

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

**KEYFİ DOĞRULTUDA ORTOTROP PASTERNAK TÜRÜ ZEMİNE OTURAN
DÖRTGEN PLAKLARIN SERBEST TİTREŞİM KARAKTERİSTİKLERİNİN
BELİRLENMESİ VE SPEKTRAL ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şennur ELMACI

Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

EYLÜL 2019

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

**KEYFİ DOĞRULTUDA ORTOTROP PASTERNAK TÜRÜ ZEMİNE OTURAN
DÖRTGEN PLAKLARIN SERBEST TİTREŞİM KARAKTERİSTİKLERİNİN
BELİRLENMESİ VE SPEKTRAL ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Şennur ELMACI
(802121038)**

Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Engin ORAKDÖĞEN

EYLÜL 2019

İTÜ, Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü'nün 802121038 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Şennur ELMACI, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “KEYFİ DOĞRULTUDA ORTOTROP PASTERNAK TÜRÜ ZEMİNE OTURAN DÖRTGEN PLAKLARIN SERBEST 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. Ü. Akif KUTLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Ü. Ahmet GÜLLÜ
Gedik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **13 Eylül 2019**
Savunma Tarihi : **23 Eylül 2019**





Anneme ve babama,



ÖNSÖZ

Bu tez çalışması esnasında birikim ve vaktini benimle paylaşan hocam Sayın Prof. Dr. Engin ORAKDÖĞEN'e en kalbi duygularıyla teşekkürlerimi arz ederim.

Tez çalışmam boyunca gerekli kolaylık ve anlayışlarını esirgemeyen İstanbul Rölöve ve Anıtlar Müdürlüğü personellerinden; eski Müdür Sayın Salman ÜNLÜGEDİK'e, Müdür Sayın Olcay AYDEMİR'e, Müdür Yardımcısı Sayın Halime Nevhiz KOYUKAN'a, Müdür Yardımcısı Sayın Hasan KARAKAYA'ya, Yüksek Mimar Sevinç ÇELİK'e ve diğer çalışanlarına teşekkür eder, değerli aileme saygı ve şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmamda kullandığım SapTranform yazılımını hazırlayan ve benimle paylaşan Dr. Müh. Onur AVCIOĞLU'na ayrıca teşekkür ederim.

Eylül 2019

Şennur ELMACI
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
SEMBOL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY.....	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Yapı Zemin İlişkisi.....	1
1.2 Yapı Zemin Etkileşim Modelleri.....	1
1.2.1. Bir parametrelili zemin modeli	1
1.2.1.1. Winkler modeli.....	1
1.2.2. İki parametrelili zemin modelleri.....	3
1.2.2.1. Filenenko-Borodich modeli.....	3
1.2.2.2. Hetenyi zemin modeli.....	4
1.2.2.3. Pasternak zemin modeli.....	5
1.2.2.4. Vlasov modeli.....	6
1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	8
2. SAP 2000 PROGRAMI İLE ZEMİN ELEMANIN RİJİTLİK MATRİSİNİN DOĞRULAMASI.....	9
2.1 Sonlu elemanlar Yöntemi.....	9
2.2 SAP2000 Programında Zemin Elemana ait Sonlu Eleman Matris Formülasyonu.....	10
2.3. SAP2000 Programında iki parametrelili zemine oturan plak elemanın tanımlanması	11
3. DOĞRULAMA ÖRNEKLERİ	23
3.1 ÖRNEK 1	23
3.2 ÖRNEK 2	36
3.3 ÖRNEK 3	48
4. DIŞ ZEMİNLİ KARE PLAKTA SERBEST TİTREŞİM KAREKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ.....	59
4.1 ÖRNEK 1	59
4.2 ÖRNEK 2	63
4.3 İki Parametrelili Zemine Oturan Dörtgen Plakın Genişletilmemiş Zemine Oturması Hali İle Genişletilmiş Zemine Oturması Halinde Spektral Analizinin Karşılaştırılması	66
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	79
KAYNAKLAR	81
ÖZGEÇMİŞ.....	83

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3. 1 : Yayılı yüklü plata çökme ve eğilme momenti değerlerinin önceki çalışmalarla karşılaştırılması.	34
Çizelge 3. 2 : Bu çalışma ile (Çelik, 1996) arasındaki göreceli fark (Çizelge 3.1).	34
Çizelge 3. 3 : Tekil yükü plakta çökme ve eğilme momenti değerlerinin önceki çalışmalar ile karşılaştırılması.	35
Çizelge 3. 4 : Bu çalışma ile (Çelik, 1996) arasındaki göreceli fark (Çizelge 3.3).	35
Çizelge 3. 5 : Analiz sonucu okunan periyotlardan frekansların bulunması.	45
Çizelge 3. 6 : İzotrop zemine oturan bir metre kalınlığındaki basit mesnetli kare plakta boyutsuz frekans değerleri ve önceki çalışmalarla karşılaştırma.	45
Çizelge 3. 7 : İzotrop zemine oturan 2 metre kalınlığındaki basit mesnetli kare plakta boyutsuz frekans değerleri ve önceki çalışmalarla karşılaştırma.	46
Çizelge 3. 8 : İzotrop zemine oturan 1 metre kalınlığındaki ankastre mesnetli kare plakta boyutsuz frekans değerleri ve önceki çalışmalarla karşılaştırma.	47
Çizelge 3. 9 : Keyfi doğrultuda ortotrop zemine oturan ankastre mesnetli kare plakta boyutsuz frekans değerleri(Bu çalışma).	50
Çizelge 3. 10 : Keyfi doğrultuda ortotrop zemine oturan ankastre mesnetli kare plakta boyutsuz frekans değerleri (Kutlu, 2007).	50
Çizelge 3. 11 : Çizelge 3.9 ile Çizelge 3.10 arasındaki göreceli fark.	51
Çizelge 3. 12 : Keyfi doğrultuda ortotrop zemine oturan iki kenarı basit mesnetli iki kenarı ankastre mesnetli kare plakta boyutsuz frekans değerleri (Bu çalışma). ...	51
Çizelge 3. 13 : Keyfi doğrultuda ortotrop zemine oturan iki kenarı basit mesnetli iki kenarı ankastre mesnetli kare plakta boyutsuz frekans değerleri (Kutlu, 2007). ...	52
Çizelge 3. 14 : Çizelge 3.12 ile Çizelge 3.13 arasındaki göreceli fark.	52
Çizelge 3. 15 : Keyfi doğrultuda ortotrop zemine oturan basit mesnetli kare plakta boyutsuz frekans değerleri(Bu çalışma).	53
Çizelge 3. 16 : Keyfi doğrultuda ortotrop zemine oturan basit mesnetli kare plakta boyutsuz frekans değerleri (Kutlu, 2007).	53
Çizelge 3. 17 : Çizelge 3.15 ile Çizelge 3.16 arasındaki göreceli fark.	54
Çizelge 4. 1 : İzotrop ve genişletilmiş bir metre kalınlığındaki plak ile bu çalışmadaki (Çizelge3.6) frekans değerlerinin karşılaştırılması.	60
Çizelge 4. 2 : İzotrop ve genişletilmiş iki metre kalınlığındaki plak ile bu çalışmadaki (Çizelge 3.7)'deki frekans değerlerinin karşılaştırılması.	61
Çizelge 4. 3 : İzotrop ve genişletilmiş bir metre kalınlığındaki plak ile bu çalışmadaki (Çizelge 3.8)'daki frekans değerlerinin karşılaştırılması.	62
Çizelge 4. 4 : Keyfi doğrultuda ortotrop genişletilmiş zemine oturan plakta boyutsuz frekans değerleri.	63
Çizelge 4. 5 : Bölüm 3.3 deki Çizelge 3.9 ile Çizelge 4.4 ün göreceli farkı.	64
Çizelge 4. 6 : Bölüm 3.3 deki Çizelge 3.12 ile Çizelge 4.4 ün göreceli farkı.	64

Çizelge 4. 7 : Bölüm 3.3 deki Çizelge 3.15 ile Çizelge 4.4 ün göreceli farkı.....	65
Çizelge 4. 8 : İki parametrelili zemine oturan dörtgen plakta spektral analiz sonucu bulunan eğilme momenti değerlerinin karşılaştırılması.....	74
Çizelge 4. 9 : İki parametrelili zemine oturan dörtgen plakta spektral analiz sonucu bulunan ilk 3 moda ait periyod değerlerinin karşılaştırılması.....	77



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1. 1 : Winkler Zemin Modeli.....	2
Şekil 1. 2 : Winkler modeli ile gerçek davranış farkı gösterimi.....	3
Şekil 1. 3 : Üniiform yüklü elastik gerçek davranış gösterimi.	3
Şekil 1. 4 : Filenenko-Borodich Modeli.	4
Şekil 1. 5 : Hetenyi Modeli.....	5
Şekil 1. 6 : Pasternak zemin modeli.....	6
Şekil 1. 7 : Vlasov tipi zemin modeli.	7
Şekil 2. 1 : Plak elemanın sonlu elemanlara ayrılmış modeli $Z=1$ m.....	12
Şekil 2. 2 : Zemin elemanın sonlu elemanlara ayrılmış modeli $Z=0$ m.....	12
Şekil 2. 3 : Plak elemanın malzeme özelliklerinin tanımlanması.....	13
Şekil 2. 4 : Zemin elemanın malzemesinin tanımlanması.	13
Şekil 2. 5 : Zemin elemanın malzemesinin tanımlanması.	14
Şekil 2. 6 : Zemin elemanın Ortotrop malzeme olarak tanımlanması.	15
Şekil 2. 7 : Zemin elemanın malzeme özelliklerinin tanımlanması.	15
Şekil 2. 8 : Plak elemanın kesit özelliklerinin tanımlanması.....	16
Şekil 2. 9 : Zemin elemanın kesit özelliklerinin tanımlanması.	17
Şekil 2. 10 : Joint Constraint tanımlanması.	18
Şekil 2. 11 : Equal Constraint seçilerek Translation Z yönünde harekete izin verilmesi.....	18
Şekil 2. 12 : SapTransform programının veri giriş ekranında z koordinatına göre ayırma.....	19
Şekil 2. 13 : _C.s2k uzantılı dosya.	19
Şekil 2. 14 : SapTransform ile eşitleme yapılan dosyanın SAP2000 programında import komutu ile açılması.	20
Şekil 2. 15 : Zemin yatak katsayısının tanımlanması.	20
Şekil 2. 16 : Plak ve zemin elemanın kenarlarına mesnet ataması yapılması.....	21
Şekil 3. 1 : Tekil yük ve düzgün yayılı yüklü iki parametrelili zemine oturan plak.....	23
Şekil 3. 2 : Plak ve zemin plan gösterimi.	24
Şekil 3. 3 : Plak ve zeminin sonlu eleman ağı gösterimi.	24
Şekil 3. 4 : Plak görünümü $z=1$ m kotu.	25
Şekil 3. 5 : Plak altındaki genişletilmiş zemin görünümü $z=0$ m kotu.	25
Şekil 3. 6 : Plak ve zemin modeli 3d görünümü.....	25
Şekil 3. 7 : Tekil yükle yüklü plak görünümü.	26
Şekil 3. 8 : Düzgün yayılı yükle yüklü plak görünümü.	26
Şekil 3. 9 : Plak elemanın malzeme özellikleri.....	27
Şekil 3. 10 : Zemin elemanın malzeme özelliklerinin tanımlanması.	27
Şekil 3. 11 : İki parametrelili zemin elemana kayma modülü tanımlanması.....	28
Şekil 3. 12 : Plak elemanın kesit özellikleri.	29
Şekil 3. 13 : Zemin elemanın kesit özelliklerinin tanımlanması.	29

Şekil 3. 14 :	İki parametrelı zemin elemana zemin yatak katsayısı tanımlanması.	30
Şekil 3. 15 :	Yayılı yükle yüklenmiş dış zeminli iki parametrelı zemine oturan plak modelinin şekil değiştirmiş hali.	31
Şekil 3. 16 :	Yayılı yükle yüklenmiş dış zeminli iki parametrelı zemine oturan plak modelinde çökme değeri.	31
Şekil 3. 17 :	Yayılı yükle yüklenmiş dış zeminli iki parametrelı zemine oturan plak modelinde M11 eğilme momenti değeri.	32
Şekil 3. 18 :	Tekil yükle yüklenmiş dış zeminli iki parametrelı zemine oturan plak modelinin şekil değiştirmiş hali.	32
Şekil 3. 19 :	Tekil yükle yüklenmiş dış zeminli iki parametrelı zemine oturan plak modelinde çökme değeri.	33
Şekil 3. 20 :	Tekil yükle yüklenmiş dış zeminli iki parametrelı zemine oturan plak modelinde M11 eğilme momenti değeri.	33
Şekil 3. 21 :	Plak elemanın malzeme özelliklerinin tanımlanması.	37
Şekil 3. 22 :	Zemin elemanın malzemesinin tanımlanması.	38
Şekil 3. 23 :	Zemin malzemesinin ortotrop seçilmesi.	38
Şekil 3. 24 :	Zeminin 2. Parametresi kayma modülünün tanımlanması.	39
Şekil 3. 25 :	Plak elemanın kesit özelliklerinin tanımlanması.	40
Şekil 3. 26 :	Zemin elemanın kesit özelliklerinin tanımlanması.	41
Şekil 3. 27 :	Zemin ve plak eşitlemesi-Joint constraints.	42
Şekil 3. 28 :	Equal Constraint seçilerek Translation Z yönünde harekete izin verilmesi.	42
Şekil 3. 29 :	Zeminin 1. parametresi yatak katsayısının tanımlanması.	43
Şekil 3. 30 :	SAP 2000 programında iki parametrelı zemine oturan kare plak modeli gösterimi.	44
Şekil 3. 31 :	SAP2000 programında Modal analiz seçimi.	44
Şekil 3. 32 :	Zemin malzeme özelliğinin tanımlanması.	49
Şekil 3. 33 :	Zemin elemanın ortotropi açısının tanımlanması.	49
Şekil 3. 34 :	İzotrop zemine oturan plakta 1. Mod şekli ve periyodu.	54
Şekil 3. 35 :	İzotrop zemine oturan plakta 2.Mod şekli ve periyodu.	55
Şekil 3. 36 :	İzotrop zemine oturan plakta 3.Mod şekli ve periyodu.	55
Şekil 3. 37 :	İzotrop zemine oturan plakta 4.Mod şekli ve periyodu.	56
Şekil 3. 38 :	15 derece ortotrop zemine oturan plakta 1.Mod şekli ve periyodu.	56
Şekil 3. 39 :	15 derece ortotrop zemine oturan plakta 2.Mod şekli ve periyodu.	57
Şekil 3. 40 :	15 derece ortotrop zemine oturan plakta 3.Mod şekli ve periyodu.	57
Şekil 3. 41 :	15 derece ortotrop zemine oturan plakta 4.Mod şekli ve periyodu.	58
Şekil 4. 1 :	Genişletilmiş zemine oturan kare plak modeli 3d görünümü.	59
Şekil 4. 2 :	Plağın birim hacminin ağırlığının girilmesi.	66
Şekil 4. 3 :	Analizin xy düzleminde seçilmesi.	67
Şekil 4. 4 :	Response spektrum seçilmesi.	67
Şekil 4. 5 :	TSC-2018 Function Type tanımlanması.	68
Şekil 4. 6 :	Response Spectrum TSC-2018 Function Tanımlanması.	68
Şekil 4. 7 :	Load Case Data - Response Spectrum.	69
Şekil 4. 8 :	Load cases-Response Spektrum tanımı.	70
Şekil 4. 9 :	Response Spectrum SPEKTRA seçilerek analiz yapılması.	70
Şekil 4. 10 :	Case/Combo Name:SPEKTRA durumunda M ₁₁ ve M ₂₂ momentlerin okunması.	71
Şekil 4. 11 :	Genişletilmemiş zemine oturan plakda spektral analiz sonucu M ₁₁ =6.62 kN.m.	71
Şekil 4. 12 :	Genişletilmemiş zemin durumu spektral analiz sonucu M ₂₂ =6.62 kN.m.	72

Şekil 4. 13 : Genişletilmemiş zemin durumu spektral analiz sonucu $M_{12}=2.48$ kN.m.	72
Şekil 4. 14 : Genişletilmiş zemin durumu spektral analiz sonucu $M_{11}=4.99$ kN.m.	73
Şekil 4. 15 : Genişletilmiş zemin durumu spektral analiz sonucu $M_{22}=4.96$ kN.m.	73
Şekil 4. 16 : Genişletilmiş zemin durumu spektral analiz sonucu $M_{12}=0.17$ kN.m.	74
Şekil 4. 17 : Genişletilmemiş zemine oturan kare plakta 1. Mod.....	75
Şekil 4. 18 : Genişletilmemiş zemine oturan kare plakta 2. Mod.....	75
Şekil 4. 19 : Genişletilmemiş zemine oturan kare plakta 3. Mod.....	76
Şekil 4. 20 : Genişletilmiş zemine oturan kare plakta 1. Mod.....	76
Şekil 4. 21 : Genişletilmiş zemine oturan kare plakta 2. Mod.....	77
Şekil 4. 22 : Genişletilmiş zemine oturan kare plakta 3. Mod.....	77





SEMBOL LİSTESİ

x, y, z	: Kartezyen koordinatlar
u, v, w	: Plak yüzeyinde koordinatlar doğrultusundaki yer değiştirmeler
M_x, M_y	: Eğilme momentleri
a, b	: Dikdörtgen plağın kenar uzunlukları
h	: Plak kalınlığı
q	: Yayılı yük gösterimi
E, ν, G	: Elastisite modülü, Poisson's oranı, Kayma modülü
G_x, G_y	: Zemin kayma modülleri
k	: Zemin modülü
[]	: Matris gösterimi
D	: Plak eğilme rijitliği
C	: Zemine ait elastik yataklanma katsayısı
C_T	: Zemine ait kayma parametresi
[C]	: Zemin elastik yataklanma matrisi
[C_T]	: İki parametrelili zeminde kayma parametresi matrisi
H	: Sıkışabilen zemin tabakası kalınlığı
T	: Membran kuvveti



KEYFİ DOĞRULTUDA ORTOTROP PASTERNAK TÜRÜ ZEMİNE OTURAN DÖRTGEN PLAKLARIN SERBEST TİTREŞİM KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE SPEKTRAL 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, ayırık olarak yapılan temel hesaplarında genellikle güvenlik gerilmesinin aşılmış aşılımadığının 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 veya radye temel olarak tasarlanan temel sistemine aktarılarak genellikle Winkler hipotezi kabulü ile elastik zemine oturan temel hesabı yapılabilmektedir. Winkler hipotezinde zemin gerilmelerinin ilgili noktadaki çökmelerle orantılı olduğu kabul edilmekte, zemindeki ilgili noktaya komşu bölgelerin etkileşimi göz ardı edilmektedir. Zemin özelliklerinin dikkate alınmasının gerekli olduğu radye veya 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 türü zemine oturan plakların statik yükler altındaki davranışı ile serbest titreşim özellikleri incelenmiş ve son olarak aynı plakların tasarım spektrumuna göre spektral analizi yapılmıştır.

Bu tezin amacı akademik ortamda yapı mühendisliği problemlerinin çözümünde güvenilir bir şekilde kullanılan SAP2000 programı yardımı ile Pasternak türü zemine oturan dörtgen plak problemlerinin çözülmesidir. Gerilme-şekil değiştirme bağıntılarının ve denge denklemlerinin sadece kayma etkilerinin olduğu düzlem şekil değiştirme elemanının benzerliğinden yararlanılarak, Pasternak zemin elemanı, 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 alınmıştır. SAP2000 programı malzeme olarak ortotrop malzemeleri de dikkate alabildiğinden çeşitli doğrultularda ortotrop zemine oturan plakların çözümü de kolaylıkla yapılabilmektedir.

Pasternak türü zemini dikkate alan çalışmalarda araştırmacılar genellikle kendi geliştirdikleri sonlu eleman yazılımlarıyla analizleri gerçekleştirmektedir.

Daha önceden yapılan benzer çalışmalarda (Avcıoğlu, 2015, Hamarat, 2012) Pasternak zemin elemanı, hazırlanan genel amaçlı yazılıma eklenmiş veya 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 ile benzer olduğundan, hesaplarda bir yaklaşıklık bulunmamaktadır. Bu şekilde bir benzerlikle elde edilen Pasternak zemin elemanı SAP2000 programının her türlü esnekliğine sahip olduğundan, 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 sureti ile her adımdaki zeminin elastik özellikleri yenilenerek ardışık yaklaşım gerektiren Vlasov zemine oturan yapı sistemlerinin hesabı da SAP2000 programından yararlanılarak yapılabilir (Hamarat, 2012). Böylelikle aynı bölgede inşa edilen yapı sistemlerinin statik veya dinamik yükler altındaki etkileşimi de kolaylıkla göz önüne alınabilir.

Tezde özel olarak ortotrop pasternak zemine oturan kare plakların statik davranışı ile serbest titreşim özellikleri incelenmiştir. Öncelikle literatürde daha önceden çözülmüş örnekler ile modellenmenin doğruluğu gösterilmiş daha sonra da benzer çalışmalarda gözönüne alınmayan temel zemininin temel dışında da devam etmesi durumunda plak titreşim karakteristiklerindeki ve spektral analizindeki değişimler irdelenmiştir.

Tez beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde yapı zemin etkileşim modelleri tanıtılmış ve çalışmanın amaç ve kapsamı açıklanmıştır.

İkinci bölümde iki parametrelilikte, zemin elemana ait matris formülasyonu verilmiş, SAP 2000 programında iki parametrelilikte zemine oturan plak elemanın modellenmesi anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde daha önceki çalışmalardan 3 adet sayısal örnek ele alınmış, SAP 2000 programında modellenmiştir. İlk örnekte iki parametrelilikte zemine oturan tekil yüklü ve yayılı yüklü plak davranışı incelenmiş, çökme ve eğilme moment değerleri önceki çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. İkinci örnekte iki parametrelilikte izotrop zemine oturan kare plağın farklı mesnet koşullarında serbest titreşim analizi yapılmış ve önceki çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Üçüncü örnekte ortotrop zemine oturan kare plağın farklı mesnet koşullarında serbest titreşim analizi yapılmış ve zeminin ortotropi açısı değişimine bağlı olarak frekans değerleri incelenmiş ve önceki çalışmalar ile karşılaştırılmıştır.

Dördüncü bölümde üçüncü bölümde yer alan sayısal örneklere daha önceki çalışmalardan farklı olarak plak dışı zemin eklenerek modellenmiş, serbest titreşim analizi yapılmış, dış zeminli ve dış zeminsiz olarak frekans değerleri çizelgeler ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca bir örnek ile iki parametrelilikte dış zeminli ve dış zeminsiz plak durumunda spektral analiz yapılmış ve eğilme momentleri karşılaştırılmıştır.

SPECTRAL ANALYSIS AND DETERMINATION OF FREE VIBRATION CHARACTERISTICS OF QUADRATIC PLATES RESTING ON ARBITRARY ORTHOTROP TWO PARAMETER ELASTIC FOUNDATION

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 advised 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 rectangular 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 (Visual Basic for Applications) 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 five 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, finite element method is explained, the formulations of two parameter foundation are given. Then 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 k , 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 modulus 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 modulus respectively. G_{12} shear modulus 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 are equalized 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, rectangular foundations which is solved in the previous studies, is solved again on SAP 2000 and the results are shown in tables to compare with previous studies. In the first example, Displacements are obtained and bending moments of concentrically and uniformly loaded plates resting on two parameter foundation obtained. Second example is free vibration analysis of square plate with isotropic foundation. Third example is free vibration analysis of square plate interacting with arbitrary orthotropic foundation.

In the fourth section, the samples were modeled by adding the external foundation to the numerical samples in the third chapter, free vibration analysis is performed, and the frequency values with and without external foundation are compared with the tables. In addition, bending moments were compared with a sample with two parameters with and without external foundation in spectral analysis.

1.GİRİŞ

1.1 Yapı Zemin İlişkisi

Zemin üzerine oturan yapının zemin ile etkileşimi araştırmacılar için önemli bir konu olmuştur. Çünkü yapı sistemleri zeminin davranışından etkilenmektedir. Bu nedenle, yapı sistemi ile zeminin birlikte incelenmesi gerekmektedir. Bu etkileşimi tespit edebilmek için gerçeğe en yakın zemin yapı modeli oluşturulmaya çalışılmalıdır.

1.2 Yapı Zemin Etkileşim Modelleri

Zemin ortamı homojen değildir ve farklı doğrultularda farklı davranışlar sergileyebilmektedir. Zeminin malzeme özellikleri, kohezyon, basınç gibi bir çok değişkene göre farklılık göstermektedir. Bu nedenle zeminin davranışını tespit etmek oldukça zor olmaktadır. Literatürde zeminin davranışının tespiti için bazı idealleştirmeler yapılarak zemin modelleri oluşturulmuştur.

1.2.1.Bir parametrelili zemin modeli

1.2.1.1.Winkler modeli

Zeminin elastik davranışı ile ilgili ilk önemli çalışma Winkler tarafından yapılmıştır. Winkler modelinde zeminin birbirine sonsuz yakın, elastik ve lineer yaylardan oluştuğunu kabul edilmiştir. Buna göre $w(x, y)$ dişey doğrultuda çökme olarak alınırsa zemin direnci,

$$p(x,y)=k.w(x,y) \quad (1.1)$$

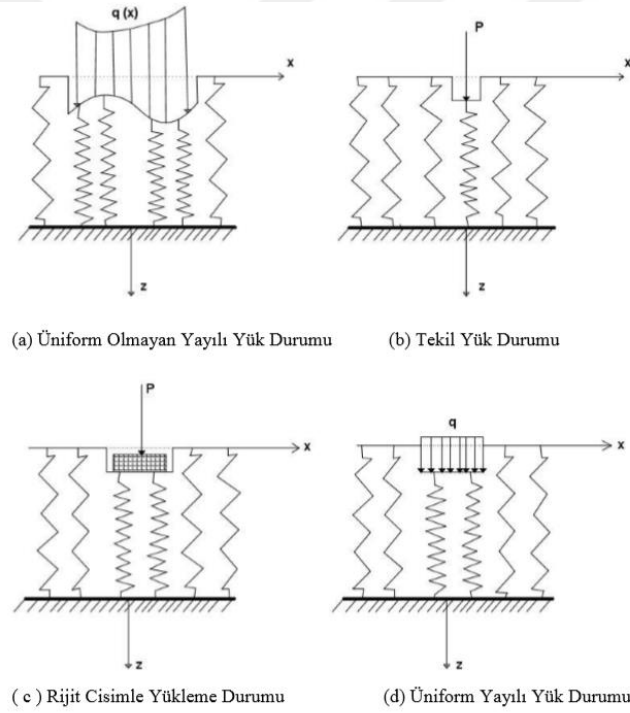
olarak alınır.

Burada k , elastik yay katsayısı olup, çökme bir birim olduğunda, birim genişlikteki birim alana gelen tepki kuvvetini ifade eder. Elastik yay katsayısı k , uygulamada yatak katsayısı veya zemin parametresi olarak da adlandırılır.

Winkler hipotezine göre zemine etkiyen kuvvetler yalnız etkidiği noktada çökme meydana getirirler. Dolayısıyla her bir yay komşu yayların yükleme durumundan

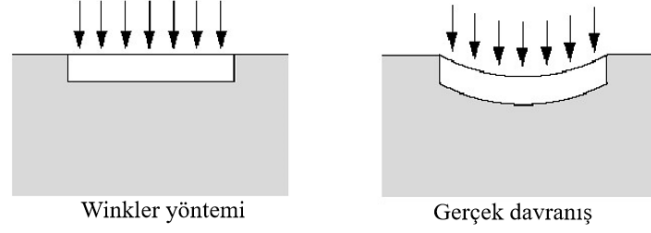
etkilenmez. Bu durum zeminin tamamen süreksiz bir ortam şeklinde dikkate alındığını gösterir. Oysaki elastik tabakanın yüzeyinde herhangi bir noktada oluşan yer değiştirme sadece o noktaya etki eden kuvvetten değil, diğer noktalardaki kuvvetlerden de etkilenir. Winkler modeli ile ilgili bir diğer husus yatak katsayısı olarak tanımlanan parametrenin nasıl hesaplanacağı konusudur. Bu konu ile ilgili farklı sonuçlar veren çeşitli bağıntılar mevcuttur.

Şekil 1.1’de Winkler Zemin Modeli’ne göre çeşitli yüklemeler için yerdeğiştirme durumları gösterilmiştir. Bu şekilde (a) ile düzgün yayılı olmayan yük durumunda zeminin yerdeğiştirmesi, (b) ile tekil yük durumunda zeminin yerdeğiştirmesi, (c) ile rijit tabaka ile aktarılan yük altında zeminin yerdeğiştirmesi, (d) ile düzgün yayılı yük altında zeminin yerdeğiştirme durumu gösterilmiştir.

