

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ DEPREM MÜHENDİSLİĞİ VE AFET
YÖNETİMİ ENSTİTÜSÜ**

**KEYFİ DOĞRULTUDA ORTOTROP PASTERNAK ZEMİNE OTURAN
DAİRESEL VE ELİPTİK PLAKLARIN TİTREŞİM
KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE SPEKTRAL ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Betül AYKILIÇ

Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

EYLÜL 2019

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ DEPREM MÜHENDİSLİĞİ VE AFET
YÖNETİMİ ENSTİTÜSÜ**

**KEYFİ DOĞRULTUDA ORTOTROP PASTERNAK ZEMİNE OTURAN
DAİRESEL VE ELİPTİK PLAKLARIN TİTREŞİM
KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE SPEKTRAL ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Betül AYKILIÇ
(802141209)**

Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Engin ORAKDÖĞEN

EYLÜL 2019

İTÜ, Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü'nün 802141209 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Betül AYKILIÇ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “KEYFİ DOĞRULTUDA ORTOTROP PASTERNAK ZEMİNE OTURAN DAİRESEL VE ELİPTİK PLAKLARIN TİTREŞİM KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE SPEKTRAL ANALİZİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Engin ORAKDÖĞEN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi Mecit ÇELİK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet GÜLLÜ
İstanbul Gedik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 09 Eylül 2019
Savunma Tarihi : 23 Eylül 2019

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması esnasında pek kıymetli birikim ve vaktini şahsımla paylaşan Sayın Hocam Prof. Dr. Engin ORAKDÖĞEN'e en kalbi duygularıyla teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca anlayış ve destekleri için tüm Pendik Belediyesi ailesi ile anne ve babama en derin saygılarımı sunarım.

Ayrıca SapTransform programını paylaşmaktan çekinmeyen İnş. Müh. Dr. Onur AVCIOĞLU'na, teze katkısından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Eylül 2019

Betül AYKILIÇ
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
SEMBOL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Plak-Zemin İlişkisi	1
1.2 Plak-Zemin Etkileşim Modelleri	2
1.2.1 Bir parametrelili zemin modelleri	3
1.2.1.1 Winkler tipi zemin modeli	3
1.2.2 İki parametrelili zemin modelleri	4
1.2.2.1 Filonenko-Borodich tipi zemin modeli.....	5
1.2.2.2 Hetenyi tipi zemin modeli	6
1.2.2.3 Pasternek tipi zemin modeli	7
1.2.2.4 Vlasov tipi zemin modeli	8
1.3 Çalışmanın Kapsam ve Amacı	9
2. SAP2000 PROGRAMINDA İKİ PARAMETRELİ ZEMİN	
ÖZELLİKLERİNİN TANIMLANMASI	13
2.1 SAP2000 Sonlu Eleman Analiz ve Boyutlandırma Programı.....	13
2.2 SAP2000 Programında Sonlu Eleman Matris Formülasyonu.....	14
2.3 SAP2000 Programında İki Parametrelili Zemin ve Plak Elemanın Birlikte Modellenmesi.....	15
3. SAYISAL ÖRNEKLER	27
3.1 İki Parametrelili Zemine Oturan Dairesel Plak	28
3.2 İki Parametrelili Genişletilmiş Zemine Oturan Dairesel Plak	45
3.3 İki Parametrelili Zemine Oturan Eliptik Plak.....	48
3.4 İki Parametrelili Genişletilmiş Zemine Oturan Eliptik Plak	67
3.5 İki Parametrelili Genişletilmiş Zemine Oturan Daire Halkası Temel	71
3.6 İki Parametrelili Zemine Oturan Dairesel Plagın Genişletilmemiş Zemine Oturması Hali İle Genişletilmiş Zemine Oturması Halinde Spektral Analizi.....	91
3.7 İki Parametrelili Zemine Oturan Eliptik Plagın Genişletilmemiş Zemine Oturması Hali İle Genişletilmiş Zemine Oturması Halinde Spektral Analizi.....	102
4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	111
KAYNAKLAR	113
ÖZGEÇMİŞ.....	116



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1	: Düzgün yayılı yük altında, sabit alanlı dairesel plağın, orta noktasında, boyutsuzlaştırılmış çökme, eğilme momenti ve burulma momenti değerleri.	43
Çizelge 3.2	: Dairesel plak için göreceli hata hesabı.....	44
Çizelge 3.3	: Genişletilmiş zemin ve genişletilmemiş zemin için, düzgün yayılı yük altında, sabit alanlı dairesel plağın, orta noktasında, çökme, eğilme momenti ve burulma momenti değerleri	47
Çizelge 3.4	: Zeminin genişletilmiş durumunda değişimler (%).	48
Çizelge 3.5	: Elips geometrisi oluşturulması için Excel programından kopyalanan veriler	52
Çizelge 3.6	: Düzgün yayılı yük altında, sabit alanlı eliptik plağın, orta noktasında, çökme, eğilme momenti ve burulma momenti değerleri.....	65
Çizelge 3.7	: Eliptik plak için göreceli hata hesabı.....	65
Çizelge 3.8	: Genişletilmiş zemin ve genişletilmemiş zemin için, düzgün yayılı yük altında, sabit alanlı eliptik plağın, orta noktasında, çökme, eğilme momenti ve burulma momenti değerleri.....	68
Çizelge 3.9	: Zeminin genişletilmiş durumunda değişimler (%).	70
Çizelge 3.10	: Daire halkası temeldeki çökmeler (m)	84
Çizelge 3.11	: Genişletilmiş zeminde çökmeler (m).....	86
Çizelge 3.12	: $\alpha=0$ aksında daire halkası temel M_{11} momenti değerleri.....	88
Çizelge 3.13	: $\alpha=0$ aksında daire halkası temel M_{22} momenti değerleri.....	90
Çizelge 3.14	: Sabit alanlı dairesel plağın spektral analizi sonucu orta noktasında eğilme momenti değerleri.....	98
Çizelge 3.15	: Zeminin genişletilmiş durumunda değişimler (%).	99
Çizelge 3.16	: İki parametrelili zemine oturan sabit alanlı dairesel plağa uygulanan spektral analiz sonucu ilk üç moda ait periyot değerleri (s).....	101
Çizelge 3.17	: Sabit alanlı eliptik plağın spektral analizi sonucu orta noktasında eğilme momenti değerleri.....	105
Çizelge 3.18	: Zeminin genişletilmiş durumunda değişimler (%).	106
Çizelge 3.19	: İki parametrelili zemine oturan sabit alanlı eliptik plağa uygulanan spektral analiz sonucu ilk üç moda ait periyot değerleri (s).....	108

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Winkler tipi zemin modeli.....	4
Şekil 1.2 : Filonenko-Borodich tipi zemin modeli.....	6
Şekil 1.3 : Pasternak tipi zemin modeli.....	7
Şekil 1.4 : Vlasov tipi zemin modeli.....	8
Şekil 2.1 : Dairesel plak sistemi.....	16
Şekil 2.2 : Dairesel plağın 1 m altındaki zemin sistemi.....	17
Şekil 2.3 : Plak-iki parametrelili zemin sistemi.....	17
Şekil 2.4 : Zemin yatak katsayısının girilmesi.....	18
Şekil 2.5 : Zemin yatak katsayısının girilmesi.....	18
Şekil 2.6 : Ortotropik zemin özelliklerinin tanımlanması.....	19
Şekil 2.7 : Zemin tabakası kalınlığının 1 m girilmesi.....	19
Şekil 2.8 : Constraint atanması.....	20
Şekil 2.9 : Constraint atanması.....	20
Şekil 2.10 : SapTransform programının veri giriş ekranı.....	21
Şekil 2.11 : _C.s2k uzantılı dosya.....	21
Şekil 2.12 : SAP2000'den Import seçeneği ile veri aktarılması.....	22
Şekil 2.13 : Dış yüklerin girilmesi.....	22
Şekil 2.14 : Dış yüklerin girilmesi.....	23
Şekil 2.15 : Dış yükler.....	23
Şekil 2.16 : Mesnetlerin tanımlanması.....	24
Şekil 2.17 : Mesnet tipleri.....	24
Şekil 2.18 : Modelin genel görünümü.....	25
Şekil 3.1 : Plak geometrisi ve koordinat takımları.....	28
Şekil 3.2 : SAP2000 yeni model tanımlama ekranı.....	28
Şekil 3.3 : SAP2000 Pipes and Plates seçeneği.....	29
Şekil 3.4 : Component Category, Circular Plates seçeneği.....	29
Şekil 3.5 : Component Type, Without Hole seçeneği.....	30
Şekil 3.6 : Boşluksuz dairesele plak oluşturma ekranı.....	30
Şekil 3.7 : Boşluksuz dairesele plak bilgileri giriş ekranı.....	31
Şekil 3.8 : Boşluksuz dairesele plak.....	31
Şekil 3.9 : Boşluksuz dairesele plak oluşturma ekranı.....	32
Şekil 3.10 : Boşluksuz dairesele plağın kopyalanması.....	32
Şekil 3.11 : Dairesel plak.....	33
Şekil 3.12 : Dairesel plak kalınlığı.....	33
Şekil 3.13 : Dairesel plak Elastisite modülü ve Poisson's oranı.....	34
Şekil 3.14 : Dairesel plak malzeme özellikleri.....	35
Şekil 3.15 : Z=1 m kotu dairesele plak eleman ataması.....	35
Şekil 3.16 : Zemin yay sabiti ataması.....	36
Şekil 3.17 : Plain-Strain eleman.....	36
Şekil 3.18 : Zemin kayma parametreleri.....	37
Şekil 3.19 : SapTransform programı ile yapılan eşitleme sonucu.....	37

Şekil 3.20 : Dairesel plağa yayılı yük girilmesi.....	38
Şekil 3.21 : Mesnet ataması.....	38
Şekil 3.22 : Mesnet ataması ve modelin üç boyutlu görünümü.....	39
Şekil 3.23 : Dairesel plağın kenarlarına ankastre mesnet atanması.....	39
Şekil 3.24 : Z=0 m zemin elemanın kenarlarına ankastre mesnet atanması.....	40
Şekil 3.25 : Mesnet atanmış bir düğüm noktasının durumu.....	40
Şekil 3.26 : Zemin açısı $\theta=0^\circ$ halinde, düzgün yayılı yük altında, sabit alanlı dairesele plağın orta noktasındaki çökme değeri (m).....	41
Şekil 3.27 : Zemin açısı $\theta=0^\circ$ halinde, düzgün yayılı yük altında, sabit alanlı dairesele plağın orta noktasındaki M_{11} momenti değeri (kNm).....	42
Şekil 3.28 : Zemin açısı $\theta=0^\circ$ halinde, düzgün yayılı yük altında, sabit alanlı dairesele plağın orta noktasındaki M_{22} momenti değeri (kNm).....	42
Şekil 3.29 : Zemin açısı $\theta=0^\circ$ halinde, düzgün yayılı yük altında, sabit alanlı dairesele plağın orta noktasındaki M_{12} momenti değeri (kNm).....	43
Şekil 3.30 : Genişletilmiş zemine oturan dairesele plak sisteminin üç boyutlu görünümü.....	45
Şekil 3.31 : Genişletilmiş zemine oturan dairesele plak sistemi.....	46
Şekil 3.32 : Genişletilmiş zemin sistemi.....	46
Şekil 3.33 : Excel programındaki TYPE, NAME, X, Y, Z verilerinin oluşturulması ve panoya kopyalanması.....	49
Şekil 3.34 : Elips geometrisi oluşturulması için Blank model seçimi.....	50
Şekil 3.35 : Excel programındaki verilerin Paste komutu ile SAP2000 programına aktarımı.....	50
Şekil 3.36 : SAP2000 Paste Coordinates ekranı.....	51
Şekil 3.37 : Elips geometrisinin noktasal koordinatları.....	51
Şekil 3.38 : SAP2000 programına aktarılan elips geometrisi.....	55
Şekil 3.39 : Eliptik plak.....	55
Şekil 3.40 : Sabit alanlı eliptik plak koordinat sistemi.....	56
Şekil 3.41 : Eliptik plak kalınlığı.....	56
Şekil 3.42 : Sabit alanlı eliptik plağın Elastisite modülü ve Poisson's oranı.....	57
Şekil 3.43 : Sabit alanlı eliptik plak malzeme özellikleri.....	57
Şekil 3.44 : Sabit alanlı eliptik plak malzeme özellikleri.....	58
Şekil 3.45 : Z=1 m kotuna eliptik plak eleman ataması.....	58
Şekil 3.46 : Zemin yay sabiti ataması.....	59
Şekil 3.47 : Plain-Strain eleman, zemin açısı $\theta=30^\circ$	59
Şekil 3.48 : Zeminin ortotropik özelliği.....	60
Şekil 3.49 : Zemin kayma parametreleri.....	60
Şekil 3.50 : Z=0 m kotu zemin eleman ataması.....	61
Şekil 3.51 : Eliptik plağa yayılı yük girilmesi.....	61
Şekil 3.52 : Eliptik plak ankastre kenar mesnetleri ve SapTransform programı ile eşitleme durumu.....	62
Şekil 3.53 : Zemin eleman ankastre kenar mesnetleri ve SapTransform programı ile eşitleme durumu.....	62
Şekil 3.54 : Zemin açısı $\theta=30^\circ$ halinde, düzgün yayılı yük altında, sabit alanlı eliptik plağın orta noktasındaki çökme değeri (m).....	63
Şekil 3.55 : Zemin açısı $\theta=30^\circ$ halinde, düzgün yayılı yük altında, sabit alanlı eliptik plağın orta noktasındaki M_{11} momenti değeri (kNm).....	63
Şekil 3.56 : Zemin açısı $\theta=30^\circ$ halinde, düzgün yayılı yük altında, sabit alanlı eliptik plağın orta noktasındaki M_{22} momenti değeri (kNm).....	64

Şekil 3.57 : Zemin açısı $\theta=30^\circ$ halinde, düzgün yayılı yük altında, sabit alanlı eliptik plağın orta noktasındaki M_{12} momenti değeri (kNm).....	64
Şekil 3.58 : Genişletilmiş zemine oturan eliptik plak sisteminin üç boyutlu görünümü.....	67
Şekil 3.59 : Genişletilmiş zemine oturan eliptik plak sistemi.....	67
Şekil 3.60 : Genişletilmiş zemin sistemi.....	68
Şekil 3.61 : Daire halkası temelin planı.....	71
Şekil 3.62 : Daire halkası temelin kesiti.....	71
Şekil 3.63 : İki parametrelili genişletilmiş zemine oturan daire halkası temel sisteminin üç boyutlu görüntüsü.....	72
Şekil 3.64 : Daire halkası temel geometrisinin oluşturulması.....	73
Şekil 3.65 : Daire halkası temel.....	73
Şekil 3.66 : Daire halkası temelin aks sistemi.....	74
Şekil 3.67 : Temel malzemesi Poisson's oranı ve Elastisite modülü.....	74
Şekil 3.68 : Temel kalınlığı.....	75
Şekil 3.69 : Z=0 metre kotuna temel eleman ataması.....	75
Şekil 3.70 : 0,80 metrelik temel tabakasının Poisson's oranı ve Elastisite modülü..	76
Şekil 3.71 : 0,80 metrelik temel tabakası.....	76
Şekil 3.72 : Z=0 metre kotuna 0,80 metrelik temel elemanı ataması.....	77
Şekil 3.73 : Z=-1 metre kotundaki genişletilmiş zemin eleman.....	77
Şekil 3.74 : Meshlere ayırma.....	78
Şekil 3.75 : Ortotropik malzeme özelliği.....	78
Şekil 3.76 : Zemin kayma parametrelerinin girilmesi.....	79
Şekil 3.77 : Plain-Strain eleman.....	79
Şekil 3.78 : Z=-1 m kotunda tanımlı genişletilmiş zemin eleman.....	80
Şekil 3.79 : Genişletilmiş zemin yay katsayısı ataması.....	80
Şekil 3.80 : Z=-1 m kotu genişletilmiş zemin yay katsayısı ataması.....	81
Şekil 3.81 : Daire halkası temeğe düşey tekil yük uygulanması.....	81
Şekil 3.82 : Daire halkası temeğe düşey tekil yük uygulanması.....	82
Şekil 3.83 : SAP2000 analiz ekranı.....	82
Şekil 3.84 : $\alpha=0$ aksında daire halkası temel maksimum çökme.....	83
Şekil 3.85 : $\alpha=0$ aksında daire halkası temel minimum çökme.....	83
Şekil 3.86 : Daire halkası temelde çökmeler.....	84
Şekil 3.87 : Genişletilmiş zeminin kenarındaki çökme.....	85
Şekil 3.88 : Genişletilmiş zeminin maksimum çökmesi.....	85
Şekil 3.89 : Genişletilmiş zeminde çökmeler.....	87
Şekil 3.90 : $\alpha=0$ aksında daire halkası temel maksimum M_{11} momenti.....	87
Şekil 3.91 : $\alpha=0$ aksında daire halkası temel M_{11} moment grafiği.....	88
Şekil 3.92 : $\alpha=0$ aksında daire halkası temel maksimum M_{22} momenti.....	89
Şekil 3.93 : $\alpha=0$ aksında daire halkası temel M_{22} moment grafiği.....	90
Şekil 3.94 : Örnek 3.1 iki parametrelili zemine oturan dairesel plak.....	91
Şekil 3.95 : Weigh per unit volume (25 kN/m ³).....	91
Şekil 3.96 : Plane grid – XY plane.....	92
Şekil 3.97 : TSC-2018 function type.....	92
Şekil 3.98 : Response spectrum TSC-2018 function definition.....	93
Şekil 3.99 : Load case data – Response spectrum.....	93
Şekil 3.100 : Response spectrum SPEKTRA1 analizi	94
Şekil 3.101 : Case/Combo Name:SPEKTRA1 durumunda M_{11} ve M_{22} momentleri.....	94

Şekil 3.102 : Genişletilmemiş zemin durumu spektral analiz sonucu $M_{11}=9,267$ kNm.....	95
Şekil 3.103 : Genişletilmemiş zemin durumu spektral analiz sonucu $M_{22}=7,996$ kNm.....	95
Şekil 3.104 : Genişletilmemiş zemin durumu spektral analiz sonucu $M_{12}=0,032$ kNm.....	96
Şekil 3.105 : Örnek 3.2 iki parametrelili genişletilmiş zemine oturan dairesel plak.....	96
Şekil 3.106 : Genişletilmiş zemin durumu spektral analiz sonucu $M_{11}=16,827$ kNm.....	97
Şekil 3.107 : Genişletilmiş zemin durumu spektral analiz sonucu $M_{22}=12,028$ kNm.....	97
Şekil 3.108 : Genişletilmiş zemin durumu spektral analiz sonucu $M_{12}=0,011$ kN.....	98
Şekil 3.109 : Genişletilmemiş zemin durumu için birinci moda ait periyot değeri.....	99
Şekil 3.110 : Genişletilmemiş zemin durumu için ikinci moda ait periyot değeri.....	100
Şekil 3.111 : Genişletilmemiş zemin durumu için üçüncü moda ait periyot değeri.....	100
Şekil 3.112 : Genişletilmiş zemin durumu için birinci moda ait periyot değeri.....	100
Şekil 3.113 : Genişletilmiş zemin durumu için ikinci moda ait periyot değeri.....	101
Şekil 3.114 : Genişletilmiş zemin durumu için üçüncü moda ait periyot değeri	101
Şekil 3.115 : Örnek 3.3 iki parametrelili zemine oturan eliptik plak.....	102
Şekil 3.116 : Genişletilmemiş zemin durumu spektral analiz sonucu $M_{11}=2,414$ kNm.....	103
Şekil 3.117 : Genişletilmemiş zemin durumu spektral analiz sonucu $M_{22}=3,648$ kNm.....	103
Şekil 3.118 : Genişletilmemiş zemin durumu spektral analiz sonucu $M_{12}=0,016$ kNm.....	103
Şekil 3.119 : Örnek 3.4 iki parametrelili genişletilmiş zemine oturan eliptik plak.....	104
Şekil 3.120 : Genişletilmiş zemin durumu spektral analiz sonucu $M_{11}=5,638$ kNm.....	104
Şekil 3.121 : Genişletilmiş zemin durumu spektral analiz sonucu $M_{22}=7,451$ kNm.....	105
Şekil 3.122 : Genişletilmiş zemin durumu spektral analiz sonucu $M_{12}=1,186$ kNm.....	105
Şekil 3.123 : Genişletilmemiş zemin durumu için birinci moda ait periyot değeri.....	106
Şekil 3.124 : Genişletilmemiş zemin durumu için ikinci moda ait periyot değeri.....	107
Şekil 3.125 : Genişletilmemiş zemin durumu için üçüncü moda ait periyot değeri.....	107
Şekil 3.126 : Genişletilmiş zemin durumu için birinci moda ait periyot değeri.....	107
Şekil 3.127 : Genişletilmiş zemin durumu için ikinci moda ait periyot değeri.....	108
Şekil 3.128 : Genişletilmiş zemin durumu için üçüncü moda ait periyot değeri.....	108

SEMBOL LİSTESİ

w	: Çökme, düşey yer değiştirme
w^*	: Boyutsuz çökme, boyutsuz düşey yer değiştirme
k	: Elastik yay katsayısı
p	: Zemin direnci
T	: Membran kuvveti
∇	: Laplace operatörü
G_x, G_y, G_p	: Zemin kayma parametreleri
$\theta(z)$: Deplasmanların derinlik boyunca değişimini
$2t$: Zemin kayma parametresi
γ	: Zemin parametresi
C	: Winkler parametresi
C_T	: Zemin modülü
D	: Plak eğilme rijitliği
E_p	: Elastisite modülü
h	: Yükseklik
ν	: Poisson's oranı
u	: Yatay yer değiştirme
τ	: Kayma şekil değiştirme
k^*	: Boyutsuz Winkler zemin parametresi
G_f^*	: Boyutsuz zemin kayma parametresi
a, b	: Plak boyutları
q	: Yayılı yük
r	: Dönme
M	: Eğilme momenti
M^*	: Boyutsuz eğilme momenti
T^*	: Boyutsuz burulma momenti
θ	: Zemin açısı
p, q	: Merkezi koordinatlar
P	: Düşey tekil yük
R_1	: İç yarıçap
R_2	: Dış yarıçap
α	: Boşluklu plağın aksı



KEYFİ DOĞRULTUDA ORTOTROP PASTERNAK ZEMİNE OTURAN DAİRESEL VE ELİPTİK PLAKLARIN TİTREŞİM KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE SPEKRAL ANALİZİ

ÖZET

Yapı sistemlerinin analiz ve tasarımında temel zemini önemli bir parametredir. Zemin özelliklerinin üst yapı analizinde ve tasarımında göz önüne alınması çeşitli kabullere dayanmakta, genellikle sert ve orta sert zeminlerde zemin güvenlik gerilmesi belirli bir düzeyin üzerindeyse, üst yapının mesnetleri ankastre olarak alınmakta, ayrı olarak yapılan temel hesaplarında genellikle güvenlik gerilmesinin aşılıp aşılmadığının kontrolü ile yetinilmektedir. Zemin taşıma gücünün daha zayıf olması halinde ise zeminin özellikleri hesaba dolaylı olarak katılmaktadır. Üst yapıdan temele aktarılan en elverişsiz kesit zorları tekil, sürekli ya da radye temel olarak tasarlanan temel sistemine aktarılarak genellikle Winkler hipotezi kabulü ile elastik zemine oturan temel hesabı yapılabilmektedir. Winkler hipotezinde zemin gerilmelerinin o noktadaki çökmelerle orantılı olduğu kabul edilmekte, zemindeki komşu bölgelerin etkileşimi terk edilmektedir. Zemin özelliklerinin dikkate alınmasının gerekli olduğu radye ya da kazıklı temel sistemine sahip yüksek yapılarda ise zemin özellikleri üst yapı ile birlikte modellenerek hesaplara katılabilmektedir. Söz konusu hesaplarda Winkler, Pasternak, Vlasov, Kerr gibi nispeten basit zemin modellerinin yanında özellikle kazıklı temel sistemlerinde temel altı zemini de üst yapı ile birlikte modellenerek, yapı-zemin etkileşimi daha gerçekçi şekilde göz önüne alınabilmektedir.

Bu çalışmada zeminin komşu bölgelerindeki etkileşimi de dikkate alan Pasternak tipi zemine oturan plakların statik yükler altındaki davranışı ile serbest titreşim özellikleri incelenmiş; tasarım spektrumuna göre spektral analizi yapılmıştır.

Pasternak tipi zemini dikkate alan çalışmalarda araştırmacılar genellikle kendi geliştirdikleri sonlu eleman yazılımlarıyla analizleri gerçekleştirmektedirler.

Bu tezin amacı, akademik ortamda yapı mühendisliği problemlerinin çözümünde güvenilir bir şekilde kullanılan SAP2000 programı yardımıyla Pasternak tipi zemine oturan problemlerin çözülmesidir. Pasternak zemin elemanı, gerilme-şekil değiştirme bağıntılarının ve denge denklemlerinin, sadece kayma etkilerinin olduğu düzlem şekil değiştirme elemanının benzerliğinden faydalanılarak, düzlem şekil değiştirme elemanı olarak modellenmiştir. Her iki fiziksel probleme ait denklemler, bir katsayı farkı ile benzer olup, düzlem şekil değiştirme zemin elemanının kayma modülü olarak zeminin kayma modülü girilmiştir. SAP2000 programı malzeme olarak ortotrop malzemeleri de dikkate alabildiğinden, çeşitli doğrultularda ortotrop zemine oturan plakların çözümü de kolaylıkla yapılabilmektedir.

Daha önceden yapılan benzer çalışmalarda [4,8] Pasternak tipi zemin eleman, hazırlanan genel amaçlı yazılıma eklenmiş ya da zemin için yine elastik özelliklerin uygun şekilde kullanılması ile ortotrop plak elemana benzetilerek kullanılmıştır. Bu çalışmada ise Pasternak zemin elemana ait rijitlik matrisi sadece kayma etkilerinin bulunduğu düzlem şekil değiştirme elemanına ait matrisle katsayı farkı benzer olduğundan, hesaplarda bir yaklaşıklık bulunmamaktadır. Bu şekilde bir benzerlikle elde edilen Pasternak zemin elemanı SAP2000 programının her türlü esnekliğe sahip olmasından, Winkler zemine oturan yapı sistemlerinin hesabı, Pasternak zeminine oturan yapı sistemlerinin hesabını da içerecek şekilde genişletilmiş olmaktadır.

Ayrıca bir API (Application Programming Interface) yazılımı kullanılmak suretiyle her adımdaki zeminin elastik özellikleri yenilenecek şekilde ardışık yaklaşım gerektiren Vlasov zemine oturan yapı sistemlerinin hesabı da SAP2000 programından faydalanılarak yapılabilir [8]. Böylelikle aynı bölgede inşa edilen yapı sistemlerinin statik ya da dinamik yükler altındaki etkileşimi de kolaylıkla göz önüne alınabilir.

Bu çalışmada özel olarak ortotrop Pasternak tipi zemine oturan dairesel ve eliptik plakların statik davranışı ile serbest titreşim özellikleri incelenmiştir. Öncelikle literatürde daha önceden çözülmüş örnekler ile modellenmenin doğruluğu gösterilmiş, daha sonra da benzer çalışmalarda göz önüne alınmayan, temel zemininin temel dışında da devam etmesi durumunda plak titreşim karakteristiklerindeki değişimler irdelenmiştir.

Bu çalışma dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde plak-zemin ilişkisi, plak-zemin etkileşim modelleri ile çalışmanın amaç ve kapsamı açıklanmıştır. Literatürde yer alan tek parametrelili ve iki parametrelili zemin modellerine değinilmiştir.

İkinci bölümde iki parametrelili zemin elemana ait formülasyon verilmiştir. İki parametrelili zemin modelinin SAP2000 programında nasıl tanımlandığı ve modellendiği anlatılmış; plak ile iki parametrelili zemin sisteminin SAP2000 programında birlikte teşkili verilmiştir.

Üçüncü bölümde yedi adet sayısal örnek yapılmıştır. İlk iki örnekte iki parametrelili zeminin SAP2000 programında modellenebilir olduğunu gösterebilmek amacıyla daha önce yapılmış çalışmalarda kullanılan zemin parametreleri aynen kullanılmış, elde edilen çökme, eğilme ve burulma momenti sonuçları karşılaştırılmıştır. İki parametrelili zemine oturan dairesel plak için sonuçlar doğrulandıktan sonra, zemin genişletilmiş ve zeminin genişletilmemiş durumunda ortaya çıkan sonuçlar ile zeminin genişletilmiş olduğu halde sonuçlar karşılaştırılmış ve yorumlar yapılmıştır [9].

Üçüncü ve dördüncü örnekte, ilk örnekle benzer olarak, iki parametrelili zemine oturan eliptik geometriye sahip plak irdelenmiş ve sonuçlar doğrulanmıştır. Sonuçlar doğrulandıktan sonra, zemin genişletilmiş ve zeminin genişletilmemiş durumunda ortaya çıkan sonuçlar ile zeminin genişletilmiş olduğu halde sonuçlar karşılaştırılmış ve yorumlar yapılmıştır [9].

Beşinci örnekte ise genişletilmiş iki parametrelili genişletilmiş zemine oturan dairesel kesitli temel halkası örneği çözülmüş ve sonuçlar doğrulanarak yorumlar yapılmıştır [5].

Altıncı örnekte, ilk iki örneğe yani iki parametrelili zemine oturan dairesel plak için genişletilmemiş zemin ve genişletilmiş zemin durumları için spektral analiz uygulanmıştır. Zeminin genişletilmemiş hali ve zeminin genişletilmiş halindeki plakta oluşan moment değerleri karşılaştırılmış ve yorumlar yapılmıştır.

Yedinci örnekte, üçüncü ve dördüncü örneğe yani iki parametrelili zemine oturan eliptik plak için genişletilmemiş zemin ve genişletilmiş zemin durumları için spektral analiz uygulanmıştır. Zeminin genişletilmemiş hali ve zeminin genişletilmiş halindeki plakta oluşan moment değerleri karşılaştırılmış ve yorumlar yapılmıştır.

Son olarak dördüncü bölümde ise, sonuçlar, değerlendirmeler, yorumlar ve öneriler verilmiştir.



ANALYSIS OF CIRCULAR AND ELLIPTIC PLATES RESTING ON ARBITRARY ORTHOTROPIC PASTERNAK TYPE FOUNDATION AND SPECTRAL ANALYSIS

SUMMARY

In modern design and analysis of structures, the superstructure-foundation-soil interaction has to be taken into account in a sophisticated way, which is sufficiently accurate but simple enough for practical purposes. The concept of a plate resting on an elastic foundation has been an important tool for the modeling and analysis of structural, highway, geotechnical and railroad engineering problems. Extensive research in this area has been reported in the literature.

In order to model soil behavior, several approaches have been developed in the past. The oldest, most famous and most frequently used soil model is the one devised by Winkler (1867), in which the beam-supporting soil is modelled as a series of closely spaced, mutually independent, linear elastic vertical springs. The Winkler model has been extensively used to solve many soil-foundation interaction problems and has given satisfactory results for many practical problems. In that method, it is assumed that deflection at each point is proportional to the pressure applied at the point and completely independent of the pressures or deflections occurring at the neighbouring points along foundation.

In the Winkler model, the properties of soil are described only by the parameter k , which represents the stiffness of the vertical spring. One of the major disadvantages of this model is that a plate undergoes rigid body displacements without any bending moments and shear forces in it when subjected to uniform loads. Moreover, the use of the Winkler model involves difficulties in determining the value of k . Discontinuous nature of Winkler's model gives rise to the development of various forms of two-parameter elastic foundation models.

Some of the major two-parameter elastic foundation models are Filonenko-Borodich model (1940), Hetenyi model (1946, 1950), Pasternak model (1954), Vlasov model (1966). Filonenko-Borodich, Hetenyi, Pasternak and Vlasov have attempted to make the classical Winkler model more realistic by postulating a two-parameter model. Their model takes into account the effect of shear interaction among adjacent points in the foundation. In these models, the first parameter represents the stiffness of the vertical spring, as in the Winkler model, whereas the second parameter is introduced to account for the coupling effect of the linear elastic springs. It is worth mentioning that the interaction enabled by this second parameter also allows the consideration of influence of the soil on either side of plate. In this model, the first and second parameters have to be determined experimentally. Vlasov and Leont'ev (1966) have

introduced another arbitrary parameter, γ , dependent on soil material and thickness of the soil layer. However, they did not report the method of determining this parameter. In the work of Vallabhan and Daloglu (1999), it has been shown how the soil parameter, γ , can be estimated using an iterative computational procedure for plates. These three-parameter models constitute a generalization of two-parameter models, the third parameter being used to make them more realistic and effective. When the γ parameter is determined, the first and second parameters of soil can be easily calculated. One of the basic features of the three-parameter models is the flexibility and convenience that they offer in the determination of the level of continuity of the vertical displacements at the boundaries between the loaded and unloaded surfaces of the soil.

In this study, static and dynamic analysis of circular and elliptic plates resting on two parameter elastic foundation are examined. In dynamic analyses, free vibration characteristics are obtained first for the comparison of the results from literature and then spectral analyses are performed to observe the behaviors against inertia forces. SAP2000 program is used to perform analysis. A subordinate macro is coded with VBA language is used to add equal displacements (constraints) to the SAP2000's \$2k file after the SDB file is created. The study is composed of four sections.

In the first section, informations about one and two parameter foundation models are given. Content and aim of this study are explained at the end of the first section.

In the second section, the characteristics of two parameter foundation are explained. Then, the formulations of two parameter foundation are given and how the two parameter foundation is modelled at SAP2000 program is shown. The first parameter of soil, soil elastic bedding coefficient or so called Winkler parameter C , is represented by springs at SAP2000 model. The springs are created by area springs feature at SAP2000 program and soil elastic bedding coefficient is entered as the spring coefficient. The second parameter of soil, is represented by plane strain element with shear deformations only that have orthotropic material features at SAP2000 program and it is called as soil element. The elastic modules of plane strain elements given as equal to zero and G_{13} and G_{23} shear parameters are given as equal to G_x and G_y soil modules respectively. G_{12} shear module of plane strain element given as zero. The soil finite element nodes are restrained to make only vertical displacements at SAP2000 program. The plate finite element and soil finite element are modelled very close to each other and then vertical displacements of their nodes vertical displacements by constraints. A subordinate macro has been developed in order to equalize vertical displacements by adding the constraints block to the existing \$.2k file automatically. By using the orthotropic material and material angle properties of SAP2000 program, it is also shown how to analyze the plates on orthotropic two parameter elastic foundation.

In the third section, seven numerical examples are given. In the first two examples illustrate two parameter foundation that is correctly modelled on SAP2000. A circular foundation which is solved previous studies is solved in the first example. The results are shown graphically to compare with previous studies. In the first two examples, in order to show that the two-parameter foundation is modelable in SAP2000 programme, soil parameters used in previous studies were used exactly the result of collapse, bending and torsional moments were

compared. After confirming the results for the two plate circular plate fitting, with the results of the ground expanded and the ground not expanded, although the ground was expanded, the results were compared and comments were made [9].

An elliptic shaped foundation is solved in the third and fourth examples and then results are compared graphically with previous studies. In the third and fourth example, similar to the first, the elliptical geometry of the two parameter foundation was examined and the results were confirmed. Once the results are verified, ground expanded and unexpanded condition of the ground with the results, although the ground was expanded, the results were compared and comments were made [9].

In the fifth example a plate which is solved in previous studies is considered. In the fifth example, an example of an annular foundation ring with an extended two parameter, extended ground and circular cross section was solved and the results were compared and comments were made. This plate is subjected to concentrated loading cases. The problem is solved with SAP2000 program for one meter constant value of the thickness of the compressible soil layer. The results are compared with previous studies [5].

In the fifth example, a plate which are resting on two parameter elastic foundation are considered and then static analysis of this structure system is performed with SAP2000 programme. Then, soil elastic bedding coefficient C and soil shear parameter $2C_T$ are obtained depending on soil surface parameter. Soil elastic bedding coefficient C and soil shear parameter $2C_T$ which are obtained depending on different distance between buildings and compressible soil depth are considered constant during dynamic analysis.

Finally, in the sixth and seventh examples, spectral analysis was applied to the first two samples, ie the unexpanded soil for the circular and elliptic plates sitting on the two parameter foundation and the expanded soil conditions.

In the fourth chapter, results, evaluations, comments and suggestions are given. In the fourth section, the general results and conclusions are presented. In this study modelling of two parameter foundation at SAP2000 program are shown. Thus more complex plate system can be examined under static and dynamic loads and their interactions can be observed. Impact of unexpanded foundation and expanded foundation are obviously seen in the examples. Their interactions are shown graphically with different foundation angles in the example graphics. Linear behavior of structure systems resting on two parameter elastic foundation are observed under earthquake load in this study.

1. GİRİŞ

1.1 Plak-Zemin İlişkisi

Plak sistemlerinin, oturduğu zemin ile ilişkileri, araştırmacılar tarafından yaygın olarak konu edilmektedir. Tüm yapı sistemleri, özelde bu çalışma için plaklar, üzerlerine gelen yükleri, emniyetli bir biçimde zemin ortamına iletebilmelidir. Bu nedenle, plak ile plağın üzerine oturduğu zeminin bir bütün olarak ele alınıp incelenmesi kaçınılmaz olmaktadır. Bu incelemenin doğruluğu da, plak ve plağın oturduğu zeminin etkileşiminin, gerçeğe en yakın şekilde, hassas olarak modellenebilmesine bağlıdır.

Plak taşıyıcı sistemler, birçok mühendislik uygulamasında kullanım alanı bulan ve sık karşılaşılan yapısal elemanlardır. Binalarda döşeme ve temellerde, gemi ve deniz taşıtlarında sıvı basıncına maruz kalan gövde parçalarında, zeminle temas halindeki silo ve tank yapılarında kullanılan plak elemanlar, farklı yükleme ve etkileşim türlerine maruz kalırlar [21]. Uygulamada sıklıkla karşılaşılan kare, dikdörtgen, daire ve benzeri basit geometriye sahip plakların incelenmesi için birçok çalışma yapılmış, bazı özel durumlar için de kesin çözümler sunulmuştur[20]. Elips geometrisindeki plakların mekanik davranışı da birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Prabhakara ve Chia ince eliptik plakların büyük çökme problemini pertürbasyon yöntemini kullanarak analitik olarak çözmüşlerdir [18]. Kesitte kayma şekil değiştirmelerini dikkate alan Liu ve arkadaşları tabakalı eliptik plakların büyük çökmesi için analitik çözüm üretmişlerdir [11]. Vasilenko ve Urusova kollokasyon yöntemini kullanarak tabakalı malzemedен üretilmiş eliptik plakların statik davranışını incelemişlerdir [23]. Altekin ve Altay Ritz metodunu kullanarak ince süper eliptik plakları incelerken sınır koşullarını Lagrange çarpanları ile sağlatmışlardır [3]. Altekin, ortotrop süper eliptik

plaklarda noktasal mesnetlerin konumunu optimize ederek, plakta en büyük çökmeyi minimize eden bir çalışma yapmıştır [2].

1.2 Plak-Zemin Etkileşim Modelleri

Plak sistemi ve plak sisteminin üzerine oturduğu zemin ortamı arasındaki ilişkiyi belirlemek, zemin ortamının komplike yapısından ötürü meşakkatlidir. Zemin ortamının izotrop ve homojen olmaması, bu karmaşıklığın önemli bir nedenidir. Buna ek olarak, zeminin malzeme ve mekanik özellikleri, zeminin suya doygunluğuna, nem durumuna ve üzerindeki basıncın değişimine bağlı olarak sürekli değişkenlik göstermektedir. Bundan dolayı, bu parametrelerin tam manasıyla belirlenmesi olanaklı değildir.

Tüm etkenler göz önüne alındığında, zemin ortamı ile alakalı bazı idealleştirmelerin yapılması gerektiği sonucu ortaya çıkmaktadır. Zemin ortamının mekanik ve fiziksel özelliklerini farklı araştırmacılar farklı şekillerde idealleştirmişlerdir.

Plak zemin etkileşimi problemi, gerek sık karşılaşılmasından, gerekse zeminle etkileşim halinde bulunmanın, yapısal davranışını önemli derecede etkilemesinden ötürü, birçok araştırmacı tarafından çeşitli açılardan incelenmiştir [17]. Mühendislik yaklaşımı için geliştirilmiş mekanik modeller yapı-zemin etkileşim problemlerinde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Winkler tarafından sunulan ve bugün hala sıklıkla kullanılan yay modeli, Pasternak tarafından yayların birbirleriyle bir kayma etkisiyle etkileştiklerini varsayan modeli ile ileri taşınmıştır [7]. Rashed, Pasternak zeminine oturan Reissner plakların statik analizi için bir sınır eleman formülasyonu geliştirmiş ve daire geometrili plaklar için sonuçlar üretmiştir [19]. Yu ve Syracuse, Pasternak zeminine oturan dairesel plakların kapalı çözümünü ince plak teorisine göre vermiştir [25].

Al-Hosani ve arkadaşları Winkler zemini ile etkileşen Reissner plağı için sınır eleman yöntemini kullanmış, dikdörtgen ve dairesel plaklar için çözüm üretmişlerdir [1].

Wang ve arkadaşları, iki parametrelili zemine oturan Reissner plaklarının temel çözümünü ve sınır integral değerlerini vermişlerdir [24].

Literatürde, elastik zeminle etkileşen dikdörtgen ve daire geometrili plaklar için birçok çalışma bulunmasına rağmen, eliptik geometriye sahip plaklar adına çok az çalışma gerçekleştirilmiştir. Datta, Winkler zemini ile etkileşen ince eliptik plakların büyük çökme problemini Galerkin yöntemini kullanarak incelemiştir [6].

Zhong ve arkadaşları, üçgen diferansiyel kuadratür yöntemini Pasternak zeminine oturan nispeten kalın plakların eğilme problemine uygulamış ve eliptik plaklar için sonuçlar üretmişlerdir [26].

Söz konusu başlıkta yapılan çalışmaların kısıtlı olması araştırmacıları bu doğrultuda çalışmaya yöneltmiştir. Bu çalışmada keyfi doğrultuda ortotrop Pasternak zemin ile etkileşen eliptik Mindlin plaklarının statik yükler altındaki davranışı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Düzgün yayılı yük altında, ankastre sınır koşullarına sahip eliptik plakların eğilme davranışında, zemin parametrelerinin, eliptikliğin derecesinin ve zemin ortotropisinin etkisi araştırılmış, parametrik sonuçlar sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar, Kutlu, A. ve arkadaşlarının parametrik örnekleri esas alınarak doğrulanmış ile karşılaştırmalı olarak sunulmuştur [9].

Zemin modelleri, bir parametrelili zemin modelleri ve iki parametrelili zemin modelleri olarak iki başlık altında incelenebilirler.

1.2.1 Bir parametrelili zemin modelleri

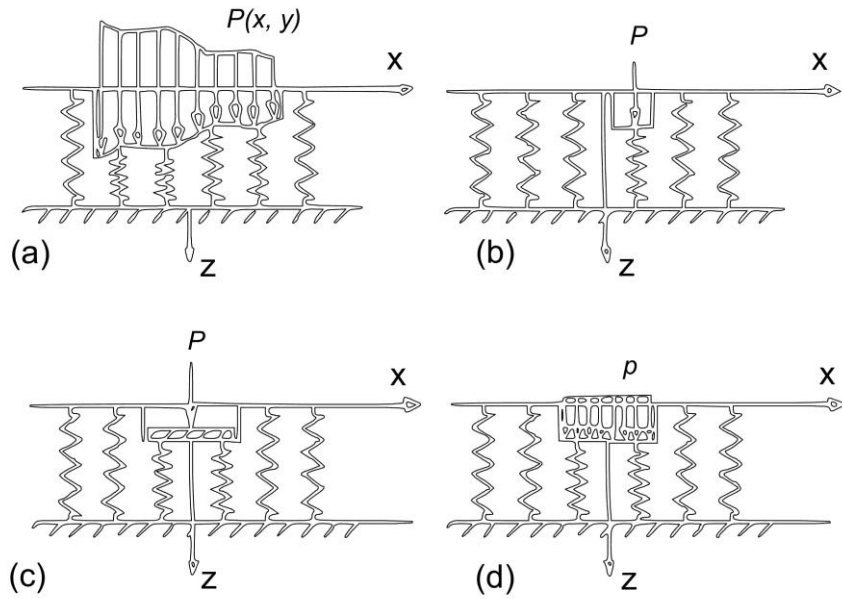
1.2.1.1 Winkler tipi zemin modeli

Zeminin elastik davranışıyla alakalı ilk önemli çalışma Winkler tarafından ortaya konmuştur. Winkler zemin modelinde (1867), zeminin birbirine sonsuz yakın, lineer ve elastik yaylardan meydana geldiği kabul edilmiştir. Buna göre $w(x, y)$ düşey doğrultuda çökme olarak alınırsa, zemin direnci $p(x, y) = k w(x, y)$ olarak alınır. Burada k , elastik yay katsayısı olup, çökme bir birim olduğunda, birim genişlikteki birim alana gelen tepki kuvvetini ifade eder. Elastik yay katsayısı k , uygulamada zemin parametresi ya da yatak katsayısı olarak da isimlendirilir.

Winkler zemin modeli teorisine göre, zemine etkiyen kuvvetler yalnız etkilediği noktada çökme oluştururlar. Dolayısıyla her bir yay, kendisine komşu diğer yayların yükleme durumundan etkilenmez. Bu durum, zemin ortamının bütünüyle süreksiz bir ortam halinde dikkate alındığını gösterir. Oysaki, elastik tabakanın yüzeyinde, herhangi bir noktada meydana gelen yer değiştirme, yalnızca o noktaya etki eden kuvvetten değil, diğer noktalardaki kuvvetlerden de etkilenir. Bahsedilen Winkler tipi zemin modeli, tekil yük durumunda her ne kadar tatminkar sonuçlar verse de, düzgün yayılı yük durumunda gerçekçi olmayan sonuçlar vermektedir.

Winkler tipi zemin modeli ile alakalı bir diğer konu da, yatak katsayısı olarak tanımlanan parametrenin nasıl hesaplanacağı hususudur. Bu konuyla alakalı çeşitli sonuçlar veren farklı bağıntılar mevcuttur.

Şekil 1.1'de Winkler tipi zemin modeline göre (a) ile düzgün yayılı olmayan yük halinde zeminin yer değiştirmesi, (b) ile tekil yük bulunması halinde zeminin yer değiştirmesi, (c) ile rijit tabaka ile aktarılan yük altında zeminin yer değiştirmesi ve (d) ile düzgün yayılı yük altında zeminin yer değiştirmesi gösterilmiştir.



Şekil 1.1 : Winkler tipi zemin modeli.

Tüm olumsuz taraflarına karşılık, bir çok zemin problemi için yeterli yaklaşım sağlayan bu zemin modeli, kullanım kolaylığı ile sadeliği sebebiyle günümüzde yaygın olarak kullanılan bir zemin modeli olmuştur.

1.2.2 İki parametrelili zemin modelleri

Winkler tipi zemin modelinin, zeminin sürekliliğini karakterize edememesi sebebiyle bir çok araştırmacı zeminin sürekliliğini temsil etme amacı güden zemin modelleri geliştirmişlerdir. Bunlardan Filonenko-Borodich tipi zemin modeli, Hetenyi tipi zemin modeli, Pasternak tipi zemin modeli ve Vlasov tipi zemin modeline değinilmiştir.

1.2.2.1 Filonenko-Borodich tipi zemin modeli

Filonenko-Borodich tipi zemin modelinde (1940), zemin ortamının sürekliliği, yüzeyde bulunan elastik ince zar tabakasıyla temsil edilmiştir. Sisteme bir yük etkimesi halinde, yüzeyde gerilmeler oluşmakta ve yaylar birbirinden etkilenmektedir. Bu yay-membran sisteminde zeminin tepki fonksiyonu,

$$p(x, y) = kw(x, y) - T\nabla^2 w(x, y) \quad (1.1)$$

ifadesiyle verilmektedir. Burada, T membran kuvveti, ∇^2 Laplace operatörünü göstermektedir. Laplace operatörü ise;

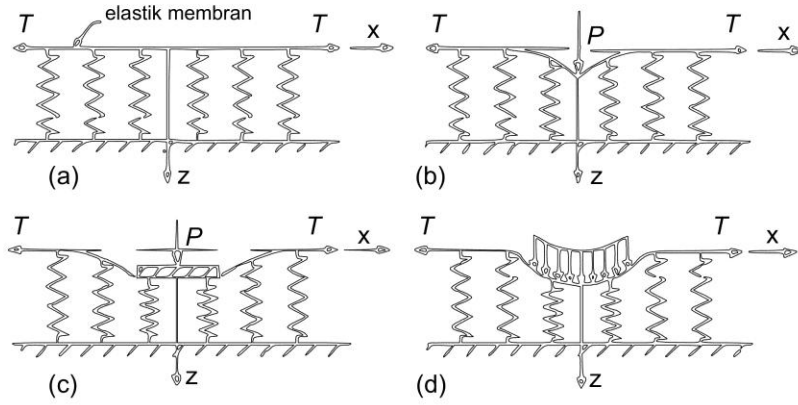
$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \quad (1.2)$$

şeklindedir. Bir boyutlu problemler için (1.1) ifadesi;

$$p(x) = kw(x) - T \frac{d^2 w(x)}{dx^2} \quad (1.3)$$

şeklindedir.

Şekil 1.2'de Filonenko-Borodich tipi zemin modeline göre farklı yükleme halleri için yerdeğıştirmeler gösterilmiştir. Şekil 1.2'de (a) ile yük olmayan durum, (b) ile tekil yük etkisi altında zeminin yerdeğıştirmesi, (c) ile rijit tabaka ile iletilen yük etkisi altında zeminin yerdeğıştirmesi, (d) ile yayılı yük etkisi altında zeminin yerdeğıştirmesi gösterilmiştir.



Şekil 1.2 : Filonenko-Borodich tipi zemin modeli.

1.2.2.2 Hetenyi tipi zemin modeli

Hetenyi tipi zemin modelinde (1946, 1950), iki boyutlu problemlerde Winkler yayları üzerine kiriş eklenerek zemin ortamının sürekliliği sağlanmıştır. Üç boyutlu problemlerde ise Winkler yayları üzerine elastik plaka ilave edilerek zeminin sürekliliği temin edilmiştir. Hetenyi tipi zemin modeline göre zeminin tepki fonksiyonu;

$$p(x, y) = kw(x, y) - D \nabla^2 w(x, y) \quad (1.4)$$

ifadesi ile verilmektedir. Burada;

$$D = \left(\frac{E_p h^3}{12(1-\nu_p^2)} \right) \quad (1.5)$$

olup, D plak eğilme rijitliğini göstermektedir. k ise zemin yatak katsayısını temsil etmektedir.

Bir boyutlu sistemlerde (1.4) ifadesi;

$$p(x) = kw(x) - D \frac{d^2 w(x)}{dx^2} \quad (1.6)$$

halini alır.

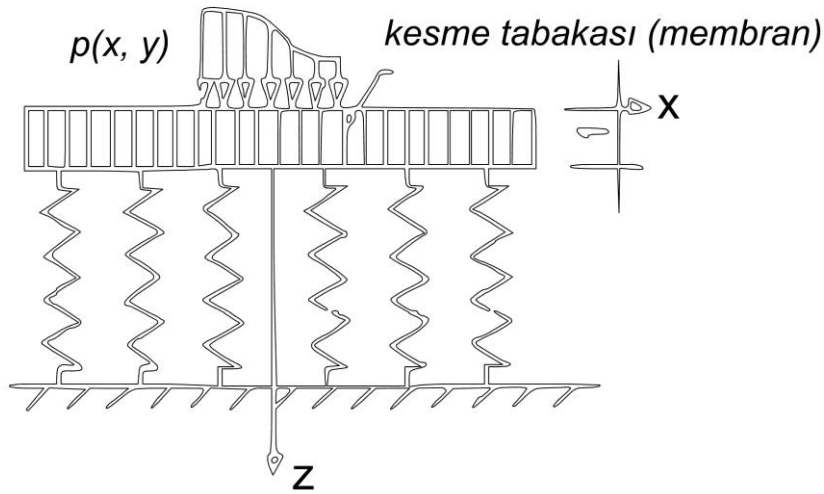
1.2.2.3 Pasternak tipi zemin modeli

Pasternak tipi zemin modelinde (1954), Winkler yayları üzerinde, sıkışmayan bir kesme tabakası tanımlanarak, zemin ortamının sürekliliği sağlanmıştır. Bahse konu kesme tabakası, yalnızca düşey yönde yerdeğiştirme yapabilen elemanlardan oluşmaktadır (Şekil 1.3).

Bu kayma tabakasının x, y düzleminde izotropik olduğu kabulüyle, zeminin kayma parametreleri arasında $G_x = G_y = G_p$ ilişkisi olduğu söylenebilir. G_p zeminin kayma parametresi olmak üzere, Pasternak tipi zemin modeli için zeminin tepki fonksiyonu;

$$p(x, y) = kw(x, y) - G_p \nabla^2 w(x, y) \quad (1.7)$$

olarak ifade edilir.



