

**T.C.
CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MEKANİK BİLİM DALI**

**HOMOJEN OLMAYAN ZEMİNDE FARKLI YAY KATSAYISI
ORANLARINA GÖRE STA4CAD VE ABAQUS PROGRAMI İLE
STATİK ANALİZİ**

Zafercan ATACAN

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Abdulkerim ERGÜT**



MANİSA-2016

**Zafercan
ATACAN**

**HOMOJEN OLMAYAN ZEMİNDE FARKLI YAY KATSAYISI ORANLARINA GÖRE
STA4CAD VE ABAQUS PROGRAMI İLE STATİK ANALİZİ**

2016

TEZ ONAYI

Zafercan ATACAN tarafından hazırlanan ‘**Homojen Olmayan Zeminde Farklı Yay Katsayısı Oranlarına Göre Sta4cad ve Abaqus programı ile Statik Analizi**’ adlı tez çalışması 25.01.2016 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Mekanik Anabilim Dalı**’nda YÜKSEK LİSANS tezi olarakile savunulmuştur.

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Abdulkerim ERGÜT

Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Gökhan ALTINTAŞ

Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Soner ŞEKER

Uşak Üniversitesi

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Zafercan ATACAN



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	II
ŞEKİLLER DİZİNİ	III
TABLO DİZİNİ.....	IV
GRAFİK DİZİNİ.....	V
TEŞEKKÜR	VI
ÖZET	VII
ABSTRACT.....	VIII
1. GİRİŞ	1
2. STA4CAD PROGRAMINDA RADYE TEMELLERİN SONLU ELEMENLAR ANALİZİ	2
2.1. Homojen Zeminde Farklı Plak Kalınlıklarına Göre Statik Analiz.....	3
2.2. Homojen Olmayan Zeminde Farklı Yay Katsayısı Oranlarına Göre Statik Analiz.....	5
3. ABAQUS PROGRAMINDA RADYE TEMELLERİN SONLU ELEMENLAR ANALİZİ	10
3.1. Homojen Olmayan Zeminde Farklı Yay Katsayısı Oranlarına Göre Karşılaştırmalı Statik Analiz	10
3.2. Homojen Olmayan Zeminde Farklı Yay Katsayısı Oranlarına Göre Dinamik Analiz	12
3.3. Farklı Mesnetlenme Durumlarına Göre Dinamik Analiz.....	12
4. HOMOJEN OLMAYAN ELASTİK ZEMİNLERE OTURAN YAPISAL TAŞIYICI SİSTEMLERİN ANALİZDE KULLANILAN YAPISAL TASARIM PROGRAMLARININ, AKADEMİK SONLU ELEMENLAR PROGRAMLARI İLE ÇÖZÜMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI VE DİNAMİK PARAMETRELERİNİN TAYİNİ	14
4.1. Elastik Zemin Üzerine Oturan Plak Sisteminin Zemin Kütlesinin de Dahil Edildiği Analizlerle Doğal Frekanslarının İncelenmesi.....	14
4.1.1. Plak ve Zemin Materyallerinin Kütlesel Oranlarına Bağlı Olarak Elastik Zemine Oturan Plak Sisteminin Doğal Frekanslarının Belirlenmesi	14
4.1.2. Plak ve Zemin Materyallerinin Ağ Yapılarına Bağlı Olarak Elastik Zemine Oturan Plak Sisteminin Doğal Frekanslarının Belirlenmesi.....	35
4.1.3. Plak ve Zemin Materyallerinin kütlesel Oranlarına Bağlı Olarak Elastik Boşluk Bulunan Zemine Oturan Plak Sisteminin Doğal Frekanslarının Belirlenmesi.....	38
5. EKLER.....	45
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	79
KAYNAKLAR.....	80
ÖZGEÇMİŞ.....	82

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

K_o	Plağın Orta Bölge Mesafesi
K_s	Plağın Kenar Bölge Mesafesi
K	Zemin Yatak Katsayısı (t/m ³)
mm	Milimetre
t	Ton
m	Metre
N	Newton
M_p	Plağın Kütle Yoğunluğu
M_z	Zeminin Kütle Yoğunluğu
Cycle/time	Hertz

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. 10x10 Metrelik Plağın Sta4cad Programından Zemin Gerilmesi Dağılışı.....	4
Şekil 2.2. Plağın Yay Bölgeleri	5
Şekil 2.3. Sta4cad Programından Alınan Plak Gerilmeleri.....	9
Şekil 3.1. Abaqus Programından Alınan Plak Gerilmeleri	11
Şekil 3.2. Abaqus Programından Alınan 1 Metrelik Kenar Mesafeye Göre Frekans Şekilleri.....	13
Şekil 5.1. Mod 1.....	69
Şekil 5.2. Mod 2.....	70
Şekil 5.3. Mod 3.....	71
Şekil 5.4. Mod 4.....	72
Şekil 5.5. Mod 5.....	73
Şekil 5.6. Mod 6.....	74
Şekil 5.7. Mod 7.....	75
Şekil 5.8. Mod 8	76
Şekil 5.9. Mod 9.....	77
Şekil 5.10. Mod 10.....	78

TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Farklı Zemin Sınıflarına Göre Plağın Orta Noktasının Çökme ve Zemin Gerilmesi Değerleri	4
Tablo 2.2. Farklı Zemin Sınıflarına Göre Plağın Orta Noktasının Analiz Sonuçları	6
Tablo 3.1. Farklı Zemin Sınıflarına Göre Plağın Orta Noktasının Çökme Değerlerinin Karşılaştırılması	10
Tablo 3.2. Farklı Mesnet Sınıflarına Göre Frekans Değişim Değerleri.....	12
Tablo 4.1. Plak Kütlesinin Zemin Kütlesine Olan Oranı	16
Tablo 4.2. Plak Kütlesinin Zemin Kütlesine Olan Oranı	18
Tablo 4.3. Plak Kütlesinin Zemin Kütlesine Olan Oranı	19
Tablo 4.4. Plak Kütlesinin Zemin Kütlesine Olan Oranı	21
Tablo 4.5. Plak Kütlesinin Zemin Kütlesine Olan Oranı	22
Tablo 4.6. Plak Kütlesinin Zemin Kütlesine Olan Oranı	24
Tablo 4.7. Plak Kütlesinin Zemin Kütlesine Olan Oranı	26
Tablo 4.8. Plak Kütlesinin Zemin Kütlesine Olan Oranı	28
Tablo 4.9. Plak Kütlesinin Zemin Kütlesine Olan Oranı	29
Tablo 4.10. Plak Kütlesinin Zemin Kütlesine Olan Oranı	30
Tablo 4.11. Plak Kütlesinin Zemin Kütlesine Olan Oranı	32
Tablo 4.12. Plak Kütlesinin Zemin Kütlesine Olan Oranı	34
Tablo 4.13. Plak Kütlesinin Zemin Kütlesine Olan Oranı	35
Tablo 4.14. Plak Kütlesinin Zemin Kütlesine Olan Oranı	38
Tablo 4.15. Plak Kütlesinin Zemin Kütlesine Olan Oranı	43
Tablo 4.16. Plak Kütlesinin Zemin Kütlesine Olan Oranı	44

GRAFİKLER DİZİNİ

	Sayfa
Grafik 2.1. Yay Katsayısı Çökme Değeri Değişim Grafiği	5
Grafik 2.2. Ks/Ko Oranına Göre Orta Nokta Çökme Değerleri Değişimi Grafiği.....	7
Grafik 2.3. Ks/Ko Oranına Göre Plak Orta Nokta Gerilme Değerleri Değişimi Grafiği.....	7
Grafik 2.4. Ks/Ko Oranına Göre Zemin Orta Nokta Gerilme Değerleri Değişimi Grafiği.....	8
Grafik 3.1. Kenar Bölge Genişliğine Göre Frekans Değişim Grafiği.....	13
Grafik 4.1. Zeminin Kütle Yoğunluğu Azaltılarak Yapılan Frekans Analizi ..	16
Grafik 4.2. Zeminin Tüm Boyutları 30 Metre Alınarak Yapılan Frekans Analizi.....	17
Grafik 4.3. Zeminin Tüm Boyutları 20 Metre Alınarak Yapılan Frekans Analizi.....	19
Grafik 4.4. Zeminin Tüm Boyutları 10 Metre Alınarak Yapılan Frekans Analizi.....	20
Grafik 4.5. Dört Örneğin Mod 4 Frekansları.....	21
Grafik 4.6. Zeminin 'h'ı 30 Metre Alınarak Yapılan Frekans Analizi	23
Grafik 4.7. Zeminin 'h'ı 20 Metre Alınarak Yapılan Frekans Analizi	25
Grafik 4.8. Zeminin 'h'ı 10 Metre Alınarak Yapılan Frekans Analizi	27
Grafik 4.9. "H" boyutunun 30, 20 ve 10 Metredeki Mod 5 Frekansları.....	28
Grafik 4.10. Zeminin a-b Boyutu 30 Metre Alınarak Yapılan Frekans Analizi.	30
Grafik 4.11. Zeminin a-b Boyutu 20 Metre Alınarak Yapılan Frekans Analizi.	32
Grafik 4.12. Zeminin a-b Boyutu 10 Metre Alınarak Yapılan Frekans Analizi.	33
Grafik 4.13. Örnek 8, 9, 10'un Mod 7 eğrisi.....	34
Grafik 4.14. Zeminin Mesh'i Azaltılarak (Eleman Sayısı Arttırılarak) Yapılan Frekans Analizi	37
Grafik 4.15. Plagın Altındaki Zeminde 5 m ³ Boşluk Varken Yapılan Frekans Analizi.....	43
Grafik 4.16. 5 m ³ Boşluklu ve Boşluksuz Zemin Parçası Frekansları	44

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Abdulkirim ERGÜT'e, bilgi ve tecrübesi ile lisansüstü öğrenim hayatımın tüm zorlu aşamalarında maddi manevi her yönden yardımcı olan, tecrübeleri ile beni aydınlatan ve desteğini hiç eksik etmeyen, kendisini tanımaktan büyük onur duyduğum sevgili hocam Sayın Prof. Dr. Gökhan ALTINTAŞ' a, öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan aileme yürekten teşekkür ederim.

Zafercan ATACAN
Manisa, 2016



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Homojen Olmayan Zeminde Farklı Yay Katsayısı Oranlarına Göre Sta4cad ve Abaqus programı ile Statik Analizi

Zafercan ATACAN

**Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mekanik Anabilim Dalı**

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Abdulkerim ERGÜT

Yapılan çalışmada yapısal tasarım programlarının hızlı analizlerinden faydalanılarak plakların farklı koşullardaki statik ve dinamik analizleri yapıp karşılaştırılmıştır.

Birinci bölümde homojen ve homojen olmayan zeminlerin statik analizleri yapılmış olup bu analizler karşılaştırılıp yorumlanmıştır. İkinci bölümde de homojen olmayan zeminlere farklı yay katsayılarına göre statik ve dinamik analizler yapıp, karşılaştırılmıştır. Üçüncü bölümde ise plakların ve elastik zeminin kütleli oranlarına göre dinamik analizleri yapıp yorumlanmıştır.

Bu rapor inşaat mühendisliği uygulamalarında yapısal taşıyıcı sistemlerin tasarımında kullanılan programlar ile akademik sonlu elemanlar programlarının karşılaştırılmasını amaçlar. Yapılan çalışmada yapısal tasarım programlarının analizlerinden faydalanılarak plakların farklı koşullardaki statik ve dinamik analizleri karşılaştırılmıştır. Söz konusu farklı koşullar günümüzde inşaat mühendislerinin yapı ruhsatı aşamasından önce edindiği zemin bilgilerine, ekonomik dizayn kriterlerine ve mimari sebeplere bağlı olarak oluşabilir.

Anahtar kelimeler;

Homojen olmayan mesnetlenme durumu, elastik zemin, düzlemsel taşıyıcı, doğal frekans.

ABSTRACT

Static Analysis of a Non-uniform Soil with Sta4cad and Abaqus considering the different spring constant

In this study, it has compared both static and dynamic analysis results of stratum in different conditions by utilizing the rapid analysis of the programs.

In the first section, the static analysis of uniform and non-uniform soils performed and the results discussed by comparing each other. In the section two, the static and dynamic analysis of the non-uniform soils with different spring constants carried out and the results compared. Lastly, in the third section, the dynamic analysis of soil layers and elastic soils performed by considering the mass proportions of the soil.

The aim of this report is to compare the programs which are used in engineering application for modelling the structural load-bearing systems to the academic finite elements programs. In this case of study, the static and dynamic analysis results of soil layers in different conditions were compared with the help of structural modelling program analysis. It might develop these different conditions in modern civil engineering because of the soil information's which obtain before the construction permit, economical design criteria's and architectural reasons.

Keywords;

Non-uniform support, elastic soil, plane load-bearing, natural frequency.

1.GİRİŞ

Salt mekanik bakış açısı ile inşaat mühendisliğindeki temel pabuç plakası veya zemine doğrudan oturan düzlemsel yapı elemanlarının karşılığı olan elastik zemine oturan plak titreşimi analizleri uzun süredir güncelliğini ve önemini koruyarak akademik makalelere konu olmaktadır [1-4]. Bu çalışmalara ilave olarak son dönemde özellikle homojen olmayan mesnet veya zeminlere oturan sistemler güncel araştırma konuları olarak araştırma makalelerinde yerini almaktadır [5-14]. Mekanik bilim dalında yayınlanan söz konusu araştırma makaleleri göstermiştir ki homojenliği bozan mesnet parametreleri doğal titreşim sonuçları üzerinde önemli etkileri olduğu ortaya konmuştur. Ancak mekanik bilim dalında tespit edilen bu ve benzeri tespitlerin pratik uygulama alanlarında ki çalışmalarda dikkate alınmaları çoğu kez uzun zaman almaktadır. Teorik ve pratik çalışmaların sonuçlarının birleştirilmesi ve karşılaştırmalı sonuçların irdelenmesi insan hayatını doğrudan ilgilendirmesi ve deprem gibi problemlere karşı çözümler üretilmesi inşaat mühendisliği çalışma alanı için çok önemlidir.

Gerçekleştirilen tez kapsamında inşaat mühendisliği alanında son kullanıcıya yönelik hesaplamalarda kullanılan içinde çok sayıda kabul içeren bilgisayar programlarının genel amaçlı konuya özel kabuller içermeyen sonlu elemanlar esaslı programlar ile karşılaştırılması ana amaç olarak belirlenmiştir. Diğer taraftan zeminin bir kısmının da fiziksel parametreleri ile analize dahil edildiği son kısımdaki analizlerde şartnamelerde yer almayan ancak doğal titreşimlerde önemli farklılıklar ortaya çıkması muhtemel analizler yapılmıştır. Yapılan analizlerde ülkemizde yaygın kullanımı olan yapısal analiz ve tasarım programı STA4CAD ile genel amaçlı sonlu elemanlar programı olarak da ABAQUS programı kullanılmıştır.

2. STA4CAD PROGRAMINDA RADYE TEMELLERİN SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

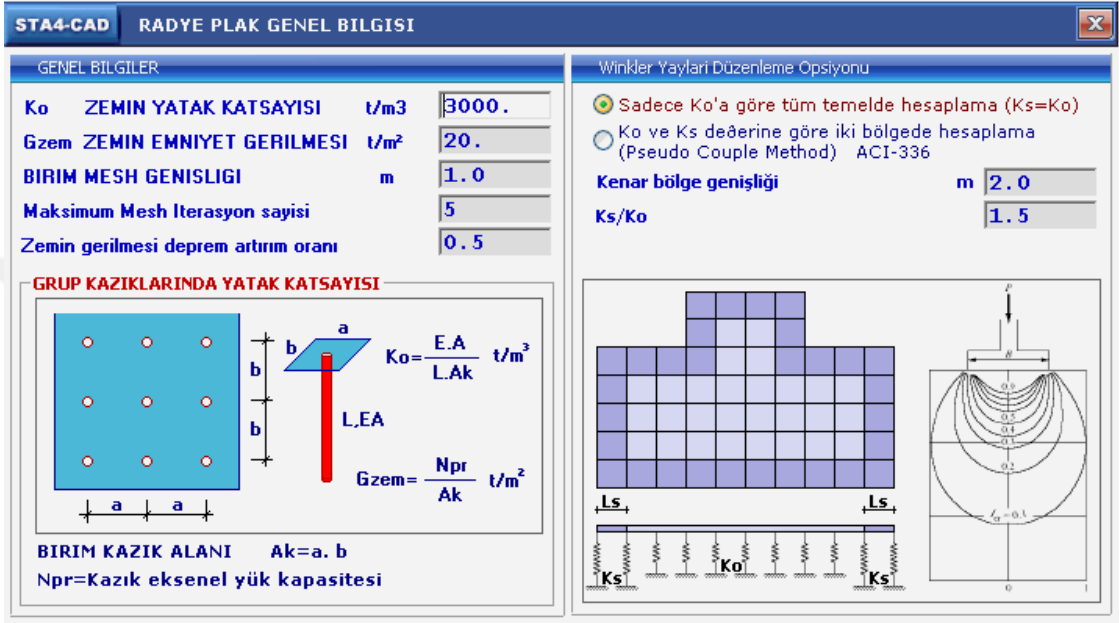
Çalışmanın ilk bölümünde STA4CAD programı ile 10 x 10 metrelik plak üzerinde homojen olan ve olmayan zeminlerde, farklı plak kalınlıkları ve yay katsayıları ile statik çözümleme yapılmış ve elde edilen sonuçlar tablo ve grafik halinde sunulmuştur.

STA4CAD Radye Programı; radye plağa ait koordinat, zemin emniyet gerilmesi, yatak katsayısı, malzeme bilgilerini ana veri dosyasından alır. Bu yüzden radye plak önce ana veri dosyasında girilmeli, daha sonra radye plak programına geçilmelidir.

Temelini 10 x 10 metrelik radye plak olarak çözmek istediğimiz projenin radye plak bilgileri girilir. Radye Plak bilgileri STA4 BİLGİ GİRİŞİ kısmında veya STAMENU üzerinde bulunan TEMEL HESAPLARI kısmında girilebilir. Ancak her iki durumda da STA4 BİLGİ GİRİŞİ'NDE bulunan opsiyon menüsüne gidilerek Yapı ile temelin birbirinden ayrı çözümünü sağlayan ikon aktifleştirmelidir. Radye plak bilgisi girildikten sonra saklanır. Temel analizi veya zemin optimizasyonu yaptırılmaz. STAMENU' ye dönlür.

STAMENU üzerinde yanda da görülen RADYE TEMELLERİN FEA ANALİZİ tuşu tıklanarak Radye Plak Hesabı Ana Menüsüne geçilir. GENEL RADYE BİLGİSİ tuşu tıklanır. Menüdeki yatak katsayısı ve zemin emniyet gerilmesi değerleri aktif projeden alınmıştır. Birim mesh genişliği default olarak 1 m. Girilmiştir tıklanır. Menüdeki yatak katsayısı ve zemin emniyet gerilmesi değerleri aktif projeden alınmıştır. Birim mesh genişliği default olarak 1 m. girilmiştir.

Homojen olmayan zeminler için 10 x 10 metrelik plak analizimizde Winkler yayları düzenleme opsiyonunu da **Pseudo Couplin Methodu** da kullanılmıştır. Bu yöntem ACI-336'da 3 bölgeden oluşturulmuş, özellikle kenar bölgelerdeki boşta olan zeminin temel kenarına eğik yay olarak katkısını ifade etmektedir. Kenar bölgede yaylar daha rijitleştiği için zemin gerilmesi de azalacaktır.



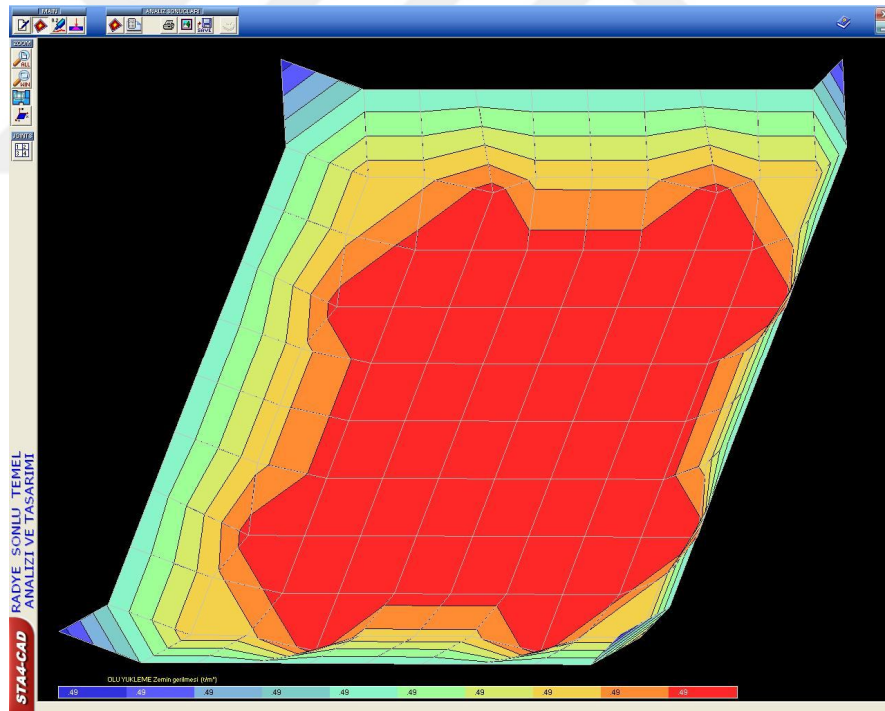
Resim 2.1. Sta4cad Radye Plak Genel Bilgisi menüsü

2.1. Homojen Zeminde Farklı Plak Kalınlıklarına Göre Statik Analiz

Aşağıda homojen zeminde 10 x 10 metrelik plağın kalınlığının değişmesi durumuna göre 500kg/m² 'lik ölü yükleme yapılarak elde edilen sonlu elemanlar sonuçlarının tablosu verilmiştir. Aşağıdaki sonuçlar plağın orta noktasındaki çökme ve zemin gerilmesi değerleridir.

Tablo 2.1. Farklı zemin sınıflarına göre plağın orta noktasının çökme ve zemin gerilmesi değerleri

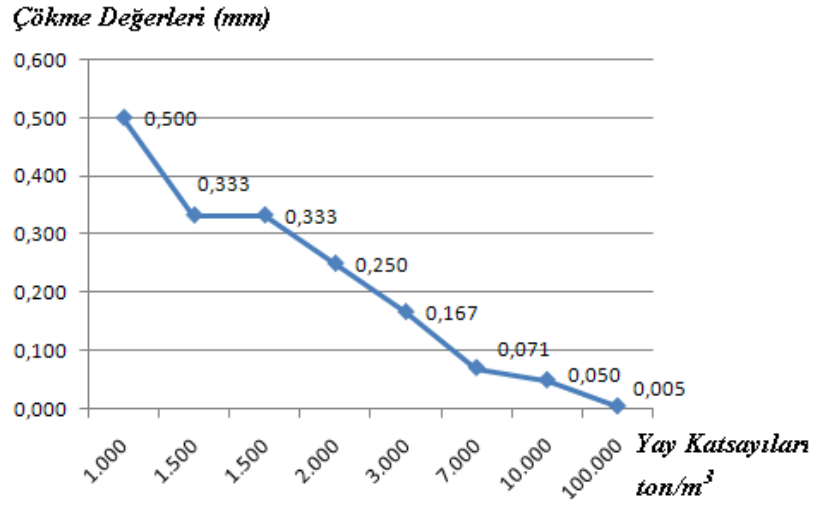
		Ko Zemin Yatak Katsayısı (t/m ³)	Zemin Emniyet Gerilme si (t/m ²)	Çökme Değerleri (mm)				Zemin Gerilme Değerleri (t/m ²)			
				Plak Kalınlığı 20 cm	Plak Kalınlığı 30 cm	Plak Kalınlığı 40 cm	Plak Kalınlığı 50 cm	Plak Kalınlığı 20 cm	Plak Kalınlığı 30 cm	Plak Kalınlığı 40 cm	Plak Kalınlığı 50 cm
1	Kil Yarı Sert	1.000	15	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
2	Kil Sert	2.000	30	0,250	0,250	0,250	0,250	0,500	0,500	0,500	0,500
3	Dolgu Zemin	1.500	20	0,333	0,333	0,333	0,333	0,500	0,500	0,500	0,500
4	Kum Gevşek	1.500	15	0,333	0,333	0,333	0,333	0,500	0,500	0,500	0,500
5	Kum Orta Sıkı	3.000	20	0,167	0,167	0,167	0,167	0,500	0,500	0,500	0,500
6	Kum Sıkı	7.000	30	0,071	0,071	0,071	0,071	0,500	0,500	0,500	0,500
7	Kum Çakıl Sıkı	10.000	50	0,050	0,050	0,050	0,050	0,500	0,500	0,500	0,500
8	Kaya	100.000	200	0,005	0,005	0,005	0,005	0,500	0,500	0,500	0,500



Şekil 2.1. 10x10 m'lik plağın Sta4cad programından zemin gerilmesi dağılışı

Tablodaki sonuçlar incelendiğinde görülüyor ki plak kalınlığındaki değişim, orta noktada zemindeki çökme değerlerini etkilemiyor. Ancak çökme değerleri, zemin yatak katsayısındaki artışla ters orantılı olarak değişiyor. Plağın orta noktasındaki

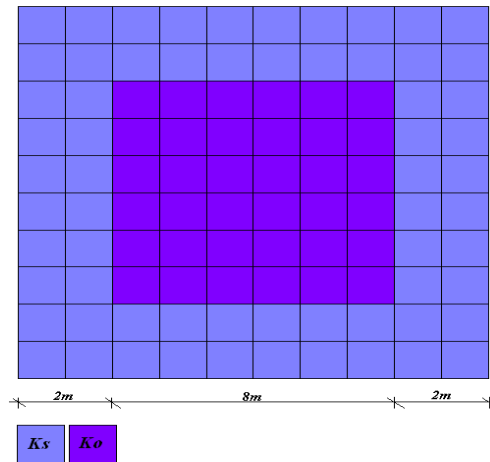
zemin gerilmesi ise değişmiyor. Bu sonuçlarla çökme değerlerinin yay katsayısına göre değişim değerlerinin grafiği aşağıda sunulmuştur.



Grafik 2.1. Yay Katsayısı Çökme Değeri Değişim Grafiği

2.2. Homojen Olmayan Zeminde Farklı Yay Katsayısı Oranlarına Göre Statik Analiz

Aşağıda, homojen olmayan zeminde 10 x 10 metrelik plağın 2 metrelik kenar bölge genişliği ve 20 cm plak kalınlığı ile farklı yay katsayılarında 500kg/m² 'lik ölü yükleme yapılarak elde edilen sonlu elemanlar sonuçlarının tablosu verilmiştir. Aşağıdaki sonuçlar plağın orta noktasındaki çökme ve zemin gerilmesi değerleridir. Aşağıdaki resimde söz konusu plağın kenar bölge mesafesi 2 metre alınarak farklı yay katsayısı uygulaması gösterilmiştir.



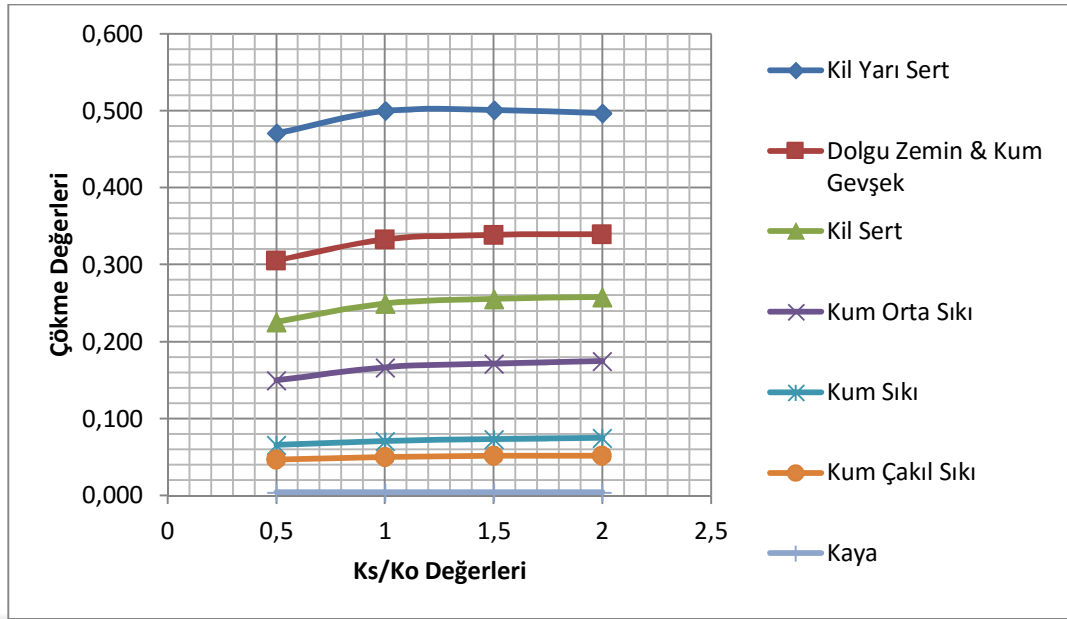
Şekil 2.2. Plağın Yay Bölgeleri

Farklı K_s/K_0 oranlarına göre sonlu elemanlar çözümlemesi yapıldığında, zemin çökme değerleri, plak gerilmeleri ve zemin gerilme değerleri aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

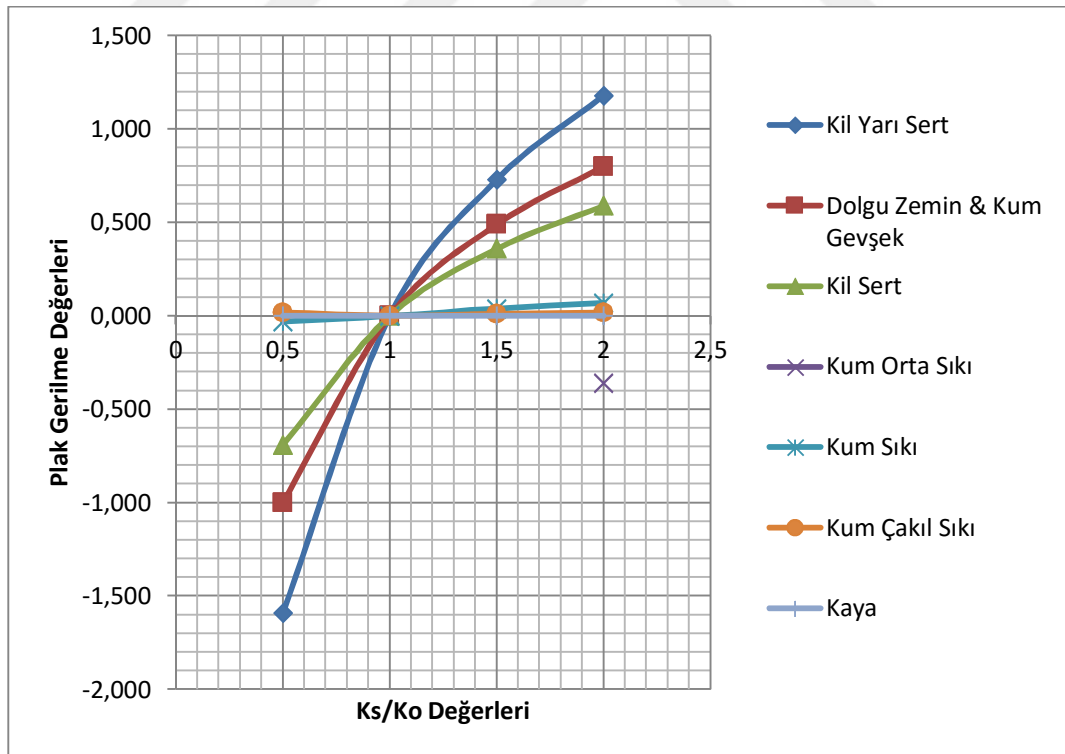
Tablo 2.2. Farklı Zemin Sınıflarına Göre Plajın Orta Noktasının Analiz Sonuçları

		Ko Zemin Yatak Katsayısı (t/m ³)	Çökme Değerleri (mm)				Plak Gerilme Değerleri (kg/cm ²)				Zemin Gerilme Değerleri (t/m ²)			
			$K_s/K_0=2$	$K_s/K_0=1,5$	$K_s/K_0=1$	$K_s/K_0=0,5$	$K_s/K_0=2$	$K_s/K_0=1,5$	$K_s/K_0=1$	$K_s/K_0=0,5$	$K_s/K_0=2$	$K_s/K_0=1,5$	$K_s/K_0=1$	$K_s/K_0=0,5$
1	Kil Yarı Sert	1.000	0,497	0,501	0,500	0,471	1,180	0,730	0	-1,59	0,497	0,501	0,500	0,471
2	Dolgu Zemin	1.500	0,340	0,339	0,333	0,306	0,800	0,490	0	-1,00	0,510	0,509	0,500	0,458
3	Kum Gevşek	1.500	0,340	0,339	0,333	0,306	0,800	0,490	0	-1,00	0,510	0,509	0,500	0,458
4	Kil Sert	2.000	0,258	0,256	0,250	0,226	0,590	0,360	0	-0,69	0,517	0,513	0,500	0,453
5	Kum Orta Sıkı	3.000	0,175	0,172	0,167	0,15	0,350	0,210	0	-0,36	0,524	0,517	0,500	0,450
6	Kum Sıkı	7.000	0,075	0,074	0,071	0,066	0,070	0,040	0	-0,03	0,527	0,517	0,500	0,460
7	Kum Çakıl Sıkı	10.000	0,052	0,052	0,050	0,047	0,020	0,010	0	0,02	0,524	0,515	0,500	0,468
8	Kaya	100.000	0,005	0,005	0,005	0,005	0,001	0,001	0	0,001	0,500	0,500	0,500	0,501

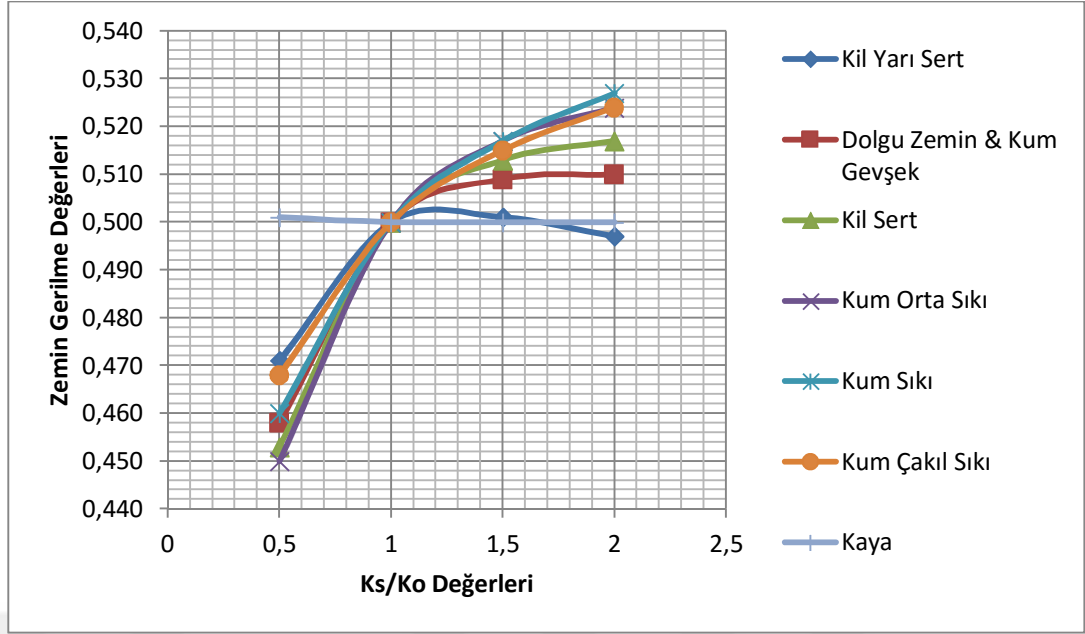
Yukarıdaki tabloda belirtilen veriler ile aşağıdaki grafikler oluşturulur.