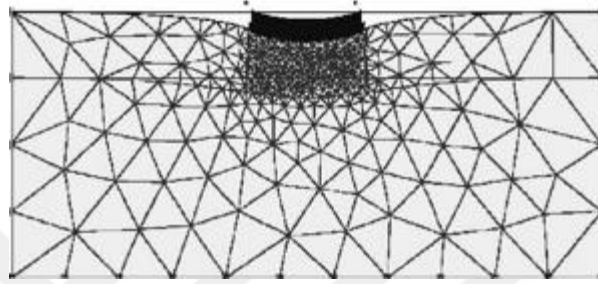


Şekil 1. 1 : Winkler zemin modeli.

Bağımsız yay yaklaşımı, Winkler yönteminin en büyük sorunudur. Çünkü gerçekte zemin üzerindeki yük altındaki yayı ve etrafındaki yayları etkiler.



Şekil 1. 2 : Winkler modeli ile gerçek davranış farkı gösterimi.



Şekil 1. 3 : Üniform yüklü elastik gerçek davranış gösterimi.

Bu zemin modeli gerçeği yansıtmamasına rağmen pek çok zemin problemi için yeterli yaklaşım sağladığından en çok kullanılan zemin modelidir. Uygulamadaki basitliği nedeni ile tercih edilmektedir.

1.2.2. İki parametrelili zemin modelleri

Winkler zemini, birbirinden bağımsız yaylar kabulü ile yayların yatay yönde hareketi yok sayıldığından ikinci bir parametre olarak yatay hareketini de hesaba dahil etmek amacı ile çeşitli modeller hazırlanmıştır. Bunlardan bazıları aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır.

1.2.2.1. Filenenko-Borodich modeli

Bu modelde (1940) yüzeyde ince bir zar tabakası kabulü ile ortamın sürekliliği sağlanmıştır. Herhangi bir dış yük durumunda yüzeyde gerilmeler meydana gelerek yayların birbirinden etkilenmesi sağlanmaktadır. Burada zeminin tepki fonksiyonu,

$$p(x, y) = kw(x, y) - T \nabla^2 w(x, y) \quad (1.2)$$

şeklindedir.

T Membran kuvveti ve ∇^2 Laplace operatörü olmak üzere,

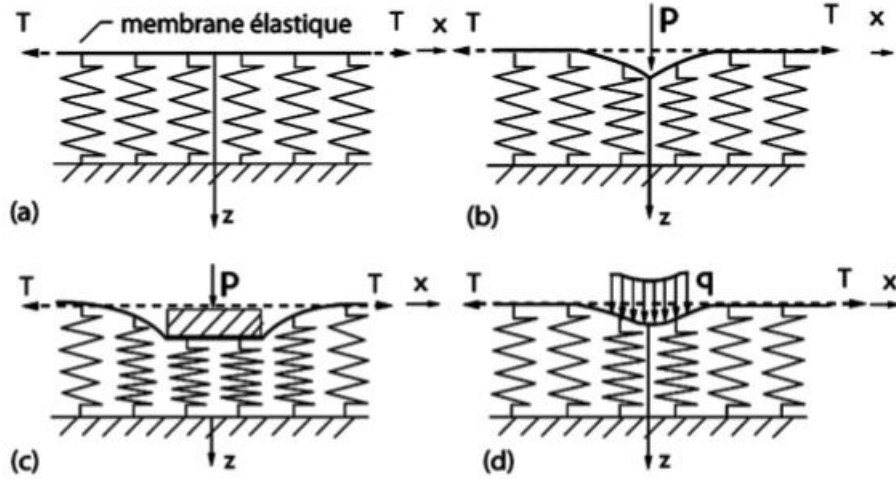
$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \quad (1.3)$$

Bir boyutlu problemler için (1.2) ifadesi;

$$p(x) = kw(x) - T \frac{d^2w(x)}{dx^2} \quad (1.4)$$

şeklinde olur.

Şekil 1.4'te Filenenko-Borodich Modeline göre, çeşitli yükleme durumları için yerdeğişirmeler gösterilmiştir. (a) yüksüz durum, (b) tekil yük altında zeminin yer değiştirmesi, (c) rijit bir tabaka ile aktarılan yük altında zeminin yer değiştirmesi, (d) yayılı yük altında zeminin yer değiştirmesi gösterilmektedir.



Şekil 1. 4 : Filenenko-Borodich modeli.

1.2.2.2. Hetenyi zemin modeli

Hetenyi Modeli'nde (1946, 1950), Winkler yayları üzerine üç boyutlu problemlerde elastik plaka, iki boyutlu problemlerde kiriş ilave ederek zemin ortamının sürekliliği sağlanmıştır. Zeminin tepki fonksiyonu;

$$p(x, y) = kw(x, y) - D \nabla^2 w(x, y) \quad (1.5)$$

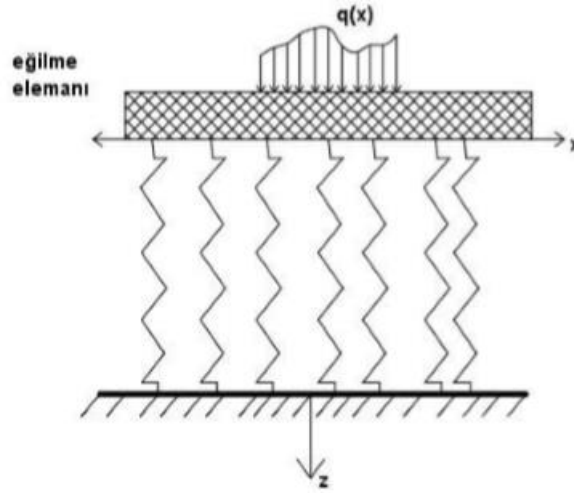
ifadesi ile verilmektedir. Burada k zemin yatak katsayısı, D ise plak rijitliği olmak üzere,

$$D = \left(\frac{E_p h^3}{12(1-\nu^2)} \right) \quad (1.6)$$

Bir boyutlu sistemlerde zeminin tepki fonksiyonu,

$$p(x) = kw(x) - D \frac{d^2 w(x)}{dx^2} \quad (1.7)$$

şeklindedir.



Şekil 1. 5 : Hetenyi modeli.

1.2.2.3. Pasternak zemin modeli

Bu modelde (1954), winkler yayları üzerinde sıkışmayan bir kesme tabakası tanımlanarak, yay elemanları arasında kayma gerilmesinin varlığı sağlanmıştır. Bu kesme tabakası sadece yatay olarak kayma şekil değiştirmesi yapan düşey elemanlardan oluşmaktadır. Bu kayma tabakasının x, y düzleminde izotropik olduğunun kabul edilmesi halinde, kayma tabakasının kayma modülleri arasında,

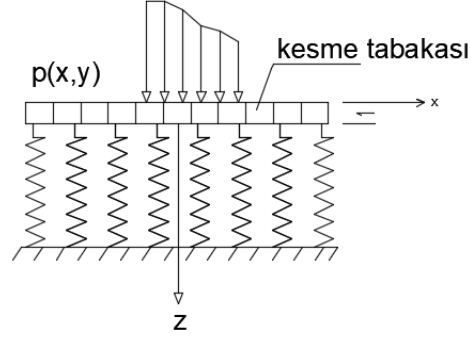
$G_x = G_y = G_p$ bağıntısı geçerlidir.

G_p : Zemin kayma modülü

Pasternak zemin modeli için zemin tepki fonksiyonu,

$$P(x,y) = kw(x,y) - G_p \nabla^2 w(x,y) \quad (1.8)$$

şeklindedir.



Şekil 1. 6 : Pasternak zemin modeli.

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

1.2.2.4. Vlasov modeli

Vlasov ve Leont'ev (1966) bu modelde zemin tabakasını x-z düzleminde zemin kolonları olarak tanımlamışlardır. Bu zemin kolonunda yer değiştirmeler,

$u(x,z)$: x-z düzlemindeki yatay deplasman

$w(x,y)$: x-z düzleminde düşey deplasman

$\emptyset(z)$ fonksiyonu: $w(x)$ yer değiştirmelerinin derinlik boyunca değişimini veren yaklaşım fonksiyonu,

$$u(x,z) = 0, \quad w(x,z) = w(x) \cdot \emptyset(z) \quad (1.9)$$

ifadesi ile tanımlanmıştır.

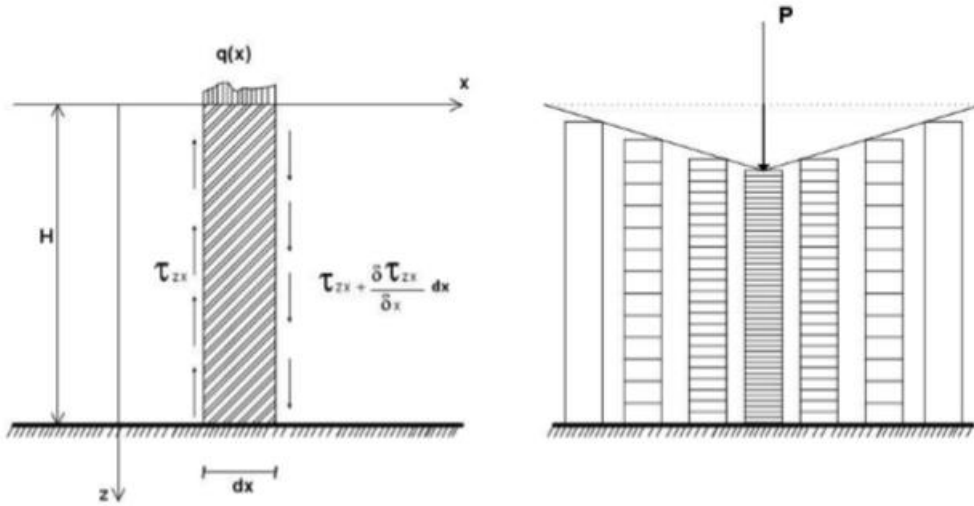
Bu modelde zeminin tepki fonksiyonu,

$$P(x,y) = kw(x,y) - 2t \cdot \nabla^2 w(x,y) \quad (1.10)$$

şeklindedir.

2t: Zeminin kayma parametresi

k ve t zemin parametreleridir.



Şekil 1.7 : Vlasov tipi zemin modeli.

Vlasov ve Leont'ev (1966) zemindeki düşey deformasyon değişimini gösteren, γ olarak tanımladıkları bir başka parametreyi ortaya atmışlardır. γ parametresinin belirlenmesiyle yatak katsayısı (k) ve kayma parametresi ($2t$) değerlerinin deneysel zorluk olmaksızın hesaplanmasının mümkün olduğunu göstermişler ancak γ parametresinin hesabı ile ilgili bir herhangi bir şey belirtmemişlerdir.

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, birbiri ile bağlantılı olan k , $2t$, γ parametreleri ile tanımladıkları için kendi modellerini değiştirilmiş Vlasov modeli ya da üç parametrelili zemin model olarak adlandırmışlardır.

Vlasov zemin modelinde zemin parametreleri, zemin elastik özelliklerine ve sıkışabilen zemin tabaka kalınlığına bağlı olarak hesaplanabilmektedir.

1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Yapıların üst yapı analizi yapılmaktadır ancak üzerine oturduğu zemin ile etkileşimi konusu önemli bir problem olmaktadır. Bu çalışmanın amacı iki parametrelili ortotrop zemine oturan dörtgen plakların dinamik etkiler altında davranışının incelenmesidir. Bunun için bir sonlu elemanlar programı olan SAP 2000’de modelleme yapılarak incelemeler yapılmıştır. Plak ve zemine ait sonlu elemanlar iki ayrı tabaka halinde verildiğinden, plak ve zemin elemanların ortak bölgelerinde düğüm noktalarının yer değiştirmelerinin eşitlenmesi gerekmektedir. SAP 2000 ortamında her bir düğüm noktasının seçilerek yapılması gereken bu işlem çok uzun ve zahmetli olduğundan, programın .S2k dosyasından okuma yapacak ilgili düğüm noktasındaki deplasmanları constraint seçeneği ile eşitleyen yardımcı bir yazılımdan yararlanılmıştır (Avcioğlu, 2015).

Öncelikle iki parametrelili zemine oturan tekil yükle yüklü ve yayılı yükle yüklü bir plakta analiz yapılarak eğilme momenti ve deplasman değerleri önceki çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Daha sonra izotrop zemin üzerine oturan kare plağın serbest titreşim altında dinamik analizi yapılarak bulunan frekans değerleri, (Kutlu, 2007) tezi ile karşılaştırılmıştır. Sonra ortotrop zemin üzerine oturan kare plağın, zeminin farklı ortotropi açılarında frekansları incelenerek (Kutlu, 2007) ile karşılaştırma yapılmıştır. Önceki çalışmalarla yakın sonuçlar elde edildiği gösterilerek hazırlanan modelin doğruluğu gösterilmiştir.

Plak altına plak ile aynı en ve genişlikte zemin tanımlanarak doğrulama örnekleri yapılmıştır. Gerçekte zemin plak altında kesintiye uğramadan sürekli olarak devam etmektedir. Bunun için benzer çalışmalarda göz önüne alınmayan temel zemininin temel dışında da devam etmesi durumu gözönüne alınmıştır. Analiz yapılarak plağın periyot ve frekans değerleri incelenmiştir. Dış zeminli ve dış zeminsiz olarak çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışmada ayrıca Türk Deprem Yönetmeliği 2018 de öngörülen tasarım spektrumuna göre spektral analiz yapılmıştır.

2. SAP 2000 PROGRAMI İLE ZEMİN ELEMANIN RİJİTLİK MATRİSİNİN DOĞRULAMASI

2.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Karmaşık mühendislik problemlerinin çözümünde, bilgisayar teknolojisi oldukça kolaylık sağlamaktadır. Çözüm yöntemlerinden biri olan sonlu eleman metodu ile sonlu sayıda bilinmeyenli lineer denklem takımının çözümü yapılabilmektedir.

Bu yöntem sonlu serbestlik dereceli iki veya üç boyutlu elemanlar kullanarak karışık sistemlerin çözümüne imkan sağlamaktadır. Sürekli bir sistem sonlu sayıda elemanlara bölünür. Bu elemanların yalnız düğüm noktalarından birbirine bağlı olduğu kabul edilir. Eleman yüzeylelerinin şekil değiştirmesi ise düğüm noktalarının sonlu sayıdaki deplasman bileşenleri ve bunların koordinat değişkenlerine göre bazı türevlerinden oluşan uç deplasmanlarına bağlı fonksiyonlarının lineer kombinezonu olarak belirlenebilir. Bu şekil değiştirme durumuna ait yüklemenin ise yalnız uç deplasmanları doğrultusundaki uç kuvvetlerinden oluştuğu kabul edilir. Uç kuvvetleri ile uç deplasmanları arasındaki matris bağıntıları birim deplasman durumlarını tanımlayan deplasman fonksiyonlarından veya elemanda, dengede iç kuvvet durumlarından hareket edilerek enerji teoremlerinden yararlanıp tayin edilebilir. Sisteme gelen yüklerinde yalnız düğüm noktalarından etkiyebileceği kabulü sonucunda yayılı dış etkiler de düğüm noktalarına etkiyen uç kuvvetlerine dönüştürülür.

Sonuç olarak sistemin çözümü düğüm noktalarında uç deplasmanları doğrultusunda denge denklemleri anlamındaki lineer denklem takımının çözümüne indirgenmektedir.

Sonlu elemanlar yönteminin inşaat mühendisliğinde uygulama alanlarından biri de plak sistemlerinin hesabıdır. Özellikle radye temellerin boyutlandırılmasında Winkler tipi zemine oturan dikdörtgen sonlu elemanlar tanımlayarak bu yöntem

geniş ölçüde kullanılmıştır. Bu çalışmada iki parametrelili zemin karakteristikleri ve bu tür zemine oturan dörtgen plakların çözümü incelenmiştir.

2.2 SAP2000 Programında Zemin Elemana ait Sonlu Eleman Matris Formülasyonu

SAP2000 programı kütüphanesinde bulunan düzlem gerilme ve düzlem şekil değiştirme elemanı, kompozit malzeme durumunda tabakalı formülasyonu kullanmaktadır. Bu formülasyon da 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 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 dönüşmektedir. 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 parametresine diğer bir deyişle Winkler parametresine 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 aşağıda verilmiştir. Söz konusu elemanda elastisite modülleri ve Poisson oranları sıfır olarak alındığından düzlem içi şekil değiştirmeler sıfır olmaktadır.

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

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

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'de verildiği gibi olur.

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

Elemana 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.

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

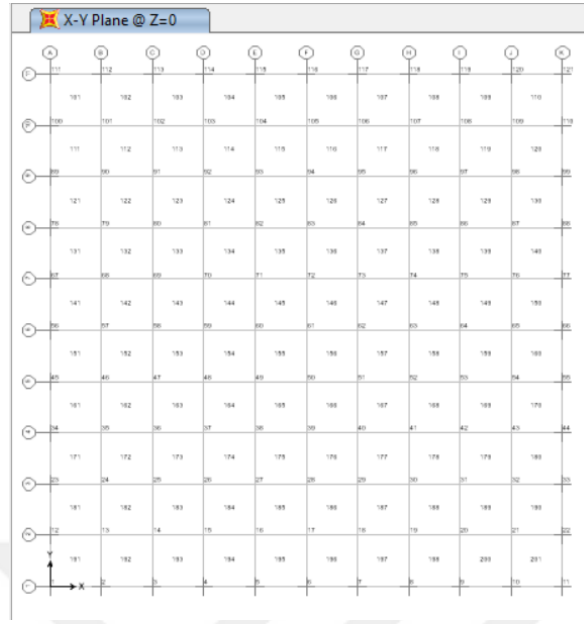
$$P = kw - G \nabla^2 w \quad (2.6)$$

2.3 SAP2000 Programında İki Parametrelili Zemine Oturan Plak Elemanın Tanımlanması

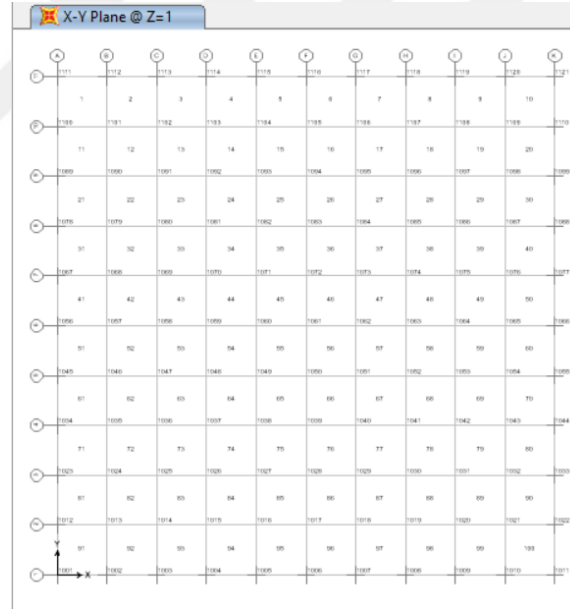
SAP2000 programı (Structural Software for Analysis and Design) ile yapıların sonlu elemanlar yöntemiyle doğrusal ve doğrusal olmayan üç boyutlu sistemlerin statik ve dinamik analizleri yapılabilmektedir.

İki parametrelili zeminde birinci parametre zemin yatak katsayısı, ikinci parametre ise zemin kayma modülüdür.

Sap2000 programında modelleme için öncelikle plak eleman modellenmektedir. Plak elemanın bir metre altına da aynı geometrideki zemin eleman girilmektedir. Örneğe uygun olarak sonlu sayıda eleman ağı kullanılmıştır (Şekil 2.1 ve Şekil 2.2).



Şekil 2. 1 : Plak elemanın sonlu elemanlara ayrılmış modeli Z=1 m.



Şekil 2. 2 : Zemin elemanın sonlu elemanlara ayrılmış modeli Z=0 m.

Öncelikle SAP2000 menüsünden *Define* → *Materials* ile plak elemanın malzeme özellikleri tanımlanmaktadır (Şekil 2.3).

The dialog box 'Material Property Data' is divided into several sections:

- General Data:** Material Name and Display Color (plak), Material Type (Concrete), Material Grade, and Material Notes (Modify/Show Notes...).
- Weight and Mass:** Weight per Unit Volume (25), Mass per Unit Volume (2.5493), and Units (KN, m, C).
- Isotropic Property Data:** Modulus Of Elasticity, E (25000000), Poisson, U (0.3), Coefficient Of Thermal Expansion, A (9.900E-06), and Shear Modulus, G (9615385).
- Other Properties For Concrete Materials:** Specified Concrete Compressive Strength, f_c (27579.032), Expected Concrete Compressive Strength (27579.032), and a checkbox for Lightweight Concrete (unchecked) with a Shear Strength Reduction Factor field.
- Switch To Advanced Property Display:** (unchecked).

Buttons: OK, Cancel.

Plak elemanın birim hacim ağırlığı bu alana girilir.

Şekil 2. 3 : Plak elemanın malzeme özelliklerinin tanımlanması.

Daha sonra zemin elemanının malzeme özellikleri tanımlanmaktadır.

Define → *Materials* menüsünden *Add New Materials* ile Şekil 2.4'teki menüye ulaşılmakta, buradan "Region" ve "Material Type" Şekil 2.4'teki gibi girilmektedir.

The dialog box 'Add Material Property' contains the following fields:

- Region: User
- Material Type: Other
- Standard: User
- Grade: (empty)

Buttons: OK, Cancel.

Şekil 2. 4 : Zemin elemanın malzemesinin tanımlanması.

Açılan menüden en altta bulunan kutucuk (*Switch to Advanced Property Display*) seçilmektedir (Şekil 2.5).

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: MAT

Material Type: Other

Material Grade:

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 76.97

Mass per Unit Volume: 7.849

Units: KN, m, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 2.000E+08

Poisson, U: 0.3

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 6.500E-06

Shear Modulus, G: 76923077.

Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

“Switch to Advanced Property Display” açılır.

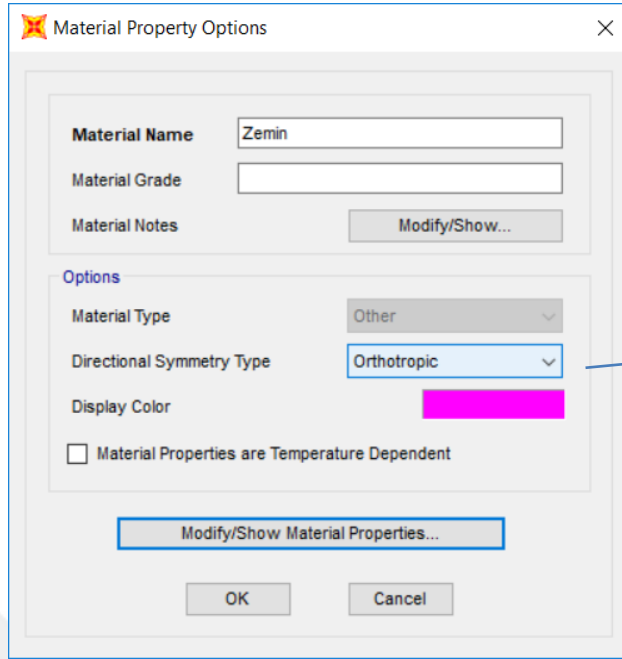
Şekil 2. 5 : Zemin elemanın malzemesinin tanımlanması.

Buradan açılan menüden *Directional Symmetry Type* olarak *Ortotropik* malzeme seçildikten sonra aynı menüde *Modify/Show Material Properties* komutu tıklanmaktadır (Şekil 2.6).

Buradan açılan “*Material Property Data*” penceresinde zemin elemanın ikinci parametresi olan kayma modülüne ait değerler Şekil 2.7 de görüldüğü şekilde tanımlanabilmektedir.

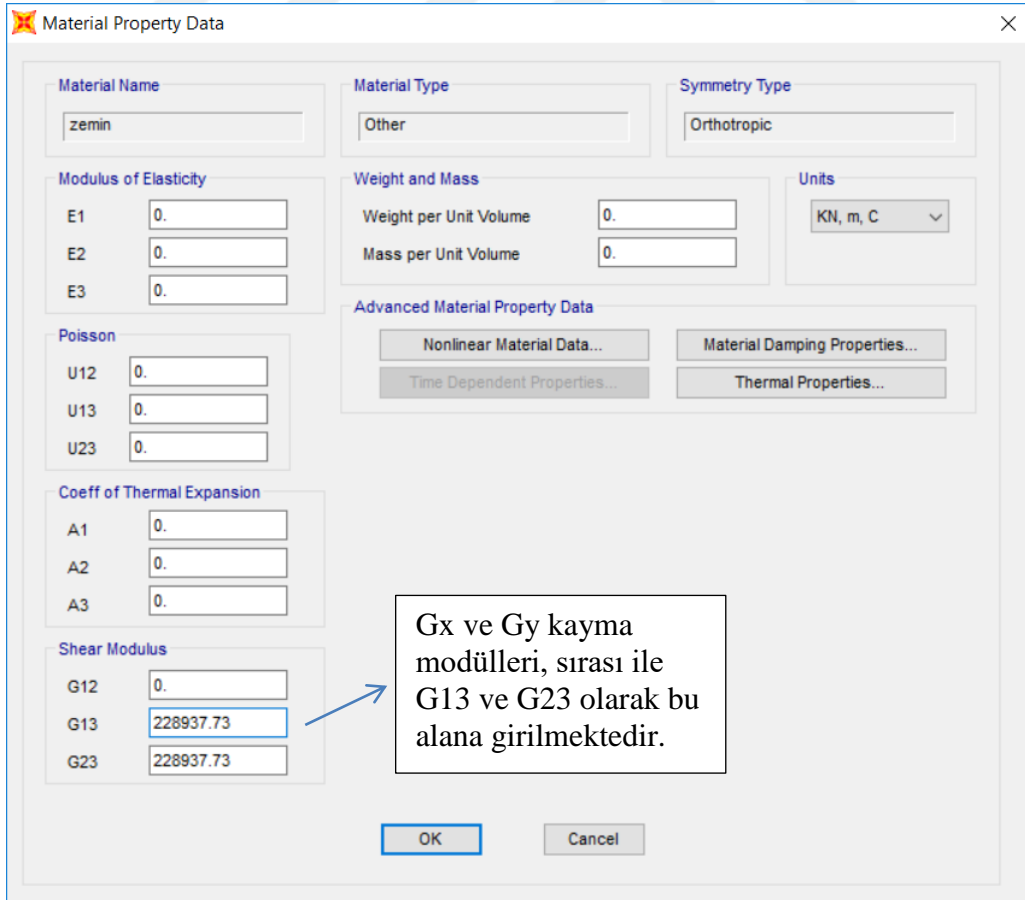
Ortotrop zemin elemanın ikinci parametreleri, düzlem şekil değiştirme elemanın G_{13} ve G_{23} doğrultularındaki kayma modülü olarak alınmaktadır.

G_x ve G_y kayma modülleri, G_{12} ve G_{23} alanına girilmektedir. İzotrop malzemede $G_{12}=G_{23}$ eşit değer alınmaktadır. Ortotrop malzemede ise G_{12} ve G_{23} değerleri farklı olarak girilmektedir.



Zemin eleman
ortotrop malzeme
olarak seçilmektedir.

Şekil 2. 6 : Zemin elemanın ortotrop malzeme olarak tanımlanması.

