerinden Elde Edilen Kapasite Eğrileri (+Y)	43
4.14 10 Katlı Binanın UTMİA Sonucunda Birinci Mod Şeklinde Meydana Gelen Değişim (+X)	43
4.15 10 Katlı Binanın UTMİA Sonucunda Birinci Mod Şeklinde Meydana Gelen Değişim (+Y)	44

4.16	5 Katlı, Zemin Katı Zayıflatılmış Binanın İtme Analizlerinden Elde Edilen Kapasite Eğrileri (+X)	44
4.17	5 Katlı, Zemin Katı Zayıflatılmış Binanın İtme Analizlerinden Elde Edilen Kapasite Eğrileri (+Y)	45
4.18	5 Katlı, Zemin Katı Zayıflatılmış Binanın UTMİA Sonucunda Birinci Mod Şeklinde Meydana Gelen Değişim (+X)	46
4.19	5 Katlı, Zemin Katı Zayıflatılmış Binanın UTMİA Sonucunda Birinci Mod Şeklinde Meydana Gelen Değişim (+Y)	46
4.20	10 Katlı, Zemin Katı Zayıflatılmış Binanın İtme Analizlerinden Elde Edilen Kapasite Eğrileri (+X)	47
4.21	10 Katlı, Zemin Katı Zayıflatılmış Binanın İtme Analizlerinden Elde Edilen Kapasite Eğrileri (+Y)	47
4.22	10 Katlı, Zemin Katı Zayıflatılmış Binanın UTMİA Sonucunda Birinci Mod Şeklinde Meydana Gelen Değişim (+X)	48
4.23	10 Katlı, Zemin Katı Zayıflatılmış Binanın UTMİA Sonucunda Birinci Mod Şeklinde Meydana Gelen Değişim (+Y)	48
4.24	5 Katlı Binanın UTMİA Boyunca Periyot Değişimi (+X)	49
4.25	5 Katlı Binanın UTMİA Boyunca Periyot Değişimi (+Y)	50
4.26	5 Katlı, Zemin Katı Zayıflatılmış Binanın UTMİA Boyunca Periyot Değişimi (+X)	50
4.27	5 Katlı, Zemin Katı Zayıflatılmış Binanın UTMİA Boyunca Periyot Değişimi (+Y)	51
4.28	10 Katlı Binanın UTMİA Boyunca Periyot Değişimi (+X)	51
4.29	10 Katlı Binanın UTMİA Boyunca Periyot Değişimi (+Y)	52
4.30	10 Katlı, Zemin Katı Zayıflatılmış Binanın UTMİA Boyunca Periyot Değişimi (+X)	52
4.31	10 Katlı, Zemin Katı Zayıflatılmış Binanın UTMİA Boyunca Periyot Değişimi (+Y)	53
4.32	5 Katlı Binanın (Bina-1) STMİA Sonucunda Tespit Edilen Kiriş Hasar Seviyelerinin Katlara Göre Dağılımı (+Y Yönü)	54

4.33	5 Katlı Binanın (Bina-1) UTMİA Sonucunda Tespit Edilen Kiriş Hasar Seviyelerinin Katlara Göre Dağılımı (+Y Yönü)	55
4.34	5 Katlı Binanın (Bina-1) STMİA ve UTMİA Sonucunda 4.Katında Tespit Edilen Kiriş Hasar Seviyeleri (Deprem Düzeyi: DD1)	55
4.35	10 Katlı Binanın (Bina-3) STMİA Sonucunda Tespit Edilen Kiriş Hasar Seviyelerinin Katlara Göre Dağılımı (+Y Yönü)	56
4.36	10 Katlı Binanın (Bina-3) UTMİA Sonucunda Tespit Edilen Kiriş Hasar Seviyelerinin Katlara Göre Dağılımı (+Y Yönü)	56
4.37	10 Katlı Binanın (Bina-3) STMİA ve UTMİA Sonucunda 8.Katında Tespit Edilen Kiriş Hasar Seviyeleri (Deprem Düzeyi: DD1)	57
4.38	10 Katlı Binanın (Bina-3) STMİA ve UTMİA Sonucunda 9.Katında Tespit Edilen Kiriş Hasar Seviyeleri (Deprem Düzeyi: DD1)	57
4.39	5 Katlı Binanın (Bina-1) STMİA Sonucunda Tespit Edilen Kolon Hasar Seviyelerinin Katlara Göre Dağılımı (+X Yönü)	58
4.40	5 Katlı Binanın (Bina-1) UTMİA Sonucunda Tespit Edilen Kolon Hasar Seviyelerinin Katlara Göre Dağılımı (+X Yönü)	58
4.41	5 Katlı Binanın (Bina-1) STMİA ve UTMİA Sonucunda Zemin Katında Tespit Edilen Kolon Hasar Seviyeleri (Deprem Düzeyi: DD1)	59
4.42	10 Katlı Binanın (Bina-3) STMİA Sonucunda Tespit Edilen Kolon Hasar Seviyelerinin Katlara Göre Dağılımı (+X Yönü)	60
4.43	10 Katlı Binanın (Bina-3) UTMİA Sonucunda Tespit Edilen Kolon Hasar Seviyelerinin Katlara Göre Dağılımı (+X Yönü)	60
4.44	10 Katlı Binanın (Bina-3) STMİA ve UTMİA Sonucunda Zemin Katında Tespit Edilen Kolon Hasar Seviyeleri (Deprem Düzeyi: DD1)	61
4.45	5 Katlı Binanın (Bina-1) “2” Numaralı Kolonunun STMİA ve UTMİA Sonuçlarından Elde Edilen Bina Tepe Deplasmanı – Birim Şekil Değiştirmesi İlişkisi (DD1, +X Yönü, Alt Uç, Beton)	62
4.46	5 Katlı Binanın (Bina-1) “2” Numaralı Kolonunun STMİA ve UTMİA Sonuçlarından Elde Edilen Bina Tepe Deplasmanı – Birim Şekil Değiştirmesi İlişkisi (DD1, +X Yönü, Alt Uç, Donatı)	63

4.47	10 Katlı Binanın (Bina-3) “2” Numaralı Kolonunun STMİA ve UTMİA Sonuçlarından Elde Edilen Bina Tepe Deplasmanı – Birim Şekil Değiştirmesi İlişkisi (DD1, +X Yönü, Alt Uç, Beton)	64
4.48	10 Katlı Binanın (Bina-3) “2” Numaralı Kolonunun STMİA ve UTMİA Sonuçlarından Elde Edilen Bina Tepe Deplasmanı – Birim Şekil Değiştirmesi İlişkisi (DD1, +X Yönü, Alt Uç, Donatı)	65

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Farklı Deprem Düzeylerinde Binalar İçin Öngörülen Performans Hedefleri	11
2.2 Bilgi Düzeyi Katsayıları	12
2.3 Bilgi Düzeyi Katsayıları	17
4.1 Bina Özellikleri	31
4.2 5 Katlı Binaların Kolon Donatı Tablosu	31
4.3 10 Katlı Binaların Kolon Donatı Tablosu	32
4.4 Binaların Bulunduğu Konum İçin Elde Edilen Spektral İvme Katsayıları	36
4.5 Farklı Deprem Düzeyleri İçin 5 Katlı Binanın (Bina-1) Hedef Tepe Deplasmanının Belirlenmesi	37
4.6 Farklı Deprem Düzeyleri İçin 5 Katlı Zemin Katı Zayıflatılmış Binanın (Bina-2) Hedef Tepe Deplasmanının Belirlenmesi	38
4.7 Farklı Deprem Düzeyleri İçin 10 Katlı Binanın (Bina-3) Hedef Tepe Deplasmanının Belirlenmesi	38
4.8 Farklı Deprem Düzeyleri İçin 10 Katlı Zemin Katı Zayıflatılmış Binanın (Bina-4) Hedef Tepe Deplasmanının Belirlenmesi	39
4.9 Binaların Deprem Performans Seviyeleri (+X)	66
4.10 Binaların Deprem Performans Seviyeleri (+Y)	67

1. GİRİŞ

Deprem mühendisliği alanındaki ilerlemeler ve geliştirilen özel yazılımlar sayesinde günümüzde, bir yapının olası deprem etkileri altındaki davranışını ve yapıda meydana gelebilecek hasar seviyesini belirlemek mümkün hale gelmiştir. Mevcut yapıların deprem güvenliğinin incelenmesi ihtiyacının yanı sıra, yeni yapılacak yapıların tasarımında da yapı deprem performansının belirlenmesi önem arz etmektedir. Yapıların deprem performansının belirlenmesi için, malzemelerin elastik olmayan davranışlarının dikkate alındığı doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden en gerçekçi olanı, “Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz (ZTADOA)” yöntemidir. Bu yöntem, seçilen ve ölçeklenen deprem yer hareketinin etkisi altında taşıyıcı sistemin hareket denklemlerini ifade eden diferansiyel denklem takımının zaman artımları ile adım adım doğrudan integrasyonunu içermektedir. Bu işlem sırasında, doğrusal olmayan davranış nedeni ile sistem rijitlik matrisinin hesap süresince değişimi göz önüne alınır [Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY), 2018]]. Gerçek deprem kayıtlarının kullanıldığı ZTADOA yöntemi, doğru sonuçlar elde edebilmek için bir modelleme ve analiz süreci gerektirmektedir. Bununla birlikte analizlerin yürütülmesi ve sonuçların değerlendirilmesi oldukça fazla zaman almaktadır. Bu sebeple daha basit, hızlı ve aynı zamanda yeterli bir doğruluk seviyesinde sonuçlar veren alternatif yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. ZTADOA yöntemine alternatif olarak en çok tercih edilen yöntem, “Sabit Tek Modlu İtme Analizi (STMİA)” yöntemidir.

Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi yöntemlerinden biri olan STMİA yönteminde ilk önce, olası deprem etkileri altında yapıda oluşması beklenen hedef tepe deplasman değeri belirlenir. Yapının ilgili doğrultudaki hakim mod şekli ile uyumlu bir yatay yük dağılımı kullanılarak, belirlenen hedef tepe deplasman değerine ulaşıncaya kadar yapı itilir. Hedef deplasman değerine ulaşıldığı andaki deformasyonlar dikkate alınarak elemanların doğrusal olmayan tanımlama yapılmış (plastik mafsallı) bölgelerindeki hasar seviyeleri belirlenir. Ancak bu yöntem genellikle düzenli ve simetrik yapılarda daha doğru sonuçlar vermektedir. Yapıda geometrik ya da yapısal düzensizliklerin bulunması (burulma, zayıf kat, yumuşak kat vs.), farklı kat

yüklemelerinin olması gibi durumlar söz konusu olduğunda STMİA yöntemi yapı davranışını gerçekçi bir şekilde yansıtmayabilir. Bu yöntemin bir diğer dezavantajı da taşıyıcı sistemin yapısal özelliklerindeki (periyot, mod şekli vb.) değişikliklerin dikkate alınmamasıdır. Oysa yapısal elemanlarda doğrusal ötesi davranışlar meydana geldikçe yapının rijitliği azalacak, mod şekli değişecektir. Bu dezavantajların giderilmesi ve itme analizinin tüm yapı tiplerinde uygulanabilirliğini arttırmak amacıyla çeşitli çalışmalar yürütülmüş ve birçok farklı yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlere örnek olarak yapı davranışının belirlenmesinde yüksek modların da etkisinin dikkate alındığı çok modlu itme analizi yöntemleri, itme sırasında oluşan plastik deformasyonlara bağlı olarak mod şeklinde meydana gelen değişimlerin dikkate alındığı Uyarlanan tek/çok modlu itme analizi yöntemleri sayılabilir.

1.1. Kapsam

Doğrusal olmayan sabit tek modlu itme analizi yöntemine göre daha gerçekçi bir yaklaşımla, yatay yüklerin etkisi altındaki yapıda oluşan plastik şekil değiştirmeler sonucunda mod şeklinde meydana gelen değişimleri dikkate alarak yük dağılımının analiz boyunca sürekli güncellendiği “Uyarlanan (Adaptive) Tek Modlu İtme Analizi (UTMİA)” yöntemi geliştirilmiştir. Bu konuda geçmişten günümüze çok sayıda çalışma yapılmış olsa da pratikte bu yöntem, dünya çapında yaygın olarak kullanılan yapısal analiz programlarında (ETABS, Sap2000) kolaylıkla uygulanabilir bir yöntem değildir.

Bu tez kapsamında, yukarıda bahsedilen uyarlanan tek modlu itme analizi yöntemi ile sabit tek modlu itme analizi yöntemlerinin sonuçlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Ayrıca, her iki yöntemin de “ETABS” programında kolaylıkla uygulanabilmesi ve hızlı bir şekilde sonuçlarının değerlendirilebilmesi amacıyla bir Excel makro uygulaması geliştirilmiştir. Geliştirilen bu uygulama sayesinde, ETABS’ta oluşturulmuş ve elemanların doğrusal olmayan davranışları tanımlanmış olan bir yapı modelinde, otomatik olarak gerekli tüm analiz tanımlamaları yapılmakta ve çalıştırılmaktadır. Ardından analiz sonuçlarına göre söz konusu yapının deprem performans seviyesi TBDY-2018 Bölüm 15 kapsamında belirlenmektedir. Tez kapsamında, taşıyıcı sistemi yalnızca betonarme moment çerçevelerinden oluşan 5

ve 10 katlı yapılar üzerinde çalışılmıştır. Farklı taşıyıcı sisteme sahip binalar (çelik, ahşap, betonarme perdeli vb.) çalışma kapsamı dışındadır. Söz konusu yapılar, geliştirilen makro uygulaması kullanılarak farklı deprem düzeylerindeki (DD1, DD2 ve DD3) tasarım depremleri için, sabit ve uyarlanan tek modlu itme analizi yöntemlerinin her ikisiyle de analiz edilmiş, ardından sonuçları değerlendirilerek elemanların hasar dağılımları ve bina performans seviyeleri belirlenmiştir. İncelenen binaların tümü aynı malzeme özelliklerine ve aynı plan geometrisine sahiptir. Binaların kat adetleri, eleman kesit boyutları ve/veya kesitlerinde bulunan donatılar birbirinden farklıdır. Bu çalışmada binaların farklı malzeme dayanımlarına sahip olması, bina planlarının farklı geometrilerde olması (planda çıkıntılar, üst katlarda kat alanının küçülmesi vb.) gibi durumlar dikkate alınmamıştır.

Yapılan bu çalışma ile, geleneksel sabit tek modlu itme analizi ve uyarlanan tek modlu itme analizi yöntemlerinin kıyaslanması ve her iki yöntemin de ETABS programında pratik bir şekilde uygulanmasına olanak sağlayacak bir aracın geliştirilmesi amaçlanmıştır. Analiz sonuçlarının kıyaslanması, taşıyıcı sistem elemanlarının hasar seviyeleri, kesitlerin birim şekil değiştirme değerleri, bina performans seviyeleri, bina periyotları ve mod şekilleri üzerinden yapılmıştır. Ancak, elemanlarda oluşan iç kuvvetler veya yapı tarafından sönmölen enerji miktarı gibi parametreler bu çalışmanın kapsamı dışında tutulmuştur.

1.2. İçerik

Bu tezin ikinci bölümünde, öncelikle doğrusal analiz yöntemlerinin bazı eksikliklerinden ve doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin kullanılmasının gerekliliğinden bahsedilmiştir. Ardından, geçmişten günümüze kadar geliştirilen doğrusal olmayan statik itme analizi yöntemleri hakkında literatür bilgileri verilmiştir. Son olarak, deprem yönetmelikleri kapsamında doğrusal olmayan modelleme ile analiz ve bina deprem performansının belirlenmesine dair ilkeler anlatılmaktadır. Üçüncü bölümde, çalışmada kullanılacak olan analiz yöntemleri ve analizlerde kullanılacak olan araçlar hakkında bilgiler verilmiştir. Sayısal örneklerin yer aldığı dördüncü bölümde, ilk olarak analizleri yapılacak olan binalar tanıtılmış, binalarda

bulunan kesitlerin donatı detayları, bina planları ve yapısal analiz modellerine ait görüntüler sunulmuştur. Analizlerde dikkate alınacak deprem etkilerinden bahsedilmiş, farklı deprem düzeyleri için oluşturulan yatay elastik tasarım ivme spektrumları gösterilmiştir. Ardından, itme analizlerinin sonuçlarından elde edilen kapasite eğrileri, mod şekilleri, bina periyotları, eleman hasar seviyeleri ve bina performans seviyeleri grafiklerle desteklenerek karşılaştırılmıştır. Beşinci ve son bölümde ise, sabit tek modlu itme analizi ile uyarlanan tek modlu itme analizi yöntemlerinden elde edilen sonuçlarla ilgili yorumlar ve konuyla ilgili gelecekte yapılabilecek çalışma önerileri yer almaktadır.

2. DOĞRUSAL OLMAYAN YAPI ANALİZİ İLE TASARIM YAKLAŞIMI

Yeni yapılacak bir yapının tasarımında kullanılacak olan analiz yöntemleri, yapının niteliğine ve bulunduğu bölgenin depremselliğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Hızlı ve kolay uygulanabilir olması nedeniyle yapı tasarımında temel olarak doğrusal analiz yöntemleri (Eşdeğer Deprem Yüğü, Mod Birleştirme Yöntemi, vb.) kullanılmaktadır. Doğrusal analiz yöntemlerinde binanın deprem etkisi altındaki davranışının lineer elastik olduğu kabulü yapılır. Doğrusal analiz yöntemlerinde dikkate alınan deprem kuvvetleri yönetmeliklerde belirtilen yapı davranış katsayıları ile azaltılarak, deprem anında yapıda plastik şekil değiştirmelerin meydana gelmesine izin verilir. Tasarımda kullanılan yük kombinasyonları, güvenlik katsayıları ve uygulanan sismik detaylarla yapıda can güvenliğinin sağlanması hedeflenir. Ancak bu tasarım yaklaşımında bazı eksiklikler söz konusudur.

Yönetmeliklere göre belirlenen statik kuvvetlerle yapılan doğrusal analizler sonucu elde edilen eleman iç kuvvetleri ile deprem etkisi altında doğrusal olmayan davranış gösteren yapıdaki iç kuvvetler birbirinden oldukça farklıdır. Doğrusal analizlerde, izin verilen plastik şekil değiştirmelerin yapının hangi bölgesinde ve ne seviyede meydana geleceğini belirlemek mümkün değildir. Bu nedenle tüm yapısal elemanlarda bazı sismik detaylar uygulanır. Ancak yine de uygulanan bu detayların her zaman yeterli olacağından emin olunamaz. Doğrusal analizlerle yapılan tasarımlarda yapının görelî kat ötelemeleri yönetmelikler tarafından sınırlandırılır. Ancak deprem etkisi altında plastik şekil değiştirmelerin meydana geldiği yapıdaki görelî kat ötelemeleri doğrusal analizlerle hesaplanandan farklı olacaktır. Bu durumda amaçlanan hasar kontrolü ve güvenlik sağlanamayabilir [Li, Yonghui R., 1996].

Doğrusal analiz yöntemlerinde yapının gerçek davranışının tam olarak tespit edilememesi nedeniyle daha gelişmiş yöntemlere ihtiyaç duyulmuştur. Yapıların deprem etkisi altındaki gerçek davranışının daha doğru bir şekilde tespit edilebilmesi amacıyla doğrusal olmayan analiz yöntemleri geliştirilmiştir. Doğrusal olmayan analiz yöntemlerinde malzemelerin doğrusal ötesi davranışları da dikkate alınmaktadır. Bu sayede yapıda oluşması beklenen plastik şekil değiştirmelerin nerelerde ve ne

mertebede oluşacağı tespit edilebilmektedir. Böylece, söz konusu doğrusal olmayan analiz yöntemleri hem mevcut yapıların deprem performansının belirlenmesine hem de yeni yapılacak yapıların istenen performansı gösterecek şekilde tasarlanmasına olanak sağlamaktadır.

2.1. Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi Yöntemleri

Yapıların deprem davranışını belirlemede en gerçekçi sonuç veren yöntemin "Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz (ZTADOA)" yöntemi olmasına rağmen bugünkü mühendislik uygulamalarında genellikle "Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi" yöntemi tercih edilmektedir. Bu yöntem, yapının modal parametreleri ile ilişkili olarak hesaplanan bir hedef deplasman değerine ulaşıncaya kadar, bina yüksekliği boyunca belirlenen bir yatay kuvvet dağılımı kullanılarak yapının itilmesi prensibine dayanır. Söz konusu yatay kuvvet dağılımının nasıl belirlendiği analiz sonuçlarının doğruluğu için çok önemli bir etkidir. Literatürde bu konuda yapılmış çok sayıda çalışma ve geliştirilmiş birçok farklı statik itme analizi yöntemi bulunmaktadır.

Statik itme analizi yöntemi ilk kez 1970'lerde Amerika Birleşik Devletleri'nde Puget Sound Deniz Üssü'ndeki binaların deprem performansını değerlendirmek için bir pilot proje kapsamında hızlı bir değerlendirme yöntemi olarak kullanılmıştır. Bu yöntemde, inceleme konusu yapının tepe deplasmanı-taban kesme kuvveti ilişkisi (kapasite eğrisi) belirlenmiş ve bu ilişki spektral ivme – periyot ilişkisine dönüştürülmüştür. Yürütülen sahaya özgü çalışmalar sonucunda elde edilen deprem spektrumu da aynı formatta oluşturulmuştur. Böylece hem kapasite eğrisi hem de deprem spektrumu aynı grafikte gösterilmiş ve bu grafik yorumlanarak yapının deprem performansı hakkında çıkarımlar yapılmıştır. Bu yöntem 1983 yılında, Amerikan Ordusu, Deniz Kuvvetleri ve Hava Kuvvetleri için önemli yapıların tasarımında kullanılmak üzere geliştirilmiştir [Freeman, 2004]. "Kapasite Spektrumu Metodu (KSM)" olarak adlandırılan bu yöntemde yapıların doğrusal olmayan davranışının dikkate alınması için yüksek sönümlü spektrumlar kullanılmıştır. Daha sonra Avrupa kıtasında geliştirilen Eurocode-8'de, KSM yönteminden farklı olarak

yüksek sönümlü spektrumlar yerine inelastik spektrumların kullanıldığı “N2” yöntemi yer almıştır. 1989 yılında meydana gelen Loma Prieta depreminin ardından birkaç bina kapasite spektrum metodu kullanılarak değerlendirilmiştir [Mahaney vd., 1993]. Spektral ivme (S_a) – periyot (T) tepki spektrumu formatına alternatif olarak, spektral ivme (S_a) – spektral yer değiştirme (S_d) tepki spektrumu (İYTS) formatı ilk kez bu makalede tanıtılmıştır [Freeman, 2004]. 1996 yılında “Betonarme Binaların Sismik Değerlendirmesi ve Güçlendirilmesi (Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings)” adlı ATC-40 kılavuzunda kapasite spektrumu yöntemine yer verilmiştir. Bu yöntemin ATC-40 ve FEMA 273’te yayınlanmasının ardından, itme analizine dayanan yöntemlerin kullanımı hız kazanmıştır [Fajfar, 2022].

Söz konusu geleneksel itme analizi yönteminde yapı davranışını yalnızca birinci mod şeklinin kontrol ettiği varsayılmaktadır. Bununla birlikte akma sonrasında da mod şeklinin (dolayısıyla yatay kuvvet dağılımının) değişmediği kabul edilmektedir. Bu varsayımların, sonuçların doğruluğunu ciddi derecede etkileyebilecek sınırlamaları vardır. [Goel ve Chopra, 2004]. Ayrıca geleneksel sabit tek modlu itme analizi yöntemi, planda ya da düşey doğrultuda süreksizliklerin bulunması durumunda hatalı sonuçlar verebilmektedir. Çünkü bu tip yapıların davranışında yüksek modların etkisi artmakta ve davranış daha karmaşık bir hale gelmektedir. Bu eksikliklerin giderilebilmesi için birçok farklı itme analizi yöntemi geliştirilmiştir.

Paret vd. (1996) tarafından önerilen “Modal İtme Analizi Prosedürü (Modal Pushover Procedure)”, her birinde farklı mod şekline göre belirlenen yatay yük dağılımının kullanıldığı, bir dizi kapasite spektrumu analizinden oluşmaktadır. Bu yöntemde, farklı modlar için belirlenen kapasite eğrileri ve deprem spektrumu, İvme – Yer değiştirme Tepki Spektrumu formatında bir arada gösterilir ve her mod için bir etki/kapasite oranı (Modal Criticality Index) hesaplanır. Bu oranlara göre hangi modun yapı davranışında daha kritik olduğu tespit edilir.

Daha sonra, Chopra ve Goel (2001) tarafından başka bir “Modal İtme Analizi Yöntemi (Modal Pushover Analysis Procedure)” geliştirilmiştir. Temelde Paret vd. (1996) tarafından önerilen yöntemden pek farklı olmayan bu yöntemde, yapının farklı modları için belirlenen yatay yük dağılımları kullanılarak her bir mod için itme analizi yapılır, ardından elde edilen sonuçlar kareleri toplamının karekökü (Square root of sum of squares – SRSS) yöntemi ile birleştirilir.

Yüksek yapıların deprem taleplerinin belirlenmesi için Poursha vd. (2009) tarafından “Ardışık Modal İtme Analizi (Consecutive Modal Pushover Analysis)” yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde ilk olarak geleneksel sabit tek modlu itme analizi uygulanır. Ardından çok aşamalı itme analizi gerçekleştirilir. Çok aşamalı itme analizinde, yapı periyodunun büyüklüğüne göre ilk iki ya da ilk üç mod dikkate alınır. Belirlenen hedef deplasman değeri dikkate alınan modların modal kütle katılım oranlarına göre parçalara ayrılır ve ilgili mod şekliyle uyumlu yatay kuvvet dağılımları kullanılarak ardışık itme analizleri uygulanır. Her itme analizinin başlangıç koşulu, kendisinden bir önceki analizin son adımı olarak belirlenir. Yapıdaki yer değiştirme, görelî kat ötelemeleri, plastik dönmeler vb. deprem talepleri için, tek ya da çok aşamalı itme analizi sonuçlarından maksimum olanı kabul edilir.

Yukarıda bahsedilen yöntemlerde birden fazla mod şeklinin yapı davranışına etkisi dikkate alınmaktadır. Ancak, her bir mod için doğrusal olmayan hesap, sadece o mod için başlangıçta tanımlanan ve hesap boyunca sabit kalan eşdeğer deprem yükü profili altında bağımsız olarak yapılmaktadır [Aydinoğlu ve Önem, 2007]. Oysa taşıyıcı sistem elemanlarında plastik mafsallar oluştuğça yapının rijitliği ve dolayısıyla mod şekli değişmektedir. Bu değişimin de hesaba katılabilmesi için uyarlanan itme analizi yöntemleri geliştirilmiştir.

Tamamen uyarlanan yük dağılımı kullanan bir yöntemi ilk kez tanıtan kişiler Bracci vd. (1997)’dir. Bu analiz yönteminde, başlangıçta genellikle üçgen şeklinde olan bir yatay kuvvet dağılımı kullanılır, ancak sonraki adımlarda uygulanan yük artışları önceki adımın anlık taban kesme ve kat rijitlikleri kullanılarak hesaplanır [Antoniou ve Pinho, 2004].

Gupta ve Kunnath (2000) tarafından geliştirilen “Uyarlanan Spektrum Tabanlı İtme Analizi Yöntemi (Adaptive Spectra-Based Pushover Procedure)”, yatay kuvvet dağılımının, her adımda yapının o anki dinamik özelliklerine ve deprem spektrumuna göre sürekli güncellendiği bir yöntemdir. Bu yöntemde her yük artışından önce modal analiz yapılır ve her mod için yeni kat kuvveti dağılımı hesaplanır. Dikkate alınan tüm modlar için ayrı ayrı statik analizler yapılır ve sonuçlar SRSS yöntemiyle birleştirilir. Elde edilen sonuçlar bir önceki adımda elde edilen sonuçlara eklenir ve sonraki adıma geçilir.

