

T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ZEMİN VE TEMEL RİJİTLİĞİNİN BETONARME YAPI DAVRANIŞINA
ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Naile Gül TARAKCI

MAYIS, 2022
UŞAK

T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ZEMİN VE TEMEL RİJİTLİĞİNİN BETONARME YAPI DAVRANIŞINA
ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Naile Gül TARAKCI

UŞAK, 2022

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Naile Gül TARAKCI



ZEMİN VE TEMEL RİJİTLİĞİNİN BETONARME YAPI DAVRANIŞINA ETKİSİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Naile Gül Tarakcı

**UŞAK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Mayıs 2022

ÖZET

Zemindeki yerdeğiştirme ve temelde oluşan dönmelerin göz ardı edildiği ankastre mesnet kabulü inşaat mühendisliği uygulamacıları tarafından sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada radye ve sürekli temel tipleri için farklı yatak katsayısına sahip zeminler üzerine 4 katlı dolgu duvarlı betonarme çerçeveli 25 farklı bina modellenmiştir. TBDY-2018 ve TS-500 dikkate alınarak tasarlanan binaların modellemesi ve analizi SAP2000 programı ile yapılmıştır. Analiz sonuçlarına bakılarak farklı modeller için birinci doğal titreşim periyotları değişimi, dayanımın sismik ağırlığa oranı, kapasite eğrileri, plastik mafsallardaki hasar durumları, enerji sönüm miktarı değişimi, bina çatı deplasmanı talep değerlerinin değişimi, talebin bina yüksekliğine oranı, tipik bir kolonun kesme kuvveti dağılımı incelenmiştir. Analiz sonuçlarına bakıldığında ankastre mesnet kabulü yapılan modele göre temel ve zemin rijitliğine bağlı olarak %44'e varan periyot artışı gözlemlenmiştir. Binaların yatay dayanımları temel ve zemin rijitliğinden %4 ile %9 civarında oranlarla daha az etkilenmektedir. Plastik mafsallardaki hasar dağılımları %3'ten daha az temel ve zemin rijitliğinden etkilenmektedir. Referans modele göre (ankastre mesnet kabulü yapılan) çatı deplasman talebinde zemin-yapı etkileşimli modellerde %40 civarında artış gözlemlenmiştir. Zemin ve temel rijitliği kolonlar arası kuvvet dağılımını da etkilemektedir. Küçük boyutlu kolonlarda oluşan kesme kuvveti referans modele

oranla beklenilenden daha fazladır. Bu artış %8 ile %24 arasındadır. Doğrusal elastik olmayan yöntem kullanılarak yapılan analiz sonuçları ile literatürde Yaşar ve Özmen (2022) tarafından yapılan çalışmada kullanılan 7 katlı betonarme binanın analiz sonuçları da karşılaştırılmıştır. Toplamda 100 değer kullanılarak ankastre mesnet kabulü yapılan temele göre binadaki deplasman artışını tahmin etmeye yarayan literatürde daha önce bulunmayan yeni bir denklem elde edilmiştir. Çalışma kapsamında bulunan denklem inşaat mühendisliği uygulamacılarına yer değiştirme artışı ve zemin rijitliği bilindiğinde temel yapı elemanları boyutlandırmasında kolaylık sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler : Deplasman çarpan tahmini, doğrusal elastik olmayan analiz, dolgu duvarlı çerçeve, yapı-zemin etkileşimi, zemin yatak katsayısı.

Sayfa Adedi : 87

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hayri Baytan ÖZMEN

EFFECT OF SOIL AND FOUNDATION STIFNESS ON THE BEHAVIOUR OF RC STRUCTURES

(M.Sc. Thesis)

Naile Gül Tarakcı

**UŞAK UNIVERSITY
GRADUATE EDUCATION INSTITUTE
Department of Civil Engineering**

May 2022

ABSTRACT

The fixed support assumption, which ignores the displacements in the ground and the rotations of the foundation, is frequently used by civil engineering practitioners. In this study, 25 different 4-storey reinforced concrete frame buildings with infill walls were modeled on soils with different bearing coefficients for raft and continuous foundation types. Design and analyses of the buildings are performed according to TBDY-2018 and TS-500 using the SAP2000 software. Based on the analyses results, the variation of the first natural vibration periods for different models, the ratio of strength to seismic weight, capacity curves, damage to plastic hinges, change in energy dissipation amount, change in building roof displacement demand value, the ratio of demand to building height, shear forces distribution of a typical column were investigated. Considering the analysis results, a period increase of up to 44% was observed, depending on the stiffness of the foundation and the soil, when compared to the model with the infinitely stiff foundation assumption. The horizontal strength of the buildings is less affected by the foundation and ground stiffness with results of 4% to 9% decrease. Damage distributions in plastic hinges are slightly affected by the stiffness of the foundation and soil stiffness, with figures less than 3%. Compared to the reference model, a 40% change was observed in the roof displacement demand in the soil-structure interactive models. Soil and foundation stiffness also affect the force distribution between columns. The shear force generated in

small-sized columns is higher than expected compared to the reference model. This increase is between 8% and 24%. The results of the analysis using non-linear elastic method and analysis results of the 7-storey reinforced concrete building performed in the study by Yaşar and Özmen (2022) in the were compared. Using 100 values in total, a new equation, has been established to estimate the displacement increase in the building per the fixed foundation case. The equation developed within the scope of the study will provide convenience to civil engineering practitioners in the dimensioning of foundation elements for a certain displacement increase limit and soil stiffness.

Keywords : Displacement multiplier estimation, nonlinear elastic analysis, frame with infill-wall, soil-structure interaction, soil subgrade reaction modulus.

Number of pages : 87

Advisor : Assoc. Prof. Dr. Hayri Baytan ÖZMEN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince sorularıma sabır ve anlayış ile cevap veren, bilgi ve tecrübelerine her zaman ihtiyaç duyduğum ve duyacağım tez çalışmam için yardım ve katkılarını esirgemeyen değerli tez danışman hocam Sayın Doç. Dr. Hayri Baytan ÖZMEN' e üzerimdeki emekleri için teşekkür ederim.

Hayatım boyunca bana olan desteklerini bir an olsun esirgemeyen, hayatını çocuklarının eğitimine adanmış, varlıklarıyla bana güven veren anneme, babama ve abime sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışmamda değerli vaktini bana ayırıp sorularıma cevap veren, yapmış olduğu çalışmalardan da çokça bilgi edindiğim Sayın Saffet Kılıçer hocama teşekkür ederim.

Bu yüksek lisans tezinin savunmasında kıymetli zamanını ayırıp jüride bulunmayı kabul eden Sayın Dr. Öğr. Ü. Mehmet ADA ve Sayın Doç. Dr. Hamide TEKELİ KABAŞ' a katkıları ve görüşleri için teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak bu çalışmada manevi destekleriyle beni yalnız bırakmayan ve her zaman destekçilerim olan değerli arkadaşlarım Ayşenur HİSAR, Ayşe OVALI, Ceren COŞKUN, Didem AKÇADAĞ, Fatma CERAN ve Nuray YAŞAR' a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. TBDY 2018’DE DAYANIMA VE ŞEKİLDEĞİŞTİRMEYE GÖRE DEĞERLENDİRME VE TASARIM YAKLAŞIMI.....	7
2.1. TBDY 2018’de Dayanıma Göre Tasarım Yaklaşımı.....	7
2.1.1. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ve Dayanım Fazlalığı Katsayısı.....	7
2.1.2. Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı	8
2.2. TBDY 2018’de Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım Yaklaşımı...	9
2.2.1. Doğrusal Olmayan Davranış	9
2.2.2. Plastik Mafsal Kavramı ve Doğrusal Olmayan Davranış Modelleri.....	10
3. 4 KATLI BETONARME BİNANIN TASARIMI VE MODELLENMESİ	12
3.1. Binaya Ait Genel Özellikler	12
3.2. Deprem İle İlgili Parametreler	13
3.2.1. Spektral İvme Katsayıları	14
3.2.2. Bina Kullanım Sınıfı ve Bina Önem Katsayısı.....	17
3.2.3. Deprem Tasarım Sınıfı ve Bina Yükseklik Sınıfı.....	18
3.3. Taşıyıcı Sisteme Ait Bilgiler.....	19
3.3.1. Kolon, kiriş ve döşemelere ait bilgiler	19
3.3.2. Dolgu duvarlara ait bilgiler	19
3.4. Taşıyıcı Sistem Boyutlandırmasında Dikkate Alınan Yükler.....	22
3.5. Yapının Taşıyıcı Sisteminin Üç Boyutlu Modellenmesi	22
3.5.1. Kolonların ve Kirişlerin Modellenmesi.....	23
3.5.2. Dolgu Duvarların Modellenmesi.....	24
3.6. Etkin Kesit Rijitliklerinin SAP2000 Programında Tanımlanması	26
3.7. Yük Birleşimlerinin SAP2000 Programında Tanımlanması.....	28

3.8. Eşdeğer Deprem Yüğü Hesabının Açıklanması.....	29
3.9. Katlara Etki Eden Eşdeğer Deprem Yüğüleri Hesapları.....	29
3.10. Yapısal Düzensizliklerin Kontrolü.....	30
3.10.1. Burulma Düzensizliği Kontrolü	32
3.10.2. Görelî Kat Ötelemeleri Kontrolü.....	32
3.10.3. İkinci Mertebe Etkileri Kontrolü	33
3.11. Plastik Mafsalların Sisteme Atanması	34
3.12. Temellerin Boyutlandırılması ve Modellenmesi.....	41
4. DÖRT KATLI YAPININ PERFORMANSININ BELİRLENMESİ	44
4.1.Dört Katlı Yapının Performansının Belirlenmesi	44
4.2. Doğrusal Olmayan Hesap Yönteminin Belirlenmesi	45
4.2.1. Artımsal İtme Analizinin (Pushover) Programda Tanımlanması	45
5. ANALİZ SONUÇLARI.....	48
5.1. Doğal Titreşim Periyotlarının Değişimi.....	53
5.2. Dayanımın Sismik Ağırlığa Oranı	55
5.3. Kapasite (Tepe Yerdeğiştirmesi-Taban Kesme Kuvveti) Eğrileri	56
5.4. Plastik Mafsallardaki Hasar Durumları.....	61
5.5. Enerji Sönüm Miktarı.....	66
5.6. Bina Çatı Deplasmanı Talep Değeri	67
5.7. Talebin Bina Yüksekliğine Oranı.....	70
5.8. Kesme Kuvveti Değişimi	72
6. DEPLASMAN ARTIŞI TAHMİN DENKLEMİ ELDE EDİLMESİ	74
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	79
7.1. Literatürde Bulunan 7 Katlı Bina Modeli ile Tez Çalışmasında Kullanılan 4 Katlı Bina Modelinin Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması	79
7.2. Tez Çalışmasında Elde Edilen Bulgular	80
7.3. Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler	83
KAYNAKLAR	84
ÖZGEÇMİŞ	87

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Bina taşıyıcı sistemleri için taşıyıcı sistem davranış katsayısı, dayanım fazlalığı katsayısı ve izin verilen bina yükseklik sınıfları	8
Çizelge 3.1. Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları	15
Çizelge 3.2. 1,0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı	15
Çizelge 3.3. Bina kullanım sınıfı ve bina önem katsayısı	17
Çizelge 3.4. Deprem tasarım sınıfı	18
Çizelge 3.5. Bina yükseklik sınıfı ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları	18-19
Çizelge 3.6. Eşdeğer basınç çubuğu kalınlığını belirlemede yardımcı veriler	22
Çizelge 3.7. Betonarme taşıyıcı sistem elemanları için etkin kesit rijitliği çarpanları ...	27
Çizelge 3.8. Katlara gelen eşdeğer deprem yüklerinin hesabı	30
Çizelge 3.9. Yapısal düzensizlikler (TBDY2018)	31
Çizelge 3.10. X doğrultusunda burulma düzensizliği kontrolü	32
Çizelge 3.11. Y doğrultusunda burulma düzensizliği kontrolü	32
Çizelge 3.12. X doğrultusunda görelî kat ötelemeleri kontrolü	33
Çizelge 3.13. Y doğrultusunda görelî kat ötelemeleri kontrolü	33
Çizelge 3.14. X doğrultusunda ikinci mertebe etkileri kontrolü	33
Çizelge 3.15. Y doğrultusunda ikinci mertebe etkileri kontrolü	34
Çizelge 3.16. Farklı zeminler için yatak katsayısı değerleri (Bowles, 1996)	42
Çizelge 3.17. Çalışmada kullanılan temel çeşitleri ve özellikleri	43
Çizelge 4.1. Deprem tasarım sınıflarına göre yeni yapılacak binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları	45
Çizelge 5.1. Çalışmadaki modellerin her iki yön için doğal titreşim periyotları	53
Çizelge 5.2. Dayanımın sismik ağırlığa oranı ve modeller arası kıyaslar	55
Çizelge 5.3. Artımsal itme analizinde dayanımın %80'e düştüğü adımda yapının mafsallarının hasar durumu X yönü	62
Çizelge 5.4. Artımsal itme analizinde dayanımın %80'e düştüğü adımda yapının mafsallarının hasar durumu Y yönü	63
Çizelge 5.5. Artımsal itme analizinde x ve y yönleri için dayanımın %80'e düştüğü adımda enerji sönüm miktarları ve referans modele göre değişim oranları	66-67

Çizelge 5.6. X ve Y yönündeki bina çatı deplasmanı talep değeri ve referans modele göre oranları	68-69
Çizelge 5.7. Her iki yön için bina çatı deplasmanı talep değerinin bina yüksekliğine oranı ve yüzde olarak verilmesi	71
Çizelge 5.8. 4 katlı betonarme binanın X doğrultuna ait normal kolon 0,01 m deplasmana karşılık gelen kesme kuvvetleri ve değişim oranları	73
Çizelge 6.1. 4 katlı betonarme bina için ankastre temele göre deplasman çarpım tahmini denkleminde geçen sabit değerler	75
Çizelge 6.2. Ankastre mesnet kabulü yapılan temele göre %10, %15 ve %20 deplasman artışı durumlarında zemin rijitliğine bağlı olarak minimum radye ve sürekli temel yükseklikleri	76

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Betonarme elemana ait tipik kuvvet-deformasyon ($F-\Delta$) eğrisi (Özmen ve ark, 2007)	11
Şekil 3.1. 4 katlı betonarme binaya ait kalıp planı	13
Şekil 3.2. TDTH web uygulamasında enlem ve boylam tanımı	14
Şekil 3.3. Deprem yer hareketi düzeyi için ivme spektrumu	16
Şekil 3.4. Diyagonal (eşdeğer) basınç çubuğu ile dolgu duvar modellenmesi	20
Şekil 3.5. Açıklık oranı (%) ile rijitlik azaltma faktörü (λ grafik) arasındaki ilişki (Asteris, 2003)	21
Şekil 3.6. Kolonların SAP2000 analiz programında modellenmesi	23
Şekil 3.7. Kirişlerin SAP2000 analiz programında modellenmesi	23
Şekil 3.8. Yatay yük etkisi durumunda şekil değiştiren çerçeve ve eşdeğer basınç çubuğu	24
Şekil 3.9. X doğrultusunda rijitliği azaltılmamış bir duvarın programda modellenmesi	25
Şekil 3.10. X doğrultusunda rijitliği azaltılmış bir dış duvarın programda modellenmesi	25
Şekil 3.11. Yapının üç boyutlu modeli	26
Şekil 3.12. Kolon elemanlarına etkin kesit rijitliği tanımı	27
Şekil 3.13. Kiriş elemanlarına etkin kesit rijitliği tanımı	28
Şekil 3.14. Plastik mafsalları atanması (Özmen,2005)	34
Şekil 3.15. C400x400 mm boyutunda bir numaralı kolona ait eksenel yük ve etkileşim yüzeyleri için kolon mafsalları tanımı	35
Şekil 3.16. C400 x400 mm boyutunda bir numaralı kolona ait plastik mafsalları özellikleri	36
Şekil 3.17. C400 x400 mm boyutunda bir numaralı kolona ait karşılıklı etkileşim diyagramının tanımlanması	36
Şekil 3.18. C250x600 mm boyutunda kiriş plastik mafsalları bilgilerinin tanımlanması...	37
Şekil 3.19a. X yönündeki dolgu duvarlar için eksenel yük plastik mafsalları	38
Şekil 3.19b. Y yönündeki dolgu duvarlar için eksenel yük plastik mafsalları	38
Şekil 3.20. 4 Katlı betonarme çerçeveli duvarlı sistemde tanımlanan plastik mafsalları.	39

Şekil 3.21. 3C-3D aksları arasında kalan elemanların plastik mafsalları örnekleri	40
Şekil 3.22. Yatak katsayısının sisteme tanımlanması	41
Şekil 3.23. Radye temel modellenmesi	42
Şekil 3.24. Sürekli temel modellenmesi	42
Şekil 4.1. Kesit hasar bölgeleri	44
Şekil 4.2. Eşdeğer deprem yüklerinin katlara dağılımı	46
Şekil 4.3. Düşey yüklerin programa tanımlanması.....	46
Şekil 4.4. Pushx durumunun tanımlanması	47
Şekil 4.5. Pushy durumunun tanımlanması	47
Şekil 5.1. Referans model sistem göçme mekanizması	49
Şekil 5.2. R30/YK45000 modele ait sistem göçme mekanizması	49
Şekil 5.3. R40/YK45000 modele ait sistem göçme mekanizması	49
Şekil 5.4. R60/YK45000 modele ait sistem göçme mekanizması	50
Şekil 5.5. R30/YK11200 modele ait sistem göçme mekanizması	50
Şekil 5.6. R60/YK80000 modele ait sistem göçme mekanizması	50
Şekil 5.7. STR/YK45000 modele ait sistem göçme mekanizması	51
Şekil 5.8. STK/YK45000 modele ait sistem göçme mekanizması	51
Şekil 5.9. STC/YK45000 modele ait sistem göçme mekanizması	51
Şekil 5.10. STK/YK11200 modele ait sistem göçme mekanizması	52
Şekil 5.11. STC/YK80000 modele ait sistem göçme mekanizması	52
Şekil 5.12. 4 Katlı betonarme çerçeveli binanın x ve y yönlerine ait doğal titreşim periyot değerlerinin değişim oranları	54
Şekil 5.13. 4 Katlı betonarme çerçeveli bina sisteminin farklı temel ve farklı yatak katsayılarına ait x doğrultusundaki kapasite eğrileri.....	56
Şekil 5.14. 4 Katlı betonarme çerçeveli bina sisteminin farklı temel ve farklı yatak katsayılarına ait y doğrultusundaki kapasite eğrileri	57
Şekil 5.15. 4 Katlı betonarme çerçeveli bina için yatak katsayısı 45000 kN/m ³ seçilerek farklı radye temel yüksekliğine ait x doğrultusundaki kapasite eğrileri	57
Şekil 5.16. 4 Katlı betonarme çerçeveli bina için yatak katsayısı 45000 kN/m ³ seçilerek farklı radye temel yüksekliğine ait y doğrultusundaki kapasite eğrileri	58
Şekil 5.17. 4 Katlı betonarme çerçeveli binanın radye temel yüksekliği 400 mm için farklı yatak katsayısına ait x doğrultusundaki kapasite eğrileri	58

Şekil 5.18. 4 Katlı betonarme çerçeveli binanın radye temel yüksekliği 400 mm için farklı yatak katsayısına ait y doğrultusundaki kapasite eğrileri	59
Şekil 5.19. 4 Katlı betonarme çerçeveli binanın yatak katsayısı 45000 kN/m ³ sürekli temeller için yönetmelik sınırlarının altında, uygun ve üstünde olma durumuna ait x doğrultusundaki kapasite eğrileri	59
Şekil 5.20. 4 Katlı betonarme çerçeveli binanın yatak katsayısı 45000 kN/m ³ sürekli temeller için yönetmelik sınırlarının altında, uygun ve üstünde olma durumuna ait y doğrultusundaki kapasite eğrileri	60
Şekil 5.21. 4 Katlı betonarme çerçeveli binanın yönetmelik sınırlarına uygun sürekli temel için farklı yatak katsayısına ait x doğrultusundaki kapasite eğrileri	60
Şekil 5.22. 4 Katlı betonarme çerçeveli binanın yönetmelik sınırlarına uygun sürekli temel için farklı yatak katsayısına ait y doğrultusundaki kapasite eğrileri	61
Şekil 5.23. 4 Katlı betonarme çerçeveli bina modellerine ait ait x yönü plastik mafsallık durumu dağılımı	64
Şekil 5.24. 4 Katlı betonarme çerçeveli bina modellerine ait ait x yönü plastik mafsallık hasar durumu dağılımı	64
Şekil 5.25. 4 Katlı betonarme çerçeveli bina modellerine ait ait y yönü plastik mafsallık durumu dağılımı	65
Şekil 5.26. 4 Katlı betonarme çerçeveli bina modellerine ait ait y yönü plastik mafsallık hasar durumu dağılımı	65
Şekil 5.27. Referans modele ait çatı deplasman talep değeri hesabının gösterim	68
Şekil 5.28. 4 katlı betonarme binanın x doğrultusuna ait deplasman talebi değişimi oranları	69
Şekil 5.29. 4 katlı betonarme binanın y doğrultusuna ait deplasman talebi değişim oranları	70
Şekil 5.30. 4 katlı betonarme binanın X doğrultusuna ait 400x400 mm normal kolon kesme kuvveti – deplasman değerleri	72
Şekil 6.1. Korelasyon katsayısı R=0,5086 elde edilişi grafik	75
Şekil 6.2. Ankastre mesnet kabulü yapılan temele göre %10, %15 ve %20 deplasman artışı durumlarında zemin rijitliğine bağlı olarak minimum sürekli temel yükseklikleri	77
Şekil 6.3. Ankastre mesnet kabulü yapılan temele göre %10, %15 ve %20 deplasman artışı durumlarında zemin rijitliğine bağlı olarak minimum radye temel yükseklikleri	77

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simge	Açıklama
ad	Eşdeğer basınç çubuğunun genişliği
ch	İkinci mertebe hesabında yararlanılan ampirik katsayı
D	Dayanım fazlalığı katsayısı
e	% 5'lik dışmerkezlik
E	Deprem yükü
Ec	Beton elastisite modülü
Ed	Dolgu duvarın elastisite modülü
Ed(H)	Doğrultu birleştirmesi uygulanmış tasarıma esas yatay deprem etkisi
Ed(X)	(X) Doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
Ed(Y)	(Y) Doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
Ed(Z)	(Z) Doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
Es	Donatı çeliği elastisite modülü
fm	Duvar basınç dayanımı
fck	Beton karakteristik basınç dayanımı
fyk	Donatı çeliği karakteristik akma gerilmesi
F1	1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
FiE(X)	(X) Deprem doğrultusunda i'inci kat kütle merkezine etkileyen eşdeğer deprem yükü
FS	Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
g	Yerçekimi ivmesi
G	Sabit yük etkisi
hd	Dolgu duvarının yüksekliği

Hi	Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölüm'de i'inci katın üst bölümün tabanından itibaren ölçülen yüksekliği
hk	Kolon boyu
H_N	Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümünün toplam yüksekliği
I	Bina önem katsayısı
I_k	Kolonun atalet momenti
L_p	Plastik mafsallık boyu
k_s	Yatak katsayısı
n	Hareketli yük katılım katsayısı
N	Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölüm'deki toplam kat sayısı
m_i	i'inci katın toplam kütlesi
m_t	Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölüm'ünün toplam kütlesi
rd	Dolgu duvarı köşegen uzunluğu
R	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R	Korelasyon katsayısı
R_a(T)	Deprem yükü azaltma katsayısı
S_{aR}(T)	Azaltılmış tasarım spektral ivmesi
S_{ae}(T)	Yatay elastik tasarım spektral ivmeleri
S₁	1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
SDS	Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
SD₁	1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
SS	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
td	Dolgu duvar kalınlığı
T	Doğal titreşim periyodu
T_A, T_B	Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]
TL	Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu [s]
T_p (X)	(X) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodu

$V_{tE}(X)$	(X) deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü
V_i	Deprem doğrultusunda i'inci kattaki azaltılmış kat kesme kuvveti
W_i	i'inci kata etkiyen toplam ağırlık
q_a	Temel taban basıncı
Q	Hareketli yük etkisi
θ	Eşdeğer basınç çubuğunun yatay ile olan açısı
η_{bi}	i'inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı
$(EI)_e$	Yıgılı plastik davranışa göre modellenen kolon, kiriş, bağ kirişi ve perdenin etkin kesit rijitliği
$\Delta F_{NE}(X)$	(X) Deprem doğrultusunda binanın N'inci katına etkiyen ek eşdeğer deprem yükü
$\Delta_i(X)$	(X) Deprem doğrultusunda herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eden azaltılmış görelî kat ötelemesi
ϕ	Deprem doğrultusunda her bir i'inci kat için tanımlanan ikinci mertebe gösterge değeri
$\emptyset$	Donatı çapı
λ_d	Eşdeğer basınç çubuğu katsayısı
λ_{grafik}	Rijitlik azaltma faktörü
λ_x	(X) Görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılmasında kullanılan ampirik katsayı
γ_{mc}	Beton malzeme güvenlik katsayısı
γ_{ms}	Donatı çeliği malzeme güvenlik katsayısı
κ	İzin verilen görelî kat ötelemelerinin tanımında betonarme ve çelik taşıyıcı sistemler için farklı olarak kullanılan katsayı
τ_d	Dolgu duvarının kayma dayanımı

Kısaltma	Açıklama
BYS	Bina yükseklik sınıfı
BKS	Bina kullanım sınıfı
CG	Can güvenliği
DBYBHY	Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik
DD	Deprem yer hareketi düzeyi
DGT	Dayanıma göre tasarım
DTS	Deprem tasarım sınıfı
FEMA	Federal emergency management agency
GÖ	Göçme öncesi hasar
HK	Hemen kullanım
KH	Kontrollü hasar
PGA	En büyük yer ivmesi
PGV	En büyük yer hızı
RT	Radye temel
SAP2000	Integrated Software for Structural Analysis and Design
SH	Sınırlı hasar
ST	Sürekli temel
STC	Yönetmelik sınırlarının üstünde tasarlanmış sürekli temelli model
STK	Yönetmelik sınırlarının altında tasarlanmış sürekli temelli model
STR	Yönetmelik sınırlarına uygun şekilde tasarlanmış sürekli temelli model
ŞGDT	Şekil değiştirmeye göre tasarım
TBDY	Türkiye bina deprem yönetmeliği
TS	Türk standardı
TS-498	Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri
TS-500	Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları
ZC	Yerel zemin sınıfı

1. GİRİŞ

Ülkemizde yaygın görülen deprem doğal afeti yapı tasarımında inşaat mühendisliği için önem arz etmektedir. Yapılara gelecek deprem kuvvetinin ve yapıların deprem kuvveti altındaki davranışının belirlenmesi depremi tahmin etmek kadar önemlidir. Geçmişten günümüze kadar inşaat mühendisleri binaların tasarımında deprem etkisini, zemin etkisini, temel etkisini dikkate almış fakat ankastre mesnet kabulü ile temel zemin yapı etkileşimini ihmal etmişlerdir. Zemin temel yapı etkileşiminin önemi son yıllarda yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur.

Bu tez kapsamında farklı boyutlarda ve farklı yatak katsayısına sahip radye ve sürekli temeller üzerine farklı boyutlarda kolonlar kullanılarak dolgu duvarlı bina tasarımı yapılmıştır. Ankastre mesnet durumu referans model olarak kabul edilmiştir. Temel boyutları ve rijitliği, farklı kalınlıktaki kolonların kesme kuvvetleri, çatı yer değiştirmesi, enerji talebi gibi parametrelere bakılarak farklı modeller üzerinde yapı temel zemin etkileşiminin yapı davranışına etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmada statik itme analizi kullanılmıştır. Tez çalışması kapsamında daha önce tasarlanan ve literatürde bulunan 7 katlı bina ile bu çalışmada modellenen 4 katlı bina arasındaki farklara da bakılarak yapı zemin temel etkileşimi kavramı incelenmiştir.

Yapı zemin temel etkileşimi hakkında literatürde statik ve dinamik analizlerle yapılan farklı çalışmalar mevcuttur. Betonarme yapı tasarımına zemin yapı temel ortak çözümünün deprem yükü altında etkisini inceleyen çalışmalardan bazıları şu şekilde özetlenebilir.

Girgin ve ark. (2008), yılında yaptıkları araştırmalarında 8 katlı perdeli-çerçeve bir betonarme binayı sabit yatak katsayısı ve değişken yatak katsayısı kabullerine göre analiz etmişlerdir. Temel zemin etkileşiminin ankastre kabul edilmesi durumunda perde ve kolonlar arasında deprem etkisinin paylaşımı değişmiştir. Rijit temel kabulünde sabit ve değişken yatak katsayılı modellere göre yapının doğal titreşim periyodu daha düşük gelmiştir. Yapı doğal titreşim periyodu rijit yapı zemin modelinde x ve y yönlerinde 0.684 s gelirken, Winkler modelinde x yönünde 1.0 s, y yönünde 0.897 s gelmektedir. Değişken yatak katsayılı modelde x yönünde 0.893, y yönünde 0.818 olarak bulunmuştur.

Kolonların yük paylaşım oranları her iki yönde de sabit ve değişken yatak katsayılı modellerde rijit yapı-zemin modeline göre daha fazladır. Fakat perdelerin yük paylaşım oranları değişken yatak katsayılı modellerde rijit yapı-zemin modelinden daha düşüktür. X yönü örnek alındığında, perdelerin yük paylaşım oranı rijit yapı-zemin modelinde 0.69, sabit yatak katsayılı modelde 0.59, değişken yatak katsayılı modelde 0.44'dür. Çalışmalarının sonucunda temellerin binadan ve zeminden bağımsız tasarlanmaması gerektiğinin önemini vurgulamışlardır.

Karabörk (2009) çalışmasında farklı zemin özelliklerinin yapıların dinamik davranışına etkisini araştırmıştır. Farklı yüksekliğe fakat aynı rijitliğe sahip 3 bina üzerinde sert ve yumuşak zeminin üç adet deprem yükü altında davranışlarına bakmıştır. Çalışma sonucunda yumuşak zemin türü kullanılan modellerde sert zemin tipi kullanılan modellere kıyasla taban eğilme momentleri X yönünde %40 azalma gösterirken, Y yönünde %32 civarındadır. Taban kesme kuvvetleri X yönünde %77 azalmıştır. Y yönünde %61 oranında azalmıştır. Çalışmada yumuşak zemin türü kullanılan modellerde temel seviyesindeki yatay yer değiştirmeler sert zemin türüne sahip modellere göre X yönünde %71 artarken, Y yönünde %78 oranında artmıştır. Sert zemin tipi kullanılan yapılarda yumuşak zemine oturan yapılara kıyasla periyot değerleri 3 katlı binalarda %68 azalırken, 6 katlı binalarda %50 ve 10 katlı binalarda %33 oranında azaldığı gözlemlenmiştir.

Mamuk (2010) çalışmasında üç boyutlu zemin yapı etkileşimi modelinin SAP 2000 programında sonlu elemanlar yöntemiyle dinamik analizini gerçekleştirmiştir. Çalışmasının sonucunda rijit yapı zemin modeline göre yapı zemin etkileşimli modellerde daha büyük periyot elde etmiştir. Zemindeki yatak katsayısı ve zeminin elastisite modülünün artmasıyla zemin yapı etkileşimli modelde üst yapı elemanlarının daha büyük gerilmelere maruz kaldığını gözlemlemiştir. Yapı zemin etkileşimli sistemde kolon ve kiriş elemanlarına gelen kesme kuvvetlerinin zemin özelliklerine bağlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Korkmaz ve Demir (2012) makalelerinde zemin özelliklerinin ve zemin türlerinin yapıya etkisini farklı rijitlikte yaylar kullanarak doğrusal olmayan metotla incelemişlerdir. Zeminin iyi olmadığı durumlarda periyodun ve buna bağlı olarak kesit etkisi dağılımının değiştiğini ve artan ötelenmelerden dolayı sistemin ikinci mertebe etkilerine maruz kaldığını göstermişlerdir. Radye temel tipi kullanarak tasarladıkları

yapıda K1, K2, K3 ve K4 dönme rijitlikleri kullanılmıştır. Değerler 8000-2000 kN/m arasında alınmıştır. Yapının ankastre modellendiği yapıyı Model 1, yaylarla modellenen modelleri Model 2 olarak adlandırmışlardır. Periyot değerlerini Model 1 için 0.31, Model 2’de K1, K2, K3 ve K4 için sırasıyla 0.14, 0.16, 0.16 ve 0.18 olarak bulmuşlardır. Model 1’de temel dönmediği kabul edilirken, Model 2’de K1, K2, K3 ve K4 için sırasıyla 0.021, 0.025, 0.027ve 0.033 olarak gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda zemin koşullarının iyi olmadığı durumlarda rijit zemin kabulünün yetersiz kaldığı görülmüştür.