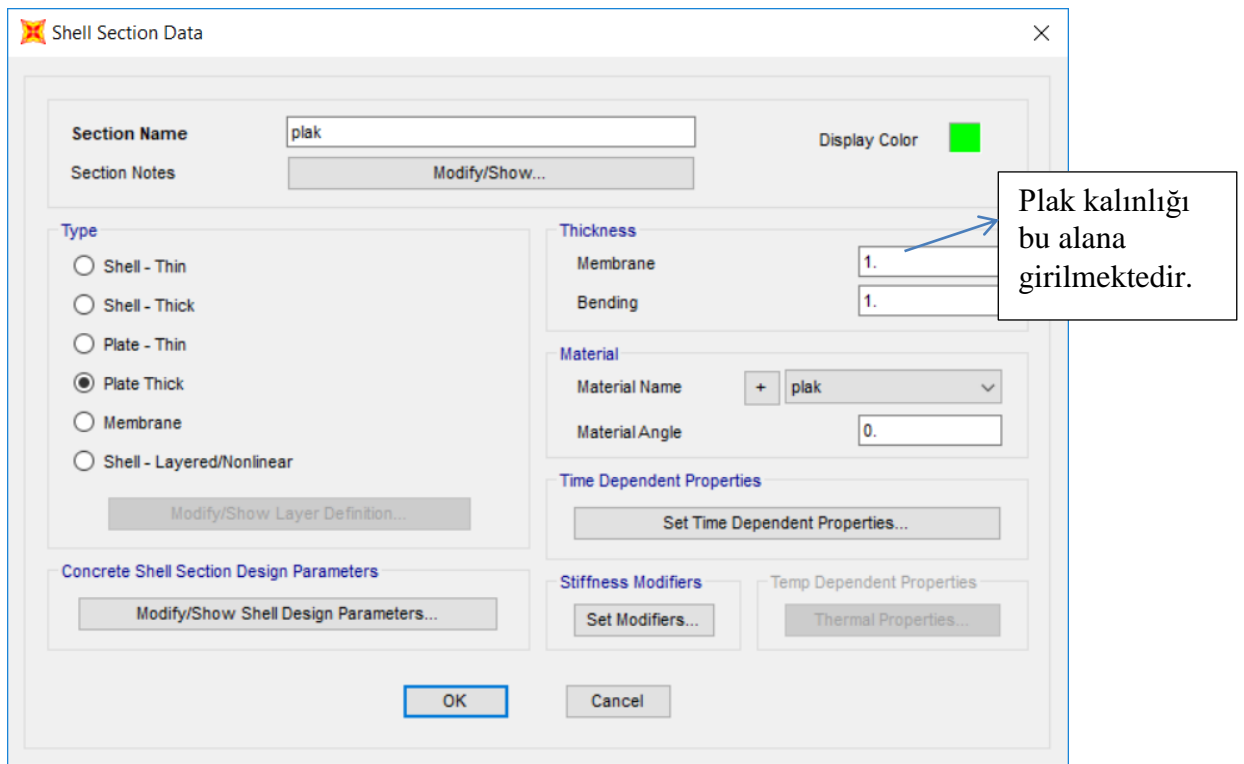


Gx ve Gy kayma
modülleri, sırası ile
G13 ve G23 olarak bu
alana girilmektedir.

Şekil 2. 7 : Zemin elemanın malzeme özelliklerini tanımlanması.

Plak elemanın kesit özelliklerinin tanımlanması,

Define → *Section Properties* → *Area Sections* ile açılan menüde, *Section Type* bölümünden *Shell* seçilmektedir. Buradan *Add New Section* açıldıktan sonra plak kesiti “*Plate Thick*” olarak tanımlanmaktadır. Malzeme ismi daha önceden oluşturulan “plak” olarak seçilmektedir (Şekil 2.8).

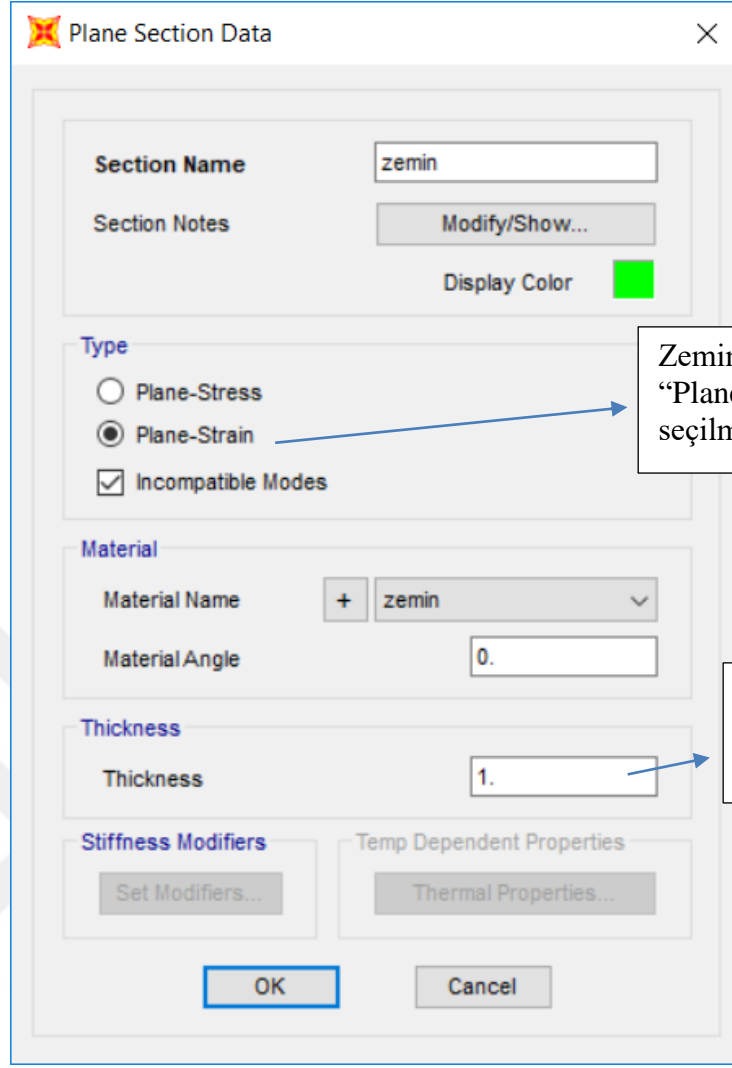


Şekil 2. 8 : Plak elemanın kesit özelliklerinin tanımlanması.

Zemin elemanın kesit özelliklerinin tanımlanması,

Define → *Section Properties* → *Area Sections* ile açılan menüde *Section Type* bölümünden *Plane* seçilmektedir. Buradan *Add New Section* açıldıktan sonra zemin elemanın türü “düzlem şekil değiştirme elemanı (*Plane Strain*)” olarak seçilmektedir.

Zemin elemanın tabaka kalınlığı bir birim olarak tanımlanmaktadır. Malzeme ismi daha önceden oluşturulan “zemin” olarak seçilmektedir (Şekil 2.9).

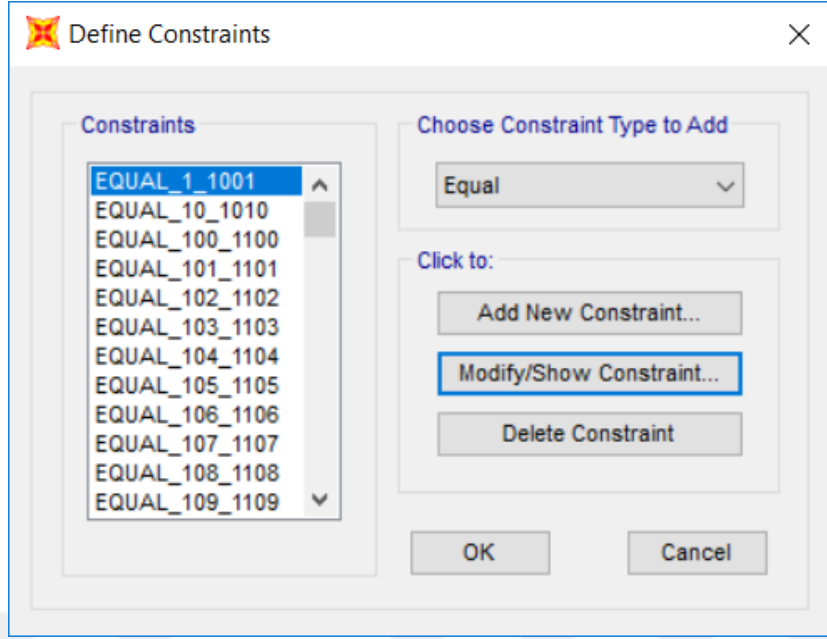


Şekil 2. 9 : Zemin elemanın kesit özelliklerinin tanımlanması.

Tanımlanan malzeme ve kesit özellikleri plak ve zemin eleman seçilerek Assign komutu ile plak ve zemin elemana atanmaktadır.

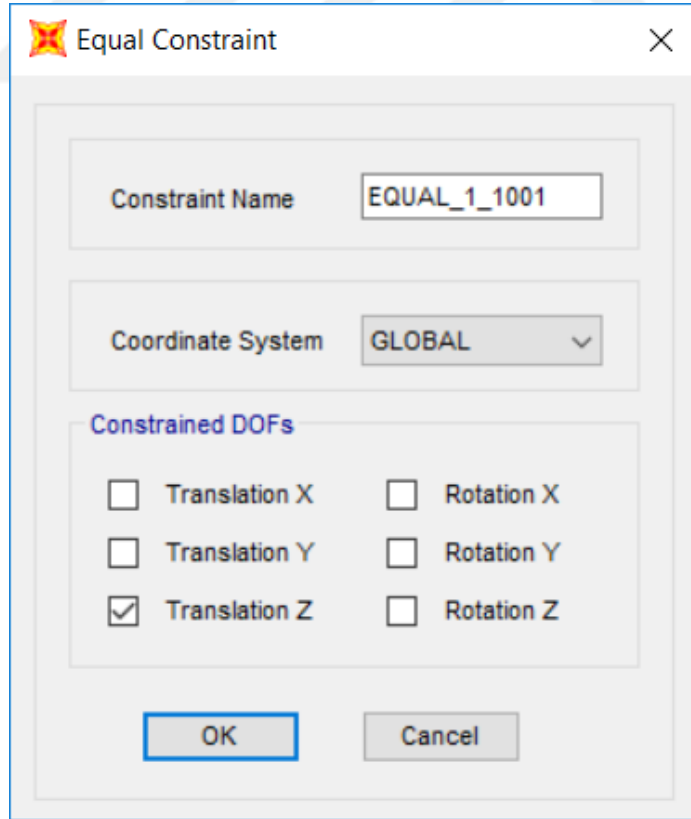
Plak eleman ile zemin eleman arasındaki bağlantıyı sağlamak için SAP2000 programında *Equal Constrain* özelliği ile eşitleme yapılmaktadır. Bu sayede plak ve zemin elemanın düşey yönde aynı hareketi yapması sağlanmaktadır. *Equal Constrain* ile sadece global z doğrultusunda harekete izin verilmektedir.

Define → *Joint Constraints* → *Choose Constraint Type to Add* bölümünden *Equal* seçilir (Şekil 2.10).



Şekil 2. 10 : Joint constraint tanımlanması.

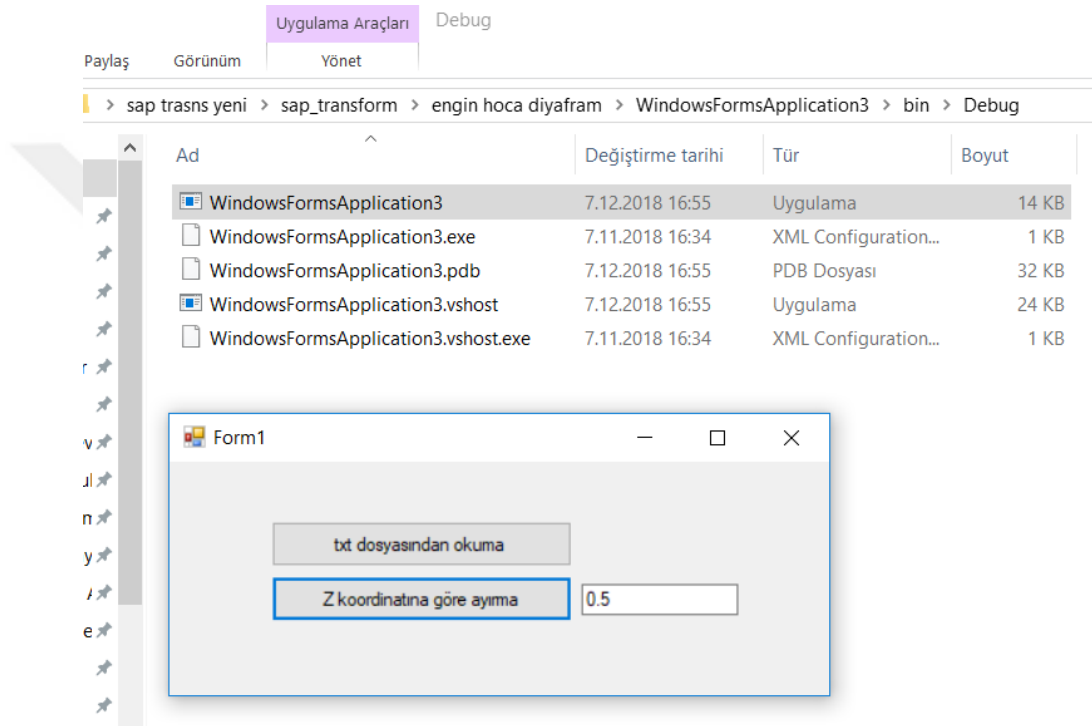
Aynı menüde *Add New Constraints* komutu açılmakta, buradan sadece *Translation Z* seçilmektedir (Şekil 2.11).



Şekil 2. 11 : Equal constraint seçilerek translation Z yönünde harekete izin verilmesi.

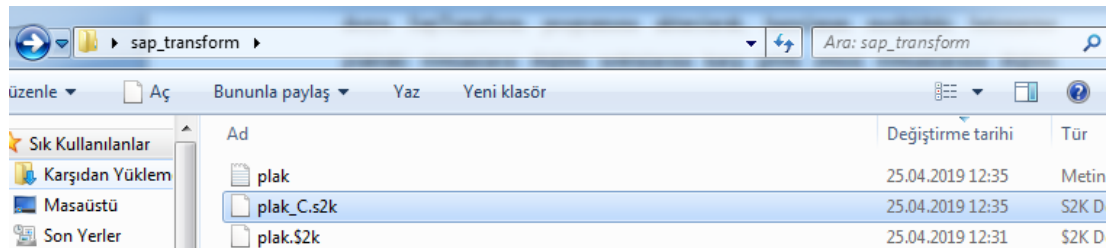
Joint Constraint işlemini daha hızlı ve hatasız yapabilmek için SapTransform yazılımı kullanılmış ve plak ve zemin aynı düşey yer değiştirme yapacak şekilde modellenmiştir. Bu işlem aşağıda açıklanmaktadır.

Hazırlanan model kaydedildikten sonra SAP 2000 programının içinde oluşan dosyalardan *.\$2k* uzantılı dosya, SapTransform program dosyaları içine atılmaktadır. Bu program içinde yer alan “*WindowsFormApplication3*” bulunmakta ve çalıştırılmaktadır. Açılan menüde “*Z koordinatına göre ayırma 0.5*” seçeneği tıklanmaktadır (Şekil 2.12).

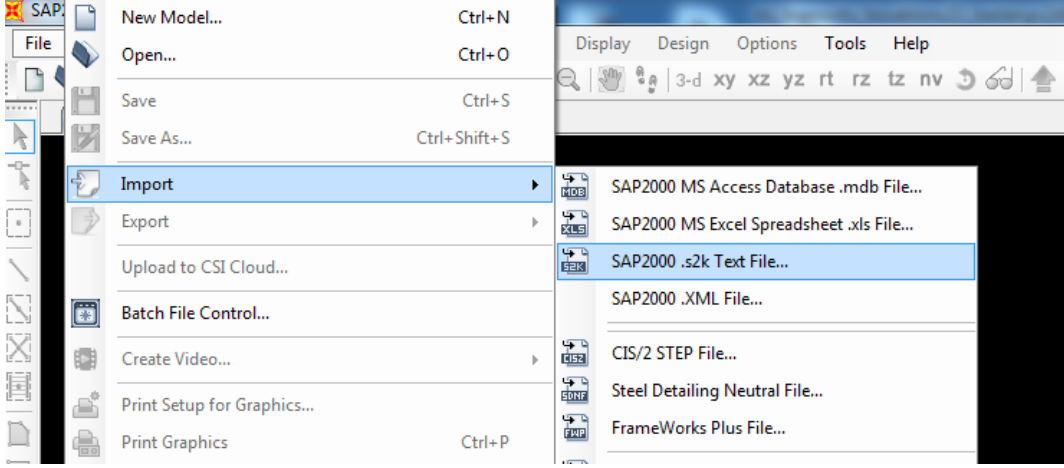


Şekil 2. 12 : SapTransform programının veri giriş ekranında z koordinatına göre ayırma.

Sap transform içine atılan dosyanın ismi eşitleme yapıldıktan sonra otomatik olarak *_C.s2k* uzantılı olarak kaydedilmektedir (Şekil 2.13).



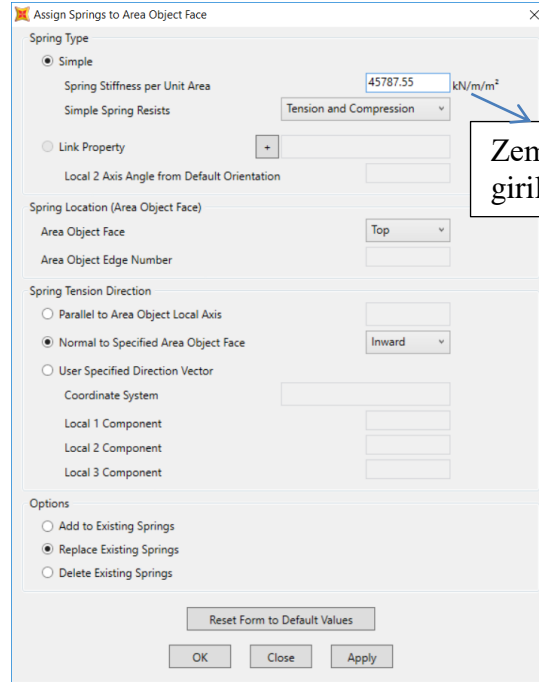
Şekil 2. 13 : *_C.s2k* uzantılı dosya.



Şekil 2. 14 : SapTransform ile eşitleme yapılan dosyanın SAP2000 programında Import komutu ile açılması.

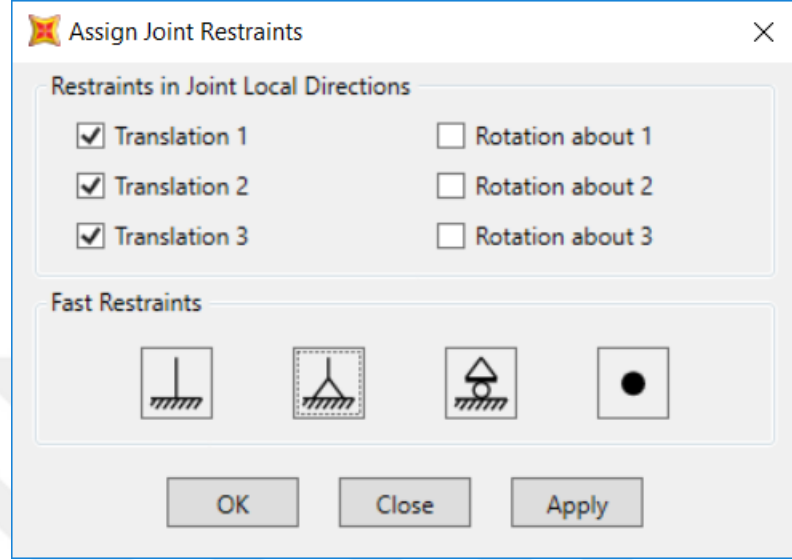
_C.s2k uzantılı dosya SAP2000 programından Import komutu ile açılmaktadır (Şekil 2.14). Bu yeni dosya ile plak ve zeminin aynı (x,y) koordinatındaki düğüm noktalarının Z doğrultusunda aynı deplasmanı yapan bir model elde edilmiştir. SapTransform programı yardımı ile hızlı ve pratik olarak düğüm noktaların eşit deplasman yapması sağlanmış olmaktadır.

Zemin elemanın birinci parametresi k zemin modülü, *Assign* → *Area Spring* menüsünden zemin yatak katsayısı olarak “*Spring stiffness per unit area*” alanına girilmektedir (Şekil 2.15).



Şekil 2. 15 : Zemin yatak katsayısının tanımlanması.

Plak ve zemin elemanın kenarlarına mesnet ataması örneğe uygun olarak yapılmaktadır (Şekil 2.16). Bu çalışmada basit mesnet, ankastre mesnet veya iki kenarı basit iki kenarı ankastre mesnet kullanılmıştır.



Şekil 2. 16 : Plak ve zemin elemanın kenarlarına mesnet ataması yapılması.

Tüm model oluşturulduktan sonra analizi yapılmakta ve sonuçlar incelenmektedir.



3. DOĞRULAMA ÖRNEKLERİ

3.1 Örnek 1

Daha önce (Çelik, 1996), (Vallabhan ve ark., 1994)'de çözümü yapılan iki parametrelili zemine oturan tekil yüklü ve düzgün yayılı yüklü plak, bu çalışmada SAP2000 programında plak ve zemin elemanı modellenerek yeniden çözülmüş, deplasman ve eğilme moment değerleri karşılaştırılmıştır. Bu örnekle SAP2000 programında oluşturulan modelin doğru çalıştığının gösterilmesi amaçlanmaktadır.

Plakın Elastisite modülü $E=20685000 \text{ kN/m}^2$

Poisson oranı: 0,2

Plak kalınlığı: 15,24 cm

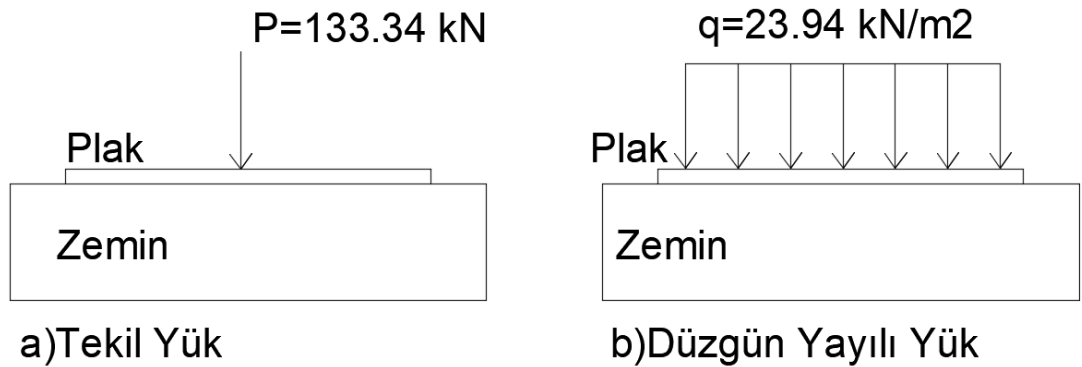
Plak boyutları: $9,144 \times 12,192 \text{ m}^2$

Zemin kalınlığı: 1 m

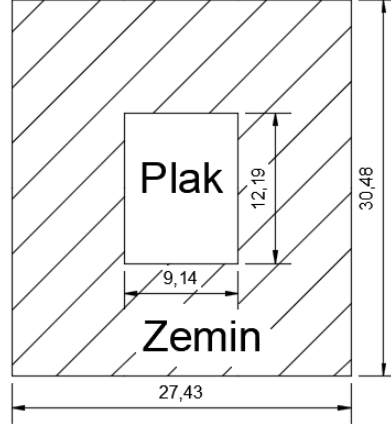
Zemin boyutları: $27,43 \times 30,48 \text{ m}^2$

Plak ortasında tekil yük: 133,34 kN

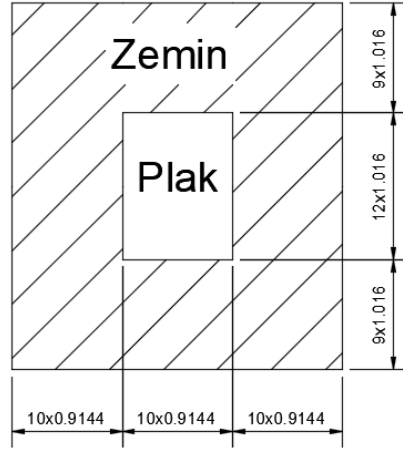
Plak üzerinde yayılı yük: $23,94 \text{ kN/m}^2$



Şekil 3. 1 : Tekil yük ve düzgün yayılı yüklü iki parametrelili zemine oturan plak.



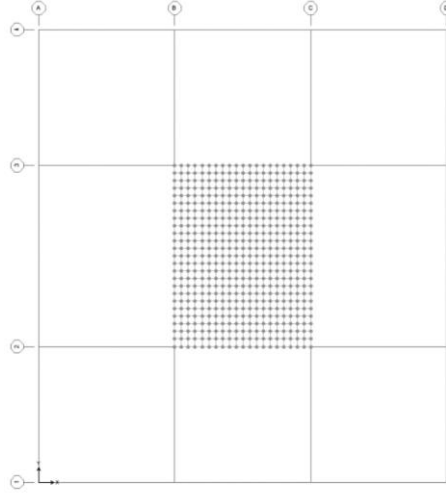
Şekil 3. 2 : Plak ve zemin plan gösterimi.



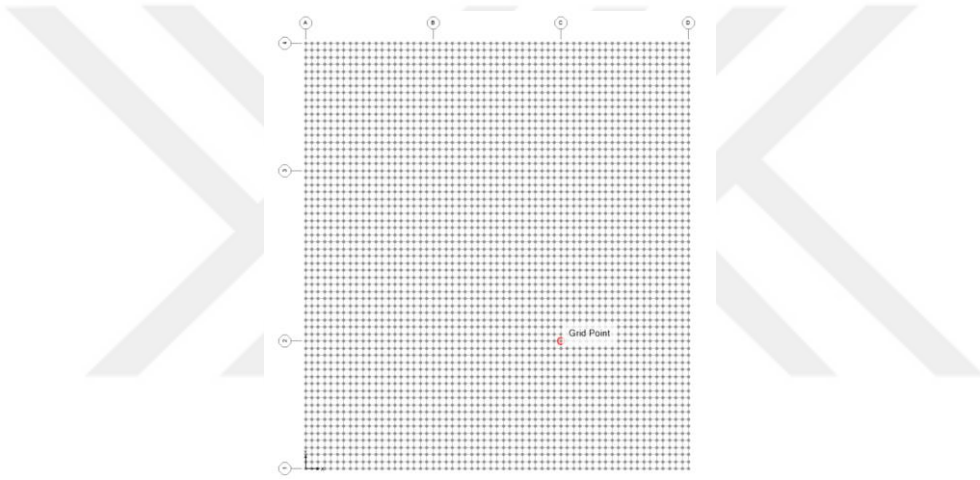
Şekil 3. 3 : Plak ve zeminin sonlu eleman ağı gösterimi.

Plak ve zemin eleman Sap2000 programında modellenmiştir. X doğrultusunda bir eleman kenarı 0.9144 m, y doğrultusunda 1.016 m olacak şekilde sonlu elemanlara ayrılmıştır (Şekil 3.3).

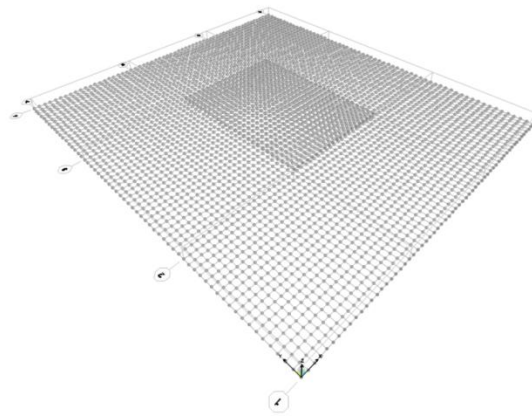
Plak eleman üzerine 133,34 kN tekil yük ve 23,94 kN/m² yayılı yük örneğe uygun olarak Şekil 3.7 ve Şekil 3.8 de görüldüğü gibi ayrı ayrı atanmıştır.



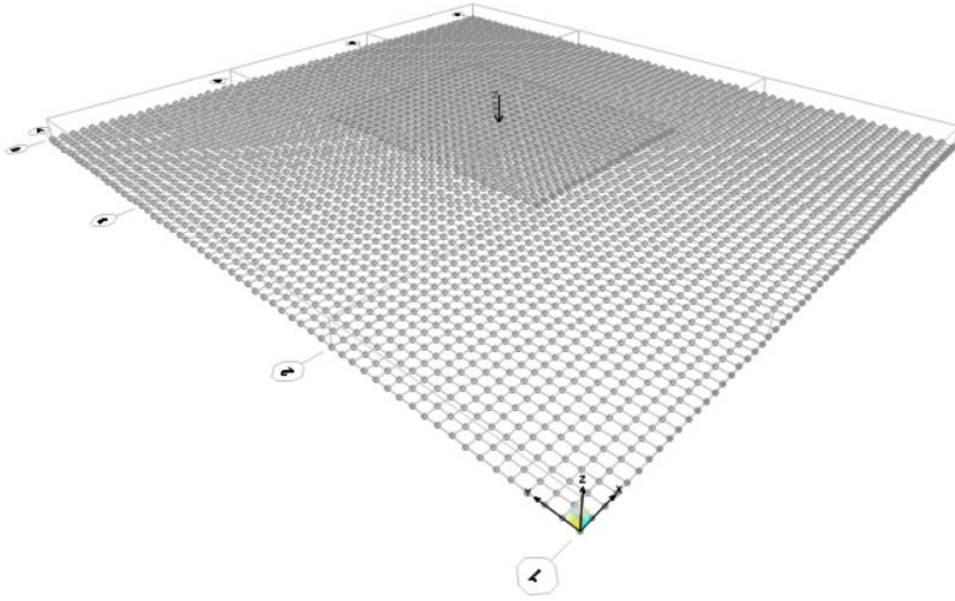
Şekil 3. 4 : Plak görünümü Z=1 m kotu.



