

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BİNALARDA YANAL ZEMİN İTKİLERİNİN
KISA KOLON OLUŞUMUNA ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS

Sümeyye YILMAZER

ŞUBAT-2024
GÜMÜŞHANE



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BİNALARDA YANAL ZEMİN İTKİLERİNİN
KISA KOLON OLUŞUMUNA ETKİSİ**

**THE EFFECT OF LATERAL GROUND FORCES ON THE FORMATION OF
SHORT COLUMNS IN BUILDINGS**

YÜKSEK LİSANS

Sümeyye YILMAZER

**ŞUBAT-2024
GÜMÜŞHANE**



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BİNALARDA YANAL ZEMİN İTKİLERİNİN
KISA KOLON OLUŞUMUNA ETKİSİ**

**THE EFFECT OF LATERAL GROUND FORCES ON THE FORMATION OF
SHORT COLUMNS IN BUILDINGS**

YÜKSEK LİSANS

Sümeyye YILMAZER

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Osman KARA

**ŞUBAT-2024
GÜMÜŞHANE**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**Binalarda Yanal Zemin İtkilerinin Kısa Kolon Oluşumuna Etkisi**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi’nin lisanslı kullanıcısı olduğu intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlediği kıstaslara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

05/02/2024

.....
Sümeyye YILMAZER

TEŞEKKÜR

Tez konumu belirlerken, binalarda kısa kolon oluşumunu inceleyen bu önemli konuyu bana öneren, değerli bilgisi ve tecrübesiyle beni yönlendiren, sorularım olduğunda ilgilenen ve her zaman desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Osman KARA'ya teşekkürü borç bilirim. Eğitim-öğretim hayatım boyunca üstümde emeği olan tüm öğretmenlerime teşekkürü borç bilirim.

Sap2000 programını öğrenmemde önemli etkisi olan sanal öğretimde ders anlatan Arda Karabulut hocama teşekkür ederim. Tez savunmam sırasında ve yüksek lisans hayatımda değerli bilgisi ve önerisi ile tezime değer katan değerli hocam Prof. Dr. Tufan ÇAKIR'a teşekkürü borç bilirim. Tez savunmam sırasında verdiği değerli bilgilerle tezime değer katan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Fatih YILMAZ'a teşekkürü borç bilirim.

Bugünlere gelmemde maddi manevi çokça emeği olan annem Hediye ATALAY, Babam Muhittin ATALAY ve kardeşlerim Elif BEKAROĞLU, Esra ÇETİN ve Halil İbrahim ATALAY'a teşekkür ederim. Tez çalışma sürecimde stresli ve yoğun olduğum zamanlarda desteğini esirgemeyen ve tezi imla açısından düzenlememe yardımcı olan kıymetli eşim Fatih YILMAZER'e teşekkürü borç bilirim.

.....

Sümeyye YILMAZER
GÜMÜŞHANE – 2024

ÖZET

Kısa kolon oluşumu deprem esnasında yapılarda ciddi hasarlara neden olmaktadır. Kısmen gömülü binalarda zemin yanal itkilerinin fazla olduğu durumlarda kolonlarda kısa kolon oluşumu riski ortaya çıkmaktadır. Bu tezde, kısmen gömülü binalarda zemin-yapı etkileşimi sırasında kısa kolon oluşum şartları incelenmiştir.

Tezde, farklı gömme derinliklerine sahip betonarme çerçeveli bina modelleri kullanılmıştır. 8 katlı simetrik yapının zemine 1.5m ve 2.25m gömüldüğü durumlar için iki farklı model oluşturulmuştur. Yapı ve zemin sistemi, SAP2000 programında 3 boyutlu cisim (solid) eleman olarak modellenmiştir. Çalışmada Zaman Tanım Alanında Doğrusal Analiz yöntemi kullanılmıştır. Zeminin modellenmesinde ise nonlinear analiz yöntemi uygulanarak kısa kolon oluşumu incelenmiştir. Kolonlarda oluşan moment ve kesme kuvvetleri, yapıda oluşan kat ötelenmeleri, mod değerleri ve zemin gerilmeleri üç farklı deprem ivme kaydı kullanılarak karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Sonuç olarak bu çalışmada, depremler sırasında kısmen gömülü binalarda zemin-yapı etkileşimiyle meydana gelen kısa kolon oluşumu incelenmiştir. Kısmen gömülü yapılarda zemine gömülme arttıkça kısa kolon oluşumunun arttığı ve etkinin zemin cinsinden önemli ölçüde etkilendiği görülmüştür. Yapı güvenliğinin artırılması ve deprem hasarlarının azaltılması açısından kısmi gömülü yapılarda zemin-yapı etkileşiminin incelenerek tedbirlerin alınması gerekmektedir.

Anahtar kelimeler: Zemin-yapı etkileşimi, Kısa kolon, Sap2000,

SUMMARY

The formation of short columns during earthquakes can cause serious damage to structures. In partially embedded buildings, there is a risk of short column formation in cases where the lateral soil pressures are high. In this thesis, the conditions for the formation of short columns during soil-structure interaction in partially embedded buildings were investigated.

In the thesis, reinforced concrete frame building models with different embedment depths were used. Two different models were created for cases where the 8-story symmetric structure was embedded 1.5m and 2.25m into the ground. The structure and soil system were modeled as 3D solid elements in the SAP2000 program. The Linear Time History Analysis method was used in the study. The nonlinear analysis method was applied in the modeling of the soil to investigate the formation of short columns. The moments and shear forces in the columns, the story drifts in the structure, the mode values, and the soil stresses were comparatively investigated using three different earthquake acceleration records.

As a result, in this study, the formation of short columns due to soil-structure interaction in partially embedded buildings during earthquakes was investigated. It was observed that as the embedment depth of partially embedded structures into the ground increases, the formation of short columns increases, and the effect is significantly influenced by the soil type. In order to increase structural safety and reduce earthquake damage, it is necessary to investigate soil-structure interaction in partially embedded structures and take precautions.

Keywords: Soil-Structure Interaction, Short Column, Sap2000

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET.....	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLolar DİZİNİ	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIV
1. GİRİŞ	1
1.1. Zemin-Yapı Etkileşimi.....	2
1.2. Kısa Kolon Oluşumu	6
2. MATERYAL VE YÖNTEM	10
2.1 Sonlu elemanlar yöntemi.....	10
2.2. Zaman Tanım Alanında Analiz	10
2.2.1. Yeterli Titreşim Modu Sayısı	10
2.2.2. Zaman Tanım Alanında Mod Toplama Yöntemi ile Deprem Hesabı.....	11
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	13
3.1 Model Detayları	13
3.2 Üst Yapının SAP2000’le Modellenmesi	19
3.3 Zemini Modelleme	24
3.4. SAP2000’de Zaman Tanım Analizi	28
4. ANALİZ SONUÇLARI	33
4.1 1,5m’lik Modellerin Sonuçları	33
4.1.1 Model 1a	33
4.1.2 Model 1b	39
4.1.3 Model 1c	46
4.2 2,25m’lik Modellerin Sonuçları	53
4.2.1 Model 2a	53
4.2.3 Model 2c	66
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	78
KAYNAKÇA	81
ÖZGEÇMİŞ	85

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Zemin fiziksel özellikleri ve kayma gerilmesi parametreleri	16
Tablo 2. Model 1a mod değerleri.....	33
Tablo 3. SZ08 ve SZ02 kolonlarının M ve V sonuçları	36
Tablo 4. Model 1b mod değerleri.....	40
Tablo 5. SZ08 ve SZ02 kolonlarının M ve V sonuçları	42
Tablo 6. Model 1c mod değerleri.....	47
Tablo 7. SZ08 ve SZ02 kolonlarının M ve V sonuçları	49
Tablo 8. Model 2a mod değerleri.....	53
Tablo 9. SZ08 ve SZ02 kolonlarının M ve V sonuçları.....	56
Tablo 10. Model 2b mod değerleri.....	60
Tablo 11. SZ08 ve SZ02 kolonlarının M ve V sonuçları	63
Tablo 12. Model 2c mod değerleri.....	68
Tablo 13. SZ08 ve SZ02 kolonlarının M ve V sonuçları	70
Tablo 14. Tüm modellerin S _{max} zemin gerilmeleri	76
Tablo 15. Tüm modellerin mod değerleri	76

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Kısa kolon oluşumunda moment ve kesme kuvveti	7
Şekil 2. Model binanın kolon aplikasyon planı.....	14
Şekil 3. Binanın planı ve perspektif görünüşü	14
Şekil 4. Model 1a ; Model 2a	15
Şekil 5. Model 1b ; Model 2b.....	15
Şekil 6. Model 1c ; Model 2c	16
Şekil 7. Kıl zemin parametrelerinin ayarlanması	17
Şekil 8. Kum zemin parametrelerinin ayarlanması	18
Şekil 9. Kaya zemin parametrelerinin ayarlanması.....	18
Şekil 10. Çubuk eleman tanımlama	19
Şekil 11. Çelik malzeme tanımlama.....	20
Şekil 12. Beton malzeme tanımlama.....	20
Şekil 13. Çerçeve elemanlar için otomatik parçalara bölme.....	21
Şekil 14. Binaya yük tanımlama	21
Şekil 15. COMB1 yük kombinasyonu tanımlama	22
Şekil 16. Analiz için referans yönetmelik seçimi	22
Şekil 17. Kiriş elemanlara yük tanımlama	23
Şekil 18. Modal analiz verileri	23
Şekil 19. Zemin veri girişi.....	24
Şekil 20. Betonarme levhanın boyut girişi.....	24
Şekil 21. Örnek zemin elemanın (kaya) boyut girişi.....	25
Şekil 22. Betonarme levha veri girişi	25
Şekil 23. Örnek zemin elemanın (kaya) boyut girişi.....	26
Şekil 24. Katı elemene mesnet tanımlama	26
Şekil 25. Kolonlara mesnet tanımlama	27
Şekil 26. Betonarme levha ve katı elemanı parçalara bölme	27
Şekil 27. Zaman tanım alanında analiz	28
Şekil 28. Benzeştirilmiş ivme kayıtlarının girilmesi.....	28
Şekil 29. Kocaeli Depremi veri girişi.....	29
Şekil 30. El Centro Depremi veri girişi.....	29
Şekil 31. Kobe Depremi veri girişi	30
Şekil 32. Deprem yük kombinasyonları.....	30

Şekil 33. Katı elemana yük tanımlama	31
Şekil 34. Zemin yük kombinasyonu seçimi	32
Şekil 35. Model 1a analiz sonucu görünümü	33
Şekil 36. Model 1a SZ08 kolonu diyagramları	34
Şekil 37. Model 1a SZ02 kolonu diyagramları	34
Şekil 38. Model 1a SZ08 kolonun farklı derinliklerde M ve V değerleri grafiği	35
Şekil 39. Model 1a SZ02 kolonun farklı derinliklerde M ve V değerleri grafiği	35
Şekil 40. Model 1a kat ötelenmeleri	36
Şekil 41. Kobe Depremi etkisinde kat ötelenmeleri.....	37
Şekil 42. Model 1a Kocaeli Depremi kat ötelenmesi.....	37
Şekil 43. Model 1a Kobe Depremi kat ötelenmesi	37
Şekil 44. Model 1a El Centro Depremi kat ötelenmesi.....	37
Şekil 45. Model 1a S11 zemin gerilmesi diyagramı	38
Şekil 46. Model 1a S22 zemin gerilmesi diyagramı	38
Şekil 47. Model 1a Smax zemin gerilmesi diyagramı	39
Şekil 48. Model 1b analiz sonucu görünümü.....	39
Şekil 49. Model 1b SZ08 kolonu diyagramları.....	40
Şekil 50. Model 1b SZ02 kolonu diyagramları.....	40
Şekil 51. Model 1b SZ08 kolonun farklı derinliklerde M ve V değerleri grafiği	41
Şekil 52. Model 1b SZ02 kolonun farklı derinliklerde M ve V değerleri grafiği.....	41
Şekil 53. Model 1b kat ötelenmeleri	43
Şekil 54. Kocaeli Depremi etkisinde kat ötelenmeleri.....	44
Şekil 55. Model 1b Kocaeli Depremi kat ötelenmesi	44
Şekil 56. Model 1b El Centro Depremi kat ötelenmesi	44
Şekil 57. Model 1b Kobe Depremi kat ötelenmesi	44
Şekil 58. Model 1b S11 zemin gerilmesi diyagramı.....	45
Şekil 59. Model 1b S22 zemin gerilmesi diyagramı.....	45
Şekil 60. Model 1b Smax zemin gerilmesi diyagramı	46
Şekil 61. Model 1c görünüşü	46
Şekil 62. Model 1c modal analiz görünüşü.....	47
Şekil 63. Model 1c SZ08 kolonu diyagramları	47
Şekil 64. Model 1c SZ02 kolonu diyagramları	48
Şekil 65. Model 1c SZ08 kolonun farklı derinliklerde M ve V değerleri grafiği	48
Şekil 66. Model 1c SZ02 kolonun farklı derinliklerde M ve V değerleri grafiği	49
Şekil 67. Model 1c kat ötelenmeleri	50

Şekil 68. El Centro Depremi etkisinde kat ötelenmeleri.....	50
Şekil 69. Model 1c Kobe Depremi kat ötelenmesi	51
Şekil 70. Model 1c Kocaeli Depremi kat ötelenmesi.....	51
Şekil 71. Model 1c El Centro Depremi kat ötelenmesi.....	51
Şekil 72. Model 1c S11 zemin gerilmesi diyagramı	51
Şekil 73. Model 1c S22 zemin gerilmesi diyagramı	52
Şekil 74. Model 1c Smax zemin gerilmesi diyagramı	52
Şekil 75. Model 2a modal analiz sonucu ve 3d görünüşü.....	53
Şekil 76. Model 2a SZ08 kolonu diyagramları	54
Şekil 77. Model 2a SZ02 kolonu diyagramları	54
Şekil 78. Model 2a SZ08 kolonun farklı derinliklerde M ve V değerleri grafiği	55
Şekil 79. Model 2a SZ02 kolonun farklı derinliklerde M ve V değerleri grafiği	55
Şekil 80. Model 2a kat ötelenmeleri	56
Şekil 81. Kobe Depremi etkisinde kat ötelenmeleri.....	57
Şekil 82. Model 2a Kobe Depremi kat ötelenmesi	57
Şekil 83. Model 2a Kocaeli Depremi kat ötelenmesi.....	57
Şekil 84. Model 2a El Centro Depremi kat ötelenmesi.....	57
Şekil 85. Model 2a S11 zemin gerilmesi diyagramı	58
Şekil 86. Model 2a S22 zemin gerilmesi diyagramı	58
Şekil 87. Model 2a Smax zemin gerilmesi diyagramı	59
Şekil 88. Model 2b görünüşü	59
Şekil 89. Model 2b analiz sonucu görünüşü	60
Şekil 90. Model 2b SZ08 kolonu diyagramları.....	61
Şekil 91. Model 2b SZ02 kolonu diyagramları.....	61
Şekil 92. Model 2b SZ08 kolonun farklı derinliklerde M ve V değerleri grafiği	62
Şekil 93. Model 2b SZ02 kolonun farklı derinliklerde M ve V değerleri grafiği	62
Şekil 94. Model 2b kat ötelenmeleri	63
Şekil 95. Kat ötelenmesi için seçilen değerler	64
Şekil 96. El Centro Depremi etkisinde kat ötelenmeleri.....	64
Şekil 97. Model 2b Kobe Depremi kat ötelenmesi	65
Şekil 98. Model 2b Kocaeli Depremi kat ötelenmesi	65
Şekil 99. Model 2b El Centro Depremi kat ötelenmesi	65
Şekil 100. Model 2b S11 zemin gerilmesi diyagramı	65
Şekil 101. Model 2b S22 zemin gerilmesi diyagramı	66
Şekil 102. Model 2b Smax zemin gerilmesi diyagramı	66

Şekil 103. Model 2c görünüşü	67
Şekil 104. Model 2c modal analiz ve zati yük altında değişimi.....	67
Şekil 105. Model 2c SZ08 kolonu diyagramları	68
Şekil 106. Model 2c SZ02 kolonu diyagramları	69
Şekil 107. Model 2c SZ08 kolonun farklı derinliklerde M ve V değerleri grafiği	69
Şekil 108. Model 2c SZ02 kolonun farklı derinliklerde M ve V değerleri grafiği	70
Şekil 109. Model 2c kat ötelenmeleri	71
Şekil 110. Kat ötelenmesi için seçilen değerler	72
Şekil 111. Kobe Depremi etkisinde kat ötelenmeleri.....	72
Şekil 112. Model 2c Kobe Depremi kat ötelenmesi	73
Şekil 113. Model 2c Kocaeli Depremi kat ötelenmesi.....	73
Şekil 114. Model 2c El Centro Depremi kat ötelenmesi.....	73
Şekil 115. Model 2c S11 zemin gerilmesi diyagramı	73
Şekil 116. Model 2c S22 zemin gerilmesi diyagramı	74
Şekil 117. Model 2c Smax zemin gerilmesi diyagramı	74
Şekil 118. Tüm modellerin Smax zemin gerilmeleri	75

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

M	: Eğilme Momenti
V	: Kesme kuvveti
Y_M	: Yeterli titreşim modu
U_y	: Y yönünde ötelenme
(ν)	: Poisson oranı
(c)	: Kohezyon
(γ)	: Birim hacim ağırlık
G	: Kayma modülü
V_e	: Kolon, kiriş veya perde kesitinin kesme kuvveti dayanımı
A_w	: Kolon enkesiti etkin gövde alanı
f_{ck}	: Betonun karakteristik silindirik basınç dayanımı
f_{yd}	: Boyuna donatının tasarım akma dayanımı
T_bdy	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
$M_{\bar{u}}$	: Kolonun serbest yüksekliğinin üst ucunda, kolon kesme kuvvetinin hesabında esas alınan moment
M_a	: Kolonun serbest yüksekliğinin alt ucunda, kolon kesme kuvvetinin hesabında esas alınan moment
$M_{r\bar{u}}$	: Kolonun veya perdenin serbest yüksekliğinin üst ucunda f_{cd} ve f_{yd} göre hesaplanan taşıma gücü momenti
M_{ra}	: Kolonun veya perdenin serbest yüksekliğinin alt ucunda f_{cd} ve f_{yd} göre hesaplanan taşıma gücü momenti
V_c	: Kolon , kiriş, birleşim bölgesi ve perdede enine donatı hesabında esas alınan kesme kuvveti
l_n	: Kolonun kirişler arasında kalan serbest yüksekliği, kirişin kolon veya perde yüzleri arasında kalan serbest açıklığı
m_t	: Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölüm 'ünün toplam kütlesi
m_{txn}	: (X) deprem doğrultusu için binanın x eksenini doğrultusunda n'inci titreşim moduna ait taban kesme kuvveti modal etkin kütlesi
m_{tyy}	: (Y) deprem doğrultusu için binanın y eksenini doğrultusunda n'inci titreşim moduna ait taban kesme kuvveti modal etkin kütlesi

1. GİRİŞ

Türkiye topraklarının %90'ından fazlasında deprem görülmektedir ve bu depremlerin etkisi genellikle yıkıcı olmaktadır. Deprem riski yüksek bölgelerde, kısa kolon oluşumu, yapısal hasarların ana nedenlerinden biridir. Işık ve ark. (2023) tarafından yürütülen bir araştırmaya göre, kısa kolon hasarı depremlerde sıkça görülen bir hasar türüdür. Kısa kolon oluşumu deprem esnasında birçok yapıda ciddi hasara neden olmaktadır ve deprem hasarlarında önemli paya sahiptir.

Işık (2006) yaptığı çalışmada, bina zemin katında dolgu duvar yüksekliklerinin artırılmasıyla kısa kolon oluşumunu incelemiştir. Dolgu duvarlarda çerçevenin boş veya dolu olmasının kesme kuvvetleri üzerinde ciddi bir etkisinin olmadığı; ancak duvarın çerçeveyi tam doldurduğu durum ile bir önceki adımda kesme kuvvetleri arasında ciddi bir farkın bulunduğu gözlemlenmiştir. Yer değiştirme verilerinin ise artan duvar yüksekliği ile azaldığı gözlenmiştir. Önemli boyutlarda yer sarsıntısı oluşturan depremler, küçük veya büyük çatlaklara neden olabilir. Bu sarsıntılara uygun tasarlanmamış yapı elemanları binaların hasar olasılığını artırarak tahribata yol açabilir.

Tayfur ve Can (2018) yaptıkları çalışmada perde duvarlarda bırakılan boşlukların çerçeve davranışına etkilerini incelemiştir. Çerçeve yüksekliği oranı sabit tutularak 5 model oluşturulmuş, yapılan analizler sonucunda kanat duvar boyunun artmasıyla ötelenmelerde ve kısa kolondaki kesme kuvvetlerinde düşüş olduğu belirlenmiştir. Bu durum sünek davranışın görülmemesi ve ötelenmelerin azalmasına rağmen kısa kolon oluşma riskini artırmıştır.

Zeminin yapı ile etkileşimi sadece yapı tabanında değil yapının yan yüzlerinde de görülmektedir. Yanal zemin etkileri yapı tasarımı ve gömülme derinliğine bağlıdır. Zeminin yapıya etki düzeyi zeminin cinsi, yoğunluğu, sertliği gibi özelliklerine göre değişmektedir. Güvenli yapı tasarımı açısından zemin-yapı etkileşiminde yapıya etkilerin zarar vermeyecek düzeylerde tutulması gerekmektedir. Özellikle 1999 Marmara depreminde bazı binalar kısa kolon etkisine maruz kalarak bodrum kolonlarında hasara neden olmuştur. Bu hasarlı kolonların bulunduğu binaların bazılarında her tarafının eşit şekilde zemine gömülü olmadığı, zemine yaslanan bazı kolonlarda kısa kolon oluşumu için şartları sağlamasa dahi kısa kolon gibi kesme kuvveti kırılması tespit edilmiştir. Yerinde yapılan inşaat uygulamalarında zemine gömülü olan kısımlarda kısa kolon oluşumunun engellenmesi için zeminin yapıya etkisini azaltacak önlemlerin alınması gerekmektedir. Deprem etkisiyle oluşan yatay

yükleri emniyetle karşılamak ve temele aktarmak için tasarlanan düşey taşıyıcılar, yapı güvenliği açısından son derece önemlidir. Düşey taşıyıcıların deprem sırasında zarar görmesine neden olacak şekilde tasarlanması, yapı güvenliğiyle birlikte mal ve can güvenliğini tehlikeye atacak bir davranıştır.

1.1. Zemin-Yapı Etkileşimi

Deprem zararlarını azaltmak için yapıların deprem esnasındaki davranışının gerçekçi bir şekilde belirlenmesi inşaat mühendisliğinde önemli bir konudur. Yapı sistemlerinin eksiksiz olarak belirlenmesi için temellerin modellenmesi ve zemin özelliklerinin hesaplamalara katılması gerekir (Gülkan, 1992).

Aydınöğlu (1977)'na göre, eski yönetmelikler zemin yapı etkileşimini dikkate almadan tasarımcıların modelleme yapmasına izin vermektedir. Fakat günümüzde güncellenen yönetmeliklerde zemin yapı ilişkisi daha fazla dikkate alınmaktadır. Yönetmelikler, tasarımcıya zemin yapı etkileşiminin hangi durumlarda dikkate alınması gerektiğini belirterek, geleneksel ivme spektrumlarının serbest zemin yüzeyindeki deprem etkisini tanımlamak için kullanılmaktadır. Ancak bu durum yapının zemine olan etkisini tanımlamaz; bu etkileşim tek yönlüdür ve karşılıklı değildir.

Çağlar ve vd. (2005) tarafından yapılan çalışmada, sismik etki altında betonarme yapıların zemin özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda, aynı rijitliğe sahip beş farklı betonarme yapının altı farklı zemin durumu için deprem etkisiyle davranışları incelenmiş ve ayrıca yer altı su seviyesinin etkisi de araştırma kapsamında ele alınmıştır. Çalışma sonucunda yumuşak zeminlerin yapı periyodunu değiştirme oranının, sert zeminlere oranla daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yapının kat sayısı arttıkça yapı periyodu üzerine zeminin etkisinin daha da arttığı tespit edilmiştir.

Karabörk (2009) yaptığı çalışmada, betonarme yapıların deprem etkisi altındaki dinamik davranışlarında, zemin özelliklerinin etkisini araştırmıştır. Çalışma kapsamında SAP2000 bilgisayar paket programı kullanılarak aynı plan ve rijitliğe sahip 3, 6 ve 10 katlı bina modelleri oluşturulmuştur. Zemin, üç boyutlu katı eleman (solid) olarak tanımlanmıştır. Üç boyutlu katı elemanda mesnet sınırlandırması yöntemi uygulanmış, farklı zemin türleri için karakteristik özellikler belirlenmiştir. Modeller üzerindeki analizler sonucunda kolonların yer değiştirmeleri, kolondaki iç kuvvetler ve yapının periyot değerleri incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda yumuşak zemin üzerine oturan yapı modellerinin sert zemin üzerine oturan yapı modellerine göre taban eğilme momenti değerleri X yönünde %40, Y yönünde % 32 oranında, taban kesme kuvveti değerleri ise X yönünde %77 Y yönünde %61 oranında azalma göstermiştir.

Mamuk (2010) yaptığı çalışmada, üç boyutlu modellenmiş 8 katlı bina sistemleriyle aynı boyuttaki Winkler modeli ile hazırlanan sistemlerin yapı-zemin etkileşimlerini mukayese etmiştir. Sondaj raporundan elde edilen verilerle yapılan bu çalışmada, bilgisayar programlarında kullanılan yatak katsayısı yöntemiyle elde edilen verilerin karşılaştırması yapılmıştır. Sonuç olarak yapı-zemin etkileşiminin göz ardı edilmesinin, yapıdaki burulma etkisinin ihmal edilmesine neden olduğunu tespit etmiştir.

Yapı tasarımlarında genellikle zemine bağlı kolonların sabit veya ankastre mesnetler halinde modellenmesi tercih edilir. Ancak bu modelleme yaklaşımında zeminin üst yapıya etkisi tam olarak incelenemez. Yapı-zemin etkileşimi hesaba katılarak yapılan analizlerde, yapı periyodunun ve buna bağlı yatay yüklerin zemin özelliklerine bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Zemin koşullarının kötü olduğu durumlarda zeminin rijit bir ortam olarak kabul edilmesi durumunda analiz sonuçlarının yetersiz kaldığını bildirmiştir. Bu husus Korkmaz ve Demir (2012), tarafından yapılan araştırmada lineer olmayan statik itme analizi yöntemiyle desteklenmiştir.

Aydemir (2012) 3 farklı bina modeli ve 4 farklı zemin sınıfı üzerinde yaptığı araştırmada toplamda 64 adet deprem kaydını analiz etmiştir. Zemin-yapı birlikte tasarlandığında deprem yükü azaltma katsayısının azaldığı sonucuna varmıştır.

Hamarat (2012)'a göre yapı sistemlerinin zeminle ilişkisi, akademisyenleri her zaman cezbeden bir konu olmuştur. Çünkü tüm yapı sistemleri, üzerlerine gelen yükleri güvenli bir şekilde zemin ortamına iletmelidir. Bu nedenle yapı sistemi ve zeminin birlikte ele alınıp incelenmesi gerekir. Yapının temel sistemi ile zeminin etkileşiminin gerçeğe en yakın şekilde modellenebilmesi için bu inceleme son derece önemlidir.

Renzi vd. (2013), betonarme çerçeveli yirmi katlı bir binanın zemin etkileşimi altında davranışını inceleyen çalışmasında, radye temel üzerindeki binanın sistemi tek serbestlik dereceli sisteme dönüştürülerek, zemin yapı ilişkisi yay ve sönüm elemanları kullanılarak analizi yapılmıştır. Analizde üç farklı zemin dikkate alınmıştır. Çalışmaya göre, zemin yapı etkileşimi ile yapının periyod ve sönümünün arttığı ve bu değişkenlere bağlı olarak yapı yanal deplasmanını, oluşan ikinci mertebe etkilerini ve deprem talebini arttırdığı belirlenmiştir.

Avcıoğlu (2015) farklı zemin özelliklerinin, bina taşıyıcı sistem davranışları üzerindeki etkisini incelemiştir. Tüm katlardaki dolgu duvarların da dahil edildiği 7 katlı çerçeve modeli referans olarak alınmış ve dört farklı zemin rijitliği ile altı farklı temel kesiti kullanılarak modellenmiştir. Farklı zemin türleri için düşey yatak katsayısı 11.200, 25.000, 45.000 ve 80.000 kNxm³ olan yapı özellikleri ve kapasite eğrileri analiz

edilmiş, böylece yapılan çalışmada yapı performansını etkileyen en önemli faktörün zemin yatak katsayısı olduğu vurgulanmıştır.

Kılıçer vd. (2016) betonarme yapıların tasarımında genellikle iki farklı yaklaşım kullanıldığını belirtmiştir. Birinde temel zemini rijit olarak kabul edilmiş ve zemin etkisi dikkate alınmamıştır. Diğer yaklaşımda ise yapı-zemin etkileşimi göz önünde bulundurulmuş ve zeminin tepki oluşturan etkileri hesaba katılmıştır. Araştırmacılar, yapıların zeminle etkileşiminin betonarme yapıların tasarımına önemli ölçüde etki ettiğini belirtmiştir.

Lu vd. (2016) zemin ve yapının birlikte modellenmesi durumunda yapıların performansını incelemişlerdir. Araştırmada 1, 5, 10, 15 ve 20 katlı bina modelleri ile 3 farklı zemin türü kullanarak çelik ve betonarme yapılar analiz edilmiştir. Sonuç olarak zemin-yapı etkileşiminin yapının dayanım talebini azalttığı ve deprem yönetmeliklerinin rijit yapılar için zemin-yapı etkileşimli durumda uzun periyotlu yapılara uygulanabilir olduğu fakat kısa periyotlu yapılara uygun olmadığı tespit edilmiştir.

Çetinkaya vd. (2017) yapının zemine rijit bağlı olması durumunda, yapıların zeminle etkileşiminde dikkate alınacak tasarım kuvvetini %40'a kadar azalttığı tespit edilmiştir. Zayıf zemin üzerine yerleştirilmiş düşük periyotlu yapıların, tasarım kuvvetleri üzerindeki etkilerinin önemli boyutlara ulaşabileceği belirtilmiştir. Bu nedenle binaların tasarım hesapları için kullanılan davranış spektrum eğrilerinin, yapı-temel-zemin etkileşimi dikkate alınarak düzenlenmesi ve bu şekilde kullanılması önerilmiştir.

Anand ve Kumar (2018)'a göre, geleneksel olarak zemin-yapı etkileşimi çalışmalarında, yönetmelikler genellikle bu etkileşimi dikkate almamakta veya deprem yükünü azaltacak şekilde hazırlanmaktadır.

Tomeo vd. (2018), betonarme çerçevelerin zemin-yapı etkileşimi altındaki davranışlarını, 4 ve 8 katlı modellerde 21 deprem kaydı kullanarak iyi ve kötü zeminler üzerinde analiz etmiştir. Yaylar aracılığıyla zemin-yapı ilişkisi sağlamıştır. Özellikle yumuşak zeminlerdeki betonarme çerçeveler için zemin-yapı etkileşiminin önemli olduğu, deprem talebini azalttığı ve yanal deplasmanı arttırdığı bildirilmiştir.

Avcıoğlu (2015) farklı zemin özelliklerinin, bina taşıyıcı sistem davranışları üzerindeki etkisini incelemiştir. Tüm katlardaki dolgu duvarların da dahil edildiği 7 katlı çerçeve modeli referans olarak alınmış ve dört farklı zemin rijitliği ile altı farklı temel kesiti kullanılarak modellenmiştir. Farklı zemin türleri için düşey yatak katsayısı 11.200, 25.000, 45.000 ve 80.000 kNxm³ olan yapı özellikleri ve kapasite eğrileri analiz

edilmiş, böylece yapılan çalışmada yapı performansını etkileyen en önemli faktörün zemin yatak katsayısı olduğu vurgulanmıştır.

Kılıçer ve Özgan (2018) 1999 Kocaeli Depremi'nde kaydedilen verileri kullanarak on iki katlı betonarme bir yapı modeli, Winkler ve geliştirilmiş Vlasov modelleri kullanarak rijit temel kabulüyle analiz etmişlerdir. Matlab programı ile yazılan bir arayüz sayesinde, SAP2000 ve Matlab programları arasında eş zamanlı veri alışverişi sağlamıştır. Çalışma sonucunda zemin etkilerinin üst yapı tasarımında dikkate alınmasının, incelenen yapıda kolonların kesit tesirleri ve boyuna donatı oranları üzerinde önemli değişimlere neden olduğunu tespit etmiştir. Elde edilen sonuçlar yapı-zemin etkileşiminin sadece temel tasarımında dikkate alınması gereken bir unsur olmadığını aynı zamanda üst yapıda da önemli etkilere sahip olduğunu göstermiştir.

Hassani vd. (2018), zemin-yapı etkileşiminin elastik ve elastik olmayan deplasmanlar üzerindeki etkilerini tek serbestlik dereceli sistem üzerinde araştırmıştır. Araştırmanın sonuçlarına göre zemin-yapı etkileşimli durumda periyodu çok küçük yapıların dışında sistemin elastik olmayan deplasmanı arttırdığını belirlemiştir. Ayrıca periyodu çok küçük olan yapıların deprem yükü azaltma katsayısına karşı hassas olmadığı, periyodu büyük olan binalarda deprem yükü azaltma katsayısının artmasıyla elastik olmayan deplasmanların da arttığını tespit etmiştir.

Ada (2020)'ya göre yapı analizi çalışmasında, yapıların zeminle tam bağlantılı olduğunu kabul etmiştir. Ancak özellikle yapıların yumuşak ve düşük dayanımlı zeminler üzerinde bulunduğu durumlarda bu kabulün geçerliliğinin kaybolabileceği ve önemli hatalara yol açabileceğini belirtmiştir. Zemin etkileri dikkate alındığında yumuşak zemin üzerinde yapı rijitlikleri ve dinamik özellikleri azalmıştır. Bu nedenle zeminin yapı davranışı üzerindeki etkisi göz önünde bulundurularak zeminin, yapının tasarım sürecinde mutlaka hesaba katılması gerekmektedir.

Araz vd. (2023) ayarlanmış kütle sönümleyici optimizasyonunda farklı gömme oranlarının ve zemin türlerinin etkisini incelemiştir. Bu çalışmada, dört farklı gömme oranı ve iki farklı zemin tipi incelenmiştir. Araştırmada yapı üst katında yer alan ayarlanmış kütle sönümleyicinin çeşitli gömme oranları dikkate alınarak optimizasyonu için bir tasarım yaklaşımı sunulmuştur. Yapılan çalışmalarda yapıların sismik tepkilerini belirlemek için farklı PGA'lara sahip depremler dikkate alınmıştır. PGA dışında deprem yer hareketinin zarf fonksiyonunun, yapıların sismik davranışı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu rapor edilmiştir. Bu tezde zemini modellerken herhangi bir sönüm oranı kullanılmamıştır.

1.2. Kısa Kolon Oluşumu

Betonarme çerçeveli yapı elemanlarında, deprem sırasında akma oluşmaması durumunda deprem enerjisi sönümlenemediğinden bu durumda düşey yapı elemanlarının kesme kapasiteleri aşılarak gevrek bir şekilde göçme hasarının oluşmasına kısa kolon davranışı denir. Bodrum katta duvar ya da perdelerde bırakılan geniş havalandırma boşlukları veya bant pencereler, eğimli arazideki farklı kotlarda temel uygulamalar, kolon yüksekliği boyunca devam etmeyen perde duvarlar, kısmi gömülü binalarda kolon boyunca devam etmeyen dolgu ya da doğal zemin gibi düzenlemeler; kolonun serbest yüksekliğini kısaltarak deprem yüklemesi durumunda binada kısa kolon davranışının oluşmasına neden olmaktadır (Şekil 1).

Kısa kolonlar daha rijit davranma eğilimindedirler. Aynı boyuttaki 2 kolon yatay olarak aynı kat ötelenmesine maruz kalırsa, kısa olan daha rijit olduğu için daha büyük kuvvetleri çeker ve uzun olan kolon ise serbest kalır. Kısa kolon oluştuğunda kolonlar, yatay yüklerden gelen enerjinin paylaşımını uygun oranda yapamaz ve kısa kolonlar daha büyük pay alarak hasar riski oluşturur.

Kısa kolon oluşumunun engellenemediği koşullarda, enine donatı hesaplamaları için kesme kuvveti (Eşitlik 1) esas alınacak ve eğilme momentleri ise bu kuvvet ile hesaplanacaktır (TBDY,2018). Eşitlik 1'de gösterildiği gibi, kısa kolonun alt ve üst uçlarında;

$$M_a \approx 1.4M_{ra} \quad (\text{Eşitlik 1})$$

$$M_{\bar{u}} \approx 1.4M_{r\bar{u}} \quad (\text{Eşitlik 2})$$

Eğilme momentleri oluşur. Burada;

$M_{\bar{u}}$: Kolonun serbest yüksekliğinin üst ucunda, kolon kesme kuvvetinin hesabında esas alınan moment

M_a : Kolonun serbest yüksekliğinin alt ucunda, kolon kesme kuvvetinin hesabında esas alınan moment

$M_{r\bar{u}}$: Kolonun veya perdenin serbest yüksekliğinin üst ucunda f_{cd} ve f_{yd} göre hesaplanan taşıma gücü moment

M_{ra} : Kolonun veya perdenin serbest yüksekliğinin alt ucunda f_{cd} ve f_{yd} göre hesaplanan taşıma gücü moment olarak hesaplanacak, l_n ise kısa kolonun serbest boyu olarak alınacak ve hesaplanan kesme kuvveti (Eşitlik 2)'de verilen koşulları sağlayacaktır (TBDY, 2018). Dolgu duvarlarının kolonlara tamamen bitişik olması durumunda kısa

kolon durumuna dönüşen kolonlarda, enine donatılar tüm kat yüksekliğince devam ettirilecektir (Şekil 1).

$$v_c = (M_a + M_{\bar{u}}) / l_n \quad (\text{Eşitlik 3})$$

Bu eşitlikte;

v_c : Kolon, kiriş, birleşim bölgesi ve perdede enine donatı hesabında esas alınan kesme kuvveti

l_n : Kolonun kirişler arasında kalan serbest yüksekliği, kirişin kolon veya perde yüzleri arasında kalan serbest açıklığı

$$V_e \leq V_r \quad (\text{Eşitlik 4})$$

Bu eşitlikte;

V_e : Betonun kesme kuvveti dayanımına katkısı

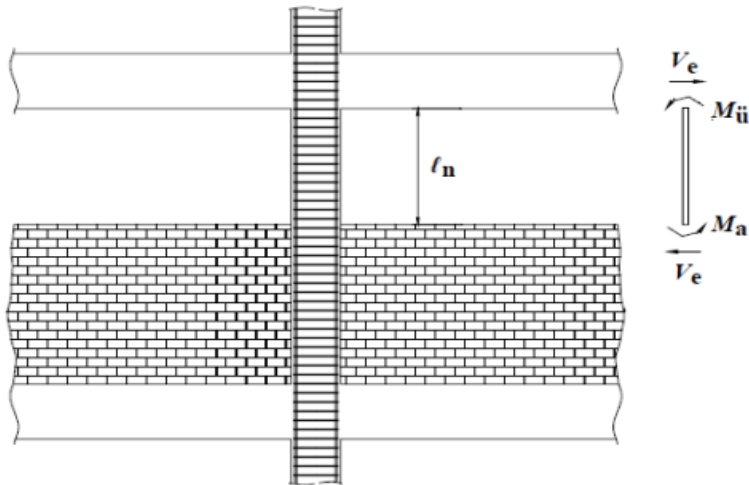
V_r : Kolon, kiriş veya perde kesitinin kesme kuvveti dayanımı

$$V_e \leq 0.85 A_w \sqrt{f_{ck}} \quad (\text{Eşitlik 5})$$

Bu eşitlikte;

A_w : Kolon enkesiti etkin gövde alanı (depreme dik doğrultudaki kolon çıkıntılarının alanı hariç)

f_{ck} : Betonun karakteristik silindirik basınç dayanımıdır.



Şekil 1. Kısa kolon oluşumunda Moment ve Kesme Kuvveti

Bu tezde, zemine kısmen gömülü olan kolonlarda kısa kolon davranışının görülüp görülmeyeceği araştırılmıştır. Kısmen gömülü yapılarda kolonlarda oluşacak moment (M) ve kesme kuvveti (V) diyagramları incelenmiştir.

Özmen (2005) yumuşak kat, kısa kolon ve kapalı çıkma gibi düzensizliklerin, orta yükseklikteki betonarme binaların yapı performansları üzerinde etkilerini inceleyen bir çalışma gerçekleştirmiştir. Tek cephede 1.5m kapalı çıkma yapılması durumunda 4 ve 7 katlı yapıda enerji sönüm kapasitesinin %15 azaldığı, deplasman taleplerinin ise %10 artış gösterdiğini tespit etmiştir. Çapraz iki cephede 1.5m kapalı çıkma yapılması durumunda ise 4 ve 7 katlı yapıda enerji sönüm kapasitesinin %25 azaldığı, deplasman taleplerinin ise %22 artış gösterdiğini tespit etmiştir.