Renzi ve ark. (2013), tarafından zemin-yapı etkileşiminin etkisini incelemek amacıyla yapılan çalışmada betonarme çerçeveli binanın zemine ankastre bağlı olduğu durum da incelenmiştir. Betonarme bina tek serbestlik dereceli sistem olarak analize dahil edilmiştir.20 katlı binanın altında radye temel kullanılmıştır.3 farklı zemin analizlerde dikkate alınmıştır. Zemin yapı etkileşiminin yapıdaki sönümü, yapı periyodunu, yapının deprem talebini, ikinci mertbe etkilerini arttırdığını çalışma sonucunda belirtmişlerdir.

Çaycı ve İnel (2015) çalışmalarında binaların sismik taleplerine yapı zemin etkileşiminin etkilerini zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz ile araştırmışlardır. 7 katlı bir bina yapı zemin etkileşimi ihmal edilmeden ve ihmal edilerek ankastre mesnet kabulüne göre karşılaştırılmıştır. Çalışmalarının sonucunda zemin yapı etkileşiminin genellemeye uygun olmadığını karmaşık bir konu olduğunu vurgulamışlardır. Yapı zemin ortak davranışının etkisini araştırmada daha fazla ivme kaydı, zemin ve bina tipi modelinin gerekliliğinden bahsetmişlerdir.

1975 ve 1998 Afet Yönetmelikleri kullanılarak farklı kat yüksekliğine sahip binalar modellenmiştir. Farklı rijitliğe sahip zemin tipleri ve ankastre zemin tipi için zaman tanım alanında doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda doğrusal elastik davranışın kabul edildiği modellerde yapıya gelen temel dönme ve zemin deformasyon taleplerinin azaldığı, doğrusal elastik olmayan modellerde ise daha karmaşık olduğu ortaya çıkarılmıştır. Bütün modellerde zemin rijitliğinin artması ile yapıya gelen talepler azalmıştır. Çalışma sonucunda zemin yapı etkileşimli doğrusal elastik olmayan bina modellerinin daha gerçekçi olduğu ortaya çıkarılmıştır (Çaycı,2016).

Saffet Kılıçer (2016) yüksek lisans tezinde yapı zemin etkileşimli bir parametrelili, iki parametrelili ve üç parametrelili modelleri anlatmıştır. Ülkemizde kullanılan paket programlarda Winkler tek parametrelili yapı zemin etkileşimli model kullanılmaktadır

fakat Winkler modeli zemini gerçekçi olarak ortaya koymamaktadır. SAP 2000 paket programına MATLAB’te geliştirilen bir ara yüz aynı anda kullanılarak Geliştirilmiş Vlasov modeli kullanılmıştır. Çalışmada farklı kat sayılarına ve kat planlarına sahip betonarme yapılar için rijit yapı-zemin modeli, Winkler Modeli ve Geliştirilmiş Vlasov modeli kullanılan zemin olmak üzere üç farklı zemin tipi seçilmiştir. Rijit yapı-zemin modelinde çalışmada adlandırılan Tip1 türü yapı için X yönünde periyot 0.691, Y yönünde 0.670, Winkler modelinde X yönünde 0.892, Y yönünde 0.830, Geliştirilmiş Vlasov Modelinde ise X yönü için 1.053, Y yönü için 0.933 gözlemlenmiştir. Kılıçer’in çalışmasında eğilme momentleri elastik zemin modellerinde rijit yapı-zemin modellerine kıyasla daha büyüktür.

2018 yılında Hassani ve ark. tarafından yapılan çalışmada zemin yapı etkileşimli ve zemine ankastre bağlı tasarlanan tek serbestlik derecesine sahip sistemin elastik ve elastik olmayan yer değiştirmesine bakılmıştır. Yapı zemin etkileşimli sistemin periyodu kısa yapılar dışında elastik olmayan deplasmanın arttığı, periyodu küçük olan yapıların deprem yükü azaltma katsayısının değişimini etkilemediği, deprem yükü azaltma katsayısının artmasıyla periyodu büyük olan yapıların elastik olmayan yer değiştirmelerinin arttığı sonucuna varılmıştır.

2018 yılında Saffet Kılıçer ve Korhan Özgan çalışmalarında 12 katlı betonarme bir binayı Winkler, Geliştirilmiş Vlasov ve rijit temel kabulüne göre analiz etmişlerdir. Kolonlara gelen eksenel kuvvelere, kat yer değiştirmelerine, binanın doğal titreşim periyoduna, farklı doğrultudaki eğilme momentlerine ve taban kesme kuvvetlerine bakılan çalışmalarının sonucunda zeminin betonarme yapı tasarımında ihmal edilmemesi gerektiğini göstermişlerdir.

Ada (2020) doktora tezinde yapı-zemin-yapı etkileşiminin yapı-zemin etkileşimi kadar önemli olduğunu vurgulamaktadır. 3,6 ve 12 katlı ülke yapı stoğunu temsil eden binalar kullanarak zeminin yapıya tam bağlı olduğu ve yapı-zemin etkileşimli modelleri kıyaslamıştır. Sonrasında 432 durum için yapıların birbirine bağlı olduğu yapı-zemin-yapı etkileşimini araştırmıştır. Yapıların zemine tam bağlı olduğu durumlarda periyotlar 0.286 ile 1.212 arasında değişirken, yapı-zemin etkileşimli modellerde 0.293 ile 1.238 arasındadır. Zemin rijitliğinin düşük olduğu durumlarda periyot artışlarının daha yüksek rijitliğe sahip zeminlere oranla daha fazla olduğunu belirtmiştir. Yapıların yumuşak

zemin üzerine kurulu olduğu durumlarda yapı-zemin-yapı etkileşimlerinin daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır.

2020 yılında Ethemoğlu tarafından yapılan çalışmada 5,10 ve 15 katlı farklı üç adet bina, 3 adet zemin sınıfı ve zemin sınıflarında meydana gelmiş 7 adet deprem kaydı seçilerek doğrusal elastik olmayan artımsal dinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Yapı zemin etkileşimli ve etkileşimsiz iki durum için gerçekleştirilen analizler sonucunda binaların kesit hasarlarından performans seviyeleri belirlenmiştir.3 hasar kriteri için hasar olasılık eğrileri hazırlanmıştır. Çalışma sonucunda yapıların hasar olasılığının yapı zemin etkileşimli modellerde arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Ahmadı (2020) çalışmasında farklı kat yüksekliğine sahip betonarme binalarda rijit temel ve yapı-zemin etkileşiminin yaylar ile temsil edildiği model kullanarak zeminin farklı geoteknik koşullarda betonarme yapıların sismik performansına etkisini araştırmıştır. Araştırma sonucunda ZD VE ZE zemin sınıfındaki yumuşak zeminlerde yapı-zemin etkileşiminin yapı sismik davranışını daha fazla etkilediğini vurgulamıştır. Esnek zeminin kullanıldığı modellerdeki kapasite eğrilerinden zayıf zemin şartlarında yapı-zemin etkileşiminin yapıların davranışını çok değiştirdiği anlaşılmıştır.

Sarioğlu (2020) çalışmasında farklı kat yüksekliğine sahip binalarda dinamik ve statik analiz yaparak ankastre mesnet varsayımı ve temel zemin etkileşimini incelemiştir. Çalışmasının sonucunda ankastre mesnet kabulü ve temel zemin etkileşimli modeller arasında yüksek rijitliğe sahip binalarda farkın az olduğunu ortaya koymuştur. Eksenel yük oranlarının zeminlerin rijitliğinin düşmesi durumunda yükseldiğini gözlemlemiştir. Tabana gelen kesme kuvvetleri ve kolonların moment kapasitelerinin arttığı sonucuna varmıştır.

Temel, zemin ve üst yapı arasındaki etkileşimi ifade eden yapı-zemin etkileşimi yapı davranışlarının belirlenmesinde yapıların dış etki olarak dikkate alınan sismik kuvvetlere tepkisini daha iyi ortaya koymaktadır. Beş farklı zemin tipi ve 10 katlı üç farklı model çerçeveli, perdeli ve perdeli çerçeveli olarak modellenmiştir. Çalışmada zeminin sert kayadan yumuşak zemine doğru gitmesiyle görelî deplasman ve yer değiştirme oranı değerlerinin arttığı sonucuna varılmıştır (Syan,2021).

Öz (2021) doktora tezi çalışmasında 40 adet betonarme yapı üzerinde doğrusal olmayan analizler yapmıştır. 1998 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ve 2007 Türkiye Deprem Yönetmeliği referans olarak yapı-zemin etkileşiminin mevcut yapılarda deprem

performansına etkisini araştırmıştır. alışmasında sıkı, orta, yumuşak ve ankastre zemin modellerini kullanmıştır. Betonarme binalarda yatay dayanım oranı yeni binalarda sıkı zeminde %31,974 elde edilirken, orta zeminde %31,915 olarak ve yumuşak zeminde ise %31, 420 oranında gözlemlenmiştir. Eski binalarda ise bu oranlar sırasıyla %15,704, %15,761 ve %15,845'tir. Sıkı zemin titreşim periyodunda yeni binalar için %1,63 oranında bir artışa neden olurken eski binalarda %2,45 artış gözlemlenmiştir. Orta zemin durumunda bu oranlar %10,75 ve %9.44, yumuşak zeminler için ise sırasıyla %33,39 ve %27,55 olarak elde edilmiştir. Tez alışması sonucunda zeminin zayıflamasının eski binalarda yapı deprem performansını azalttığı ve 1998 yılından önce inşa edilen binalarda yapı-zemin etkileşiminin yapıların deprem performansını kötüleştirdiği sonucuna varmıştır.

2. TBDY 2018'DE DAYANIMA VE ŞEKİLDEĞİŞTİRMEYE GÖRE DEĞERLENDİRME VE TASARIM YAKLAŞIMI

2.1. TBDY 2018'de Dayanıma Göre Tasarım Yaklaşımı

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018 4.1'de dayanıma göre tasarım yaklaşımının adımları açıklanmıştır. Bu adımlara göre taşıyıcı sistemin süneklik kapasitesine karşılık gelen deprem yükleri öngörülen belirli bir performans hedefi için belirlenir ve deprem yükü azaltma katsayısına bölünerek azaltılır.

Azaltılan deprem yükleri altında sistemin doğrusal deprem hesabı gerçekleştirilir. Elemanlarda meydana gelen azaltılmış iç kuvvetler sisteme etkiyen ölü ve hareketli yük gibi diğer yüklerden meydana gelen iç kuvvetlerle birleştirilir ve sistemin dayanım talepleri belirlenir. Belirlenen talepler elemanların dayanım kapasiteleri ile kıyaslanır. Göreli kat ötelemeleri izin verilen sınırlarla kıyaslanır. Göreli kat ötelemelerinin üst sınırı aşmadığı ve dayanım kapasitelerinin dayanım taleplerinin üstünde olduğu gösterilerek dayanıma göre tasarım tamamlanır. İki karşılaştırmanın sağlanmadığı durumlarda eleman kesitleri değiştirilerek hesap tekrarlanır.

2.1.1. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ve Dayanım Fazlalığı Katsayısı

TBDY 2018 4.3.2'de taşıyıcı sistem davranış katsayıları (R) ve dayanım fazlalığı katsayıları (D) yerinde dökme betonarme bina taşıyıcı sistemler için gösterilmiştir. Akma dayanımının tasarım dayanımına oranı dayanım fazlalığı katsayısı olarak ifade edilir. Çalışmada kullanılan süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistem için $R=8$ ve $D=3$ Çizelge 2.1' den alınmıştır.

Çizelge 2.1. Bina taşıyıcı sistemleri için taşıyıcı sistem davranış katsayısı, dayanım fazlalığı katsayısı ve izin verilen bina yükseklik sınıfları

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
A. YERİNDE DÖKME BETONARME BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
A1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
A11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	$BYS \geq 3$
A12. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar	7	2.5	$BYS \geq 2$
A13. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	6	2.5	$BYS \geq 2$
A14. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	8	2.5	$BYS \geq 2$
A15. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	7	2.5	$BYS \geq 2$
A16. Deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği 12 m'yi geçmeyen <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar	3	2	–

2.1.2. Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı

TBDY2018 4.2.1’de verilen deprem yüğü azaltma katsayısı $R_a(T)$ denklem 2.1 ve denklem 2.2 olarak tanımlanmıştır.

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad T > T_B \quad (2.1)$$

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D\right) \frac{T}{T_B} \quad T \leq T_B \quad (2.2)$$

Denklemlerde R taşıyıcı sistem davranış katsayısını ifade ederken, D dayanım fazlalığı katsayısını, I bina önem katsayısını ifade etmektedir. T doğal titreşim periyodunu ve T_B spektrum köşe periyodunu göstermektedir.

2.2. TBDY 2018’de Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım Yaklaşımı

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018 5.1.1’de şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım yaklaşımı açıklanmıştır. Bu yaklaşıma göre:

(a) Mevcut veya daha önce ön tasarımı yapılmış taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal olmayan modelleme yaklaşımları ile uyumlu iç kuvvet – şekildeğiştirme bağıntıları belirlenir.

(b) Öngörülen performans hedefleri ile uyumlu olarak seçilen deprem yer hareketleri altında, taşıyıcı sistemin statik veya zaman tanım alanında dinamik artımsal yöntemlerle hesabı yapılır, doğrusal olmayan sünek davranışa ilişkin şekildeğiştirme talepleri ile gevrek davranışa ilişkin dayanım talepleri elde edilir.

(c) Elde edilen şekildeğiştirme ve iç kuvvet talepleri, öngörülen performans hedefleri ile uyumlu olarak tanımlanan şekildeğiştirme ve dayanım kapasiteleri ile karşılaştırılır.

(d) Mevcut binalar için, şekildeğiştirme ve dayanım taleplerinin bunlara karşı gelen şekildeğiştirme ve dayanım kapasitelerinin altında olduğu veya onları aştığı gösterilerek şekildeğiştirmeye göre değerlendirme tamamlanır.

(e) Yeni yapılacak veya güçlendirilecek mevcut binalar için şekildeğiştirme ve dayanım talepleri, bunlara karşı gelen şekildeğiştirme ve dayanım kapasitelerinin altında ise şekildeğiştirmeye göre tasarım tamamlanır.

Aksi durumda eleman kesitleri değiştirilir ve hesap tekrarlanarak yeniden değerlendirme yapılır ve bu şekilde şekildeğiştirmeye göre tasarım sonuçlandırılır.

2.2.1. Doğrusal Olmayan Davranış

Elemanlar dayanım değerlerine ulaştığında hasar oluşmaktadır ve elemanlar plastik deformasyon yapmaktadır. Böylece artan yüklerin etkisi karşılanır. Akma

noktasına ulaşan elemanlardan diğer elemanlara yük aktarılır ve sistem içerisinde bir uyum oluşur. Yük aktarımları elemanların dayanıma ulaşılması beklenen bölgelere atanan plastik mafsallar ile gerçekleştirilir.

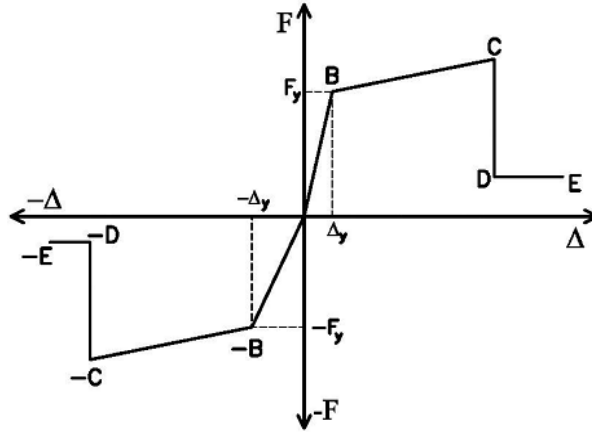
Yapıların deprem yükleri etkisinde analizi yapılırken en güvenilir metot olarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz kabul görmektedir. Fakat doğrusal olmayan analiz metodunun, uygun yer hareketi kaydının elde edilmesi, yapı elemanlarının çevrimsel modellerinin oluşturulması, hesaplama ve yorumlama için fazla zaman ihtiyacı gibi olumsuzlukları vardır. Bu sebeple doğrusal olmayan statik itme analizi uygulamacılar tarafından daha fazla tercih edilmektedir. Doğrusal olmayan statik itme analizi yapının deprem yükleri altında, yer değiştirme istemlerinin ve bina kapasitesinin belirlenmesinde daha anlaşılır bir yaklaşımdır.

Doğrusal olmayan analizde elastik analizden farklı olarak elemanların belirli bir dayanım kapasitesi mevcuttur. Elemana etkiyen yük etkileri arttıkça rijitliğinde düşme olur ve kritik bölgelerde dayanım değerine ulaştıktan sonra eleman sabit sayılabilecek yük değerinde deformasyon yaparak enerji sönmülemeye devam eder. Bu durum eleman şekildeğiştirme kapasitesini kaybedene kadar sürer. Doğrusal olmayan analizdeki bu dayanım şekildeğiştirme ilişkisi “plastik mafsallar” aracılığıyla modellenir (Özmen ve ark, 2007).

2.2.2. Plastik Mafsal Kavramı ve Doğrusal Olmayan Davranış Modelleri

Plastik mafsallar elemanın dayanımı ile deformasyonu arasındaki ilişkiyi belirler. Betonarme elemanlar gevrek madde olan beton ve sünek madde olan donatı çeliğinden oluşmaktadır. Dolayısıyla donatı çeliğinin kontrol ettiği hasar durumları sünektir. Eksenel yük, kesme, burulma ve eğilme hasar durumlarından sadece eğilme hasar durumu sünektir. Bu durumda sadece eğilme mafsalı için deformasyon kapasitesi hesaplanmalıdır. Şekil 2.1’de verilen eğrideki noktaların dayanım-deformasyon ilişkisinin hesaplanması ile elemanın davranışı belirlenir. Kolon elemanlarda iki eksende 16 adet moment mafsalı hesaplanır. Kiriş elemanlarda tek eksende eğilme davranışı gösterdiği varsayılmasına rağmen pozitif ve negatif deformasyonlar için yine 16 adet değer hesaplanır.

Malzemelerin gerilme-birim şekil değiştirme (σ - ϵ) ilişkisi sargı etkisine bağlı olarak biliniyorsa moment-eğrilik ilişkisi hesaplanabilir. Dayanım deformasyon ilişkisi moment-eğrilik(M - Φ) ile tanımlanır. Yığılı plastik davranış modeline göre plastik mafsallık boyu ile eğrilik değerlerinin çarpımından moment-dönme ilişkisi hesaplanır. Bu ilişkiler plastik mafsallık değerlerini oluşturur.



Şekil 2.1. Betonarme elemana ait tipik kuvvet-şekildeğiştirme (F - Δ) eğrisi (Özmen ve ark, 2007)

Doğrusal olmayan davranış modelleri yığılı plastik davranış modeli ve yayılı plastik davranış modeli olarak ikiye ayrılır. TBDY-2018 bölüm 5.3’de bu modeller ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

TBDY-2018’e göre yığılı plastik davranış modelinde iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekildeğiştirmelerin düzgün yayılı biçimde olduğu varsayılmaktadır. Plastik mafsallık boyu olarak adlandırılan plastik şekildeğiştirme bölgesi’nin uzunluğu (L_p) çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h)’nin yarısına eşit alınacaktır ($L_p \cong 0.5h$). Sadece eksenel kuvvet altında plastik şekildeğiştirme yapan elemanların plastik şekildeğiştirme bölgelerinin uzunluğu, ilgili elemanın serbest boyuna eşit alınacaktır.

TBDY-2018’de yayılı plastik davranış modelleri sonlu uzunluktaki uç bölgeleri (plastik şekildeğiştirme bölgeleri) veya elemanın tüm uzunluğu boyunca doğrusal olmayan şekildeğiştirmeleri sürekli (yayılı) biçimde göz önüne almak üzere kullanılabilir şeklinde açıklanmaktadır.

3. 4 KATLI BETONARME BİNANIN TASARIMI VE MODELLENMESİ

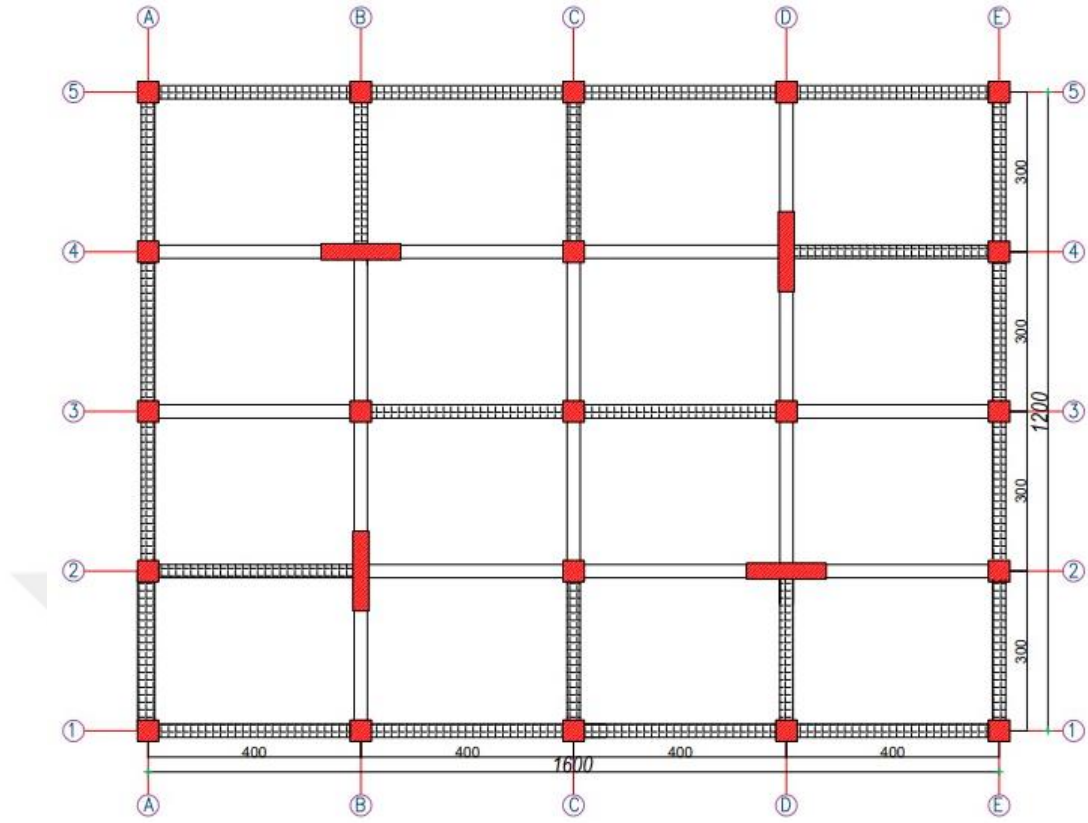
Bu bölümde binaya ait genel özellikler, deprem ile ilgili parametreler, taşıyıcı sistem bilgileri, binaya etkiyen yükler, yapının üç boyutlu modellenmesi, temellerin boyutlandırılması ve modellenmesi detaylı olarak incelenmiştir.

3.1. Binaya Ait Genel Özellikler

İnel ve ark. (2009), çalışmalarında 475 mevcut betonarme binaya ait yapısal özellikleri değerlendirmişlerdir. Kat sayısı ve yapım tarihine göre binaları alt gruplara ayırmışlardır. Kullanılan malzeme, plan boyutları oranı, ortalama kat yüksekliği, dolgu duvarların bulunup bulunmaması gibi yapısal değerleri tablo haline getirmişlerdir (İnel ve ark., 2009).

Tez çalışmasında kullanılan bina modellerinin özelliklerinin belirlenmesinde mevcutla ilgili envanter çalışması (İnel vd., 2009) verileri dikkate alınmıştır. 4 katlı betonarme bir bina SAP2000 23.0.0 analiz programında modellenmiştir. Yapıya gelen yükler ve deprem ile ilgili bilgiler diğer bölümlerde detaylı olarak anlatılmıştır.

4 katlı yapıda her katın yüksekliği 2.8 m olarak alınmıştır. Toplam bina yüksekliği 11.2 m'dir. Betonarme bina konut kullanım amacına göre tasarlanmıştır. Tasarımda beton sınıfı C30/37 olarak, donatı çeliği sınıfı S420 olarak kullanılmıştır. Beton elastisite modülü (E_c) ve donatı çeliği elastisite modülü (E_s) sırasıyla 32.000 MPa, 200.000 MPa'dır. Beton karakteristik basınç dayanımı (f_{ck}) 30 MPa ve beton malzeme güvenlik katsayısı (γ_{mc}) 1.5'tur. Donatı çeliği karakteristik akma gerilmesi (f_{yk}) 420 MPa ve donatı çeliği malzeme güvenlik katsayısı (γ_{ms}): 1.15'tir. Akslar arası mesafe x doğrultusunda 4 m, y doğrultusunda 3 m'dir. Bina taşıyıcı sistem elemanlarından kolonlar 400x400, 300x1500, 1500x300 mm olmak üzere 3 tiptir. Tüm kirişler 250x600 mm olarak modellenmiştir. 4 katlı binanın kalıp planı her katta aynıdır. Şekil 3.1'de 4 katlı betonarme binanın kalıp planı gösterilmiştir.



Şekil 3.1. 4 katlı betonarme binaya ait kalıp planı

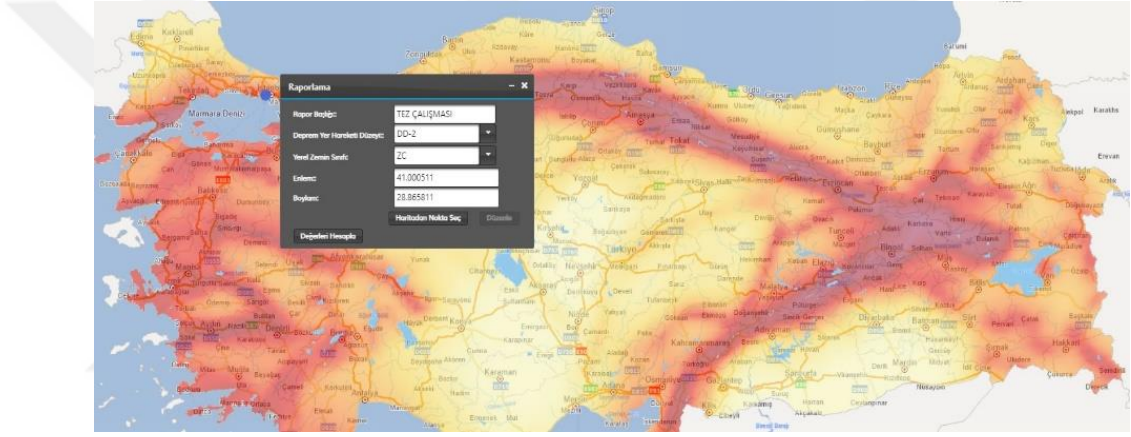
Kalıp planında bakıldığında çalışmada farklı boyutta kolonlar kullanıldığı görülmektedir. Aynı boyutta kolonlar kullanılarak yapılan ön analizler sonucunda etkilerin sınırlı oranda değiştiği gözlemlenmiştir. Kolonların boyutları ve rijitlik farkının fazla olmasıyla zemin rijitliğindeki değişimin daha kritik durumlara sebep olacağı düşünülmüştür. Bu nedenle sistemde yüksek rijit ve düşük rijitlikte kolonlar kullanılarak zemin rijitliğinin sonsuz ankastre yerine sonlu bir değere ulaşmasıyla rijitliği büyük olan kolonların daha çok, rijitliği küçük olan kolonların daha az etkilenmesi amaçlanmıştır.

3.2. Deprem İle İlgili Parametreler

2018 yılında hazırlanan TBDY ile 1996 yılında hazırlanan deprem bölgeleri haritası yerine deprem tehlike haritası kullanılmaya başlanmıştır. Bölgesel değil noktasal lokasyona bağlı olan haritada deprem yer hareketleri tanımlanmaktadır. 4 farklı yer hareketi düzeyinde deprem tehlikesi tanımlanır.

3.2.1. Spektral İvme Katsayıları

Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketi Deprem Yer Hareketi Düzeyi -2 (DD -2) esas alınarak <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml> internet adresinden ZC yerel zemin sınıfı tanımlanarak 41.000511° enlem ve 28.865811° boylamlarına sahip İstanbul ili Bahçelievler ilçesinden seçilen binaya ait kısa periyod bölgesi spektral ivme katsayısı (S_s) ve $T=1.0$ için spektral ivme katsayısı (S_1)'e erişilir. TDTH web uygulamasında enlem ve boylam tanımlanması Şekil 3.2 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.2. TDTH web uygulamasında enlem ve boylam tanımı

S_s ve S_1 biliyorsa TBDY2018'e göre kısa periyod tasarım spektral ivme katsayısı (S_{ds}) ve tasarım spektral ivme katsayısı (S_{d1}) denklem 3.1 ve denklem 3.2 kullanılarak hesaplanır.

$$S_{ds} = S_s \cdot F_s \quad (3.1)$$

$$S_{d1} = S_1 \cdot F_1 \quad (3.2)$$

Formüllerde geçen Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı (F_s) ve 1,0 saniye periyot değerinde Yerel Zemin Etki Katsayısı (F_1) yerel zemin sınıflarına bağlıdır ve Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2'den alınır.

Çizelge 3.1. Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_s					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Çizelge 3.2. 1,0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Yukarıda verilen bilgilere göre <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml> internet adresinden elde edilen $S_s=1.096$ ve $S_1=0.301$ 'dir.Çizelge 3.1'e göre kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı $F_s=1.200$ olarak hesaplanmıştır. Çizelge 3.2'ye göre 1.0 saniye periyot bölgesi değerinde yerel zemin etki katsayısı $F_1= 1.500$ olarak hesaplanmıştır. F_s ve F_1 bulunduktan sonra denklem 3.1 ile $S_{d_s} = 1.315$ ve $S_{d_1} =0.451$ olarak hesaplanır.

TBDY 2018 2.3.4.1’de yatay elastik tasarım spektrumunun belirlenmesi açıklanmaktadır. Herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım ivme spektrumu’nun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{ae}(T)$, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden denklem 3.3- 3.4- 3.5 ve denklem 3.6 ile aşağıda verilmiştir.

$$S_{ae}(T) = \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (3.3)$$

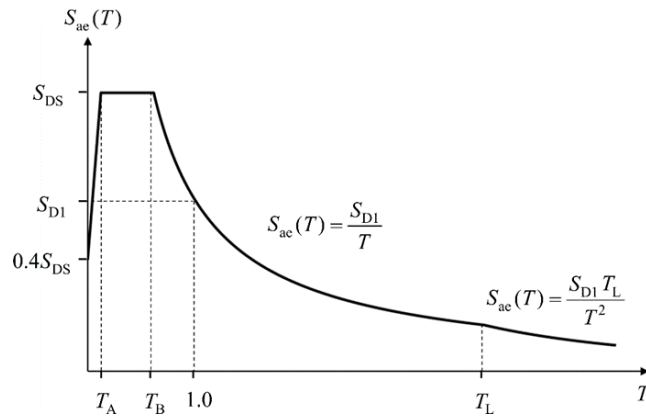
$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (3.4)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T_B \leq T \leq T_L) \quad (3.5)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T) \quad (3.6)$$

Yukarıdaki denklemde yer alan sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu $T_L=6.0$ s alınacaktır. T doğal titreşim periyodunu ifade etmektedir. Yatay tasarım spektrumu köşe periyotları T_A ve T_B , S_{DS} ve S_{D1} e bağlı olarak denklem 3.7 ile tanımlanır. 4 katlı betonarme bina için $T_A = 0.069$ (s), $T_B=0.343$ (s) olarak hesaplanmıştır. Deprem yer hareketi düzeyi için ivme spektrumu Şekil 3.3 ile gösterilmiştir.