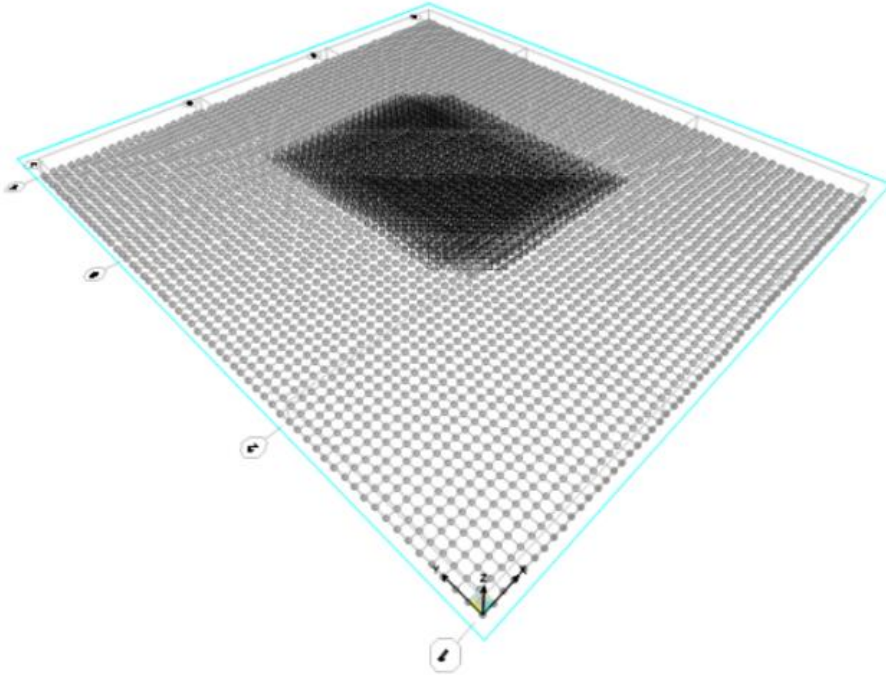
Şekil 3. 5 : Plak altındaki genişletilmiş zemin görünümü Z=0 m kotu.



Şekil 3. 6 : Plak ve zemin modeli 3D görünümü.



Şekil 3. 7 : Tekil yükle yüklü plak görünümü.



Şekil 3. 8 : Düzgün yayılı yükle yüklü plak görünümü.

SAP2000 programında modelleme aşamaları aşağıda anlatılmaktadır.

Öncelikle plak ve zemin elemanın malzeme özellikleri tanımlanmıştır (Şekil 3.9 ve Şekil 3.10).

The dialog box is titled "Material Property Data" and contains the following sections:

- General Data:** Material Name and Display Color: m_plak; Material Type: Concrete; Material Grade: (empty); Material Notes: (empty); 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: 20685000.; Poisson, U: 0.2; Coefficient Of Thermal Expansion, A: 9.900E-06; Shear Modulus, G: 8618750.
- Other Properties For Concrete Materials:** Specified Concrete Compressive Strength, f_c: 27579.032; Expected Concrete Compressive Strength: 27579.032; Lightweight Concrete: (unchecked); Shear Strength Reduction Factor: (empty).
- Switch To Advanced Property Display: (unchecked).
- Buttons: OK, Cancel.

Plak birim hacim ağırlığı 0 alınmıştır.

Plakın Elastisite modülü $E=20685000$ kN/m² Poisson Oranı: 0,2 alınmıştır.

Şekil 3.9 : Plak elemanın malzeme özellikleri.

The dialog box is titled "Material Property Options" and contains the following sections:

- Material Name:** m_zemin
- Material Grade:** (empty)
- Material Notes:** (empty); Modify/Show... button.
- Options:** Material Type: Concrete; Directional Symmetry Type: Orthotropic; Display Color: (blue); Material Properties are Temperature Dependent: (unchecked).
- Buttons: Modify/Show Material Properties..., OK, Cancel.

Zemin malzeme çeşidi ortotropik seçilmiştir.

Şekil 3.10 : Zemin elemanın malzeme özelliklerinin tanımlanması.

İki parametrelili zeminin 2. Parametresi G zemin kayma modülü (Çelik, 1996)'da yer alan C_T değerinin iki katı alınarak,

Define → *Materials* menüsünden “*ortotrop*” malzeme seçilerek açılan *Material Property Data* menüsünden G_{13} ve G_{23} bölümüne girilmiştir. Malzeme izotrop olduğundan $G_{13}=G_{23}=G$ olarak alınmıştır (Şekil 3.10, Şekil 3.11).

Şekil 3. 11 : İki parametrelili zemin elemana kayma modülü tanımlanması.

Daha sonra plak elemanın kesit özellikleri tanımlanmıştır. Plak türü “*Plate Thick*” seçilmiş ve plak kalınlığı 15,24 cm olarak tanımlanmıştır (Şekil 3.12).

Shell Section Data

Section Name: plak

Section Notes: Modify/Show...

Display Color: [Grey]

Type:

- Shell - Thin
- Shell - Thick
- Plate - Thin
- Plate Thick
- Membrane
- Shell - Layered/Nonlinear

Thickness:

Membrane: 0.1524

Bending: 0.1524

Material:

Material Name: + m_plak

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...

OK Cancel

Plak kalınlığı
15.24 cm
girilmiştir.

Şekil 3. 12 : Plak elemanın kesit özellikleri.

Zemin elemanın malzeme özellikleri Şekil 3.13 deki gibi malzeme türü *Plane Strain* zemin kalınlığı 1 metre olarak tanımlanmıştır.

Plane Section Data

Section Name: zemin

Section Notes: Modify/Show...

Display Color: [Green]

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...

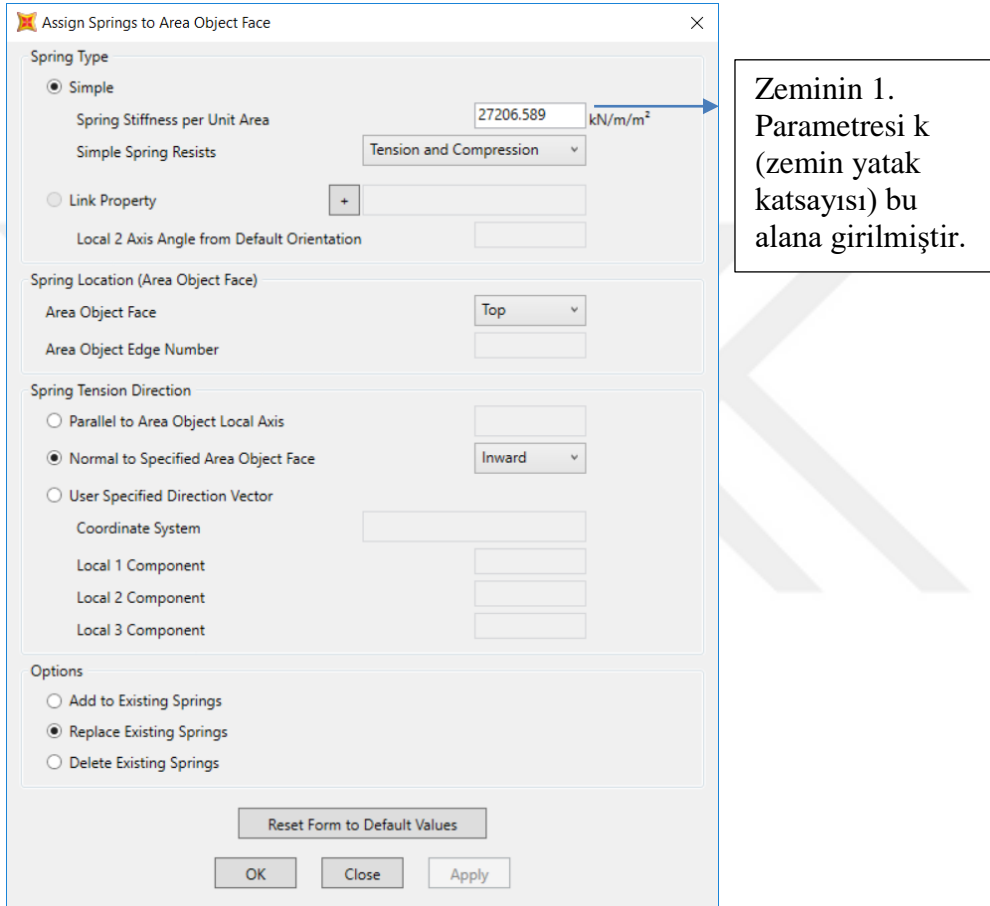
OK Cancel

Şekil 3. 13 : Zemin elemanın kesit özelliklerinin tanımlanması.

SapTransform yazılımı kullanılarak Bölüm 2.3 de açıklandığı gibi plak ve zemin aynı düşey yer değiştirme yapacak şekilde eşitleme yapılmıştır.

İki parametrelili zeminin birinci parametresi k zemin yatak katsayısı (Çelik, 1996)'de yer alan Cz değeri alınarak SAP2000 programında,

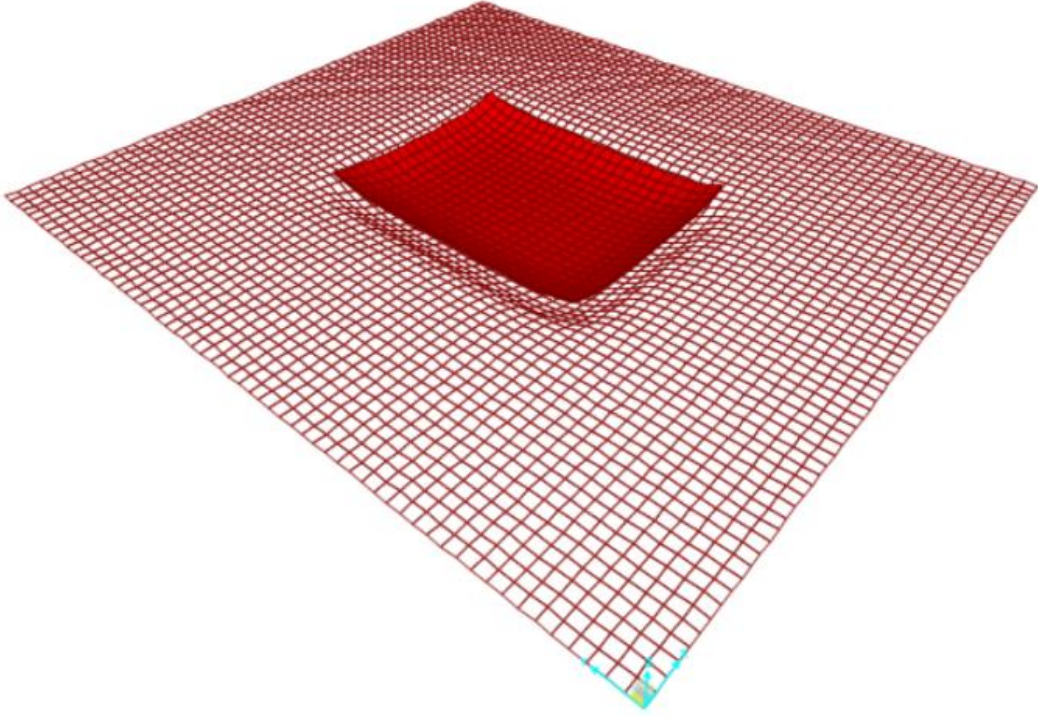
Assign → *Area* → *Area Springs* menüsünden *Spring Stiffness Per Unit Area* bölümüne girilmiştir (Şekil 3.14).



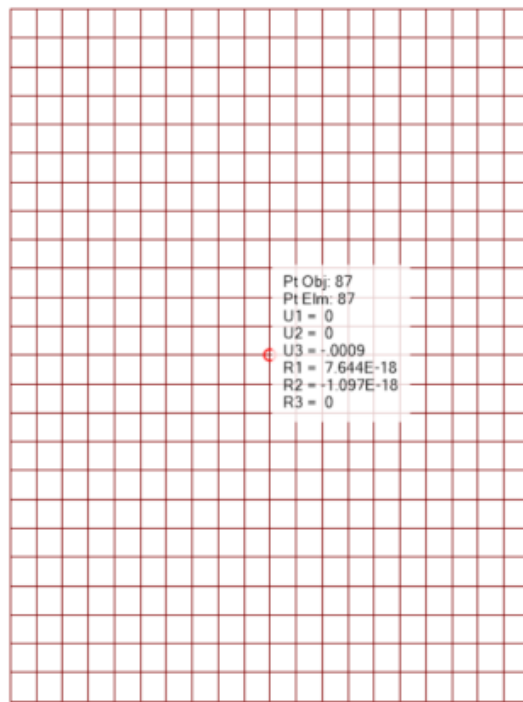
Şekil 3. 14 : İki parametrelili zemin elemana zemin yatak katsayısı tanımlanması.

Plak ve zemin elemanın dış kenarlarına mesnet konulmamıştır.

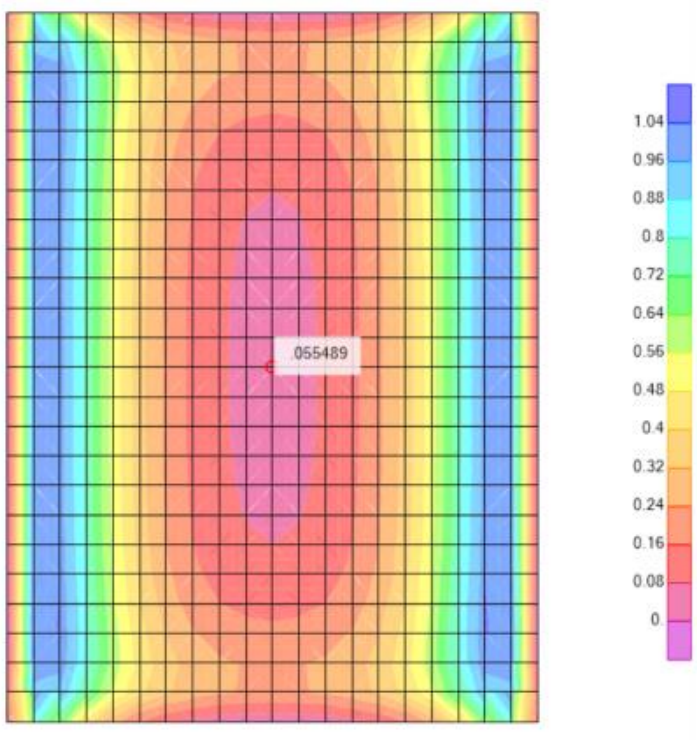
(Çelik, 1996) ve diğer bazı çalışmalar Vlasov zemine aittir. Karşılaştırma için söz konusu tezlerdeki son adıma ait zemin parametreleri, zemin yatak katsayısı ve Pasternak zemin parametresi olarak alınıp karşılaştırmalar yapılmıştır.



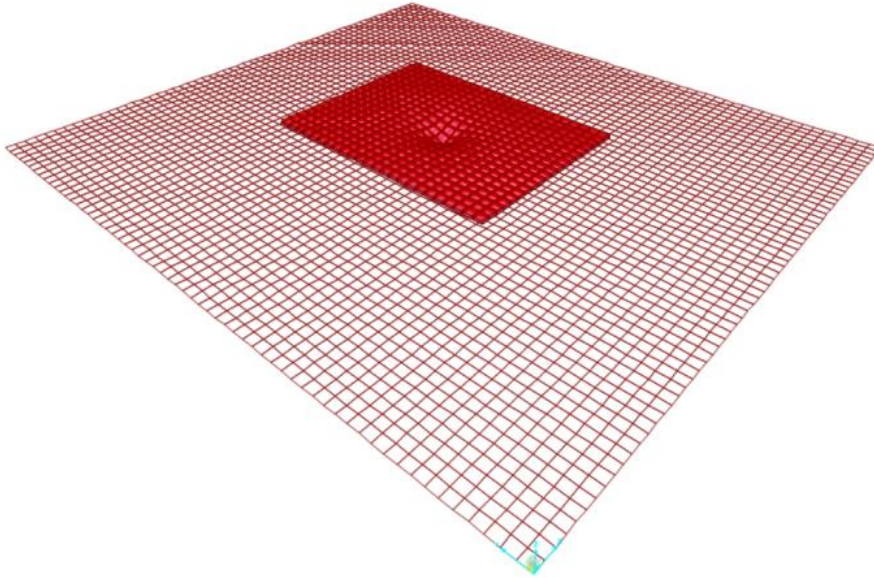
Şekil 3. 15 : Yayılı yükle yüklenmiş dış zeminli iki paramtreli zemine oturan plak modelinin şekil değiştirmiş hali.



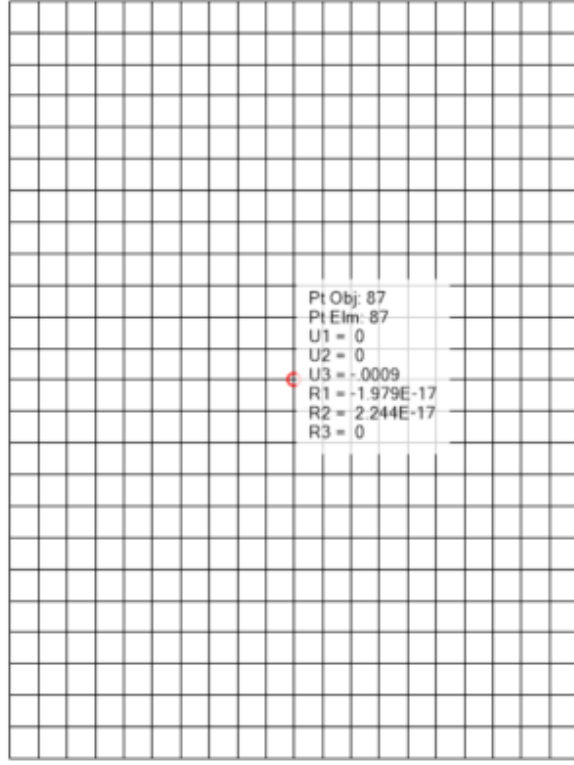
Şekil 3. 16 : Yayılı yükle yüklenmiş dış zeminli iki paramtreli zemine oturan plak modelinde çökme değeri.



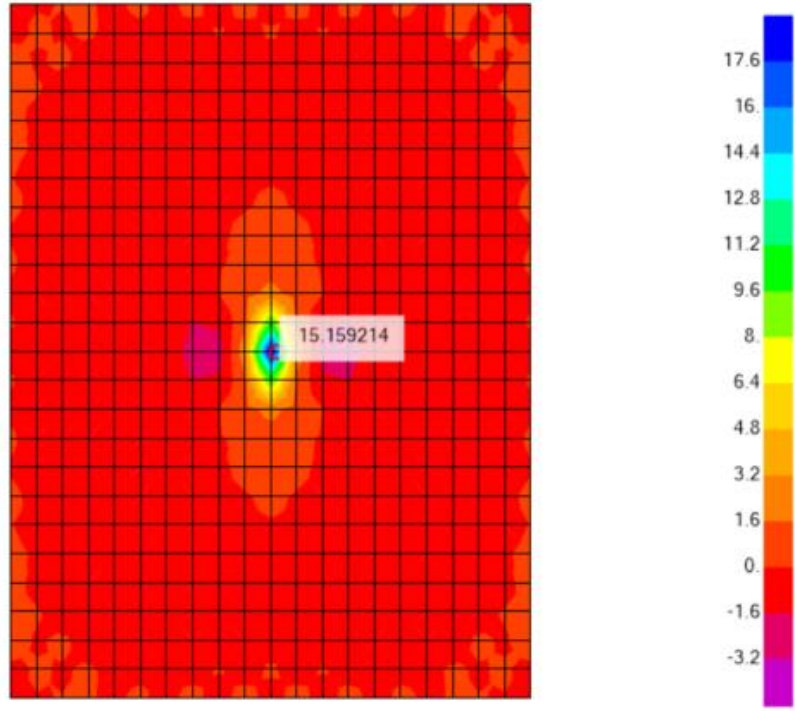
Şekil 3. 17 : Yayılı yükle yüklenmiş dış zeminli iki parametrelili zemine oturan plak modelinde M_{11} eğilme momenti değeri.



Şekil 3. 18 : Tekil yükle yüklenmiş dış zeminli iki parametrelili zemine oturan plak modelinin şekil değiştirmiş hali.



Şekil 3. 19 : Tekil yükle yüklenmiş dış zeminli iki parametrelili zemine oturan plak modelinde çökme değeri.



Şekil 3. 20 : Tekil yükle yüklenmiş dış zeminli iki parametrelili zemine oturan plak modelinde M_{11} eğilme momenti değeri.

Çizelge 3. 1 : Yayılı yüklü plakta çökme ve eğilme momenti değerlerinin önceki çalışmalarla karşılaştırılması.

Yayılı Yük 23.94 kN/m ²		H(m)	3,048	6,096	9,144	15,24
(Çelik, 1996)	Cz(k yay katsayısı) Kn/m ³		27206,59	13757,63	9377,96	5964,21
	2xCt(G kayma modülü) kN/m		26905,91	50410,87	70586,50	104664,46
	v(cm) çökme (Simetri merkezind		0,0872	0,1526	0,1893	0,2212
	Mx (kNm/m) (Simetri merkezind		0,0529	0,2880	0,4109	0,4671
(Vallabhan ve ark., 1994)	Cz(k yay katsayısı) Kn/m ³		27192,24	13757,28	9430,36	6366,16
	2xCt(G kayma modülü) kN/m		13413,51	25141,05	34753,00	47366,79
	v(cm) çökme (Simetri merkezind		0,0853	0,1524	0,1890	0,2070
	Mx (kNm/m) (Simetri merkezind		0,0445	0,3113	0,4224	0,4892
Bu çalışma	Cz(k yay katsayısı) Kn/m ³		27206,59	13757,63	9377,96	5964,21
	2xCt(G kayma modülü) kN/m		26905,91	50410,87	70586,50	104664,46
	v(cm) çökme (Simetri merkezind		0,0900	0,1500	0,1900	0,2200
	Mx (kNm/m) (Simetri merkezind		0,0554	0,2916	0,4130	0,4670

Çizelge 3. 2 : Bu çalışma ile (Çelik, 1996) arasındaki göreceli fark (Çizelge 3.1).

H(m)	3,048	6,096	9,144	15,24
v(cm)	0,03	0,02	0,00	0,01
Mx (kNm/m)	0,05	0,01	0,01	0,00

Yayılı yüklü çizelge 3.1'de (Çelik, 1996) ile yapılan karşılaştırmada, çökmede göreceli farkın % 3 ile % 1 arasında olduğu görülmektedir. Eğilme momentinde ise % 5 ile % 0 arasında değiştiği yani farkın çok küçük olduğu görülmektedir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3. 3 : Tekil yüklü plakta çökme ve eğilme momenti değerlerinin önceki çalışmalar ile karşılaştırılması.

Tekil Yük 133,34 kN		H(m)	3,048	6,096	9,144	15,24
(Çelik, 1996)	Cz(k yay katsayısı) Kn/m ³		31898,08	24256,05	23737,98	23710,59
	2xCt(G kayma modülü) kN/m		18913,08	23597,82	24035,56	24060,66
	v(cm) çökme (Simetri merkezind		0,0818	0,0845	0,0846	0,0846
	Mx (kNm/m) (Simetri merkezind		15,0470	14,5630	14,5100	14,5100
(Vallabhan ve ark., 1994)	Cz(k yay katsayısı) Kn/m ³		31610,54	23918,17	23376,20	23350,30
	2xCt(G kayma modülü) kN/m		9565,47	11959,06	12193,10	12205,06
	v(cm) çökme (Simetri merkezind		0,0480	0,0975	0,0975	0,0975
	Mx (kNm/m) (Simetri merkezind		12,5440	12,5440	12,5440	12,5440
Bu çalışma	Cz(k yay katsayısı) Kn/m ³		31898,08	24256,05	23737,98	23710,59
	2xCt(G kayma modülü) kN/m		18913,08	23597,82	24035,56	24060,66
	v(cm) çökme (Simetri merkezind		0,0900	0,0900	0,0900	0,0900
	Mx (kNm/m) (Simetri merkezind		15,1590	14,5230	14,5290	14,5220

Çizelge 3. 4 : Bu çalışma ile (Çelik, 1996) arasındaki göreceli fark (Çizelge 3.3).

H(m)	3,048	6,096	9,144	15,24
v(cm)	0,10	0,06	0,06	0,06
Mx (kNm/m)	0,01	0,00	0,00	0,00

Tekil yüklü çizelge 3.3'de (Çelik, 1996) ile yapılan karşılaştırmada ise çökmede göreceli farkın % 10 ile % 6 arasında olduğu görülmektedir. Eğilme momentinde ise % 1 ile % 0 arasında değiştiği yani farkın çok küçük olduğu görülmektedir (Çizelge 3.4). Bu sonuçlardan, bu çalışmada oluşturulan plak zemin modelinin uygun olduğu görülmektedir.

3.2 Örnek 2

Bu örnekte (Kutlu, 2007)'deki İzotrop zeminli, dört tarafı basit mesnet ve dört tarafı ankastre mesnetli kare plakta serbest titreşim analizi örneği ele alınmış, çıkan frekans değerleri çizelgelerde karşılaştırılmıştır.

Kare plakta;

Elastisite modülü : $E= 25\text{GPa} =25. 10^6 \text{kN/ m}^2$

Poisson oranı : $\nu =0.3$

Plak genişlik : $a =10 \text{ m}$

Plak kalınlık : $h=1 \text{ m}, h=2 \text{ m}$

Plak rijitliği $D= Exh^3 / [12(1-\nu^2)]$

Boyutsuzlaştırılmış açısal frekans: $\omega = (\omega \cdot a^2) / \pi^2 \cdot \sqrt{(\rho \cdot h) / D}$

Zemin parametreleri k ve G ,

$\phi_1=ka^4/D$ $\phi_2=Ga^2/D$ biçiminde boyutsuzlaştırılmıştır.

$\phi_1=$ Boyutsuz zemin (yatak katsayısı) modülü

$\phi_2=$ Boyutsuz kayma modülü

k : Zemin modülü

G :Yaylar arasındaki kayma deformasyonunu temsil eden parametre

G sıfır olursa winkler zemin modeli temsil edilmiş olur.

Plak kalınlığı $h=1$ metre için

Plak rijitliği $D= 25.10^6 \cdot 1^3 / [12. (1-0.3^2)] = 2289377.289 \text{ kN.m}$

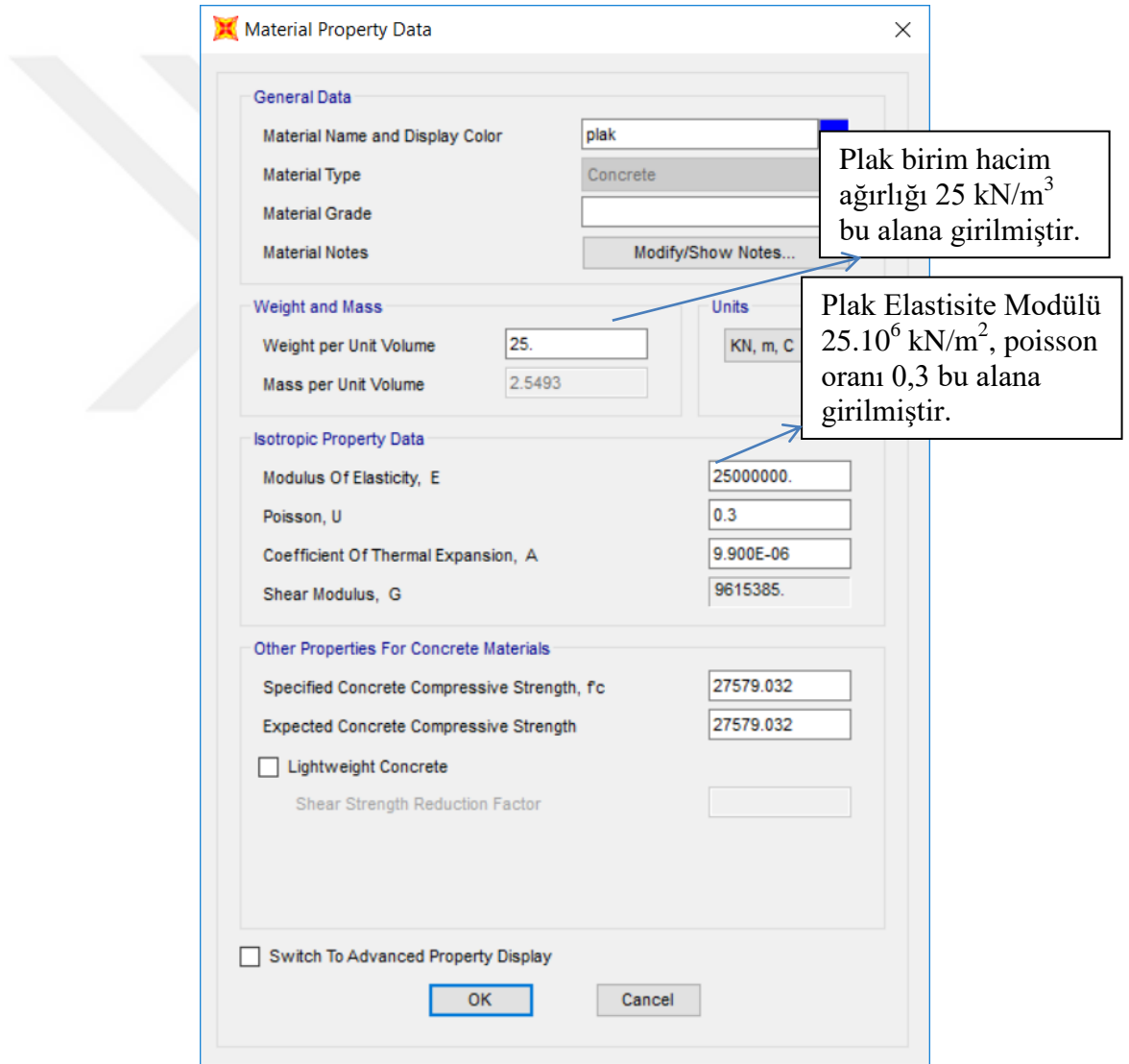
Plak kalınlığı $h=2$ metre için

Plak rijitliği $D = 25 \cdot 10^6 \cdot 2^3 / [12 \cdot (1 - 0.3^2)] = 18315018.32 \text{ kN.m}$

Bu örneğin SAP2000 programında modelleme aşamaları aşağıda anlatılmaktadır.