Mutlu (2007) doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizinde, zemin katındaki bazı kolonların gerilme dağılımları ve yer değiştirme grafiklerini incelemiştir. Seçilen kolonlarda bant pencerenin bulunduğu kesimde normal gerilme değerlerinin arttığını tespit etmiştir. Ayrıca bina zemin katındaki bant pencere alanı ile yapının yatay yük kapasitesinin ters orantılı olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Çağatay ve Beklen (2009) dolgu duvarın kısa kolonun kesme kuvvetine etkisini incelemek amacıyla tek katlı, iki boyutlu modeller kullanmış ve açıklıklarına göre değişen 5 farklı model hazırlamışlardır. Modeller, doğrusal statik analiz çerçevesinde 5m ve 10m açıklıklara sahiptir. Kısa kolonların çevresine yatay yük uygulayarak belirli aralıklarla duvar eklemiştir. Çalışma sonucunda 10 metre açıklığa sahip modelin kesme kuvveti değişimlerinin ve artış miktarının 5 metre açıklığa göre daha fazla olduğunu göstermiştir. Ayrıca %20 oranında dolgu duvar eklenmesi durumunda kesme kuvvetinin %50 ila %80 arasında azaldığını tespit etmiştir.

Meral (2019) tarafından yapılan çalışma, kısa kolonlu binaların referans binalara kıyasla sünek davranmadığını ortaya koymuştur. Bu durum, kısa kolonların rijitliğinin artması ve kesme etkisiyle göçme konumuna geçen kolonların varlığı nedeniyle yapının deformasyon yapma yeteneğini sınırlamaktadır. Çalışmanın sonucunda 4 ve 7 katlı referans binaların tepe noktası ötelenme oranlarının kısa kolonlu bina modellerine göre sırasıyla %45 ve %27 daha fazla artış gösterdiği belirlenmiştir.

Şahrur ve Allouzi (2020) tarafından yapılan çalışmaya göre, bazı kolonlarda tutucu veya kısa kolon etkilerinin varlığı nedeniyle beklenmedik hasarların meydana geldiğini tespit etmiştir. Tutucu kolon etkisi, yapısal olmayan duvarların veya cephelerin yapıya eklenmesi sonucunda ortaya çıkar. Bu durumun, kolonların deprem hareketlerine karşı, kendi başlarına tasarlandığı durumun tepkilerinden, farklı tepkiler vermesine yol açtığını tespit etmiştir.

Işık ve ark. (2023) tarafından yürütölen bir araştırmaya göre, kolonun etkin yüksekliğinin çeşitli etkenlerle azalması, özellikle mimari sebeplerden dolayı kesme kuvvetinin artmasına ve kolonun eğilme kapasitesine ulaşmasına sebep olur. Bu tür hasarlarda, tasarım aşamasında kolonun serbest yükseklikteki azalmayla ilgili herhangi bir öngörü yapılmadığı varsayılırsa, özellikle yedek kesme kapasitesi yetersiz olan kolonda ani ve kırılğan kesme hasarı meydana gelir. Özellikle bodrum katlardaki ve en alt katlardaki kısa kolonların gevrek hasara uğraması durumunda, yapının tamamen çökmesine neden olabilir. Dolayısıyla kolon kısalığına yol açan faktörlerin ortadan kaldırılmasının mümkün olmadığı durumlarda, bu kolonların yapısal performansa olan etkisi detaylı olarak değerlendirilmeli ve gerekli önlemler alınmalıdır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Sonlu elemanlar yöntemi

Yapı-zemin etkileşiminin olduğu durumlarda sistemin analizi farklı yöntemlerle yapılmaktadır. Parmelee (1967) tarafından geliştirilen alt yapılara ayırma (alt sistem yaklaşımı) isimli direkt yöntemde yapı ve zemin ortamı birlikte modellenmiştir. Bu metot, yüzeysel üst yapılar için oldukça kullanışlı olduğundan bu yöntemle birçok çalışma yapılmıştır. Aydınoglu (1977) öncü çalışmalar yapmıştır. Kutanis (2001), yakın bölge ve uzak bölge olarak ayırdığı zemin-yapı sistemini direkt yöntemle çözmüştür. Yakın ve uzak bölgeler etkileşim ara kesiti ile ayrılmaktadır. Sonlu elemanlar metodu ile dinamik analizler yapılarak, yapı davranışının zemin ortamı ve üst yapının özelliklerine bağlı olduğu gösterilmiştir.

Bu tezde direkt yöntem kullanılarak analizler yapılmıştır. Çalışmada iki farklı derinlikte zemin modeli ve üç farklı zemin cinsi olmak üzere toplam 6 farklı model oluşturulmuştur. Zemin modelinin birinde, binanın bir tarafında 2.25 metre yüksekliğinde zemin modellenmiştir. İkinci zemin modelinde ise binanın aynı tarafında 1.5m yüksekliğinde zemin oluşturulmuştur. Her modelde zemin cinsi farklı olan kaya, kum ve kil zemin şartlarında üçer model oluşturulmuştur. Zemin modellerken bina temeli için mat adında betonarme eleman tanımlanmıştır. Bu mat elemanın boyutları 14*14*1m'dir. Mat elemana bağlı kolonlar, ankastre mesnet olarak tanımlanmıştır. Üç boyutlu katı elemanın boyutları ise 20*20*7m boyutunda tanımlanmıştır. Bu üç boyutlu katı elemanın 1 aksından geçen zemininin yüksekliği ise 2.25m ve 1.5m şeklinde farklı 2 model tanımlanmıştır. Kolonların zemine yaslanan kısmı mesnet tanımlamasıyla sınırlandırılmamıştır.

2.2. Zaman Tanım Alanında Analiz

2.2.1. Yeterli Titreşim Modu Sayısı

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) Modal hesap yöntemlerinde, hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı, Y_M ;

(a) (X) ve (Y) deprem doğrultularında her bir mod için hesaplanan taban kesme kuvveti modal etkin kütlelerinin toplamının bina toplam kütlelerinin %95'inden az olmaması kuralına göre belirlenecektir. (Eşitlik 6)

$$\sum_{n=1}^{YM} m_{txn}^{(x)} \geq 0.95m_t \quad (\text{Eşitlik 6})$$

Bu eşitlikte;

YM : Yeterli titreşim modu sayısı

m_t : Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölüm 'ünün toplam kütlesi

$m_{txn}^{(x)}$: (X) deprem doğrultusu için binanın x eksenı doğrultusunda n'inci titreşim

moduna ait taban kesme kuvveti modal etkin kütlesi

$m_{tyn}^{(y)}$: (Y) deprem doğrultusu için binanın y eksenı doğrultusunda n'inci titreşim

moduna ait taban kesme kuvveti modal etkin kütlesi

Ancak katkısı %3'ten büyük olan bütün modlar göz önüne alınacaktır.

(b) Her iki doğrultu için hesaplanan YM'lerin büyüğü üç boyutlu hesapta dikkate alınacaktır.

2.2.2. Zaman Tanım Alanında Mod Toplama Yöntemi ile Deprem Hesabı

Mod toplama yönteminde, depremin aynı anda dik iki yatay doğrultuda etkidiği durumlarda, her bir titreşim modunun modal davranış büyüklükleri, zaman tanım alanında modal hesap yöntemi ile hesaplanır. Yeterli sayıda titreşim modu için hesaplanan eş zamanlı modal davranış büyüklükleri daha sonra doğrudan zaman tanım alanında toplanarak davranış büyüklüklerinin zamana göre değişimi ve tasarımda esas alınmak üzere en büyük değerleri elde edilir. Bu tezde zaman tanım alanında doğrusal analiz yöntemi kullanılmıştır.

Chouw (2002) deprem kayıtlarını kullanılarak yer altı hareketlerinde zemin etkisiyle uzun periyodun binaların birbirine vurma potansiyelini artırabileceği sonucuna varmıştır. Ayrıca binaların birbirine darbesi sebebiyle zemindeki titreşimlerin artabileceği sonucuna varmıştır. Bununla birlikte, zemin-yapı etkileşiminin indüklenen titreşimler üzerinde azaltıcı etkiye sahip olabileceği ve bu nedenle binaların birbirine vurma etkisini azaltmak için zemin-yapı etkileşiminin hesaba katılması gerektiği sonucuna ulaşmıştır.

Siyahi, Çetin ve Bilge (2015) yumuşak zeminlerde zemin-temel-yapı etkileşimlerinin, bu üçlünün oluşturduğu sistemin periyodu ile serbest saha hareketinin periyodu arasındaki oranın, rezonansla çakışmaması gerekliliğini vurgulamıştır. Yumuşak zeminlerde güçlendirme uygulamalarının genellikle sistemleri daha sert hale getireceği göz önüne alındığında, spektral ivmelerin kısa periyot bölgesinde artarken

uzun periyot bölgesinde azalacağı ve üst yapıya nasıl etkileyeceğini anlamak için zaman tanım alanında analiz yapılması gerektiği ve zemin-temel-yapı üçlüsünün zemin-yapı etkileşiminden kaynaklanan etkilerin dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir.

SAP2000’de ve sonlu elemanlar yöntemini kullanan tüm programlarda üç boyutlu katı eleman modellerinin sonuçları incelendiğinde analizlerin doğruluk oranını etkileyen en önemli faktörlerden birisinin de doğru parça boyutu seçimi olduğu görülmektedir. Aslan ve Şahin’in (2016) yaptığı Süleymaniye Cami’nin modellenmesinde projenin büyük olmasından dolayı mesh (parçalara bölme) aralıklarını 1.5m olarak seçilerek modellemeye gidilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta olabildiğince şekil ile uyumlu parçaları birbiriyle ölçülü şekilde çizmektir. Amaç en uyumlu parça aralıklarını verebilmektir. Küçük parça boyutları analiz doğruluğunu artırır, ancak çözüm matrisinin büyümesine ve çözüm süresinin uzamasına neden olmaktadır. Öte yandan, büyük parça boyutları gerçeklikten uzak çözümlere yol açabilir. Bu tezde bina tasarlanırken tüm elemanlar için 0.5m olarak parçalara bölünmüştür. Zemin elemanlarının boyutları, ilk modelleme çalışmasında mat ve üç boyutlu katı eleman 0.75m olarak otomatik parçalara ayrılmış ancak parça aralığının doğru sonuç vermediği anlaşıp 0.5m olarak parçalara bölünerek model oluşturma yoluna gidilmiştir. Programın otomatik parçalara bölünme özelliği ne kadar azaltılırsa, analizler o kadar doğru sonuç verir ancak bu durum analiz boyutlarının ve süresinin artmasına neden olmaktadır. Bu yüzden boyutlar bilgisayar kapasitesini aşmayacak şekilde optimize edilmiştir.

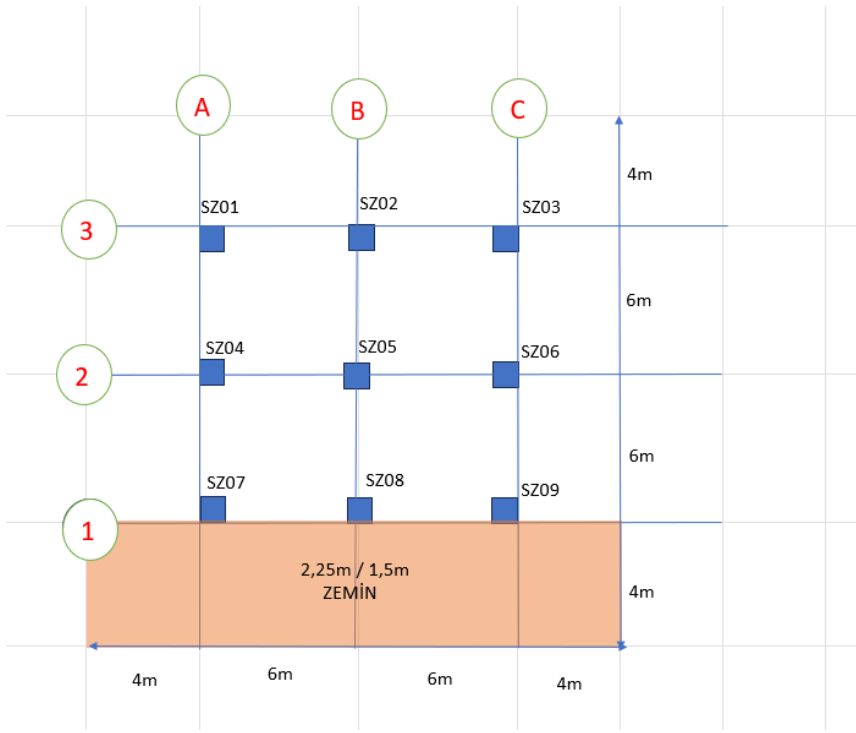
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, kısmi gömülü yapıların depreme maruz kaldığı sırada kolonlar ve zemin arasındaki yatay etkileşimi incelemek amacıyla modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. SAP2000 programıyla yapılan çalışmada, zemin özelliklerini temsil eden katı eleman kullanılmıştır. Böylece farklı zemin tipleri (kaya, kum ve kil) için zemin-yapı etkileşiminin etkileri daha gerçekçi bir biçimde ele alınmıştır. Ayrıca üç boyutlu etkileri yansıtmak için, zaman tanım alanı analizlerini kullanılarak zemin, katı eleman olarak modellemeye tabi tutulmuştur.

Zaman tanım alanı analizi yapılarak elde edilen sonuçları karşılaştırmak için yük kombinasyonları (Load Combination) sekmesinde bulunan EX-ENV yük birleşimi tanımlanmıştır. SAP2000 programında tanımlanan 3 büyük deprem kaydının (Kocaeli, El Centro, Kobe Depremi) en olumsuz sonuçlarının incelenebilmesi yük kombinasyonu olarak zarf (envelope) seçilmiştir. Böylece üç deprem için en olumsuz sonuçları gösterecek şekilde kolonlarda oluşan eğilme kuvvetlerine, kesme kuvvetlerine ve tepe yer değiştirmelerine bakılarak karşılaştırmalar yapılmıştır.

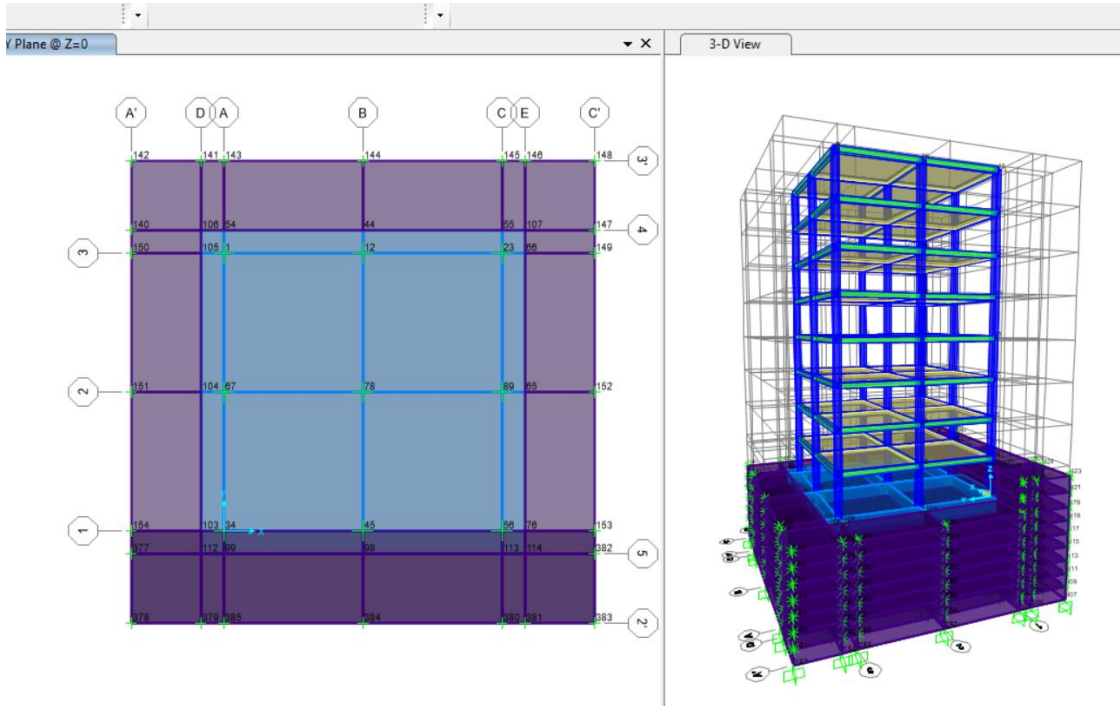
3.1 Model Detayları

Yanal zemin itkilerinin kısa kolon oluşumundaki etkisini incelemek amacıyla, sekiz katlı, kare kat planlı ve her iki doğrultuda 6 metre aks aralıklarına sahip bir bina modeli oluşturulmuştur. Modelde kolonlar 45cm*45cm boyutlarında seçilmiştir. Bina kat yüksekliği 3m olarak tasarlanmıştır. Modellenen binanın kat aplikasyon planı Şekil 2’de verilmiştir.



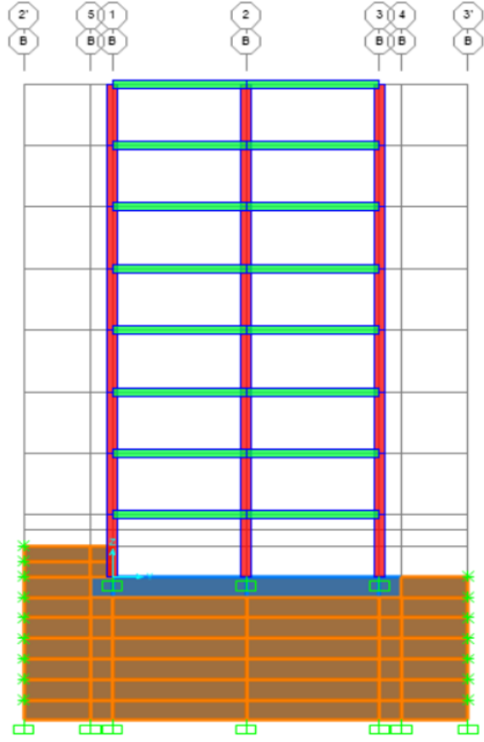
Şekil 2. Model binanın kat kolon aplikasyon planı

Şekilde 2’de görüldüğü gibi yapının bir tarafında zeminin temel seviyesinden yüksekliği 1.5m veya 2.25m olacak şekilde tasarım yapılmıştır. Bu kat planına sahip binanın SAP2000’de oluşturulan modeli ve perspektif görünüşü Şekil 3’te verilmiştir.

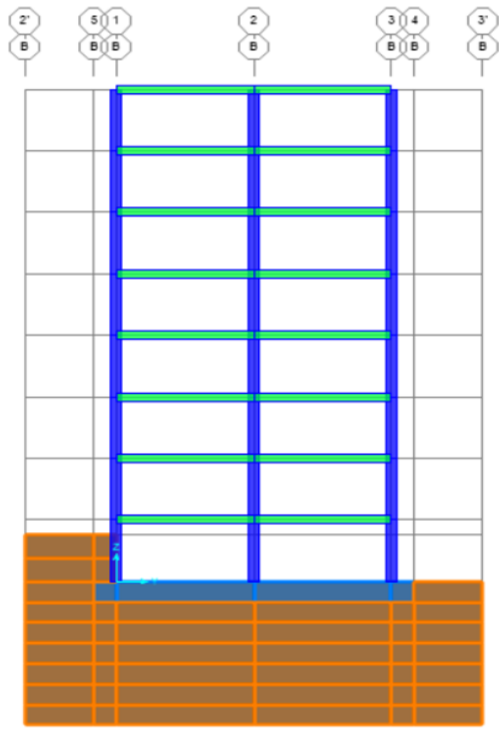


Şekil 3. Binanın planı ve perspektif görünüşü

Model binaların ve zeminin yandan görünüşü, zemine 1.5m ve 2.25m gömülme derinlikleri için ayrı ayrı, kil, kum ve kaya zemin için sırasıyla Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6’da verilmiştir.

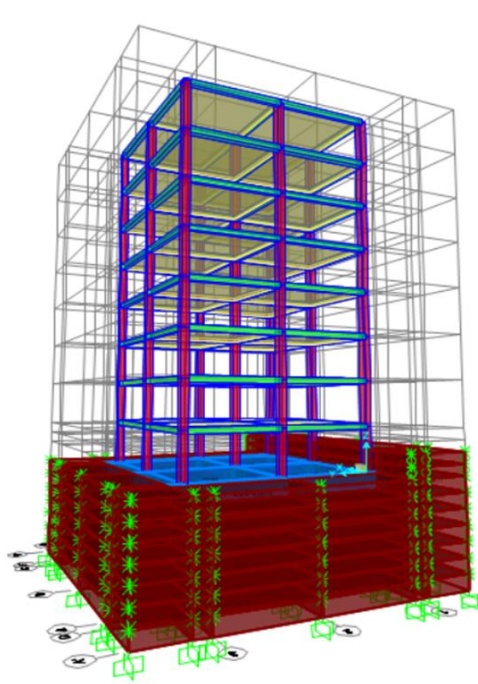


Model 1a

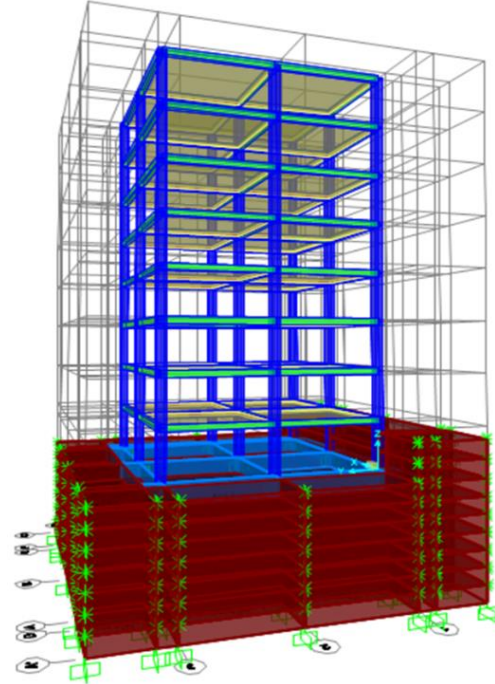


Model 2a

Şekil 4. Model 1a ; Model 2a

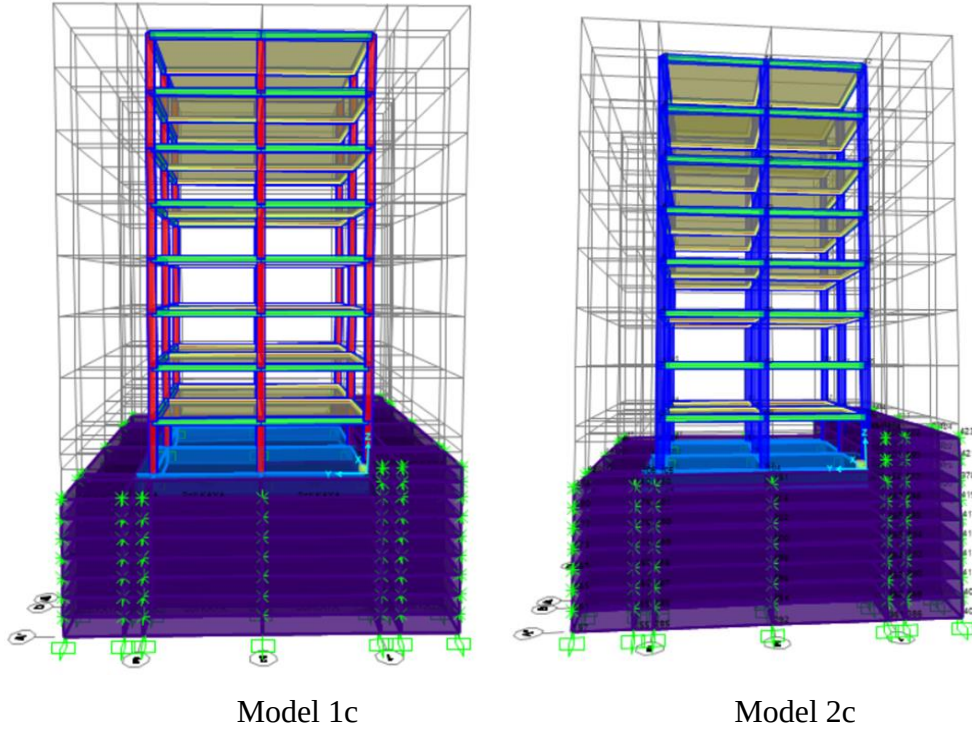


Model 1b



Model 2b

Şekil 5. Model 1b ; Model 2b



Şekil 6. Model 1c ; Model 2c

Modellerde kullanılan zeminlerin fiziksel özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Zemin fiziksel özellikleri ve kayma gerilmesi parametreleri

Zemin Cinsi	Modelde Rengi	Birim hacim ağırlık (γ) [kNxm ³]	Elastisite Modülü (E) [kN/m ²]	Poisson Oranı (ν)	Sürtünme Açısı (ϕ) [°]	Kohezyon (c) [kNxm ²]
KAYA	Lacivert	25.4	50000000	0.26	40	350
KUM	Kahverengi	19.32	85600	0.38	32	31.87
KİL	Turuncu	18.87	213000	0.39	11	51.26

Alemdağ vd. (2017) Gümüşhane İli Tamzı ve Akçakale Köylerinde yayılım gösteren kil (CL) ve killi kum (SC) zeminlerin emniyetli taşıma kapasiteleri, çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen taşıma kapasitesi eşitlikleri yardımı ile hesaplanmıştır. Bu amaçla yapılan arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen değerler kullanılarak sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Bu tezde, Gümüşhane ilinde yapılan çalışmadan alınarak Tablo 1’de verilen kil ve kum zeminin değerleri kullanılarak modelleme yapılmıştır.

(Tuncay, 2012:83; Tuncay, 2012:140) Kayaç mekaniği ders notları adlı sunumda kaya türüne bağlı olarak kaya malzemesinin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin

yaklaşık olarak değişim aralıkları verilmiştir. (Jumikis, 1983) tarafından düzenlenen tablodan granit için değerler seçilmiştir. Kayaçların tüm özelliklerine değinen ders notlarında kaya sınıfları için iyi kaya olarak 2. sınıf seçilip ona uygun kohezyon ve sürtünme açıları seçilmiştir. SAP2000 programında zemin özelliklerinin ayarlandığı ileti kutusunda, sırasıyla kil, kum, kaya zeminler için Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir.

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box in SAP2000. The 'General Data' section includes 'Material Name and Display Color' (soil / kil), 'Material Type' (Soil), 'Material Grade', and 'Material Notes'. The 'Weight and Mass' section shows 'Weight per Unit Volume' (18,87) and 'Mass per Unit Volume' (1,9242). The 'Units' section shows 'KN, m, C'. The 'Isotropic Property Data' section includes 'Modulus Of Elasticity, E' (213000), 'Poisson, U' (0,39), 'Coefficient Of Thermal Expansion, A' (9,900E-06), and 'Shear Modulus, G' (76618,705). The 'Other Properties for Soil Materials' section includes 'Soil Type' (Clay), 'Cohesion' (51,26), and 'Friction Angle (deg)' (11).

Section	Property	Value
General Data	Material Name and Display Color	soil / kil
	Material Type	Soil
	Material Grade	
	Material Notes	Modify/Show Notes...
Weight and Mass	Weight per Unit Volume	18,87
	Mass per Unit Volume	1,9242
Units	Units	KN, m, C
Isotropic Property Data	Modulus Of Elasticity, E	213000
	Poisson, U	0,39
	Coefficient Of Thermal Expansion, A	9,900E-06
	Shear Modulus, G	76618,705
Other Properties for Soil Materials	Soil Type	Clay
	Cohesion	51,26
	Friction Angle (deg)	11

Şekil 7. Kil zemin parametrelerinin ayarlanması

S Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: Soil / kum 

Material Type: Soil

Material Grade:

Material Notes:

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 19,32

Mass per Unit Volume: 1,9701

Units

KN, m, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 85600,

Poisson, U: 0,38

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 9,900E-06

Shear Modulus, G: 31014,494

Other Properties for Soil Materials

Soil Type: Sand

Cohesion: 31,87

Friction Angle (deg): 32

Şekil 8. Kum zemin parametrelerinin ayarlanması

S Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: soil / kaya 

Material Type: Soil

Material Grade:

Material Notes:

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 25,4

Mass per Unit Volume: 2,5901

Units

KN, m, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 50000000,

Poisson, U: 0,26

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 9,900E-06

Shear Modulus, G: 19841270

Other Properties for Soil Materials

Soil Type: Rock

Cohesion: 350

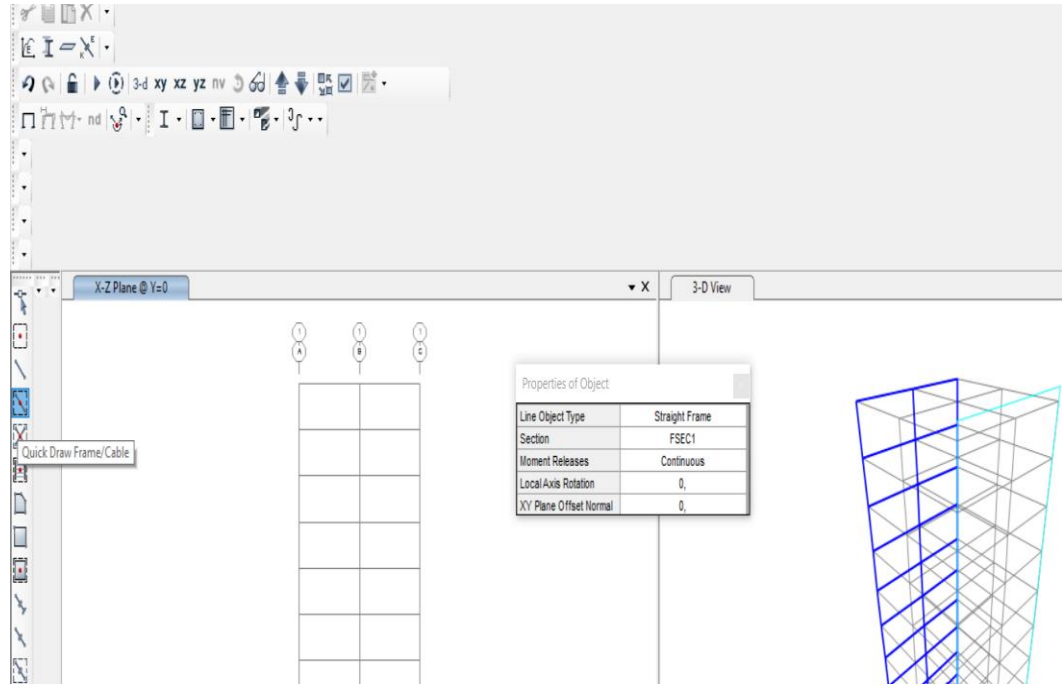
Friction Angle (deg): 40

Şekil 9. Kaya zemin parametrelerinin ayarlanması

3.2 Üst Yapının SAP2000'le Modellenmesi

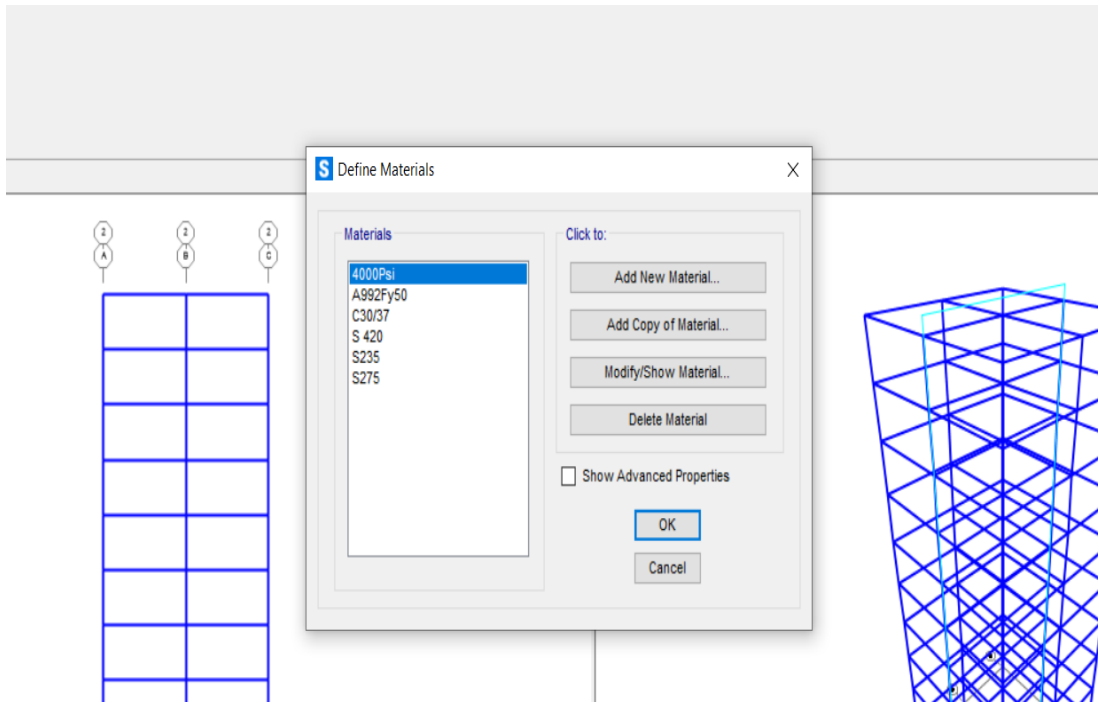
SAP2000'de 8 katlı proje için model tasarlanmıştır. Grid lines (ızgara çizgileri) kısmında x,y yönündeki aksları X=3, Y=3 Z=9 olarak girilmiştir. Grid spacing (yardımcı çizgi aralık uzunlukları) kısmında uzaklık girmek içinse x yönünde 6m, y yönünde 6m ve z yönünde ise kat yüksekliği olarak 3m girilmiştir. Model binanın üst yapı yüksekliği 24m'dir.

Projede x, y, z, yönünde olması gereken çubuk elemanları seçmek için sol kısımdaki Quick draw frame / Cable (hızlı çubuk eleman oluşturma) seçilerek projede olması gereken kiriş-kolon elemanları tanımlanmıştır (Şekil 10).



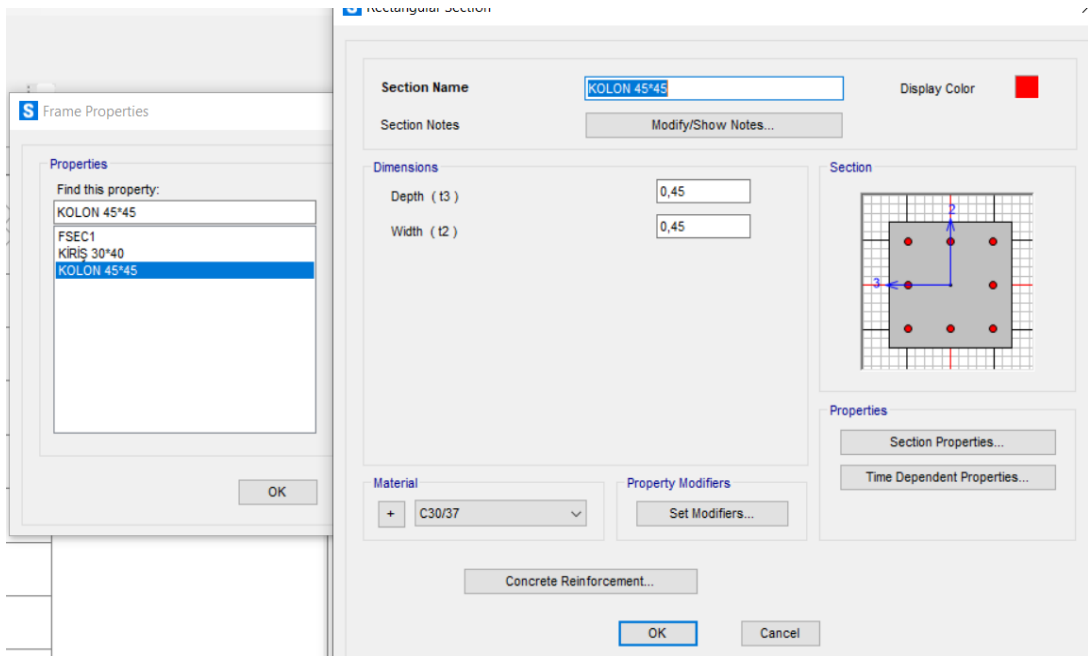
Şekil 10. Çubuk eleman tanımlama

Kiriş ya da kolon tanımlamada, öncelikle çelik ve beton malzemesi tanımlanması gerekmektedir. Define materyal kısmında Add New Material (yeni malzeme tanımlama) ile Çelik olarak S420 Çeliği, S235, S275 seçilmiştir.



Şekil 11. Çelik malzeme tanımlama

Beton malzemesi olarak C30/37 malzemesi seçilmiştir. Çelik malzemeleri seçmek için Add new material (yeni malzeme tanımlama) /Europe(Avrupa)/ Steel(çelik) yazıp S235 ve S275 seçilmiştir. Beton malzeme olarak Europe/Concrete (beton)/C30/37 seçilmiştir. Girilen değerler Şekil 11’ de verilmiştir.

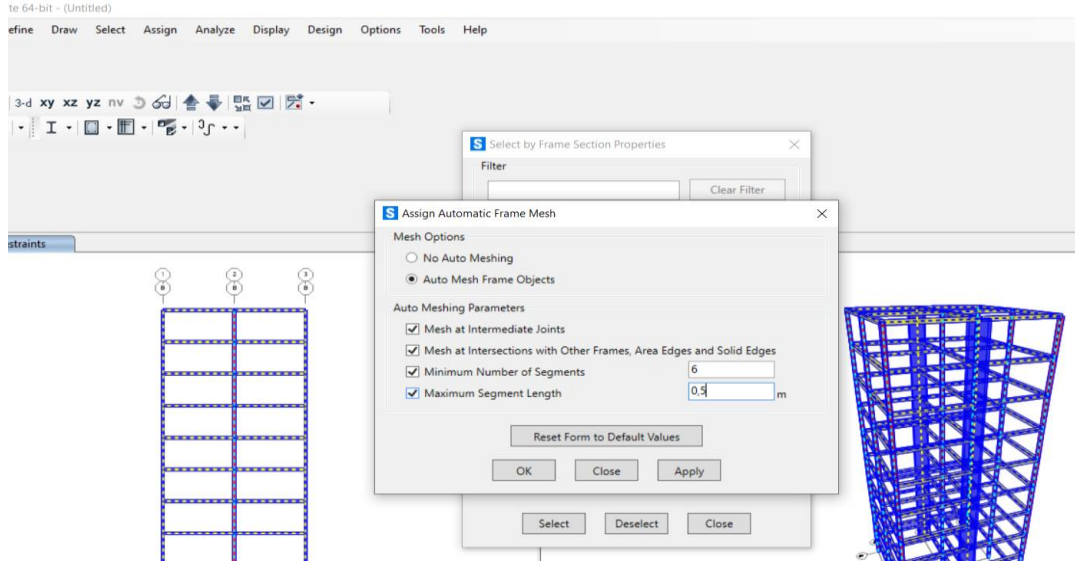


Şekil 12. Beton malzeme tanımlama

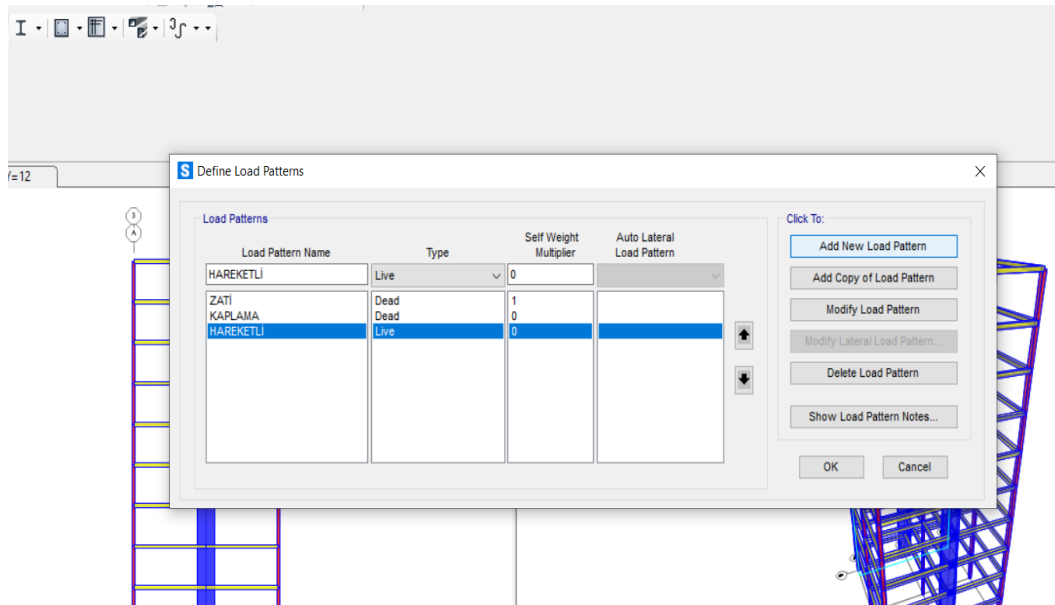
Modelde, frame (çerçeve) eleman olarak gösterilen çubuk elemanlar, Define-Section properties (bölüm özellikleri) - Frame Section bölümünde kolon ve kiriş olarak

girilmiştir. Kiriş için 30*40 boyutları ve kolon için 45*45 boyutları girilmiştir. Döşeme kalınlığı 12cm olarak girilmiştir. Şekil 12’de girilen değerler verilmiştir. Model simetrik olarak oluşturulmuş, böylece analizde kısa kolon oluşumunun sonuçları daha net tespit edilmiştir.