Bir başka çok modlu uyarlanan itme analizi yöntemi de Aydınolu (2003) tarafından geliştirilen “Artımsal Tepki Spektrumu Analizi (ARSA)” yöntemidir. Bu yöntem aslında standart doğrusal tepki spektrumu analizinin artımsal olarak uygulanmasına dayalı bir yöntemdir [Aydınolu, 2007]. ARSA yönteminde her bir itme adımında, modal yer değıştirmeler ilk adımdaki elastik spektral yer değıştirmelerle orantılı olacak şekilde bütün modlar için aynı oranda arttırılmakta ve son adımda hedef değerler olan spektral yer değıştirmelere ulaşılmaktadır. Modal yer değıştirmelerin büyütölmesinde kullanılan ölçekleme katsayıları, her adımın sonunda yeni bir plastik mafsalin oluşacağı şekilde hesaplanmaktadır. Her adımda, oluşan son plastik mafsal dikkate alınarak rijitlik matrisi değıştirilmekte ve güncel mod şekilleri ile uyumlu yatay kuvvet dağılımları kullanılmaktadır.

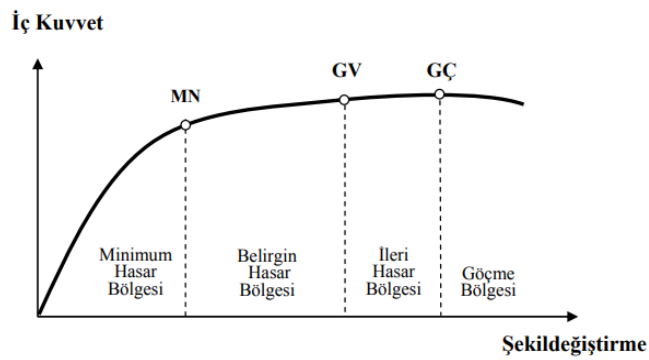
2.2. Yönetmeliklerde Doğrusal Olmayan Modelleme ile Analiz

Yapıların deprem etkisi altındaki davranışını gerçekçi bir şekilde tespit edebilmek için kullanılan doğrusal olmayan analizler yöntemleri, hem mevcut yapıların deprem performansının değeriendirilmesinde hem de yeni yapılacak yapıların tasarımında kullanılmaktadır. Yapı tasarımında doğrusal elastik analiz yöntemleri kullanıldığında bile, yapının deprem anında elastik olmayan davranış göstermesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle, yapının davranışını daha iyi anlayabilmek için doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin kullanılması önem arz etmektedir. Doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin kullanılması durumunda, oluşturulan yapı modelinde tüm taşıyıcı sistem elemanlarının, malzeme ve geometrik özellikleri dikkate alınarak elastik ötesi davranışının tanımlanması gerekmektedir. Bu bölümde, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğı (TBDY) - 2018 yönetmeliğinde ve bundan bir önceki deprem yönetmeliğı olan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) - 2007’de betonarme binaların tasarımında ve deprem performansının değeriendirilmesinde doğrusal olmayan modelleme ile analizin nasıl ele alındığı incelenmiştir. Bu tezde sunulan çalışmalarda yalnızca statik itme analizi yöntemleri ve betonarme moment çerçevelerinden oluşan bina modelleri kullanıldığı için yönetmelikler de bu çerçevede incelenmiştir.

2.2.1. DBYBHY-2007'ye Göre Doğrusal Olmayan Modelleme ile Analiz ve Yapı Deprem Performansının Belirlenmesi

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik - 2007'de yeni yapılacak binaların tasarımında kullanılabilecek yöntemler arasında, doğrusal elastik analiz yöntemlerinin dışında yalnızca zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz yöntemi bulunmaktadır. İtme analizi yöntemleri ise, mevcut binaların deprem performansının belirlenmesinde ya da güçlendirilmesinde kullanılmaktadır. Deprem performansı, “belirli bir deprem etkisi altında bir binada oluşabilecek hasarların düzeyi ve dağılımına bağlı olarak belirlenen yapı güvenliği durumu” olarak tanımlanabilir. [Sucuoğlu, 2006].

DBYBHY-2007'de, taşıyıcı sistem elemanlarının deprem etkisi altındaki performans seviyesinin belirlenmesinde kullanılacak olan hasar sınırları Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ) olarak tanımlanmıştır. Yürütülen analizler sonucunda elde edilen eleman iç kuvvetleri ya da şekil değiştirmeleri, bu hasar sınırlarına karşılık gelen değerlerle karşılaştırılarak her bir elemanın hangi hasar bölgesinde olduğu belirlenir. Kritik kesitindeki hasar MN'ye ulaşmamış olan elemanlar Minimum Hasar Bölgesi'nde, MN-GV arasındaki elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi'nde, GV-GÇ arasındaki elemanlar İleri Hasar Bölgesi'nde, GV'yi aşan elemanlar Göçme Bölgesi'nde yer alır. [DBYBHY-2007]. Gevrek hasar (kesme hasarı) oluşan elemanlar Göçme Bölgesi'nde kabul edilirler. Söz konusu eleman hasar bölgeleri Şekil 2.1'de grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Kesit Hasar Bölgeleri

Tüm elemanların hasar seviyeleri belirlendikten sonra bina genelindeki hasar dağılımlarına bakılarak binanın deprem performansı tespit edilir. Söz konusu yönetmelikte dört farklı bina performans seviyesi tanımlanmıştır. Bunlar; Hemen Kullanım, Can Güvenliği, Göçme Öncesi ve Göçme Durumu performans seviyeleridir. Hemen Kullanım performans seviyesi, analizlerde dikkate alınan seviyede bir depremin meydana gelmesi durumunda, herhangi bir yapısal onarıma ihtiyaç duyulmadan yapının hemen kullanılabilmesi anlamına gelmektedir. Can Güvenliği performans seviyesinde, söz konusu depremde yapısal hasarlar meydana gelebilecek ancak can güvenliği açısından bir risk oluşturmayacaktır. Göçme Öncesi performans seviyesinde ise kirişlerin bir kısmında göçme meydana gelebilecek ve diğer taşıyıcı elemanlarda ileri hasar seviyesinde hasarlar oluşabilecektir. Bu performans seviyesindeki yapının mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır [DBYBHY-2007]. Göçme Öncesi performans seviyesinin sağlanamadığı yapıların Göçme Durumu seviyesinde olduğu kabul edilir. Yukarıda bahsedilen performans seviyelerinin her biri için sağlanması gereken şartlar DBYBHY-2007 Bölüm 7.7’de bulunmaktadır. DBYBHY-2007’de binalar için minimum performans hedefleri, Tablo 2.1 kullanılarak bina kullanım amacına göre belirlenmektedir.

Tablo 2.1: Farklı Deprem Düzeylerinde Binalar İçin Öngörülen Performans Hedefleri

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

HK: Hemen Kullanım; **CG:** Can Güvenliği; **GÖ:** Göçme Öncesi (Bkz. 7.7)

Mevcut binaların değerlendirilmesinde ve güçlendirilmesinde yeni yapılacak binalar için tanımlanan ivme spektrumunun azaltılmamış hali kullanılacaktır. Yukarıdaki tabloda gösterilen deprem seviyelerinden 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan

deprem için bu ivme spektrumunun ordinatları %50 azaltılarak, 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem içinse 1.5 katına çıkartılarak dikkate alınacaktır.

Bir yapının deprem yükleri etkisi altındaki davranışını doğru bir şekilde tespit edebilmek için söz konusu yapı hakkında detaylı bilgi sahibi olunması gerekmektedir. Bunun için incelenecek yapıda veri toplama çalışmaları yapılmalıdır. Bu çalışmada yapılacak işlemler, yapısal sistemin tanımlanması, bina geometrisinin, temel sisteminin ve zemin özelliklerinin saptanması, varsa mevcut hasarın ve evvelce yapılmış olan değişiklik ve/veya onarımların belirlenmesi, eleman boyutlarının ölçülmesi, malzeme özelliklerinin saptanması, sahada derlenen tüm bu bilgilerin binanın varsa projesine uygunluğunun kontrolüdür. [DBYBHY-2007]. Bu çalışmalardan elde edilen bilgilerin kapsamına göre bilgi düzeyi ve buna bağlı olarak bilgi düzeyi katsayıları belirlenir. DBYBHY-2007 Bölüm 7.2.2’de bilgi düzeyleri, Sınırlı Bilgi Düzeyi, Orta Bilgi Düzeyi ve Kapsamlı Bilgi Düzeyi olarak tanımlanmıştır. Bu bilgi düzeylerinin gerektirdiği kriterler de aynı bölümde detaylı olarak belirtilmektedir. Yapı hakkında edinilen bilgi düzeyine göre Tablo 2.2’de verilen bilgi düzeyi katsayıları eleman kapasitelerine uygulanacaktır.

Tablo 2.2: Bilgi Düzeyi Katsayıları

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Orta	0.90
Kapsamlı	1.00

Binanın taşıyıcı sistem modeli, deprem etkileri ile düşey yüklerin ortak etkileri altında yapı elemanlarında oluşacak iç kuvvet, yer değiştirme ve şekil değiştirmeleri hesaplamak için yeterli doğrulukta hazırlanacaktır. Eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri (EI_e) kullanılacaktır [DBYBHY-2007]. Etkin eğilme rijitlikleri kirişler için $0.40 \times (EI_0)$, kolonlar için eksenel yük seviyesine göre $0.40 \times (EI_0)$ ile $0.80 \times (EI_0)$ aralığında verilmiştir. Oluşturulan yapısal model üzerinde yürütülecek doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile göz önünde bulundurulmuş deprem etkisi altında yapı elemanlarında oluşacak şekil değiştirmelerin ve iç kuvvetlerin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Elde edilen bu değerler, şekil değiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılarak her bir elemanın hasar seviyesi

belirlenir. Bu hasar seviyelerine ve bina genelindeki hasar dağılımına göre binanın performansı belirlenir. Doğrusal olmayan analizlerin uygulanabilmesi için yapı modelinde elemanların doğrusal olmayan davranışının tanımlanması gerekmektedir. DBYBHY-2007’de doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesinde yığılı plastik davranış modeli esas alınmıştır. Basit eğilme durumunda plastik mafsallı hipotezine karşı gelen bu modelde, çubuk eleman olarak idealleştirilen kiriş, kolon ve perde türü taşıyıcı sistem elemanlarındaki iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekil değiştirmelerin düzgün yayılı biçimde olduğu varsayılmaktadır. Yığılı plastik şekil değiştirmeyi temsil eden plastik kesitin, teorik olarak plastik şekil değiştirme bölgesinin tam ortasına yerleştirilmesi gerekir. Bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisinde plastikleşen betonarme kesitlerin akma yüzeyleri olarak etkileşim diyagramları kullanılacaktır. Akma yüzeyleri, doğrusallaştırılarak iki boyutlu davranış durumunda akma çizgileri, üç boyutlu davranış durumunda ise akma düzlemleri olarak modellenenebilir. [DBYBHY-2007].

Artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminde, yapının dikkate alınan deprem doğrultusundaki hakim mod şekli ile uyumlu bir yatay yük dağılımı kullanılarak, adım adım arttırılan eşdeğer deprem yükleri ile itme analizi yapılır. Artımsal itme analizi sırasında, eşdeğer deprem yükü dağılımının, taşıyıcı sistemdeki plastik kesit oluşumlarından bağımsız biçimde sabit kaldığı varsayımı yapılabilir [DBYBHY-2007]. Analiz sonucunda tepe deplasmanı – taban kesme kuvveti diyagramı (itme eğrisi) elde edilir. Bu eğri uygulanan koordinat dönüşümü ile modal deplasman ve modal ivme eğrisine (modal kapasite eğrisi) dönüştürülebilir. Modal kapasite eğrisiyle birlikte elastik ivme spektrumu da göz önüne alınarak, hakim moda ait maksimum modal deplasman değeri, yani modal deplasman hedefi belirlenir. Yapının tepe deplasman değerinin, belirlenen hedef deplasman değerine ulaştığı andaki şekil değiştirmeler ve iç kuvvetler, elemanların sınır değerleri ile karşılaştırılarak eleman hasar seviyeleri tespit edilir.

Alternatif olarak, artımsal itme analizi sırasında eşdeğer deprem yükü dağılımı, her bir itme adımında öncekilere göre değişken (uyarlanan) olarak göz önüne alınabilir. Bu durumda yük dağılımı, her bir itme adımı öncesinde taşıyıcı sistemde oluşmuş bulunan tüm plastik kesitler göz önüne alınarak hesaplanan birinci (deprem

doğrultusundaki hakim) titreşim mod şeklinin genliği ile ilgili kütlenin çarpımından elde edilen değerle orantılı olarak tanımlanacaktır [DBYBHY-2007].

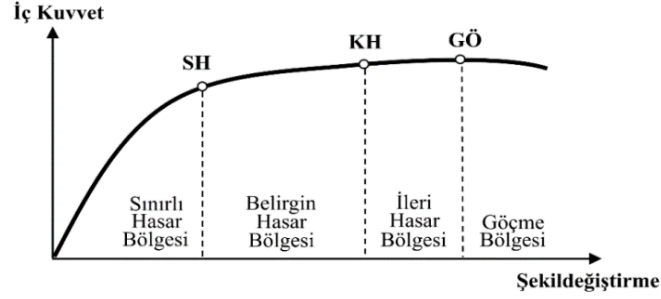
2.2.2. TBDY-2018'e Göre Doğrusal Olmayan Modelleme ile Analiz ve Yapı Deprem Performansının Belirlenmesi

01 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe girmiş olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde yeni yapılacak veya mevcut binalar için minimum performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları, binanın deprem tasarım sınıfına göre belirlenmektedir. Dayanıma Göre Tasarım (DGT) ve Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞGDT) yaklaşımı olmak üzere iki farklı hesap yaklaşımı bulunmaktadır. DGT yaklaşımında kullanılacak hesap yöntemleri doğrusal hesap yöntemleridir. ŞGDT yaklaşımı ise doğrusal olmayan hesap yöntemlerini içermektedir.

Şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım yaklaşımında, elemanların doğrusal olmayan davranış özelliklerinin tanımlandığı yapısal model üzerinde yürütülen analizler sonucunda elemanlarda oluşacak şekil değiştirme ve iç kuvvet talepleri elde edilir. Bu talepler, şekil değiştirme ve iç kuvvet dayanımları ile karşılaştırılarak her bir elemanın hasar seviyesi tespit edilir. Yapı genelindeki hasar dağılımı ve hasar seviyeleri, yönetmelikte verilen kriterlere göre değerlendirilerek yapının deprem performansı belirlenir.

TBDY-2018 yönetmeliğinde üç farklı kesit hasar sınırı tanımlanmış olup bunlar Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi (GÖ) hasar sınırlarıdır. Sınırlı hasar ilgili kesitte sınırlı miktarda elastik ötesi davranışı, kontrollü hasar kesit dayanımının güvenli olarak sağlanabileceği elastik ötesi davranışı, göçme öncesi hasar durumu ise kesitte ileri düzeyde elastik ötesi davranışı tanımlamaktadır. Kritik kesitlerinin hasarı SH'ye ulaşmayan elemanlar Sınırlı Hasar Bölgesi'nde, SH ile KH arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi'nde, KH ile GÖ arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi'nde, GÖ'yü aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi'nde yer alırlar. [TBDY-2018]. Bununla birlikte gevrek hasar oluşan elemanlar Göçme

Bölgesi'nde kabul edilirler. Söz konusu hasar bölgeleri Şekil 2.2'de grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Kesit Hasar Bölgeleri

Söz konusu kesit hasar sınır değerlerinin elde edildiği formülasyonlar bu yönetmelikte DBYBHY-2007'ye göre farklı tanımlanmıştır. Örneğin DBYBHY-2007'de Minimum Hasar olarak tanımlanan hasar sınır değeri betonarme kesitler için 0.0035 olarak verilmişken, TBDY-2018'de buna karşılık gelen Sınırlı Hasar sınır değeri 0.0025 olarak verilmiştir. Yine betonarme kesitler için DBYBHY-2007'deki Göçme Sınırı ve Güvenlik Sınırı değerleri kesitteki enine donatıların hacimsel oranına bağlı bir formülasyonla hesaplanırken, TBDY-2018'de tanımlanan Göçme Öncesi hasar sınırı malzeme dayanımlarının da dikkate alındığı enine donatı mekanik oranına bağlı bir formülasyonla hesaplanır. Bu değerlerin %75'i Kontrollü Hasar sınırı olarak kabul edilir. DBYBHY-2007'de donatı çeliğinin tüm hasar sınırları sabit değerler olarak verilmişken TBDY-2018 yönetmeliğinde donatının maksimum uzama şekil değiştirme değerine bağlı olarak değişmektedir.

Her bir elemanın hasar bölgesi tespit edildikten sonra dört farklı performans seviyesi için verilen kriterlere göre değerlendirilerek yapının performans seviyesi belirlenir. TBDY-2018'de dört farklı performans seviyesi tanımlanmıştır. Bunlar Kesintisiz Kullanım, Sınırlı Hasar, Kontrollü Hasar ve Göçmenin Önlenmesi performans seviyeleridir. Söz konusu performans seviyelerinin her biri için sağlanması gereken kriterler TBDY-2018 Bölüm 15.8'de verilmiştir. Bu kriterlerde de DBYBHY-2007 yönetmeliğine göre farklılıklar mevcuttur. Yukarıda bahsedilen performans seviyelerinin herhangi birinin sağlanamaması durumunda yapı Göçme Durumu'nda olduğu kabul edilir.

Yeni yapılacak ya da mevcut binalar için minimum performans hedefleri DBYBHY-2007'den farklı olarak yalnızca bina kullanım amacına göre değil, binanın deprem tasarım sınıfına, bina türüne ve yüksekliğine göre belirlenmektedir. Binalar için minimum performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları TBDY-2018'de verilmektedir. Şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım yaklaşımında kullanılabilecek doğrusal olmayan hesap yöntemleri, itme yöntemleri ve zaman tanım alanında hesap yöntemidir. İtme yöntemleri kendi içinde sabit tek modlu itme yöntemi, değişken tek modlu itme yöntemi ve çok modlu itme yöntemleri olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Bu yöntemlerden Sabit Tek Modlu İtme Yöntemi'nde, göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir itme adımında katlara etkiyen deprem yükü artımları, deprem dışı yüklemelerden sonraki birinci adımda belirlenen ve itme hesabı boyunca hiç değiştirilmeyen sabit mod şekli ile orantılı olarak tanımlanırlar. Değişken Tek Modlu İtme Yöntemi'nde ise, Değişken Tek Modlu İtme Yöntemi'nde, göz önüne alınan deprem doğrultusunda katlara etkiyen deprem yükü artımları ile bunlarla uyumlu kat yer değiştirme artımları, deprem dışı yüklemelerden sonraki her bir itme adımında, daha önce oluşan plastik mafsallar göz önüne alınarak yenilenen serbest titreşim hesabından elde edilen değişken mod şekli ile orantılı olarak tanımlanırlar [TBDY-2018]. Çok Modlu İtme Yöntemleri ise dikkate alınan her bir deprem doğrultusunda birden fazla mod şeklinin dikkate alındığı yöntemlerdir. Yönetmelikte verilen bazı koşulların sağlanması durumunda uluslararası uygulama literatüründe yer almış bulunan Çok Modlu İtme Yöntemleri'nin kullanılmasına izin verilmektedir.

Doğrusal olmayan hesap yöntemi olarak İtme Yöntemleri'nin kullanılması durumunda deprem etkisi, yönetmelikte verilen yatay elastik ivme spektrumu ya da sahaya özel elastik ivme spektrumu kullanılarak dikkate alınır.

TBDY-2018 kapsamında mevcut bir yapının deprem performansının değerlendirilmesi için yapı hakkında bilgi toplama çalışmaları yapılmalıdır. Binalardan bilgi toplanması kapsamında yapılacak işlemler, yapısal sistemin tanımlanması, bina geometrisinin, temel sisteminin ve zemin özelliklerinin saptanması, varsa mevcut hasarın ve evvelce yapılmış olan değişiklik ve/veya onarımların belirlenmesi, eleman boyutlarının ölçülmesi, malzeme özelliklerinin saptanması, sahada derlenen tüm bu bilgilerin binanın varsa projesine uygunluğunun kontrolüdür [TBDY-2018]. Bu

yönetmelikte bilgi düzeyleri DBYBHY-2007'den farklı olarak sınırlı ve kapsamlı bilgi düzeyleri olmak üzere ikiye ayrılmıştır. İnceleme konusu bina hakkında edinilen bilgi düzeyine göre eleman kapasitelerine uygulanacak bilgi düzeyi katsayıları Tablo 2.2'den alınır.

Tablo 2.3: Bilgi Düzeyi Katsayıları

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Kapsamlı	1.00

TBDY-2018 Bölüm 5.4'te doğrusal olmayan hesap için taşıyıcı sistemin modellenmesine ilişkin bazı kurallar verilmiştir. Mevcut binaların şekil değiştirmeye göre değerlendirilmesinde beton ve donatı çeliği için mevcut malzeme dayanımları kullanılmalıdır. Yeni yapılacak binalarda ise TBDY-2018 Bölüm 5.4.1'de tanımlanan beklenen (ortalama) malzeme dayanımları kullanılmalıdır. Şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım yaklaşımlarının kullanılabilmesi için binanın üç boyutlu yapı modelinde elemanların doğrusal olmayan davranışlarının yeterli doğrulukta tanımlanmış olması gerekmektedir. Doğrusal olmayan davranış, elemanların uçlarında tanımlanan sonlu plastik şekil değiştirme bölgelerinde yığılı plastik davranış modeli ile veya yayılı plastik davranış modelleri ile modellenebilir. Uygulamada yığılı plastik mafsallı modelinin kullanımı genel olarak yeterli kabul edilebilir. Yığılı plastik davranış hipotezine göre elemanlara ait elastik ötesi davranış parametreleri, bu davranışın eleman uçlarında yoğunlaşacağı varsayımına dayanarak hesaplanmaktadır [Özmen vd., 2007]. Yığılı plastik davranış modelinde, iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekil değiştirmelerin düzgün yayılı biçimde olduğu varsayılmaktadır. Yığılı plastik şekil değiştirmeyi temsil eden plastik mafsallı, plastik şekil değiştirme bölgesinin ortasına yerleştirilmesi gerekir [TBDY-2018]. Yığılı plastik mafsallı davranış betonarme elemanların doğrusal olmayan davranışını önemli ölçüde temsil edebiliyor olsa da gerçekte plastik şekil değiştirmeler elemanların uç bölgelerindeki bir noktada yığılmayıp, bir uzunluk boyunca yayılmaktadır. Yayılı plastik davranış modelinde ise daha gerçekçi bir yaklaşımla plastik şekil değiştirmelerin elemanın uç bölgelerindeki

sınırlı bir uzunlukta ya da eleman uzunluğu boyunca yayılı olduğu kabul edilmektedir. Yayılı plastik davranışı varsayımında betonarme elemanlar kesit hücresi (fiber) olarak tanımlanır. Fiber modelinde her bir eleman kesitinin beton ve donatıları küçük hücrelere ayrılır ve analizler sonucunda bu hücreler için ilgili malzemenin gerilme – şekil değıştirme ilişkisi kullanılarak oluşan şekil değıştirmeler hesaplanır.

3. YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, doğrusal olmayan itme analizi yöntemlerinden Sabit Tek Modlu İtme Analizi (STMİA) yöntemi ile bir Uyarlanan Tek Modlu İtme Analizi (UTMİA) yöntemi kullanılarak betonarme binaların deprem performans seviyeleri belirlenecek ve sonuçlar karşılaştırılacaktır. Sabit tek modlu itme analizi yönteminde önceki bölümlerde de bahsedildiği üzere, inceleme konusu yapının göz önüne alınan deprem doğrultusundaki hakim mod şekli ile uyumlu bir eşdeğer deprem yükü dağılımı kullanılır. Binanın tepe deplasmanı, dikkate alınan deprem için belirlenen hedef deplasman değerine ulaşıncaya kadar eşdeğer deprem yükleri adım adım arttırılır. Bu yöntemde, yapının mod şekilleri (dolayısıyla yatay yük dağılımı) analiz boyunca hiç değiştirilmez. Bu çalışmada kullanılacak olan uyarlanan tek modlu itme analizi yöntemi ise literatürde bulunan uyarlanan itme analizlerinden biraz farklıdır. Uyarlanan itme analizlerinde genelde her bir itme adımındaki yük artışı yeni bir plastik mafsalları oluşturacak şekilde belirlenir ve her plastik mafsalları oluşumundan sonra mod şekilleri yeniden belirlenir. Bu çalışmada kullanılacak uyarlanan itme analizi yönteminde ise, her biri yapıda yaklaşık 10mm tepe deplasmanı oluşturacak şekilde çok sayıda ardışık itme analizi yapılır. Buradaki ardışık ifadesi, her itme analizinin son adımının, bir sonraki itme analizinin başlangıç koşulu olarak kabul edildiğini ifade etmektedir. Bununla birlikte sonlu miktarda her itme aralığı sonunda (örneğin 10mm tepe deplasmanlarında), bir sonraki analizde kullanılacak olan yatay yük dağılımını belirlemek için modal analiz yapılarak güncel hakim mod şekli belirlenir. Böylece analiz süresince oluşan plastik mafsalların yapı rijitliğinde meydana getireceği değişim belirli bir ölçekte dikkate alınmış olacaktır. Mod şekillerinin güncellenme sıklığı olarak seçilen 10mm tepe deplasmanı artışının incelenecek bina modelleri için yeterli bir sıklık olduğu düşünülmekle birlikte analiz sürelerini optimize etmek için bu değer seçilmiştir. Mod şekillerinin daha sık güncellenmesi daha kesin sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır. Yürütülen ardışık itme analizleri, hedef tepe deplasman değerine ulaşıldığında sonlandırılacaktır. Hedef deplasman değeri analiz başlamadan belirlenecek ve analiz boyunca değiştirilmeyecektir.