Grafik 2.2. Ks/Ko Oranına Göre Orta Nokta Çökme Değerleri Değişimi Grafiği

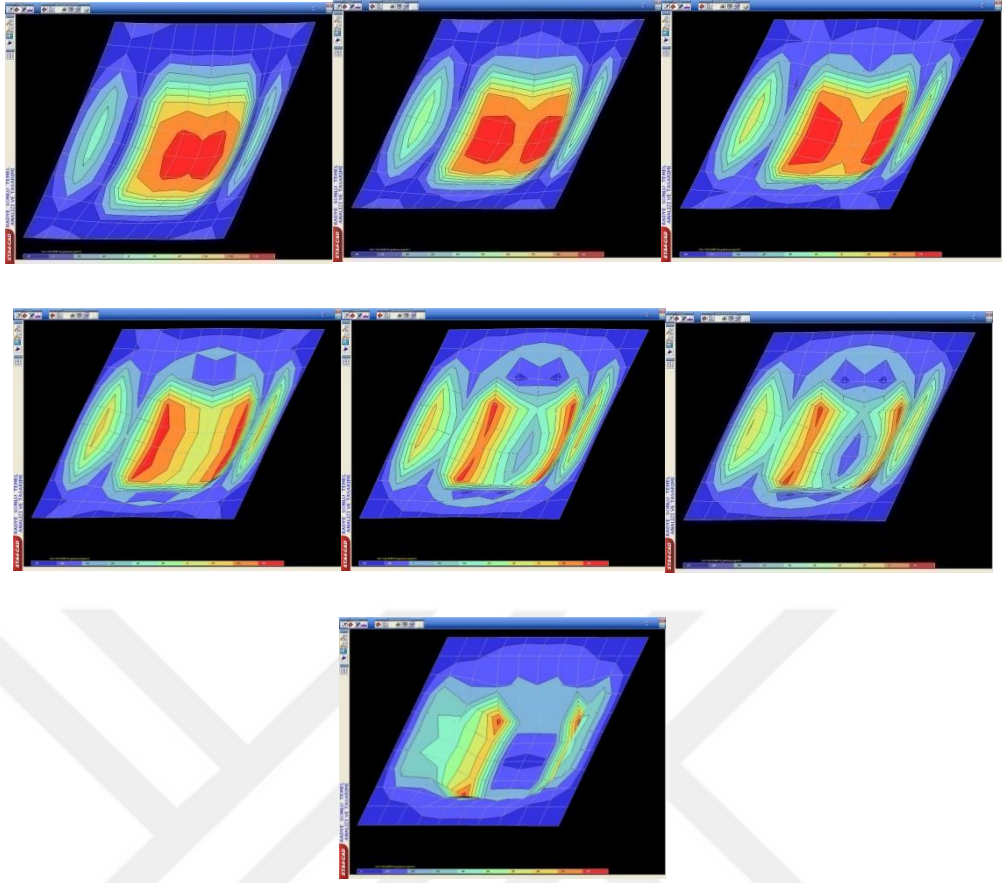


Grafik 2.3. Ks/Ko Oranına Göre Plak Orta Nokta Gerilme Değerleri Değişimi Grafiği



Grafik 2.4. Ks/Ko Oranına Göre Zemin Orta Nokta Gerilme Değerleri Değişimi Grafiği

Yukarıdaki sonuçlar incelendiğinde Grafik 2.2.'de görüldüğü üzere zemin yay katsayısı arttıkça plaktaki orta nokta çökme değeri azalmıştır. Grafik 2.3.'te ise zemin yay katsayısı azaldıkça ve Ks/Ko değeri 1'den uzaklaştıkça plak gerilmeleri artmaktadır. Grafik 2.4.'te ise zemin gerilmelerinin Ks/Ko değeri 1' den uzaklaştıkça orta noktada gerilmeleri artmaktadır. Programdan alınan plak gerilmeleri dağılımı ise $K_s/K_o = 2$ için aşağıdaki gibidir. Diğer oranlar için gerilme değerleri benzer olduğundan rapora konulmamıştır.



Şekil 2.3. Sta4cad Programından Alınan Plak Gerilmeleri

3. ABAQUS PROGRAMINDA RADYE TEMELLERİN SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

Çalışmanın bu kısmında Abaqus Programında yine 10 x 10 metrelik plak kullanılarak 20cm kalınlığındaki shell eleman ile dinamik ve statik analiz yapılmış ve elde edilen sonuçlar Sta4cad programıyla karşılaştırılmıştır.

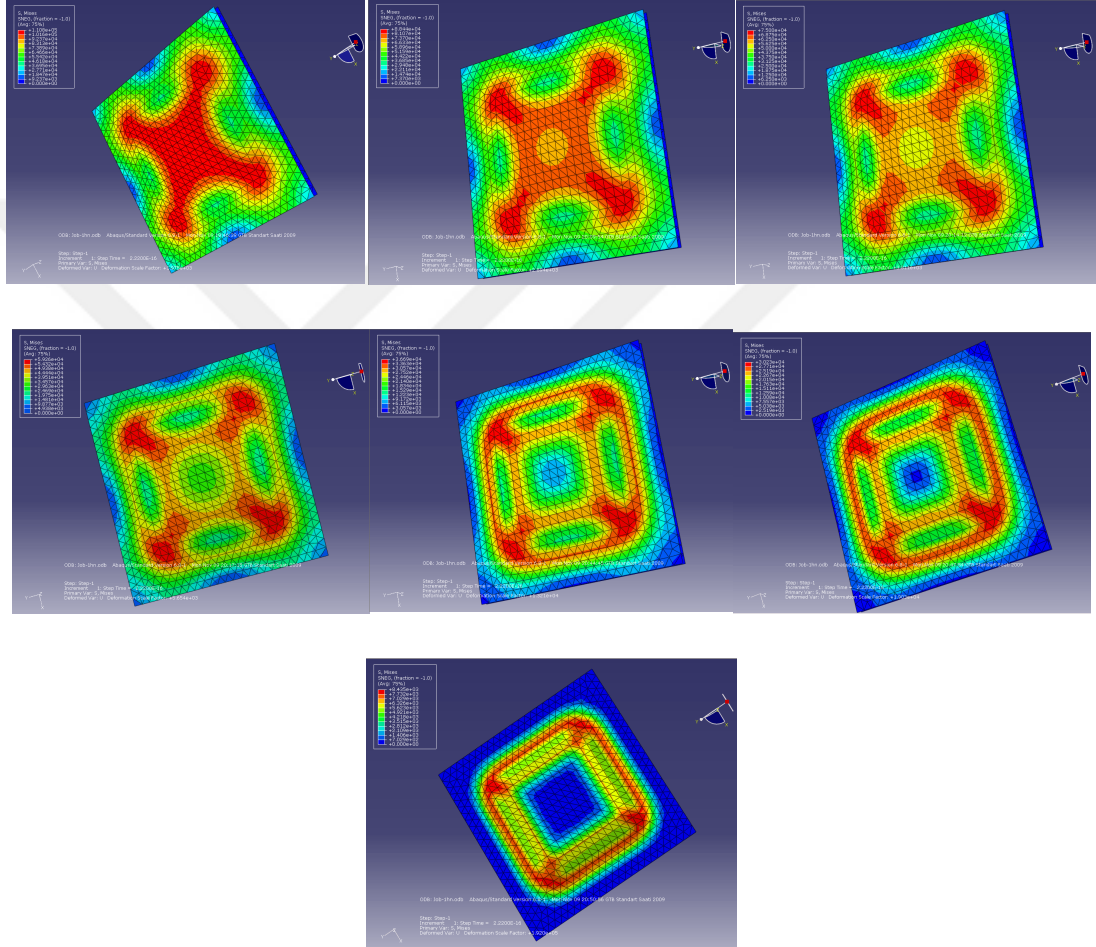
3.1. Homojen Olmayan Zeminde Farklı Yay Katsayısı Oranlarına Göre Karşılaştırmalı Statik Analiz

Abaqus programında 2 metrelik kenar bölge genişliği ile farklı zemin sınıflarında yapılan statik analizlerin sonuçları aşağıdaki tabloda Sta4cad Programının sonuçları ile yan yana konularak gösterilmiştir. Tabloda da görüldüğü üzere zemin çökme değerleri birbirleriyle örtüşmüştür. Abaqus programındaki mesh yapısı daha sık örüldüğünden sonuçlar daha keskin olarak elde edilebilmiştir.

Tablo 3.1. Farklı Zemin Sınıflarına Göre Plagın Orta Noktasının Çökme Değerlerinin Karşılaştırılması

			Çökme Değerleri (mm)				Çökme Değerleri (mm)			
			$K_s/K_0=2$	$K_s/K_0=1,5$	$K_s/K_0=1$	$K_s/K_0=0,5$	$K_s/K_0=2$	$K_s/K_0=1,5$	$K_s/K_0=1$	$K_s/K_0=0,5$
	Kil Yarı Sert	Ko Zemin Yatak Katsayısı (t/m ³)								
1	Kil Yarı Sert	1.000	0,497	0,501	0,500	0,471	0,5064	0,5068	0,5000	0,4615
2	Dolgu Zemin	1.500	0,340	0,339	0,333	0,306	0,3456	0,3426	0,3333	0,2992
3	Kum Gevşek	1.500	0,340	0,339	0,333	0,306	0,3456	0,3426	0,3333	0,2992
4	Kil Sert	2.000	0,258	0,256	0,250	0,226	0,2624	0,2588	0,2500	0,2219
5	Kum Orta Sıkı	3.000	0,175	0,172	0,167	0,150	0,1769	0,1735	0,1670	0,1473
6	Kum Sıkı	7.000	0,075	0,074	0,071	0,066	0,0757	0,7414	0,0710	0,0650
7	Kum Çakıl Sıkı	10.000	0,052	0,052	0,050	0,047	0,0525	0,0516	0,0500	0,0465
8	Kaya	100.000	0,005	0,005	0,005	0,005	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050
			STA4CAD				ABAQUS			

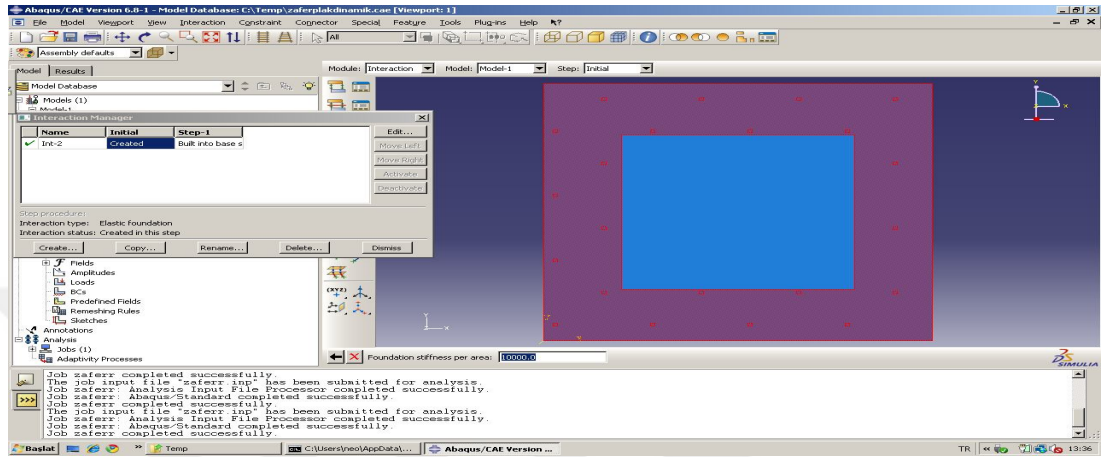
Yukarıdaki değerler Sta4cad programının sonuçlarıyla örtüştüğünden grafikli gösterim yapılmayacaktır. Programdan alınan plak gerilmeleri dağılımı ise $K_s/K_o = 2$ için aşağıdaki gibidir. Diğer oranlar için gerilme değerleri benzer olduğundan rapora konulmamıştır.



Şekil 3.1. Abaqus Programından Alınan Plak Gerilmeleri

3.2. Homojen Olmayan Zeminde Farklı Yay Katsayısı Oranlarına Göre Dinamik Analiz

Çalışmada interaksyon modülü kullanarak yapılan girdilerin doğal titreşim periyotlarının yanlış sonuçlar olduğu anlaşılmıştır. Bu konuya 3. bölümde farklı bir yaklaşımla tekrar değinilecektir.



Resim 3.2. Abaqus Programından Alınan İteraksiyon Tanımlama Ekranı Görüntüsü

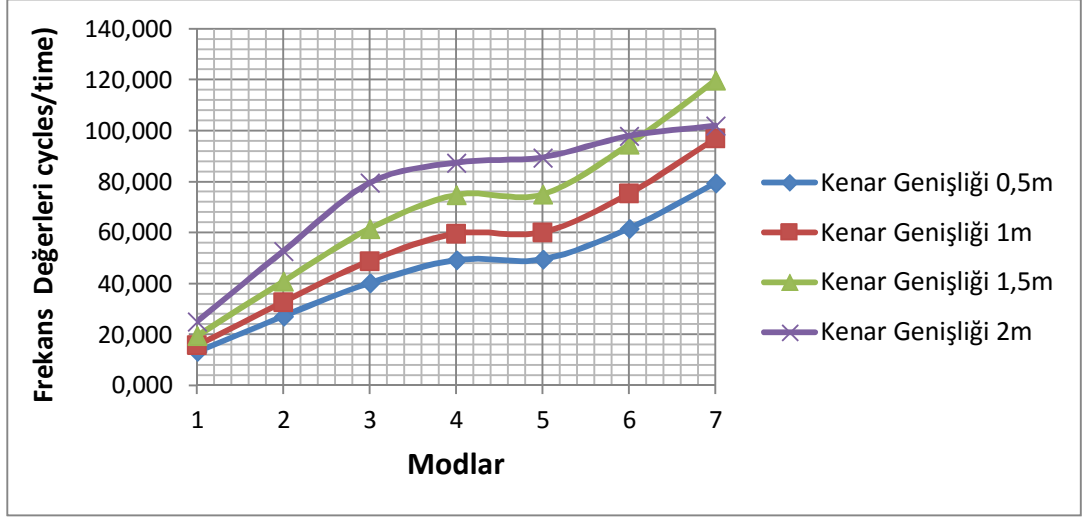
3.3. Farklı Mesnetlenme Durumlarına Göre Dinamik Analiz

10 x 10 metrelik 20 cm kalınlığındaki plak kenar bölge genişliği değiştirilerek, kenar bölge boyunca sabit mesnet durumu ile analiz edilmiş olup bulunan frekanslar aşağıdaki tabloya yazılmıştır.

Tablo 3.2. Farklı Mesnet Durumlarına Göre Frekans Değişim Değerleri

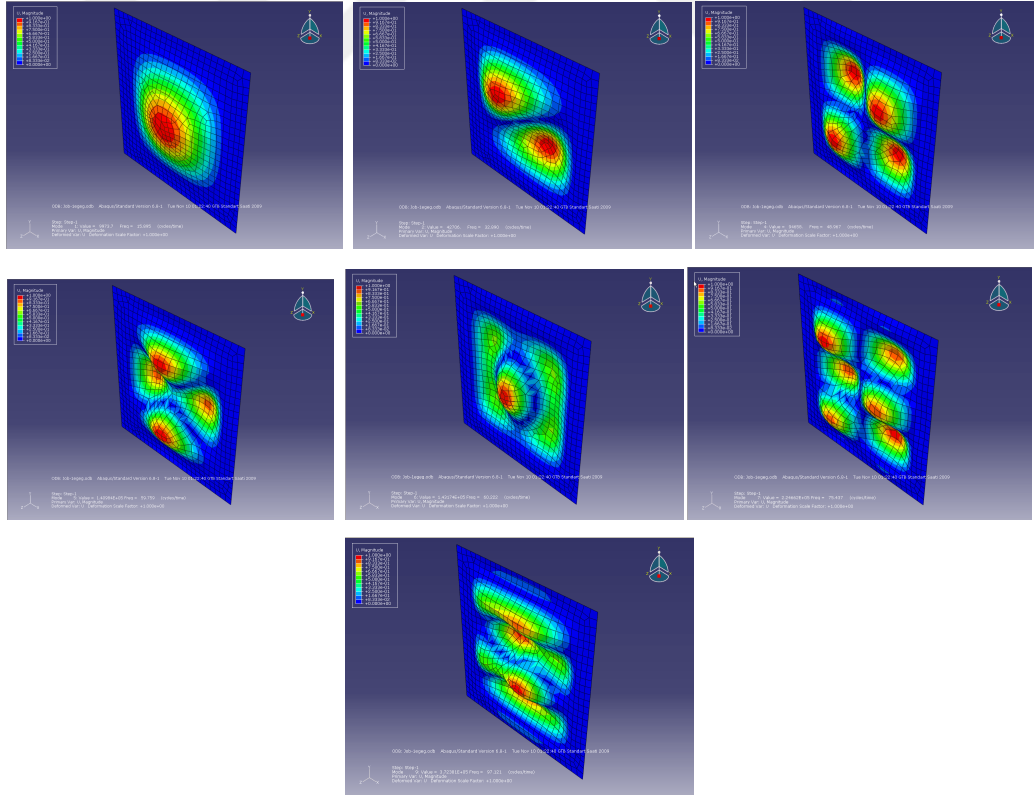
		Frekans Değerleri (cycles/time)						
		Mod1	Mod2	Mod3	Mod4	Mod5	Mod6	Mod7
Kenar Bölge Genişliği (m)	0,5	13,316	27,303	40,301	49,331	49,612	61,736	79,589
	1	15,895	32,890	48,967	59,759	60,222	75,437	97,121
	1,5	19,612	40,997	61,671	74,868	75,135	94,816	119,860
	2	25,295	52,918	79,661	87,610	89,673	98,084	102,120

Yukarıdaki tabloya göre grafik çizildiğinde kenar bölge genişliğinin artmasıyla frekans değerlerinin de yükseldiği görülmektedir.



Grafik 3.1. Kenar Bölge Genişliğine Göre Frekans Değişim Grafiği

Abaqus programındaki mod şekilleri 1 metrelik kenar mesafeye göre aşağıdaki gibidir. Mod şekilleri benzer olduğundan diğer kenar mesafeler için şekiller gösterilmeyecektir.



Şekil 3.2. Abaqus Programından Alınan 1 Metrelik Kenar Mesafeye Göre Frekans Şekilleri

4. HOMOJEN OLMAYAN ELASTİK ZEMİNLERE OTURAN YAPISAL TAŞIYICI SİSTEMLERİN ANALİZDE KULLANILAN YAPISAL TASARIM PROGRAMLARININ, AKADEMİK SONLU ELEMANLAR PROGRAMLARI İLE ÇÖZÜMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI VE DİNAMİK PARAMETRELERİNİN TAYİNİ

4.1. Elastik Zemin üzerine Oturan Plak Sisteminin Zemin Kütlesinin De Dahil Edildiği Analizlerle Doğal Frekanslarının İncelenmesi

Oluşturulan geometrinin analizi yapılırken Abaqus programından yararlanıldı. Birbirinden farklı örneklerin frekansları bulunurken sistemin nasıl oluşturulduğu hakkında ayrıntılı bilgiler maddeler halinde “ekler” kısmında incelenmiştir.

4.1.1. Plak ve Zemin Materyallerinin Kütlesel Oranlarına Bağlı Olarak Elastik Zemine Oturan Plak Sisteminin Doğal Frekanslarının Belirlenmesi

Örnek 1

Bu amaçla zeminin 40X40X40 boyutundaki küp geometrisine sahip bir parçası ile söz konusu küpün üst yüzeyinin geometrik merkezine yerleştirilmiş 10X10X0.5 boyutundaki plağın bulunduğu sistem ana zeminden uygun sınır koşulları kullanılıp ayrılarak incelenmiştir.

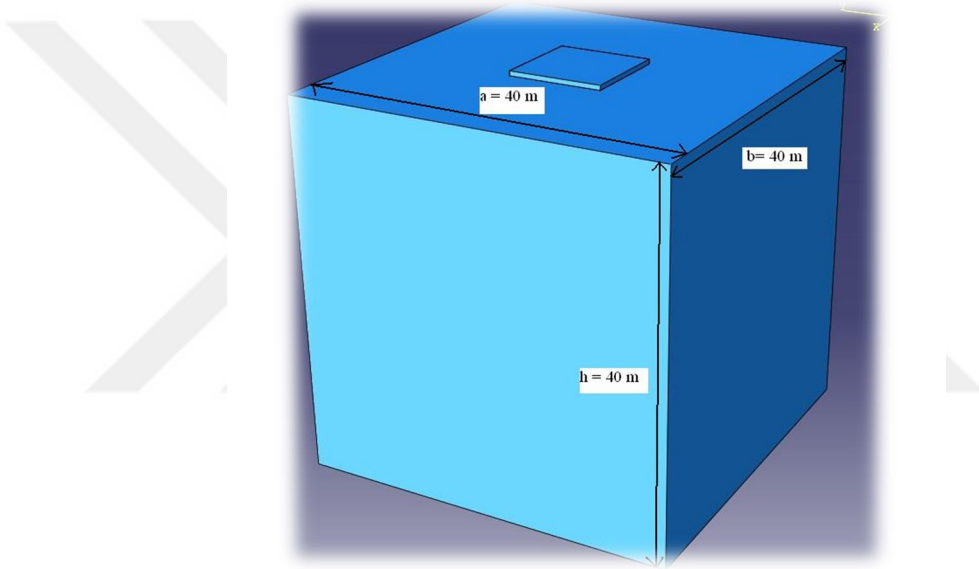
Sınır koşulları küpün düşey yüzeylerine teğetsel doğrultularda serbest, yüzey normali doğrultusunda ise tutulu olma şartı olarak verilmiştir. Küpün alt yüzeyi tüm doğrultularda tutulu üst yüzeyi ise tüm doğrultularda serbesttir.

Plak ve zemin arasında interaksiyon tanımlanmış olup İki yüzeyin etkileşiminde sürtünmenin nasıl olacağını belirtmek için mekanik bölümünden tanjant davranışını seçilip sürtünme şekli belirtilir burada “**rough**” seçilmiştir. Yani iki yüzey arasının pütür pütür tırtıklı olduğunu belirtilmiştir. Normal davranışın özelliklerine ise “**hard contact**” seçeneğini seçilir, yüzeyler birbiriyle sıkı bir şekilde etkileşim halinde

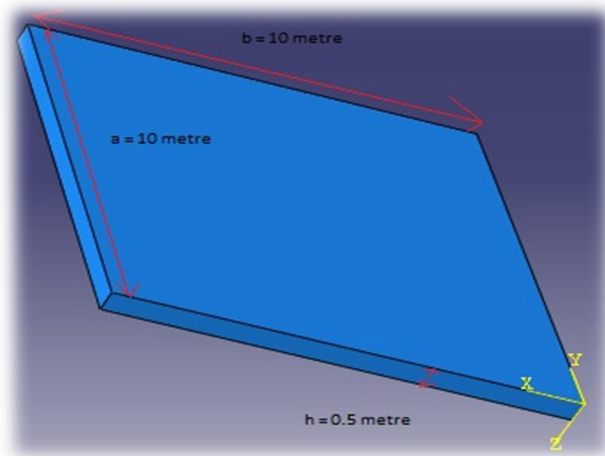
olması istenmiştir ve “**allow separation after contact**” seçeneği işaretlenmiştir. Yani etkileşim sonrası ayrılmaya müsaade edilmiştir.

Analizin oluşturulmasında kullanılan grafiklerin elde edilmesi sırasında plağın sabit bir kütle yoğunluğu değeri $2400 \text{ kg} / \text{m}^3$ için zeminin kütle yoğunluğu $2400 \text{ kg} / \text{m}^3 - 200 \text{ kg} / \text{m}^3$ aralığındaki değişen değerleri kullanılmıştır. Ayrıca zeminin elastisite modülü $21 \times 10^7 \text{ N} / \text{m}^2$ alınırken poisson oranı 0.3 alınmıştır, plak içinse elastisite modülü $28 \times 10^9 \text{ N} / \text{m}^2$ alınırken poisson oranı 0.2 alınmıştır.

Plak ve zeminin ağ yapısı hegzagonal yani altıgen alınarak incelenmiştir. Sistem resim 4.1.’de plak ise resim 4.2.’de gösterilmiştir.

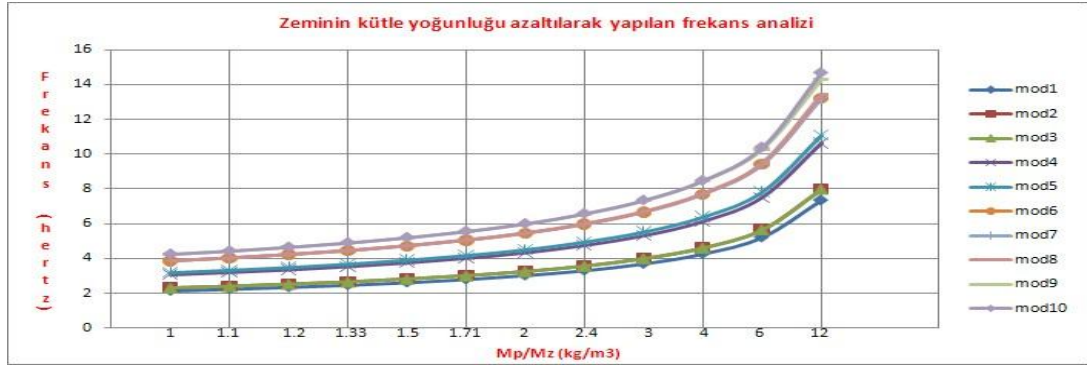


Resim 4.1.



Resim 4.2.

Bu özelliklere göre sistemin doğal frekansları incelendiğinde Grafik 4.1. ve Tablo 4.1.'de şu sonuçlara varılmıştır.



Grafik 4.1.

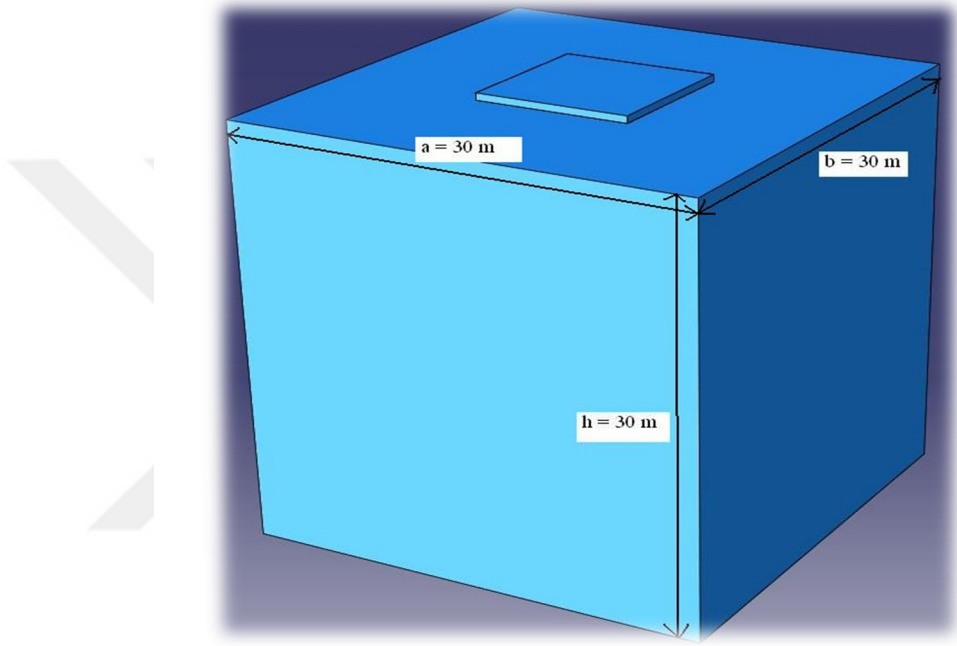
Tablo 4.1.

Mp/Mz	mod1	mod2	mod3	mod4	mod5	mod6	mod7	mod8	mod9	mod10
1	2,14	2,32	2,32	3,07	3,21	3,86	3,86	3,89	4,24	4,25
1,1	2,24	2,42	2,42	3,21	3,35	4,03	4,03	4,07	4,43	4,43
1,2	2,35	2,54	2,54	3,36	3,51	4,23	4,23	4,26	4,65	4,65
1,33	2,47	2,67	2,67	3,54	3,7	4,45	4,45	4,49	4,89	4,9
1,5	2,62	2,84	2,84	3,76	3,93	4,72	4,72	4,77	5,19	5,2
1,71	2,8	3,03	3,03	4,02	4,2	5,05	5,05	5,1	5,55	5,56
2	3,03	3,27	3,27	4,34	4,53	5,45	5,45	5,5	5,99	6
2,4	3,31	3,58	3,58	4,76	4,97	5,97	5,97	6,03	6,55	6,58
3	3,7	4,01	4,01	5,32	5,55	6,67	6,67	6,74	7,32	7,35
4	4,27	4,62	4,62	6,14	6,41	7,7	7,7	7,78	8,43	8,49
6	5,22	5,66	5,66	7,52	7,85	9,41	9,41	9,53	10,28	10,4
12	7,35	7,98	7,98	10,63	11,1	13,22	13,22	13,46	14,28	14,7
Mp = plâğin kütle yoğunluğu										
Mz = zeminin kütle yoğunluğu										
modların birimi cycle/time = hertz										

Grafik 4.1 ve Tablo 4.1'de görülen sonuçlardan anlaşılmaktadır ki, zemini oluşturan malzemenin sistem doğal titreşim modları üzerinde önemli etkileri mevcuttur. Plak kütle yoğunluğunun zemin kütle yoğunluğuna olan oranı 1 değerine yukarıdan yaklaştıkça doğal frekanslardaki değişimler azalmaktadır ve eğriler toplu halde yataya yaklaşmaktadır. Kütle yoğunluğu oranının artan değerleri içinse doğal titreşim modlarının ortaya çıktığı frekans değerleri artmakta ve bu değerlerin artış hızı da kütle oranının artması ile birlikte artmaktadır. Ancak unutulmamalıdır ki parametrik değişim aralığının kütle oranının çok büyük değerleri ilginç sonuçlar ortaya koysa bile fiziksel olarak belli değerlerin üstündeki değerler için gerçek malzemelerin mevcudiyeti olasılık dışıdır.