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}, \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}, \quad T_L = 6.0 \text{ s} \quad (3.7)$$



Şekil 3.3. Deprem yer hareketi düzeyi için ivme spektrumu

3.2.2. Bina Kullanım Sınıfı ve Bina Önem Katsayısı

TBDY 2018 bölüm 3.1’de deprem tasarım sınıfının belirlenmesi için yapılara kullanım amacına göre kullanım sınıfı ve önem katsayıları tayin edilmiştir. Çizelge 3.3’e göre tez çalışması kapsamında tasarlanan 4 katlı betonarme bina konut olarak kullanılacaktır ve bina kullanım sınıfı (BKS) =3, bina önem katsayısı (I)=1.0 olarak alınmıştır.

Çizelge 3.3. Bina kullanım sınıfı ve bina önem katsayısı

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1.2
BKS = 3	Diğer binalar BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1.0

3.2.3. Deprem Tasarım Sınıfı ve Bina Yükseklik Sınıfı

TBDY 2018 3.2’de bina yükseklikleri dikkate alınarak bina yükseklik sınıflarına (BYS) ayrılmıştır. Bu sınıflara giren binalar için yükseklik aralıkları, deprem tasarım sınıfları ile bağlantılı olarak açıklanmıştır. Bina yükseklik sınıfı 1 olan binalar yüksek binalar olarak sınıflandırılacaktır.

Tez çalışmasında kullanılan betonarme binanın kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı $S_{d5} = 1.315$ ve bina kullanım sınıfı $BKS=3$ olduğunda deprem tasarım sınıfı Çizelge 3.4’e göre $DTS=1$ olarak alınmıştır.

Çizelge 3.4. Deprem tasarım sınıfı

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

Bina yükseklik sınıfı bina yüksekliği ve deprem tasarım sınıflarına göre belirlenmektedir. Tasarımı yapılacak binanın deprem tasarım sınıfı $DTS=1$ ve toplam bina yüksekliği 11.2 m olduğundan bina yükseklik sınıfı Çizelge 3.5’e göre $BYS=6$ olarak belirlenir.

Çizelge 3.5. Bina yükseklik sınıfı ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS =1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	

Çizelge 3.5. Devam

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

3.3. Taşıyıcı Sisteme Ait Bilgiler

Bu bölümde bina taşıyıcısı sistemini oluşturan kolonlar, kirişler, döşemeler ve dolgu duvarlar anlatılmıştır.

3.3.1. Kolon, kiriş ve döşemelere ait bilgiler

Çalışmada 3 tip kolon taşıyıcı elemanı kullanılmıştır. 1. tip kolonlar 400x400 mm boyutuna sahip ve 21 adettir. 2. ve 3. tip kolonlar iri kolon olarak adlandırılmıştır. 2. tip kolonlar 1500x300 mm ve 2 adettir. 3. tip kolonlar 300x1500 mm boyutuna sahiptir ve 2 adettir. Kolonların boyuna donatı oranı $\%1 \approx \%1,2$ arasında değişmektedir. Tasarımda kullanılan kirişler tek boyut olup 250x600 mm olarak boyutlandırılmıştır. Döşemelerin üzerindeki yükler kirişlere aktarıldığından üç boyutlu modelde döşemeler tasarlanmamıştır. Böylece doğrusal olmayan analiz süresi kısaltılmıştır. Taşıyıcı sistemin boyutlandırılmasında idacad v10.59 paket programı kullanılmıştır ve TBDY 2018 ile TS-500 esas alınmıştır.

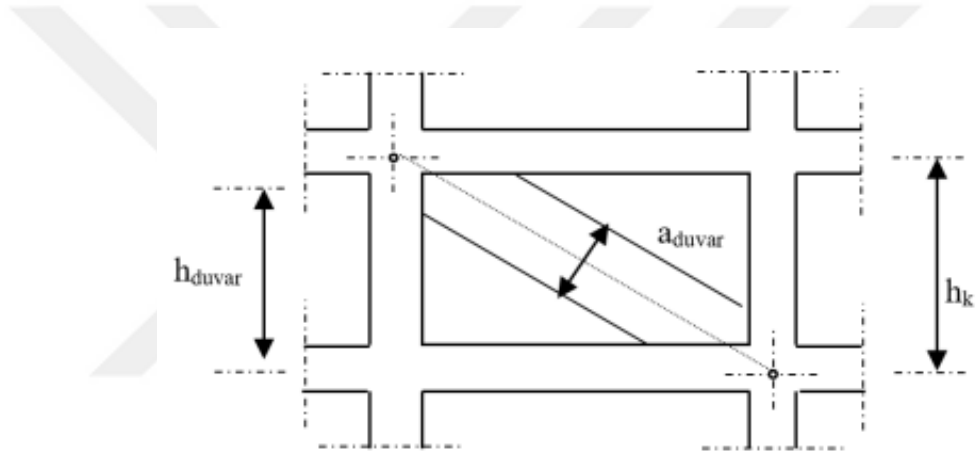
3.3.2. Dolgu duvarlara ait bilgiler

Betonarme binaların davranışında dolgu duvarlar ihmal edilemeyecek etkilere sahiptir. Bu nedenle tasarlanan 4 katlı betonarme bina dolgu duvarlar kullanılarak tasarlanmıştır. Dolgu duvarların elastisite modülü ve basınç dayanımı için literatürde çeşitli değerler tavsiye edilmektedir.

FEMA 356 (2000)'dan orta dayanımlı haller için basınç dayanımı (f_m) 600 psi (4.137 MPa), kesme dayanımı ise 10 psi (0.07 MPa) alınmıştır. Çalışmada kullanılan elastisite modülü (E_d) FEMA 356 (2000)'den alınmıştır. Denklem 3.8 ile hesaplanan elastisite modülü 2275,35 MPa'dır.

$$E_m = 550 f_m \quad (3.8)$$

Çalışmada 20 cm kalınlığında dolgu duvar kullanılmıştır. Dolgu duvarlar Şekil 3.4'te gösterildiği gibi diyagonal (eşdeğer) basınç çubuğu ile modellenmiştir.



Şekil 3.4. Diyagonal (eşdeğer) basınç çubuğu ile dolgu duvar modellenmesi

Çubukların genişliği TBDY-2018 tarafından önerilen denklemler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$a_d = 0.175(\lambda_d h_k)^{-0.4} r_d \quad (3.9)$$

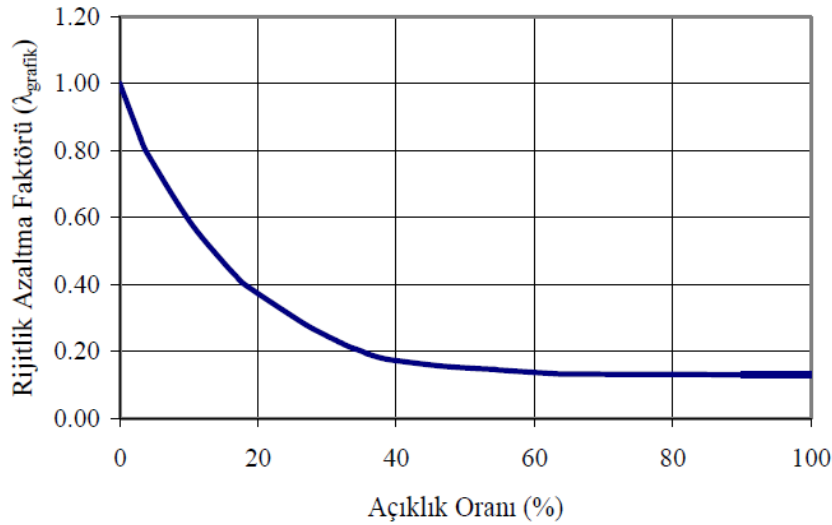
$$\lambda_d = \left[\frac{E_d t_d \sin 2\theta}{4 E_c I_k h_d} \right]^{1/4} \quad (3.10)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{h_d}{L_d} \right) \quad (3.11)$$

Denklem 3.9’da geçen a_d çubuk genişliğini, h_k kolon boyunu, r_d dolgu duvarı köşegen uzunluğunu temsil etmektedir. Denklem 3.10’da verilen E_d dolgu duvarın elastisite modülünü, t_d dolgu duvar kalınlığını, E_c çevresindeki betonun elastisite modülünü, h_d dolgu duvar yüksekliğini, I_k kolonun atalet momentini, θ dolgu duvar diyagonal açısını temsil etmektedir.

Dolgu duvarlarda kapı ve pencere boşlukları bulunmaktadır. Tez çalışmasında dışardaki duvarlarda tüm katlarda kapı ve pencere boşluğu olduğu varsayılarak rijitlik azaltılmıştır. Boşluklar 160x180 cm olarak kabul edilmiştir ve boşluk alanının dolgu duvar alanına oranıyla boşluk yüzdesi x yönünde %36, y yönünde %50 olarak hesaplanmıştır.

Asteris (2003)’ün “B durumu” diye nitelendirdiği eğriden rijitlik azaltma faktörü Şekil 3.5’e göre x ve y yönlerinde 0.18 okunmuştur. Rijitlik azaltma faktörü ile çubuk genişliğinin çarpımından yeni çubuk genişliği değerleri elde edilmiştir.



Şekil 3.5. Açıklık oranı (%) ile rijitlik azaltma faktörü (λ_{grafik}) arasındaki ilişki (Asteris, 2003)

Bu bölümde anlatılan dolgu duvar modellemesi için gerekli veriler Çizelge3.6’da özetlenmiştir.

Çizelge 3.6. Eşdeğer basınç çubuğu kalınlığını belirlemede yardımcı veriler

VERİLER	X YÖNÜ		Y YÖNÜ	
	İÇ DUVARLAR	DIŞ DUVARLAR	İÇ DUVARLAR	DIŞ DUVARLAR
H (m)	2,80	2,80	2,80	2,80
h_d (m)	2,20	2,20	2,20	2,20
t_d (m)	0,20	0,20	0,20	0,20
E_d (MPa)	2.275,35	2.275,35	2.275,35	2.275,35
E_c (MPa)	32.000	32.000	32.000	32.000
λ_d	0,000906	0,000906	0,000930	0,000930
a_d (mm)	508,79	91,58	406,51	73,17

3.4. Taşıyıcı Sistem Boyutlandırmasında Dikkate Alınan Yükler

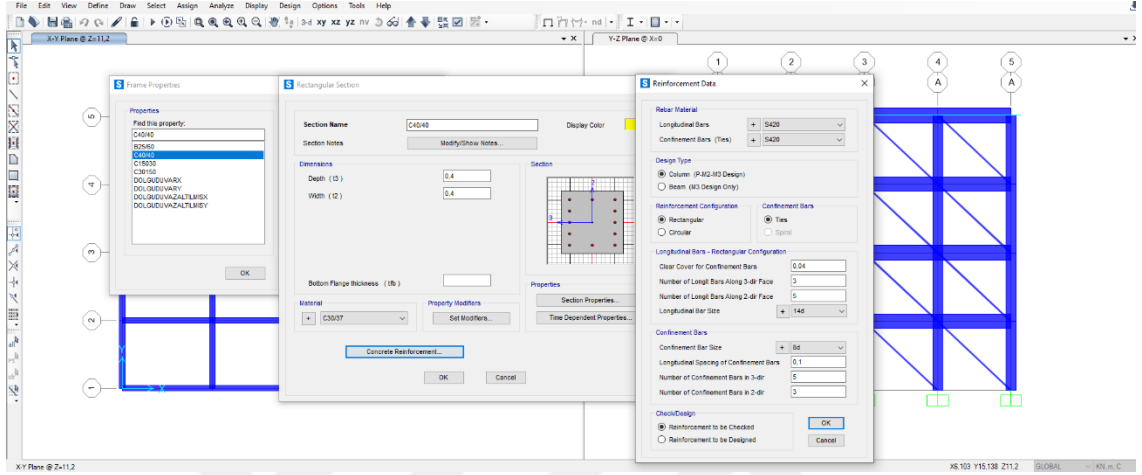
Taşıyıcı sistemin boyutlandırmasında Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yükler Yönetmeliği'nden (TS498, 1987) hareketli yükler ve duvar yükleri belirlenmiştir. Tez çalışmasında döşemeler tasarlanmamıştır. Döşemelerin etrafındaki kirişlere döşemelere gelen yükler üçgen ve trapez yük olarak etkitilmiştir. Kenardaki x yönündeki kirişlere 10,02 kN/m , y yönündeki kirişlere 8,23 kN/m, ortadaki X yönündeki kirişlere 20,04 kN/m, y yönündeki kirişlere 16,46 kN/m ölü yük döşemelerden aktarılmıştır. Kirişlere 5 kN/m dolgu duvar yükü de etkitilmiştir. Döşemelerden gelen 2 kN/m² hareketli yükte kirişlere aktarılmıştır.

3.5. Yapının Taşıyıcı Sisteminin Üç Boyutlu Modellenmesi

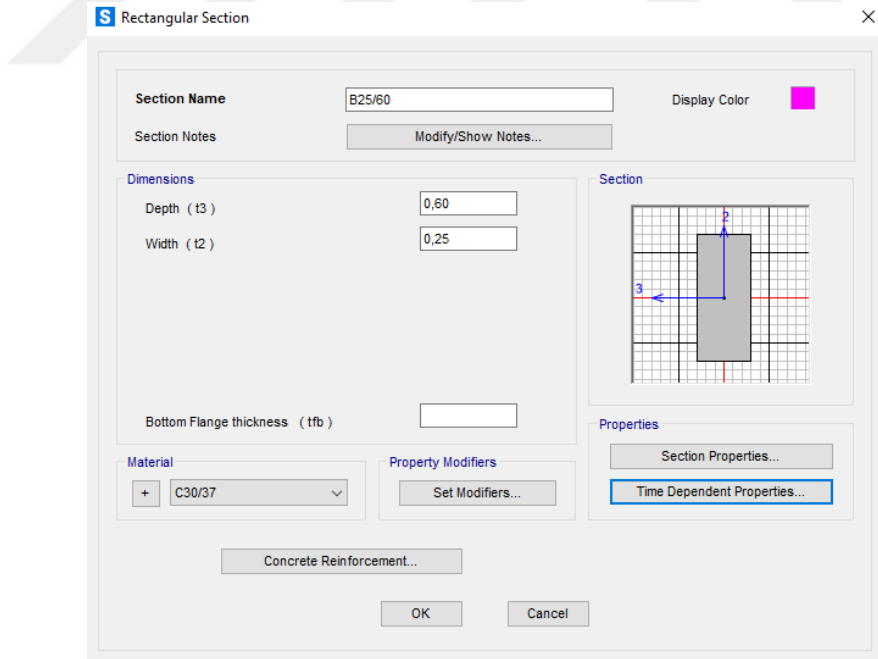
4 katlı betonarme binanın üç boyutlu modeli TBDY-2018 ve TS-500 esas alınarak SAP2000 23.0.0 versiyonu ile oluşturulmuştur.

3.5.1. Kolonların ve Kirişlerin Modellenmesi

Kolonlar ve kirişler çubuk (çerçeve) sonlu elemanlar olarak Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de verildiği gibi modellenmiştir. Modellemede yığılı plastik davranış modeli kullanılmıştır.



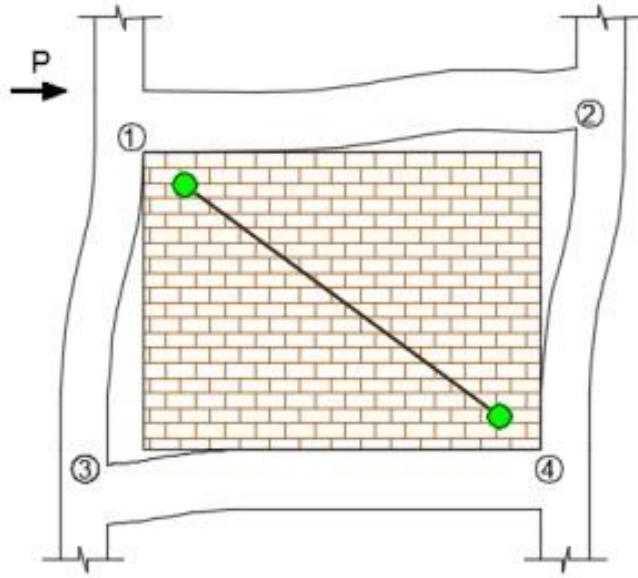
Şekil 3.6. Kolonların SAP2000 analiz programında modellenmesi



Şekil 3.7. Kirişlerin SAP2000 analiz programında modellenmesi

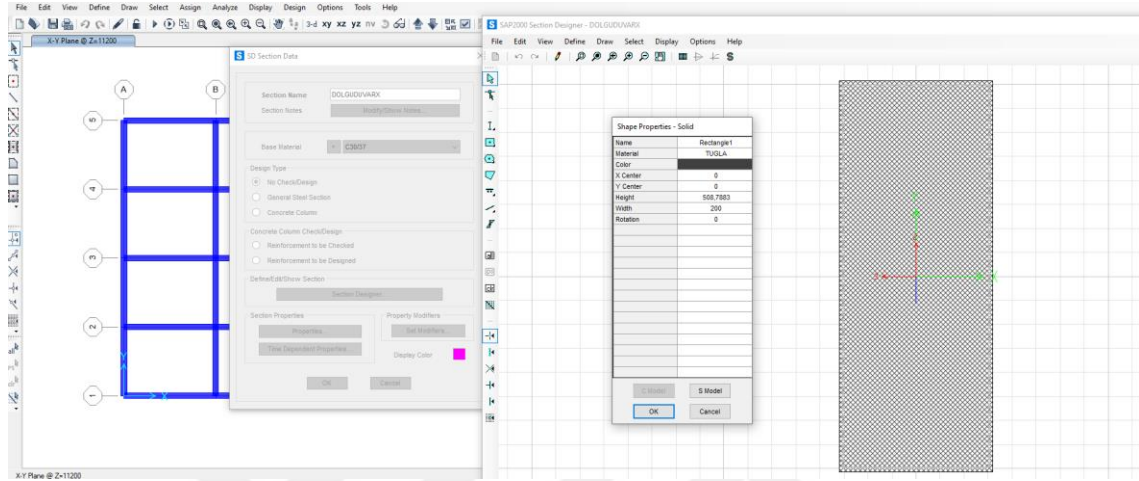
3.5.2. Dolgu Duvarların Modellenmesi

Tez çalışmasında dolgu duvarlar FEMA306 ve TBDY2018’de önerilen diyagonal (eşdeğer) çubuk yöntemi ile modellenmiştir. Eşdeğer çubuk yöntemine göre Şekil 3.7 gibi yatay yüklerin etkisiyle şekil değiştiren dolgu duvarın 2 ve 3 numaralı köşelerden bağlantısı kopacaktır. Dolgu duvarın üzerindeki yükler 1 ve 4 numaralı noktalara aktarılacaktır ve bu noktalar arasında malzemenin çekme dayanımının çok küçük olması nedeniyle ihmal edilmesinden yalnızca eksenel basınç kuvveti olan eşdeğer bir çubuk ile tanımlanacaktır. Eşdeğer çubuk SAP2000’de modellenirken, iki ucunda mafsalları olan, malzeme olarak duvar malzemesi ile aynı çerçeve elemanları göz önünde bulundurulmuştur. Binada burulma düzensizliğinin oluşmasını engellemek için x ve y doğrultularının ikisinde de dolgu duvarlar simetrik olarak yerleştirilmiştir. SAP2000 kesit düzenleyici (section designer) özelliği kullanılarak duvarın kalınlıkları ve genişliği girilmiştir. Çalışmada kullanılan dolgu duvarların tuğla olduğu kabul edilmiştir. Eşdeğer basınç çubuğu Şekil 3.8 ile verilmiştir.



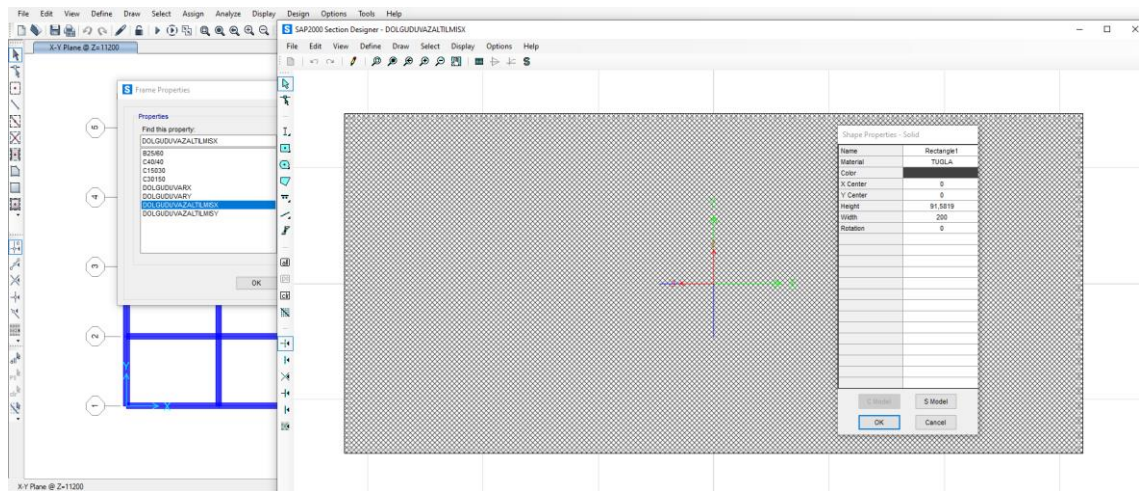
Şekil 3.8. Yatay yük etkisi durumunda şekil değiştiren çerçeve ve eşdeğer basınç Çubuğu (Öztürkoğlu ve ark, 2015)

Dolgu duvarların modellenmesinde programda bulunan kesit düzenleyici (section designer) seçeneği kullanılmıştır. Binanın iç duvarları modellenirken rijitlik azaltılmamıştır. Duvarlar modellenirken kapı ve pencerenin gelmeyeceği alanlar göz önünde bulundurulmuştur. İç duvarların modellenmesi Şekil 3.9 ile verilmiştir.



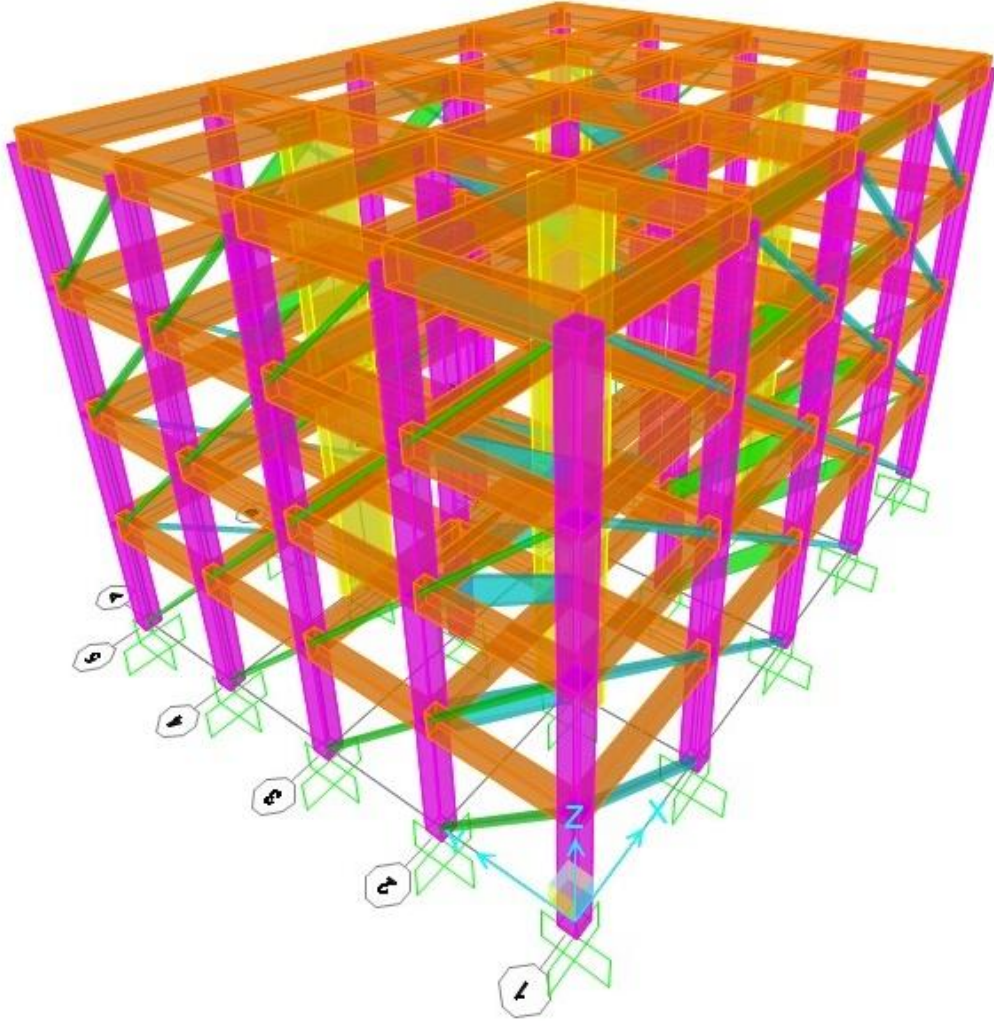
Şekil 3.9. X doğrultusunda rijitliği azaltılmamış bir duvarın programda modellenmesi

Betonarme binada dış duvarlarda pencere boşlukları dikkate alındığından dış dolgu duvarlarda rijitlik azaltılmıştır. Şekil 3.10'da dış dolgu duvarların modellenmesi gösterilmiştir.



Şekil 3.10. X doğrultusunda rijitliği azaltılmış bir dış duvarın programda modellenmesi

Bu bölümde anlatılanlara göre modellenen üç boyutlu yapı modeli Şekil 3.11 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Yapının üç boyutlu gösterimi

3.6. Etkin Kesit Rijitliklerinin SAP2000 Programında Tanımlanması

TBDY 2018 4.5.8’de sunulan tasarım yaklaşımında eksenel, eğilme ve kayma etkin kesit rijitliği çarpanlarının kullanılacağı vurgulanmıştır. Çizelge 3.7’ye göre tez çalışması kapsamında çubuk eleman olarak modellenen çerçeve kolonlar için eğilme etkin kesit rijit çarpanı 0,70, çerçeve kiriş için 0,35 ve her ikisi için kesme etkin kesit rijitliği çarpanı 1 alınmıştır

Çizelge 3.7. Betonarme taşıyıcı sistem elemanları için etkin kesit rijitliği çarpanları

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
<i>Perde – Döşeme (Düzlem İçi)</i>	<i>Eksenel</i>	<i>Kayma</i>
Perde	0.50	0.50
Bodrum perdesi	0.80	0.50
Döşeme	0.25	0.25
<i>Perde – Döşeme (Düzlem Dışı)</i>	<i>Eğilme</i>	<i>Kesme</i>
Perde	0.25	1.00
Bodrum perdesi	0.50	1.00
Döşeme	0.25	1.00
<i>Çubuk eleman</i>	<i>Eğilme</i>	<i>Kesme</i>
Bağ kirişi	0.15	1.00
Çerçeve kirişi	0.35	1.00
Çerçeve kolonu	0.70	1.00
Perde (eşdeğer çubuk)	0.50	0.50

SAP2000 analiz programında kolonlar için etkin kesit rijitliğinin tanımlanmasına örnek olarak Şekil 3.12 ve kirişler için Şekil 3.13 verilmiştir.

Frame Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0,7
Moment of Inertia about 3 axis	0,7
Mass	1
Weight	1

OK Cancel

Şekil 3.12. Kolon elemanlarına etkin kesit rijitliği tanımı

Property/Stiffness Modifiers for Analysis	
Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0,35
Moment of Inertia about 3 axis	0,35
Mass	1
Weight	1

OK Cancel

Şekil 3.13. Kiriş elemanlara etkin kesit rijitliği tanımı

3.7. Yük Birleşimlerinin SAP2000 Programında Tanımlanması

TBDY 2018 4.4.2'e göre yatayda x ve y doğrultularında birbirine dik olarak tanımlanan depremlerden meydana gelen deprem etkilerinin bağıntısı denklem 3.12-3.13 ile verilmiştir.

$$E_d^{(H)} = \pm E_d^{(x)} \pm 0.3E_d^{(Y)} \quad (3.12)$$

$$E_d^{(H)} = \pm 0.3E_d^{(x)} \pm E_d^{(Y)} \quad (3.13)$$

Denklemlerde geçen $E_d^{(x)}$ ve $E_d^{(Y)}$ deprem etkilerini, $E_d^{(H)}$ iki doğrultuda birleşme uygulanmış yatay deprem etkisini bildirmektedir. Düşey deprem etkisi TBDY2018 4.4.3'te belirtildiği gibi denklem 3.14 ile hesaplanarak dikkate alınır. Denklemden geçen G sabit yük etkisini ifade etmektedir.

$$E_d^{(Z)} \approx (2/3)S_{DS}G \quad (3.14)$$

Deprem etkisinin diğer etkilerle birleştirilmesi TBDY2018 4.4.4 te de verilen denklem 3.15 ve denklem 3.16 ile gerçekleştirilir. Denklemlerde geçen S kar yükü etkisi, H ise yatay zemin etkisini ifade eder.

$$G+Q+0.2S+E_d^{(H)} + 0.3E_d^{(Z)} \quad (3.15)$$

$$0.9G+H+E_d^{(H)} - 0.3E_d^{(Z)} \quad (3.16)$$

3.8. Eşdeğer Deprem Yükü Hesabının Açıklanması

TBDY 2018 bölüm 4.7' ye göre dikkate alınan bir deprem doğrultusunda (örneğin x doğrultusu) betonarme binaya etkiyen eşdeğer deprem kuvveti denklem 3.17 ile verilmiştir.

$$V_{tE}^{(X)} = m_t S_{aR}(T_p^{(X)}) \geq 0.04 m_t I S_{DS} g \quad (3.17)$$

Denklemden geçen $S_{aR}(T_p^{(X)})$ yapıya ait x deprem doğrultusunda yapının hakim titreşim periyoduna göre azaltılmış tasarım ivme spektrumunu ifade etmektedir. S_{DS} kısa periyota göre hesaplanan tasarım ivme spektral katsayısıdır. m_t hesaba katılan toplam sismik kütledir ve denklem 3.18 ile tanımlanmıştır. m_i i'nci kat için toplam kütledir.

$$m_t = \sum_{i=1}^N m_i \quad (3.18)$$

3.9. Katlara Etki Eden Eşdeğer Deprem Yükleri Hesapları

Denklem 3.17 ile ifade edilen toplam eşdeğer deprem yükü yani taban kesme kuvveti her kata etkiyen eşdeğer deprem yükleri toplanarak denklem 3.19 ile hesaplanır.

$$V_{tE}^{(X)} = \Delta F_{NE}^{(X)} + \sum_{i=1}^N F_{iE}^{(X)} \quad (3.19)$$

Yapının N' inci katı olarak verilen yani tepesi için eşdeğer deprem yükü $\Delta F_{NE}^{(X)}$ aşağıdaki denklem 3.20 ile belirlenir.

$$\Delta F_{NE}^{(X)} = 0.0075 N V_{tE}^{(X)} \quad (3.20)$$

N'inci kat dahil olmak üzere $\Delta F_{NE}^{(X)}$ dışında kalan eşdeğer deprem yükünün geriye kalan kısmı katlara denklem 3.21 ile gösterildiği gibi paylaştırılacaktır.

$$F_{iE}^{(X)} = (V_{tE}^{(X)} - \Delta F_{NE}^{(X)}) \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^N m_j H_j} \quad (3.21)$$

Denklemden geçen m_i ilgili katın kütlesi ve H_i ilgili katın bina tabanına olan yüksekliğidir. Çalışma kapsamında katlara gelen eşdeğer deprem yükleri Çizelge 3.8 ile gösterilmiştir.