Şekil 1.3 : Pasternak tipi zemin modeli.

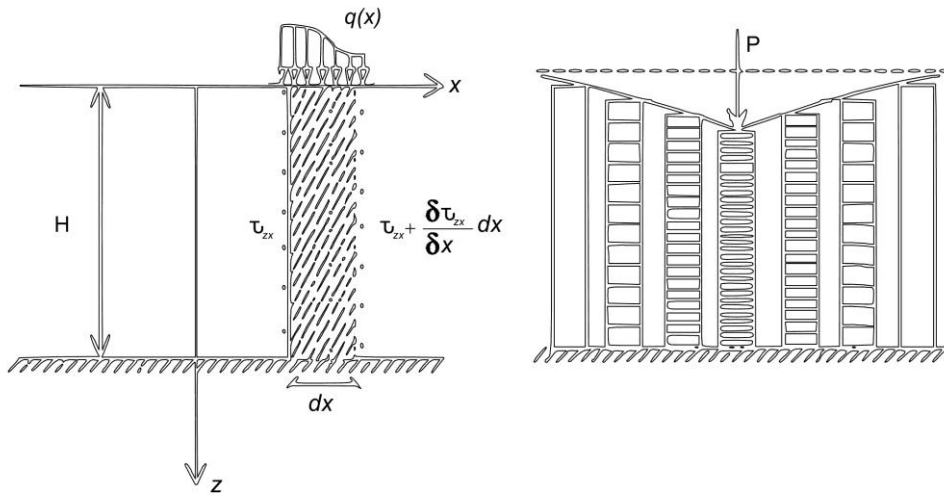
Pasternak tipi zemin modeli ile Filonenko-Borodich tipi zemin modeli mukayese edildiğinde, aralarındaki tek farkın T ve G_p parametresi farkı olduğu görülmektedir. Bu sebeple bu iki zemin modeli birbirine yakın çökme değerleri vermektedir.

1.2.2.4 Vlasov tipi zemin modeli

Vlasov ve Leont'ev (1966) zemin tabakasını Winkler yaylarıyla tanımlamak yerine, x - z düzleminde zemin kolonları olarak tanımlamışlardır (Şekil 1.4). Bu zemin kolonu içinde yerdeğiştirmeler; $u(x,z)$ x - z düzlemindeki yatay yer değiştirmeyi, $w(x,z)$ x - z düzlemindeki düşey yer değiştirmeyi ve $\emptyset(z)$ fonksiyonu $w(x)$ deplasmanların derinlik boyunca değişimini veren yaklaşım fonksiyonu olmak üzere;

$$u(x, z) = 0, w(x, z) = w(x)\emptyset(z) \quad (1.8)$$

ifadesi ile tanımlanmıştır.



Şekil 1.4 : Vlasov tipi zemin modeli.

Vlasov tipi zemin modeline göre zeminin tepki fonksiyonu, $2t$ zemin kayma parametresini göstermek üzere;

$$p(x, y) = kw(x, y) - 2t\nabla^2w(x, y) \quad (1.9)$$

olarak verilmektedir.

Vlasov modeli üzerinde fazla sayıda çalışma yapılmıştır. Vlasov ve Leont'ev (1966) zemindeki düşey deformasyon değişimini gösteren ve γ olarak tanımladıkları bir başka parametreden bahsetmişlerdir. γ parametresinin belirlenmesiyle yatak katsayısı k ve kayma parametresi $2t$ değerlerinin deneysel zorluk olmaksızın hesaplanmasının mümkün olduğunu göstermişlerdir, fakat γ parametresinin hesabıyla alakalı herhangi bir bilgi vermemişlerdir.

Vallabhan ve Das (1988), yayılı yükü yüklenmiş elastik zemine oturan kirişler için zeminin yerdeğiştirme fonksiyonunu karakterize eden γ parametresinin hesabı için bir yöntem sunmuşlardır. Elastik zemini, birbiriyle bağlantılı olan k , $2t$, γ parametreleriyle tanımladıkları için kendi modellerini değiştirmiş, Vlasov tipi zemin modeli veya üç parametli zemin modeli olarak isimlendirmişlerdir.

1.3 Çalışmanın Kapsam ve Amacı

Bu çalışmanın amacı, iki parametrelili keyfi doğrultuda ortotrop zeminler üzerine oturan dairesel ve eliptik plakların statik etkiler altında incelenmesidir. Yapılan analizlerde SAP2000 sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Eliptik plak geometrisinin oluşturulmasında Excel yazılımından faydalanılmıştır. SapTransform programıyla düşey yerdeğiştirmeler eşitlenmiş, üst yapı ile zeminin ortak hareketi sağlanmıştır. Plak ve zemine ait sonlu elemanlar iki ayrı tabaka halinde verildiğinden, plak ve zemin elemanların ortak bölgelerinde düğüm noktalarının yerdeğiştirmelerinin eşitlenmesi gerekmektedir. SAP2000 ortamında her bir düğüm noktasının seçilerek yapılması gereken bu işlem çok uzun ve meşakkatli olduğundan, SAP2000 programının .S2k uzantılı dosyasından okuma yaparak, ilgili düğüm noktasındaki deplasmanları '*Constraint*' seçeneği ile eşitleyen yardımcı bir yazılımdan faydalanılmıştır [4].

Bu çalışmada ortotrop pasternak tipi zemin ile etkileşen dairesel, boşluklu dairesel ve eliptik geometriye sahip plakların eğilme davranışı incelenmiştir. SAP2000 programında sonlu elemanlar modellenirken, üçgen ve dörtgen elemanlar kullanılmıştır. Sayısal çözüm yöntemi literatürle doğrulanmış ve parametrik çözümler sunularak eliptikliğin ve zemin parametrelerinin plak eğilme davranışına olan etkileri araştırılmıştır.

Plak taşıyıcı sistemler birçok mühendislik uygulamasında kullanım alanı bulan ve sık karşılaşılan yapısal elemanlardır. Binalarda döşeme ve temellerde, gemi ve deniz taşıtlarında, sıvı basıncına maruz kalan gövde parçalarında, zeminle temas halindeki silo ve tank türü yapılarda kullanılan plak elemanlar farklı yükleme ve etkileşim türlerine maruz kalırlar.

Uygulamada sıklıkla karşılaşılan kare, dikdörtgen, daire ve benzeri basit geometriye sahip plakların incelenmesi için birçok çalışma yapılmış, bazı özel durumlar için de kesin çözümler sunulmuştur. Elips geometrisindeki plakların mekanik davranışı da birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir.

Bu çalışmada özel olarak ortotrop Pasternak tipi zemine oturan dairesel ve eliptik plakların statik davranışı ile serbest titreşim özellikleri incelenmiştir. Öncelikle literatürde daha önceden çözümlenmiş örnekler ile modellemenin doğruluğu gösterilmiş, daha sonra da benzer çalışmalarda göz önüne alınmayan temel zemininin temel dışında da devam etmesi durumunda plak titreşim karakteristiklerindeki değişimler irdelenmiştir. Sonuçlar tablolar halinde karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Ayrıca dairesel plak için, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'de öngörülen tasarım spektrumuna göre spektral analiz yapılmıştır.

Dairesel plak, daire halkası temel ve eliptik plak SAP2000 programında modellenirken sonlu elemanlara ayrılarak modellenmiştir.

Program bu parçayı alt parçalara ayırır bunlar sonlu eleman olarak adlandırılır. Alt parçalara ayırma işlemine mesh veya ağlara bölme denmektedir. Daha iyi ağ (daha çok eleman) fiziksel modelin matematik olarak daha iyi ifade edilmesi demektir. Kullanılacak sonlu eleman, problemin tipine göre değişmektedir.

Tabiatta karşılaşılan her olay fizik kanunları yardımıyla ve matematik diliyle anlaşılmaya çalışılır. Her olay kendine ait büyüklükler yardımıyla cebirsel, diferansiyel veya integral denklemler yardımıyla büyük oranda ifade edilebilirler. Karmaşık bir problem, bilinen veya kavranması daha kolay alt problemlere ayrılarak daha anlaşılır bir hale getirilebilir. Oluşturulan alt problemler çözülüp birleştirilerek esas problemin çözümü yapılabilir. Örneğin; gerilme problemi, basit kiriş, plak, silindir, küre gibi geometrisi bilinen şekillerle sınırlandırılabilir. Bu elde edilen sonuçlar çoğu kez problemin yaklaşık çözümüdür ve bazen doğrudan bazen de bir katsayı ile düzeltilerek kullanılır. Mühendislik uygulamalarında problemlerin karmaşıklığı sebebiyle genellikle problemlerin tam çözümü yerine, kabul edilebilir seviyede bir yaklaşık çözüm tercih edilir.

Bu çalışmada da örnekler modellenirken Sonlu Elemanlar Yönteminden faydalanılmıştır. Sonlu Elemanlar Yöntemi, çeşitli mühendislik problemlerine kabul edilebilir bir yaklaşımla çözüm arayan bir sayısal çözüm yöntemidir. Sonlu Elemanlar Analizi, fiziksel bir sistemin matematik olarak ifade edilmesidir. Bu sistem alt parçalara ayrılabilen model olup, malzeme özelliklerine ve uygulanabilir sınır şartlarına sahiptir.

Sonlu elemanlar metodu; karmaşık olan problemlerin daha basit alt problemlere ayrılarak her birinin kendi içinde çözülmesiyle tam çözümün bulunduğu bir çözüm şeklidir. Metodun üç temel niteliği vardır:

- 1) Geometrik olarak karmaşık olan çözüm bölgesi sonlu elemanlar olarak adlandırılan geometrik olarak basit alt bölgelere ayrılır.
- 2) Her elemandaki, sürekli fonksiyonların, cebirsel polinomların lineer kombinasyonu olarak tanımlanabileceği kabul edilir.
- 3) Aranacak değerlerin her eleman içinde sürekli olan tanım denklemlerinin belirli noktalardaki (düğüm noktaları) değerleri elde edilmesinin problemin çözümünde yeterli olmasıdır.

Sonlu Eleman Yönteminin diğer nümerik yöntemlere göre avantajları;

- a) Kullanılan sonlu elemanların boyutlarının ve şekillerinin değişkenliği nedeniyle ele alınan bir cismin geometrisi tam olarak temsil edilebilir.
- b) Bir veya birden çok delik veya köşeleri olan bölgeler kolaylıkla incelenebilir.
- c) Değişik malzeme ve geometrik özellikleri bulunan cisimler incelenebilir.
- d) Sebep sonuç ilişkisine ait problemler, genel direngenlik matrisi ile birbirine bağlanan genelleştirilmiş kuvvetler ve yer değiştirmeler cinsinden formüle edilebilir. Sonlu elemanlar metodunun bu özelliği problemlerin anlaşılmasını ve çözülmesini hem mümkün kılar hem de basitleştirir.
- e) Sınır şartlarının kolayca uygulanabilir olmasıdır.



2. SAP2000 PROGRAMINDA İKİ PARAMETRELİ ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN TANIMLANMASI

2.1. SAP2000 Sonlu Eleman Analiz ve Boyutlandırma Programı

Yirminci yüzyılın ikinci yarısı ve sonrasında hızla ilerleyen bilgisayar teknolojileriyle, sonlu elemanlar metodu, geniş bir alanda kullanılır hale gelmiştir. Bu süreçte geliştirilen SAP2000 programı (Structural Software for Analysis and Design), sonlu elemanlar yöntemiyle çözümlenmede yaygın olarak kullanılan programlardan biridir.

SAP2000 yazılımı, yapı sistemi modellerinin geliştirilmesi, analizi ve boyutlandırılması için kullanılan genel amaçlı bir programdır. Program Windows ortamında çalışmakta ve tüm işlemler özel Grafik Kullanıcı Arayüzü (Graphical User Interface - GUI) yardımıyla SAP2000 ekranı üzerinde gerçekleştirilmekte ve her türden yapının sonlu elemanlar yöntemiyle lineer ve nonlineer üç boyutlu statik ve dinamik çözümünü ve boyutlamasını yapabilmektedir.

SAP2000 V12 versiyonundan itibaren programa dahil edilen OAPI (Open Application Programming Interface) özelliği sayesinde geliştirici ara programlarla SAP2000 programı ile iki yönlü model ve veri alışverişi yapılabilmektedir. Geliştirici ikincil programlar, SAP2000 programına model bilgilerini gönderip SAP2000'den dizayn bilgilerini alabilmektedir. Bu özellik kullanıcılara sonsuz uygulama imkanları sunmaktadır. Nitekim bu tezde de bu özellikten faydalanılarak elips geometrisine sahip plak modeli oluşturulabilmesi için bir excel makrosu oluşturulmuştur. Ayrıca SapTransform programı geliştirilerek plak ve zemin arasında z doğrultusunda her bir düğüm noktası için deplasman eşitlemesi yapılarak, plağın ve zeminin birlikte hareket etmesinin temsili sağlanmıştır.

2.2. SAP2000 Programında Sonlu Eleman Matris Formülasyonu

SAP2000 programının kütüphanesinde bulunan düzlem gerilme ve şekil değiştirme elemanı, kompozit malzeme durumunda tabakalı formülasyonu kullanmaktadır. Bu formülasyonda düzlem içi şekil değiştirmelerle birlikte, kalınlık doğrultusundaki kayma şekil değiştirmeleri de göz önüne alınmaktadır. Düzlem şekil değiştirme durumunda, kompozit malzeme özelliği, olarak üç doğrultudaki elastisite modülleri ve Poisson's oranları sıfır olarak, düzlem içindeki ve iki doğrultudaki kayma modülleri sıfırdan farklı değerler olarak girildiğinde, elemanda sadece kalınlık doğrultusunda kayma gerilmeleri ve elemanda düşey yönde uç kuvvetleri oluşmaktadır. Söz konusu iki doğrultudaki düzlem içi kayma modülleri, iki parametrelili zeminin kayma modülleri olarak girildiğinde ise elde edilen eleman rijitlik matrisi, iki parametrelili ortotrop zemin elemanın, eleman rijitlik matrisine dönüştürmektedir. Düzlem içinde ve iki doğrultudaki zemin kayma modülleri eşit olarak verilirse, izotrop zemine ait rijitlik matrisi elde edilmektedir. Böylelikle zeminin ikinci parametresine diğer bir deyişle Pasternak parametresine ait rijitlik matrisi kolaylıkla elde edilebilmektedir. Elde edilen matrister bilinmeyenler sadece düğüm noktalarının çökmeleridir. İki parametrelili zeminin birinci parametresi diğer bir deyişle Winkler parametresi ise SAP2000 programındaki alan yayı tanımlama (Area springs) özelliği ile temsil edilmektedir. Pasternak parametresine ait gerilme şekil değiştirme bağıntıları düzlem içi gerilme şekil değiştirme bağıntıları ile birlikte Denklem 2.1 ve Denklem 2.2'de verilmiştir.

Düzlem şekil değiştirme elemanında sadece kayma şekil değiştirmelerinin göz önüne alınması durumundaki gerilme-şekil değiştirme bağıntıları (Üç doğrultudaki elastisite modülleri ve Poisson's oranları sıfır alınmaktadır);

$$\begin{bmatrix} \gamma_{zx} \\ \gamma_{zy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x} \\ \frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

$$[\tau] = \begin{bmatrix} \tau_x \\ \tau_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_1 & G_3 \\ G_3 & G_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x} \\ \frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

SAP2000 programının sonlu eleman kütüphanesindeki düzlem şekildeğiştirme elemanının sadece kayma şekildeğiştirmelerinin göz önüne alınması durumuna ait matris formülasyonu Denklem 2.1 ve Denklem 2.2'de verildiği gibidir. Ayrıca, Pasternak tipi zemin elemanda $G_3=0$, $u_x=u_y=0$ ve $u_z=w$ alındığında, söz konusu gerilme-şekil değiştirme bağıntısı Denklem 2.3'te verildiği gibi olur.

$$[\tau] = \begin{bmatrix} G_1 & 0 \\ 0 & G_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial w}{\partial x} \\ \frac{\partial w}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Eleman ait denge denklemi ise, Denklem 2.4'teki gibidir.

$$P + G_1 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + G_2 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - kw = 0 \quad (2.4)$$

$G_1=G_2=G$ olması halinde yani zeminin homojen kabul edilmesi durumunda denge denklemi Denklem 2.5 veya Denklem 2.6 gibi olur.

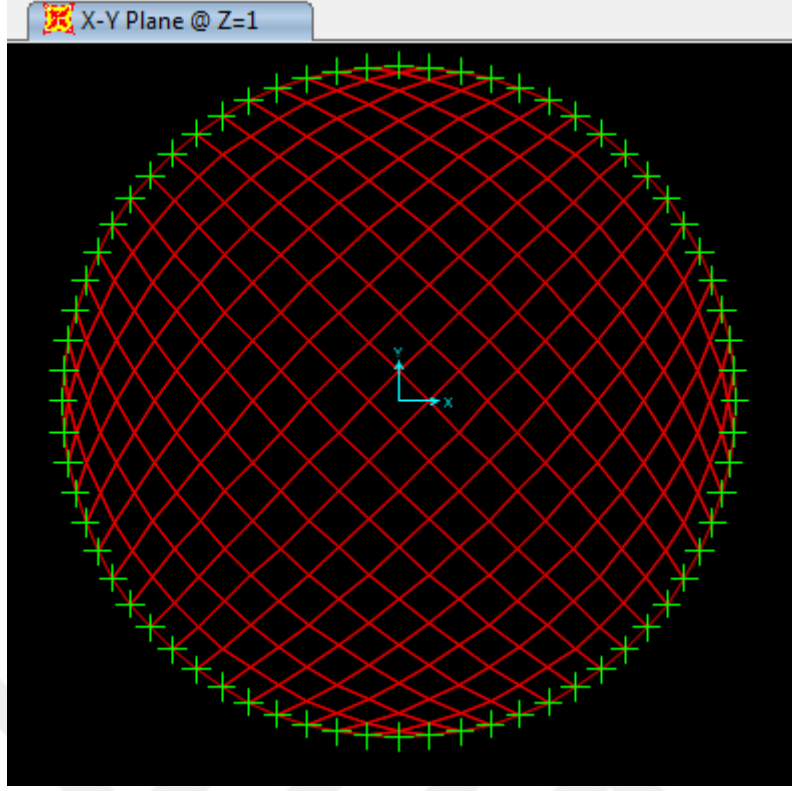
$$P + G \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) - kw = 0 \quad (2.5)$$

$$P = kw - G \nabla^2 w \quad (2.6)$$

Görüldüğü gibi $[G]$ matrisinin zeminin kayma modüllerine eşit alınması ile, sadece kayma şekil değiştirmelerinin göz önüne alındığı düzlem şekil değiştirme elemanının formülasyonu, zeminin ikinci parametresine ait gerilme-şekil değiştirme bağıntıları ve denge denklemleri ile aynıdır.

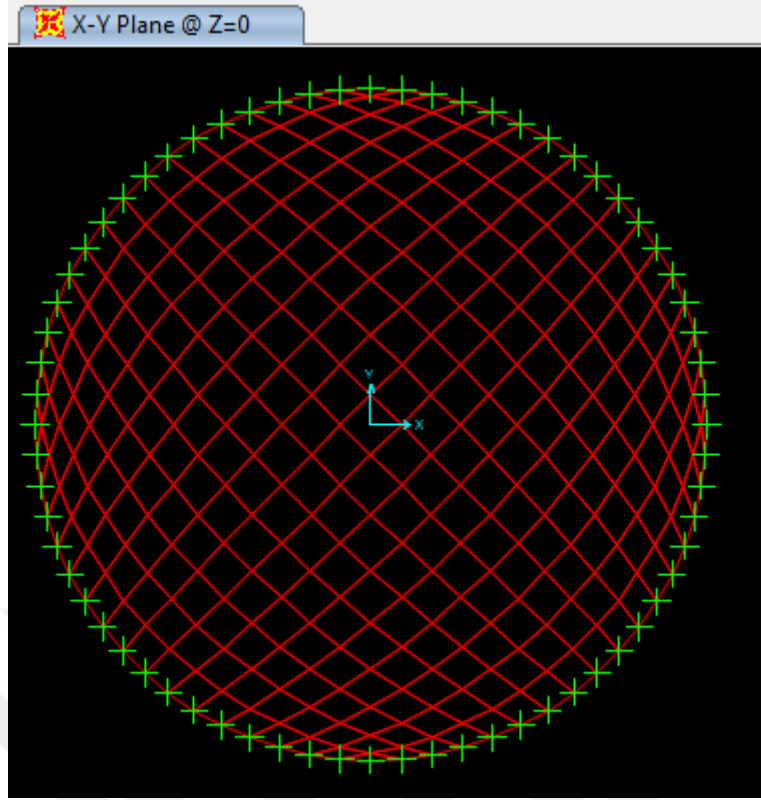
2.3. SAP2000 Programında İki Parametrelili Zemin ve Plak Elemanın Birlikte Modellenmesi

SAP2000 programında iki parametrelili zemine oturan plakların modellenmesi genel hatlarıyla burada verilmektedir. Daha sonra örneklerin içerisinde ayrıntılı olarak anlatılacaktır. Veriler hazırlanırken öncelikle plak modeli girilmelidir. Plağa ait geometri dairesel, eliptik ya da dörtgen olması durumuna göre oluşturulur. Yarıçapı veya kenar uzunlukları belli olan plakların kalınlığı, Poisson's oranı, Elastisite modülü verilerek plak eleman oluşturulur. Şekil 2.1'de dairesel plağa ait geometri görülmektedir (Şekil 2.1).



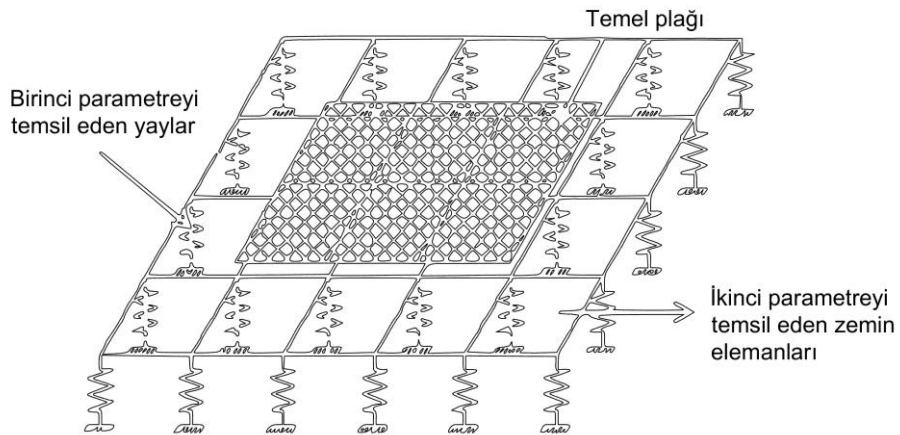
Şekil 2.1 : Dairesel plak sistemi.

Oluşturulan plak modeli 1 metre aşağıya kopyalanarak ve ortotropik zemin kayma parametreleri girilerek zemin eleman oluşturulur. Plak eleman $Z=1$ metre kotunda olduğundan zemin eleman $Z=0$ metre kotunda olmaktadır (Şekil 2.2).



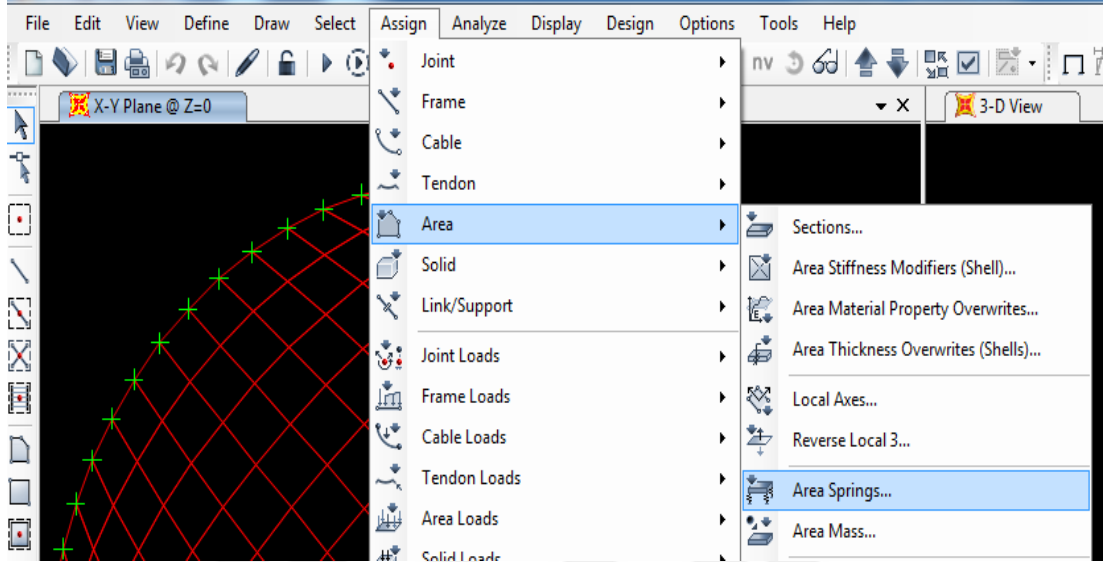
Şekil 2.2 : Dairesel plağın 1 m altındaki zemin sistemi.

Şekil 2.3 'te SAP2000 programında tanımlanan plak-iki parametrelili zemin sistemine ait model görülmektedir (Şekil 2.3).

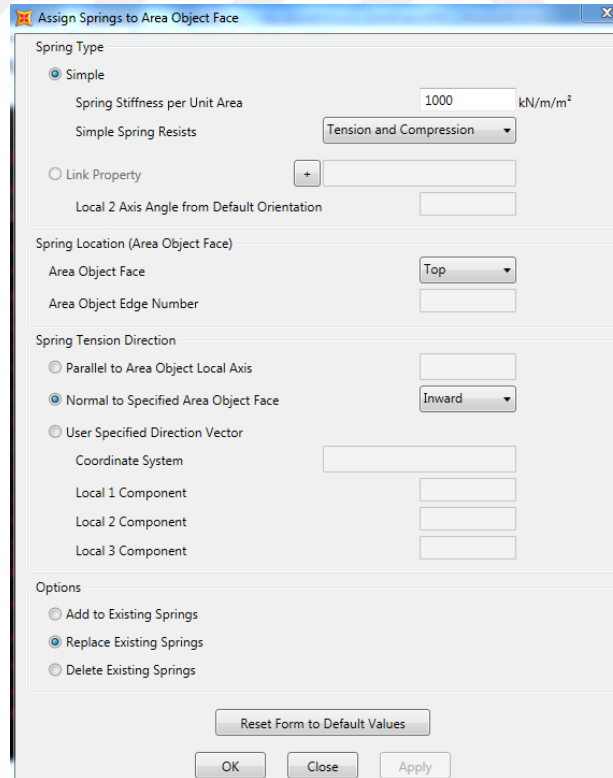


Şekil 2.3 : Plak-iki parametrelili zemin sistemi.

Burada zeminin birinci parametresini (yatak katsayısını) ifade etmek amacıyla yaylar tanımlanmıştır. Yaylar SAP2000 programında yer alan *Area Springs* özelliğinden faydalanılarak oluşturulmuştur. Yay katsayısı olarak zemin yatak katsayısı girilmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 : Zemin yatak katsayısının girilmesi.



Şekil 2.5 : Zemin yatak katsayısının girilmesi.

SAP2000 programında, zemin elemanın ikinci parametresi olan kayma parametresini temsil edebilmek amacıyla, malzeme özelliği ortotropik olan elemanlar tanımlanmıştır (Şekil 2.6). Zemin elemanlarının kalınlığı 1 birim olarak girilmiştir (Şekil 2.7).

Material Property Data

Material Name: ZEMIN

Material Type: Other

Symmetry Type: Orthotropic

Modulus of Elasticity

E1: 0, E2: 0, E3: 0

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 0, Mass per Unit Volume: 0

Units: KN, m, C

Poisson

U12: 0, U13: 0, U23: 0

Coeff of Thermal Expansion

A1: 0, A2: 0, A3: 0

Shear Modulus

G12: 0, G13: 1373,6264, G23: 137362,64

Advanced Material Property Data

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties...
Time Dependent Properties... Thermal Properties...

OK Cancel

Şekil 2.6 : Ortotropik zemin özelliklerinin tanımlanması.

Plane Section Data

Section Name: ZEMIN

Section Notes: Modify/Show...

Display Color: [Pink Square]

Type

Plane-Stress
 Plane-Strain
 Incompatible Modes

Material

Material Name: + ZEMIN
Material Angle: 0

Thickness

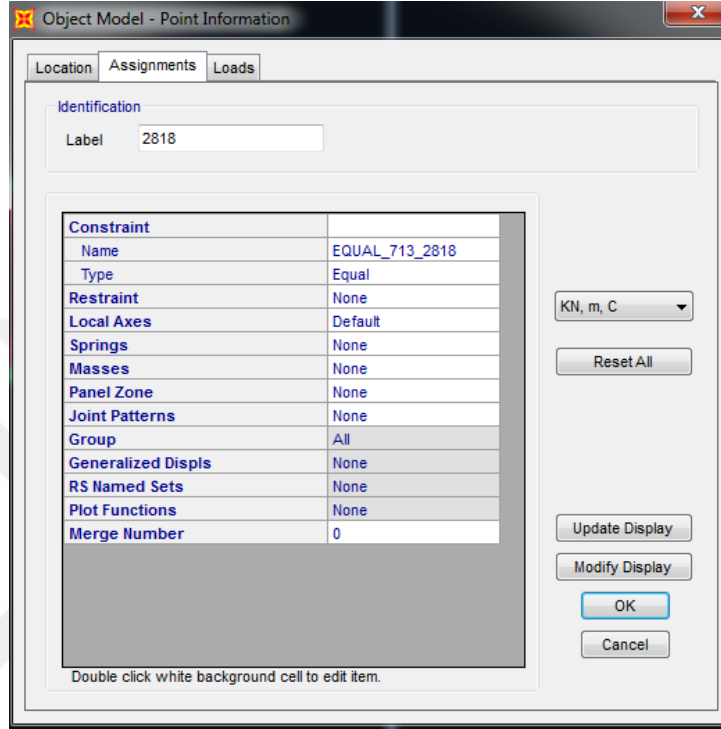
Thickness: 1

Stiffness Modifiers: Set Modifiers...
Temp Dependent Properties: Thermal Properties...

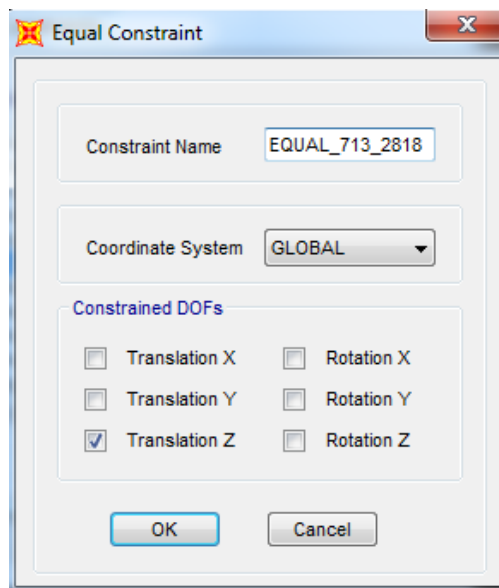
OK Cancel

Şekil 2.7 : Zemin tabakası kalınlığının 1 m girilmesi.

Zemine ait tüm elemanların sadece düşeyde deplasmanına mücade edilmiştir. Plak ile zemin elemanların bağlantısını kurabilmek amacıyla SAP2000 programındaki *Equal Constraint* özelliğinden faydalanılabilir. Bu sayede plaktaki elemanların düğüm noktalarına karşı gelen zemin elemanlarının düğüm noktaları düşeyde birlikte eşit deplasman yapabilmektedir (Şekil 2.8, Şekil 2.9).



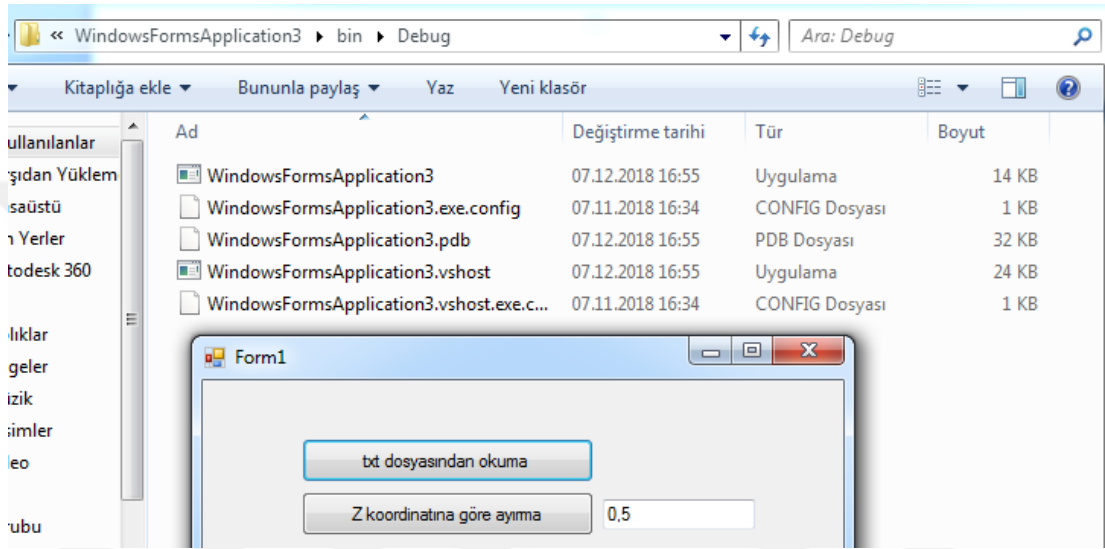
Şekil 2.8 : Constraint atanması.



Şekil 2.9 : Constraint atanması.

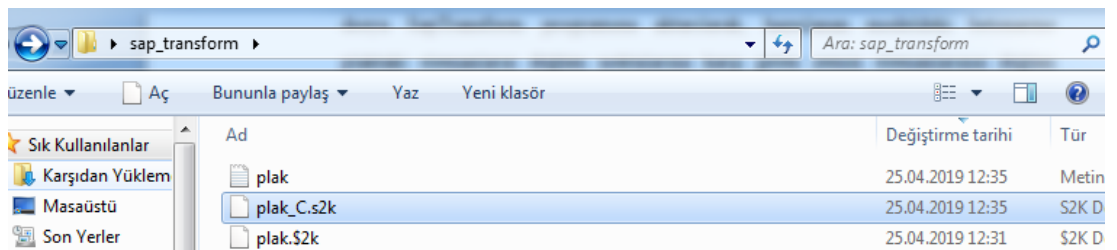
Bu çalışmada plak ile zemin elemanların bağlantısını kurabilmek için *SapTransform* adlı Visual Basic dilinde geliştirilen yardımcı program kullanılmıştır.

SAP2000 programında model hazırlanır. Kaydedildikten sonra oluşan *.\$2k* uzantılı dosya *SapTransform* programına aktararak, hazırlanan modeldeki plaktaki elemanların düğüm noktalarına karşı gelen zemin elemanlarının düğüm noktaları düşeyde birlikte eşit deplasman yapması sağlanmaktadır (Şekil 2.10).

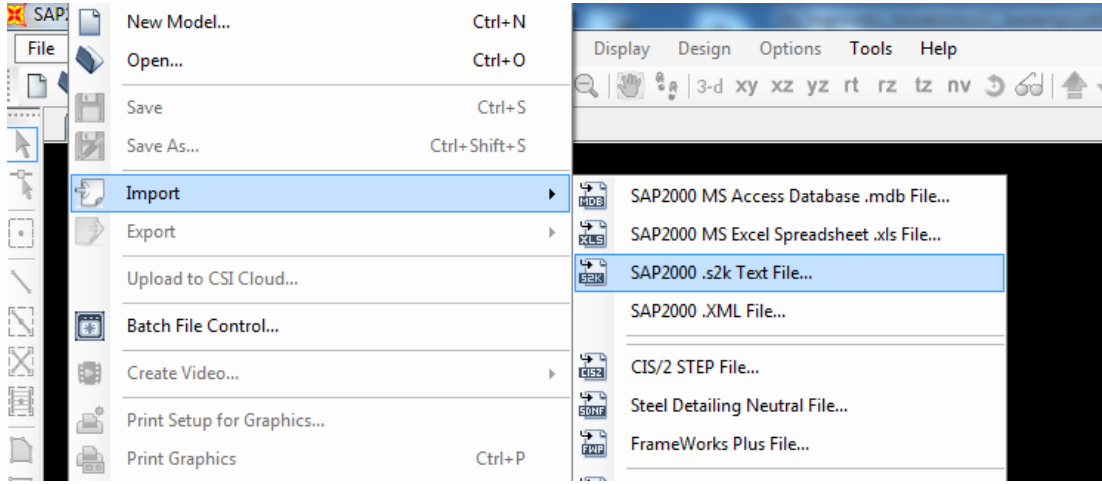


Şekil 2.10 : SapTransform programının veri giriş ekranı.

SapTransform programı, plaktaki elemanların düğüm noktalarına karşı gelen zemin elemanlarının düğüm noktalarının düşeyde birlikte eşit deplasman yapmasını sağlayacak eşitleme yapar ve dosyaismi_C.s2k şeklinde kaydeder. Bahse konu *_C.s2k* uzantılı dosya SAP2000 programından *Import* seçeneği ile açılır.



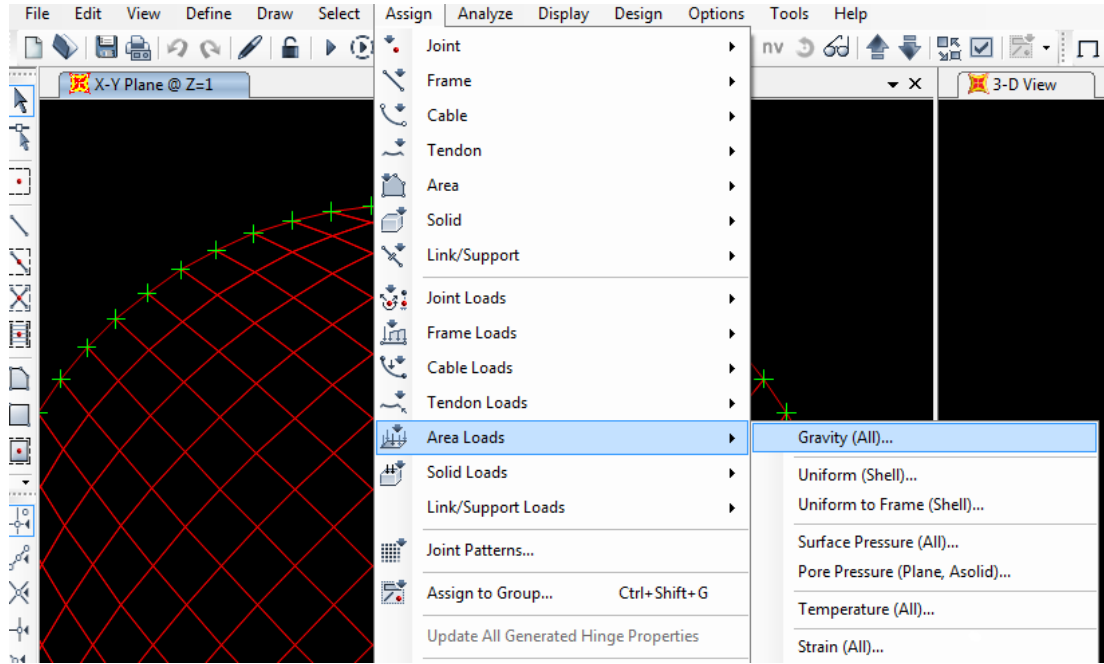
Şekil 2.11 : *_C.s2k* uzantılı dosya.



Şekil 2.12 : SAP2000'den Import seçeneği ile veri aktarılması.

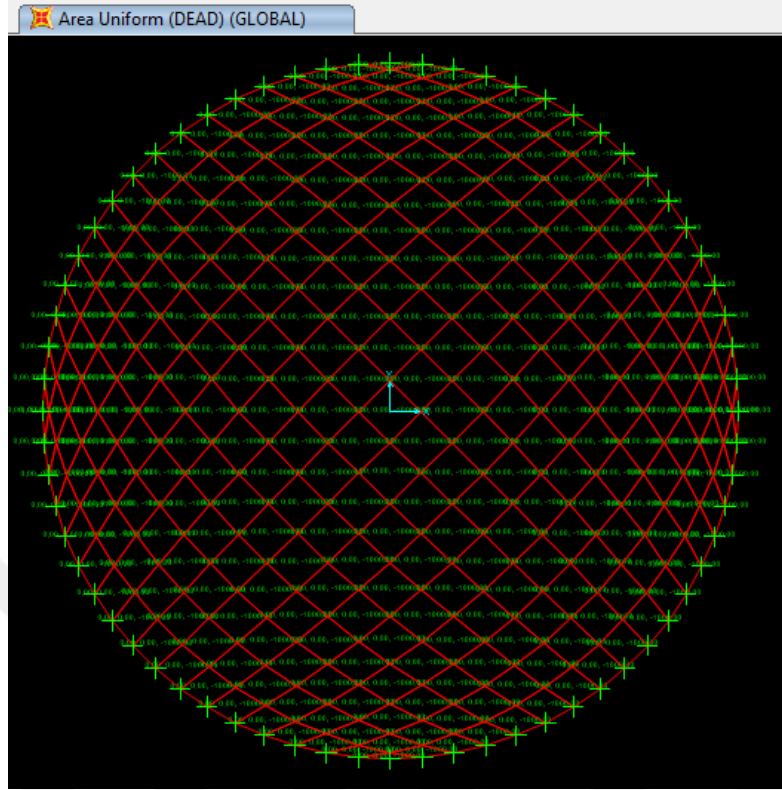
SapTransform programı yardımıyla düğüm noktaların eşit deplasman yapması sağlanmış olur.

SAP2000 programının *Assign* → *Area Loads* sekmesinden, varsa yayılı dış yükler girilir. Tekil yükleme yapılacaksa *Joint Loads* sekmesi kullanılır (Şekil 2.13).

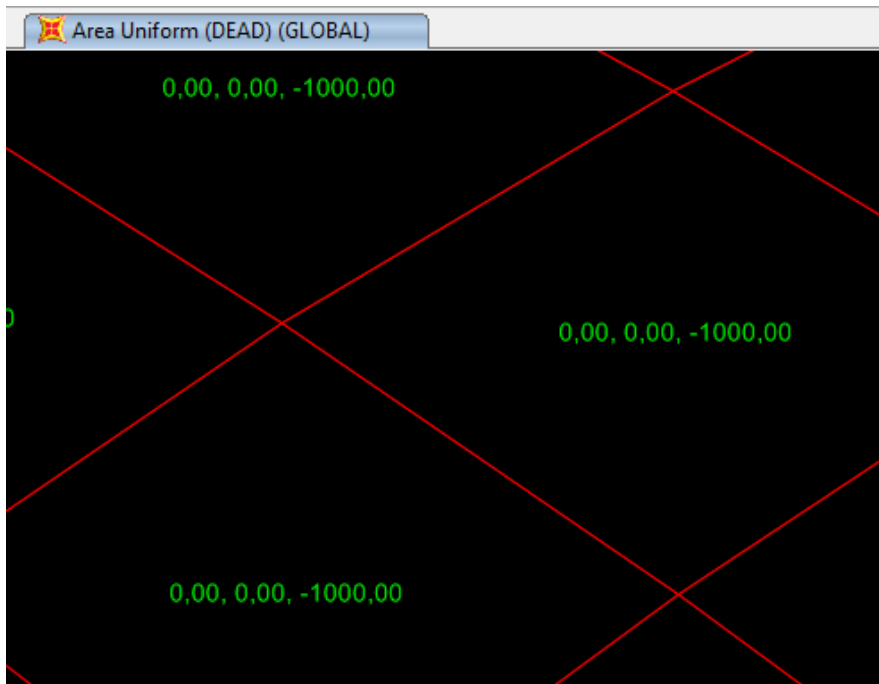


Şekil 2.13 : Dış yüklerin girilmesi.

Şekil 2.14 ve Şekil 2.15'te plağa 1000 kN/m² yayılı yük etkittirilmiştir (Şekil 2.14, Şekil 2.15).

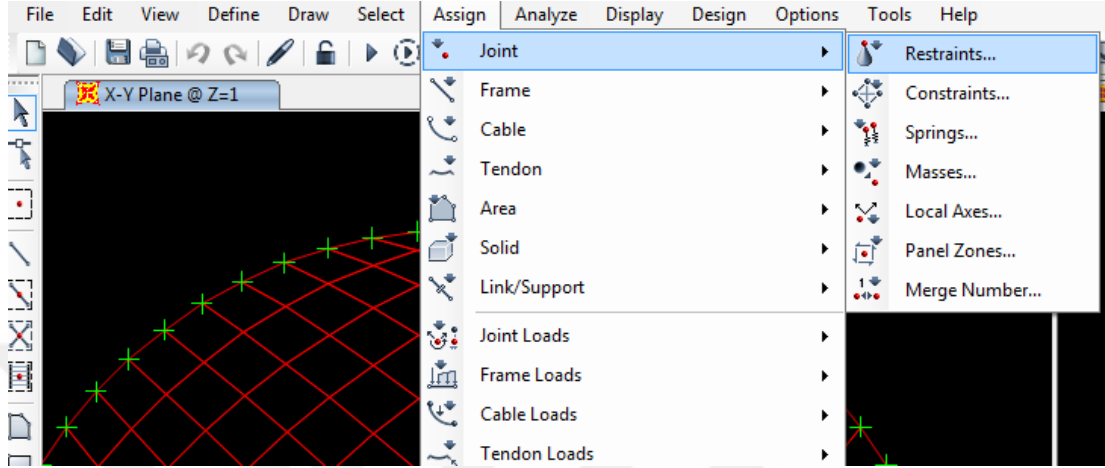


Şekil 2.14 : Dış yüklerin girilmesi.

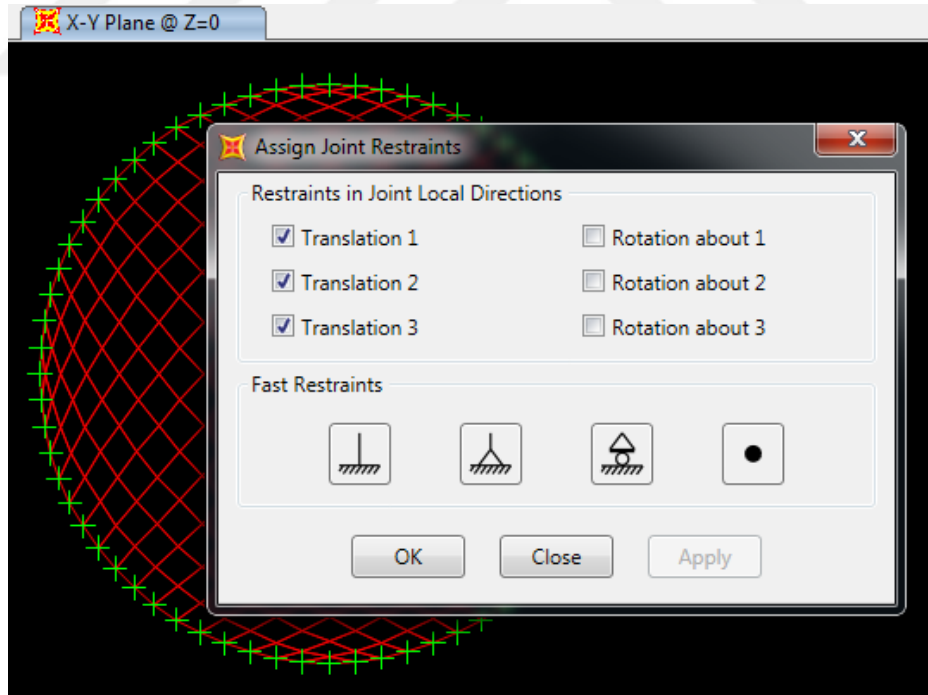


Şekil 2.15 : Dış yükler.

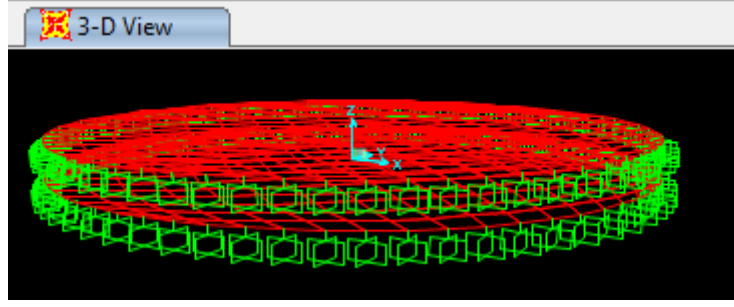
SAP2000 programının *Assign* → *Joint* → *Restraint* kısmından, varsa mesnetler tanımlanır (Şekil 2.16, Şekil 2.17).



Şekil 2.16 : Mesnetlerin tanımlanması.



Şekil 2.17 : Mesnet tipleri.



Şekil 2.18 : Modelin genel görünümü.

Özet olarak SAP2000 programına veri girişi öncelikle plak modelinin tanımlanmasıyla başlamaktadır. Plak eleman oluşturulduktan sonra plak elemanın 1 metre altına zemin eleman tanımlanmaktadır. Zeminin altına yay katsayısı olarak zemin yatak katsayısı girilmektedir. Zeminin ortotropik özelliği verilmektedir. SapTransform programıyla ya da SAP2000 programının *Equal Constraint* özelliği ile deplasmanlar eşitlenmektedir. Varsa dış yükler girilmektedir. Varsa mesnetler girilmektedir. Bu sayede iki parametrelili ortotrop zemine oturan plak tanımlanmış olmaktadır.



3. SAYISAL ÖRNEKLER

İlk iki örnekte iki parametrelili zeminin SAP2000 programında modellenenebilir olduğunu gösterebilmek amacıyla daha önce yapılmış çalışmalarda kullanılan zemin parametreleri aynen kullanılmış, elde edilen çökme, eğilme ve burulma momenti sonuçları karşılaştırılmıştır. İki parametrelili zemine oturan dairesel plak için sonuçlar doğrulandıktan sonra, zemin genişletilmiş ve zeminin genişletilmemiş durumunda ortaya çıkan sonuçlar ile zeminin genişletilmiş olduğu halde sonuçlar karşılaştırılmış ve yorumlar yapılmıştır [9].

Üçüncü ve dördüncü örnekte, ilk örnekle benzer olarak, iki parametrelili zemine oturan eliptik geometriye sahip plak irdelenmiş ve sonuçlar doğrulanmıştır. Sonuçlar doğrulandıktan sonra, zemin genişletilmiş ve zeminin genişletilmemiş durumunda ortaya çıkan sonuçlar ile zeminin genişletilmiş olduğu halde sonuçlar karşılaştırılmış ve yorumlar yapılmıştır [9].

Beşinci örnekte ise genişletilmiş iki parametrelili genişletilmiş zemine oturan dairesel kesitli temel halkası örneği çözülmüş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır ve yorumlar yapılmıştır [5].

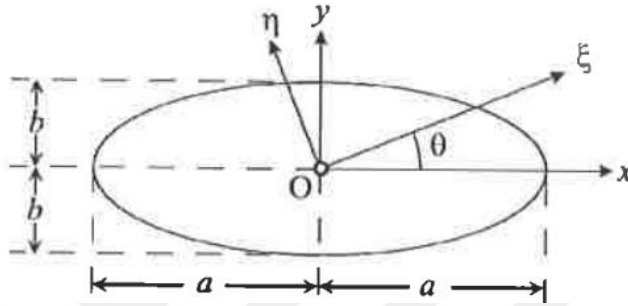
Altıncı örnekte, ilk iki örneğe yani iki parametrelili zemine oturan dairesel plak için genişletilmemiş zemin ve genişletilmiş zemin durumları için spektral analiz uygulanmıştır.

Son olarak yedinci örnekte, üçüncü ve dördüncü örneğe yani iki parametrelili zemine oturan eliptik plak için genişletilmemiş zemin ve genişletilmiş zemin durumları için spektral analiz uygulanmıştır. Zeminin genişletilmemiş hali ve zeminin genişletilmiş halindeki plakta oluşan moment değerleri karşılaştırılmış ve yorumlar yapılmıştır.

3.1 İki Parametrelili Zemine Oturan Dairesel Plak

Sunulan çözüm yönteminin doğrulanması için ilk olarak literatürdeki benzer bir çalışma ile karşılaştırma yapılmış [9], daha sonra zemin plak dışına genişletilerek davranış incelenmiştir.