Örnek 2

Zeminin 30X30X30 boyutundaki küp geometrisine sahip bir parçası ile söz konusu küpün üst yüzeyinin geometrik merkezine yerleştirilmiş 10X10X0.5 boyutundaki plağın bulunduğu sistem ana zeminden uygun sınır koşulları kullanılıp ayrılarak incelenmiştir. Tüm özellikler ve yapılan tüm işlemler bir önceki örnekle aynıdır sadece zeminin tüm boyutları 30 metre alındığında frekansının bir önceki örneğe göre nasıl değiştiği incelenir.



Resim 4.3.



Grafik 4.2.

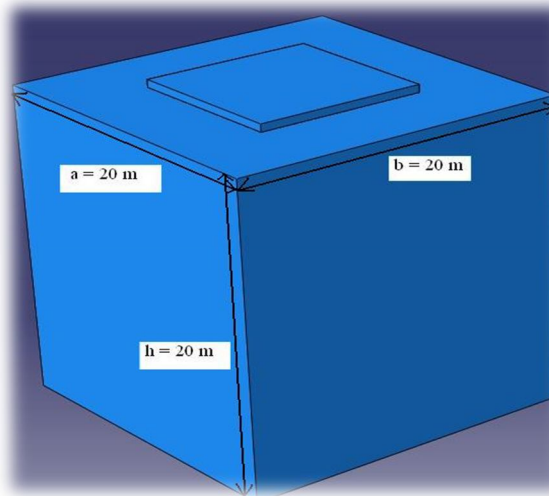
Tablo 4.2.

Mp/Mz	mod1	mod2	mod3	mod4	mod5	mod6	mod7	mod8	mod9	mod10
1	2,85	3,1	3,1	4,14	4,27	5,14	5,14	5,19	5,74	5,74
1,1	2,98	3,22	3,22	4,33	4,46	5,37	5,37	5,42	5,99	5,99
1,2	3,12	3,38	3,38	4,54	4,68	5,63	5,63	5,68	6,28	6,29
1,33	3,29	3,56	3,56	4,78	4,93	5,93	5,93	5,99	6,61	6,62
1,5	3,49	3,78	3,78	5,07	5,23	6,29	6,29	6,35	7,01	7,03
1,71	3,73	4,04	4,04	5,42	5,59	6,72	6,72	6,79	7,49	7,51
2	4,03	4,36	4,36	5,86	6,04	7,26	7,26	7,33	8,08	8,11
2,4	4,41	4,78	4,78	6,42	6,62	7,95	7,95	8,03	8,6	8,89
3	4,92	5,34	5,34	7,17	7,4	8,87	8,87	8,98	9,85	9,94
4	5,67	6,15	6,15	8,28	8,54	10,23	10,23	10,36	11,33	11,47
6	6,92	7,52	7,52	10,15	10,45	12,47	12,47	12,67	13,74	14,05
12	9,66	10,56	10,56	14,34	14,75	17,27	17,27	17,85	18,72	19,86
Mp = plağın kütle yoğunluğu										
Mz = zeminin kütle yoğunluğu										
modların birimi cycle/time = hertz										

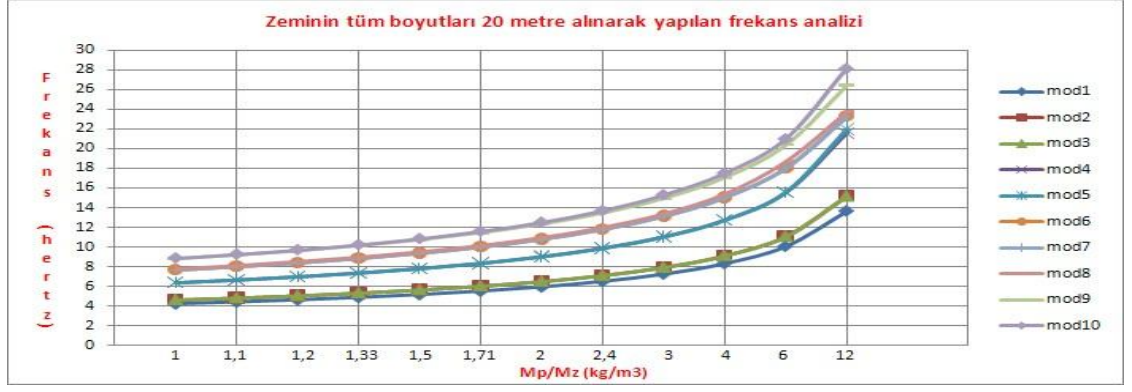
Grafik 4.2 ve Tablo 4.2’de görülen sonuçlardan plak kütesinin zemin kütesine olan oranı 1 değerine yukarıdan yaklaştıkça doğal frekanslardaki değişimler azalmaktadır ve eğriler toplu halde yataya yaklaşmaktadır. Örnek 2’nin Örnek 1’den farklı olarak boyutları 40X40X40 ‘tan 30X30X30 ‘a inince doğal frekansta artış gözlemlenmiştir. Örnek 2 de mod eğrilerinin arası örnek 1’e göre daha açılmıştır.

Örnek 3

Zeminin 20X20X20 boyutundaki küp geometrisine sahip bir parçası ile söz konusu küpün üst yüzeyinin geometrik merkezine yerleştirilmiş 10X10X0.5 boyutundaki plağın bulunduğu sistem ana zeminden uygun sınır koşulları kullanılıp ayrılarak incelenmiştir. Tüm özellikler ve yapılan tüm işlemler bir önceki örnekle aynıdır sadece zeminin tüm boyutları 20 metre alındığında frekansının bir önceki örneğe göre nasıl değiştiği incelenir.



Resim 4.4.



Grafik 4.3.

Tablo 4.3.

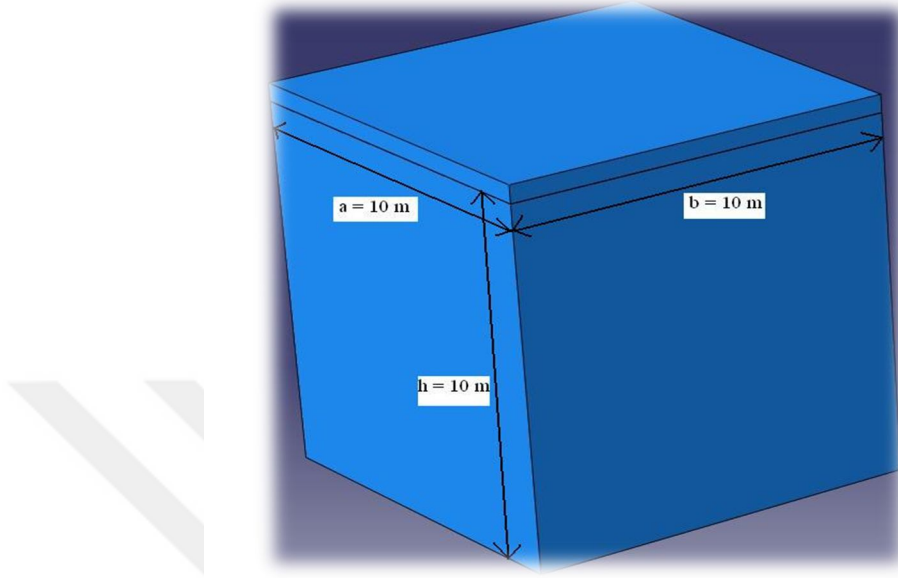
Mp/Mz	mod1	mod2	mod3	mod4	mod5	mod6	mod7	mod8	mod9	mod10
1	4,26	4,63	4,63	6,39	6,41	7,69	7,69	7,78	8,81	8,85
1,1	4,45	4,83	4,83	6,68	6,69	8,03	8,03	8,12	9,2	9,24
1,2	4,66	5,07	5,07	7	7,02	8,42	8,42	8,53	9,61	9,69
1,33	4,91	5,34	5,34	7,38	7,4	8,87	8,87	8,97	10,15	10,21
1,5	5,2	5,66	5,66	7,83	7,84	9,4	9,4	9,51	10,74	10,83
1,71	5,55	6,05	6,05	8,37	8,38	10,03	10,03	10,16	11,46	11,58
2	5,98	6,52	6,52	9,04	9,05	10,82	10,82	10,96	12,35	12,5
2,4	6,54	7,13	7,13	9,9	9,9	11,82	11,82	11,99	13,47	13,69
3	7,28	7,95	7,95	11,06	11,06	13,16	13,16	13,38	14,97	15,29
4	8,35	9,15	9,15	12,75	12,77	15,06	15,06	15,39	17,09	17,5
6	10,09	11,1	11,1	15,55	15,62	18,06	18,06	18,69	20,4	21
12	13,67	15,21	15,21	21,59	21,98	23,3	23,3	23,72	26,48	28,16
Mp = plağın kütle yoğunluğu										
Mz = zeminin kütle yoğunluğu										
modların birimi cycle/time = hertz										

Grafik 4.3 ve Tablo 4.3'te görülen sonuçlardan plak kütlelerinin zemin kütlelerine olan oranı 1 değerine yukarıdan yaklaştıkça doğal frekanslardaki değişimler azalmaktadır ve eğriler toplu halde yataya yaklaşmaktadır. Örnek 1 ve 2'nin Örnek 3'ten farklı olarak boyutları 20X20X20'ye indirildiğinde doğal frekansta artış gözlemlenmiştir ve bu artış Örnek 2'deki artıştan daha hızlı bir şekilde olmuştur. Örnek 3'te mod eğrilerinin arası örnek 1 ve 2'ye göre daha açılmıştır.

Örnek 4

Zeminin 10X10X10 boyutundaki küp geometrisine sahip bir parçası ile söz konusu küpün üst yüzeyinin geometrik merkezine yerleştirilmiş 10X10X0.5 boyutundaki plağın bulunduğu sistem ana zeminden uygun sınır koşulları kullanılıp ayrılarak incelenmiştir. Tüm özellikler ve yapılan tüm işlemler bir önceki örneklerle

aynıdır sadece zeminin tüm boyutları 10 metre alındığında frekansının bir önceki örneğe göre nasıl değiştiği incelenir.



Resim 4.5.

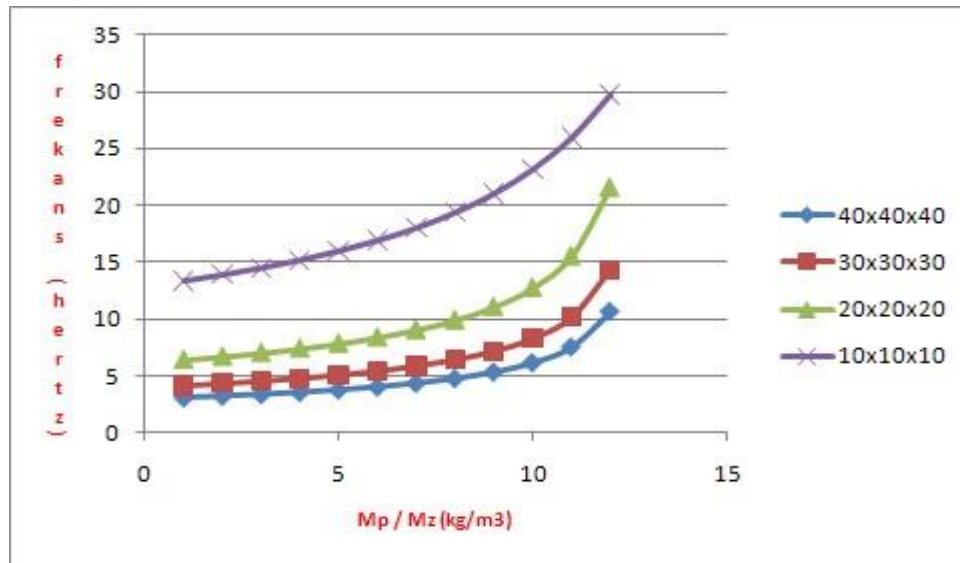


Grafik 4.4.

Tablo 4.4.

Mp/Mz	mod1	mod2	mod3	mod4	mod5	mod6	mod7	mod8	mod9	mod10
1	8,16	9,56	9,56	13,36	13,37	15,61	15,61	16,96	17,99	18,33
1,1	8,49	9,95	9,95	13,9	13,95	16,27	16,27	17,67	18,76	19,1
1,2	8,86	10,39	10,39	14,51	14,62	17,03	17,03	18,47	19,63	19,93
1,33	9,28	10,89	10,89	15,2	15,4	17,89	17,89	19,4	20,64	20,85
1,5	9,77	11,47	11,47	16	16,33	18,91	18,91	20,47	21,83	21,91
1,71	10,34	12,15	12,15	16,93	17,44	20,12	20,12	21,72	23,13	23,16
2	11,02	12,97	12,97	18,03	18,81	21,58	21,58	23,31	24,55	24,59
2,4	11,86	13,97	13,97	19,38	20,56	23,41	23,41	25,01	26,24	26,27
3	12,93	15,24	15,24	21,05	22,89	25,73	25,73	27,21	28,25	28,29
4	14,33	16,91	16,91	23,18	26,11	28,67	28,67	30	30,69	30,73
6	16,29	19,23	19,23	25,98	30,3	31,98	31,98	33,66	33,71	34,53
12	19,26	22,61	22,61	29,75	34,33	35,11	35,11	37,3	37,35	39,99
Mp = plâğin kütle yoğunluğu										
Mz = zeminin kütle yoğunluğu										
modların birimi cycle/time = hertz										

Grafik 4.4. ve Tablo 4.4.'te görülen sonuçlardan plak kütesinin zemin kütesine olan oranı 1 değerine yukarıdan yaklaştıkça doğal frekanslardaki değişimler azalmaktadır ve eğriler toplu halde yataya yaklaşmaktadır. Örnek 1, 2 ve 3'ün örnek 4 'ten farklı olarak boyutları 10X10X10'a indirildiğinde doğal frekansta artış gözlemlenmiştir ve bu artış örnek 3 deki artıştan daha hızlı bir şekilde olmuştur. Örnek 4'te mod eğrilerinin arası örnek 1,2 ve 3'e göre daha açılmıştır. Bu dört örneğin rastgele bir modu seçilip grafik üzerinde incelendiğinde farkları daha net ortaya çıkmıştır. Grafik 4.5.'te dört örneğin mod 4 frekansları incelenmiştir.



Grafik 4.5.

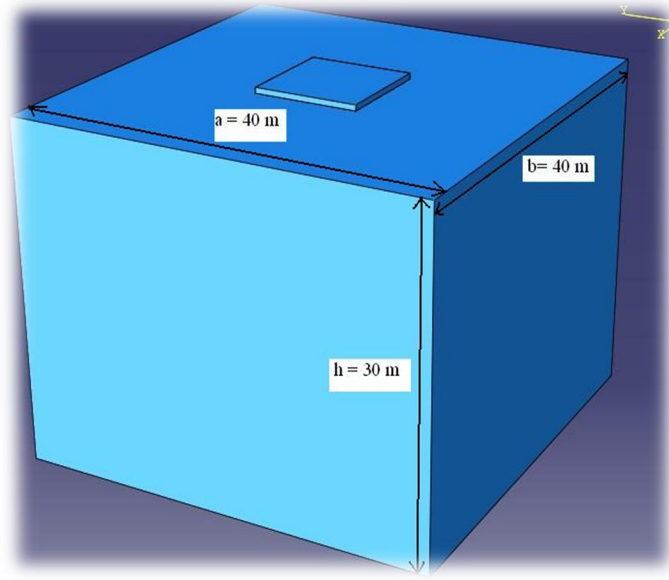
Sonuç olarak zemin parçasının boyutları küçüldüğünde frekansının arttığını gözlemlenir, boyutlar ne kadar küçülürse frekans eğrisi de o kadar hızlı bir artış gösterir ve mod eğrileri arasındaki fark bir o kadar artar. Tablo 4.5'te de frekansın artışı net bir şekilde gözlemlenir.

Tablo 4.5.

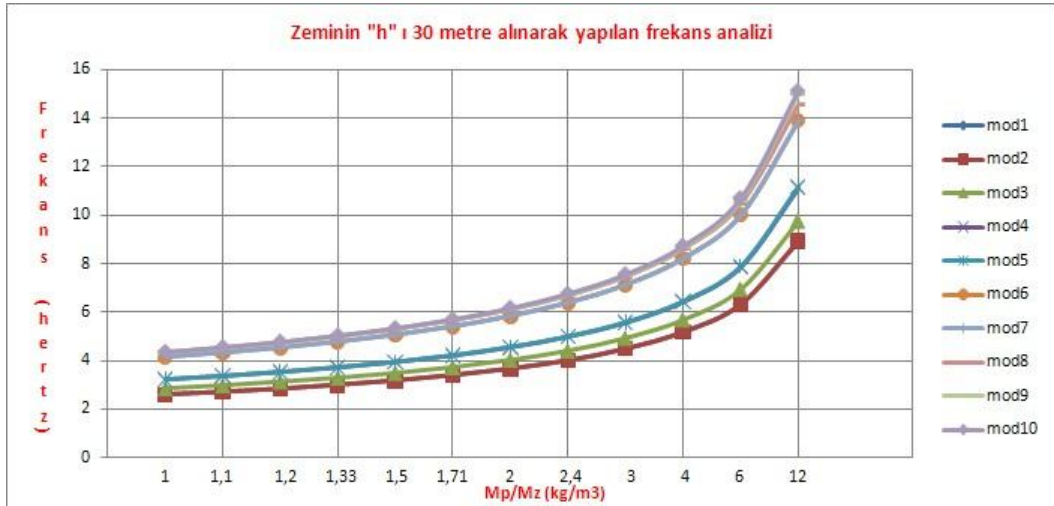
	40x40x40	30x30x30	20x20x20	10x10x10
Mp/Mz	mod4	mod4	mod4	mod4
1	3,07	4,14	6,39	13,36
1,1	3,21	4,33	6,68	13,9
1,2	3,36	4,54	7	14,51
1,33	3,54	4,78	7,38	15,2
1,5	3,76	5,07	7,83	16
1,71	4,02	5,42	8,37	16,93
2	4,34	5,86	9,04	18,03
2,4	4,76	6,42	9,9	19,38
3	5,32	7,17	11,06	21,05
4	6,14	8,28	12,75	23,18
6	7,52	10,15	15,55	25,98
12	10,63	14,34	21,59	29,75
Mp = plağın kütle yoğunluğu				
Mz = zeminin kütle yoğunluğu				
modların birimi cycle/time = hertz				

Örnek 5

Zeminin 40X40X30 boyutundaki bir parçası ile söz konusu küpün üst yüzeyinin geometrik merkezine yerleştirilmiş 10X10X0.5 boyutundaki plağın bulunduğu sistem ana zeminden uygun sınır koşulları kullanılıp ayrılarak incelenmiştir. Tüm özellikler ve yapılan tüm işlemler bir önceki örnekle aynıdır sadece zeminin yüksekliği “h” boyutu 30 metre alınmıştır.



Resim 4.6



Grafik 4.6.

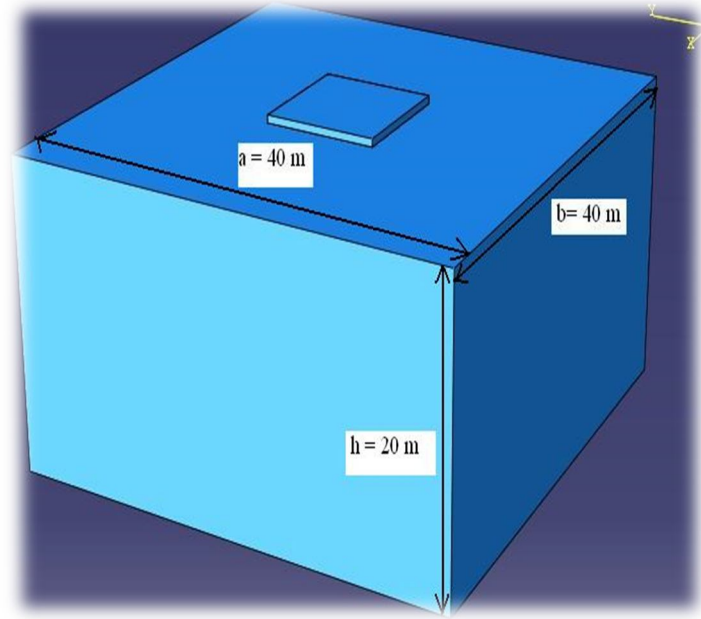
Tablo 4.6.

Mp/Mz	mod1	mod2	mod3	mod4	mod5	mod6	mod7	mod8	mod9	mod10
1	2,59	2,59	2,85	3,21	3,23	4,13	4,13	4,33	4,33	4,37
1,1	2,7	2,7	2,98	3,35	3,37	4,31	4,31	4,52	4,52	4,57
1,2	2,83	2,83	3,13	3,52	3,54	4,52	4,52	4,74	4,74	4,79
1,33	2,99	2,99	3,29	3,71	3,73	4,76	4,76	5	5	5,05
1,5	3,17	3,17	3,49	3,93	3,95	5,05	5,05	5,29	5,3	5,35
1,71	3,39	3,39	3,73	4,2	4,23	5,4	5,4	5,66	5,67	5,72
2	3,66	3,66	4,03	4,54	4,57	5,83	5,83	6,1	6,12	6,18
2,4	4	4	4,41	4,98	5	6,38	6,38	6,68	6,71	6,77
3	4,48	4,48	4,93	5,56	5,59	7,12	7,12	7,46	7,5	7,57
4	5,17	5,17	5,69	6,42	6,46	8,21	8,2	8,6	8,66	8,74
6	6,32	6,32	6,95	7,86	7,91	10	10	10,47	10,6	10,7
12	8,92	8,92	9,75	11,11	11,18	13,89	13,89	14,55	14,99	15,11
Mp = plağın kütle yoğunluğu										
Mz = zeminin kütle yoğunluğu										
modların birimi cycle/time = hertz										

Grafik 4.6. ve Tablo 4.6.'da görülen sonuçlardan plak kütesinin zemin kütesine olan oranı 1 değerine yukarıdan yaklaştıkça doğal frekanslardaki değişimler azalmaktadır ve eğriler toplu halde yataya yaklaşmaktadır. Mod 5'ten mod 6'ya geçerken frekans eğrisinin artışı hızlanmıştır ve sıçrama yapıp mod 5 eğrisi ile mod 6 eğrisi arasındaki mesafeyi açmıştır, sonra tekrar artış hızı normal seyrine dönmüştür.

Örnek 6

Zeminin 40X40X20 boyutundaki bir parçası ile söz konusu küpün üst yüzeyinin geometrik merkezine yerleştirilmiş 10X10X0.5 boyutundaki plağın bulunduğu sistem ana zeminden uygun sınır koşulları kullanılıp ayrılarak incelenmiştir. Tüm özellikler ve yapılan tüm işlemler bir önceki örnekle aynıdır sadece zeminin yüksekliği “h” boyutu 20 metre alınmıştır.



Resim 4.7.



Grafik 4.7.

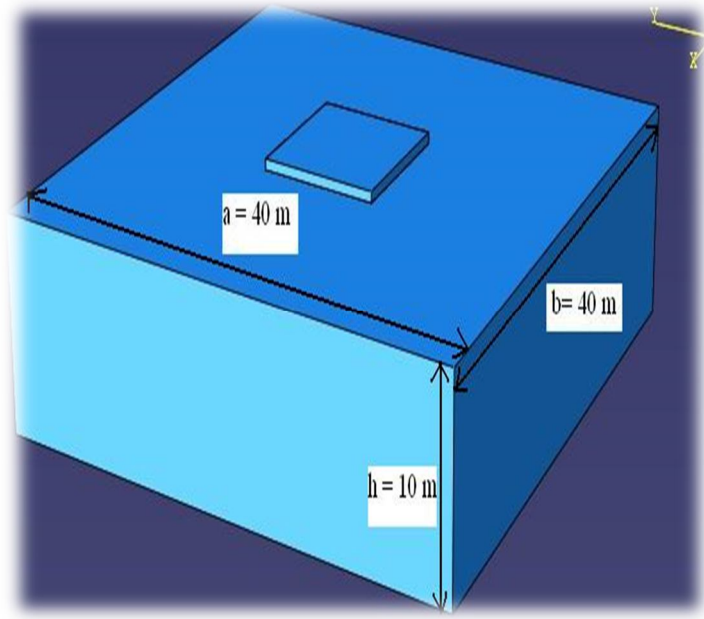
Tablo 4.7.

Mp/Mz	mod1	mod2	mod3	mod4	mod5	mod6	mod7	mod8	mod9	mod10
1	3,22	3,22	3,22	3,75	4,27	4,54	4,54	4,61	4,62	4,95
1,1	3,36	3,36	3,36	3,92	4,46	4,74	4,74	4,82	4,82	5,17
1,2	3,53	3,53	3,53	4,11	4,68	4,97	4,97	5,05	5,06	5,42
1,33	3,72	3,72	3,72	4,33	4,93	5,23	5,23	5,32	5,33	5,71
1,5	3,94	3,94	3,94	4,59	5,23	5,55	5,55	5,64	5,66	6,06
1,71	4,21	4,21	4,22	4,91	5,58	5,93	5,93	6,03	6,05	6,48
2	4,55	4,55	4,55	5,3	6,03	6,39	6,39	6,5	6,53	6,99
2,4	4,99	4,99	4,99	5,82	6,6	6,99	6,99	7,12	7,16	7,66
3	5,57	5,57	5,58	6,5	7,37	7,8	7,8	7,94	8	8,56
4	6,44	6,44	6,44	7,5	8,49	8,96	8,96	9,15	9,24	9,88
6	7,88	7,88	7,88	9,19	10,34	10,87	10,87	11,14	11,13	12,08
12	11,14	11,14	11,14	12,99	14,28	14,77	14,77	15,55	16	16,99
Mp = plağın kütle yoğunluğu										
Mz = zeminin kütle yoğunluğu										
modların birimi cycle/time = hertz										

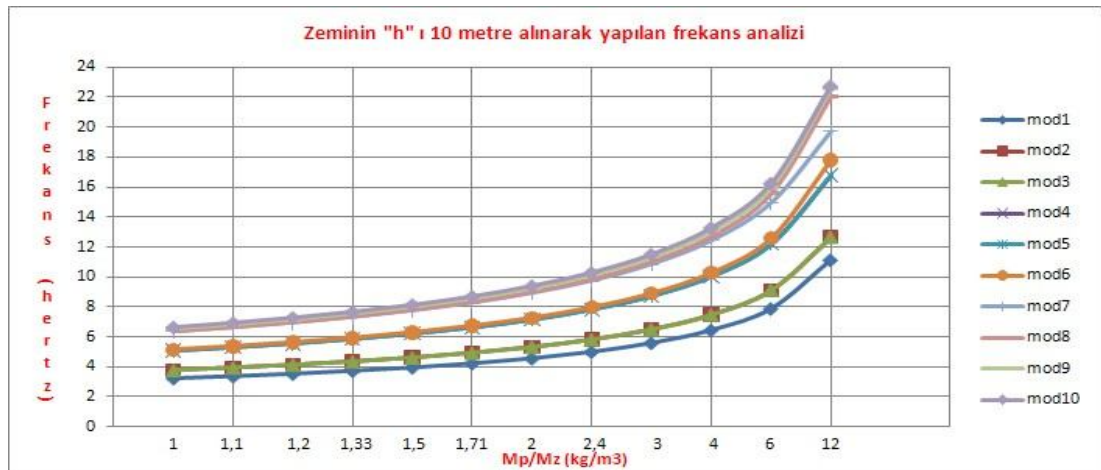
$h = 20$ metreyken bir önceki soruya göre ($h = 30$ metreye göre) frekansın daha da arttığı gözlemlenir. Grafik 4.7. ve Tablo 4.7.'de görülen sonuçlardan plak kütesinin zemin kütesine olan oranı 1 değerine yukarıdan yaklaştıkça doğal frekanslardaki değişimler azalmaktadır ve eğriler toplu halde yataya yaklaşmaktadır. Mod 3'ten mod 4'e geçerken frekans eğrisinin artışı hızlanmıştır ve sıçrama yapıp mod 3 eğrisi ile mod 4 eğrisi arasındaki mesafeyi açmıştır, sonra tekrar aynı artışı mod 4 ten mod 5 e geçerken yapmış ve artış hızı yavaşlamıştır. Bu sebeple bir önceki soruya göre daha hızlı bir şekilde frekans yükselmiştir.

Örnek 7

Zeminin 40X40X10 boyutundaki bir parçası ile söz konusu küpün üst yüzeyinin geometrik merkezine yerleştirilmiş 10X10X0.5 boyutundaki plağın bulunduğu sistem ana zeminden uygun sınır koşulları kullanılıp ayrılarak incelenmiştir. Tüm özellikler ve yapılan tüm işlemler bir önceki örnekle aynıdır sadece zeminin yüksekliği " h " boyutu 10 metre alınmıştır.



Resim 4.8.



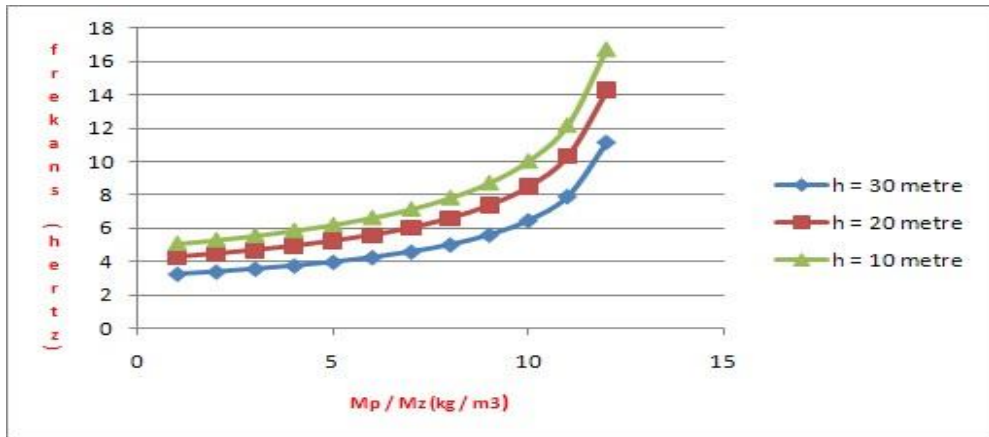
Grafik 4.8.

Tablo 4.8.

Mp/Mz	mod1	mod2	mod3	mod4	mod5	mod6	mod7	mod8	mod9	mod10
1	3,23	3,77	3,77	5,08	5,08	5,14	6,33	6,37	6,53	6,66
1,1	3,37	3,94	3,94	5,3	5,3	5,36	6,61	6,65	6,82	6,96
1,2	3,53	4,13	4,13	5,56	5,56	5,63	6,93	6,97	7,15	7,3
1,33	3,73	4,35	4,35	5,86	5,86	5,93	7,3	7,35	7,54	7,69
1,5	3,95	4,61	4,61	6,21	6,21	6,29	7,74	7,8	8	8,16
1,71	4,23	4,93	4,93	6,63	6,63	6,73	8,26	8,34	8,55	8,72
2	4,56	5,32	5,32	7,15	7,15	7,26	8,91	9	9,23	9,42
2,4	5	5,82	5,82	7,83	7,83	7,96	9,73	9,86	10,11	10,31
3	5,59	6,5	6,5	8,73	8,73	8,9	10,84	11,03	11,31	11,53
4	6,45	7,48	7,48	10,04	10,04	10,27	12,42	12,73	13,06	13,3
6	7,89	9,12	9,12	12,2	12,2	12,58	14,95	15,59	15,99	16,27
12	11,14	12,66	12,66	16,78	16,78	17,79	19,71	22,05	22,61	22,76
Mp = plağın kütle yoğunluğu										
Mz = zeminin kütle yoğunluğu										
modların birimi cycle/time = hertz										

$h = 10$ metreyken bir önceki sorulara göre ($h = 30$ ve $h = 20$ metreye göre) frekansın daha da arttığı gözlemlenir. Grafik 4.8. ve Tablo 4.8.'de görülen sonuçlardan plak kütlelerinin zemin kütlelerine olan oranı 1 değerine yukarıdan yaklaştıkça doğal frekanslardaki değişimler azalmaktadır ve eğriler toplu halde yataya yaklaşmaktadır. Mod 3'ten mod 4'e geçerken frekans eğrisinin artışı hızlanmıştır ve sıçrama yapıp mod 3 eğrisi ile mod 4 eğrisi arasındaki mesafeyi açmıştır, sonra artış bir müddet durmuş mod 6 da tekrar aynı artışı mod 6'dan mod 7'ye geçerken yapmış ve artış hızı yavaşlamıştır. “h” boyutu (yükseklik) değiştikçe frekansın nasıl değiştiği bu üç örnek karşılaştırarak incelenir.