3.1. Hedef Tepe Deplasmanının Belirlenmesi

Analizlerde kullanılacak hedef tepe deplasmanı değeri TBDY-2018 Bölüm 5B.3'e göre doğrusal olmayan spektral yer değiştirme olarak belirlenecektir. Deprem modal yer değiştirme talebinin elde edilmesi, verilen deprem etkisi altında modal kapasite diyagramı tarafından temsil edilen modal tek serbestlik dereceli sistemin en büyük yer değiştirmesinin hesabına karşı gelmektedir [TBDY-2018].

$$d_{1,max}^{(X)} = S_{di}(T_1) \quad (3.1)$$

$$S_{di}(T_1) = C_R S_{de}(T_1) \quad (3.2)$$

$d_{1,max}^{(X)}$: Modal tek serbestlik dereceli sistemin en büyük yer değiştirmesi

$S_{di}(T_1)$: Taşıyıcı sistemin birinci doğal titreşim periyodu T_1 'e karşı gelen doğrusal olmayan spektral yer değiştirme

$S_{de}(T_1)$: Elastik tasarım spektral yer değiştirme

C_R : Spektral yer değiştirme oranı

Spektral yer değiştirme oranı C_R , yapının birinci doğal titreşim periyodu T_1 'in yatay elastik tasarım ivme spektrumunun köşe periyodu olan T_B 'den büyük olması durumunda, eşit yer değiştirme kuralı uyarınca 1 olarak kabul edilir. T_B 'den küçük olması durumunda ise Denk (3.3)'te verilen bağıntıyla hesaplanır:

$$C_R = \frac{1 + (R_y - 1) \frac{T_B}{T_1}}{R_y} \geq 1 \quad (3.3)$$

$$R_y = \frac{f_e}{f_y} = \frac{S_{ae}(T_1)}{a_{y1}} \quad (3.4)$$

R_y : Akma dayanımı azaltma katsayısı

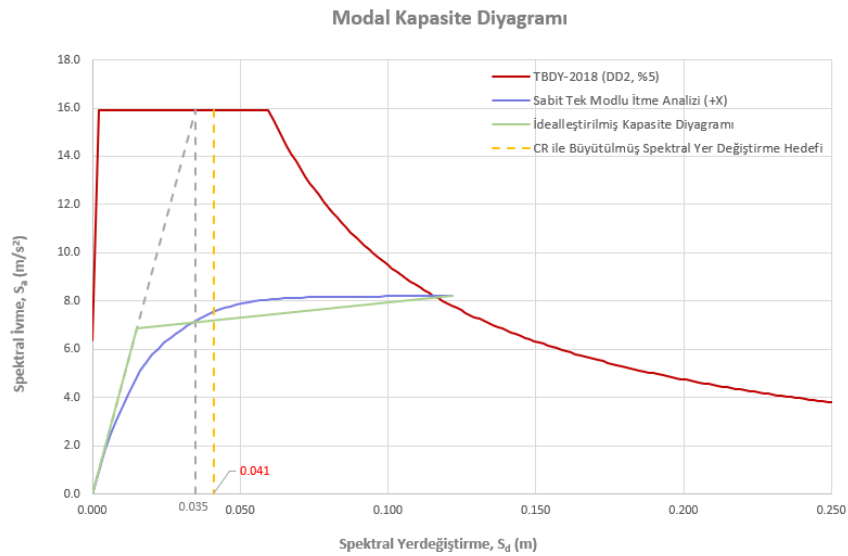
f_e : Elastik dayanım talebi

f_y : Akma dayanımı

$S_{ae}(T_1)$: Elastik dayanım talebine karşılık gelen elastik spektral ivme

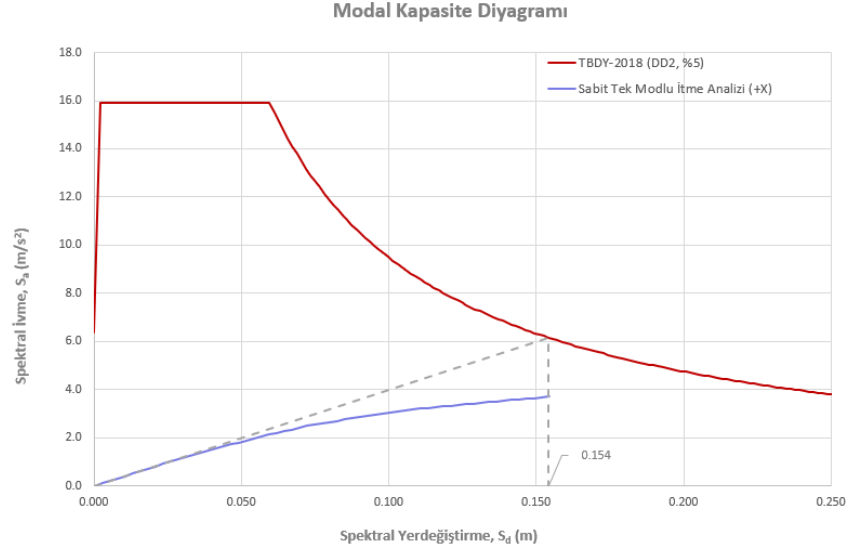
a_{y1} : Akma dayanımına karşılık gelen akma spektral ivmesi

Buradan anlaşılacağı üzere yapının birinci titreşim periyodunun T_B 'den küçük olması durumunda C_R katsayısının hesaplanabilmesi için yapının modal kapasite diyagramına ihtiyaç vardır. Bu durumda modal kapasite diyagramını elde etmek için büyükçe seçilen bir tepe deplasman değeri için sabit tek modlu itme analizi yapılır. Bu çalışmada söz konusu durum için yapı yüksekliğinin %4'ü kadar bir tepe deplasman değeri seçilecektir. Elde edilen modal kapasite diyagramı, akma spektral ivmesi a_{y1} 'in belirlenmesi için iki doğrulu elasto-plastik diyagrama dönüştürülür. Dönüşüm işleminde diyagramların altında kalan alanların eşitliği esas alınır. Elasto-plastik diyagramın başlangıç noktası sıfır noktası olarak, bitiş noktası ise modal kapasite diyagramında spektral ivmenin maksimum olduğu nokta olarak seçilir. Ardından akma noktası için yaklaşık bir spektral yer değiştirme değeri ve buna karşılık gelen spektral ivme değeri belirlenerek iki doğrulu diyagram oluşturulur. İki doğrulu diyagramın altında kalan alan ile modal kapasite diyagramının altında kalan alan birbirine yeterince yaklaşıncaya kadar akma noktası için seçilen spektral yer değiştirme değeri değiştirilir. Bu tez çalışmasında alanların birbirine yeterince yakın olması koşulu, aralarındaki oranın 0.01'den küçük olması durumu olarak kabul edilmiştir. Elde edilen akma spektral ivmesi kullanılarak önce R_y , ardından sırasıyla C_R katsayısı ve modal tek serbestlik dereceli sistemin en büyük yer değiştirmesi $d_{1,max}^{(X)}$ hesaplanır.



Şekil 3.1: $T < T_B$ Olması Durumunda Spektral Yer Değiştirme Hedefi

Yapının birinci titreşim periyodunun T_B 'den büyük olması durumunda $C_R = 1$ olacağından, $d_{1,max}^{(X)}$ hesabı modal kapasite diyagramına ihtiyaç duyulmadan doğrudan hesaplanır.



Şekil 3.2: $T > T_B$ Olması Durumunda Spektral Yer Değiştirme Hedefi

Modal tek serbestlik dereceli sistemin en büyük yer değiştirmesi hesaplandıktan sonra gerçek yapının tepe deplasman hedefi Denk (3.5)'te verilen bağıntı kullanılarak hesaplanır:

$$u_{xN1} = \Gamma_{x1} \phi_{xN1} d_{1,max}^{(X)} \quad (3.5)$$

u_{xN1} : Yapı tepe noktası hedef deplasman değeri

Γ_{x1} : Yapının birinci moduna ait modal katılım çarpanı

ϕ_{xN1} : Yapı tepe noktası mod şekli genliği

3.2. Yapısal Analizlerde Kullanılan Araçlar

Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen tüm analizler, günümüzde mühendisler tarafından yaygın olarak kullanılan uluslararası bir yapısal analiz programı olan “ETABS (Extended Three-Dimensional Analysis of Building Systems)”

kullanılarak gerçekleştirilmiştir. ETABS programı sonlu elemanlar yöntemini kullanarak yapıların doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerini yapan bir programdır. Her türlü yapının 3 boyutlu olarak modellenmesine ve analizlerinin yapılmasına imkan tanıyan bu programda bir çok statik ve dinamik analiz tipine yer verilmiştir (Zaman Tanım Alanında Analiz, Tepki Spektrumu Analizi, Statik İtme Analizi, vb.). Binaların deprem performansının değerlendirilmesinde kullanılan sabit tek modlu itme analizi yöntemi, bu programda kolaylıkla tanımlanabilmektedir. Sabit tek modlu itme analizinin (STMİA) yapılabilmesi için yapısal modelde her bir eleman kesitinin doğrusal olmayan davranışının tanımlanmış olması gerekmektedir. Bununla birlikte analiz sırasında yer değiştirmesi takip edilecek olan düğüm noktası, hedef tepe deplasman değeri, itme analizi başlangıç koşulu, yük dağılımını belirlemede kullanılacak olan mod şekli ve diğer gerekli doğrusal olmayan parametreler tanımlanarak analizler gerçekleştirilebilmektedir. Ancak programda uyarlanan itme analizi yöntemlerini kolaylıkla uygulamak için geliştirilmiş bir arayüz bulunmamaktadır. Bu tez kapsamında kullanılacak olan Uyarlanan tek modlu itme analizini ETABS programında uygulayabilmek için, küçük tepe deplasman hedeflerine sahip çok sayıda tek modlu itme analizi tanımlaması yapmak ve her bir analiz tanımında başlangıç koşulu olarak bir önceki analizi seçmek gerekmektedir. Ayrıca oluşturulan bu itme analizlerinin her birinden önce çalıştırılmak üzere, yapının o anki plastik mafsallarını dikkate alacak şekilde modal analiz tanımlamalarının da yapılması gerekmektedir. Ardından, tanımlanan bu onlarca analiz uygun sıralama ile çalıştırılmalıdır. Kapsamlı tanımlamaların yanı sıra, analiz boyunca güncellenen mod şekillerinin yönlerinde bir değişiklik olması durumunda bir sonraki itme analizi çalıştırılmadan önce ölçek katsayısının işareti değiştirilmelidir. Anlaşıldığı üzere, uyarlanan itme analizi yöntemlerinin ETABS programında tanımlanması ve uygulanması oldukça karmaşık ve hata yapılmasına müsait bir prosedürdür. Tez çalışması kapsamında, sonuçları irdelenecek olan uyarlanan tek modlu itme analizi yönteminin, ETABS programında basit bir şekilde uygulanabilmesi için bir ETABS'ın yayınlanmış uygulama arayüz protokol (Application Programming Interface – API) kodları kullanılarak bir Excel makro uygulaması oluşturulmuştur.

3.2.1. Tez Kapsamında Oluşturulan Excel Makro Uygulaması

Excel programında, Visual Basic programlama dili kullanılarak oluşturulan uygulama, ETABS programının üreticileri tarafından paylaşılan API (Application Programming Interface) kodlarını kullanarak ETABS üzerinde işlemler yapabilmektedir. ETABS'ta oluşturulmuş, betonarme bir yapı modeli üzerinde sabit ve uyarlanan tek modlu itme analizi yöntemleri için gerekli tüm analiz tanımlamalarını yapmakta ve analizleri çalıştırmaktadır. Buna ek olarak ETABS'tan analiz sonuçlarını çekerek, her iki analiz tipi için de düzenli, kolay anlaşılabilir sonuç tabloları ve grafikler oluşturmakta, TBDY-2018 Bölüm 5 kapsamında binanın deprem performans seviyesini belirlemektedir. Uyarlanan tek modlu itme analizinin ETABS programında kolayca uygulanabilir olmasını sağlamanın yanı sıra tüm bu işlemler sırasında çok az kullanıcı müdahalesi gerektiren bu uygulama, analiz sonuçlarını değerlendirme aşamasındaki iş yükünü de en aza indirmektedir. Oluşturulan uygulama bir Excel çalışma sayfası üzerinde yer alan butonlarla çalıştırılmaktadır. Söz konusu Excel sayfasında uygulama çalıştırılmadan önce bazı verilerin girilmesi gerekmektedir. Bu veriler; dikkate alınan depremin spektral tasarım ivme katsayıları (SD_5 ve SD_1), hareketli yük katılım katsayısı, itme analizinde yer değiştirmesi izlenecek olan tepe düğüm noktasının numarası, yapısal modelde tanımlı olan ölü ve hareketli yük isimleri, son olarak da yapıdaki farklı tüm kolon kesitleri için hesaplanan birim şekil değiştirme sınır değerleridir. Birim şekil değiştirme sınır değerleri, "Kolonlarda B Şekil Değ Sin (+X)" ve "Kolonlarda B Şekil Değ Sin (+Y)" isimli sayfalarda bulunan ilgili tablolara girilmelidir.

Ayrıca uygulamanın sorunsuz çalışması için dikkate edilmesi gereken birkaç husus bulunmaktadır:

- Analizi yapılacak olan yapının taşıyıcı sistemi yalnızca betonarme moment çerçevelerinden meydana gelmelidir.
- Yapı modelinde tanımlı olan beton malzemesinin ismi "C" ile donatı malzemesinin ismi "S" ile başlamalıdır.
- Seçilen yapı modelinde kirişler için M3 mafsalları, kolonlara için fiber mafsallar kullanılarak tüm elemanların her iki ucuna da mafsalları ataması yapılmış olmalıdır.

- Modal analiz dışında farklı bir analiz tanımlaması bulunmamalıdır.

Tüm bu hususlara dikkat edilerek gerekli hazırlıklar yapıldıktan sonra “Model Seç” butonuna basılarak analizi yapılacak olan yapı modeli dosyası seçilir ve “Analizi Başlat” butonu ile uygulama çalıştırılır. Bir sonraki bölümde uygulama çalıştığında otomatik olarak gerçekleştirilen tüm işlemler sırasıyla anlatılacaktır. Şekil 3.3’te söz konusu Excel uygulamasına ait bir görüntü verilmiştir:

A	B	C	D	E	F	G
1						
2		S_{D5} (g)	1.624			
3		S_{D1} (g)	0.454			
4		Hareketli Yük Katılım Katsayısı	0.30			
5		Tepe Noktası (Unique Name)	122			
6		Model Seç	Temizle			
7		Analizi Başlat				
8		Tepe Deplasmanı - Şekil Değiştirme Grafiği				
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						

YÜK İSİMLERİ	
ÖLÜ YÜKLER	HAREKETLİ YÜKLER
Dead	Live

HEDEF TEPE DEPLASMANI			
(+X Yönü)		(+Y Yönü)	
Kütle ($\text{kN}\cdot\text{s}^2/\text{m}$)	2298.99	Kütle ($\text{kN}\cdot\text{s}^2/\text{m}$)	2298.99
Γ_{x1}	42.18	Γ_{y1}	41.72
Efektif Kütle	1778.83	Efektif Kütle	1740.72
Kütle Katılım Oranı	0.77	Kütle Katılım Oranı	0.76
Φ_{xN1}	0.03	Φ_{yN1}	0.03
$\Phi_{xN1} \times \Gamma_{x1}$	1.36	$\Phi_{yN1} \times \Gamma_{y1}$	1.38
T_x (sn)	1.31	T_y (sn)	1.31
T_A (sn)	0.06	T_A (sn)	0.06
T_B (sn)	0.28	T_B (sn)	0.28
S_{xx} (m/sn^2)	3.41	S_{yy} (m/sn^2)	3.40
ω	4.81	ω	4.80
ω^2	23.11	ω^2	23.02
S_{ux} (m)	0.147	S_{uy} (m)	0.148
S_{ux} (m) (Hedef)	0.200	S_{uy} (m) (Hedef)	0.204
Pushover_PX için Performans Adımı	60	Pushover_PY için Performans Adımı	60
AdaptivePushover_PX için Analiz Numarası	20	AdaptivePushover_PY için Analiz Numarası	21
AdaptivePushover_PX için Performans Adımı	10	AdaptivePushover_PY için Performans Adımı	10

Şekil 3.3: Excel Makro Uygulamasının Görünümü

Söz konusu uygulama dosyası Ekte sunulmuştur.

3.2.2. Excel Makro Uygulamasının Kodlama Akışı

Excel makro uygulamasında “Analizi Başlat” butonuna basıldığında sırasıyla aşağıdaki işlemler gerçekleşir:

1. ETABS programı çalıştırılır.
2. Seçilmiş olan yapı modeli açılır.
3. Açılan modelde kullanılacak olan birimler $\text{kN}_\text{m}_\text{C}$ olarak seçilir.
4. Analiz başlatılır.

5. Yapının tepe deplasman hedefleri hesaplanır. ($T < TB$ olması durumunda hedef tepe deplasmanı yapı yüksekliğinin %4'ü olarak kabul edilir)
6. Yapı modelinin kilidi açılır.
7. İtme analizlerinde başlangıç koşulu olarak kullanılacak olan "G+nQ_NL" isimli doğrusal olmayan statik düşey yük analizi tanımlaması yapılır.
8. Doğrusal olmayan sabit tek modlu itme analizleri tanımlanır ("Pushover_PX" ve "Pushover_PY")
9. Uyarlanan tek modlu itme analizi için gerekli sayıda itme analizi ve modal analiz tanımlamaları yapılır ("AdaptivePushover_PX-i" ve "Modal-Xi").
10. İlk etapta hangi analizlerin çalıştırılacağı belirlenir.
11. Uyarlanan itme analizi sırasında her 1 cm tepe yer değiştirmesinden sonra modal analiz yapılır. Böylece yapıda oluşan plastik mafsallar dikkate alınarak yeni mod şekilleri elde edilir. Yeni mod şeklinin yönü, analizlerin en başında belirlenen mod şekli ile aynı yönde değilse bir sonraki itme analizi tanımındaki ölçek katsayısının işareti değiştirilir (Aksi takdirde yapı ters yöne itilecektir).
12. Bir sonraki itme analizi ve ardından sıradaki modal analiz çalıştırılır.
13. 11 ve 12. adımlar tüm uyarlanan itme analizleri çalıştırılana kadar yani, hedef tepe deplasman değerine ulaşıncaya kadar tekrarlanır.
14. Sabit tek modlu itme analizi sonuçları alınarak Excel'de modal kapasite diyagramı oluşturulur.
15. Uyarlanan itme analizi için de modal kapasite diyagramı oluşturulur. İki analiz tipinden elde edilen modal kapasite diyagramları bir grafik üzerinde gösterilir.
16. Eğer $T < TB$ ise oluşturulan modal kapasite diyagramı kullanılarak Spektral Yer Değiştirme Oranı (CR) ve yapının asıl tepe deplasman hedefi hesaplanır. İki analiz tipi için de hedef deplasmanın olduğu itme adımı (performans adımı) belirlenir. $T > TB$ ise analizlerden önce hesaplanan tepe deplasman hedefi geçerli kabul edilir ve itme analizlerinin son adımı performans adımı olur.
17. Kolonların hasar seviyesinin tespit edilmesi

- 17a. Yapıdaki tüm kolonların eleman numaraları, kesit isimleri ve atanmış mafsalsal isimleri alınarak Excel'de sonuç tabloları oluşturulur.
- 17b. Sabit tek modlu itme analizinin performans adımıdaki kolon kesme kuvveti oranları hesaplanır. Bu oranın %65'ten büyük olduğu kolonlar için birim şekil değiştirme sınırları, hesaplanan düzeltme katsayıları ile azaltılır.
- 17c. Yapıdaki tüm kolonların sabit tek modlu itme analizinden elde edilen fiber mafsalsal sonuçları bir metin dosyası olarak dışarı aktarılır. Bu dosyada gerekli filtrelemeler yapılarak her bir kolonun alt ve üst plastik mafsalsal bölgelerinde, beton ve donatı malzemesi için performans adımıda oluşan maksimum birim şekil değiştirme değerleri elde edilir.
- 17d. Kesitlerde oluşan birim şekil değiştirme değerleri, ilgili kesite ait şekil değiştirme sınır değerleri ile kıyaslanarak her bir kesitin hasar seviyesi tespit edilmiş olur. Hasar seviyeleri Excel'de oluşturulan sonuç tablolarında gösterilir.
- 17e. 17b, 17c ve 17d adımları, uyarlanan tek modlu itme analizi için tekrarlanır.
18. Kirişlerin hasar seviyesinin tespit edilmesi
- 18a. Yapıdaki tüm kirişlerin eleman numaraları, kesit isimleri, atanmış mafsalsal isimleri alınarak Excel'de sonuç tabloları oluşturulur.
- 18b. Yapı modelinde tanımlı olan kiriş mafsallarının özelliklerinden dönme sınır değerleri alınır. Sabit tek modlu itme analizinin performans adımıdaki kiriş kesme kuvveti oranları hesaplanır. Kesme kuvveti oranı %65'ten büyük olan kirişlerin hasar sınır değerleri, hesaplanan düzeltme katsayıları ile azaltılır.
- 18c. Yapıdaki tüm kirişlerin sabit tek modlu itme analizinden elde edilen M3 mafsalsal sonuçları bir metin dosyası olarak dışarı aktarılır. Bu dosyada gerekli filtrelemeler yapılarak her bir kirişin sol ve sağ uçlarındaki plastik mafsalsal bölgelerinde, beton ve donatı malzemesi için performans adımıda oluşan maksimum dönme değerleri elde edilir.

- 18d. 18b ve 18c adımları, uyarlanan tek modlu itme analizi için de tekrarlanır.
- 18e. İki analiz tipi için de elde edilen dönme değerleri, ilgili kesite ait sınır değerler ile kıyaslanarak her bir kesitin hasar seviyesi tespit edilmiş olur. Hasar seviyeleri Excel'de oluşturulan sonuç tablolarında gösterilir.
19. ETABS modeli kapatılır.
20. ETABS yapı modeli dosyasının, isminin sonuna "HingeStates" eklenmiş bir kopyası oluşturulur.
21. ETABS programı çalıştırılır.
22. HingeStates isimli yapı modeli açılır.
23. Her bir hasar seviyesi için grup tanımlaması yapılır (Örneğin sabit tek modlu itme analizi sonucunda belirgin hasar seviyesindeki elemanlar için "BH_Constant" isimli grup vb.).
24. Sabit tek modlu itme analizinin sonucunda kolon ve kirişlerin iki ucundaki tespit edilen hasar seviyeleri değerlendirilerek her bir elemanın hasar seviyesi tespit edilir (Bir ucu "BH" diğer ucu "SH" seviyesinde olan kolonun hasar seviyesinin BH olarak belirlenmesi gibi).
25. Tüm kolon ve kirişlerin farklı doğrultulardaki hasar seviyeleri dikkate alınarak, yapı modelindeki elemanlar, oluşturulan hasar seviyesi gruplarına atanır.
26. Yapı modeli üzerinde yapılan değişiklikler kaydedilir ve ETABS kapatılır.
27. Elde edilen tüm sonuç tabloları kullanılarak eleman hasar seviyesi dağılımı her kat için ayrı ayrı kontrol edilir, bununla birlikte ileri hasar seviyesindeki kolonların kat kesme kuvvetine katkısı ve iki ucu belirgin hasar seviyesindeki kolonların kat kesme kuvvetine katkısı hesaplanır.
28. Bir önceki adımdan elde edilen sonuçlar, TBDY-2018 yönetmeliğinin 15.Bölümü'nde verilen performans düzeyi kriterleri ile karşılaştırılarak binanın deprem performans seviyesi tespit edilir ve ilgili tablolarda gösterilir.

Yukarıdaki işlemlerin gerçekleştirilmesiyle iki analiz tipi için de hem X hem de Y doğrultusunda sonuçlar ayrı ayrı elde edilmektedir. Tüm bu işlemlerin sonucunda elde edilen veriler aşağıda özetlenmiştir.

- Yapının modal kütle katılım oranları tablosu
- İtme analizlerinden elde edilen modal kapasite diyagramları
- Tüm kolonların plastik mafsallı bölgelerindeki, beton ve donatı malzemelerinde meydana gelen birim şekil değiştirme değerlerinin ve kesit hasar seviyelerinin gösterildiği tablolar
- Tüm kirişlerin plastik mafsallı bölgelerindeki plastik dönme değerlerinin ve kesit hasar seviyelerinin gösterildiği tablolar
- Elemanların hasar seviyesine göre gruplandırıldığı ve renklendirildiği 3 boyutlu yapı modeli
- Her kattaki kolon ve kirişlerde meydana gelen hasar dağılımını ve yapının TBDY-2018'e göre performans seviyesini gösteren itme analizi sonuç tabloları

Bunlara ek olarak, söz konusu Excel makro uygulaması ile analizler tamamlanıp sonuçlar alındıktan sonra, "Tepe Deplasmanı – Şekil Değiştirme Grafiği" butonu kullanılarak ilave grafikler oluşturulabilir. Bu butona basıldığında analizleri tamamlanmış olan yapı modeli açılır ve en fazla 5 adet kolon seçilmesi istenir. Seçilen kolonlar için oluşturulan grafiklerde, beton ve donatı malzemelerinin tepe deplasmanı – birim şekil değiştirme ilişkisi sabit ve uyarlanan tek modlu itme analizlerinin her bir adımı için gösterilir. Söz konusu grafikler X ve Y doğrultuları için ayrı ayrı oluşturulur. Tez çalışması kapsamında, doğrusal analiz yöntemleri ile tasarlanmış olan yeni yapılacak binaların performans seviyesi belirlenecektir. Bu nedenle oluşturulan uygulamada kesme dayanımı kontrollerinin yapılmasına ihtiyaç duyulmamıştır.

Çalışma kapsamında yürütülen tüm analizler için yukarıda bahsedilen analiz sonuçlarını içeren Excel makro uygulaması dosyaları dijital olarak Ek A'da sunulmuştur.

4. SAYISAL ÖRNEKLER

Bu bölümde Bölüm 3.2.1’de bahsedilen Excel makro uygulaması aracılığıyla ETABS’ta Sabit Tek Modlu İtme Analizi (STMİA) ve Uyarlanan Tek Modlu İtme Analizi (UTMİA) yöntemleri ile yürütülen analizlerin sonuçları karşılaştırılacaktır.

4.1. Tez Kapsamında Kullanılan Bina Modelleri

Bu tez çalışmasında sabit ve uyarlanan itme analizi yöntemleri kullanılarak deprem performans seviyesi tespit edilecek binalar TBDY-2018’e göre tasarımı yapılmış, taşıyıcı sistemi betonarme moment çerçevelerinden meydana gelen 5 ve 10 katlı binalardır. İki binanın taşıyıcı sistemi birbirine çok benzer olup, yalnızca eleman kesitleri ve kat adetleri birbirinden farklıdır. Her iki binanın da tüm kat yükseklikleri 3’er metre olup, 5 katlı yapının toplam yüksekliği 15m, 10 katlı yapının toplam yüksekliği 30m’dır. Binaların X doğrultusunda 5 açıklık, Y doğrultusunda ise 4 açıklık bulunmaktadır. Dikdörtgen şeklinde oluşturulan taşıyıcı sistem planları 20m x 18m boyutlarındadır. 5 katlı yapının kolonları, 30x30cm, 30x70cm ve 70x30cm boyutlarındadır. 5 katlı yapının kolonları, 30x30cm, 30x70cm ve 70x30cm boyutlarında kare ve dikdörtgen şeklinde oluşturulmuştur. 10 katlı yapının kolonları ise 60x60cm, 60x70cm ve 70x60cm boyutlarında tasarlanmıştır. Her iki yapının da tüm kirişleri 30x50cm boyutlarındadır. Kolonların tamamı bina yüksekliği boyunca aynı boyutta devam etmektedir. Çalışma kapsamında kullanılacak olan uyarlanan tek modlu itme analizi yönteminin etkinliğinin net bir şekilde görülebilmesi amacıyla, söz konusu 5 ve 10 katlı bina modellerinin yalnızca zemin kat kolon donatıları azaltılarak 2 farklı bina modeli daha oluşturulmuştur. Oluşturulan bu düşük dayanımlı kat nedeniyle itme analizi sırasında binanın mod şekillerinde belirgin değişiklikler meydana geleceği düşünülmüştür. Zemin kat kolonlarında diğer katlardan çok daha az donatı bulunması durumu gerçekte pek rastlanacak bir durum olmasa da çalışma konusu analiz yönteminin bu etkileri dikkate alıp almadığının gösterilmesi açısından bu modeller uygun olacaktır.

