

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PASTERNAK TÜRÜ ZEMİNE OTURAN KİRİŞLERİN ZEMİNDEN AYRILMA
PROBLEMİNİN SAP2000 YAZILIMI İLE ÇÖZÜMÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet Çağatay TAHAOĞLU

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

ARALIK 2017

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PASTERNAK TÜRÜ ZEMİNE OTURAN KİRİŞLERİN ZEMİNDEN AYRILMA
PROBLEMİNİN SAP2000 YAZILIMI İLE ÇÖZÜMÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ahmet Çağatay TAHAOĞLU
501131002**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Engin ORAKDÖĞEN

ARALIK 2017

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501131002 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ahmet Çağatay TAHAOĞLU ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “PASTERNAK TÜRÜ ZEMİNE OTURAN KİRİŞLERİN ZEMİNDEN AYRILMA PROBLEMİNİN SAP2000 YAZILIMI İLE ÇÖZÜMÜ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

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

Jüri Üyeleri : **Yrd. Doç. Dr. Mecit ÇELİK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Çağrı MOLLAMAHMUTOĞLU.....
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 17 Kasım 2017
Savunma Tarihi : 11 Aralık 2017



ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tezinde iki parametrelili pasternak tipi zemine oturan kirişlerin zeminden ayrılması problemi hazır bir yazılım kullanılarak ardışık yaklaşım ile çözülmüştür.

Problemin çözümü için geliştirilen algoritma, öncelikle akademik çalışma yapan mühendislerin yararlanacağı bir kaynaktır. Algoritmadaki ardışık yaklaşımın otomatik hale getirilmesi durumunda pratik mühendislikte de kolaylıkla uygulanabilir.

Çalışmam sürecinde bilgilerinden faydalandığım danışman hocam Prof. Dr. Engin ORAKDÖĞEN'e, kadim dostum Sami ASFUROĞLU'na, lisans ve yüksek lisans hayatım boyunca yardımlaştığım Tuğçe CERAN'a, çalışma arkadaşım Özlem OYARDI'ya, eğitim hayatımın devam etmesini teşvik eden İnşaat Yüksek Mühendisi Bülent DEVECİ'ye ve manevi desteklerini veren aileme teşekkür ederim.

Kasım 2017

Ahmet Çağatay Tahaoğlu
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xxi
ÖZET	xxv
SUMMARY	xxvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Zeminde Ayrılma Problemi	1
1.2 Konu İle İlgili Yapılmış Çalışmalar	3
1.3 Zemin Modelleri	4
1.3.1 Winkler zemin modeli	4
1.3.2 Boussinesq zemin modeli	5
1.3.3 Filonenko - Borodich zemin modeli	6
1.3.4 Hetenyi zemin modeli	7
1.3.5 Vlasov zemin modeli	7
1.3.6 Reissner zemin modeli	8
1.3.7 Kerr zemin modeli	8
1.3.8 Pasternak zemin modeli	9
1.4 Pasternak Tipi Zeminin Matematiksel İfadesi	9
2. HESAP MODELİNİN OLUŞTURULMASI	15
2.1 Giriş	15
2.2 SAP2000 Sonlu Eleman Yazılımında İki Parametrelili Zemin Modeli	15
2.3 Kayma Parametresinin Sayısal İncelemesi	17
2.4 Program Çıktılarının Yorumlanması	20
3. SAYISAL ANALİZLER	29
3.1 Örnek 1	29
3.1.1 SAP2000 Girdi Bilgileri	30
3.1.2 Birinci adım hesap sonuçları	33
3.1.3 İkinci adım hesap sonuçları	36
3.1.4 Üçüncü adım hesap sonuçları	38
3.1.5 Dördüncü adım hesap sonuçları	40
3.2 Örnek 2	42
3.2.1 SAP2000 Girdi Bilgileri	43
3.2.2 Birinci adım hesap sonuçları	44
3.2.3 İkinci adım hesap sonuçları	47
3.2.4 Üçüncü adım hesap sonuçları	50
3.2.5 Dördüncü adım hesap sonuçları	53
3.2.6 Beşinci adım hesap sonuçları	56

3.2.7 Altıncı adım hesap sonuçları	59
3.3 Örnek 3	61
3.3.1 Sap2000 girdi bilgileri.....	63
3.3.2 Birinci adım hesap sonuçları	63
3.3.3 İkinci adım hesap sonuçları.....	66
3.3.4 Üçüncü adım hesap sonuçları.....	67
3.4 Örnek 4	69
3.5 Örnek 5	72
3.5.1 Birinci adım hesap sonuçları	72
3.5.2 İkinci adım hesap sonuçları.....	76
3.5.3 Üçüncü adım hesap sonuçları.....	78
3.5.4 Dördüncü adım hesap sonuçları	79
3.6 Örnek 6	81
3.6.1 Birinci adım hesap sonuçları	82
3.6.2 İkinci adım hesap sonuçları.....	89
3.6.3 Üçüncü adım hesap sonuçları.....	94
3.6.4 Dördüncü adım hesap sonuçları	98
3.6.5 Çubuk elemanların daha sık bölünerek hesabın tekrarlanması	103
3.7 Kayma Şekil Değiştirmelerinin Göz Önüne Alınması Durumu.....	106
3.8 Analizlerin Yorumlanması	111
4. SONUÇLAR	121
KAYNAKLAR.....	123
EK A	125
ÖZGEÇMİŞ	135