Aşağıdaki Grafik 4.9.'da görüldüğü gibi “h” boyutunun 30, 20 ve 10 metredeki mod 5 frekansları incelenmiştir. Zemin parçasının yüksekliği azaldıkça buna bağlı olarak, sistemin frekansının arttığı gözlemlenir ve eğrilerin daha hızlı bir şekilde yükseldiği görülür.



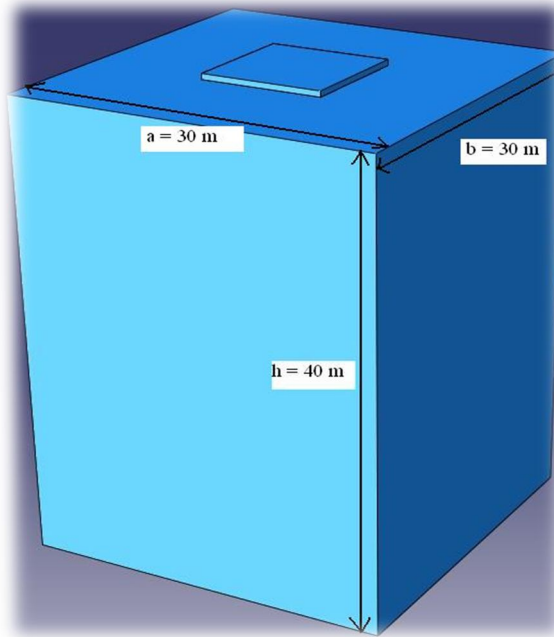
Grafik 4.9.

Tablo 4.9.

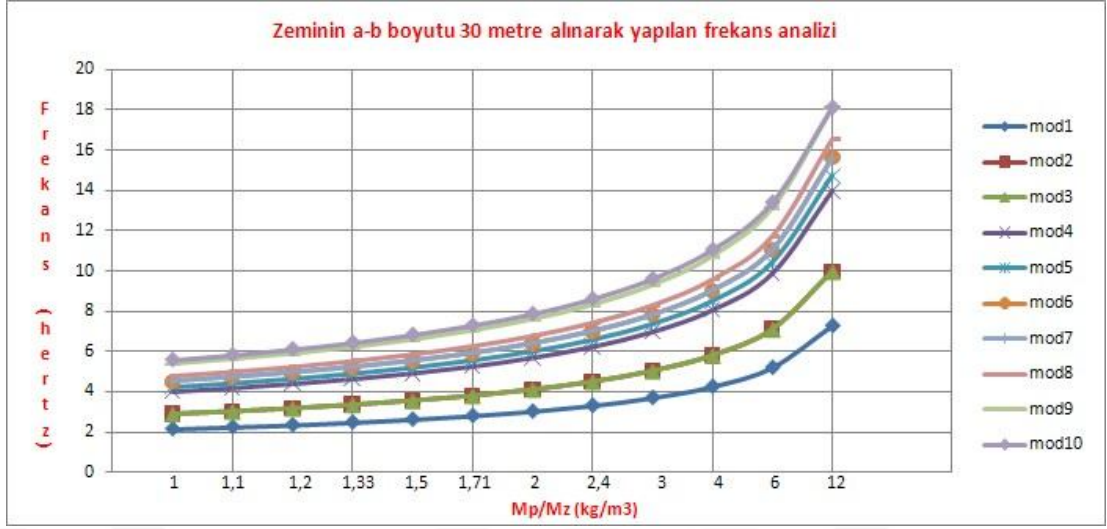
	h= 30 m	h = 20 m	h = 10 m
Mp/Mz	mod5	mod5	mod5
1	3,23	4,27	5,08
1,1	3,37	4,46	5,3
1,2	3,54	4,68	5,56
1,33	3,73	4,93	5,86
1,5	3,95	5,23	6,21
1,71	4,23	5,58	6,63
2	4,57	6,03	7,15
2,4	5	6,6	7,83
3	5,59	7,37	8,73
4	6,46	8,49	10,04
6	7,91	10,34	12,2
12	11,18	14,28	16,78
Mp = plağın kütle yoğunluğu			
Mz = zeminin kütle yoğunluğu			
modların birimi cycle/time = hertz			

Örnek 8

Zeminin 30X30X40 boyutundaki bir parçası ile söz konusu küpün üst yüzeyinin geometrik merkezine yerleştirilmiş 10X10X0.5 boyutundaki plağın bulunduğu sistem ana zeminden uygun sınır koşulları kullanılıp ayrılarak incelenmiştir. Tüm özellikler ve yapılan tüm işlemler bir önceki örnekle aynıdır sadece zeminin “a” ve “b” boyutu 30 metre alınmıştır.



Resim4.9.



Grafik 4.10.

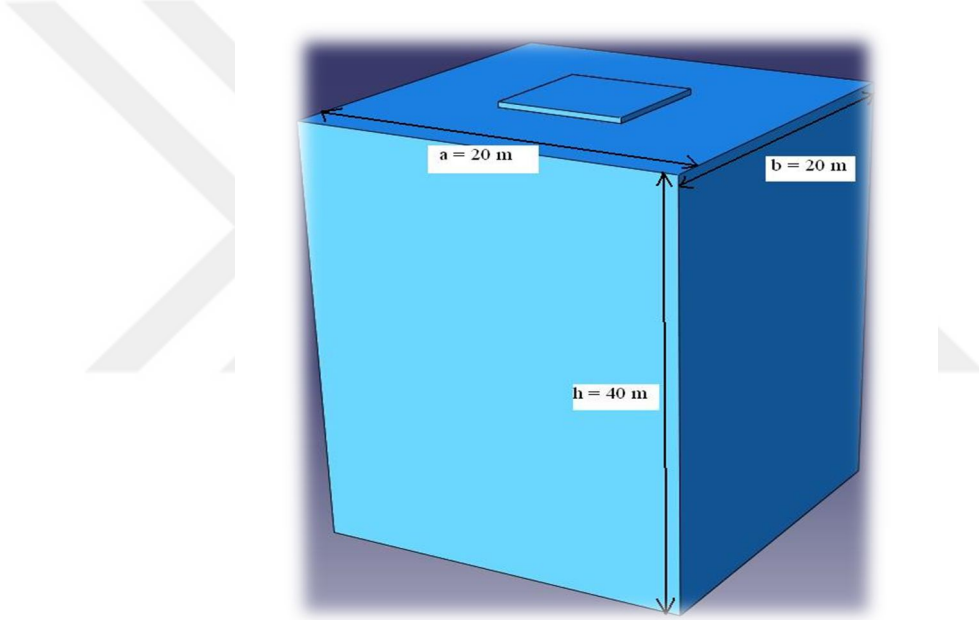
Tablo 4.10.

M_p/M_z	mod1	mod2	mod3	mod4	mod5	mod6	mod7	mod8	mod9	mod10
1	2,14	2,91	2,91	4,03	4,26	4,52	4,52	4,8	5,36	5,59
1,1	2,24	3,04	3,04	4,21	4,45	4,73	4,73	5,01	5,6	5,83
1,2	2,34	3,19	3,19	4,42	4,67	4,96	4,96	5,25	5,87	6,12
1,33	2,47	3,37	3,37	4,66	4,92	5,22	5,22	5,54	6,19	6,44
1,5	2,62	3,57	3,57	4,94	5,22	5,54	5,54	5,87	6,56	6,83
1,71	2,8	3,81	3,81	5,28	5,58	5,92	5,92	6,28	7,02	7,3
2	3,02	4,12	4,12	5,71	6,03	6,4	6,4	6,78	7,58	7,87
2,4	3,31	4,51	4,51	6,25	6,6	7,01	7,01	7,43	8,3	8,61
3	3,7	5,04	5,04	6,99	7,38	7,83	7,83	8,3	9,28	9,61
4	4,26	5,81	5,81	8,07	8,52	9,04	9,04	9,58	10,72	11,05
6	5,21	7,1	7,1	9,88	10,43	11,07	11,07	11,72	13,12	13,39
12	7,3	9,97	9,97	13,97	14,72	15,64	15,64	16,52	18,1	18,1
Mp = plâğin kütle yoğunluğu										
Mz = zeminin kütle yoğunluğu										
modların birimi cycle/time = hertz										

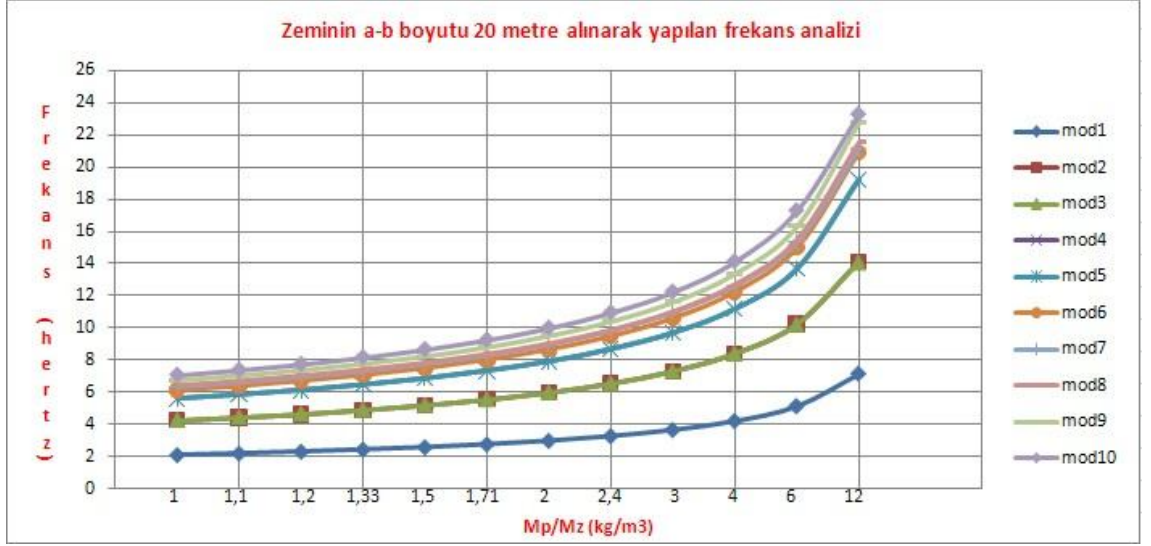
Grafik 4.10. ve Tablo 4.10.'da görülen sonuçlardan plak kütesinin zemin kütesine olan oranı 1 değerine yukarıdan yaklaştıkça doğal frekanslardaki değişimler azalmaktadır ve eğriler toplu halde yataya yaklaşmaktadır. Mod arttıkça frekansı arttığı gibi frekans artışının da hızlandığı görülür.

Örnek 9

Zeminin 20X20X40 boyutundaki bir parçası ile söz konusu küpün üst yüzeyinin geometrik merkezine yerleştirilmiş 10X10X0.5 boyutundaki plağın bulunduğu sistem ana zeminden uygun sınır koşulları kullanılıp ayrılarak incelenmiştir. Tüm özellikler ve yapılan tüm işlemler bir önceki örnekle aynıdır sadece zeminin “a” ve “b” boyutu 20 metre alınmıştır.



Resim 4.10.



Grafik 4.11.

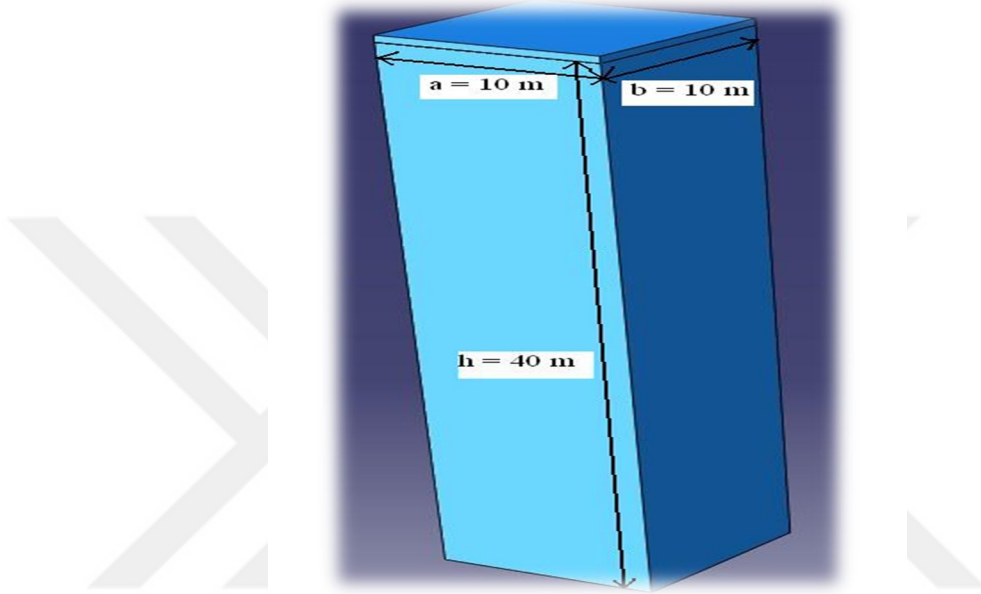
Tablo 4.11.

Mp/Mz	mod1	mod2	mod3	mod4	mod5	mod6	mod7	mod8	mod9	mod10
1	2,13	4,25	4,25	5,61	5,61	6,13	6,37	6,39	6,73	7,06
1,1	2,23	4,44	4,44	5,85	5,85	6,4	6,65	6,67	7,03	7,38
1,2	2,34	4,64	4,65	6,14	6,14	6,72	6,98	7	7,37	7,74
1,33	2,47	4,9	4,9	6,47	6,47	7,08	7,35	7,37	7,76	8,16
1,5	2,61	5,2	5,2	6,86	6,86	7,51	7,8	7,81	8,23	8,65
1,71	2,79	5,55	5,55	7,34	7,34	8,03	8,33	8,35	8,8	9,25
2	3,01	5,99	5,99	7,92	7,92	8,67	9	9,01	9,5	9,99
2,4	3,3	6,55	6,55	8,68	8,68	9,49	9,85	9,85	10,4	10,94
3	3,68	7,31	7,31	9,7	9,7	10,61	10,99	11,01	11,61	12,23
4	4,23	8,41	8,41	11,19	11,19	12,25	12,64	12,7	13,38	14,12
6	5,15	10,23	10,23	13,68	13,68	14,99	15,34	15,51	16,33	17,29
12	7,15	14,11	14,11	19,24	19,24	20,93	21,13	21,58	22,81	23,28
Mp = plağın kütle yoğunluğu										
Mz = zeminin kütle yoğunluğu										
modların birimi cycle/time = hertz										

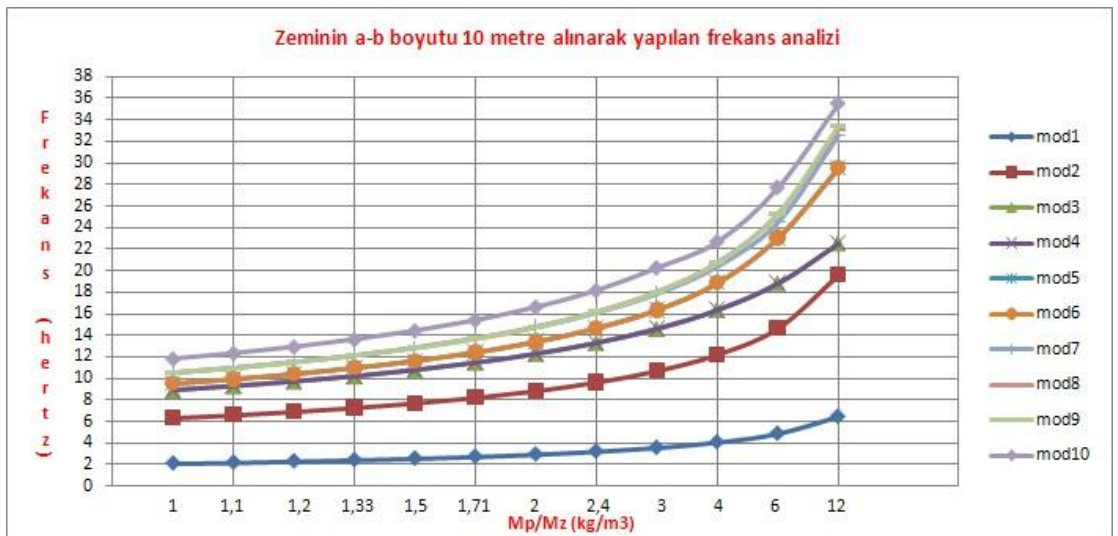
Grafik 4.11. ve Tablo 4.11.’den görülüyor ki örnek 8’e göre “a” ve “b” boyutundaki azalma doğal frekansların artışına sebep olmuştur ve ilk 3 moddan sonra hızlı bir yükselişe geçildiği görülmüştür, doğal frekans eğrilerinin git gide yataydan uzaklaştığı net bir şekilde gözlemlenmiştir.

Örnek 10

Zeminin 10X10X40 boyutundaki bir parçası ile söz konusu küpün üst yüzeyinin geometrik merkezine yerleştirilmiş 10X10X0.5 boyutundaki plağın bulunduğu sistem ana zeminden uygun sınır koşulları kullanılıp ayrılarak incelenmiştir. Tüm özellikler ve yapılan tüm işlemler bir önceki örnekle aynıdır sadece zeminin “a” ve “b” boyutu 10 metre alınmıştır.



Resim 4.11.

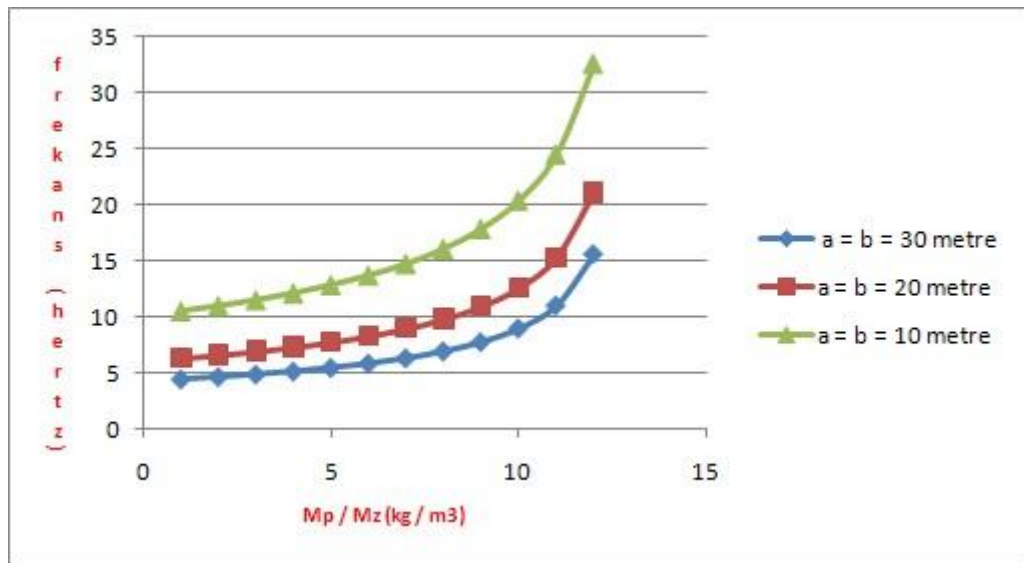


Grafik 4.12.

Tablo 4.12.

Mp/Mz	mod1	mod2	mod3	mod4	mod5	mod6	mod7	mod8	mod9	mod10
1	2,12	6,35	8,89	8,89	9,54	9,54	10,52	10,52	10,55	11,8
1,1	2,2	6,62	9,27	9,27	9,96	9,96	10,98	10,98	11,01	12,32
1,2	2,32	6,94	9,7	9,7	10,44	10,44	11,51	11,51	11,53	12,91
1,33	2,44	7,3	10,19	10,19	11	11	12,12	12,12	12,14	13,6
1,5	2,58	7,73	10,77	10,77	11,65	11,65	12,84	12,84	12,84	14,41
1,71	2,75	8,24	11,45	11,45	12,45	12,45	13,7	13,71	13,71	15,39
2	2,96	8,87	12,28	12,28	13,43	13,43	14,74	14,79	14,79	16,6
2,4	3,23	9,67	13,3	13,3	14,69	14,69	16,08	16,17	16,17	18,15
3	3,58	10,73	14,61	14,61	16,39	16,39	17,85	18,03	18,03	20,25
4	4,09	12,25	16,37	16,37	18,89	18,89	20,39	20,76	20,76	22,67
6	4,89	14,67	18,84	18,84	23,07	23,07	24,48	25,3	25,3	27,7
12	6,47	19,61	22,54	22,54	29,54	29,54	32,53	33,14	33,48	35,48
Mp = plağın kütle yoğunluğu										
Mz = zeminin kütle yoğunluğu										
modların birimi cycle/time = hertz										

Grafik 4.12. ayrıntılı olarak incelendiğinde örnek 8 ve örnek 9'dan daha kararlı bir şekilde mod eğrileri arasındaki açıklık artmaktadır ve dolayısıyla frekansın artış hızı yükselmiştir. Örnek 8, 9, 10'un mod 7 eğrisi incelendiğinde boyutlar azaldıkça frekansların daha çabuk arttığı, başka bir deyişle boyutlar azaldıkça mod eğrilerinin yataydan bir hayli uzaklaştığı ve keskin bir yükselişe geçtiği gözlemlenir.



Grafik 4.13.

Tablo 4.13.

	a=b=30 m	a=b=20 m	a=b=10 m
Mp/Mz	mod7	mod7	mod7
1	4,52	6,37	10,52
1,1	4,73	6,65	10,98
1,2	4,96	6,98	11,51
1,33	5,22	7,35	12,12
1,5	5,54	7,8	12,84
1,71	5,92	8,33	13,7
2	6,4	9	14,74
2,4	7,01	9,85	16,08
3	7,83	10,99	17,85
4	9,04	12,64	20,39
6	11,07	15,34	24,48
12	15,64	21,13	32,53
Mp = plağın kütle yoğunluğu			
Mz = zeminin kütle yoğunluğu			
modların birimi cycle/time = hertz			

4.1.1. Plak ve Zemin Materyallerinin Ağ Yapılarına Bağlı Olarak Elastik Zemine Oturan Plak Sisteminin Doğal Frekanslarının Belirlenmesi

Örnek 11

Bu amaçla zeminin 40X40X40 boyutundaki küp geometrisine sahip bir parçası ile söz konusu küpün üst yüzeyinin geometrik merkezine yerleştirilmiş 10X10X0.5 boyutundaki plağın bulunduğu sistem ana zeminden uygun sınır koşulları kullanılıp ayrılarak incelenmiştir.

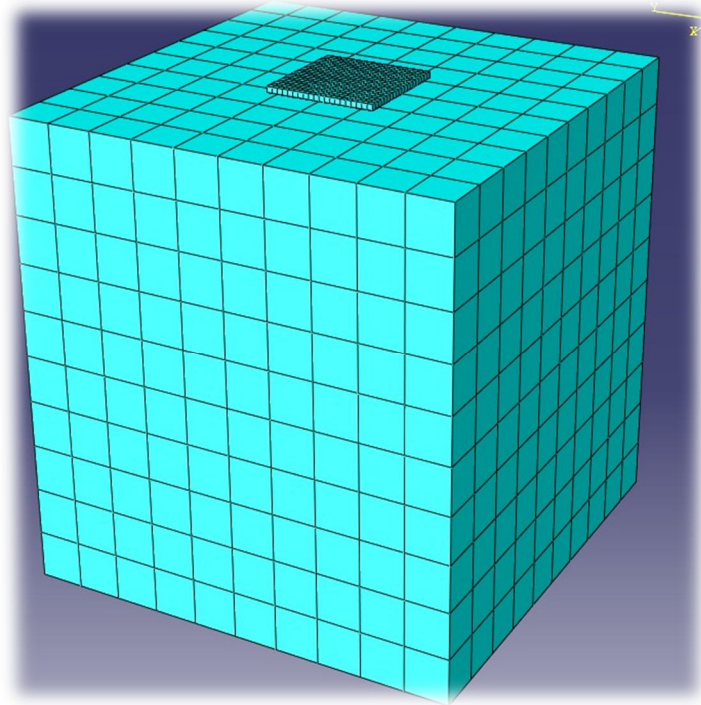
Sınır koşulları küpün düşey yüzeylerine teğetsel doğrultularda serbest, yüzey normali doğrultusunda ise tutulu olma şartı olarak verilmiştir. Küpün alt yüzeyi tüm doğrultularda tutulu üst yüzeyi ise tüm doğrultularda serbesttir.

Plak ve zemin arasında interaksiyon tanımlanmış olup İki yüzeyin etkileşiminde sürtünmenin nasıl olacağını belirtmek için mekanik bölümünden tanjant

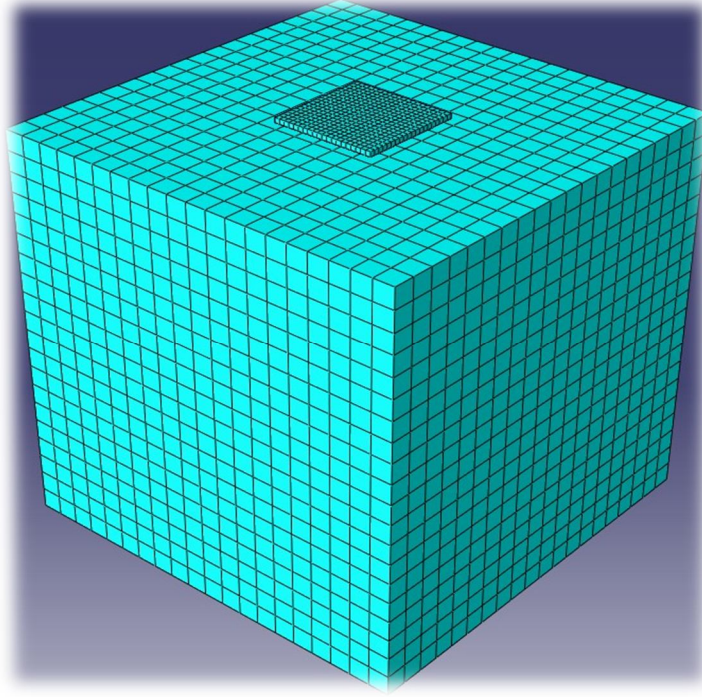
davranışını seçilip sürtünme şekli belirtilir burada “**rough**” seçilmiştir. Yani iki yüzey arasının pütür pütür tırtıklı olduğunu belirtilmiştir. Normal davranışın özelliklerine ise “**hard contact**” seçeneğini seçilir, yüzeyler birbiriyle sıkı bir şekilde etkileşim halinde olması istenmiştir ve “**allow separation after contact**” seçeneği işaretlenmiştir. Yani etkileşim sonrası ayrılmaya müsaade edilmiştir.

Analizin oluşturulmasında kullanılan grafiklerin elde edilmesi sırasında plak ve zeminin sabit bir kütle yoğunluğu değeri $2400 \text{ kg} / \text{m}^3$ kullanılmıştır. Ayrıca zeminin elastisite modülü $21 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ alınırken poisson oranı 0.3 alınmıştır, plak içinse elastisite modülü $28 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ alınırken poisson oranı 0.2 alınmıştır.

Plak ve zeminin ağ yapısı hegzagonal yani altıgen alınarak incelenmiştir. Plak mesh aralığı sabit tutulurken zemin mesh aralığı (ağ sıklığı) 5.5 metre – 1.5 metre aralığındaki değişen değerleri kullanılmıştır. Mesh aralığının azalması ağ yapısındaki eleman sayısının artması anlamına gelir.

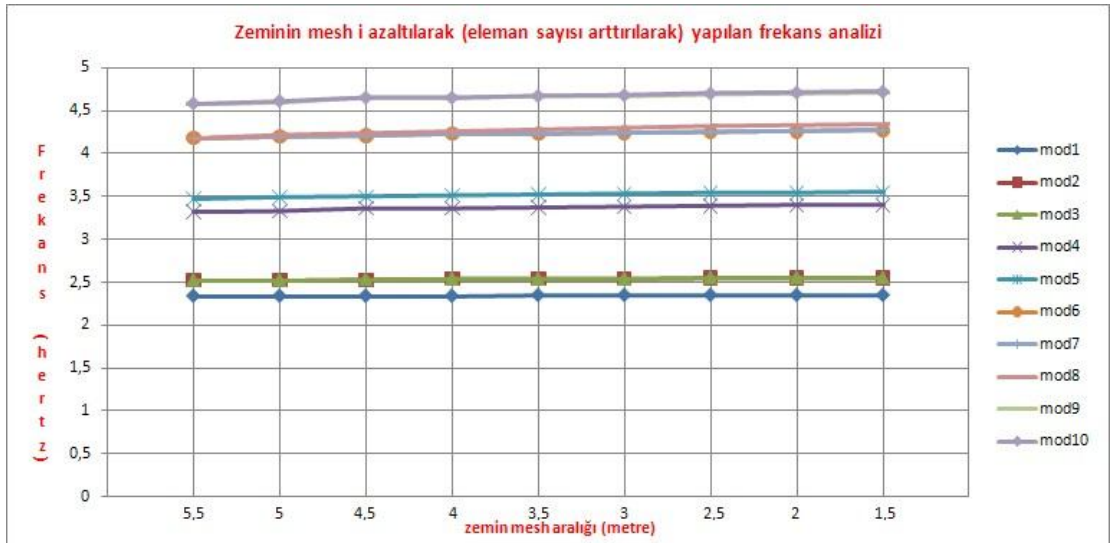


Resim 4.12.



Resim 4.13.

Resim 4.12. ve 4.13.'te görüldüğü gibi zeminin ağ sıklığı (mesh aralığı) azaltılarak frekans analizleri incelenmiştir.



Grafik 4.14.

Tablo 4.14.

zemin mesh aralığı	mod1	mod2	mod3	mod4	mod5	mod6	mod7	mod8	mod9	mod10
5,5 metre	2,34	2,52	2,52	3,32	3,47	4,18	4,18	4,18	4,58	4,58
5 metre	2,34	2,52	2,52	3,33	3,49	4,2	4,2	4,22	4,6	4,61
4,5 metre	2,34	2,53	2,53	3,36	3,5	4,21	4,21	4,24	4,65	4,65
4 metre	2,34	2,54	2,54	3,36	3,51	4,23	4,23	4,26	4,65	4,65
3,5 metre	2,35	2,54	2,54	3,37	3,52	4,23	4,23	4,28	4,67	4,67
3 metre	2,35	2,54	2,54	3,38	3,53	4,24	4,24	4,3	4,67	4,68
2,5 metre	2,35	2,55	2,55	3,39	3,54	4,25	4,25	4,32	4,69	4,7
2 metre	2,35	2,55	2,55	3,4	3,54	4,26	4,26	4,33	4,7	4,71
1,5 metre	2,35	2,55	2,55	3,4	3,55	4,27	4,27	4,34	4,71	4,72
zemin mesh aralığı azaldıkça buna bağlı olarak eleman sayısı artar										
modların birimi cycle/time = hertz										

Grafik 4.14. ve Tablo 4.14.'te görülen sonuçlardan zemin mesh aralığı arttıkça doğal frekanslardaki değişimler azalmaktadır ve eğriler toplu halde yataya yaklaşmaktadır hatta ilk modlarda eğrilerin neredeyse yatay olduğu gözlenmiştir. Diğer örneklerin aksine doğal frekanslar arasındaki değişim çok azdır. Zeminin mesh aralığının değişmesi, zeminin kütle yoğunluğu değişimine göre doğal frekans artışını daha az etkiler.

4.1.2. Plak ve Zemin Materyallerinin Kütlesel Oranlarına Bağlı Olarak Elastik Boşluk Bulunan Zemine Oturan Plak Sisteminin Doğal Frekanslarının Belirlenmesi

Örnek 12

Bu amaçla zeminin 40X40X40 boyutundaki küp geometrisine sahip bir parçasının merkezinde 5X5X5 boyutlarında bir delik açılmıştır ve söz konusu küpün üst yüzeyinin geometrik merkezine yerleştirilmiş 10X10X0.5 boyutundaki plağın bulunduğu sistem ana zeminden uygun sınır koşulları kullanılıp ayrılarak incelenmiştir.