Tablo 4.1’de bu çalışmada kullanılacak olan binaların geometrik ve malzeme özellikleri özetlenmiştir:

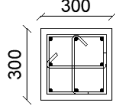
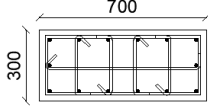
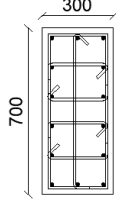
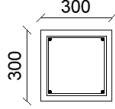
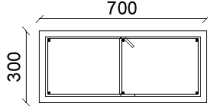
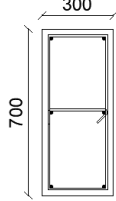
Tablo 4.1: Bina Özellikleri

	Bina-1 ve Bina-2	Bina-3 ve Bina-4
Bina Kat Adedi	5	10
Taşıyıcı Sistem Tipi	Bet. Moment Çerçeveleri	Bet. Moment Çerçeveleri
Açıklık Sayısı (X)	5	5
Açıklık Sayısı (Y)	4	4
Plan Boyutu	20x18m	20x18m
Kat Yükseklikleri	3m	3m
Bina Yüksekliği	15m	30m
Köşe Kolon Boyutları	30x30cm	60x60cm
Diğer Kolonların Boyutları	30x70cm ve 70x30cm	60x70cm ve 70x60cm
Kiriş Boyutları	30x50cm	30x50cm
Döşeme Sistemi	Kirişli Plak Döşeme	Kirişli Plak Döşeme
Döşeme Kalınlığı	12cm	12cm
Beton Malzeme Sınıfı	C25	C25
Donatı Malzeme Sınıfı	S420	S420

Kolon kesitlerinin donatı bilgileri Tablo 4.2 ile Tablo 4.3'te ve Şekil 4.1 ile Şekil 4.2'de gösterilmiştir:

Tablo 4.2: 5 Katlı Binaların Kolon Donatı Tablosu

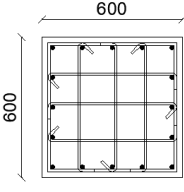
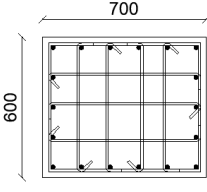
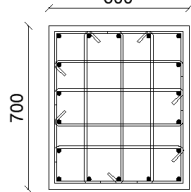
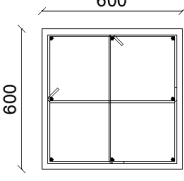
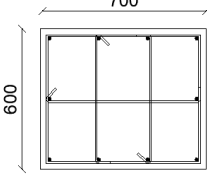
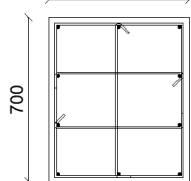
Bina-1 (5 Katlı)		
Kolon Kesiti	Boyuna Donatı	Enine Donatı
C30x30	8 ϕ 14	ϕ 10/10
C30x70	14 ϕ 14	ϕ 10/10
C70x30	14 ϕ 14	ϕ 10/10
Bina-2 (5 Katlı)		
Kolon Kesiti	Boyuna Donatı	Enine Donatı
C30x30	8 ϕ 14	ϕ 10/10
C30x70	14 ϕ 14	ϕ 10/10
C70x30	14 ϕ 14	ϕ 10/10
C30x30_Story1	4 ϕ 12	ϕ 8/25
C30x70_Story1	6 ϕ 12	ϕ 8/25
C70x30_Story1	6 ϕ 12	ϕ 8/25

C60x60	C70x60	C60x70
		
C60x60_Story1	C70x60_Story1	C60x70_Story1
		

Şekil 4.1: 5 Katlı Binaların Kolon Donatı Detayları

Tablo 4.3: 10 Katlı Binaların Kolon Donatı Tablosu

Bina-3 (10 Katlı)		
Kolon Kesiti	Boyuna Donatı	Enine Donatı
C60x60	16 ϕ 18	ϕ 10/10
C60x70	18 ϕ 18	ϕ 10/10
C70x60	18 ϕ 18	ϕ 10/10
Bina-4 (10 Katlı)		
Kolon Kesiti	Boyuna Donatı	Enine Donatı
C60x60	16 ϕ 18	ϕ 10/10
C60x70	18 ϕ 18	ϕ 10/10
C70x60	18 ϕ 18	ϕ 10/10
C60x60_Story1	8 ϕ 14	ϕ 8/25
C60x70_Story1	10 ϕ 14	ϕ 8/25
C70x60_Story1	10 ϕ 14	ϕ 8/25

C60x60	C70x60	C60x70
		
C60x60_Story1	C70x60_Story1	C60x70_Story1
		

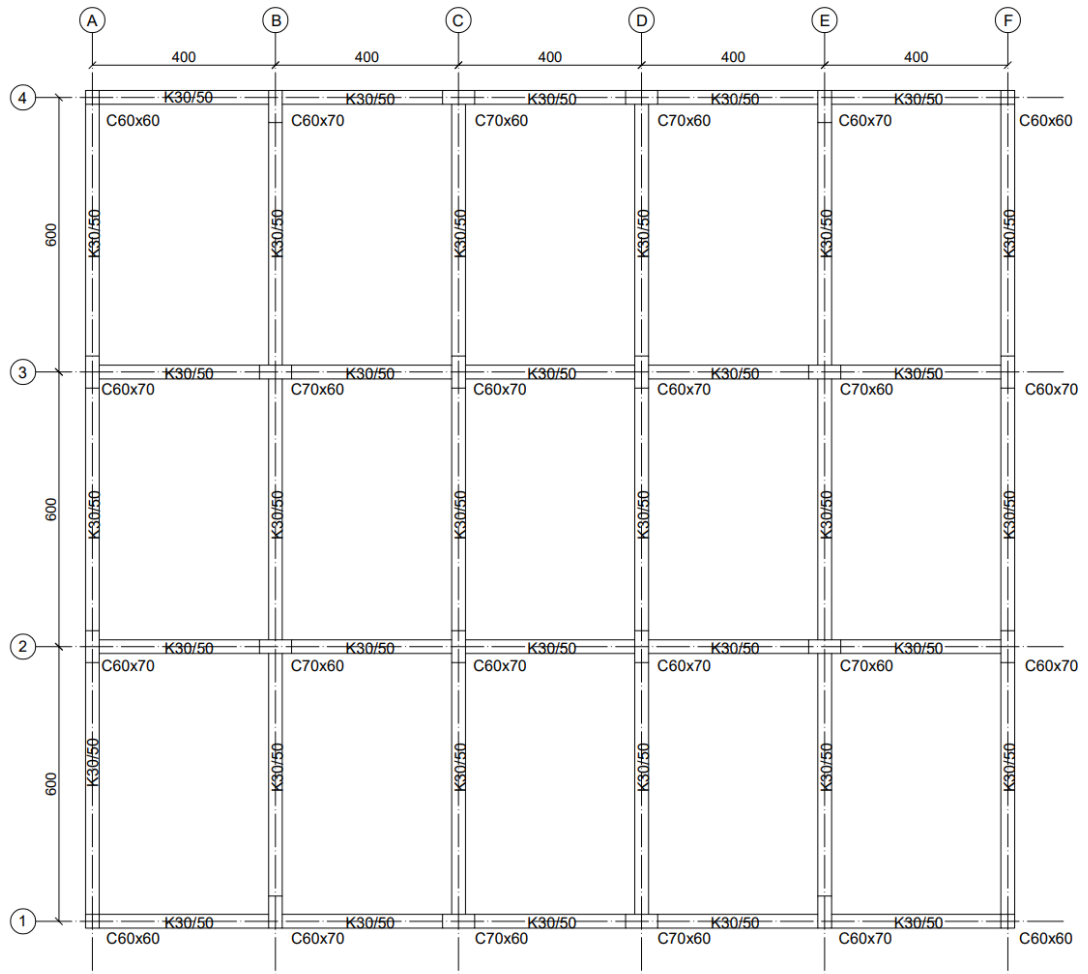
Şekil 4.2: 10 Katlı Binaların Kolon Donatı Detayları

Yukarıda bahsedilen bina modelleri ETABS programı kullanılarak oluşturulmuştur. Yapı modelinde kolonlar ve kirişler, çubuk elemanlar olarak, plak döşemeler ise kabuk elemanlar olarak tanımlanmıştır. Modellere temeller dahil edilmemiş olup zemin kat kolonlarının alt uçlarına ankastre mesnetler atanmıştır. Yukarıda verilen donatı bilgileri modellerde tanımlanan ilgili kesitlere girilmiştir. Her kat seviyesindeki tüm düğüm noktalarına diyafram ataması yapılmıştır. Malzeme tanımında sargılı ve sargısız betonların gerilme – birim şekil değiştirme ilişkileri için Mander beton modeli kullanılmıştır. Söz konusu binalar yeni yapılacak binalar olduğundan, TBDY-2018 Bölüm 5’te belirtildiği üzere C25 sınıfı betonun dayanımı hesaplarda 32.5 MPa (beklenen beton dayanımı) olarak dikkate alınmıştır.

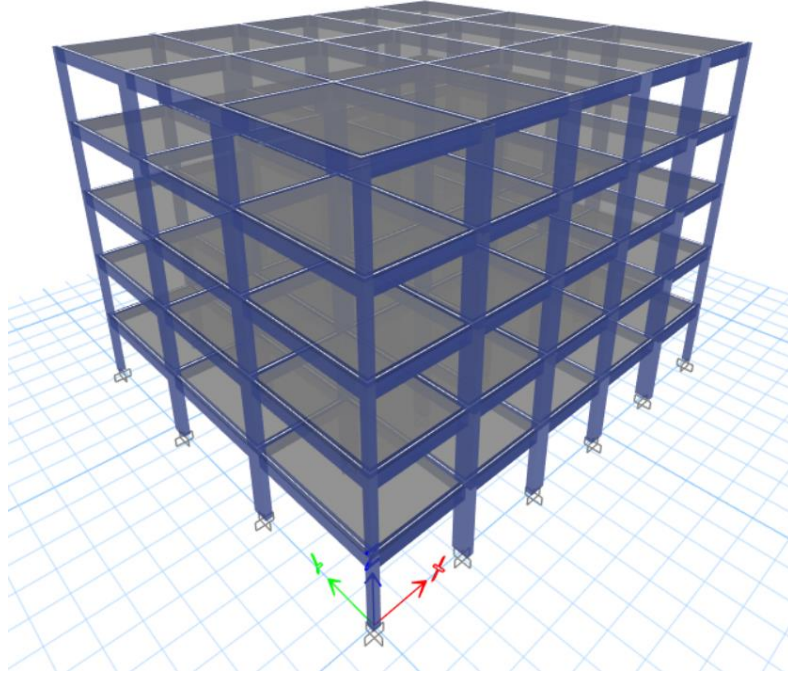
Kolonların plastik mafsalları, yayılı plastisite modelini temel alan fiber mafsallar kullanılarak tanımlanmıştır. Fiber mafsal tanımında kesitin beton ve donatıları çok sayıda fiber elemanlara bölünerek kesitteki eksenel yük ve eğilme etkileri altında meydana gelen şekil değiştirmeler, malzemeler için tanımlanmış olan gerilme-şekil değiştirme ilişkileri kullanılarak hesaplanır. Fiber mafsal modeli ile doğrusal olmayan davranışın eleman boyunca yayılışı gerçeğe yakın bir şekilde dikkate alınmış olur. Oluşan plastik mafsalların hasar seviyelerinin tespiti TBDY-2018’de verilen plastik şekil değiştirme sınırlarına göre yapılacaktır. Kirişlerin plastik mafsalları ise yığılı plastik davranış modelini esas alan tek eksenli eğilme “M3 mafsalları” ile

tanımlanmıştır. M3 mafsallarının tanımında gerekli plastik dönme sınır değerleri, kesitteki aksenal kuvvet ve malzemelerin gerilme – şekil değiştirme ilişkileri kullanılarak yapılan eğrilik analizleri sonucu hesaplanır. Kirişlerin hasar seviyeleri, itme analizlerinin performans adımlarında kiriş kesitlerinde meydana gelen dönmelerin, plastik dönme sınır değerleri ile karşılaştırılmasıyla belirlenecektir.

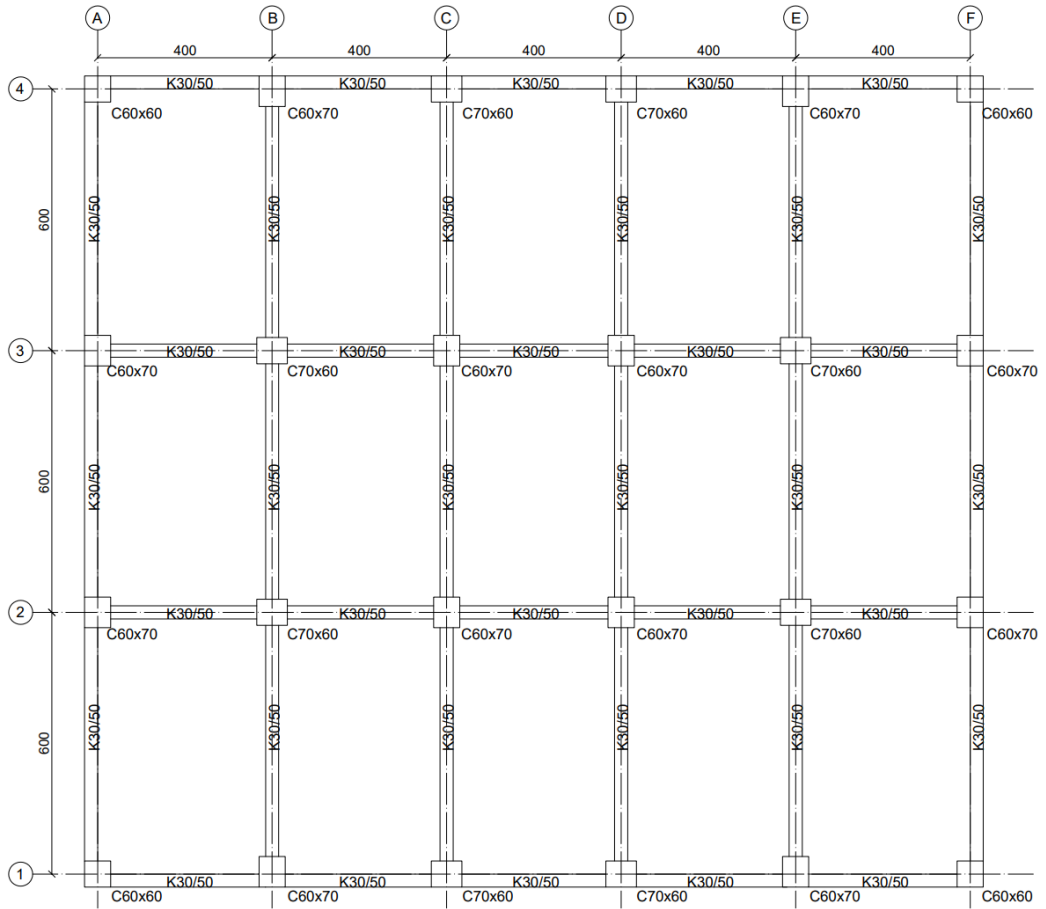
Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da yukarıda bahsedilen binaların taşıyıcı sistem planları ve 3 boyutlu yapı modellerine ait görüntüler verilmiştir:



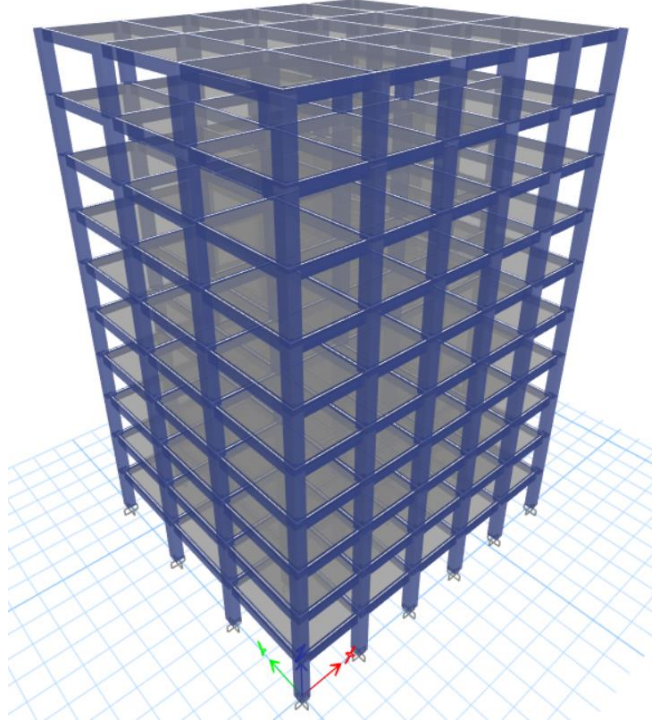
Şekil 4.3: 5 Katlı Binaların Taşıyıcı Sistem Planı



Şekil 4.4: 5 Katlı Binanın Perspektif Görünümü



Şekil 4.5: 10 Katlı Binanın Taşıyıcı Sistem Planı



Şekil 4.6: 10 Katlı Binanın Perspektif Görünümü

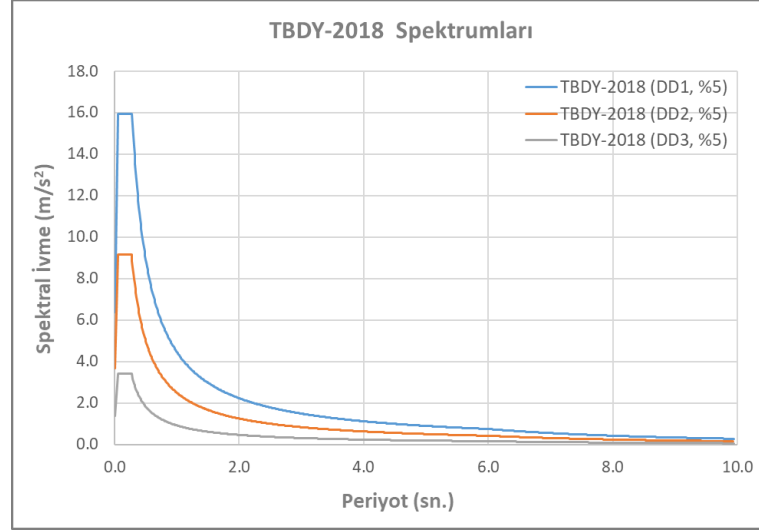
4.2. Analizlerde Dikkate Alınacak Deprem Etkileri

Bu tez çalışması kapsamında deprem performans seviyeleri belirlenecek olan binaların “Küçükçekmece/İstanbul, (40.996 enlem, 28.7748 boylam)” konumunda olduğu ve bölgedeki zemin sınıfının “ZA” olduğu kabul edilmiştir. Bu konum ve zemin bilgileri için “Türkiye Deprem Tehlike Haritaları” kullanılarak üç farklı deprem düzeyi için spektral ivme katsayıları elde edilmiştir.

Tablo 4.4: Binaların Bulunduğu Konum İçin Elde Edilen Spektral İvme Katsayıları

Konum Bilgisi	Küçükçekmece, İstanbul
Koordinatlar	40.996, 28.7748
Zemin Sınıfı	ZA
DD1 Depremi - S_{Ds}	1.624
DD1 Depremi - S_{D1}	0.454
DD2 Depremi - S_{Ds}	0.934
DD2 Depremi - S_{D1}	0.254
DD3 Depremi - S_{Ds}	0.347
DD3 Depremi - S_{D1}	0.093

Elde edilen spektral ivme katsayıları kullanılarak TBDY-2018'e göre yatay elastik tasarım ivme spektrumları Şekil 4.7'deki gibi oluşturulmuştur.



Şekil 4.7: Binalar İçin Elde Edilen Yatay Elastik Tasarım İvme Spektrumu

4.3. İtme Analizi Sonuçları

Bölüm 3.3'te detaylı bilgileri verilmiş olan 5 katlı binanın DD1, DD2 ve DD3 düzeylerindeki deprem etkileri altında performans seviyelerinin belirlenmesi için itme analizleri gerçekleştirilmiştir. Birbirine dik iki doğrultuda (+X ve +Y) gerçekleştirilen itme analizleri için belirlenen hedef tepe deplasmanı hesabına ilişkin özet bilgi tabloları aşağıda verilmiştir:

Tablo 4.5: Farklı Deprem Düzeyleri İçin 5 Katlı Binanın (Bina-1) Hedef Tepe Deplasmanının Belirlenmesi

Bina-1	+X Yönü	+Y Yönü
Bina Kütlesi ($kN \cdot s^2/m$)	2,298.99	2,298.99
Modal Katılım Çarpanı (Γ_1)	42.18	41.72
Efektif Kütle ($kN \cdot s^2/m$)	1,778.83	1,740.72
Kütle Katılım Oranı	0.77	0.76
(Mod Şeklinin Tepe Noktası Değeri) Φ_{N1}	0.03	0.03
$\Phi_{N1} \times \Gamma_1$	1.36	1.38
T (sn)	1.31	1.31
ω	4.81	4.80

Bina-1	+X Yönü			+Y Yönü		
ω^2	23.11			23.02		
Deprem Düzeyi	DD1	DD2	DD3	DD1	DD2	DD3
T_A (sn)	0.06	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05
T_B (sn)	0.28	0.27	0.27	0.28	0.27	0.27
S_a (m/sn ²)	3.41	1.91	0.70	3.40	1.90	0.70
S_d (m)	0.147	0.082	0.030	0.148	0.083	0.030
S_D (m) (Hedef Tepe Deplasmanı)	0.200	0.112	0.041	0.204	0.114	0.042
STMİA Performans Adımı	60	60	60	60	60	60
UTMİA Numarası	20	12	5	21	12	5
UTMİA Performans Adımı	10	10	10	10	10	10

Tablo 4.6: Farklı Deprem Düzeyleri İçin 5 Katlı Zemin Katı Zayıflatılmış Binanın (Bina-2) Hedef Tepe Deplasmanının Belirlenmesi

Bina-2	+X Yönü			+Y Yönü		
Bina Kütlesi (kN-s ² /m)	2,298.99			2,298.99		
Modal Katılım Çarpanı (Γ_1)	42.20			41.74		
Efektif Kütle (kN-s ² /m)	1,780.46			1,742.30		
Kütle Katılım Oranı	0.77			0.76		
(Mod Şeklinin Tepe Noktası Değeri) Φ_{N1}	0.03			0.03		
$\Phi_{N1} \times \Gamma_1$	1.36			1.38		
T (sn)	1.31			1.31		
ω	4.80			4.79		
ω^2	23.05			22.95		
Deprem Düzeyi	DD1	DD2	DD3	DD1	DD2	DD3
T_A (sn)	0.06	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05
T_B (sn)	0.28	0.27	0.27	0.28	0.27	0.27
S_a (m/sn ²)	3.40	1.90	0.70	3.39	1.90	0.70
S_d (m)	0.148	0.083	0.030	0.148	0.083	0.030
S_D (m) (Hedef Tepe Deplasmanı)	0.200	0.112	0.041	0.204	0.114	0.042
STMİA Performans Adımı	60	60	60	60	60	60
UTMİA Numarası	21	12	5	21	12	5
UTMİA Performans Adımı	10	10	10	10	10	10

Tablo 4.7: Farklı Deprem Düzeyleri İçin 10 Katlı Binanın (Bina-3) Hedef Tepe Deplasmanının Belirlenmesi

Bina-3	+X Yönü	+Y Yönü
Bina Kütlesi (kN-s ² /m)	5,099.08	5,099.08
Modal Katılım Çarpanı (Γ_1)	61.44	61.12
Efektif Kütle (kN-s ² /m)	3,774.30	3,736.12
Kütle Katılım Oranı	0.74	0.73

Bina-3	+X Yönü			+Y Yönü		
(Mod Şeklinin Tepe Noktası Değeri) Φ_{N1}	0.02			0.02		
$\Phi_{N1} \times \Gamma_1$	1.38			1.39		
T (sn)	2.42			2.60		
ω	2.59			2.41		
ω^2	6.73			5.82		
Deprem Düzeyi	DD1	DD2	DD3	DD1	DD2	DD3
T _A (sn)	0.06	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05
T _B (sn)	0.28	0.27	0.27	0.28	0.27	0.27
S _a (m/sn ²)	1.84	1.03	0.38	1.71	0.96	0.35
S _d (m)	0.273	0.153	0.056	0.294	0.164	0.060
S _D (m) (Hedef Tepe Deplasmanı)	0.378	0.211	0.077	0.409	0.229	0.084
STMİA Performans Adımı	60	60	60	60	60	60
UTMİA Numarası	38	22	8	41	23	9
UTMİA Performans Adımı	10	10	10	10	10	10

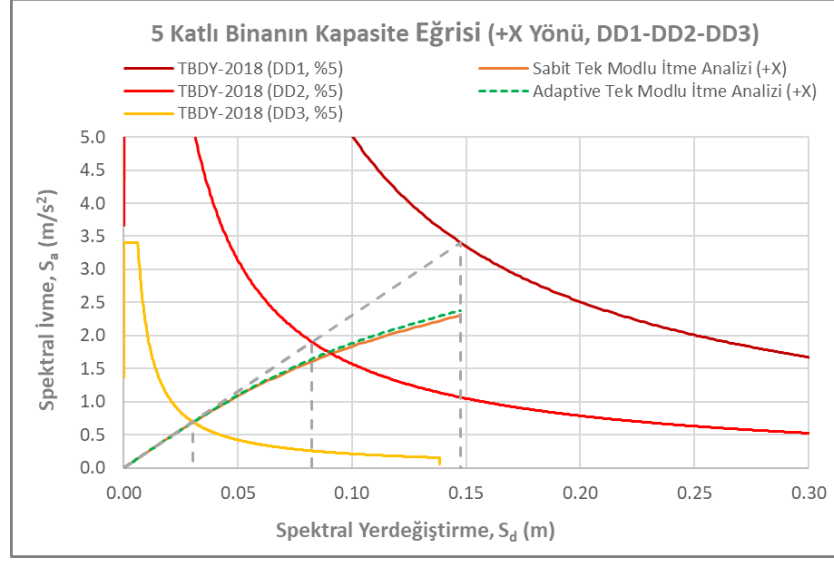
Tablo 4.8: Farklı Deprem Düzeyleri İçin 10 Katlı Zemin Katı Zayıflatılmış Binanın (Bina-4) Hedef Tepe Deplasmanının Belirlenmesi

Bina-4	+X Yönü			+Y Yönü		
Bina Kütlesi (kN-s ² /m)	5,099.00			5,099.00		
Modal Katılım Çarpanı (Γ_1)	61.54			61.24		
Efektif Kütle (kN-s ² /m)	3,786.99			3,750.75		
Kütle Katılım Oranı	0.74			0.74		
(Mod Şeklinin Tepe Noktası Değeri) Φ_{N1}	0.02			0.02		
$\Phi_{N1} \times \Gamma_1$	1.38			1.39		
T (sn)	2.43			2.62		
ω	2.58			2.40		
ω^2	6.68			5.77		
Deprem Düzeyi	DD1	DD2	DD3	DD1	DD2	DD3
T _A (sn)	0.06	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05
T _B (sn)	0.28	0.27	0.27	0.28	0.27	0.27
S _a (m/sn ²)	1.83	1.02	0.38	1.70	0.95	0.35
S _d (m)	0.274	0.153	0.056	0.295	0.165	0.060
S _D (m) (Hedef Tepe Deplasmanı)	0.379	0.212	0.078	0.411	0.230	0.084
STMİA Performans Adımı	60	60	60	60	60	60
UTMİA Numarası	38	22	8	42	23	9
UTMİA Performans Adımı	10	10	10	10	10	10

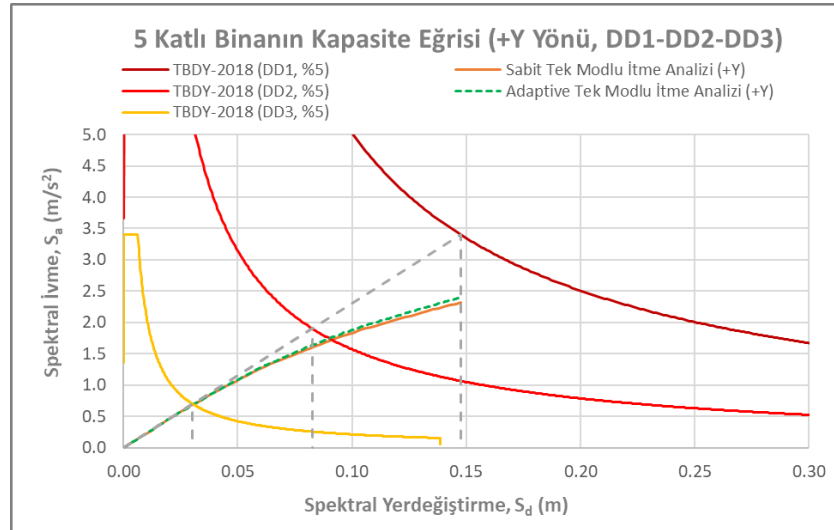
4.3.1. Kapasite Eğrilerinin Karşılaştırılması

Yürütülen itme analizleri sonucunda, binanın kapasite eğrileri İYTS formatında (Spektral ivme – Spektral yer değiştirme) oluşturulan tepki spektrumları üzerinde

gösterilmiştir. Bölüm 4.1'deki tablolardan görüldüğü üzere en büyük tepe deplasman talebi DD1 depremi etkisi altında oluşmaktadır. Oluşturulan tepki spektrumlarında, söz konusu en büyük tepe deplasman değerine kadar elde edilen kapasite eğrisi üzerinde daha düşük deprem seviyeleri için belirlenen hedef tepe deplasman değerleri de işaretlenerek karşılaştırma yapılmıştır. Üç deprem düzeyi için de ayrı ayrı oluşturulan kapasite eğrileri dijital olarak Ek B'de sunulmuştur.