Plak elemanı 10x10 sayıda sonlu elamanlara ayrılmıştır. 1 m altına zemin eleman tanımlanıp 10x10 sonlu elemanlara bölünmüştür. Çevresine örneğe uygun olarak mesnetleri atanmıştır. Serbest titreşim karakteristiği inceleneceğinden herhangi bir yük tanımlanmamıştır.

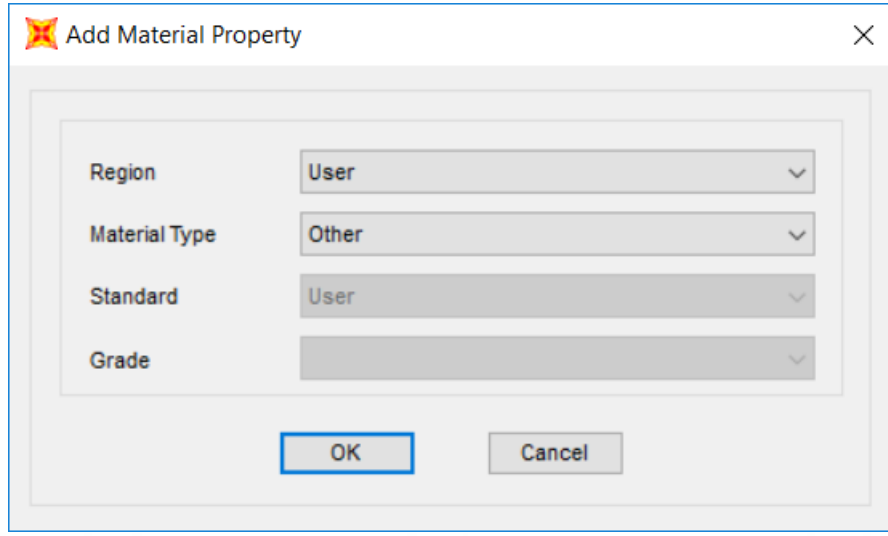
Öncelikle plak elemanın malzeme özellikleri *Define* → *Materials* → *Add New Material* menüsünden tanımlanmıştır (Şekil 3.21).



Şekil 3. 21 : Plak elemanın malzeme özelliklerinin tanımlanması.

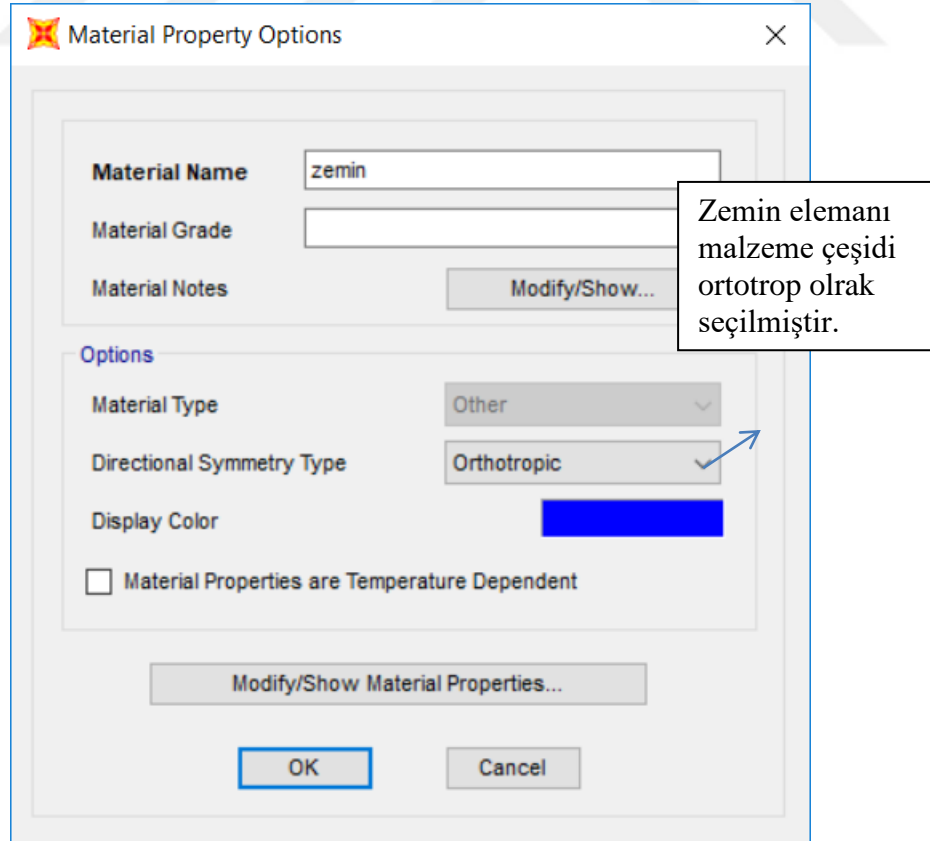
Zemin elemanın malzeme özellikleri *Define* → *Materials* → *Add New*

Material menüsünden aşağıdaki menu açılır (Şekil 3.22).



Şekil 3. 22 : Zemin elemanın malzemesinin tanımlanması.

Şekil 3.22'deki gibi malzeme çeşidi *User* seçildikten sonra açılan menüde, *Directional Symetry Type* komutu tıklanıp, burdan açılan menüde "*Orthotropic*" malzeme seçilerek *Modify/Show Material Properties* sekmesi açılmıştır (Şekil 3.23).



Şekil 3. 23 : Zemin malzemesinin ortotrop seçilmesi.

Bu menüde G_{13} , G_{23} kayma modülü, zemin izotrop olduğundan $G_x=G_y= G$ olmaktadır. Bu nedenle hesaplanan G değeri G_{13} ve G_{23} alanına girilmiştir (Şekil 3.24).

Şekil 3. 24 : Zeminin ikinci parametresi kayma modülünün tanımlanması.

k ve G değeri bulunurken,

Plak rijitliği $D= Exh^3 / [12x(1-9^2)]$ formülü ile bulunur.

Zemin parametreleri k ve G doğrulama yapılacak örnekte,

$$\phi_1=ka^4/D \quad \phi_2=Ga^2/D \quad \text{biçiminde boyutsuzlaştırılmıştır.}$$

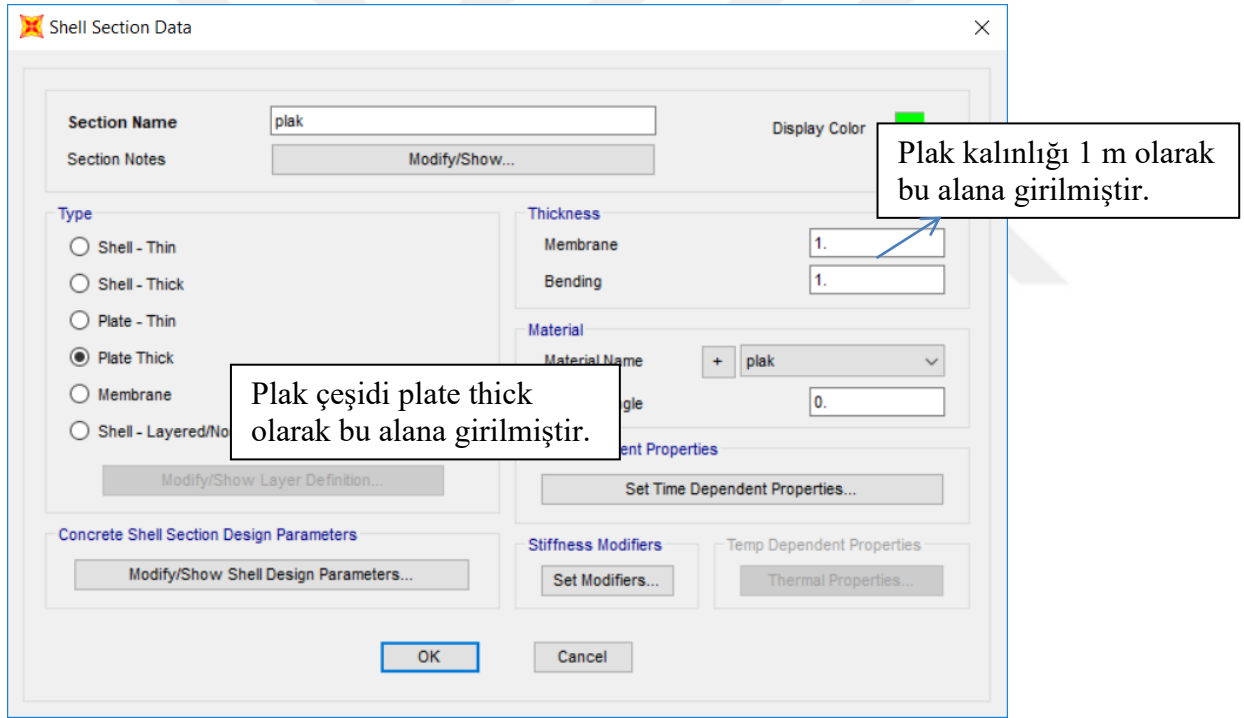
$\phi_1=$ Boyutsuz zemin (yatak katsayısı) modülü

$\phi_2=$ Boyutsuz kayma modülü

Hesaplanan D plak rijitliği değeri ve çizelgede verilen ϕ_1 boyutsuz zemin modülü değeri $k = \phi_1 \cdot D/a^4$ formülünde yerine yazılarak k zemin yatak katsayısı değeri bulunmuş ve SAP2000 programındaki yay katsayısı bölümüne girilmiştir (*Spring Stiffness per unit area*).

Hesaplanan D plak rijitliği değeri ve çizelgede verilen ϕ_2 boyutsuz zemin kayma modülü değeri $G = \phi_2 \cdot D/a^2$ formülünde yerine yazılarak G zemin kayma modülü bulunmuş ve SAP2000 programındaki G_{13} , G_{23} bölümüne girilmiştir (*Shear Modulus*).

Daha sonra plak elemanın kesit özellikleri tanımlanmıştır (Şekil 3.25).



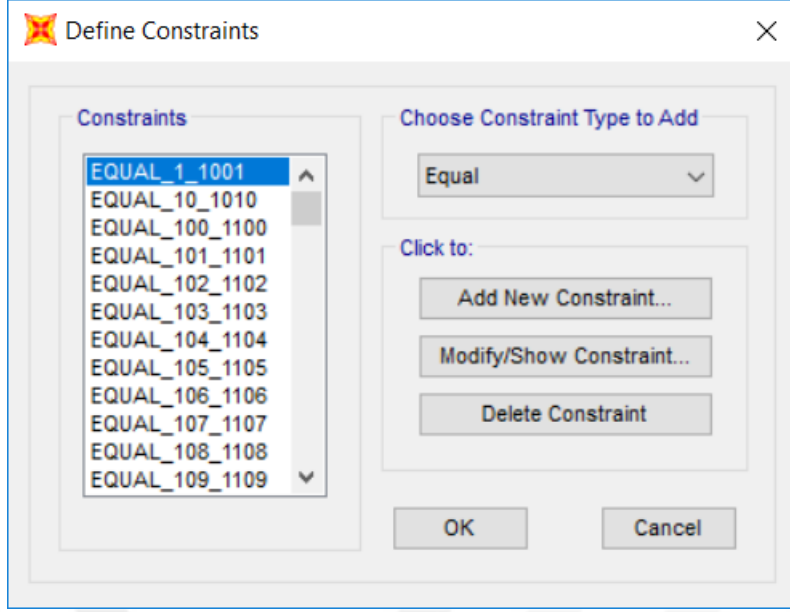
Şekil 3. 25 : Plak elemanın kesit özelliklerinin tanımlanması.

Plak elemanın çeşidi “*Plate Thick*” seçilmiştir. Plak kalınlığı için verilen örneğe uygun olarak 1 metre ve 2 metre olarak seçilmiştir.

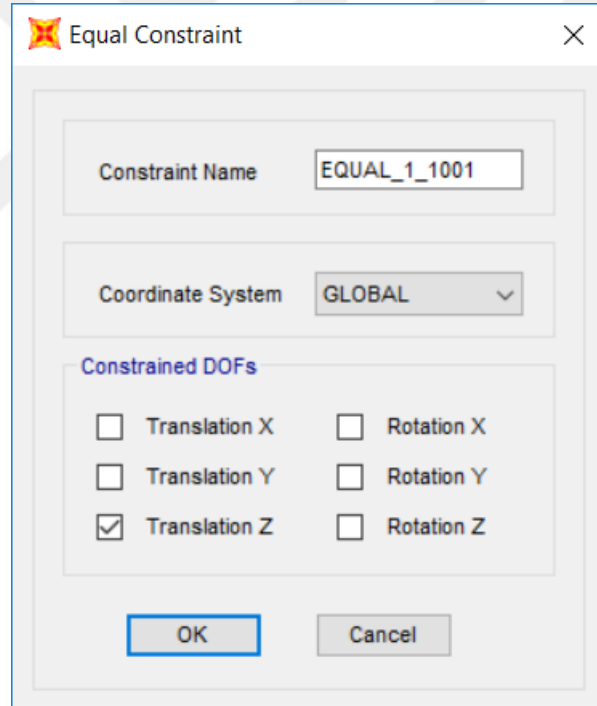
Zemin elemanın kesit özellikleri tanımlanmıştır (Şekil 3.26).

Şekil 3.26 : Zemin elemanın kesit özelliklerinin tanımlanması.

Plak ve altındaki zeminin bütün noktalarının aynı hareketi yapması için SAP 2000 programının *Joint Constraints* özelliği ile sonlu elemanlara ayrılmış bütün birleşim noktaları yalnızca z doğrultusunda harekete izin verecek şekilde modelleme yapılabilmektedir (Şekil 3.27, Şekil 3.28).



Şekil 3. 27 : Zemin ve plak eşitlemesi-Joint constraints.



Şekil 3. 28 : Equal Constraint seçilerek Translation Z yönünde harekete izin verilmesi.

Ancak Bölüm 2.3’de açıklandığı gibi *Joint Constraint* işlemini daha hızlı ve hatasız yapabilmek için SapTransform yazılımı kullanılmış ve plak ve zemin aynı düşey yer değiştirme yapacak şekilde modellenmiştir.

Zemin yatak katsayısı için tüm zemin seçilip *Assign* → *Area* → *Area Spring* menüsünden hesaplanan k değeri girilmiştir (Şekil 3.29).

Assign Springs to Area Object Face

Spring Type

- Simple
 - Spring Stiffness per Unit Area: 45787.5458 kN/m²
 - Simple Spring Resists: Tension and Compression
- Link Property +
- Local 2 Axis Angle from Default Orientation:

Spring Location (Area Object Face)

- Area Object Face: Top
- Area Object Edge Number:

Spring Tension Direction

- Parallel to Area Object Local Axis
- Normal to Specified Area Object Face
 - Coordinate System:
 - Local 1 Component:
 - Local 2 Component:
 - Local 3 Component:
- User Specified Direction Vector

Options

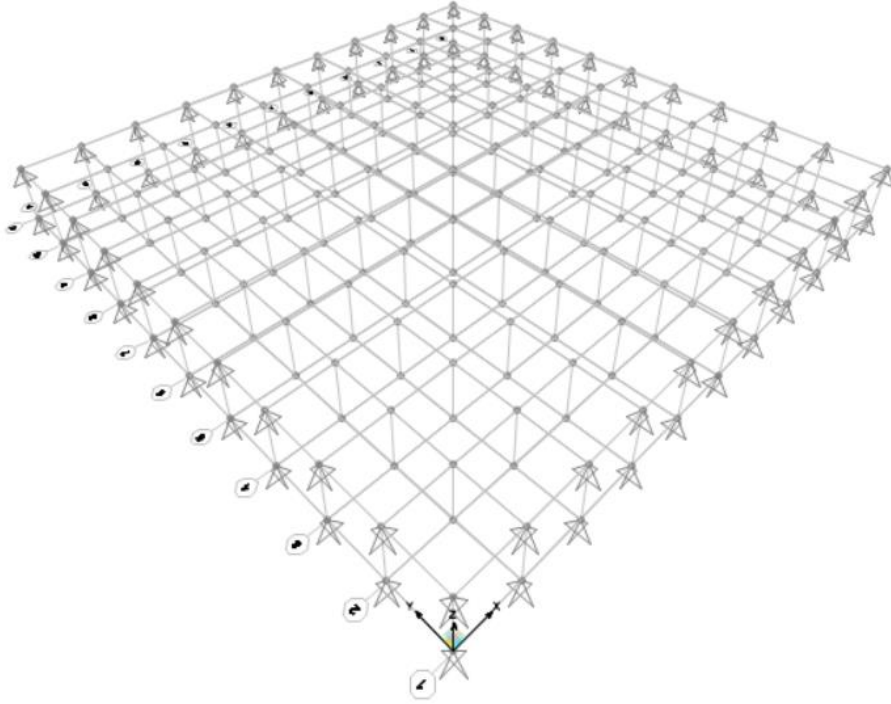
- Add to Existing Springs
- Replace Existing Springs
- Delete Existing Springs

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

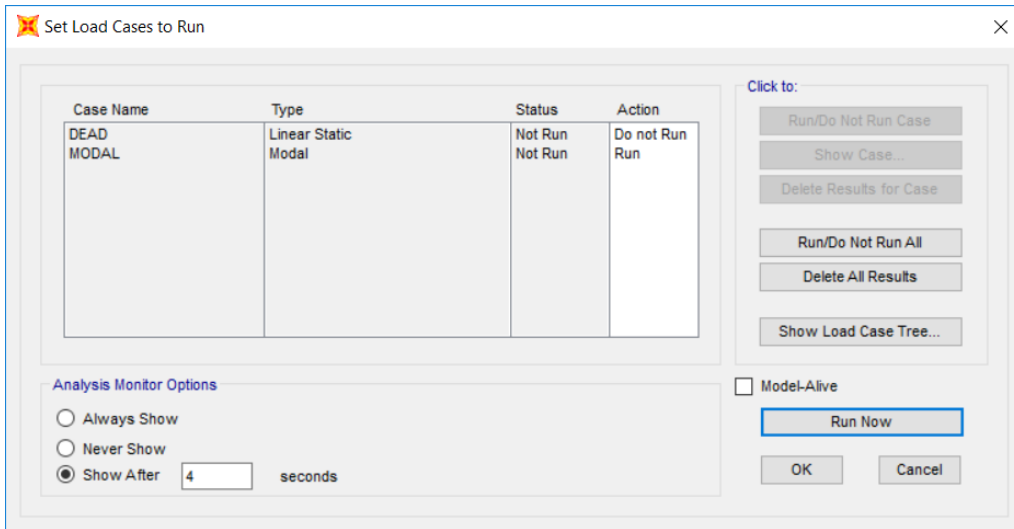
Hesaplanan zemin yatak katsayısı bu alan girilmiştir.

Şekil 3. 29 : Zeminin birinci parametresi yatak katsayısının tanımlanması.



Şekil 3. 30 : SAP2000 programında iki parametrelı zemine oturan kare plak modeli gösterimi.

Plak ve zemin modeli uygun bir şekilde tamamlandıktan sonra analiz yapılmıştır (Şekil 3.31).



Şekil 3. 31 : SAP2000 programında modal analiz seçimi.

Plagın serbest titreşim periyodu ilk 4 mod için okunmuştur (Çizelge 3.5).

Çizelge 3. 5 : Analiz sonucu okunan periyotlardan frekansların bulunması.

	T(Periyot, s)	$w = 2\pi/T$ (Frekans, 1/s)
1. Mod	0,02436	257,7997
2. Mod	0,01278	491,3928
3. Mod	0,01278	491,3928
4. Mod	0,00895	701,6760

Okunan periyot değerleri ile $w = 2\pi/T$ (Frekans) formülü ile frekanslar bulunmuştur. Bulunan frekanslar $\omega = (\omega \cdot a^2) / \pi^2 \cdot \sqrt{(\rho \cdot h) / D}$ formülü ile boyutsuzlaştırılmış frekansa dönüştürülmüştür. Boyutsuzlaştırılmış frekans değerleri Çizelgelerde önceki çalışmalar ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3. 6 : İzotrop zemine oturan bir metre kalınlığındaki basit mesnetli kare plakta boyutsuz frekans değerleri ve önceki çalışmalarla karşılaştırma.

Mod	T(Periyot, s)	$w = 2\pi/T$ (Frekans, 1/s)	ω (Boyutsuz frekans)	(Kutlu, 2007)	(Xiang ve ark., 1994)	Zhou ve ark.(2004)
1.mod	0,0244	257,7997	2,7591	2,7870	2,7842	2,7756
2.mod	0,0128	491,3928	5,2592	5,3120	5,3043	5,2954
3.mod	0,0128	491,3928	5,2592	5,3120	5,3043	5,2954
4.mod	0,0090	701,6760	7,5098	7,7349	7,7287	7,7279
1.mod	0,0169	371,8176	3,9794	3,9825	3,9805	3,9566
2.mod	0,0112	559,7148	5,9904	6,0146	6,0078	5,9757
3.mod	0,0112	559,7148	5,9904	6,0146	6,0078	5,9757
4.mod	0,0084	751,1962	8,0398	8,2274	8,2214	8,1954

Çizelge 3.6’de birinci bölümde ;

D plak rijitliği: 2289377,289 kN.m

Plak h:1 m, a:10 m,

$\phi_1 = 200$

$$k = 45787,546 \text{ kN/m}^3 \quad G = 228937,73 \text{ kN/m}^2$$

$\phi_2 = 10$

Çizelge 3.6’de ikinci bölümde ;

D plak rijitliği: 2289377,289 kN.m

Plak h:1 m, a:10 m,

$\phi_1 = 1000$

$$k = 228937,73 \text{ kN/m}^3 \quad G = 228937,73 \text{ kN/m}^2$$

$\phi_2 = 10$

Dört tarafı basit mesnetli plakta serbest titreşim analizi yapılmış ve önceki çalışmalar ile karşılaştırma yapılmıştır. Çizelge 3.6’ın ilk bölümünde $\phi_1 = 200$, $\phi_2 = 10$ olan kare plakta (Kutlu, 2007) ile yapılan karşılaştırmada, boyutsuz frekanslardaki

göreceli fark sırasıyla % 1, % 1, % 1, % 3 olmaktadır. Çizelge 3.6'nın ikinci bölümünde $\phi_1=1000$, $\phi_2= 10$ olan kare plakta boyutsuz frekanslardaki göreceli fark sırasıyla 0.0007, 0.004, 0.004, 0.023 olmaktadır.

Çizelge 3. 7 : İzotrop zemine oturan 2 metre kalınlığındaki basit mesnetli kare plakta boyutsuz frekans değerleri ve önceki çalışmalarla karşılaştırma.

Mod	T(Periyot, s)	$w = 2\pi/T$ (Frekans, 1/s)	ω (Boyutsuz frekans)	(Kutlu, 2007)	(Xiang ve ark., 1994)	Zhou ve ark.(2004)
1.mod	0,0086	728,5383	3,8987	3,8587	3,8567	3,7111
2.mod	0,0061	1022,8013	5,4734	5,4134	5,4043	5,2285
3.mod	0,0061	1022,8013	5,4734	5,4134	5,4043	5,2285
4.mod	0,0042	1481,1321	7,9260	7,8991	7,8938	7,7191
1.mod	0,0011	5980,9524	32,0061	17,9905	17,9910	4,6127
2.mod	0,0010	6038,4615	32,3139	20,0874	20,0920	7,2934
3.mod	0,0010	6038,4615	32,3139	20,0874	20,0920	7,2934
4.mod	0,0010	6097,0874	32,6276	22,5936	21,9550	10,3140

Çizelge 3.7'de birinci bölümde;

D plak rijitliği: 18315018,31 kN.m

Plak h:2 m, a:10 m,

$\phi_1= 1000$

$\phi_2= 10$

$k= 1831501,83 \text{ kN/m}^3$

$G= 1831501,83 \text{ kN/m}^2$

Çizelge 3.7'de ikinci bölümde ;

D plak rijitliği: 18315018,31 kN.m

Plak h:2 m, a:10 m,

$\phi_1= 100000$

$\phi_2= 10$

$k= 183150183,2 \text{ kN/m}^3$

$G= 1831501,83 \text{ kN/m}^2$

Çizelge 3.7'nin birinci bölümünde plak kalınlığı $h=2$ m, boyutsuz zemin parametreleri $\phi_1=1000$, $\phi_2= 10$ olan plakta boyutsuz frekanslarda (Kutlu, 2007) ile yapılan karşılaştırmasında göreceli fark sırasıyla % 1, % 1, % 1, % 0 olmaktadır. Çizelge 3.7'nin ikinci bölümünde plak kalınlığı $h=2$ m, boyutsuz zemin parametreleri $\phi_1=100000$, $\phi_2=10$ olan kare plakta boyutsuz frekans değerlerinde oldukça büyük fark görülmektedir. Önceki çalışmalardan (Kutlu, 2007) 10×10 elaman ağında çıkan sonuçları ile yapılan karşılaştırmada göreceli fark sırası ile % 56, % 47, % 47, % 36 olmaktadır.

h/b oranı 0,1-0,2 aralığında olan orta kalınlıktaki plaklarda Winkler parametresinin 1000'den büyük değerleri için Mindlin Teorisi doğru sonuçlar vermemektedir.

Çünkü Mindlin teorisinde zemin plağın ortalama düzlemine etkimektedir. Artan plak kalınlığı ve Winkler parametresi nedeni ile bu kabul anlamsız olmaktadır. Winkler parametresinin büyümesiyle birlikte eğilme modlarına ait frekanslar çok büyümektedir. Bununla birlikte Mindlin Teorisinde gözönüne alınmayan, düzlem içi etkilerine bağlı frekanslar, temel rijitliğinin değişmesinden etkilenmezler. Bu nedenle kalın plak teorisini gözönüne alan üç boyutlu çözümler Winkler zemin parametresinin büyük değerleri için anlamlı sonuçlar vermektedir. Ancak plağın kalın plak teorisine göre üç boyutlu olarak modellenmesi durumunda da bu çalışmada verilen zemin eleman kolaylıkla kullanılabilir.

Çizelge 3. 8 : İzotrop zemine oturan 1 metre kalınlığındaki ankastre mesnetli kare plakta boyutsuz frekans değerleri ve önceki çalışmalarla karşılaştırma.

	T(Periyot, s)	$w = 2\pi/T$ (Frekans, 1/s)	ω (Boyutsuz frekans)	(Kutlu, 2007)	(Zhou ve ark., 2004)
1.mod	0,0178	352,4130	3,7718	3,7895	3,7748
2.mod	0,0098	641,4709	6,8655	6,8229	6,8041
3.mod	0,0098	641,4709	6,8655	6,8229	6,8041
4.mod	0,0072	872,2222	9,3351	9,3949	9,3762
1.mod	0,0139	452,7758	4,8459	3,9825	4,8164
2.mod	0,0090	701,6760	7,5098	6,0146	7,4134
3.mod	0,0090	701,6760	7,5098	6,0146	7,4134
4.mod	0,0069	916,7883	9,8121	8,2274	9,8160

Çizelge 3.8 de ;

D plak rijitliği: 2289377,29 kN.m

Plak h:1 m, a:10 m,

Ø1= 100

$$k= 22893.7729 \text{ kN/m}^3 \quad G= 228937,729 \text{ kN/m}^2$$

Ø2= 10

Çizelge 3.8 de ;

D plak rijitliği: 2289377,29 kN.m

Plak h:1 m, a:10 m,

Ø1= 1000

$$k= 228937,729 \text{ kN/m}^3 \quad G= 228937,729 \text{ kN/m}^2$$

Ø2= 10

Çizelge 3.8'ün birinci bölümünde plak kalınlığı h=1 m, zemin parametreleri $\phi_1=100$, $\phi_2= 10$ olan plakta boyutsuz frekanslarda (Kutlu, 2007) ile yapılan karşılaştırmada göreceli fark sırasıyla % 0, % 1, % 1, % 1 olmaktadır.