Sınır koşulları küpün düşey yüzeylerine teğetsel doğrultularda serbest, yüzey normali doğrultusunda ise tutulu olma şartı olarak verilmiştir. Küpün alt yüzeyi tüm doğrultularda tutulu üst yüzeyi ise tüm doğrultularda serbesttir.

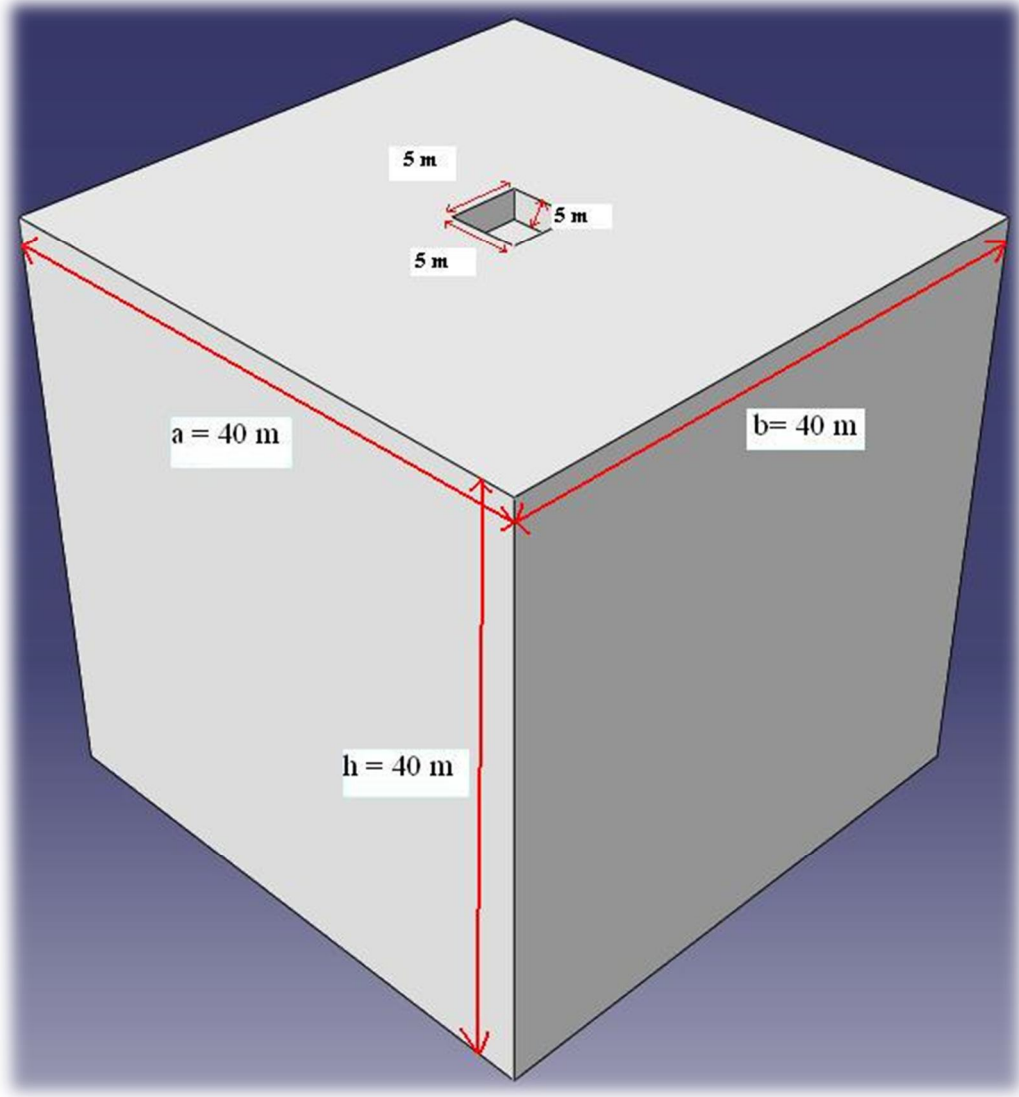
Plak ve zemin arasında interaksiyon tanımlanmış olup İki yüzeyin etkileşiminde sürtünmenin nasıl olacağını belirtmek için mekanik bölümünden tanjant

davranışını seçilip sürtünme şekli belirtilir burada “**rough**” seçilmiştir. Normal davranışın özelliklerine ise “**hard contact**” seçeneğini seçilir, yüzeyler birbiriyle sıkı bir şekilde etkileşim halinde olması istenmiştir ve “**allow separation after contact**” seçeneği işaretlenmiştir. Yani etkileşim sonrası ayrılmaya müsaade edilmiştir.

Analizin oluşturulmasında kullanılan grafiklerin elde edilmesi sırasında plağın sabit bir kütle yoğunluğu değeri $2400 \text{ kg} / \text{m}^3$ için zeminin kütle yoğunluğu $2400 \text{ kg} / \text{m}^3 - 200 \text{ kg} / \text{m}^3$ aralığındaki değişen değerleri kullanılmıştır. Ayrıca zeminin elastisite modülü $21 \times 10^7 \text{ N} / \text{m}^2$ alınırken poisson oranı 0.3 alınmıştır, plak içinse elastisite modülü $28 \times 10^9 \text{ N} / \text{m}^2$ alınırken poisson oranı 0.2 alınmıştır.

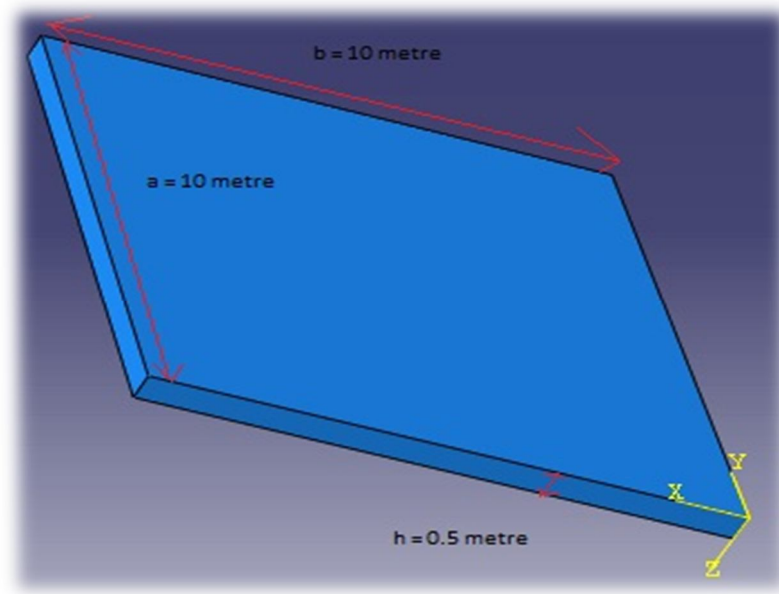
Plak ve zeminin ağ yapısı hegzagonal yani altıgen alınarak incelenmiştir.



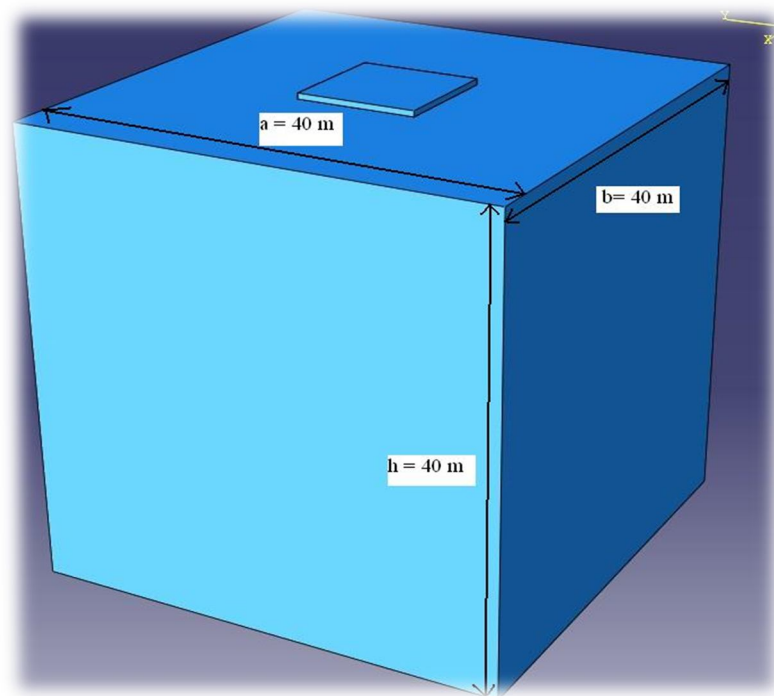


Resim 4.14.

Zeminde resim 4.14.'te görüldüğü gibi 5 m^3 lük bir boşluk varken üzerine plak konulmuştur ve yapılan frekans analizleri sonuçları incelenmiştir.

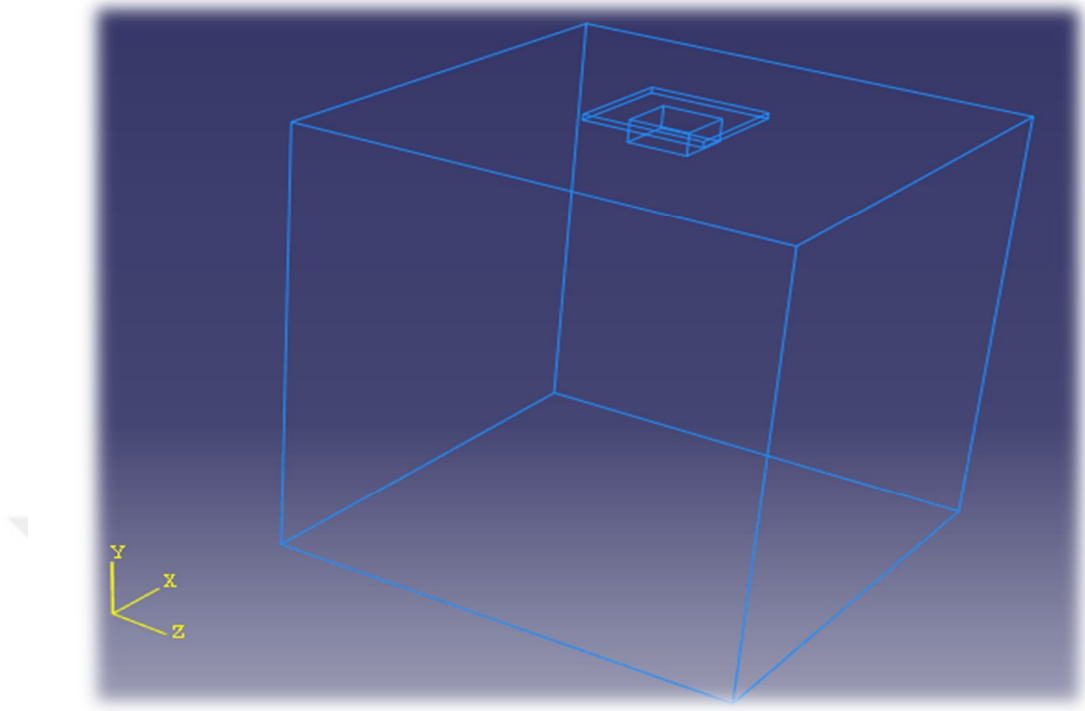


Resim 4.15.



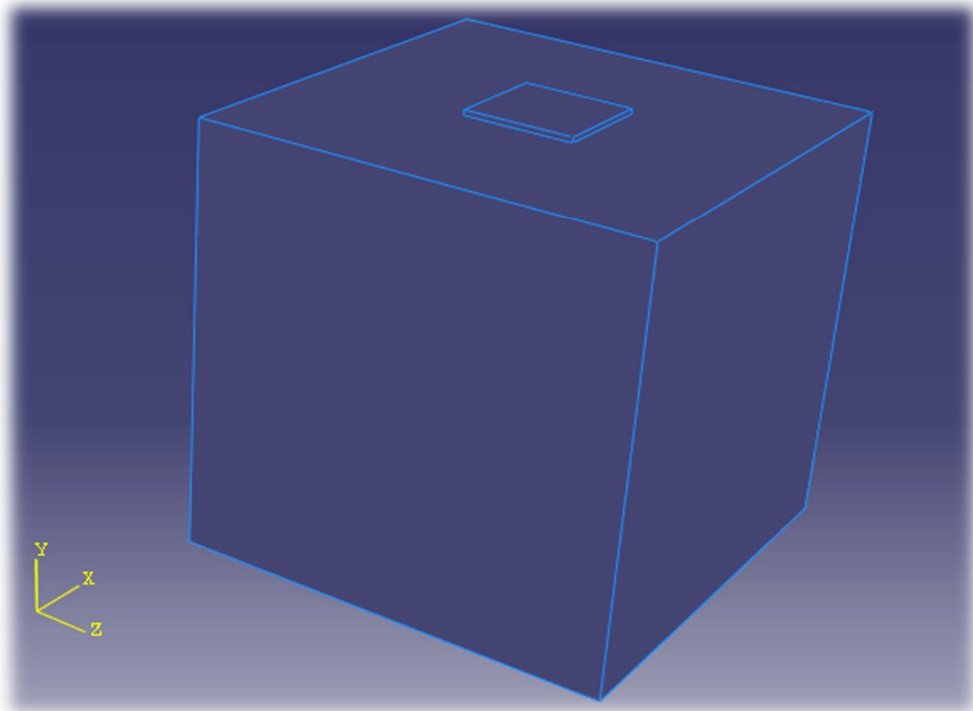
Resim 4.16.

Plakın altındaki boşluk resim 4.17.'de net bir şekilde görülmektedir.

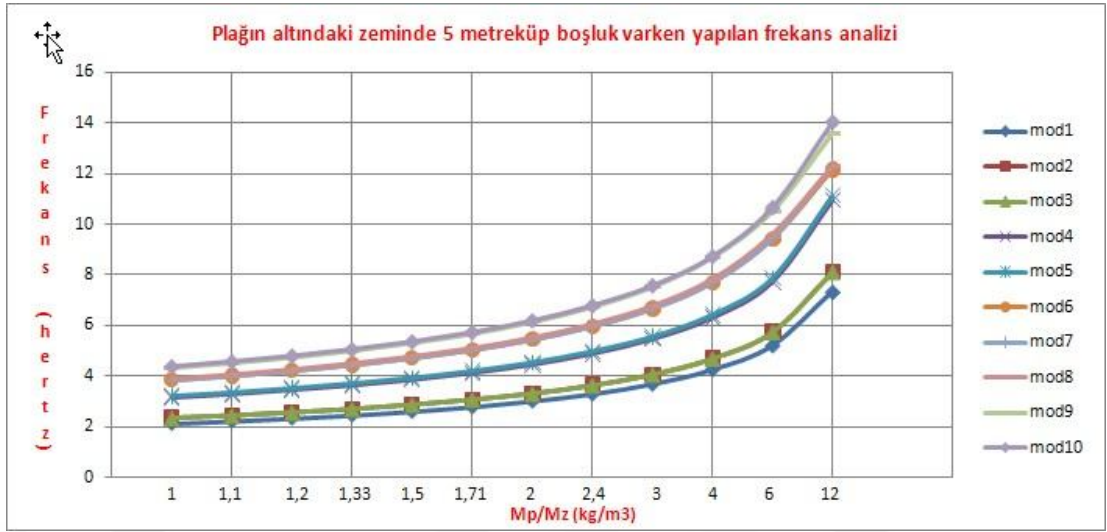


Resim 4.17.

5 m³ boşluk varken plak üstüne konulup, analiz yapılırsa



Resim 4.18.

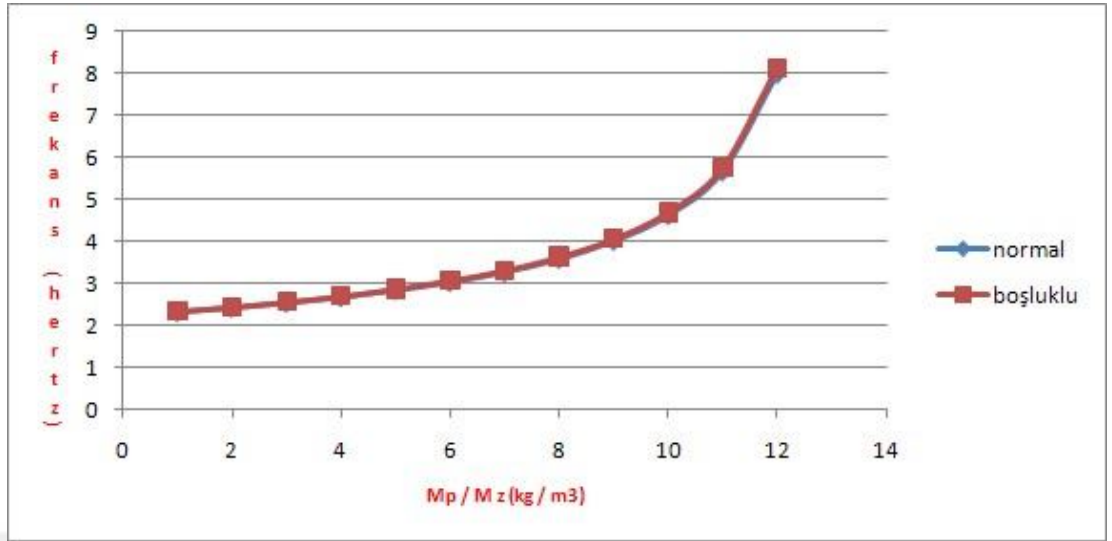


Grafik 4.15.

Tablo 4.15.

Mp/Mz	mod1	mod2	mod3	mod4	mod5	mod6	mod7	mod8	mod9	mod10
1	2,13	2,35	2,35	3,15	3,21	3,86	3,86	3,92	4,35	4,39
1,1	2,23	2,45	2,45	3,29	3,35	4,03	4,03	4,09	4,54	4,59
1,2	2,34	2,57	2,57	3,46	3,52	4,23	4,23	4,29	4,76	4,81
1,33	2,46	2,71	2,71	3,64	3,71	4,46	4,46	4,53	5,02	5,07
1,5	2,61	2,88	2,88	3,86	3,93	4,73	4,73	4,8	5,33	5,37
1,71	2,79	3,08	3,08	4,13	4,2	5,05	5,06	5,13	5,69	5,74
2	3,02	3,32	3,32	4,46	4,54	5,46	5,46	5,54	6,15	6,2
2,4	3,3	3,64	3,64	4,89	4,98	5,98	5,98	6,07	6,74	6,79
3	3,69	4,07	4,07	5,47	5,56	6,68	6,68	6,79	7,53	7,58
4	4,26	4,7	4,7	6,31	6,43	7,71	7,71	7,84	8,69	8,73
6	5,21	5,75	5,75	7,73	7,87	9,43	9,43	9,6	10,51	10,66
12	7,33	8,12	8,12	10,94	11,13	12,16	12,26	12,27	13,57	14,02
Mp = plâgın kütle yoğunluğu										
Mz = zeminin kütle yoğunluğu										
modların birimi cycle/time = hertz										

Zemin parçası $5 m^3$ boşluklu ve boşluksuz olmak üzere incelendiğinde yani örnek 1 ve örnek 12 incelendiğinde, zemindeki $5 m^3$ 'lük boşluğun frekansın az da olsa artmasında rol oynadığı gözlemlenmiştir.



Grafik 4.16.

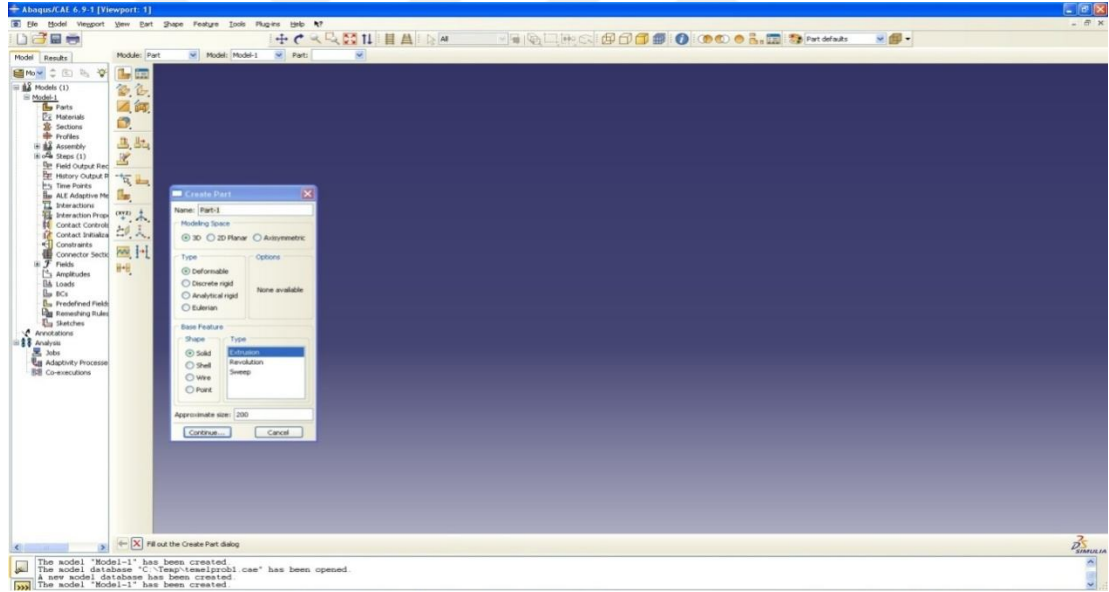
Tablo 4.16.

	normal	boşluklu
M_p/M_z	mod3	mod3
1	2,32	2,35
1,1	2,42	2,45
1,2	2,54	2,57
1,33	2,67	2,71
1,5	2,84	2,88
1,71	3,03	3,08
2	3,27	3,32
2,4	3,58	3,64
3	4,01	4,07
4	4,62	4,7
6	5,66	5,75
12	7,98	8,12
Mp = plağın kütle yoğunluğu		
Mz = zeminin kütle yoğunluğu		
Modların birimi = hertz		

5. EKLER

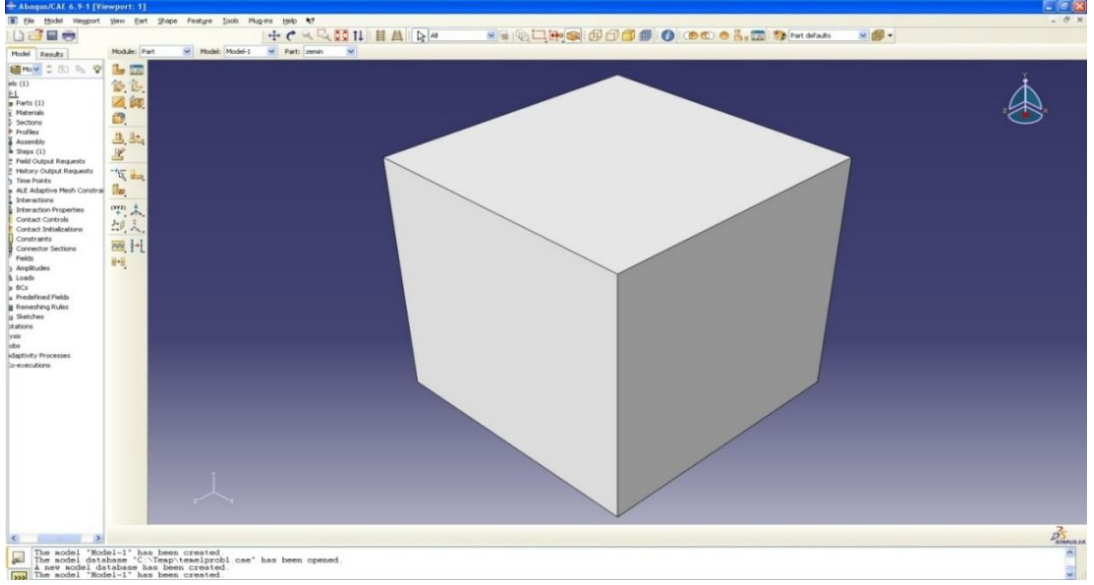
Doğal frekansların bulunması istenilen sistemin, zeminin 40X40X40 boyutundaki küp geometrisine sahip bir parçası ile söz konusu küpün üst yüzeyinin geometrik merkezine yerleştirilmiş 10X10X0.5 boyutundaki plağın bulunduğu sistem ana zemin den uygun sınır koşulları kullanılıp ayrılarak incelenmiştir. Bu incelemeyi daha iyi anlatabilmek için bu ekler başlığı altında sistemin Abaqus CAE ara yüzü kullanılarak detaylı olarak nasıl oluşturulduğu aşağıdaki örnek program girişinde anlatılmıştır.

Abaqus programı açıldığında “**part**” sekmesinden geometrik şekil oluşturmaya başlanılır.



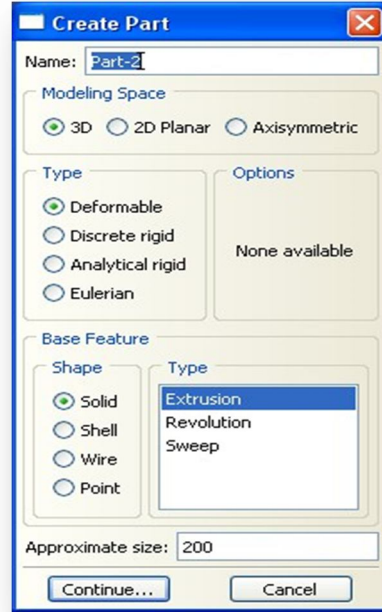
Resim 5.1.

İlk önce plağımızın altında olacak olan zemin parçası oluşturulur. Solid eleman ve 3d olan şeklin tüm boyutları 40 metre olacak şekilde girilir, 40x40x40 metreküplük zemin parçası oluşturulur.



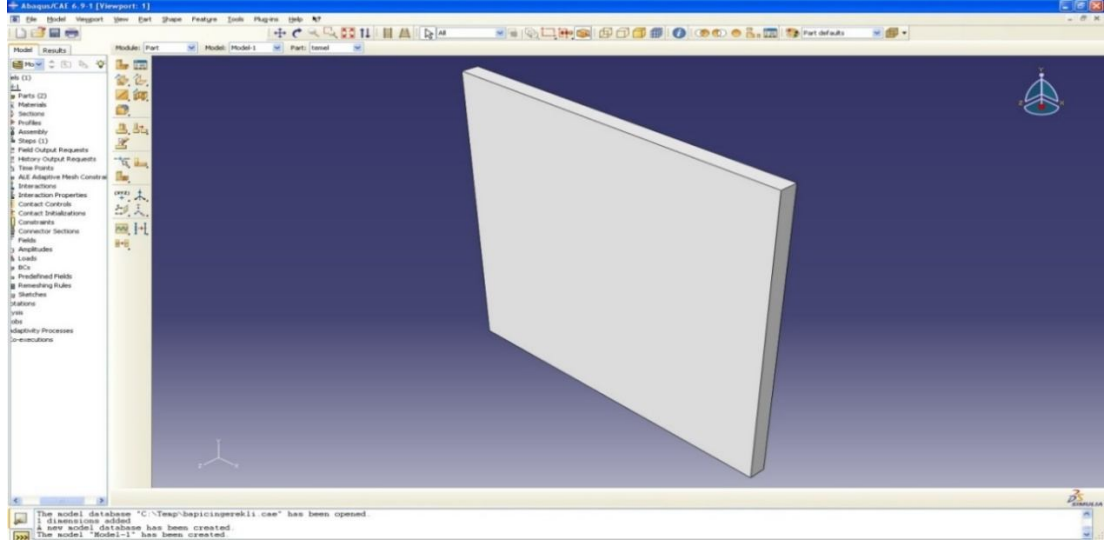
Resim 5.2.

Daha sonra aynı yöntemle plak oluşturulur.



Resim 5.3.

Bu örnekte plağın eni ve boyu 10 metre girilip yüksekliği 0.5 metre alınmıştır.



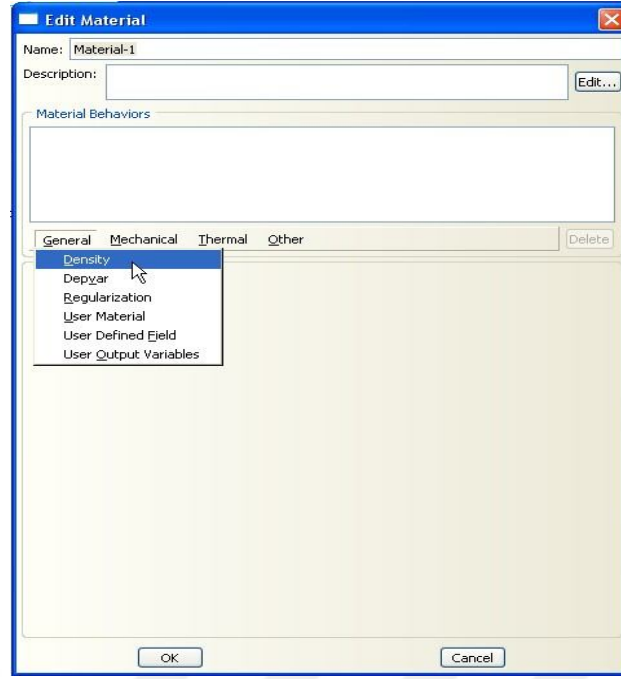
Resim 5.4.

Plak da oluşturulduktan sonra artık bu şekillerin malzemesini tanımlanır.



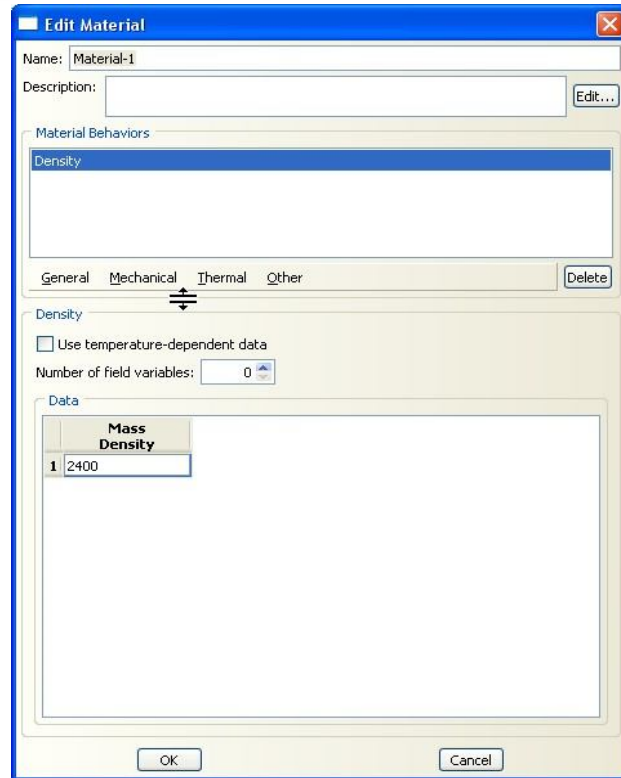
Resim 5.5.

Create material sekmesi altında malzeme hem zemin hem de plak için tanımlanır.



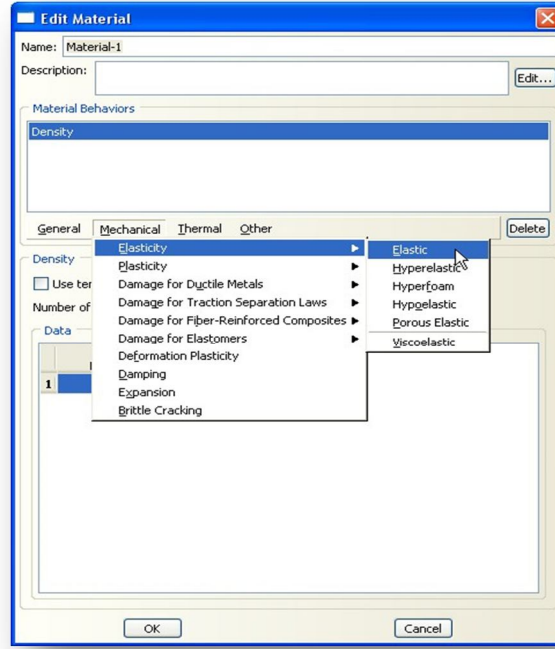
Resim 5.6.

Kütle yoğunluğunu beton ve zemin içinde $2400 \text{ kg} / \text{m}^3$ alınmıştır. Yapılan örnekler de zaten kütle yoğunluğunu sürekli azaltarak frekans analizleri sonuçlarının değişimini incelenmiştir.