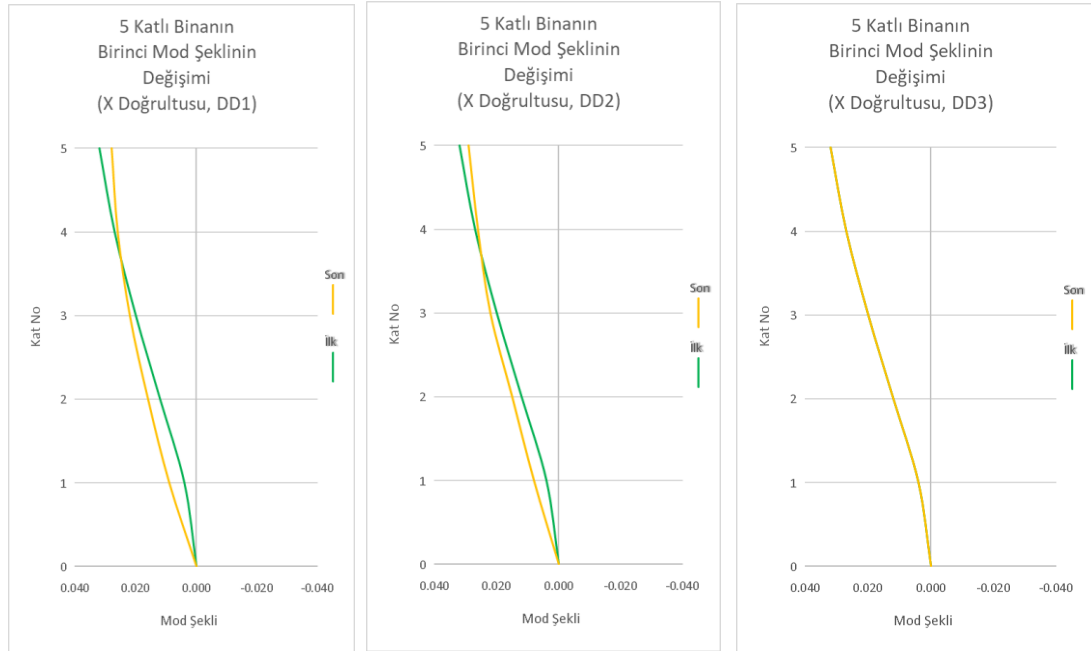


Şekil 4.8: 5 Katlı Binanın İtme Analizlerinden Elde Edilen Kapasite Eğrileri (+X)

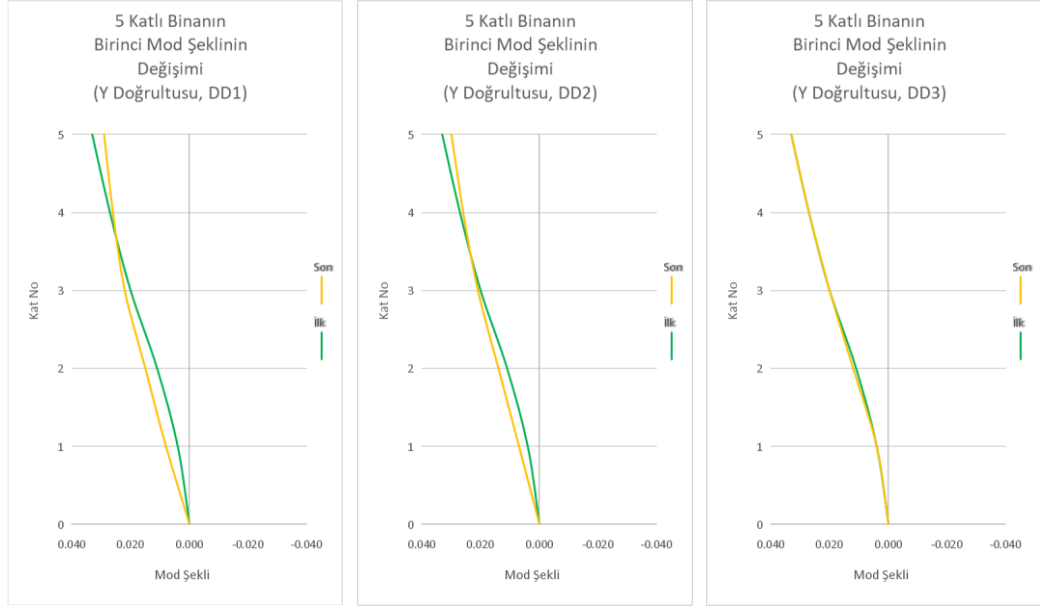


Şekil 4.9: 5 Katlı Binanın İtme Analizlerinden Elde Edilen Kapasite Eğrileri (+Y)

Yukarıdaki kapasite eğrilerinden görüldüğü gibi, 5 katlı binanın tepe yer değiştirmesi arttıkça STMİA ve UTMİA yöntemlerinden elde edilen kapasite eğrilerinin farklılaştığı görülmektedir. DD3 deprem düzeyindeki hedef tepe deplasman değerine ulaşıldığı anda (performans noktasında) iki yönetime ait kapasite eğrilerinin neredeyse üst üste çakıştığı görülmektedir. DD2 deprem düzeyindeki performans noktasında, kapasite eğrileri arasında bir miktar fark oluşmuştur. DD1 deprem düzeyindeki performans noktasında ise bu fark artarak daha belirgin hale gelmiştir. UTMİA'dan elde edilen kapasite eğrisinin artan bina tepe deplasmanına bağlı olarak farklılaşması, itme analizi sırasında binada meydana gelen plastik mafsallar nedeniyle birinci mod şeklinin değişmesinin bir sonucudur. DD3 deprem düzeyindeki performans noktasında kapasite eğrilerinin neredeyse üst üste çakışması, henüz plastik şekil değiştirmelerin oluşmaması nedeniyle binanın mod şeklinde önemli bir değişikliğin meydana gelmediğini göstermektedir. UTMİA başlangıcındaki ve bitişindeki birinci mod şekilleri üst üste çizilerek karşılaştırılmıştır. Şekillerin kolay anlaşılabilir olması için, analizin ara adımlarında elde edilen mod şekilleri gösterilmemiştir. Tüm binalar için birinci mod şekillerinde meydana gelen değişimin gösterildiği grafikler dijital olarak Ek E'de sunulmuştur.

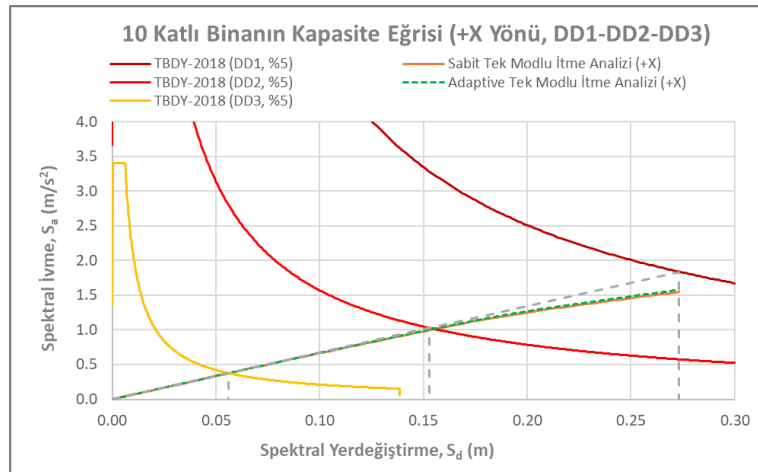


Şekil 4.10: 5 Katlı Binanın UTMİA Sonucunda Birinci Mod Şeklinde Meydana Gelen Değişim (+X)

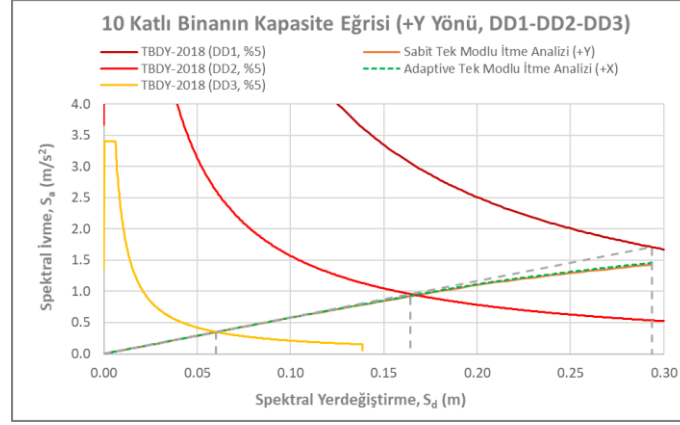


Şekil 4.11: 5 Katlı Binanın UTMİA Sonucunda Birinci Mod Şeklinde Meydana Gelen Değişim (+Y)

Görüldüğü gibi, DD1 deprem düzeyi için yürütülen uyarlanan tek modlu itme analizinde, binada meydana gelen plastik şekil değiştirmeler nedeniyle birinci mod şekli değişime uğramıştır. Tepe deplasman talebinin daha az olduğu DD2 deprem düzeyi için yürütülen analizde, mod şeklinde meydana gelen değişimin de daha az olduğu görülmektedir. DD3 deprem düzeyinde ise plastik şekil değiştirme meydana gelmediğinden mod şekli neredeyse hiç değişmemiştir.

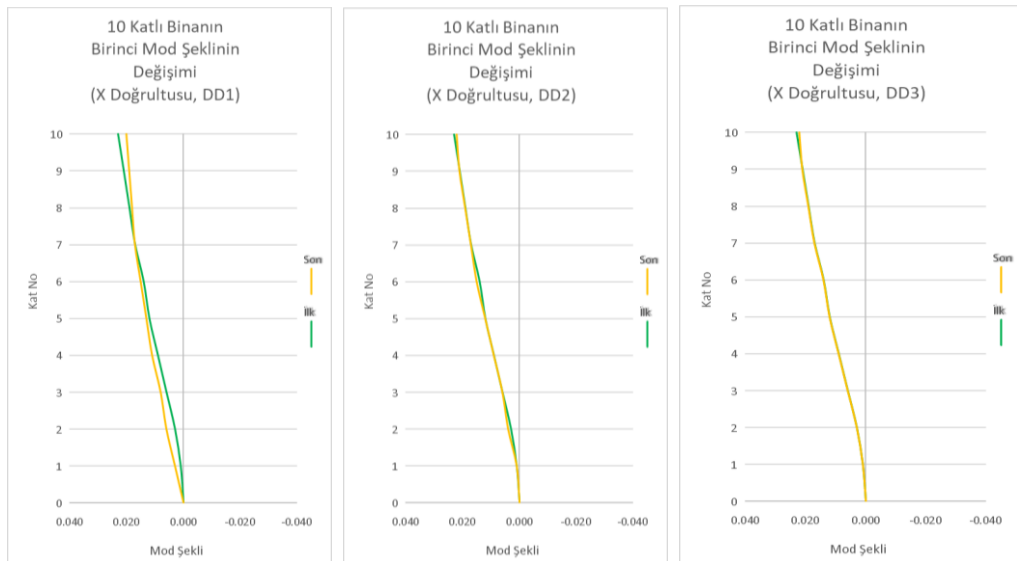


Şekil 4.12: 10 Katlı Binanın İtme Analizlerinden Elde Edilen Kapasite Eğrileri (+X)

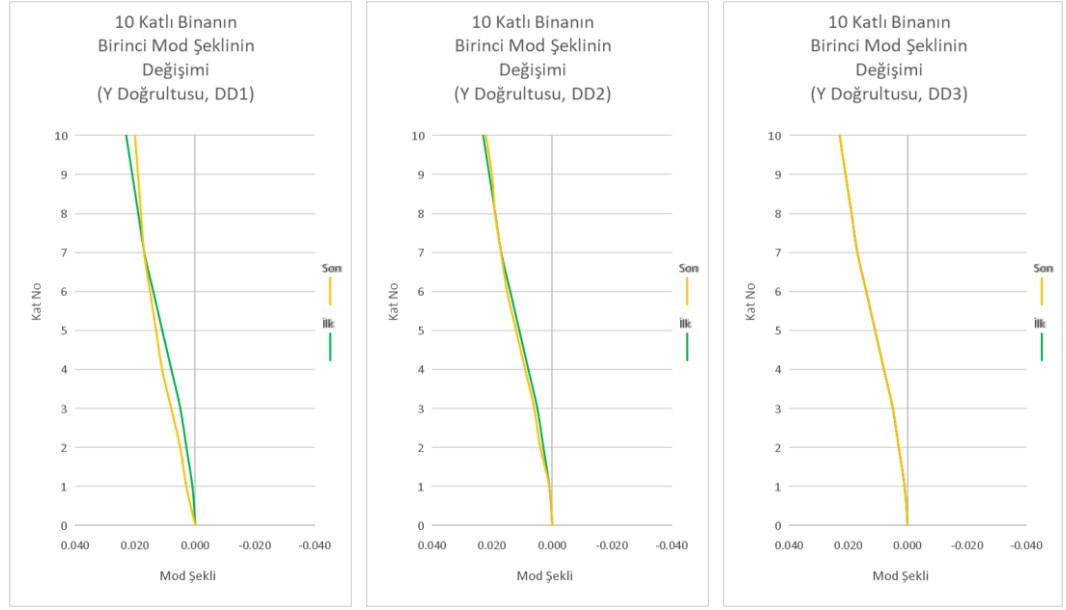


Şekil 4.13: 10 Katlı Binanın İtme Analizlerinden Elde Edilen Kapasite Eğrileri (+Y)

Yukarıdaki grafiklerde 10 katlı binanın itme analizlerinden elde edilen kapasite eğrileri gösterilmiştir. Bu grafiklerden DD3 ve DD2 deprem düzeylerinde binanın elastik davranış gösterdiği anlaşılmaktadır. Elastik davranış gösteren binada kalıcı deformasyonlar meydana gelmediği için mod şekillerinde, dolayısıyla yatay yük dağılımında önemli bir değişim olmamıştır. Bunun sonucu olarak DD3 ve DD2 deprem düzeylerindeki performans noktalarında iki farklı analiz yönteminden elde edilen kapasite eğrilerinin neredeyse çakıştığı görülmektedir. DD1 deprem düzeyinde ise artan hedef tepe deplasmanı değerine bağlı olarak yapıda kalıcı deformasyonlar (plastik mafsallar) meydana gelmiştir. UTMİA'da yatay yük dağılımı bu deformasyonlar dikkate alınarak belirlendiği için kapasite eğrisinde, STMİA'dan elde edilen kapasite eğrisine göre farklılık görülmektedir.



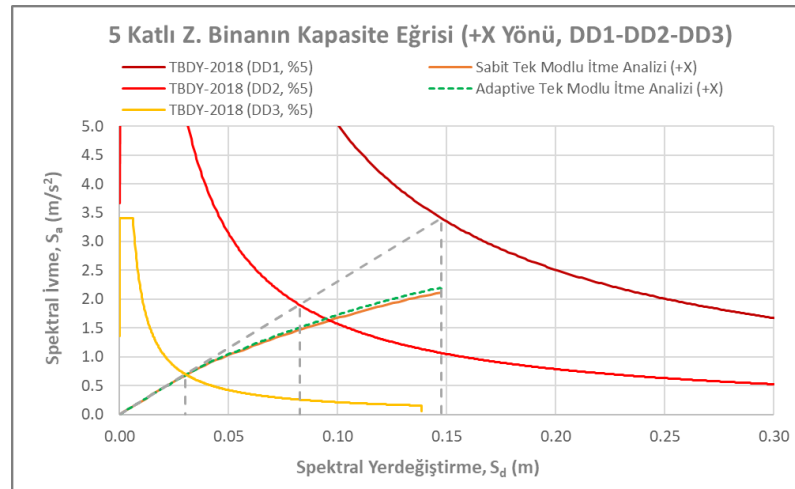
Şekil 4.14: 10 Katlı Binanın UTMİA Sonucunda Birinci Mod Şeklinde Meydana Gelen Değişim (+X)



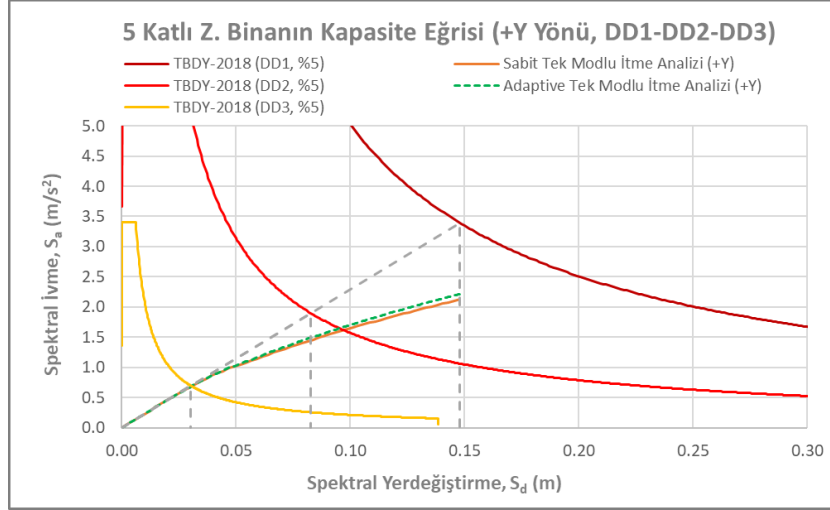
Şekil 4.15: 10 Katlı Binanın UTMiA Sonucunda Birinci Mod Şeklinde Meydana Gelen Değişim (+Y)

Elde edilen mod şekillerinden görüldüğü üzere, DD3 ve DD2 düzeyindeki depremler için yürütülen uyarlanan tek modlu itme analizlerinde, binanın birinci mod şeklinde önemli bir değişim olmamıştır. DD1 deprem düzeyi için yürütülen analizlerin sonucunda ise mod şeklindeki değişim daha belirgindir.

Zemin kat kolonlarında diğer katlara göre çok daha az donatı bulunan 5 ve 10 katlı binaların (Bina-2 ve Bina-4) analiz sonuçları da oluşturulan kapasite eğrileri ve elde edilen mod şekilleri incelenerek değerlendirilmiştir.

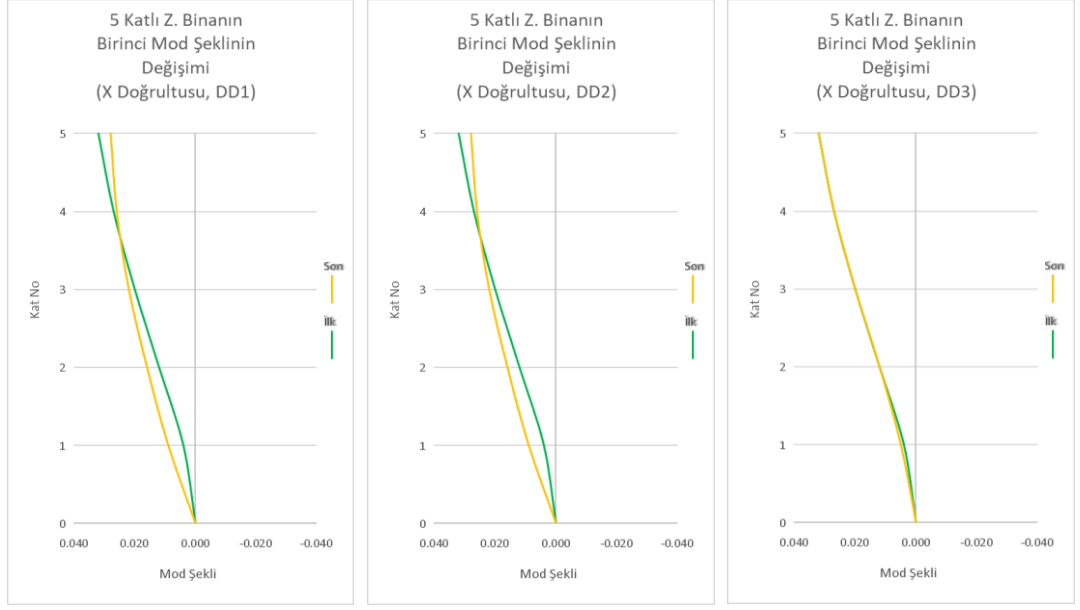


Şekil 4.16: 5 Katlı, Zemin Katı Zayıflatılmış Binanın İtme Analizlerinden Elde Edilen Kapasite Eğrileri (+X)

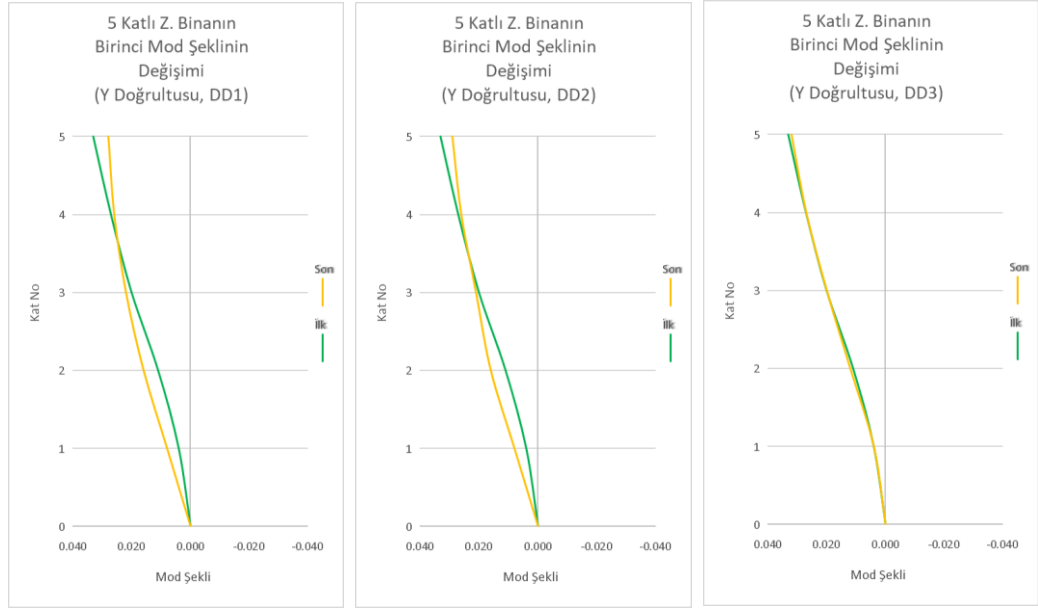


Şekil 4.17: 5 Katlı, Zemin Katı Zayıflatılmış Binanın İtme Analizlerinden Elde Edilen Kapasite Eğrileri (+Y)

Yukarıdaki şekillerden görüldüğü üzere zemin kat kolonlarının donatıları azaltılmış 5 katlı binanın (Bina-2) itme analizlerinden elde edilen kapasite eğrileri, DD3 deprem düzeyindeki performans noktasında neredeyse üst üste çakışmaktadır. DD2 ve DD1 depremlerinde ise söz konusu kapasite eğrileri arasındaki fark artmaktadır. Kapasite eğrilerinin eğiminin, kolonları zayıflatılmamış olan binanın (Bina-1) kapasite eğrilerinin eğiminden az olduğu görülmektedir. Bu da bina dayanımının azaldığını göstermektedir. Ancak iki farklı analiz tipinden elde edilen kapasite eğrileri arasındaki fark Bina-1 için elde edilen kapasite eğrilerinin arasındaki farka çok yakındır. Örneğin, her iki bina tipinde de, DD1 deprem düzeyi için yürütülen STMİA ve UTMİA sonuçlarından elde edilen performans noktasındaki spektral ivme değerleri arasındaki fark %3-4 arasındadır. Bina-2 için yürütülen UTMİA sonucunda birinci mod şeklinde meydana gelen değişim DD1, DD2 ve DD3 deprem düzeyleri için Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de gösterilmiştir.

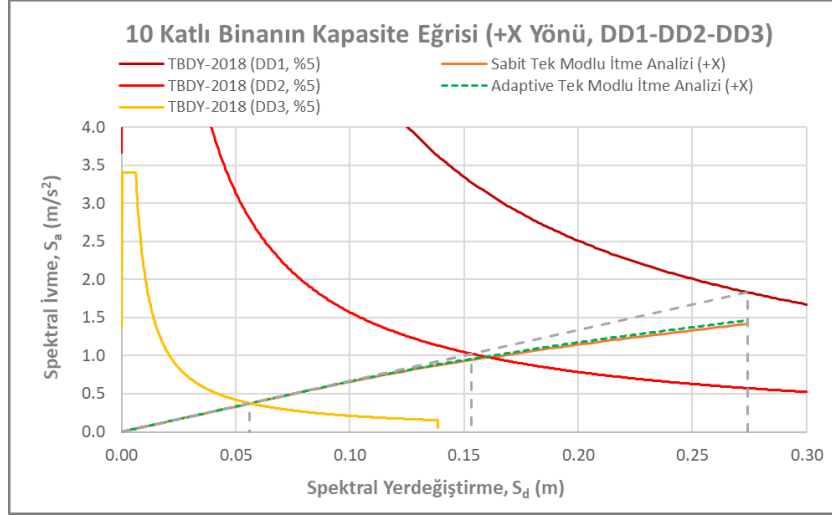


Şekil 4.18: 5 Katlı, Zemin Katı Zayıflatılmış Binanın UTMİA Sonucunda Birinci Mod Şeklinde Meydana Gelen Değişim (+X)

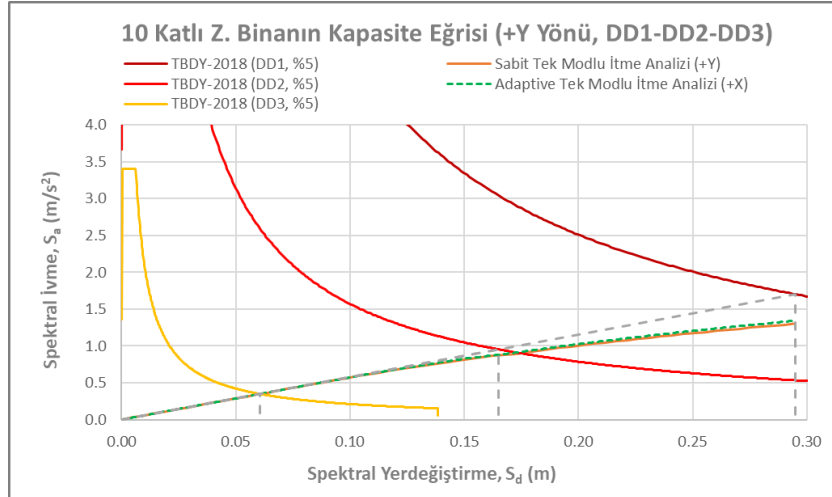


Şekil 4.19: 5 Katlı, Zemin Katı Zayıflatılmış Binanın UTMİA Sonucunda Birinci Mod Şeklinde Meydana Gelen Değişim (+Y)

Görüldüğü gibi birinci mod şeklindeki değişimin en belirgin olduğu deprem düzeyi DD1 deprem düzeyidir. DD2 deprem düzeyi için yürütülen analiz sonucunda da mod şeklinde belirgin bir değişim meydana gelmiş olup DD3 deprem düzeyi için yürütülen analiz sonucunda mod şekli neredeyse değişmemiştir.