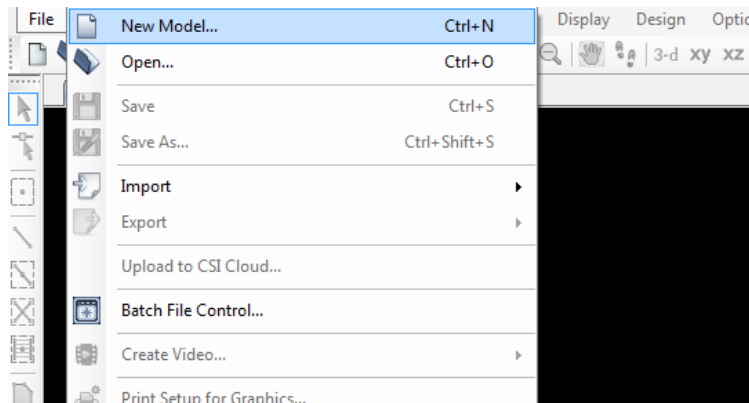
Çözümlerde aksi belirtilmedikçe D plak rijitliği olmak üzere, Winkler zemin parametresi $k^* = ka^4/D$ ve zemin kayma parametresi $G_f^* = G_f a^2/D$ şeklinde boyutsuzlaştırılmış, elde edilen sonuçlar yine boyutsuz olarak sunulmuştur. Plak geometrisi, plak global eksenleri ve zemin yerel eksen takımı Şekil 3.1'de gösterildiği gibidir.



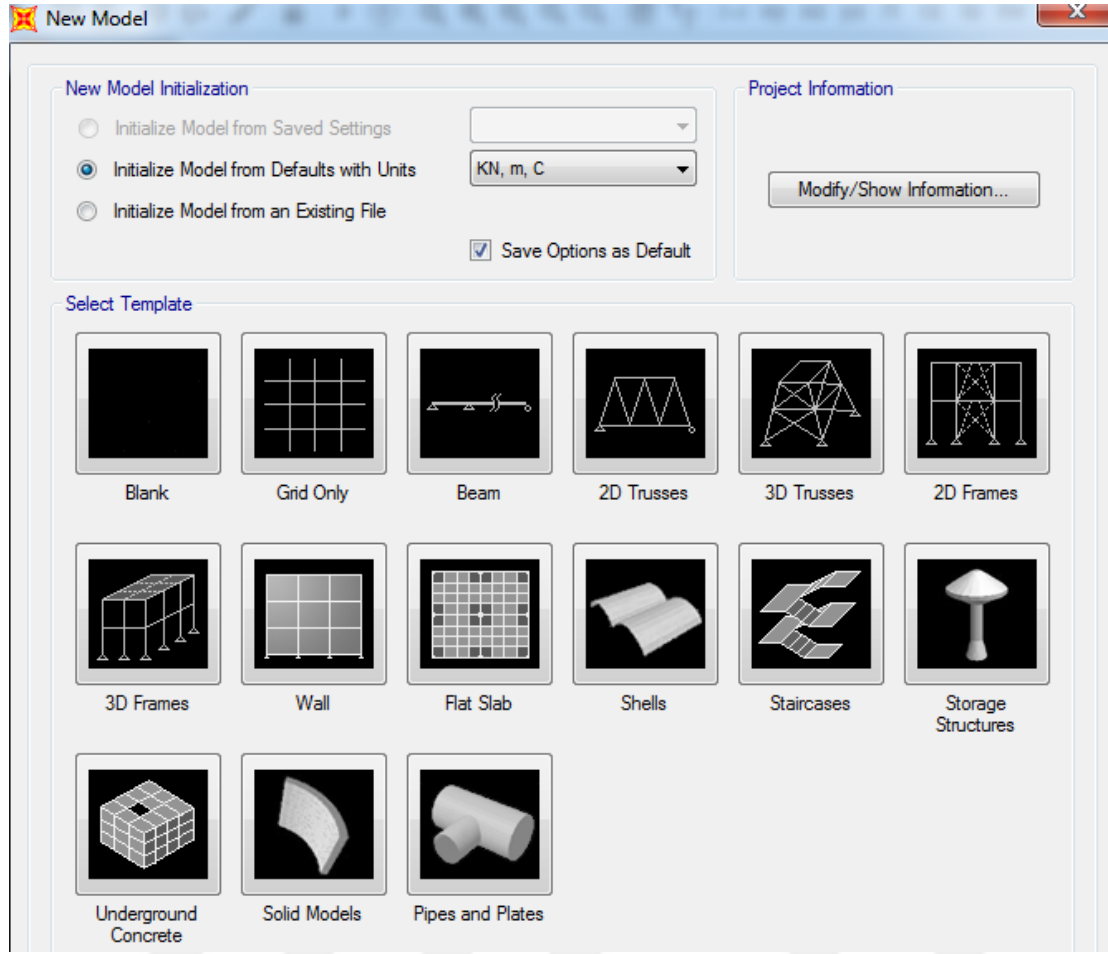
Şekil 3.1 : Plak geometrisi ve koordinat takımları.

Bahse konu çalışmada eliptikliğın derecesinin ve zeminin ortotropik özelliğinin plak eğilme davranışını nasıl etkilediğini incelenmiştir. Bu amaçla sabit kalınlıklı, ankastre mesnetlenmiş ve yüzey alanı sabit olacak şekilde, düzgün yayılı yük altındaki, dairesel plağın statik analizi yapılmıştır.

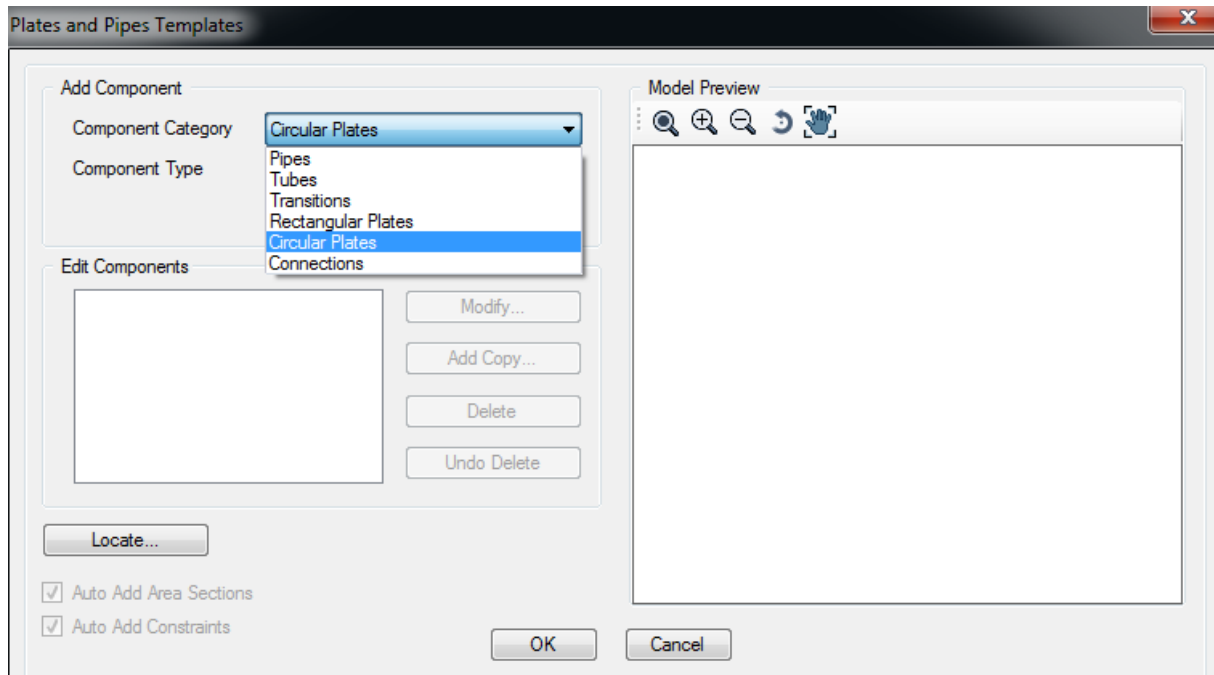
Dairesel plak modelinin SAP2000 programında oluşturulma aşamaları sırasıyla verilmektedir. Öncelikle SAP2000 programı çalıştırılır ve sırasıyla *File* → *New Model* → *Pipes and Plates* → *Component Category* → *Circular Plates* → *Component Type Without Hole* → *Define and Add* seçenekleriyle dairesel plak geometri oluşturulur (Şekil 3.2, Şekil 3.3, Şekil 3.4).



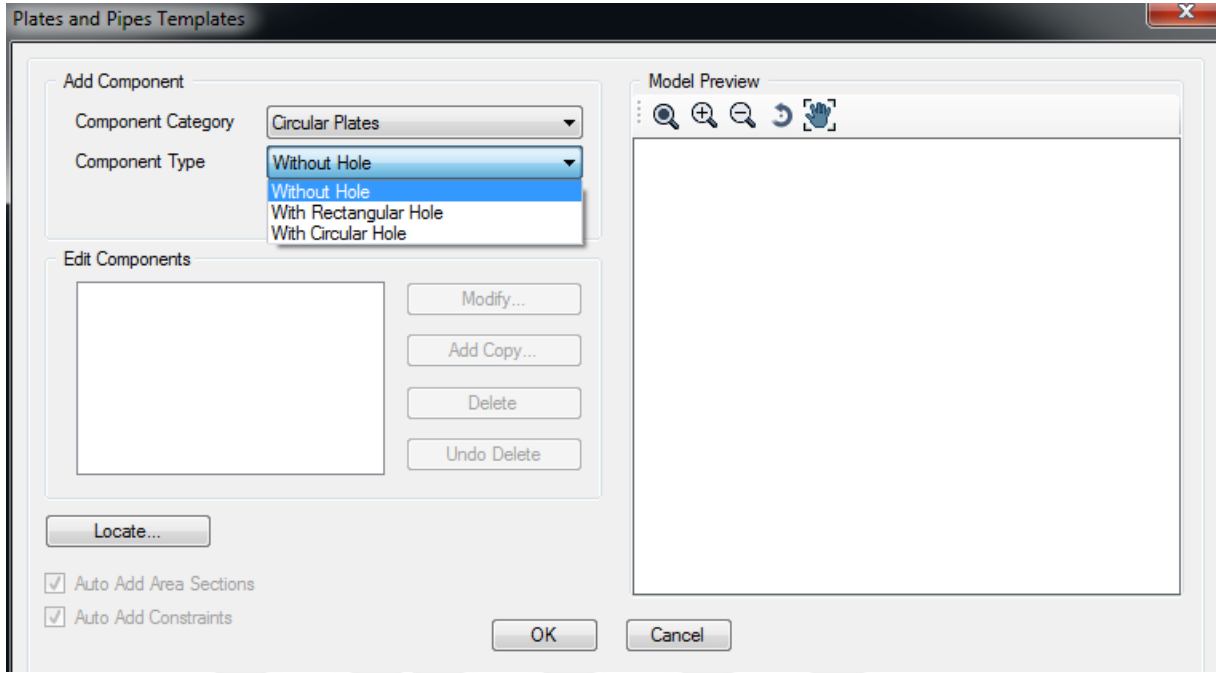
Şekil 3.2 : SAP2000 yeni model tanımlama ekranı.



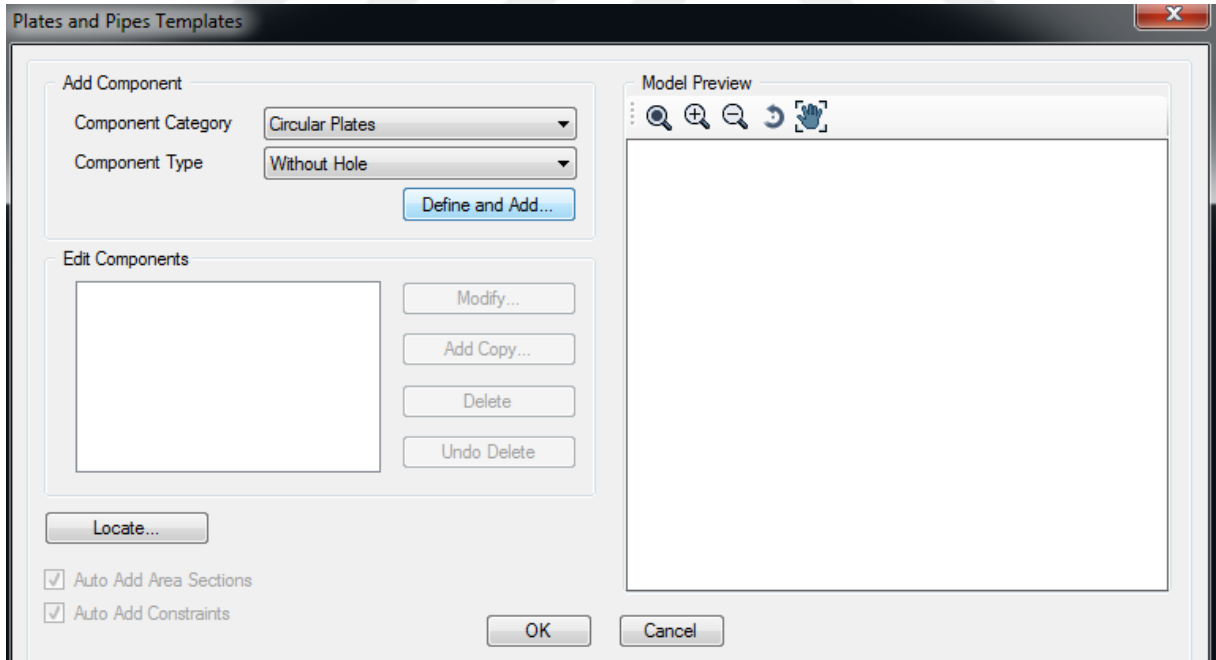
Şekil 3.3 : SAP2000 Pipes and Plates seçeneği.



Şekil 3.4 : Component Category, Circular Plates seçeneği.

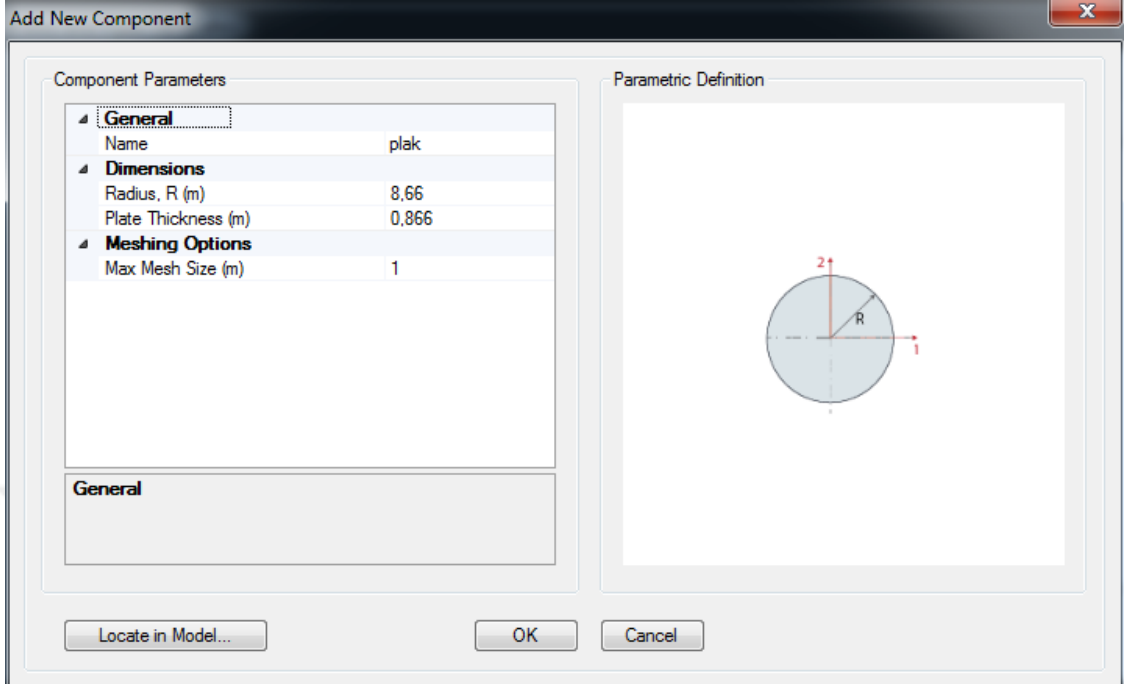


Şekil 3.5 : Component Type, Without Hole seçeneği.



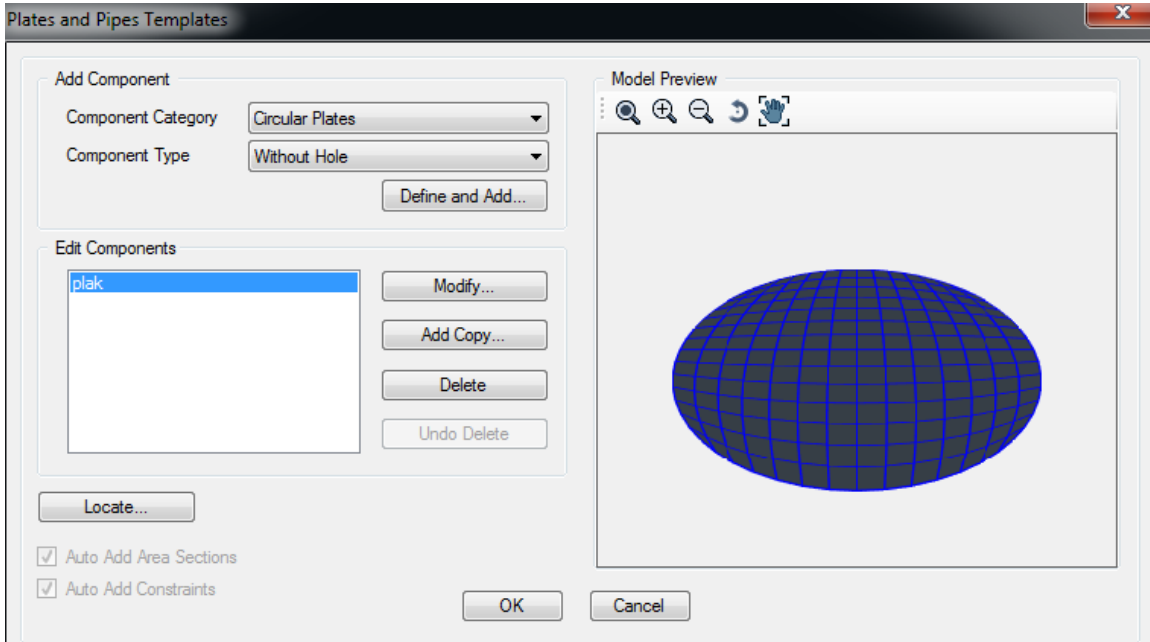
Şekil 3.6 : Boşluksuz dairesel plak oluşturma ekranı.

Açılan ekranda boşluksuz dairesel plağın ismi, yarıçapı (m), kalınlığı (m) ve mesh aralık bilgileri girilir. Mesh aralıkları burada verilir (Şekil 3.7).



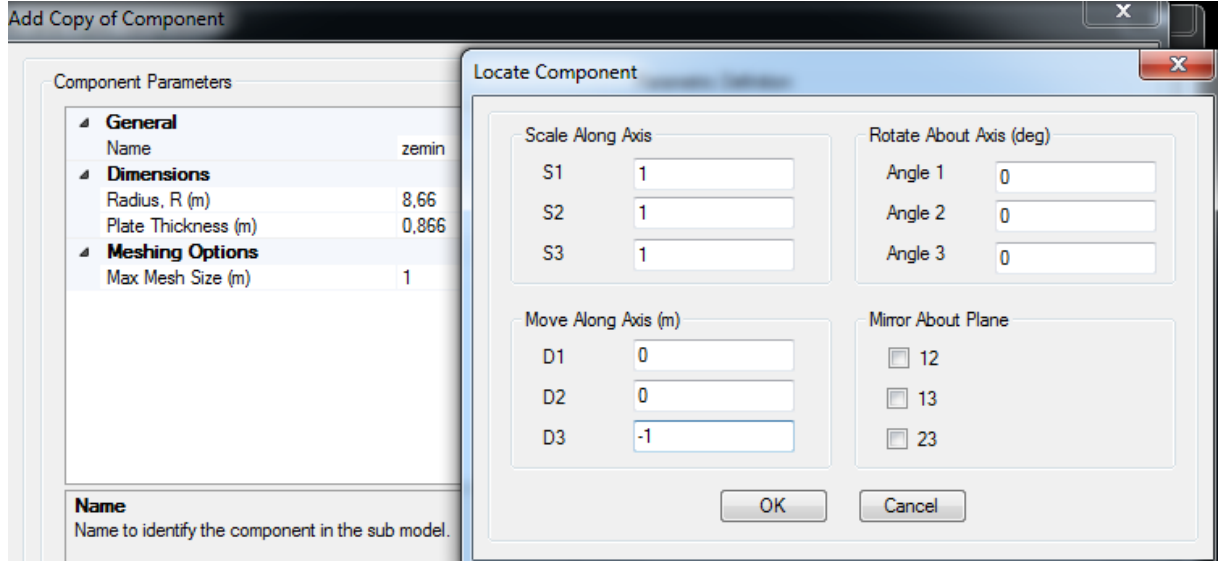
Şekil 3.7 : Boşluksuz dairesel plak bilgileri giriş ekranı.

Bu şekilde oluşturulan boşluksuz dairesel plağın görünümü Şekil 3.8 'deki gibidir (Şekil 3.8).



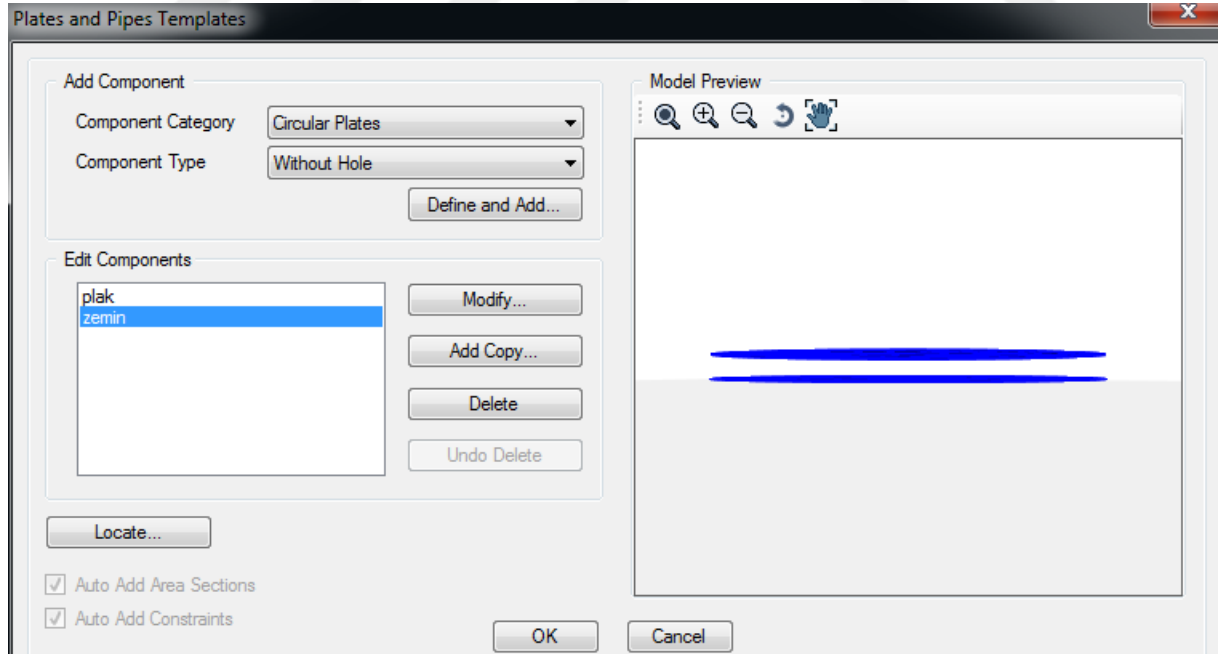
Şekil 3.8 : Boşluksuz dairesel plak.

Oluşturan plak elemanın 1 metre altına zemin elemanı atamak üzere plak eleman mevcut haliyle *Add Copy* komutuyla kopyalanır. *Locate* sekmesiyle nereye kopyalanacağı belirlenir. *Move Along Axis (m)* → $D3 = -1$ girilerek plağın 1 metre altına kopyalanmış olur (Şekil 3.9).



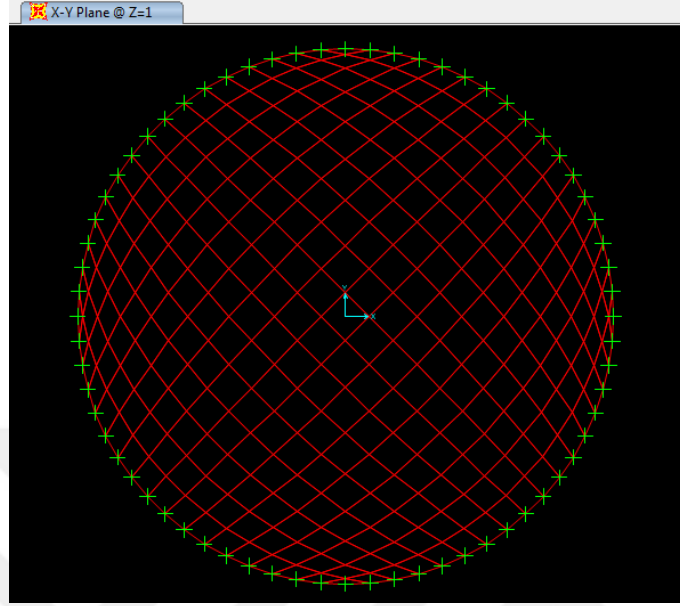
Şekil 3.9 : Boşluksuz dairesel plak oluşturma ekranı.

Boşluksuz dairesel plak ve daha sonra zemin ataması yapılacak olan 1 metre alttaki eleman Şekil 3.10 'da görüldüğü gibi olur (Şekil 3.10).

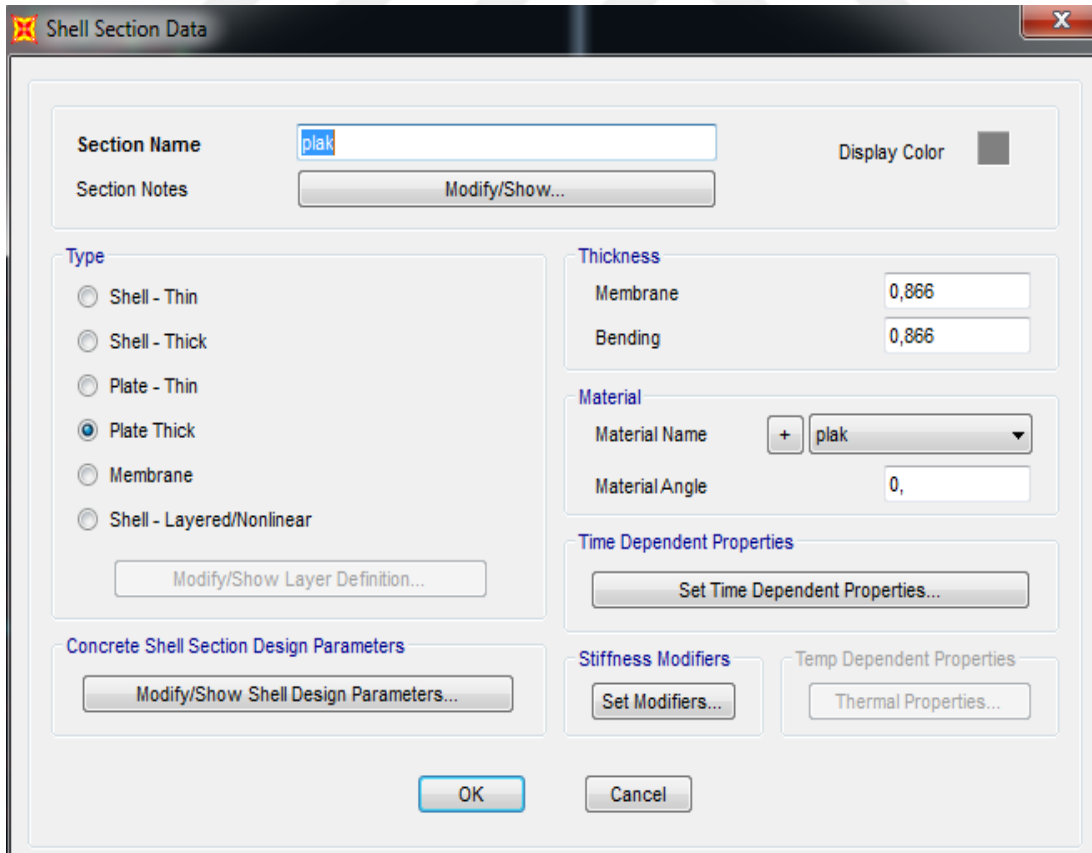


Şekil 3.10 : Boşluksuz dairesel plağın kopyalanması.

Plak malzemesinde Poisson's oranı $\nu=0,3$ seçilmiş ve $a/b=1$ değerinde $h/b=0,1$ oranı için yüzey alanı sabit kalacak şekilde belirlenen plak kalınlığı $h=0,866$ metre, $a=b=8,66$ m olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.11, Şekil 3.12).

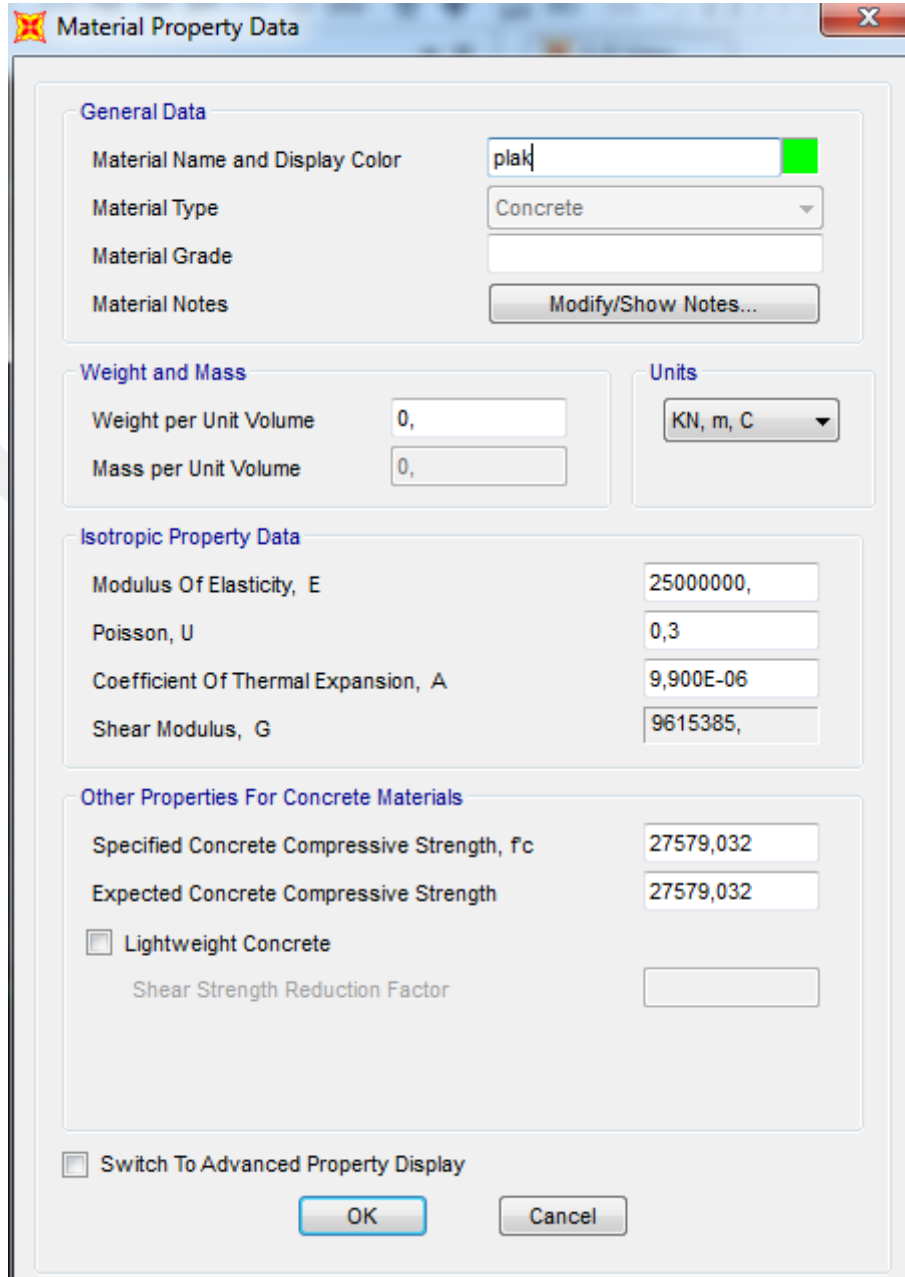


Şekil 3.11 : Dairesel plak.



Şekil 3.12 : Dairesel plak kalınlığı.

D plak rijitliği olmak üzere $D=(Eh^3)/(12(1-\nu^2))$ ifadesinden hesaplanmıştır. Plak elastisite modülü $E=25.10^6$ kN/m² alınarak $D=1486863,32$ kNm olarak bulunmuştur (şekil 3.13, şekil 3.14).

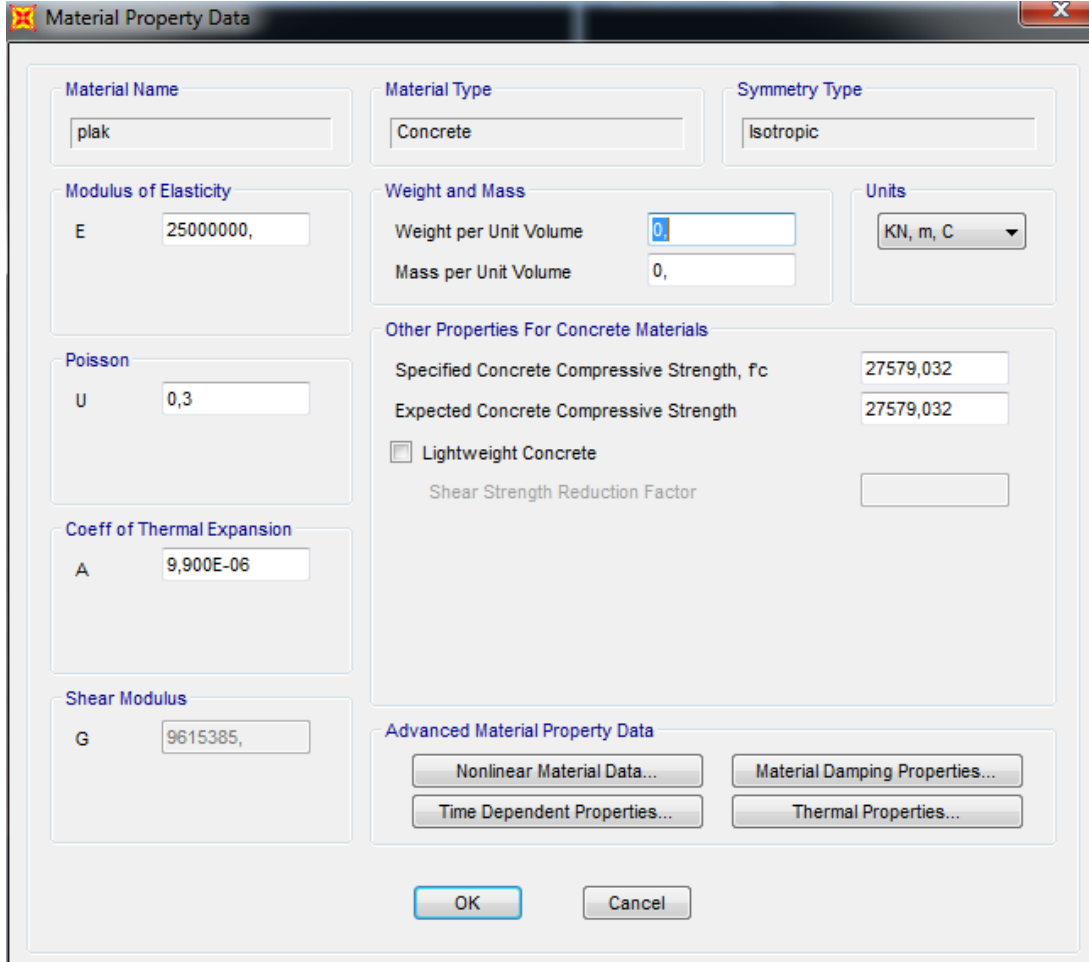


The image shows a 'Material Property Data' dialog box with the following fields and values:

Section	Property	Value
General Data	Material Name and Display Color	plak
	Material Type	Concrete
	Material Grade	
	Material Notes	Modify/Show Notes...
Weight and Mass	Weight per Unit Volume	0,
	Mass per Unit Volume	0,
Isotropic Property Data	Modulus Of Elasticity, E	25000000,
	Poisson, U	0,3
	Coefficient Of Thermal Expansion, A	9,900E-06
	Shear Modulus, G	9615385,
Other Properties For Concrete Materials	Specified Concrete Compressive Strength, f _c	27579,032
	Expected Concrete Compressive Strength	27579,032
	<input type="checkbox"/> Lightweight Concrete	
	Shear Strength Reduction Factor	
<input type="checkbox"/> Switch To Advanced Property Display		

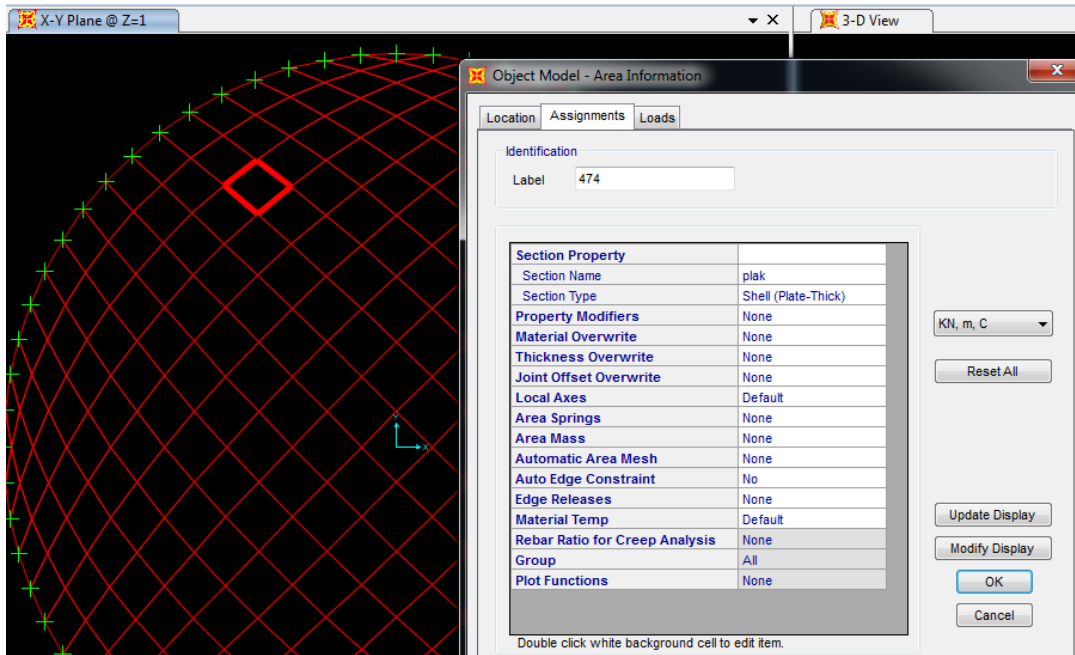
Buttons: OK, Cancel

şekil 3.13 : Dairesel plak Elastisite modülü ve Poisson's oranı.



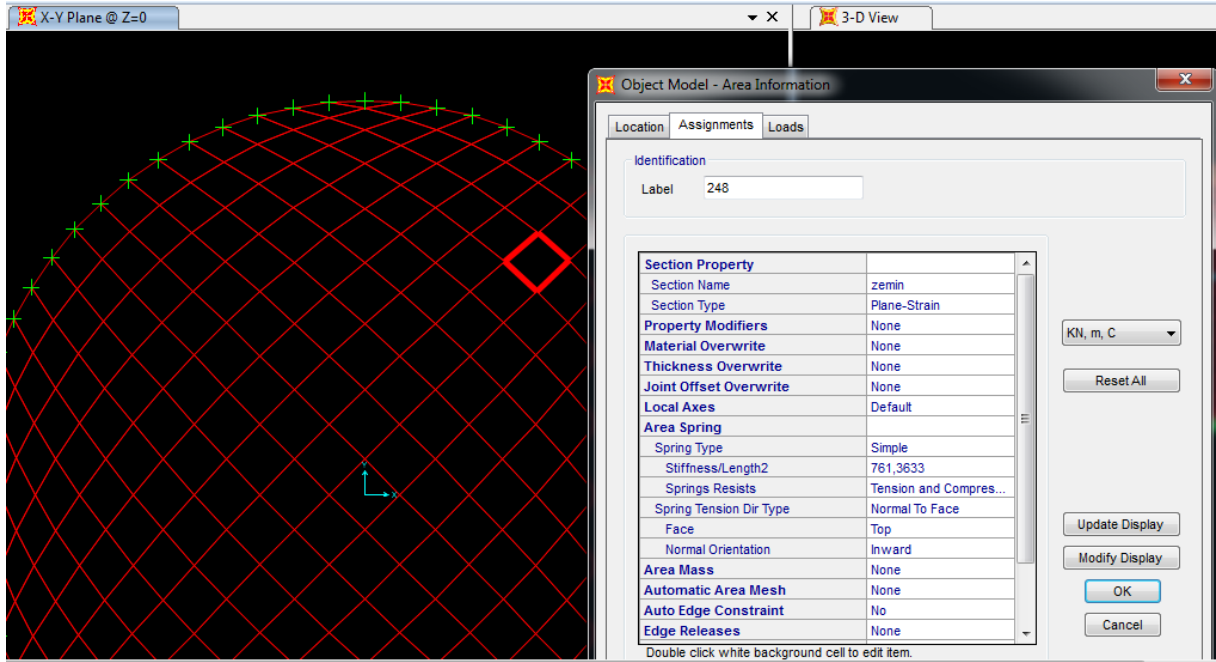
Şekil 3.14 : Dairesel plak malzeme özellikleri.

Z=1 m kotuna tanımlanan plak eleman atanmıştır (Şekil 3.15).



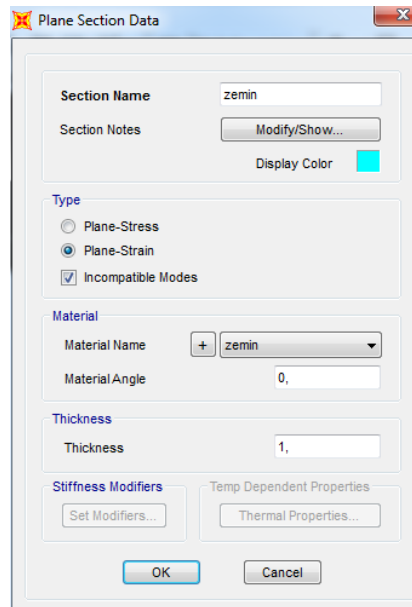
Şekil 3.15 : Z=1 m kotu dairesel plak eleman ataması.

Zemin parametreleri $k^*=ka^2b^2/D$ ve $G_f^*=G_fab/D$ formülasyonlarıyla boyutsuzlaştırılmıştır. Boyutsuz zemin yay sabiti $k^*=2,88$ boyutlu hale çevrilerek SAP2000 programına $k=761,36$ kN/m² olarak girilmiştir (Şekil 3.16).

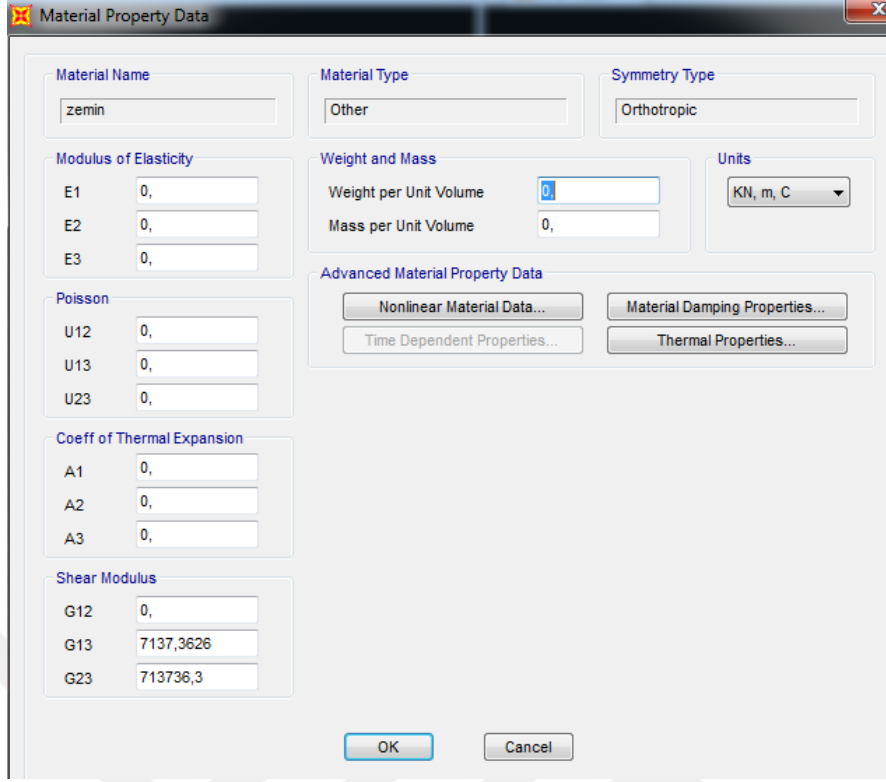


Şekil 3.16 : Zemin yay sabiti ataması.

Boyutsuz ortotropik zemin kayma parametreleri $G_{f1}^*=0,36$ ve $G_{f2}^*=36$ boyutlu değerlere çevrilerek, $G_{f1}=7137,362637$ GPa ve $G_{f2}=713736,2637$ GPa olarak SAP2000 programına girilmiş ve zemin Plain-Strain tipi seçilmiştir (Şekil 3.17, Şekil 3.18). Z=0 m kotuna tanımlanan zemin eleman atanmıştır.

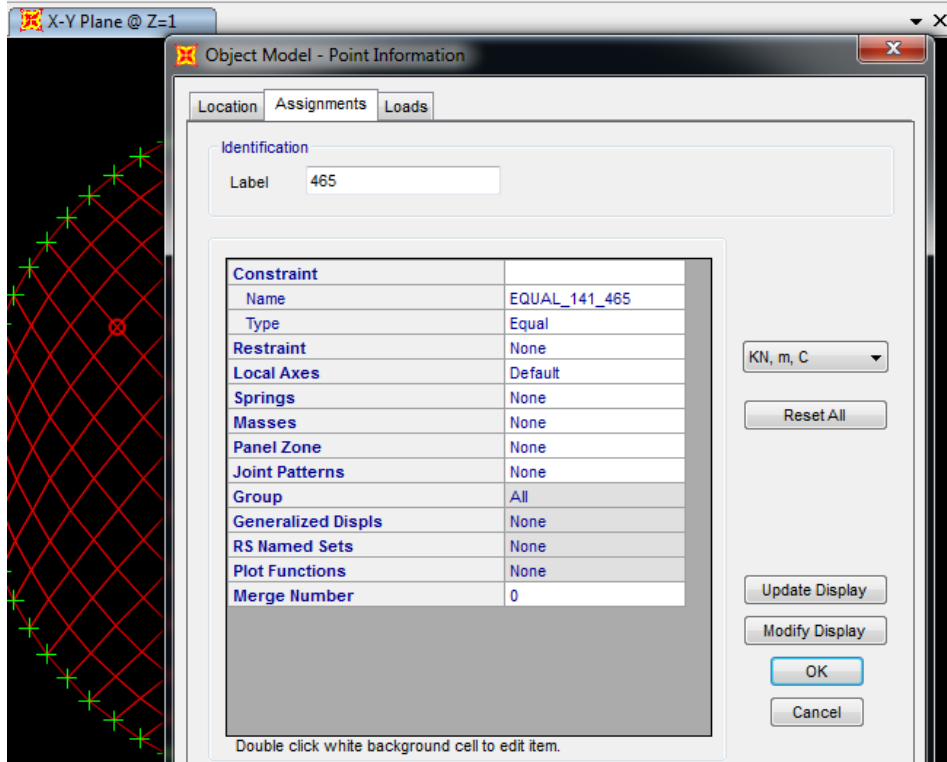


Şekil 3.17 : Plain-Strain eleman.



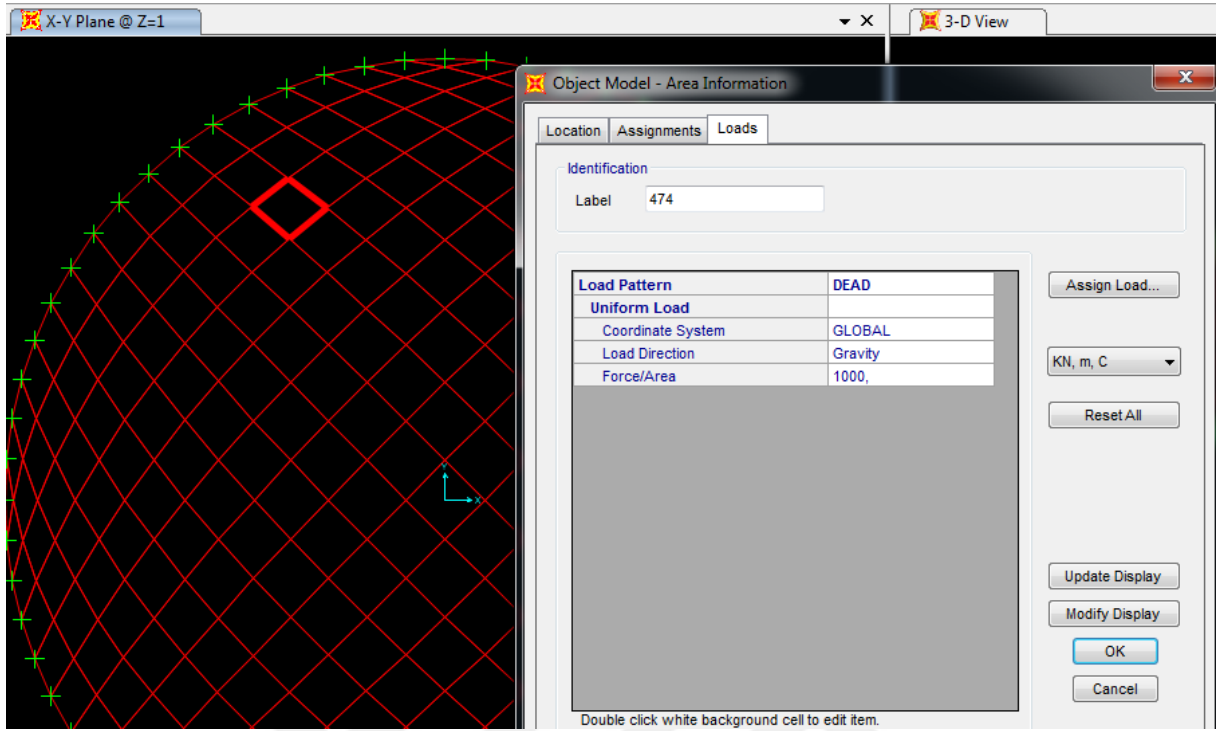
Şekil 3.18 : Zemin kayma parametreleri.

Daha önce Bölüm 2 'de anlatılan SapTransform programı ile yapılan eşitleme sonucu Şekil 3.19 'da görülmektedir (Şekil 3.19).



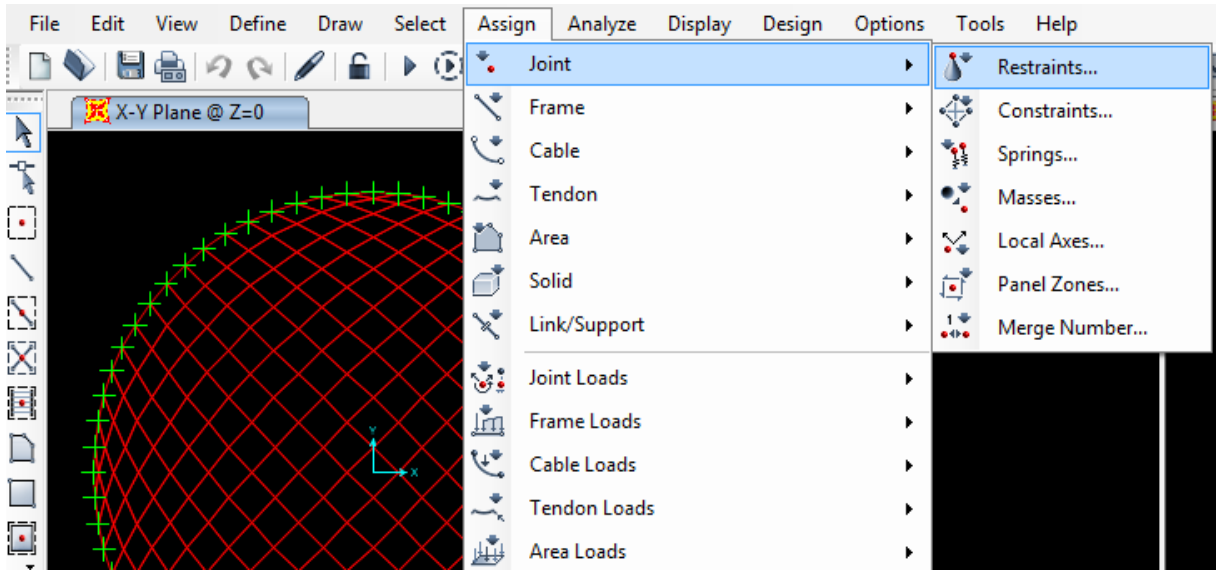
Şekil 3.19 : SapTransform programı ile yapılan eşitleme sonucu.