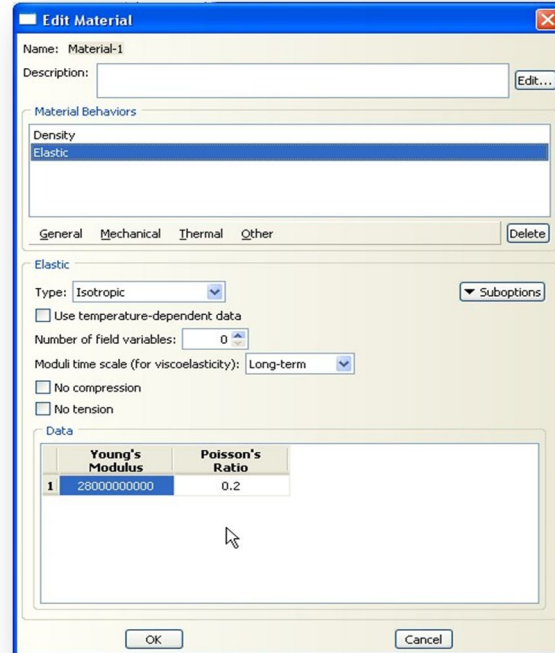
Resim 5.7.

Elastisite modülü de hem beton plak için hem zemin için girilir.



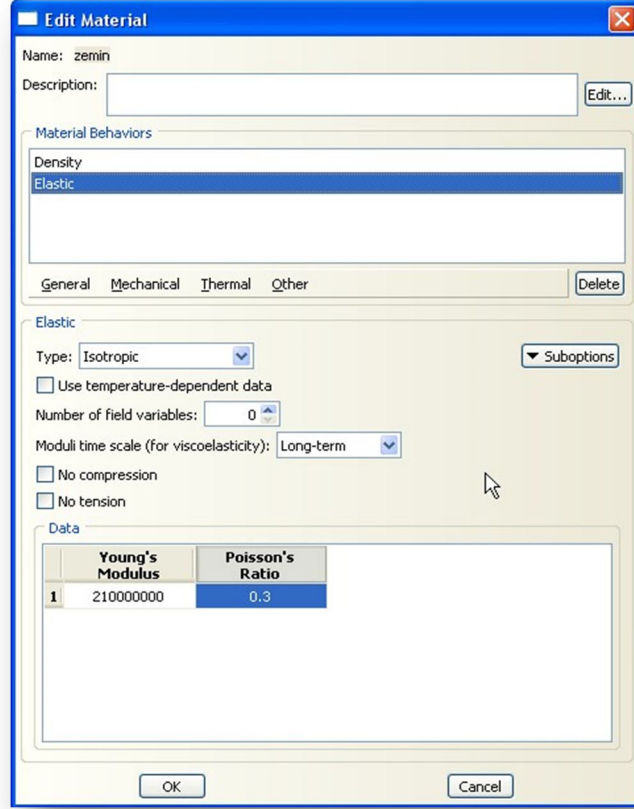
Resim 5.8.

Beton için elastisite modülü $28 \times 10^9 \text{ N} / \text{m}^2$ poisson oranı da 0.2 girilmiştir.



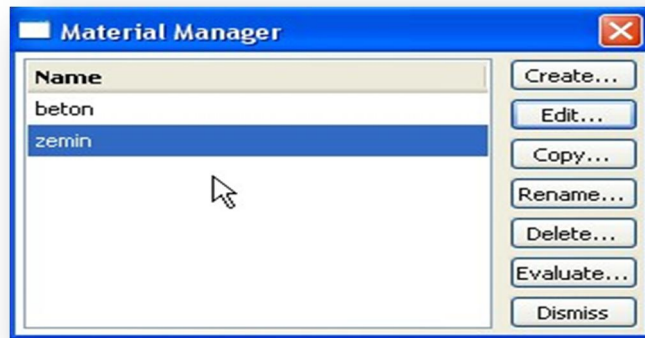
Resim 5.9.

Zemin için elastisite oranı $21 \times 10^7 \text{ N} / \text{m}^2$ poisson oranı da 0.3 girilmiştir.



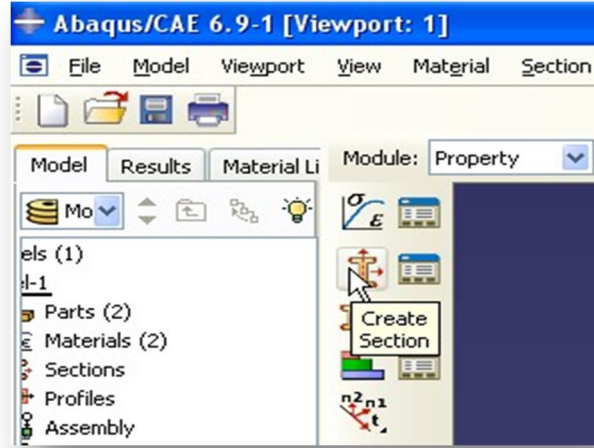
Resim 5.10.

Böylece iki malzeme de oluşturulmuştur.



Resim 5.11.

Bu iki malzeme için kesit oluşturulur.



Resim 5.12.

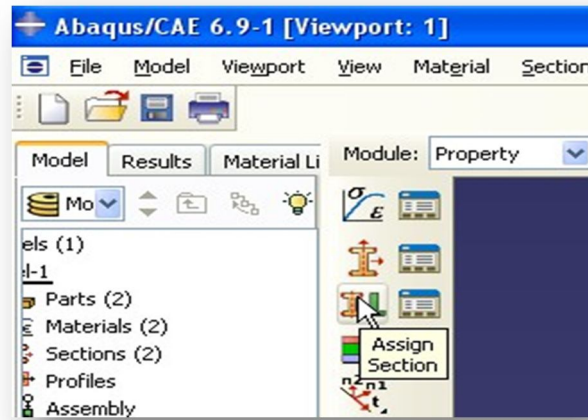


Resim 5.13.



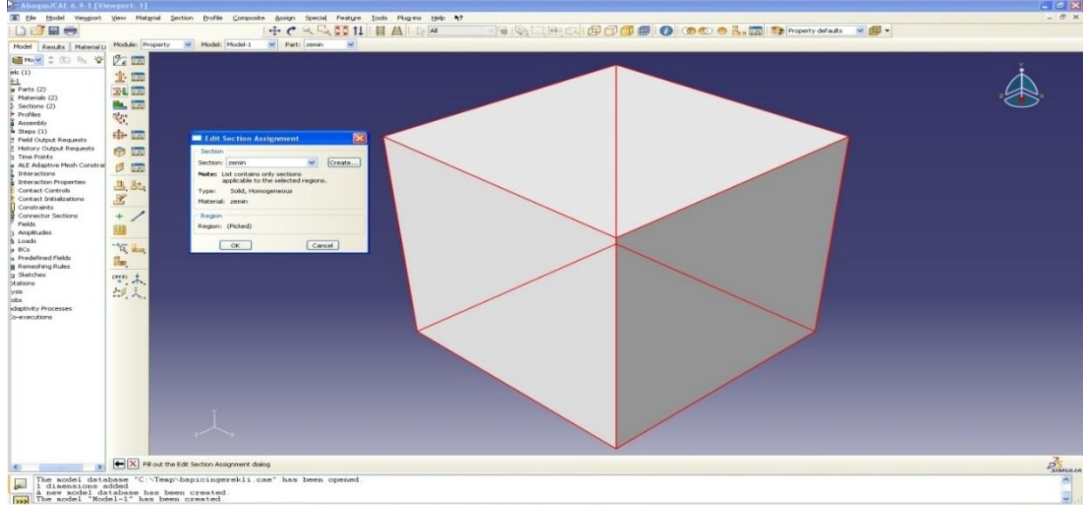
Resim 5.14.

Sıra geldi oluşturulan şekillere, bu oluşturulan malzemelerin atanmasına,

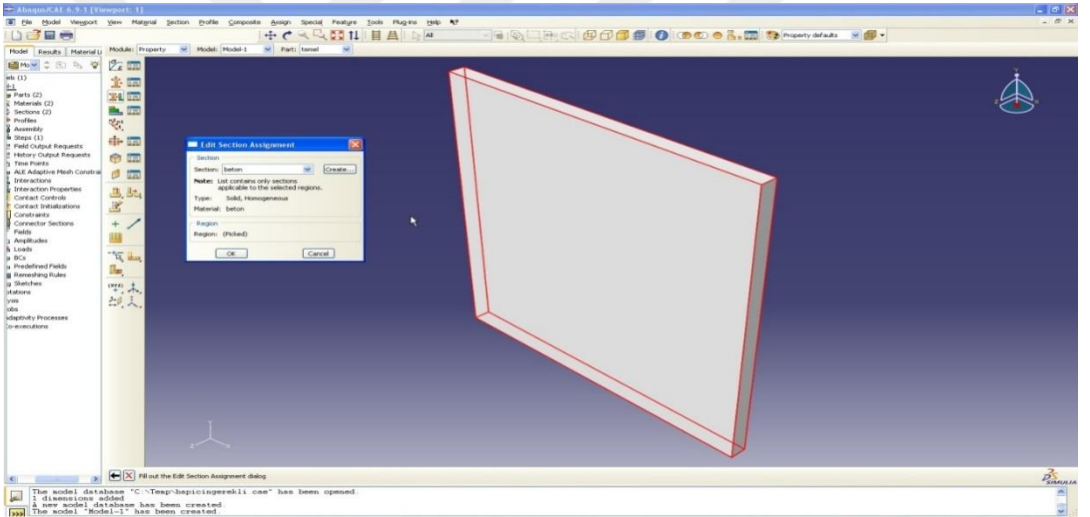


Resim 5.15.

Assign section sekmesinden,



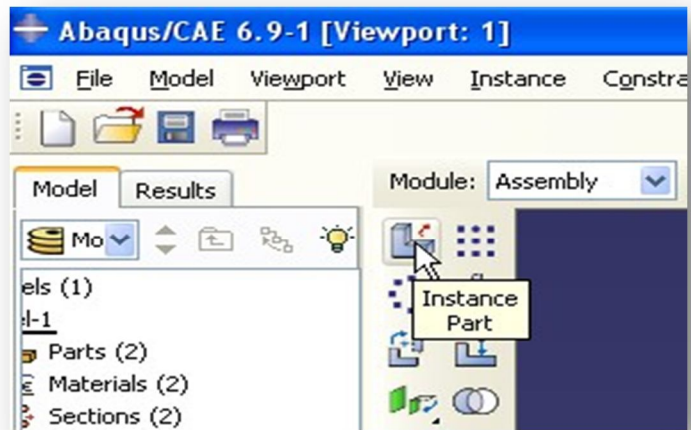
Resim 5.16.



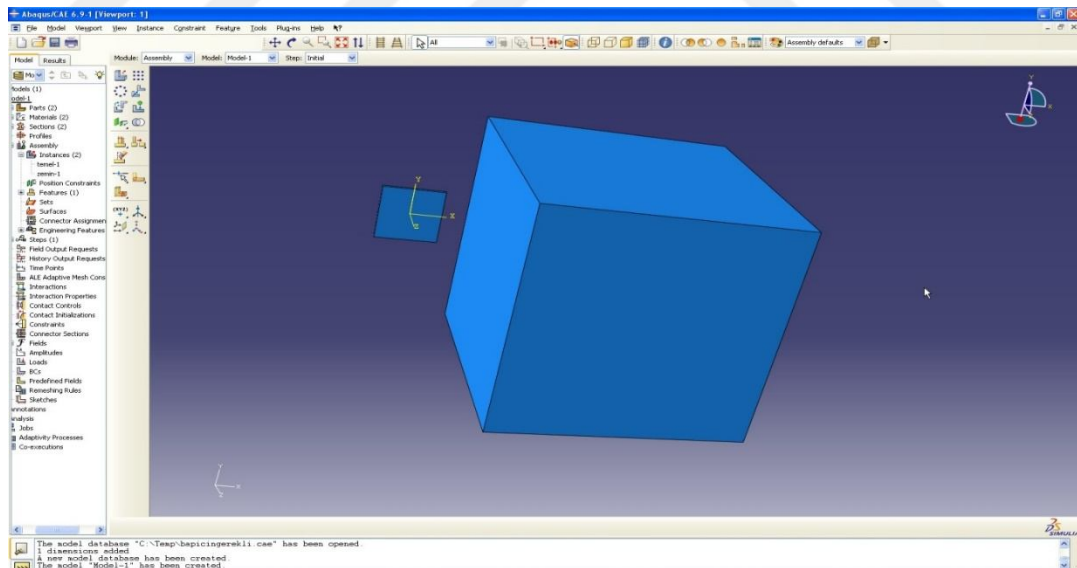
Resim 5.17.

Her iki şeklin malzemeleri tanımlanır.

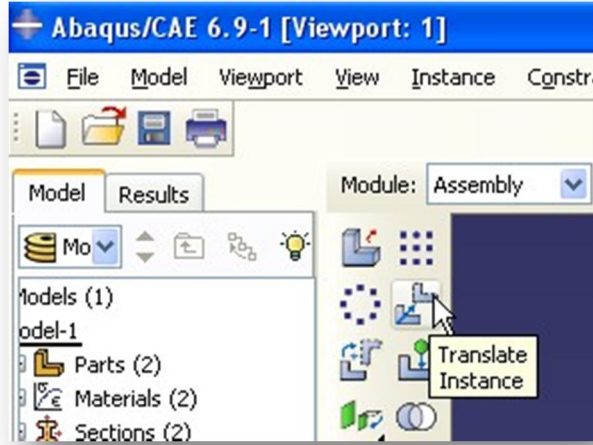
Assembly kısmına gelip **instance part** sekmesinden oluşturulan plak ve zemin seçilip analiz edilecek forma getirmek için işleme başlanır.



Resim 5.18.

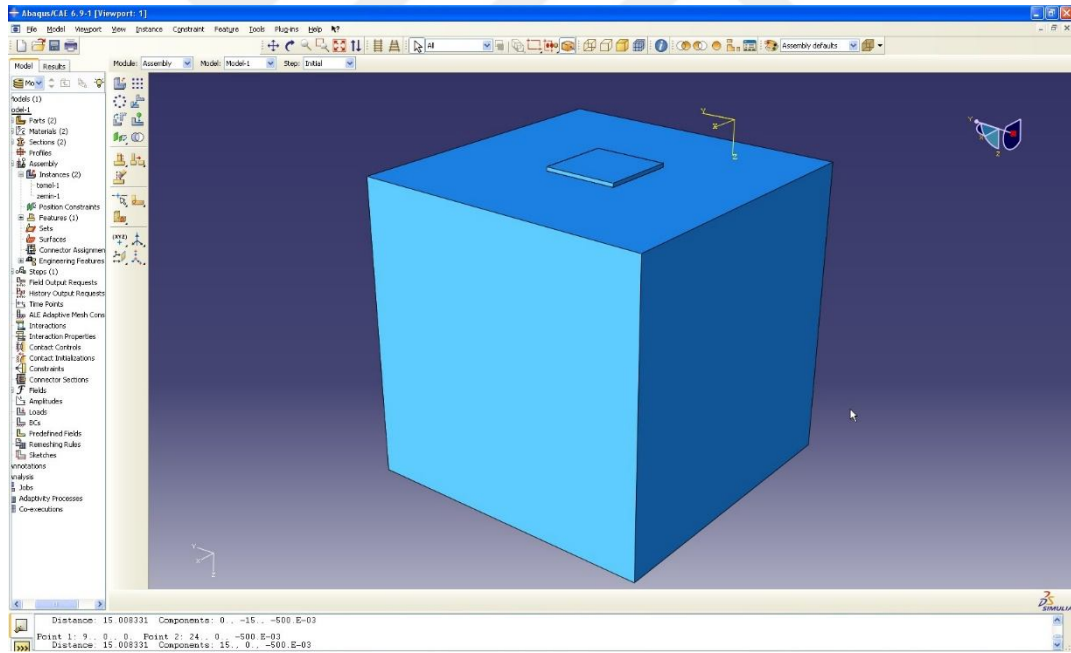


Resim 5.19.



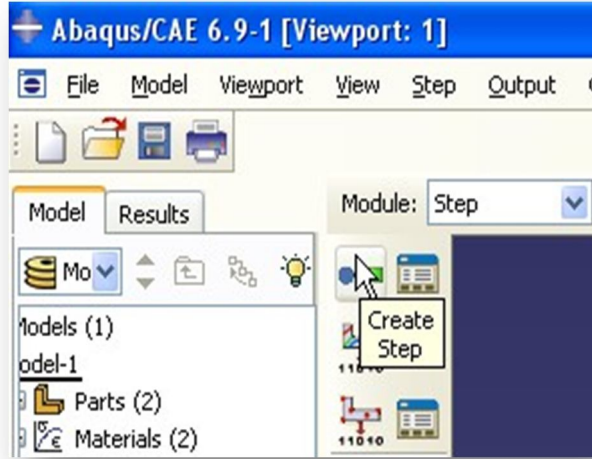
Resim 5.20.

Translate instance sekmesine gelinip plak zemin merkezine oturtulur.



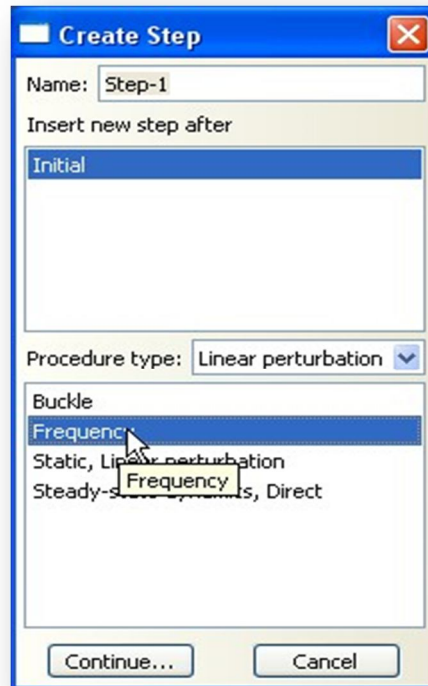
Resim 5.21.

Artık analiz formuna getirilen şeklin ne analizi yapacağı belirlenir.



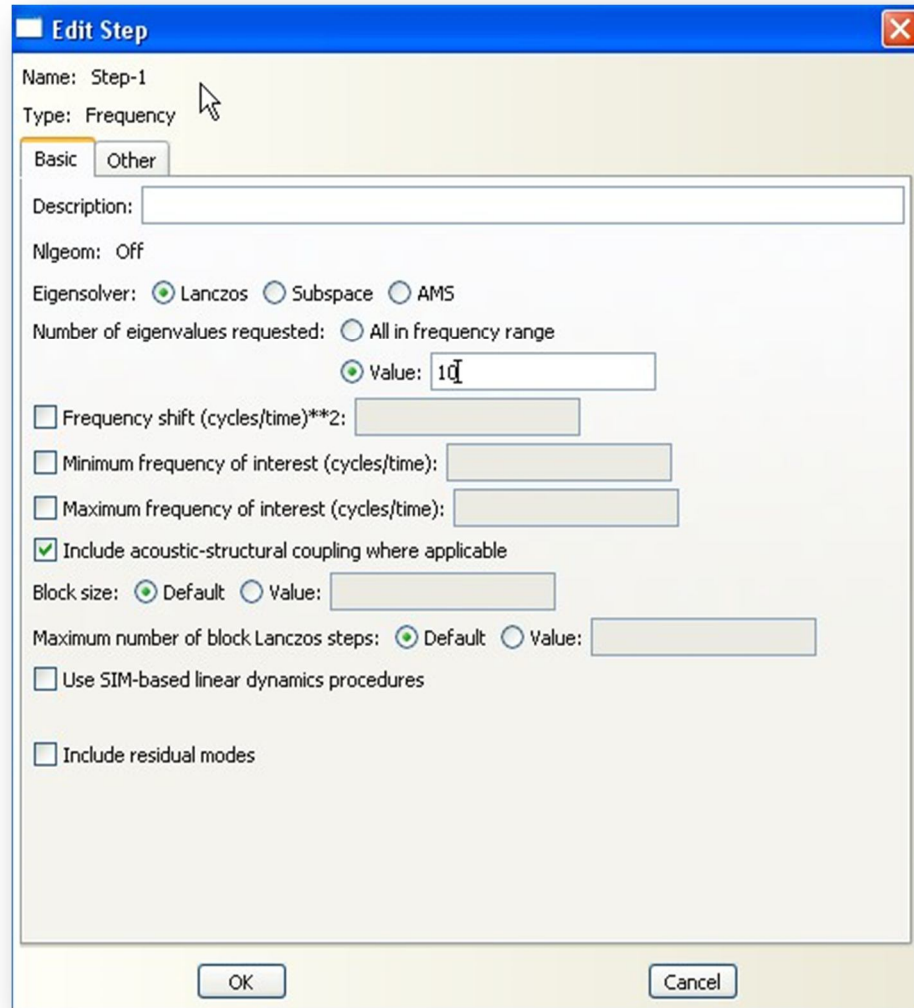
Resim 5.22.

Create step sekmesine girilir ve frekans analizi yapılacak şekilde tanımlanır.



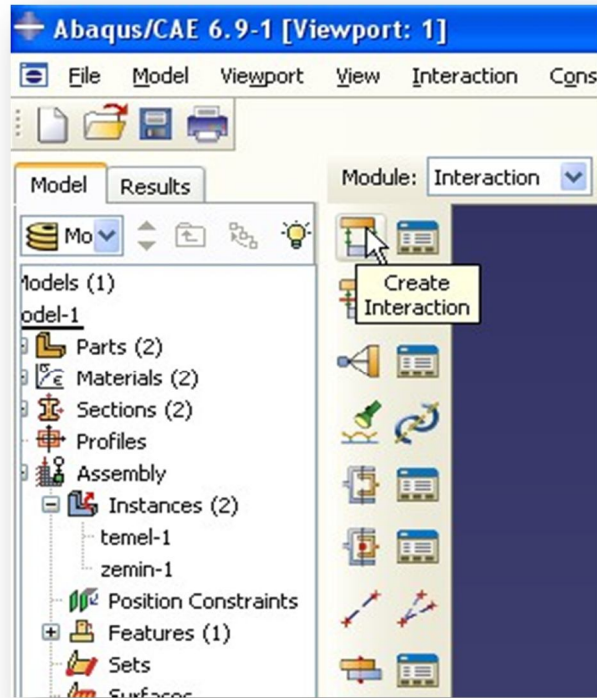
Resim 5.23.

10 adet değer bulunması için “value” bölümüne 10 değeri girilmiştir.



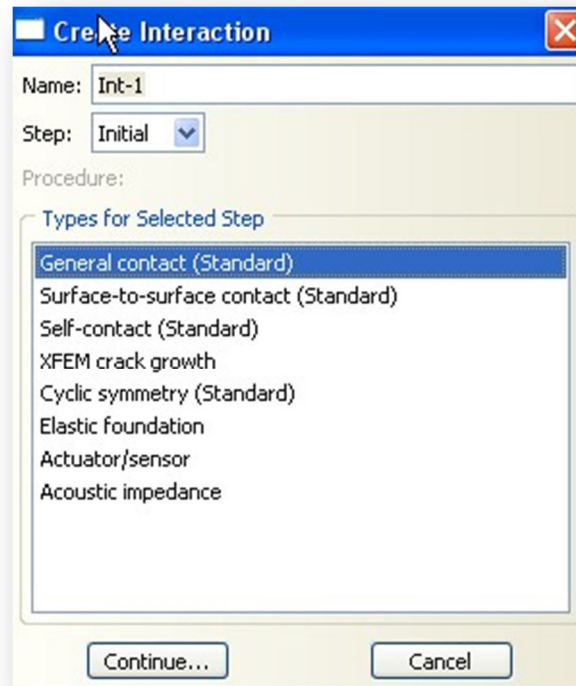
Resim 5.24.

Interaction kısmından **Create interaction** sekmesine girilir ve zemin ile plak arasındaki etkileşimler (sürtünme kuvveti gibi) tanımlanır.



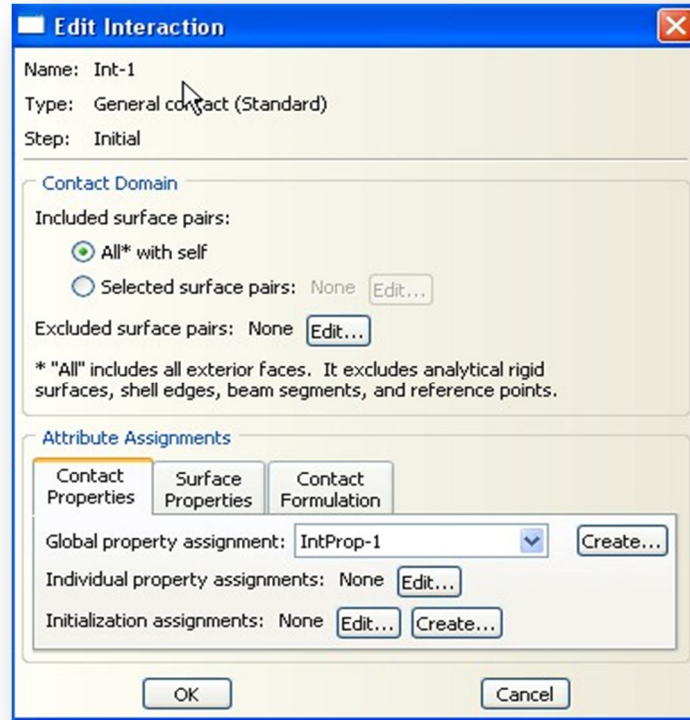
Resim 5.25.

General contact sekmesine girilir,



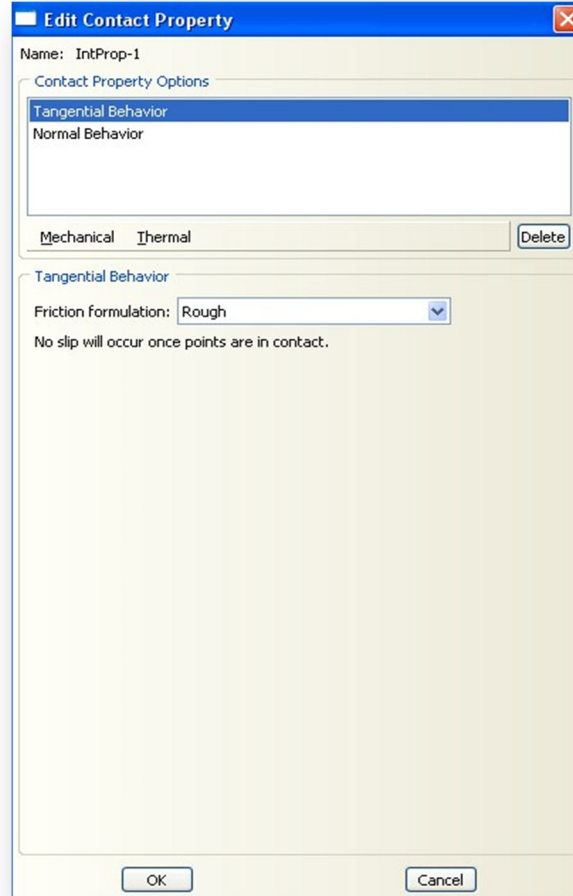
Resim 5.26.

Burada **all* with self** seçeneğini seçilmiştir yani kendinle birlikte tüm eşlerle etkileşim içindedir komutu uygulanmak istenir.



Resim 5.27.

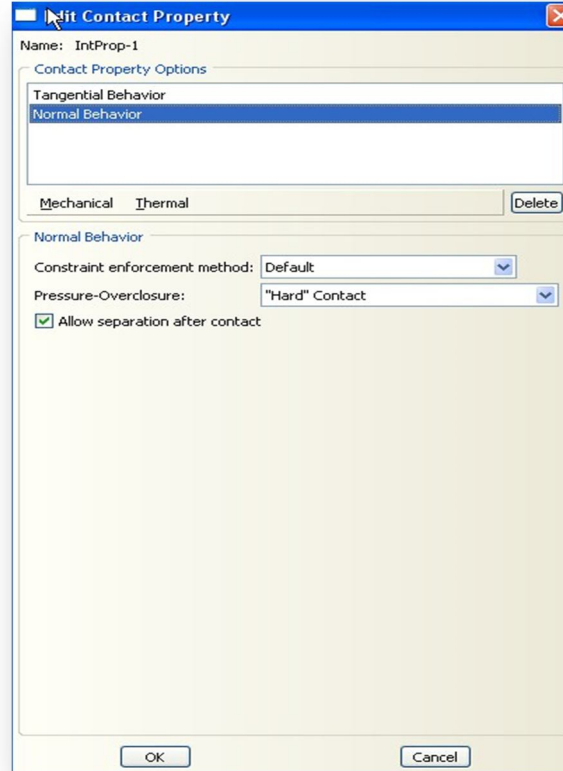
Ve **create interaction property**'ye gelinip interaksiyon özellikleri girilir. İki yüzeyin etkileşiminde sürtünmenin nasıl olacağını belirtmek için mekanik bölümünden tanjant davranışını seçilip sürtünme şekli belirtilir burada **“rough”** seçilmiştir



Resim 5.28.

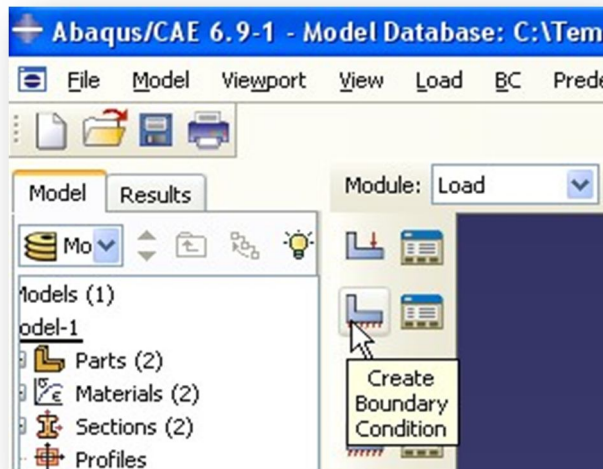
Yani iki yüzey arasının pütür pütür tırtıklı olduğunu belirtilmiştir.

Normal davranışın özelliklerine ise “**hard contact**” seçeneğini seçilir, yüzeyler birbiriyle sıkı bir şekilde etkileşim halinde olması istenmiştir ve “**allow separation after contact**” seçeneği işaretlenmiştir. Yani etkileşim sonrası ayrılmaya müsaade edilmiştir. Bu özelliği Abaqus programını farklı kılıyor çünkü diğer paket programlarda bulunmayan bir özelliktir.

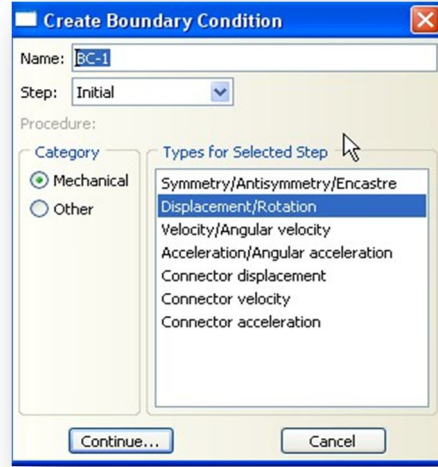


Resim 5.29.

Load bölümünde “**Create boundary condition**” sekmesine gelinip “**displacement rotation**” bölümünden sınır şartları gerekli şekilde girilir.

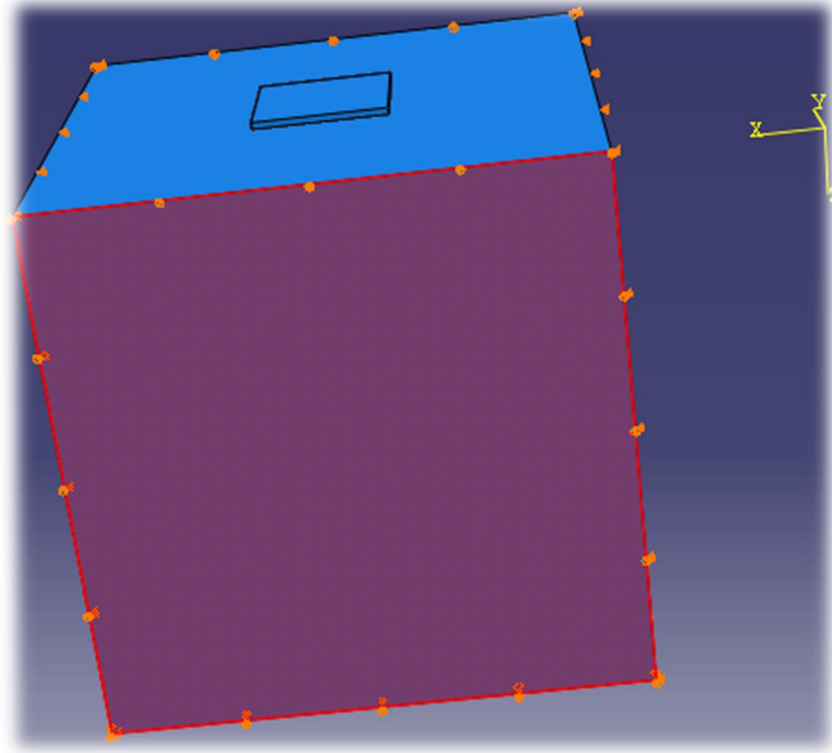


Resim 5.30.