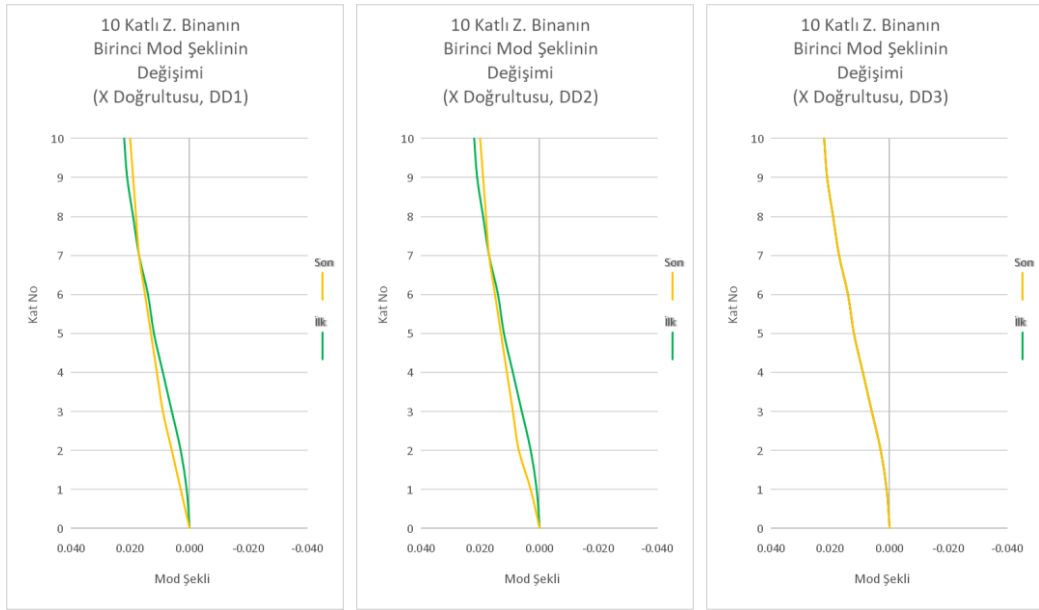
Şekil 4.20: 10 Katlı, Zemin Katı Zayıflatılmış Binanın İtme Analizlerinden Elde Edilen Kapasite Eğrileri (+X)



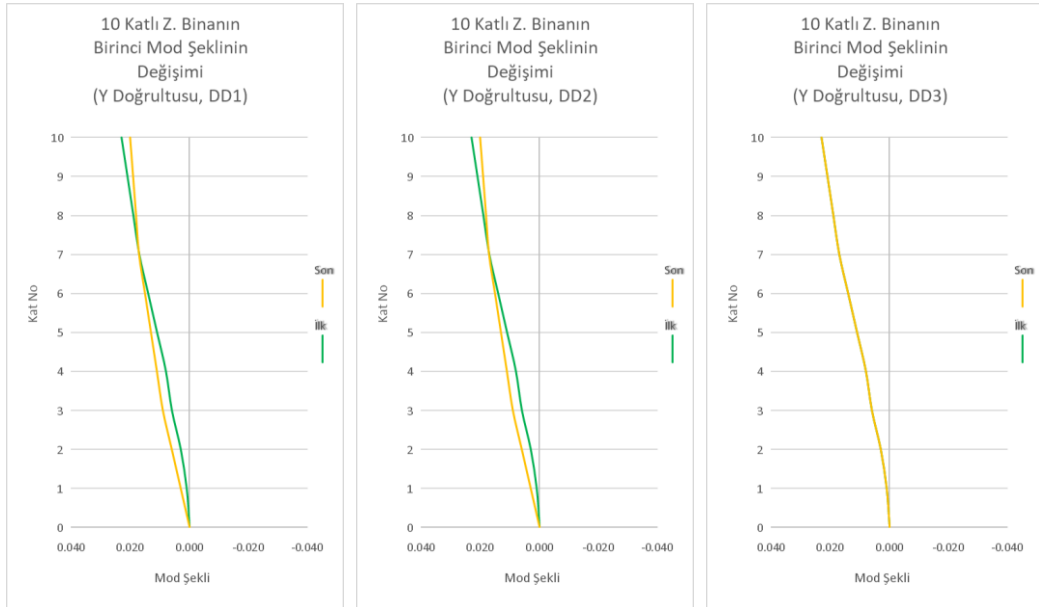
Şekil 4.21: 10 Katlı, Zemin Katı Zayıflatılmış Binanın İtme Analizlerinden Elde Edilen Kapasite Eğrileri (+Y)

Yukarıdaki şekillerde 10 katlı, zemin kat kolonlarının donatıları azaltılmış olan binanın (Bina-4) itme analizlerinden elde edilen kapasite eğrileri gösterilmiştir. Analiz sonuçlarından görüldüğü üzere, DD3 ve DD2 deprem düzeyleri için yürütülen analizlerde Bina-3'tekine benzer şekilde Bina-4 de elastik davranış göstermiştir. Bu nedenle bu deprem düzeyleri için yürütülen STMİA ve UTMİA'dan elde edilen kapasite eğrileri neredeyse üst üste çakışmaktadır. Tepe deplasman talebinin daha fazla olduğu DD1 deprem düzeyi için yürütülen itme analizlerinde ise binada plastik

mafsallar oluşmuş, STMİA ve UTMİA'dan elde edilen kapasite eğrilerinin performans noktasında %3 kadar fark oluşmuştur.



Şekil 4.22: 10 Katlı, Zemin Katı Zayıflatılmış Binanın UTMİA Sonucunda Birinci Mod Şeklinde Meydana Gelen Değişim (+X)



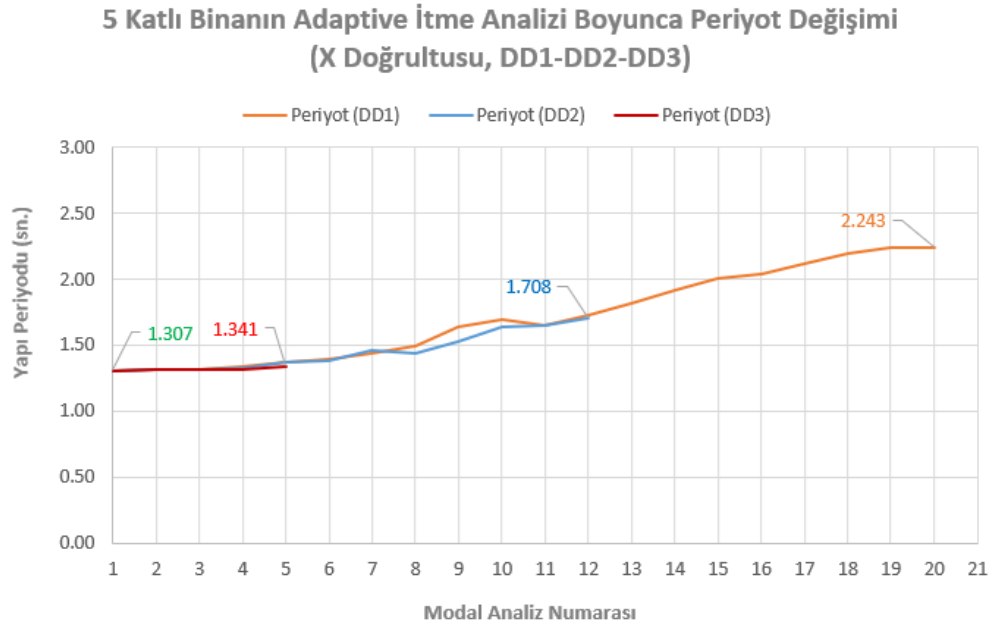
Şekil 4.23: 10 Katlı, Zemin Katı Zayıflatılmış Binanın UTMİA Sonucunda Birinci Mod Şeklinde Meydana Gelen Değişim (+Y)

Zemin kat kolon donatılarının azaltılmış olduğu 10 katlı bina modeli üzerinde yürütülen UTMİA sonucunda birinci mod şeklinde meydana gelen değişimin

gösterildiği yukarıdaki şekiller incelendiğinde, DD1 ve DD2 deprem düzeyleri için yürütülen analizlerde mod şeklinde belirgin bir değişim olduğu görülmektedir. DD3 deprem düzeyi için yürütülen analiz sonucunda ise mod şeklinde değişim olmadığı görülmüştür.

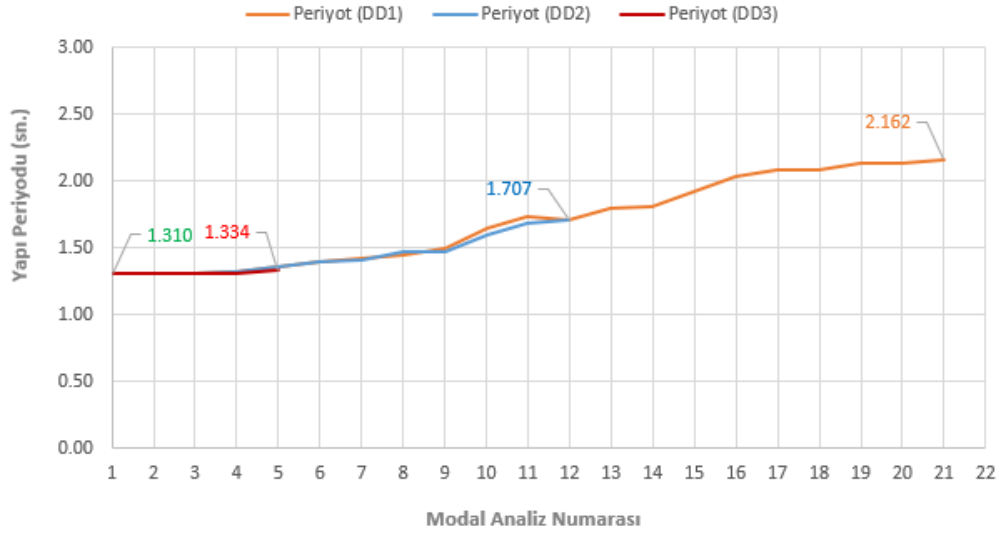
4.3.2. Uyarlanan Tek Modlu İtme Analizi Boyunca Bina Periyodunun Değişimi

Yürütülen uyarlanan tek modlu itme analizlerinde, yaklaşık her 10mm tepe yer değiştirmesinin ardından taşıyıcı sistem elemanlarında meydana gelen plastik mafsallar dikkate alınarak binanın modal özellikleri tekrar belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan 4 farklı bina tipi için birbirine dik iki doğrultuda (X ve Y) yürütülen analizlerde binanın hakim titreşim periyodunda meydana gelen değişimini gösteren tablolar ve grafikler dijital olarak Ek F'de sunulmuştur.



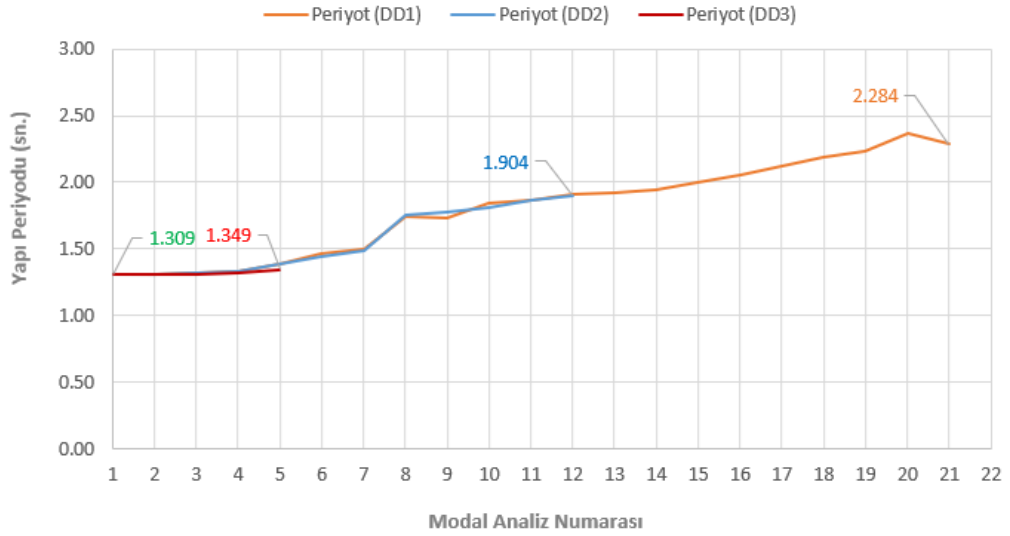
Şekil 4.24: 5 Katlı Binanın UTMİA Boyunca Periyot Değişimi (+X)

5 Katlı Binanın Adaptive İtme Analizi Boyunca Periyot Değişimi (Y Doğrultusu, DD1-DD2-DD3)



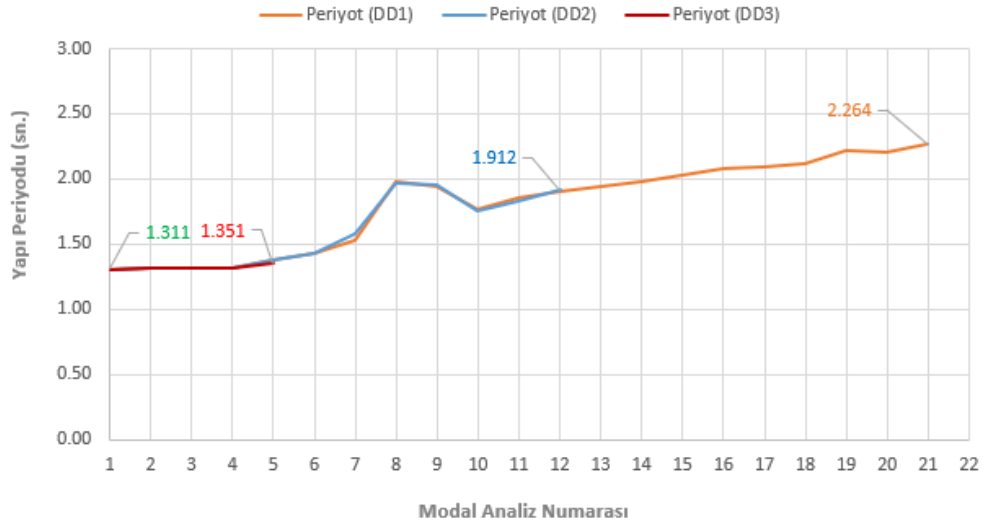
Şekil 4.25: 5 Katlı Binanın UTMİA Boyunca Periyot Değişimi (+Y)

5 Katlı Z. Binanın Adaptive İtme Analizi Boyunca Periyot Değişimi (X Doğrultusu, DD1-DD2-DD3)



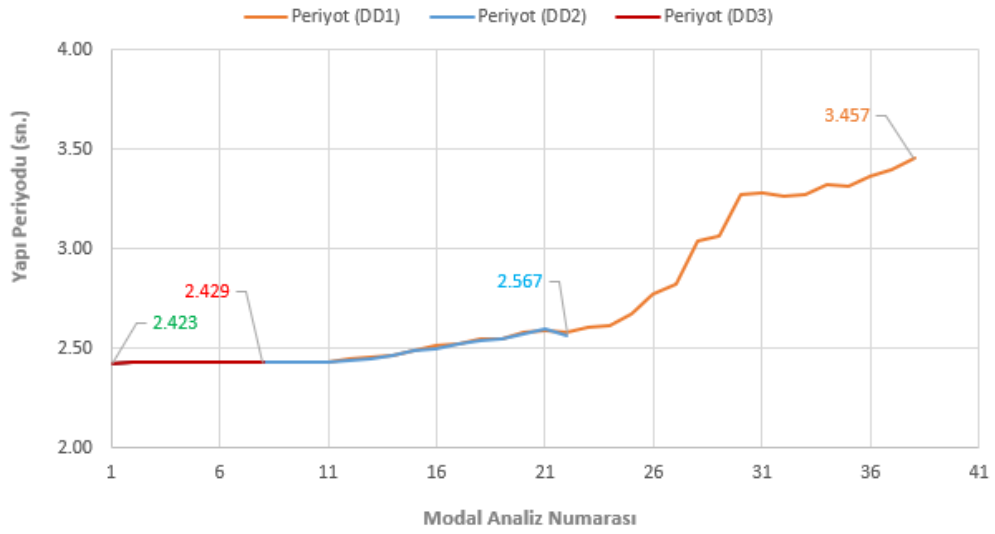
Şekil 4.26: 5 Katlı, Zemin Katı Zayıflatılmış Binanın UTMİA Boyunca Periyot Değişimi (+X)

5 Katlı Z. Binanın Adaptive İtme Analizi Boyunca Periyot Değişimi (Y Doğrultusu, DD1-DD2-DD3)

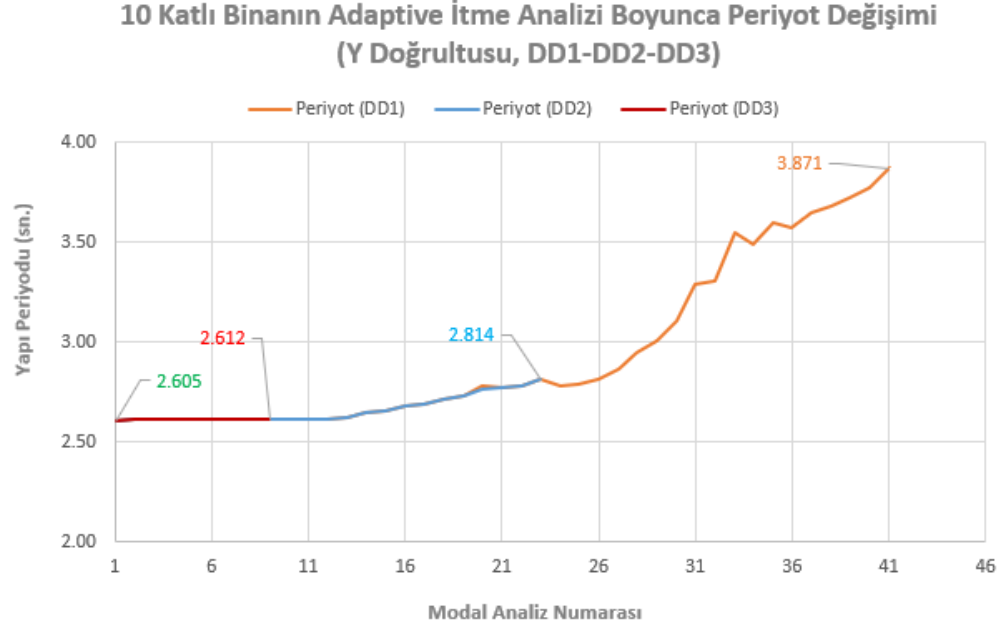


Şekil 4.27: 5 Katlı, Zemin Katı Zayıflatılmış Binanın UTMİA Boyunca Periyot Değişimi (+Y)

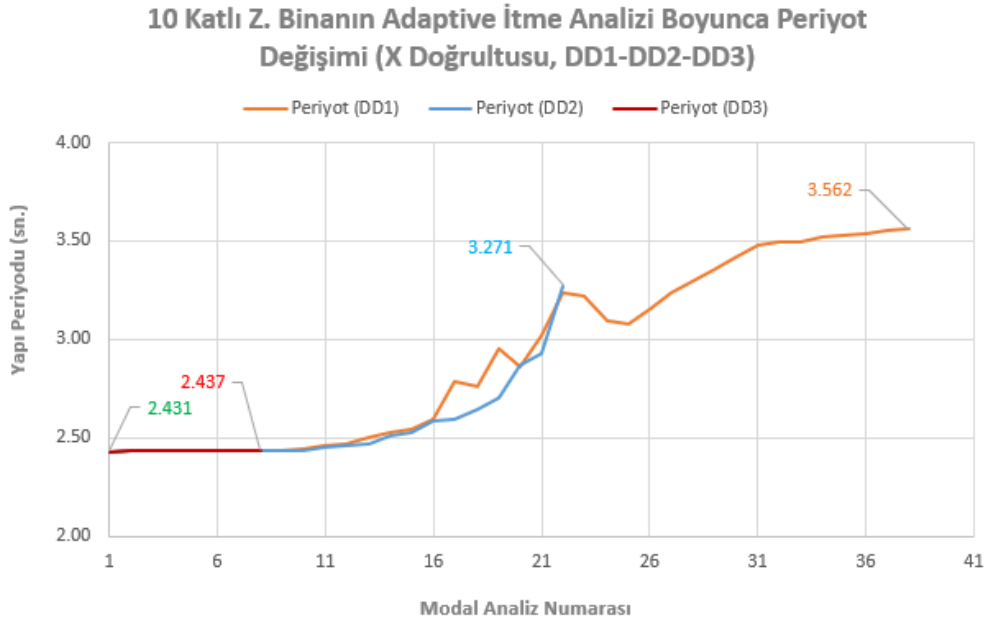
10 Katlı Binanın Adaptive İtme Analizi Boyunca Periyot Değişimi (X Doğrultusu, DD1-DD2-DD3)



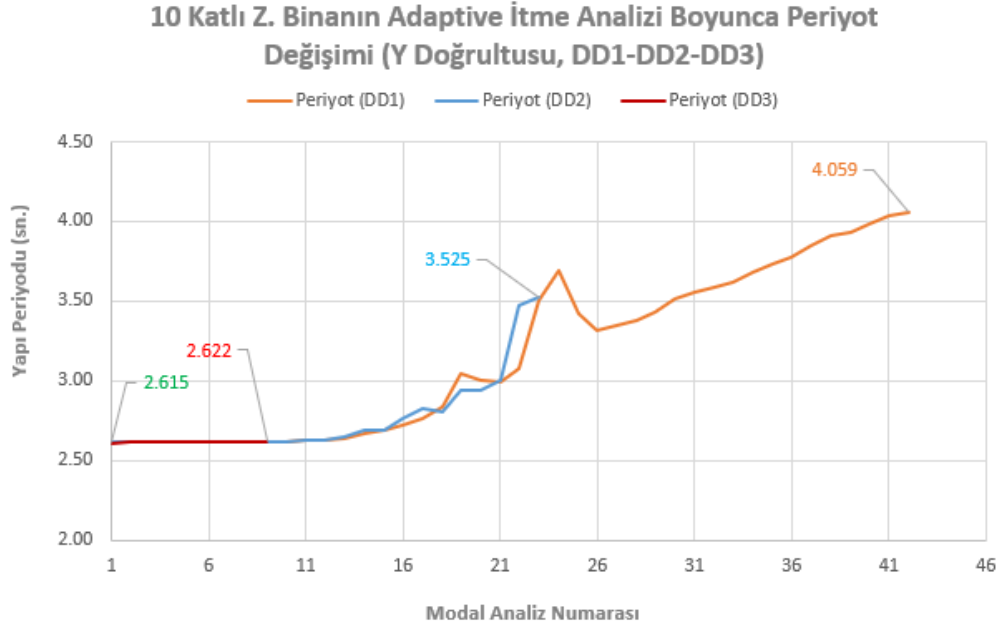
Şekil 4.28: 10 Katlı Binanın UTMİA Boyunca Periyot Değişimi (+X)



Şekil 4.29: 10 Katlı Binanın UTMİA Boyunca Periyot Değişimi (+Y)



Şekil 4.30: 10 Katlı, Zemin Katı Zayıflatılmış Binanın UTMİA Boyunca Periyot Değişimi (+X)



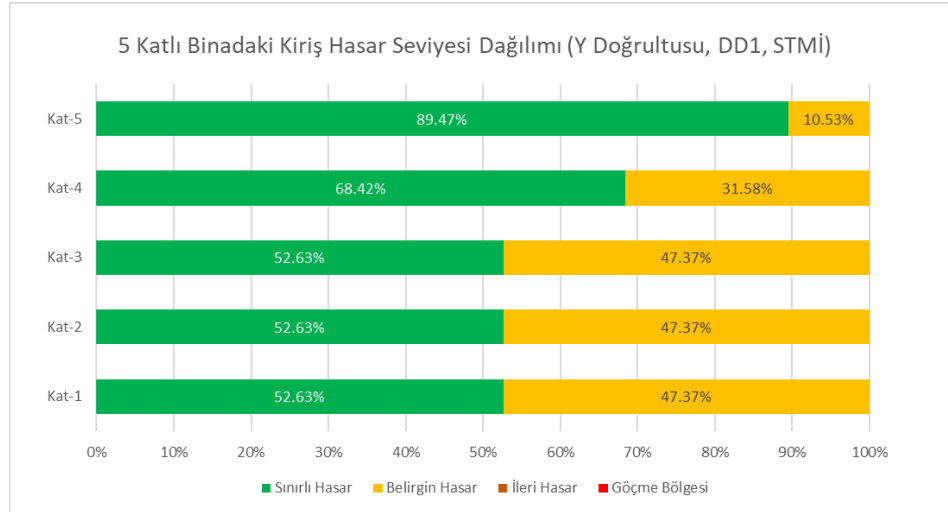
Şekil 4.31: 10 Katlı, Zemin Katı Zayıflatılmış Binanın UTMİA Boyunca Periyot Değişimi (+Y)

Periyot değişimi grafiklerinden görüldüğü gibi tez kapsamında kullanılan tüm binaların UTMİA boyunca belirli aralıklarla yürütülen modal analizlerde bina periyodunun beklendiği gibi giderrttiği tespit edilmiştir. UTMİA'da binanın tepe deplasmanı arttıkça taşıyıcı sistem elemanlarında plastik şekil değiştirmeler meydana gelmekte, dolayısıyla yapı rijitliği giderek azalmaktadır. DD1 deprem düzeyi için gerçekleştirilen analizlerde periyot değişim oranı, 5 katlı binalarda %65-74 aralığında, 10 katlı binalarda %43-55 aralığındadır. DD2 deprem düzeyi için, 5 katlı binalarda %30-46, 10 katlı binalarda %6-35 aralığındadır. DD3 deprem düzeyi içinse 5 katlı binalarda %2-3 aralığında, 10 katlı binalar için %2.5-3 aralığındadır. Sabit tek modlu itme analizlerinde yapı rijitliğindeki bu değişim dikkate alınmamaktadır. Bu nedenle uyarlanan tek modlu itme analizi ile tespit edilen yapı davranışı daha gerçekçidir. DD3 deprem düzeyindeki tepe deplasman taleplerinin az olması ve çalışmada kullanılan binaların bu deplasman talebi karşısında elastik davranış göstermesi nedeniyle STMİA ve UTMİA sonuçlarının çok benzer çıkması beklenmektedir. Ancak DD1 deprem düzeyi için yapılan analizlerde, yapı periyodundaki değişim oranı %70'lere kadar çıktığından dolayı STMİA ve UTMİA sonuçlarında tespit edilen elemanların hasar seviyeleri ve hatta binaların deprem performans seviyelerinde farklılıklar beklenmektedir.