Modelde frame elemanlar için automatic mesh(otomatik parçalara bölme) olarak 0.5m aralığı girilmiştir. Bu düzenlemenin yapıldığı ekran Şekil 13’te verilmiştir. Binaya yük tanımlamak için Define/ load pattern (yük tanımlama) kısmında zati, kaplama ve hareketli yükü tanımlanmıştır. (Şekil 14).

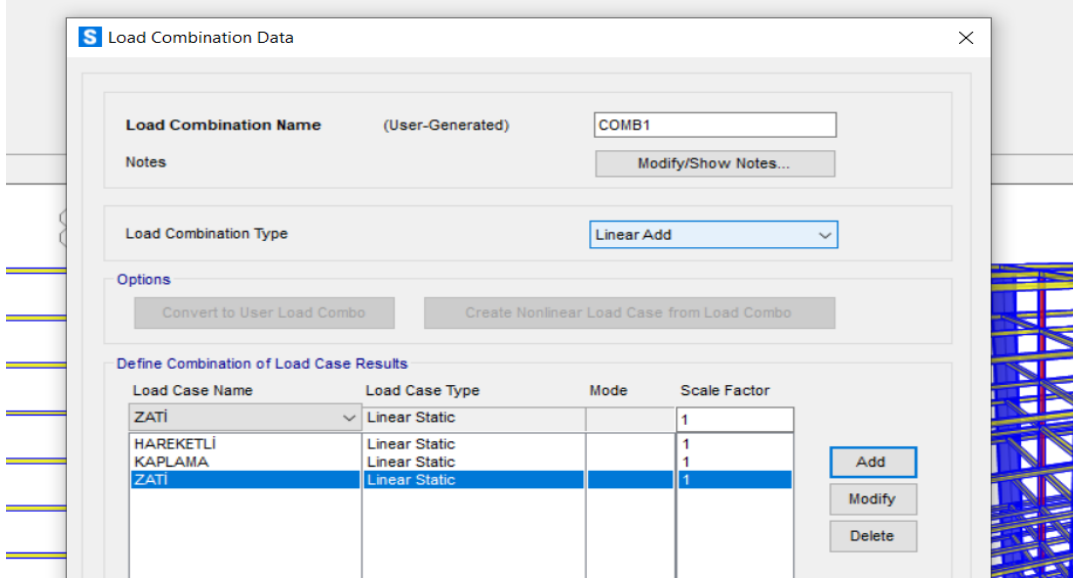


Şekil 13. Çerçeve elemanlar için otomatik parçalara bölme



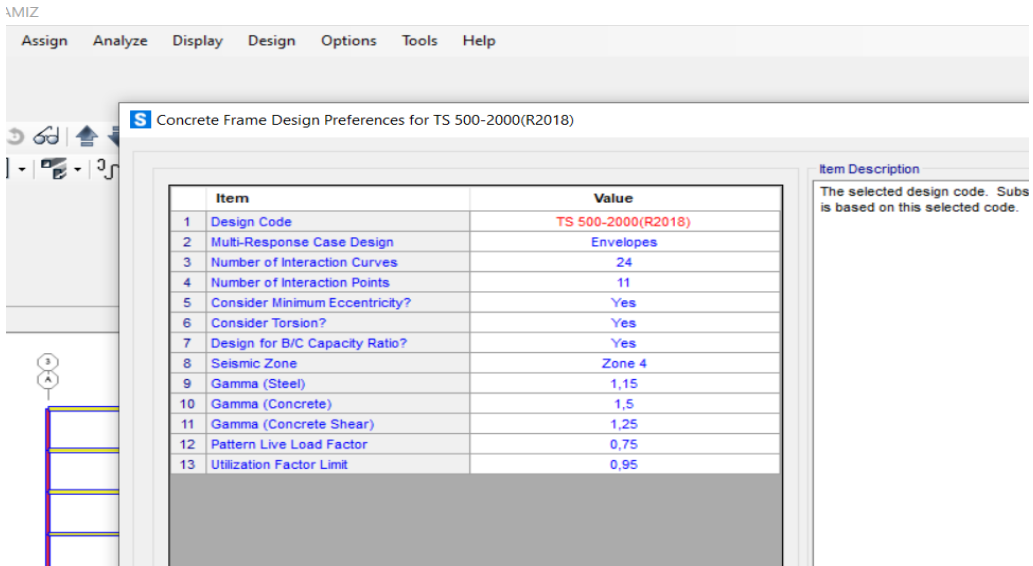
Şekil 14. Binaya yük tanımlama

Yük kombinasyonu olarak zati, kaplama hareketli yüklerin toplamı olacak şekilde COMB1 yükü tanımlanmıştır. (Şekil 15).

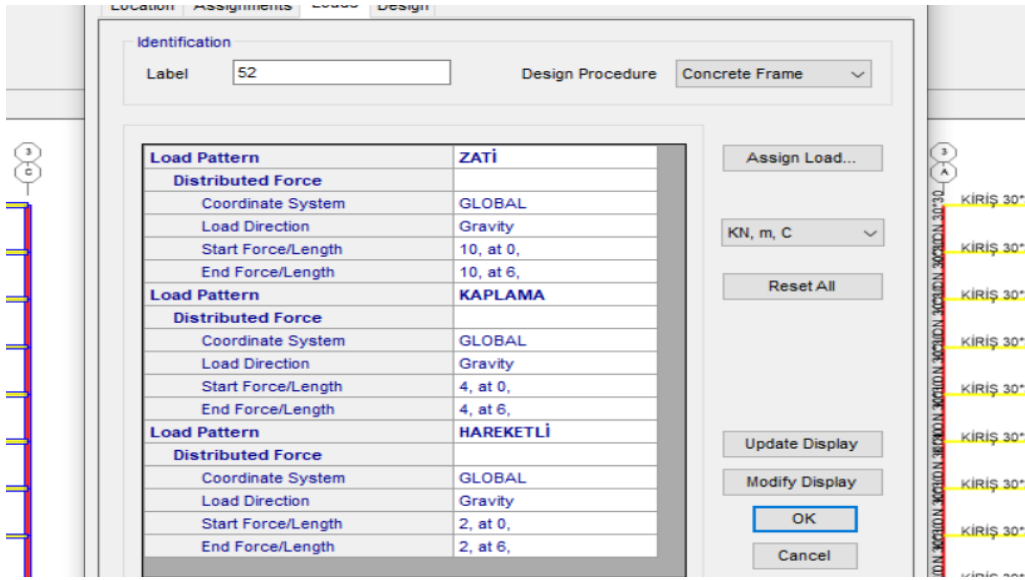


Şekil 15. COMB1 yük kombinasyonu tanımlama

Beton elemanların analizi TS500-2000'e göre (R2018) yapılmıştır. (Şekil 16)
Çelik eleman içinde AISC 360-10 yönetmeliği seçilmiştir.

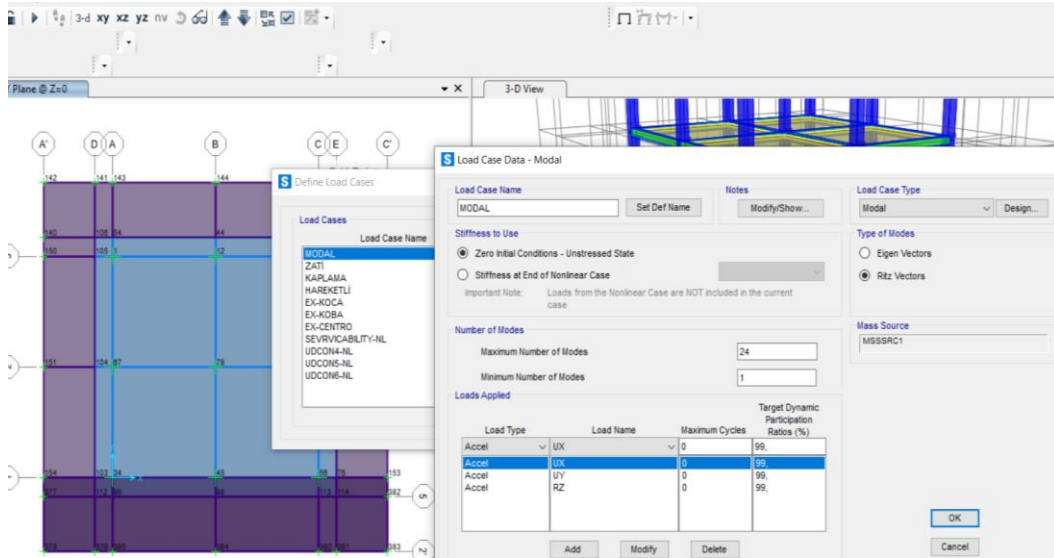


Şekil 16. Analiz için referans yönetmelik seçimi



Şekil 17. Kiriş elemanlara yük tanımlama

Kiriş elemanlara yük tanımlamak için Assign/Frame/Loads/Distributed (çubuğa yayılı yük atama) kısmından yayılı yük olarak tanımlama yapılmıştır. Zati yük için 10 kN, kaplama için 4 kN, hareketli yük olarak da 2 kN girilmiştir. (Şekil 17)

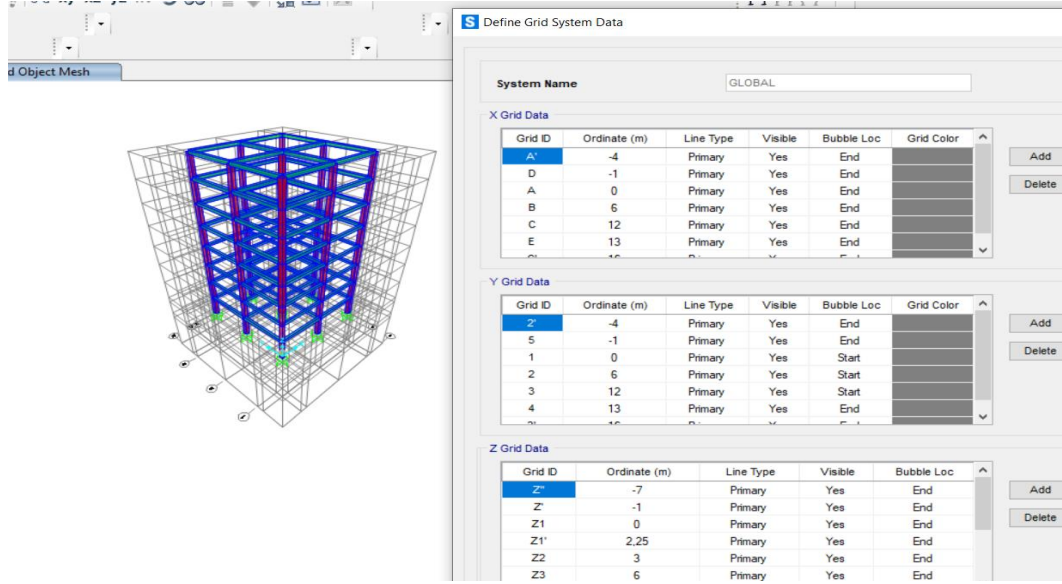


Şekil 18. Modal analiz verileri

Şekil 18’de verildiği gibi modal analiz kısmında mod sayısı 24 olarak seçilmiştir. Bu değer bina katsayısına uygun şekilde seçilmiş, 8 katlı bina için $8 \times 3 = 24$ adet mod sayısı girilmiştir. Modal analiz tipi ise rtz vektör olarak belirlenmiş; ux, uy ve rz için modal analiz için yön opsiyonunu girilmiştir. (X) ve (Y) deprem doğrultularında her bir mod için hesaplanan taban kesme kuvveti, modal etkin kütlelerinin toplamının bina toplam kütlelerinin %95’inden az olmaması kuralına göre belirlenmiştir. Tezdeki modeller için seçilen 4 mod değerleri bu koşulu sağlamaktadır.

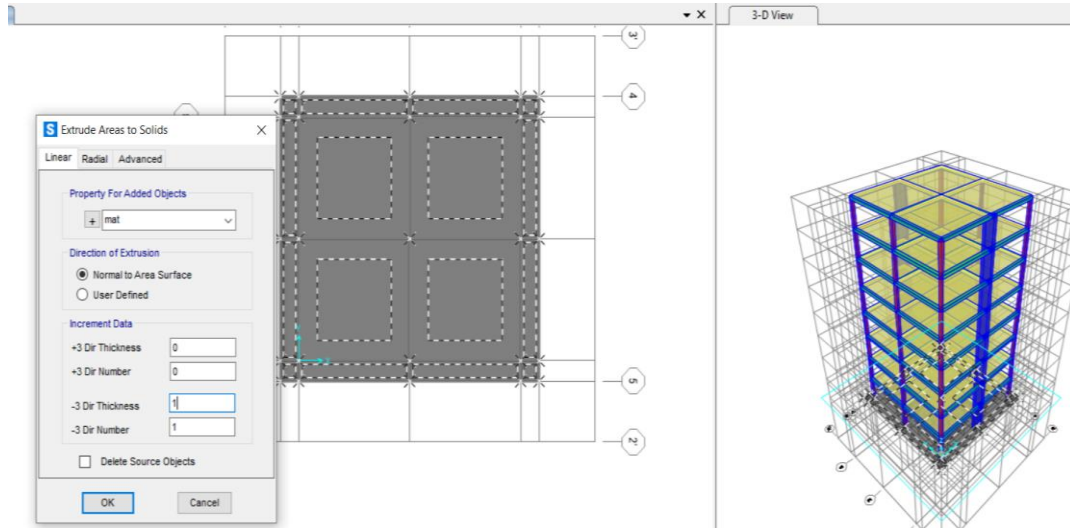
3.3 Zemini Modelleme

Modelleme çalışmalarında zemin katı eleman olarak modellenmiştir. Şekil 19'da zemin için ızgara sisteme'e verilerin girildiği pencere verilmiştir.



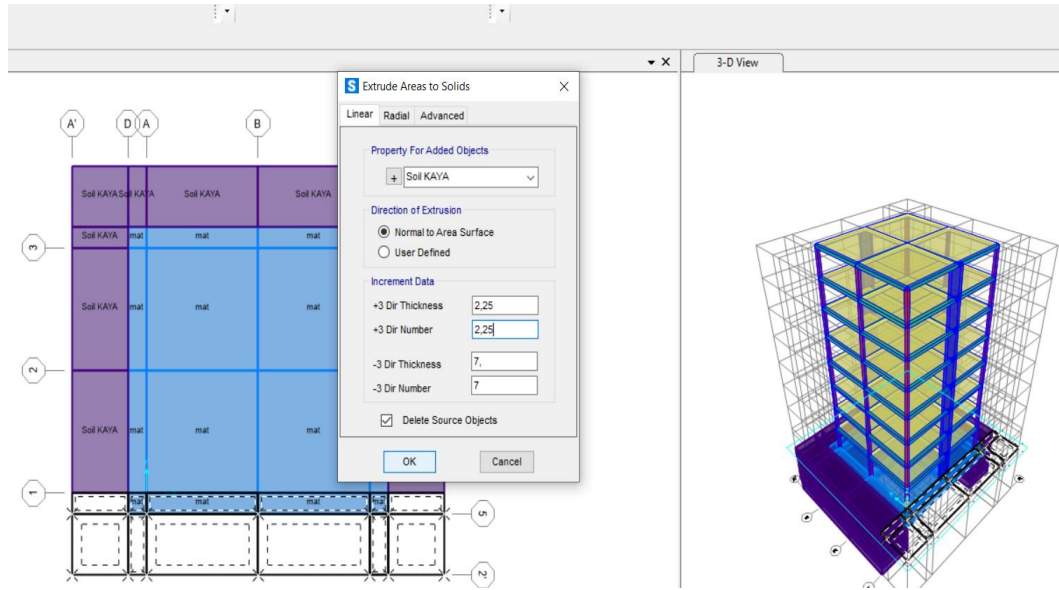
Şekil 19. Zemin veri girişi

Solid elemanı modellerken ızgara sistem (grid system) kısmında 3 boyutlu zemin için veriler girilmiştir. Betonarme levha için 1m derinliğinde 14*14*1m boyutunda eleman için uzaklıklar girilmiştir. Katı elemanın boyutlarının 20*20*7m şeklinde tanımlanması için koordinat eksenleri uzaklıkları girilmiştir. 1 nolu aksından itibaren 1.5m yüksekliğinde zemin ya da 2.25m yüksekliğinde zemin için ise z yönünde koordinat değerleri girilmiştir.



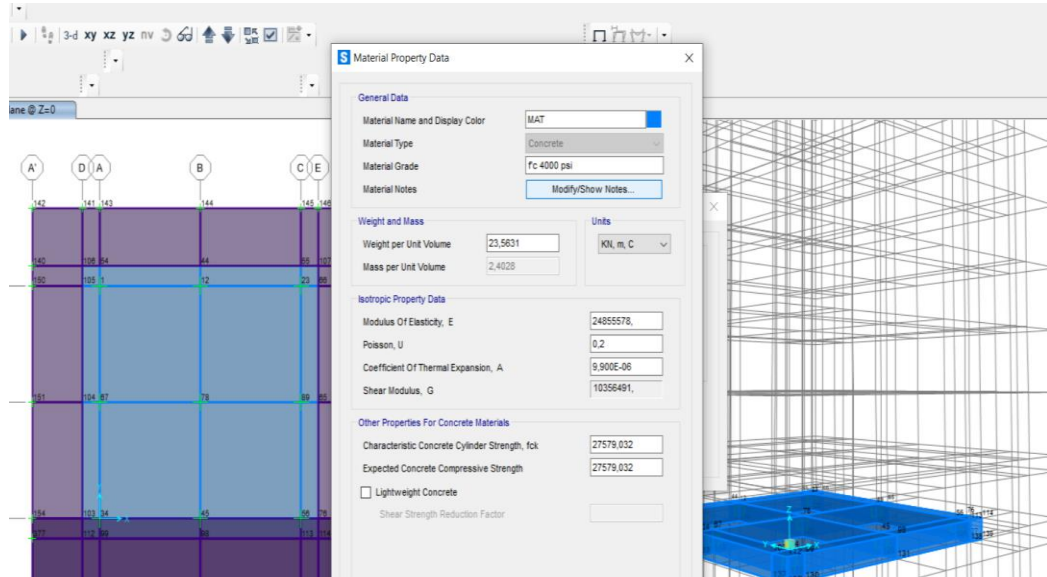
Şekil 20. Betonarme levhanın boyut veri girişi

Şekil 20’de betonarme levha için xy ekseninde 0. metredeki konumuna gelip betonarme levhanın 1m derinliği için negatif kısımda 1m derinlik girilmiştir.



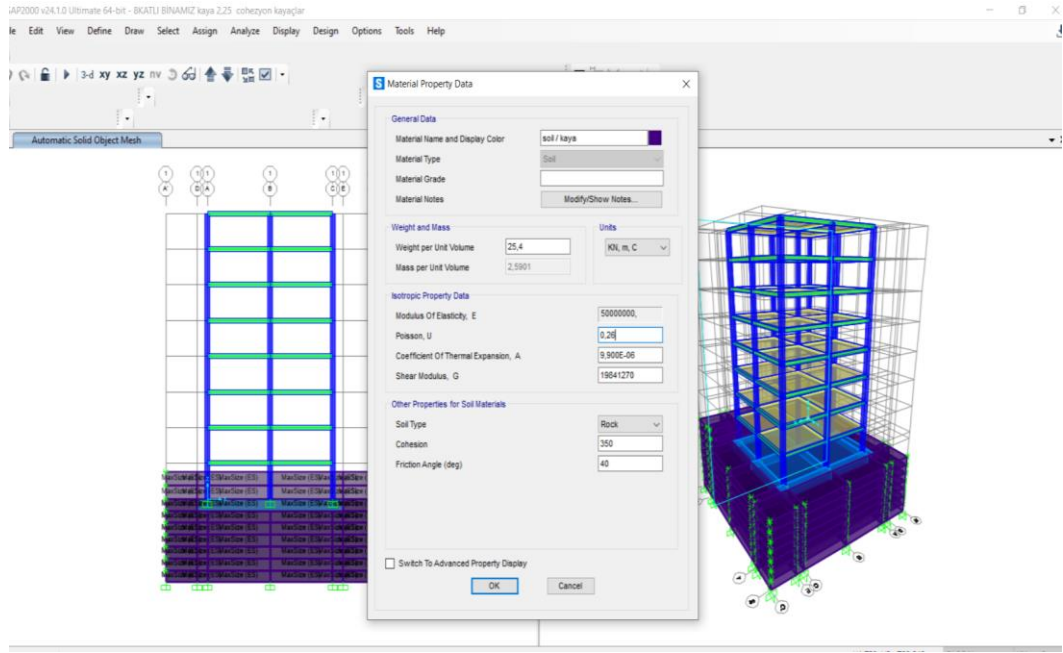
Şekil 21. Örnek zemin elemanın (kaya) boyut girişi

Şekil 21’de katı elemana ilk zemin cinsi olarak kaya malzeme girilmiştir. Kaya zeminin 2,25m’lik kısmı içinde koordinat değerleri girilmiş, böylece katı eleman ve betonarme levha tanımlanmıştır.



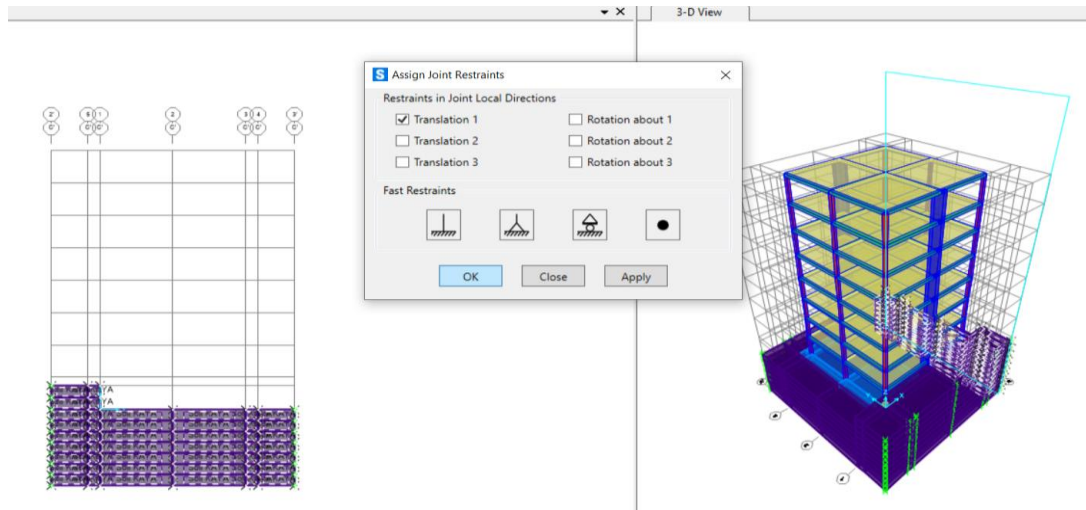
Şekil 22. Betonarme levha veri girişi

Şekil 22’de betonarme levhanın, materyal tipi beton ve çelik elemandan oluşturulmuştur. Betonarme levha, bina temeli olarak tanımlatılmıştır. Betonarme eleman mavi renk olarak gösterilmiştir.



Şekil 23. Örnek zemin elemanın (kaya) boyut girişi

Katı eleman olarak 3 farklı zemin için değerler girilmiş; bu modelde kaya zeminin örneği anlatıldığı için soil type(zemin cinsi) rock(kaya) eleman olarak seçilmiştir. Kaya elemana girilen değerler Şekil 23'te gösterilmiştir. Zemin rengi lacivert olarak gösterilmiştir.

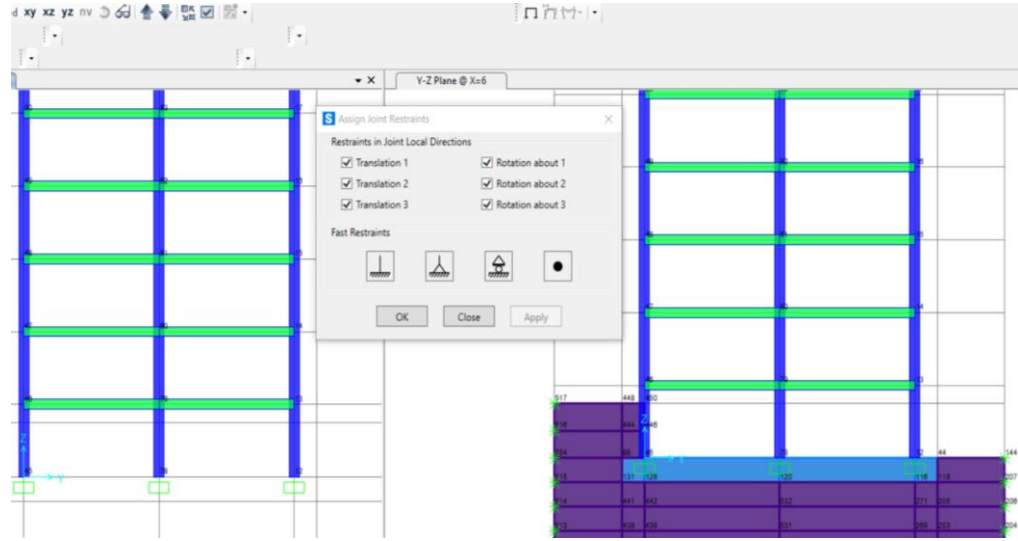


Şekil 24. Katı elemana mesnet tanımlama

Şekil 24'te modelin yz ekseninde en uç yerindeki koordinatlarına gelip; x:16m ve x:-4m'deki konumuna gelip 2 koordinattan mesnet sınırlandırmasını x yönü seçilerek yapılmıştır.

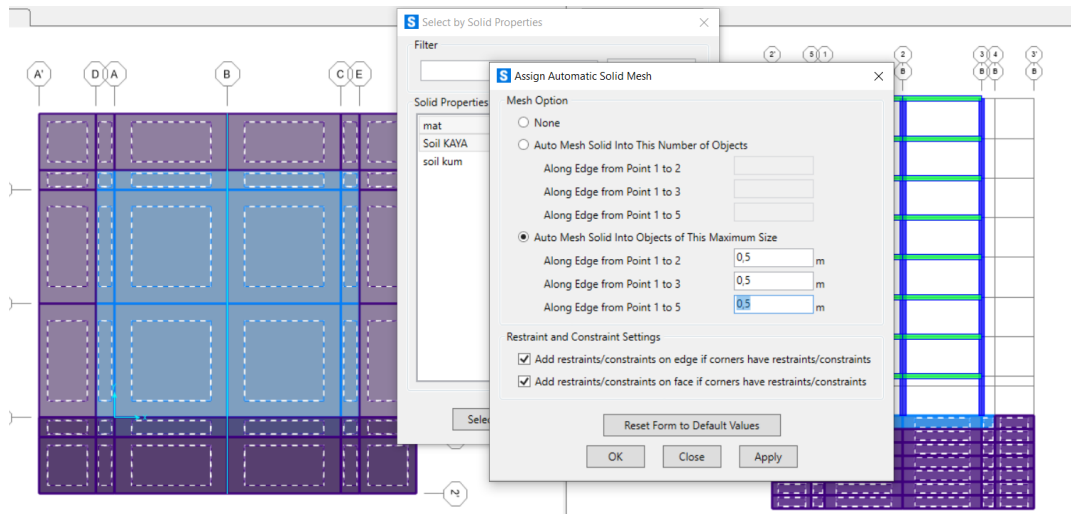
Aynı şekilde xz ekseninde y:16m ve y:-4m deki konumuna gelip 2 koordinattan mesnet sınırlandırması y yönü seçilerek yapılmıştır. Katı elemanın xy planına gelip en

alt kısımdaki koordinatta (-7m) ankastre mesnet olarak sınırlandırma yapılmıştır. Kolonlara yaslanan 1.5m'lik ya da 2.25m'lik zemin kısmında herhangi bir mesnet tanımlaması yapılmamıştır.



Şekil 25. Kolonlara mesnet tanımlama

Şekil 25'te bina temeli için kolonlara ankastre mesnet tanımlanmıştır.

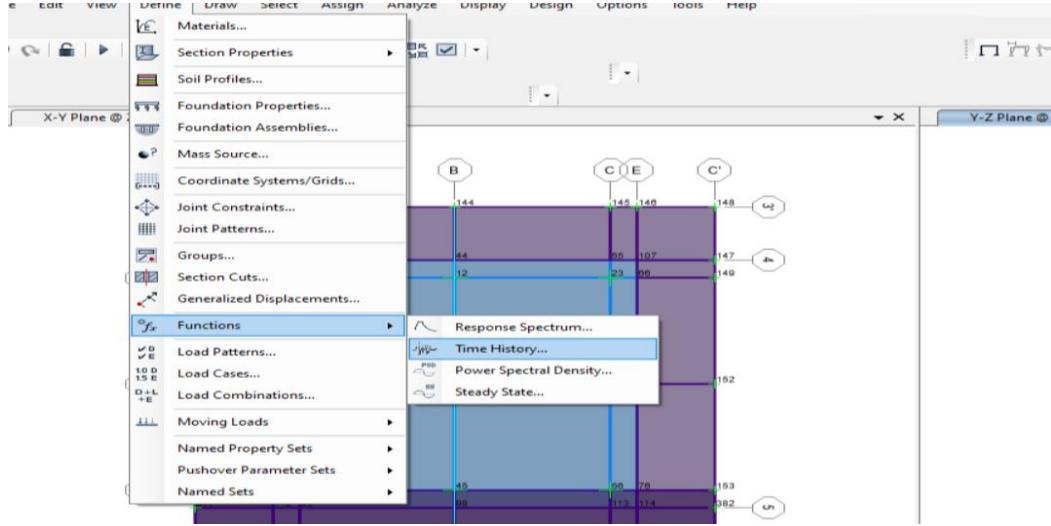


Şekil 26. Betonarme levha ve katı elemanı parçalara bölme

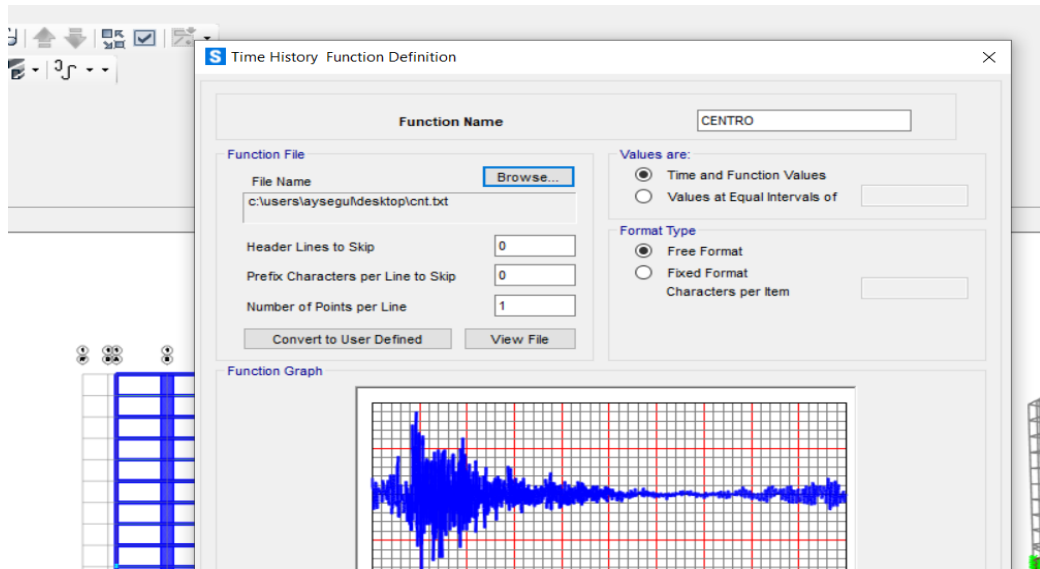
Katı eleman ve betonarme levha otomatik parçalara bölme özelliği Şekil 26'da verildiği gibi 0.5m aralık seçilerek girilmiştir. Bu değer analiz sonuçlarının doğruluğu, analiz süresi ve kapasitesi için uygun seçilmelidir. Bu tez için uygun değer 0.5m olarak seçilmiştir.

3.4. SAP2000'de Zaman Tanım Analizi

Zaman tanım analizi seçmek için Şekil 27'de verildiği gibi Define /Functions / Time History Analysis (zaman tanım alanı fonksiyonlarını tanımlama) kısmından 3 deprem için de veriler girilmiştir. 3 depremde benzeştirilmiş ivme kaydına göre ivme grafikleri oluşmuştur. (Şekil 28)



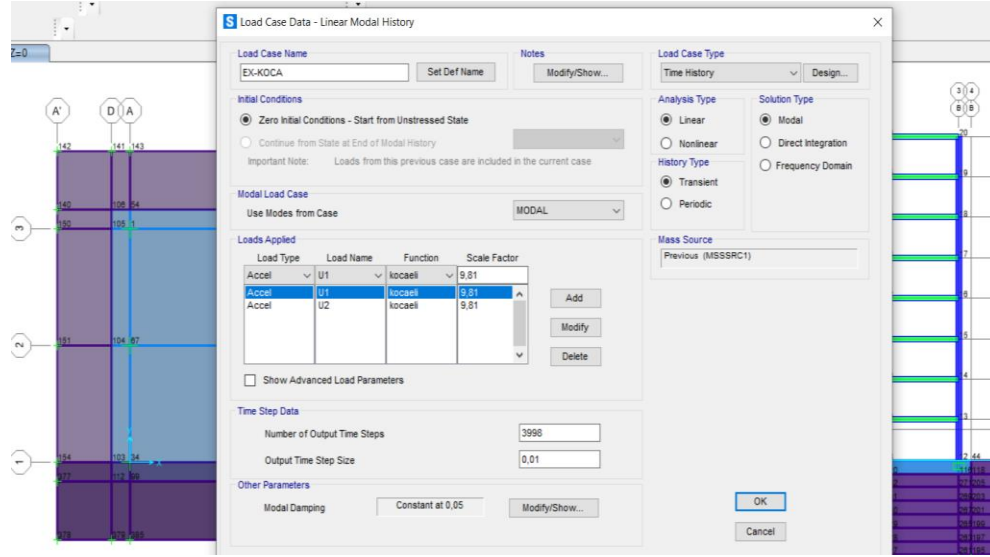
Şekil 27. Zaman tanım alanında analiz



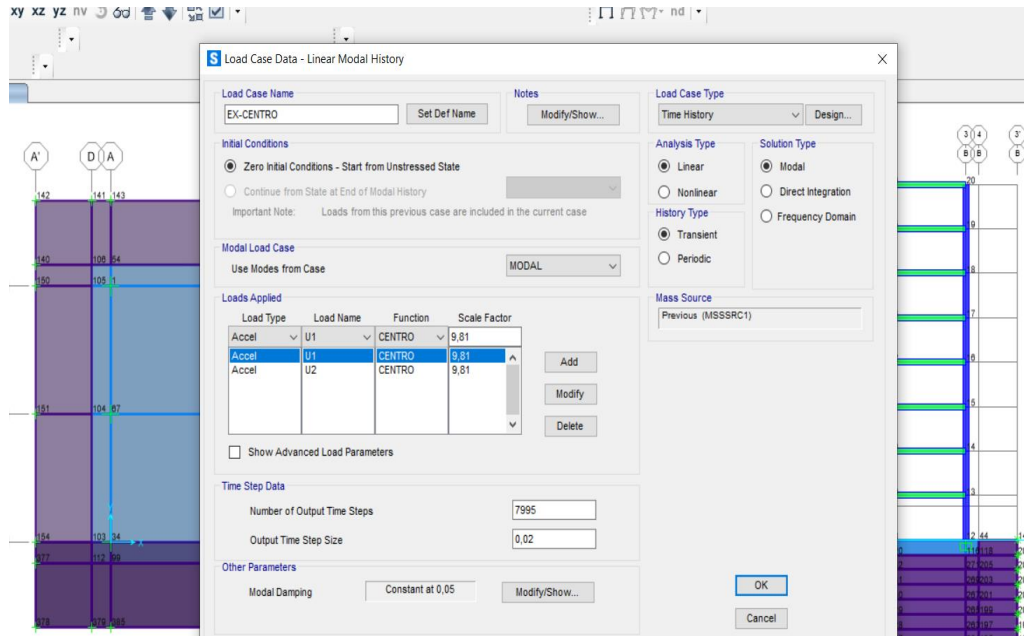
Şekil 28. Benzeştirilmiş ivme kayıtlarının girilmesi

3 deprem içinde zaman tanım analiz iki yönden de (u1, u2) seçilip deprem ivme süreleri girilmiştir. Şekil 29'da girilen değerler görülmektedir. Time Step Data kısmındaki verileri 3 deprem içinde ivme kayıtlarına bakılarak girilmiştir. Analiz tipi olarak lineer (doğrusal) seçilmiş olup zaman tanım alanında doğrusal analiz yöntemi kullanılmıştır.

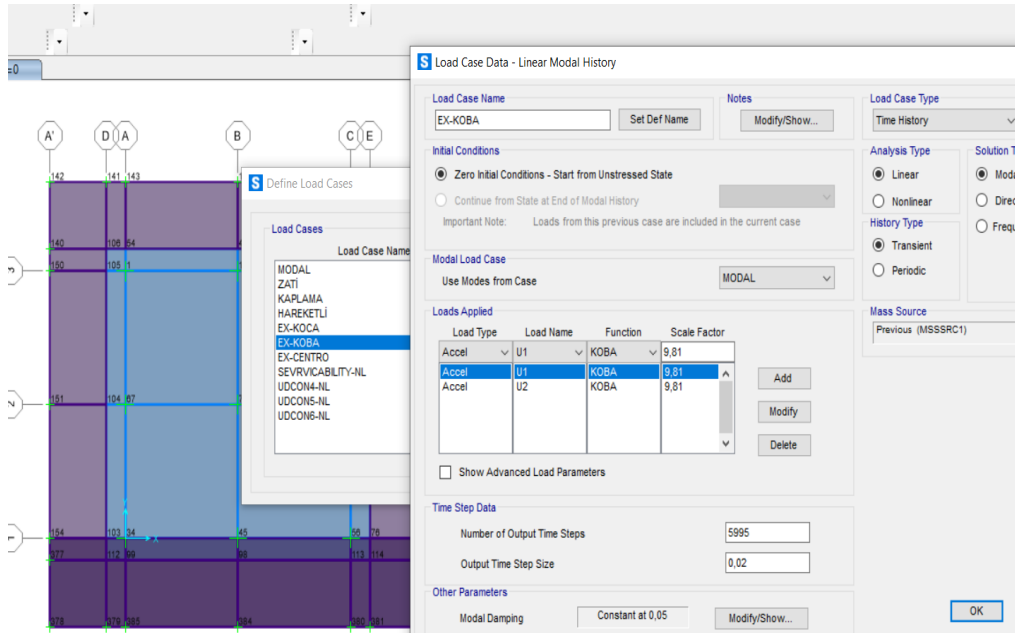
Binaları modellerken zaman tanım analiz için kullanılan deprem yüklerinin program pencereleri; sırasıyla Kocaeli Depremi, El Centro Depremi, Kobe Depremi Şekil 29, Şekil 30 ve Şekil 31’de verilmiştir.