Çizelge 3.8. Katlara gelen eşdeğer deprem yüklerinin hesabı

Kat	m_i	H_i	$m_i H_i$	$\frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^N m_j H_j}$	$V_{tE}^{(X)}$	$V_{tE}^{(Y)}$	$\Delta F_{NE}^{(X)}$	$\Delta F_{NE}^{(Y)}$	$F_{iE}^{(X)}$	$F_{iE}^{(Y)}$
4	3.658	11,2	40.979	0,400	825	825	24,75	24,75	345	345
3	3.658	8,4	30.734	0,300	825	825	24,75	24,75	240	240
2	3.658	5,6	20.489	0,200	825	825	24,75	24,75	160	160
1	3.658	2,8	10.244	0,100	825	825	24,75	24,75	80	80

3.10. Yapısal Düzensizliklerin Kontrolü

TBDY 2018 3.6'ya göre düzensiz binalar planda düzensizlik durumları ve düşeyde düzensizlik durumları için Çizelge 3.9 ile gösterildiği gibi iki ana başlık altında kontrol edilir. Tez çalışması kapsamında burulma düzensizliği kontrolü, görelî kat ötelemeleri kontrolü ve ikinci mertebe etkileri kontrol edilmiştir

Çizelge 3.9. Yapısal düzensizlikler (TBDY2018)

A – PLANDA DÜZENSİZLİK DURUMLARI	İlgili Maddeler
A1 – Burulma Düzensizliği: Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden <i>Burulma Düzensizliği Katsayısı</i> η_{bi} 'nin 1.2'den büyük olması durumu (Şekil 3.1). $[\eta_{bi} = (\Delta_i^{(X)})_{\max} / (\Delta_i^{(X)})_{\text{ort}} 1.2]$. <i>Görelî kat ötelemelerinin hesabı, $\pm$ %5 ek dışmerkezlik etkileri de gözönüne alınarak, 4.7'ye göre yapılacaktır.</i>	3.6.2.1
A2 – Döşeme Süreksizlikleri: Herhangi bir kattaki döşemede (Şekil 3.2); I – Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu, II – Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu, III – Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu	3.6.2.2
A3 – Planda Çıkıntılar Bulunması: Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumu (Şekil 3.3).	3.6.2.2
B – DÜŞEYDE DÜZENSİZLİK DURUMLARI	İlgili Maddeler
B1 – Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat): Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki <i>toplam etkili kesme alanı</i> 'nın, bir üst kattaki <i>toplam etkili kesme alanı</i> 'na oranı olarak tanımlanan <i>Dayanım Düzensizliği Katsayısı</i> η_{ci} 'nin 0.80'den küçük olması durumu. $[\eta_{ci} = (\Sigma A_e)_i / (\Sigma A_e)_{i+1} < 0.80]$ <i>Herhangi bir katta etkili kesme alanının tanımı:</i> $(\Sigma A_e)_i = (\Sigma A_w)_i + (\Sigma A_g)_i + (0.15 \Sigma A_k)_i$ Not: 4.9.1.3(b) 'de tanımlanan duvarlar için $A_k = 0$ alınacaktır.	3.6.2.3
B2 – Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat): Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, bodrum katlar dışında, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan <i>Rijitlik Düzensizliği Katsayısı</i> η_{ki} 'nin 2.0'den fazla olması durumu. $[\eta_{ki} = (\Delta_i^{(X)} / h_i)_{\text{ort}} / (\Delta_{i+1}^{(X)} / h_{i+1})_{\text{ort}} > 2.0$ veya $\eta_{ki} = (\Delta_i^{(X)} / h_i)_{\text{ort}} / (\Delta_{i-1}^{(X)} / h_{i-1})_{\text{ort}} > 2.0]$ <i>Görelî kat ötelemelerinin hesabı, $\pm$ %5 ek dışmerkezlik etkileri de gözönüne alınarak 4.7'ye göre yapılacaktır.</i>	3.6.2.1
B3 – Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği: Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumu (Şekil 3.4).	3.6.2.4

3.10.1. Burulma Düzensizliği Kontrolü

Burulma düzensizliği kontrolünde herhangi bir kattaki görelî kat ötelenmesinin maksimum değeri $(\Delta_i)_{\max}$ ve ilgili katta aynı doğrultu için ortalama görelî kat ötelenmesinin $(\Delta_i)_{\text{ort}}$ bilinmesi gereklidir. $(\Delta_i)_{\max} / (\Delta_i)_{\text{ort}}$ oranının (n_{bi}) 1.2'den küçükse binada burulma düzensizliği yoktur. Çizelge 3.10 ve Çizelge 3.11 ile burulma düzensizliği kontrolü yapılmıştır.

Çizelge 3.10. X doğrultusunda burulma düzensizliği kontrolü

KAT NO	$(\Delta_i^X)_{\max}$	$(\Delta_i^X)_{\min}$	$(\Delta_i^X)_{\text{ort}}$	$(\Delta_i^X)_{\max}/(\Delta_i)_{\text{ort}}$
4	0,0023	0,0021	0,0022	1,0614
3	0,0039	0,0034	0,0037	1,0622
2	0,0050	0,0043	0,0046	1,0852
1	0,0034	0,0032	0,0033	1,0339

Çizelge 3.11. Y doğrultusunda burulma düzensizliği kontrolü

KAT NO	$(\Delta_i^Y)_{\max}$	$(\Delta_i^Y)_{\min}$	$(\Delta_i^Y)_{\text{ort}}$	$(\Delta_i^Y)_{\max}/(\Delta_i)_{\text{ort}}$
4	0,0002	0,0018	0,0010	0,1842
3	0,0003	0,0030	0,0016	0,1860
2	0,0004	0,0037	0,0020	0,1872
1	0,0003	0,0029	0,0016	0,1867

3.10.2. Görelî Kat Ötelemeleri Kontrolü

Görelî kat ötelemesinin hesabı TBDY-2018 4.9.1'de detaylı olarak anlatılmıştır. $(\Delta_i)_{\max}/h_i$ değeri $0,008 \cdot \kappa \cdot \lambda$ değerinden küçük veya eşit olmalıdır. Çizelge 3.12 ve Çizelge 3.13 ile sırasıyla x ve y yönlerine ait görelî kat ötelemelerinin kontrolü gösterilmiştir.

Çizelge 3.12. X doğrultusunda görelî kat ötelemeleri kontrolü

KAT NO	$(d_i)_{\max}$	$(\Delta i)_{\max}$	h_i	$(\Delta i)_{\max}/h_i$	$0,008 \cdot \kappa \cdot \lambda_X$
4	0,01470	0,0023	2,8	0,0008	0,0030
3	0,01236	0,0039	2,8	0,0014	0,0030
2	0,00845	0,0051	2,8	0,0018	0,0030
1	0,00340	0,0034	2,8	0,0012	0,0030

Çizelge 3.13. Y doğrultusunda görelî kat ötelemeleri kontrolü

KAT NO	$(d_i)_{\max}$	$(\Delta i)_{\max}$	h_i	$(\Delta i)_{\max}/h_i$	$0,008 \cdot \kappa \cdot \lambda_Y$
4	0,0146	0,0023	2,8	0,0008	0,0030
3	0,0123	0,0038	2,8	0,0014	0,0030
2	0,0085	0,0048	2,8	0,0017	0,0030
1	0,0037	0,0037	2,8	0,0013	0,0030

3.10.3. İkinci Mertebe Etkileri Kontrolü

İkinci mertebe etkilerinin hesabı TBDY-2018 4.9.2’de detaylı olarak anlatılmıştır. $\Phi_{\max}$ değeri $(0,12 \cdot D) / (Ch \cdot R)$ değerinden küçük veya eşit olmalıdır. Çizelge 3.14 ve Çizelge 3.15 ile sırasıyla x ve y yönlerine ait ikinci mertebe etkileri kontrolü yapılmıştır.

Çizelge 3.14. X doğrultusunda ikinci mertebe etkileri kontrolü

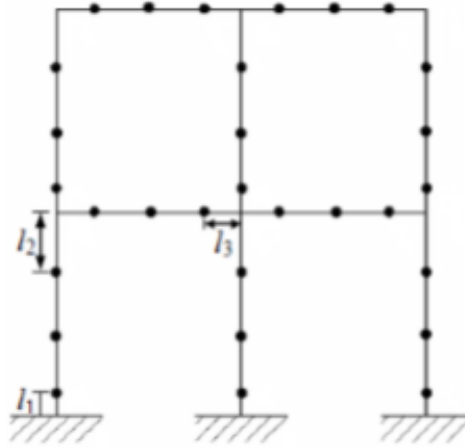
Kat No	W_i	$\sum W_i(kN)$	$(\Delta i)_{\text{ort}}$	V_i	h_i	ϕ	$\phi_{\max}$	$\frac{0,12 \cdot D}{Ch \cdot R}$
4	3658	3658	0,00221	345	2,8	0,0084	0,0328	0,09
3	3658	7316	0,00368	585	2,8	0,0164	0,0328	0,09
2	3658	10974	0,00624	745	2,8	0,0328	0,0328	0,09
1	3658	14632	0,00170	825	2,8	0,0108	0,0328	0,09

Çizelge 3.15. Y doğrultusunda ikinci mertebe etkileri kontrolü

Kat No	W _i	ΣW _i (kN)	(Δ _i) _{ort}	Vİ	h _i	φ	φ _{max}	$\frac{0,12 * D}{Ch * R}$
4	3658	3658	0,0010	345	2,8	0,0037	0,0107	0,09
3	3658	7316	0,0016	585	2,8	0,0073	0,0107	0,09
2	3658	10974	0,0020	745	2,8	0,0107	0,0107	0,09
1	3658	14632	0,0016	825	2,8	0,0101	0,0107	0,09

3.11. Plastik Mafsalların Sisteme Atanması

Plastik mafsallar eğilme ve normal kuvvetin etki ettiği kolon düşey elemanları için P-M2-M3 mafsalları olarak kolonun iki ucuna atanmıştır. Eksenel kuvveti düşük olan kirişlerin iki ucuna ise eğilme momenti olan M3 mafsalları ASCE 41-13 kriterlerine göre SAP2000 programında otomatik olarak tanımlanmıştır. Plastik mafsalların atanacağı mesafe literatürden yararlanılarak Şekil 3.14 esas alınarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.14. Plastik mafsalları atanması (Özmen,2005)

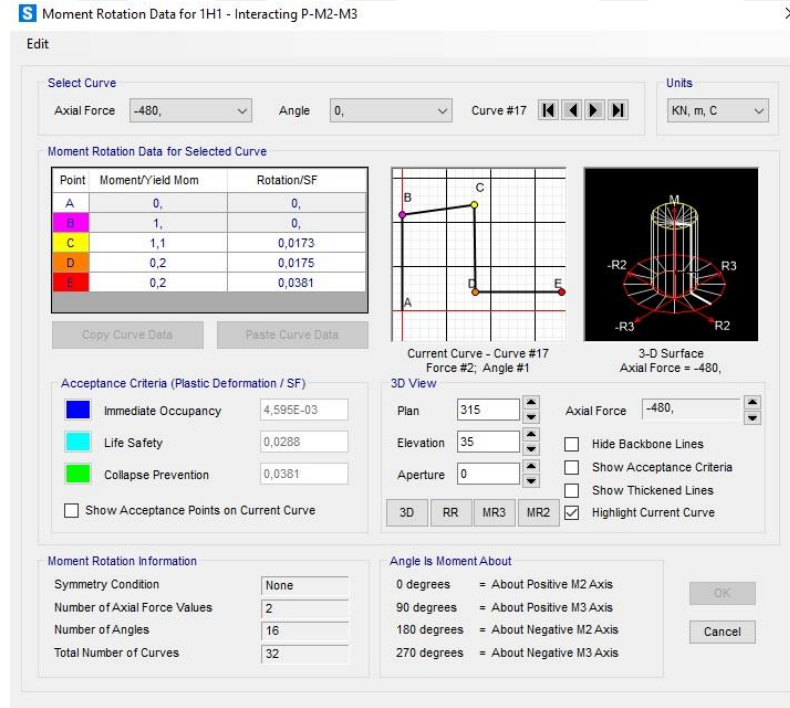
$$l_1 = \frac{l_p}{2} \quad (3.22)$$

$$l_2 = H_{beam} + \frac{l_p}{2} \quad (3.23)$$

$$l_3 = \frac{H_{column}}{2} + \frac{l_p}{2} \quad (3.24)$$

Denklem 3.7’de verilen l_p plastik mafsalsal boyunu, denklem 3.8’de H_{beam} kiriş derinliğini ve denklem 3.9’da verilen H_{column} kolon derinliğini temsil etmektedir. 40x40 cm boyutundaki kolonlar için $l_1 = 0,036$ $l_2=0,75$, 150x30 ve 30x150 boyutlarına sahip kolonlarda minimum yön seçilmiştir. 150x30 cm boyutuna sahip kolonlarda $l_1 = 0,0268$ $l_2=0,759$, 30x150 cm boyutuna sahip kolonlar için $l_1 = 0,0268$ $l_2=0,759$ hesaplanarak plastik mafsalsal atanmıştır.

1 numaralı kolona ait SAP2000 analiz programı otomatik plastik mafsalsal özellikleri Şekil 15’de verilmiştir.



Şekil 3.15. C400 x 400 mm boyutunda bir numaralı kolona ait eksenel yük ve etkileşim yüzeyleri için kolon mafsalsal tanımı

Plastik mafsallı özelliklerinin tanımlanmasında eksenel kuvvet sayısı ve kolon etkileşim yüzeyleri açısı sayısı Şekil 3.16 ile gösterilmiştir.

Frame Hinge Property Data for 1H1 - Interacting P-M2-M3

Hinge Specification Type

☒ Moment - Rotation

☐ Moment - Curvature

Hinge Length:

☒ Relative Length

Scale Factor for Rotation (SF)

☐ SF is Yield Rotation per ASCE 41-13 Egn. 9-2 (Steel Objects Only)

☒ User SF:

Load Carrying Capacity Beyond Point E

☒ Drops To Zero ☐ Is Extrapolated

Symmetry Condition

☐ Moment Rotation Dependence is Circular

☐ Moment Rotation Dependence is Doubly Symmetric about M2 and M3

☒ Moment Rotation Dependence has No Symmetry

Requirements for Specified Symmetry Condition

1 Specify curves at angles of 0°, 90°, 180° and 270°.

2 If desired, specify additional intermediate curves where: 0° < curve angle < 360°.

Axial Forces for Moment Rotation Curves

Number of Axial Forces:

Curve Angles for Moment Rotation Curves

Number of Angles:

Şekil 3.16. C400 x 400 mm boyutunda bir numaralı kolona ait plastik mafsall  özellikleri

C400 x 400 mm boyutunda kolona ait karşılıklı etkileşim diyagramının tanımlanması Şekil 3.17’de göstermiştir.

P-M2-M3 Interaction Surface Definition for 1H1

User Interaction Surface Options

☐ Circular Symmetry

☐ Doubly Symmetric about M2 and M3

☒ No Symmetry

Number of Curves:

Number of Points on Each Curve:

Scale Factors (Same for All Curves)

P: M2: M3:

☐ Include Scale Factors in Plots

First and Last Points (Same for All Curves)

Point 1: P: M2: M3:

Point 11: P: M2: M3:

Interaction Surface Requirements - No Symmetry

1. A minimum of 8 P-M2-M3 curves are specified.

2. P (tension positive) increases monotonically.

3. Each curve must be convex and the interaction surface as a whole must be convex (no dimples in surface).

Interaction Curve Data

Current Curve:

Point	P	M2	M3
1	-1,	0,	0,
2	-0,8462	0,4058	0,
3	-0,7338	0,6463	0,
4	-0,6203	0,8119	0,
5	-0,4944	0,9286	1,022E-06
6	-0,3531	1,	1,078E-06
7	-0,2699	0,934	1,142E-06
8	-0,1716	0,8108	1,250E-06
9	-0,076	0,6213	1,178E-06
10	0,0566	0,2972	1,538E-06
11	0,1614	0,	0,

3D Plot

Plan:

Elevation:

Aperture:

☒ Show All Lines

☐ Hide P Direction Lines

☐ Hide M2-M3 Lines

☒ Highlight Current Curve

Şekil 3.17. C400 x 400 mm boyutunda bir numaralı kolona ait karşılıklı etkileşim diyagramının tanımlanması

C250 x 600 mm boyutundaki kirişlere ait plastik mafsallar Şekil 3.18’de gösterildiği gibi tanımlanmıştır.

S Frame Hinge Property Data for 26H1 - Moment M3

Edit

Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E-	-0,2	-0,0386
D-	-0,2	-0,0198
C-	-1,1	-0,0196
B-	-1,	0,
A	0,	0,
B	1,	0,
C	1,1	0,02
D	0,2	0,0202
E	0,2	0,04

☐ Symmetric

Type

☒ Moment - Rotation

☐ Moment - Curvature

Hinge Length

☒ Relative Length

Hysteresis Type And Parameters

Hysteresis Type

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Load Carrying Capacity Beyond Point E

☒ Drops To Zero

☐ Is Extrapolated

Scaling for Moment and Rotation

☐ Use Yield Moment

☐ Use Yield Rotation (Steel Objects Only)

	Positive	Negative
Moment SF	83,7381	114,6853
Rotation SF	1,	1,

Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)

	Positive	Negative
Immediate Occupancy	5,000E-03	-5,000E-03
Life Safety	0,02	-0,0196
Collapse Prevention	0,04	-0,0386

☐ Show Acceptance Criteria on Plot

OK Cancel

Şekil 3.18. C250 x 600 mm boyutunda kiriş plastik mafsal bilgilerinin tanımlanması

Dolgu duvarlar için x ve y yönlerinde Şekil 3.19 ile verilen kullanıcı tanımlı eksenel yük mafsalları duvarın ortasına gelecek şekilde atanmıştır.

S Frame Hinge Property Data for X - Axial P

Edit

Displacement Control Parameters

Point	Force/SF	Disp/SF
E	-0,001	-2,312
D	-0,001	-2,312
C	-6,24	-2,312
B	-6,24	0
A	0	0
B	6,24	0
C	6,24	2,312
D	1,000E-03	2,312
E	1,000E-03	2,312

☒ Symmetric

Type

☒ Force - Displacement

☐ Stress - Strain

Hinge Length

☐ Relative Length

Hysteresis Type And Parameters

Hysteresis Type

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Load Carrying Capacity Beyond Point E

☒ Drops To Zero

☐ Is Extrapolated

Scaling for Force and Disp

☐ Use Yield Force Force SF Positive Negative

☐ Use Yield Disp Disp SF Positive Negative

(Steel Objects Only)

Acceptance Criteria (Plastic Disp/SF)

☒ Immediate Occupancy Positive Negative

☐ Life Safety Positive Negative

☐ Collapse Prevention Positive Negative

☐ Show Acceptance Criteria on Plot

OK Cancel

Şekil 3.19a. X yönündeki dolgu duvarlar için eksenel yük plastik mafsalı

S Frame Hinge Property Data for Y - Axial P

Edit

Displacement Control Parameters

Point	Force/SF	Disp/SF
E	-0,001	-2,339
D	-0,001	-2,339
C	-5,05	-2,339
B	-5,05	0
A	0	0
B	5,05	0
C	5,05	2,339
D	1,000E-03	2,339
E	1,000E-03	2,339

☒ Symmetric

Type

☒ Force - Displacement

☐ Stress - Strain

Hinge Length

☐ Relative Length

Hysteresis Type And Parameters

Hysteresis Type

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Load Carrying Capacity Beyond Point E

☒ Drops To Zero

☐ Is Extrapolated

Scaling for Force and Disp

☐ Use Yield Force Force SF Positive Negative

☐ Use Yield Disp Disp SF Positive Negative

(Steel Objects Only)

Acceptance Criteria (Plastic Disp/SF)

☒ Immediate Occupancy Positive Negative

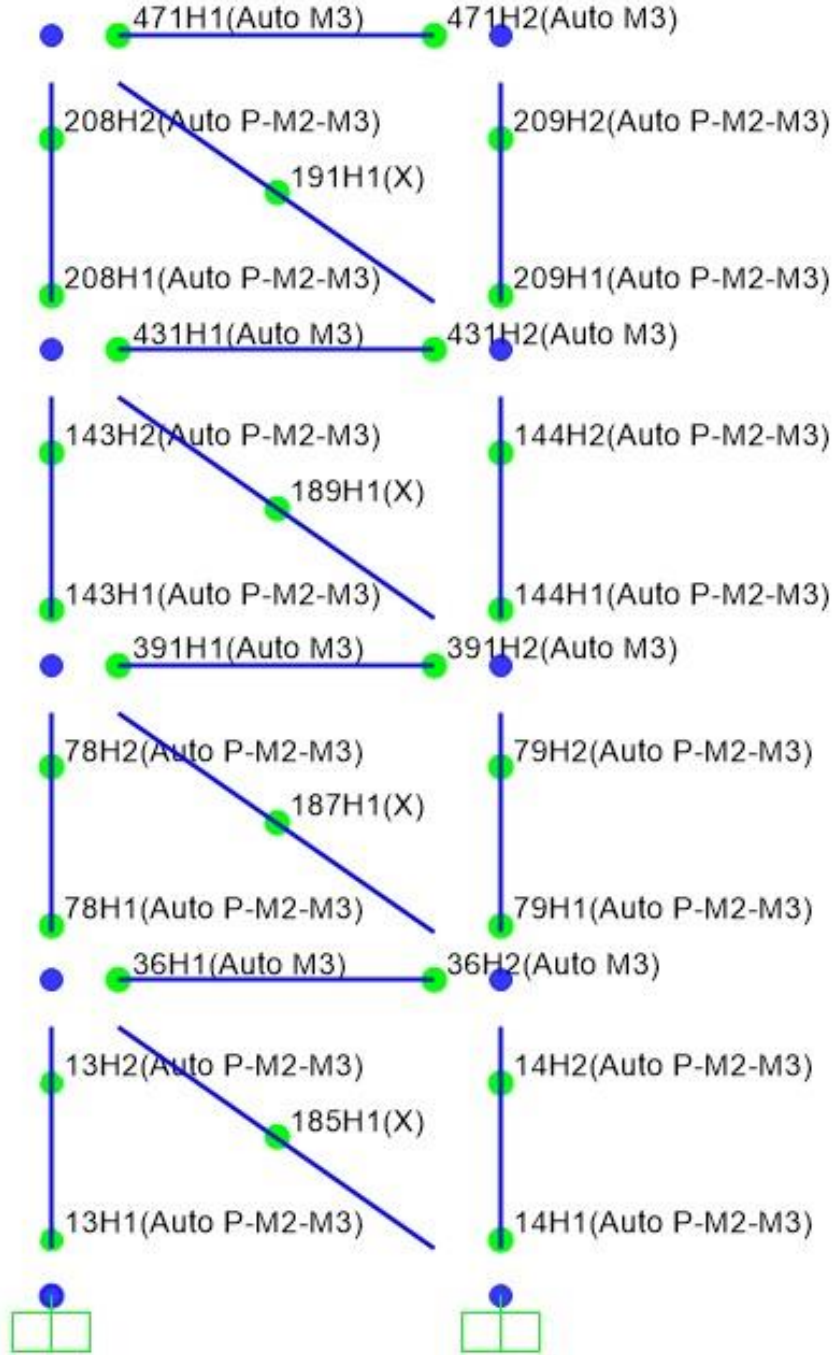
☐ Life Safety Positive Negative

☐ Collapse Prevention Positive Negative

☐ Show Acceptance Criteria on Plot

OK Cancel

Şekil 3.19b. Y yönündeki dolgu duvarlar için eksenel yük plastik mafsalı

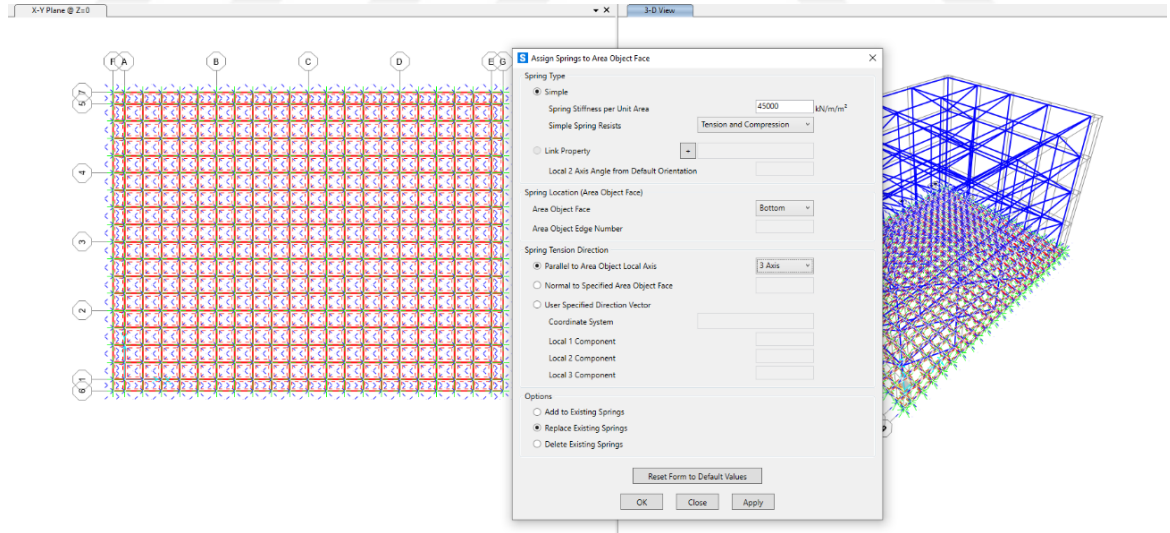


Şekil 3.21. 3C-3D aksları arasında kalan elemanların plastik mafsalları örnekleri

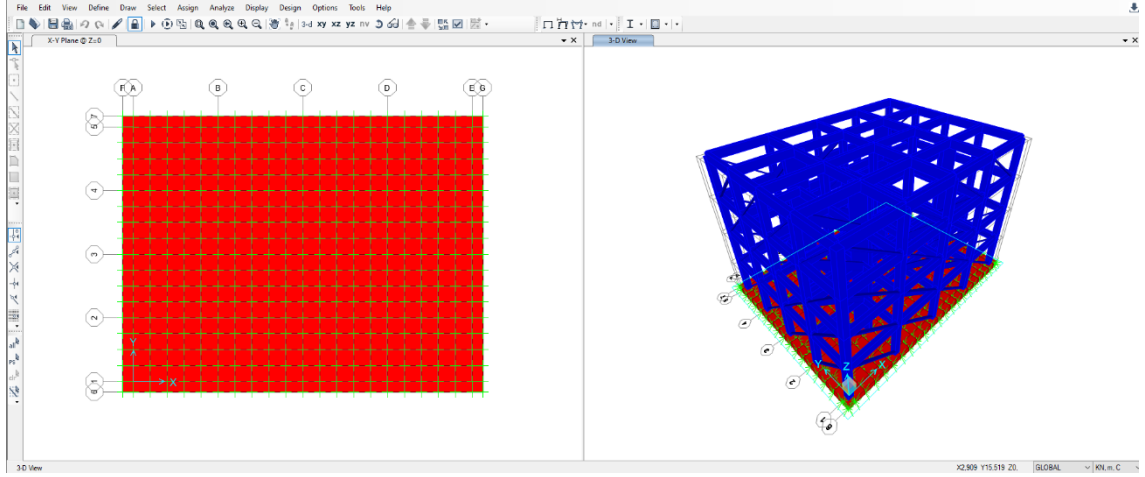
3.12. Temellerin Boyutlandırılması ve Modellenmesi

Tez çalışmasında 30 cm, 40 cm ve 60 cm kalınlığında 3 farklı radye temel kullanılmıştır. Sürekli temel modelleri yönetmelik koşullarına uygun, yönetmelik koşullarının altında ve üstünde olacak şekilde 3 farklı tipte tasarlanmıştır. Radye ve sürekli temellerin hepsinde zeminin yaylarla temsil edilmesi amacıyla 11.200 kN/m^3 , 25.000 kN/m^3 , 45.000 kN/m^3 ve 80.000 kN/m^3 olmak üzere 4 farklı yatak katsayısı kullanılmıştır. Referans model herhangi bir temelin tanımlanmadığı ankastre mesnetli dolgu duvarlı modeldir. Diğer bölümlerde temel çeşitlerine, radye ve sürekli temellerin yatak katsayıları gibi faktörlere bakılarak kıyaslamalar yapılacaktır.

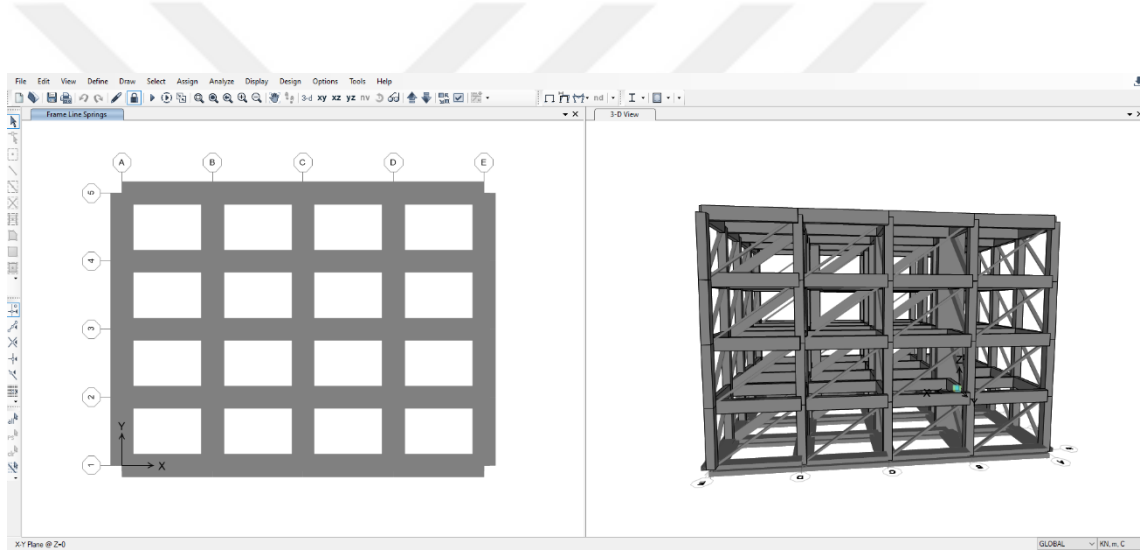
Yatak katsayısı Bowles'ın farklı zeminler için hazırladığı yatak katsayısı değerleri tablosundan ortalama bir değer seçilerek Çizelge 3.16' dan 45.000 kN/m^3 alınmıştır (Bowles, 1996). 45.000 kN/m^3 yatak katsayısı değerinin altında ve üstünde yatak katsayıları ile analizler yapılmıştır. Yatak katsayısının sisteme tanımlanması Şekil 3.22 ile gösterilmiştir. Radye temel modellemesi Şekil 3.23'de, sürekli temel modellemesi Şekil 3.24'de gösterilmiştir.



Şekil 3.22. Yatak katsayısının sisteme tanımlanması



Şekil 3.23. Radye temel modellenmesi



Şekil 3.24. Sürekli temel modellenmesi

Çizelge 3.16. Farklı zeminler için yatak katsayısı değerleri (Bowles, 1996)

Zemin Cinsi	K_s (kN/m³)
Gevşek kum	4800-16000
Orta sıkılıkta kum	9600-80000
Sıkı kum	64000-128000
Killi orta sıkılıkta kum	32000-80000
Siltli orta sıkılıkta kum	24000-48000
Killi zeminler :	
$q_a \leq 200$ kPa	12000-24000
$200 < q_a \leq 800$ kPa	24000-48000
$q_a > 800$ kPa	>48000

Çalışmada radye temeller için R, sürekli temeller için ST, yatak katsayısı için YK kısaltması kullanılmıştır. Sürekli temellerin isimlendirilmesinde yönetmelik koşullarının altında tasarlanan yönetmeliğe göre yetersiz temeller için STK, 45.000 kN/m³ yatak katsayısına sahip yönetmelik koşullarına uygun tasarlanan referans model STR, ve yönetmelik koşullarının üstüne tasarlanan çok iyi temeller STC olarak kısaltılmıştır. Çizelge 3.17’de kullanılan temeller ve özellikleri özetlenmiştir.