Çizelge 3.8'ün ikinci bölümünde plak kalınlığı $h=1$ m, zemin parametreleri $\phi_1=1000$, $\phi_2=10$ olan kare plakta boyutsuz frekans değerlerinin, (Kutlu, 2007)'in 10x10 elaman ağı ile çıkan sonuçları ile yapılan karşılaştırmada göreceli fark sırası ile % 20, % 22, % 22, % 18 olmaktadır. Ancak (Zhou ve ark., 2004) tezi ile yapılan karşılaştırmada göreceli fark sırası ile % 1, % 1, % 1, % 0 olmaktadır.

Görüldüğü gibi önceki çalışmalarla yakın sonuçlar elde edilmiştir.

3.3 Örnek 3

(Kutlu, 2007)'de yer alan keyfi doğrultuda ortotrop zeminle etkileşim halindeki kare plakta serbest titreşim analizi örneği SAP2000 programında modellenmiştir. Zeminin plak eksenlerinden farklı olarak keyfi doğrultularda ortotrop olması halinde serbest titreşim frekansı incelenmiştir.

Kare plakta,

Elastisite modülü : $E= 25 \text{ GPa} = 25 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2$

Poisson oranı : $\nu = 0,3$

Plak genişlik : $a = 10 \text{ m}$

Plak kalınlık : $h = 1 \text{ m}$

Plak rijitliği $D = E h^3 / 12(1 - \nu^2)$

Zemin parametreleri,

$\phi_1 = 100$, boyutsuzlaştırılmış zemin yatak katsayısı

$\phi_{2x} = 10$, Boyutsuzlaştırılmış kayma modülü (Zeminin bir doğrultusunda)

$\phi_{2y} = 70$, Boyutsuzlaştırılmış kayma modülü (Zeminin ϕ_{2x} e dik diğer doğrultusunda)

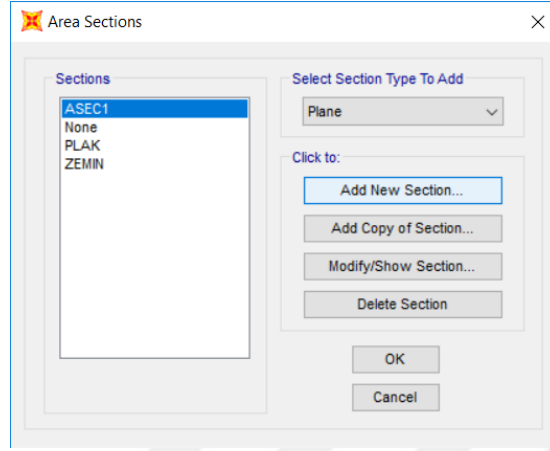
$\phi_1 = k a^4 / D$ $\phi_2 = G a^2 / D$

Boyutsuzlaştırılmış Açısal Frekans değerleri $\omega = (\omega \cdot a^2 / \pi^2) \cdot \sqrt{(\rho \cdot h) / D}$

Formülü ile bulunmuş ve çizelgede gösterilmiştir.

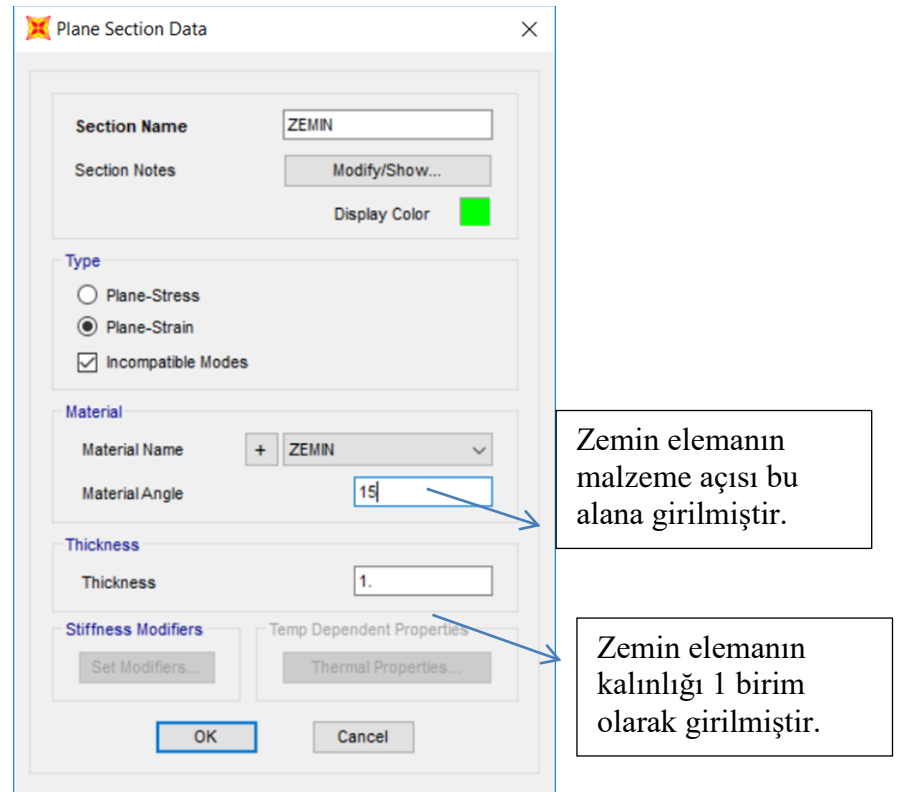
Bu örnekteki model SAP2000 programında oluşturulurken Örnek 3.2'de yapılan bütün işlemler yapılmıştır. Burada farklı olan zemin malzemesinin ortotropik olması ve bunun tanımlanmasıdır.

Zeminin ortotropi açısının tanımlanması için, *Define* → *Section Properties* → *Area Sections* menüsünde Section type olarak “Plane” seçilmiş ve *Add New section* menüsü açılmıştır (Şekil 3.32).



Şekil 3. 32 : Zemin malzeme özelliğinin tanımlanması.

Açılan menüde Section type bölümüne “Plane-Strain” seçildi, malzeme ismi olarak daha önce malzemesi tanımlanan “zemin” seçilmiş ve zemin eleman kalınlığı 1 metre olarak tanımlanmıştır. Bu kısımda farklı olarak “material angle”(malzeme ortotropi) açısı girilmiştir (Şekil 3.33).



Şekil 3. 33 : Zemin elemanın ortotropi açısının tanımlanması.

Bu örnekte zemin farklı doğrultularda ortotropik olduğundan 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90 derece malzeme açıları için plak serbest titreşim analizi incelenmiştir. (Kutlu, 2007)'deki frekanslar ile karşılaştırma yapılmıştır.

1.durum: Keyfi doğrultuda ortotrop zemine oturan ankastre mesnetli kare plakta bu çalışmada bulunan boyutsuz frekans değerlerinin, (Kutlu, 2007) ile karşılaştırılması

Çizelge 3. 9 : Keyfi doğrultuda ortotrop zemine oturan ankastre mesnetli kare plakta boyutsuz frekans değerleri (Bu çalışma).

Mod	$\Theta=0$	$\Theta=15$	$\Theta=30$	$\Theta=45$	$\Theta=60$	$\Theta=75$	$\Theta=90$
1. mod	4,5537	4,5445	4,5322	4,5231	4,5322	4,5445	4,5537
2. mod	7,2899	7,3376	7,4681	7,5520	7,4681	7,3376	7,2899
3. mod	8,4651	8,4016	8,2673	8,1767	8,2673	8,4016	8,4651
4. mod	10,4856	10,4368	10,3564	10,3246	10,3564	10,4368	10,4856
5. mod	11,2773	11,4308	11,8124	12,2428	11,8124	11,4308	11,2773
6. mod	13,1532	13,0510	12,7297	12,3326	12,7297	13,0510	13,1532
7. mod	13,7450	13,7169	13,7169	13,7169	13,7169	13,7169	13,7450
8. mod	14,7074	14,6753	14,6433	14,6115	14,6433	14,6753	14,7074
9. mod	15,9272	16,1182	16,5549	16,8453	16,5549	16,1182	15,9272
10. mod	17,1461	17,0159	16,8876	17,1461	16,8876	17,0159	17,1461

Çizelge 3. 10 : Keyfi doğrultuda ortotrop zemine oturan ankastre mesnetli kare plakta boyutsuz frekans değerleri (Kutlu, 2007).

Mod	$\Theta=0$	$\Theta=15$	$\Theta=30$	$\Theta=45$	$\Theta=60$	$\Theta=75$	$\Theta=90$
1. mod	4,5782	4,5706	4,5551	4,5473	4,5551	4,5706	4,5782
2. mod	7,2448	7,2968	7,4228	7,5056	7,4228	7,2968	7,2448
3. mod	8,4754	8,4156	8,2737	8,183	8,2737	8,4156	8,4754
4. mod	10,5988	10,5284	10,4323	10,3948	10,4323	10,5284	10,5988
5. mod	11,2388	11,4219	11,8307	12,2261	11,8307	11,4219	11,2388
6. mod	13,2810	13,1606	12,8309	12,4641	12,8309	13,1606	13,281
7. mod	14,0166	14,0001	13,9793	13,9745	13,9793	14,0001	14,0166
8. mod	15,0828	15,0506	14,9799	14,9417	14,9799	15,0506	15,0828
9. mod	16,0314	16,2371	16,7664	17,3932	16,7664	16,2371	16,0314
10. mod	18,0272	17,8671	17,697	17,4953	17,697	17,8671	18,0272

Çizelge 3.9 ile Çizelge 3.10 karşılaştırıldığında boyutsuz frekans değerlerinin birbirine yakın değerler olduğu görülmektedir. Göreceli farkın % 0 ile % 5 arasında değiştiği, ortalama farkın % 1 olduğu, görülmektedir (Çizelge 3.11).

Çizelge 3. 11 : Çizelge 3.9 ile Çizelge 3.10 arasındaki göreceli fark.

0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01
0,05	0,05	0,05	0,02	0,05	0,05	0,05

2.durum: Keyfi doğrultuda ortotrop zemine oturan iki kenarı basit mesnetli iki kenarı ankastre mesnetli kare plakta bu çalışmada bulunan boyutsuz frekans değerlerinin, (Kutlu, 2007) ile karşılaştırılması

Çizelge 3. 12 : Keyfi doğrultuda ortotrop zemine oturan iki kenarı basit mesnetli iki kenarı ankastre mesnetli kare plakta boyutsuz frekans değerleri (Bu çalışma).

Mod	$\Theta=0$	$\Theta=15$	$\Theta=30$	$\Theta=45$	$\Theta=60$	$\Theta=75$	$\Theta=90$
1. mod	4,0587	4,0538	4,0514	4,0637	4,0909	4,1184	4,1311
2. mod	6,9435	6,9435	6,8375	6,5960	6,3349	6,1494	6,0771
3. mod	7,3457	7,3376	7,4268	7,6552	7,9167	8,1077	8,1867
4. mod	9,7128	9,6709	9,5881	9,5337	9,5337	9,5881	9,6570
5. mod	11,0185	11,1835	11,2773	10,8233	10,3404	9,9575	9,7693
6. mod	11,7300	11,6084	11,5685	12,0453	12,4931	12,5164	12,5164
7. mod	13,2049	13,1019	12,9255	12,7297	12,5867	12,8269	12,9255
8. mod	13,5237	13,5783	13,7169	13,8869	14,0613	14,1799	14,2400
9. mod	15,6673	15,8521	16,0796	15,6309	1,4969	14,4544	14,2702
10. mod	16,2743	16,1959	16,2350	16,0031	16,0031	16,1182	16,2743

Çizelge 3. 13 : Keyfi doğrultuda ortotrop zemine oturan iki kenarı basit mesnetli iki kenarı ankastre mesnetli kare plakta boyutsuz frekans değerleri (Kutlu, 2007).

Mod	$\Theta=0$	$\Theta=15$	$\Theta=30$	$\Theta=45$	$\Theta=60$	$\Theta=75$	$\Theta=90$
1. mod	4,0625	4,0596	4,058	4,0714	4,1024	4,1355	4,1497
2. mod	6,9526	6,9577	6,8593	6,6188	6,3586	6,1694	6,1012
3. mod	7,3974	7,3856	7,4704	7,705	7,974	8,1791	8,2553
4. mod	9,8303	9,7774	9,6842	9,6255	9,6216	9,6627	9,7117
5. mod	11,0743	11,2419	11,417	10,9443	10,4518	10,0676	9,8968
6. mod	11,9076	11,7828	11,6764	12,1861	12,6763	12,9173	12,9198
7. mod	13,5154	13,4331	13,2615	13,0847	12,9599	13,0251	13,1512
8. mod	14,0002	14,0399	14,1285	14,2663	14,439	14,5809	14,4412
9. mod	15,9305	16,133	16,6114	15,9489	15,2354	14,6746	14,648
10. mod	17,2441	17,104	16,6769	16,8226	16,8271	16,9458	17,0973

Çizelge 3.12 ile Çizelge 3.13 karşılaştırıldığında boyutsuz frekans değerlerinin birbirine yakın değerler olduğu görülmektedir. Göreceli farkın ortalama % 4 olduğu, görülmektedir (Çizelge 3.14).

Çizelge 3. 14 : Çizelge 3.12 ile Çizelge 3.13 arasındaki göreceli fark.

0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03
0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,01
0,02	0,02	0,03	0,02	1,64	0,02	0,02	0,03
0,06	0,05	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

3. durum: Keyfi doğrultuda ortotrop zemine oturan basit mesnetli kare plakta bu çalışmada bulunan boyutsuz frekans değerlerinin, (Kutlu, 2007) ile karşılaştırılması

Çizelge 3. 15 : Keyfi doğrultuda ortotrop zemine oturan basit mesnetli kare plakta boyutsuz frekans değerleri (Bu çalışma).

Mod	$\Theta=0$	$\Theta=15$	$\Theta=30$	$\Theta=45$	$\Theta=60$	$\Theta=75$	$\Theta=90$
1. mod	3,5394	3,5301	3,5098	3,5007	3,5098	3,5301	3,5394
2. mod	5,6816	5,7545	5,9271	6,0552	5,9271	5,7545	5,6816
3. mod	7,0602	6,9868	6,8029	6,6746	6,8029	6,9868	7,0602
4. mod	8,7975	8,7403	8,6503	8,6170	8,7289	8,7403	8,7975
5. mod	9,4533	9,6293	10,0618	10,5515	10,0618	9,6293	9,4533
6. mod	11,5884	11,4502	11,0912	10,6518	11,0912	11,4502	11,5884
7. mod	11,8751	11,8751	11,8961	11,9172	11,8961	11,8751	11,8751
8. mod	12,9754	12,9255	12,8514	12,8024	12,8514	12,9255	12,9754
9. mod	14,1799	14,3617	14,8701	15,0701	14,8701	14,3617	14,1799
10. mod	15,3454	15,2410	15,1040	15,4868	15,1040	15,2410	15,3454

Çizelge 3. 16 : Keyfi doğrultuda ortotrop zemine oturan basit mesnetli kare plakta boyutsuz frekans değerleri (Kutlu, 2007).

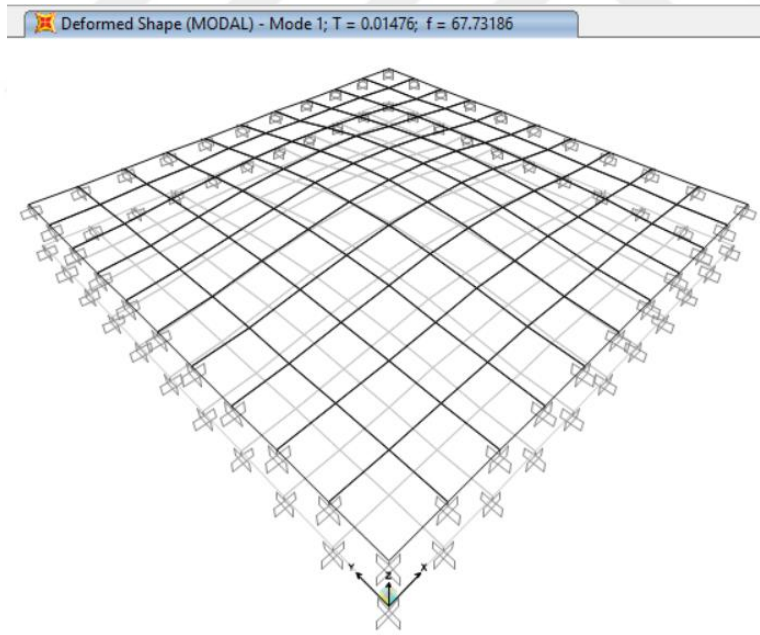
Mod	$\Theta=0$	$\Theta=15$	$\Theta=30$	$\Theta=45$	$\Theta=60$	$\Theta=75$	$\Theta=90$
1. mod	3,5716	3,5616	3,5413	3,531	3,5413	3,5616	3,5716
2. mod	5,7530	5,8207	5,9895	6,1075	5,9895	5,8207	5,753
3. mod	7,1451	7,0716	6,8915	6,7678	6,8915	7,0716	7,1451
4. mod	9,0773	8,9905	8,8897	8,8529	8,8897	8,9905	9,0773
5. mod	9,5259	9,7388	10,1921	10,66	10,1921	9,7388	9,5259
6. mod	11,7673	11,635	11,2704	10,8333	11,2704	11,635	11,7673
7. mod	12,3922	12,3767	12,3633	12,3644	12,3633	12,3767	12,3922
8. mod	13,5439	13,5073	13,4237	13,3776	13,4237	13,5073	13,5439
9. mod	14,3389	14,558	15,1249	15,8173	15,1249	14,558	14,3389
10. mod	16,4937	16,3091	16,1287	15,8801	16,1287	16,3091	16,4937

Çizelge 3.15 ile Çizelge 3.16 karşılaştırıldığında boyutsuz frekans değerlerinin birbirine yakın değerler olduğu görülmektedir. Göreceli farkın ortalama % 3 olduğu, görülmektedir (Çizelge 3.17).

Çizelge 3. 17 : Çizelge 3.15 ile Çizelge 3.16 arasındaki göreceli fark.

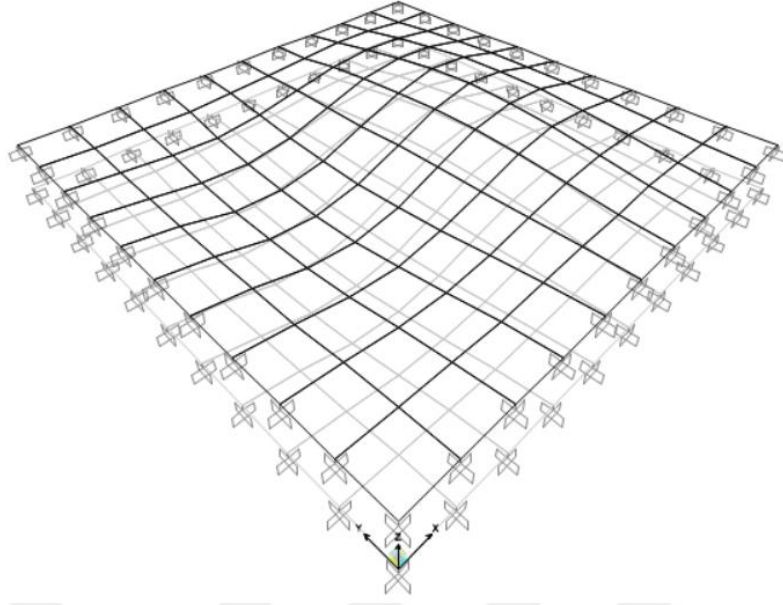
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
0,01	0,01	0,02	0,05	0,02	0,01	0,01
0,07	0,07	0,07	0,03	0,07	0,07	0,07

Keyfi doğrultuda ortotrop iki parametrelili zemine oturan kare plakta serbest titreşim analizi yapılmış, bulunan boyutsuz frekans değerlerinin önceki çalışmalarla yakın değerler olduğu görülmüştür. Bu nedenle hazırlanan SAP2000 modelinin uygun olduğu söylenebilmektedir.



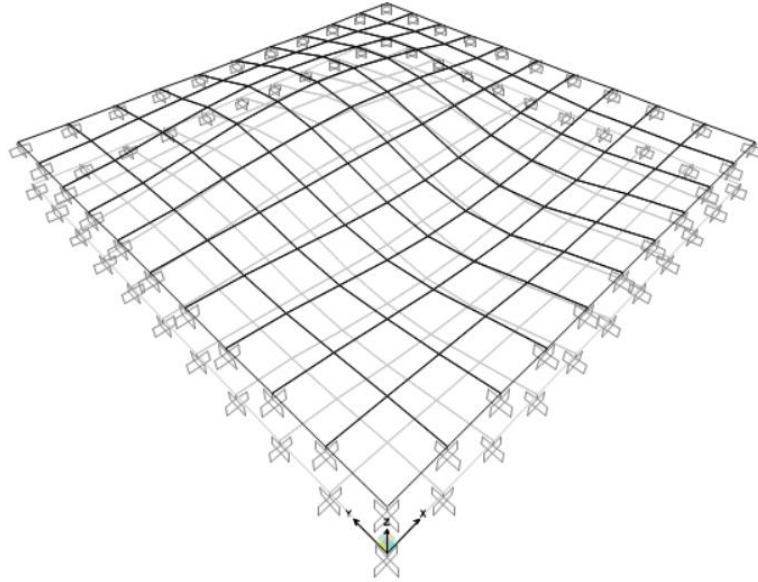
Şekil 3. 34 : İzotrop zemine oturan plakta 1. mod şekli ve periyodu.

Deformed Shape (MODAL) - Mode 2; T = 0.00922; f = 108.45489

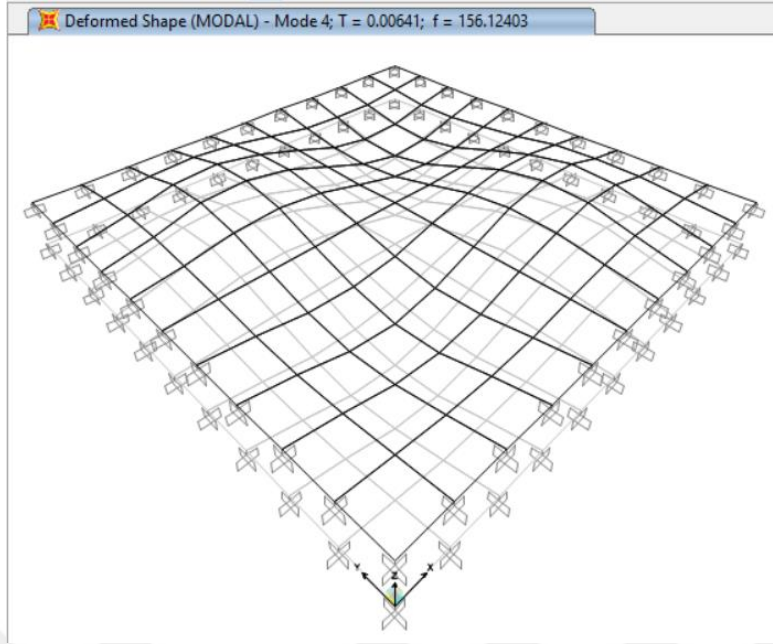


Şekil 3. 35 : İzotrop zemine oturan plakta 2. mod şekli ve periyodu.

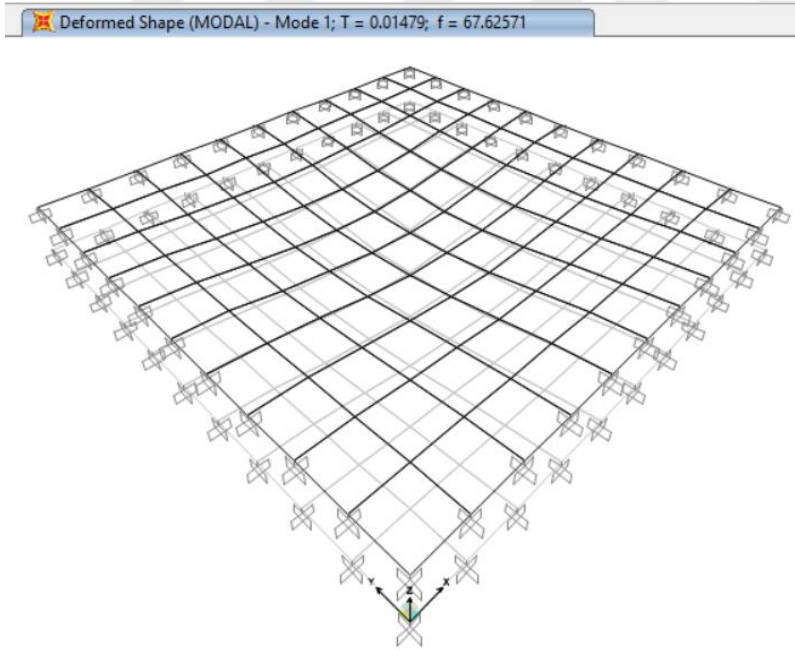
Deformed Shape (MODAL) - Mode 3; T = 0.00794; f = 125.92715



Şekil 3. 36 : İzotrop zemine oturan plakta 3. mod şekli ve periyodu.

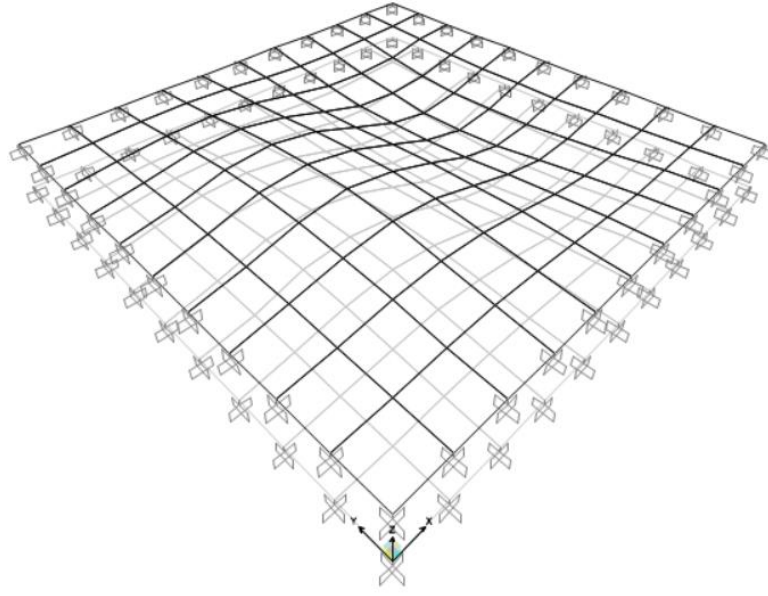


Şekil 3. 37 : İzotrop zemine oturan plakta 4. mod şekli ve periyodu.



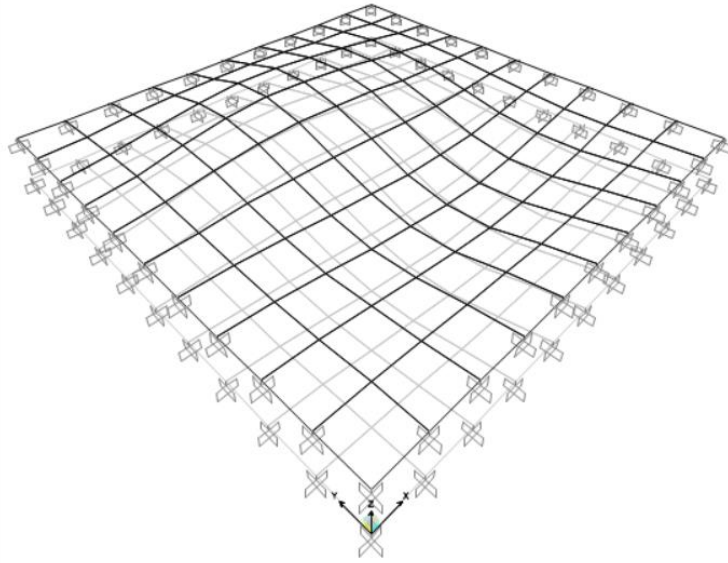
Şekil 3. 38 : 15° ortotrop zemine oturan plakta 1. mod şekli ve periyodu.