Şekil 29. Kocaeli Depremi veri girişi

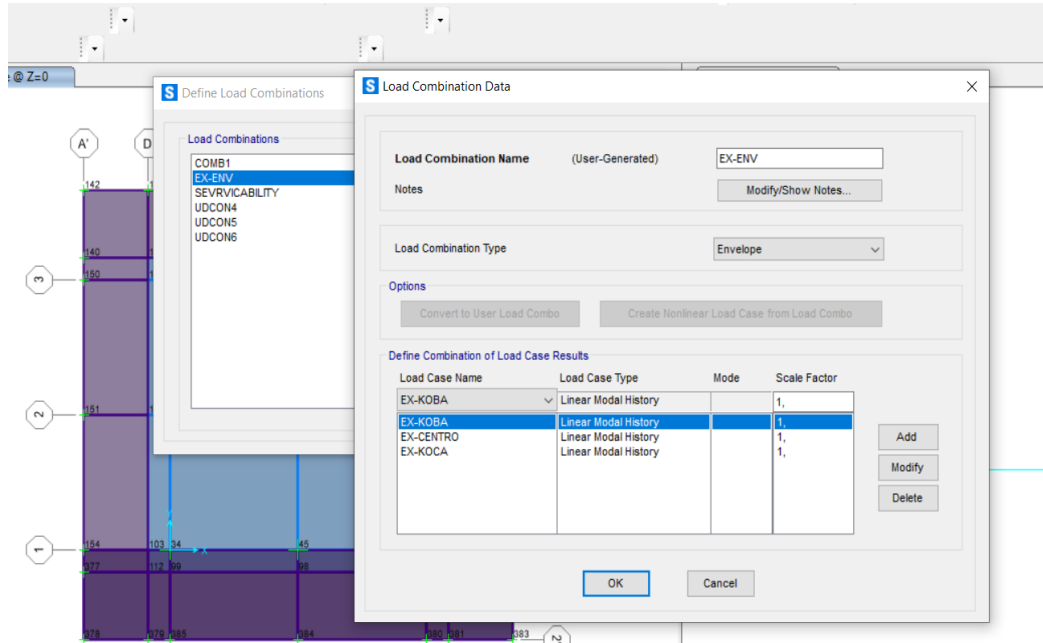


Şekil 30. El Centro Depremi veri girişi



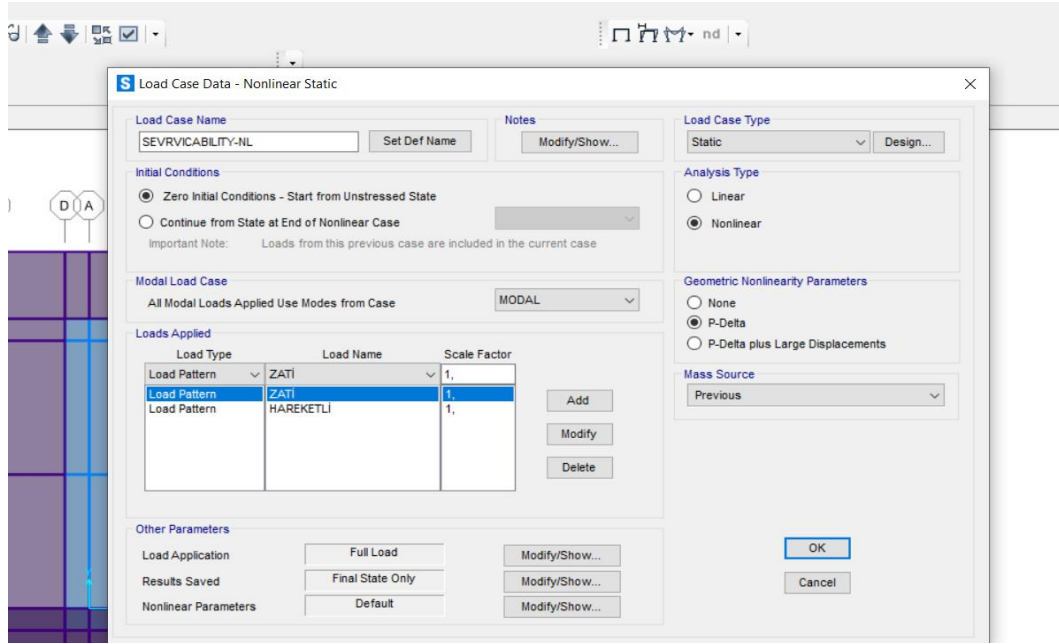
Şekil 31. Kobe Depremi veri girişi

Analiz sonuçlarını karşılaştırmak için yük kombinasyonu olarak EX-ENV adında yük birleşimi tanımlanmıştır. 3 deprem kaydının depremin etkisiyle kolonlarda oluşacak olan moment, kesme kuvveti ve ötelenme değerlerinin en olumsuz sonuçlarına bakabilmek için yük kombinasyonu olarak zarf (envelope) kısmı seçilmiştir. (Şekil 32)



Şekil 32. Deprem yük kombinasyonları

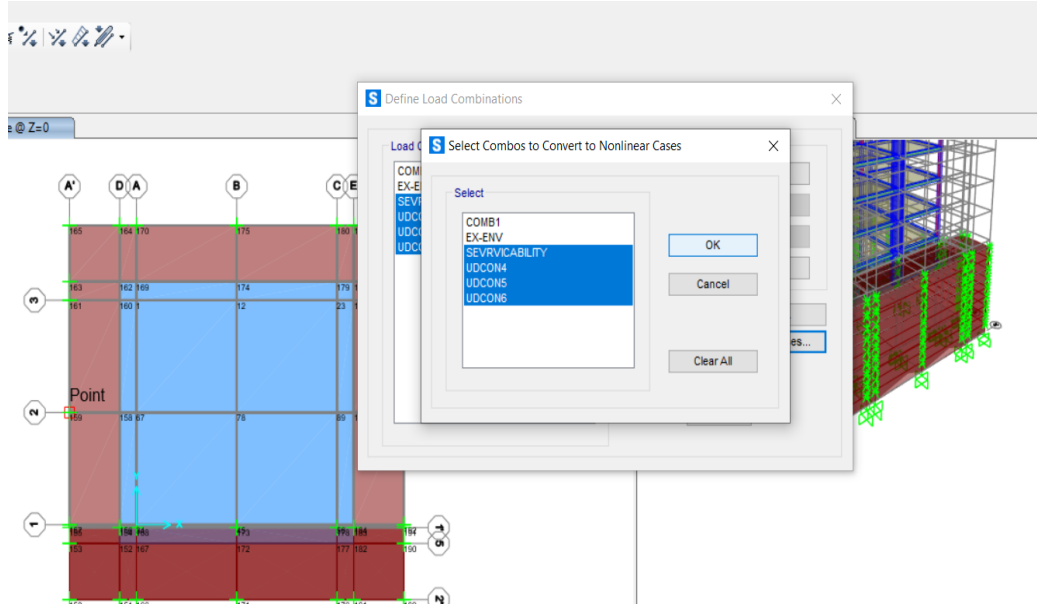
Katı elamandaki gerilmeleri bulmak için serviceability (işletilebilirlik) adında yük tanımlanmıştır. Zemindeki gerilmelere bakabilmek için hareketli ve zati yükler Şekil 33'teki gibi seçilmiştir. İşletilebilirlik için yük tipi statik ve analiz tipi nonlinear olarak seçilmiştir.



Şekil 33.Katı elemana yük tanımlama

(Ekinci ve Orakoğlu, 2013) Zeminlerin karmaşık bir yapıya sahip olmasından dolayı, gerçekçi gerilme-deformasyon analizleri yapılması ve bu sonuçların uygulama sürecine yansıtılması oldukça zordur. Bundan dolayı, günümüzde güvenilirlik açısından bilgisayar programlarıyla bu gerilmelerin belirlenmesi hız ve önem kazanmaya başlamıştır (Avcıoğlu,2015). Bu tezde zemindeki gerilmeleri katı eleman olarak doğrusal olmayan analizle gerçeğe en yakın sonuçları vermek için tanımlanmıştır. 4 yük kombinasyonu Şekil 34'te gösterildiği gibi doğrusal olmayan analiz olarak seçilmiştir. Yapı modeli artık analiz yapmak için uygun hale gelmiştir. Zemini katı eleman olarak modellerken herhangi bir sönüm oranı kullanılmamıştır.

Bu tezde birçok farklı model çalışması yapılmıştır. Örneğin; farklı kolon boyutları için çalışmalar yapılmış, farklı bina modelleri için çalışmalar yapılmış, farklı zemin boyutları için çalışmalar yapılmış, zemin mesnet tanımlaması farklı olan modeller yapılmış, yaklaşık 50 farklı modelin analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Zemindeki kolonlar ankastre olarak modellenmeden diğer birçok tezde olduğu gibi herhangi bir mesnet sınırlandırması yapmadan denenmiştir ancak analiz sonuçları incelendiğinde ötelenme oranlarının olması gerekenden çok yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Bu yüzden bu tezde kolonlar zemine ankastre olarak modellenme yoluna seçilmiştir.



Şekil 34. Zemin yük kombinasyonu seçimi

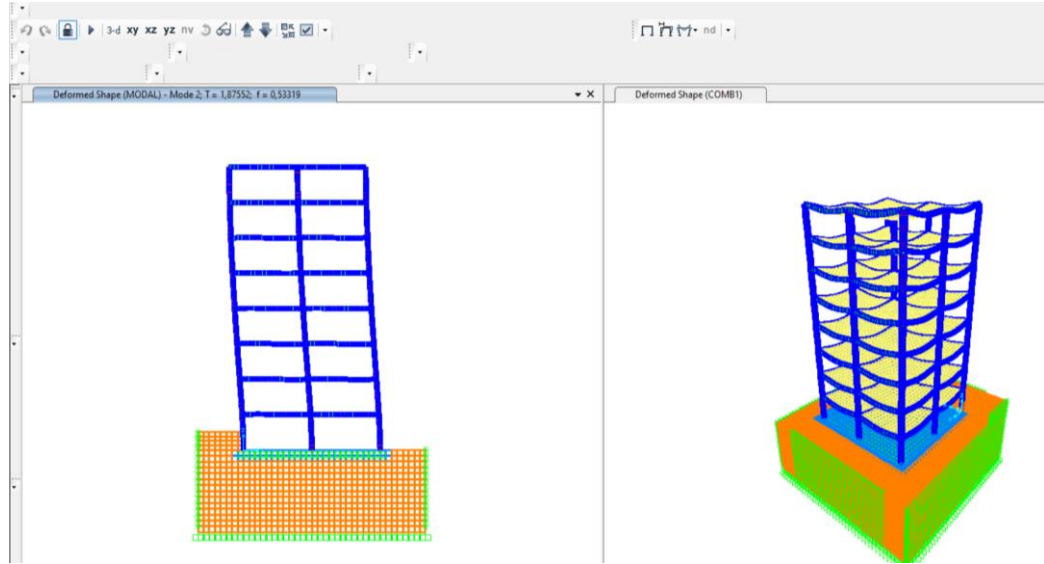
4. ANALİZ SONUÇLARI

4.1 1.5m'lik Modellerin Sonuçları

Zeminin bir tarafı temelden 1.5m yüksekliğinde modellenip 3 farklı zemin türü için modeller oluşturulmuştur.

4.1.1 Model 1a

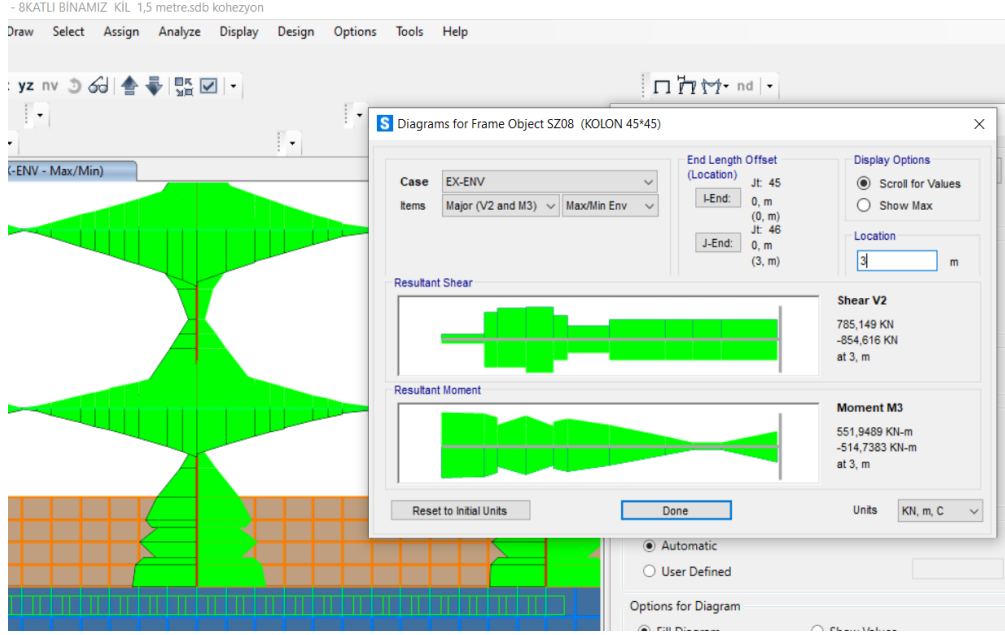
Zeminin bir tarafının temelden 1.5m'lik yükseklikte kil zemin olarak tanımlanan modelin modal analiz ve şekil değiştirme (deformed shape) altındaki görünümü Şekil 35'te verilmiştir. Model 1a'nın 4 mod için oluşan periyot değerleri Tablo 2'de verilmiştir.



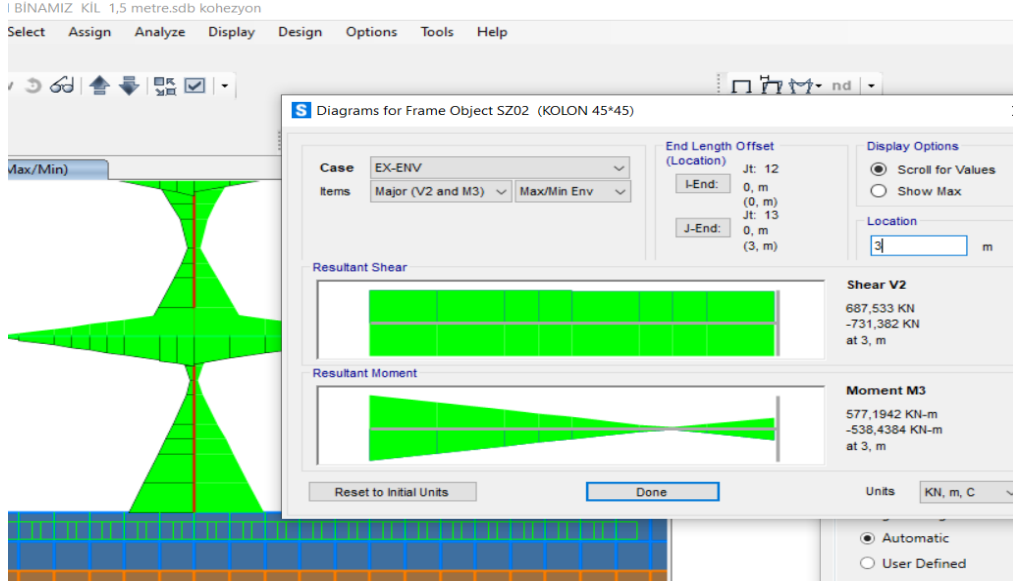
Şekil 35. Modal 1a analiz sonucu görünümü

Tablo 2. Model 1a mod değerleri	
Modal Analiz	T (Periyot)
Mod 1	1.87
Mod 2	1.87
Mod 3	1.51
Mod 4	0.59

Model 1a için zemine yaslanan SZ08 kolonun ve zemine yaslanmayan SZ02 kolonun M ve V değerleri sırasıyla Şekil 36 ve Şekil 37’de verilmiştir.

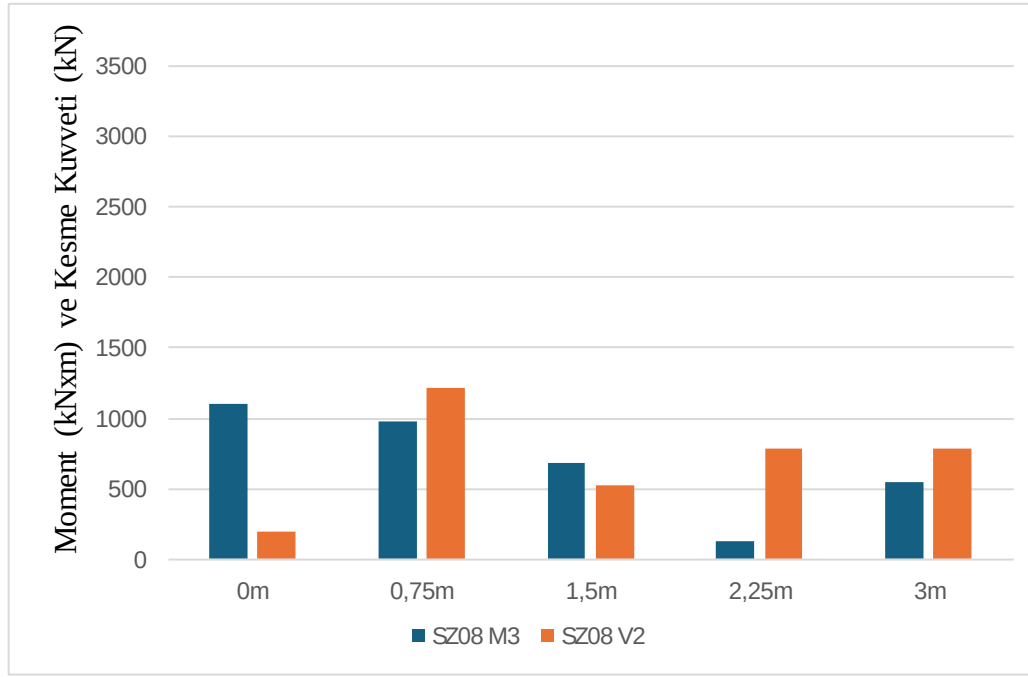


Şekil 36. Model 1a SZ08 kolonu diyagramları

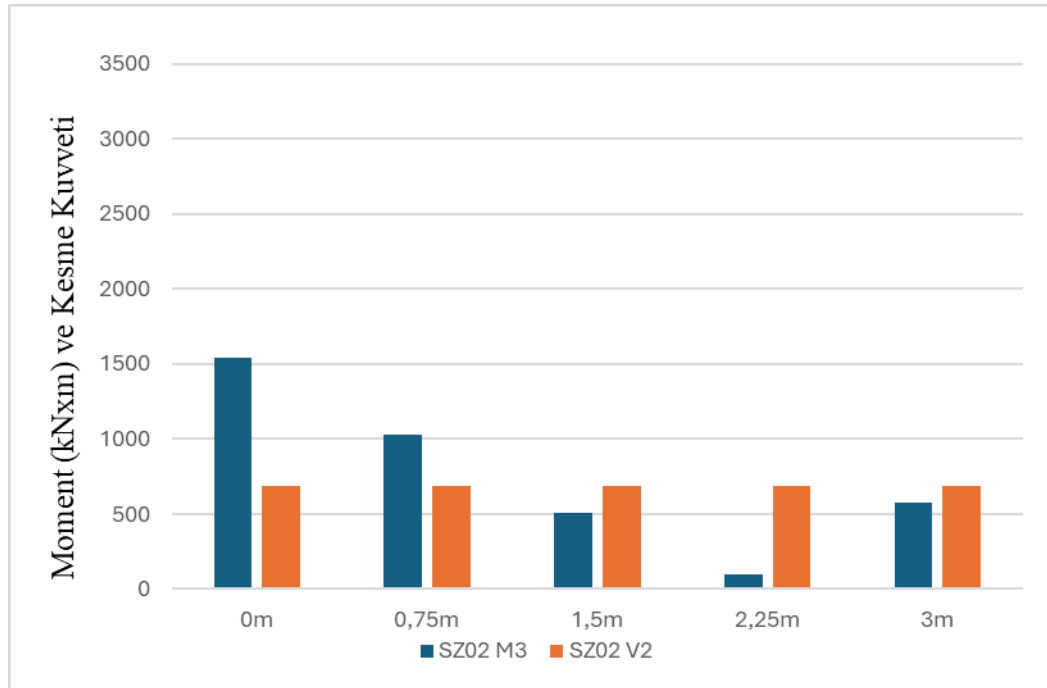


Şekil 37. Model 1a SZ02 kolonu diyagramları

SZ08 ve SZ02 kolonlarının her 75cm de bir M ve V kuvvetleri sırasıyla Şekil 38 ve Şekil 39’da sütun grafiği olarak verilmiştir.



Şekil 38. Model 1a SZ08 kolonun farklı derinliklerinde oluşan M ve V değerleri grafiği



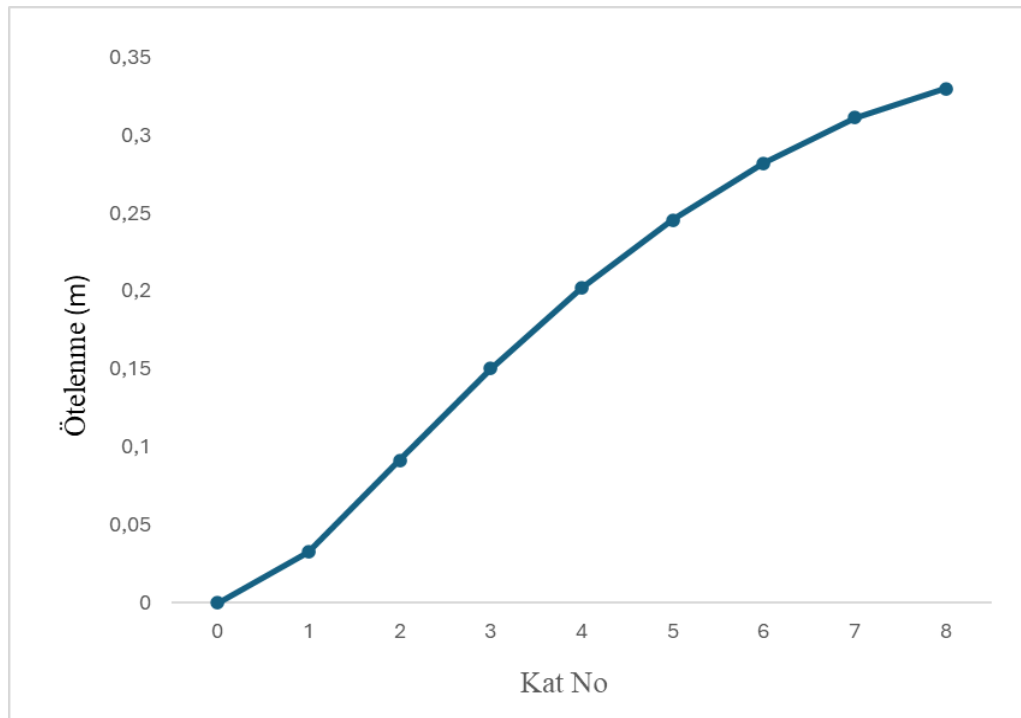
Şekil 39. Model 1a SZ02 kolonun farklı derinliklerinde oluşan M ve V değerleri grafiği

Tablo 3'teki analiz sonuçlarına göre M ve V arasında büyük oranda fark olduğu görülmüştür. En önemli farklılık ise SZ08 kolonun 0. metredeki M değeri ile SZ02 kolonun 0. metredeki M değerinden 435.1 kNxm daha fazladır. SZ08 kolondaki kesme kuvveti 0. metrede 199.78 kN'dan %511 artışla 0.75metrede 1221.31 kN'a ulaşmıştır. 1.5m de ise bu değer %57 azalarak 523.1 kN'a inmiştir. 1.5m'den sonra kesme kuvveti

%50 artarak 2.25 metrede 785.94 kN'a ulaşmıştır. Killi zeminde bile zemin için girilen değerlerden dolayı özellikle elastisite modülü ve kohezyon etkisi ile kolondaki kesme kuvveti değişimi fazla olmuştur.

Tablo 3. SZ08 ve SZ02 kolonlarının M ve V sonuçları

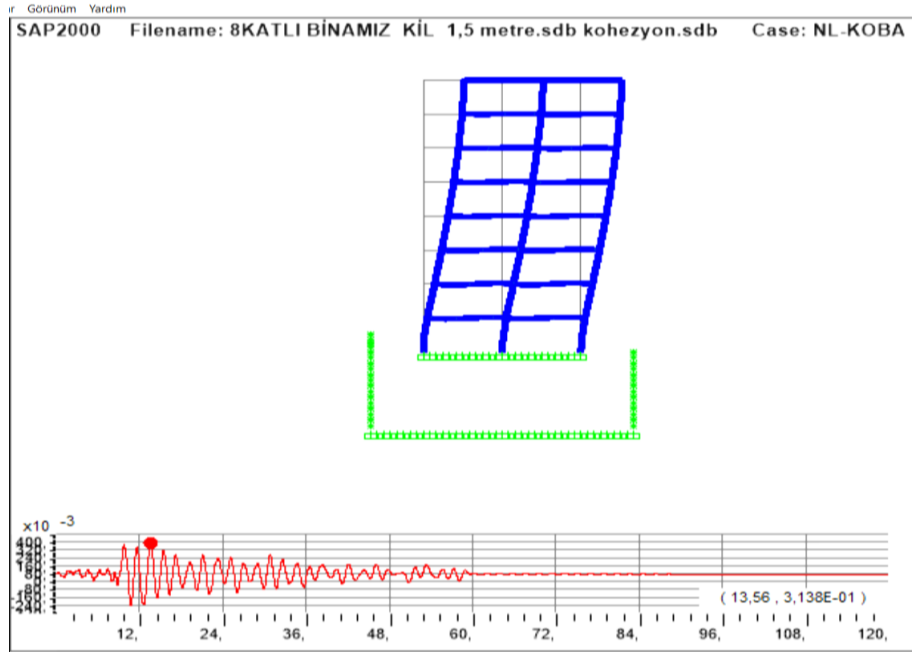
Kolon altından yükseklik	SZ08 kolonu		SZ02 kolonu	
	M3	V2	M3	V2
0m	1108.07	199.78	1543.17	689.76
0.75m	974.52	1221.31	1026.03	689.55
1.5m	677.76	523.10	509.99	689.15
2.25m	124.60	785.94	95.26	688.40
3m	551.95	785.15	577.19	687.53
Ortalama				688.88



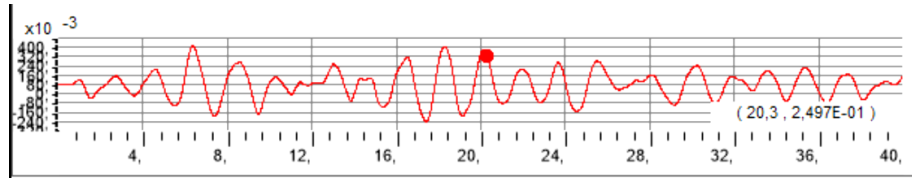
Şekil 40. Model 1a kat ötelenmeleri

Bu modelin 1B aksındaki kolonların 8 katlı bina için temelinden 8. kata kadar olan uy yönündeki ötelenmelerin çizgi grafik ile gösterimi Şekil 40'ta verilmiştir. 46. noktadaki ötelenme 0.0326m'dir. Bu değer kum zemindeki değerden daha düşüktür. Analiz sonuçlarına göre kil zemin kum zemine göre daha sert davranmıştır. Bu durum M ve V kuvvetlerinden de anlaşılmaktadır. 53. noktadaki ötelenme ise 0.033m'dir.

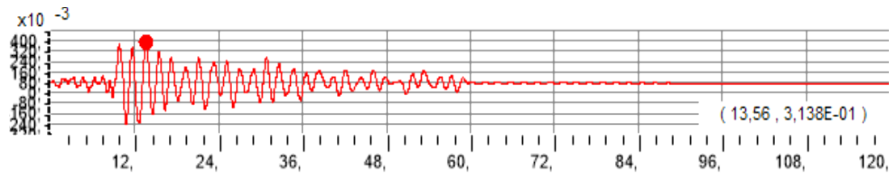
Kobe Depremi sırasında 53. noktanın katlara göre uy yönündeki ötelenmeleri, Şekil 41’de gösterilmiştir. Zamana bağlı 53. noktanın Kocaeli Depremi, Kobe Depremi ve El Centro Depremi için sırayla uy yönündeki ötelenmeleri Şekil 42, Şekil 43 ve Şekil 44’te verilmiştir.



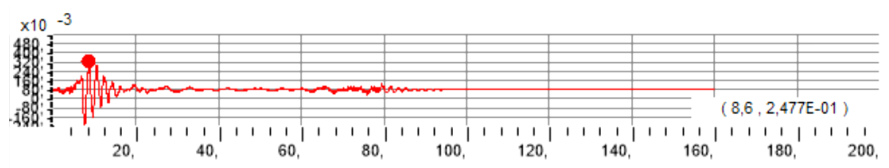
Şekil 41. Kobe Depremi etkisinde kat ötelenmeleri



Şekil 42. Model 1a Kocaeli Depremi kat ötelenmesi

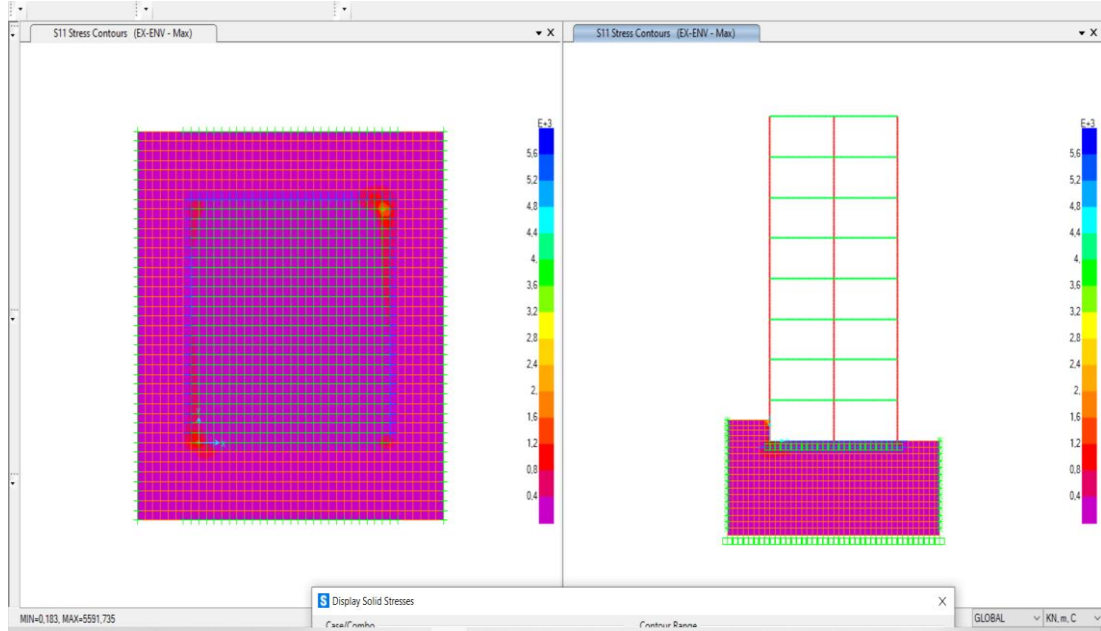


Şekil 43. Model 1a Kobe Depremi kat ötelenmesi

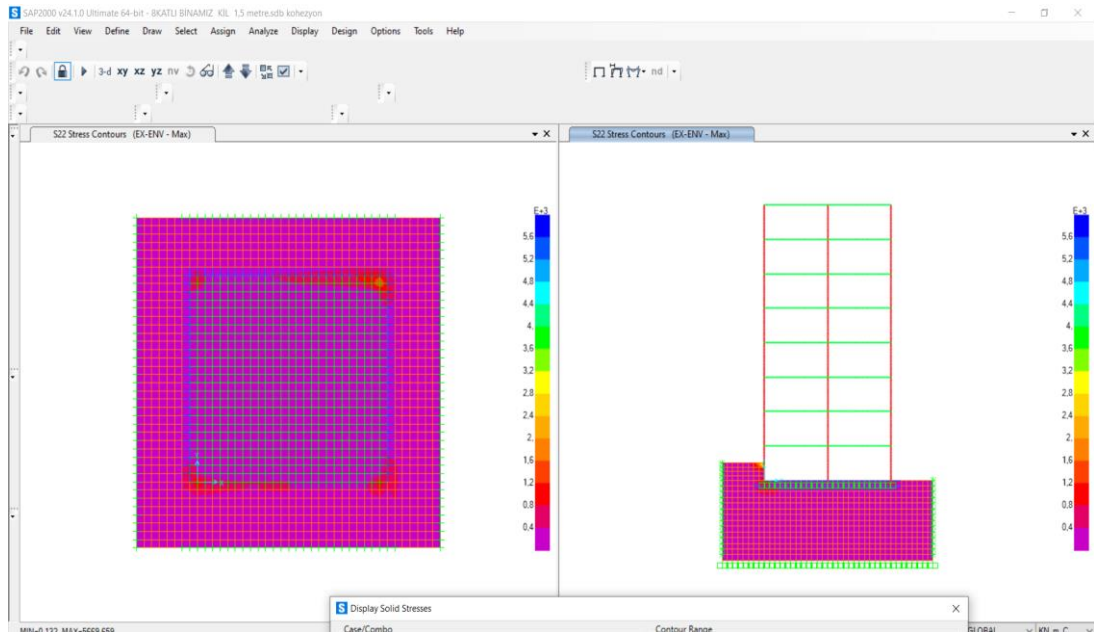


Şekil 44. Model 1a El Centro Depremi kat ötelenmesi

Zeminde oluşan serviceability yükü altındaki zemin gerilmelerine bakıldığında S11 yönündeki gerilmeler için Şekil 45, S22 yönündeki gerilmeler için Şekil 46’da renklere göre zemindeki gerilme değerleri görülmektedir.

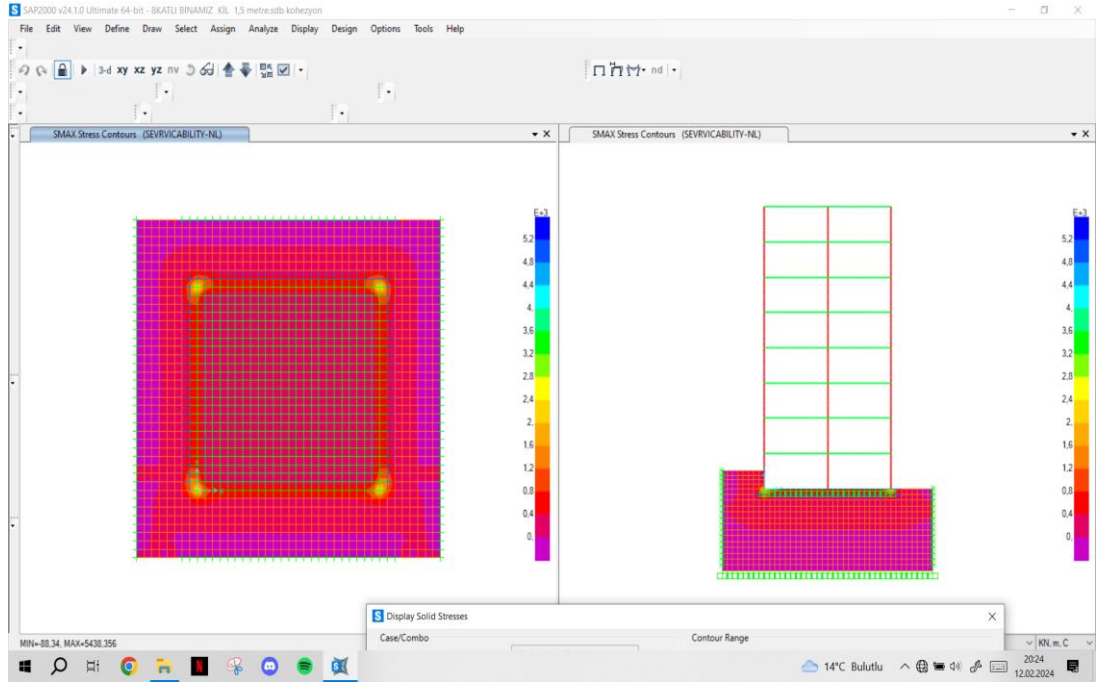


Şekil 45. Model 1a S11 zemin gerilmesi diyagramı



Şekil 46. Model 1a S22 zemin gerilmesi diyagramı

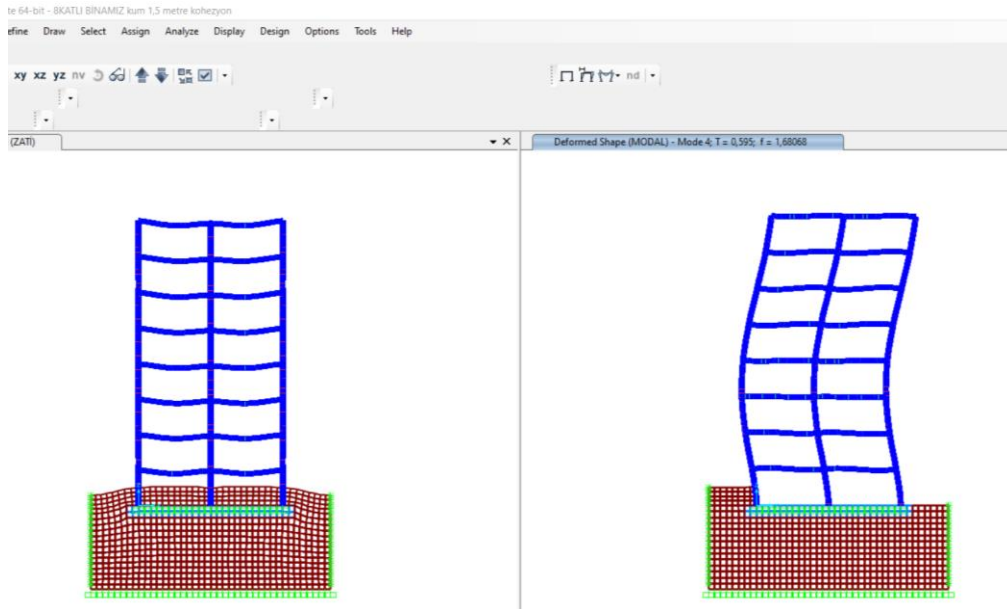
Şekil 47’de kil zemin için max gerilme: 5438.35 kN/m² olarak ekran görüntüsün sol alt kısmında görülmektedir. Max gerilme değerleri özellikle kolon altlarında artış göstermektedir. Bu durum sarı renkle görülmektedir.



Şekil 47. Model 1a Smax zemin gerilmesi diyagramı

4.1.2 Model 1b

Zeminin bir tarafının temelden 1.5m'lik yüksekliğinde kum zemin olarak tanımlanan modelin, modal analiz ve zati yük altında görünümü Şekil 92'de verilmiştir. Bu modelin 4 mod değeri Tablo 4'te verilmiştir.

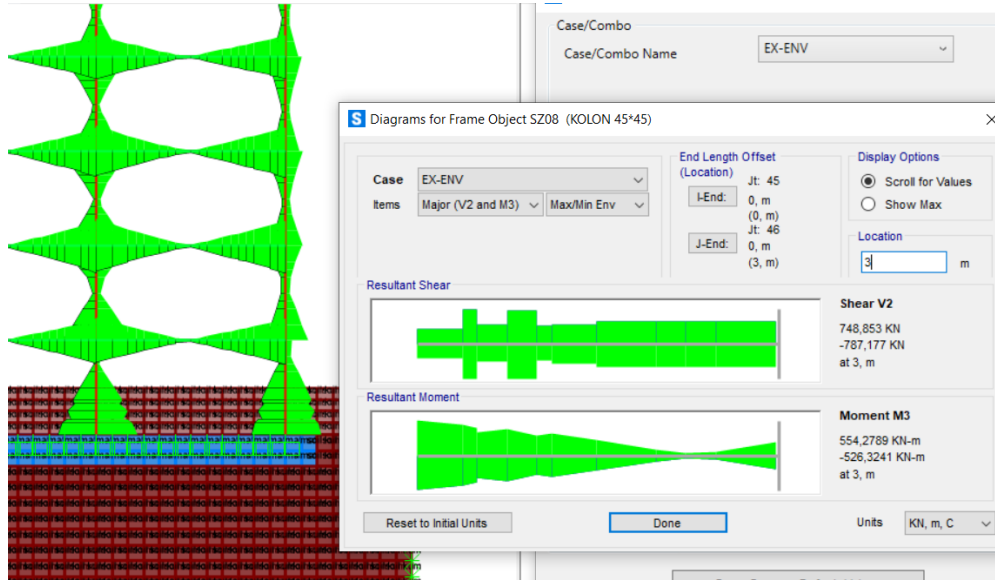


Şekil 48. Model 1b analiz sonucu görünümü

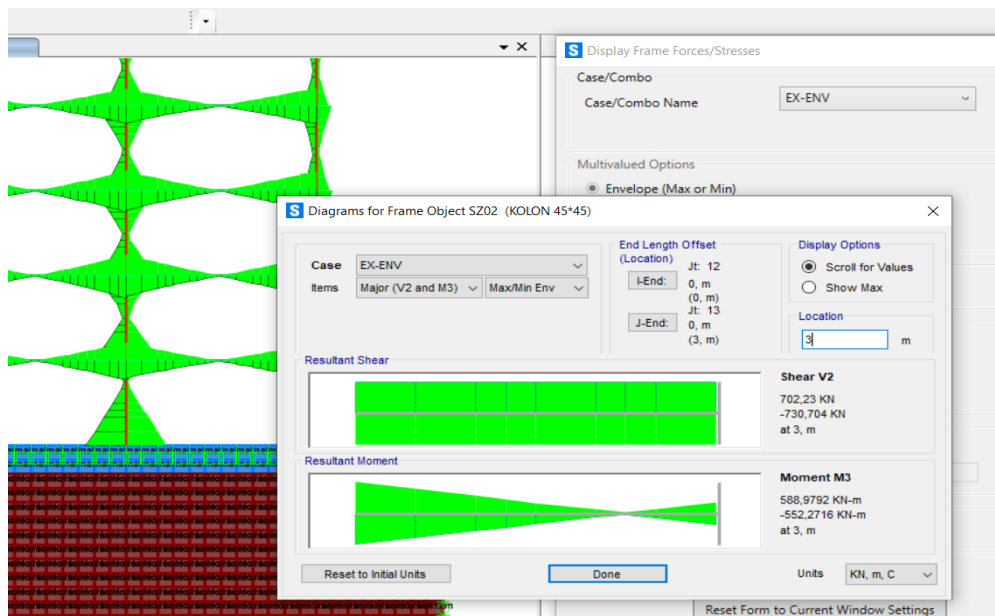
Tablo 4. Model 1b mod değerleri

Modal Analiz	T (Periyot)
Mod 1	1.88
Mod 2	1.88
Mod 3	1.51
Mod 4	0.59

Model 1b için zemine yaslanan SZ08 kolonu ve zemine yaslanmayan SZ02 kolonunun M ve V değerleri sırasıyla Şekil 49 ve Şekil 50’de verilmiştir.