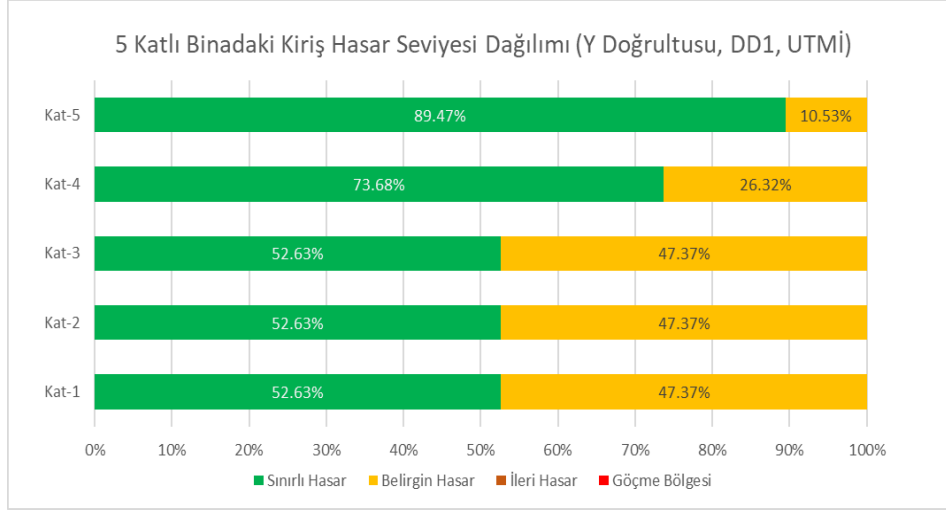
4.3.3. Binaların Performans Noktasındaki Kiriş Hasar Dağılımları

Bu tez çalışması kapsamında yürütülen analizlerin sonucunda binaların tüm kolon ve kirişlerinin performans noktasındaki hasar seviyeleri tespit edilmiştir. Kolonların hasar seviyeleri, elemanların iki ucunda tanımlanan fiber kesitlerdeki şekil değiştirme değerleri kullanılarak belirlenmiştir. Kirişlerin hasar seviyelerinin belirlenmesinde ise, elemanların iki ucundaki plastik mafsallarda meydana gelen plastik dönme değerleri kullanılmıştır. Binalardaki tüm elemanlar (kolonlar ve kirişler) için hasar sınırlarının ve hasar seviyelerinin gösterildiği detaylı tablolar dijital olarak Ek C’de sunulmuştur.

Şekil 4.32, Şekil 4.33, Şekil 4.35 ve Şekil 4.36’daki grafiklerde örnek olarak 5 ve 10 katlı binaların (Bina-1 ve Bina-3) DD1 deprem düzeyi için Y doğrultusundaki STMİA ve UTMİA sonuçlarında tespit edilen kiriş hasar seviyelerinin katlara göre dağılımı gösterilmiştir. Tüm binaların, farklı deprem düzeyleri ve farklı doğrultular için elde edilen hasar seviyesi dağılımı tabloları ve grafikleri dijital olarak Ek D’de sunulmuştur.

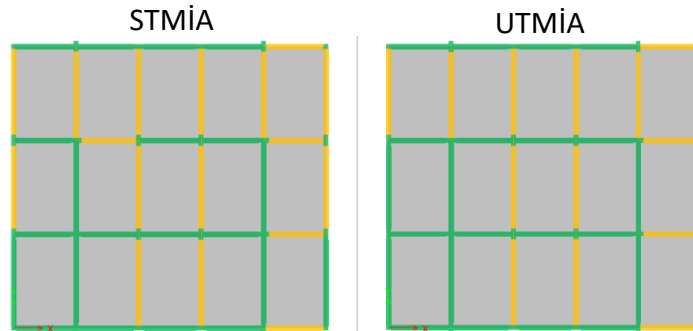


Şekil 4.32: 5 Katlı Binanın (Bina-1) STMİA Sonucunda Tespit Edilen Kiriş Hasar Seviyelerinin Katlara Göre Dağılımı (+Y Yönü)

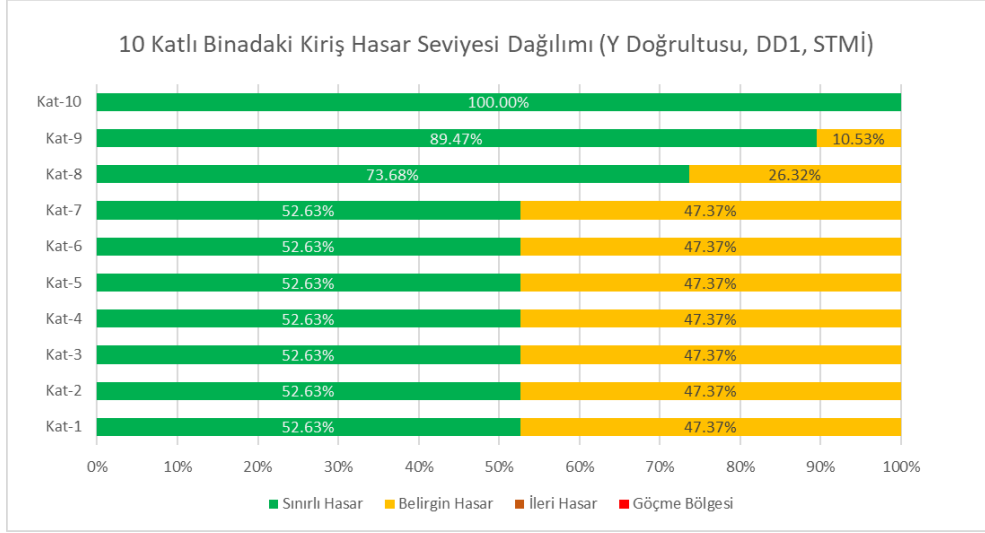


Şekil 4.33: 5 Katlı Binanın (Bina-1) UTMİA Sonucunda Tespit Edilen Kiriş Hasar Seviyelerinin Katlara Göre Dağılımı (+Y Yönü)

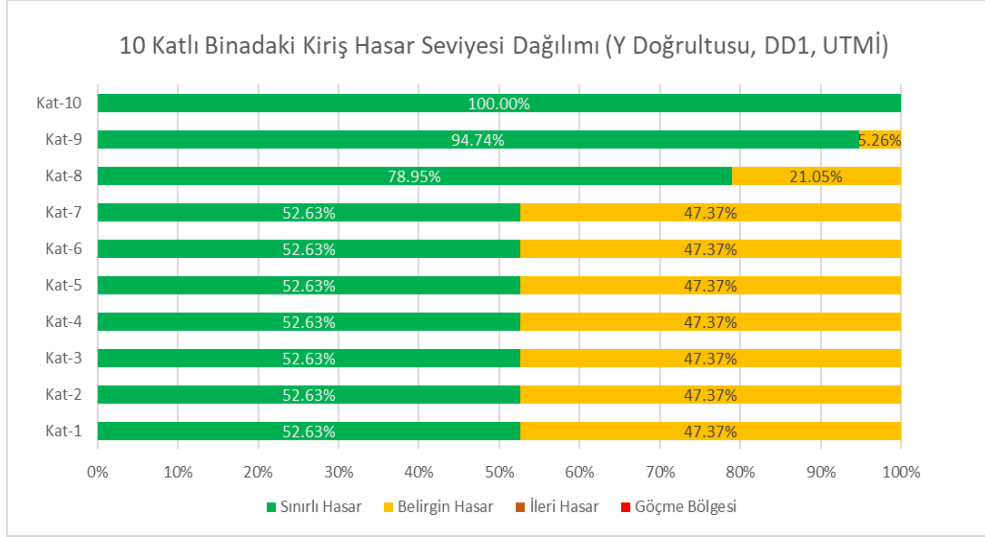
5 katlı binanın ilk üç katındaki kiriş hasar dağılımının, iki analiz sonucunda da aynı olduğu tespit edilmiştir. 4. kat kirişlerinin STMİA'da %31.58'i, UTMİA'da %26.32'si Belirgin Hasar seviyesindedir. 5. kat kirişlerinin hasar dağılımı da her iki analiz tipinin sonucunda aynı bulunmuştur. X ve Y doğrultularında ayrı ayrı yürütülen analiz sonuçları Excel makro uygulaması tarafından değerlendirilerek tüm elemanların hasar seviyeleri tespit edilmiş ve ETABS modelindeki çubuk elemanlar hasar seviyelerine göre renklendirilmiştir. Şekil 4.32 ve Şekil 4.33'te yalnızca Y doğrultusundaki hasar dağılımı verilmiş olan binanın X ve Y doğrultularındaki hasar seviyelerine göre renklendirilmiş olan 4.kat planı Şekil 4.34'te görülebilmektedir. **Sınırlı Hasar** seviyesindeki elemanlar yeşil, **Belirgin Hasar** seviyesindeki elemanlar turuncu, **İleri Hasar** seviyesindeki elemanlar kahverengi ve **Göçme Bölgesi**'ndeki elemanlar kırmızı renkle gösterilmiştir.



Şekil 4.34: 5 Katlı Binanın (Bina-1) STMİA ve UTMİA Sonucunda 4.Katında Tespit Edilen Kiriş Hasar Seviyeleri (Deprem Düzeyi: DD1)

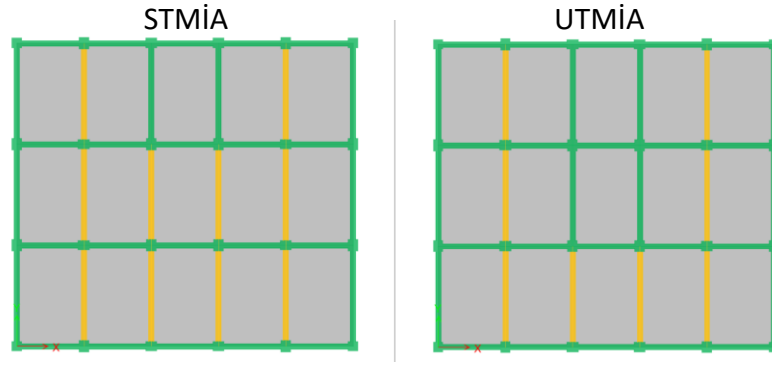


Şekil 4.35: 10 Katlı Binanın (Bina-3) STMİA Sonucunda Tespit Edilen Kiriş Hasar Seviyelerinin Katlara Göre Dağılımı (+Y Yönü)

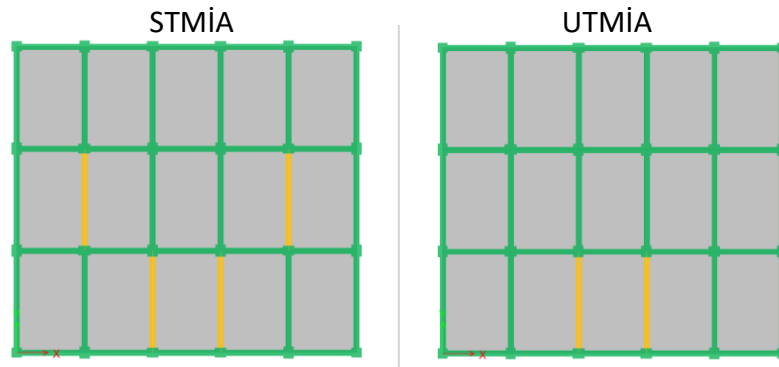


Şekil 4.36: 10 Katlı Binanın (Bina-3) UTMİA Sonucunda Tespit Edilen Kiriş Hasar Seviyelerinin Katlara Göre Dağılımı (+Y Yönü)

10 katlı binanın ilk yedi katındaki kiriş hasar dağılımının, iki analiz sonucunda da aynı olduğu tespit edilmiştir. 8. kat kirişlerinin STMİA'da %26.32'si, UTMİA'da %21.05'i Belirgin Hasar seviyesindedir. 9. kat kirişlerinin ise STMİA'da %10.53'ü, UTMİA'da %5.26'sı Belirgin Hasar seviyesindedir. Elemanların hasar seviyelerine göre renklendirildiği ETABS modelinden alınan 8 ve 9. kat plan görüntüleri Şekil 4.37 ve Şekil 4.38'de gösterilmiştir:



Şekil 4.37: 10 Katlı Binanın (Bina-3) STMiA ve UTMiA Sonucunda 8.Katında Tespit Edilen Kiriş Hasar Seviyeleri (Deprem Düzeyi: DD1)

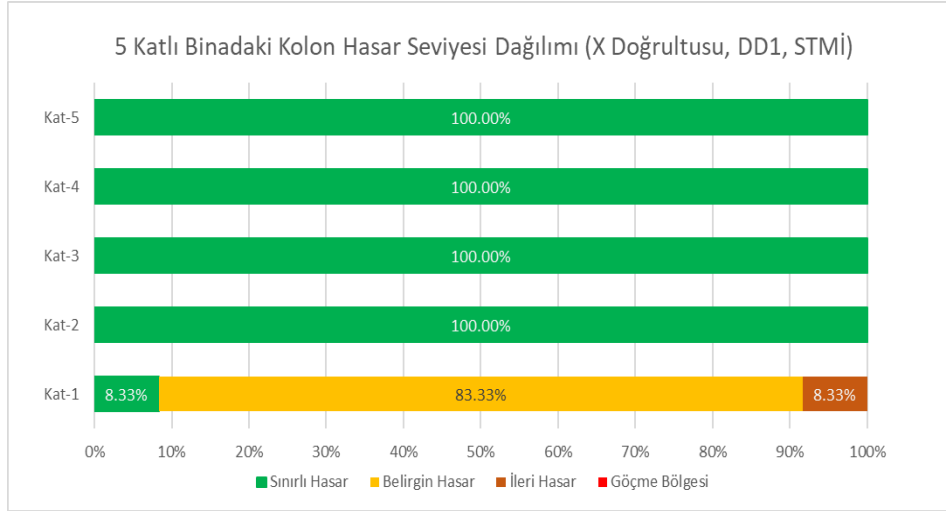


Şekil 4.38: 10 Katlı Binanın (Bina-3) STMiA ve UTMiA Sonucunda 9.Katında Tespit Edilen Kiriş Hasar Seviyeleri (Deprem Düzeyi: DD1)

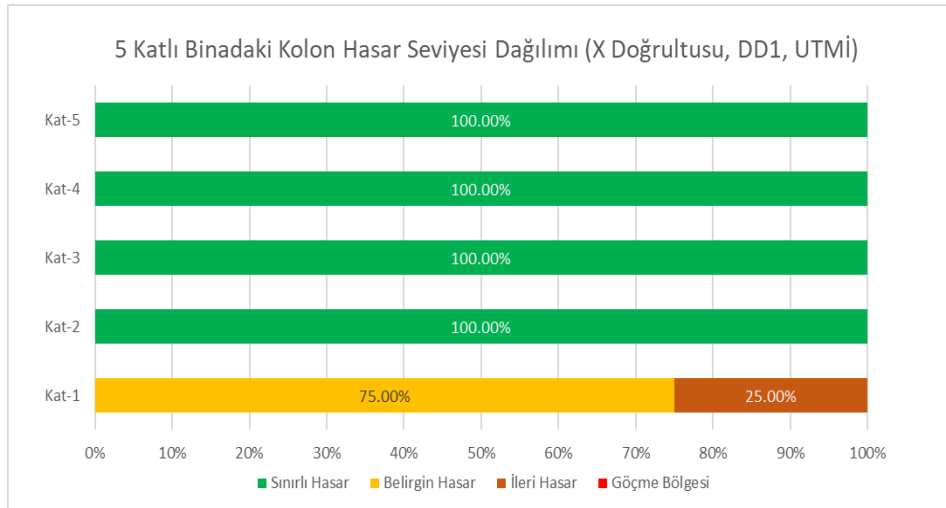
Tez çalışması kapsamında yürütülen tüm analiz sonuçları incelendiğinde iki analiz tipinde de kirişlerdeki hasarların 5 katlı binalarda ilk 3 katta, 10 katlı binalarda ise ilk 7 katta yoğunlaştığı, bununla birlikte bu katlardaki hasar dağılımlarının her iki analiz tipi için de aynı olduğu görülmektedir. Tüm binaların genellikle üst katlarında (son üç katta) STMiA ve UTMiA ile tespit edilen hasar seviyelerinde farklılıklar bulunmaktadır. Analizlerin hiçbirinde İleri Hasar seviyesinde ya da Göçme Bölgesi'nde olan kiriş tespit edilmemiştir. Tüm kirişler ya Sınırlı Hasar ya da Belirgin Hasar seviyesindedir. UTMiA sonucunda üst katlarda tespit edilen Belirgin Hasar seviyesindeki kiriş sayıları, STMiA sonucunda tespit edilenden daha azdır.

4.3.4. Binaların Performans Noktasındaki Kolon Hasar Dağılımları

Şekil 4.39 ve Şekil 4.40'taki grafiklerde örnek olarak 5 ve 10 katlı binaların (Bina-1 ve Bina-3) DD1 deprem düzeyi için yürütülen, X doğrultusundaki STMİA ve UTMİA sonuçlarında tespit edilen kolon hasar seviyelerinin katlara göre dağılımı gösterilmiştir. Tüm binaların, farklı deprem düzeyleri ve farklı doğrultular için elde edilen hasar seviyesi dağılımı tabloları ve grafikleri dijital olarak Ek D'de sunulmuştur.

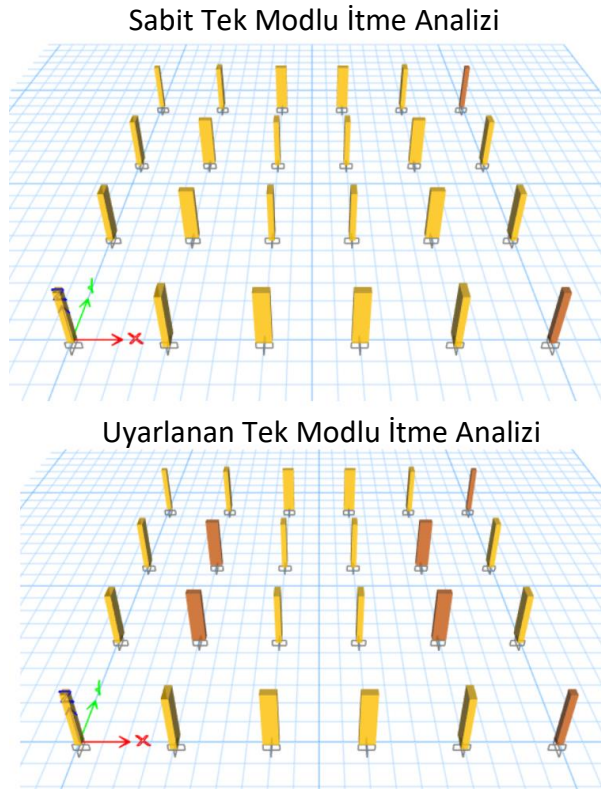


Şekil 4.39: 5 Katlı Binanın (Bina-1) STMİA Sonucunda Tespit Edilen Kolon Hasar Seviyelerinin Katlara Göre Dağılımı (+X Yönü)

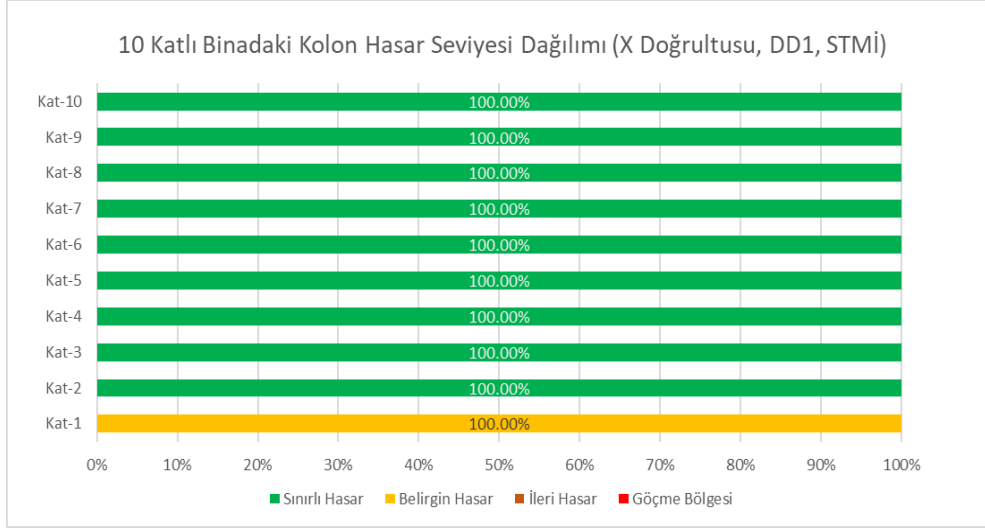


Şekil 4.40: 5 Katlı Binanın (Bina-1) UTMİA Sonucunda Tespit Edilen Kolon Hasar Seviyelerinin Katlara Göre Dağılımı (+X Yönü)

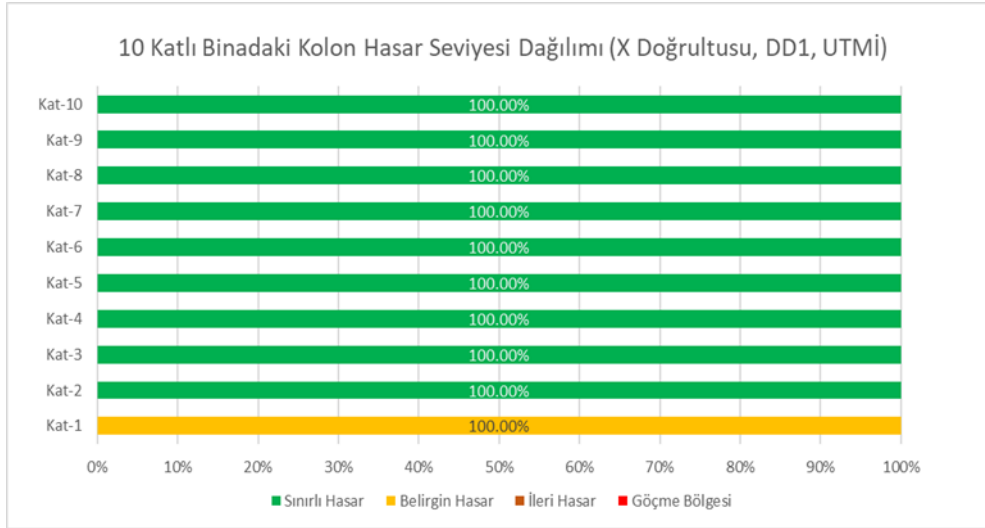
STMİA sonucunda 5 Katlı binanın zemin kat kolonlarının %83.33'ünün Belirgin Hasar (BH) seviyesinde, %8.33'ünün İleri Hasar (İH) seviyesinde ve %8.33'ünün Sınırlı Hasar (SH) seviyesi olduğu tespit edilmiştir. Diğer katlardaki tüm kolonlar SH seviyesindedir. UTMİA sonucu incelendiğinde benzer şekilde zemin kat dışındaki katlarda, tüm kolonların SH seviyesinde olduğu görülmektedir. Bununla birlikte zemin katta BH ve İH seviyelerindeki eleman sayısı STMİA'ya göre daha fazla bulunmuştur. Zemin kat kolonlarının %75'i BH seviyesinde ve %25'i İH seviyesindedir. Zemin katta SH seviyesinde olan kolon bulunmamaktadır. Şekil 4.39 ve Şekil 4.40'ta yalnızca X doğrultusundaki analizler sonucunda tespit edilen hasar dağılımı gösterilmiş olan binanın, X ve Y doğrultularındaki analiz sonuçları dikkate alınarak belirlenen hasar seviyelerine göre renklendirilmiş yapısal analiz modeli görüntüsü Şekil 4.41'de sunulmuştur. Kolay anlaşılabilir olması açısından yalnızca zemin kat kolonları gösterilmiştir. **Sınırlı Hasar** seviyesindeki elemanlar yeşil, **Belirgin Hasar** seviyesindeki elemanlar turuncu, **İleri Hasar** seviyesindeki elemanlar kahverengi ve **Göçme Bölgesi**'ndeki elemanlar kırmızı renkle gösterilmiştir.



Şekil 4.41: 5 Katlı Binanın (Bina-1) STMİA ve UTMİA Sonucunda Zemin Katında Tespit Edilen Kolon Hasar Seviyeleri (Deprem Düzeyi: DD1)

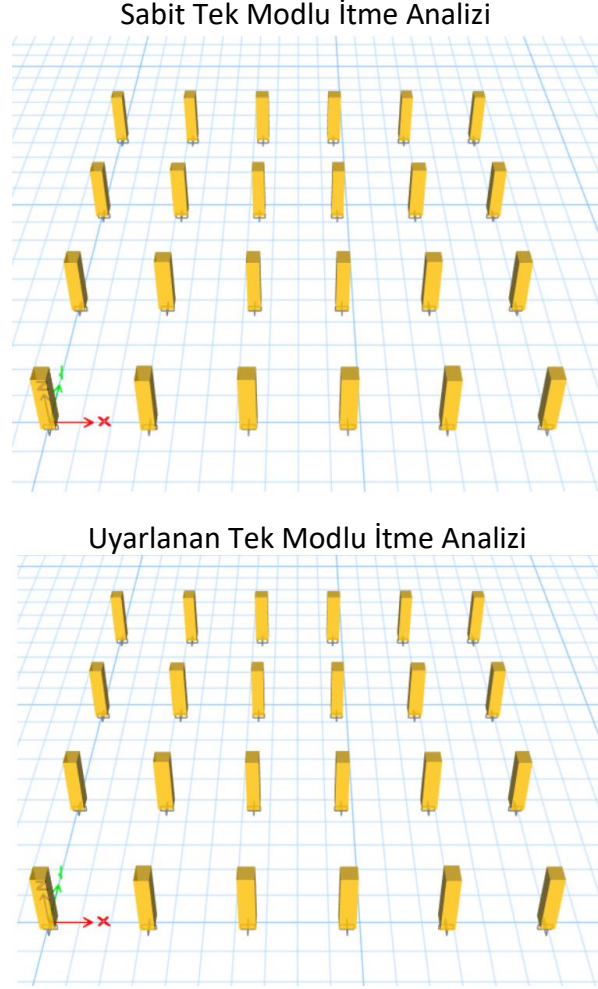


Şekil 4.42: 10 Katlı Binanın (Bina-3) STMiA Sonucunda Tespit Edilen Kolon Hasar Seviyelerinin Katlara Göre Dağılımı (+X Yönü)



Şekil 4.43: 10 Katlı Binanın (Bina-3) UTMiA Sonucunda Tespit Edilen Kolon Hasar Seviyelerinin Katlara Göre Dağılımı (+X Yönü)

Şekil 4.42 ve Şekil 4.43'teki grafiklerden görüldüğü üzere 10 katlı binanın DD1 deprem düzeyi için, X doğrultusunda yürütülen STMiA ve UTMiA sonuçlarında tespit edilen eleman hasar seviyeleri aynıdır. Her iki analiz sonucunda da binanın zemin katındaki tüm kolonların Belirgin Hasar seviyesinde olduğu tespit edilmiştir. Diğer katlardaki tüm elemanlar Sınırlı Hasar seviyesindedir. Elemanların hasar seviyelerine göre renklendirildiği yapısal analiz modelinden alınan zemin kat görüntüleri Şekil 4.44'te verilmiştir.



Şekil 4.44: 10 Katlı Binanın (Bina-3) STMİA ve UTMİA Sonucunda Zemin Katında Tespit Edilen Kolon Hasar Seviyeleri (Deprem Düzeyi: DD1)

Bu tez çalışması kapsamında yürütülen tüm analiz sonuçları değerlendirildiğinde DD3 düzeyindeki deprem etkisinde hiçbir binada Sınırlı Hasar seviyesini aşan kolon bulunmadığı görülmektedir.