Dairesel plak üzerine etki eden yayılı yük $q=1000 \text{ kN/m}^2$ olarak girilmiştir (Şekil 3.20).

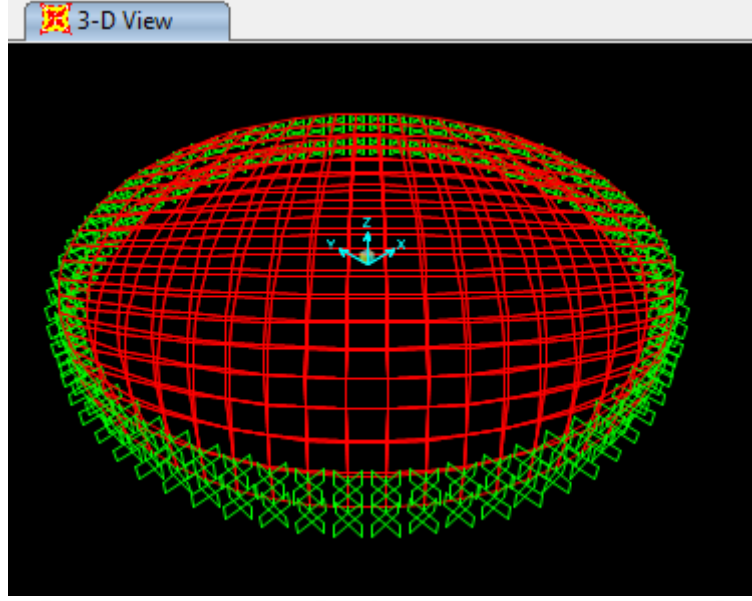


Şekil 3.20 : Dairesel plağa yayılı yük girilmesi.

Dairesel plağın ve zemin elemanın kenarlarına, kenarlardaki düğüm noktaları seçildikten sonra *Assign* → *Joint* → *Restraints* komutları ile ankastre mesnet tanımlanmış ve üç boyutlu görünümü verilmiştir (Şekil 3.21, Şekil 3.22).

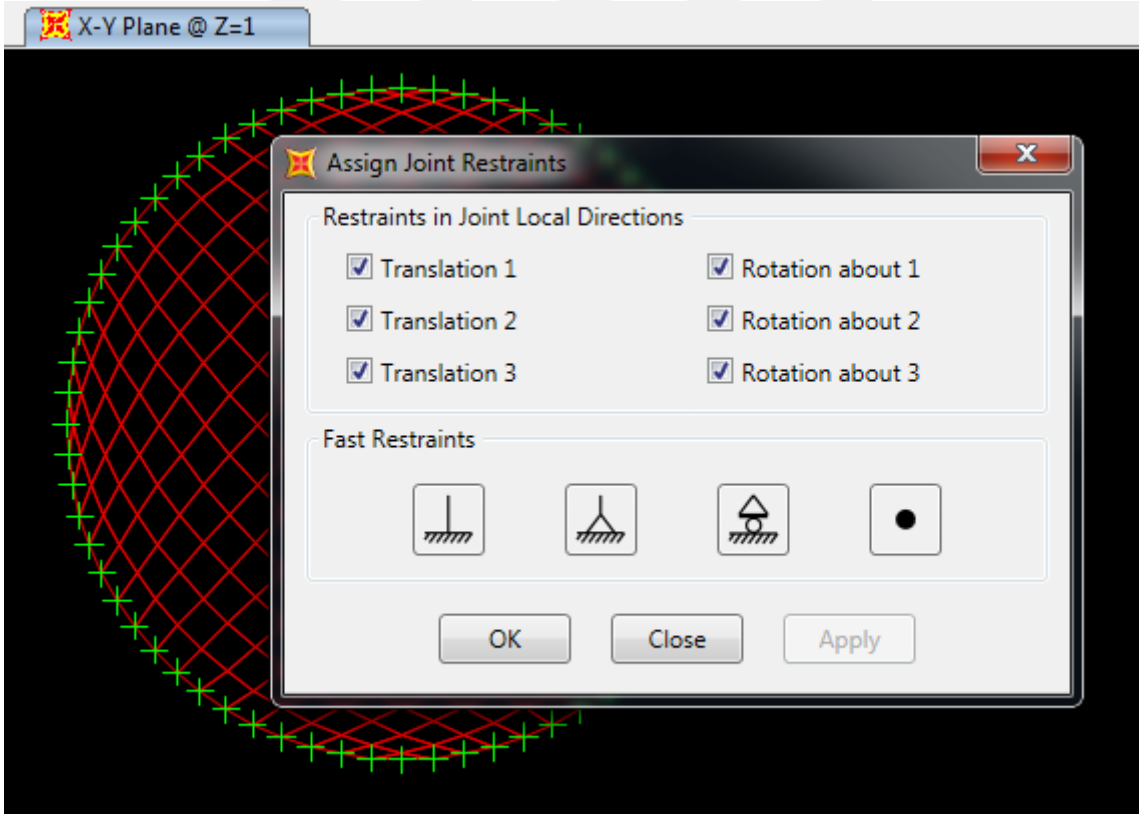


Şekil 3.21 : Mesnet ataması.



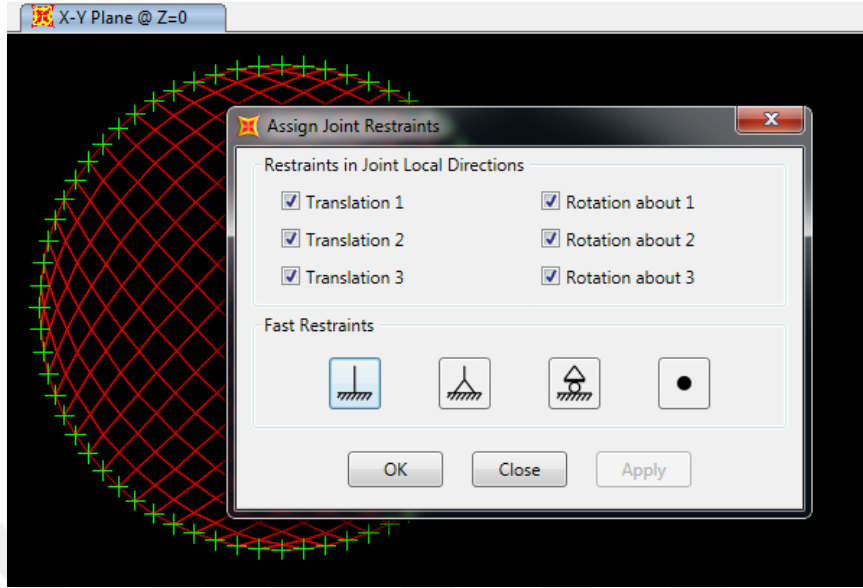
Şekil 3.22 : Mesnet ataması ve modelin üç boyutlu görünümü.

Dairesel plağın kenarlarındaki düğüm noktaları seçildikten sonra ankastre mesnet tanımlanmıştır (Şekil 3.23).



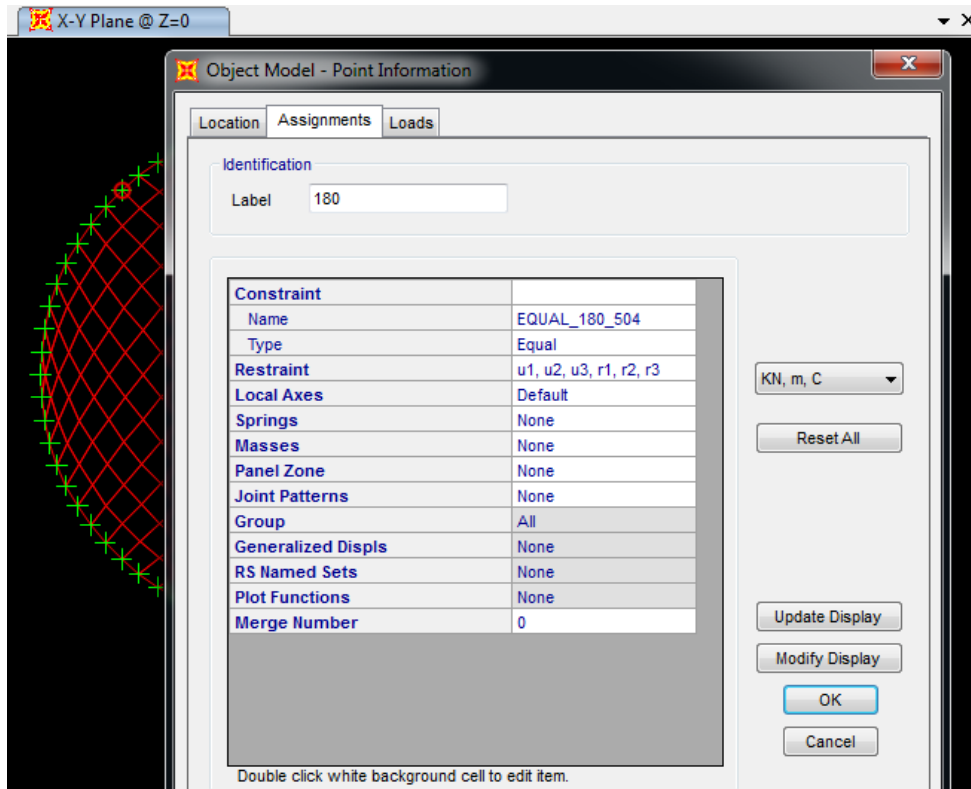
Şekil 3.23 : Dairesel plağın kenarlarına ankastre mesnet atanması.

Zemin elemanın kenarlarındaki düğüm noktaları seçildikten sonra ankastre mesnet atanmıştır (Şekil 3.24).



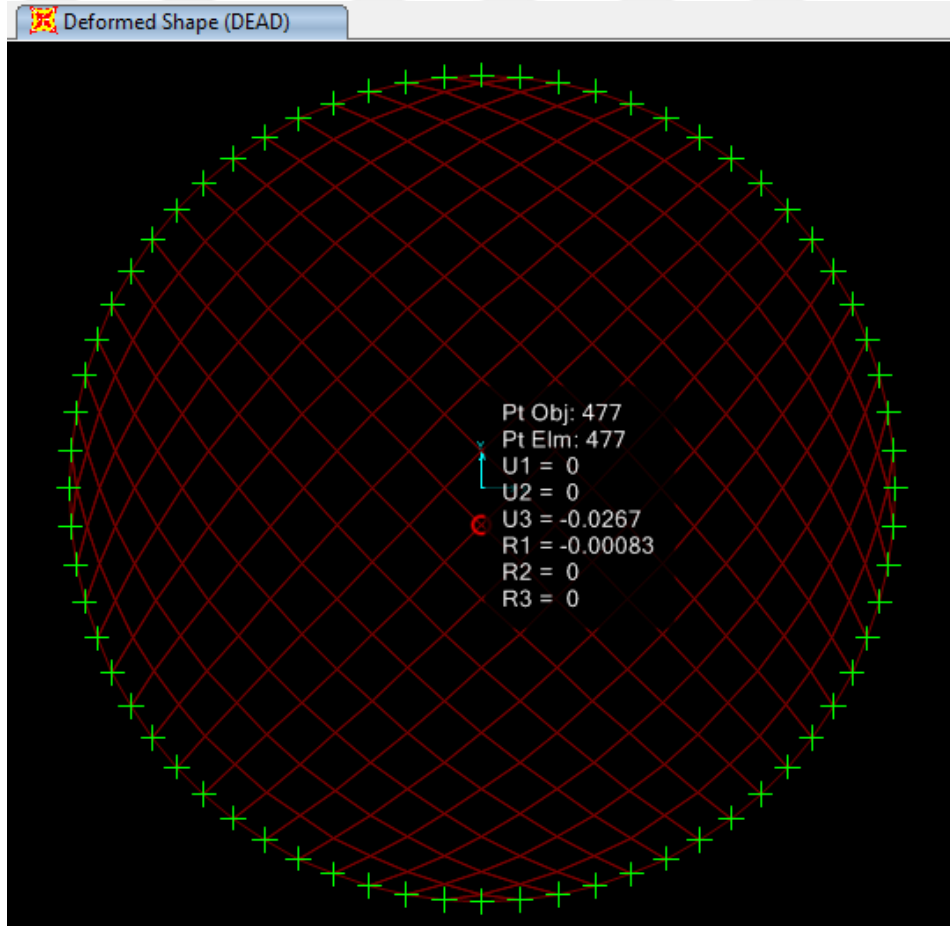
Şekil 3.24 : Z=0 m zemin elemanın kenarlarına ankastre mesnet atanması.

Mesnet atanan herhangi bir düğüm noktası seçilerek, düğüm noktasının durumu görüntülenebilir. u_1 , u_2 ve u_3 yerdeğiştirmeleri ile r_1 , r_2 ve r_3 dönmelerinin engellendiği ankastre mesnet tipinin atandığı görülmektedir (Şekil 3.25).

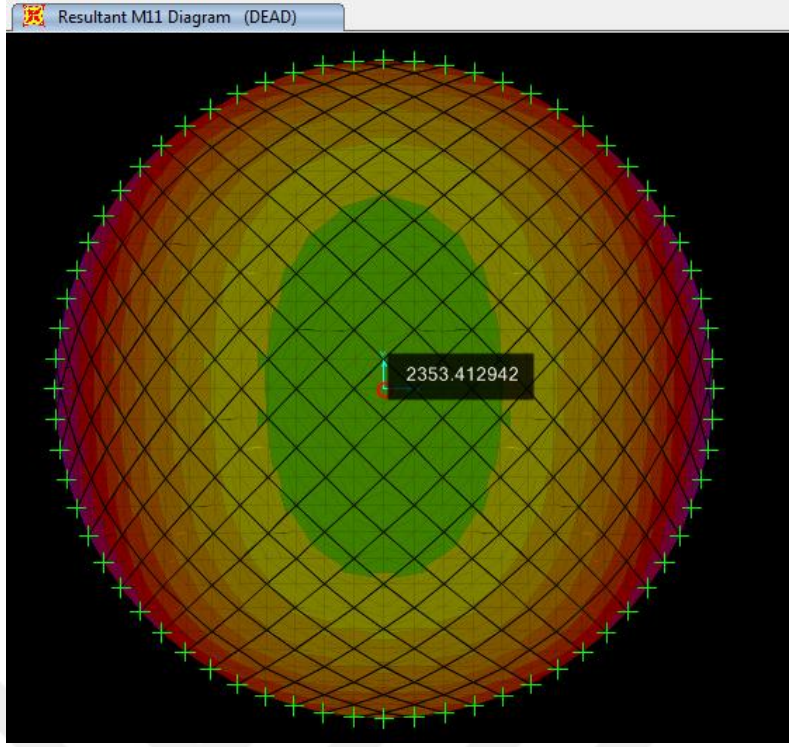


Şekil 3.25 : Mesnet atanmış bir düğüm noktasının durumu.

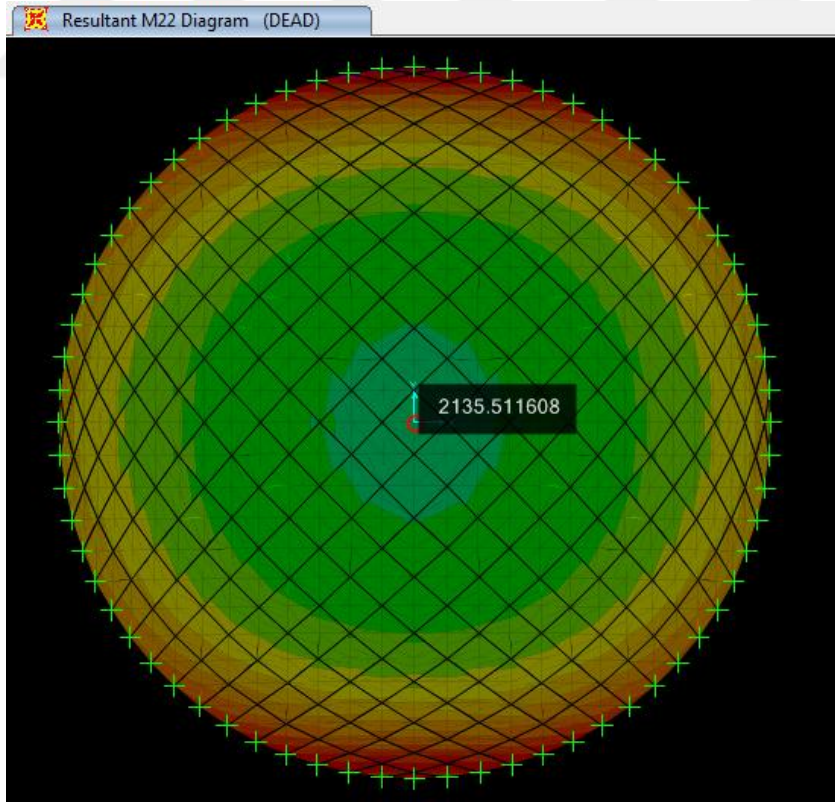
Düzgün yayılı yük altında, sabit alanlı dairesel plağın, orta noktasında, boyutsuzlaştırılmış çökme, eğilme momenti ve burulma momenti değerleri karşılaştırılmıştır. w^* boyutsuz çökme olmak üzere $w^*=(wD/qa^2b^2)x1000$ ifadesiyle; M^* boyutsuz eğilme momenti olmak üzere $M^*=(M/qab)x1000$ ifadesiyle; T^* boyutsuz burulma momenti olmak üzere $T^*=(T/qab)x1000$ ifadesiyle dönüştürülmüş ve Çizelge 3.1'de verilmiştir. θ zemin açısı 0° , 30° , 45° , 60° ve 90° olacak şekilde değiştirilerek, değerler karşılaştırılmıştır (Çizelge 3.1). w ve M değerleri SAP2000 sonuçlarından okunan değerlerdir. [9]'da T ile verilen değişken SAP2000'de M_{12} burulma momentini ifade etmektedir. Ayrıca SAP2000 sonuçları 0° zemin açısı için gösterilmiştir (Şekil 3.26, Şekil 3.27, Şekil 3.28, Şekil 3.29). Aynı şekilde 30° , 45° , 60° ve 90° zemin açıları için de değerler okunmuş ve çizelgeye girilmiştir. Çökme birimi metre, moment birimi kNm'dir.



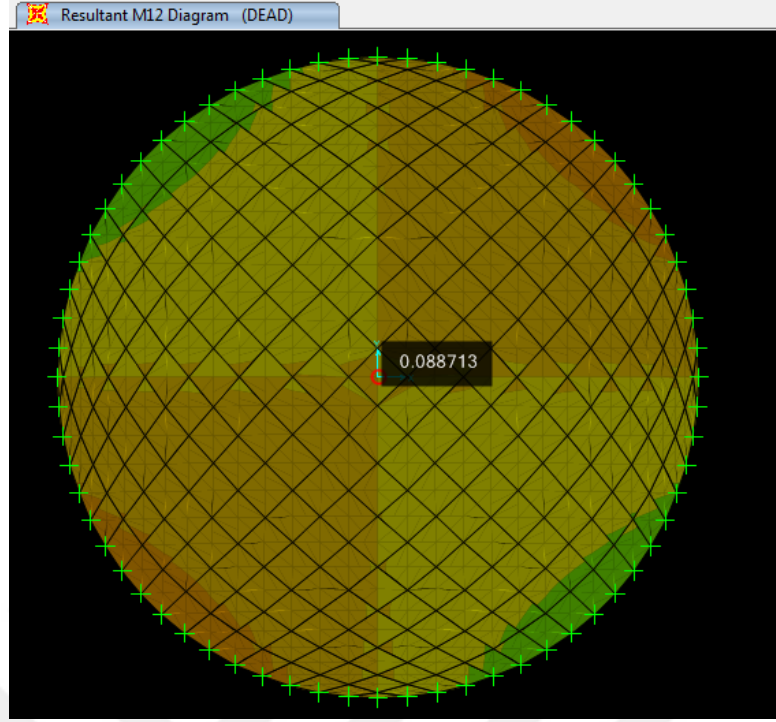
Şekil 3.26 : Zemin açısı $\theta=0^\circ$ halinde, düzgün yayılı yük altında, sabit alanlı dairesel plağın orta noktasındaki çökme değeri (m).



Şekil 3.27 : Zemin açısı $\theta=0^\circ$ halinde, düzgün yayılı yük altında, sabit alanlı dairesel plağın, orta noktasındaki M_{11} momenti değeri.



Şekil 3.28 : Zemin açısı $\theta=0^\circ$ halinde, düzgün yayılı yük altında, sabit alanlı dairesel plağın, orta noktasındaki M_{22} momenti değeri.



Şekil 3.29 : Zemin açısı $\theta=0^\circ$ halinde, düzgün yayılı yük altında, sabit alanlı dairesel plağın, orta noktasındaki M_{12} momenti değeri.

Çizelge 3.1 : Düzgün yayılı yük altında, sabit alanlı dairesel plağın, orta noktasındaki çökme, eğilme momenti ve burulma momenti değerleri.

Düzgün yayılı yük altında sabit alanlı dairesel plağın orta noktasındaki çökme ve eğilme momenti değerleri								
				Çökme (w, w^*)				
				0°	30°	45°	60°	90°
	h/b	a/b	θ					
Kutlu, A. ve arkadaşları [9]	0,1	1		6,97	6,97	6,97	6,97	6,97
Bu çalışma (w^*)	0,1	1		7,06	7,06	7,06	7,06	7,06
Bu çalışma (w)	0,1	1		0,0267	0,0267	0,0267	0,0267	0,0267
				Eğilme momenti (M_{11}, M_{11}^*)				
				0°	30°	45°	60°	90°
	h/b	a/b	θ					
Kutlu, A. ve arkadaşları [9]	0,1	1		31,78	31,00	30,24	29,39	28,55
Bu çalışma (M_{11}^*)	0,1	1		31,38	30,76	30,06	29,31	28,50
Bu çalışma (M_{11})	0,1	1		2353,41	2306,86	2254,64	2197,75	2137,34
				Eğilme momenti (M_{22}, M_{22}^*)				
				0°	30°	45°	60°	90°
	h/b	a/b	θ					
Kutlu, A. ve arkadaşları [9]	0,1	1		28,55	29,39	30,24	31,00	31,78
Bu çalışma (M_{22}^*)	0,1	1		28,47	29,32	30,10	30,84	31,52
Bu çalışma (M_{22})	0,1	1		2135,51	2198,55	2257,74	2312,92	2363,91
				Burulma momenti (M_{12}, M_{12}^*)				
				0°	30°	45°	60°	90°
	h/b	a/b	θ					
Kutlu, A. ve arkadaşları [9]	0,1	1		0,00	1,51	1,71	1,51	0,00
Bu çalışma (M_{12}^*)	0,1	1		0,00	1,40	1,61	1,39	0,00
Bu çalışma (M_{12})	0,1	1		0,0887	104,64	120,78	104,33	0,04

Çizelge 3.1'den anlaşıldığı üzere sonuçlar birbiriyle uyuşmaktadır. SAP2000 programında zemin modellemesinin doğruluğu bununla kanıtlanmıştır.

Çizelge 3.1'e göre sonuçlar incelendiğinde;

1) Çökme değerlerinin zemin açısından bağımsız olduğu görülmektedir. Zemin açısı $\theta=0^\circ$ olduğunda, çökme değeri 0,0267 m olarak ortaya çıkmış; örneğin zemin açısı $\theta=60^\circ$ olduğunda da çökme değeri 0,0267 m olduğu tespit edilmiştir. Yani zemin açısı değişimi çökme değerlerini etkilememektedir. Çizelge 3.2'de verilen göreceli hata %1,28 olarak hesaplanmış, bu hata oranının kabul edilebilir seviyede olduğu belirlenmiştir.

2) M_{11} eğilme momenti değerlerinin zemin açısı $\theta=0^\circ$ 'den $\theta=90^\circ$ 'ye doğru gidildikçe azaldığı görülmektedir. Yine Çizelge 3.2'de verilen göreceli hata oranlarının zemin açısı $\theta=0^\circ$ 'den $\theta=90^\circ$ 'ye doğru gidildikçe azaldığı görülmektedir.

3) M_{22} eğilme momenti değerlerinin zemin açısı $\theta=0^\circ$ 'den $\theta=90^\circ$ 'ye doğru gidildikçe arttığı görülmektedir. Yine Çizelge 3.2'de verilen göreceli hata oranlarının zemin açısı $\theta=0^\circ$ 'den $\theta=90^\circ$ 'ye doğru gidildikçe arttığı görülmektedir.

4) M_{12} burulma momenti değerlerinin zemin açısı $\theta=0^\circ$ 'de ve $\theta=90^\circ$ 'de sıfır olduğu ve sonuçların bire bir uyumlu olduğu görülmektedir. M_{12} burulma momenti değerlerinin zemin açısı $\theta=30^\circ$ 'de ve $\theta=60^\circ$ 'de aynı şekilde simetriden dolayı uyumlu olduğu görülmektedir.

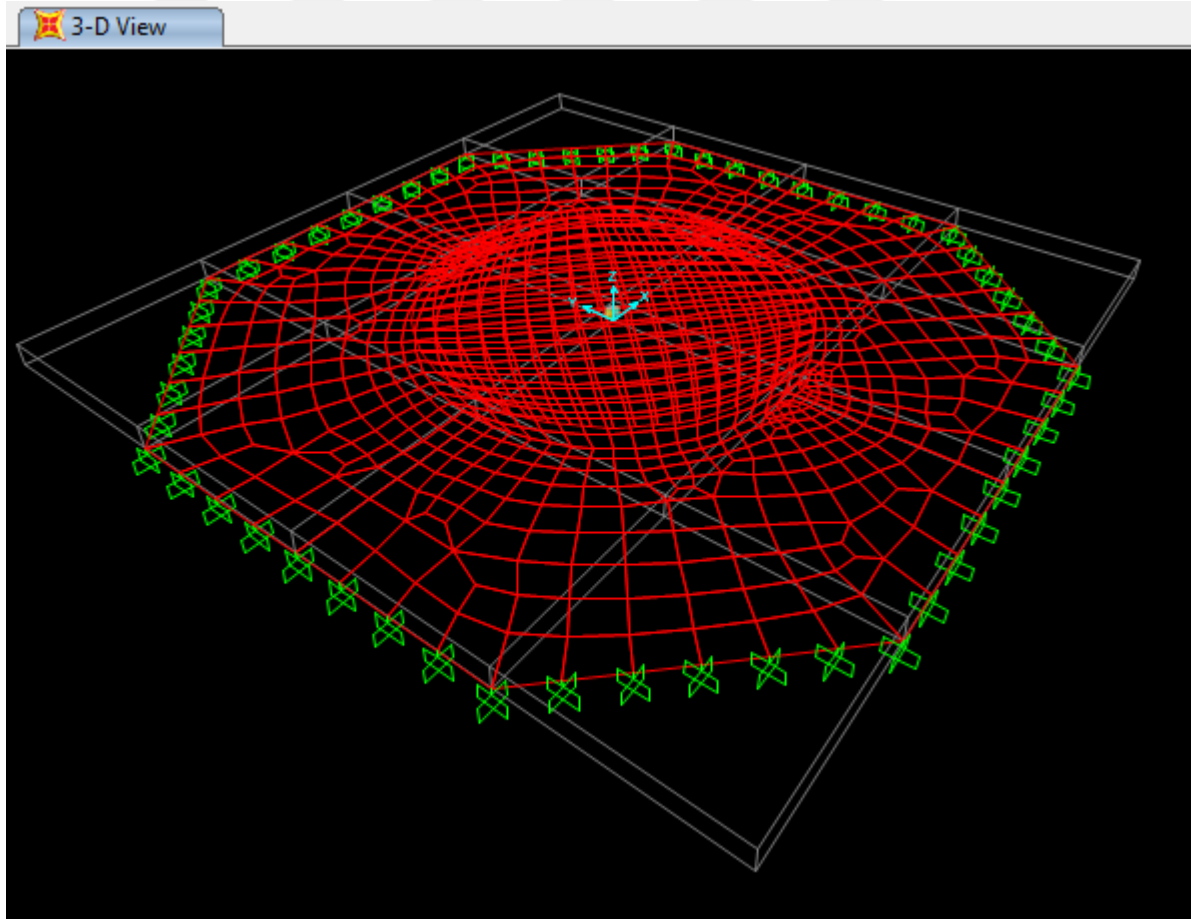
5) Çizelge 3.2 incelendiğinde referans alınan sayısal örneklerle [9], çökme sonuçlarının ortalama %1,28 hata ile, M_{11} eğilme momentlerinin ortalama %0,6 hata ile, M_{22} eğilme momentlerinin ortalama %0,4 hata ile, M_{12} burulma momentlerinin ortalama %4,4 hata ile doğrulandığı görülmektedir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2 : Dairesel plak için göreceli hata hesabı.

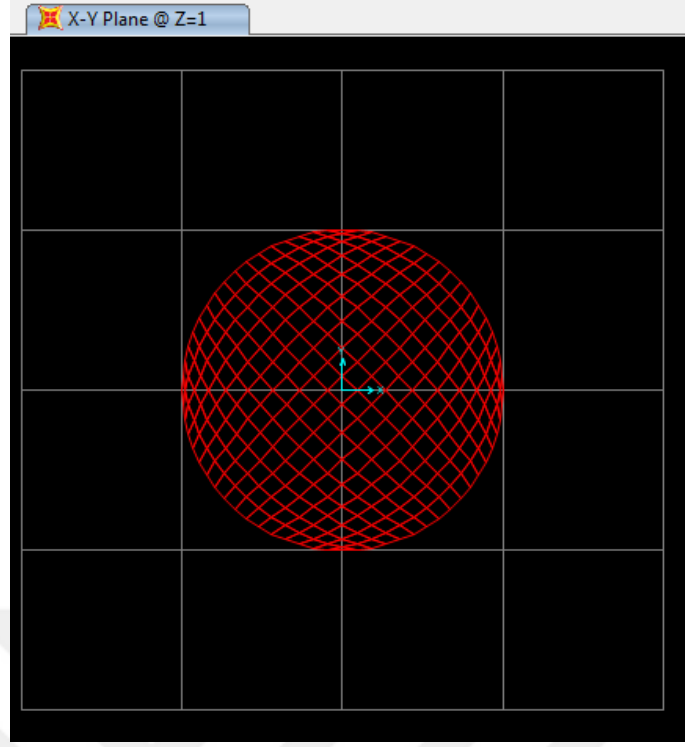
Çökme değerleri için göreceli hata hesabı (%)				
0°	30°	45°	60°	90°
1,28	1,28	1,28	1,28	1,28
Eğilme momenti M_{11} için göreceli hata hesabı (%)				
0°	30°	45°	60°	90°
1,26	0,78	0,59	0,29	0,18
Eğilme momenti M_{22} için göreceli hata hesabı (%)				
0°	30°	45°	60°	90°
0,26	0,25	0,45	0,52	0,82
Burulma momenti M_{12} için göreceli hata hesabı (%)				
0°	30°	45°	60°	90°
0,00	7,89	6,00	8,20	0,00

3.2 İki Parametrel Genişletilmiş Zemine Oturan Dairesel Plak

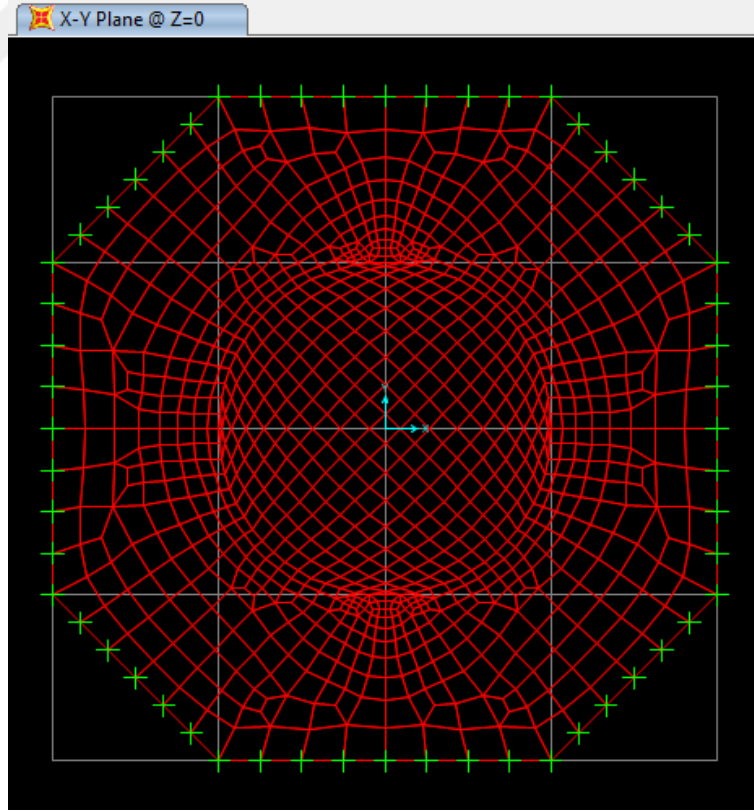
Örnek 3.1'deki tüm veriler aynı kalacak şekilde, bu örnekte sadece zemin genişletilmiştir (Şekil 3.30, Şekil 3.31, Şekil 3.32). Zeminin genişletilmemiş hali Örnek 3.1 ile, genişletilmiş haldeki Örnek 3.2 'den elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Zeminin genişletilmesi için SAP2000 programında elle ya da SAP2000 programının çeşitli özelliklerinden faydalanılarak sonlu elemanlar oluşturulmuş ve zemin bu şekilde genişletilmiş halde modellenmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken husus sonlu elemanlar modellenirken üçgen ya da dörtgen elemanlara ayrılması, beşgen elemanlar oluşturulmamasıdır. Düğüm noktalarının birbiriyle bağlantısı sağlanmadığı takdirde SAP2000 programı bunları sonlu eleman olarak algılamayacak ve analizde hata verecektir.



Şekil 3.30 : Genişletilmiş zemine oturan dairesel plak sisteminin üç boyutlu görünümü.



Şekil 3.31 : Genişletilmiş zemine oturan dairesel plak sistemi.



Şekil 3.32 : Genişletilmiş zemin sistemi.

Çizelge 3.3 : Genişletilmiş zemin ve genişletilmemiş zemin için, düzgün yayılı yük altında, sabit alanlı dairesel plağın, orta noktasında, çökme, eğilme momenti ve burulma momenti değerleri.

Düzgün yayılı yük altında sabit alanlı dairesel plağın orta noktasındaki çökme ve eğilme momenti değerleri								
				Çökme (w)				
	h/b	a/b	θ	0°	30°	45°	60°	90°
Örnek 3.2 (w)	0,1	1		0,1234	0,1299	0,1305	0,1298	0,1234
Örnek 3.1 (w)	0,1	1		0,0267	0,0267	0,0267	0,0267	0,0267
				Eğilme momenti (M_{11})				
	h/b	a/b	θ	0°	30°	45°	60°	90°
Örnek 3.2 (M_{11})	0,1	1		2964,56	3152,75	2862,25	2750,97	2445,74
Örnek 3.1 (M_{11})	0,1	1		2353,41	2306,86	2254,64	2197,75	2137,34
				Eğilme momenti (M_{22})				
	h/b	a/b	θ	0°	30°	45°	60°	90°
Örnek 3.2 (M_{22})	0,1	1		2447,10	2749,66	2856,62	3148,22	2965,87
Örnek 3.1 (M_{22})	0,1	1		2135,51	2198,55	2257,74	2312,92	2363,91
				Burulma momenti (M_{12})				
	h/b	a/b	θ	0°	30°	45°	60°	90°
Örnek 3.2 (M_{12})	0,1	1		0,0000	384,6065	364,3669	380,8117	0,0000
Örnek 3.1 (M_{12})	0,1	1		0,0887	104,6426	120,7762	104,3266	0,0404

Çizelge 3.3'te verilen Örnek 3.1'deki değerler zeminin genişletilmemiş halini, Örnek 3.2 ise zeminin genişletilmiş haldeki değerleri kapsamaktadır. Çizelge 3.3'teki tüm değerler SAP2000'de alınmıştır. Çizelge 3.3'ü incelediğimizde;

1) Örnek 3.1 yani genişletilmemiş zemin modelinde çözülen plak çökme değerlerinin, bu örnekteki genişletilmiş zemine oturan plağa ait çökme değerlerinden daha küçük olduğu görülmektedir. Örnek 3.2 genişletilmiş zemine oturan plaktaki çökme değerleri daha büyüktür. Buradan genişletilmiş zemin modelinin gerçeğe daha yakın modelleme sağladığı anlaşılmaktadır. Çünkü gerçek hayatta zemin yapı altında sonsuz devam etmektedir. Bu nedenle bu tip yapı zemin problemlerinde zemin genişletilerek çözüme ulaşılması sonucu bir zorunluluk olarak karşımıza çıkmaktadır.

2) Aynı şekilde genişletilmiş zemin modelinde çözülen plak M_{11} ve M_{22} eğilme momenti değerlerinin, genişletilmemiş zemin modelinde çözülen plak daha büyük olduğu görülmektedir. Örneğin zemin açısı $\theta=30^\circ$ halinde M_{11} eğilme momenti genişletilmemiş zemin için 2306 kNm mertebesindeyken, genişletilmiş zeminde ise 3152 kNm civarındadır. Bu da yaklaşık 850 kNm fazla moment anlamına gelmektedir.

3) M_{12} burulma momenti değerlerinin zemin açısı $\theta=0^\circ$ 'de ve $\theta=90^\circ$ 'de genişletilmiş zemine oturan plak için daha küçük olduğu görülmektedir. M_{12} burulma momenti değerlerinin zemin açısı $\theta=30^\circ$ 'de ve $\theta=60^\circ$ 'de simetriden dolayı uyumlu olduğu görülmekte ve genişletilmiş zemin için çözümde burulma momentleri, genişletilmemiş zemin için çözüme nazaran daha büyük olduğu görülmektedir.

4) **Çizelge 3.4 : Zeminin genişletilmiş durumunda değişimler (%).**

Zeminin genişletilmiş durumunda değişimler (%)					
Zemin açısı (θ)	0°	30°	45°	60°	90°
Çökme (w)	362,17	386,52	388,76	386,14	362,17
Eğilme momenti (M_{11})	25,97	36,67	26,95	25,17	14,43
Eğilme momenti (M_{22})	14,59	25,07	26,53	36,11	25,46
Burulma momenti (M_{12})	100,00	267,54	201,69	265,02	100,00

Çizelge 3.4'ten görüldüğü üzere zemin genişletilince çökme değeri yaklaşık %370 mertebesinde artmaktadır. M_{11} eğilme momenti zemin genişletilince yaklaşık %25 artmaktadır. M_{22} eğilme momenti zemin genişletilince yaklaşık %25 artmaktadır. M_{12} burulma momenti Zemin açısı $\theta=0^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ 'de yaklaşık %100 oranında azalmış, buna karşın, diğer zemin açılarında %240 mertebesinde artmıştır.

3.3 İki Parametrelili Zemine Oturan Eliptik Plak

Sabit kalınlıklı, ankastre mesnetlenmiş ve yüzey alanı sabit olacak şekilde, düzgün yayılı yük altındaki eliptik plağın statik analizi yapılmıştır [9].

SAP2000 programında eliptik plak geometrisinin oluşturulabilmesi için, Excel programından yararlanılmıştır. Denklem 3.1 ve Denklem 3.2 ile gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra SAP2000 programına veriler aktarılmıştır.

$$\frac{(x-p)^2}{a^2} + \frac{(y-q)^2}{b^2} = 1 \quad (3.1)$$

$$y = \mp \sqrt{\left(1 - \frac{(x-p)^2}{a^2}\right) b^2} + q \quad (3.2)$$

x'e 0'dan başlayarak 15'e kadar ve 0'dan başlayarak -15'e kadar 0,50 aralıkla değerler verilerek y değerleri bulunmuştur. y değerleri mutlak değerler olarak alınıp, +y değerleri bulunmuştur. Böylece elipsin üst yarısı elde edilmiş olur. Aynı şekilde x'e 0'dan başlayarak 15'e kadar ve 0'dan başlayarak -15'e kadar 0,50 aralıkla değerler verilerek negatif y değerleri bulunmuştur. Mutlak y değerleriyle ortaya çıkan elipsin üst yayına, negatif y değerleri de eklenerek elipsin alt yayını da tamamlanmış olur ve bu şekilde elips geometrisi elde edilmiş olur. Excel programında bu şekilde düzenlenen verilerin SAP2000 programına aktarımı için TYPE, NAME, X, Y, Z verileri oluşturulur (Şekil 3.33) [16]. Ayrıca verilerin tamamı Çizelge 3.5 'te ayrıntılı olarak verilmiştir (Çizelge 3.5). Z koordinatlarının sıfır olmasının anlamı plağın kalınlık boyutunu temsil edeceğinden ileri gelmektedir. Daha sonra SAP2000 programında plağa kalınlık verilerek düzenlenecektir.

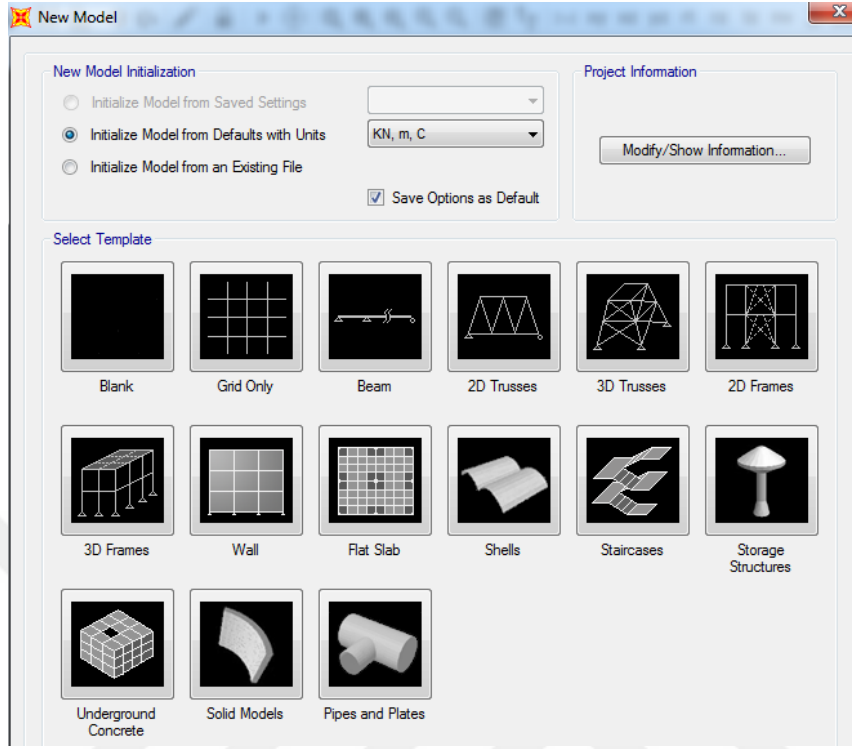
Elips geometrisi $a=15$, $b=5$ ve merkezi koordinatlar $p=0$, $q=0$ olmak üzere, Excel programında daha önceden Denklem 3.1 ve Denklem 3.2 'ye göre hazırlanan veriler panoya kopyalanır (Çizelge 3.5).

SAP2000 programının *Edit* menüsünden *Paste* seçilir ve Excel programındaki veriler SAP2000 programına aktarılmış olur (Şekil 3.33) [16].

	A	B	C	D	E	F
1	TYPE	NAME	X	Y	Z	
2	POINT	1	0	5	0	
3	POINT	2	0,5	4,997221	0	
4	POINT	3	1	4,988877	0	
5	POINT	4	1,5	4,974937	0	
6	POINT	5	2	4,955356	0	
7	POINT	6	2,5	4,930066	0	
8	POINT	7	3	4,898979	0	
9	POINT	8	3,5	4,861984	0	
10	POINT	9	4	4,818944	0	
11	POINT	10	4,5	4,769696	0	
12	POINT	11	5	4,714045	0	
13	POINT	12	5,5	4,651762	0	
14	POINT	13	6	4,582576	0	
15	POINT	14	6,5	4,506169	0	
16	POINT	15	7	4,422166	0	
17	POINT	16	7,5	4,330127	0	
18	POINT	17	8	4,229526	0	
19	POINT	18	8,5	4,119736	0	
20	POINT	19	9	4	0	
21	POINT	20	9,5	3,869396	0	
22	POINT	21	10	3,72678	0	
23	POINT	22	10,5	3,570714	0	
24	POINT	23	11	3,399346	0	
25	POINT	24	11,5	3,210227	0	

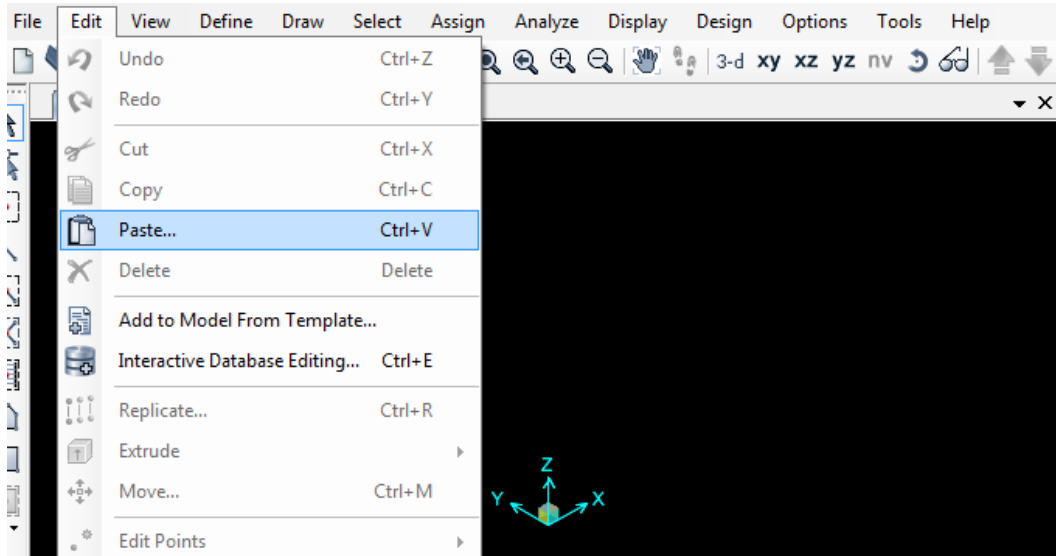
Şekil 3.33 : Excel programındaki TYPE, NAME, X, Y, Z verilerinin oluşturulması ve panoya kopyalanması.

SAP2000 programı çalıştırıldıktan sonra, *New Model* menüsünden, *Blank* seçilir (Şekil 3.34).

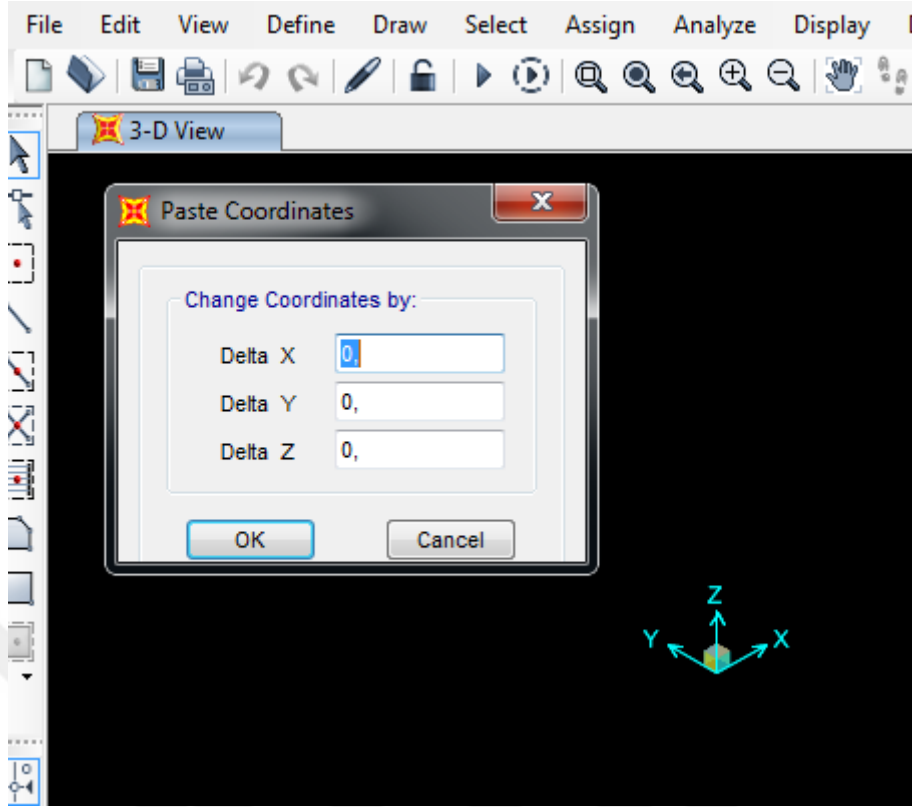


Şekil 3.34 : Elips geometrisi oluşturulması için Blank model seçimi.

Edit menüsünden *Paste* komutu seçilir ve ekrana gelen *Paste Coordinates* penceresinde *OK* tıklanır (Şekil 3.35, Şekil 3.36).

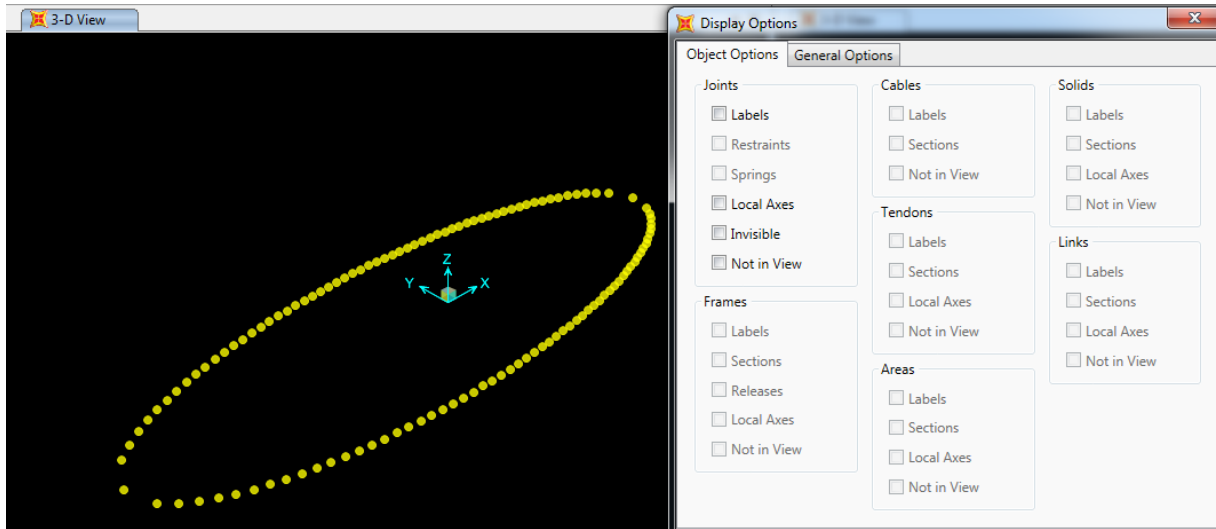


Şekil 3.35 : Excel programındaki verilerin Paste komutu ile SAP2000 programına aktarımı.



Şekil 3.36 : SAP2000 Paste Coordinates ekranı.

Daha sonra *Display Options* menüsünden *Joint Invisible* tiki kaldırılır ve Excel programından kopyalanan noktasal koordinatlar SAP2000 programında görünür hale getirilmiş olur (Şekil 3.37).



Şekil 3.37 : Elips geometrisinin noktasal koordinatları.

Çizelge 3.5 : Elips geometrisi oluşturulması için Excel programından kopyalanan veriler.