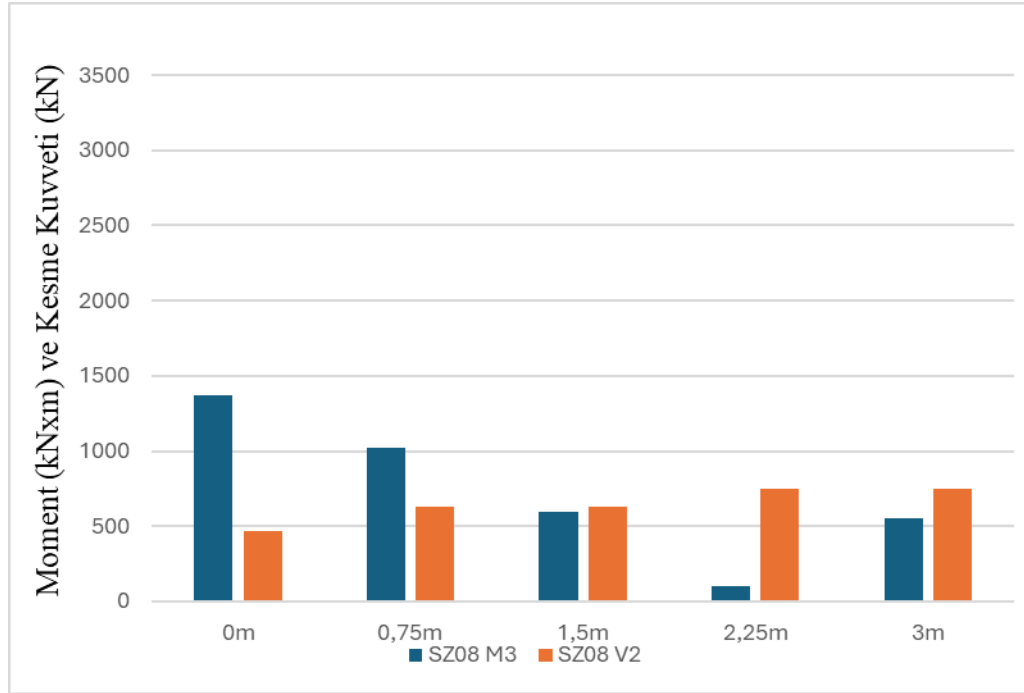


Şekil 49. Model 1b SZ08 kolonu diyagramları

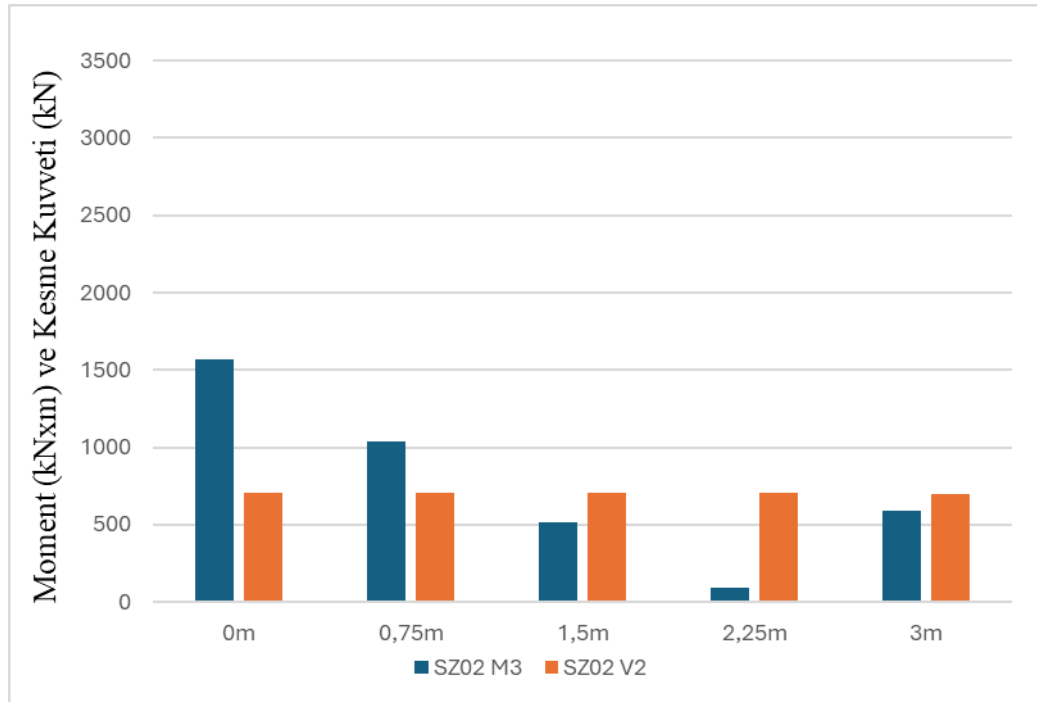


Şekil 50. Model 1b SZ02 kolonu diyagramları

SZ08 ve SZ02 kolonlarının her 75cm de bir M ve V kuvvetleri sırasıyla Şekil 51 ve Şekil 52’de sütun grafiği olarak verilmiştir.



Şekil 51. Model 1b SZ08 kolonun farklı derinliklerde M ve V değerleri grafiği



Şekil 52. Model 1b SZ02 kolonun farklı derinliklerde M ve V değerleri grafiği

SZ08 ve SZ02 kolonlarının M ve V değerleri, Tablo 5’te yaklaşık değerlerde çıktığı görülmüştür. SZ08 kolonun 0. metredeki M değeri ile SZ02 kolonun M değeri arasında görülen fark 197.59 kNxm’dir. Bu en çok farklılığın olduğu kısımdır. SZ08

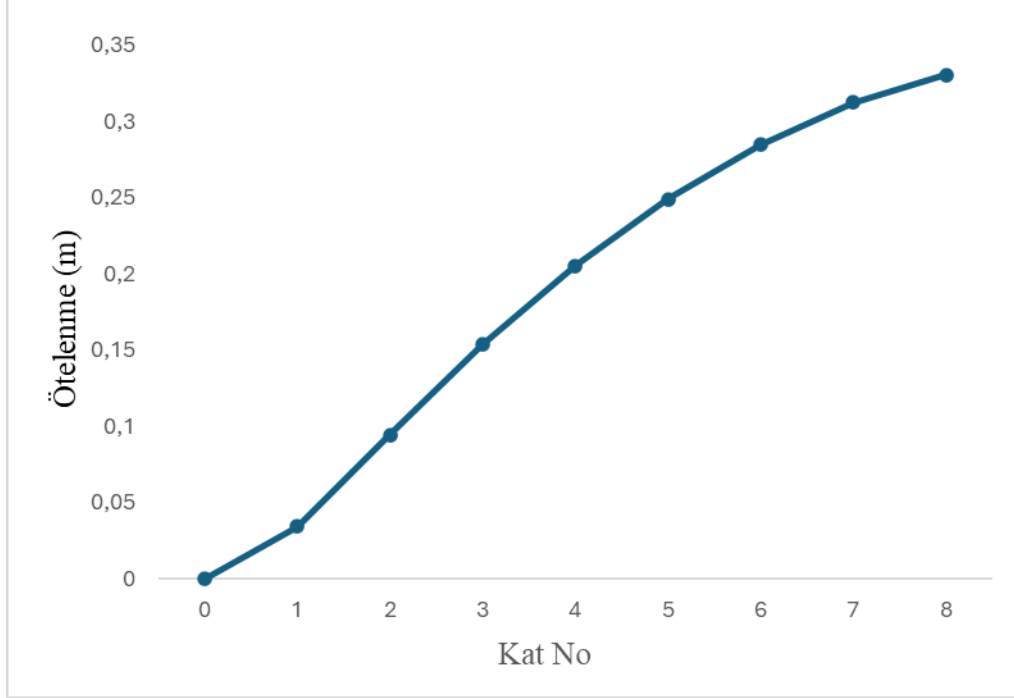
kolonun kesme kuvvetine bakılırsa 0. metrede 470.41 kN'dan %34 artarak 0.75 metrede 630.98 kN'a ulaşmıştır. (Bolhassani vd., 2016) Yaptığı araştırmada, donatının yerleştirildiği çerçevenin bulunduğu kısımda kısmi kolon gibi davrandığını göstermiş ve bu sayede gelen kesme kuvvetinin daha küçük parçalara dağıldığı yani gerilmenin düzgün bir şekilde dağıldığı ortaya çıkmıştır. Böylece kolon-kiriş birleşim noktalarında dolgu duvarda oluşan ezilmeler büyük ölçüde azalmıştır. Bu modelde de zeminin yumuşak davranması sonucunda kolonlar arası diyagramda çok farklılık görülmemiştir. Kolonun zemine yaslanan tarafında 1.5m den sonra zemin olmadığından, 2.25 metrede kesme kuvveti de artmıştır.

Tablo 5. SZ08 ve SZ02 kolonlarının M ve V sonuçları

Kolon altından yükseklik	SZ08 kolonu		SZ02 kolonu	
	M3	V2	M3	V2
0m	1371.77	470.41	1569.36	704.25
0.75m	1025.63	630.98	1041.95	704.15
1.5m	599.7	629.51	514.7	703.83
2.25m	99.61	749.67	90.49	703.12
3m	554.28	748.85	588.98	702.23
			Ortalama	703.516

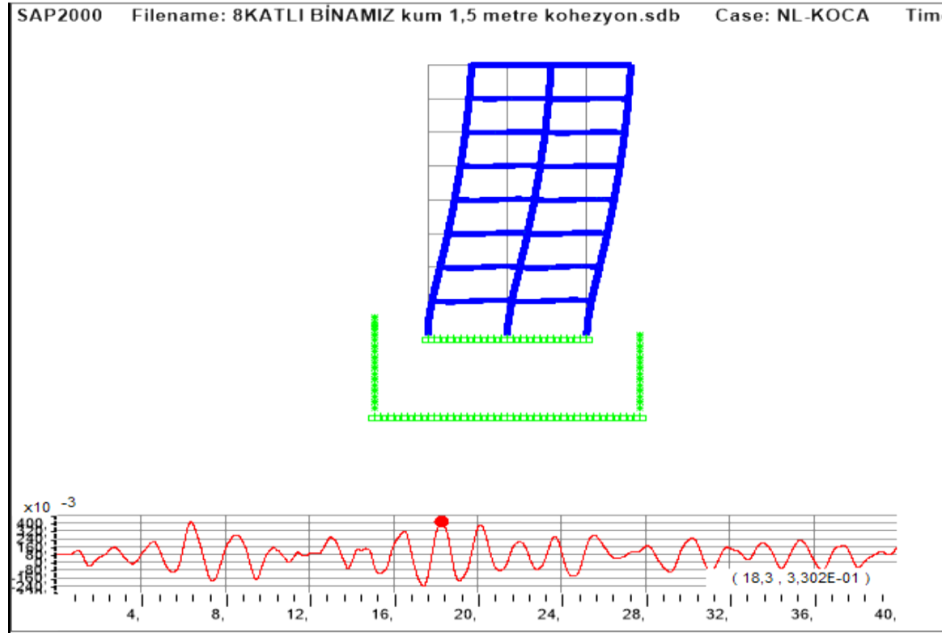
Karabörk (2009) yaptığı araştırmada, yumuşak zeminlerin taşıma kapasitesi düşük olduğundan, deprem sırasında doğal bir sönümleyici gibi davranarak daha fazla enerji emebildiğini söylemektedir. Bu durumda, üst yapıya iletilen deprem ivmeleri daha düşüktür ve bu nedenle bu tür zeminlerdeki binalarda daha az yapısal hasar meydana gelir. Ancak yumuşak zemin üzerine inşa edilen binalarda yüksek yer değiştirmelere bağlı olarak batma veya yan yatma gibi davranışlar görülebilir ve bu nedenle bu tür yapılar deprem sonrasında tamamen tehlikeli hale gelebilir. Bu tezde kısa kolon oluşumu incelendiği için kolonun yanındaki zemin, yumuşak zemin olduğunda deprem esnasında kat ötelenmelerine izin verdiği için kolon çok zorlanmayacak ve kısa kolon ihtimali azalacaktır. Yerinde yapılan bina inşaatlarında kolonların yanında derz boşluğunu bırakılmadan, kolonla zemin bir bütün halinde devam etmemelidir. Uygulamalar incelendiğinde ise dolgu malzemeleri ile bu kısımlar doldurulmaktadır. Kolonun hareketini engellemeyen esnek bir malzeme ile doldurulursa kolonun kısa kolon oluşturma ihtimali azalır. Ancak yerinde yapılan uygulamalar çok farklıdır zemin

yumuşak davranırsa bile yatay yönden gelen kısıtlamalar ve baskılar olduğunda yine kolonlarda kısa kolon oluşumu görülebilir. Örneğin bina yanında anayol olması durumunda ya da yer altı suyu ile doymun hale gelen killi zemin uygulamalarında da durumun nasıl olacağı zemin şartlarına göre değerlendirilmelidir.



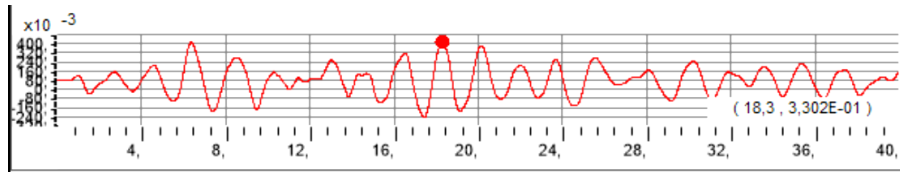
Şekil 53. Model 1b kat ötelenmeleri

Bu modelin 1B aksındaki kolonların 8 katlı bina için temelinden 8. kata kadar olan uy yönündeki ötelenmelerin çizgi grafik ile gösterimi Şekil 53'te verilmiştir. 46. noktadaki uy yönündeki ötelenme 0.034m iken, 53. noktadaki ötelenme 0.33m'dir. 46. noktadaki ötelenme model 1c'deki ötelenmenin 1.8 katıdır. Bu da kum zeminin kaya zeminden daha yumuşak davrandığını göstermektedir.

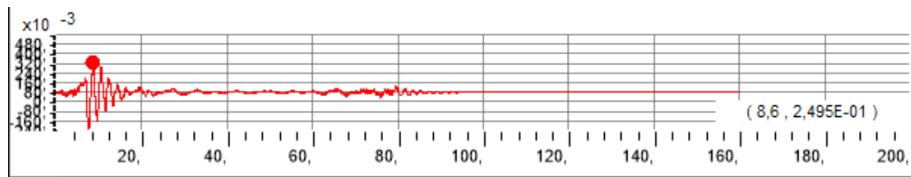


Şekil 54. Kocaeli Depremi etkisinde kat ötelenmeleri

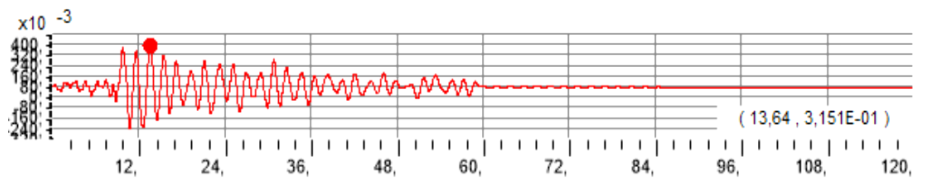
Kocaeli Depreminin etkisinde oluşan kat ötelenmeleri Şekil 54'te verilmiştir. Zamana bağlı 53. noktanın Kocaeli Depremi, El Centro Depremi ve Kobe Depremi için sırayla uy yönündeki ötelenmeleri Şekil 55, Şekil 56ve Şekil 57'de verilmiştir.



Şekil 55. Model 1b Kocaeli Depremi kat ötelenmesi

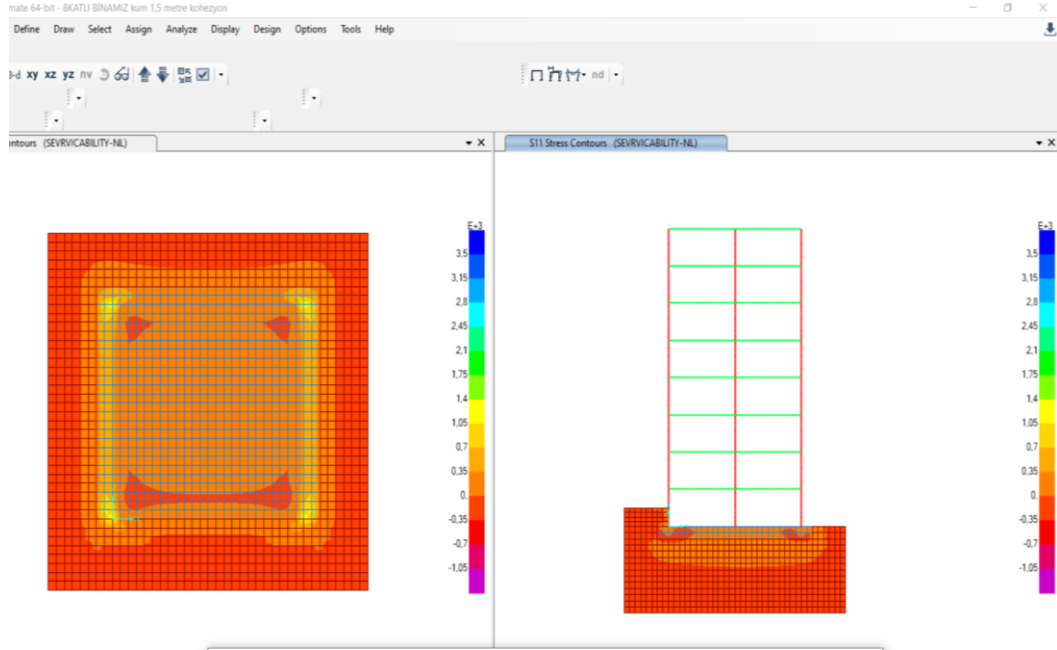


Şekil 56. Model 1b El Centro Depremi kat ötelenmesi

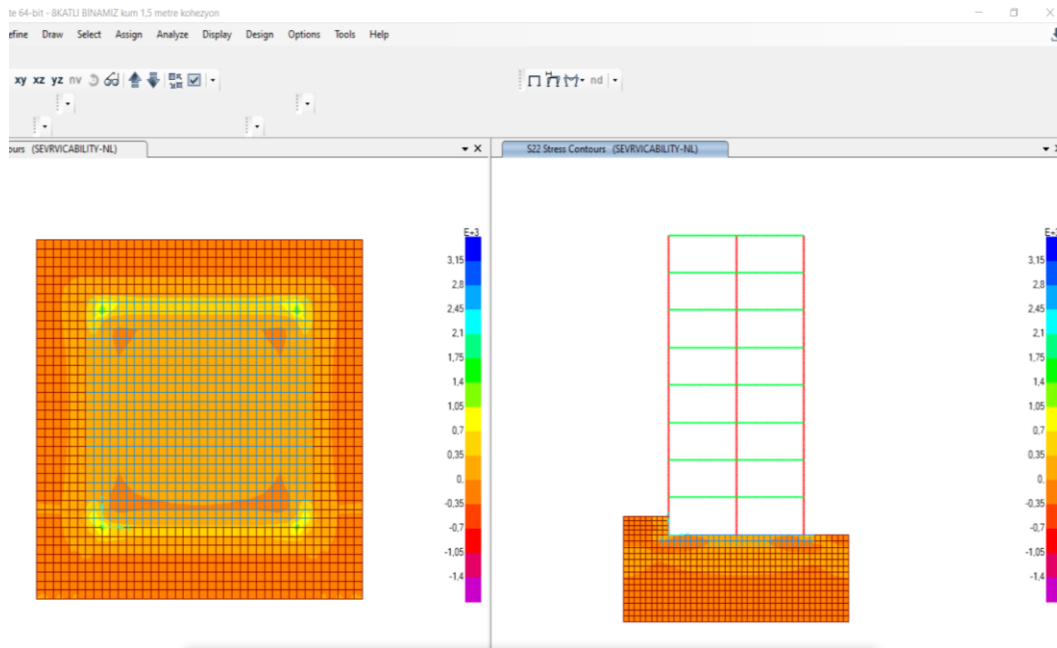


Şekil 57. Model 1b Kobe Depremi kat ötelenmesi

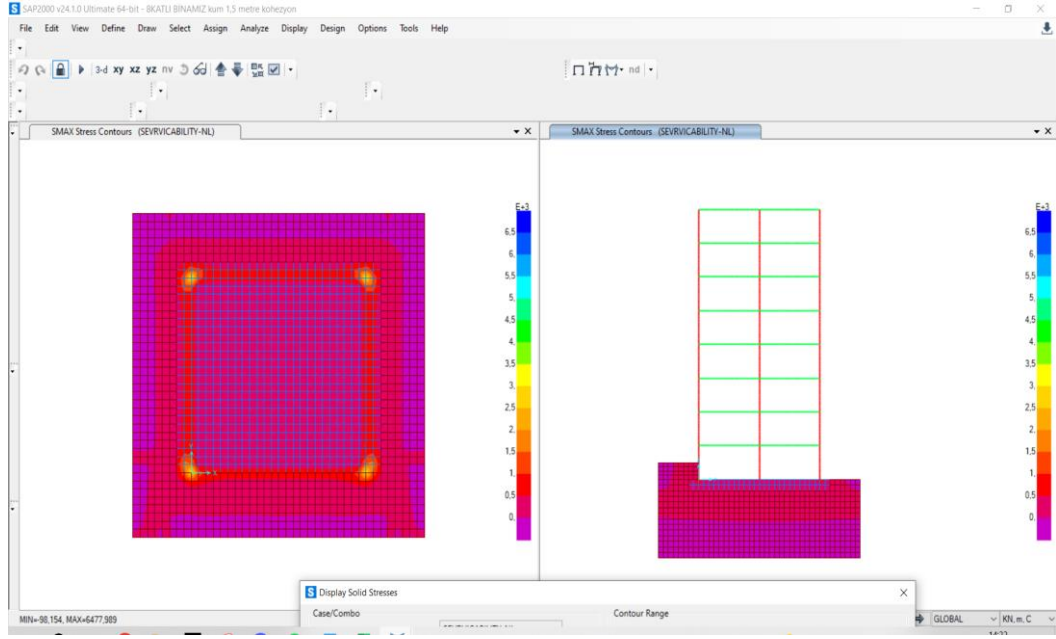
Zeminde oluşan serviceability yükü altındaki zemin gerilmelerine bakıldığında S11 yönündeki gerilmeler için şekil 58, S22 yönündeki gerilmeler için şekil 59’da renklere göre zemindeki gerilme değerleri görülmektedir.



şekil 58. Model 1b S11 zemin gerilmesi diyagramı



şekil 59. Model 1b S22 zemin gerilmesi diyagramı

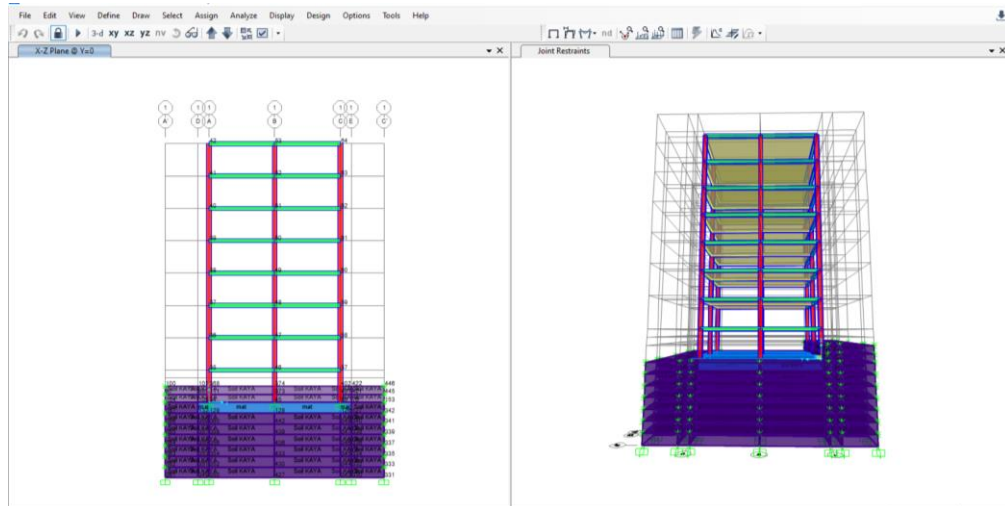


Şekil 60. Model 1b Smax zemin gerilmesi diyagramı

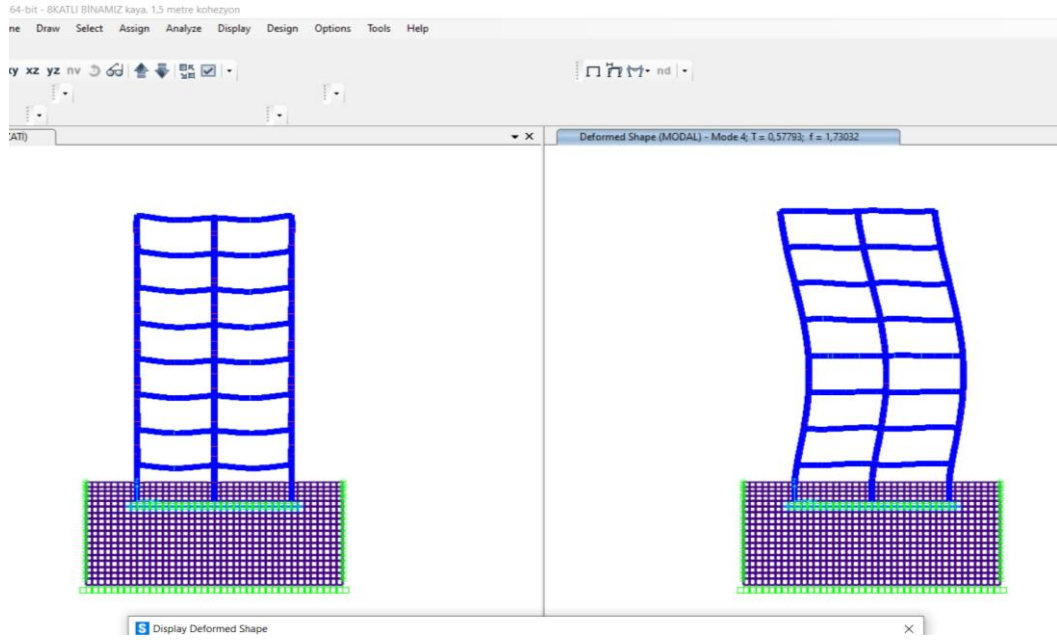
Şekil 60'ta kum zeminde oluşan max gerilme değeri ekran görüntüsünün sol alt köşesinde 6477.98 kN/m^2 olarak görülmektedir.

4.1.3 Model 1c

Binanın bir tarafının 1.5 metre yüksekliğindeki kaya zemin olarak tasarlanan modelin 2d ve 3d görünüşleri Şekil 61'de verilmiştir. Bina modal analiz altında şekil değiştirmesi Şekil 62'de verilmiştir. Kaya zeminin modal analizle 4 mod için periyot değerleri Tablo 6'da verilmiştir.



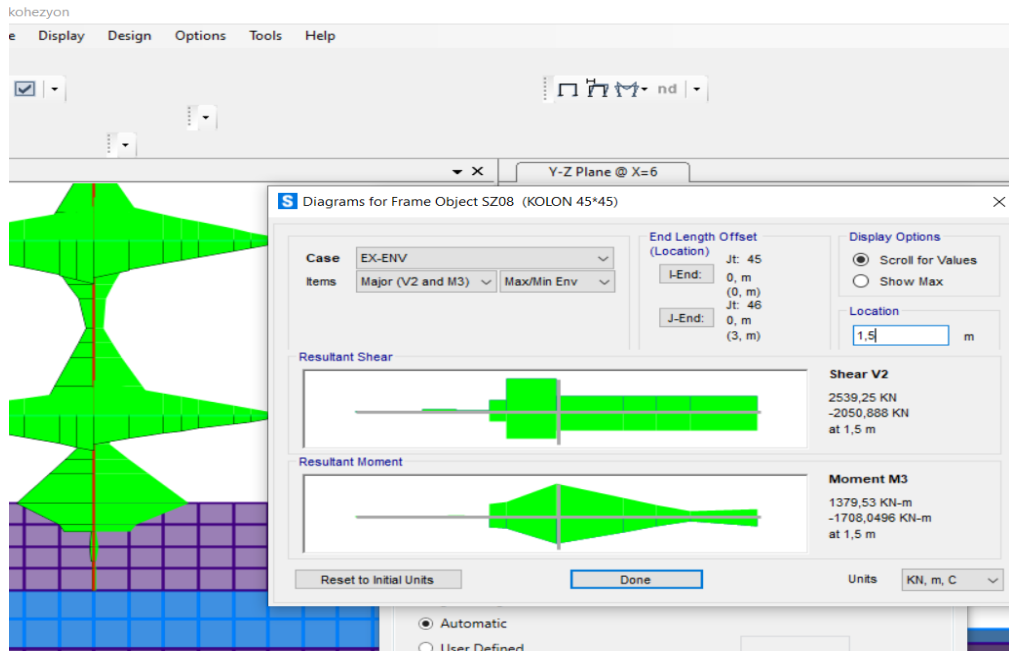
Şekil 61. Model 1c görünüşü



Şekil 62. Model 1c modal analiz görünüşü

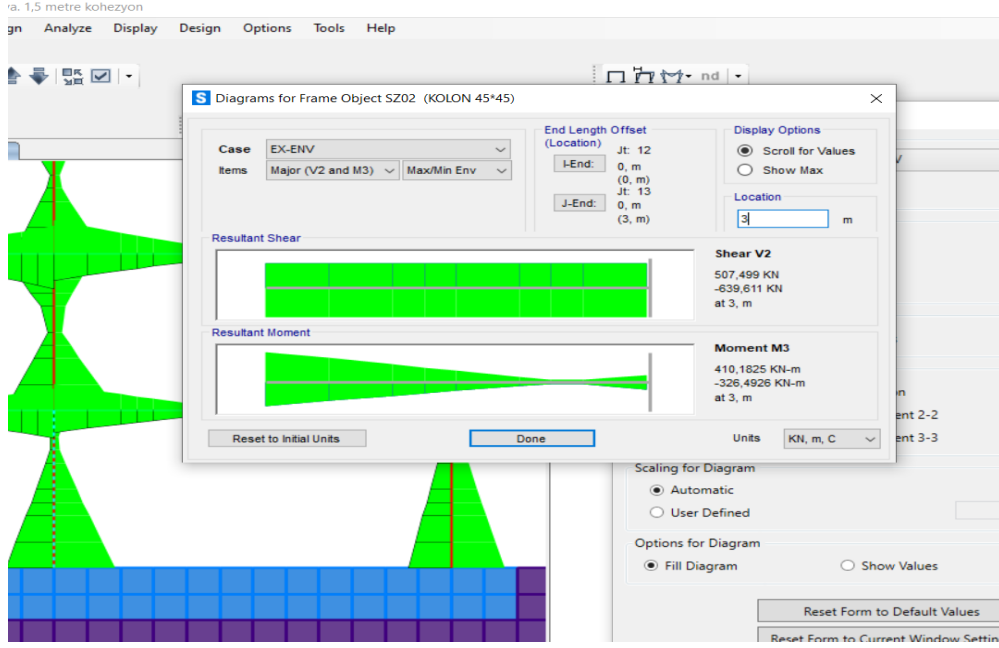
Tablo 6. Model 1c mod değerleri

Modal Analiz	T (Periyot)
Mod 1	1.83
Mod 2	1.81
Mod 3	1.46
Mod 4	0.57

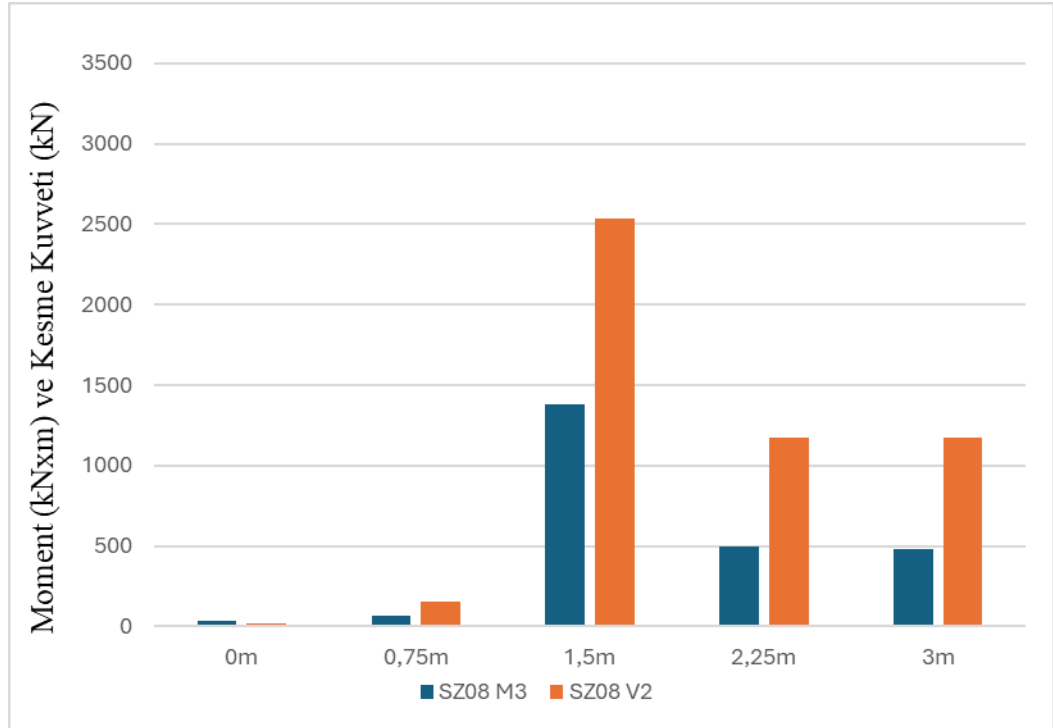


Şekil 63. Model 1c SZ08 kolonu diyagramları

Model 1c için zemine yaslanan SZ08 kolonun ve zemine yaslanmayan SZ02 kolonun M ve V değerleri sırasıyla Şekil 64 ve Şekil 65'te verilmiştir.

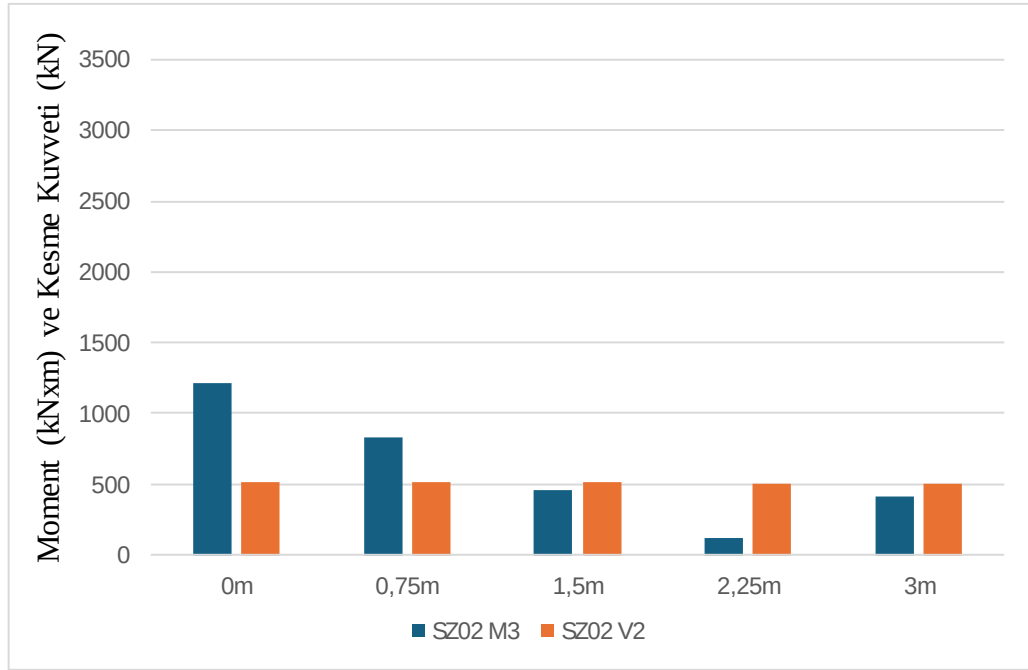


Şekil 64. Model 1c SZ02 kolonu diyagramları



Şekil 65. Model 1c SZ08 kolonun farklı derinliklerde M ve V değerleri grafiği

SZ08 ve SZ02 kolonlarının her 75cm de bir M ve V kuvvetleri sırasıyla Şekil 65 ve Şekil 66'da sütun grafiği olarak verilmiştir.



Şekil 66. Model 1c SZ02 kolonun farklı derinliklerde M ve V değerleri grafiği

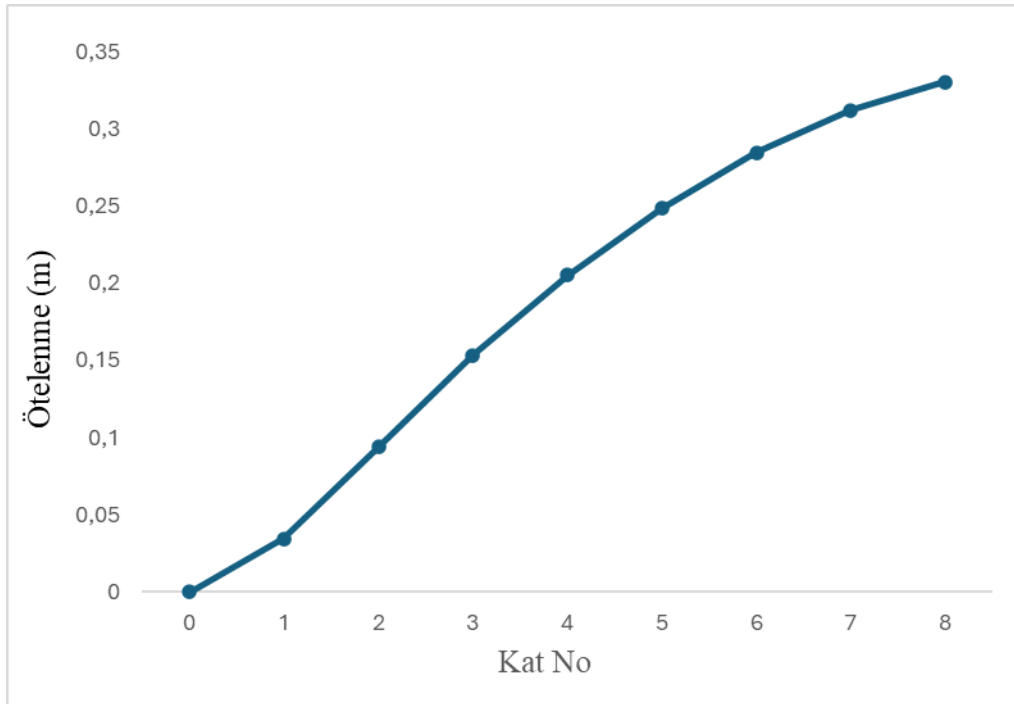
Tablo 7. SZ08 ve SZ02 kolonlarının M ve V sonuçları

Kolon altından yükseklik	SZ08 kolonu		SZ02 kolonu	
	M3	V2	M3	V2
0m	35.44	19.88	1216.31	509.74
0.75m	69.41	155.86	834.08	509.47
1.5m	1379.53	2539.25	452.95	509.02
2.25m	500.07	1173.25	114.92	508.28
3m	483.67	1172.735	410.18	507.49
Ortalama				508.8

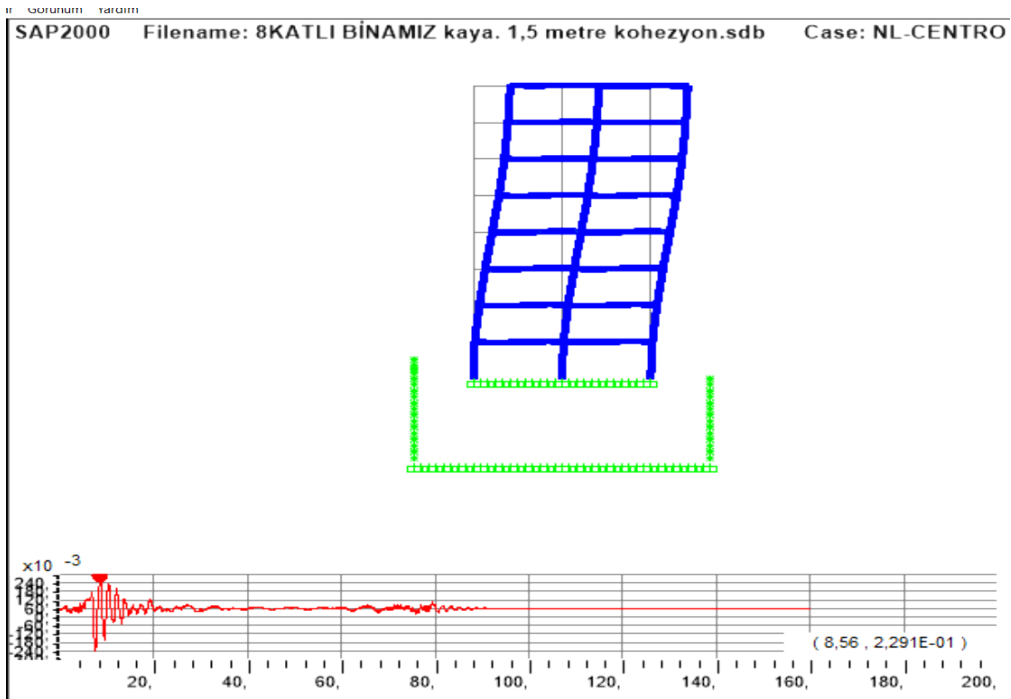
Tablo 7’de M ve V değerlerinin birbirinden çok farklı olduğu görülmüştür. SZ02 kolonun 0. metredeki M değeri, SZ08 kolonun 0. metredeki M değerinin yaklaşık 34 katıdır. SZ08 kolonun moment değerleri 0.75m de 69.41 kNm iken %1887 artışla 1.5 metrede 1379.53 kNm olmuştur. 2.25 metrede ise zemin olmadığından kesme kuvveti 3’te birine düşmüştür. Bu şekilde ani değişen M ve V diyagramlarına göre yapıda kısa kolon oluşturacağı açıktır.