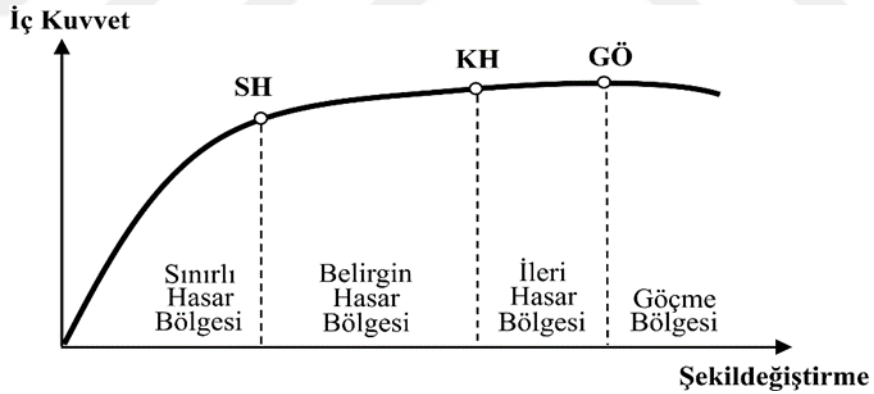
Çizelge 3.17. Çalışmada kullanılan temel çeşitleri ve özellikleri

Model Adı	Açıklama	Temel Kalınlığı	Yatak Katsayısı (kN/m ³)
Referans Model	Referans model; ankastre mesnetli çerçeve modelidir.		
R30/YK11200 R30/YK25000 R30/YK45000 R30/YK80000	Yönetmelik sınırlarının altında tasarlanmış radye temelli model.	Radye temel yüksekliği = 300 mm	11200 25000 45000 80000
R40/YK11200 R40/YK25000 R40/YK45000 R40/YK80000	Yönetmelik sınırlarına uygun şekilde tasarlanmış radye temelli model.	Radye temel yüksekliği = 400 mm	11200 25000 45000 80000
R60/YK11200 R60/YK25000 R60/YK45000 R60/YK80000	Yönetmelik sınırlarının üstünde tasarlanmış radye temelli model.	Radye temel yüksekliği = 600 mm	11200 25000 45000 80000
STK/YK11200 STK/YK25000 STK/YK45000 STK/YK80000	Yönetmelik sınırlarının altında tasarlanmış sürekli temelli model.	Genişlik= 400 mm Ampatman = 0	11200 25000 45000 80000
STR/YK11200 STR/YK25000 STR/YK45000 STR/YK80000	Yönetmelik sınırlarına uygun şekilde tasarlanmış sürekli temelli model.	Genişlik= 600 mm Ampatman = 200 mm	11200 25000 45000 80000
STC/YK11200 STC/YK25000 STC/YK45000 STC/YK80000	Yönetmelik sınırlarının üstünde tasarlanmış sürekli temelli model.	Genişlik = 700 mm Ampatman = 400 mm	11200 25000 45000 80000

4. DÖRT KATLI YAPININ PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

4.1.Dört Katlı Yapının Performansının Belirlenmesi

Şekil değiştirmeye göre analiz yaklaşımı kullanılan tez çalışmasında TBDY 2018 Bölüm 15’te verilen mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesinde esas alınacak performans hedefleri dikkate alınmıştır. Bölüm 15 incelendiğinde sünük elemanlar için kesit bazında Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) durumları olmak üzere üç hasar durumu ve hasar sınırı bulunmaktadır. Elastik ötesi davranışın sınırlı olduğu sınırlı hasar, kesitte hasar oluşacağı ama kesitin dayanımının güvende kalacağı elastik ötesi davranış kontrollü hasar ve kesitte ileri hasarın oluşacağı hasar durumu ise göçme öncesi hasar durumu olarak tanımlanmaktadır. Hasar durumlarına karşılık gelen hasar sınırları TBDY2018 5.8’de detaylı olarak anlatılmakta olup tez çalışmasında değinilmemiştir. Kritik kesitlerin hasar durumuna göre kesit hasar bölgeleri oluşturulmuştur ve Şekil 4.1 ile de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Kesit hasar durumuna göre kesit hasar bölgeleri

Yeni yapılacak binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme /tasarım yaklaşımları TBDY 2018 Tablo 3.4’te de verildiği gibi aşağıdaki Çizelge 4.1 ile gösterilmiştir. Tez çalışmasında tasarımı yapılan binanın bina yükseklik sınıfı BYS=6 ve deprem tasarım sınıfı DTS=1 olduğundan DD-2 deprem düzeyi için normal performans hedefi kontrollü hasardır.

Çizelge 4.1. Deprem tasarım sınıfları ve deprem yer hareketi düzeyine bakılarak yeni yapılacak binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS =1,1a ⁽¹⁾ ,2, 2a ⁽¹⁾ , 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a ⁽²⁾ ,2a ⁽²⁾	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT (5)	KH	DGT (3,4)
DD-1	—	—	KH	ŞGDT

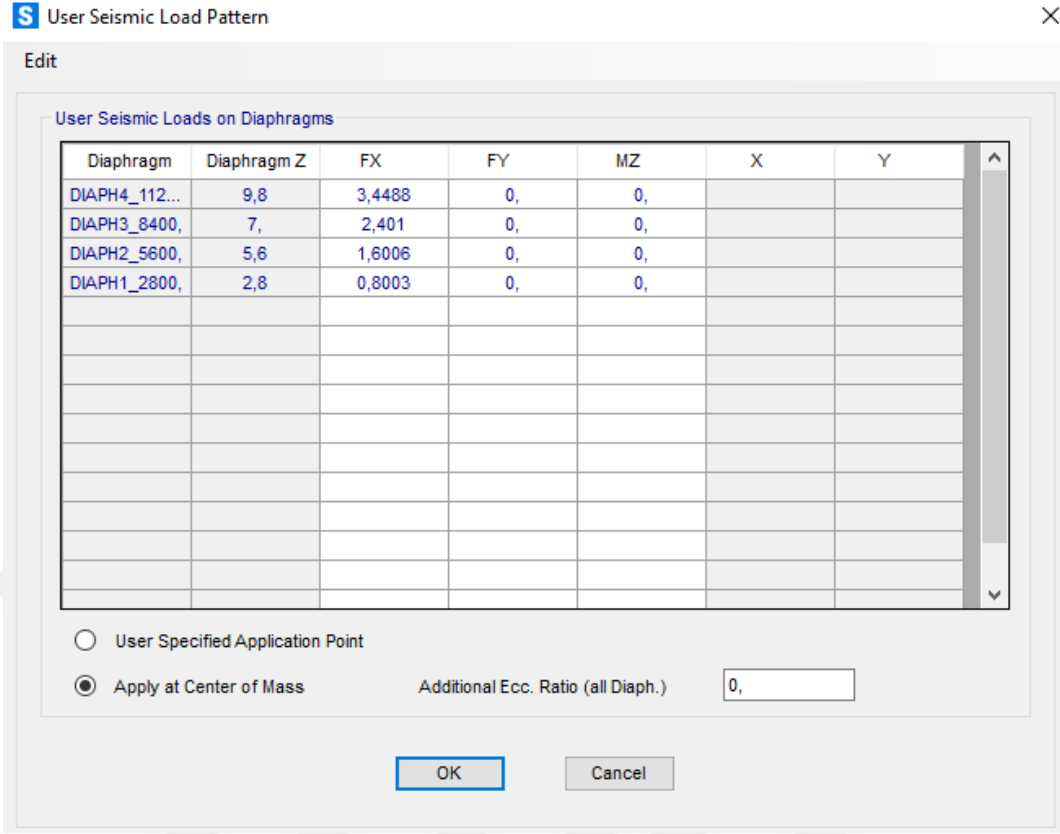
4.2. Doğrusal Olmayan Hesap Yönteminin Belirlenmesi

TBDY2018’e göre şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım kapsamında kullanılacak doğrusal olmayan hesap yöntemleri: statik itme yöntemleri (tek ve çok modlu) ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemidir. Bina yükseklik sınıfı 5 veya daha büyük olan ve belirli koşulları sağlayan binalar için tek modlu itme yöntemi kullanılabilirken, bina yükseklik sınıfı 2’ye eşit ve büyük tüm binalar için çok modlu itme yöntemi kullanılabilir. Tüm binaların deprem hesaplamalarında kullanılması mümkün yöntem ise zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemidir.

Doğrusal olmayan dinamik analizler gerçeğe en yakın kabulleri içerse de hesap gücünün karşılanabilirliğinden ve farklı depremler için tekrarlanma gerekliliğinin bulunmamasından dolayı bu çalışmada doğrusal olmayan statik analiz yöntemi kullanılmıştır. Doğrusal olmayan statik analiz yapıda hasar oluşumundan sonrada göçme mekanizması ve yapı davranışı hakkında önemli bilgiler verir.

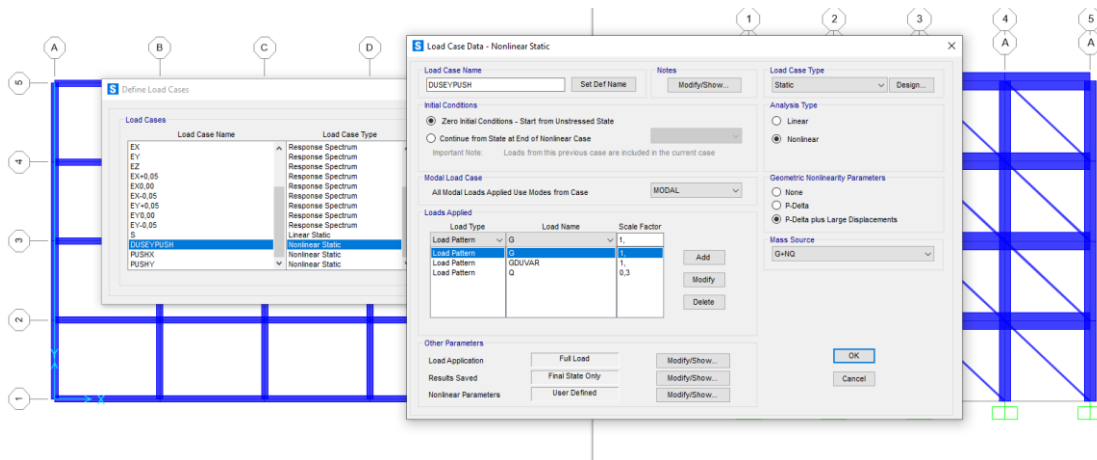
4.2.1. Artımsal İtme Analizinin (Pushover) Programda Tanımlanması

SAP2000 programında artımsal itme analizinin yapılması için eşdeğer deprem yükleri kullanıcı tanımlı olarak programa girilmiştir. Eşdeğer deprem yüklerinin programa girilmesi Şekil 4.2’de gösterildiği gibidir.



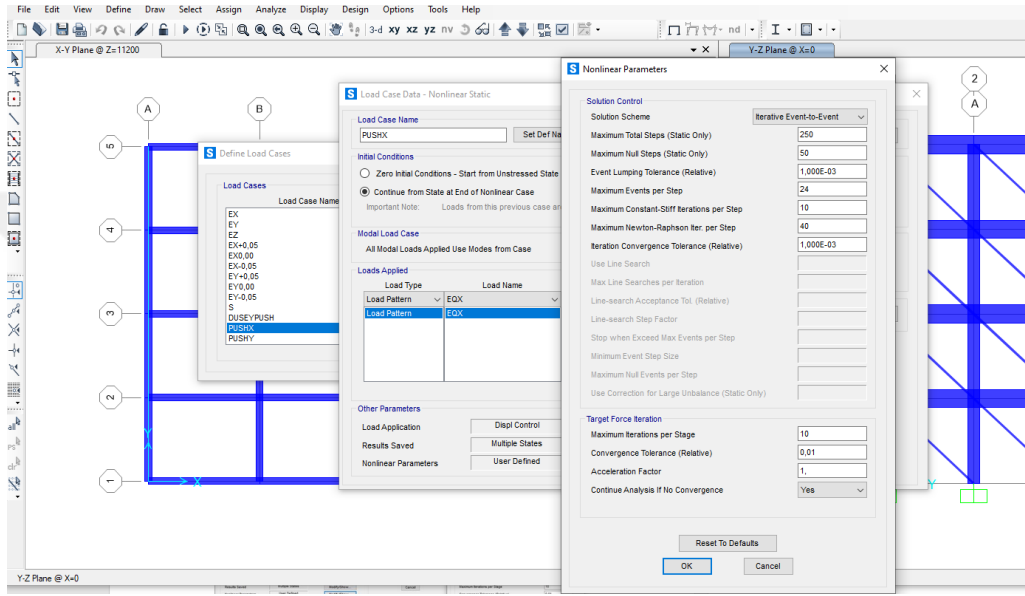
Şekil 4.2. Eşdeğer deprem yüklerinin katlara dağılımı

Eşdeğer deprem yüklerinin tanımlanmasının ardından pushover analizi için 4 katlı betonarme binadaki düşey yükler yapıya etkililmiştir. Doğrusal olmayan analizde P-delta ile büyük deformasyon etkileri dikkate alınmıştır. (*P-Delta plus large displacements*) Şekil 4.3’de düşey yüklerin programa etkililmesi gösterilmiştir.

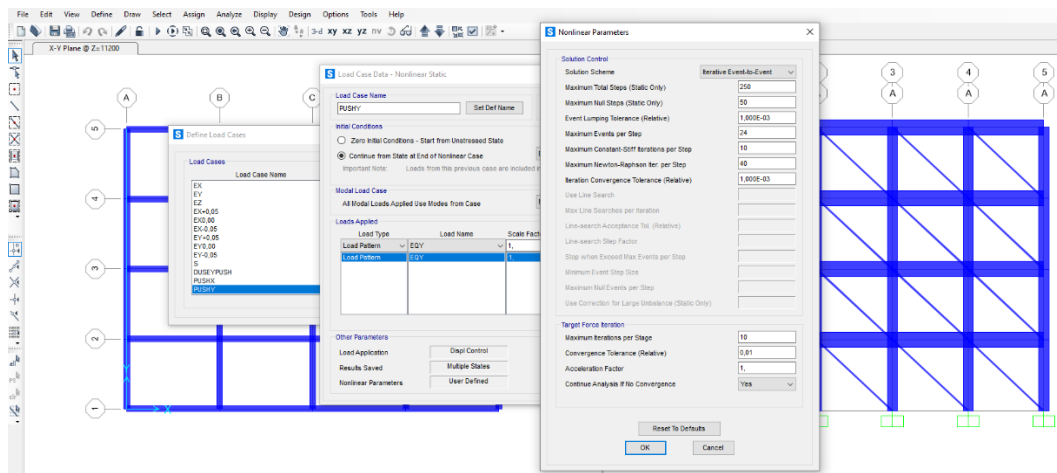


Şekil 4.3. Düşey yüklerin programa tanımlanması

Yatay deprem yükleri de düşey yükler gibi programda betonarme binaya etkililmelidir. Artımsal itme analizi yapıldığından yatay yükler adım adım arttırılarak uygulanmalıdır. Düşey itme analizi durumu programa tanımlandığından düşey pushover başlangıç koşulu olarak seçili konumdadır. X doğrultusu için *EQX*, Y doğrultusu için *EQY* seçilerek Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de gösterildiği şekilde yatay itme analizi programda ayarlanmıştır.



Şekil 4.4. Pushx durumunun tanımlanması

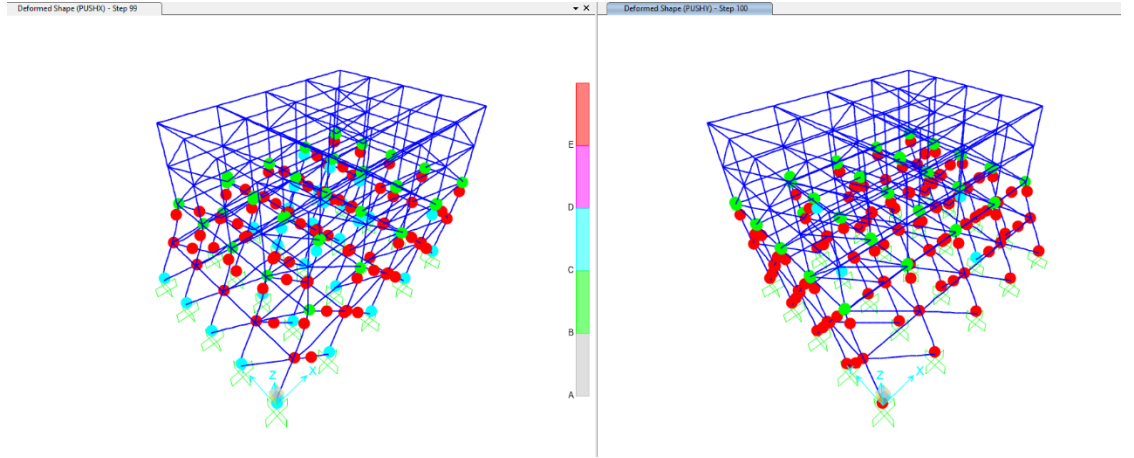


Şekil 4.5. Pushy durumunun tanımlanması

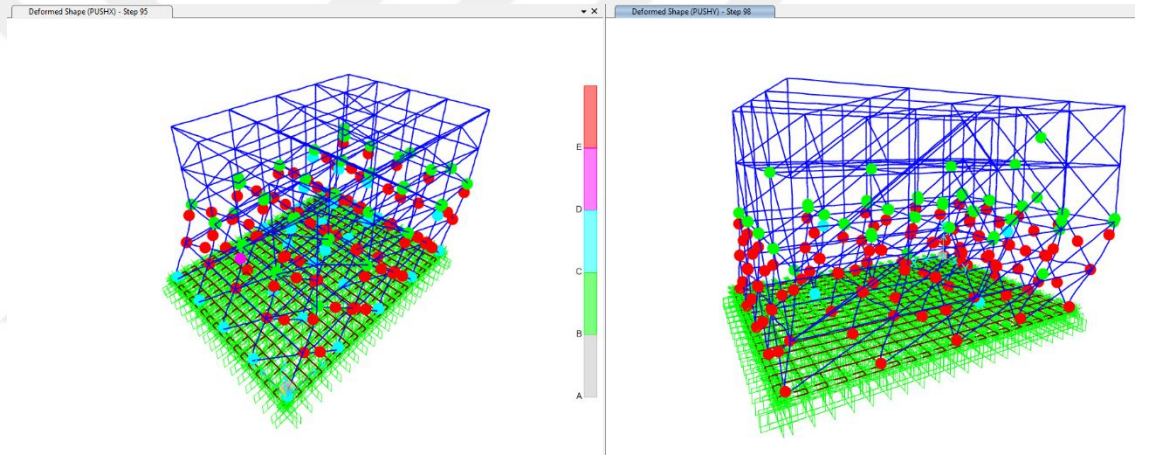
5. ANALİZ SONUÇLARI

Çalışma kapsamında TBDY-2018'e göre modellenen 4 katlı betonarme binanın statik itme (pushover) analizi yapılmıştır. Ankastre ve zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak yapılan analizlerde binanın doğrusal olmayan davranışı incelenmiştir.

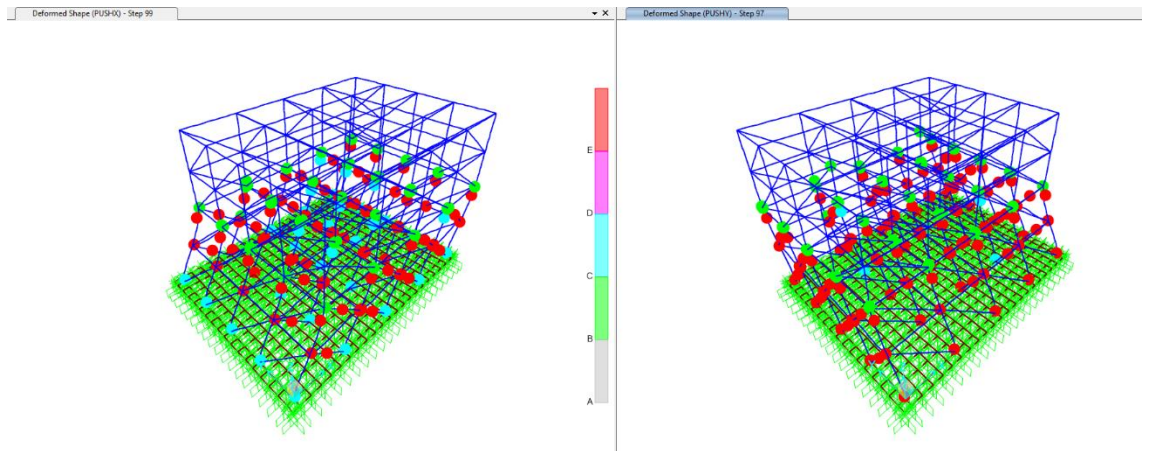
4 katlı bina için x yönünde 25, y yönünde 25 olmak üzere 50 analiz gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda referans ankastre model, yapı zemin etkileşimli farklı temel tipi, temel kalınlığı ve farklı yatak katsayıları olan modeller arasında 1.doğal titreşim periyotları değişimi, dayanımın sismik ağırlığa oranı, kapasite eğrileri, plastik mafsallardaki hasar durumları, enerji sönüm miktarı, bina çatı deplasmanı talep değeri, talebin bina yüksekliğine oranı, 400x400 mm boyutundaki tipik bir kolonun 0.01 m çatı deplasmanına karşılık gelen kesme kuvvetlerine bakılmıştır. Analiz sonuçlarına detaylı olarak geçilmeden önce aşağıda bazı modellere ait göçme mekanizmaları Şekiller 5.1- 5.11 ile gösterilmiştir.



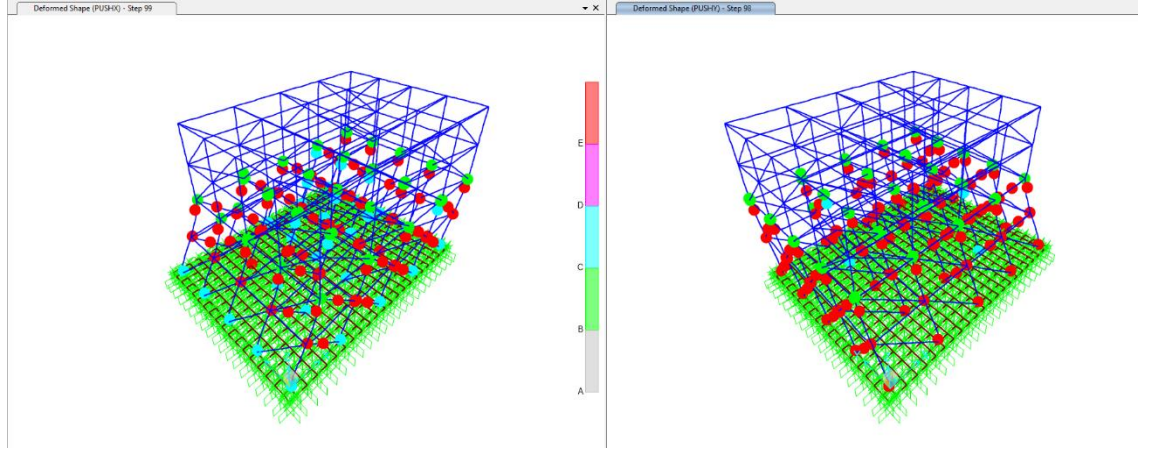
Şekil 5.1. Referans model sistem göçme mekanizması



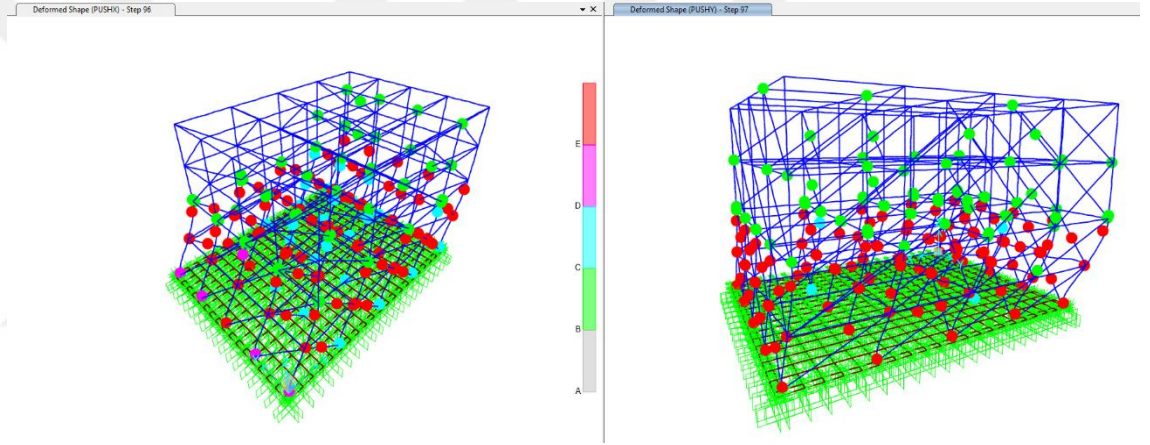
Şekil 5.2. R30/YK45000 modele ait sistem göçme mekanizması



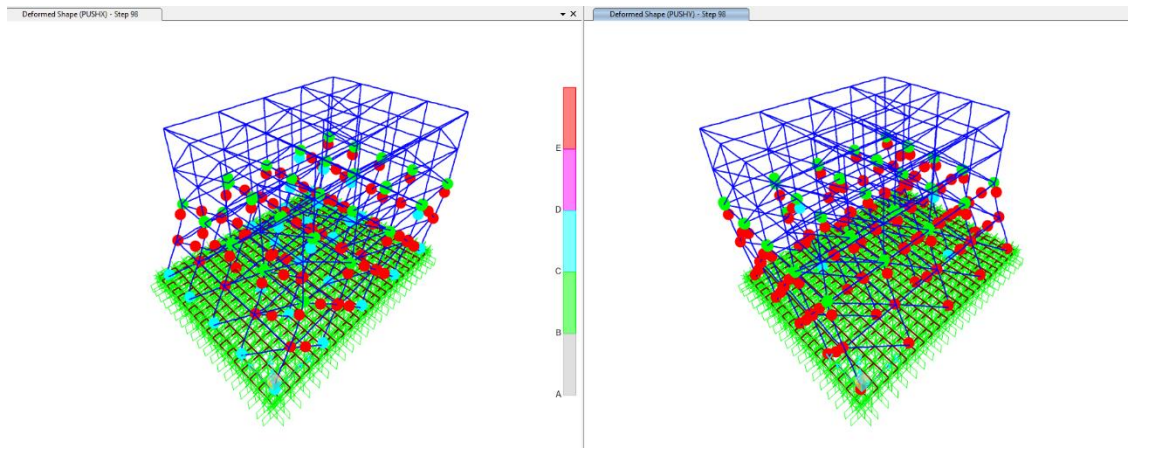
Şekil 5.3. R40/YK45000 modele ait sistem göçme mekanizması



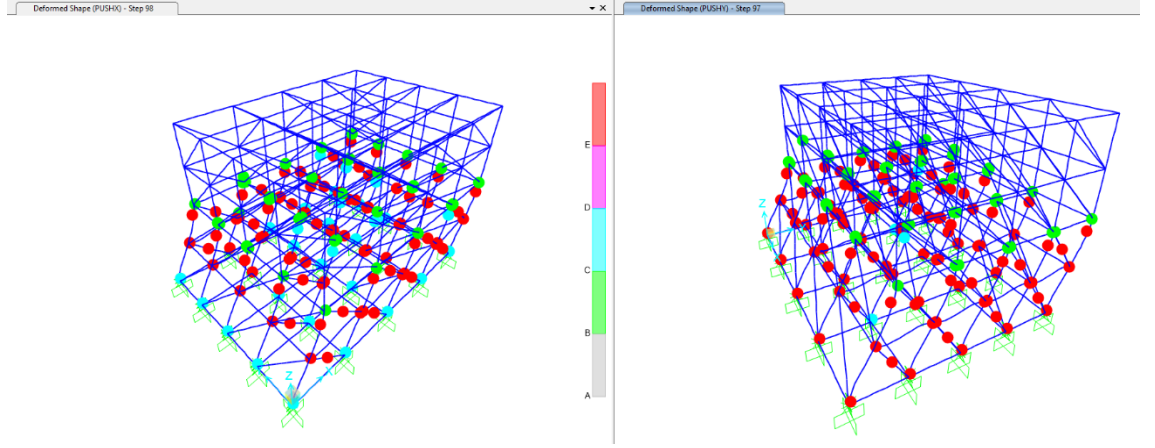
Şekil 5.4. R60/YK45000 modele ait sistem göçme mekanizması



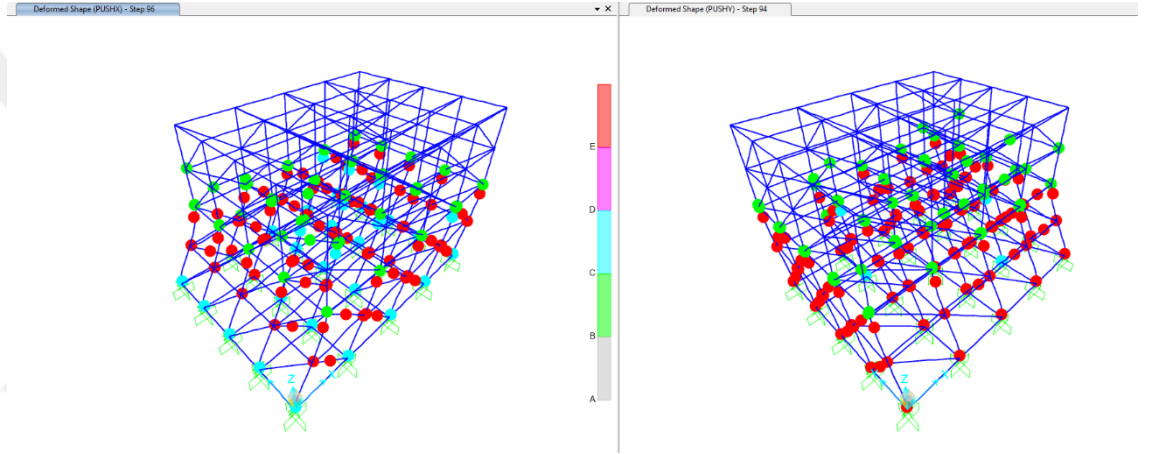
Şekil 5.5. R30/YK11200 modele ait sistem göçme mekanizması



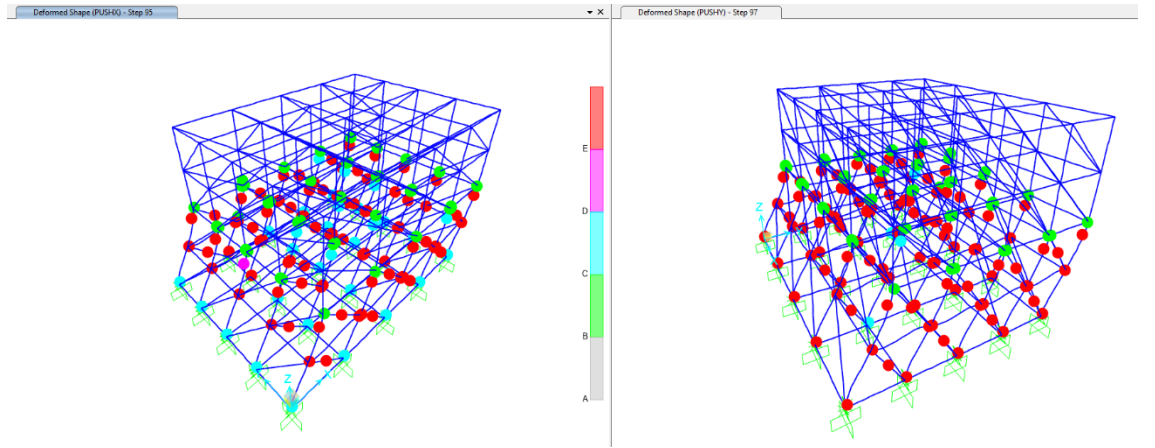
Şekil 5.6. R60/YK80000 modele ait sistem göçme mekanizması