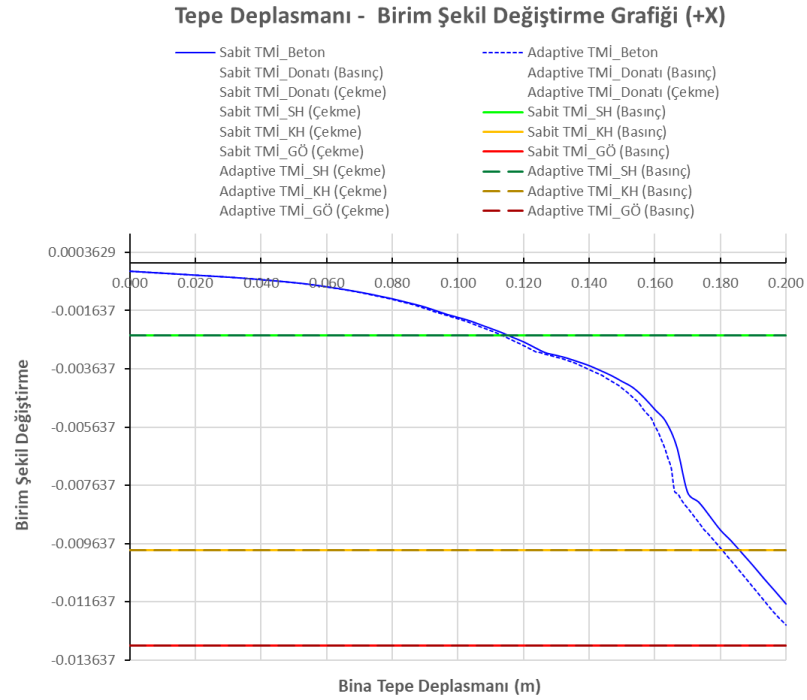
DD2 deprem düzeyi için yürütülen analizlerde, yalnızca 5 katlı binaların zemin kat kolonları SH seviyesini aşmaktadır. STMİA sonuçlarında, Bina-1'in zemin kat kolonlarının %16.67'si BH seviyesindedir. Diğer tüm kolonlar SH seviyesindedir. Bina-2'nin zemin kat kolonlarının %50'si BH seviyesinde, diğer kolonların tamamı SH seviyesindedir. UTMİA sonuçlarında tespit edilen hasar seviyesi oranları STMİA sonuçları ile aynıdır.

DD1 deprem düzeyi için yürütülen analizlerde, 10 katlı binaların (Bina-3 ve Bina-4) hepsinde zemin kat kolonlarının %100'ü BH seviyesindedir. Diğer katlardaki kolonların tamamı SH seviyesindedir. Bu binalar için STMİA ve UTMİA sonuçlarında

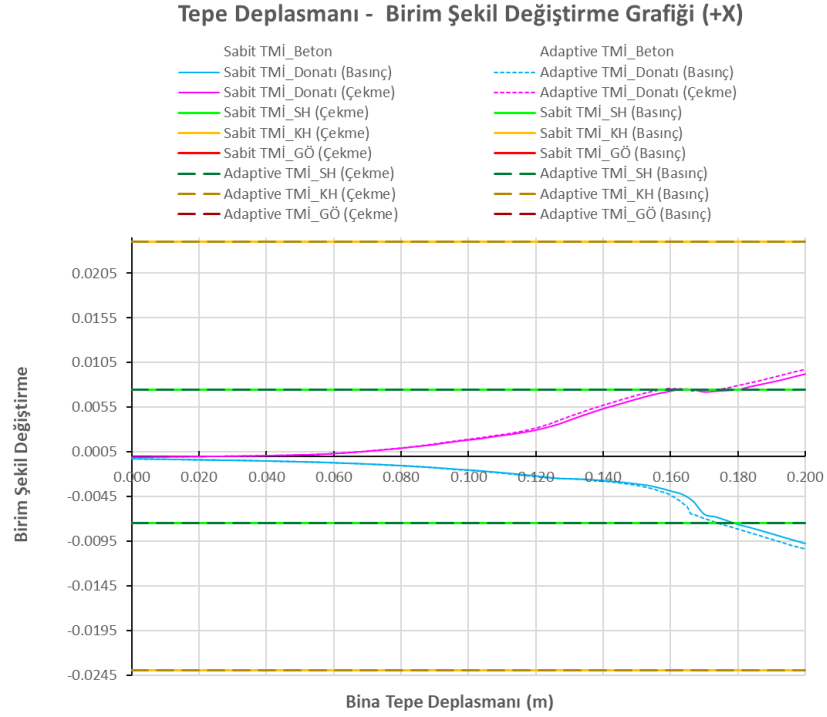
tespit edilen kolon hasar dağılımları aynıdır. 5 Katlı binalarda (Bina-1 ve Bina-2) ise Şekil 4.39 ve Şekil 4.40’takine benzer sonuçlar elde edilmiştir. Yalnızca zemin kat kolonlarında SH seviyesi aşılmış olup, UTMİA sonuçlarında BH, İH ya da GB seviyesindeki kolon sayılarının STMİA sonuçlarına göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

4.3.5. Kolonlarda Bina Tepe Deplasmanı – Kesit Birim Şekil Değiştirmesi İlişkisinin İncelenmesi

Geliştirilen Excel makro uygulaması kullanılarak, tüm binaların zemin katından seçilen 5’er adet kolon için bina tepe deplasmanı – kesit birim şekil değiştirmesi ilişkisini gösteren grafikler oluşturulmuştur. Söz konusu grafikler seçilen kolonların alt ve üst uç bölgeleri için, beton ve donatı malzemeleri ayrı ayrı dikkate alınarak oluşturulmuştur. Örnek olarak, 5 ve 10 katlı binaların (Bina-1 ve Bina-3) zemin katındaki “2” numaralı kolonlar için oluşturulan grafikler Şekil 4.45, Şekil 4.46, Şekil 4.47 ve Şekil 4.48’de gösterilmiştir.



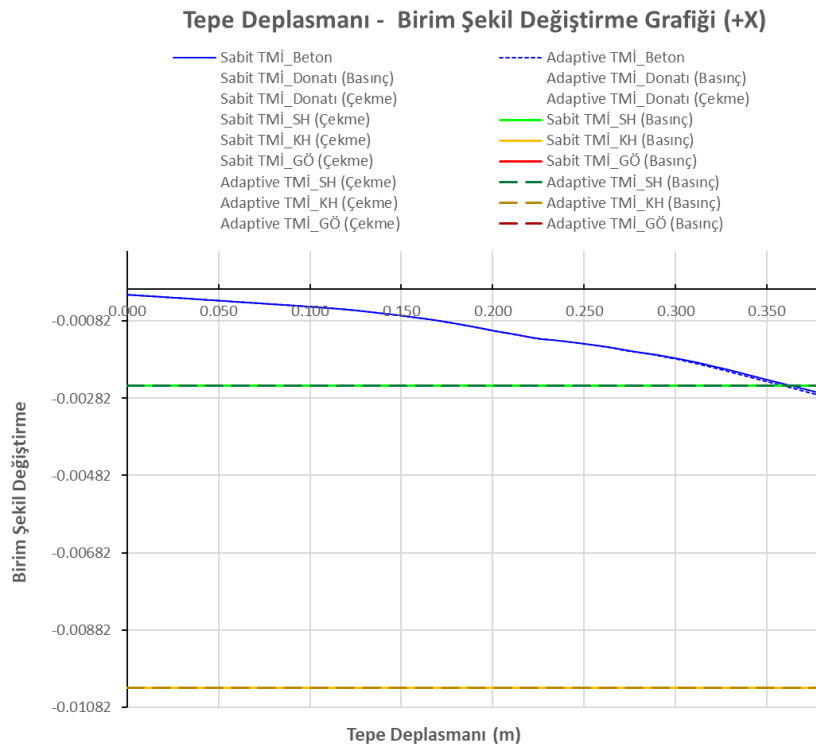
Şekil 4.45: 5 Katlı Binanın (Bina-1) “2” Numaralı Kolonunun STMİA ve UTMİA Sonuçlarından Elde Edilen Bina Tepe Deplasmanı – Birim Şekil Değiştirmesi İlişkisi (DD1, +X Yönü, Alt Uç, Beton)



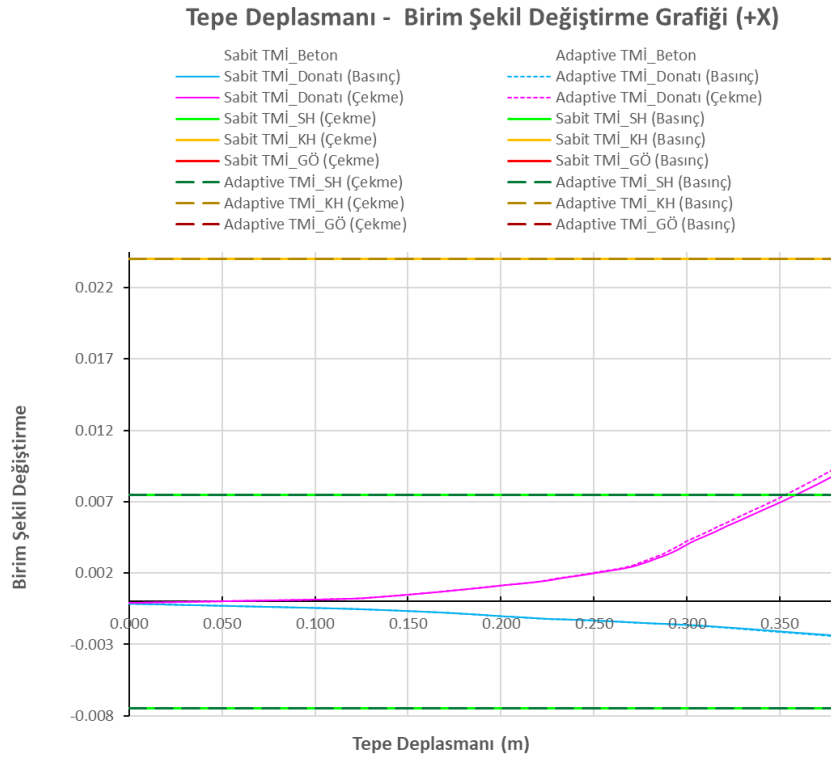
Şekil 4.46: 5 Katlı Binanın (Bina-1) “2” Numaralı Kolonunun STMİA ve UTMİA Sonuçlarından Elde Edilen Bina Tepe Deplasmanı – Birim Şekil Değiştirmesi İlişkisi (DD1, +X Yönü, Alt Uç, Donatı)

Şekil 4.45’te 5 katlı binanın (Bina-1) zemin katında bulunan bir kolonun alt uç bölgesindeki kesiti için, STMİA ve UTMİA boyunca artan bina tepe deplasmanına bağlı olarak kesitteki maksimum beton birim şekil değiştirme değerleri gösterilmiştir. Bununla birlikte kesitin hasar sınır değerleri yatay çizgilerle grafik üzerinde işaretlenmiştir. Yeşil renk **Sınırlı Hasar (SH)** sınırını, turuncu renk **Kontrollü Hasar (KH)** sınırını ve kırmızı renk **Göçme Öncesi (GÖ)** hasar sınırını göstermektedir. Hedef tepe deplasmanına karşılık gelen birim şekil değiştirme değerinin hangi sınırların arasında kaldığı, söz konusu kesitin hasar seviyesini göstermektedir. Performans noktasındaki birim şekil değiştirme değeri SH sınırına ulaşmayan kesit Sınırlı Hasar Bölgesi’nde, SH ile KH sınırları arasında kalan kesit Belirgin Hasar Bölgesi’nde, KH ile GÖ sınırları arasında kalan kesit İleri Hasar Bölgesi’nde, GÖ sınırını aşan kesit ise Göçme Bölgesi’nde yer alır. Kesit hasar sınırları STMİA ve UTMİA için ayrı ayrı gösterilmiştir. Çünkü, her iki analiz sonucunda kesit için hesaplanan kesme kuvveti oranı farklı olabileceğinden, TBDY-2018 Madde 15.7.1.4’e göre hesaplanan birim şekil değiştirme düzeltme katsayısı da farklı olabilmektedir. Şekil 4.45 incelendiğinde, iki analiz sonucunda da kesitin İleri Hasar seviyesinde bulunduğu anlaşılmaktadır. Ancak

performans noktasında (0.20m) UTMİA sonucunda bulunan beton birim şekil değiştirme değerinin STMİA'ya göre daha büyük olduğu görülmektedir. Binanın tepe deplasman değeri arttıkça, iki analiz sonucunda hesaplanan birim şekil değiştirme değerleri arasındaki farkın giderek arttığı tespit edilmiştir. Şekil 4.46'da kesitte bulunan çekme ve basınç etkisi altındaki donatılar için bina tepe deplasmanı – birim şekil değiştirme grafiği verilmiştir. Bu grafikte de donatı şekil değiştirme sınırları işaretlenmiştir. Grafikten görüldüğü üzere binanın performans noktasında (0.20m) çekme ve basınç etkisi altındaki donatılar SH sınırını aşmıştır. Bu durumda donatılar Belirgin Hasar seviyesindedir. Betonda meydana gelen şekil değiştirmeler Belirgin Hasar seviyesinden daha ileri bir hasar seviyesine (İH) karşılık geldiği için, kesitin hasar seviyesi İH olarak belirlenmiştir. Bina tepe deplasmanı arttıkça, STMİA ve UTMİA ile hesaplanan birim şekil değiştirme değerleri arasındaki fark giderek artmaktadır.



Şekil 4.47: 10 Katlı Binanın (Bina-3) “2” Numaralı Kolonunun STMİA ve UTMİA Sonuçlarından Elde Edilen Bina Tepe Deplasmanı – Birim Şekil Değiştirmesi İlişkisi (DD1, +X Yönü, Alt Uç, Beton)



Şekil 4.48: 10 Katlı Binanın (Bina-3) “2” Numaralı Kolonunun STMİA ve UTMİA Sonuçlarından Elde Edilen Bina Tepe Deplasmanı – Birim Şekil Değiştirmesi İlişkisi (DD1, +X Yönü, Alt Uç, Donatı)

Şekil 4.47’de 10 katlı binanın (Bina-3) zemin katında bulunan bir kolonun alt uç bölgesindeki kesiti için, STMİA ve UTMİA boyunca artan bina tepe deplasmanına bağlı olarak kesitteki maksimum beton birim şekil değiştirme değerleri gösterilmiştir. Binanın performans noktasında (0.378m) hesaplanan maksimum beton birim şekil değiştirme değerinin SH ile KH sınırları arasında kaldığı görülmektedir. Bu durumda betonun şekil değiştirmesine göre belirlenen hasar seviyesi BH seviyesidir. Grafikten görüldüğü üzere binanın performans noktasında dahi iki analiz sonucunda elde edilen birim şekil değiştirme değerleri birbirine çok yakındır (-0.002659 ve -0.002733). Şekil 4.48’de kesitte bulunan çekme ve basınç etkisi altındaki donatılar için bina tepe deplasmanı – birim şekil değiştirme grafiği verilmiştir. Binanın performans noktasında çekme etkisi altındaki donatı birim şekil değiştirmesinin SH sınırını aştığı, basınç etkisi altındaki donatı birim şekil değiştirmesinin SH sınırının altında kaldığı görülmektedir. Bu durumda kesitin Belirgin Hasar seviyesinde olduğu anlaşılmaktadır. 10 katlı binanın STMİA ve UTMİA sonuçlarından elde edilen donatı birim şekil değiştirme değerlerinin de birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir.

Tüm binalar için bina tepe deplasmanı - birim şekil değiştirme ilişkisini gösteren grafikler incelendiğine, bu ilişkiyi gösteren eğrinin eğiminin düşük olduğu durumlarda sabit tek modlu itme analizi ve uyarlanan tek modlu itme analizi sonuçlarının birbirine çok yakın çıktığı, eğrinin eğiminin daha fazla olduğu durumlarda iki analizden elde edilen sonuçlar arasındaki farkın giderek arttığı tespit edilmiştir. Söz konusu eğrinin eğiminin, kesitin rijitliği ile ilişkili olduğu söylenebilir. Yüksek rijitliğe sahip olan kesitlerde, artan bina tepe deplasmanına karşılık kesitte meydana gelen şekil değiştirmeler daha az olacaktır. Bu durum tepe deplasmanı ile birim şekil değiştirme ilişkisini gösteren eğrinin düşük bir eğime sahip olması anlamına gelmektedir. Rijitliği düşük kesitlerde ise bina tepe deplasmanı arttıkça kesitte oluşan birim şekil değiştirmeler daha hızlı artacaktır. Bu durumda söz konusu eğrinin eğimi daha dik olacaktır. 5 katlı binanın (Bina-1) 30x30cm boyutlarındaki kolon kesiti için oluşturulan Şekil 4.45'teki grafik ile 10 katlı binanın (Bina-3) 60x60cm boyutlarındaki kolon kesiti için oluşturulan Şekil 4.47'deki grafik bu duruma örnek olarak gösterilebilir.

4.3.6. Binaların Deprem Performans Seviyeleri

Bu tez çalışması kapsamında oluşturulan Excel makro uygulaması kullanılarak, yürütülen analizler sonucunda tüm elemanların hasar seviyeleri tespit edilmiş ve TBDY-2018 Bölüm 15.8'de bina performans düzeyleri için belirtilen kriterlere göre değerlendirme yapılmıştır. X ve Y doğrultularında yürütülen itme analizleri sonucunda tespit edilen bina deprem performans seviyeleri Tablo 4.9 ve Tablo 4.10'da özetlenmiştir.

Tablo 4.9: Binaların Deprem Performans Seviyeleri (+X)

	+X Yönü					
	DD1		DD2		DD3	
	STMİA	UTMİA	STMİA	UTMİA	STMİA	UTMİA
Bina-1	KH	GÖ	KH	KH	SH	SH
Bina-2	GD	GD	KH	KH	SH	SH
Bina-3	KH	KH	SH	SH	SH	SH
Bina-4	GD	GD	SH	SH	SH	SH

Tablo 4.10: Binaların Deprem Performans Seviyeleri (+Y)

	+Y Yönü					
	DD1		DD2		DD3	
	STMİA	UTMİA	STMİA	UTMİA	STMİA	UTMİA
Bina-1	KH	KH	SH	SH	SH	SH
Bina-2	GD	GD	KH	KH	SH	SH
Bina-3	KH	KH	SH	SH	SH	SH
Bina-4	GD	GD	SH	SH	SH	SH

Görüldüğü üzere Bina-1'in deprem performans seviyesi, DD1 deprem düzeyi için X doğrultusunda yürütülen STMİA sonucuna Kontrollü Hasar, UTMİA sonucunda ise Göçmenin Önlenmesi olarak tespit edilmiştir. Diğer tüm binalar için iki tip analiz sonucunda tespit edilen deprem performans seviyeleri aynıdır. Bu durum, söz konusu STMİA ve UTMİA sonuçlarında tespit edilen eleman hasar seviyelerinde farklılıklar bulunsa da incelenen binaların çoğunda performans seviyesini değiştirecek kadar büyük farklar oluşmadığını göstermektedir.

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, taşıyıcı sistemleri betonarme moment çerçevelerinden oluşan dört farklı binanın deprem performans seviyeleri, sabit tek modlu itme analizi (STMİA) ve uyarlanan tek modlu itme analizi (UTMİA) yöntemleri kullanılarak TBDY-2018 Bölüm-15 kapsamında belirlenmiştir. İki analiz yönteminden elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Bununla birlikte söz konusu analiz yöntemlerinin ETABS programında hızlı bir şekilde uygulanmasını ve sonuçlarının değerlendirilmesini sağlayan bir Excel makro uygulaması geliştirilmiştir.

Yürütülen analizlerden elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde aşağıdaki çıkarımlar yapılabilmektedir:

- Deprem talebinin düşük olduğu durumlarda STMİA ve UTMİA yöntemleri birbirine çok yakın sonuçlar vermektedir. Deprem talebi arttıkça iki analizden elde edilen sonuçlar arasındaki fark da artmaktadır.
- Binanın taşıyıcı elemanlarında meydana gelen plastik şekil değiştirmeler arttıkça, STMİA ve UTMİA yöntemlerinden elde edilen kapasite eğrileri farklılaşmaktadır. Düşük dayanımlı ve/veya deprem düzeyinin yüksek olduğu binalarda iki analiz sonucu arasında belirgin farklar meydana gelmektedir.
- DD1 deprem düzeyi için yürütülen UTMİA sonucunda, binaların mod şekillerinde belirgin değişimler meydana gelmiş ve birinci mod periyotlarındaki artış oranının %70'lere kadar çıktığı tespit edilmiştir.
- STMİA ve UTMİA sonuçlarından elde edilen eleman hasar seviyesi dağılımı arasındaki fark, özellikle DD1 deprem düzeyi için yapılan analizlerde belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır.
- Binalardaki kırış hasar seviyesi dağılımları incelendiğinde, iki analiz tipi arasındaki farklılığın daha çok üstteki 2 ya da 3 katta belirginleştiği görülmüştür.
- Düşük dayanımlı ve/veya deprem düzeyinin yüksek olduğu binalarda STMİA ve UTMİA sonucunda belirlenen deprem performans seviyesi farklılık gösterebilmektedir.

- Rijitliği yüksek olan binalarda STMİA ve UTMİA birbirine çok yakın sonuçlar vermektedir.
- UTMİA yönteminde, analiz boyunca meydana gelen plastik ekil değiştirmeler dikkate alınarak bina davranışı STMİA yöntemine göre daha gerçekçi bir şekilde tespit edilebilmektedir.

Tez alışması kapsamında geliştirilen Excel makro uygulaması etkin bir şekilde çalışmaktadır. Hem STMİA yöntemi hem de UTMİA yöntemi ETABS programı kullanılarak hızlı bir şekilde uygulanabilmekte ve sonuçları TBDY-2018 yönetmeliği kapsamında değerlendirilerek binaların deprem performans seviyeleri otomatik olarak tespit edilebilmektedir. Bu çalışmanın, geleneksel sabit tek modlu itme analizi yerine, bazı durumlarda daha gerçekçi sonuçlar sağlayabilen alternatif bir itme analizi yönteminin pratikte kullanılabilmesine yönelik önemli bir adım olduğu düşünülmektedir.

Gelecekteki alışmalarda, Excel makro uygulaması daha da geliştirilerek uyarlanan tek modlu itme analizi yöntemi, farklı tipte taşıyıcı sistemlere sahip binalar için de kullanılabilir. STMİA ve UTMİA yöntemlerinin sonuçları farklı malzeme dayanımlarına sahip binalar için ya da farklı geometrideki binalar için de karşılaştırılabilir. UTMİA yönteminin sonuçlarının Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yönteminin sonuçları ile karşılaştırılması, yöntemin etkinliğini belirlemek amacıyla yapılacak önemli bir çalışma konusu olabilir.

KAYNAKLAR

- [1] ResGaz1, (2018), "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği", 18 Mart 2018 tarih ve 30364 sayılı Resmi Gazete.
- [2] Li Yonghui R., (1996), "Nonlinear Time History and Push-Over Analyses for Seismic Design and Evaluation", PhD Thesis, The University of Texas, Austin, TX, USA.
- [3] Freeman S.A., (2004), "Review of the Development of the Capacity Spectrum Method", ISET Journal of Earthquake Technology, 41 (1), 1-13.
- [4] Mahaney J.A., Paret T.F., Kehoe B.E. Freeman S.A., (1993), "The Capacity Spectrum Method for Evaluating Structural Response During the Loma Prieta Earthquake", Proceedings of the 1993 United States National Earthquake Conference, 2, 501-510, Memphis, TN, USA.
- [5] Fajfar R., (2022), "The Story of the N2 Method", International Association for Earthquake Engineering, January 2022.
- [6] Chopra A.K., Goel R.K., Chintanapakdee C. (2004), "Evaluation of a Modified MPA Procedure Assuming Higher Modes as Elastic to Estimate Seismic Demands", Earthquake Spectra, 20 (3), 757–778.
- [7] Paret T.F., Sasaki K.K., Eilbeck D.H., Freeman S.A. (1996), "Approximate Inelastic Procedures to Identify Failure Mechanisms from Higher Mode Effects", Proceedings of 11th World Conference on Earthquake Engineering, 966, Acapulco, MEX, USA.
- [8] Chopra A.K., Goel R.K., (2001), "A Modal Pushover Analysis Procedure for Estimating Seismic Demands for Buildings", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 31, 561-582.
- [9] Poursha M., Khoshnoudian F., Moghadam A. (2009), "A Consecutive Modal Pushover Procedure for Estimating the Seismic Demands of Tall Buildings", Engineering Structures 31 (2), 591–599.
- [10] Aydınoğlu M.N., Önem G., (2007), "Artımsal Spektrum Analizi (ARSA) Yönteminin Değerlendirilmesi", Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 16-20 Ekim 2007.
- [11] Bracci J.M., Kunnath S.K., Reinhorn A.M., (1997), "Seismic Performance and Retrofit Evaluation of RC Structures", ASCE, ST Division 123 (1), 3-10.

- [12] Antoniou S., Pinho R., (2004), "Advantages and Limitations of Adaptive and Non-Adaptive Force-Based Pushover Procedures", Journal of Earthquake Engineering, 8 (4), 497–522.
- [13] Gupta B., Kunnath S.K. (2000), "Adaptive Spectra-Based Pushover Procedure for Seismic Evaluation of Structures", Earthquake Spectra, 16 (2), 367–391.
- [14] Aydınoğlu M.N., (2003), "An Incremental Response Spectrum Analysis Based on Inelastic Spectral Displacements for Multi-Mode Seismic Performance Evaluation", Bulletin of Earthquake Engineering, 1 (1), 3-36.
- [15] ResGaz2, (2007), "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", 6 Mart 2007 tarih ve 26454 sayılı Resmi Gazete.
- [16] Sucuoğlu H., (2006), "2007 Deprem Yönetmeliği Performans Esaslı Hesap Yöntemlerinin Karşılıklı Değerlendirmesi", Türkiye Mühendislik Haberleri, 4-5 (444-445), 24-36.

ÖZGEÇMİŞ

Özcan Yılmaz, 1991 yılında İstanbul'da doğmuştur. Lise eğitimini Nevzat Ayaz Anadolu Lisesi'nde tamamladıktan sonra Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başlamış ve 2013 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun olmuştur. Mezun olduktan sonra iki yıl boyunca saha mühendisi olarak çalışmış, ardından üç yıl boyunca bir mühendislik firmasında betonarme binaların tasarımında görev almıştır. 2019 yılından bu yana Sismodinamik adlı firmada yapı mühendisi olarak mevcut binaların deprem performansının değerlendirilmesi, güçlendirilmesi ve yapı tasarımı konularında çalışmaktadır.

EKLER

Diğer Ekler (GitHub)

- Ek A: Analiz Sonuçlarını İçeren Excel Makro Uygulaması Dosyaları
- Ek B: Kapasite Eğrileri
- Ek C: Eleman Hasar Sınırlarının ve Hasar Seviyelerinin Gösterildiği Tablolar
- Ek D: Katlara Göre Hasar Seviyesi Dağılımı Tabloları ve Grafikleri
- Ek E: Binaların Uyarlanan (Adaptive) Tek Modlu İtme Analizi Boyunca Hakim Birinci Mod Şeklindeki Değişim Tabloları ve Grafikleri
- Ek F: Binaların Uyarlanan (Adaptive) Tek Modlu İtme Analizi Boyunca Hakim Titreşim Periyodundaki Değişim Tabloları ve Grafikleri

Erişim Bağlantısı: https://github.com/gtuinsaatt/EQE_MSc-Ozcan_Yilmaz