Bu modelde 1B aksındaki kolonların 8 katlı bina için temelinden 8. kata kadar olan max uy yönündeki ötelenmelerin çizgi grafik ile gösterimi Şekil 67’de verilmiştir. 46. noktanın yanı birinci katın ötelenmesi 0.019m’dir. Bu değer 2.25m’lik kaya modelin 46. noktadaki ötelenmesinin iki katından daha fazladır. Bu da bize kaya yüksekliği

azaldıkça kolonun zemin tarafından kısıtlanmasının azalacağını göstermektedir. 53. noktadaki ötelenme ise 0.316m'dir.



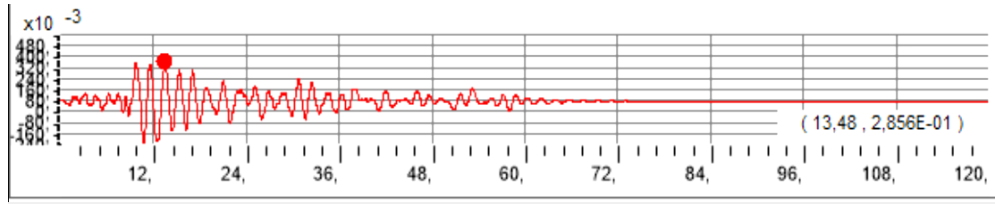
Şekil 67. Model 1c kat ötelenmeleri



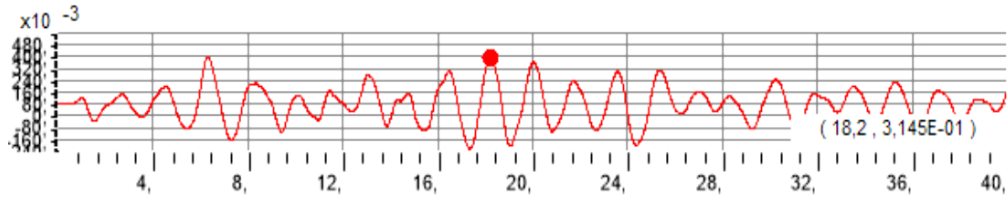
Şekil 68. El Centro Depremi etkisinde kat ötelenmeleri

El Centro depremi için 53. noktanın katlara göre uy yönündeki ötelenmeleri Şekil 68'de verilmiştir. Zamana bağlı 53. noktanın Kobe Depremi, Kocaeli Depremi ve El

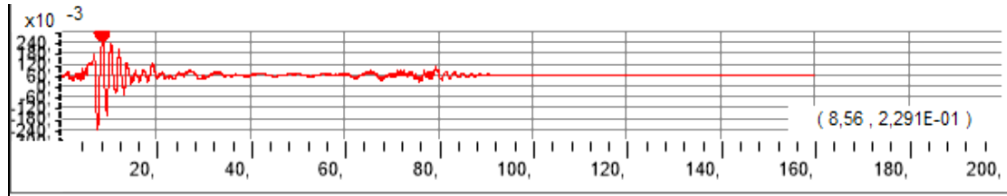
Centro Depremi için sırayla uy yönündeki ötelenmeleri Şekil 69, Şekil 70 ve Şekil 71’de verilmiştir.



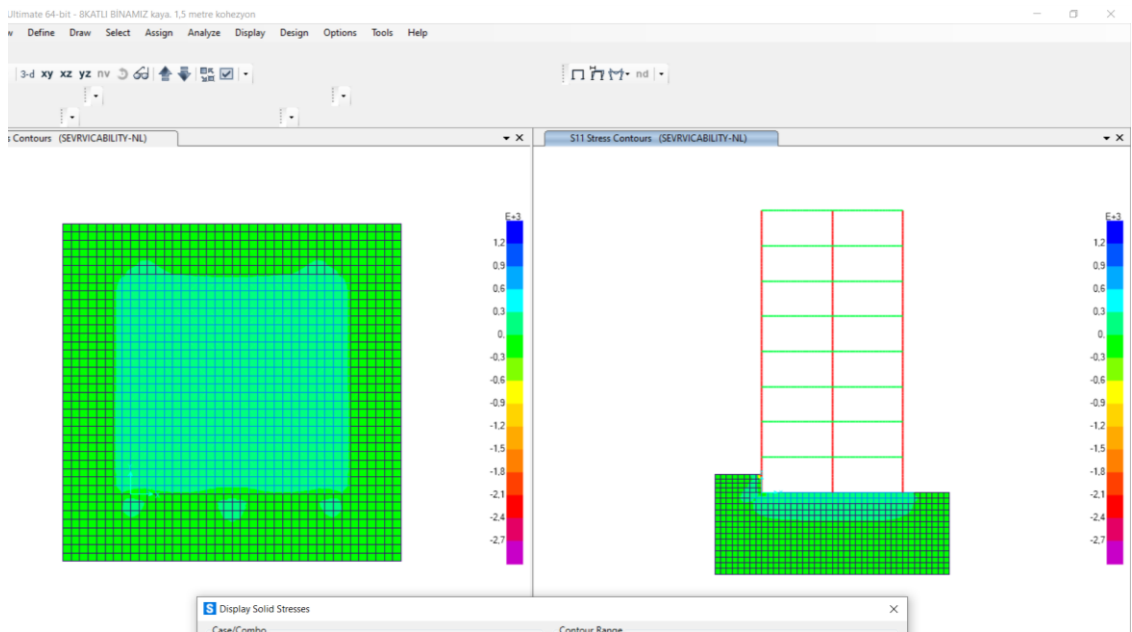
Şekil 69. Model 1c Kobe Depremi kat ötelenmesi



Şekil 70. Model 1c Kocaeli Depremi kat ötelenmesi

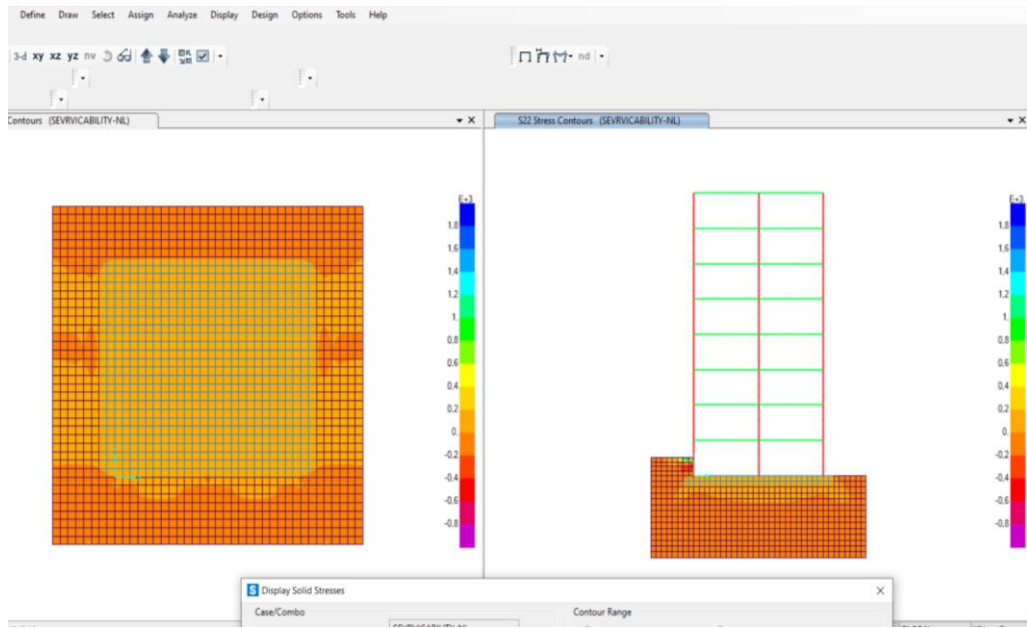


Şekil 71. Model 1c El Centro Depremi kat ötelenmesi

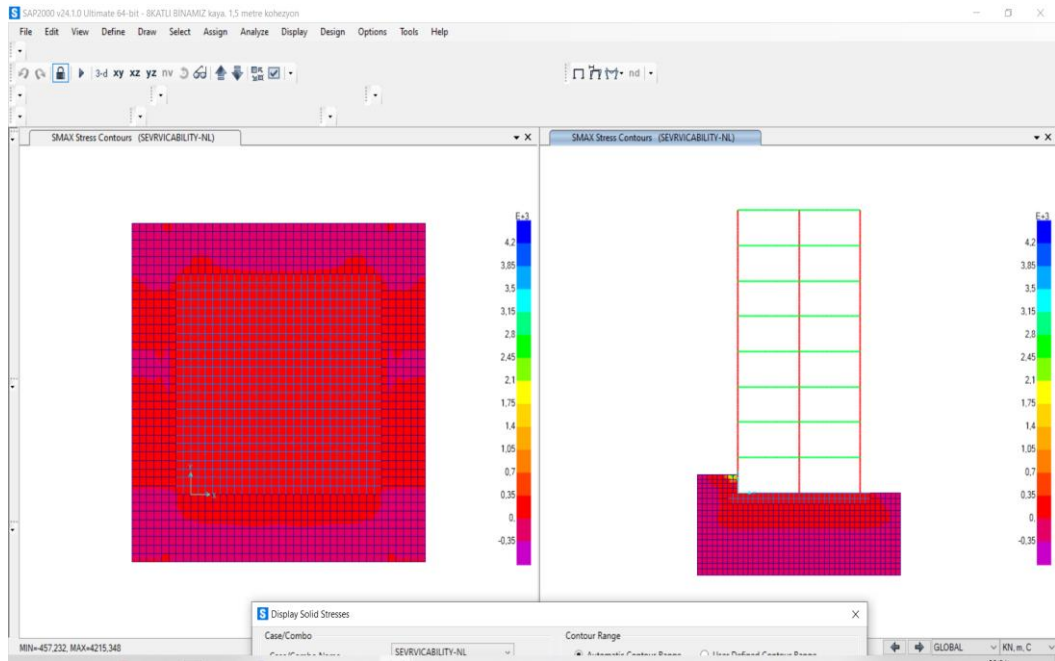


Şekil 72. Model 1c S11 zemin gerilmesi diyagramı

Zeminde oluşan serviceability yükü altındaki zemin gerilmelerinin S11 yönündeki gerilmeleri için Şekil 72, S22 yönündeki gerilmeler içinde Şekil 73'te renklere göre zemindeki gerilmeler görülmektedir.



Şekil 73. Model 1c S22 zemin gerilmesi diyagramı



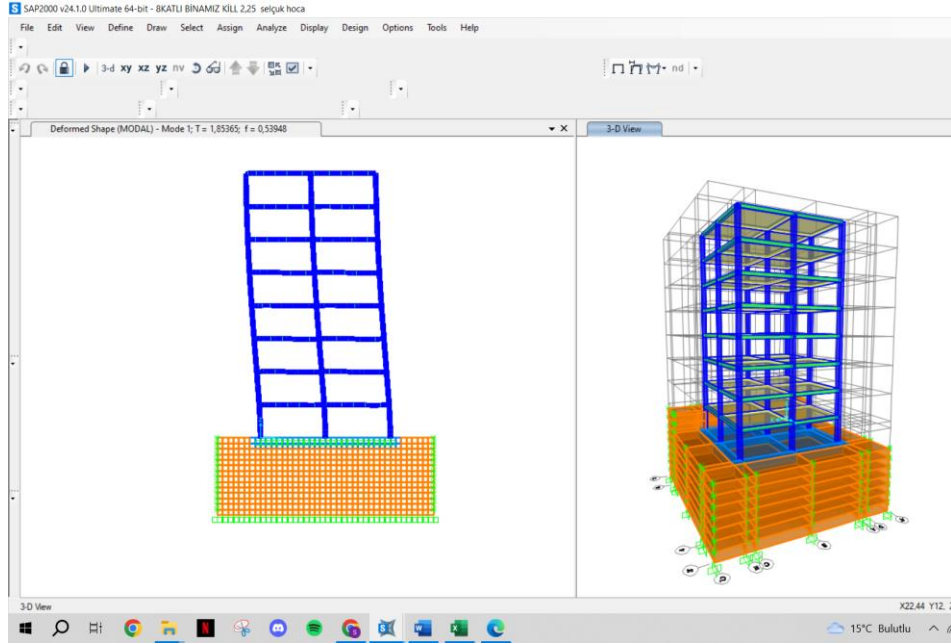
Şekil 74. Model 1c Smax zemin gerilmesi diyagramı

Şekil 74'te kaya zemin için katı elemanda oluşan max gerilme 4215.34 kN/m^2 'dir.

4.2 2.25m'lik Modellerin Sonuçları

4.2.1 Model 2a

Zeminin bir tarafının 2.25m'lik zemin ile tasarlanan modelin 3d görünümü ve modal analiz altındaki şekil değiştirmesi Şekil 75'te verilmiştir. Bu modelin 4 mod için periyot değerleri Tablo 8'de verilmiştir.

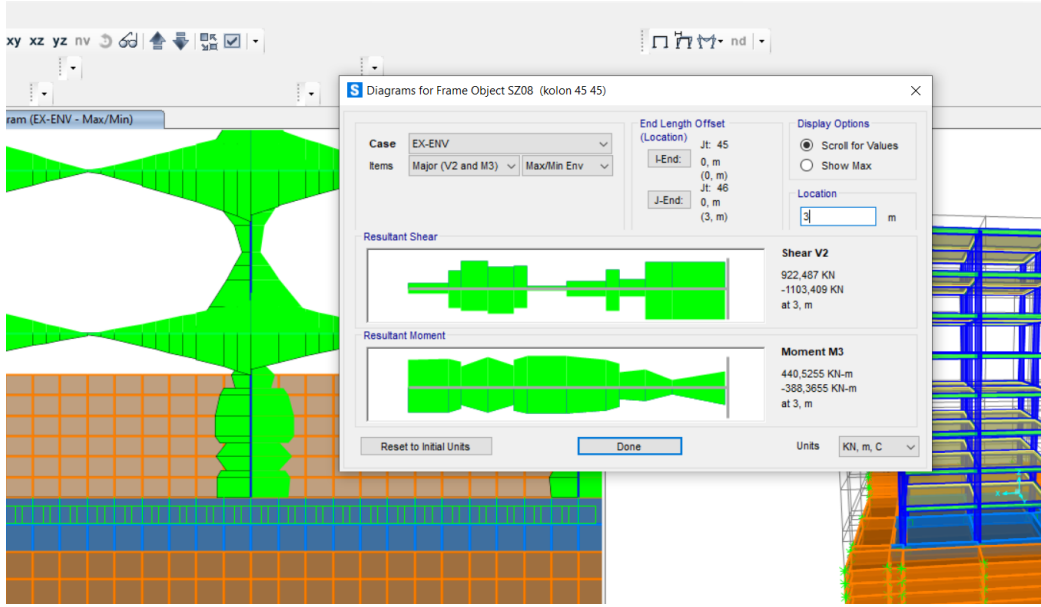


Şekil 75. Model 2a modal analiz sonucu ve 3d görünüşü

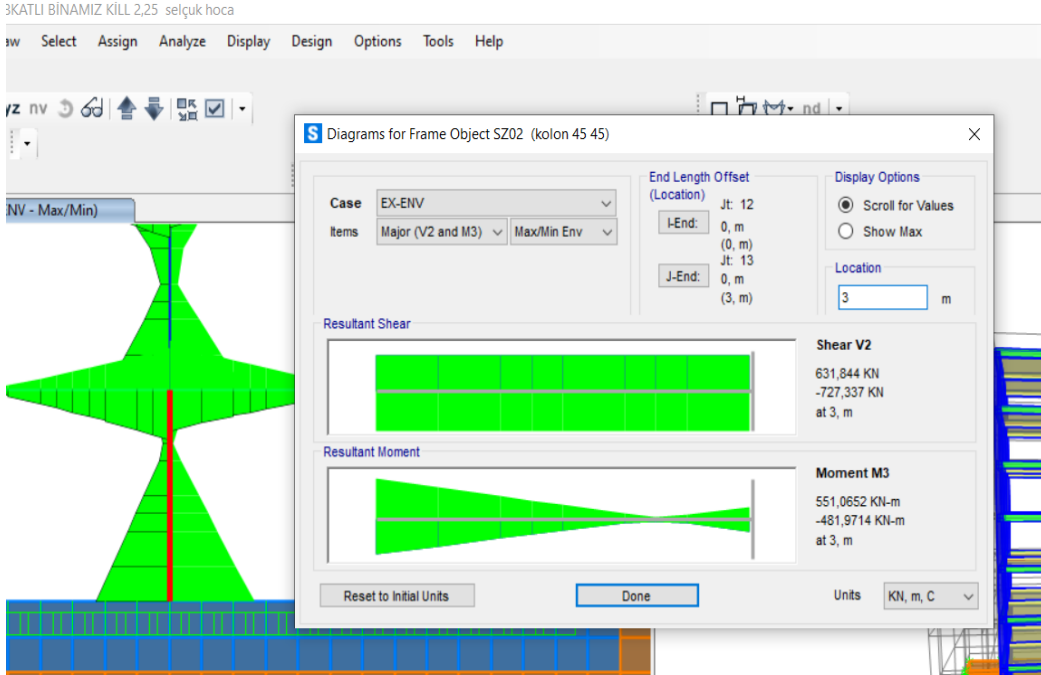
Tablo 8. Modal 2a mod değerleri

Modal Analiz	T (Periyot)
Mod 1	1.85
Mod 2	1.84
Mod 3	1.49
Mod 4	0.58

Model 2a için zemine yaslanan SZ08 kolonun ve zemine yaslanmayan SZ02 kolonun M ve V değerleri sırasıyla Şekil 76'da ve Şekil 77'de verilmiştir.

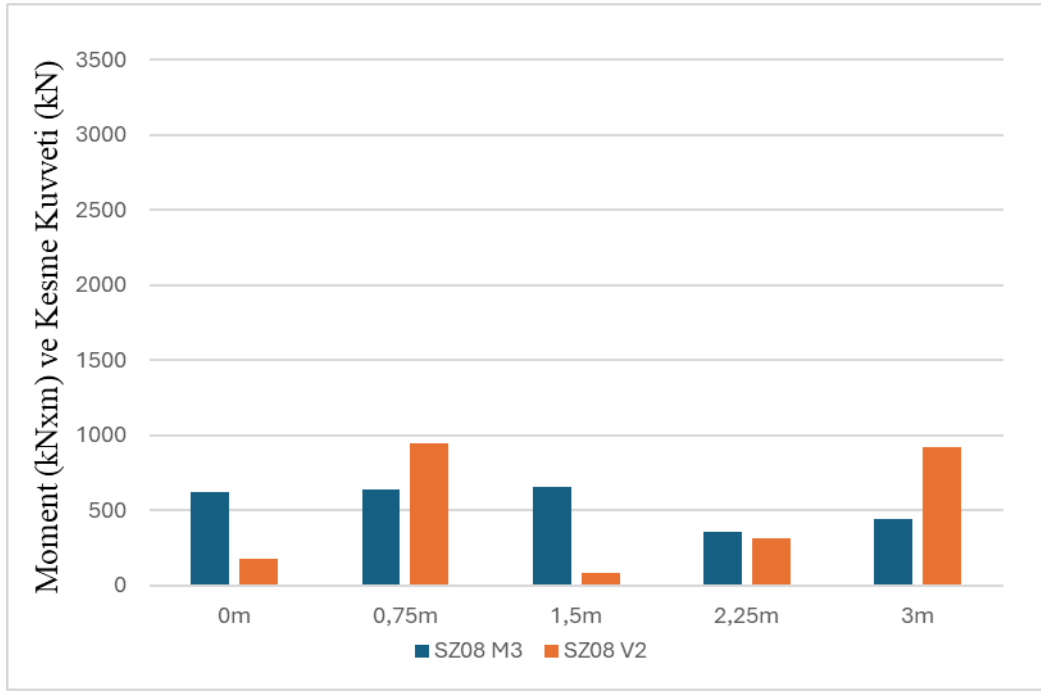


Şekil 76. Model 2a SZ08 kolonu diyagramları

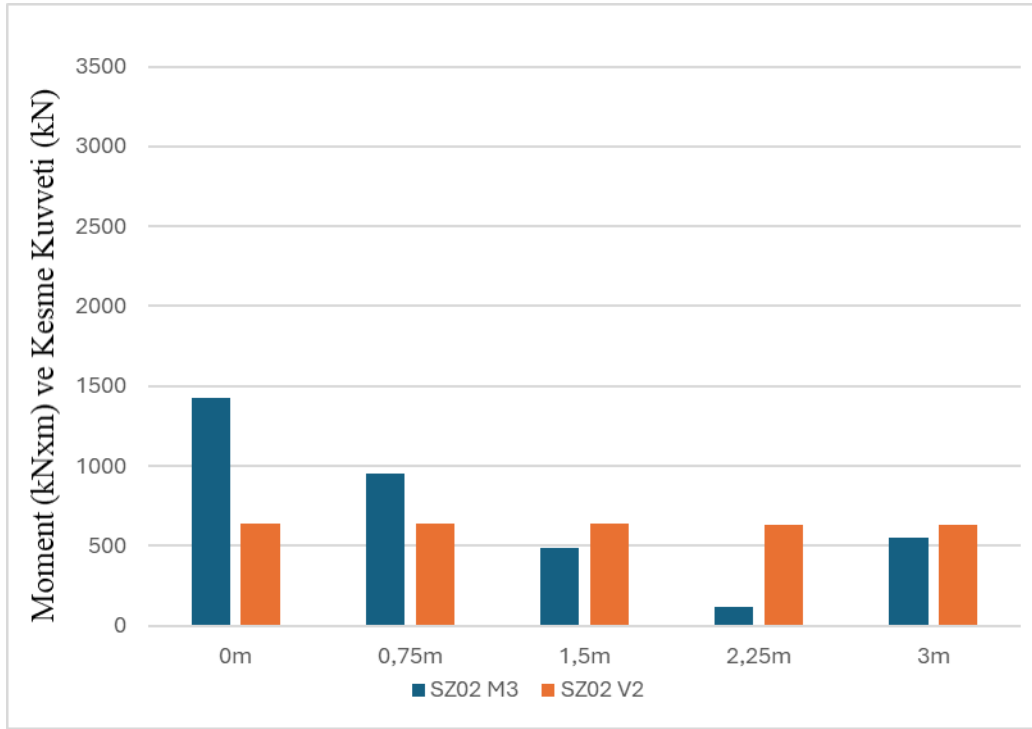


Şekil 77. Model 2a SZ02 kolonu diyagramları

SZ08 ve SZ02 kolonlarının her 75cm de bir M ve V kuvvetleri sırasıyla Şekil 78 ve Şekil 79’da sütun grafiği olarak verilmiştir.



Şekil 78. Model 2a SZ08 kolonun farklı derinliklerde M ve V değerleri grafiği



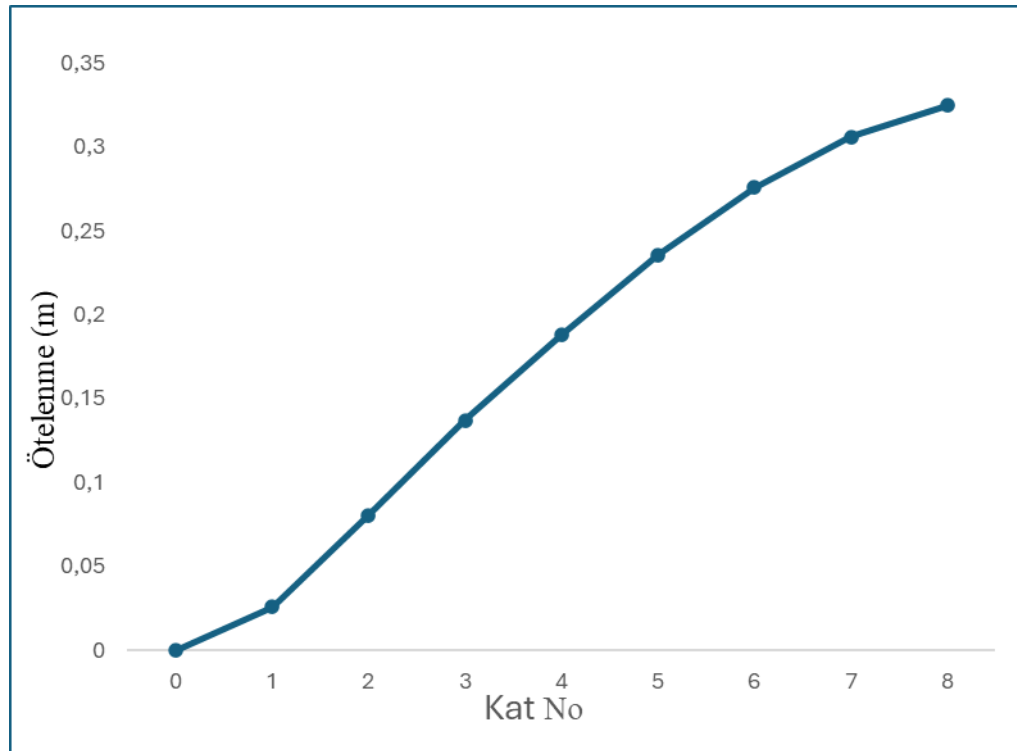
Şekil 79. Model 2a SZ02 kolonun farklı derinliklerde M ve V değerleri grafiği

Tablo 9'daki verilerde SZ08 kolonun M ve V diyagramlarının birbirinden çok farklı olduğu görülmüştür. SZ08 kolonun 0. metredeki momenti SZ02 kolonun 0. metredeki değerinden 807.34 kNxm daha az olduğu görülmüştür. SZ08 kolonun kesme kuvveti 0. metrede 173 kN'dan (5 kattan daha fazla artarak) %443 artışla 0.75 metrede 944.85 kN'a ulaştığı, 1.5m de ise %8'i kadar bir değere düştüğü yani büyük oranda

kesme kuvveti değişiminin olduğu görölmüştür. Zemin 2.25m’den sonra olmadığı içinde kesme kuvveti SZ08 kolonu 2.25m’de %194 artışla 3. metrede 922.48 kN’a ulaştığı görölmüştür. Killi zeminde bile kısa kolon oluşacağı açıktır.

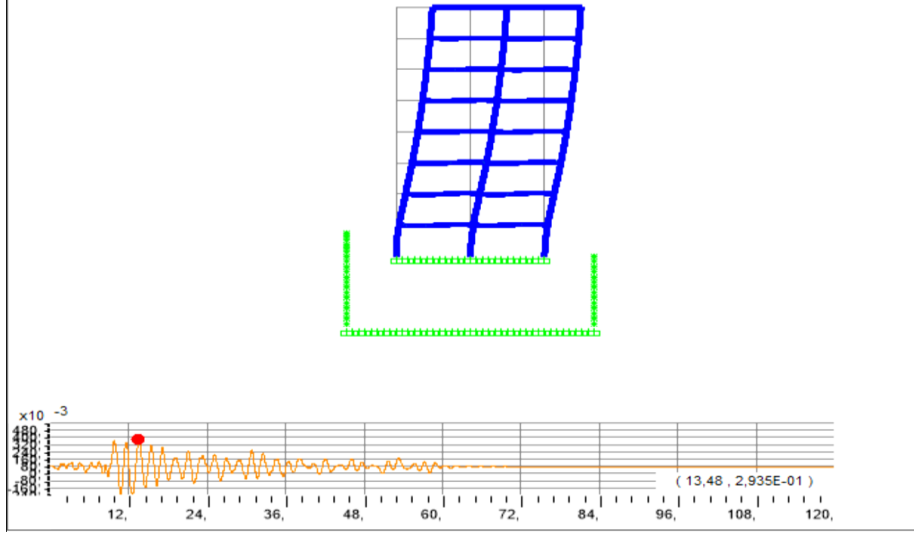
Tablo 9. SZ08 ve SZ02 kolonlarının M ve V sonuçları

Kolon altından yükseklik	SZ08 kolonu		SZ02 kolonu	
	M3	V2	M3	V2
0m	617.43	173.76	1424.77	638.7
0.75m	635.72	944.85	952.11	637.68
1.5m	652.94	84.349	486.48	636.19
2.25m	351.6	312.76	115.46	633.99
3m	440.53	922.48	551.06	631.84
		Ortalama		635.68

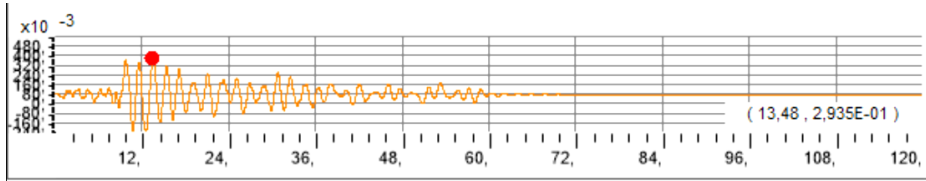


Şekil 80. Model 2a kat ötelenmeleri

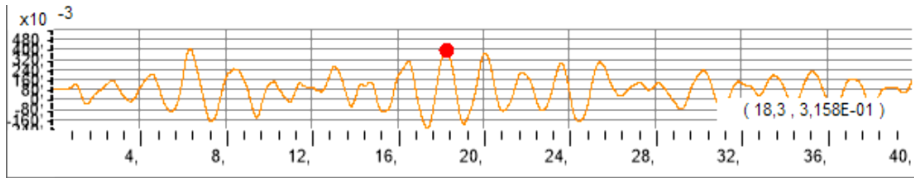
Bu modelin 1B aksındaki kolonların 8 katlı bina için temelinden 8. kata kadar olan uy yönündeki ötelenmelerin çizgi grafik ile gösterimi Şekil 80’de verilmiştir. 46. noktanın ötelenme değeri 0.0258m iken, 53. noktanın ötelenmesi 0.325m’dir.



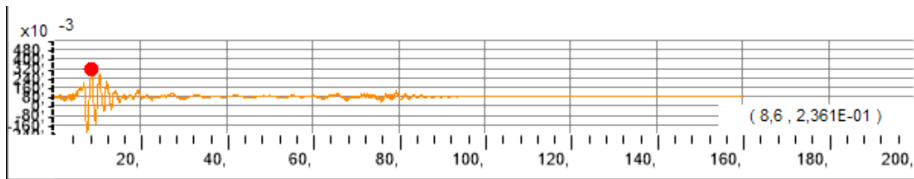
Şekil 81. Kobe Depremi etkisinde kat ötelenmeleri



Şekil 82. Model 2a Kobe Depremi kat ötelenmesi

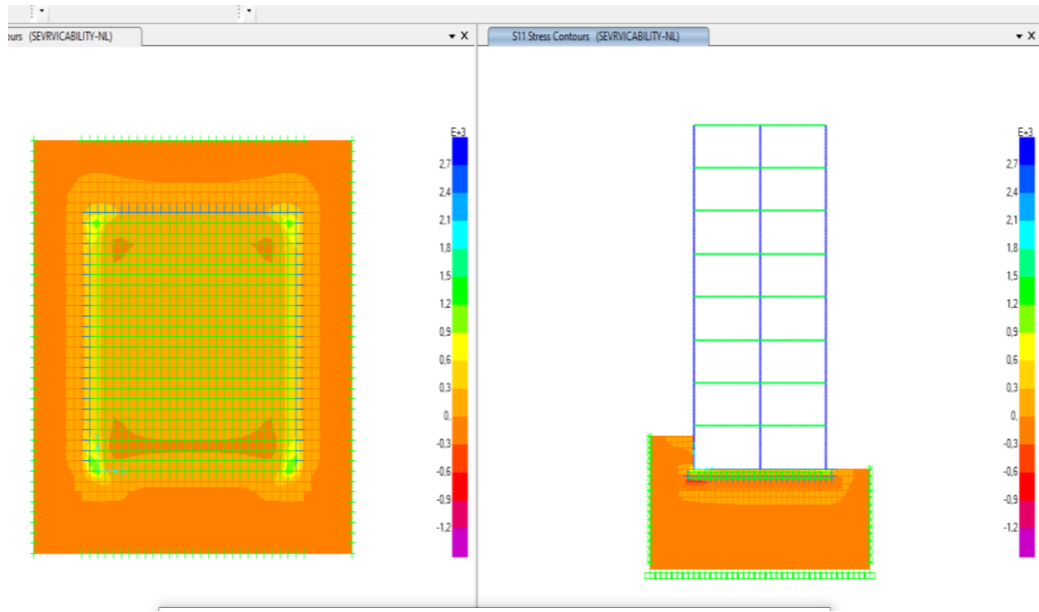


Şekil 83. Model 2a Kocaeli Depremi kat ötelenmesi



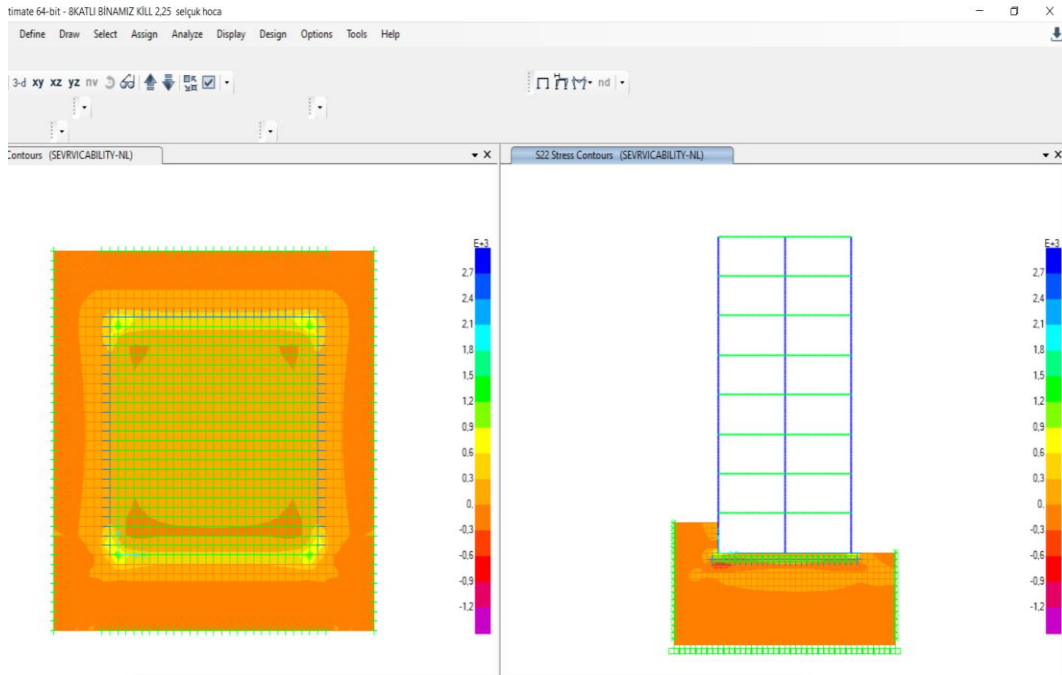
Şekil 84. Model 2a El Centro Depremi kat ötelenmesi

Kobe depremi için 53. noktanın katlara göre uy yönündeki ötelenmeleri Şekil 81’ de verilmiştir. Zamana bağlı 53. noktanın Kobe Depremi, Kocaeli Depremi ve El Centro Depremi için sırayla uy yönündeki ötelenmeleri Şekil 82, Şekil 83 ve Şekil 84’te verilmiştir.

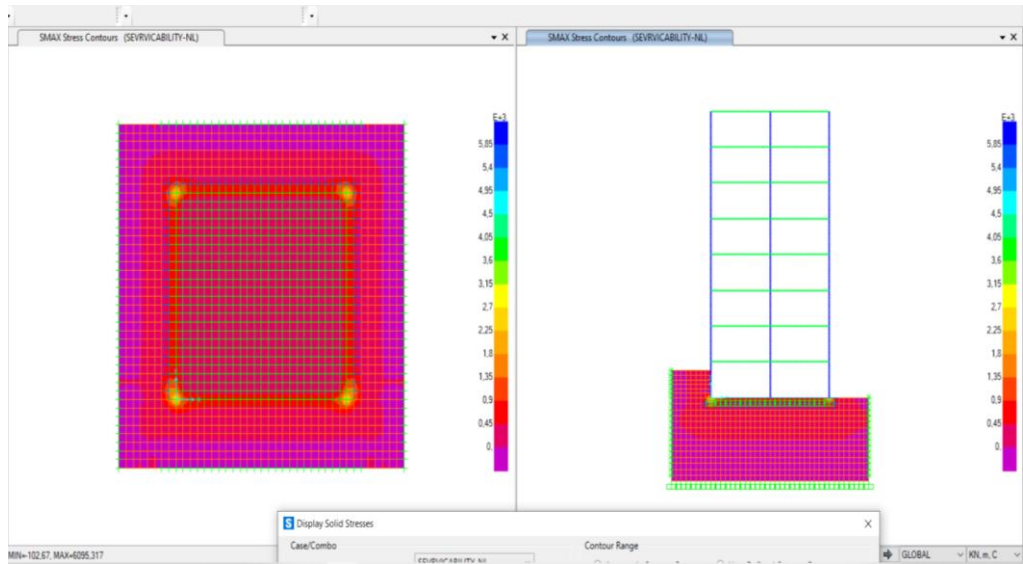


Şekil 85. Model 2a S11 zemin gerilmesi diyagramı

Zeminde oluşan serviceability yükü altındaki zemin gerilmeleri S11 yönündeki gerilmeler için Şekil 85, S22 yönündeki gerilmeler için Şekil 86’da renklere göre zemindeki gerilme değerleri verilmiştir.



Şekil 86. Model 2a S22 zemin gerilmesi diyagramı

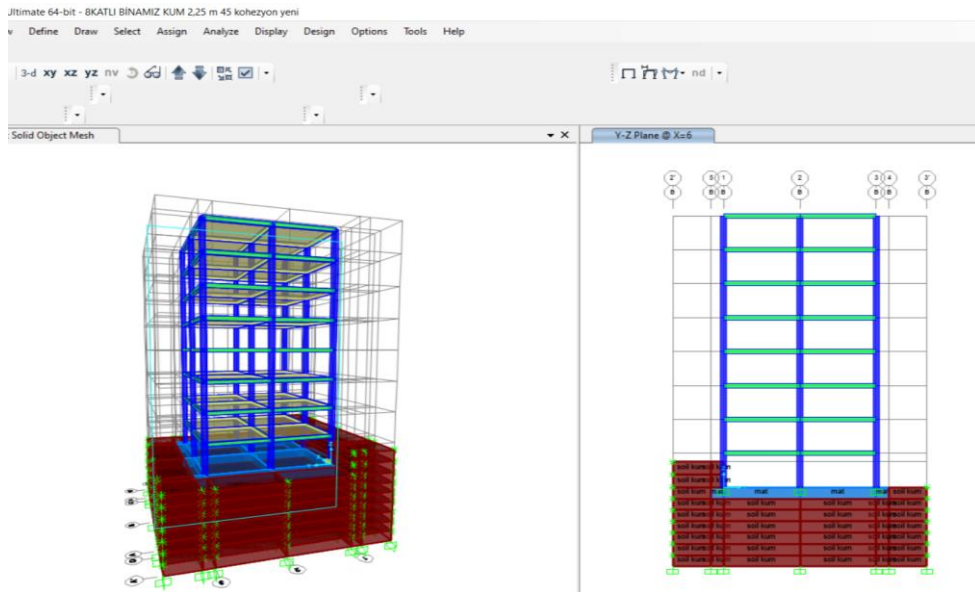


Şekil 87. Model 2a Smax zemin gerilmesi diyagramı

Şekil 87’de kil için katı elemandaki max gerilme: 6095.31 kN/m^2 ’dir.

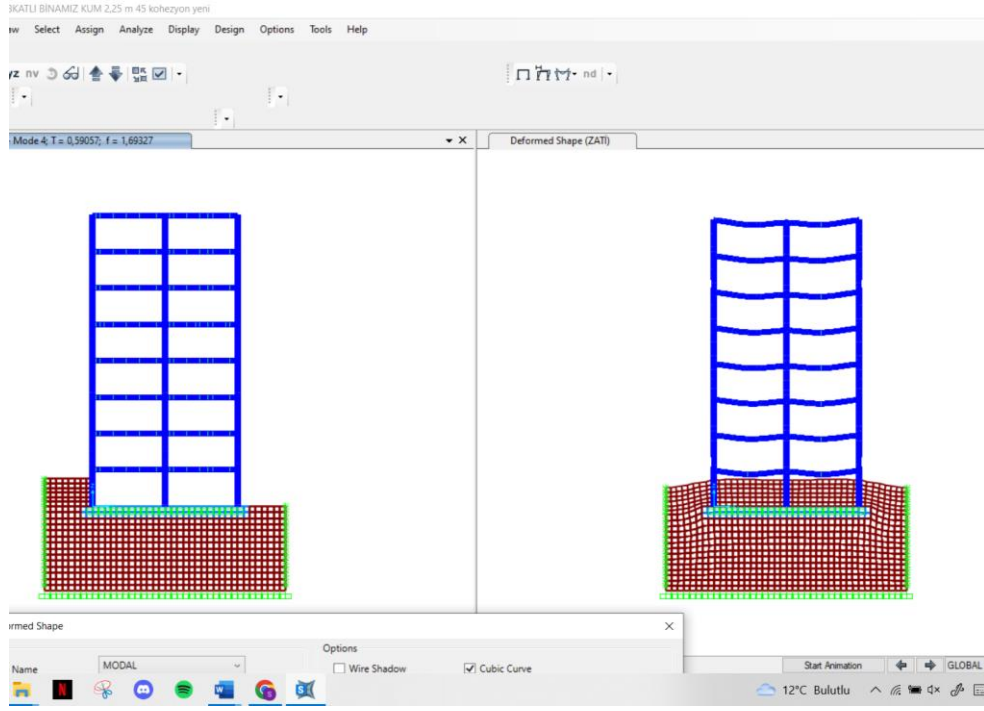
4.2.2 Model 2b

Zeminin bir tarafının temelden 2.25m ’lik yüksekliğinde kum zemin olarak tanımlanan modelin görünüşü Şekil 88’de verilmiştir.