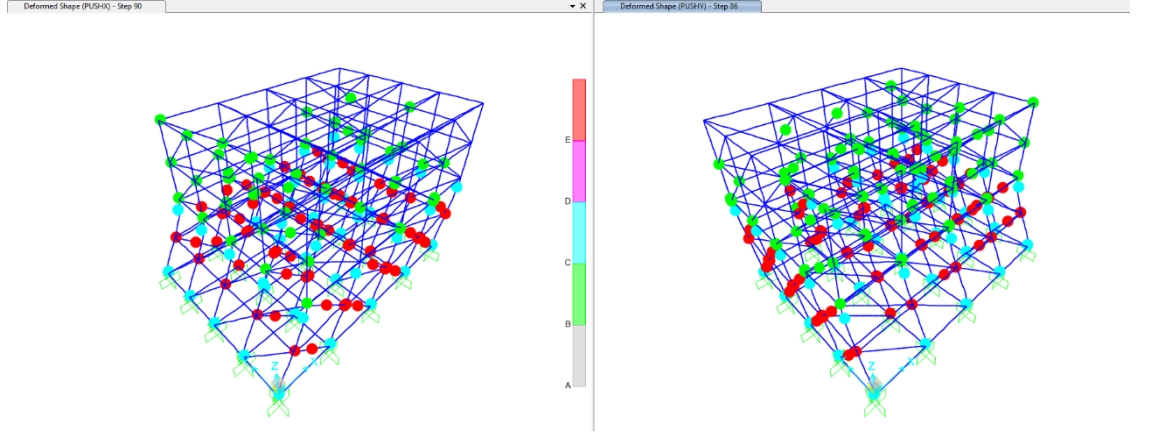
Şekil 5.7. STR/YK45000 modele ait sistem göçme mekanizması



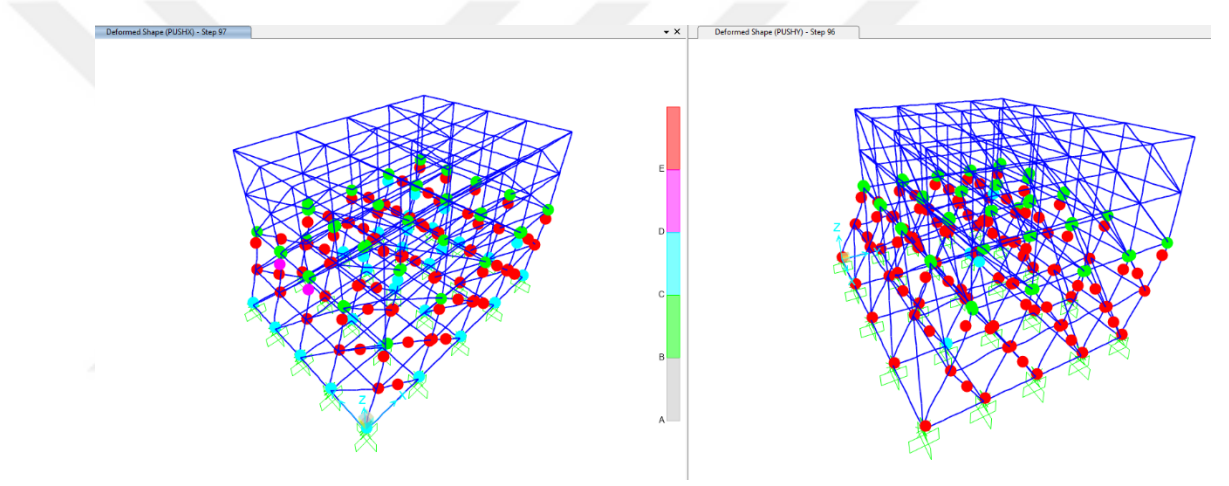
Şekil 5.8. STK/YK45000 modele ait sistem göçme mekanizması



Şekil 5.9. STC/YK45000 modele ait sistem göçme mekanizması



Şekil 5.10. STK/YK11200 modele ait sistem göçme mekanizması



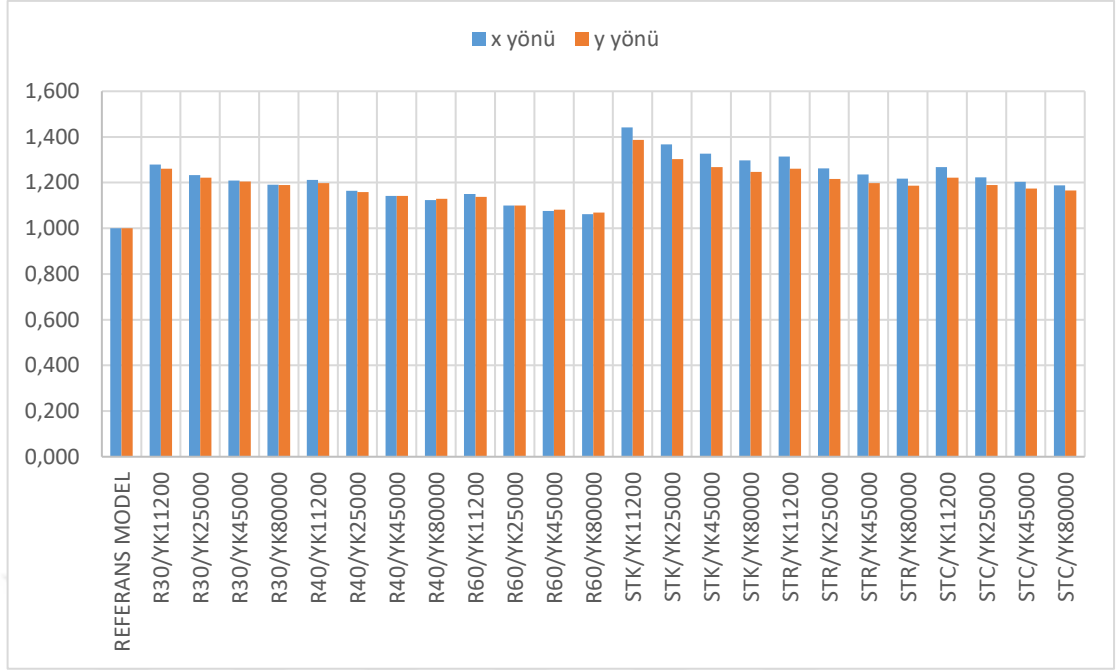
Şekil 5.11. STC/YK80000 modele ait sistem göçme mekanizması

5.1. Doğal Titreşim Periyotlarının Değişimi

Modellere ait her iki asal doğrultudaki hâkim periyot değerleri ve referans modele göre değişim oranları Çizelge 5.1 ve Şekil 5.12 ile gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Çalışmada kullanılan modellerin her iki yön için doğal titreşim periyotları

MODEL ADI	HAKİM PERİYOT DEĞERLERİ		DEĞİŞİM ORANLARI	
	T _x (sn)	T _y (sn)	X Yönü	Y yönü
REFERANS MODEL	0,340	0,333	1,000	1,000
R30/YK11200	0,435	0,420	1,279	1,261
R30/YK25000	0,419	0,407	1,232	1,222
R30/YK45000	0,411	0,401	1,209	1,204
R30/YK80000	0,405	0,396	1,191	1,189
R40/YK11200	0,412	0,399	1,212	1,198
R40/YK25000	0,396	0,386	1,165	1,159
R40/YK45000	0,388	0,380	1,141	1,141
R40/YK80000	0,382	0,376	1,124	1,129
R60/YK11200	0,391	0,379	1,150	1,138
R60/YK25000	0,374	0,366	1,100	1,099
R60/YK45000	0,366	0,360	1,076	1,081
R60/YK80000	0,361	0,356	1,062	1,069
STK/YK11200	0,490	0,462	1,441	1,387
STK/YK25000	0,465	0,434	1,368	1,303
STK/YK45000	0,451	0,422	1,326	1,267
STK/YK80000	0,441	0,415	1,297	1,246
STR/YK11200	0,447	0,420	1,315	1,261
STR/YK25000	0,429	0,405	1,262	1,216
STR/YK45000	0,420	0,399	1,235	1,198
STR/YK80000	0,414	0,395	1,218	1,186
STC/YK11200	0,431	0,407	1,268	1,222
STC/YK25000	0,416	0,396	1,224	1,189
STC/YK45000	0,409	0,391	1,203	1,174
STC/YK80000	0,404	0,388	1,188	1,165



Şekil 5.12. 4 Katlı betonarme çerçeve binanın x ve y yönlerine ait doğal titreşim periyot değerlerinin değişim oranları

Referans model yani tüm katlarında dolgu duvarların olduğu ankastre mesnetli çerçeve modelin x ve y yönündeki doğal titreşim periyodu yapı zemin etkileşimli modellerden daha düşüktür. Radye ve sürekli temellerde yatak katsayısı arttıkça her iki yöndeki doğal titreşim periyotları azalmıştır.

Radye temelin kalınlığı arttıkça x ve y yönlerinde de periyotlar azalmıştır. Sürekli temellerde yönetmelik koşullarının sağlandığı ve üstüne çıkıldığı temellerde x ve y yönündeki doğal titreşim periyotları yönetmelik koşullarının altındaki temellere göre daha düşüktür. Radye temellerin periyotları sürekli temellere göre daha düşüktür. En büyük değişim 11200 kN/m^3 yatak katsayısına sahip yönetmelik koşullarının altında tasarlanmış sürekli temelde %44 oranında referans modele göre periyot artışı olarak görülmüştür. Yönetmelik koşullarına uygun temeller ve ortalama zemin koşulları için referans modele oranla %20 civarında bir periyot artışı rahatlıkla gözlemlenebilir.

Radye temellerde periyot artışı %28 civarındadır. Radye temellerin geometrik durumları aynı olduğundan yatak katsayısının periyot değişimine oranı 11.200 kN/m^3 ve 80.000 kN/m^3 arasında ortalama %16 oranındadır. Sürekli temellerde 11.200 kN/m^3 ve 80.000 kN/m^3 arasında yönetmelik şartlarına uyulmayan temelde zemin yatak

katsayısının periyot değişimine etkisi ortalama %36 değerindedir. Yönetmelik şartlarına uygun sürekli temelde zemin yatak katsayısının periyot değişimine etkisi %24 civarındadır.

5.2. Dayanımın Sismik Ağırlığa Oranı

Karşılaştırma kolaylığı açısından bütün modellerin taban kesme kuvvetine karşılık gelen yatay dayanım oranları sismik ağırlığa bölünerek her iki yönde de referans modele göre değişim oranları Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Dayanımın sismik ağırlığa oranı ve modeller arası kıyaslar

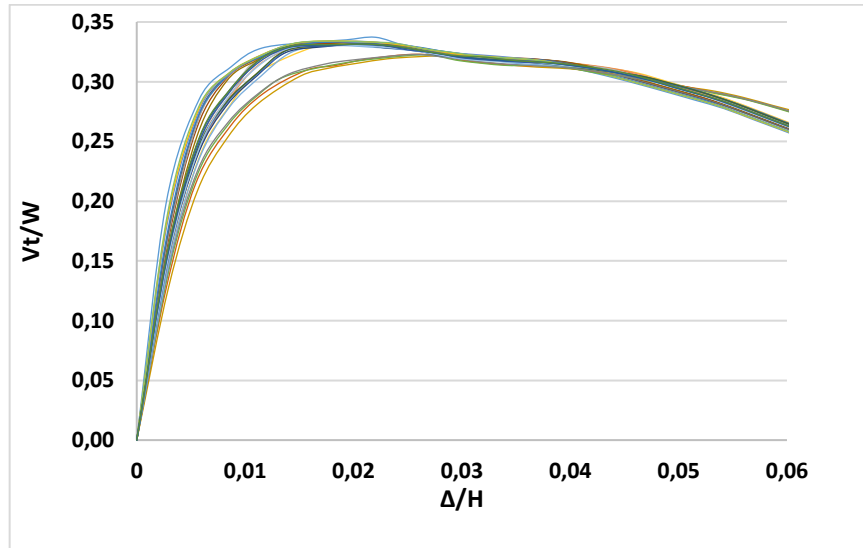
MODEL ADI	Taban kesme değeri (kN)		Yatay dayanım oranı		Değişim oranı	
	X	Y	X	Y	X	Y
REFERANS MODEL	4.935	4.911	0,337	0,336	1,000	1,000
R30/YK11200	4.858	4.689	0,332	0,320	0,984	0,955
R30/YK25000	4.875	4.741	0,333	0,324	0,988	0,965
R30/YK45000	4.867	4.727	0,333	0,323	0,986	0,963
R30/YK80000	4.862	4.724	0,332	0,323	0,985	0,962
R40/YK11200	4.864	4.735	0,332	0,324	0,986	0,964
R40/YK25000	4.882	4.738	0,334	0,324	0,989	0,965
R40/YK45000	4.880	4.739	0,333	0,324	0,989	0,965
R40/YK80000	4.876	4.737	0,333	0,324	0,988	0,965
R60/YK11200	4.885	4.731	0,334	0,323	0,990	0,963
R60/YK25000	4.885	4.742	0,334	0,324	0,990	0,966
R60/YK45000	4.889	4.748	0,334	0,324	0,991	0,967
R60/YK80000	4.889	4.744	0,334	0,324	0,991	0,966
STK/YK11200	4.704	4.444	0,321	0,304	0,953	0,905
STK/YK25000	4.724	4.463	0,323	0,305	0,957	0,909
STK/YK45000	4.715	4.467	0,322	0,305	0,955	0,910
STK/YK80000	4.724	4.468	0,323	0,305	0,957	0,910
STR/YK11200	4.835	4.685	0,330	0,320	0,980	0,954
STR/YK25000	4.848	4.680	0,331	0,320	0,982	0,953
STR/YK45000	4.836	4.692	0,330	0,321	0,980	0,956
STR/YK80000	4.847	4.698	0,331	0,321	0,982	0,957
STC/YK11200	4.839	4.706	0,331	0,322	0,981	0,958
STC/YK25000	4.849	4.690	0,331	0,320	0,982	0,955
STC/YK45000	4.850	4.710	0,331	0,322	0,983	0,959
STC/YK80000	4.850	4.712	0,331	0,322	0,983	0,960

Ana modele kıyasla bütün modellerde x ve y yönlerinde dayanımın sismik ağırlığa oranı daha düşüktür. Radye kalınlığı arttıkça değişim oranı azalmıştır. Yönetmelik koşullarını sağlamayan sürekli temellerde dayanımın sismik ağırlığa oranı diğer sürekli temellere göre daha azdır. Yönetmelik koşulları sağlandığında yatay dayanım oranındaki düşüş %4 ile sınırlı kalmıştır. Zemin koşulları iyi olsa dahi yönetmelik koşullarının sağlanmadığı temellerde bu değerler %9'a ulaşmaktadır.

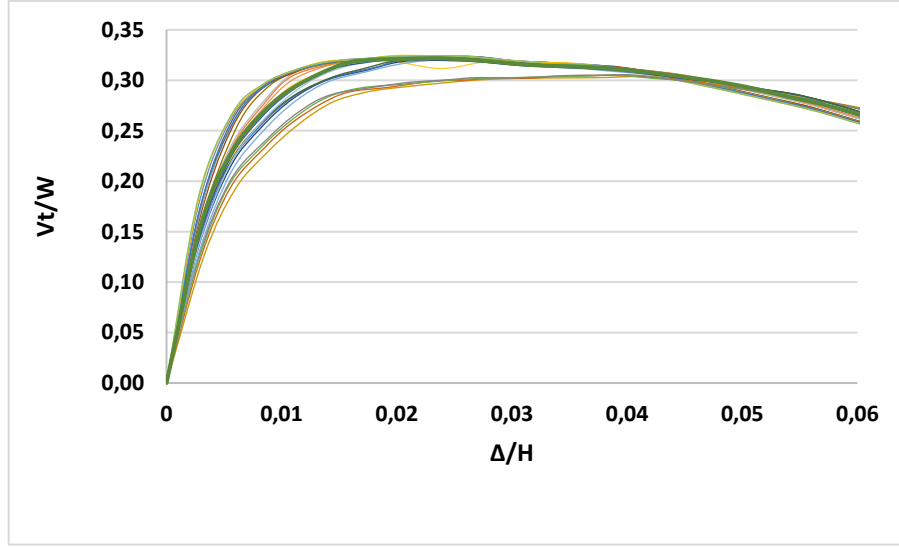
Zemin yatak katsayısı 11200 kN/m^3 olan yönetmelik şartlarının sağlanmadığı sürekli temel modelinde yatay dayanım oranındaki düşüş referans modele oranla %9'a ulaşmıştır. Aynı model için zemin yatak katsayısı 25000 kN/m^3 alındığında yine %9 civarında referans modele oranla yatay dayanımda düşüş görülmüştür. Tablodan da anlaşıldığı üzere aynı temel boyutlarında farklı zemin rijitliğinde yatay dayanım oranları çok etkilenmemektedir. Yatay dayanımın ne kadar etkilendiği daha çok temel boyutlarına bağlıdır.

5.3. Kapasite (Tepe Yerdeğiştirmesi-Taban Kesme Kuvveti) Eğrileri

Taban kesme kuvveti ve yer değiştirme değerleri kullanılarak kapasite eğrileri elde edilmiştir. Modellere ait kapasite eğrileri x ve y doğrultularında Şekil 5.13, Şekil 5.14'de gösterilmiştir.



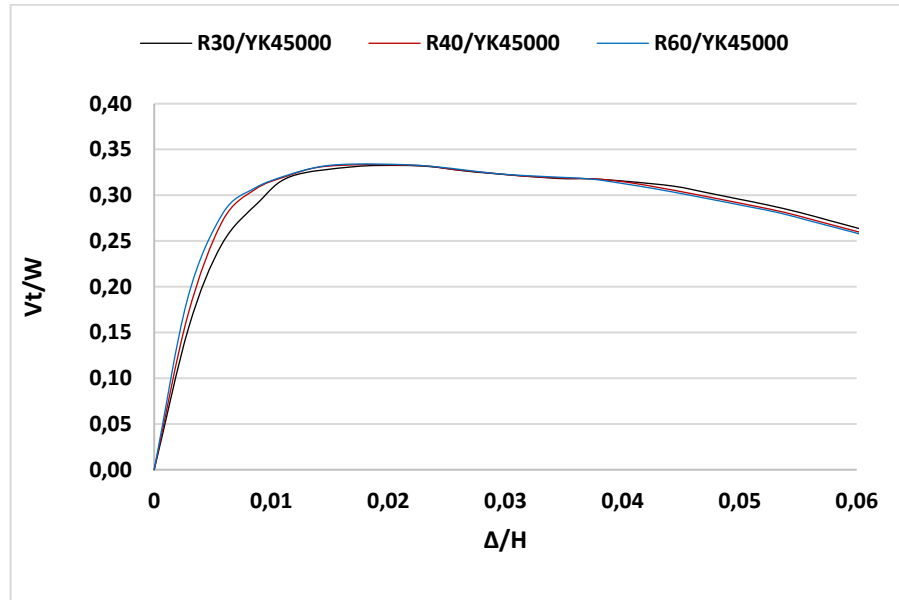
Şekil 5.13. 4 Katlı betonarme çerçeve bina sisteminin farklı temel ve farklı yatak katsayılarına ait x doğrultusundaki kapasite eğrileri



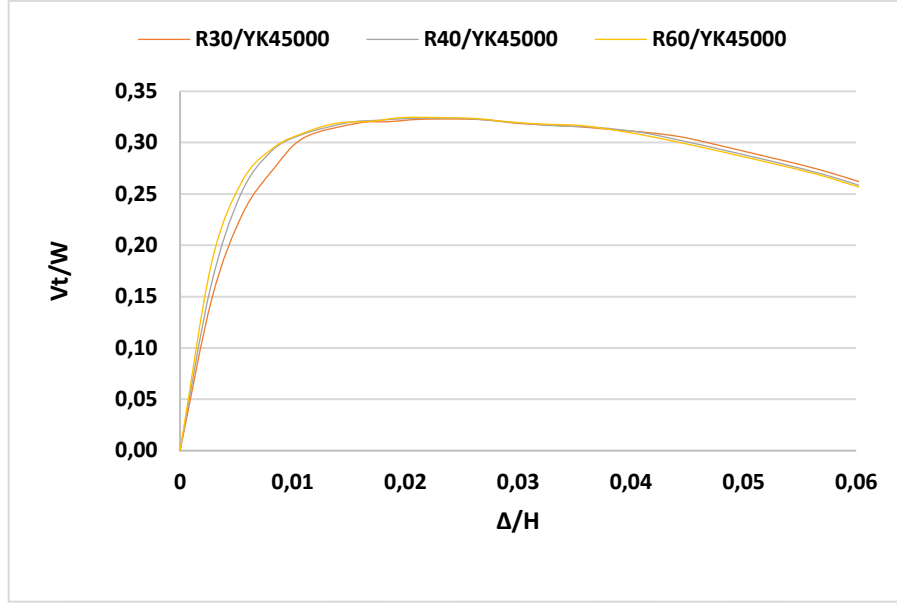
Şekil 5.14. 4 Katlı betonarme çerçeveseli bina sisteminin farklı temel ve farklı yatak katsayılarına ait y doğrultusundaki kapasite eğrileri

Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'te birden fazla model aynı grafikte gösterildiğinden temel boyutları ve yatak katsayısı farklı seçilerek daha anlaşılır grafikler oluşturulmuştur.

45000 kN/m³ yatak katsayısına sahip radye temellerin radye temel yükseklikleri farklı seçilerek her iki yöndeki kapasite eğrileri Şekil 5.15 ve Şekil 5.16 ile verilmiştir.

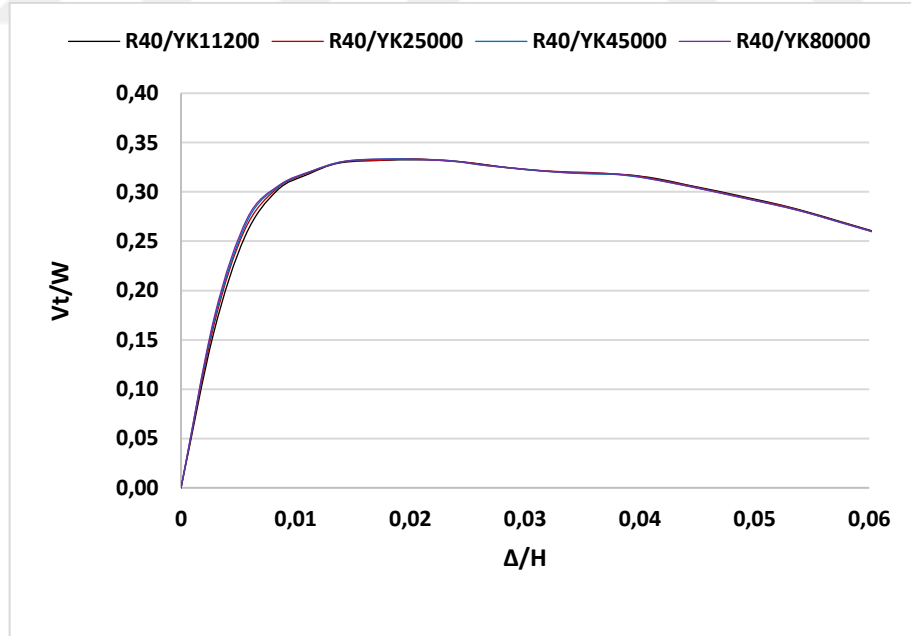


Şekil 5.15. 4 Katlı betonarme çerçeveseli bina için yatak katsayısı 45000 kN/m³ seçilerek farklı radye temel yüksekliğine ait x doğrultusundaki kapasite eğrileri

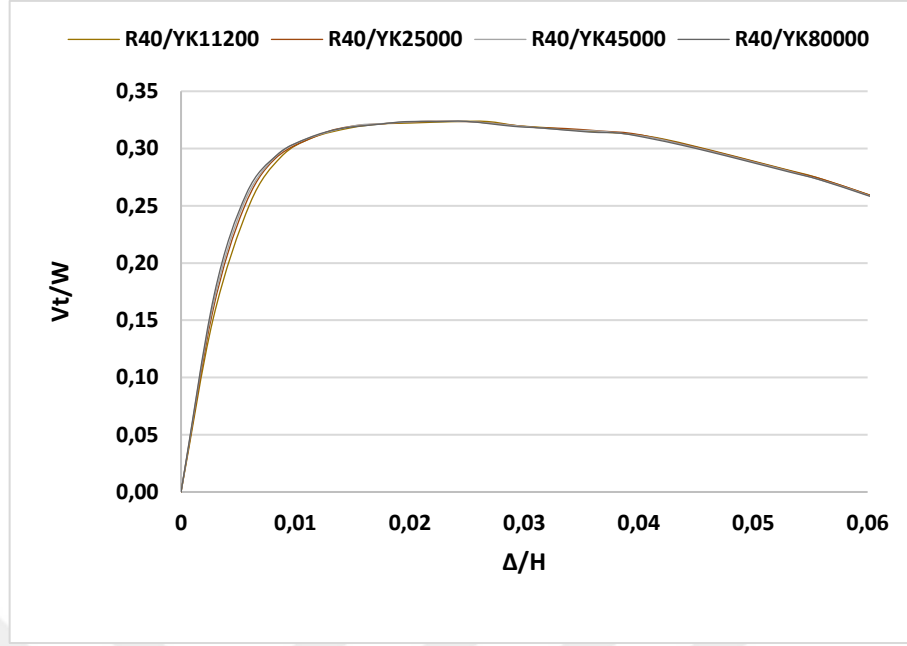


Şekil 5.16. 4 Katlı betonarme çerçeve bina için yatak katsayısı 45000 kN/m³ seçilerek farklı radye temel yüksekliğine ait y doğrultusundaki kapasite eğrileri

Radye temel yüksekliği sabit tutularak yatak katsayısı değiştirilmiştir. Elde edilen kapasite eğrileri her iki yön için Şekil 5.17 ve Şekil 5.18 ile verilmiştir.

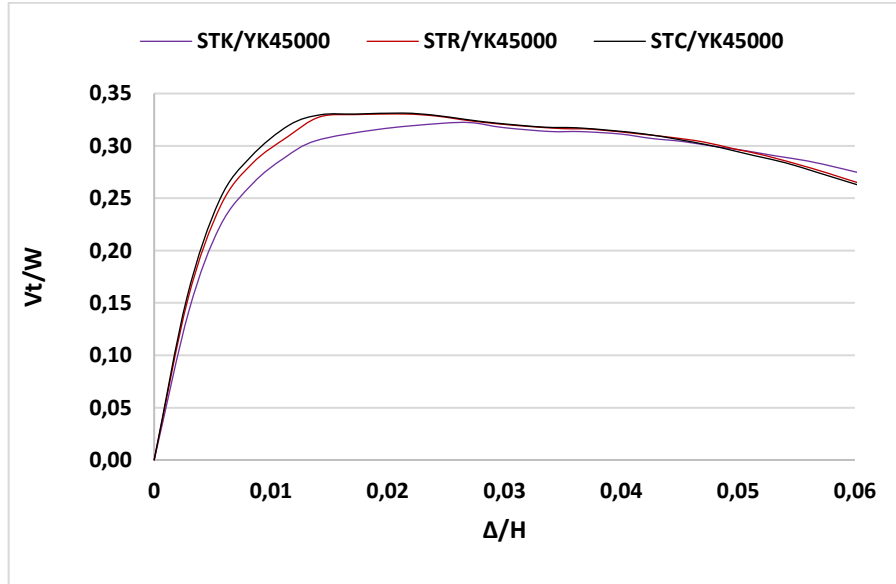


Şekil 5.17. 4 Katlı betonarme çerçeve binanın radye temel yüksekliği 400 mm için farklı yatak katsayısına ait x doğrultusundaki kapasite eğrileri

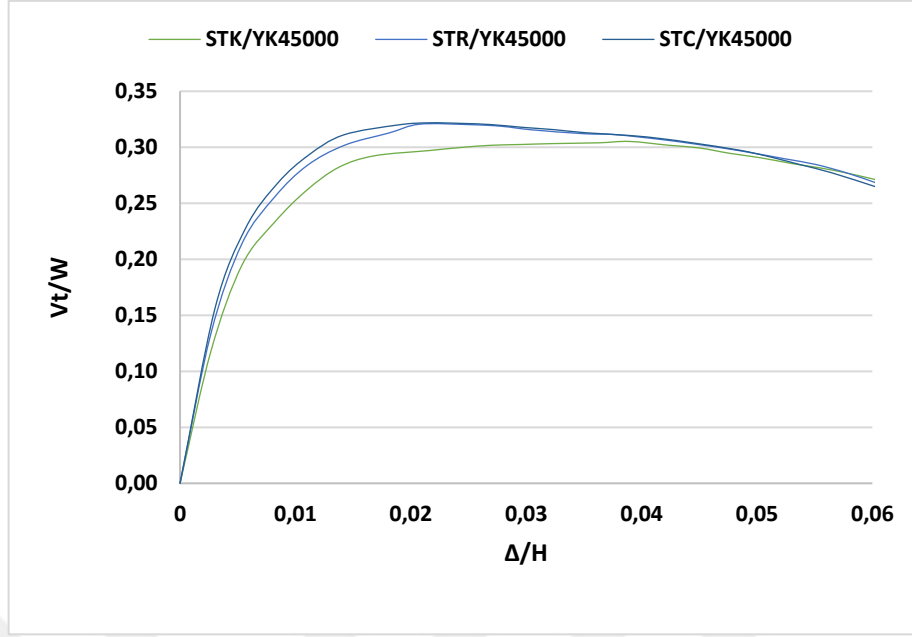


Şekil 5.18. 4 Katlı betonarme çerçeve binanın radye temel yüksekliği 400 mm için farklı yatak katsayısına ait y doğrultusundaki kapasite eğrileri

45000 kN/m³ yatak katsayısına sahip sürekli temeller yönetmelik sınırlarının altında, uygun ve üstünde olarak farklı seçilerek her iki yöndeki kapasite eğrileri Şekil 5.19 ve Şekil 5.20 ile verilmiştir.