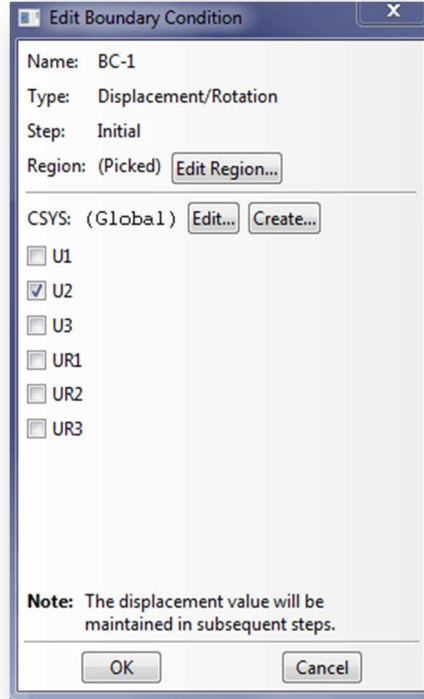


Resim 5.31.

Burada sınır şartlarını girerken zeminin x-y-z yönüne dikkat edip sistemin nereye engellenmesi isteniyorsa onu işaretliyoruz. Aşağıdaki şekilde seçilen kenarın y düzleminde hareket etmesi istenmediği için U2 işaretlenmiştir.

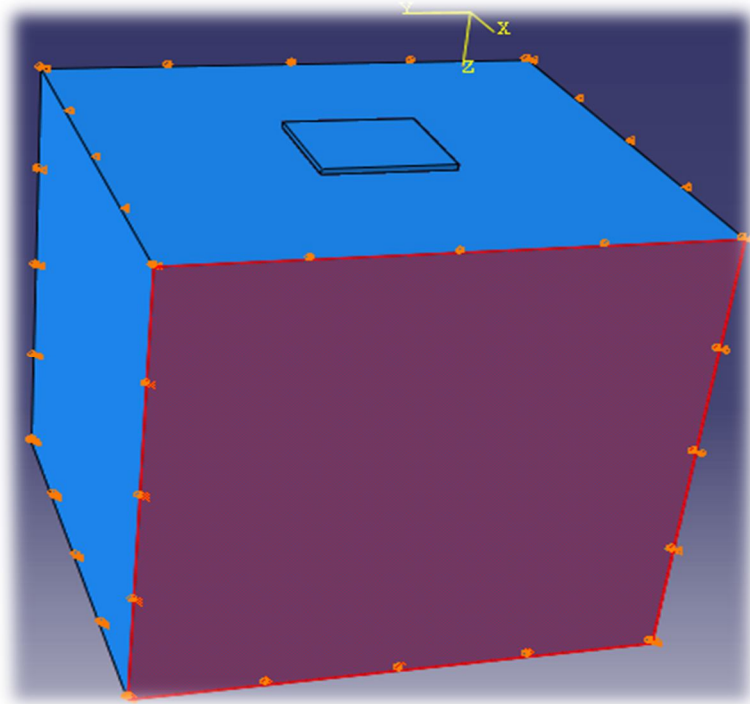


Resim 5.32.

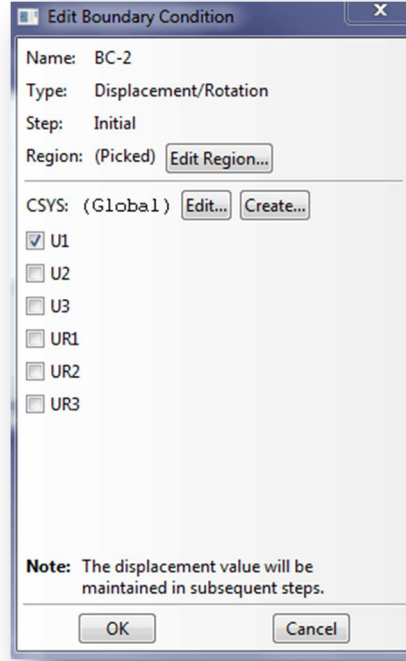


Resim 5.33.

Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi sınır koşulunu bu sefer x ekseninde kısıtlanmak isteniyor. U1 işaretlenir.

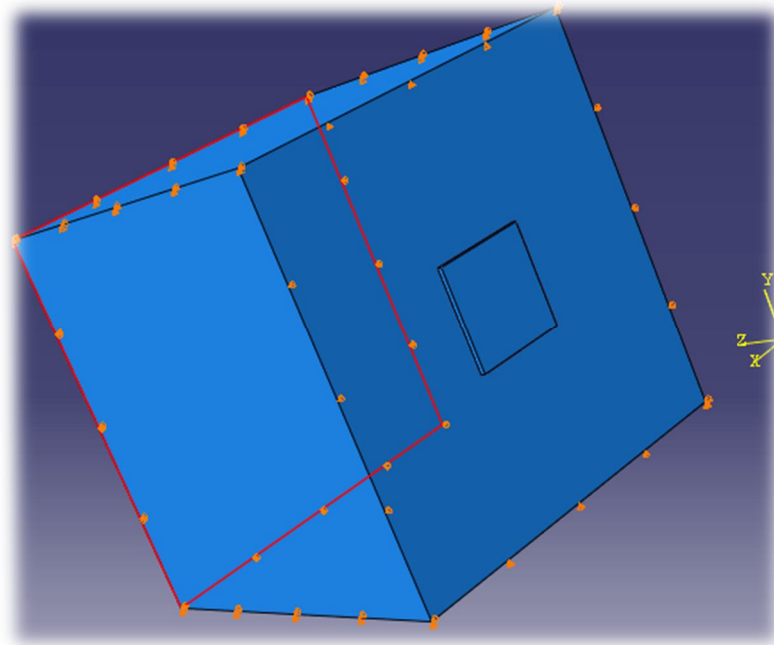


Resim 5.34.

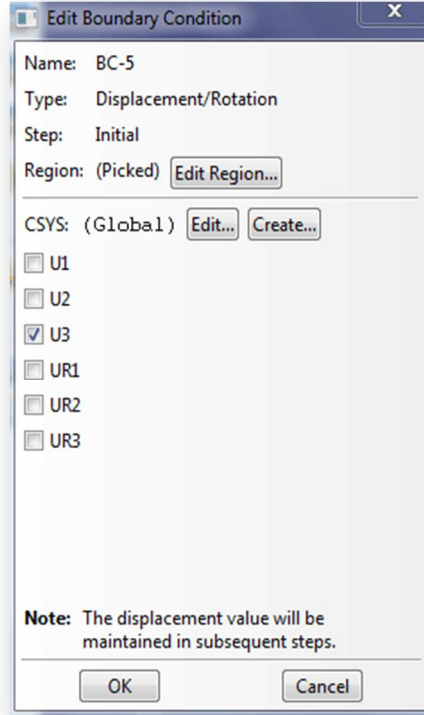


Resim 5.35.

Zeminin alt kenarını incelenirse burada z ekseninde hareket istenmediği için U3 işaretlenir.

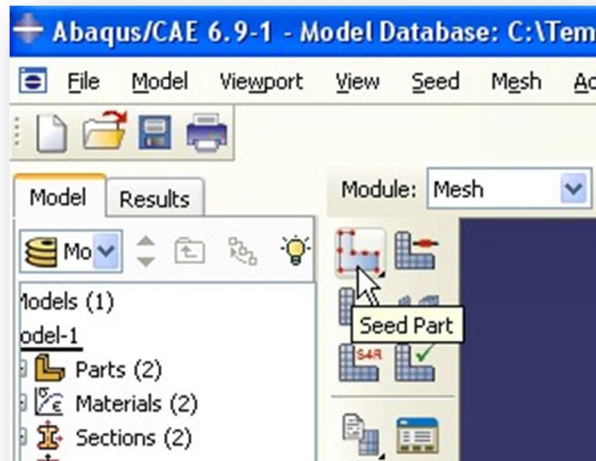


Resim 5.36.

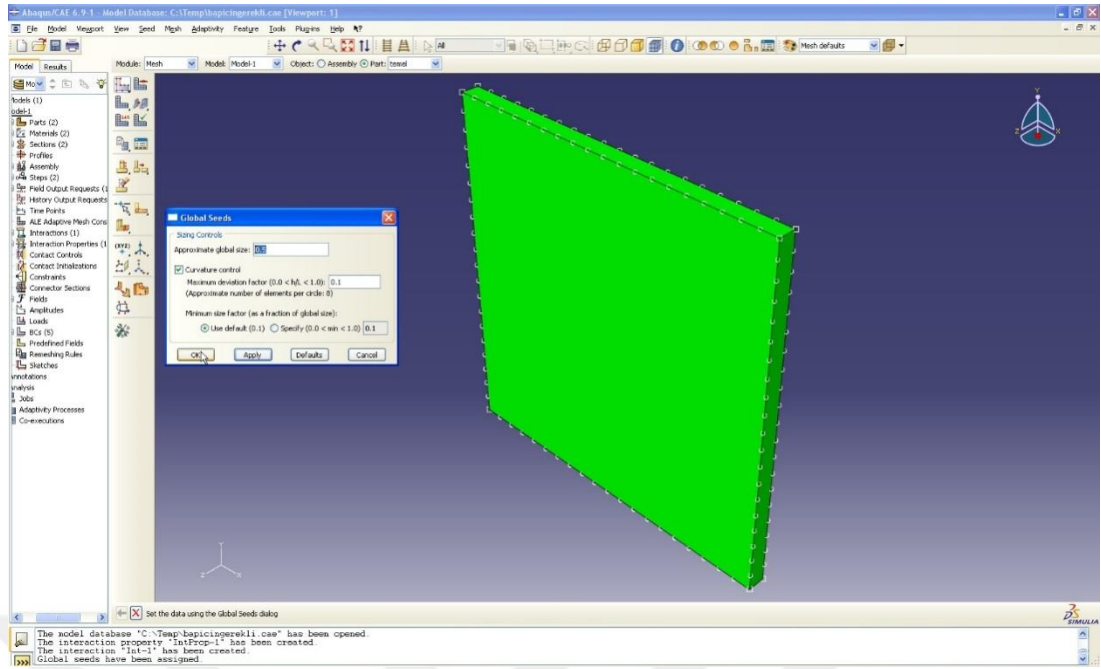


Resim 5.37.

Artık mesh bölümüne gelinip zemin ve plağın ağ yapısını ve ağ sıklığını tanımlanıp analize geçilir. **Mesh** kısmına gelinip “**seedpart**” sekmesinde şekle uygulanmak istenen ağ sıklığı girilir. Örneğin aşağıdaki şekilde ağ sıklığını 0.5 metre girilerek plak oluşturulur. Ağ sıklığı ne kadar azalırsa eleman sayısı o kadar artar.

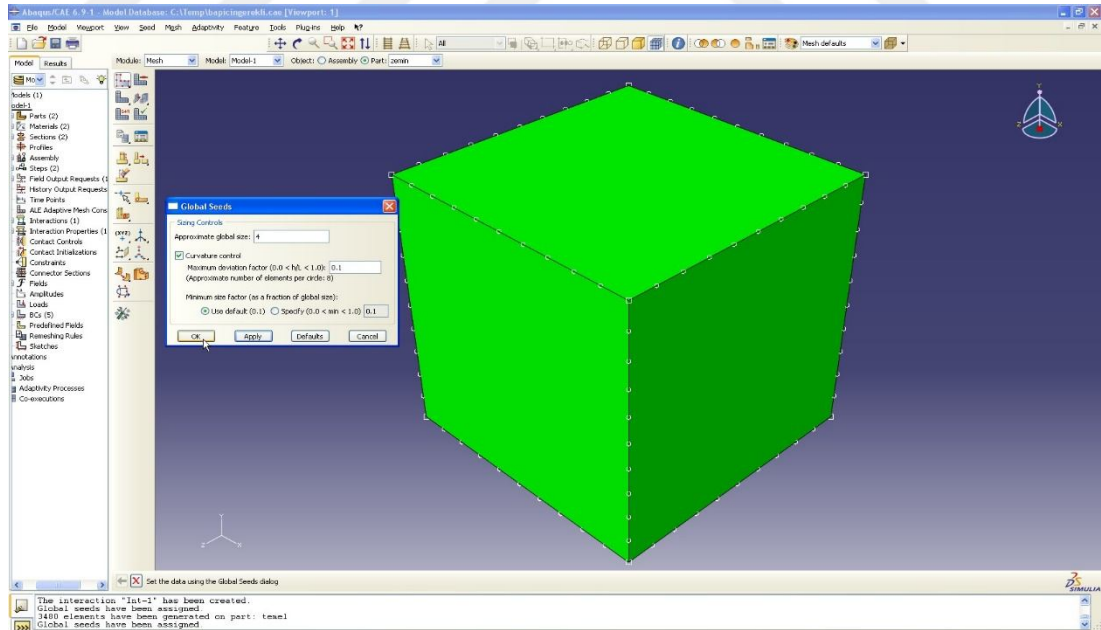


Resim 5.38.



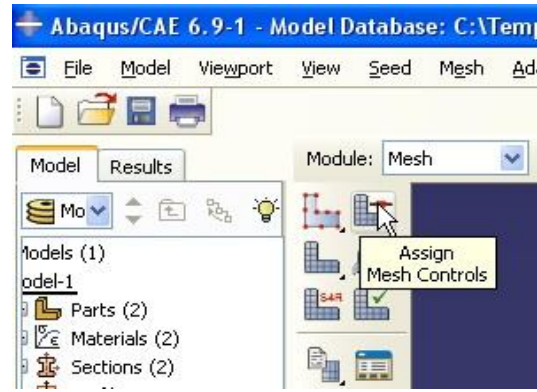
Resim 5.39

Zeminin ağ sıklığı 4 metre olarak girilmiştir.



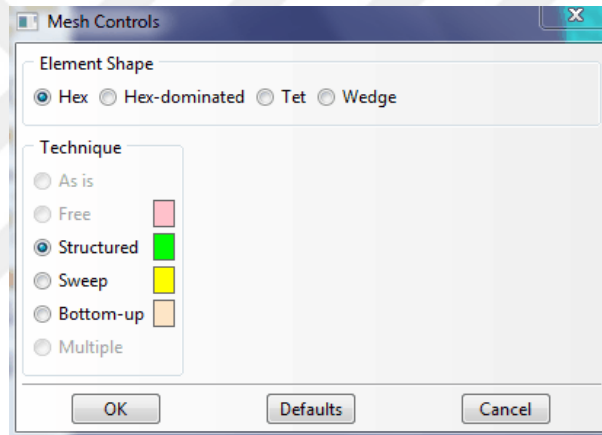
Resim 5.40.

“Assign mesh controls” bölümünden kullanılacak ağ yapısı girilir.



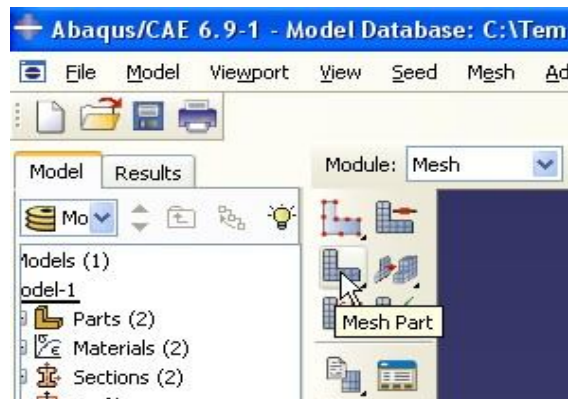
Resim 5.41.

Burada **hex** yazan bölüm seçilmiştir. Bu kullanıcıya göre değişir fakat burada hexagonal yani altıgen çalışmak istenilmiştir. Tetragonal seçilirse dörtgen ağ yapısıyla çalışılır.

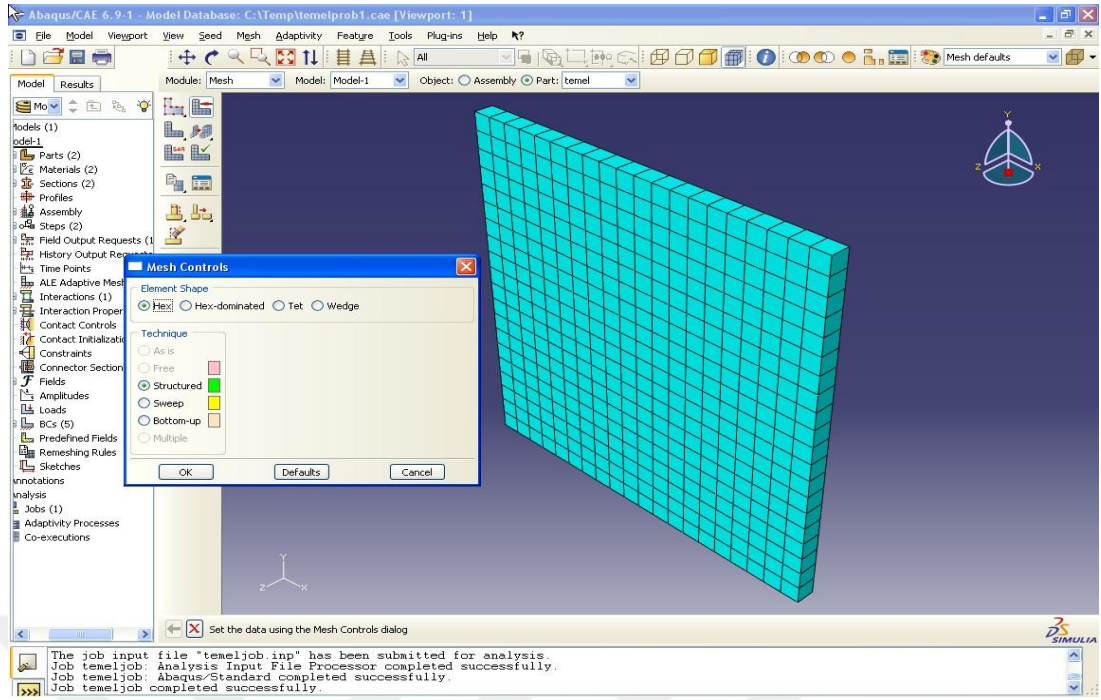


Resim 5.42.

“**mesh part**” bölümünden de bu seçilen ağ yapısı ve ağ sıklığı şekle atanır.

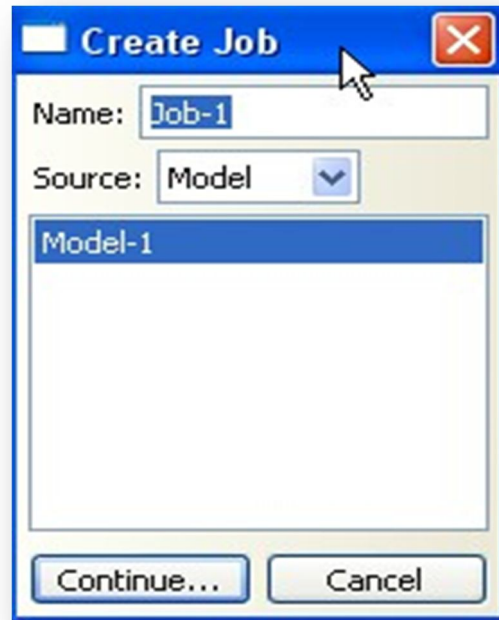


Resim 5.43.

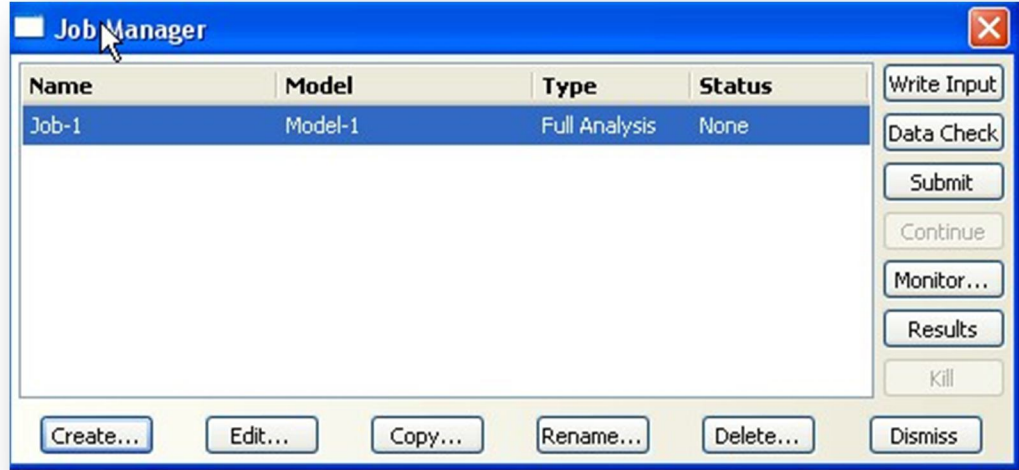


Resim 5.44.

Aynı işlemler zemin içinde yapıldıktan sonra **job** sekmesine geçilmiştir.

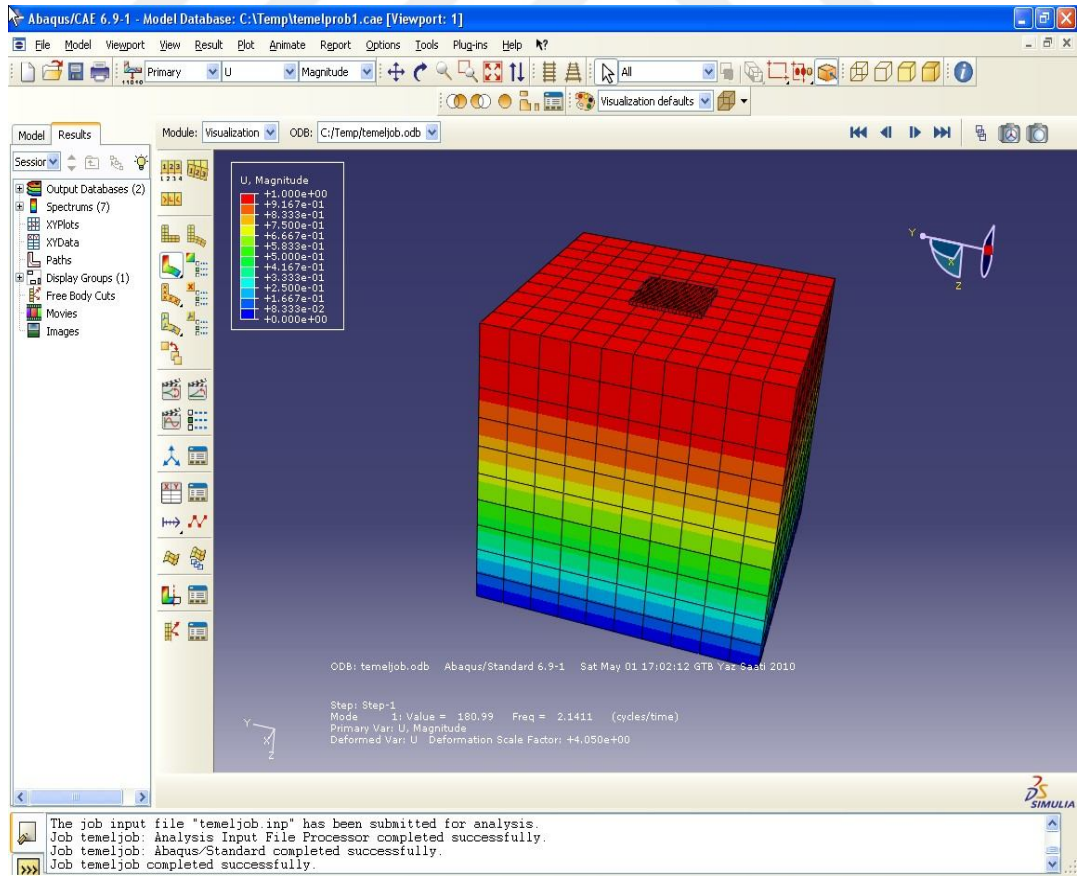


Resim 5.45.



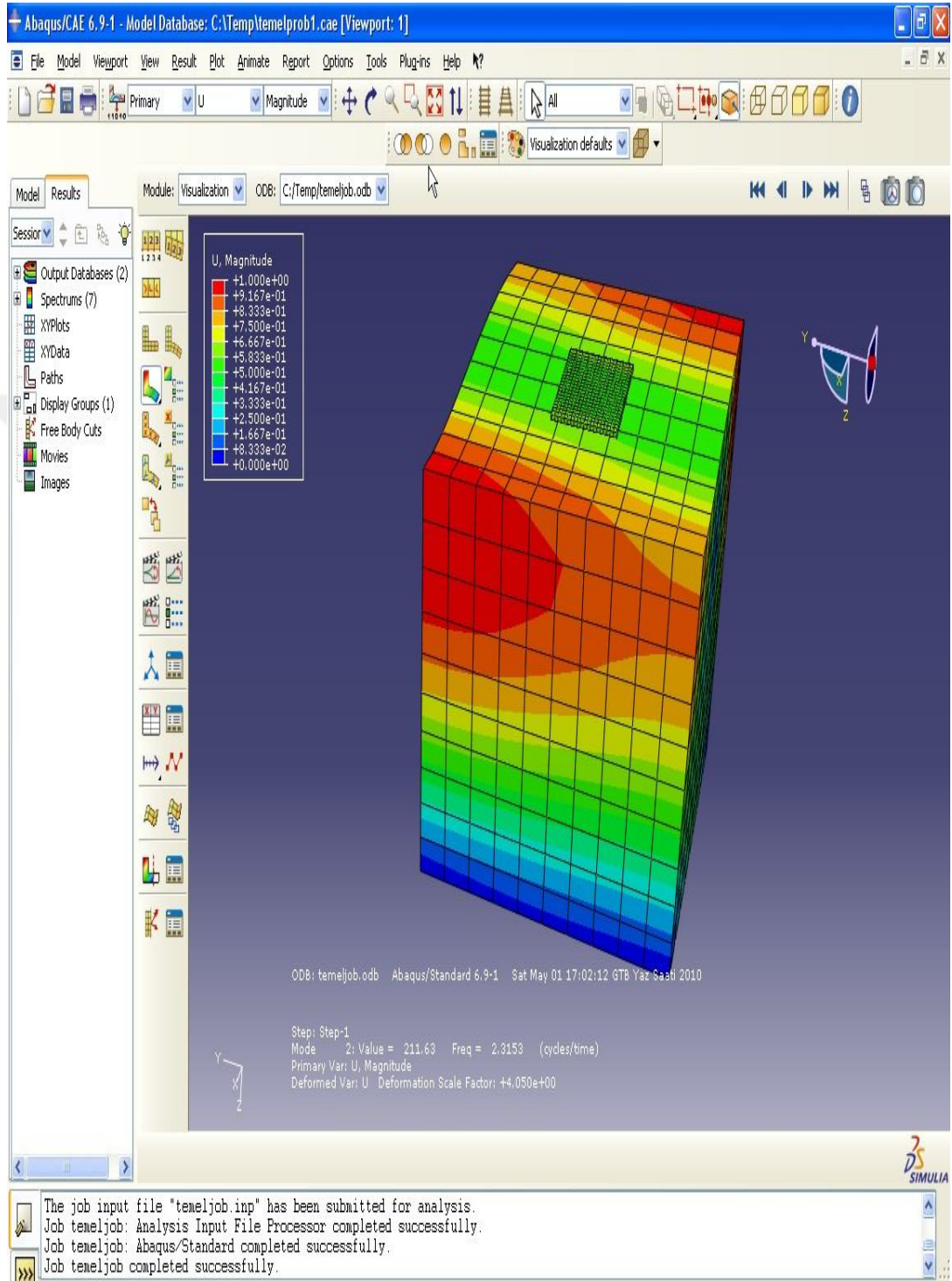
Resim 5.46

Burada job oluşturulup analize başlanır. Sonuçlar aşağıdaki gibidir. İlk mod'da frekans 2.1411 cycles / time çıkmıştır.



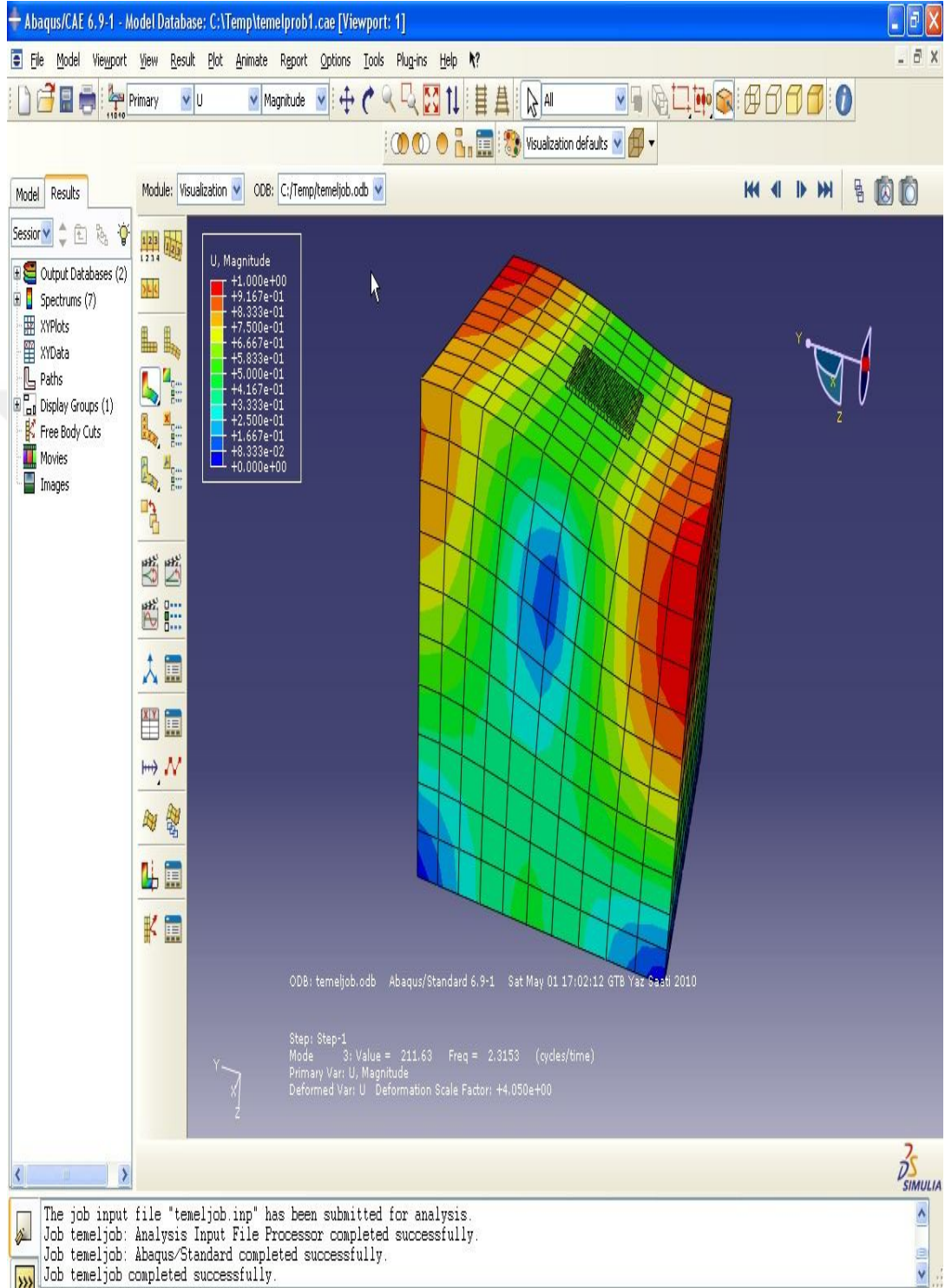
Şekil 5.1.

İkinci mod aşağıdaki gibidir.