Deformed Shape (MODAL) - Mode 2; T = 0.00916; f = 109.22658

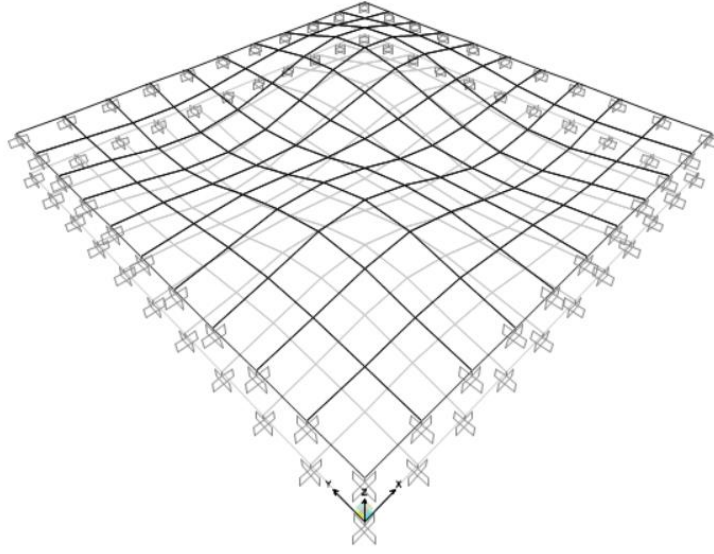


Şekil 3. 39 : 15° ortotrop zemine oturan plakta 2. mod şekli ve periyodu.

Deformed Shape (MODAL) - Mode 3; T = 0.008; f = 125.06246



Şekil 3. 40 : 15° ortotrop zemine oturan plakta 3. mod şekli ve periyodu.



Şekil 3. 41 : 15° ortotrop zemine oturan plakta 4. mod şekli ve periyodu.

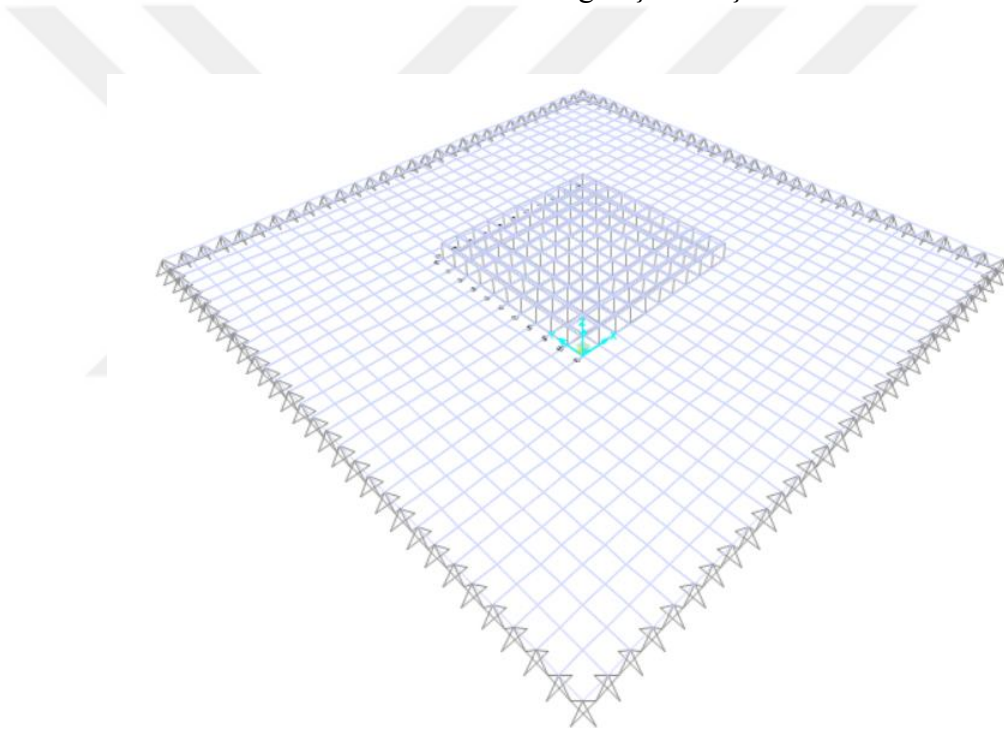
3 adet doğrulama örneği ile bu çalışmada hazırlanan SAP2000 programındaki modellerin doğruluğu gösterilmiştir.

Şimdi aynı örnekler üzerine, daha önceki çalışmalarda yapılmayan plak altına genişletilmiş zemin eklenerek sonuçlar yeniden incelenecektir.

4. DIŞ ZEMİNLİ KARE PLAKTA SERBEST TİTREŞİM KAREKTERİŐTİKLERİNİN BELİRLENMESİ

4.1 Örnek 1

Bölüm 3.2’de doğrulama örneği izotrop zeminli, dört tarafı basit mesnet ve dört tarafı ankastre mesnetli kare plakların serbest titreőimi incelenmiştir. Aynı örnekte, zemin eleman her kenarından 10’ar metre genişletilmiŐtir.



Şekil 4. 1 : Genişletilmiş zemine oturan kare plak modeli 3D görünümü.

Bölüm 3.2’deki doğrulama örneği malzeme ve kesit tanımları aynı şekilde oluşturulmuŐtur. Plak ile zemin arasına mesnet konulmamıştır. Bu sayede gerçek davranışa en yakın sonuç elde edilmeye çalışılmıştır. Zemin elemanının dış kenarları basit mesnetlidir. AŞağıda genişletilmiş zemine oturan plakta serbest titreşim analizi sonucu elde edilen frekans değerleri ile bu çalışmada bölüm 3.2 ‘deki genişletilmemiş zemine oturan plakta serbest titreşim analizleri sonucu elde edilen frekans değerleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4. 1 : İzotrop ve genişletilmiş bir metre kalınlığındaki plak ile bu çalışmadaki Çizelge 3.6'daki frekans değerlerinin karşılaştırılması.

Mod	T(Periyot, s)	$W = 2\pi/T$ (Frekans, 1/s)	Dış zeminli plakta ω	Dış zeminsiz plakta ω
1.mod	0,03572	175,81	1,8817	2,7591
2.mod	0,02561	245,22	2,6245	5,2592
3.mod	0,02561	245,22	2,6245	5,2592
4.mod	0,019	330,53	3,5375	7,5098
1.mod	0,01882	333,69	3,5714	3,9794
2.mod	0,01569	400,25	4,2838	5,9904
3.mod	0,01569	400,25	4,2838	5,9904
4.mod	0,01326	473,60	5,0688	8,0398

Çizelge 4.1'de birinci bölümde;

D plak rijitliği: 2289377,289 kN.m

Plak h:1 m, a:10 m,

$\phi_1 = 200$

$k = 45787,545 \text{ kN/m}^3$

$G = 228937,729 \text{ kN/m}^2$

$\phi_2 = 10$

Çizelge 4.1 de ikinci bölümde;

D plak rijitliği: 2289377,289 kN.m

Plak h:1 m, a:10 m,

$\phi_1 = 1000$

$k = 228937,729 \text{ kN/m}^3$

$G = 228937,729 \text{ kN/m}^2$

$\phi_2 = 10$

İzotrop ve genişletilmiş zemine oturan bir metre kalınlığındaki plakta serbest titreşim analizi yapılmış ve bölüm 3.2'deki çizelge 3.6 ile karşılaştırma yapılmıştır. Çizelge 4.1'in birinci bölümündeki $\phi_1=200$, $\phi_2= 10$ parametrelili zemine oturan kare plakta yapılan karşılaştırmada boyutsuz frekanslardaki göreceli fark sırasıyla % 26, % 50, % 50, % 54 olmaktadır. Çizelge 4.1'in ikinci bölümündeki $\phi_1=1000$, $\phi_2=10$ parametrelili zemine oturan kare plakta boyutsuz frekanslardaki göreceli fark sırasıyla % 7, % 23, % 23, % 32 olmaktadır.

Çizelge 4. 2 : İzotrop ve genişletilmiş iki metre kalınlığındaki plak ile bu çalışmadaki Çizelge 3.7'deki frekans değerlerinin karşılaştırılması.

Mod	T(Periyot, s)	$\omega = 2\pi/T$ (Frekans, 1/s)	Dış zeminli plakta ω	Dış zeminsiz plakta ω
1.mod	0,00944	665,25	3,5600	3,8987
2.mod	0,00796	788,94	4,2219	5,4734
3.mod	0,00796	788,94	4,2219	5,4734
4.mod	0,00681	922,17	4,9349	7,9260
1.mod	0,00105	5980,95	32,0061	32,0061
2.mod	0,00104	6038,46	32,3139	32,3139
3.mod	0,00104	6038,46	32,3139	32,3139
4.mod	0,00103	6097,09	32,6276	32,6276

Çizelge 4.2'de birinci bölümde;

D plak rijitliği: 18315018,3 kN.m

Plak h:2 m, a:10 m,

Ø1= 1000

k= 1831501,83 kN/m³

G= 1831501,83 kN/m²

Ø2= 10

Çizelge 4.2'de ikinci bölümde ;

D plak rijitliği: 18315018,3 kN.m

Plak h:2 m, a:10 m,

Ø1= 100000

k= 183150183,2 kN/m³

G= 1831501,83 kN/m²

Ø2= 10

İzotrop ve genişletilmiş zemine oturan iki metre kalınlığındaki plakta serbest titreşim analizi yapılmış ve bölüm 3.2'deki çizelge 3.7 ile karşılaştırma yapılmıştır. Çizelge 4.2'nin birinci bölümündeki $\phi_1=1000$, $\phi_2=10$ parametrelili zemine oturan kare plakta yapılan karşılaştırmada boyutsuz frekanslardaki göreceli fark sırasıyla % 6, % 17, % 17, % 33 olmaktadır. Çizelge 4.2'nin ikinci bölümündeki $\phi_1=100000$, $\phi_2=10$ parametrelili zemine oturan kare plakta boyutsuz frekanslardaki göreceli fark bulunmamaktadır.

Çizelge 4.3 : İzotrop ve genişletilmiş bir metre kalınlığındaki plak ile bu çalışmadaki Çizelge 3.8'deki frekans değerlerinin karşılaştırılması.

Mod	T(Periyot, s)	$\omega = 2\pi/T$ (Frekans, 1/s)	Dış zeminli plakta ω	Dış zeminsiz plakta ω
1.mod	0,04520	138,94	1,4870	3,7718
2.mod	0,02981	210,67	2,2547	6,8655
3.mod	0,02981	210,67	2,2547	6,8655
4.mod	0,0208	301,92	3,2314	9,3351
1.mod	0,01882	333,69	3,5714	4,8459
2.mod	0,01569	400,25	4,2838	7,5098
3.mod	0,01569	400,25	4,2838	7,5098
4.mod	0,01326	473,60	5,0688	9,8121

Çizelge 4.3'de birinci bölümde;

D plak rijitliği: 2289377,29 kN.m

Plak h: 1 m, a: 10 m,

$\phi_1 = 100$

$k = 22893,773 \text{ kN/m}^3$

$G = 228937,73 \text{ kN/m}^2$

$\phi_2 = 10$

Çizelge 4.3'de ikinci bölümde ;

D plak rijitliği: 2289377,29 kN.m

Plak h: 1 m, a: 10 m,

$\phi_1 = 100$

$k = 228937,73 \text{ kN/m}^3$

$G = 228937,73 \text{ kN/m}^2$

$\phi_2 = 10$

İzotrop ve genişletilmiş zemine oturan bir metre kalınlığındaki plakta serbest titreşim analizi yapılmış ve bölüm 3.2'deki çizelge 3.8 ile karşılaştırma yapılmıştır. Çizelge 4.3'ün birinci bölümündeki $\phi_1=100$, $\phi_2=10$ parametrelili zemine oturan kare plakta yapılan karşılaştırmada boyutsuz frekanslardaki göreceli fark sırasıyla % 67, % 81, % 81, % 77 olmaktadır. Çizelge 4.3'ün ikinci bölümündeki $\phi_1=1000$, $\phi_2=10$ parametrelili zemine oturan kare plakta boyutsuz frekanslardaki göreceli fark sırasıyla % 21, % 40, % 40, % 47 olmaktadır.

Boyutsuz frekanslardaki karşılaştırma sonucunda genişletilmiş zemine oturan plakta genişletilmemiş zemine oturan plağa göre daha küçük frekans değerleri elde edildiği gözlenmiştir.

4.2 Örnek 2

Bölüm 3.3'teki doğrulama örneği keyfi doğrultuda ortotrop zemine oturan kare plakların serbest titreşim analizi ele alınmıştır. Bu örnekte zemin eleman, her kenarından 10'ar metre genişletilmiş ve çözümler yeniden incelenmiştir.

Yine Bölüm 3.3'teki doğrulama örneğindeki, malzeme ve kesit tanımlamaları aynı şekilde tanımlanmıştır. Gerçekte plak ile zemin arasında mesnet bulunmadığından, plak ile zemin arasına mesnet konulmamıştır. Bu sayede gerçek davranışa en yakın sonuç elde edilmeye çalışılmıştır. Genişletilmiş zemin elemanın kenarları basit mesnetlidir. Bu bölümde genişletilmiş zemine oturan plakta serbest titreşim analizi sonucu bulunan frekans değerleri, bölüm 3.3'te yer alan genişletilmemiş zemine oturan plakta serbest titreşim analizi sonucu bulunan frekans değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.4'te keyfi doğrultuda ortotrop genişletilmiş zemine oturan plakta serbest titreşim analizi sonucu elde edilen boyutsuz frekans değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 4. 4 : Keyfi doğrultuda ortotrop genişletilmiş zemine oturan plakta boyutsuz frekans değerleri.

Mod	$\Theta=0$	$\Theta=15$	$\Theta=30$	$\Theta=45$	$\Theta=60$	$\Theta=75$	$\Theta=90$
1. mod	1,9003	1,8949	1,8806	1,8717	1,8806	1,8949	1,9003
2. mod	2,6853	2,7333	2,8229	2,8699	2,8229	2,7333	2,6853
3. mod	3,8628	3,8189	3,7216	3,6648	3,7216	3,8189	3,8628
4. mod	4,2034	4,2702	4,3058	4,3002	4,3058	4,2702	4,2034
5. mod	4,7534	4,8459	5,1862	5,4957	5,1862	4,8459	4,7534
6. mod	6,3111	6,2640	6,2234	6,0335	6,2234	6,2640	6,3111
7. mod	6,7755	6,6482	6,3229	6,2119	6,3229	6,6482	6,7755
8. mod	7,0602	7,3217	7,4931	7,4764	7,4931	7,3217	7,0602
9. mod	7,7434	7,7703	8,2268	8,7517	8,2268	7,7703	7,7434
10. mod	8,8438	8,8206	8,7745	8,8322	8,7745	8,8206	8,8438

Çizelge 4. 5 : Bölüm 3.3'teki Çizelge 3.9 ile Çizelge 4.4'ün göreceli farkı.

0,82	0,82	0,83	0,83	0,83	0,82	0,82
0,92	0,91	0,90	0,90	0,90	0,91	0,92
0,75	0,75	0,76	0,76	0,76	0,75	0,75
0,86	0,84	0,83	0,82	0,83	0,84	0,86
0,81	0,81	0,78	0,76	0,78	0,81	0,81
0,70	0,70	0,69	0,69	0,69	0,70	0,70
0,68	0,69	0,74	0,75	0,74	0,69	0,68
0,70	0,67	0,65	0,65	0,65	0,67	0,70
0,69	0,70	0,67	0,63	0,67	0,70	0,69
0,64	0,63	0,63	0,64	0,63	0,63	0,64

Keyfi doğrultuda ortotrop genişletilmiş zemine oturan kare plakta serbest titreşim analizi yapılmış ve bulunan boyutsuz frekans değerleri ile bu çalışmada bölüm 3.3'te yapılan genişletilmemiş zemine oturan ankastre mesnetli plakta serbest titreşim analizi sonucu elde edilen boyutsuz frekans değerleri karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.4 ile çizelge 3.9 arasında yapılan karşılaştırmada boyutsuz frekanslardaki göreceli farkın ortalama % 75 olduğu görülmüştür (Çizelge 4.5).

2.durum:

Çizelge 4. 6 : Bölüm 3.3'teki Çizelge 3.12 ile Çizelge 4.4'ün göreceli farkı.

0,72	0,73	0,73	0,74	0,74	0,74	0,74
0,88	0,87	0,83	0,79	0,77	0,77	0,77
0,62	0,63	0,66	0,71	0,72	0,72	0,72
0,79	0,77	0,76	0,76	0,76	0,77	0,79
0,79	0,79	0,74	0,65	0,66	0,69	0,69
0,60	0,60	0,60	0,67	0,67	0,67	0,66
0,64	0,65	0,69	0,69	0,66	0,63	0,62
0,63	0,60	0,59	0,60	0,61	0,64	0,67
0,68	0,68	0,65	0,56	-1,38	0,60	0,59
0,59	0,59	0,60	0,58	0,58	0,59	0,59

Keyfi doğrultuda ortotrop genişletilmiş zemine oturan kare plakta serbest titreşim analizi yapılmış ve bulunan boyutsuz frekans değerleri ile bu çalışmada bölüm 3.3 de yapılan genişletilmemiş zemine oturan iki kenarı basit iki kenarı ankastre mesnetli

plakta serbest titreşim analizi sonucu elde edilen frekans değerleri karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.4 ile çizelge 3.12 arasında yapılan karşılaştırmada boyutsuz frekanslardaki göreceli farkın ortalama % 66 olduğu görülmüştür (Çizelge 4.6).

3.durum:

Çizelge 4. 7 : Bölüm 3.3'teki Çizelge 3.15 ile Çizelge 4.4'ün göreceli farkı.

0,60	0,60	0,60	0,61	0,60	0,60	0,60
0,72	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,72
0,59	0,59	0,59	0,58	0,59	0,59	0,59
0,71	0,69	0,67	0,67	0,68	0,69	0,71
0,66	0,66	0,64	0,63	0,64	0,66	0,66
0,59	0,59	0,56	0,55	0,56	0,59	0,59
0,55	0,56	0,61	0,63	0,61	0,56	0,55
0,59	0,55	0,53	0,53	0,53	0,55	0,59
0,59	0,60	0,58	0,53	0,58	0,60	0,59
0,54	0,53	0,53	0,55	0,53	0,53	0,54

Keyfi doğrultuda ortotrop genişletilmiş zemine oturan kare plakta serbest titreşim analizi yapılmış ve bulunan frekans değerleri ile bu çalışmada bölüm 3.3 de yapılan genişletilmemiş zemine oturan basit mesnetli plakta serbest titreşim analizi sonucu elde edilen frekans değerleri karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.4 ile çizelge 3.15 arasında yapılan karşılaştırmada boyutsuz frekanslardaki göreceli farkın ortalama % 61 olduğu görülmüştür (Çizelge 4.7).

Boyutsuz frekanslardaki karşılaştırma sonucunda genişletilmiş zemine oturan plakta genişletilmemiş zemine oturan plağa göre ortalama % 63 daha küçük frekans değerleri elde edildiği gözlenmiştir.

4.3 İki Parametrelili Zemine Oturan Dörtgen Plâğın Genişletilmemiş Zemine Oturması Hali İle Genişletilmiş Zemine Oturması Halinde Spektral Analizinin Karşılaştırılması

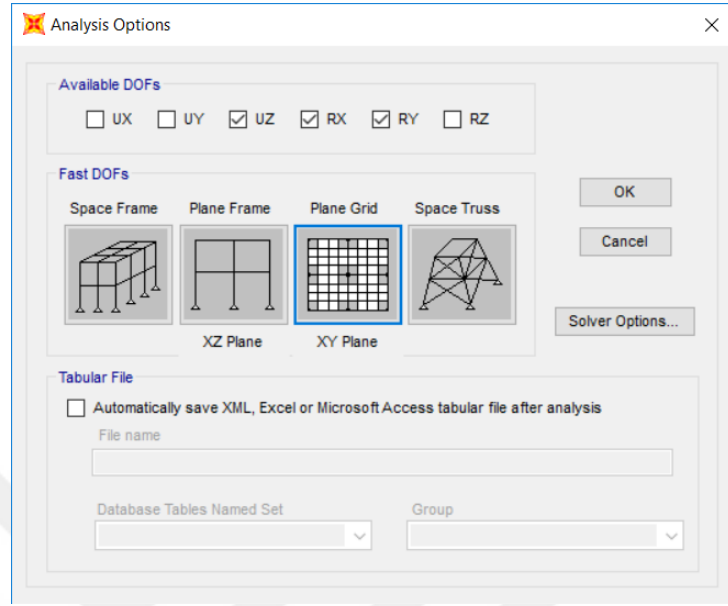
Bölüm 3.3’de çizelge 3.15 ile verilen 0 derece ortotrop zeminli dört tarafı basit mesnetli kare plakta serbest titreşim analizi örneği için spektral analiz yapılmıştır.

Bunun için SAP2000 programının *Define* menüsünden *Material* kısmına gelinir ve daha önceki örnekte sıfır alınan plak birim hacim ağırlığı “*Weight per Unit Volume*” 25 kN/m³ olarak girilir (Şekil 4.2).

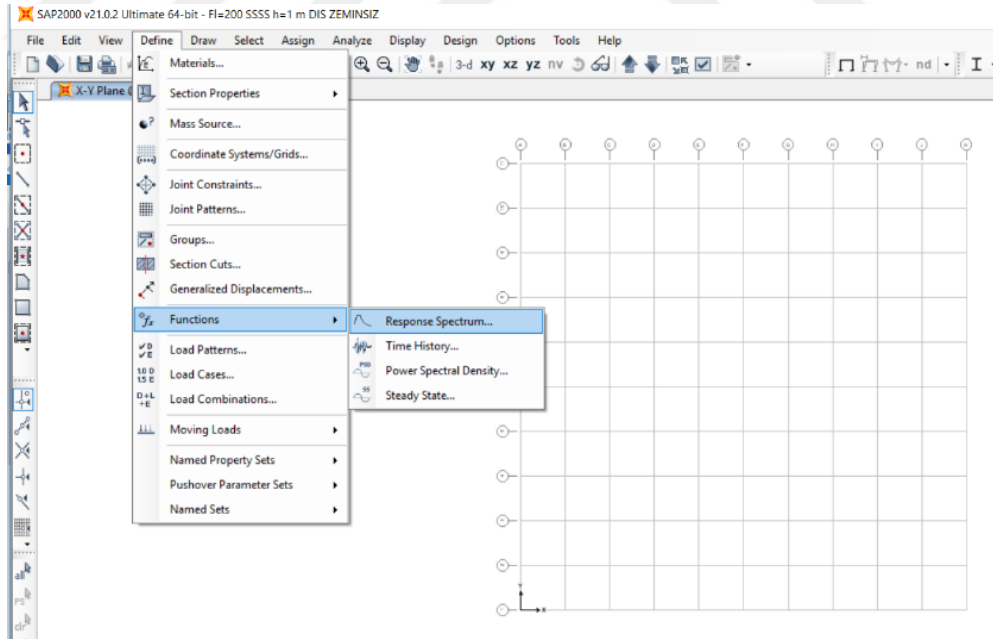
The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box in SAP2000. The 'General Data' section has 'Material Name and Display Color' set to 'plak' with a blue color swatch, 'Material Type' set to 'Concrete', and 'Material Grade' and 'Material Notes' fields. The 'Weight and Mass' section has 'Weight per Unit Volume' set to 25 and 'Mass per Unit Volume' set to 2.5493. The 'Units' section is set to 'KN, m, C'. The 'Isotropic Property Data' section has '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. The 'Other Properties For Concrete Materials' section has '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 4. 2 : Plâğın birim hacminin ağırlığının girilmesi.

Analyze –Set Analysis Options bölümünden Plane Grid - XY Plane seçilir (Şekil 4.3). Spektral analizin XY düzleminde yaptırılması sağlanır.

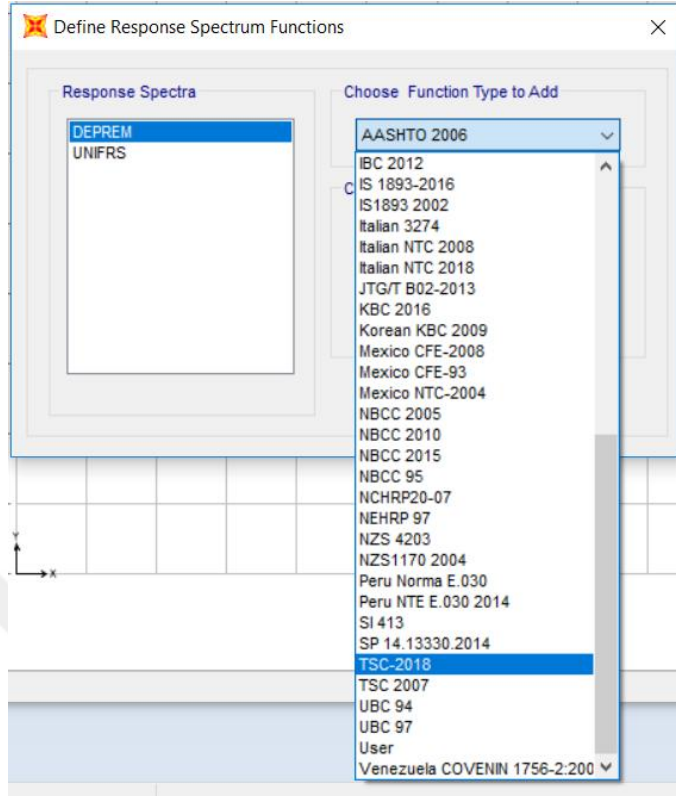


Şekil 4. 3 : Analizin xy düzeleminde seçilmesi.



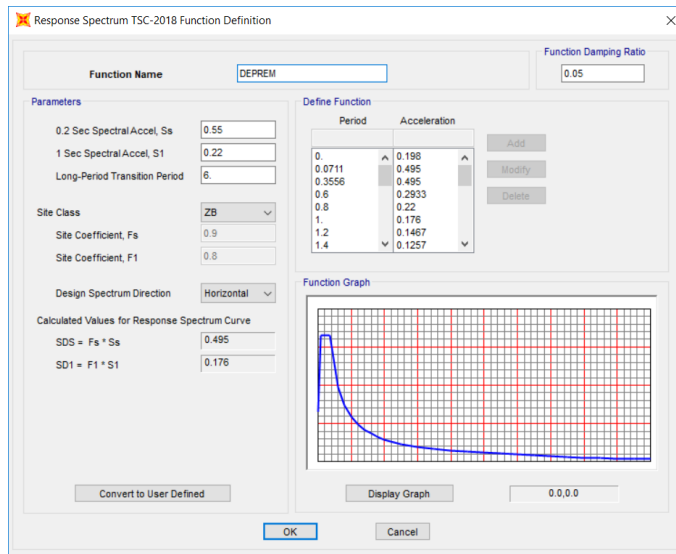
Şekil 4. 4 : Response spektrum seçilmesi.

Define menüsünün Function bölümünden Response Spektrum seçilir (Şekil 4.4).



Şekil 4. 5 : TSC-2018 Function Type tanımlanması.

Açılan menüden Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY-2018) TSC-2018 Function Type olarak seçilir ve DEPREM olarak isimlendirilir (Şekil 4.5).



Şekil 4. 6 : Response Spectrum TSC-2018 Function Tanımlanması.

Define → Load Cases → Add New Load Case ile açılan menüden Load Case Name:SPEKTRA Load Case Type:Response Spectrum Modal Combination:SRSS

Load Name:U3 Function:DEPREM Scale Factor:3,27 alanları tanımlanır. (Şekil 4.7).

Scale Factor $9,81/3=3,27$ alınmıştır. Yatay depremin $1/3'$ ü düşey deprem olarak hesaplarda kullanılmaktadır.

Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: SPEKTRA

Load Case Type: Response Spectrum

Modal Combination: SRSS

Directional Combination: SRSS

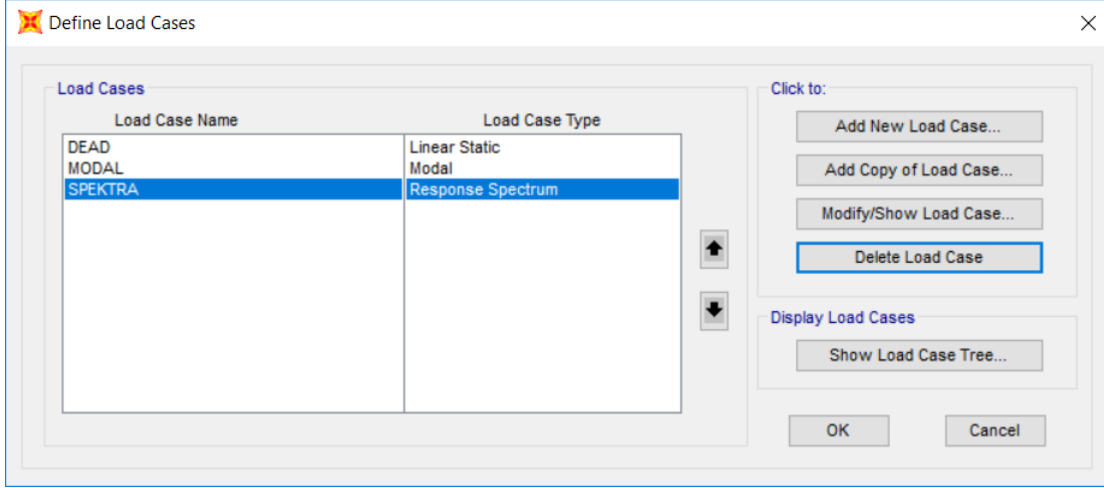
Mass Source: Previous (MSSSRC1)

Diaphragm Eccentricity: 0

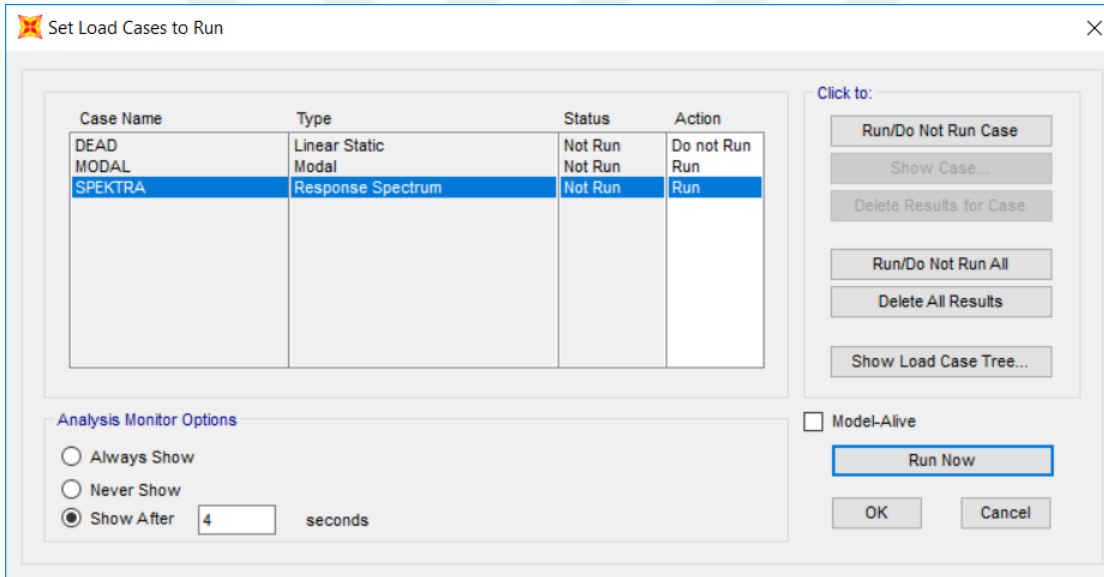
Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U3	DEPREM	3.27

Other Parameters: Modal Damping: Constant at 0.05

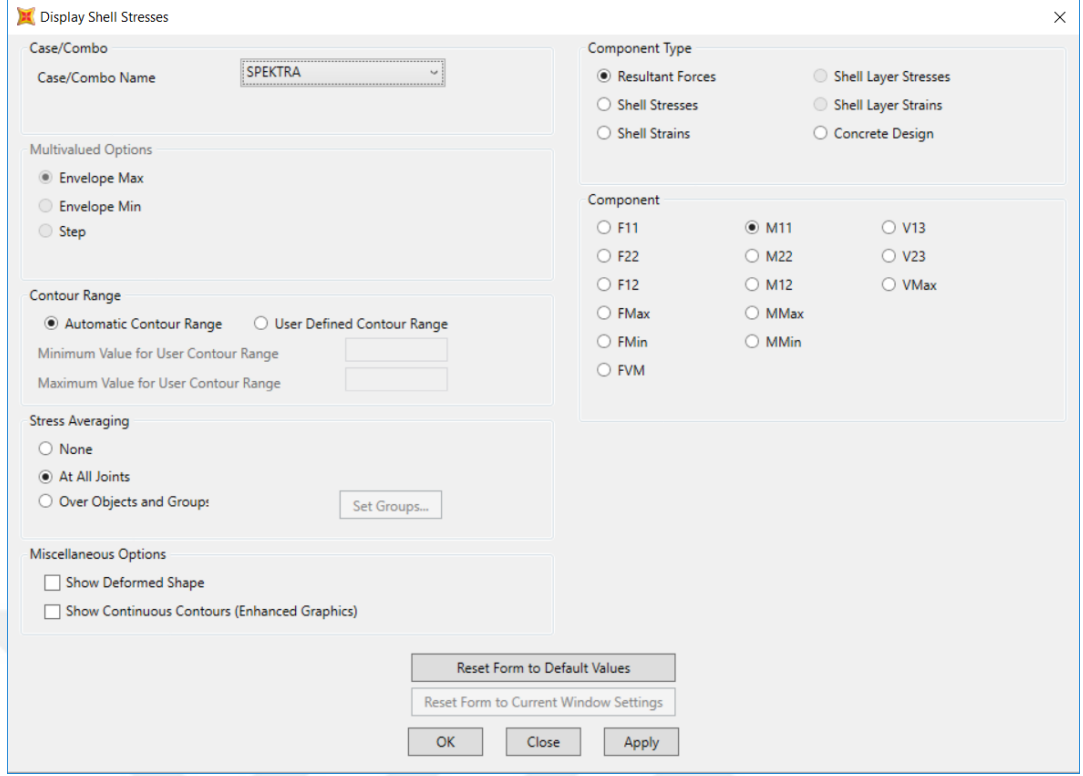
Şekil 4. 7 : Load Case Data - Response Spectrum.



Şekil 4. 8 : Load cases-Response Spektrum tanımı.

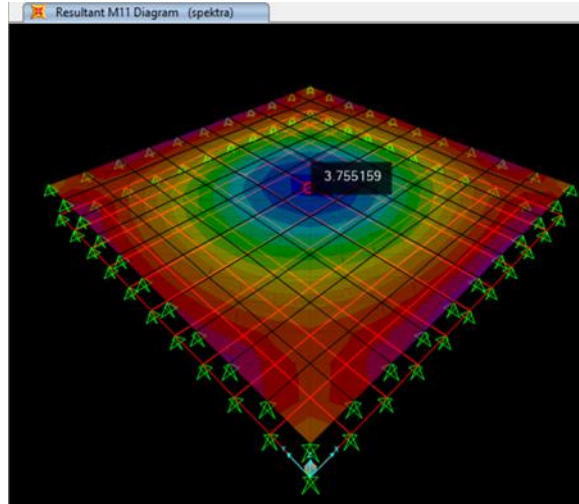


Şekil 4. 9 : Response Spectrum SPEKTRA seçilerek analiz yapılması.

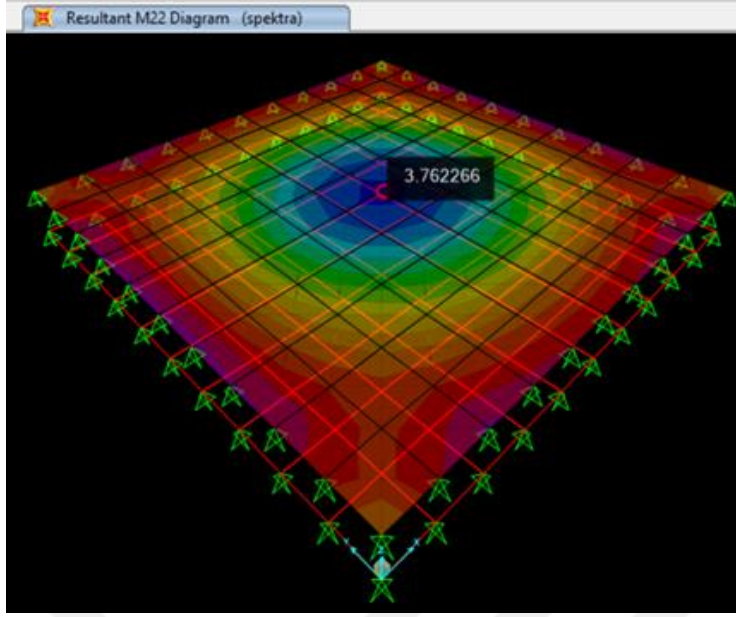


Şekil 4. 10 : Case/Combo Name:SPEKTRA durumunda M11 ve M22 momentlerin okunması.

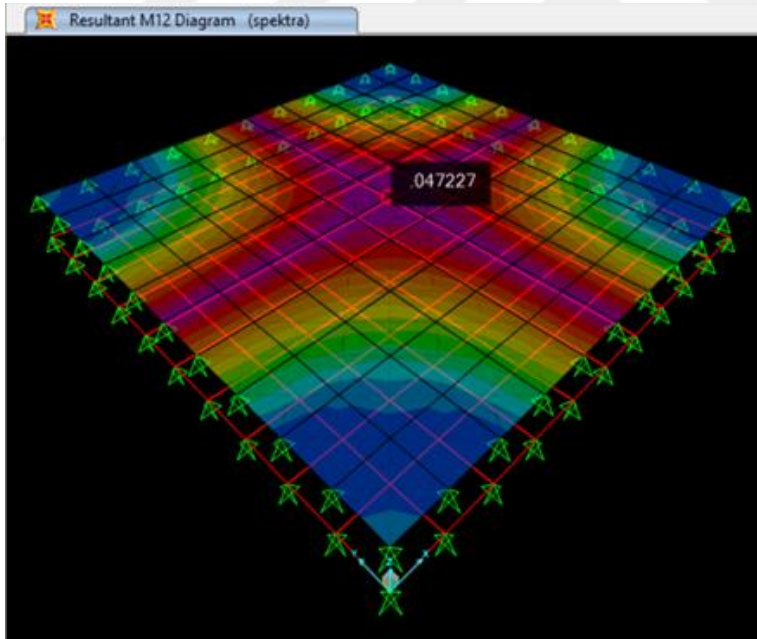
Bulunan M_{11} , M_{22} , ve M_{12} eğilme moment değerleri aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 4. 11 : Genişletilmemiş zemine oturan plakta spektral analiz sonucu $M_{11}=3,75$ kN.m.

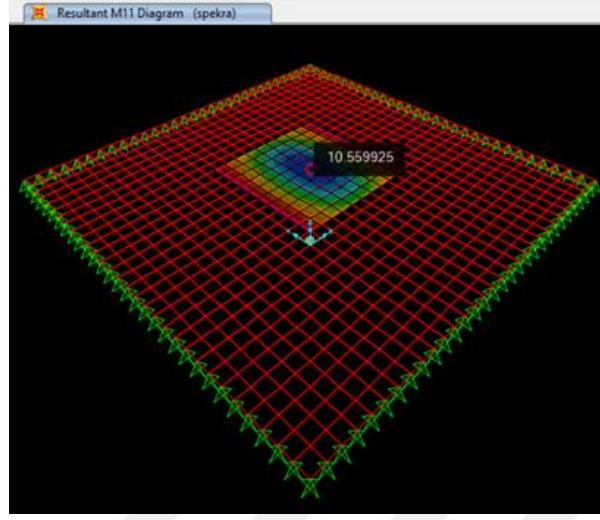


Şekil 4. 12 : Genişletilmemiş zemin durumu spektral analiz sonucu $M_{22}=3,76$ kN.m.

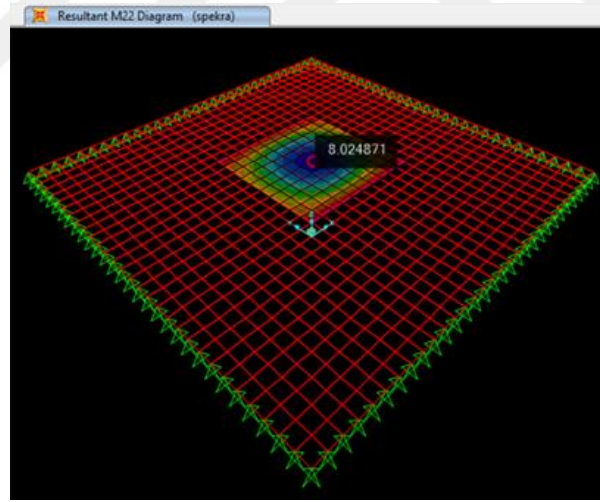


Şekil 4. 13 : Genişletilmemiş zemin durumu spektral analiz sonucu $M_{12}=0,04$ kN.m.

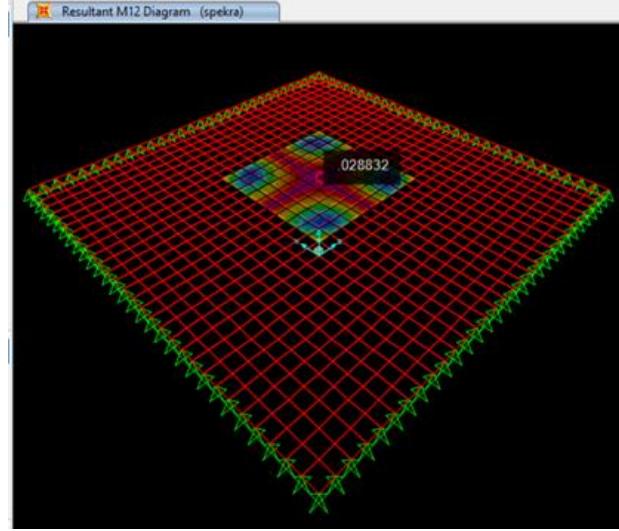
Aynı işlemler genişletilmiş zemin durumu için de tekrarlanmış ve sonuçlar aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 4. 14 : Genişletilmiş zemin durumu spektral analiz sonucu $M_{11}=10,55$ kN.m.



Şekil 4. 15 : Genişletilmiş zemin durumu spektral analiz sonucu $M_{22}=8,02$ kN.m.



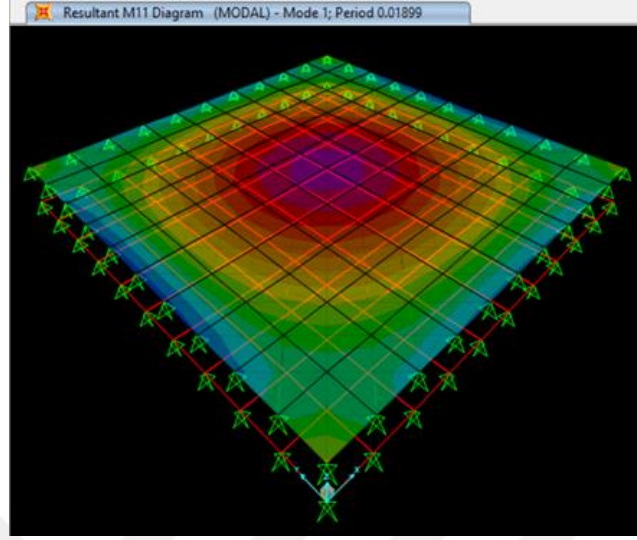
Şekil 4. 16 : Genişletilmiş zemin durumu spektral analiz sonucu $M_{12}=0.02$ kN.m.

Çizelge 4. 8 : İki parametrelili zemine oturan dörtgen plakta spektral analiz sonucu bulunan eğilme momenti değerlerinin karşılaştırılması.

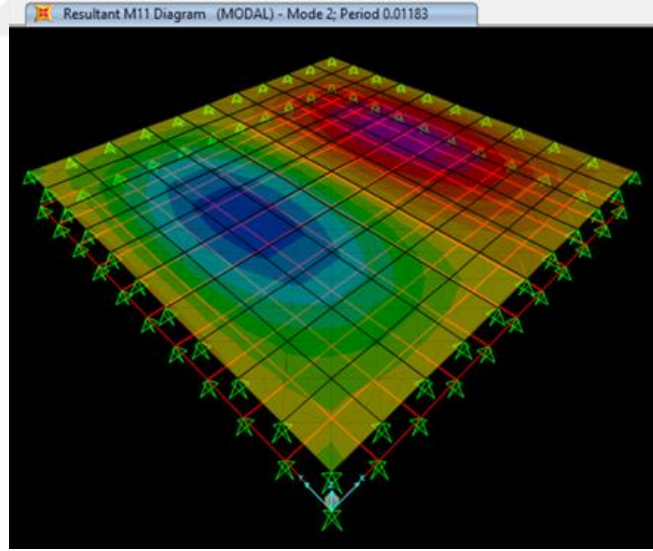
	Genişletilmemiş zeminli (Kn.m)	Genişletilmiş zeminli (Kn.m)
M11	3,75	10,55
M22	3,76	8,02
M12	0,04	0,02

Dış zeminli ve dış zeminsiz durumda spektral analiz yapılması sonucunda kesit tesirleri incelendiğinde genişletilmiş zemine oturan plaktaki kesit tesirlerinin genişletilmemiş zemine oturan zemine oturan plaktaki kesit tesirlerinden daha büyük değerler olduğu görülmüştür (Çizelge 4.8).

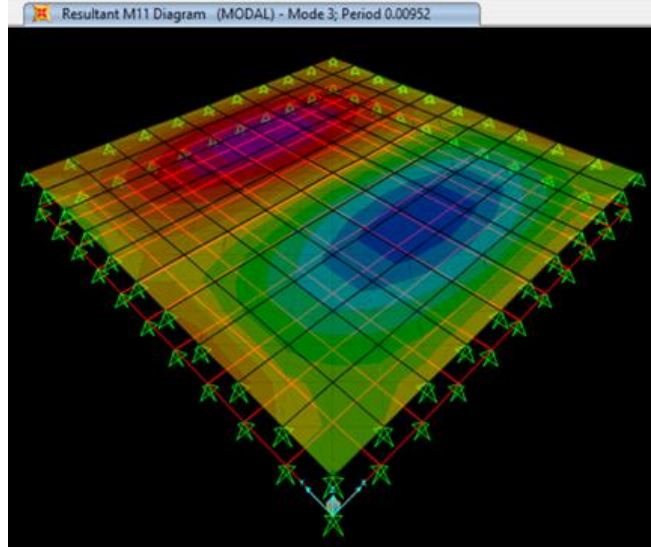
Genişletilmemiş zemine oturan kare plak için serbest titreşim analizi sonucu bulunan ilk 3 moda ait periyod değerleri aşağıda gösterilmektedir.



şekil 4. 17 : Genişletilmemiş zemine oturan kare plakta birinci mod.

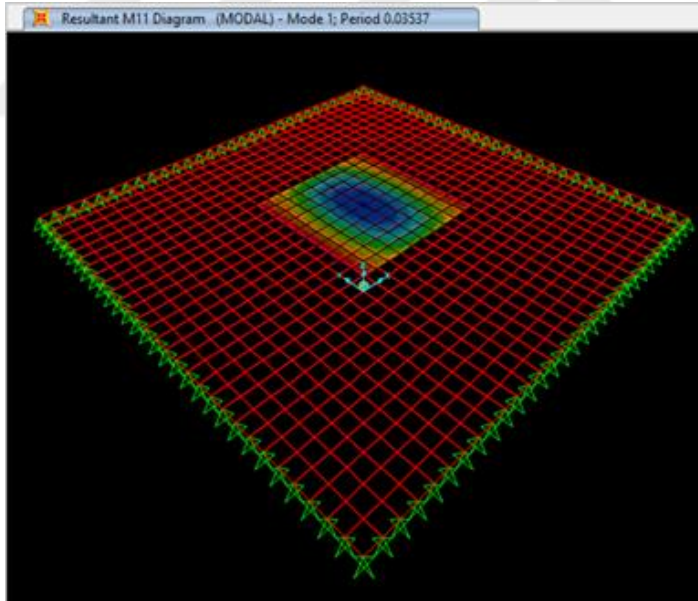


şekil 4. 18 : Genişletilmemiş zemine oturan kare plakta ikinci mod.

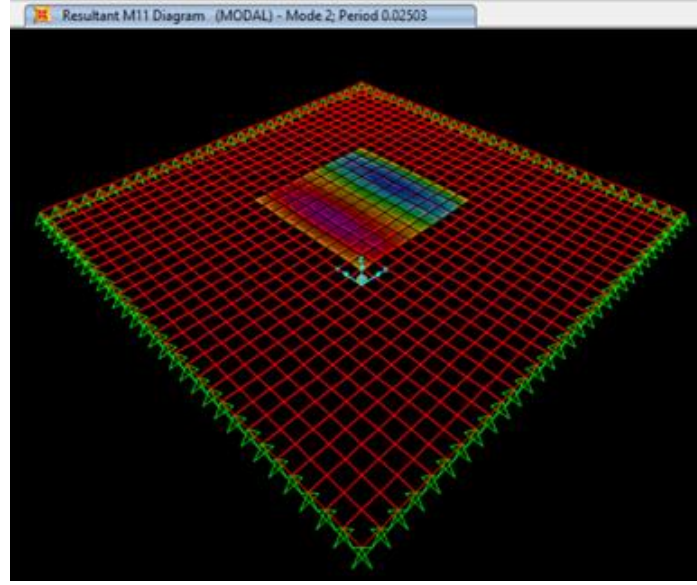


Şekil 4. 19 : Genişletilmemiş zemine oturan kare plakta üçüncü mod.

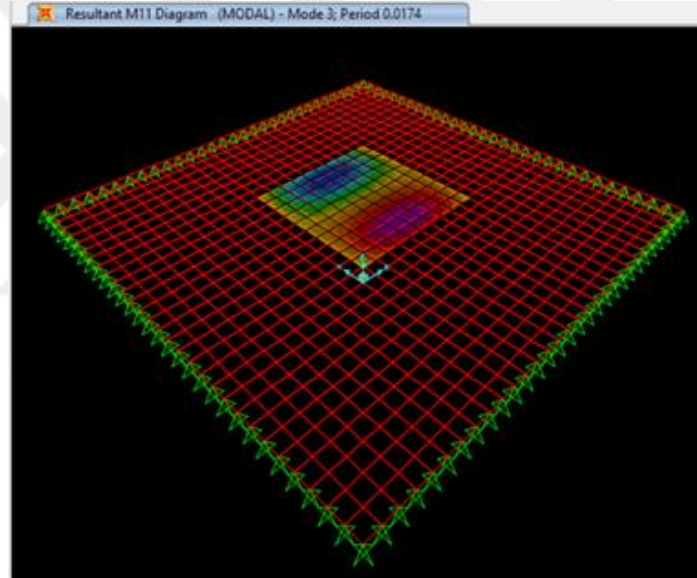
Genişletilmiş zemine oturan kare plak için serbest titreşim analizi sonucu bulunan ilk üç moda ait periyod değerleri de aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 4. 20 : Genişletilmiş zemine oturan kare plakta birinci mod.



Şekil 4. 21 : Genişletilmiş zemine oturan kare plakta ikinci mod.



Şekil 4. 22 : Genişletilmiş zemine oturan kare plakta üçüncü mod.

Çizelge 4. 9 : İki parametrelili zemine oturan dörtgen plakta spektral analiz sonucu bulunan ilk 3 moda ait periyod değerlerinin karşılaştırılması.

	Genişletilmemiş zeminli	Genişletilmiş zeminli
1. Mod	0,018	0,035
2. Mod	0,011	0,025
3. Mod	0,009	0,017

Genişletilmiş zemine oturan plaktaki ilk üç moda ait periyodların genişletilmemiş zemine oturan plaktaki periyodlardan daha büyük olduğu görölmektedir (Çizelge 4.9). Tasarım spektrumunda rijit bölgede kaldığı, görölmektedir. Daha büyük periyodlar 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 4.8’de göröldüğü gibi daha büyük olması anlamına gelmektedir.

Yapılan inceleme sonucunda, genişletilmiş zemine oturan plaktaki spektral analiz sonucu çıkan periyod ve kesit tesirlerinin genişletilmemiş zemine oturan zemine oturan plaktaki durumdan daha büyük değerler olduğu görölmüştür. Genişletilmiş zemine oturan plaktaki modal analiz sonucu çıkan frekans değerlerinin genişletilmemiş zemine oturan zemine oturan plaktaki frekans değerlerinden daha küçük değerler olduğu görölmüştür.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada keyfi doğrultuda ortotrop pasternak zemine oturan dörtgen plakların plak dışındaki zeminin etkileri de dikkate alınarak dinamik karakteristikleri belirlenmiş ve spektral analizi yapılmıştır. Bu analizlerde SAP2000 Programı kullanılmıştır. Hesaplarda zeminin kütlesi ihmal edilmiştir.

SAP2000 programı ile Winkler zemini, yaylarla (zemin yatak katsayısı) temsil edilebilmektedir. Ancak Pasternak zemini direk olarak temsil edilememektedir. Pasternak zeminin temsili için, sadece kayma şekil değiştirmelerinin gözönüne alındığı, SAP2000 program kütüphanesindeki düzlem şekil değiştirme elemanından (Plain strain), yararlanılmıştır. Bölüm 2.2’de belirtildiği gibi, sadece kayma şekil değiştirmelerinin göz önüne alındığı düzlem şekil değiştirme elemanının gerilme şekil değiştirme bağıntıları ve denge denklemleri, pasternak zeminine ait gerilme şekil değiştirme bağıntıları ve denge denklemleri ile katsayısı farkı ile aynıdır. Bu katsayılar da sadece kayma şekil değiştirmelerinin gözönüne alındığı düzlem şekil değiştirme elemanında kayma modülü, Pasternak zemininde ise pasternak sabiti ($2t, G$) olarak temsil edilir.

Yapılan incelemeler sonucunda, plak dışındaki zeminin dikkate alınmadığı örneklerde yapılan karşılaştırmada literatürde yapılan çalışmalar ile uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Dış zemin göz önüne alınmayan bu çalışmadaki örnekler ile dış zemin dikkate alınan durumda yapılan karşılaştırmada; dış zeminli durumda boyutsuz frekanslardaki göreceli farkın izotrop zeminde ortalama %33, ortotrop zeminde ise ortalama %68 daha küçük değerler olduğu görülmüştür. Bu da periyodun daha büyük olduğu anlamına gelmektedir. Spektral analizde ise periyodların tasarım spektrumunda rijit bölgede kaldığı, periyod ve kesit tesirlerinin dış zeminli plakta daha büyük değerler olduğu görülmüştür.

Gerçek durumda zemin plak altında sürekli olarak devam etmektedir. Bu nedenle dış zeminli plağın gerçeğe daha yakın davranışı temsil ettiği söylenebilmektedir.



KAYNAKLAR

- Avcıoğlu, O.** (2015). İki Parametrelili Zemine Oturan Betonarme Yapıların Doğrusal Olmayan Hesabı ve Görsel Tabanlı Bir Bilgisayar Yazılımı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- 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.)
- Hamarat, M. A.** (2012). İki Parametrelili Zeminler Üzerine Oturan Yapı Sistemlerinin Dinamik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Kutlu, A.** (2007). Keyfi Doğrultuda Ortotrop Pasternak Zeminine Oturan Mindlin Plaklarının Serbest Titreşimlerinin Karışık Sonlu Elemanlarla Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- 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.
- 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.
- 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.
- Ozgan, K., Daloğlu, A. T.** (2008). Effect of transverse shear strains on plates resting on elastic foundation using modified Vlasov model, Air Force Academy, Yes-ilyurt, Istanbul, Turkey, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Karadeniz Technical University, 61080 Trabzon, Turkey.
- Özmen, G., Orakdöğen, E., Darılmaz, K.** (2018). Örneklerle SAP2000 v20, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- TBDY.** (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 18 Mart 2018, Resmi Gazete Sayı : 30364 (Mükerrer)

SAP2000 V.18 Structural Analysis Program CSI Computers and Structures Inc.,
Berkeley, California.

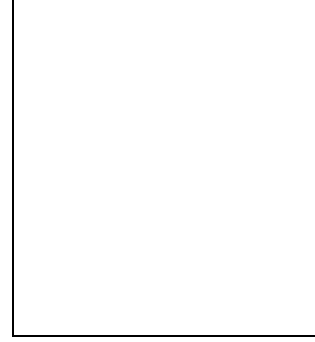
Vallabhan, C.V.G., Straughan, W.T., DAS. Y.C. (1994). Refined Model of
Analysis of Plates of Elastic Foundations, Journal of Engineering
Mechanics Vol. 117, No12, pp. 2830-2844

Xiang, Y., Wang, C.M., Kitipornchai, S. (1994). Exact Vibration Solution For
Initially Stressed Mindlin Plates On Pasternak Foundations,
International Journal Of Mechanical Sciences

Zhou, D., Cheung, Y.K., Lo, S.H., Au, F.T.K. (2004). Three-Dimensional
Vibration Analysis Of Rectangular Thick Plates On Pasternak
Foundation, International Journal Of Numerical Methods In
Engineering



ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Şennur ELMACI
Doğum Yeri ve Tarihi : Sinop / 1985
Adres : Kütahya
E-Posta : sennur_elmaci@hotmail.com
Lisans : Trakya Üniversitesi