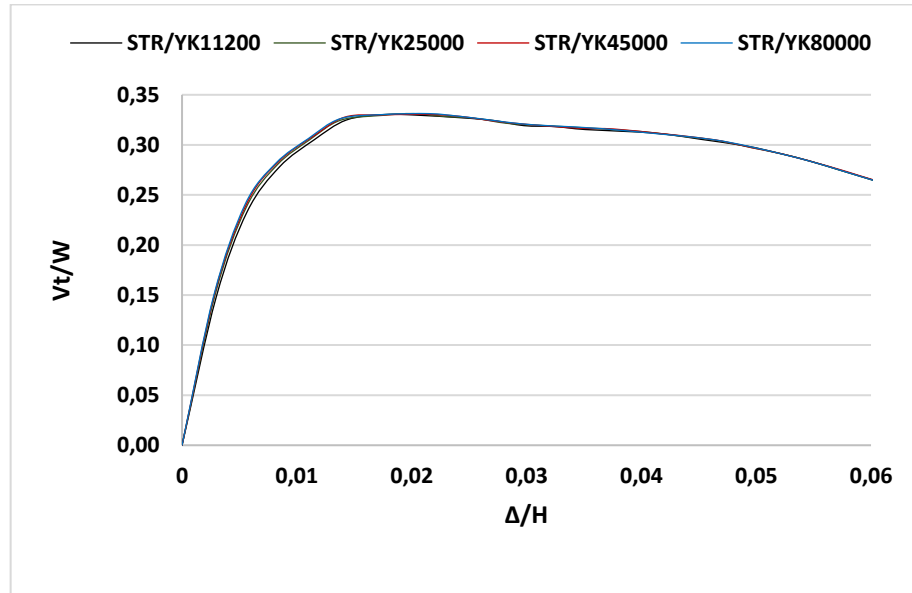


Şekil 5.19. 4 Katlı betonarme çerçeve binanın yatak katsayısı 45000 kN/m³ sürekli temeller için yönetmelik sınırlarının altında, uygun ve üstünde olma durumuna ait x doğrultusundaki kapasite eğrileri

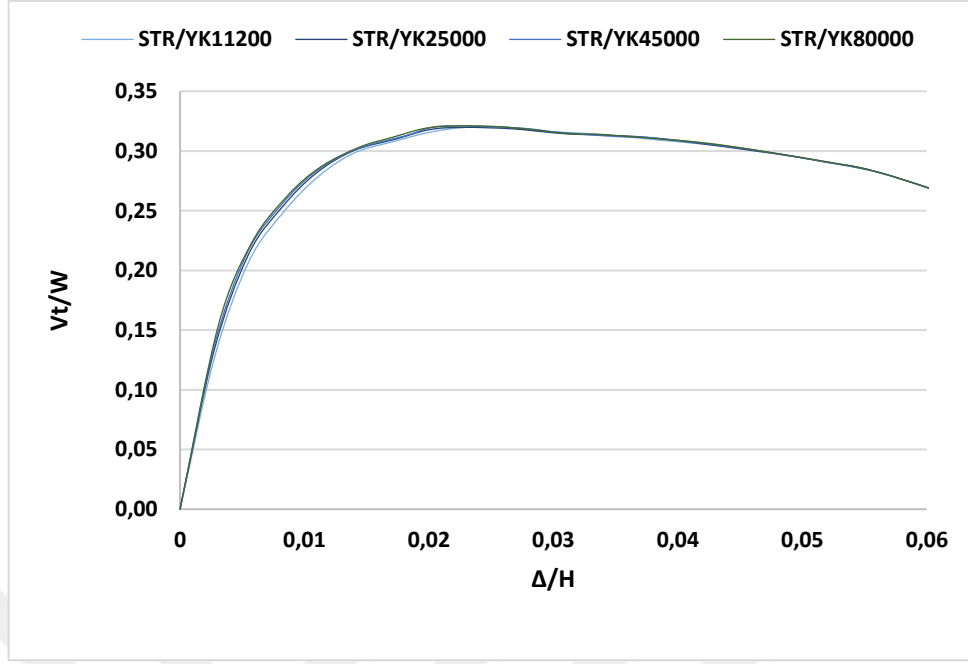


Şekil 5.20. 4 Katlı betonarme çerçeve binanın yatak katsayısı 45000 kN/m^3 sürekli temeller için yönetmelik sınırlarının altında, uygun ve üstünde olma durumuna ait y doğrultusundaki kapasite eğrileri

Yönetmelik koşullarının sağlandığı sürekli temelde yatak katsayısı farklı seçilerek her iki yöndeki kapasite eğrileri Şekil 5.21 ve Şekil 5.22’de gösterilmiştir.



Şekil 5.21. 4 Katlı betonarme çerçeve binanın yönetmelik sınırlarına uygun sürekli temel için farklı yatak katsayısına ait x doğrultusundaki kapasite eğrileri



Şekil 5.22. 4 Katlı betonarme çerçeve binanın yönetmelik sınırlarına uygun sürekli temel için farklı yatak katsayısına ait y doğrultusundaki kapasite eğrileri

Çalışma kapsamında yapılan analizler sonucunda daha net anlaşılması için taban kesme kuvveti ankastre modelin sismik ağırlığına, deplasman değeri ise kat yüksekliğine bölünerek kapasite eğrileri gösterilmiştir. Kütle katılım durumu dikkate alınarak ve daha uygun karşılaştırma yapılması amacıyla tüm modellerde ankastre temel kabulü yapılan referans model ağırlığı sismik ağırlık değeri olarak kullanılmıştır.

Şekillerden de anlaşılacağı gibi kapasite eğrileri tüm durumlarda birbirine yakındır. Akma sonrası durumda kapasite eğrilerinde farklılıklar çok ortaya çıkmamaktadır. Kapasite eğrilerinin akma öncesindeki eğiminden yapının rijitliğinin zemin rijitliği ve temel boyutlarının değişiminden etkilendiği sonucuna varılabilir.

Fakat temel boyutları küçüldükçe kapasite eğrilerinin eğiminin daha düşük olması binaların rijitliğinin temel boyutlarından etkilendiği sonucu çıkarılabilir.

5.4. Plastik Mafsallardaki Hasar Durumları

Statik itme analizi sonunda dayanımın %80'e düştüğü adımda mafsallardaki hasar durumlarına bakılarak x ve y yönleri için sırasıyla Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4 elde edilmiştir.

Çizelgede geçen A-E harfleri tipik mafsalları durumunun koordinatlarını gösterirken HK: Hemen kullanım, CG: Can Güvenliği, GÖ: Göçme Öncesi hasar sınırını ifade etmektedir.

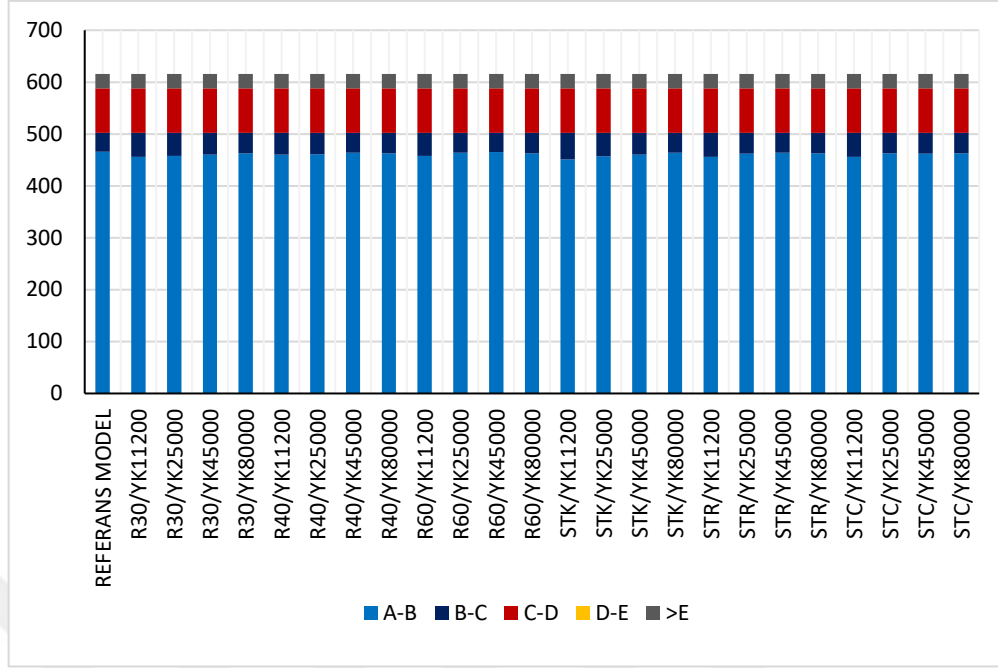
Çizelge 5.3. Artımsal itme analizinde dayanımın %80'e düştüğü adımda yapının mafsallarının hasar durumu X yönü

Model Adı	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-HK	HK-CG	CG-GÖ	>GÖ	Total
REFERANS MODEL	466	36	86	0	28	496	6	0	114	616
R30/YK11200	456	46	86	0	28	496	6	0	114	616
R30/YK25000	458	44	86	0	28	496	6	0	114	616
R30/YK45000	460	42	86	0	28	496	6	0	114	616
R30/YK80000	463	39	86	0	28	496	6	0	114	616
R40/YK11200	460	42	86	0	28	496	6	0	114	616
R40/YK25000	461	41	86	0	28	496	6	0	114	616
R40/YK45000	464	38	86	0	28	496	6	0	114	616
R40/YK80000	463	39	86	0	28	496	6	0	114	616
R60/YK11200	458	44	86	0	28	496	6	0	114	616
R60/YK25000	464	38	86	0	28	496	6	0	114	616
R60/YK45000	465	37	86	0	28	496	6	0	114	616
R60/YK80000	463	39	86	0	28	496	6	0	114	616
STK/YK11200	451	51	86	0	28	494	8	0	114	616
STK/YK25000	457	45	86	0	28	496	6	0	114	616
STK/YK45000	460	42	86	0	28	496	6	0	114	616
STK/YK80000	464	38	86	0	28	496	6	0	114	616
STR/YK11200	456	46	86	0	28	496	6	0	114	616
STR/YK25000	462	40	86	0	28	496	6	0	114	616
STR/YK45000	464	38	86	0	28	496	6	0	114	616
STR/YK80000	463	39	86	0	28	496	6	0	114	616
STC/YK11200	456	46	86	0	28	496	6	0	114	616
STC/YK25000	463	39	86	0	28	496	6	0	114	616
STC/YK45000	462	40	86	0	28	496	6	0	114	616

Çizelge 5.4. Artımsal itme analizinde dayanımın %80'e düştüğü adımda yapının mafsallarının hasar durumu Y yönü

Model Adı	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-HK	HK-CG	CG-GÖ	>GÖ	Total
REFERANS MODEL	453	49	76	0	38	493	6	0	117	616
R30/YK11200	431	71	79	0	35	496	6	0	114	616
R30/YK25000	444	58	78	0	36	496	6	0	114	616
R30/YK45000	447	55	79	0	35	496	6	0	114	616
R30/YK80000	451	51	76	0	38	496	6	0	114	616
R40/YK11200	439	63	78	0	36	496	6	0	114	616
R40/YK25000	450	52	80	0	34	496	6	0	114	616
R40/YK45000	451	51	81	0	33	496	6	0	114	616
R40/YK80000	453	49	81	0	33	494	6	0	116	616
R60/YK11200	444	58	79	0	35	496	6	0	114	616
R60/YK25000	451	51	77	0	37	495	6	0	115	616
R60/YK45000	453	49	76	0	38	495	6	0	115	616
R60/YK80000	453	49	76	0	38	495	6	0	115	616
STK/YK11200	414	88	76	0	38	492	10	0	114	616
STK/YK25000	434	68	71	0	43	496	6	0	114	616
STK/YK45000	439	63	72	0	42	496	6	0	114	616
STK/YK80000	447	55	76	0	38	496	6	0	114	616
STR/YK11200	430	72	79	0	35	496	6	0	114	616
STR/YK25000	441	61	76	0	38	496	6	0	114	616
STR/YK45000	451	51	79	0	35	495	6	0	115	616
STR/YK80000	451	51	76	0	38	496	6	0	114	616
STC/YK11200	438	64	76	0	38	496	6	0	114	616
STC/YK25000	446	56	79	0	35	496	6	0	114	616
STC/YK45000	452	50	74	0	40	495	6	0	115	616
STC/YK80000	449	53	76	0	38	495	6	0	115	616

X yönündeki mafsalların hasar durumunu gösteren Çizelge 5.3 daha net açıklanmak için grafik hazırlanmıştır. Şekil 5.23 ve Şekil 5.24 ile grafikler gösterilmiştir.

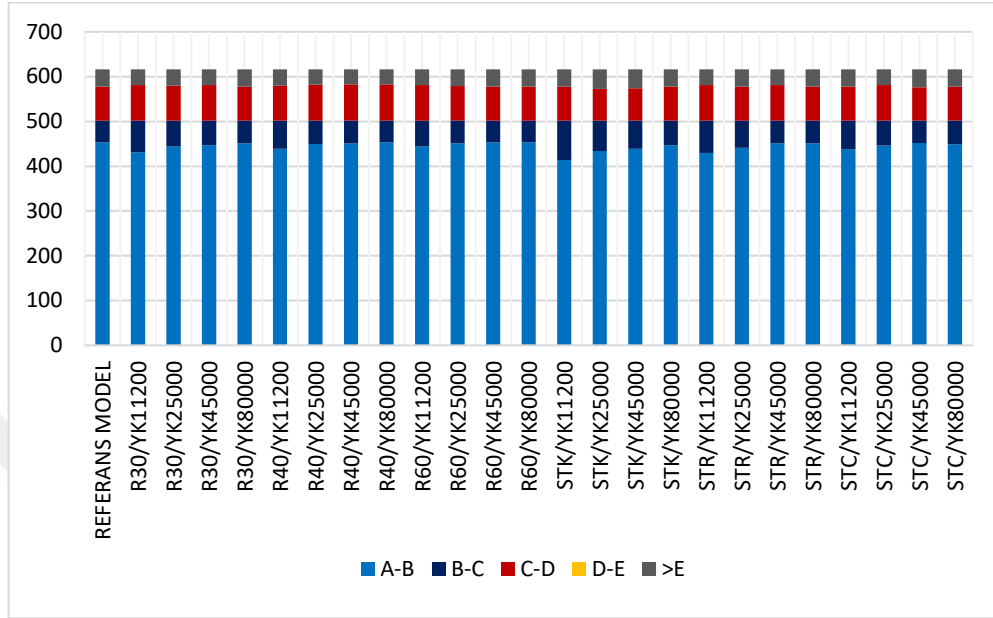


Şekil 5.23. 4 Katlı betonarme çerçeve bina modellerine ait x yönü plastik mafsalları durumu dağılımı

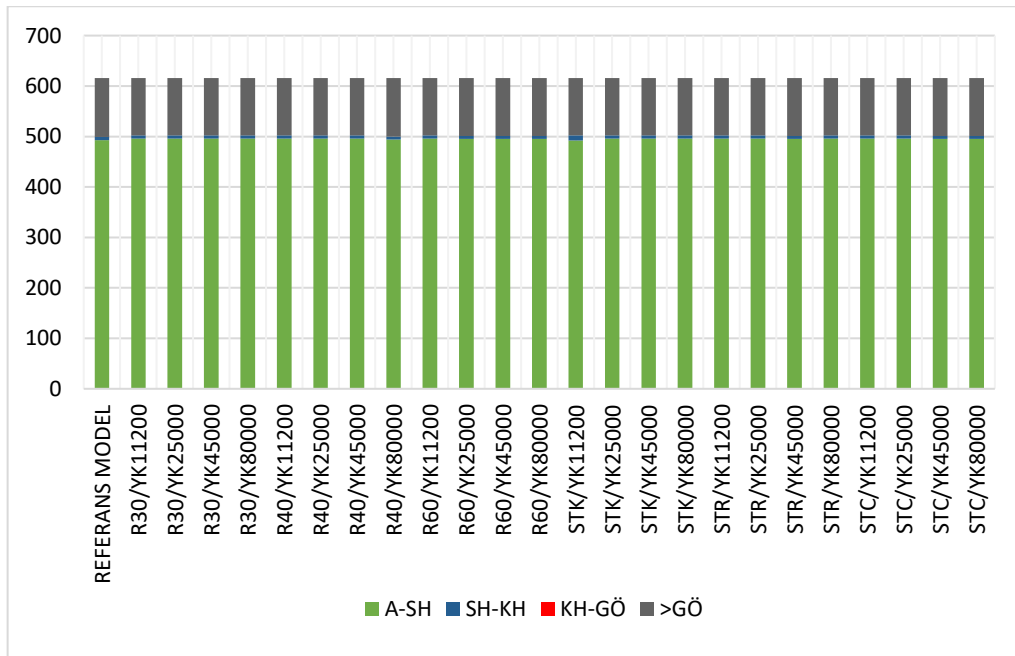


Şekil 5.24. 4 Katlı betonarme çerçeve bina modellerine ait x yönü plastik mafsalları hasar durumu dağılımı

Y yönündeki mafsalların hasar durumunu gösteren Çizelge 6.4 daha net açıklanmak için Şekil 5.25 ve Şekil 5.26'daki grafikler elde edilmiştir.



Şekil 5.25. 4 Katlı betonarme çerçeve bina modellerine ait y yönü plastik mafsalları durumu dağılımı



Şekil 5.26. 4 Katlı betonarme çerçeve bina modellerine ait y yönü plastik mafsalları hasar durumu dağılımı

Kapasite eğrilerinin bütün adımları göz önünde bulundurularak dayanımın maksimum değerinin %80'e düştüğü adımda mafsalların hasar durumlarına bakılmıştır. Farklılıklar her ikisi de göçmüş plastik mafsalları gösteren C-D ve >E seviyeleri arasındadır. A-C ve >C (göçmemiş ve göçmüş) durumları göz önüne alındığında fark çok sınırlıdır.

Şekil 5.24'te bazı farklılıklar görülmektedir. KH seviyesinin üzerindeki hasarlı plastik mafsal sayısı ankastre mesnet kabulü yapılan referans modele göre zemin yapı etkileşiminin dikkate alındığı diğer temellerde %1,7 ve %2,6 daha düşüktür.

Hasar durumları dikkate alındığında referans modele göre ağır hasarlı eleman sayısındaki farklılıklar çok düşüktür. Plastik mafsalların durumu ve dağılımı yukarıdaki çizelge ve şekillerden de anlaşılacağı gibi temel ve zemin rijitliğinin değişiminden çok etkilenmemektedir.

5.5. Enerji Sönüm Miktarı

X ve Y yönleri için artımsal itme analizinde dayanımın %80'e düştüğü adımda yapının enerji sönüm miktarı ve ana modele göre oranları Çizelge 5.5 ile açıklanmıştır.

Çizelge 5.5. Artımsal itme analizinde x ve y yönleri için dayanımın %80'e düştüğü adımda enerji sönüm miktarları ve referans modele göre değişim oranları

MODEL ADI	Enerji Sönüm Miktarı		Referans Modele Göre Değişim Oranı	
	X yönü	Y yönü	X yönü	Y yönü
REFERANS MODEL	636,9391	474,7313	1,0000	1,0000
R30/YK11200	636,5040	475,1177	0,9993	1,0008
R30/YK25000	638,1076	475,7342	1,0018	1,0021
R30/YK45000	637,5375	476,7473	1,0009	1,0042
R30/YK80000	638,5452	477,6472	1,0025	1,0061
R40/YK11200	639,5975	477,0462	1,0042	1,0049
R40/YK25000	638,1304	479,4888	1,0019	1,0100
R40/YK45000	638,8412	478,6011	1,0030	1,0082
R40/YK80000	639,1579	478,9459	1,0035	1,0089
R60/YK11200	636,9902	476,9624	1,0001	1,0047
R60/YK25000	637,9298	479,3803	1,0016	1,0098
R60/YK45000	635,9204	474,5842	0,9984	0,9997
R60/YK80000	638,5765	477,3171	1,0026	1,0054
STK/YK11200	642,4005	479,1529	1,0086	1,0093
STK/YK25000	642,0278	475,3074	1,0080	1,0012
STK/YK45000	641,2727	479,2432	1,0068	1,0095

Çizelge 5.5. Devam

MODEL ADI	Enerji Sönüm Miktarı		Referans Modele Göre Değişim Oranı	
	X yönü	Y yönü	X yönü	Y yönü
STK/YK80000	638,6760	479,4858	1,0027	1,0100
STR/YK11200	641,1739	479,4478	1,0066	1,0099
STR/YK25000	640,3463	480,8501	1,0053	1,0129
STR/YK45000	641,3575	480,9835	1,0069	1,0132
STR/YK80000	638,9033	480,9913	1,0031	1,0132
STC/YK11200	640,6403	477,1471	1,0058	1,0051
STC/YK25000	640,2517	480,5284	1,0052	1,0122
STC/YK45000	640,9567	477,9570	1,0063	1,0068
STC/YK80000	639,3623	481,7147	1,0038	1,0147

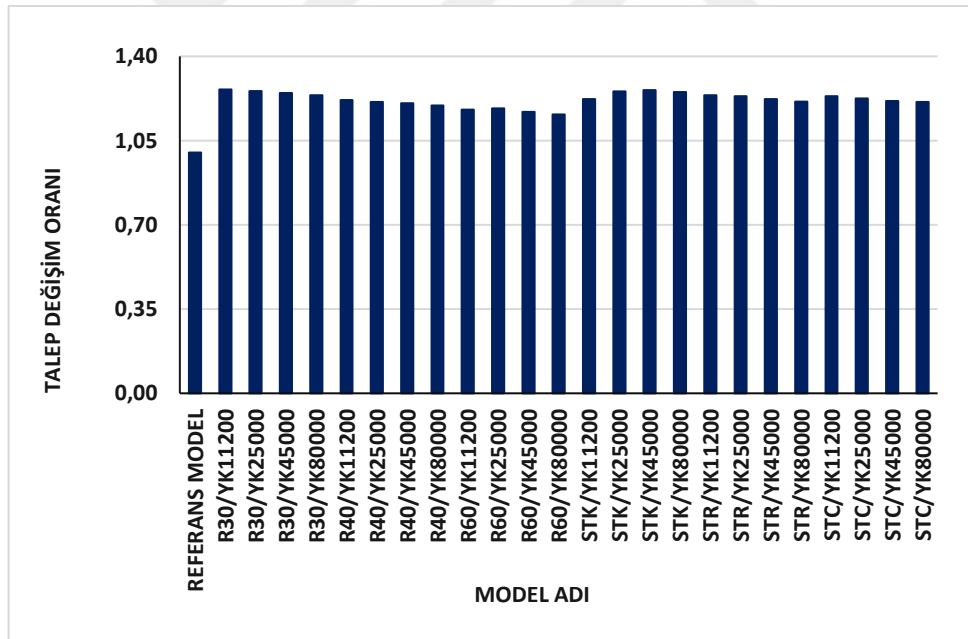
Enerji yutma kapasitesi moment eğrilik grafiği altında kalan alanı ifade etmektedir. Dayanımın %80'e düştüğü adımda M_3 ve θ_3 değerleri SAP2000 programından okunarak iki değer çarpılıp bütün $M_3 \times \theta_3$ değerlerinin toplanmasıyla enerji sönüm miktarı her iki yön için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Dayanımın %80'e düştüğü adımda yapının enerji sönüm miktarı temel tipi, temel boyutu ve yatak katsayısı değişiminden fazla etkilenmemektedir. Çizelge 5.5'ten de anlaşıldığı gibi enerji sönüm miktarlarına bakılarak yorum yapılacak düzeyde genel bir sonuç çıkarılamamıştır.

5.6. Bina Çatı Deplasmanı Talep Değeri

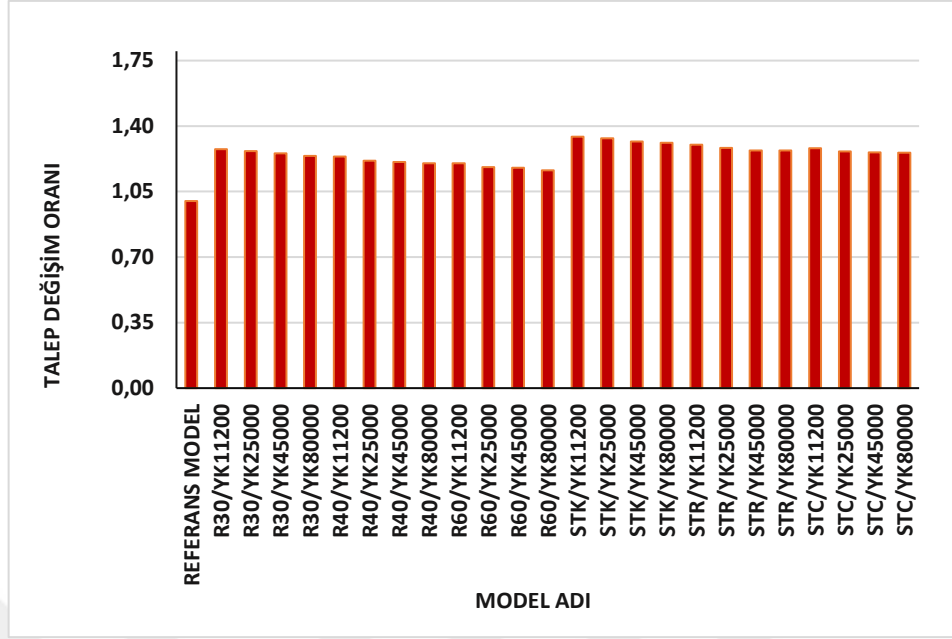
2018 Deprem Yönetmeliği dikkate alınarak çatı deplasman talep değeri hesaplanmıştır. Çatı deplasman talebi değerlerinin daha kolay hesaplanması için excel dosyası hazırlanmıştır. SAP2000 programından 1.mod şekil durumu için çatının ağırlık merkezi modal deplasmanı ve aynı mod şekli ve yönü için PF değerleri alınmıştır. Alınan değerler excel dosyasında ilgili yerlere yazılarak grafikler ve çatı deplasman talebi elde edilmiştir. Çatı deplasman talebi değerinin hesabında kullanılan excel dosyası Şekil 5.27 ile örnek bir model için gösterilmiştir. Her model için çatı deplasmanı talep değerleri ve referans modele kıyasla değişim oranları Çizelge 5.6 ile detaylı olarak verilmiştir. Şekil 5.28 ve Şekil 5.29 ile çatı deplasman talebindeki değişim grafik olarak gösterilmiştir.

Çizelge 5.6.Devam

MODEL ADI	Çatı Deplasman Talebi (m)		Referans Modele Göre Değişim Oranı	
	X yönü	Y yönü	X yönü	Y yönü
R60/YK80000	0,051	0,051	1,168	1,164
STK/YK11200	0,053	0,058	1,223	1,343
STK/YK25000	0,055	0,058	1,255	1,335
STK/YK45000	0,055	0,057	1,260	1,317
STK/YK80000	0,055	0,057	1,252	1,311
STR/YK11200	0,054	0,057	1,238	1,300
STR/YK25000	0,054	0,056	1,235	1,283
STR/YK45000	0,053	0,055	1,222	1,270
STR/YK80000	0,053	0,055	1,212	1,270
STC/YK11200	0,054	0,056	1,235	1,282
STC/YK25000	0,053	0,055	1,225	1,264
STC/YK45000	0,053	0,055	1,214	1,260
STC/YK80000	0,053	0,055	1,210	1,257



Şekil 5.28. 4 katlı betonarme binanın x doğrultusuna ait deplasman talebi değişimi oranları



Şekil 5.29. 4 katlı betonarme binanın y doğrultusuna ait deplasman talebi değişim oranları

Çizelge ve şekiller yorumlandığında çatı deplasmanı talep değerindeki referans modele oranla en büyük artış STK/YK11200 modelinde %34 oranındadır. Radye temel boyutları arttıkça çatı deplasman talebinin referans modele oranı düşmüştür. Referans modele oranla çatı deplasman talebinin artışı Radye temellerde en büyük %27, sürekli temellerde %34 tür. Yani temel ve zemin rijitliği yer değiştirme talebindeki artış üzerinde etkilidir.

5.7. Talebin Bina Yüksekliğine Oranı

Bina çatı deplasman talep değerleri bina yüksekliğine bölünerek Çizelge 5.7 elde edilmiştir.

Çizelge 5.7. Her iki yön için bina çatı deplasmanı talep değerinin bina yüksekliğine oranı ve yüzde olarak verilmesi

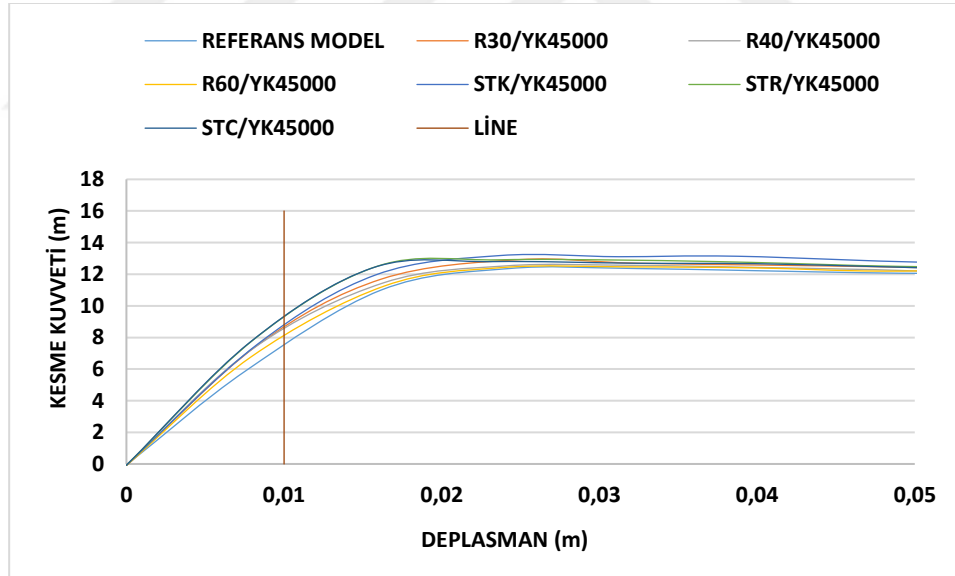
MODEL ADI	Çatı Deplasman Talebi/Bina Yüksekliği		Oran %	
	X yönü	Y yönü	X yönü	Y yönü
REFERANS MODEL	0,0039	0,0039	0,390	0,389
R30/YK11200	0,0049	0,0050	0,492	0,496
R30/YK25000	0,0049	0,0049	0,490	0,492
R30/YK45000	0,0049	0,0049	0,487	0,488
R30/YK80000	0,0048	0,0048	0,483	0,482
R40/YK11200	0,0048	0,0048	0,475	0,481
R40/YK25000	0,0047	0,0047	0,472	0,472
R40/YK45000	0,0047	0,0047	0,470	0,470
R40/YK80000	0,0047	0,0047	0,466	0,467
R60/YK11200	0,0046	0,0047	0,459	0,467
R60/YK25000	0,0046	0,0046	0,461	0,459
R60/YK45000	0,0046	0,0046	0,456	0,458
R60/YK80000	0,0046	0,0045	0,455	0,453
STK/YK11200	0,0048	0,0052	0,477	0,522
STK/YK25000	0,0049	0,0052	0,489	0,519
STK/YK45000	0,0049	0,0051	0,491	0,512
STK/YK80000	0,0049	0,0051	0,488	0,510
STR/YK11200	0,0048	0,0051	0,483	0,505
STR/YK25000	0,0048	0,0050	0,481	0,499
STR/YK45000	0,0048	0,0049	0,476	0,494
STR/YK80000	0,0047	0,0049	0,472	0,494
STC/YK11200	0,0048	0,0050	0,482	0,498
STC/YK25000	0,0048	0,0049	0,478	0,492
STC/YK45000	0,0047	0,0049	0,473	0,490
STC/YK80000	0,0047	0,0049	0,472	0,489

Çatı deplasman talebinin bina yüksekliğine oranına bakıldığında referans modele kıyasla zemin yapı etkileşimli modellerde bu değerler daha yüksektir. Radye temel boyutu arttıkça çatı deplasman talebinin bina yüksekliğine oranı düşmüştür. Çatı deplasman talebinin bina yüksekliğine oranındaki artış en fazla STK/YK11200 olan modelde %52 olarak görülmektedir.

5.8. Kesme Kuvveti Değişimi

Temel rijitliği, binanın genel rijitliğini etkilemesinin yanı sıra, kolonlar arasındaki toplam kesme dağılımını da etkiler. Daha büyük kolonlarda/perde duvarlarda dönmeyi önlemek için sonlu temel boyutları daha zayıf olduğundan, büyük boyutlu kolonlar daha küçük kolonlara kıyasla zemin rijitliği kaybından daha fazla etkilenir. Bu, daha büyük kolonlarda daha küçük kolonlara göre daha fazla rijitlik kaybına yol açar ve bu da daha küçük kolonlarda ankastre mesnet kabulü yapılan analizlerde beklenenden daha fazla kesme kuvveti artışına neden olur.

4 katlı betonarme binada 400x400 mm boyutuna sahip normal bir kolon için yatak katsayısı 45000 kN/m³ sabit alınarak farklı temel türleri için 0.01 m çatı deplasmanına karşılık gelen kesme kuvveti değerlerine bakılmıştır. 0.01 m değeri akma öncesindeki ortalama bir deplasman değeridir ve eğri o kısımda lineer olduğundan yeri önemli değildir. Şekil 5.30’da grafik halinde verilen kesme kuvveti değerleri Çizelge 5.8’de daha net açıklanmıştır.