Şekil 88. Model 2b görünüşü

Model 2b’nin modal analiz sonucunda görünümü ve zati yük altında şekil değiştirmesi Şekil 89’da verilmiştir. Bu modelde 4 mod için periyot değerleri Tablo 10’da verilmiştir.

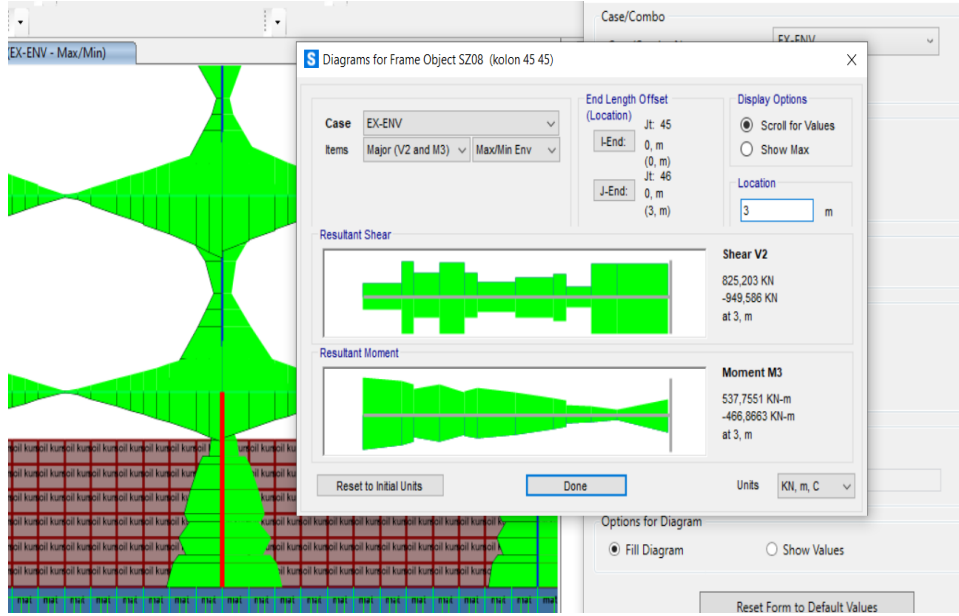


Şekil 89. Model 2b analiz sonucu görünüşü

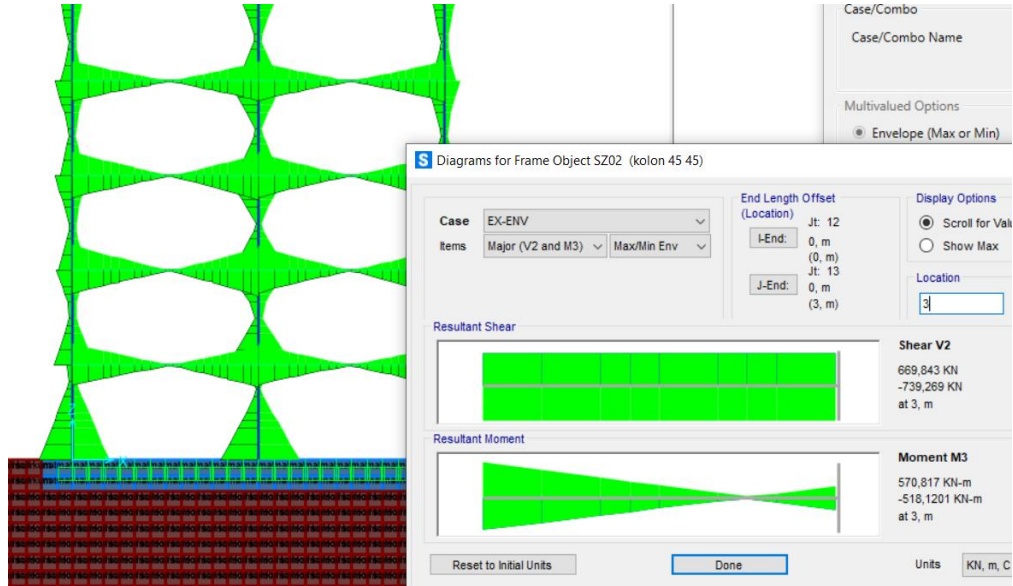
Tablo 10. Model 2b mod değerleri

Modal Analiz	T (Periyot)
Mod 1	1.86
Mod 2	1.86
Mod 3	1.5
Mod 4	0.59

Model 2b için zemine yaslanan SZ08 kolonun ve zemine yaslanmayan SZ02 kolonun M ve V değerleri sırasıyla Şekil 90 ve Şekil 91’de verilmiştir.

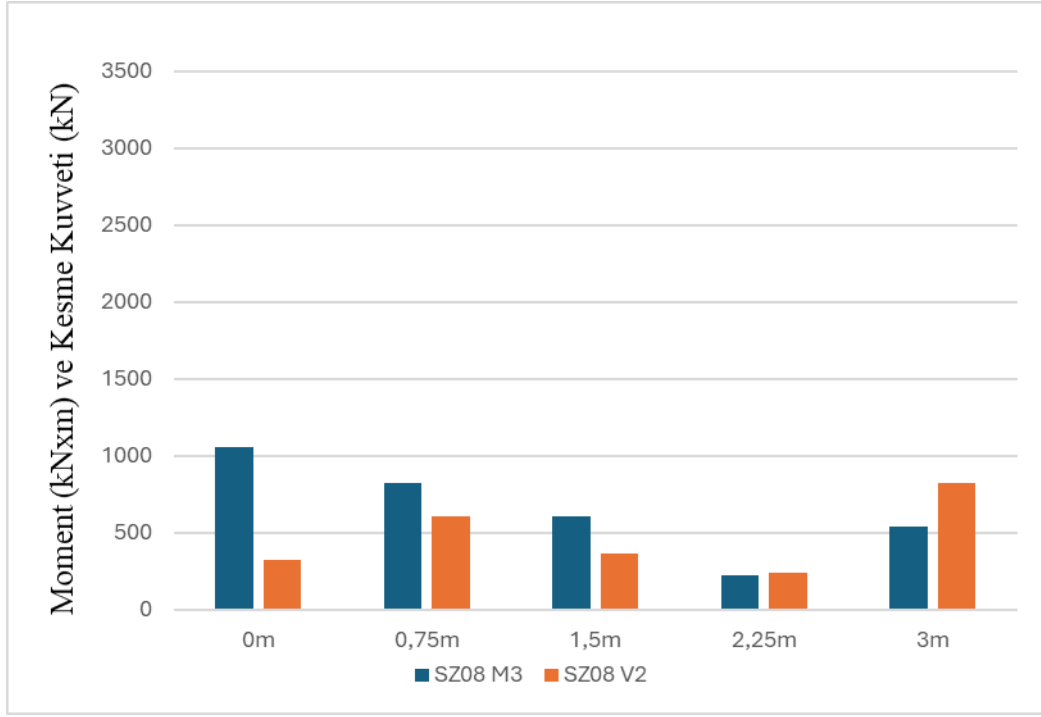


Şekil 90. Model 2b SZ08 kolonu diyagramları

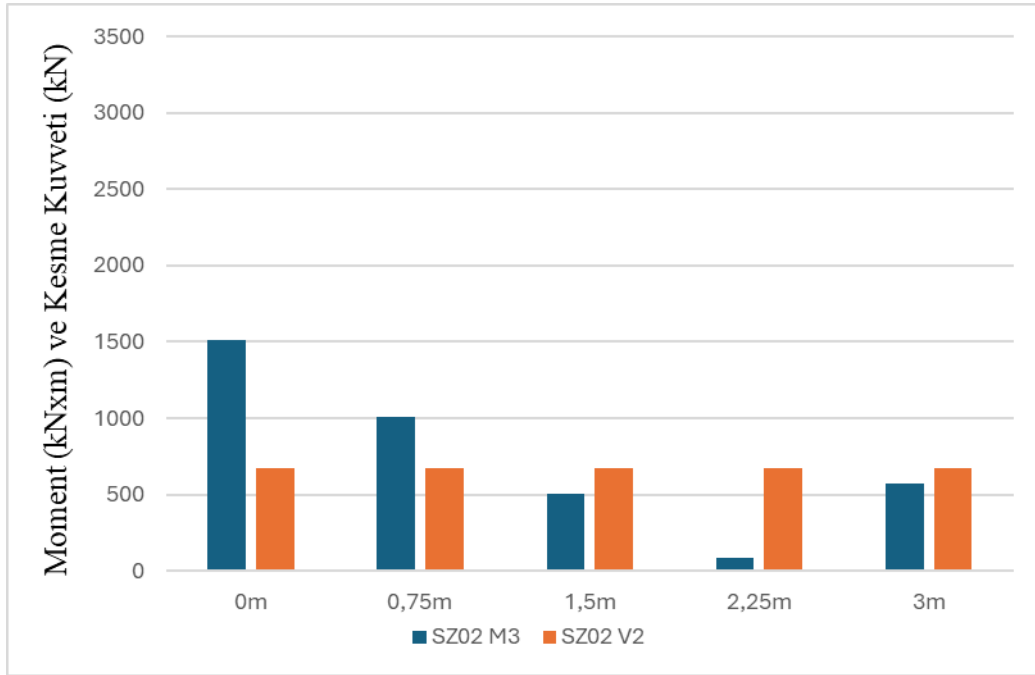


Şekil 91. Model 2b SZ02 kolonu diyagramları

SZ08 ve SZ02 kolonlarına ait kolonun her 75cm de bir M ve V kuvvetleri sırasıyla Şekil 92 ve Şekil 93'te sütun grafiği olarak verilmiştir.



Şekil 92. Model 2b SZ08 kolonun farklı derinliklerde M ve V değerleri grafiği



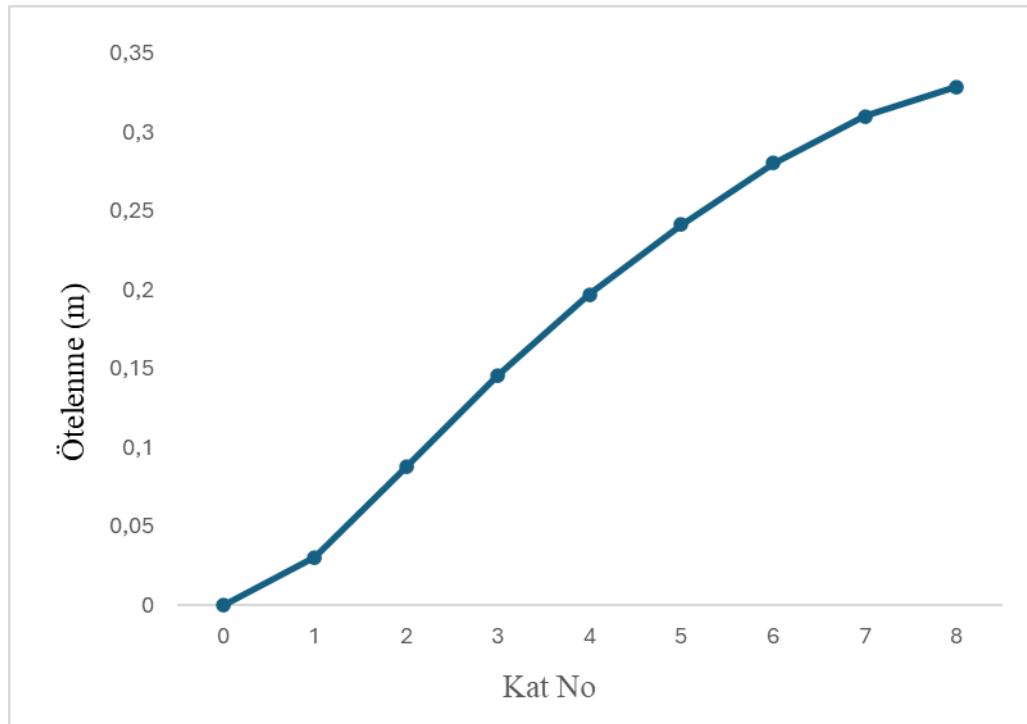
Şekil 93. Model 2b SZ02 kolonun farklı derinliklerde M ve V değerleri grafiği

SZ08 kolon ile SZ02 kolonun M ve V değerleri aşağıdaki Tablo 11’de verilmiştir. SZ08 kolonun 0. metredeki moment değeri ile SZ02 kolonun moment değeri arasında 455.49 kNxm fark oluşmuştur. SZ08 kolonundaki kesme kuvveti 0. metrede %87 artışla 0.75 metrede 604.66 kN’a ulaşmıştır. Aynı zamanda SZ08 kolondaki V değeri 2.25 metrede (2.25m’den sonra zemin olmadığından) 239.92 kN’dan %243 artarak 3.

metrede 852.2 kN'a ulaşmıştır. Burada ciddi oranda kesme kuvveti farklılığı görülmüştür. Bu kesme kuvveti değeri farklılığı dikkate alınmadan yapılan kolonlarda deprem esnasında kısa kolon oluşturacağı açıktır.

Tablo 11. SZ08 ve SZ02 kolonlarının M ve V sonuçları

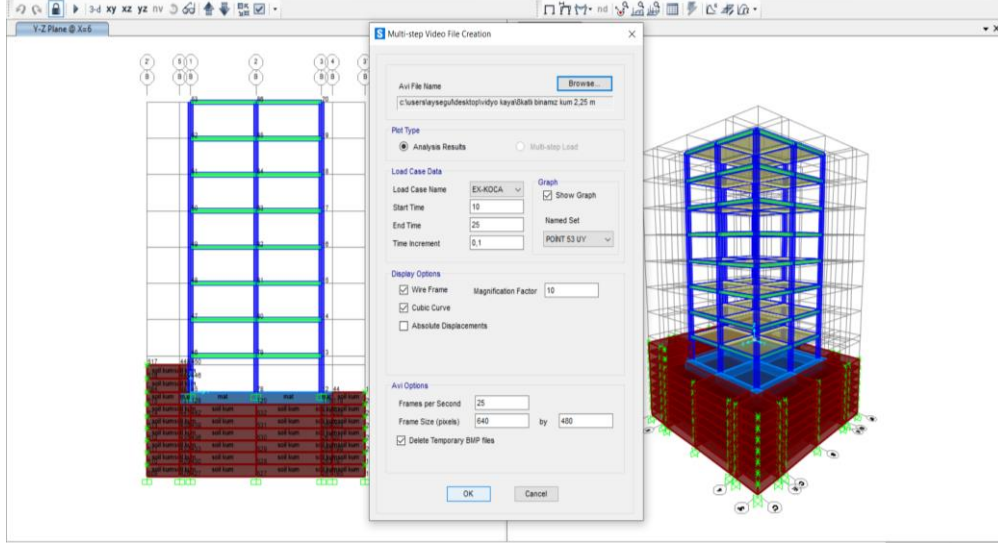
Kolon altından yükseklik	SZ08 kolonu		SZ02 kolonu	
	M3	V2	M3	V2
0m	1055.14	323.37	1510.63	671.75
0.75m	821.42	604.66	1006.84	671.65
1.5m	603.7	362.62	503.94	671.35
2.25m	221.74	239.92	85.57	670.67
3m	537.75	825.2	570.82	669.84
			Ortalama	671.052



Şekil 94. Model 2b kat ötelenmeleri

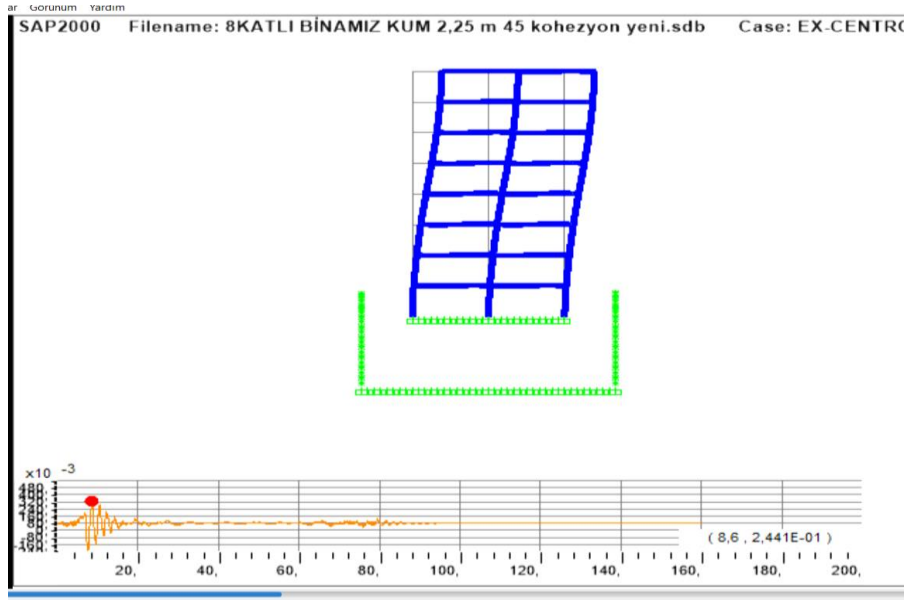
Bu modelin 1B aksındaki kolonların 8 katlı bina için temelinden 8. kata kadar olan uy yönündeki ötelenmelerin çizgi grafik ile gösterimi Şekil 94'te verilmiştir. Zemin daha yumuşak davrandığı için 46. noktadaki ötelenme değeri 0.0304m'dir. Bu değer 2.25m'lik kaya zemine göre daha fazladır. 53. noktadaki ötelenme ise 0.328 m'dir. Atasoy (2014)'e göre özellikle yumuşak ve orta sert zeminler, yapılarda ilave

kesit tesirleri ortaya çıkarmaktadır. Yumuşak zeminler üzerine inşa edilen yapıların tepe noktasındaki yer değiştirmeleri daha fazla olurken, orta sert zeminlerde ise zemin periyodu, yapı yüksekliğine bağlı olarak yapı periyodu ile sıklıkla çakışabilmektedir. Kocaeli depremi için 53. noktadaki uy yönündeki ötelenmelerin kaydedilmesi için girilen değerler Şekil 95'te verilmiştir.

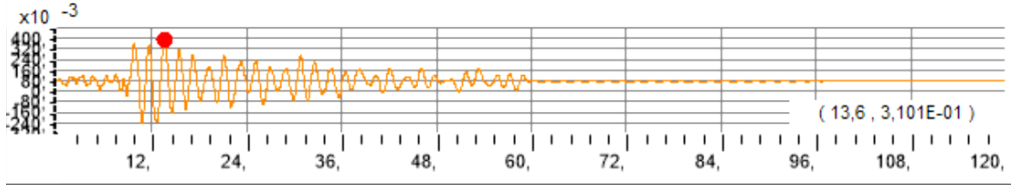


Şekil 95. Kat ötelenmesi için seçilen değerler

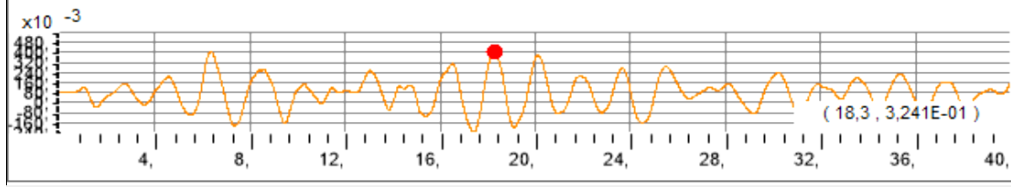
El Centro depreminin etkisinde oluşan kat ötelenmeleri Şekil 96'da verilmiştir. Zamana bağlı 53. noktanın Kobe Depremi, Kocaeli Depremi ve El Centro Depremi için sırayla uy yönündeki ötelenmeleri Şekil 97, Şekil 98 ve Şekil 99'da verilmiştir.



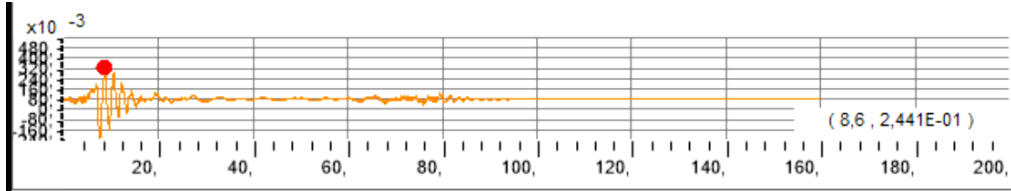
Şekil 96. El Centro Depremi etkisinde kat ötelenmeleri



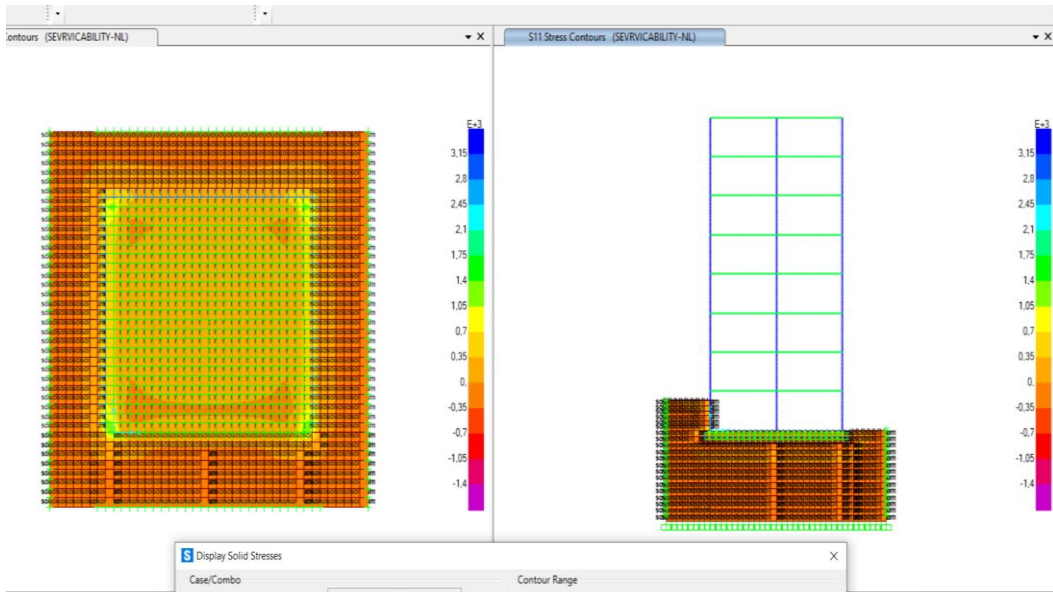
Şekil 97. Model 2b Kobe Depremi kat ötelenmesi



Şekil 98. Model 2b Kocaeli Depremi kat ötelenmesi

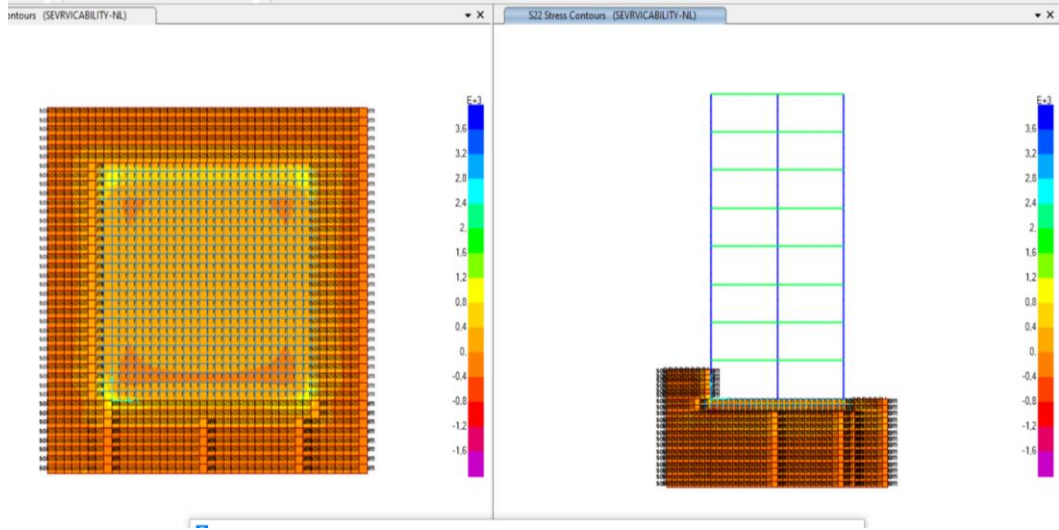


Şekil 99. Model 2b El Centro Depremi kat ötelenmesi

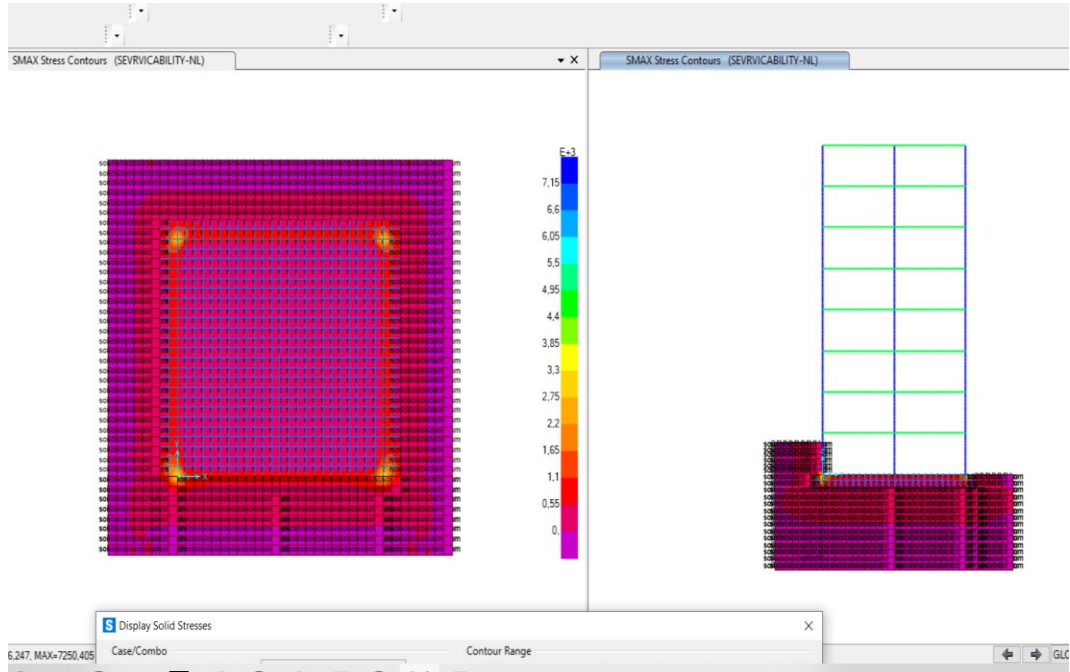


Şekil 100. Model 2b S11 zemin gerilmesi diyagramı

Zeminde oluşan serviceability yükü altındaki zemin gerilmeleri S11 yönündeki gerilmeler için Şekil 100, S22 yönündeki gerilmeler için Şekil 101 de renklere göre zemindeki gerilme değerleri görülmektedir.



Şekil 101. Model 2b S22 zemin gerilmesi diyagramı

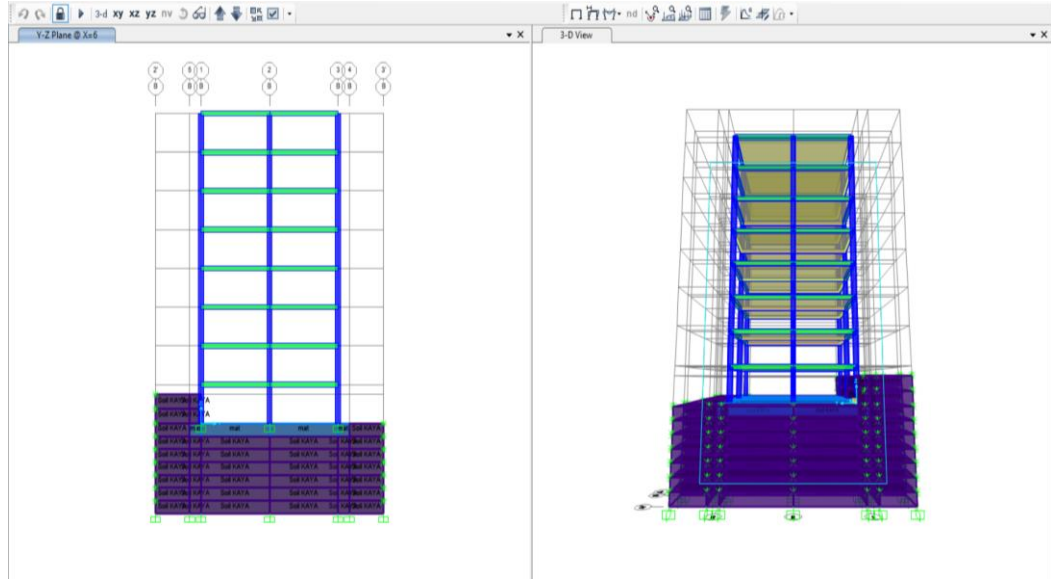


Şekil 102. Model 2b Smax zemin gerilmesi diyagramı

Şekil 102’de soldaki modelde zeminin xy ekseninde 0. metredeki zeminde oluşan gerilmeler ve sağdaki modelde yz ekseninde oluşan gerilmelerin renklere göre görünümü verilmiştir. Kum için katı elemandaki max gerilme: 7250.4 kN/m^2 ’dir.

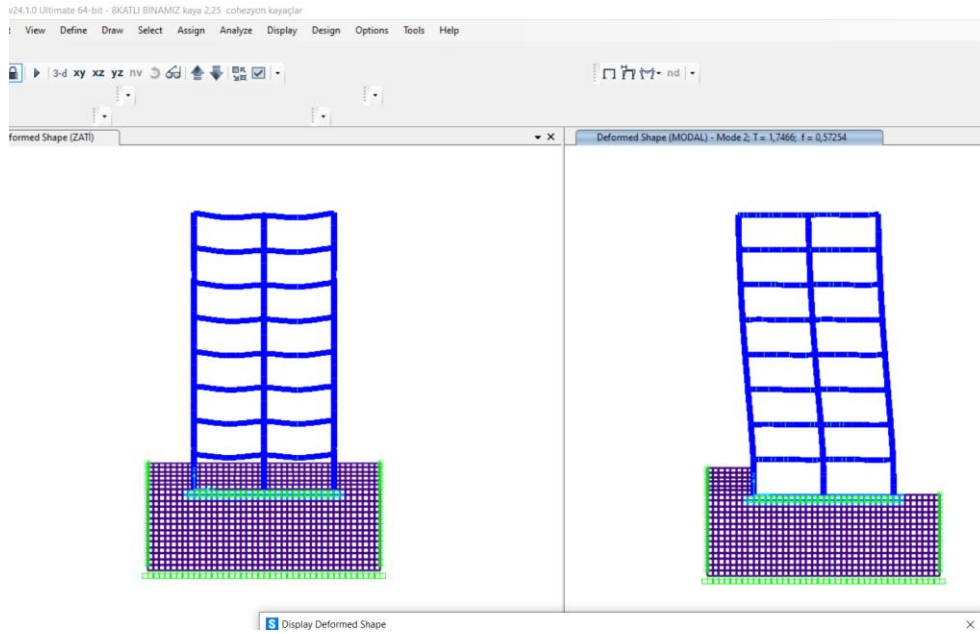
4.2.3 Model 2c

Zeminin bir tarafının temelden yüksekliği 2.25m’lik kaya zemin olarak tasarlanan modelin görünümü Şekil 103’te verilmiştir.



Şekil 103. Model 2c görünüşü

Model 2c'nin modal analiz sonucunda görünüşü ve zati yük altında şekil değiştirmesi Şekil 104'te verilmiştir. Bu modeldeki 4 mod için periyot değerleri Tablo 12'de verilmiştir.

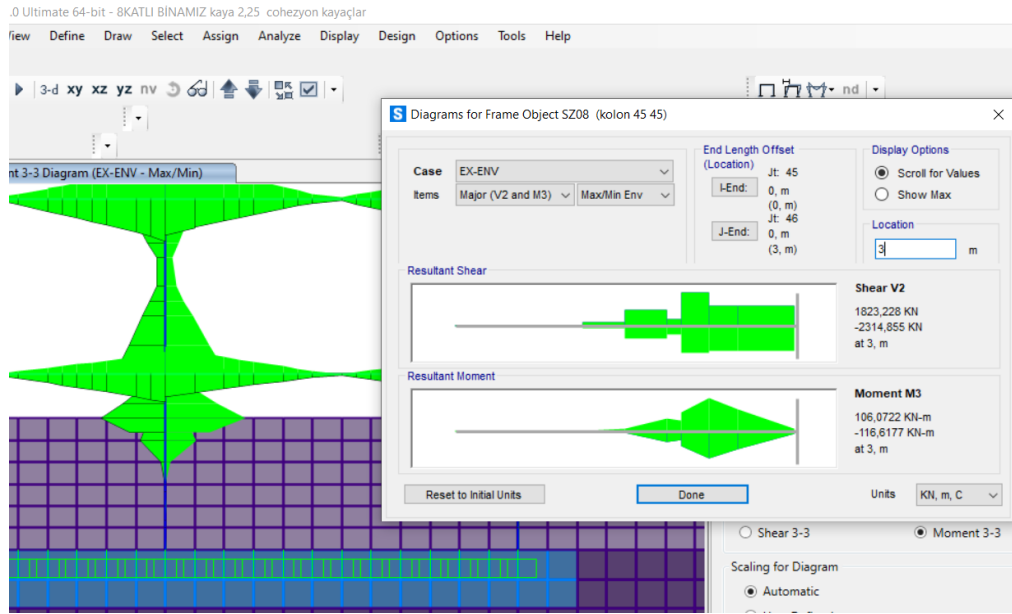


Şekil 104. Modal 2c modal analiz ve zati yük altında değişimi

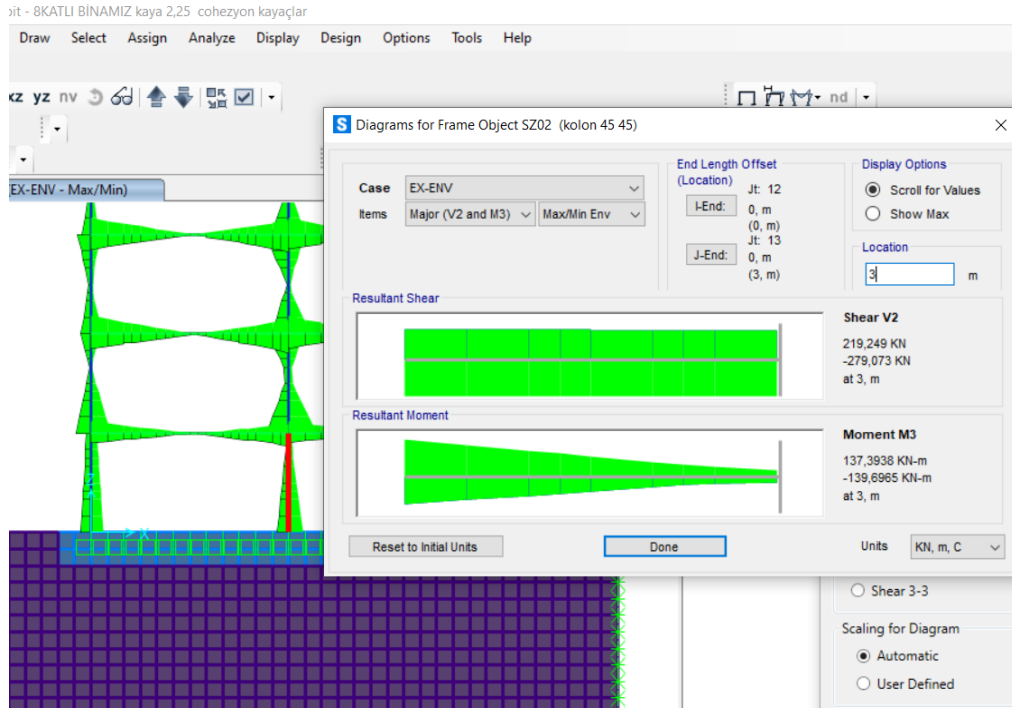
Tablo 12. Model 2c mod değerleri

Modal Analiz	T (Periyot)
Mod 1	1.77
Mod 2	1.74
Mod 3	1.42
Mod 4	0.55

Model 2c için zemine yaslanan SZ08 kolon ve zemine yaslanmayan SZ02 kolonun M ve V değerleri sırasıyla Şekil 105 ve Şekil 106’da verilmiştir.

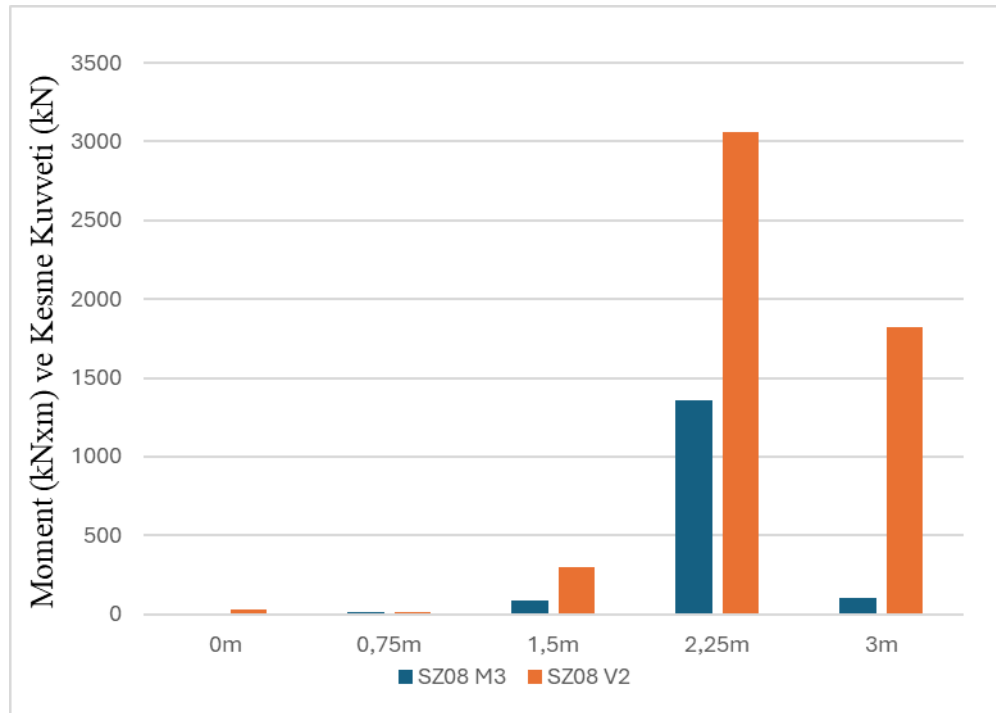


Şekil 105. Model 2c SZ08 kolonu diyagramları

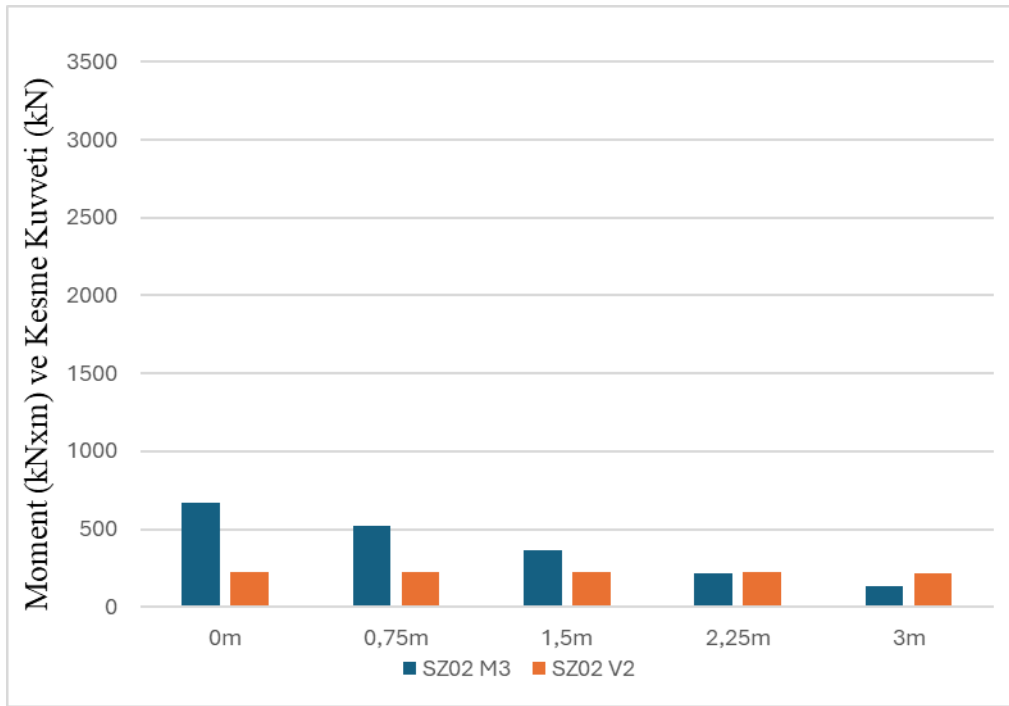


Şekil 106. Model 2c SZ02 kolonu diyagramları

SZ08 ve SZ02 kolonun her 75cm de bir M ve V kuvvetleri sırasıyla Şekil 107 ve Şekil 108’de sütun grafiği olarak verilmiştir.