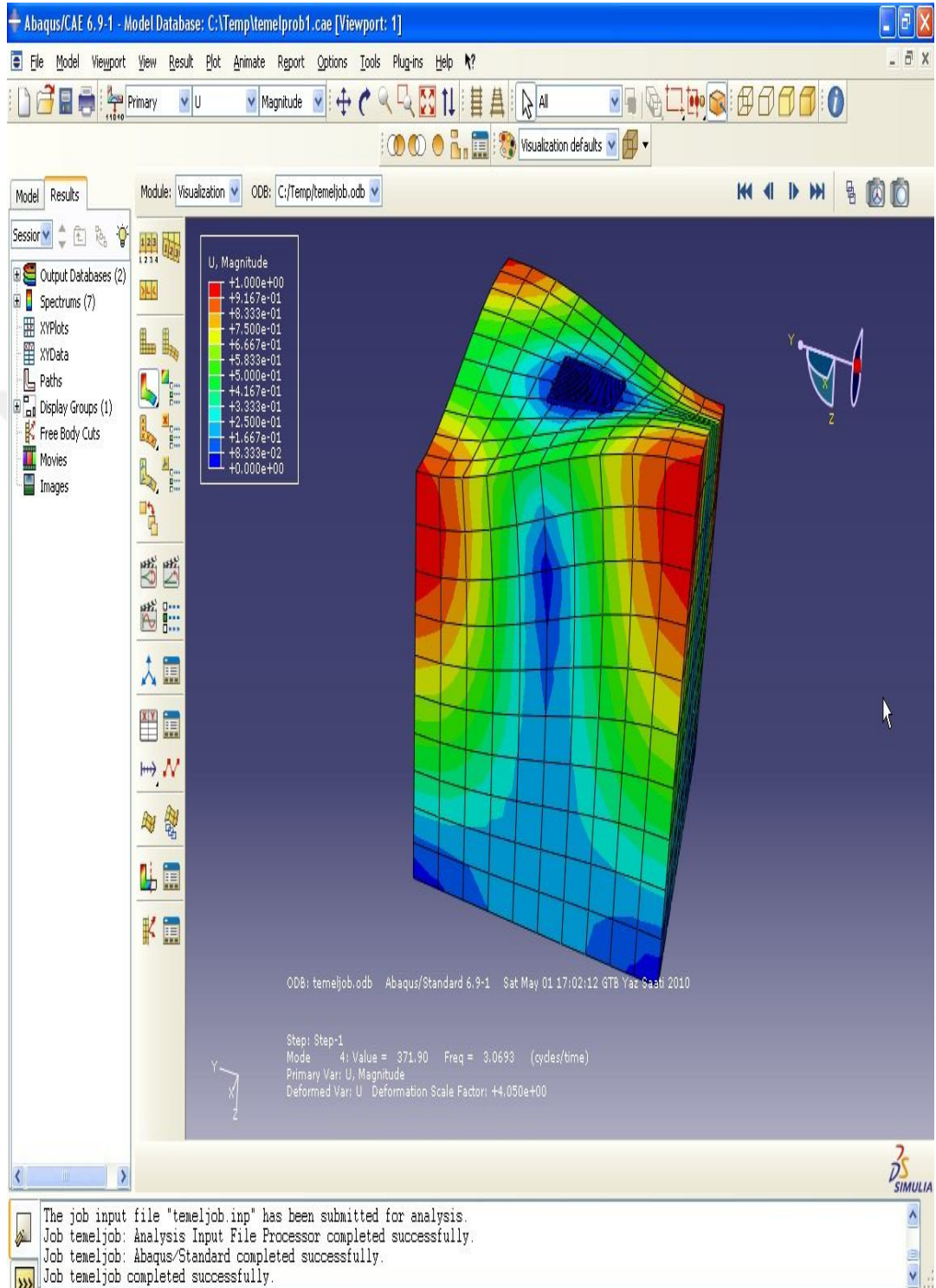
Şekil 5.2.

Üçüncü mod aşağıdaki gibidir.



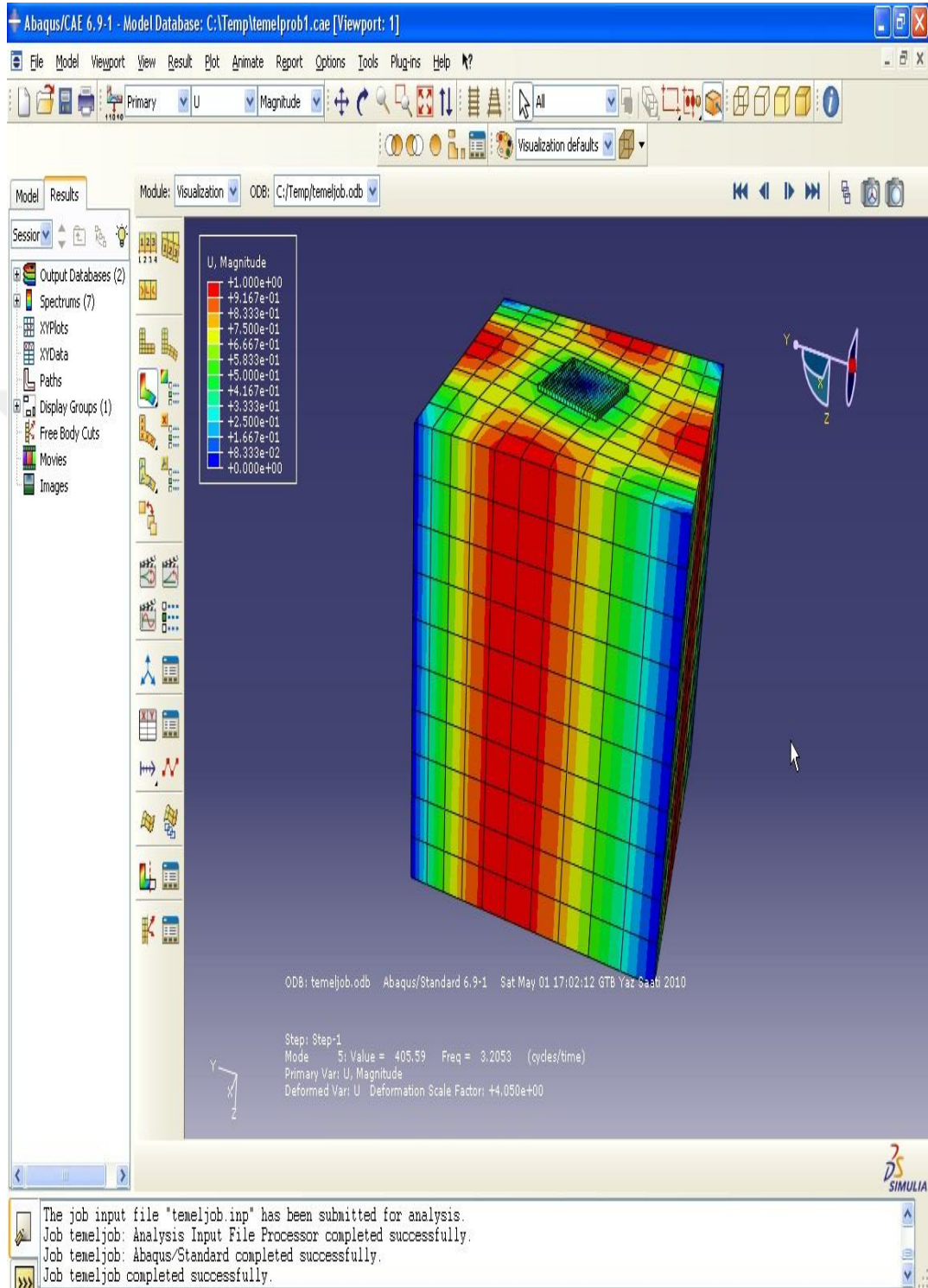
Şekil 5.3.

Mod 4



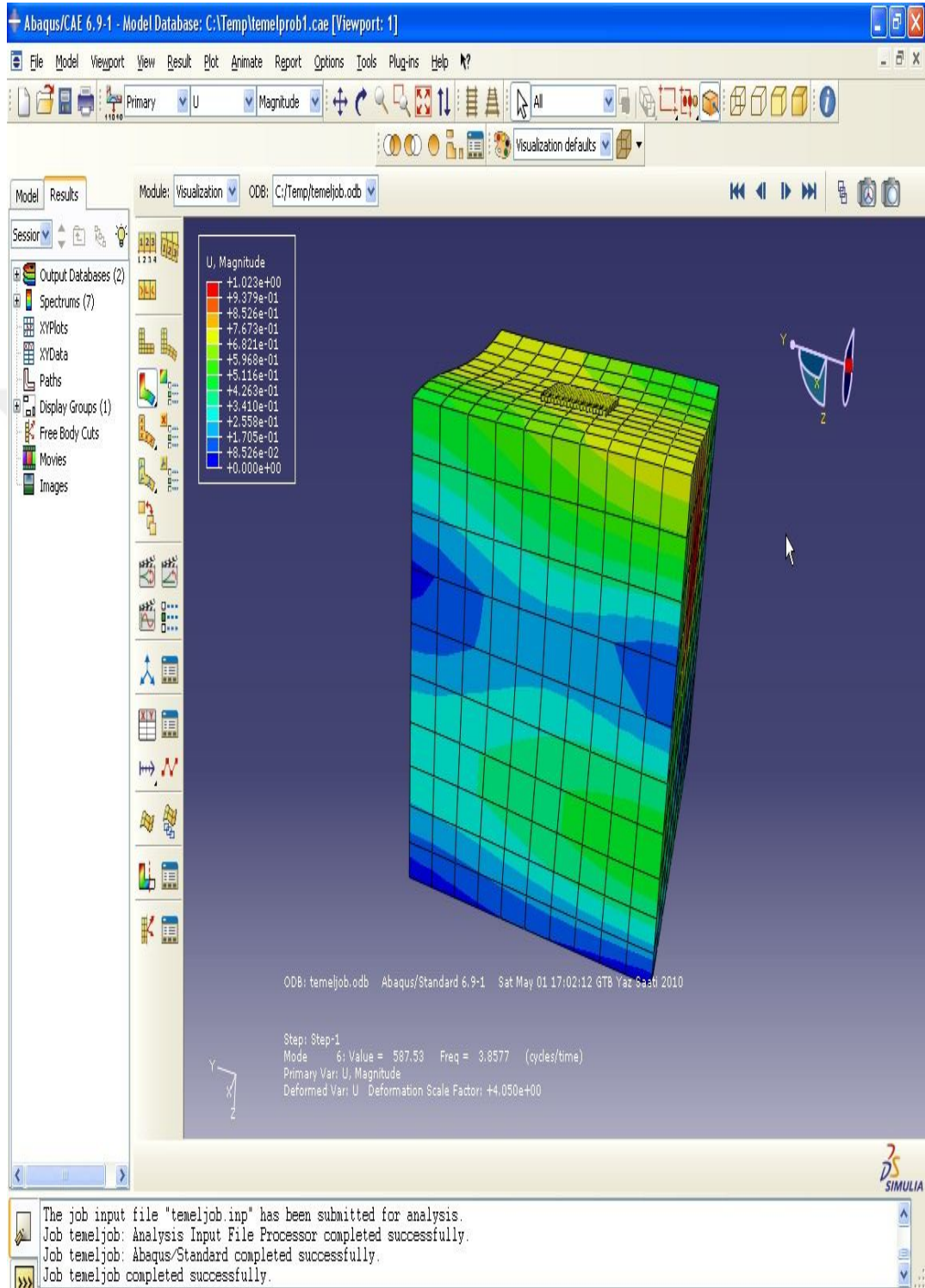
Şekil 5.4.

Mod 5



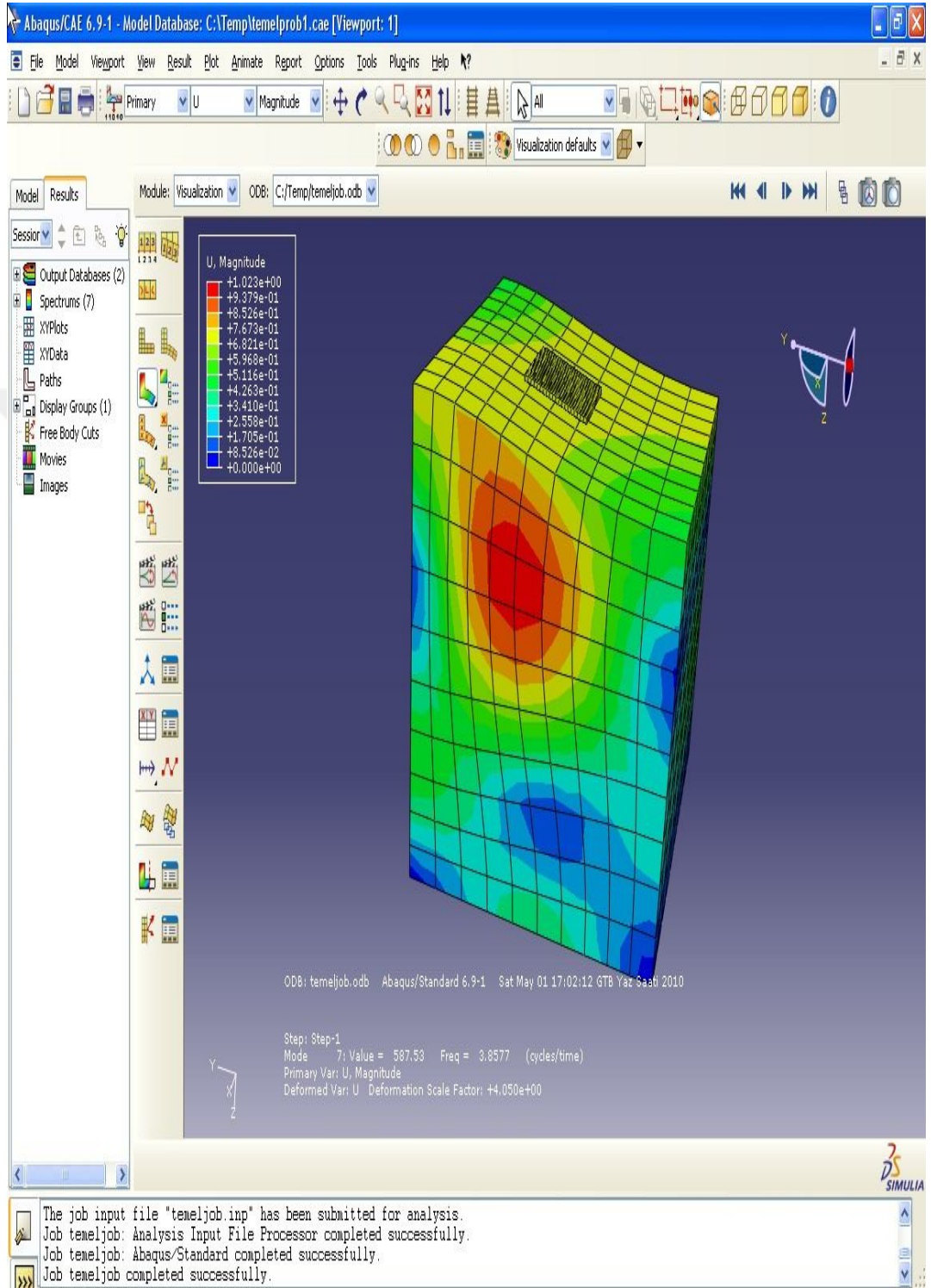
Şekil 5.5.

Mod 6



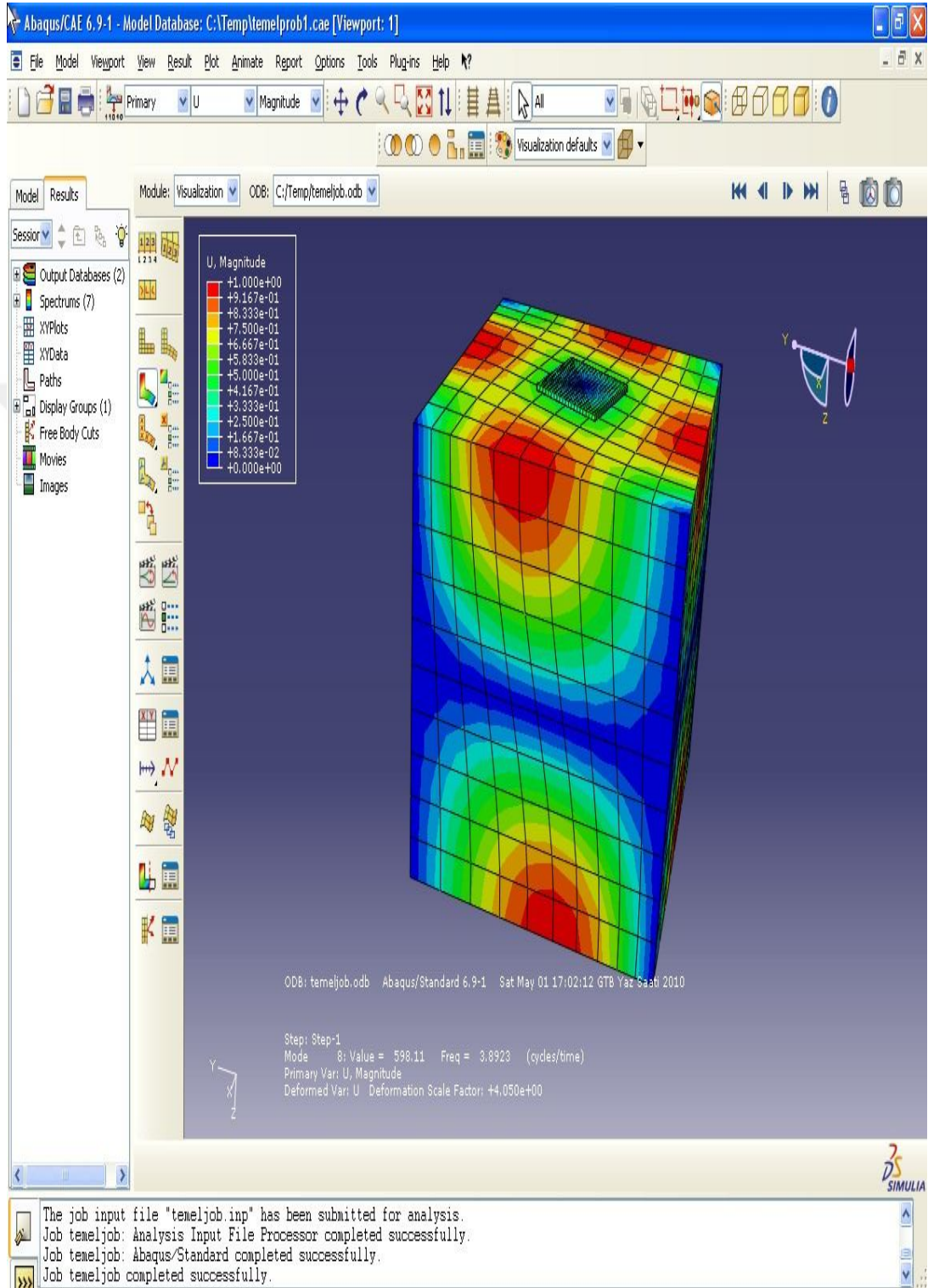
Şekil 5.6.

Mod 7



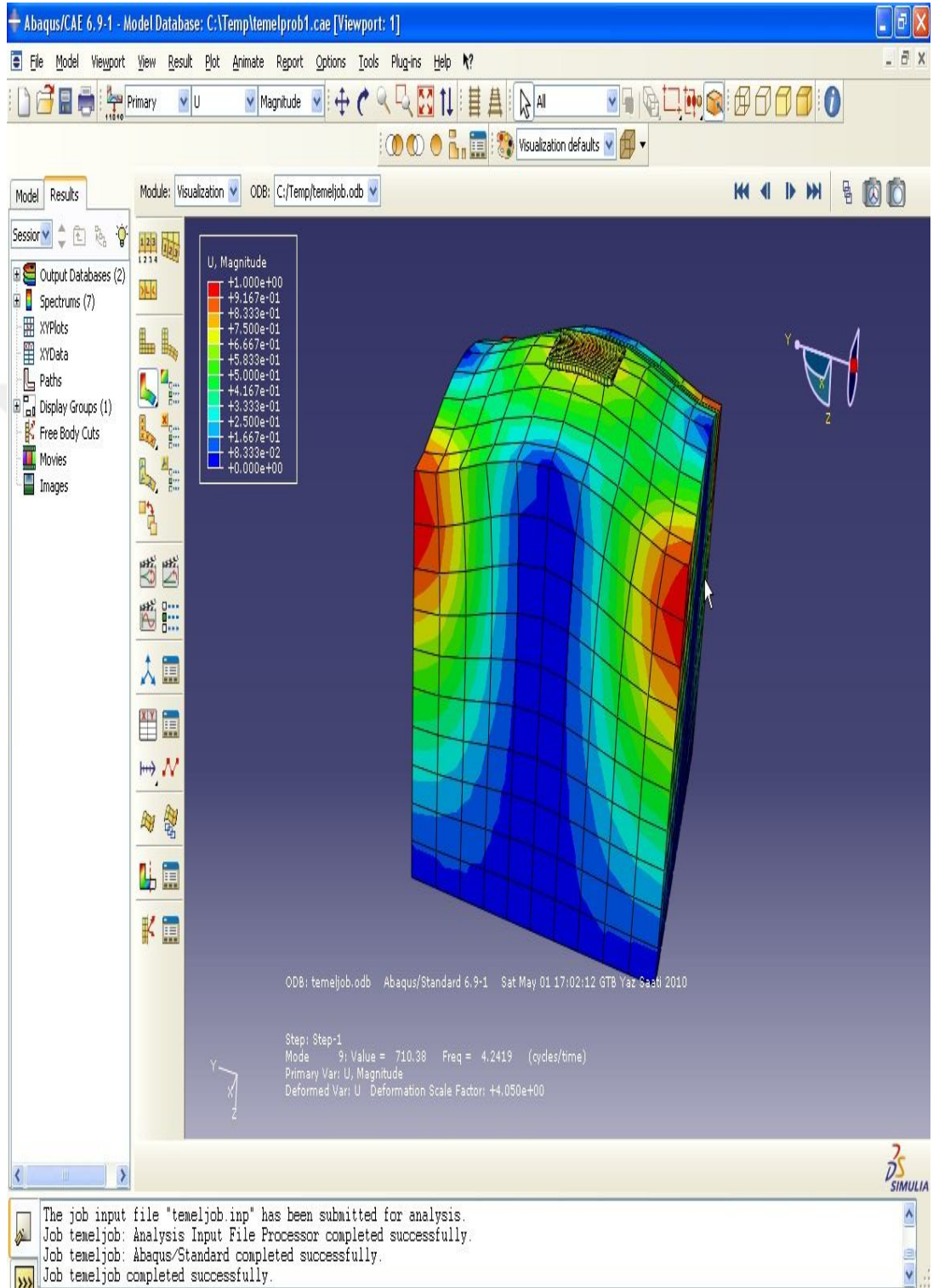
Şekil 5.7.

Mod 8



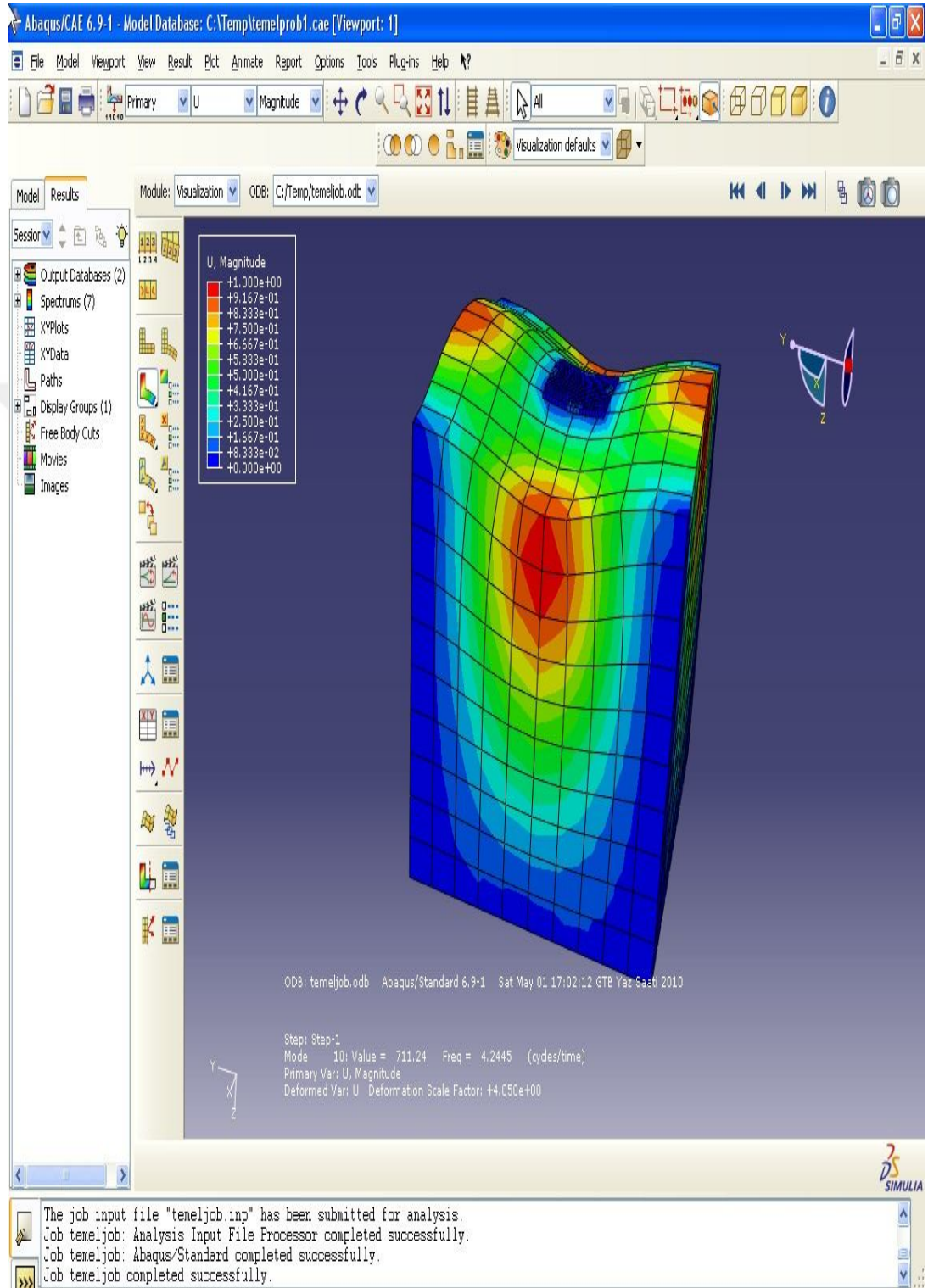
Şekil 5.8.

Mod 9



Şekil 5.9.

Mod 10



Şekil 5.10.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İlk kısımda yapılan analizlere göre kullanılan iki programa göre de; temeli winkler yay hipotezine göre dizayn etmek kenar bölgedeki yay katsayısının yüksek olmasından ötürü bu bölgede rijitliği arttırır ve plak gerilmesini azaltarak ekonomik sonuçlar alınmasını sağlar.

Farklı plak kalınlıklarına ve homojen mesnetlenme varsayımına göre yapılan analizlerde görüldüğü üzere zemin türünün temel çökme değerlerine etkisi ihmal edilmeyecek boyutlardadır. Buna bağlı olarak yapılan homojen olmayan mesnetlenme durumları içinse gerilmelerin birbirleriyle tamamen farklı olduğu görülmüştür. Tablo 2.2 ve Grafik 2.3 incelendiğinde görülecektir ki kenar bölgenin yay katsayısının değişimi plakta oluşan gerilmeleri tersinir şekilde ve aynı zamanda ciddi boyutlarda değiştirmektedir. Bu durum göstermektedir ki plağın homojen mesnetlenme hali için dizayn edilmesi gerçekten oldukça uzak bir yaklaşımdır.

İkinci bölümde yapılan analizlerde akademik sonlu elemanlar programı ABAQUS' ün statik çözümlemeleri STA4CAD programı ile örtüşmektedir. Bu bölümde yapılan dinamik analizlerde görüşmüştür ki STA4CAD plaklara ait frekans analizi yapmamaktadır. Bu analizler akademik sonlu elemanlar programı olan ABAQUS ile yapılmıştır

Üçüncü bölümde yapılan söz konusu analizler göstermiştir ki incelenen tüm parametrelerin doğal frekanslar üzerindeki etkileri kayda değer büyüklüklerdir. Zeminin belli bir hacminin hesaplamalara katıldığı bu analizlerin sonuçları tüm sistemin geometrisi ve kütlesi değiştiği için farklı değerler olarak ortaya çıkması doğaldır. Ancak özellikle sağlam zemin üzerinde bulunan bir zemin kütlesi ile binanın beraberce doğal frekansının bulunması ile sonuçların ne derece değiştiğinin ortaya konulması pratikteki uygulamalar açısından önemlidir. Muhtemel bir deprem esnasında sadece yapıların zarar görmesi değil aynı zamanda zeminde de büyük değişikliklerin ortaya çıkıyor olması son kısımda yapılan analizlerde incelenen durumların deprem şartnamelerinde de dikkate alınmasının faydalı olacağı sonucunu doğurmaktadır.

KAYNAKLAR

- 1-Laura, P.,and Gutierrez, R. (1981). Transverse vibrations of thin, elastic plates with concentrated masses and internal elastic supports *Journal of Sound and Vibration* 75 135-143.
- 2-Li, W. And Daniels, M. (2002). A Fourier series method for the vibrations of elastically restrained plate arbitrarily loaded with springs and masses *Journal of Sound and Vibration* 252, 768-781.
- 3- Kocaturk, T.,Altintas, G. (2003). Determination of the steady state response of viscoelastically point-supported rectangular specially orthotropic plates by an energy based finite difference method *Journal of Sound and Vibration* 267, 1143–1156.
- 4- Altintas, G.,Bagci, M. (2005). Determination of the steady-state response of Viscoelastically supported rectangular orthotropic mass loaded plates by an Energy-based finite difference method *Journal of Vibration and Control* 11(12), 1535-1552.
- 5-Avalos, D.,Larrando, H., Laura, P. A. A., (1989). Free and Forced vibrations of a simply supported rectangular plate partially embedded in an elastic foundation *Applied Acoustics* 28, 295-300.
- 6-Altintas, G.,Bagci, M. (2006). Determination of the Steady state response of EFEF/VFVF supported rectangular specially orthotropic plates *Mathematical & Computational Applications* 11(1), 51-65.
- 7-Altintas, G.,Bagci, M. (2004). Determination of the steady-state response of Viscoelastically supported rectangular specially orthotropic plates with varying supported area *International Journal for Engineering Modelling* 17(3), 61-69.
- 8- Arboleda-Monsalve, L. G., Zapata-Medina, D.G., Aristizabal-Ochoa, J.D., Timoshenko beam-column with generalized end conditions on elastic foundation: Dynamic-stiffness matrix and load vector, *Journal of Sound and Vibration*, 310 (2008) 1057-1079.
- 9- CAO Chang-yong, ZHONG Yang, Dynamic response of a beam on a Pasternak foundation and under a moving load [J]. *J Chongqing Univ: Eng Ed* [ISSN 1671-8224], 2008, 7(4): 311-316.

- 10- Chen, Y.-H., Huang, Y.-H., ve Shih, C.-T., Response Of An Infinite Timoshenko Beam On A Viscoelastic Foundation To A Harmonic Moving Load, Journal of Sound and Vibration, (2001) 241(5), 809-824.
- 11- Hayır, A., Dynamic Behavior Of An Elastic Beam On A Winkler Foundation Under A Moving Load. Fifth International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics and Symposium in Honor of Professor I.M. Idriss, San Diego, California, May 24-29, 2010.
- 12- Mallik, A.K., Chandra, S., B. Singh, A., Steady-state response of an elastically supported infinite beam to a moving load, Journal of Sound and Vibration, 291 (2006) 1148 – 1169
- 13- Nguyen, D. K., Dynamic Response of Prestressed Timoshenko Beams Resting On Two-Parameter Foundation to Moving Harmonic Load, Technische Mechanik, Band 28, Heft 3-4, (2008), 237–258.
- 14- Sun, L., Dynamic displacement response of beam-type structures to moving line loads, International Journal of Solids and Structures, 38 (2001) 8869 - 8878

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Zafercan ATACAN
Doğum Yeri ve Yılı : İzmir, 1985
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : zafer@rijitmuhendislik.com

Eğitim Durumu

Lise : Vali Vecdi Gönül Anadolu Lisesi, 2003
Lisans : Celal Bayar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2008
Yüksek Lisans : Celal Bayar Üniversitesi, Mekanik Bölümü

Mesleki Deneyim

Kurum bilgisi	: KSC Yapı San. Tic. Ltd. Şti	2008-2011
Kurum bilgisi	: İnada Çelik Konst. San. Tic. Ltd. Şti	2011-2012
Kurum Bilgisi	: Libertas Proje Yönetimi	2013-2014
Kurum bilgisi	: Rijit İnşaat Mühendislik Tic. Ltd. Şti.	2014- (halen)

Yayınları: B.A.P Projesi 2010

Homojen olmayan Elastik Zeminlere Oturan Yapısal Taşıyıcı Sistemlerin Analizde Kullanılan Yapısal Tasarım Programlarının, Akademik Sonlu Elemanlar Programları ile Çözümlerinin Karşılaştırılması ve Dinamik Parametrelerinin Tayini.