Şekil 5.30. 4 katlı betonarme binanın X doğrultuna ait 400x400 mm normal kolon kesme kuvveti – deplasman değerleri

Çizelge 5.8. 4 katlı betonarme binanın X doğrultuna ait normal kolon 0,01 m deplasmana karşılık gelen kesme kuvvetleri ve değişim oranları

MODEL ADI	DEPLASMAN (m)	KESME KUVVETİ (kN)	KESME KUVVETİ DEĞİŞİM ORANI
REFERANS MODEL	0,01	74.0	1.00
R30/YK45000	0,01	85.0	1.15
R40/YK45000	0,01	84.3	1.14
R60/YK45000	0,01	79.9	1.08
STK/YK45000	0,01	86.3	1.17
STR/YK45000	0,01	91.2	1.23
STC/YK45000	0,01	91.5	1.24

0.01 m deplasmana karşılık gelen kesme kuvveti değerleri farklı modeller için karşılaştırıldığında referans modele kıyasla yapı zemin etkileşimli modellerde %8 ile %24 oranında bir artış görülmektedir. Radye temel boyutu arttıkça kesme kuvveti değişim oranı azalmaktadır. Sürekli temellerde ise yönetmelik koşulları sağlandığında ve boyutlar artırıldığında kesme kuvvetindeki değişim oranı artmaktadır. En büyük değişim STC/YK45000 olan modelde gözlemlenmiştir. Bu değişim ihmal edilemeyecek düzeydedir. Bu değerler aynı zamanda plastik mafsallardaki durumlarındaki değişim ile de ilgilidir. Diğer yatak katsayısı değerlerinde de benzer durum gözlenmiştir.

6. DEPLASMAN ARTIŞI TAHMİN DENKLEMİ ELDE EDİLMESİ

Tez çalışması kapsamında analizi yapılan 4 katlı betonarme binaya ait 50 veri ile literatürde daha önce Yaşar ve Özmen tarafından yapılan çalışmada kullanılan 7 katlı betonarme binaya ait 50 veri (Yaşar ve Özmen, 2022), toplamda 100 değer bu bölümde elde edilen denklemi kurmada kullanılmıştır.

Ankastre mesnet kabulü yapılan referans modele göre binadaki deplasman artışını tahmin edip temel yapı elemanlarının boyutlandırmasını yapmak için bir denklem elde edilmiştir. Gerçek veriler ile tahmin edilen verilerin birbirine yakınlığını $R=0,8056$ korelasyon katsayısı ifade etmektedir. Binanın ankastre mesnet kabulü yapılan bir temele göre kaç kat deplasman yapacağı denklem 6.1 ile verilmiştir.

$$Deplasman \text{ Çarpım Tahmin} = \frac{X1}{(I_{Temel}-X2)^{X3}*(Zemin-X4)^{X5}} + X6 \quad (6.1)$$

Denklem 6.1 elde edilirken farklı formata sahip denklemler genetik algoritma yöntemi kullanılarak denenmiştir. Fiziksel forma en uygun olduğu gözlenen Denklem 6.1 ile verilen denklem formu ile en iyi sonuçlar alınmıştır. Denkleminde belirtilen $X1$ 'den $X6$ 'ya kadar olan değerler tez kapsamında elde edilen model değerlerine göre minimum hata olacak şekilde optimize edilerek belirlenmiştir.

Denkleminde birimler m ve kN olarak seçilmiştir. Denklem 6.1'de geçen I_{Temel} denkleminde kullanılan temelin atalet momentini, zemin ise zemin yatak katsayısını ifade etmektedir. Denklemin ifade ettiğine göre I_{Temel} değeri $X2$ değerine eşit olduğunda deplasman çarpım tahmini sonsuz olmaktadır. Bu durumda I_{Temel} değeri Çizelge 6.1'de verilen $X2$ 'ye eşitlenirse kare sürekli temel minimum yüksekliği 0,313 ve efektif genişliği 3h olan radye temel minimum yüksekliği 0,238 olarak hesaplanmaktadır. Bahsedilen temellerde bu değerler altında kullanılan temel yüksekliklerinde stabilite kaybı görülecektir.

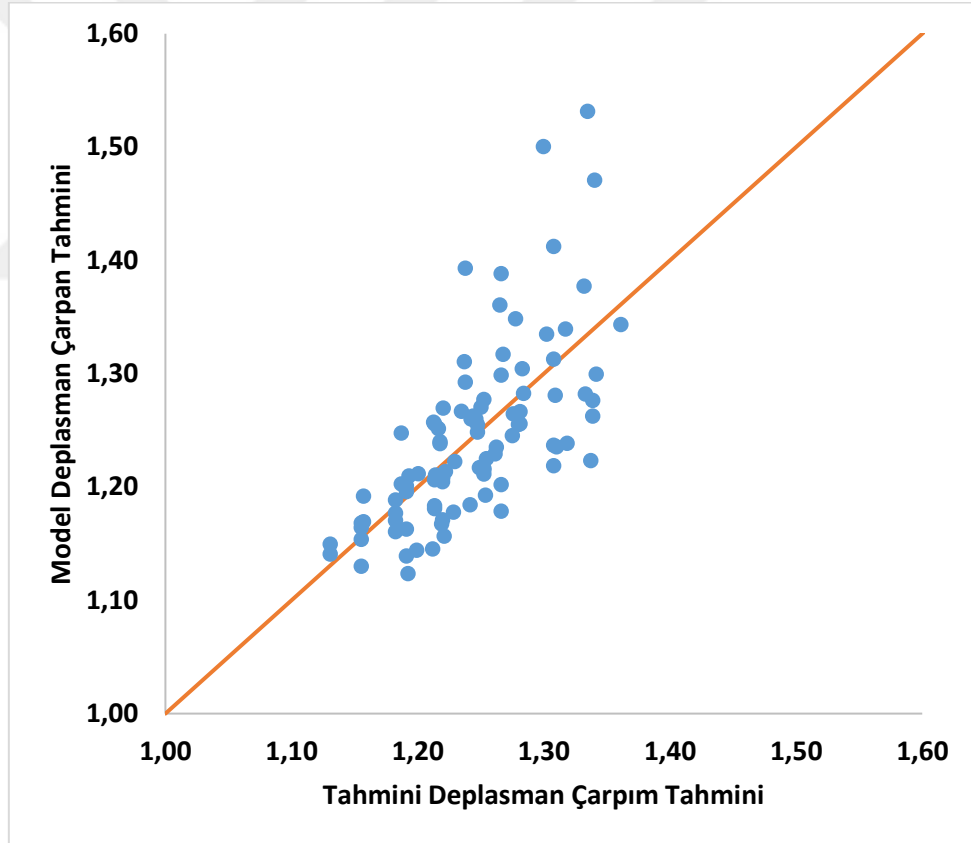
Denklem yorumlandığında zemin yatak katsayısı en az $X4$ 'e eşit olmalıdır. Bu değer altında klasik yüzeysel temel kullanılamaz. Denkleminde kullanılan $X2$ ve $X4$ değerleri sınır değerleri olup bölüm konumunda oldukları için bu değerlere ulaşıldığında

stabilite kaybı oluşacaktır. Denklemden kullanılan sabit değerler Çizelge 6.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. 4 katlı betonarme bina için ankastre temele göre deplasman çarpım tahmini denkleminde geçen sabit değerler

X1	X2	X3	X4	X5	X6
1,64	0,0008	0,017	5500	0,037	0,004

Şekil 6.1’de verilen grafikte ankastre mesnet kabulü yapılan temele göre binadaki deplasman artışını tahmin etmek için modellerdeki gerçek verilerimiz ile tahmin ettiğimiz değerlerin birbirine yakınlığı gösterilmiştir.



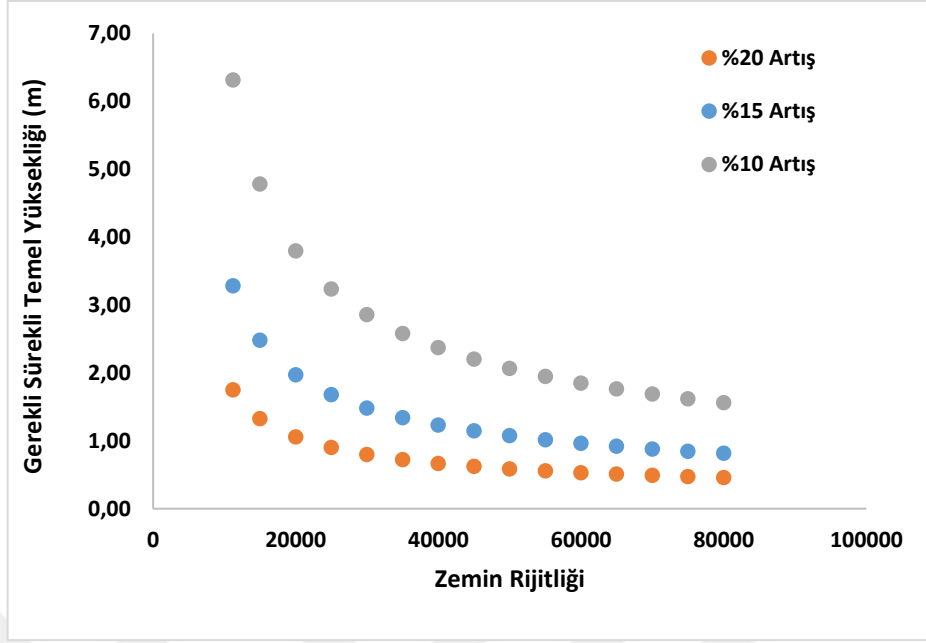
Şekil 6.1. Model deplasman çarpım tahmini ile tahmini deplasman çarpım tahmini arasındaki ilişki

Hazırlanan denklem kullanılarak ankastre mesnet kabulü yapılan temele göre %10, %15 ve %20 deplasman artışı durumlarında zemin rijitliğine bağlı olarak minimum radye ve sürekli temel yükseklikleri m cinsinden hesaplanmıştır ve Çizelge 6.2’de gösterilmiştir. Çizelgede RT radye temeli, ST sürekli temeli ifade etmektedir.

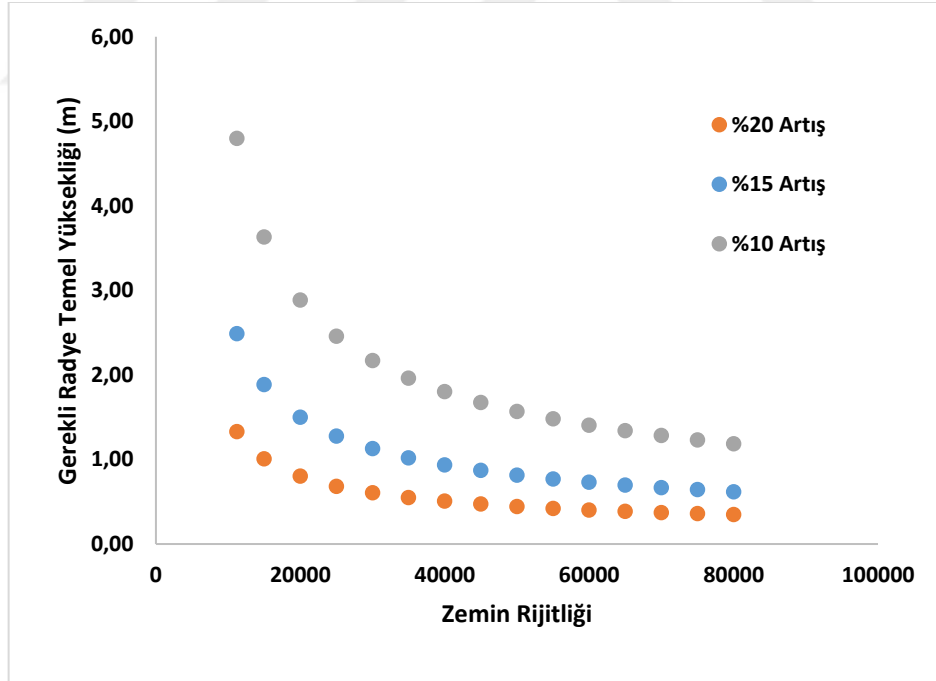
Çizelge 6.2. Ankastre mesnet kabulü yapılan temele göre %10, %15 ve %20 deplasman artışı durumlarında zemin rijitliğine bağlı olarak minimum radye ve sürekli temel yükseklikleri

Zemin Yatak katsayısı (kN/m3)	%10 Değişim		%15 Değişim		%20 Değişim	
	Min. RT Yüksekliği	Min. ST Yüksekliği	Min. RT Yüksekliği	Min. ST Yüksekliği	Min. RT Yüksekliği	Min. ST Yüksekliği
11200	4,80	6,31	2,49	3,28	1,33	1,75
15000	3,63	4,78	1,88	2,48	1,01	1,32
20000	2,89	3,80	1,50	1,97	0,80	1,05
25000	2,46	3,23	1,27	1,68	0,68	0,90
30000	2,17	2,86	1,13	1,48	0,60	0,80
35000	1,96	2,58	1,02	1,34	0,55	0,72
40000	1,80	2,37	0,94	1,23	0,50	0,66
45000	1,67	2,20	0,87	1,14	0,47	0,62
50000	1,57	2,06	0,82	1,07	0,44	0,58
55000	1,48	1,95	0,77	1,01	0,42	0,55
60000	1,40	1,85	0,73	0,96	0,40	0,53
65000	1,34	1,76	0,70	0,92	0,39	0,51
70000	1,28	1,69	0,67	0,88	0,37	0,49
75000	1,23	1,62	0,64	0,84	0,36	0,47
80000	1,18	1,56	0,62	0,81	0,35	0,46

Çizelge 6.2 de verilen değerler Şekil 6.2 ve Şekil 6.3’de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Ankastr mesnet kabulü yapılan temele göre %10, %15 ve %20 deplasman artışı durumlarında zemin rijitliğine bağlı olarak minimum sürekli temel yükseklikleri



Şekil 6.3. Ankastr mesnet kabulü yapılan temele göre %10, %15 ve %20 deplasman artışı durumlarında zemin rijitliğine bağlı olarak minimum radye temel yükseklikleri

Çizelge 6.2'ye göre örnek verilecek olursa zemin yatak katsayısı 11200 kN/m^3 olan bir radye temelin ankastre mesnet kabulü yapılan temele göre %10 daha fazla deplasman yapabilmesi için 4,80 m yüksekliğe sahip olması gereklidir. Zemin yatak katsayısı 60000 kN/m^3 olan bir sürekli temel %20 daha fazla deplasman yapabilmesi için 0,53 m yüksekliğe sahip olması gereklidir.

Zemin yatak katsayısının 11200 kN/m^3 gibi çok düşük bir değer seçilmesinin nedeni zemin rijitliği için uç değer alınıp interpolasyon yapılması, ekstrapolasyon yapılmamasıdır. Zemin rijitliğinin bu kadar düşük olmasına karşılık temel boyutlarının parabolik olarak artması normal görülebilir. Zemin yatak katsayısının 11200 kN/m^3 alındığı durumda %10 deplasman artışına izin verildiğinde 4,80 m yüksekliğe sahip radye temel boyutu gereklidir. Bu değer çok büyük olarak görülmektedir fakat zemin rijitliğinin çok düşük olması nedeniyle ankastreliği sağlamak tamamen temele bağlıdır. Bu uç değerde denklem ile ekonomik sonuçlar elde edilmemektedir fakat ara değerlerde daha fazla ekonomik sonuçlar görülmektedir. Bu da ekstrem bir durum olduğundan denklem kuruluşunda normal karşılanabilir. Diğer bir bakış açısıyla zemin rijitliğini artırarak deplasman artışına da izin verilerek daha ekonomik sonuçlar denklem ile elde edilebilir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Literatürde Bulunan 7 Katlı Bina Modeli ile Tez Çalışmasında Kullanılan 4 Katlı Bina Modelinin Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Çalışma kapsamında analizi yapılan 4 katlı betonarme binaya ait 50 veri ile literatürde daha önce Yaşar ve Özmen tarafından yapılan çalışmada kullanılan 7 katlı betonarme binanın (Yaşar ve Özmen, 2022) analiz sonuçları bu bölümde karşılaştırılmıştır.

- 4 katlı betonarme bina ve 7 katlı betonarme binanın her ikisinde de ankastre mesnetli temellerdeki doğal titreşim periyodu yapı zemin etkileşimli modellere göre daha düşüktür.
- Radye temellerde periyot artışı 4 katlı bina için %28 oranındadır. 7 katlı betonarme bina için bu değer %35 oranındadır.
- Sürekli temellerde 4 katlı binada en büyük değişim 11200 kN/m^3 yatak katsayısına sahip yönetmelik koşullarının altında tasarlanmış sürekli temelde görülmüştür. Bu değişim %44 oranında referans modele göre periyot artışıdır. 7 katlı betonarme binada sürekli temellerde yönetmelik şartlarının altındaki 11200 kN/m^3 yatak katsayısına sahip modelde %83 gibi çok yüksek bir değerle periyot artışı gözlemlenmiştir.
- Radye temellerin geometrik durumları aynı olduğundan yatak katsayısının periyot değişimine oranı 11.200 kN/m^3 ve 80.000 kN/m^3 arasında 4 katlı betonarme binalar için ortalama %16 ve 7 katlı betonarme binalar için %18 oranındadır.
- Sürekli temellerde 11.200 kN/m^3 ve 80.000 kN/m^3 arasında yönetmelik şartlarına uyulmayan temelde 4 katlı betonarme bina için zemin yatak katsayısının periyot değişimine etkisi ortalama %36 değerinde, 7 katlı betonarme bina için %50'ye yakın değerlerdedir. Yönetmelik şartlarına uygun sürekli temelde ise 4 katlı betonarme binada bu değer %24, 7 katlı betonarme binada %23 seviyesindedir.

- Yatay dayanım oranları zemin yapı etkileşimli modellerde referans modele göre 4 katlı ve 7 katlı binaların her ikisinde de çok farklı değişimlere yol açmamaktadır. 4 katlı betonarme binalardaki zemin yapı etkileşimli modellerin referans modele göre değişim oranları yönetmelik koşulları sağlandığında %4 ile sınırlı fakat yönetmelik sınırları sağlanmadığında bu düşüşler %9 seviyelerine varmaktadır. 7 katlı bina için çoğu durumda değişim %2 seviyesinden daha düşük olmasına rağmen yönetmelik koşullarının sağlanmadığı temellerde %7'ye varan kayıplar gözlemlenmektedir.
- Plastik mafsallardaki hasar durumları ve dağılımları her iki betonarme bina için temel ve zemin rijitliği değişiminden %3'ten daha az değerlerle etkilenmektedir.
- Çatı deplasman talep değişimlerine bakıldığında 4 katlı betonarme binada en büyük değişim yönetmelik koşullarının altındaki STK/YK11200 modelinde %34 talep artışı ile gözlemlenirken 7 katlı betonarme binada en büyük değişim yönetmelik koşullarının altındaki STK/YK11200 modelinde referans modele oranla %82 talep artışı ile olmuştur.

7.2. Tez Çalışmasında Elde Edilen Bulgular

Bina tasarımı ve değerlendirmelerinde zemin ve temel etkilerinin ayrı ayrı dikkate alınması fakat temel-zemin-yapı etkileşiminin dikkate alınmaması sonucunda ankastre mesnet kabulü bu zamana kadar yaygın olarak kullanılmıştır. Ankastre mesnet kabulü ile temellerde meydana gelen dönme ve yerdeğiştirmelerin ihmal edilmesiyle gerçekçi bir bina modellemesinden uzaklaşmaktadır. Son zamanlarda yapılan çalışmalar ile yapı-zemin etkileşimi kavramının önemi vurgulanmıştır.

Yapılan çalışmada ülkemiz yapı stoğunun genel özelliklerini yansıtan 4 katlı yapıya ait 24 farklı durumu yansıtan modellerin ve ankastre kabulü yapılan modelin analizi SAP2000 programı ile yapılmıştır. TBDY-2018 ve TS500 esas alınarak farklı yatak katsayılı (11.200, 25.000, 45.000, 80.000 kN/m³ zeminler üzerine farklı boyutlarda radye ve sürekli temel kullanılarak 25 model elde edilmiştir. Her iyi yönde analizi yapıldığı için 50 analiz durumu değerlendirilmiştir. Bu tez kapsamında çalışılan bina ile literatürde Yaşar ve Özmen tarafından yapılan çalışmada kullanılan 7 katlı betonarme

binanın (Yaşar ve Özmen, 2022) analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Her iki yönde toplam 100 değer kullanılarak ankastre mesnet kabulü yapılan referans modele göre binadaki deplasman artışını tahmin edip temel yapı elemanlarının boyutlandırmasında fikir verebilecek bir denklem elde edilmiştir. Tez çalışması kapsamında elde edilen bulgular şu şekilde sıralanabilir:

- Modellerin rijitliği temel boyutu ve zemin yatak katsayısından önemli ölçüde etkilenmektedir. Birinci doğal titreşim periyodu zemin yapı etkileşimli modellerde ankastre mesnet kabulü yapılan referans modele oranla daha yüksektir. Temel ve zemin rijitliğine bağlı olarak %44'e varan periyot artışı görülmektedir. Yönetmelik koşullarına uygun temeller ve ortalama zemin koşulları için %20 civarında bir artış rahatlıkla gözlemlenebilir.
- Binaların yatay dayanımları temel ve zemin rijitliğinden daha az etkilenmektedir. Yönetmelik şartları sağlandığında yatay dayanım kapasitesindeki düşme %4 civarında, yönetmelik koşullarının altında zemin koşulları uygun olsa bile %9'a varan değerlerdedir.
- Plastik mafsallardaki hasar dağılımı çalışmada ele alınan durumlar için %3'ten daha az değerlerle temel ve zemin rijitliğinden etkilenmektedir. Ancak yönetmelik koşulları karşılanmıyorsa yapı elemanlarının akma dağılımında %10'a varan farklılıklar mümkündür.
- Çatı deplasmanı talep değerindeki referans modele oranla en büyük artış STK/YK11200 modelinde %34 oranındadır. Rade temel boyutları arttıkça çatı deplasman talebinin referans modele oranı düşmüştür. Referans modele oranla çatı deplasman talebinin artışı rade temellerde en büyük %27, sürekli temellerde %34 tür.
- Zemin ve temel rijitliği binanın genel rijitliğini etkilemesinin yanında kolonlar arası kuvvet dağılımını da etkilemektedir. Küçük boyutlu kolonlarda oluşan kesme kuvveti referans modele oranla beklenilenden daha fazladır. Bu artış %8 ile %24 arasındadır. Bu değişim ihmal edilemeyecek düzeydedir.
- Aynı temel boyutlarında farklı zemin rijitliğinde yatay dayanım çok etkilenmemektedir. Yatay dayanımın ne kadar etkilendiği temel boyutlarına bağlıdır. Sistemde yüksek rijit ve düşük rijitlikte kolonlar bir arada kullanılmıştır. Zemin rijitliğinin sonsuz ankastre yerine sonlu bir değere ulaşmasıyla rijitliği

büyük olan kolonlar daha çok, rijitliği küçük olan kolonlar daha az etkilenir. Temel rijitliğinin düşmesinden en çok etkilenecek olan kolonlar diğerlerine göre rijitliği daha yüksek olan kolonlardır.

- Ankastre mesnet kabulü yapılan referans modele göre binadaki deplasman artışını tahmin edip temel yapı elemanlarının boyutlandırmasını yapmak için bir denklem elde edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada elde edilen denklem yardımıyla belirli olan zemin rijitliği için izin verilen yer değiştirme artışına göre temelin boyutları ile ilgili fikir edinilebilir.

7 katlı betonarme binada görülen etkiler 4 katlı betonarme binada görülen etkilerin çoğunlukla üzerindedir. 7 katlı binalarda ankastre mesnetli temellere göre radye temellerde ve sürekli temellerde görülen periyot artışı 4 katlı binalara göre daha fazladır. Yatak katsayısının (11.200 kN/m^3 ve 80.000 kN/m^3 arasında) periyot değişimine ortalama oranı radye temellerde 7 katlı binalarda daha fazladır, sürekli temellerde ise çoğunlukla daha fazladır. Referans modele göre yatay dayanım oranları zemin yapı etkileşimli modellerde kat sayısına göre farklı değişimler göstermemiştir. Kat sayısının artması ile en çok göze çarpan fark ise çatı deplasman talep değerindeki değişimdir. 7 katlı binada yönetmelik koşullarının altındaki modelde referans modele oranla %82 talep artışı gözlemlenirken, 4 katlı binada aynı model için %34 talep artışı gözlemlenmiştir.

Tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlarla literatürde daha önce yapılan çalışmaların sonuçları arasında ortak yönler bulunmaktadır. Örneğin çoğunlukla daha önceki yapılan çalışmalarda da yapının periyodu rijit temel kabulünde yapı zemin etkileşimli modellere göre daha düşüktür. Çatı deplasman talep değeri rijit temel kabulünde yapı zemin etkileşimli modellere göre çoğunlukla daha düşüktür. Taban kesme kuvvetleri değerleri bazı çalışmalarda rijit temel varsayımına göre yapı zemin etkileşimli modellerde tez çalışması sonuçlarının aksine daha küçüktür.

Literatürde var olan çalışmalarda herhangi bir kısıtlamaya gidilmemiştir ve temelin rijitliği ne olmalıdır sorusu için sayısal bir öneride bulunulmamıştır. Tez çalışması kapsamında parametrelerin hangi durumlarda nasıl kullanılacağı hata payı göz önüne bulundurularak verilmeye çalışılmıştır. Literatürden farklı olarak ankastre mesnet kabulü yapılan referans modele göre binadaki deplasman artışını tahmin edip temel yapı

elemanlarının boyutlandırmasını yapmak için bir denklem elde edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen denklem ile binanın ankastre mesnet kabulü yapılan bir temele göre kaç kat deplasman yapacağı hesaplanabilir.

7.3. Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler

Çalışma kapsamında üç boyutlu olarak tasarlanan binalar dolgu duvarlı betonarme çerçeveli bir sisteme sahiptir. Gelecek çalışmalarda perdeli-çerçeveli sistemlerde de zemin yapı etkileşimi araştırılabilir. Çalışmada statik itme analizi kullanılmıştır fakat gelecek çalışmalarda farklı yük desenleri ile statik analizler ve ivme kayıtları kullanılarak dinamik analiz gerçekleştirilebilir. Çalışmada radye ve sürekli temeller kullanılmıştır fakat gelecek çalışmalarda mevcut binalardaki tekil temel için de zemin yapı etkileşimi göz önünde bulundurulabilir. Çalışmada kullanılan kalıp planından farklı bir geometriye sahip düzensizlikleri olan bir binada yapı-zemin etkileşimi kavramı incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Ada, M. (2020). Bina Grupları Üzerindeki Yapı-Zemin-Yapı Etkileşiminin İncelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 202s, İstanbul.
- Ahmadı,M.(2020). Inelastic Static (Pushover) Analysis For Estimating Seismic Demands Of RC Buildings Including Soil-Structure Interaction, Sakarya University Institute of Science and Technology, M.Sc. Thesis ,144p, Sakarya.
- Anonim (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete, Ankara.
- Asteris PG (2003) “Lateral Stiffness Of Brick Masonry Infilled Plane Frames,” Journal of Structural Engineering, ASCE, 129 (8): 1071-1079.
- Çaycı, B.T., İnel, M. (2015). Mevcut betonarme binalarda zemin yapı etkileşiminin sismik davranış üzerindeki etkileri, 3.Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 14-16 Ekim 2015, DEÜ, İzmir.
- Çaycı, B.T. (2016). Yapı Zemin Etkileşiminin Mevcut Binaların Sismik Performansı Üzerindeki Etkileri, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 497s, Denizli.
- DBYBHY, (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Ethemoğlu, H. (2020). Zemin yapı etkileşiminin hasar olasılığına etkisi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 135s, İstanbul.
- FEMA 356, (2000). Prestandard and Commentary For The Seismic Rehabilitation of Buildings. ASCE for Federal Emergency, Washington D.C.
- Girgin, S. C., Mısır, S., Özden, G., Kahraman, S. (2008). Yapı-zemin etkileşiminin yapısal tasarımdaki rolü, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 10(1), 27-37.

- Hassani, N., Bararnia, M., Amiri, G. G. (2018). Effect of soil-structure interaction on inelastic displacement ratios of degrading structures, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, (104), 75-87.
- İnel, M., Özmen, H. B., Şenel, Ş. M., Kayhan, A. H. (2009) Mevcut betonarme binaların yapısal özelliklerinin belirlenmesi, Uluslararası Sakarya Deprem Sempozyumu, 1-2 Ekim 2009, Sakarya.
- Karabörk, T. (2009). Yapı zemin etkileşimi dikkate alınarak betonarme yapıların doğrusal olmayan 3 boyutlu dinamik analizi, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5(1), 25-36.
- Kılıçer, S. (2016). Yapı Zemin Etkileşiminin Betonarme Yapıların Tasarımına Etkisi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 77s, Trabzon.
- Kılıçer, S., Özgan, K. (2018). Deprem yükü etkisindeki betonarme yapıların tasarımında yapı-zemin etkileşiminin incelenmesi, *Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 4(1), 1-10.
- Korkmaz, K. A., Demir, F. (2012). Yapı-zemin etkileşiminin yapıların deprem davranışına etkileri, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(1), 12-17
- Mamuk, F. (2010). Üç boyutlu dinamik zemin-yapı etkileşimi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 83s, İstanbul.
- Özmen, H. B. (2005). Hızlı Değerlendirme Yöntemlerinde Kullanılan Parametrelerin Yapı Performansı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 106s, Denizli
- Özmen, H. B., İnel, M., Bilgin, H. (2007). Betonarme elemanların doğrusal ötesi davranışlarının modellenmesi, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20 Ekim 2007, İstanbul.

- Öztürkoğlu O, Uçar T, Yeşilce Y. (2015) . Yapılarda Dolgu Duvar-Çerçeve Etkileşiminin İncelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 17(3), 109–21
- Öz,İ.(2021). Yaylar ile Temsil Edilen Yapı-Zemin Etkileşimi Modellerini Kullanarak Mevcut Binaların Hasar Görebilirliğinin Değerlendirilmesi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi,223s, Denizli.
- Renzi, S., Madiati, C., Vannucchi, G. (2013). A simplified empirical method for assessing seismic soil-structure interaction effects on ordinary shear-type buildings, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, (55), 100-107.
- SAP2000 (Version 23.0.0). Integrated software for structural analysis and design program, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- Sarioğlu, İ. (2020). Statik itme ve zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemlerinin zemin yapı etkileşimi dikkate alınarak incelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 123s, Denizli.
- Syan T. A.O. (2021). The Effect Of Soil-Structure Interaction On The Behaviour Of Various Types Of Building, Van Yüzüncü Yıl University Institute of Natural and Applied Sciences Department of Civil Engineering, M.Sc.Thesis, 109p, Van
- TBDY (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Kurallar, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- TS 498 (1987). Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 500 (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Yaşar N, Tanrıverdi B, Ozmen HB. (2022). 7 katlı betonarme bir binada farklı temel durumları ve zemin rijitliğinin yapı davranışına etkisi, *Disiplinlerarası Yenilik Araştırmaları Dergisi*, 2(1):1–14.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Naile Gül TARAKCI

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Uşak Üniversitesi/ İnşaat Mühendisliği	2022
Lisans	Pamukkale Üniversitesi/ İnşaat Mühendisliği	2019
Lise	Uşak Şehit Abdülkadir Kılavuz Anadolu Öğretmen Lisesi	2015

Mesleki Deneyim

Yıl	Yer	Görev
2019- Halen	ST ART (Süleyman TARAKCI) MİMARLIK	İnşaat Mühendisi
Tem- Ağu 2017	Uşak Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü	Stajyer Mühendis

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

- Özmen, H. B., Tarakcı,N.G. (2022). Effect of soil and foundation stiffness on the seismic behavior of mid-rise RC buildings, *Research on Engineering Structures & Materials*