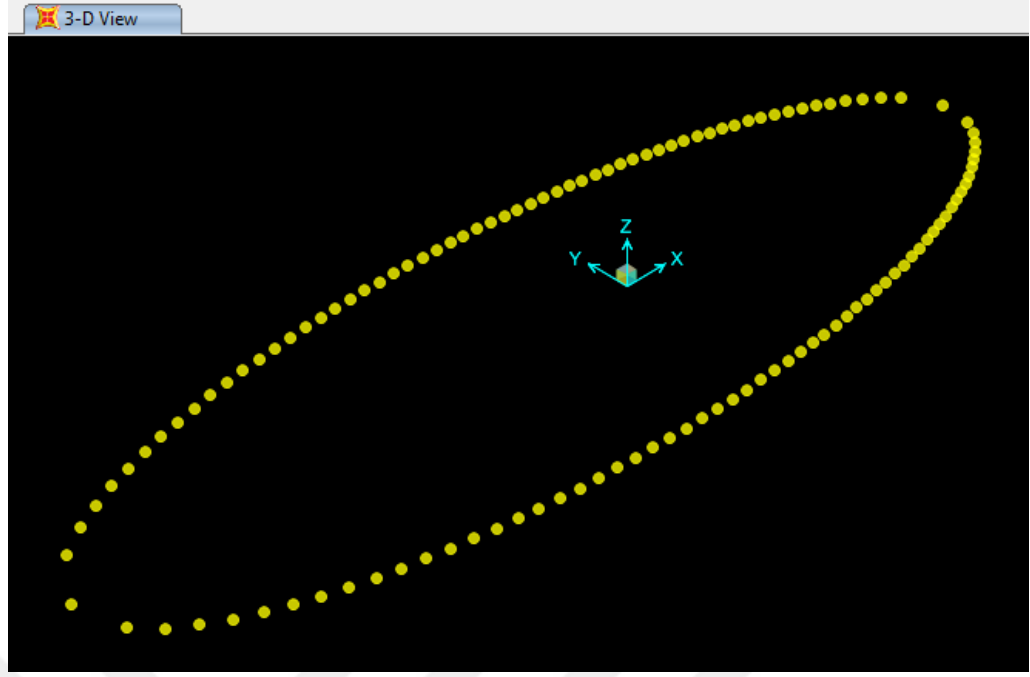
TYPE	NAME	X	Y	Z
POINT	1	0	5	0
POINT	2	0,5	4,99722	0
POINT	3	1	4,98888	0
POINT	4	1,5	4,97494	0
POINT	5	2	4,95536	0
POINT	6	2,5	4,93007	0
POINT	7	3	4,89898	0
POINT	8	3,5	4,86198	0
POINT	9	4	4,81894	0
POINT	10	4,5	4,7697	0
POINT	11	5	4,71405	0
POINT	12	5,5	4,65176	0
POINT	13	6	4,58258	0
POINT	14	6,5	4,50617	0
POINT	15	7	4,42217	0
POINT	16	7,5	4,33013	0
POINT	17	8	4,22953	0
POINT	18	8,5	4,11974	0
POINT	19	9	4	0
POINT	20	9,5	3,8694	0
POINT	21	10	3,72678	0
POINT	22	10,5	3,57071	0
POINT	23	11	3,39935	0
POINT	24	11,5	3,21023	0
POINT	25	12	3	0
POINT	26	12,5	2,76385	0
POINT	27	13	2,49444	0
POINT	28	13,5	2,17945	0
POINT	29	14	1,79505	0
POINT	30	14,5	1,28019	0
POINT	31	15	0	0
POINT	32	0	5	0
POINT	33	-0,5	4,99722	0
POINT	34	-1	4,98888	0
POINT	35	-1,5	4,97494	0
POINT	36	-2	4,95536	0
POINT	37	-2,5	4,93007	0
POINT	38	-3	4,89898	0
POINT	39	-3,5	4,86198	0
POINT	40	-4	4,81894	0

Çizelge 3.5 : Elips geometrisi oluşturulması için Excel programından kopyalanan veriler.

POINT	41	-4,5	4,7697	0
POINT	42	-5	4,71405	0
POINT	43	-5,5	4,65176	0
POINT	44	-6	4,58258	0
POINT	45	-6,5	4,50617	0
POINT	46	-7	4,42217	0
POINT	47	-7,5	4,33013	0
POINT	48	-8	4,22953	0
POINT	49	-8,5	4,11974	0
POINT	50	-9	4	0
POINT	51	-9,5	3,8694	0
POINT	52	-10	3,72678	0
POINT	53	-10,5	3,57071	0
POINT	54	-11	3,39935	0
POINT	55	-11,5	3,21023	0
POINT	56	-12	3	0
POINT	57	-12,5	2,76385	0
POINT	58	-13	2,49444	0
POINT	59	-13,5	2,17945	0
POINT	60	-14	1,79505	0
POINT	61	-14,5	1,28019	0
POINT	62	-15	0	0
POINT	63	0	-5	0
POINT	64	0,5	-4,9972	0
POINT	65	1	-4,9889	0
POINT	66	1,5	-4,9749	0
POINT	67	2	-4,9554	0
POINT	68	2,5	-4,9301	0
POINT	69	3	-4,899	0
POINT	70	3,5	-4,862	0
POINT	71	4	-4,8189	0
POINT	72	4,5	-4,7697	0
POINT	73	5	-4,714	0
POINT	74	5,5	-4,6518	0
POINT	75	6	-4,5826	0
POINT	76	6,5	-4,5062	0
POINT	77	7	-4,4222	0
POINT	78	7,5	-4,3301	0
POINT	79	8	-4,2295	0
POINT	80	8,5	-4,1197	0

Çizelge 3.5 : Elips geometrisi oluşturulması için Excel programından kopyalanan veriler.

POINT	81	9	-4	0
POINT	82	9,5	-3,8694	0
POINT	83	10	-3,7268	0
POINT	84	10,5	-3,5707	0
POINT	85	11	-3,3993	0
POINT	86	11,5	-3,2102	0
POINT	87	12	-3	0
POINT	88	12,5	-2,7639	0
POINT	89	13	-2,4944	0
POINT	90	13,5	-2,1794	0
POINT	91	14	-1,7951	0
POINT	92	14,5	-1,2802	0
POINT	93	15	0	0
POINT	94	0	-5	0
POINT	95	-0,5	-4,9972	0
POINT	96	-1	-4,9889	0
POINT	97	-1,5	-4,9749	0
POINT	98	-2	-4,9554	0
POINT	99	-2,5	-4,9301	0
POINT	100	-3	-4,899	0
POINT	101	-3,5	-4,862	0
POINT	102	-4	-4,8189	0
POINT	103	-4,5	-4,7697	0
POINT	104	-5	-4,714	0
POINT	105	-5,5	-4,6518	0
POINT	106	-6	-4,5826	0
POINT	107	-6,5	-4,5062	0
POINT	108	-7	-4,4222	0
POINT	109	-7,5	-4,3301	0
POINT	110	-8	-4,2295	0
POINT	111	-8,5	-4,1197	0
POINT	112	-9	-4	0
POINT	113	-9,5	-3,8694	0
POINT	114	-10	-3,7268	0
POINT	115	-10,5	-3,5707	0
POINT	116	-11	-3,3993	0
POINT	117	-11,5	-3,2102	0
POINT	118	-12	-3	0
POINT	119	-12,5	-2,7639	0
POINT	120	-13	-2,4944	0
POINT	121	-13,5	-2,1794	0
POINT	122	-14	-1,7951	0
POINT	123	-14,5	-1,2802	0
POINT	124	-15	0	0

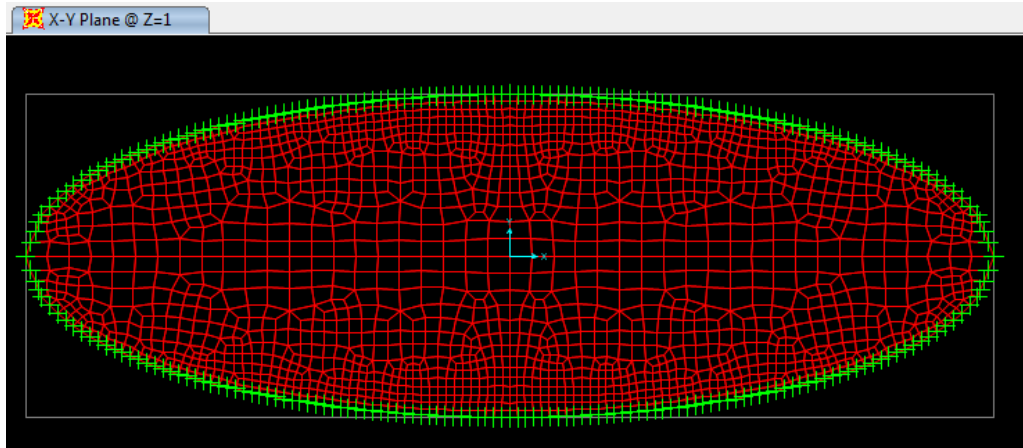


Şekil 3.38 : SAP2000 programına aktarılan elips geometrisi.

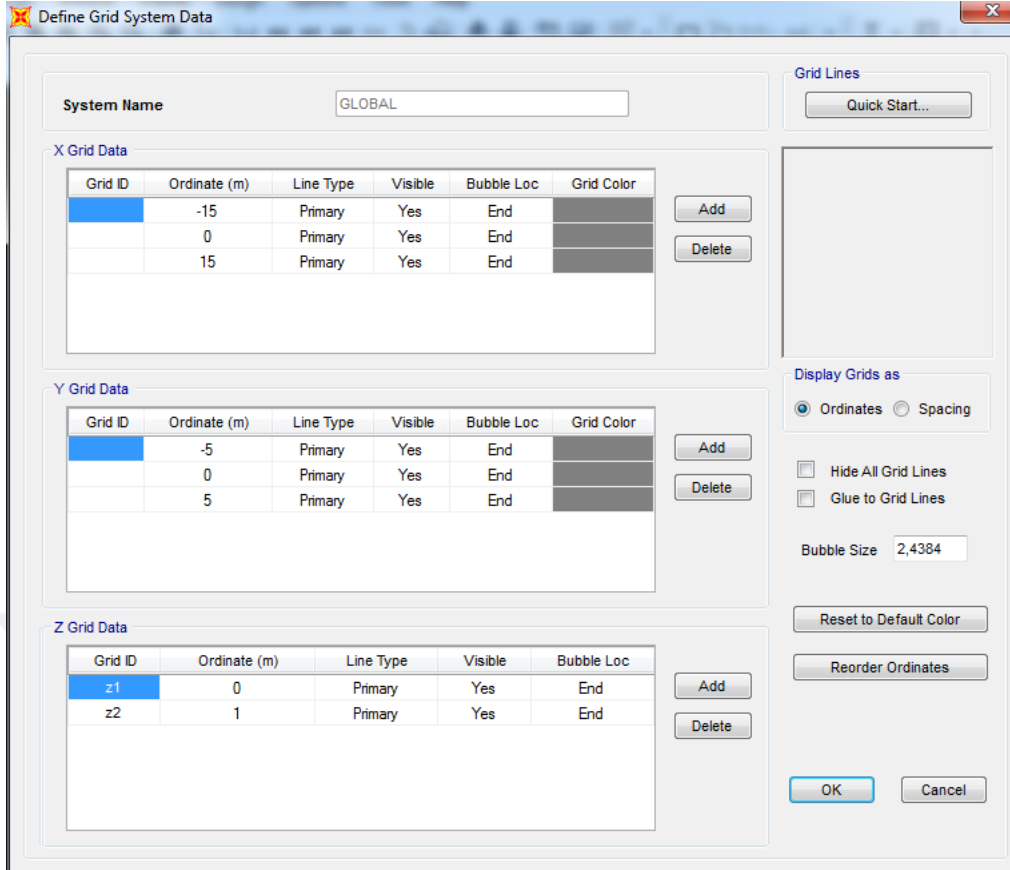
Bu şekilde Excel programında oluşturulan nokta koordinatları SAP2000 programına aktarılarak düzenlenmiş ve elips geometrisine sahip plak oluşturulmuştur.

SAP2000 programında sonlu elemanlar oluşturulmak suretiyle, Şekil 3.38'deki noktalar birleştirilerek ve içerisi sonlu elemanlarla doldurularak elips plak elde edilmiştir. Sonlu elemanlara ayırma işlemi SAP2000 programının *Edit Edit Areas Mesh Areas* özelliğinden faydalanılarak yapılmıştır.

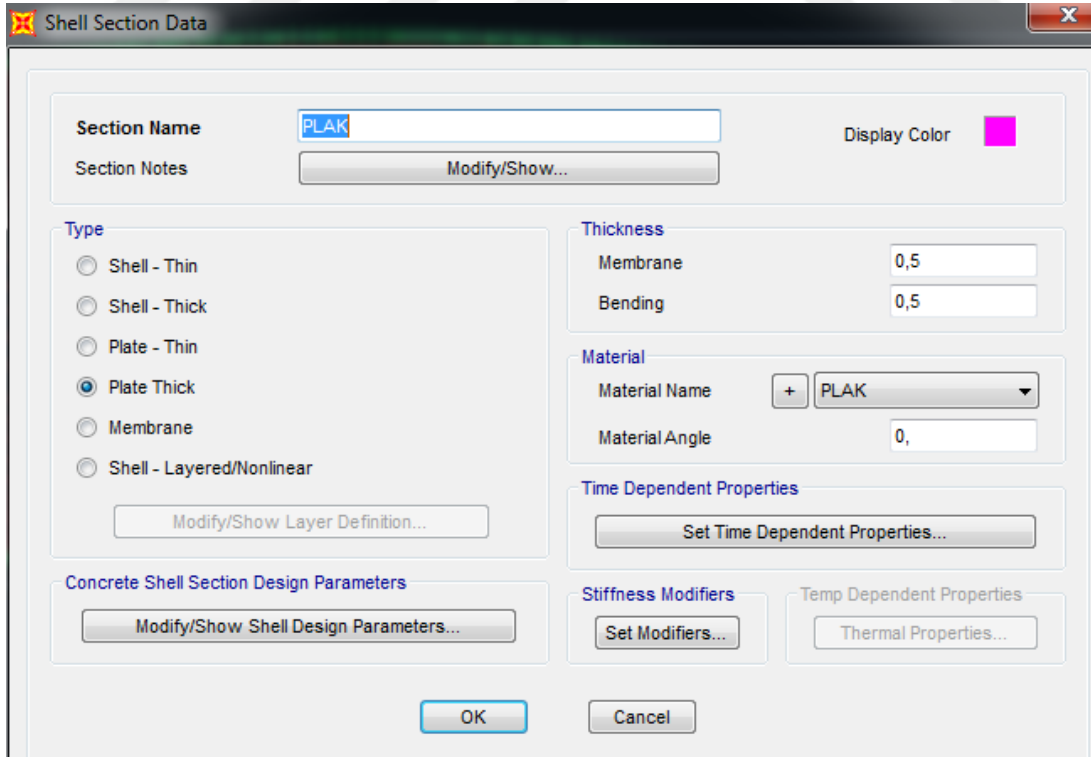
Plak malzemesinde Poisson's oranı $\nu=0,3$ seçilmiş ve $a/b=3$ değerinde $h/b=0,1$ oranı için belirlenen plak kalınlığı $h=0,5$ metre, $a=15$ metre $b=5$ metre olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.39, Şekil 3.40, Şekil 3.41).



Şekil 3.39 : Eliptik plak.



Şekil 3.40 : Sabit alanlı eliptik plak koordinat sistemi.



Şekil 3.41 : Eliptik plak kalınlığı.

D plak rijitliği olmak üzere $D=(Eh^3)/(12(1-\nu^2))$ ifadesinden hesaplanmıştır. Plak elastisite modülü $E=25.10^6 \text{ kN/m}^2$ alınarak $D=286172,161 \text{ kNm}$ olarak bulunmuştur (şekil 3.42, şekil 3.43, şekil 3.44).

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box with the following fields and values:

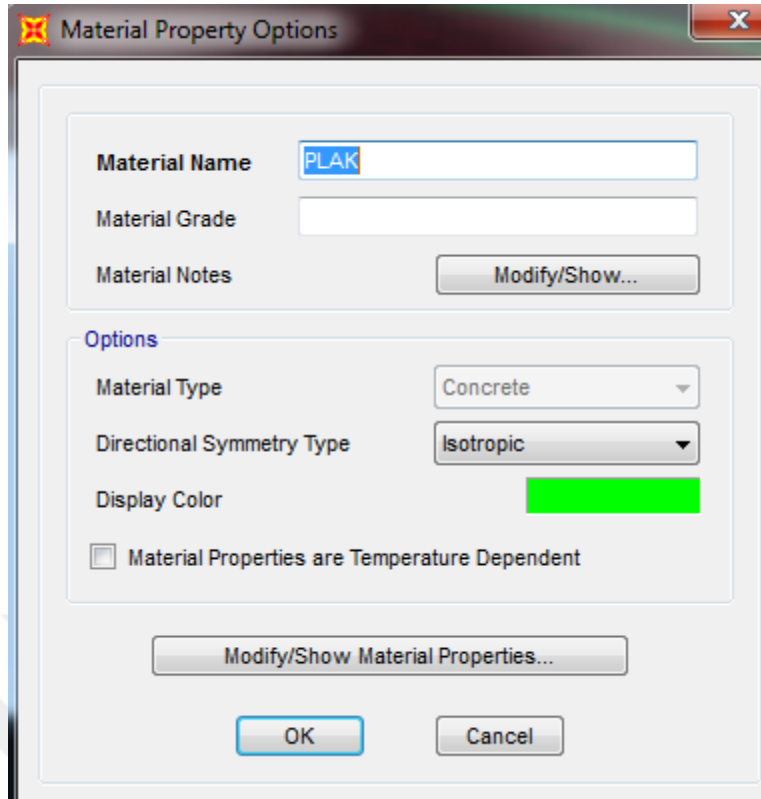
- General Data:** Material Name and Display Color: PLAK; Material Type: Concrete; Material Grade: ; Material Notes: ; Modify/Show Notes... button.
- Weight and Mass:** Weight per Unit Volume: 0; Mass per Unit Volume: 0; Units: KN, m, C.
- Isotropic Property Data:** Modulus Of Elasticity, E: 25000000; Poisson, U: 0,3; Coefficient Of Thermal Expansion, A: 9,900E-06; Shear Modulus, G: 9615385.
- Other Properties For Concrete Materials:** Specified Concrete Compressive Strength, Fc: 27579,032; Expected Concrete Compressive Strength: 27579,032; Lightweight Concrete: ; Shear Strength Reduction Factor: ; Switch To Advanced Property Display: ; OK and Cancel buttons.

şekil 3.42 : Sabit alanlı eliptik plağın Elastisite modülü ve Poisson's oranı.

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box with the following fields and values:

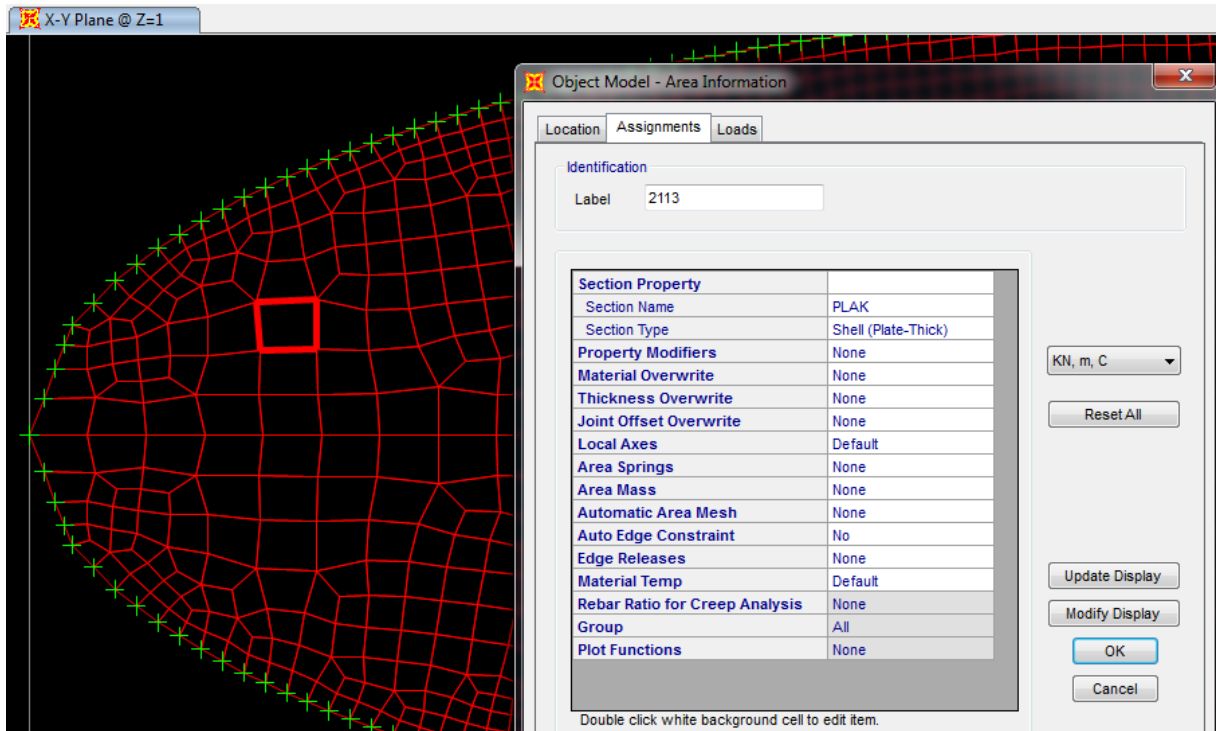
- Material Name:** PLAK
- Material Type:** Concrete
- Symmetry Type:** Isotropic
- Modulus of Elasticity:** E: 25000000
- Poisson:** U: 0,3
- Coeff of Thermal Expansion:** A: 9,900E-06
- Shear Modulus:** G: 9615385
- Weight and Mass:** Weight per Unit Volume: 0; Mass per Unit Volume: 0; Units: KN, m, C.
- Other Properties For Concrete Materials:** Specified Concrete Compressive Strength, Fc: 27579,032; Expected Concrete Compressive Strength: 27579,032; Lightweight Concrete: ; Shear Strength Reduction Factor: ; Nonlinear Material Data...; Material Damping Properties...; Time Dependent Properties...; Thermal Properties...; OK and Cancel buttons.

şekil 3.43 : Sabit alanlı eliptik plak malzeme özellikleri.



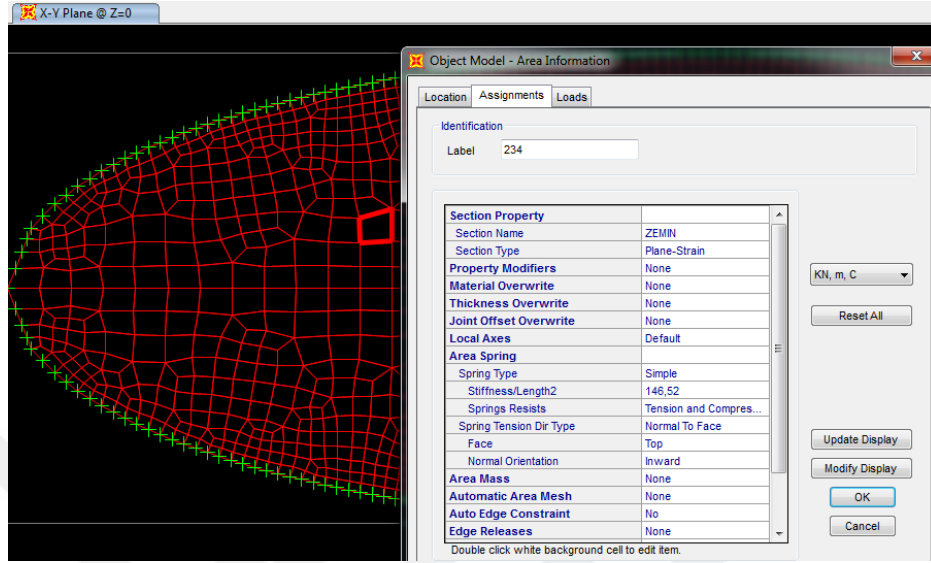
Şekil 3.44 : Sabit alanlı eliptik plak malzeme özellikleri.

Z=1 metre kotuna tanımlanan eliptik plak eleman atanmıştır (Şekil 3.45).



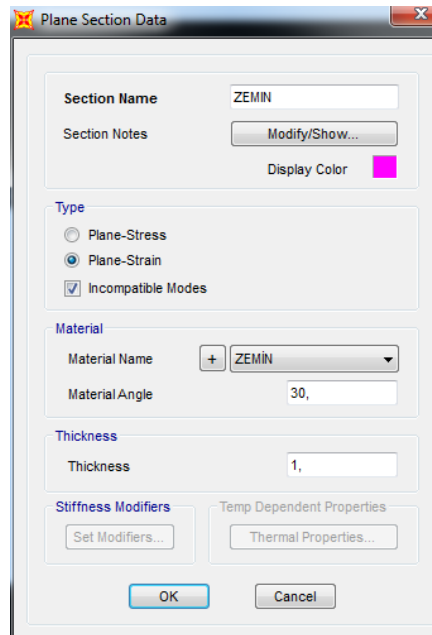
Şekil 3.45 : Z=1 m kotuna eliptik plak eleman ataması.

Zemin parametreleri $k^*=ka^2b^2/D$ ve $G_f^*=G_fab/D$ formülasyonlarıyla boyutsuzlaştırılmıştır. Boyutsuz zemin yay sabiti $k^*=2,88$ boyutlu hale çevrilerek SAP2000 programına $k=146,52kN/m^2$ olarak girilmiştir (Şekil 3.46).

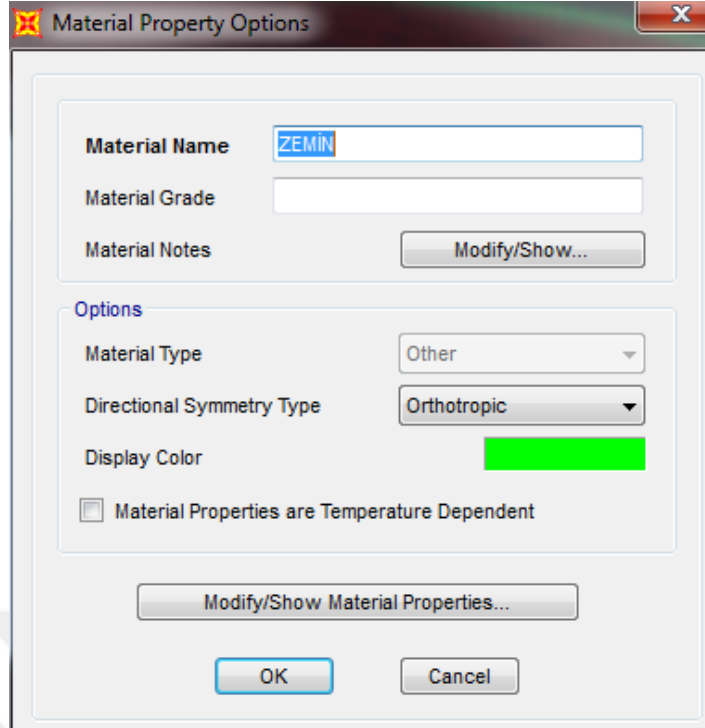


Şekil 3.46 : Zemin yay sabiti ataması.

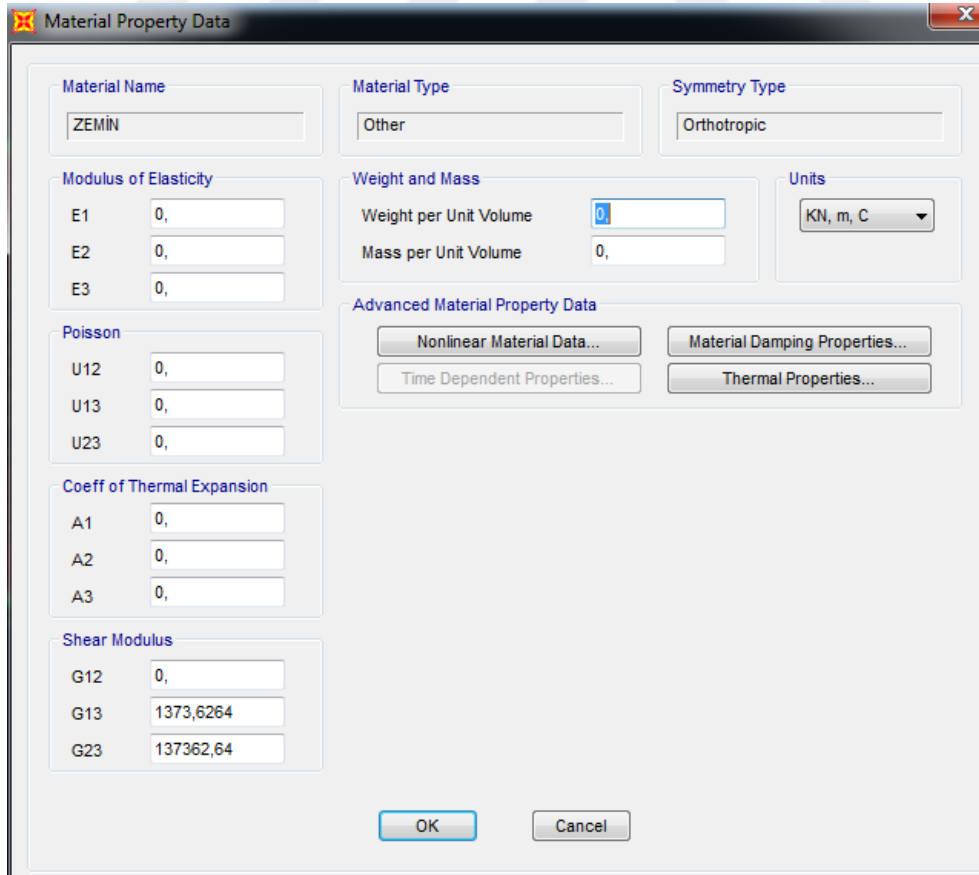
Boyutsuz ortotropik zemin kayma parametreleri $G_{f1}^*=0,36$ ve $G_{f2}^*=36$ boyutlu değerlere çevrilerek, $G_{f1}=1373,626374 \text{ GPa}$ ve $G_{f2}=137362,6374 \text{ GPa}$ olarak SAP2000 programına girilmiş ve zemin Plain-Strain tipi ve ortotropik özellik seçilmiştir (Şekil 3.47, Şekil 3.48, Şekil 3.49). Z=0 metre kotuna tanımlanan zemin eleman atanmıştır (Şekil 3.50).



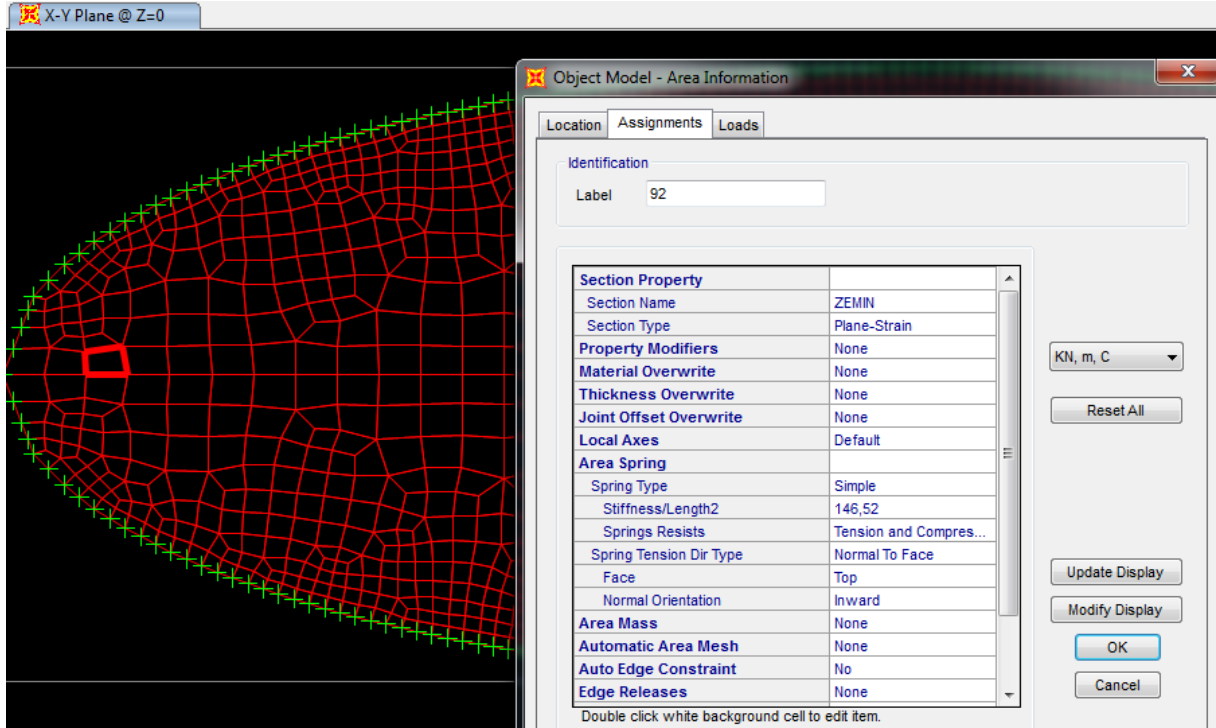
Şekil 3.47 : Plain-Strain eleman, zemin açısı $\theta=30^\circ$.



Şekil 3.48 : Zeminin ortotropik özelliği.

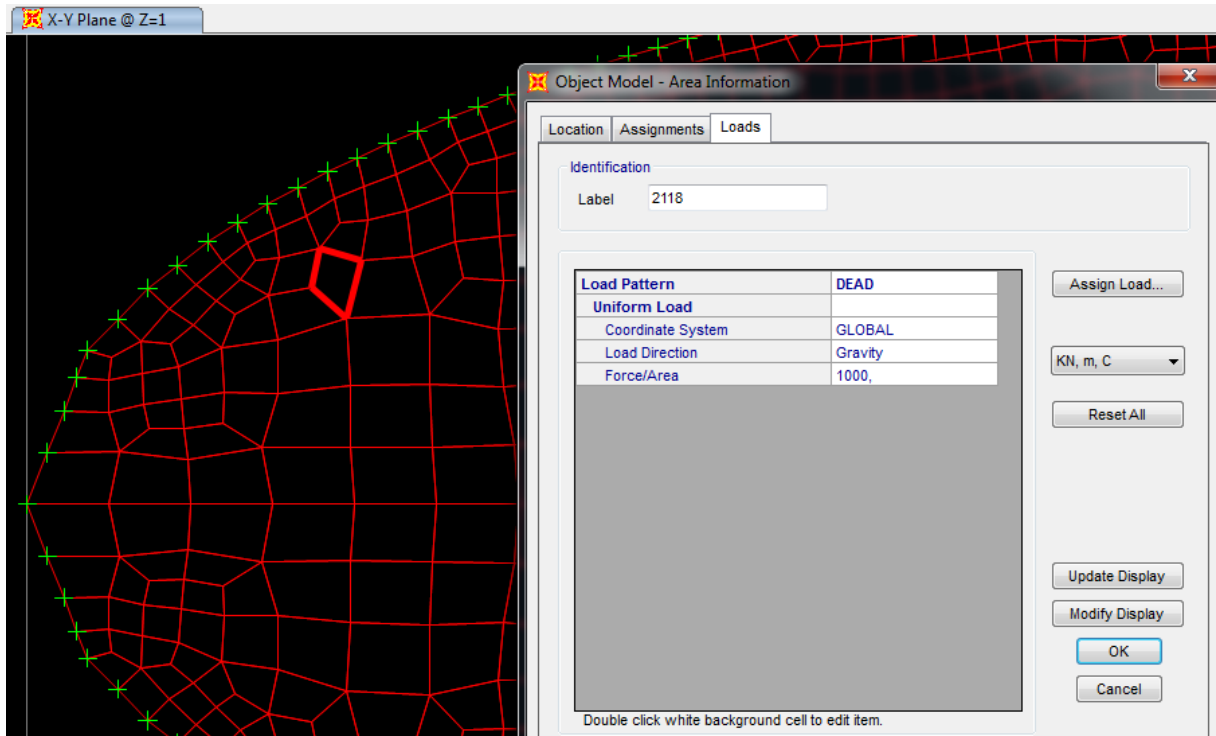


Şekil 3.49 : Zemin kayma parametreleri.

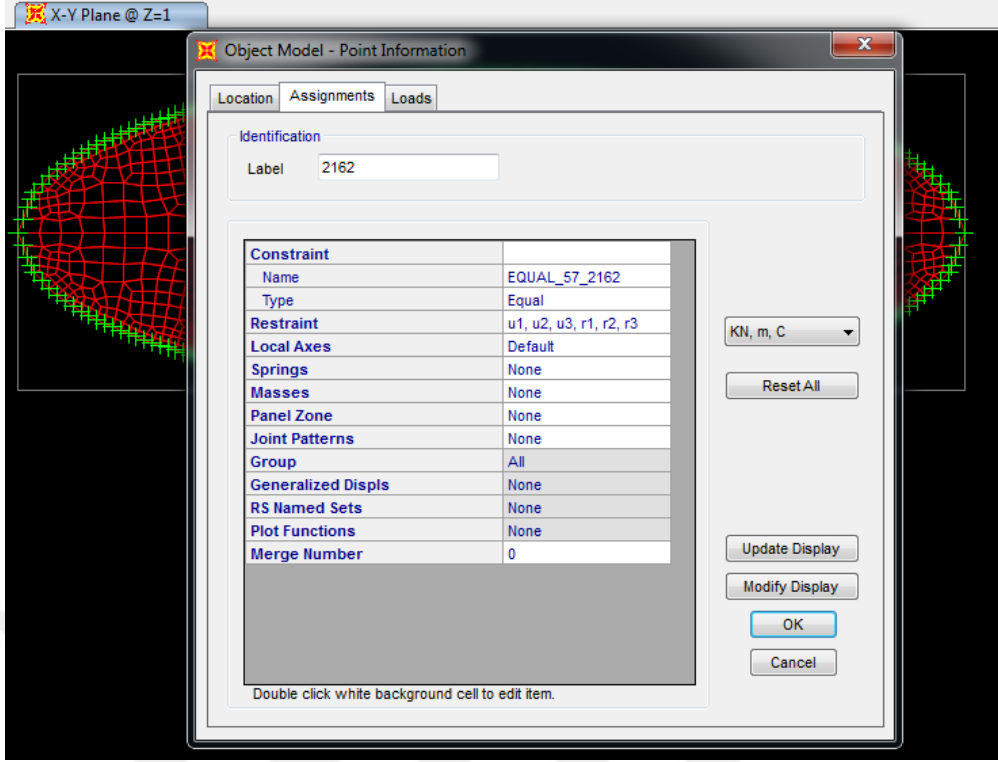


Şekil 3.50 : Z=0 m kotu zemin eleman ataması.

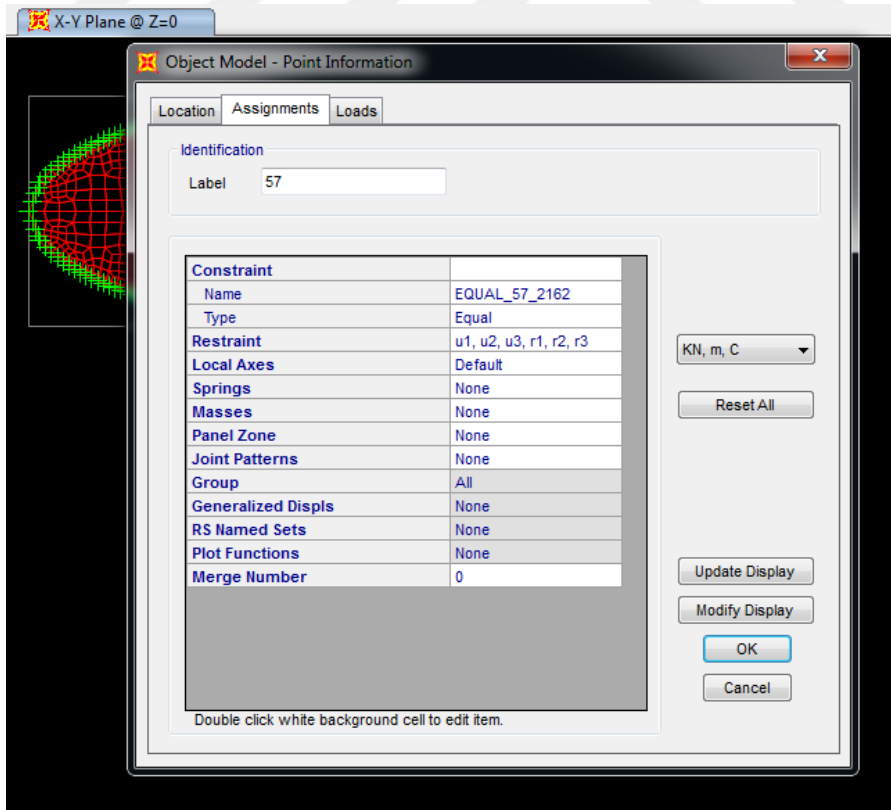
Eliptik plak üzerine etki eden yayılı yük $q=1000 \text{ kN/m}^2$ olarak girilmiştir (Şekil 3.51).



Şekil 3.51 : Eliptik plağa yayılı yük girilmesi.

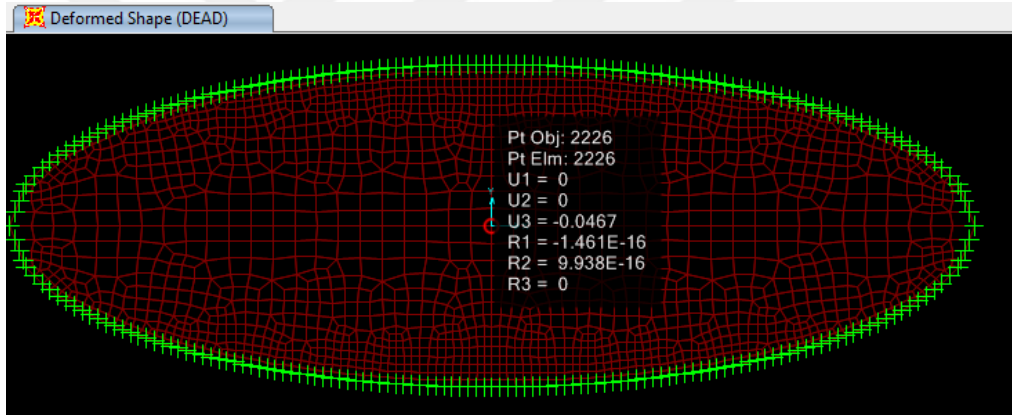


Şekil 3.52 : Eliptik plak ankastre kenar mesnetleri ve SapTransform programı ile eşitleme durumu.

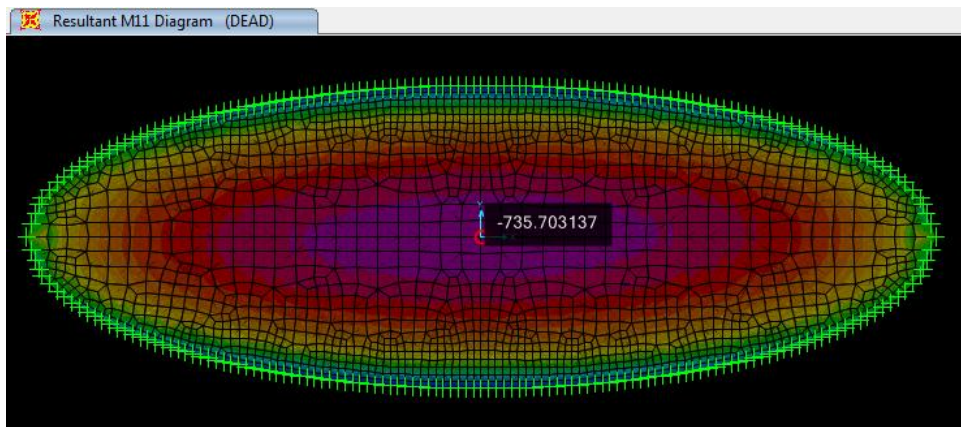


Şekil 3.53 : Zemin eleman ankastre kenar mesnetleri ve SapTransform programı ile eşitleme durumu.

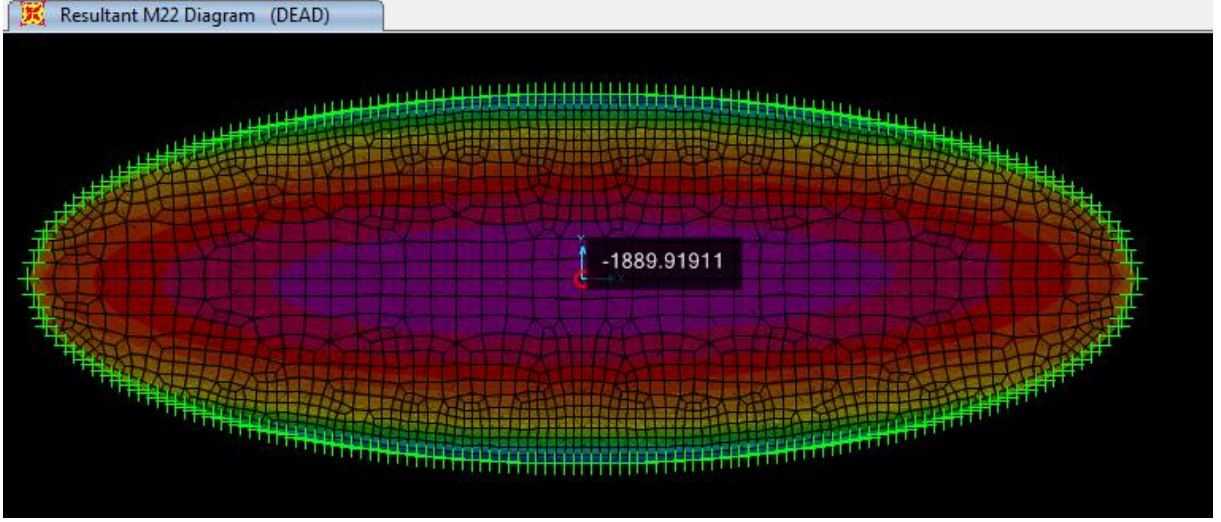
Düzgün yayılı yük altında, sabit alanlı eliptik plağın, orta noktasında, boyutsuzlaştırılmış çökme, eğilme momenti ve burulma momenti değerleri karşılaştırılmıştır. w^* boyutsuz çökme olmak üzere $w^*=(wD/qa^2b^2)x1000$ ifadesiyle; M^* boyutsuz eğilme momenti olmak üzere $M^*=(M/qab)x1000$ ifadesiyle; T^* boyutsuz burulma momenti olmak üzere $T^*=(T/qab)x1000$ ifadesiyle dönüştürülmüş ve Çizelge 3.6 'da verilmiştir. θ zemin açısı 0° , 30° , 45° , 60° ve 90° olacak şekilde değiştirilerek, değerler karşılaştırılmıştır (Çizelge 3.6). w ve M değerleri SAP2000 sonuçlarından okunan değerlerdir. [9]'da T ile verilen değişken SAP2000'de M_{12} burulma momentini ifade etmektedir. Örnek 1'de SAP2000 sonuçları 0° zemin açısı için gösterilmişti. Örnek 3.1'den farklı olarak zemin açısı $\theta=30^\circ$ olan sayısal değerler incelenecektir (Şekil 3.54, Şekil 3.55, Şekil 3.56, Şekil 3.57). Aynı şekilde 0° , 45° , 60° ve 90° zemin açıları için de değerler okunmuş ve çizelgeye girilmiştir. Çökme birimi metre, moment birimi kNm'dir.



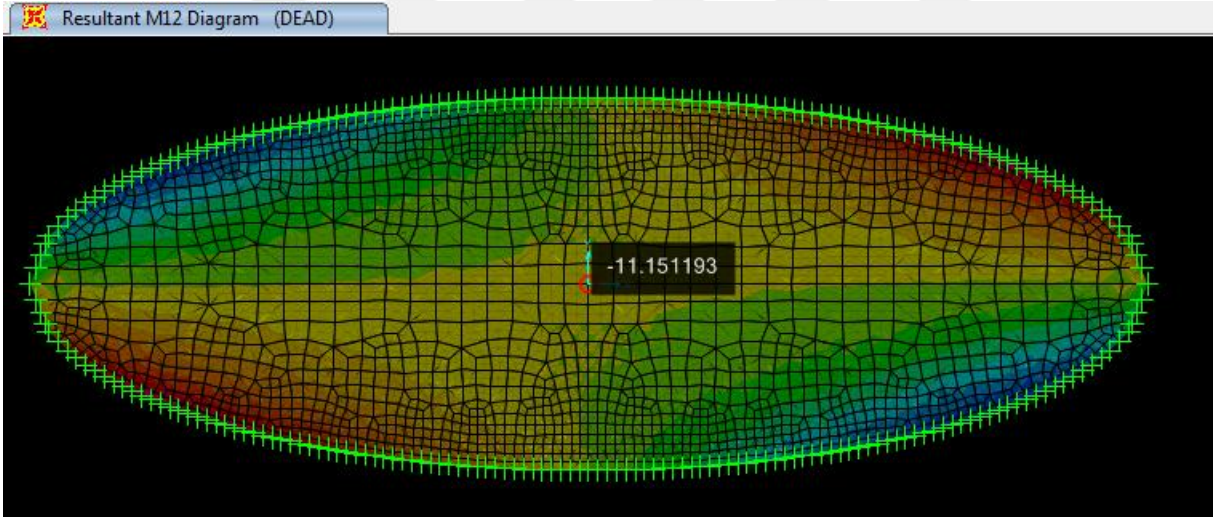
Şekil 3.54 : Zemin açısı $\theta=30^\circ$ halinde, düzgün yayılı yük altında, sabit alanlı eliptik plağın, orta noktasındaki çökme değeri.



Şekil 3.55 : Zemin açısı $\theta=30^\circ$ halinde, düzgün yayılı yük altında, sabit alanlı eliptik plağın, orta noktasındaki M_{11} momenti değeri.



Şekil 3.56 : Zemin açısı $\theta=30^\circ$ halinde, düzgün yayılı yük altında, sabit alanlı eliptik plağın, orta noktasındaki M_{22} momenti değeri.



Şekil 3.57 : Zemin açısı $\theta=30^\circ$ halinde, düzgün yayılı yük altında, sabit alanlı eliptik plağın, orta noktasındaki M_{12} momenti değeri.

Çizelge 3.6 : Düzgün yayılı yük altında, sabit alanlı eliptik plağın, orta noktasında, çökme, eğilme momenti ve burulma momenti değerleri.

Düzgün yayılı yük altında sabit alanlı eliptik plağın orta noktasında çökme ve eğilme momenti değerleri								
				Çökme (w, w^*)				
	h/b	a/b	θ	0°	30°	45°	60°	90°
Kutlu, A. ve arkadaşları [9]	0,1	3		2,10	2,37	2,71	3,17	3,80
Bu çalışma (w^*)	0,1	3		2,11	2,38	2,72	3,17	3,79
Bu çalışma (w)	0,1	3		0,0414	0,0467	0,0534	0,0623	0,0744
				Eğilme momenti (M_{11}, M_{11}^*)				
	h/b	a/b	θ	0°	30°	45°	60°	90°
Kutlu, A. ve arkadaşları [9]	0,1	3		8,40	9,76	11,53	13,89	17,33
Bu çalışma (M_{11}^*)	0,1	3		8,43	9,79	11,61	14,02	17,33
Bu çalışma (M_{11})	0,1	3		632,4768	735,7031	870,6965	1051,7287	1299,5652
				Eğilme momenti (M_{22}, M_{22}^*)				
	h/b	a/b	θ	0°	30°	45°	60°	90°
Kutlu, A. ve arkadaşları [9]	0,1	3		21,47	24,95	29,52	35,68	44,79
Bu çalışma (M_{22}^*)	0,1	3		21,65	25,20	29,86	36,17	45,08
Bu çalışma (M_{22})	0,1	3		1623,9074	1889,9191	2239,8628	2712,7432	3381,3310
				Burulma momenti (M_{12}, M_{12}^*)				
	h/b	a/b	θ	0°	30°	45°	60°	90°
Kutlu, A. ve arkadaşları [9]	0,1	3		0,00	0,16	0,25	0,32	0,00
Bu çalışma (M_{12}^*)	0,1	3		0,01	0,15	0,23	0,29	0,02
Bu çalışma (M_{12})	0,1	3		0,4807	11,1512	17,5730	21,4412	1,8540

Çizelge 3.6 'dan anlaşıldığı üzere sonuçlar birbiriyle uyumaktadır. SAP2000 programında zemin modellemesinin doğruluğu bununla kanıtlanmıştır.

Çizelge 3.7 : Eliptik plak için göreceli hata hesabı.