Şekil 107. Model 2c SZ08 kolonun farklı derinliklerde M ve V değerleri grafiği

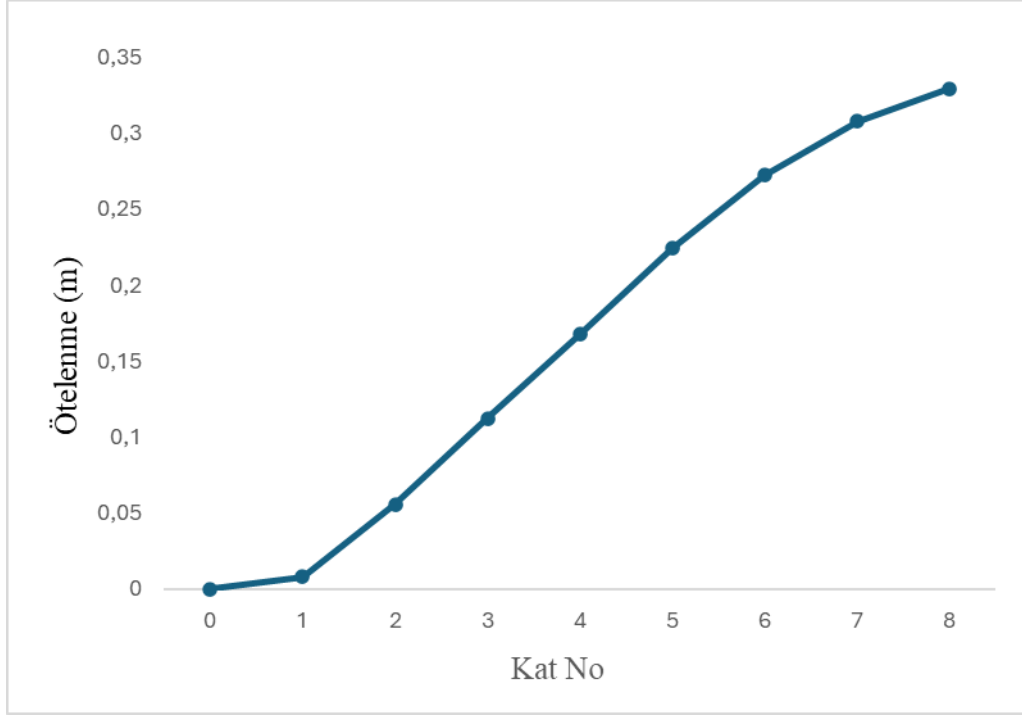


Şekil 108. Model 2c SZ02 kolonunun farklı derinliklerde M ve V değerleri grafiği

SZ08 kolonu ile SZ02 kolonunun M ve V değerleri aşağıdaki Tablo 13'te verilmiştir. SZ08 kolonda M ve V değerleri 2.25m'ye kadar çok düşük olduğu, örneğin 0. metrede 8.39 kNxm iken SZ02 kolonunun 0. metredeki momenti yaklaşık 80 katı kadar 671.78 kNxm'dir. Ayrıca SZ08 kolonunun kesme kuvveti 1.5m de 294.94 kN'dan % 937 artarak 2.25 metrede 3059.93 kN'a ulaşmıştır. Bu ciddi oran kısa kolon oluşturacağını göstermektedir. Zemin sert yapıda olduğundan kolonun zemin olmayan 2.25m'den sonraki kısmının kesme kuvveti değeri yaklaşık yarısı kadar azalmıştır. Tabloya genel olarak bakılırsa SZ08 kolonla SZ02 kolonunun M ve V değerleri arasında ciddi oranda farklılık görülmüştür. Bu modelde kısa kolon oluşacağı açıktır.

Tablo 13. SZ08 ve SZ02 kolonlarının M ve V sonuçları

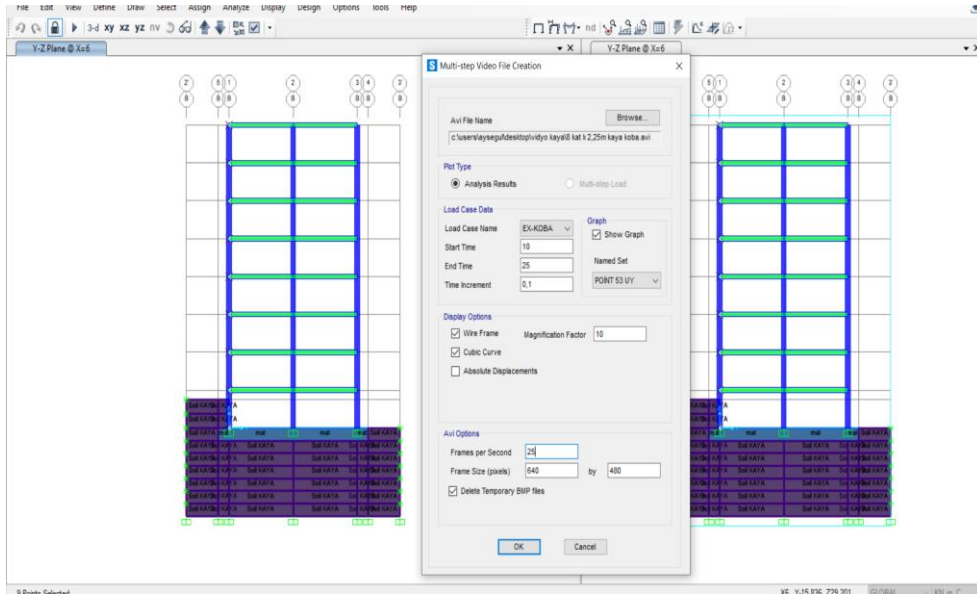
Kolon altından yükseklik	SZ08 kolonu		SZ02 kolonu	
	M3	V2	M3	V2
0m	8.39	29.14	671.78	226.78
0.75m	9.49	13.89	518.89	225.84
1.5m	86.65	294.94	366.6	224.28
2.25m	1361.11	3059.93	217.18	221.79
3m	106.07	1823.23	137.39	219.25
			Ortalama	223.588



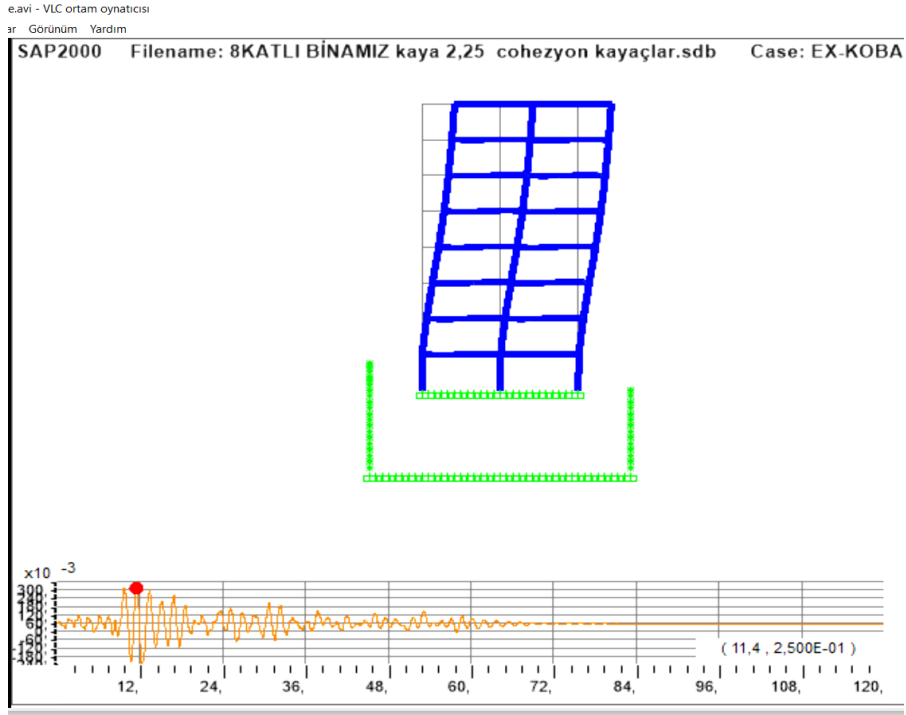
Şekil 109. Model 2c kat ötelenmeleri

Bu modelin 1B aksındaki kolonların 8 katlı bina için temelinden 8. kata kadar olan uy yönündeki ötelenmelerin çizgi grafik ile gösterimi Şekil 109’da verilmiştir. Birinci kattaki ötelenme değeri (46. Nokta) 0.0079m’dir. Zemin sert zemin olduğundan kolon yanındaki zemin binanın deprem esnasında ötelenmesine izin vermemekte, bu da kısa kolon oluşumuna neden olmaktadır. En üst katın ötelenmesi 53. noktada ise 0.329 metredir. Sert ve rijitliği fazla zeminler üzerine çok katlı ve periyodu büyük yapıların, yumuşak ve rijitliği az olan zeminlerin üzerine ise az katlı periyodu düşük yapıların yapılması gerekmektedir. Yumuşak zeminlerin üzerine düşük periyotlu yapıların yapılması durumunda bile, zemin yapı etkileşimi ihmal edilmeyecek derecede önemlidir. Yumuşak zeminler üzerinde inşa edilen rijit yapılarda yükseklik/genişlik oranı düşük tutulmalıdır. Yükseklik/genişlik oranının yapı zemin dinamik etkileşimi üzerindeki etkisi, oran arttıkça yer değiştirme genliğinde azalma ve periyotta uzama şeklinde görülmektedir. Bu oranın etkisi yumuşak zemin-rijit yapı durumunda iyice belirginleşirken, sert zemin esnek yapı durumunda ise söz konusu etki azalmaktadır (Kutanis, 2001)

Tüm modeller için 3 deprem kaydının deprem esnasındaki 53. noktadaki uy yönündeki yanal ötelenmelerin eklenmesi için Şekil 110’daki gibi değerler girilmiştir. Bu penceredeki zaman aralıkları depremlerin pik değerini gösterecek şekilde seçilmiştir.

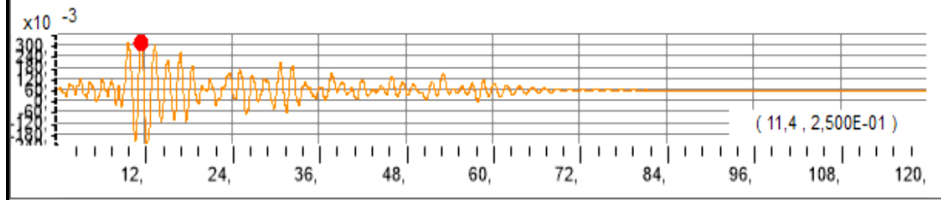


Şekil 110. Kat ötelenmesi için seçilen değerler

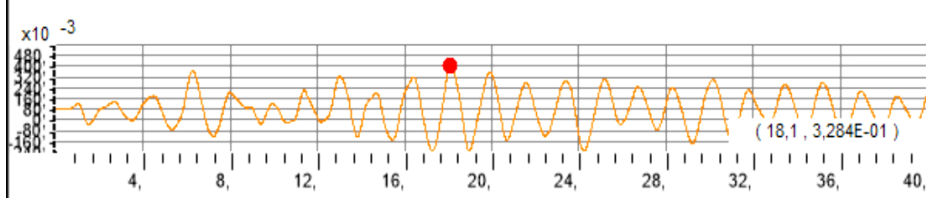


Şekil 111. Kobe Depremi etkisinde kat ötelenmeleri

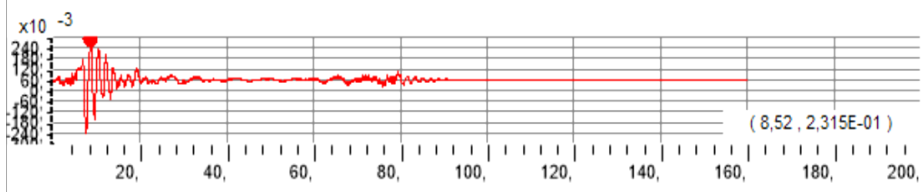
Kobe depremi etkisinde katların uy yönündeki yer değiştirme hareketi Şekil 111’de verilmiştir. Zamana göre 53. noktanın Kobe Depremi, Kocaeli Depremi ve El Centro Depremi için sırayla uy yönündeki ötelenmeleri Şekil 112, Şekil 113 ve Şekil 114’te verilmiştir.



Şekil 112. Model 2c Kobe Depremi kat ötelenmesi

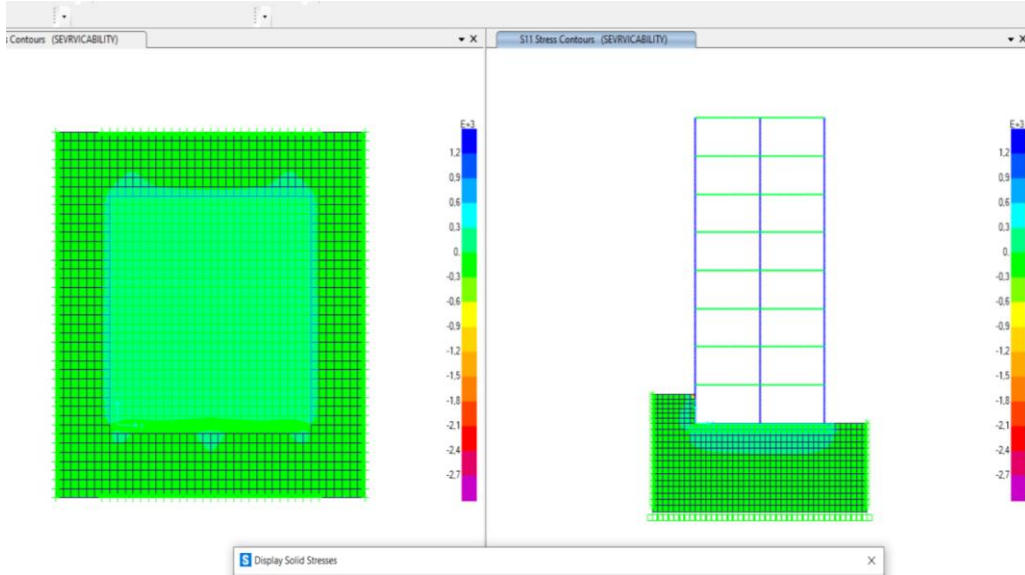


Şekil 113. Model 2c Kocaeli Depremi kat ötelenmesi

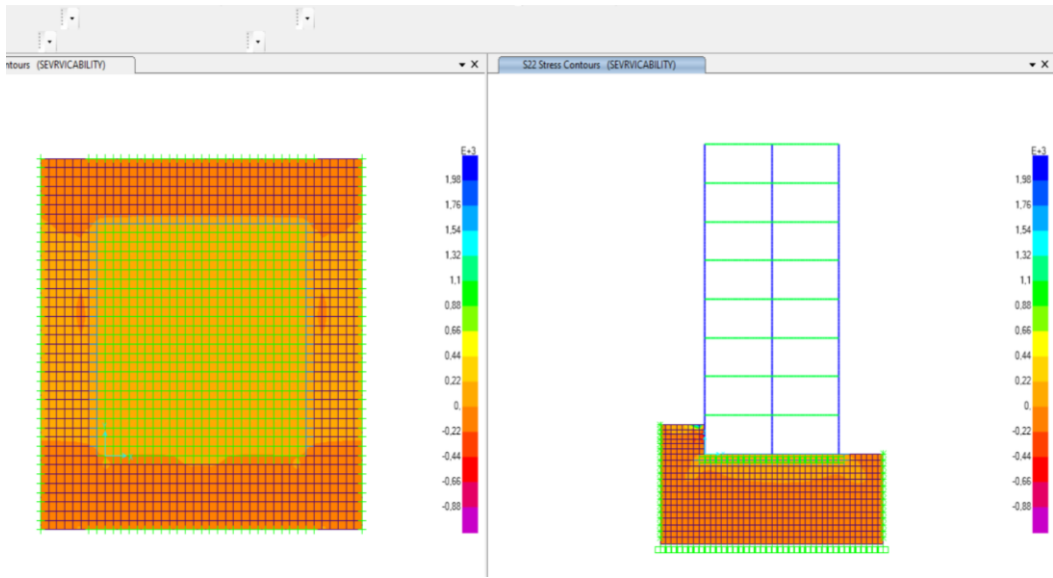


Şekil 114. Model 2c El Centro Depremi kat ötelenmesi

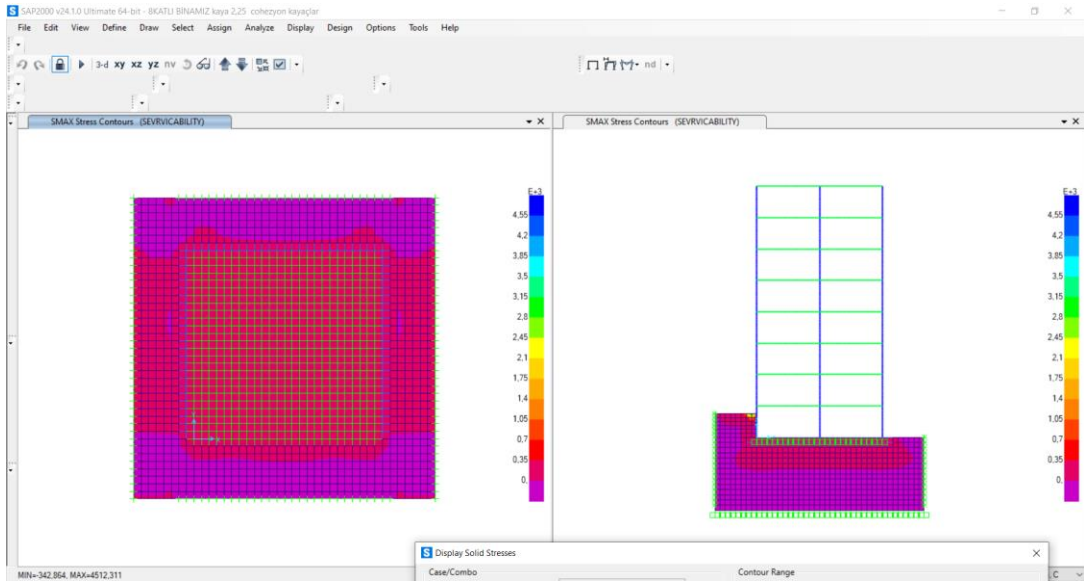
Zeminde oluşan gerilmeler incelendiğinde, S11 yönündeki gerilmeler Şekil 115, S22 yönündeki gerilmeler ise Şekil 116’da renklerle gösterilmiştir.



Şekil 115. Model 2c S11 zemin gerilmesi diyagramı

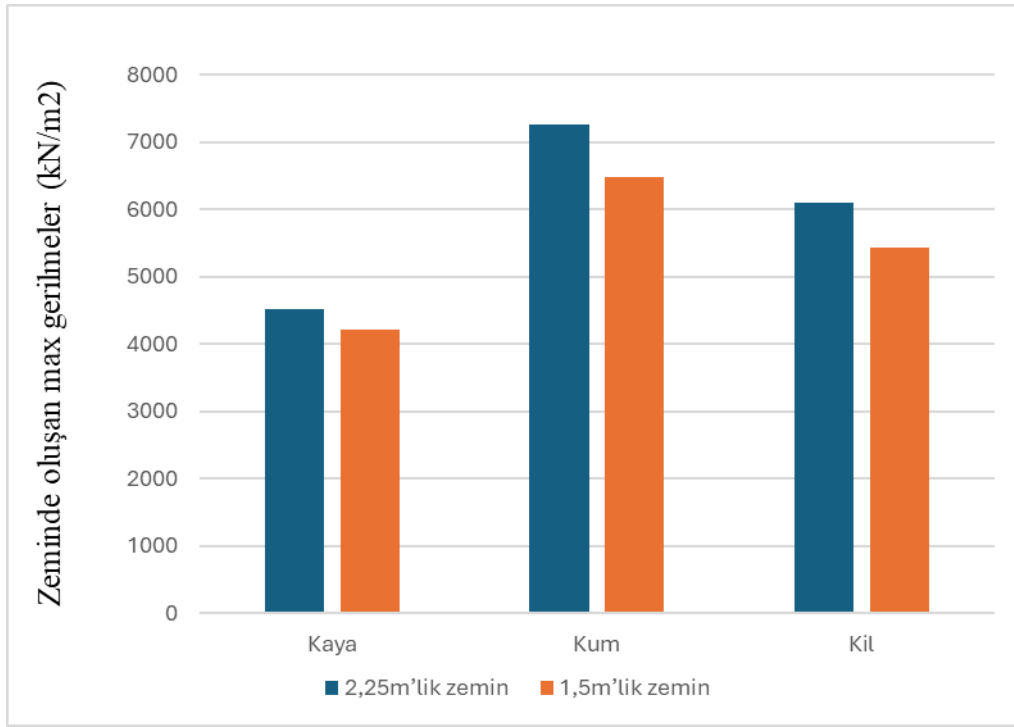


Şekil 116. Model 2c S22 zemin gerilmesi diyagramı



Şekil 117. Model 2c Smax zemin gerilmesi diyagramı

Soldaki modelde zeminin xy ekseninde 0. metredeki zeminde oluşan gerilmeler ve sağdaki modelde yz ekseninde oluşan gerilmelerin renklere göre görünümü Şekil 117’de verilmiştir. Kaya zemin için max gerilme: 4512.31 kN/m^2 ’dir.



Şekil 118. Tüm modellerin Smax zemin gerilmeleri

Şekil 118'deki analiz sonuçlarında, zeminin boyutu ve sertliğine bağlı olarak değişen maksimum zemin gerilmeleri gösterilmiştir. Zemin değerlerini girerken kullanılan birim hacim ağırlık, elastisite modülü, poisson oranı, kohezyon ve içsel sürtünme açısı ve seçilen zemin tipine göre Sap2000'de 6 farklı model oluşturulmuştur. Bu katı elemanı tasarlamak için girilen zemin değerlerine göre analiz sonuçlarında büyük farklılıklarının olduğu görülmüştür. Özellikle bina yanında zemin olduğu durumda zemin-yapı etkileşiminin hesaba katılmasının hayati derecede önemli olduğu aksi taktirde yapı ne kadar sağlam yapılsa da deprem esnasında kısa kolon oluşumu sonucunda binanın yıkılacağı açıktır. Analiz sonuçları incelendiğinde M ve V değerlerinde ve zeminde oluşan gerilme değerlerinde en yumuşak zemin olarak kumlu modellerin olduğu, en sert zeminin ise kaya modellerin olduğu görülmüştür. En çok hasarın sert zemin olan kaya modellerin en az hasarın ise yumuşak zemin olan kum modellerin olduğu tespit edilmiştir. (Ekinci ve Orakoğlu, 2013) Uniform yük altındaki zeminlerde oluşan gerilme değerlerinin derinlikle arttığı söylenebilir. Bunun temel nedenleri arasında zeminlerin konsolidasyon ve şişme özellikleri gösterilebilir. Bu tezde de 2,25m'lik modellerdeki max gerilme değerlerinin 1,5m'lik modellere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. (Tablo 14)

Tablo 14. Tüm modellerin Smax zemin gerilmeleri

SMAX kN/m ²	Kaya	Kum	Kil
2.25m'lik zemin	4512.31	7250.4	6095.31
1.5m'lik zemin	4215.34	6477.98	5438.35

Tablo 15. Tüm modellerin mod değerleri

Model 1a mod değerleri

Modal Analiz	T (Periyot)
Mod 1	1.87
Mod 2	1.87
Mod 3	1.51
Mod 4	0.59

Modal 2a mod değerleri

Modal Analiz	T (Periyot)
Mod 1	1.85
Mod 2	1.84
Mod 3	1.49
Mod 4	0.58

Model 1b mod değerleri

Modal Analiz	T (Periyot)
Mod 1	1.88
Mod 2	1.88
Mod 3	1.51
Mod 4	0.59

Model 2b mod değerleri

Modal Analiz	T (Periyot)
Mod 1	1.86
Mod 2	1.86
Mod 3	1.5
Mod 4	0.59

Model 1c mod değerleri

Modal Analiz	T (Periyot)
Mod 1	1.83
Mod 2	1.81
Mod 3	1.46
Mod 4	0.57

Model 2c mod değerleri

Modal Analiz	T (Periyot)
Mod 1	1.77
Mod 2	1.74
Mod 3	1.42
Mod 4	0.55

Modellere göre mod sayıları incelendiğinde 2.25m'lik modellerdeki mod değerlerinin 1.5m'lik modellere göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca en yüksek mod değerlerinin en yumuşak zemin olan kum modellerde olduğu, en düşük mod değerlerinin ise kaya zeminlere ait olduğu tespit edilmiştir. (Tablo 15) Derdiman (2013) yaptığı çalışmada, zeminin düşük elastisite modüllerine bağlı olarak yüksek yapıların salınım periyodunu önemli ölçüde değiştirebileceğini gözlemlemiştir. Ayrıca

yumuşak zeminlerin yapının periyodunu değıştirme oranının sert zeminlerden fazla olduğu, yapı yüksekliği arttıkça yapı periyodu üzerine zeminin etkisinin daha da arttığını ve bu durumun rezonans ihtimalini doğurabileceği kanaatine varmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde, ülkemizdeki depremlerin sonucunda özellikle zemine gömülü olan kolonlarda kısa kolon etkisinin nasıl oluşacağını incelemek amacıyla inşaatların yerinde uygulamalarını dikkate alarak, zemini katı eleman olarak üç farklı zemin türünü iki farklı boyutta modelleyerek zaman tanım analizi sonucunda kolonların davranışları incelenmiştir.

Analiz sonuçlarına göre, zeminin boyutu ve sertliğine bağlı olarak değişen maksimum zemin gerilmeleri gösterilmiştir. Zemin değerlerini girerken kullanılan birim hacim ağırlık, elastisite modülü, poisson oranı, kohezyon ve içsel sürtünme açısı ve seçilen zemin tipine göre Sap2000’de 6 farklı model oluşturulmuştur. Bu katı elemanı tasarlamak için girilen zemin değerlerine göre analiz sonuçlarında büyük farklılıklarının olduğu görülmüştür. Özellikle bina yanında zemin olduğu durumda zemin-yapı etkileşiminin hesaba katılmasının hayati derecede önemli olduğu aksi taktirde yapı ne kadar sağlam yapılsa da deprem esnasında kısa kolon oluşumu sonucunda binanın yıkılacağı açıktır.

Analiz sonuçları incelendiğinde M ve V değerlerinde ve zeminde oluşan gerilme değerlerinde en yumuşak zemin olarak kumlu modellerin olduğu, en sert zeminin ise kaya modellerin olduğu görülmüştür. En çok hasarın sert zemin olan kaya modellerin en az hasarın ise yumuşak zemin olan kum modellerin olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bina yanında bulunan zeminin yüksekliğinin de analiz sonuçlarını etkilediği 2.25m’lik modellerdeki max gerilme değerlerinin 1.5m’lik modellere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu tezde, 6 farklı model için elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Model 1a: Analiz sonuçlarına göre M ve V arasında büyük oranda fark olduğu görülmüştür. En önemli farklılık ise SZ08 kolonun 0. metredeki M değeri ile SZ02 kolonun 0. metredeki M değerinden 435.1 kNxm daha fazladır. SZ08 kolondaki kesme kuvveti 0. metrede 199.78 kN’dan %511 artışla 0.75metrede 1221.31 kN’a ulaşmıştır. 1.5m de ise bu değer %57 azalarak 523.1 kN’a inmiştir. 1.5m’den sonra kesme kuvveti %50 artarak 2.25 metrede 785.94 kN’a ulaşmıştır. Killi zeminde bile zemin için girilen değerlerden dolayı özellikle elastisite modülü ve kohezyon etkisi ile kolondaki kesme kuvveti değişimi fazla olmuştur.

Model 1b: SZ08 ve SZ02 kolonlarının M ve V değerleri yaklaşık değerlerde çıktığı görülmüştür. SZ08 kolonun 0. metredeki M değeri ile 2. kolonun M değeri arasında görülen 197.59 kNxm, en çok farklılığın olduğu kısımdır. SZ08 kolonun

kesme kuvvetine bakılırsa 0. metrede 470.41 kN'dan %34 artarak 0.75 metrede 630.98 kN'a ulaşmıştır.

Model 1c: M ve V değerlerinin birbirinden çok farklı olduğu görülmüştür. . SZ02 kolonun 0. metredeki M değeri, SZ08 kolonun 0. metredeki M değerinin yaklaşık 34 katıdır. SZ08 kolonun moment değerleri 0.75m de 69.41 kNxm iken %1887 artışla 1.5 metrede 1379.53 kNxm olmuştur. 2.25 metrede ise zemin olmadığından kesme kuvveti 3'te birine düşmüştür. Bu şekilde ani değişen M ve V diyagramlarına göre yapıda kısa kolon oluşturacağı açıktır.

Model 2a: SZ08 kolonun M ve V diyagramlarının birbirinden çok farklı olduğu görülmüştür. SZ08 kolonun 0. metredeki momenti SZ02 kolonun 0. metredeki değerinden 807.34 kNxm daha az olduğu görülmüştür. SZ08 kolonun kesme kuvveti 0. metrede 173 kN'dan (5 kattan daha fazla artarak) %443 artışla 0.75 metrede 944.85 kN'a ulaştığı, 1.5m de ise %8'i kadar bir değere düştüğü yani büyük oranda kesme kuvveti değişiminin olduğu görülmüştür. Zemin 2.25m'den sonra olmadığı içinde kesme kuvveti SZ08 kolonu 2.25m'de %194 artışla 3. metrede 922.48 kN'a ulaştığı görülmüştür. Killi zeminde bile kısa kolon oluşacağı açıktır.

Model 2b: SZ08 kolon ile SZ02 kolonun M ve V değerleri arasında fark olduğu görülmüştür. SZ08 kolonun 0. metredeki moment değeri ile SZ02 kolonun moment değeri arasında 455.49 kNxm fark oluşmuştur. SZ08 kolonundaki kesme kuvveti 0. metrede %87 artışla 0.75 metrede 604.66 kN'a ulaşmıştır. Aynı zamanda SZ08 kolondaki V değeri 2.25 metrede (2.25m'den sonra zemin olmadığından) 239.92 kN'dan %243 artarak 3. metrede 852.2 kN'a ulaşmıştır. Burada ciddi oranda kesme kuvveti farklılığı görülmüştür. Bu kesme kuvveti değeri farklılığı dikkate alınmadan yapılan kolonlarda deprem esnasında kısa kolon oluşturacağı açıktır.

Model 2c: SZ08 kolonda M ve V değerleri 2.25m'ye kadar çok düşük olduğu, örneğin 0. metrede 8.39 kNxm iken SZ02 kolonun 0. metredeki momenti yaklaşık 80 katı kadar 671.78 kNxm'dir. Ayrıca SZ08 kolonunun kesme kuvveti 1.5m de 294.94 kN'dan % 937 artarak 2.25 metrede 3059.93 kN'a ulaşmıştır. Bu ciddi oran kısa kolon oluşturacağını göstermektedir. Zemin sert yapıda olduğundan kolonun zemin olmayan 2.25m'den sonraki kısmın kesme kuvveti değeri yaklaşık yarısı kadar azalmıştır. Tabloya genel olarak bakılırsa SZ08 kolonla SZ02 kolonun M ve V değerleri arasında ciddi oranda farklılık görülmüştür. Bu modelde kısa kolon oluşacağı açıktır.

Zeminimiz yumuşak zemin olduğu durumda kolonun yanındaki zemin esnek davrandığı için deprem sırasında yatay yöndeki ötelenmelere izin vermiştir. Bu durumda kolon çok fazla zorlanmayacak ve kısa kolon oluşturma ihtimali azalacaktır.

Yerinde yapılan bina inşaatlarında ise, kolonların yanında derz boşluğu bırakılması ve kolonla zeminin bir bütün halinde devam etmemesi gerektiğini ortaya çıkarmıştır. Araştırma sonucunda dolgu malzemeleri ile bu bölgelerin esnek bir malzemeyle doldurulması durumunda, kolonda kısa kolon oluşturma ihtimalinin azaldığı görülmektedir. Ancak yerinde yapılan uygulamaların farklılık gösterdiği unutulmamalıdır. Zemin yumuşak olsa bile yatay yönden gelen kısıtlamalar ve baskılarla bile kısa kolon oluşumu görülebilmektedir. Örneğin ana yolun yanında bulunan bir zemine yaslanan binanın yer altı suyu ile doygun hale gelmesiyle zemin parametrelerinin değişmesi durumu göz önünde bulundurularak zeminle yapı birlikte modellenmelidir.

Modellere göre mod sayıları incelendiğinde 2.25m'lik modellerdeki mod değerlerinin 1.5m'lik modellere göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca en yüksek mod değerlerinin en yumuşak zemin olan kum modellerde olduğu, en düşük mod değerlerinin ise kaya zeminlere ait olduğu tespit edilmiştir.

Kat ötelenmelerinde ise özellikle birince kattaki (46. nokta) ötelenme değerleri arasında belirgin fark oluşmuştur, zeminin yumuşak ve sert oluşuna göre ötelenme miktarı değişmiştir. Zeminin sert zemin kaya örneği için ötelenme değerleri diğer zeminlere göre daha düşük çıkmıştır. Bu da deprem esnasında kolon yanındaki zemin sert zemin olduğunda kolonun hareket etmesini engellemekte, kısa kolon oluşumuna neden olmaktadır.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda zemine kısmen gömülü olan kolonlardaki kısa kolon etkisini araştırırken, farklı yükseklikte binaların sonuçları incelenebilir. Farklı kolon boyutlarındaki sonuçlar karşılaştırılabilir. Farklı zeminlerin sonuçlarına bakılabilir.

KAYNAKÇA

- Ada, M. (2020). Bina grupları üzerindeki yapı-zemin-yapı etkileşiminin incelenmesi. *Doktora tezi, Ulusal Tez Merkezi, Tez No:61866*.
- Alemdağ, S., Cinoğlu, A., ve Gacener, E. (2017). Zeminlerin emniyetli taşıma kapasitesinin belirlenmesinde oturma miktarının önemi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 154, 171 -183.
- Anand, V., ve Kumar, S. R. S. (2018). Seismic soil-structure interaction: A state-of-art review. *Stuctures*, 16, 317-326.
- Araz, O., Çakır, T., Öztürk, K. F., ve Kaya, D. (2023). Effect of foundation embedment ratio in suppressing seismic-induced vibrations using optimum tuned mass damper. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 171, 1-14.
- Aslan, A., ve Şahin, A. (2016). Karmaşık geometriye sahip tarihi yapıların modellemesi için bir yaklaşım-Süleymaniye Camii örneği. *Yapı Dünyası*, 44-53.
- Atasoy, S. (2014). Yumuşak zeminlerde yapılan betonarme binaların deprem davranışına bodrum kat etkisi. *Akademik Platform*, 45-54.
- Avcıoğlu, O. (2015). İki parametrelili zemine oturan betonarme yapıların doğrusal olmayan hesabı ve görsel tabanlı bir bilgisayar yazılımı Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Aydemir, M. E. (2012). Soil structure interaction effects on multistorey R/C structures. *International Journal of Electronics, Mechanical and Mechatronics Engineering (IJEMME)*, 2(3), 298-303.
- Bolhassani, M., Hamid, A. A., Johnson, C., ve Schultz, A. E. (2016). Shear strength expression for partially grouted masonry walls. *Engineering Structures*, 127, 475-494.
- Çağatay, İ. H., ve Beklen, C. (2009). Düzlem çerçevelerde kısa kolon etkisinin incelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24(1).
- Çağlar, N., Garip, Z. Ş., ve Yaman, Z. D. (2005). Deprem etkisindeki betonarme yapılarda yapı-zemin etkileşimi. *Deprem Sempozyumu*. 1089-1096.
- Çetinkaya, M. Y., Çelebi, E., ve Kırtel, O. (2017). Yapı-temel-zemin sismik etkileşim probleminin Adapazarı bölgesi için empedans fonksiyonları yardımıyla analizi. *Politeknik Dergisi*, 20(2), 325-332.

- Chouw, N. (2002). Influence of soil-structure interaction on pounding response of adjacent buildings due to near-source earthquakes. *Journal of Applied Mechanics*, 2002, Cilt 5, Sayfalar 543-553. J-STAGE'de 17 Mart 2010.
- Derdiman, M. K. (2013). Farklı özelliklere sahip zeminlerin betonarme yüksek yapılarında yapı salınım periyoduna etkisi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(2), 9-15.
- Demir, S., Hüsem, M., Altın, S., Pul, S., Bıkçe, M., ve Emsen, E. (2013). Mevcut betonarme yapılarda kısa kolon davranışlarının iyileştirilmesi. 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 25-27.
- Demir, F., ve Korkmaz, K. A. (2012). Yapı-zemin etkileşiminin yapıların deprem davranışına etkileri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(1), 12-17.
- Ekinci, C. E., ve Orakoğlu, M. E. (2013). Zemin Gerilmelerinin Sayısal Gerilme Çözümlemesi Yöntemiyle Tahmini. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 5(1), 121-127.
- Gülkan, P. (1993). Farklı toprak modelleme kriterlerinin SSI analizine etkisi. In *Dinamik Toprak-Yapı Etkileşimindeki Gelişmeler*, Dordrecht: Springer. 179-217.
- Hamarat, M. A. (2012). İki parametrelili zeminler üzerine oturan yapı sistemlerinin dinamik analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Hassani, N., Bararnia, M., ve Amiri, G. G. (2018). Zemin-yapı etkileşiminin, bozulan yapıların elastik olmayan yer değiştirme oranlarına etkisi. *Zemin Dinamiği ve Deprem Mühendisliği*, 104, 75-87.
- Işık, E., Ulutaş, H., Harirchian, E., Avcil, F., Aksoylu, C., ve Arslan, M. H. (2023). Performance-based assessment of RC building with short columns due to the different design principles. *Buildings*, 13(3), 750.
- Işık, G. (2006). Betonarme binaların zemin katında oluşabilen kısa kolon ve yumuşak kat davranışının incelenmesi Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- 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., ve Özgan, K. (2018). Deprem yükü etkisindeki betonarme yapıların tasarımında yapı-zemin etkileşiminin incelenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi* 2018; 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.
- Kutanis, M. (2001). Yapı-zemin dinamik etkileşimi Doktora tezi, Sakarya Üniversitesi, Turkey.
- Lu, Y., Hajirasouliha, I., ve Marshall, A. M. (2016). Performance-based seismic design of flexible-base multi-storey buildings considering soil–structure interaction. *Engineering Structures*, 108, 90-103.
- Mamuk, F. (2010). Üç Boyutlu Dinamik Zemin-yapı Etkileşimi Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Meral, E. (2019). Betonarme Binalarda Kısa Kolon Etkilerinin Araştırılması. *International Journal of Engineering Research and Development*, 11(2), 515-527.
- Mutlu, M. (2007). Deprem etkisindeki betonarme binalarda kısa kolon etkisinin doğrusal olmayan davranışının incelenmesi Doktora tezi, Sakarya Üniversitesi, Turkey.
- Özgan, K., Kılıçer, S., Daloğlu, A. T., ve Karakaş, A. İ. (2016). Yapı zemin etkileşiminin betonarme yapıların tasarımına etkisi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 18(53), 139-152.
- Özmen, H. B. (2005). Hızlı değerlendirme yöntemlerinde kullanılan parametrelerin yapı performansı üzerindeki etkilerinin incelenmesi Yüksek Lisans tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Parmelee, R. A. (1967). Building-foundation interaction effects. *Journal of the Engineering Mechanics Division*, 93(2), 131-152.
- Renzi, S., Madiati, C., ve 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.
- Resmî Gazete (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (18 Mart 2018 Pazar) Sayı:30364.
- Siyahi, B., Çetin, K. Ö., ve Bilge, H. T. (2013). Geoteknik deprem mühendisliği açısından zemin-temel-yapı etkileşimine kritik bakış. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 484, 41-50.
- Şahrur, A. (2020). Farklı bazalt agrega içerikleri kullanılarak sabit ve kısa kolon etkilerinin kayma davranışı. *İnşaat Mühendisliği Dergisi*, 32, 101508.

- Tayfur, B., ve Can, Ö. (2018). Farklı yüksekliğe sahip boşluklu perde duvarlara ait davranış eğrilerinin SAP2000 OAPI ile elde edilmesi. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 6(3), 84-91.
- Tomeo, R., Pitilakis, D., Bilotta, A., ve Nigro, E. (2018). SSI effects on seismic demand of reinforced concrete moment resisting frames. *Engineering Structures*, 173, 559-572.
- Tuncay, E. (2012). JEO 357 Kayaç Mekaniği Ders Notları. Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Hacettepe Üniversitesi.

ÖZGEÇMİŞ

Lise eğitimini Mareşal Çakmak Sosyal Bilimler Lisesi'nde 2013 yılında tamamlamıştır. Üniversite eğitimini ise Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü bitirerek yılında tamamlamıştır. İş hayatında ise ili Merkez'de bulunan Kuşakkaya Yapı Denetim Ltd. Şti.'de (2019-2022) Yardımcı Kontrol Elemanı olarak çalışmıştır. SAP2000, STA4CAD, AutoCAD kurslarından eğitim almış ve bu programları tez ve ödevlerde kullanmıştır. Bilgisayar İşletmenliği Kursu, KOSGEB Katılım Belgesi vs. gibi sertifikaları bulunmaktadır. Gümüşhane Üniversitesi'nde 2020 yılında Yüksek Lisansa başlamıştır. 2021 yılında evlenmiştir.