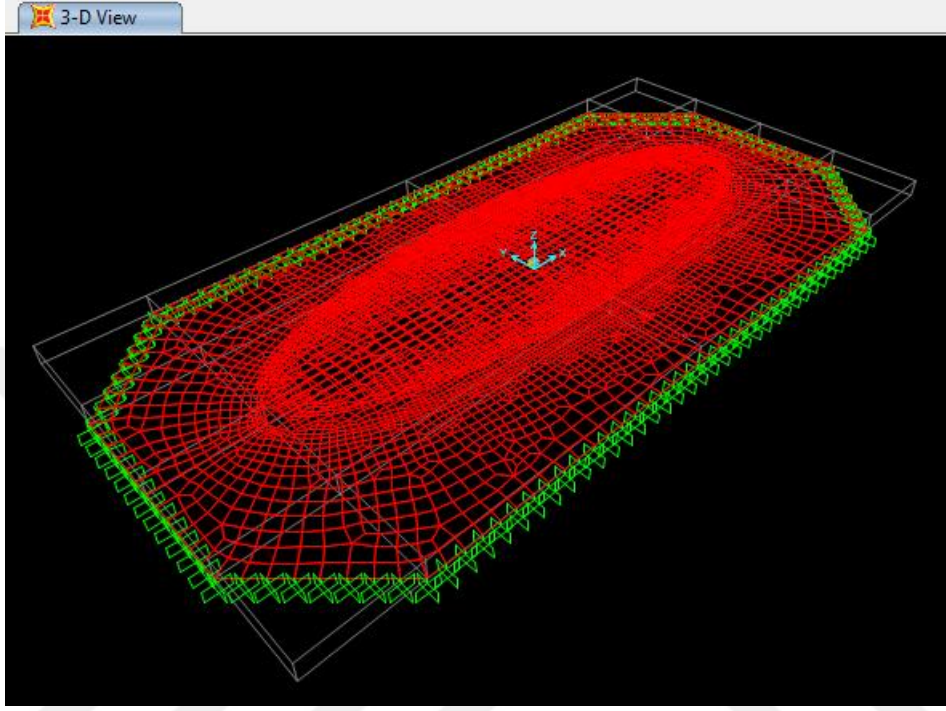
Çökme değerleri için göreceli hata hesabı (%)				
0°	30°	45°	60°	90°
0,30	0,25	0,25	0,02	0,39
Eğilme momenti M_{11} için göreceli hata hesabı (%)				
0°	30°	45°	60°	90°
0,39	0,32	0,69	0,95	0,01
Eğilme momenti M_{22} için göreceli hata hesabı (%)				
0°	30°	45°	60°	90°
0,84	0,99	1,16	1,36	0,66
Burulma momenti M_{12} için göreceli hata hesabı (%)				
0°	30°	45°	60°	90°
0,00	8,26	6,48	11,26	0,00

Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.7 'ye göre sonuçlar incelendiğinde;

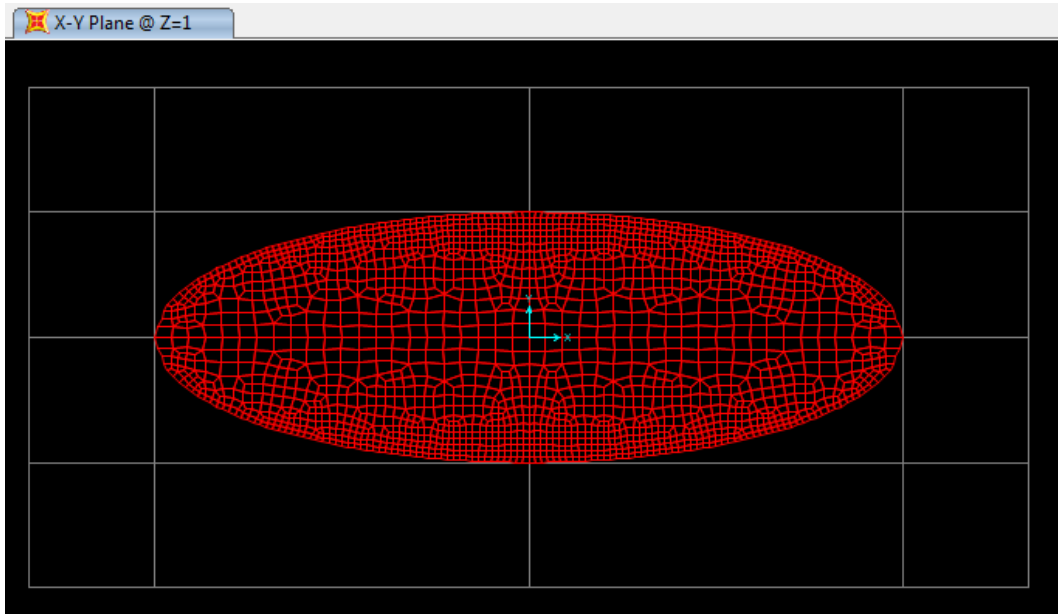
- 1) Çökme değerlerinin zemin açısı arttıkça arttığı görülmektedir. Zemin açısı $\theta=0^\circ$ olduğunda, çökme değeri 0,0414 m olarak ortaya çıkmış; örneğin zemin açısı $\theta=60^\circ$ olduğunda da çökme değeri 0,0623 m olduğu tespit edilmiştir. Yani zemin açısı değişimi çökme değerlerini etkilememekte, zemin açısı arttıkça çökmelerde artmaktadır. Çizelge 3.7'de verilen göreceli hata oranları hesaplanmış, bu hata oranlarının kabul edilebilir seviyede olduğu belirlenmiştir.
- 2) M_{11} eğilme momenti değerlerinin zemin açısı $\theta=0^\circ$ 'den $\theta=90^\circ$ 'ye doğru gidildikçe arttığı görülmektedir.
- 3) M_{22} eğilme momenti değerlerinin zemin açısı $\theta=0^\circ$ 'den $\theta=90^\circ$ 'ye doğru gidildikçe arttığı görülmektedir.
- 4) M_{12} burulma momenti değerlerinin zemin açısı $\theta=0^\circ$ 'de ve $\theta=90^\circ$ 'de sonuçların neredeyse bire bir uyumlu olduğu görülmektedir.
- 5) Çizelge 3.7 incelendiğinde referans alınan sayısal örneklerle [9], çökme sonuçlarının ortalama %0,24 hata ile, M_{11} eğilme momentlerinin ortalama %0,47 hata ile, M_{22} eğilme momentlerinin ortalama %1,00 hata ile, M_{12} burulma momentlerinin ortalama %5,2 hata ile doğrulandığı görülmektedir (Çizelge 3.7).

3.4 İki Parametrelili Genişletilmiş Zemine Oturan Eliptik Plak

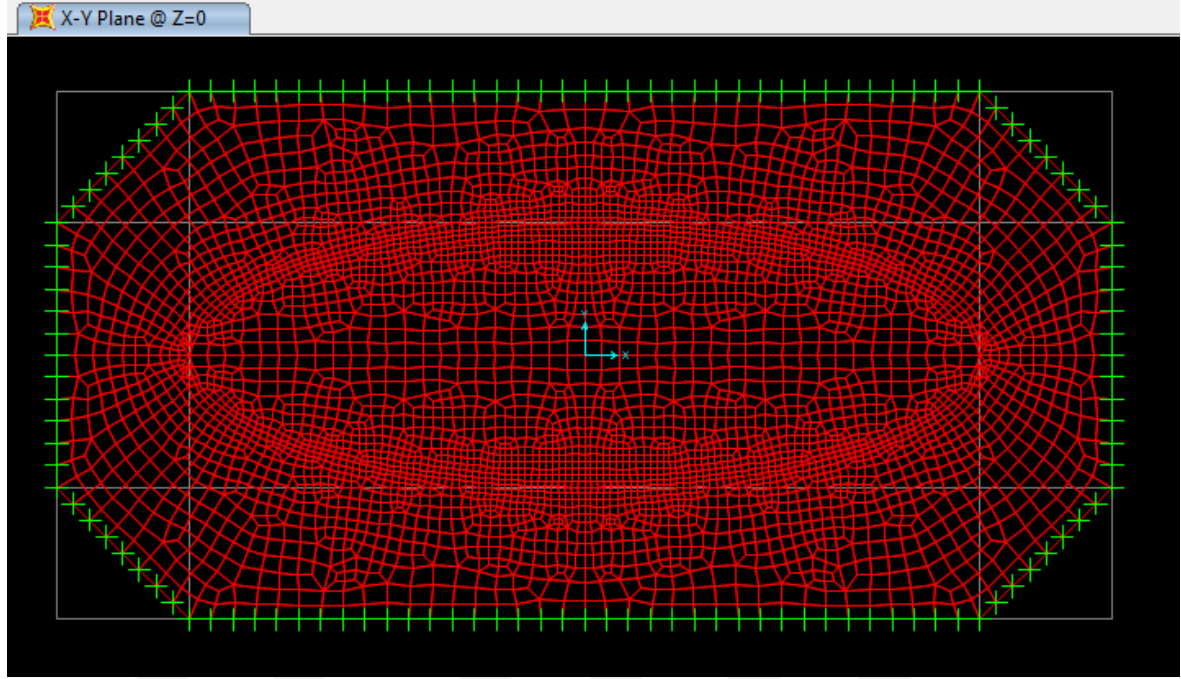
Örnek 3.3'teki tüm veriler aynı kalacak şekilde, sadece zemin genişletilmiştir. Zeminin genişletilmemiş hali ile, genişletilmiş haldeki değerler karşılaştırılmıştır.



şekil 3.58 : Genişletilmiş zemine oturan eliptik plak sisteminin üç boyutlu görünümü.



şekil 3.59 : Genişletilmiş zemine oturan eliptik plak sistemi.



Şekil 3.60 : Genişletilmiş zemin sistemi.

Çizelge 3.8 : Genişletilmiş zemin ve genişletilmemiş zemin için, düzgün yayılı yük altında, sabit alanlı eliptik plağın, orta noktasında, çökme, eğilme momenti ve burulma momenti değerleri.

Düğüün yayılı yük altında sabit alanlı eliptik plağın orta noktasında çökme ve eğilme momenti değeri								
				Çökme (w)				
	h/b	a/b	θ	0°	30°	45°	60°	90°
Örnek 3.4 (w)	0,1	3		0,2491	0,3169	0,4225	0,5892	0,8539
Örnek 3.3 (w)	0,1	3		0,0414	0,0467	0,0534	0,0623	0,0744
				Eğilme momenti (M_{11})				
	h/b	a/b	θ	0°	30°	45°	60°	90°
Örnek 3.4 (M_{11})	0,1	3		815,2030	1111,8411	1613,1825	2146,7313	2036,8176
Örnek 3.3 (M_{11})	0,1	3		632,4768	734,3733	870,6965	1051,7287	1299,5652
				Eğilme momenti (M_{22})				
	h/b	a/b	θ	0°	30°	45°	60°	90°
Örnek 3.4 (M_{22})	0,1	3		1951,3414	2494,0545	3292,4819	3988,3877	2817,8411
Örnek 3.3 (M_{22})	0,1	3		1623,907	1889,919	2239,863	2712,743	3381,3310
				Burulma momenti (M_{12})				
	h/b	a/b	θ	0°	30°	45°	60°	90°
Örnek 3.4 (M_{12})	0,1	3		0,1116	99,7264	249,2610	353,7717	3,7866
Örnek 3.3 (M_{12})	0,1	3		0,4807	11,0477	17,5730	21,4412	1,8540

Genişletilmemiş zeminde değerlerin daha k olduğu grlmektedir. Genişletilmiş zemin uygulamasında değerler daha büyüktür, gerçeğe daha yakın modelleme sağlanmıştır.

Çizelge 3.8'de verilen örnek 3.3'deki değerler zeminin genişletilmemiş halini, örnek 3.4 ise zeminin genişletilmiş haldeki değerleri kapsamaktadır. Çizelge 3.8'deki tüm değerler SAP2000'den alınmıştır. Çizelge 3.8'i incelediğimizde;

1) rnek 3.3 yani genişletilmemiş zemin modelinde üzülen plak çökme değerlerinin, bu örnekteki genişletilmiş zemine oturan plağa ait çökme değerlerinden daha k olduğu grlmektedir. rnek 3.4 genişletilmiş zemine oturan plaktaki çökme değerleri daha büyüktür. Buradan genişletilmiş zemin modelinin gerçeğe daha yakın modelleme sağladığı anlaşılmaktadır. Çünkü gerçek hayatta zemin yapı altında sonsuz devam etmektedir. Bu nedenle bu tip yapı zemin problemlerinde zemin genişletilerek çözüme ulaşılması sonucu bir zorunluluk olarak karşımıza çıkmaktadır.

2) Aynı şekilde genişletilmiş zemin modelinde üzülen plak M_{11} ve M_{22} eğilme momenti değerlerinin, genişletilmemiş zemin modelinde üzülen plak elemanın M_{11} ve M_{22} eğilme moment değerlerinden daha büyük olduğu grlmektedir. Örneğin zemin açısı $\theta=60^\circ$ halinde M_{11} eğilme momenti genişletilmemiş zemin için 1050 kNm mertebesindeyken, genişletilmiş zeminde ise 2150 kNm civarındadır. Bu da yaklaşık 1100 kNm fazla moment anlamına gelmektedir.

3) M_{12} burulma momenti değerlerinin genişletilmiş zemine oturan plak için daha büyük olduğu grlmektedir. Genişletilmiş zemin için zmde burulma momentleri, genişletilmemiş zemin için zme nazaran daha büyük olduğu grlmektedir.

4) kme değerlerinin iki durumda da zemin açısı arttıkça arttığı grlmektedir.

5) M_{11} eğilme momenti değerlerinin, genişletilmiş zemin durumunda, zemin açısı $\theta=0^\circ$ 'den $\theta=60^\circ$ 'ye kadar arttığı; zemin açısı $\theta=90^\circ$ 'de azaldığı grlmektedir. Buna karşılık M_{11} eğilme momenti değerlerinin, genişletilmemiş zemin durumunda, zemin açısı $\theta=0^\circ$ 'den $\theta=90^\circ$ 'ye kadar arttığı grlmektedir.

6) M_{11} eğilme momenti değerlerine benzer şekilde; M_{22} eğilme momenti değerlerinin genişletilmiş zemin durumunda, zemin açısı $\theta=0^\circ$ 'den $\theta=60^\circ$ 'ye kadar arttığı; zemin açısı $\theta=90^\circ$ 'de azaldığı grlmektedir. Buna karşılık M_{22} eğilme momenti değerlerinin, genişletilmemiş zemin durumunda, zemin açısı $\theta=0^\circ$ 'den $\theta=90^\circ$ 'ye kadar arttığı grlmektedir.

7) M_{11} ve M_{22} eğilme momenti değerlerine benzer olarak; M_{12} burulma momenti değerlerinin genişletilmiş zemin durumunda, zemin açısı $\theta=0^\circ$ 'den $\theta=60^\circ$ 'ye kadar arttığı; zemin açısı $\theta=90^\circ$ 'de azaldığı görülmektedir. Buna karşılık M_{12} burulma momenti değerlerinin, genişletilmemiş zemin durumunda, zemin açısı $\theta=0^\circ$ 'den $\theta=60^\circ$ 'ye kadar arttığı zemin açısı $\theta=90^\circ$ 'de azaldığı görülmektedir.

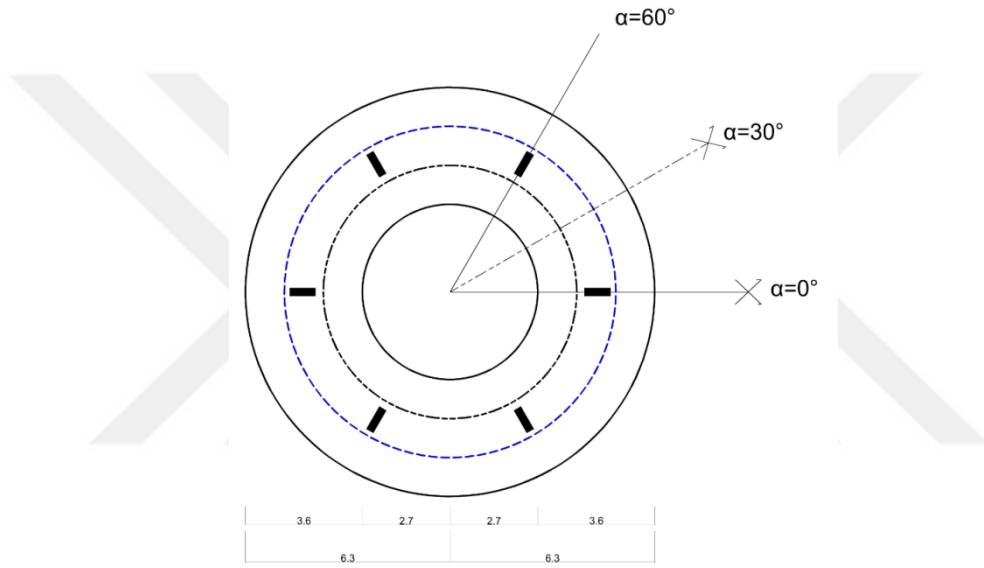
8) **Çizelge 3.9 : Zeminin genişletilmiş durumunda değişimler (%).**

Zeminin genişletilmiş durumunda değişimler (%)					
Zemin açısı (θ)	0°	30°	45°	60°	90°
Çökme (w)	501,69	578,59	691,20	845,75	1047,72
Eğilme momenti (M_{11})	28,89	51,40	85,27	104,11	56,73
Eğilme momenti (M_{22})	20,16	31,97	46,99	47,02	20,00
Burulma momenti (M_{12})	330,62	802,69	1318,43	1549,96	104,24

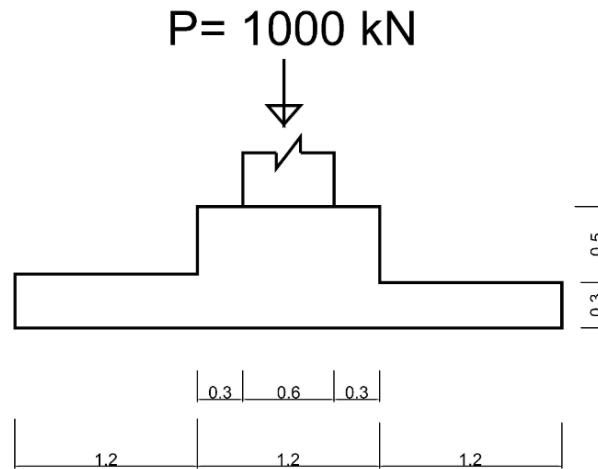
Çizelge 3.9'da görüldüğü üzere zemin genişletilince çökme değeri yaklaşık %730 mertebesinde artmaktadır. M_{11} eğilme momenti zemin genişletilince yaklaşık %65 artmaktadır. M_{22} eğilme momenti zemin genişletilince yaklaşık %33 artmaktadır. M_{12} burulma momenti Zemin açısı $\theta=0^\circ$ yaklaşık %100 oranında azalmış, buna karşın diğer zemin açılarında %940 mertebesinde artmıştır.

3.5 İki Parametrelili Genişletilmiş Zemine Oturan Daire Halkası Temel

Daha önce literatüre geçmiş bir rnek SAP2000 programında modellenmiş ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir [5]. Bahse konu çalışmada iki parametrelili genişletilmiş zemine oturan daire halkası temelin hesabı yapılmıştır. İki farklı tabaka kalınlığına sahip daire halkası temelin eksenini oluşturan 4,5 metre yarıçaplı daire çevresi üzerinde, eşit aralıklı 6 noktanın her birinden $P=1000$ kN düşey yük etkiğiği varsayılmıştır (şekil 3.61). Bu kısımlar 0,80 metre kalınlığındaki temeli oluştururken, halka temelin diğer kısımları 0,30 metre kalınlıklı olarak tanımlanmıştır (şekil 3.62).

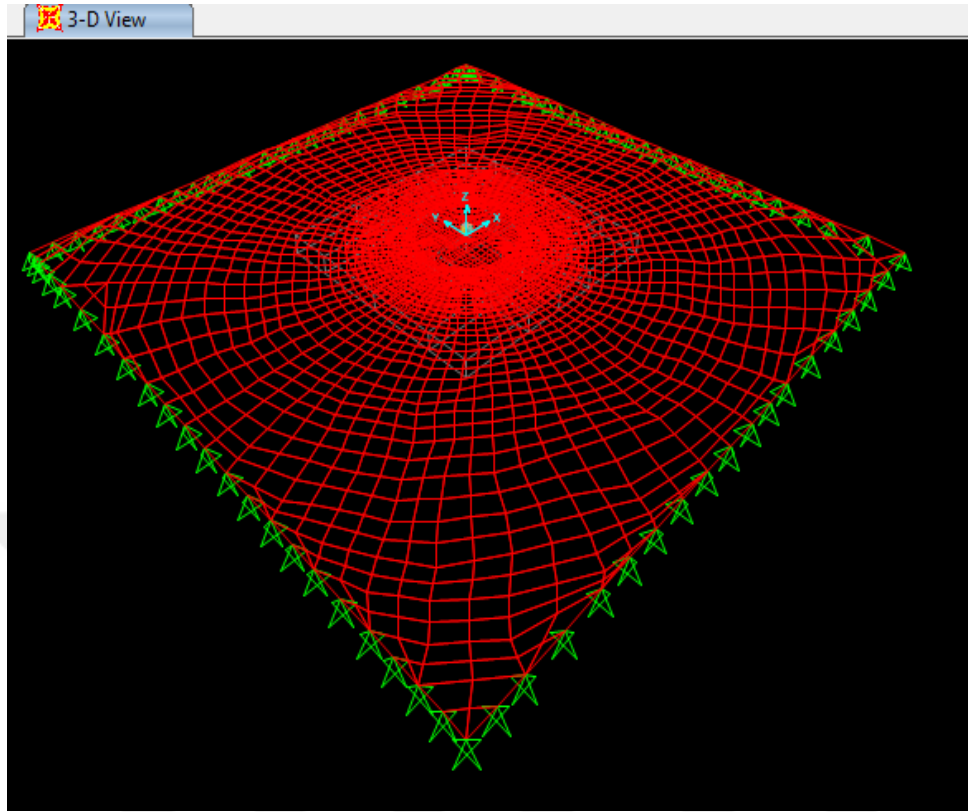


şekil 3.61 : Daire halkası temelin planı.



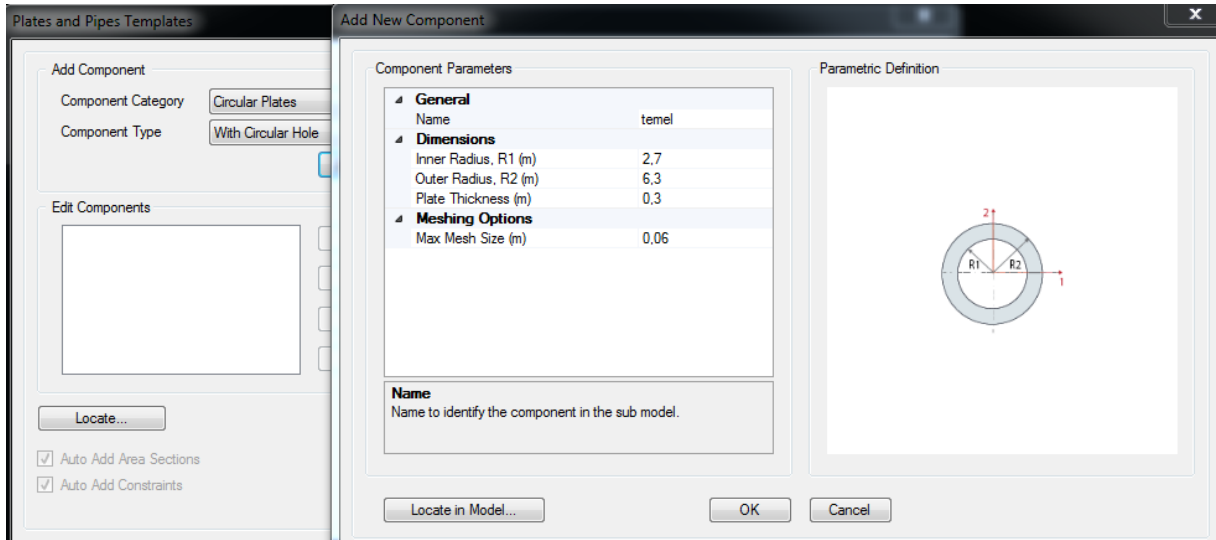
şekil 3.62 : Daire halkası temelin kesiti.

Modele ait üç boyutlu SAP2000 ekranı Şekil 3.63'te görülmektedir (Şekil 3.63).

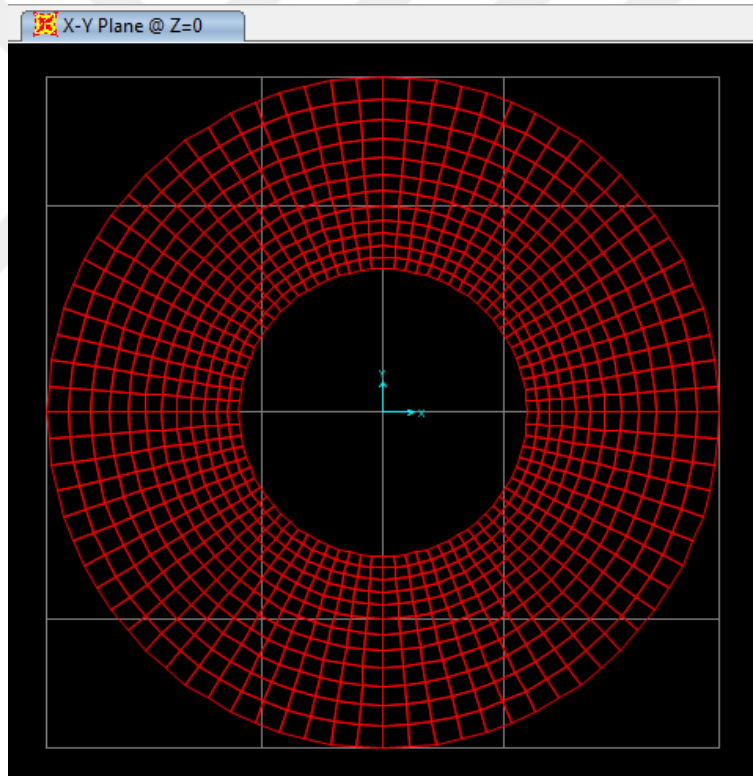


Şekil 3.63 : İki parametrelili genişletilmiş zemine oturan daire halkası temel sisteminin üç boyutlu görüntüsü.

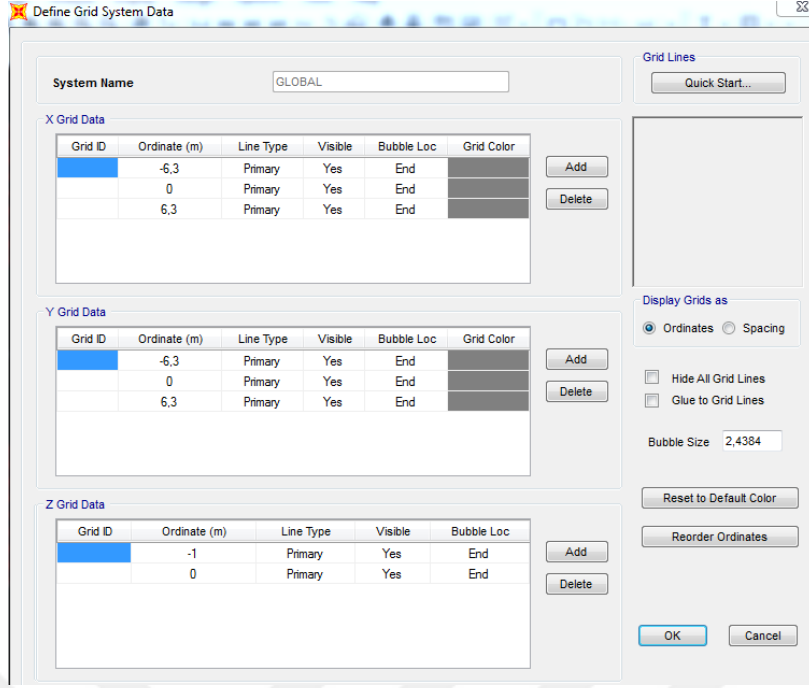
Kalınlığı 0,3 metre olan daire halkası temelin dış yarıçapı $R_2=6,3$ metre ve iç yarıçapı $R_1=2,7$ metre olarak belirlenmiş, $Z=0$ metre kotuna girilmiş ve daire halkası temelin aks sistemi gösterilmiştir (Şekil 3.64, Şekil 3.65, Şekil 3.66).



Şekil 3.64 : Daire halkası temel geometrisinin oluşturulması.

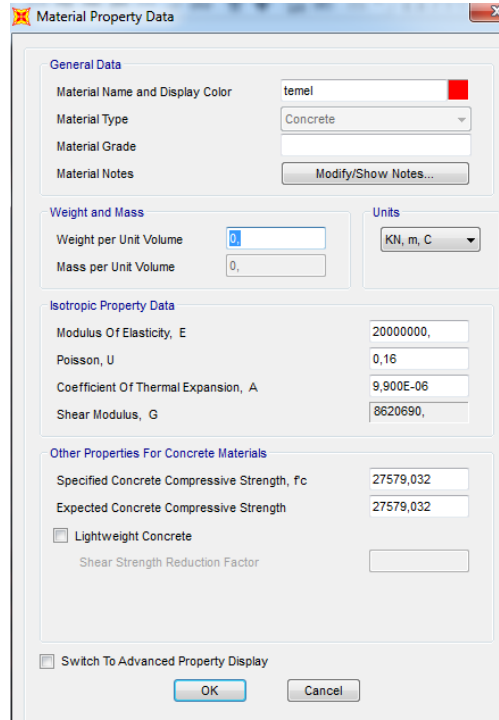


Şekil 3.65 : Daire halkası temel.



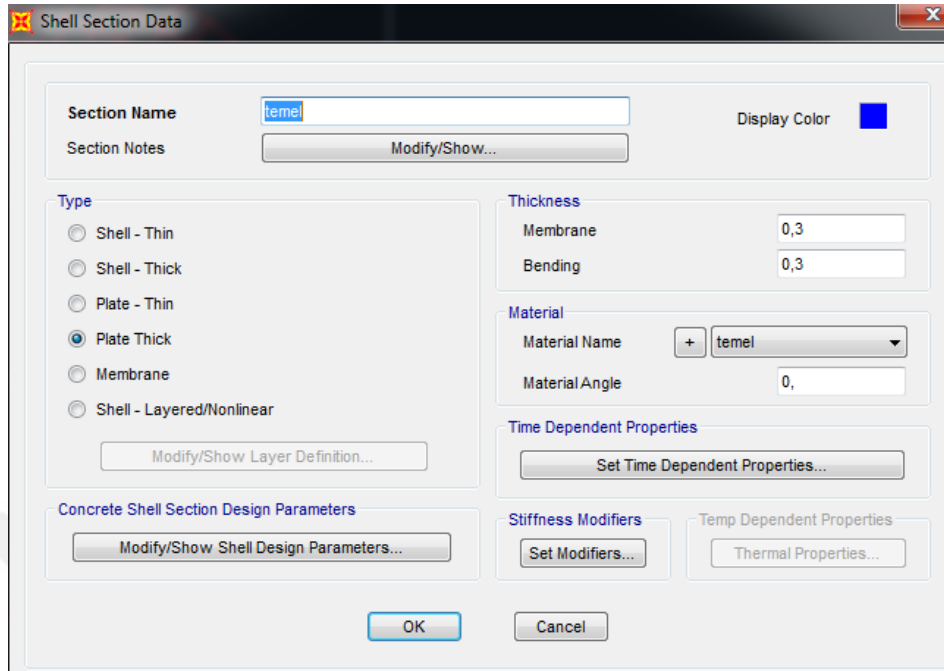
Şekil 3.66 : Daire halkası temelin aks sistemi.

Temel malzemesinde Poisson's oranı $\nu=0,16$ ve Elastisite modülü $E=2.10^7 \text{ kN/m}^2$ olarak alınmıştır (Şekil 3.67).



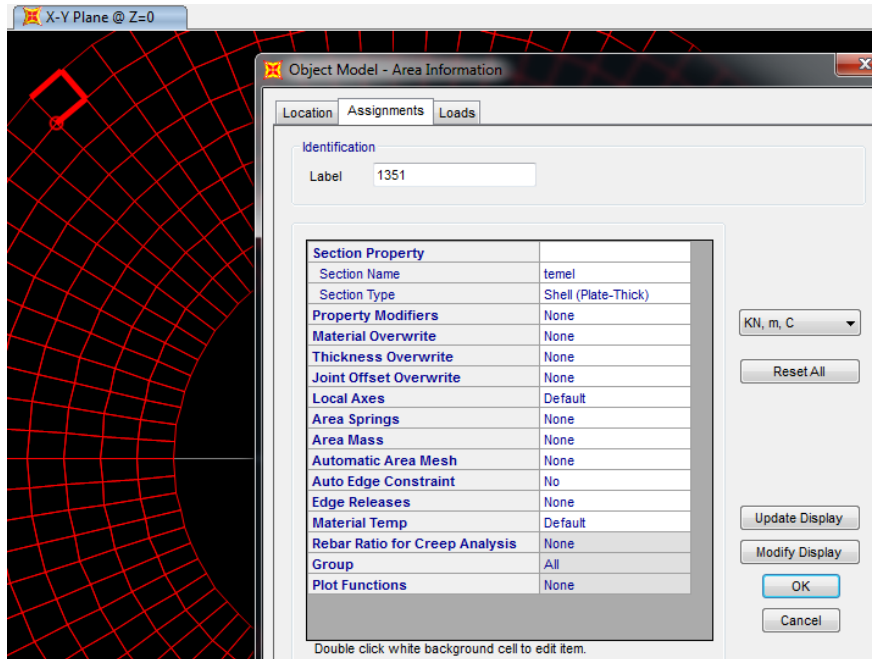
Şekil 3.67 : Temel malzemesi Poisson's oranı ve Elastisite modülü.

Temel kalınlığı 0,30 metre olarak SAP2000 programına girilmiştir (Şekil 3.68).



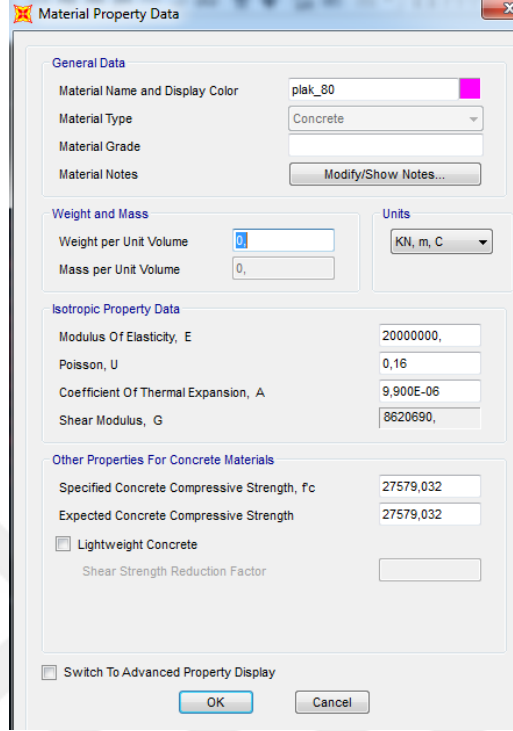
Şekil 3.68 : Temel kalınlığı.

Malzeme özellikleri ve kesiti tanımlanan temel eleman Z=0 metre kotuna atanmıştır (Şekil 3.69).



Şekil 3.69 : Z=0 metre kotuna temel eleman ataması.

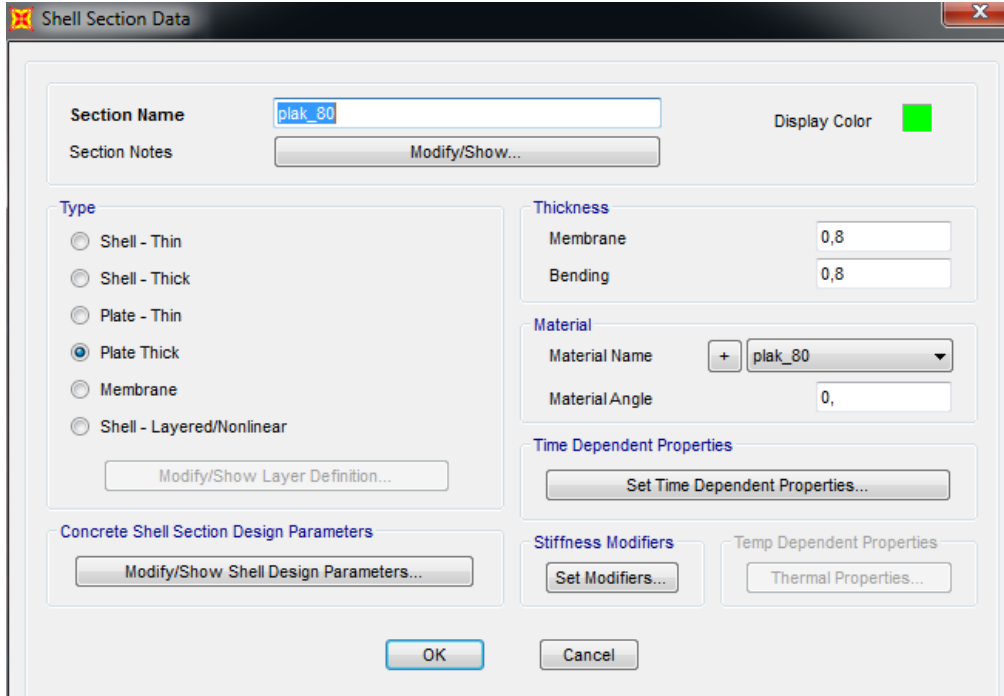
0,80 metrelik temel tabakasının Poisson's oranı $\nu=0,16$ ve Elastisite modülü $E=2.10^7 \text{ kN/m}^2$ olarak girilmiştir (Şekil 3.70, Şekil 3.71).



The image shows a 'Material Property Data' dialog box with the following fields and values:

Section	Field	Value
General Data	Material Name and Display Color	plak_80
	Material Type	Concrete
	Material Grade	
	Material Notes	Modify/Show Notes...
Weight and Mass	Weight per Unit Volume	0
	Mass per Unit Volume	0
Units	Units	KN, m, C
Isotropic Property Data	Modulus Of Elasticity, E	20000000
	Poisson, U	0,16
	Coefficient Of Thermal Expansion, A	9,900E-06
	Shear Modulus, G	8620690
Other Properties For Concrete Materials	Specified Concrete Compressive Strength, f _c	27579,032
	Expected Concrete Compressive Strength	27579,032
	<input type="checkbox"/> Lightweight Concrete	
	Shear Strength Reduction Factor	
<input type="checkbox"/> Switch To Advanced Property Display		

Şekil 3.70 : 0,80 metrelik temel tabakasının Poisson's oranı ve Elastisite modülü.

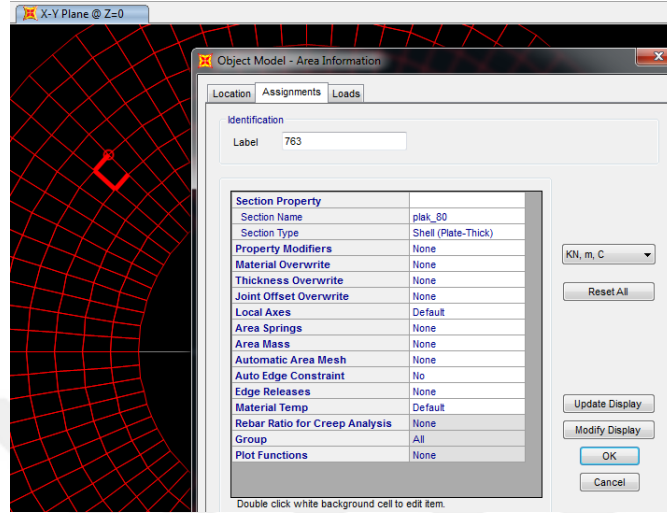


The image shows a 'Shell Section Data' dialog box with the following fields and values:

Section Name	Value
plak_80	
Section Notes	Modify/Show...
Display Color	Green
Type	<input checked="" type="radio"/> Plate Thick
Thickness	Membrane: 0,8; Bending: 0,8
Material	Material Name: plak_80; Material Angle: 0
Time Dependent Properties	Set Time Dependent Properties...
Concrete Shell Section Design Parameters	Modify/Show Shell Design Parameters...
Stiffness Modifiers	Set Modifiers...
Temp Dependent Properties	Thermal Properties...

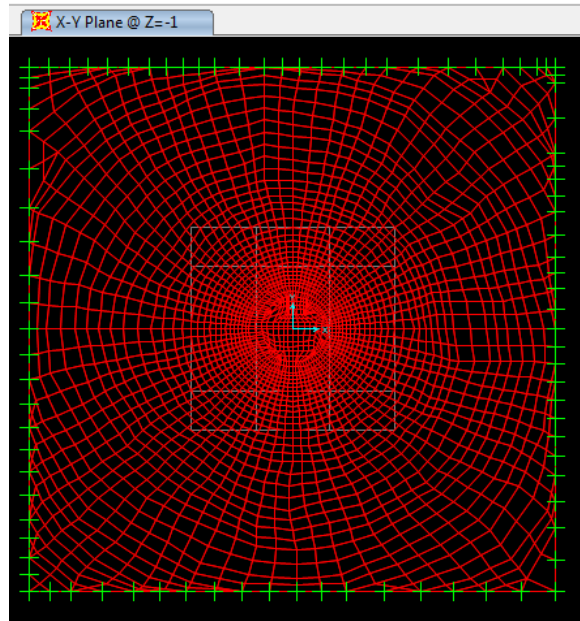
Şekil 3.71 : 0,80 metrelik temel tabakası.

Halka temelin eksenini oluşturan 4,5 metre yarıçaplı daire çevresi üzerine gelecek olan $P=1000\text{ kN}$ düşey yükün etkiyeceği kısımlara 0,80 metrelik temel elemanı atanmıştır (Şekil 3.72).



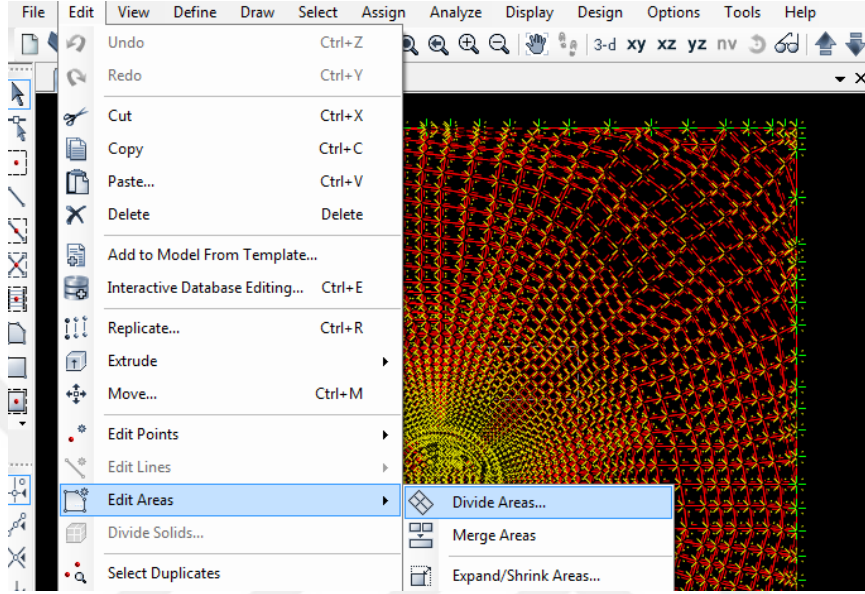
Şekil 3.72 : Z=0 metre kotuna 0,80 metrelik temel elemanı ataması.

Oluşturulan daire halka temelin 1 metre altına genişletilmiş zemin eleman tanımlanmıştır. Tanımlanan genişletilmiş zemin eleman Şekil 3.73'te görülmektedir (Şekil 3.73).



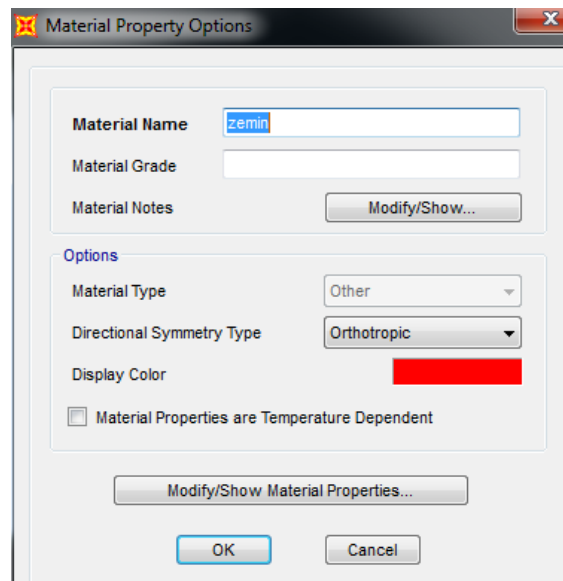
Şekil 3.73 : Z= -1 metre kotundaki genişletilmiş zemin eleman.

Plak altındaki zeminin genişletilmiş plak dışında da devam etmesi sağlanmıştır. Plak dışında devam eden zemin eleman ve daire halkası temelin iç kısmı, SAP2000 programının *Edit Areas*, *Divide Areas* özelliğinden faydalanılarak ya da elle sonlu elemanlara ayrılmıştır (Şekil 3.74).



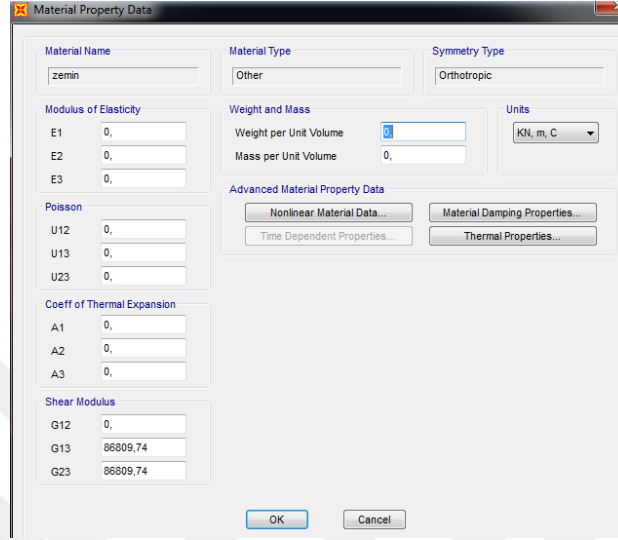
Şekil 3.74 : Meshlere ayırma.

Genişletilmiş zemin eleman oluşturulurken ortotropik malzeme özelliği seçilmiştir (Şekil 3.75).



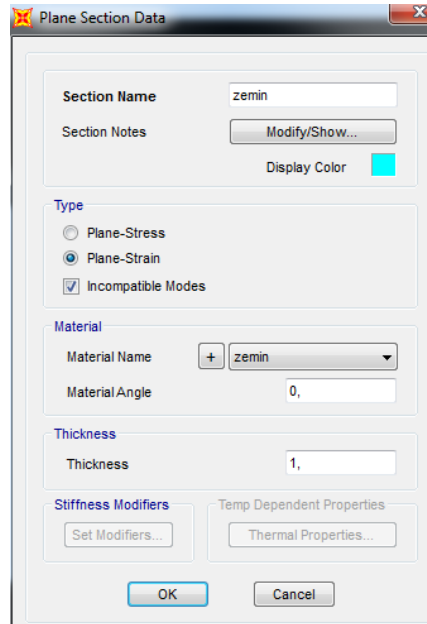
Şekil 3.75 : Ortotropik malzeme özelliği.

Zemin kayma parametrelerinin değerleri belirlenirken Örnek 5.4, Tablo 5.12'de sunulan Zemin Yüzey Parametresi ve Karakteristiklerinde Poisson's oranı $\nu=0,25$ için verilen $C_T=43404,87 \text{ kN/m}$ değerinin iki katı olan $86809,74 \text{ kN/m}$ olarak SAP2000 programına girilmiştir (Şekil 3.76) [5].



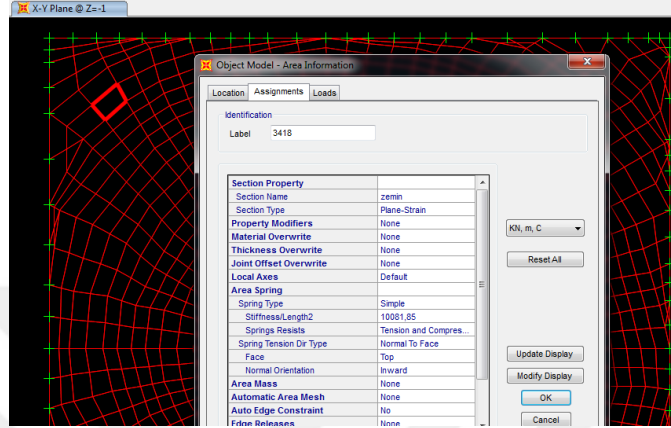
Şekil 3.76 : Zemin kayma parametrelerinin girilmesi.

Zemin eleman tanımlanırken SAP2000 programında Plain-Strain tipi seçilmiştir (Şekil 3.77).



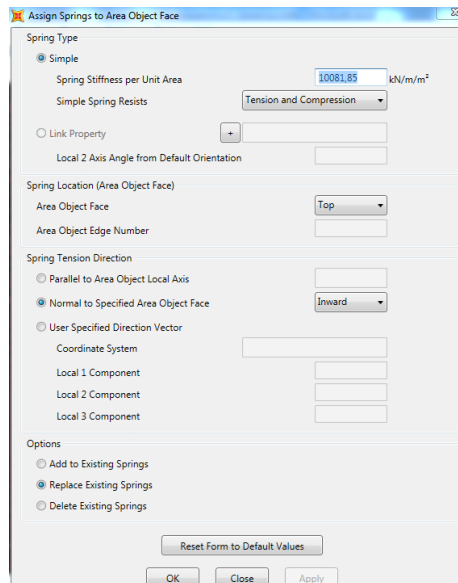
Şekil 3.77 : Plain-Strain eleman.

Tanımlanan zemin eleman $Z=-1$ metre kotuna atanmıştır. Genişletilmiş zemin eleman oluştururken, üçgen ve dörtgen geometrili sonlu elemanlar oluşturularak genişletilmiş zemin elde edilmiştir. Halka temelin orta noktasından itibaren 16,3 metre yani halka temelin en dış noktalarından onar metre dışarı çıkılarak 16,3 m x 16,3 m'lik genişletilmiş zemin eleman oluşturulmuştur (Şekil 3.78).

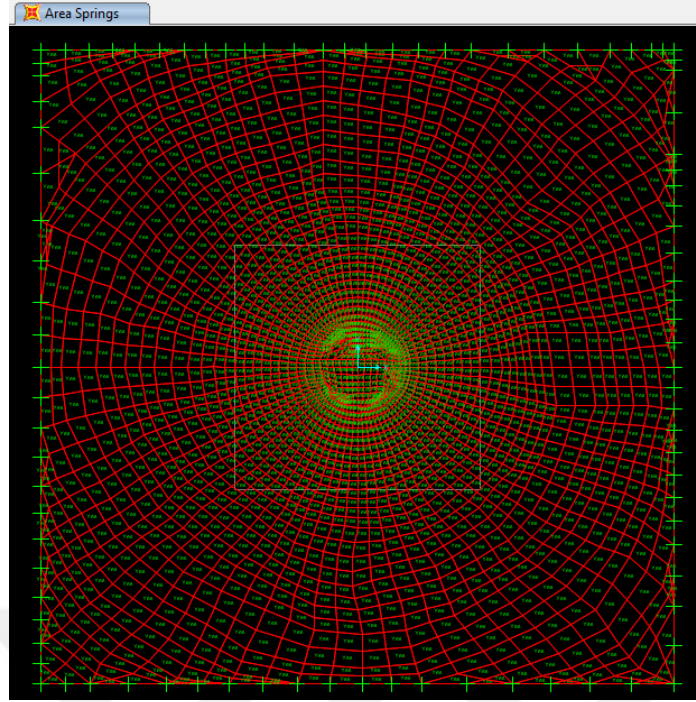


Şekil 3.78 : $Z=-1$ m kotunda tanımlı genişletilmiş zemin eleman.

Oluşturulan zemin elemanın altına yaylar atanmıştır. Yay katsayısı değeri belirlenirken referans aldığımız örnek, Tablo 5.12'de sunulan Zemin Yüzey Parametresi ve Karakteristiklerinde Poisson's oranı $\nu=0,25$ için verilen $C=10081,85 \text{ kN/m}^3$ değeri SAP2000 programına girilmiştir (Şekil 3.79, Şekil 3.80) [5].

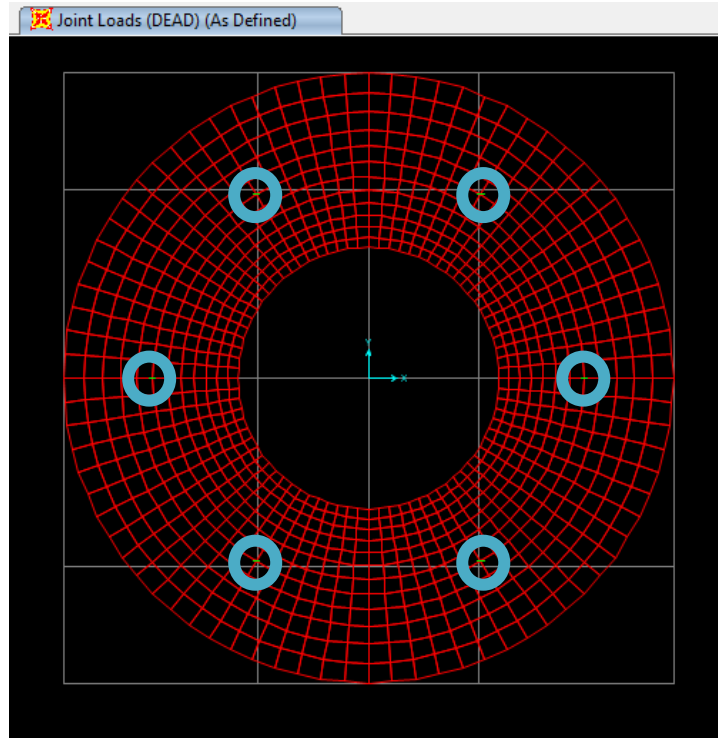


Şekil 3.79 : Genişletilmiş zemin yay katsayısı ataması.

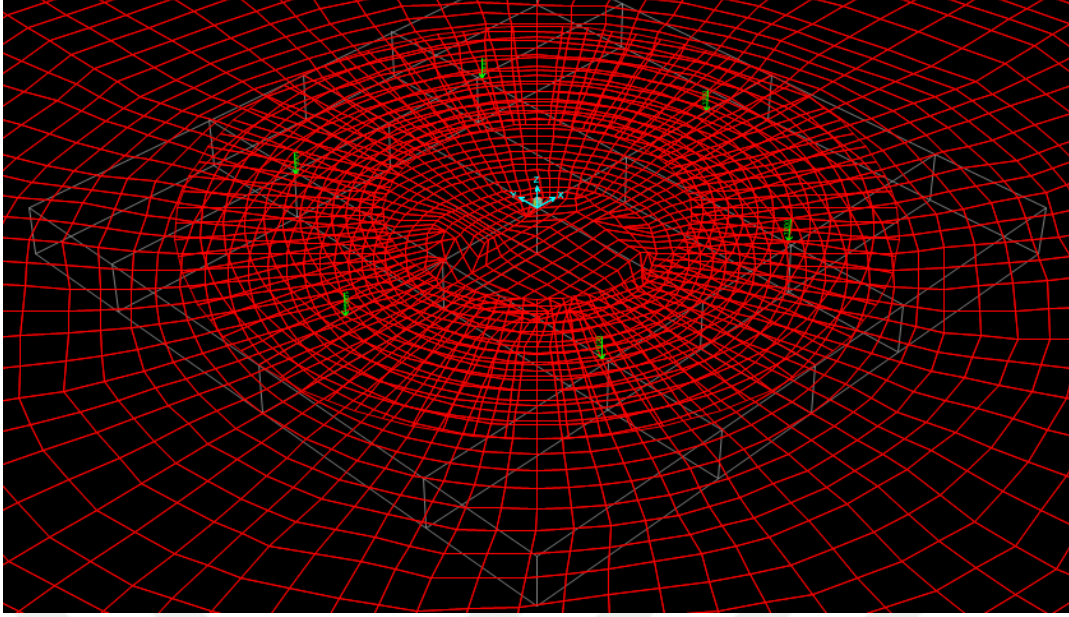


Şekil 3.80 : Z=-1 m kotu genişletilmiş zemin yay katsayısı ataması.

Daire halkası temelin eksenini oluşturan 4,5 metre yarıçaplı daire çevresi üzerinde eşit aralıklı olacak şekilde $P=1000 \text{ kN}$ düşey yük etkittirilmiştir. (Şekil 3.81, Şekil 3.82).

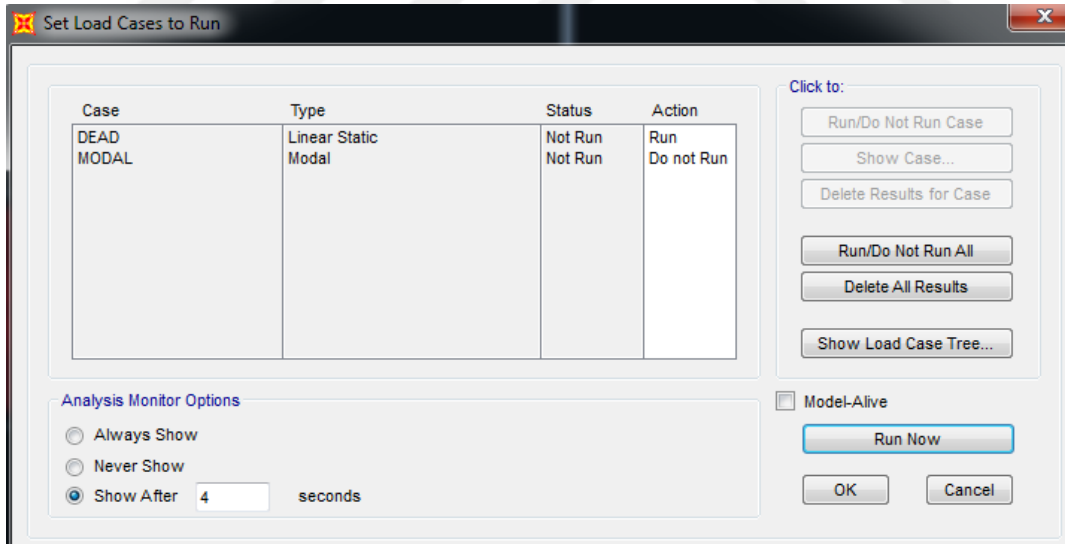


Şekil 3.81 : Daire halkası temele düşey tekil yük uygulanması.



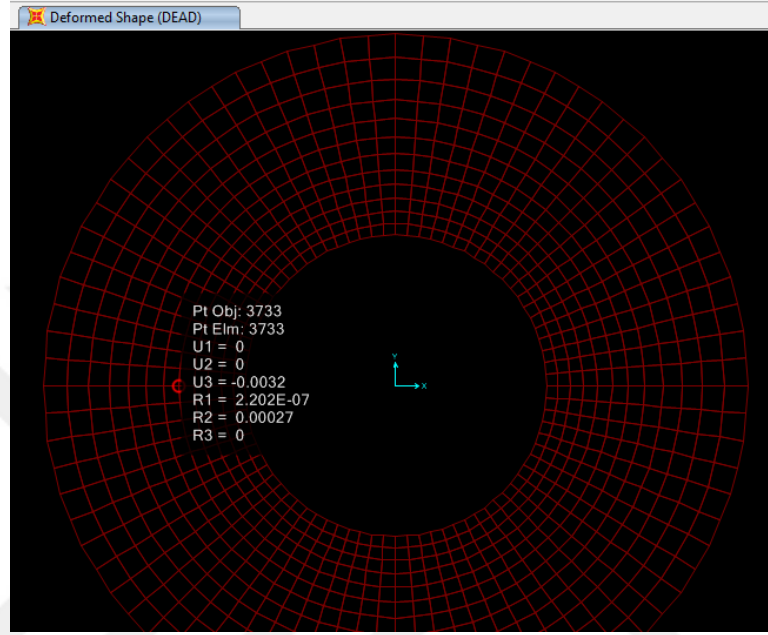
Şekil 3.82 : Daire halkası temele düşey tekil yük uygulanması.

İki parametrelili genişletilmiş zemine oturan dairesel temelin statik analizi SAP2000 programı yardımıyla yapılmıştır (Şekil 3.83).

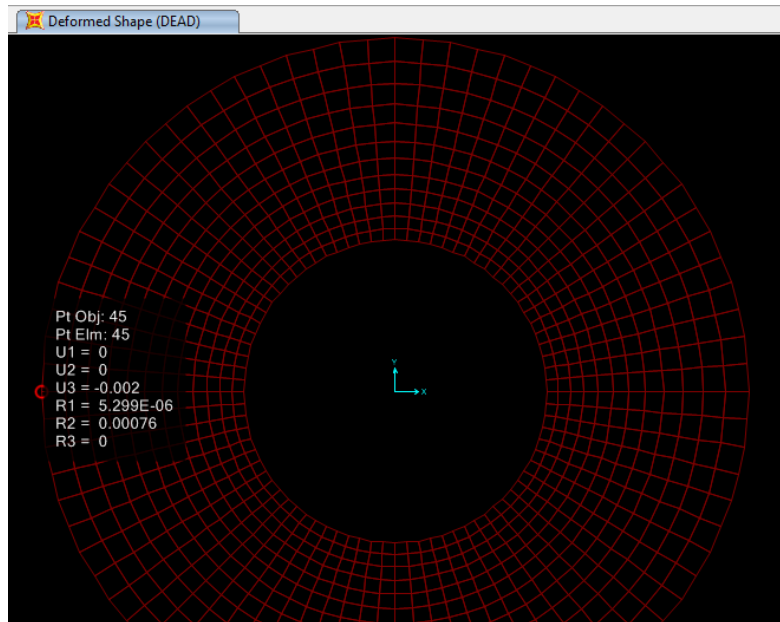


Şekil 3.83 : SAP2000 analiz ekranı.

Elde edilen zemin parametreleri kullanılarak, genişletilmiş zemine oturan dairesel halka temel sistemin analizi yapılmış, Poisson's oranı $\nu=0,25$ hali için $\alpha=0$ aksı boyunca temel çökmesi ve zemin çökmesi ile M_{11} , M_{22} ve M_{12} momentlerinin değişimi gösterilmiştir. Bu örnek doğrulama örneği olarak çözülmüş ve sonuçlar doğrulanmıştır [5].



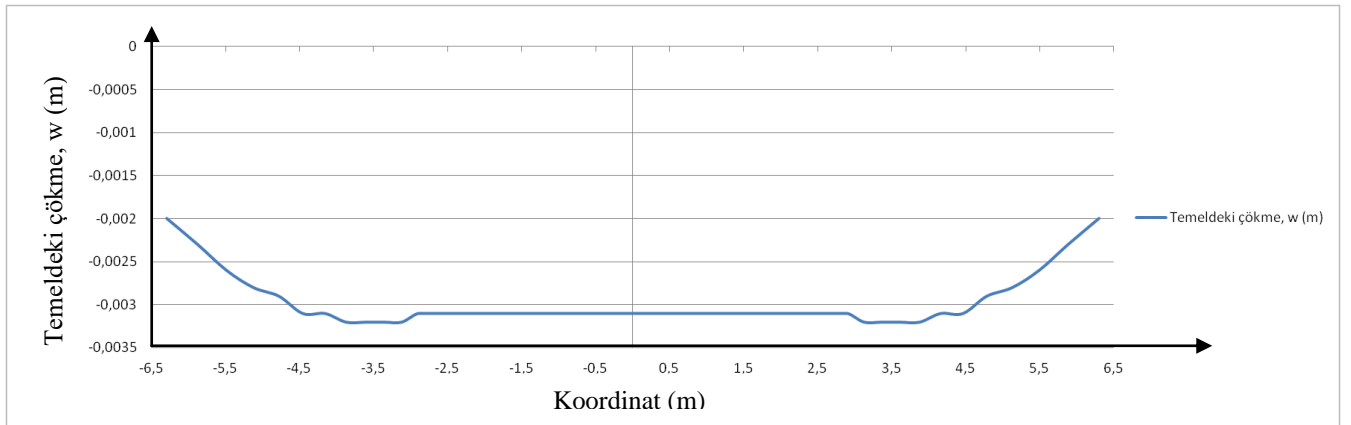
Şekil 3.84 : $\alpha=0$ aksında daire halkası temel maksimum çökme.



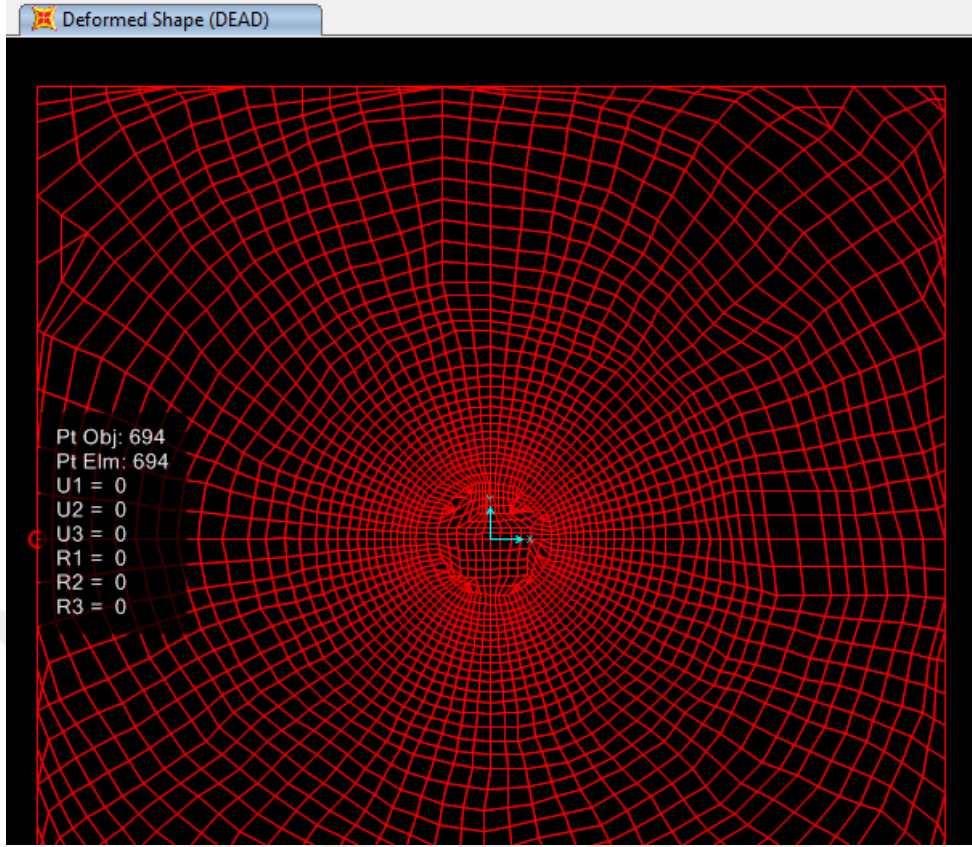
Şekil 3.85 : $\alpha=0$ aksında daire halkası temel minimum çökme.

Çizelge 3.10 : Daire halkası temeldeki çökmeler (m).

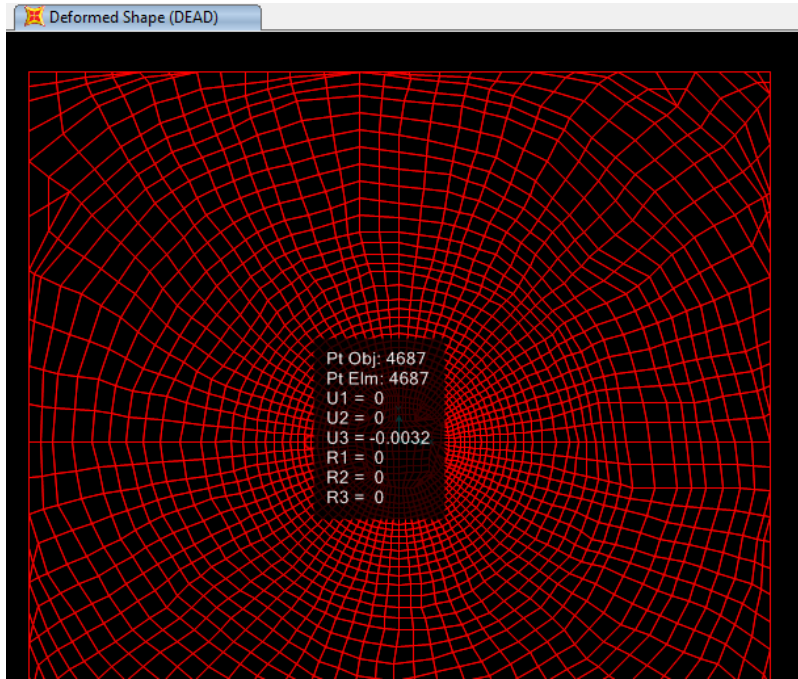
Temeldeki çökme, w (m)	Koordinat (m)
-0,002	-6,3
-0,0023	-5,884
-0,0026	-5,493
-0,0028	-5,127
-0,0029	-4,783
-0,0031	-4,461
-0,0031	-4,158
-0,0032	-3,875
-0,0032	-3,609
-0,0032	-3,359
-0,0032	-3,125
-0,0031	-2,906
-0,0031	-2,7
-0,0031	2,7
-0,0031	2,906
-0,0032	3,125
-0,0032	3,359
-0,0032	3,609
-0,0032	3,875
-0,0031	4,158
-0,0031	4,461
-0,0029	4,783
-0,0028	5,127
-0,0026	5,493
-0,0023	5,884
-0,002	6,3



Şekil 3.86 : Daire halkası temelde çökmeler.



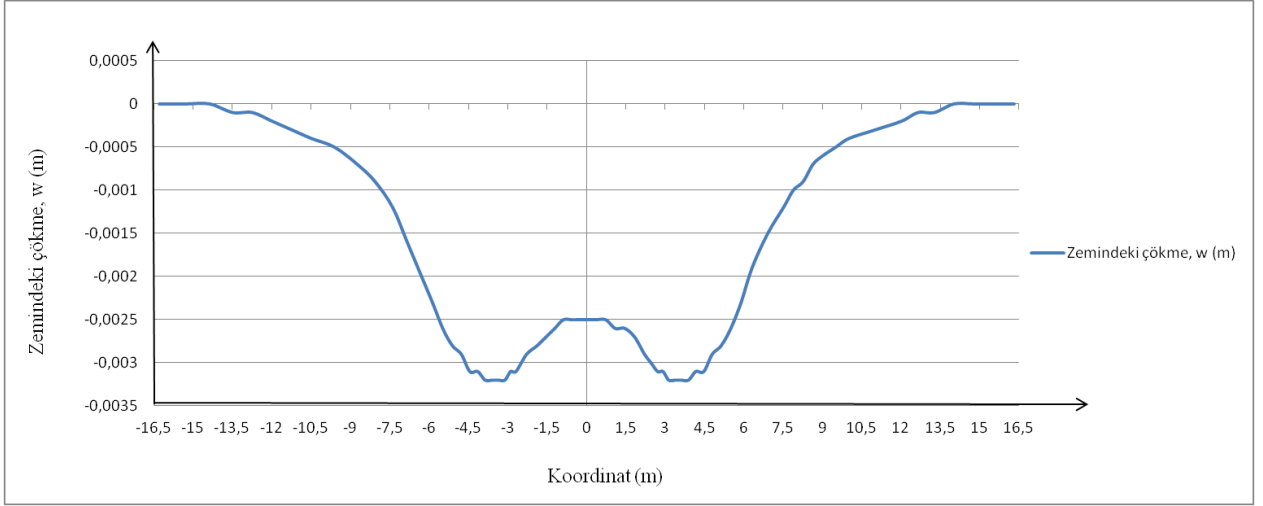
Şekil 3.87 : Genişletilmiş zeminin kenarındaki çökme.



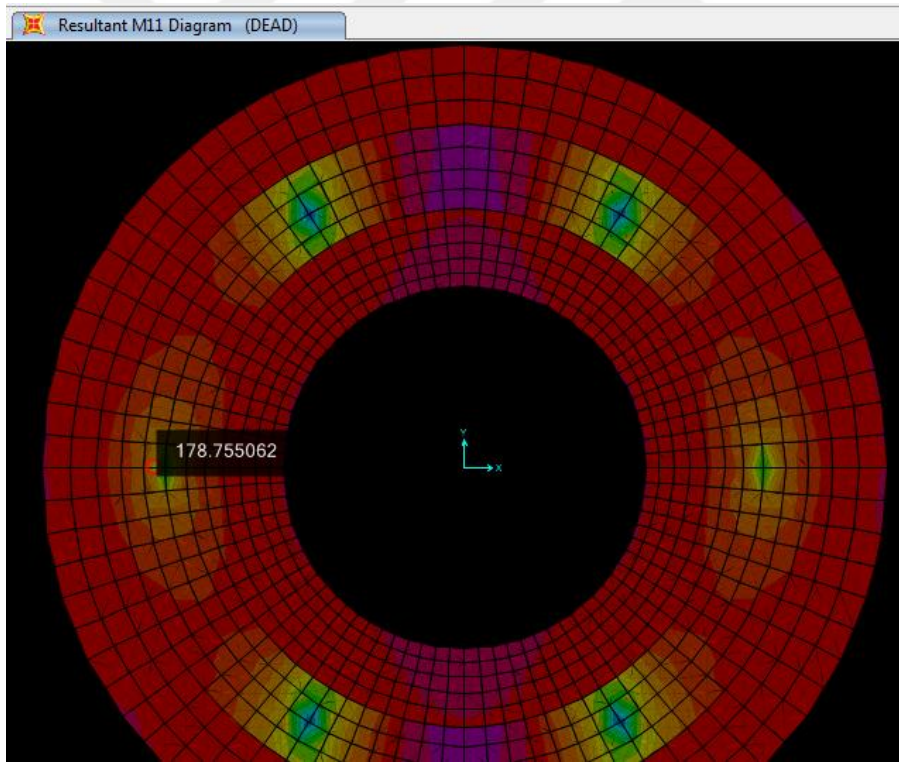
Şekil 3.88 : Genişletilmiş zeminin maksimum çökmesi.

Çizelge 3.11 : Genişletilmiş zeminde çökmeler (m).

Zemindeki çökme, w (m)	Koordinat (m)	Zemindeki çökme, w (m)	Koordinat (m)
0	-16,3	-0,0025	0,36
0	-15,775	-0,0025	0,72
0	-15,25	-0,0026	1,083
0	-14,375	-0,0026	1,446
-0,0001	-13,5	-0,0027	1,824
-0,0001	-12,75	-0,0029	2,201
-0,0002	-12	-0,003	2,451
-0,0003	-11,25	-0,0031	2,7
-0,0004	-10,5	-0,0031	2,906
-0,0005	-9,625	-0,0032	3,125
-0,0007	-8,75	-0,0032	3,359
-0,0009	-8,074	-0,0032	3,609
-0,0012	-7,398	-0,0032	3,875
-0,0016	-6,849	-0,0031	4,158
-0,002	-6,3	-0,0031	4,461
-0,0023	-5,884	-0,0029	4,783
-0,0026	-5,493	-0,0028	5,127
-0,0028	-5,127	-0,0026	5,493
-0,0029	-4,783	-0,0023	5,884
-0,0031	-4,461	-0,0019	6,3
-0,0031	-4,158	-0,0015	6,9
-0,0032	-3,875	-0,0012	7,5
-0,0032	-3,609	-0,001	7,875
-0,0032	-3,359	-0,0009	8,25
-0,0032	-3,125	-0,0007	8,625
-0,0031	-2,906	-0,0006	9
-0,0031	-2,7	-0,0005	9,5
-0,0029	-2,296	-0,0004	10
-0,0028	-1,892	-0,0003	11
-0,0027	-1,556	-0,0002	12
-0,0026	-1,219	-0,0001	12,625
-0,0025	-0,893	-0,0001	13,25
-0,0025	-0,567	0	14
-0,0025	-0,283	0	14,75
-0,0025	0	0	15,525
-0,0025	0,36	0	16,3



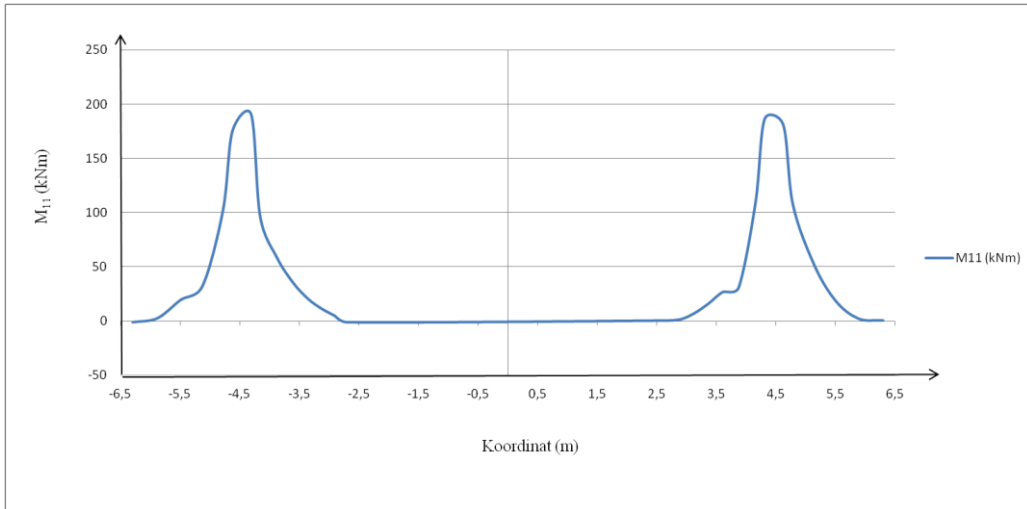
Şekil 3.89 : Genişletilmiş zeminde çökmeler.



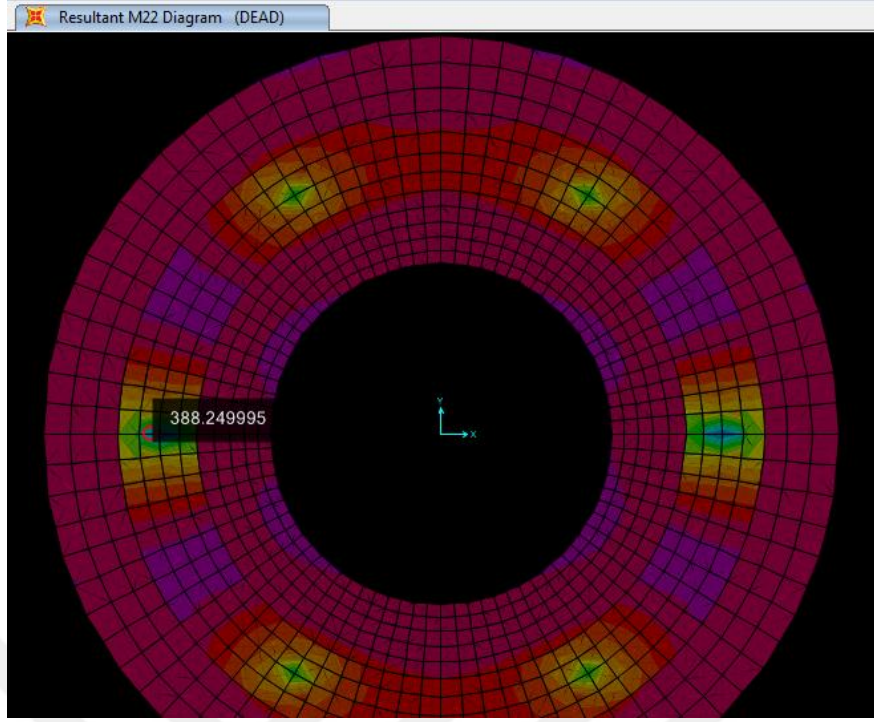
Şekil 3.90 : $\alpha=0$ aksında daire halkası temel maksimum M_{11} momenti.

Çizelge 3.12 : $\alpha=0$ aksında daire halkası temel M_{11} momenti değerleri.

M_{11} (kNm)	Koordinat (m)
-1,098	-6,3
2,589	-5,884
19,539	-5,493
32,329	-5,127
102,383	-4,783
176,036	-4,622
190,809	-4,31
96,194	-4,158
58,429	-3,875
35,623	-3,609
20,632	-3,359
11,329	-3,125
4,833	-2,906
-1,144	-2,7
0,469	2,7
1,622	2,906
6,984	3,125
15,699	3,359
26,827	3,609
30,951	3,875
109,602	4,158
186,512	4,31
181,545	4,622
108,169	4,783
53,783	5,127
19,279	5,493
2,241	5,884
0,528	6,3



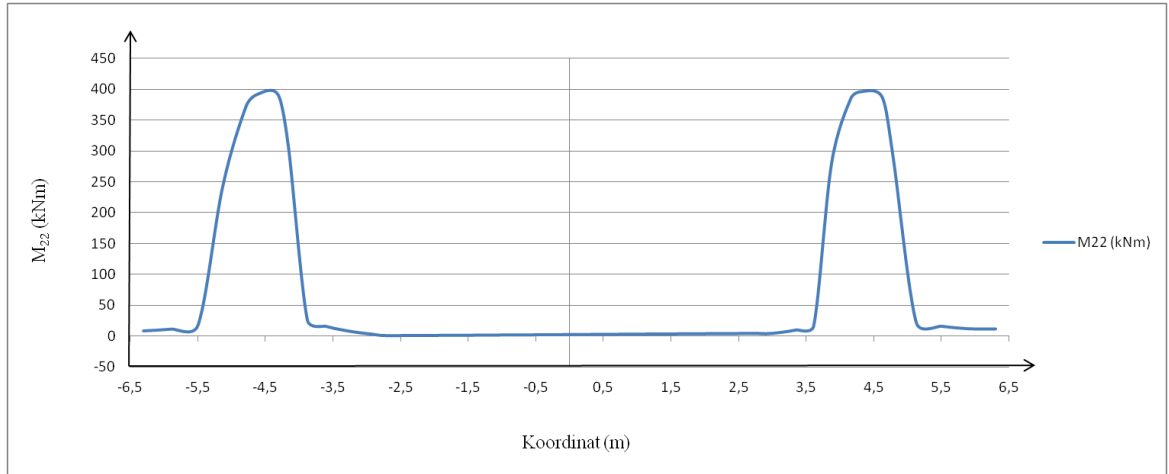
Şekil 3.91 : $\alpha=0$ aksında daire halkası temel M_{11} moment grafiği.



Şekil 3.92 : $\alpha=0$ aksında daire halkası temel maksimum M_{22} momenti.

Çizelge 3.13 : $\alpha=0$ aksında daire halkası temel M_{22} momenti değerleri.

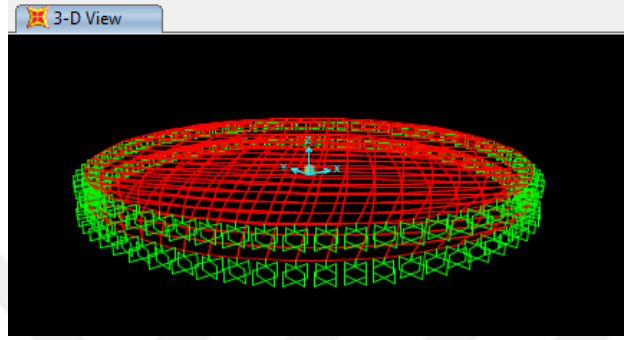
M_{22} (kNm)	Koordinat (m)
8,851	-6,3
11,817	-5,884
17,925	-5,493
242,471	-5,127
371,633	-4,783
390,995	-4,622
390,815	-4,31
307,785	-4,158
26,173	-3,875
16,422	-3,609
10,401	-3,359
6,234	-3,125
3,455	-2,906
1,209	-2,7
4,831	2,7
4,294	2,906
6,437	3,125
10,467	3,359
16,745	3,609
280,459	3,875
384,263	4,158
395,585	4,31
386,909	4,622
290,503	4,783
22,069	5,127
16,465	5,493
12,395	5,884
12,102	6,3



Şekil 3.93 : $\alpha=0$ aksında daire halkası temel M_{22} moment grafiği.

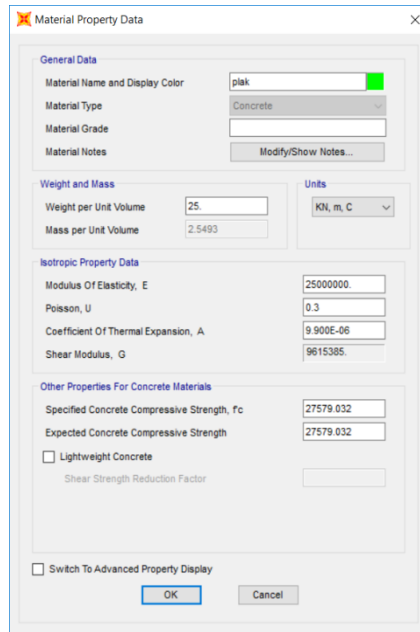
3.6 İki Parametrelili Zemine Oturan Dairesel Plağın Genişletilmemiş Zemine Oturması Hali İle Genişletilmiş Zemine Oturması Halinde Spektral Analizi

Örnek 3.1 İki Parametrelili Zemine Oturan Dairesel Plak ile, Örnek 3.2 İki Parametrelili Genişletilmiş Zemine Oturan Dairesel Plak için spektral analiz yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır (Şekil 3.94).



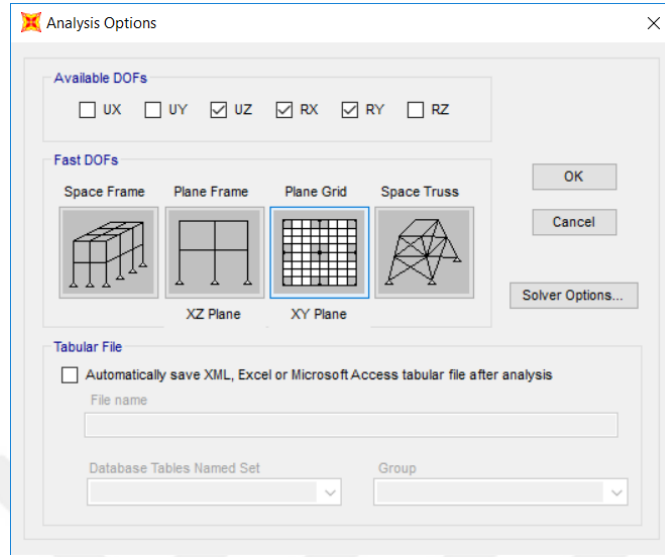
Şekil 3.94 : Örnek 3.1 iki parametrelili zemine oturan dairesele plak.

Spektral analiz yapılabilmesi için SAP2000 programının *Define* menüsünden *Material* kısmına gelinir ve plağın sıfır olan *Weight per Unit Volume* özelliği 25 kN/m^3 olarak değiştirilir (Şekil 3.95). Hesaplarda zemin kütlesi ihmal edilmiştir.

A screenshot of the 'Material Property Data' dialog box in SAP2000. The dialog is titled 'Material Property Data' and has a close button (X) in the top right corner. It is divided into several sections: 'General Data' with fields for 'Material Name and Display Color' (plak), 'Material Type' (Concrete), 'Material Grade', and 'Material Notes'; 'Weight and Mass' with 'Weight per Unit Volume' set to 25 and 'Mass per Unit Volume' set to 2.5493, and a 'Units' dropdown set to 'KN, m, C'; 'Isotropic Property Data' with 'Modulus Of Elasticity, E' set to 25000000, 'Poisson, U' set to 0.3, 'Coefficient Of Thermal Expansion, A' set to 9.900E-06, and 'Shear Modulus, G' set to 9615385; and 'Other Properties For Concrete Materials' with 'Specified Concrete Compressive Strength, f_c' and 'Expected Concrete Compressive Strength' both set to 27579.032, and a checkbox for 'Lightweight Concrete' which is unchecked. At the bottom, there is a checkbox for 'Switch To Advanced Property Display' which is unchecked, and 'OK' and 'Cancel' buttons.

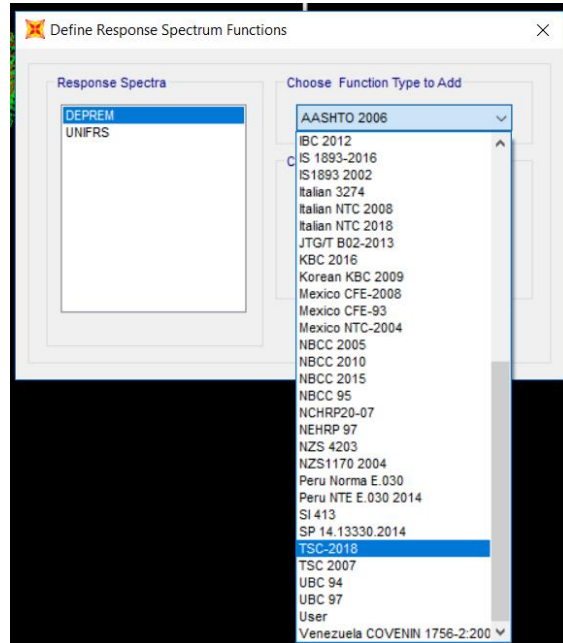
Şekil 3.95 : Weight per unit volume (25 kN/m^3).

Analysis Options bölümünden Plane Grid - XY Plane seçilir (Şekil 3.96). Spektral analizin XY düzleminde yaptırılması sağlanır.



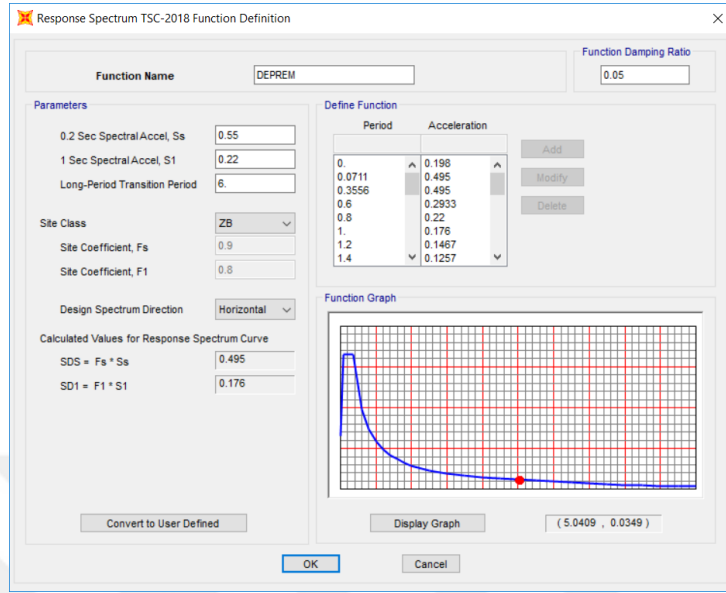
Şekil 3.96 : Plane grid - XY plane.

Define menüsünün *Function* bölümünden Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY-2018) TSC-2018 *Function Type* olarak seçilir ve DEPREM olarak isimlendirilir (Şekil 3.97).



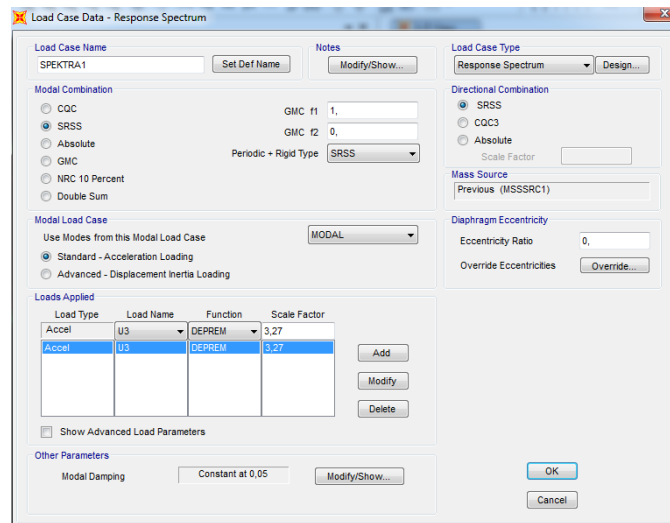
Şekil 3.97 : TSC-2018 function type.

Response Spectrum TSC-2018 Function Definition Şekil 3.98'deki haliyle karşımıza çıkar (Şekil 3.98).



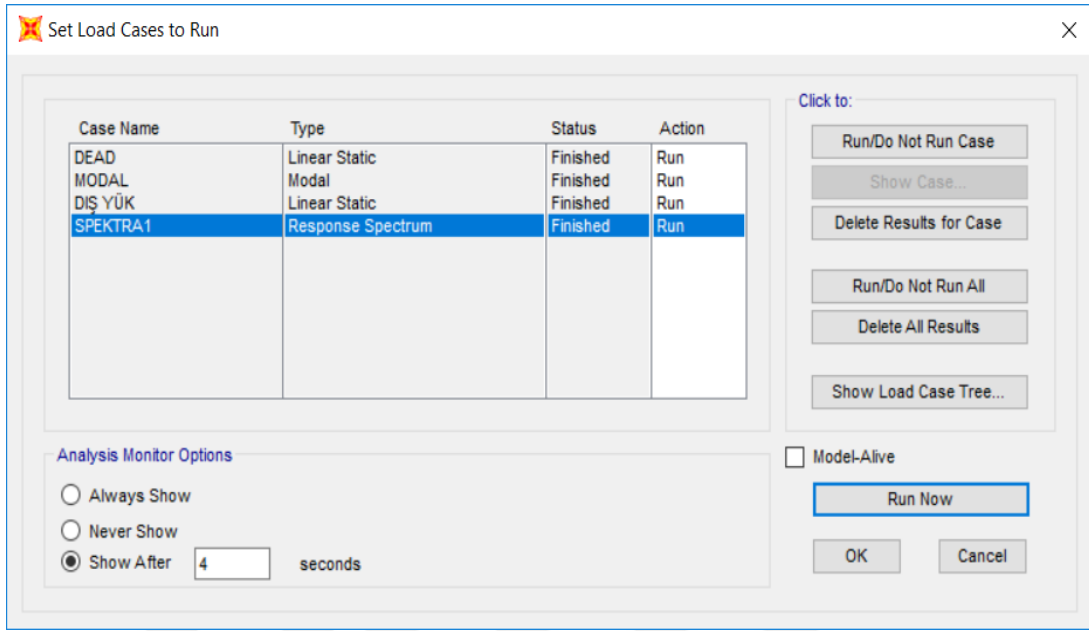
Şekil 3.98 : Response spectrum TSC-2018 function definition.

Define, Load Cases, Add New Load Case, Load Case Name:SPEKTRA1, Load Case Type, Response Spectrum, Modal Combination : SRSS, Load Name : U3, Function : DEPREM, Scale Factor : 3,27 adımları takip edilir (Şekil 3.99). Scale Factor $9,81/3=3,27$ yatay depremin 1/3'ünün düşey deprem olarak hesaplarda kullanılmasından ileri gelmektedir.



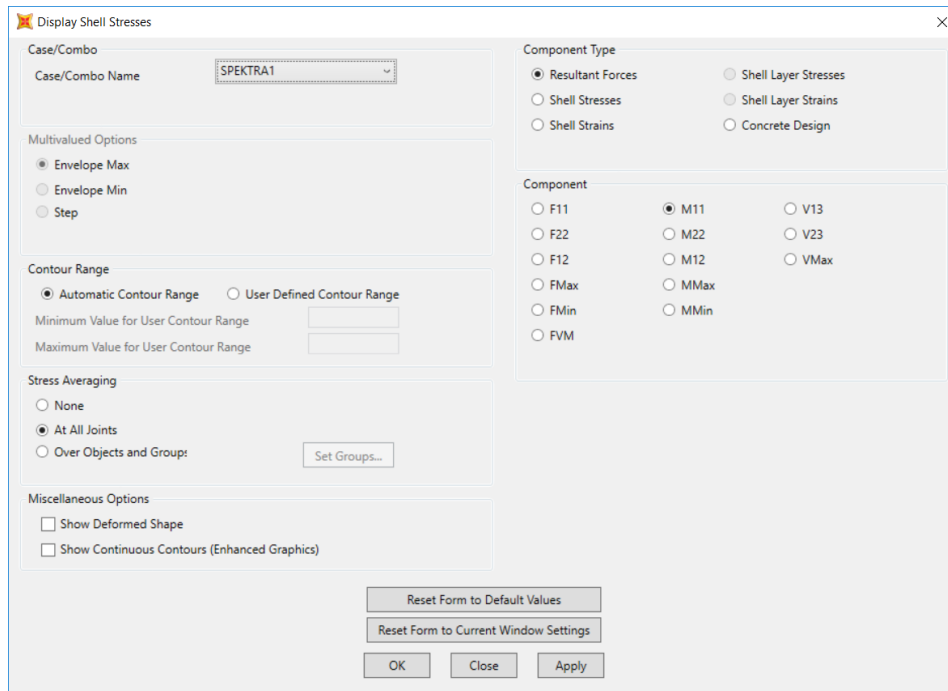
Şekil 3.99 : Load case data - Response spectrum.

Response Spectrum SPEKTRA1 analiz ettirilir (Şekil 3.100).



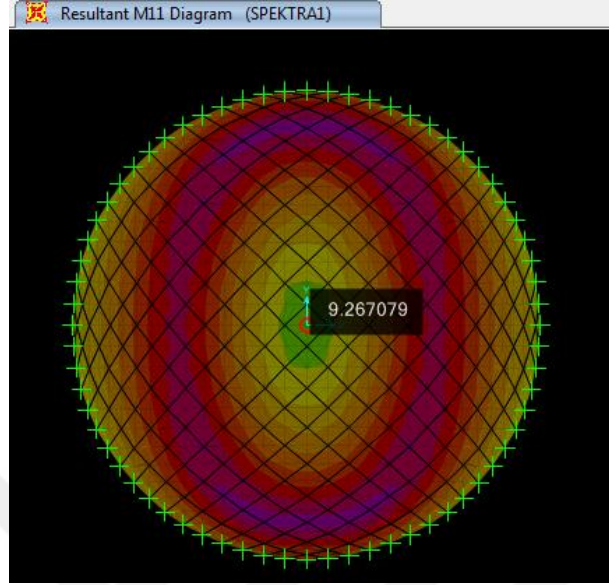
Şekil 3.100 : Response spectrum SPEKTRA1 analizi.

Case/Combo Name:SPEKTRA1 durumunda M_{11} ve M_{22} momentleri okunur (Şekil 3.101).



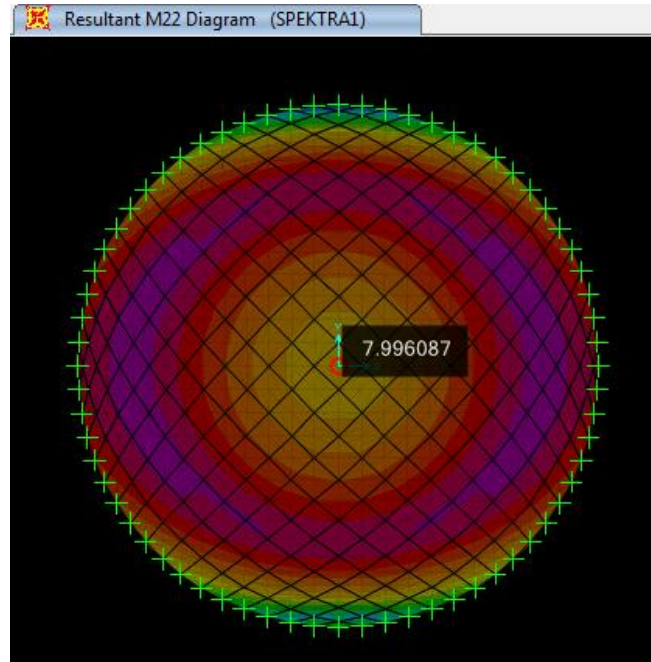
Şekil 3.101 : Case/Combo Name:SPEKTRA1 durumunda M_{11} ve M_{22} momentleri.

Genişletilmemiş zemin ve SPEKTRA1 durumunda spektral analiz sonucu $M_{11}=9,267$ kNm olarak ortaya çıkmıştır (şekil 3.102).



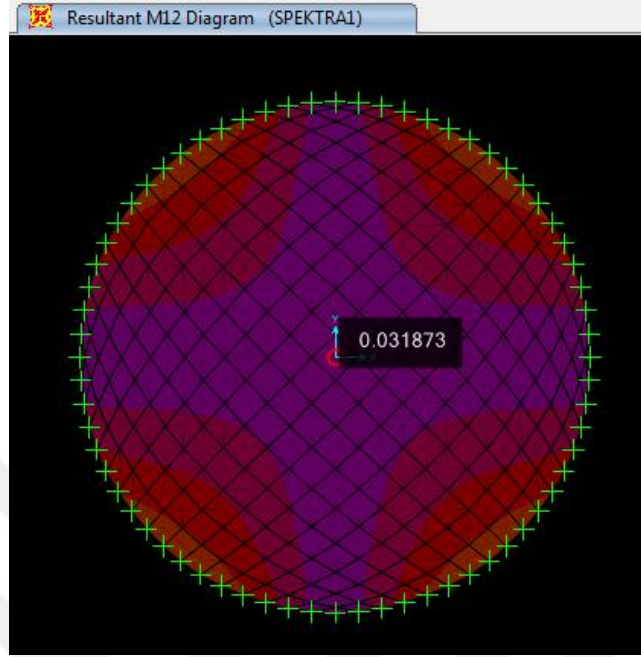
şekil 3.102 : Genişletilmemiş zemin durumu spektral analiz sonucu $M_{11}=9,267$ kNm.

Genişletilmemiş zemin ve SPEKTRA1 durumunda spektral analiz sonucu $M_{22}=7,996$ kNm olarak ortaya çıkmıştır (şekil 3.103).



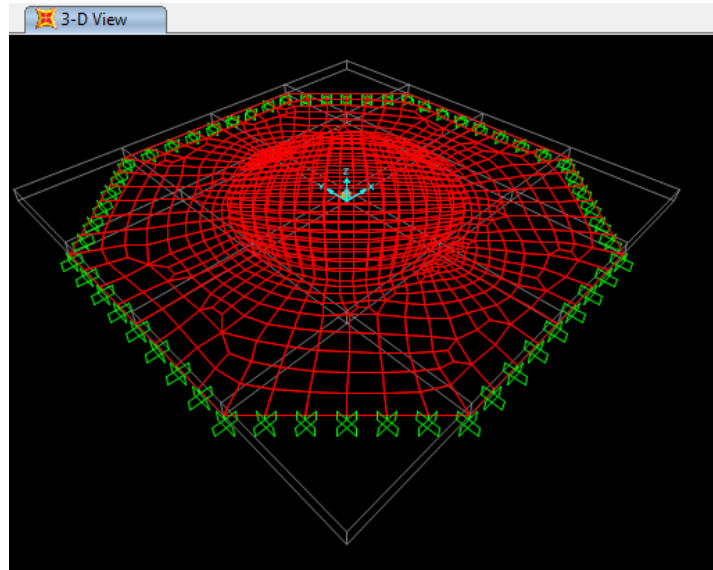
şekil 3.103 : Genişletilmemiş zemin durumu spektral analiz sonucu $M_{22}=7,996$ kNm.

Genişletilmemiş zemin ve SPEKTRA1 durumunda spektral analiz sonucu $M_{12}=0,032$ kNm olarak ortaya çıkmıştır (şekil 3.104).



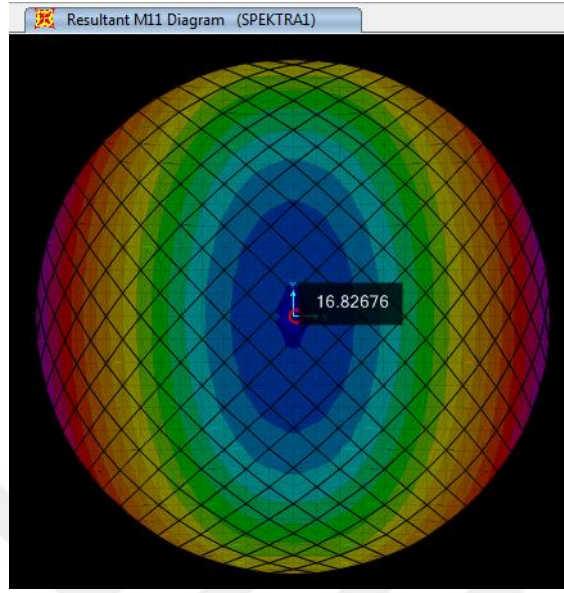
şekil 3.104 : Genişletilmemiş zemin durumu spektral analiz sonucu $M_{12}=0,032$ kNm.

Aynı işlemler genişletilmiş zemin durumu için de tekrarlanmış ve sonuçlar aşağıda belirtilmiştir (şekil 3.105).



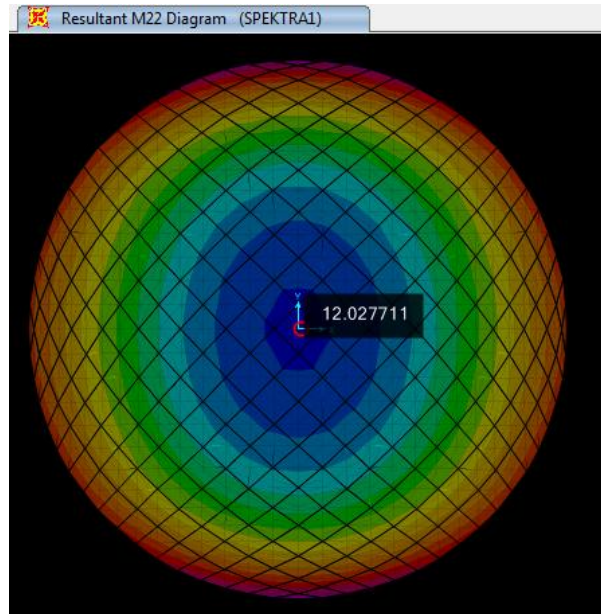
şekil 3.105 : rnek 3.2 iki parametrelili genişletilmiş zemine oturan dairesel plak.

Genişletilmiş zemin ve SPEKTRA1 durumunda spektral analiz sonucu $M_{11}= 16,827$ kNm olarak ortaya çıkmıştır (şekil 3.106).



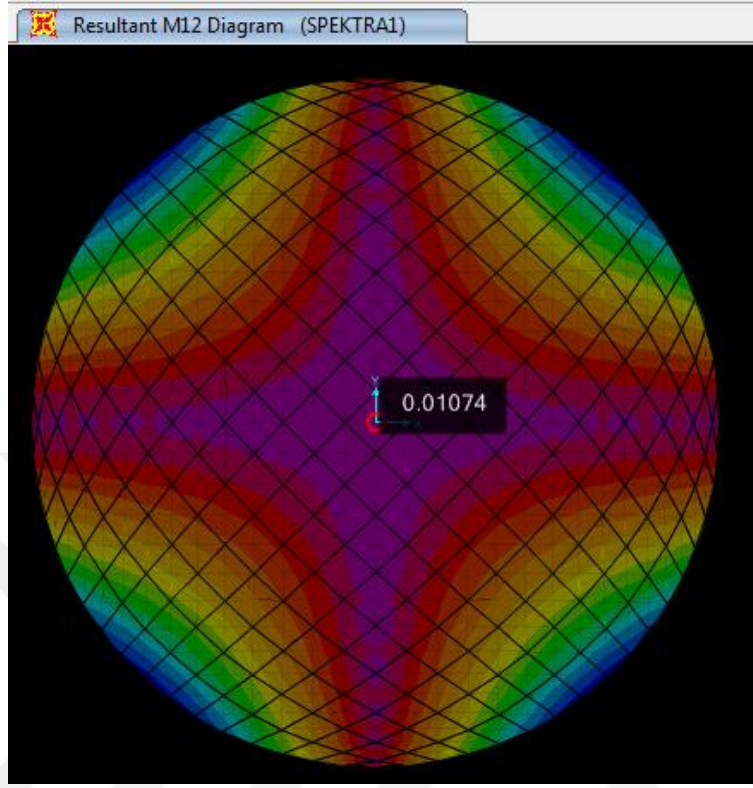
şekil 3.106 : Genişletilmiş zemin durumu spektral analiz sonucu $M_{11}=16,827$ kNm.

Genişletilmiş zemin ve SPEKTRA1 durumunda spektral analiz sonucu $M_{22}=12,028$ kNm olarak ortaya çıkmıştır (şekil 3.107).



şekil 3.107 : Genişletilmiş zemin durumu spektral analiz sonucu $M_{22}=12,028$ kNm.

Genişletilmiş zemin ve SPEKTRA1 durumunda spektral analiz sonucu $M_{12}=0,011$ kNm olarak ortaya çıkmıştır (şekil 3.108).



şekil 3.108 : Genişletilmiş zemin durumu spektral analiz sonucu $M_{12}=0,011$ kNm.

Çizelge 3.14 : Sabit alanlı dairesel plağın spektral analizi sonucu orta noktasında eğilme momenti değerleri.

Sabit alanlı dairesel plağın plağın orta noktasındaki eğilme ve burulma momenti değerleri			
	M_{11} (kNm)	M_{22} (kNm)	M_{12} (kNm)
Genişletilmemiş zemin hali	9,267	7,996	0,032
Genişletilmiş zemin hali	16,827	12,028	0,011

Sabit alanlı dairesel plağın spektral analizi sonucu, orta noktasındaki eğilme ve burulma momenti değerleri, zeminin genişletilmemiş hali ve zeminin genişletilmiş hali için ayrı ayrı verilmiştir (Çizelge 3.14). Çizelge 3.14 incelendiğinde;

1) Zemin ortotrop olduğundan M_{11} ve M_{22} moment değerleri birbirine eşit çıkmamaktadır. Zemin kayma modülleri G_{13} ve G_{23} birbirine eşit olarak girildiği takdirde, zeminin izotrop

özelliği tanımlanmış olur ve M_{11} ve M_{22} moment değerleri birbirine eşit çıkmaktadır. Yani bunun anlamı dönele simetrik problemlerde zemin izotrop ise, M_{11} ve M_{22} moment değerleri birbirine eşit çıkmaktadır. Fakat bu örnekte zemin ortotrop olduğundan M_{11} ve M_{22} momentleri birbirinden farklıdır (Çizelge 3.14).

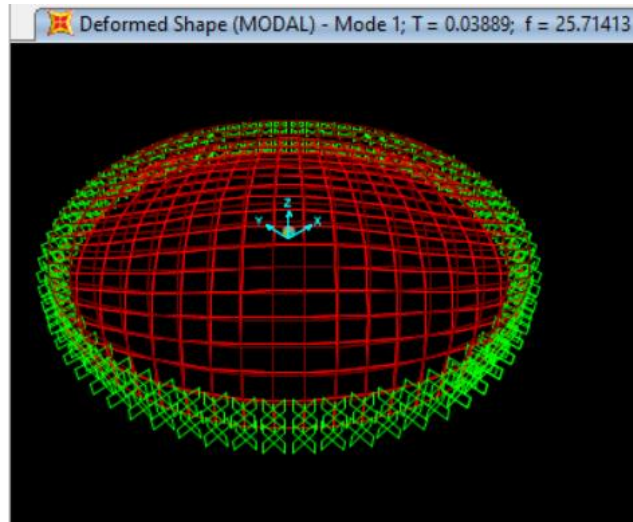
2) Spektral analiz durumunda da zemin genişletildiği takdirde M_{11} ve M_{22} moment değerlerinin büyüdüğü görülmektedir. Genişletilmemiş zemin durumunda M_{11} ve M_{22} moment değerleri daha küçüktür.

Çizelge 3.15 : Zeminin genişletilmiş durumunda değişimler (%).

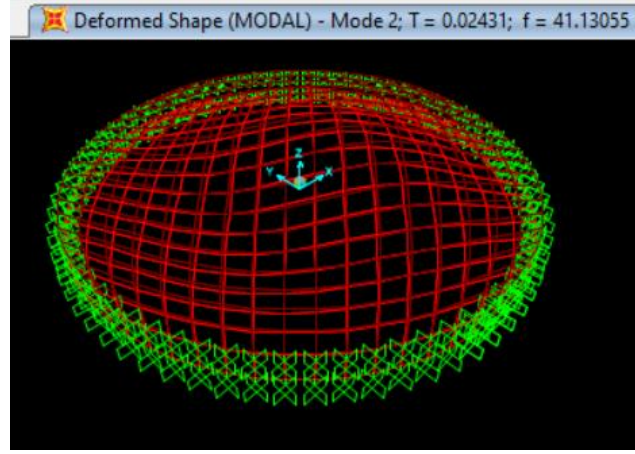
Zeminin genişletilmiş durumunda değişimler (%)		
Eğilme momenti (M_{11})	Eğilme momenti (M_{22})	Burulma momenti (M_{12})
81,58	50,43	190,91

Çizelge 3.15'ten görüldüğü üzere zemin genişletilince M_{11} eğilme momenti yaklaşık %80 artmaktadır. M_{22} eğilme momenti zemin genişletilince yaklaşık %50 artmaktadır. M_{12} burulma momenti yaklaşık %190 oranında artmaktadır.

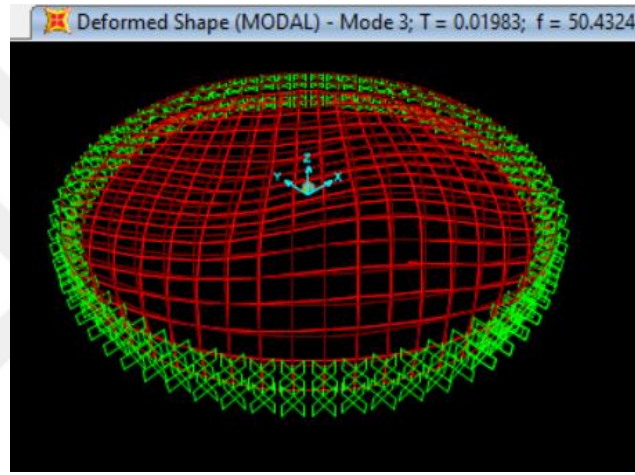
Ayrıca genişletilmemiş zemine oturan dairesel plak için ve genişletilmiş zemine oturan dairesel plak için ilk üç moda ait periyot değerleri T_1 , T_2 ve T_3 gösterilmektedir (Şekil 3.109, Şekil 3.110, Şekil 3.111, Şekil 3.112, Şekil 3.113, Şekil 3.114).



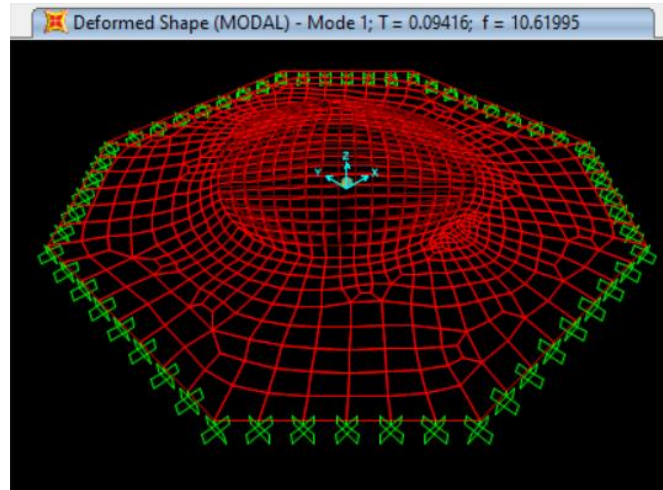
Şekil 3.109 : Genişletilmemiş zemin durumu için birinci moda ait periyot değeri $T_1=0,0389$ s.



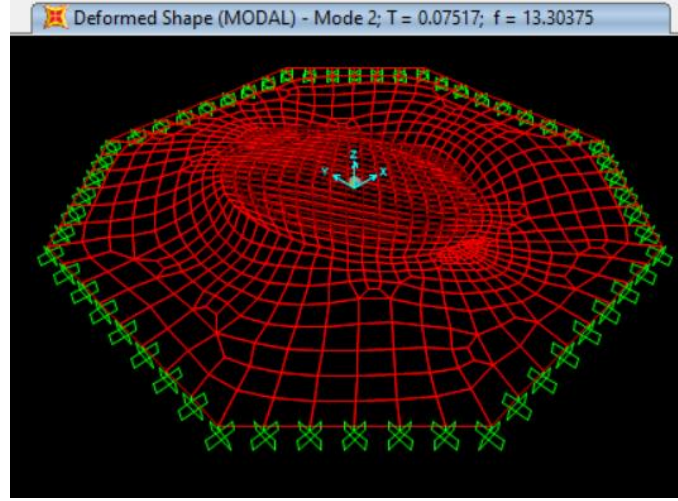
Şekil 3.110 : Genişletilmemiş zemin durumu için ikinci moda ait periyot değeri $T_2=0,02431$ s.



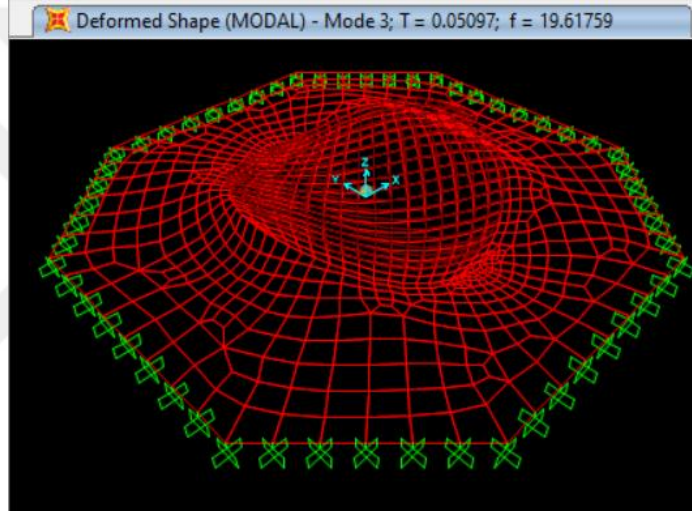
Şekil 3.111 : Genişletilmemiş zemin durumu için üçüncü moda ait periyot değeri $T_3=0,019$ s.



Şekil 3.112 : Genişletilmiş zemin durumu için birinci moda ait periyot değeri $T_1=0,09416$ s.



Şekil 3.113 : Genişletilmiş zemin durumu için ikinci moda ait periyot değeri $T_2=0,07517$ s.



Şekil 3.114 : Genişletilmiş zemin durumu için üçüncü moda ait periyot değeri $T_3=0,05097$ s.

Çizelge 3.16 : İki parametrelili zemine oturan sabit alanlı dairesel plağa uygulanan spektral analiz sonucu ilk üç moda ait periyot değerleri (s).

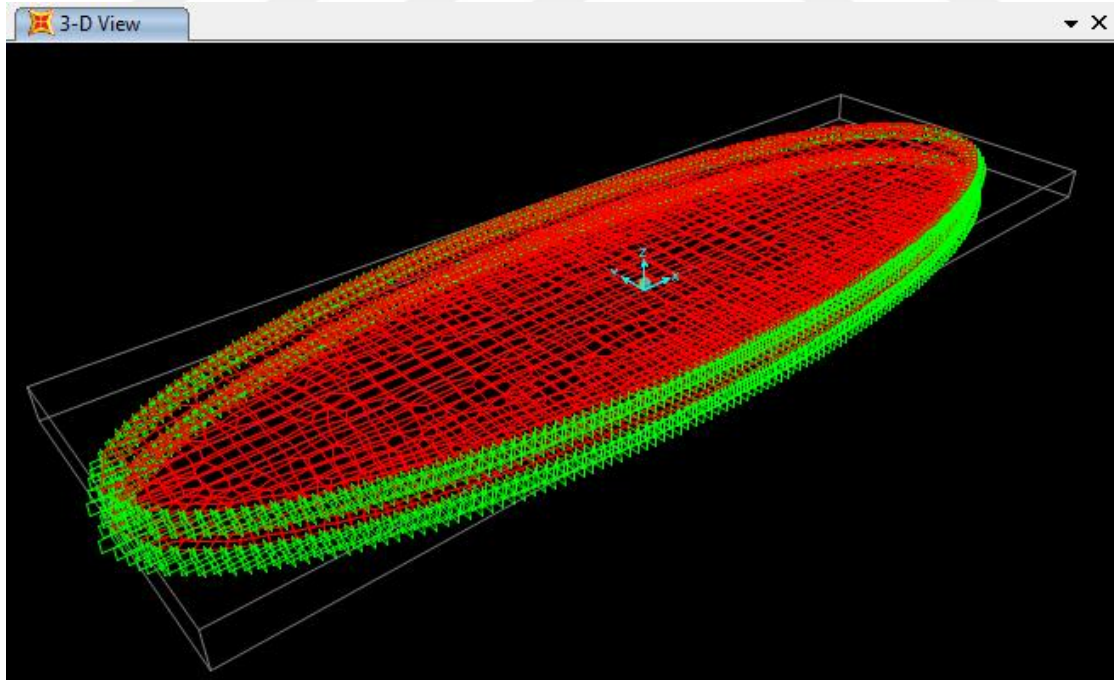
Sabit alanlı dairesel plağa uygulanan spektral analiz sonucu ilk üç moda ait periyot değerleri			
	T_1 (s)	T_2 (s)	T_3 (s)
Genişletilmemiş zemin hali	0,03889	0,02431	0,01983
Genişletilmiş zemin hali	0,09416	0,07517	0,05097

Genişletilmiş zemine oturan dairesel plaktaki ilk üç moda ait periyot değerlerinin, genişletilmemiş zemine oturan dairesel plaktaki periyot değerlerinden daha büyük olduğu görölmektedir.

Tasarım spektrumunda genişletilmemiş zemine oturan dairesel plak için okunan periyot değerlerine karşılık gelen S_a ivme değerlerinin rijit bölgede kaldığı, genişletilmiş zemine oturan dairesel plak için ise tasarım spektrumunda, okunan periyot değerlerine karşılık gelen S_a ivme değerlerinin tepe düzlüğüne çıktığı görölmektedir. Daha büyük periyotlar daha büyük S_a değerinin olmasını bu da daha büyük kesit tesirlerinin oluşmasına neden olur. Bu da genişletilmiş zemine oturan plakta spektral analiz sonucu moment değerlerinin Çizelge 3.14'te görüldüğü üzere daha büyük çıkmasını doğrulamaktadır.

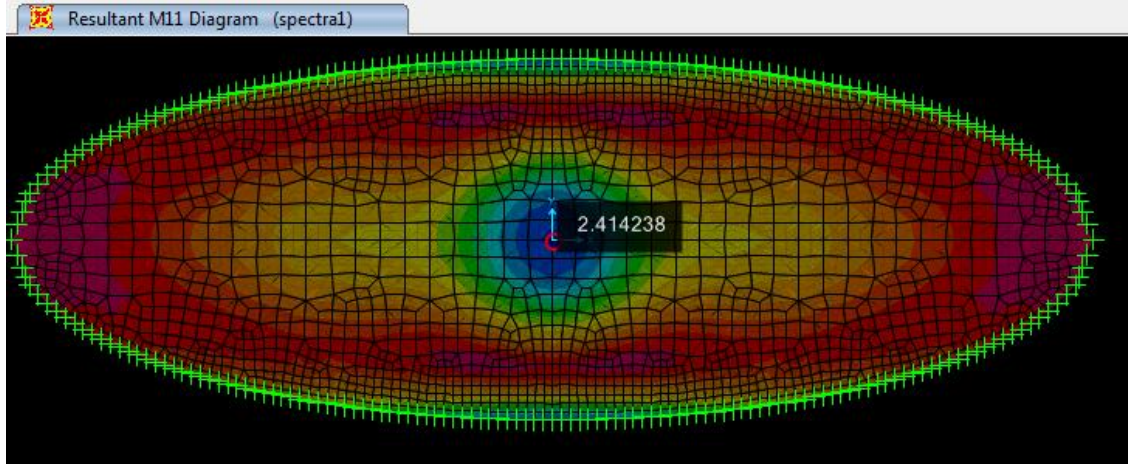
3.7 İki Parametrelili Zemine Oturan Eliptik Plakın Genişletilmemiş Zemine Oturması Hali İle Genişletilmiş Zemine Oturması Halinde Spektral Analizi

Örnek 3.3 İki Parametrelili Zemine Oturan Eliptik Plak ile, Örnek 3.4 İki Parametrelili Genişletilmiş Zemine Oturan Eliptik Plak için spektral analiz yapılmıştır (Şekil 3.115).

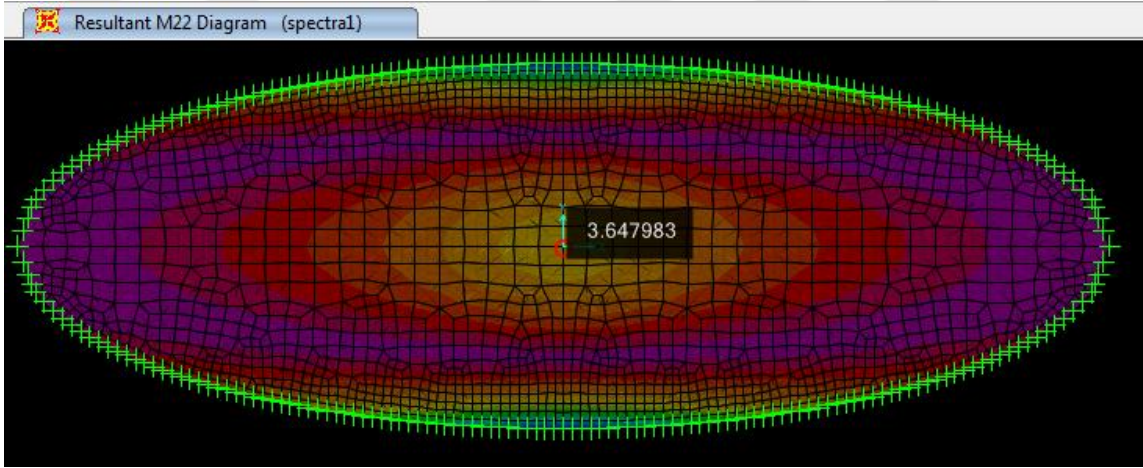


Şekil 3.115 : Örnek 3.3 iki parametrelili zemine oturan eliptik plak.

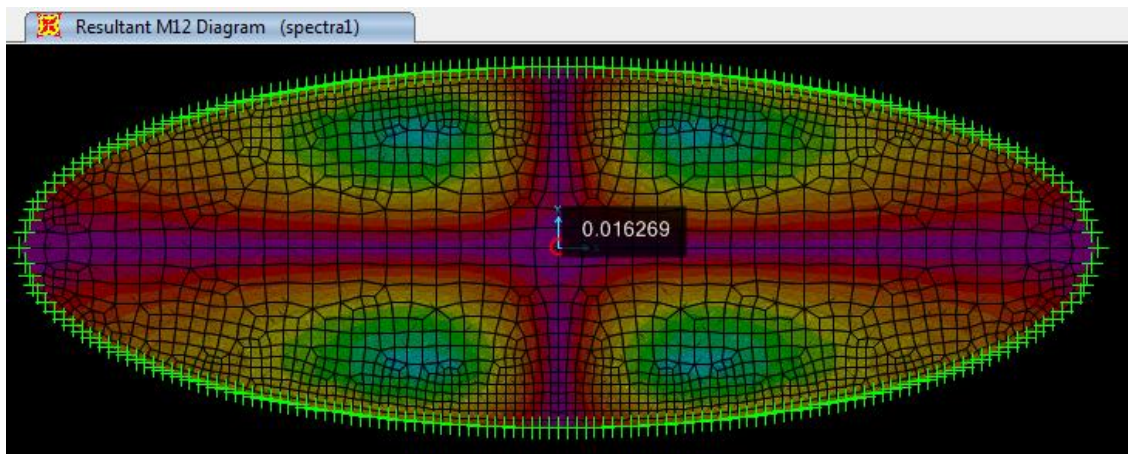
Örnek 3.6 'daki spektral analiz aşamaları aynen takip edilerek sonuçlar verilmektedir.



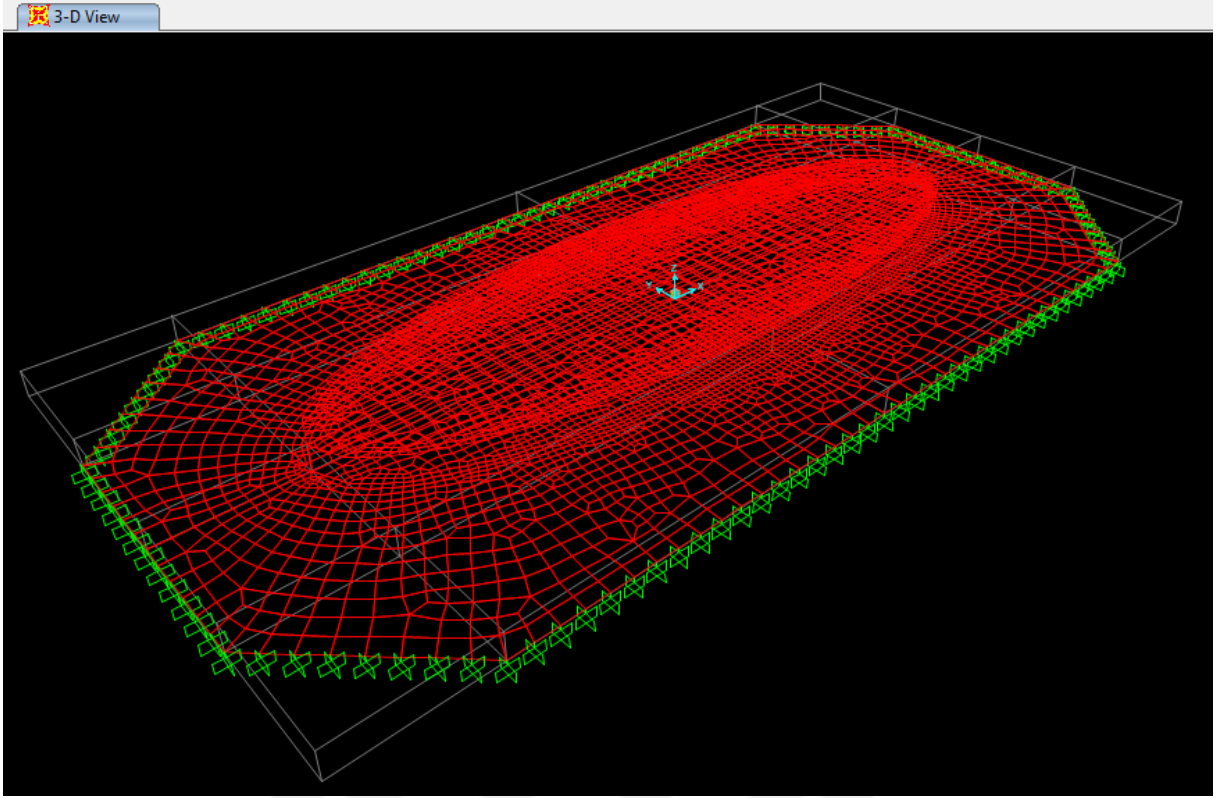
Şekil 3.116 : Genişletilmemiş zemin durumu spektral analiz sonucu $M_{11}=2,414$ kNm.



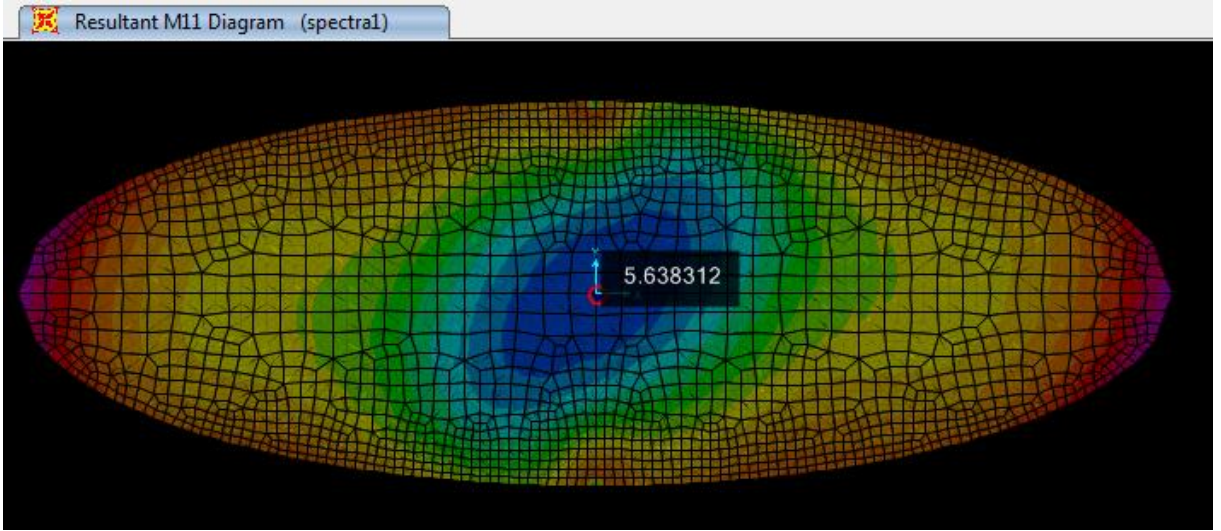
Şekil 3.117 : Genişletilmemiş zemin durumu spektral analiz sonucu $M_{22}=3,648$ kNm.



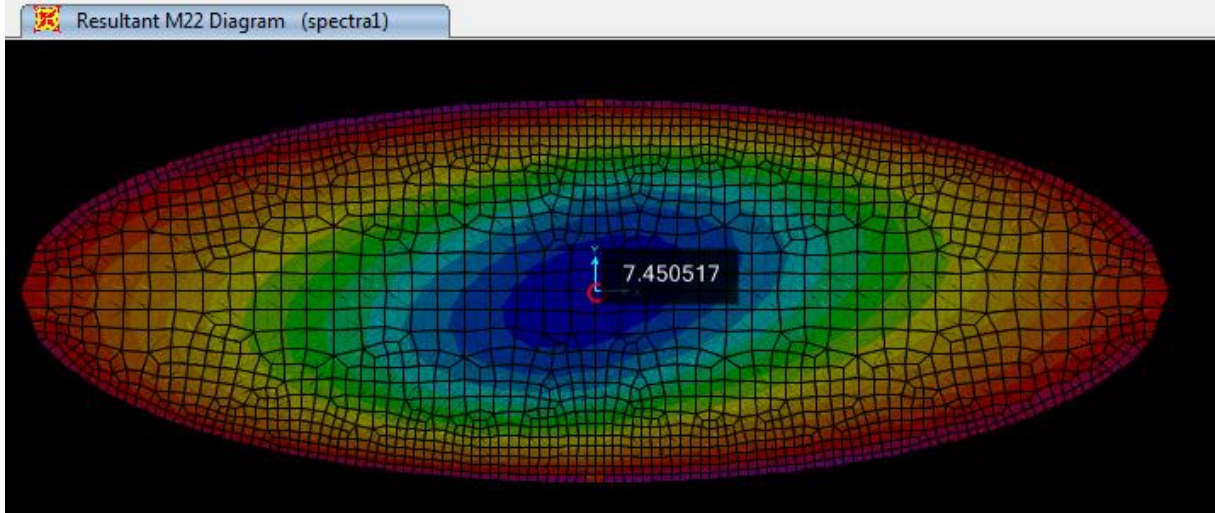
Şekil 3.118 : Genişletilmemiş zemin durumu spektral analiz sonucu $M_{12}= 0,016$ kNm.



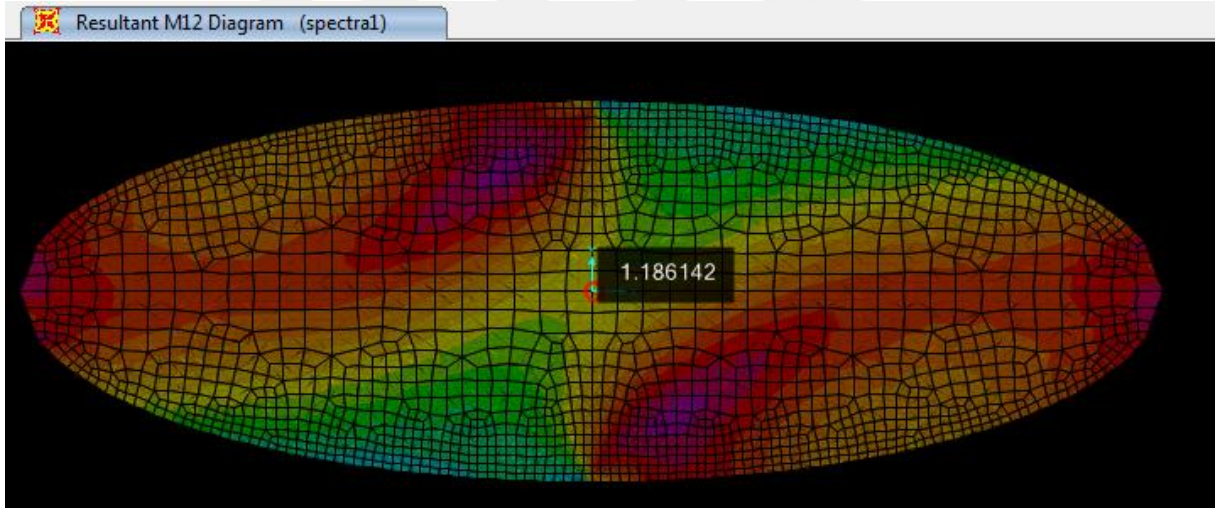
Şekil 3.119 : Örnek 3.4 iki parametrelili genişletilmiş zemine oturan eliptik plak.



Şekil 3.120 : Genişletilmiş zemin durumu spektral analiz sonucu $M_{11}= 5,638$ kNm.



Şekil 3.121 : Genişletilmiş zemin durumu spektral analiz sonucu $M_{22}= 7,451$ kNm.



Şekil 3.122 : Genişletilmiş zemin durumu spektral analiz sonucu $M_{12}= 1,186$ kNm.

Çizelge 3.17 : Sabit alanlı eliptik plağın spektral analizi sonucu orta noktasında eğilme momenti değerleri.

Sabit alanlı eliptik plağın orta noktasındaki eğilme ve burulma momenti değerleri			
	M_{11} (kNm)	M_{22} (kNm)	M_{12} (kNm)
Genişletilmemiş zemin hali	2,414	3,648	0,016
Genişletilmiş zemin hali	5,638	7,451	1,186

Sabit alanlı eliptik plağın spektral analizi sonucu, orta noktasındaki eğilme ve burulma momenti değerleri, zeminin genişletilmemiş hali ve zeminin genişletilmiş hali için ayrı ayrı verilmiştir (Çizelge 3.17). Çizelge 3.17 incelendiğinde;

1) Elips geometrisinde dönel simetrik özellik bulunmadığından, M_{11} ve M_{22} moment değerleri birbirinden farklıdır. Burulma momenti M_{12} 'nin çok küçük olduğu görülmektedir (Çizelge 3.17).

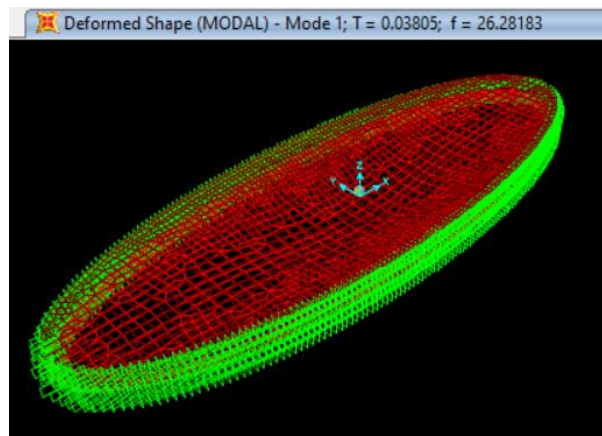
2) Spektral analiz durumunda da zemin genişletildiği takdirde M_{11} ve M_{22} moment değerlerinin büyüdüğü görülmektedir. Genişletilmemiş zemin durumunda M_{11} ve M_{22} moment değerleri daha küçüktür.

3) **Çizelge 3.18 : Zeminin genişletilmiş durumunda değişimler (%).**

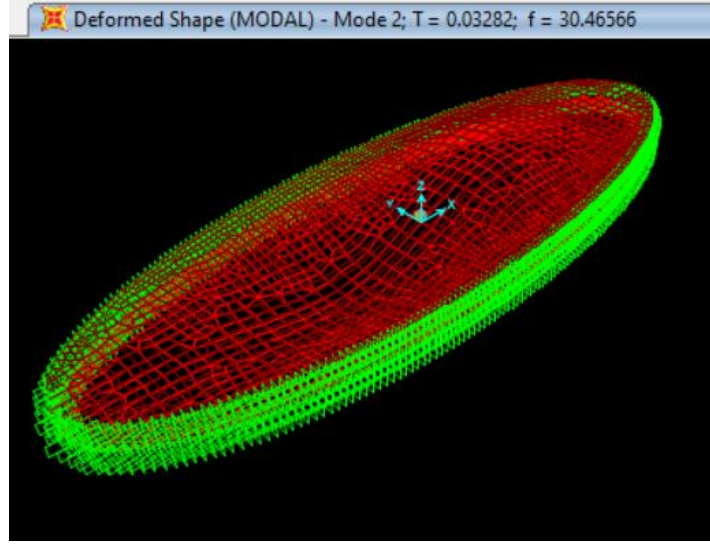
Zeminin genişletilmiş durumunda değişimler (%)		
Eğilme momenti (M_{11})	Eğilme momenti (M_{22})	Burulma momenti (M_{12})
133,55	104,25	7312,50

Çizelge 3.18'den görüldüğü üzere zemin genişletilince M_{11} eğilme momenti yaklaşık %130 artmaktadır. M_{22} eğilme momenti zemin genişletilince yaklaşık %100 artmaktadır. M_{12} burulma momenti yaklaşık %7300 oranında artmaktadır.

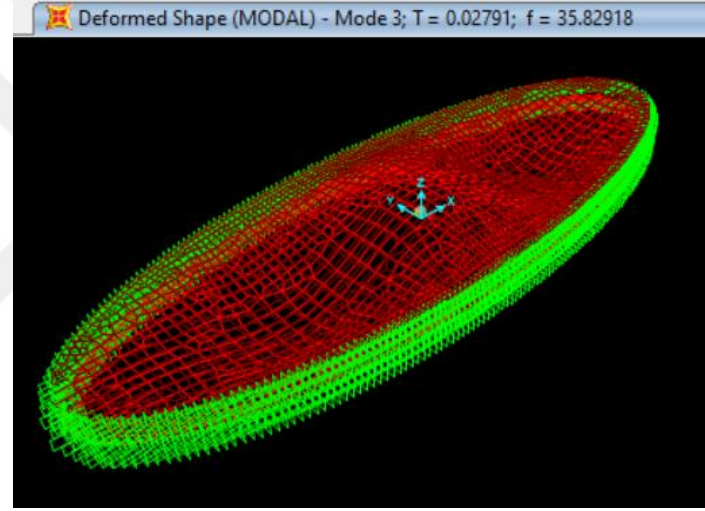
Ayrıca genişletilmemiş zemine oturan eliptik plak için ve genişletilmiş zemine oturan eliptik plak için ilk üç moda ait periyot değerleri T_1 , T_2 ve T_3 gösterilmektedir (Şekil 3.123, Şekil 3.124, Şekil 3.125, Şekil 3.126, Şekil 3.127, Şekil 3.128).



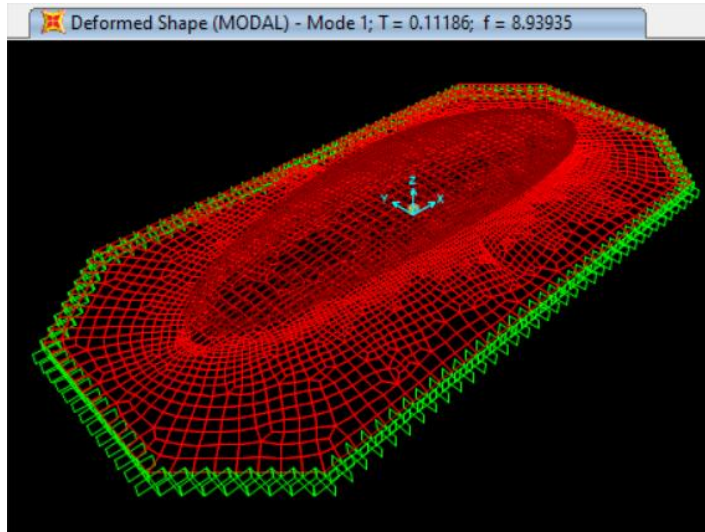
Şekil 3.123 : Genişletilmemiş zemin durumu için birinci moda ait periyot değeri $T_1=0,038$ s.



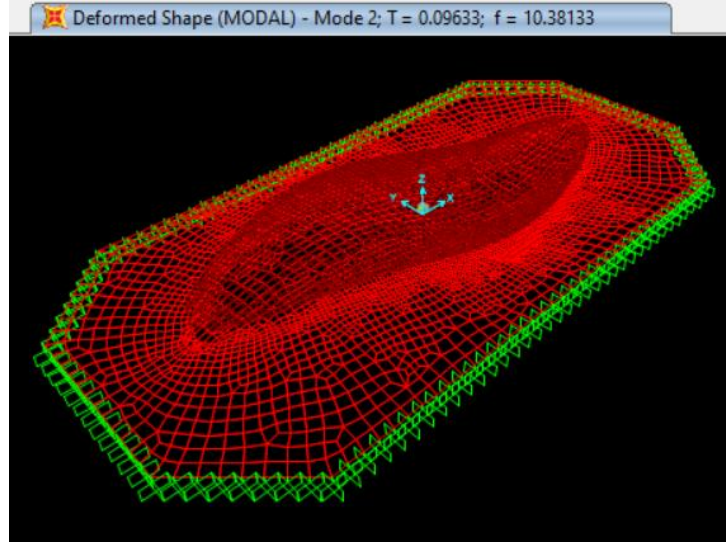
Şekil 3.124 : Genişletilmemiş zemin durumu için ikinci moda ait periyot değeri $T_2=0,0328$ s.



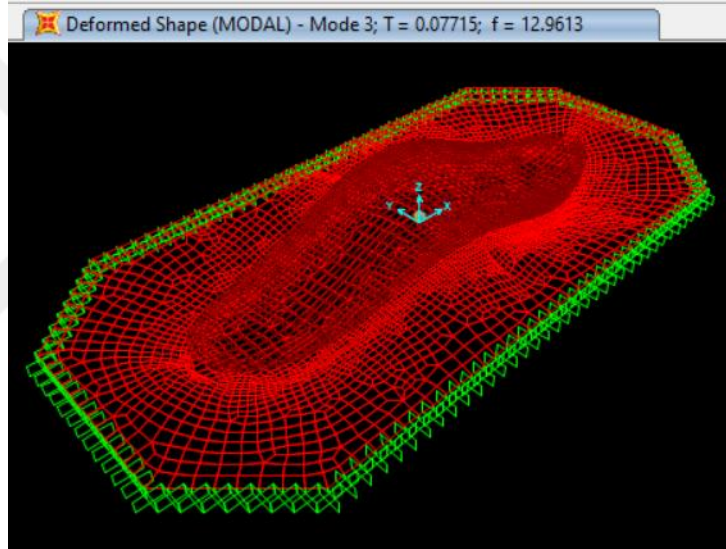
Şekil 3.125 : Genişletilmemiş zemin durumu için üçüncü moda ait periyot değeri $T_3=0,028$ s.



Şekil 3.126 : Genişletilmiş zemin durumu için birinci moda ait periyot değeri $T_1=0,11186$ s.



Şekil 3.127 : Genişletilmiş zemin durumu için ikinci moda ait periyot değeri $T_2=0,09633$ s.



Şekil 3.128 : Genişletilmiş zemin durumu için üçüncü moda ait periyot değeri $T_3=0,07715$ s.

Çizelge 3.19 : İki parametrelili zemine oturan sabit alanlı eliptik plağa uygulanan spektral analiz sonucu ilk üç moda ait periyot değeri (s).

Sabit alanlı eliptik plağa uygulanan spektral analiz sonucu ilk üç moda ait periyot değeri			
	T_1 (s)	T_2 (s)	T_3 (s)
Genişletilmemiş zemin hali	0,03805	0,03282	0,02791
Genişletilmiş zemin hali	0,11186	0,09633	0,07715

Genişletilmiş zemine oturan eliptik plaktaki ilk üç moda ait periyot değerlerinin, genişletilmemiş zemine oturan eliptik plaktaki periyot değerlerinden daha büyük olduğu görölmektedir. Tasarım spektrumunda genişletilmemiş zemine oturan eliptik plak için okunan periyot değerlerine karşılık gelen S_a ivme değerlerinin rijit bölgede kaldığı, genişletilmiş zemine oturan eliptik plak için ise tasarım spektrumunda, okunan periyot değerlerine karşılık gelen S_a ivme değerlerinin tepe düzlüğüne çıktığı görölmektedir. Daha büyük periyotlar daha büyük S_a değerinin olmasını bu da daha büyük kesit tesirlerinin oluşmasına neden olur. Bu da genişletilmiş zemine oturan plakta spektral analiz sonucu moment değerlerinin Çizelge 3.17'de göröldüğü üzere daha büyük çıkmasını doğrulamaktadır.



4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada keyfi doğrultuda ortotrop pasternak zemine oturan dairesel ve eliptik plakların titreşim karakteristiklerinin belirlenmesi ve spektral analizi konusu işlenmiştir. Bu amaçla SAP2000 programı ve SAP2000 programı ile etkileşimli olarak çalışabilen Excel programı kullanılmıştır. Ayrıca plak ile zemin elemanların bağlantısını kurabilmek için SapTransform programı kullanılmıştır. SapTransform programı, hazırlanan modeldeki, plaktaki elemanların düğüm noktalarına karşı gelen zemin elemanların düğüm noktalarının düşeyde birlikte eşit deplasman yapması sağlanır.

Sayısal örneklerde iki parametrelili zeminin SAP2000 programında modellenilebilir olduğu ispatlanmıştır.

Keyfi doğrultuda ortotrop pasternak zemine oturan dairesel ve eliptik plakların, plak dışındaki zeminin etkileri de dikkate alınarak, dinamik karakteristikleri belirlenmiş ve spektral analizleri yapılmıştır. Bu analizlerde SAP2000 programı kullanılmıştır.

SAP2000 programıyla Winkler zemini SAP2000 program kütüphanesindeki yaylarla temsil edilebilmektedir. Ancak Pasternak zemini direkt olarak temsil edilememektedir. Bu yüzden Pasternak zemininin temsili için, SAP2000 programındaki *Plain-Strain* seçeneğiyle sadece kayma şekil değiştirmelerinin göz önüne alındığı düzlem şekil değiştirme elemanından yararlanılmıştır. Bölüm 2'de düzlem şekil değiştirme elemanında sadece kayma şekil değiştirme olması durumundaki gerilme şekil değiştirme bağıntıları ve denge denklemleri, Pasternak zemine ait gerilme şekil değiştirme ve denge denklemleri ile katsayı farkıyla aynıdır. Bu katsayı bir tanesinde kayma modülü, bu çalışmada Pasternak sabitidir. G 'ye Pasternak sabiti denilebilir.

Sadece plak altında zemin tanımlanan dairesel plak örneği için, çökme sonuçlarının ortalama %1,28 hata ile, M_{11} eğilme momentlerinin ortalama %0,6 hata ile, M_{22} eğilme momentlerinin ortalama %0,4 hata ile, M_{12} burulma momentlerinin ortalama %4,4 hata ile doğrulandığı görülmektedir. Zemin genişletilince çökme değeri yaklaşık %370 mertebesinde artmaktadır. M_{11} eğilme momenti zemin genişletilince yaklaşık %25 artmaktadır. M_{22} eğilme momenti zemin genişletilince yaklaşık %25 artmaktadır. M_{12} burulma momenti Zemin açısı $\theta=0^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ 'de yaklaşık %100 oranında azalmış, buna karşın, diğer zemin açılarında %240 mertebesinde artmıştır.

Sadece plak altında zemin tanımlanan eliptik plak örneği için, çökme sonuçlarının ortalama %0,24 hata ile, M_{11} eğilme momentlerinin ortalama %0,47 hata ile, M_{22} eğilme momentlerinin ortalama %1,00 hata ile, M_{12} burulma momentlerinin ortalama %5,2 hata ile doğrulandığı görülmektedir. Zemin genişletilince çökme değeri yaklaşık %730 mertebesinde artmaktadır. M_{11} eğilme momenti zemin genişletilince yaklaşık %65 artmaktadır. M_{22} eğilme momenti zemin genişletilince yaklaşık %33 artmaktadır. M_{12} burulma momenti Zemin açısı $\theta=0^\circ$ yaklaşık %100 oranında azalmış, buna karşın diğer zemin açılarında %940 mertebesinde artmıştır.

Doğrulama örneği olarak [5]'te verilen, genişletilmiş zemine oturan dairesel halka temel sistemin analizi yapılmış, Poisson's oranı $\nu=0,25$ hali için $\alpha=0$ aksı boyunca temel çökmesi ve zemin çökmesi ile M_{11} , M_{22} ve M_{12} momentlerinin değişimi gösterilmiş ve doğrulanmıştır.

Spektral analize konu edilen dairesel plak sistemi için, zemin genişletilince M_{11} eğilme momenti yaklaşık %80 artmaktadır. M_{22} eğilme momenti zemin genişletilince yaklaşık %50 artmaktadır. M_{12} burulma momenti yaklaşık %190 oranında artmaktadır.

Elips plak sistemini için spektral analiz uygulandığında ise, zemin genişletilince M_{11} eğilme momenti yaklaşık %130 artmaktadır. M_{22} eğilme momenti zemin genişletilince yaklaşık %100 artmaktadır. M_{12} burulma momenti yaklaşık %7300 oranında artmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] **Al-Hosani, K., Fadhil, S., El-Zafrany, A.** (1999). Fundamental Solution And Boundary Element Analysis Of Thick Plates On Winkler Foundation, Computers & Structures.
- [2] **Altekin, M.** (2010). Bending of Orthotropic Super Elliptical Plates On Intermediate Point Supports, Ocean Engineering.
- [3] **Altekin, M., Altay, G.** (2008). Static Analysis of Point Supported Super Elliptical Plates, Archive of Applied Mechanics.
- [4] **Avcıoğlu, O.** (2015). İki Parametrelili Zemine Oturan Betonarme Yapıların Doğrusal Olmayan Hesabı ve Görsel Tabanlı Bir Bilgisayar Yazılımı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [5] **Çelik, M.** (1996). Plak Sonlu Elemanlarda Kayma Şekil Değiştirmelerinin Göz Önüne Alınması ve İki Parametrelili Zemine Oturan Plakların Hesabı İçin Bir Yöntem, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.)
- [6] **Datta, S.** (1976). Large Deflections Of Elliptic Plates Exhibiting Rectilinear Orthotropy And Placed On Elastic Foundation, Journal Of Applied Mechanics Transactions Of The ASME.
- [7] **Dutta, S. C., Roy, R.** (2002). A Critical Review On Idealization And Modelling For Interaction Among Soil Foundation Structure System, Computers & Structures.
- [8] **Hamarat, M. A.** (2012). İki Parametrelili Zeminler Üzerine Oturan Yapı Sistemlerinin Dinamik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [9] **Kutlu, A., Arıbaş, Ü.N., Karayığit, H., Omurtag, M.H.** (5-9 Eylül 2011). XVII. Ulusal Mekanik Kongresi, Ortotrop Pasternak Zeminine Oturan Eliptik Mindlin Plağının Karışık Sonlu Elemanlarla Statik Analizi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [10] **Kutlu, A.** (2007). Keyfi Doğrultuda Ortotrop Pasternak Zeminine Oturan Mindlin Plaklarının Serbest Titreşimlerinin Karışık Sonlu Elemanlarla Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [11] **Liu, R., Xu, J., Zhai, S.** (1997). Large Deflection Bending of Symmetrically Laminated Rectilinearly Orthotropic Elliptical Plates Includig Transverse Shear, Archive of Applied Mechanics.

- [12] **Ozgan, K., Daloğlu, A. T.** (2008). Application of the Modified Vlasov Model to the free vibration analysis of thick plates resting on elastic foundations, Department of Civil Engineering, Karadeniz Technical University, 61080 Trabzon, Turkey.
- [13] **Ozgan, K., Daloğlu, A. T.** (2008). Application of the Modified Vlasov Model to the free vibration analysis of thick plates resting on elastic foundations, Department of Civil Engineering, Karadeniz Technical University, 61080 Trabzon, Turkey.
- [14] **Ozgan, K., Daloğlu, A. T.** (2012). Free Vibration Analysis of Thick Plates on Elastic Foundations Using Modified Vlasov Model with Higher Order Finite Elements, Department of Civil Engineering, Karadeniz Technical University, 61080 Trabzon, Turkey.
- [15] **Ozgan, K., Daloğlu, A. T.** (2008). Effect of transverse shear strains on plates resting on elastic foundation using modified Vlasov model, Air Force Academy, Yesilyurt, Istanbul, Turkey, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Karadeniz Technical University, 61080 Trabzon, Turkey.
- [16] **Özmen, G., Orakdöğen, E., Darılmaz, K.** (2018). Örneklerle SAP2000 v20, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [17] **Uğurlu, B., Kutlu, A., Ergin, A., Omurtag, M. H.** (2008). Dynamics Of A Rectangular Plate Resting On An Elastic Foundation And Partially In Contact With A Quiescent Fluid, Journal Of Sound and Vibration.
- [18] **Prabhakara, M., Chia, C.** (1976). Bending of Elliptical Orthotropic Plates with Large Deflection, Acta Mechanica.
- [19] **Rashed, Y.F.** (2000). An Alternative Treatment of Body Forces in the BEM for Thick Plates Resting on Elastic Foundations, Engineering Analysis with Boundary Elements.
- [20] **Reddy, J. N.** (2006). Theory and Analysis of Elastic Plates and Shells, CRC Press.
- [21] **Szilar, R.** (2004). Theories and Applications of Plate Analysis, John Wiley and Sons.
- [22] **TBDY.** (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 18 Mart 2018, Resmi Gazete Sayı : 30364 (Mükerrer)
- [23] **Vasilenko, A., Urusova, G.** (1997). Stress State of Freely Supported Multilayered Elliptical Plates of Anisotropic Materials, Mechanics of Composite Materials.
- [24] **Wang, J., Wang, X., Huang, M.** (1992). Fundamental Solutions And Boundary Integral Equations For Reissner's Plates On Two Parameter Foundations, International Journal Of Solids And Structures.
- [25] **Yu, Y. Y., Syracuse, N. Y.** (1957). Axisymmetrical Bending of Circular Plates Under Simultaneous Action of Lateral Load, Force in the Middle Plane, and Elastic Foundation, Journal of Applied Mechanics ASME.
- [26] **Zhong, H., Li, X., He, Y.** (2005). Static Flexural Analysis Of Elliptic Reissner Mindlin Plates On A Pasternak Foundation By The Triangular Differential Quadrature Method, Archive Of Applied Mechanics.



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Betül AYKILIÇ
Doğum Yeri ve Tarihi : Alaplı, 1991
E-Posta : aykilicbetul@gmail.com
Lisans : Sakarya Üniversitesi (2010-2013)
Mesleki Deneyim : İstanbul MTM Yapı Denetim Ltd. Şti., Kontrol Müh. (2013-2014)
Pendik Belediyesi, İnş. Müh., (2014 - Halen)