KISALTMALAR

bkz	: Bakınız
dn	: Düğüm Noktası
D1	: Düğüm Noktası Dönmesi (sol)
D2	: Düğüm Noktası Yerdeğiştirmesi (sol)
D3	: Düğüm Noktası Dönmesi (sağ)
D4	: Düğüm Noktası Yerdeğiştirmesi (sağ)
KE	: Kontrol Edilmedi
TDFM	: Transfer Function Displacement Method

SEMBOLLER

B	: Temel kirişi taban genişliği
C	: İki parametrelili zemin düşey yay katsayısı
C_t	: İki parametrelili zeminin kayma katsayısı
D	: Elastik plak eleman eğilme rijitliği
E	: Temel kirişi elastisite modülü
E_z	: Zemin elastisite modülü
G	: Zemin kayma modülü
H	: Zemin tabakası kalınlığı
I	: Temel kirişi atalet momenti
k	: İkinci mertebeli teorisi çubuk eleman eğilme rijitliği
k_{cr}	: İkinci mertebeli burkulma yükü
k_σ	: İkinci mertebeli teorisi çubuk eleman eksenel rijitliği
k_w	: Zemin yatak katsayısı
L	: Çubuk uzunluğu
q	: Düşey yayılı yük
p	: Noktasal yük
P	: Eksenel çekme kuvveti
M_i	: Bakış yönüne göre çubuk sol ucundaki moment
M_j	: Bakış yönüne göre çubuk sağ ucundaki moment
T	: Elastik zarda oluşan çekme kuvveti
U	: Temel kirişi şekildeğiştirmesinden doğan potansiyel enerji
U_b	: Temel kirişi eğilme rijitliğinden gelen potansiyel enerji
U_m	: Temel kirişi eksenel çekme kuvvetinden doğan uzama enerjisi
v_z	: Zemin poisson oranı
w	: Temel kirişi düşey yerdeğiştirmesi
[k]	: Kiriş eğilme rijitliğinden gelen rijitlik matrisi
[k_σ]	: Kiriş ikinci mertebeli eksenel rijitliğinden gelen rijitlik matrisi
[C]	: İki parametrelili zemin düşey yay katsayısından gelen rijitlik matrisi
[C_t]	: Kayma parametresinden gelen rijitlik matrisi
θ	: Düğüm noktası dönmesi
δ	: Düğüm noktası yerdeğiştirmesi



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : İki parametrelili zemine oturan kiriş rijitlik matrisleri.	13
Çizelge 1.2 : İkinci mertebe çekme kuvvetinden doğan çubuk rijitlik matrisi.	13
Çizelge 2.1 : 1 metre uzunluğundaki kirişin $2Ct = 1000$ kN için rijitlik matrisi.	18
Çizelge 2.2 : 2 metre uzunluğundaki kirişin $2Ct = 1000$ kN için sistem rijitlik matrisi.	18
Çizelge 2.3 : 2 metre uzunluğundaki kiriş fleksibilite ve yük matrisi.	19
Çizelge 2.4 : 1 kN tekil yük altındaki kirişin düğüm noktası yerdeğiştirmeleri.	19
Çizelge 2.5 : İki parametrelili düzgün yayılı yüklenmiş kiriş SAP2000 analiz sonuçları.	22
Çizelge 2.6 : Düzgün yayılı yüklenmiş kiriş eğilme rijitliğinden gelen rijitlik matrisi.	22
Çizelge 2.7 : Düzgün yayılı yüklenmiş kiriş düşey yaylardan gelen rijitlik matrisi.	22
Çizelge 2.8 : Düzgün yayılı yüklenmiş kiriş kayma parametresinden gelen rijitlik matrisi.	22
Çizelge 2.9 : İki parametrelili düzgün yayılı yüklenmiş temel kirişi 1-2 çubuğu toplam kesit zorları.	23
Çizelge 2.10 : İki parametrelili düzgün yayılı yüklenmiş temel kirişi 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.	24
Çizelge 2.11 : İki parametrelili düzgün yayılı yüklenmiş temel kirişi 3-4 çubuğu toplam kesit zorları.	24
Çizelge 2.12 : İki parametrelili düzgün yayılı yüklenmiş temel kirişi 3-4 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.	24
Çizelge 2.13 : İki parametrelili düzgün yayılı ve tekil yüklenmiş kiriş SAP2000 analiz sonuçları.	25
Çizelge 2.14 : Ortasından tekil yüklenmiş temel kirişi 1-2 çubuğu toplam kesit zorları.	26
Çizelge 2.15 : Ortasından tekil yüklenmiş temel kirişi 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.	26
Çizelge 2.16 : Ortasından tekil yüklenmiş temel kirişi 3-4 çubuğu toplam kesit zorları.	26
Çizelge 2.17 : Ortasından tekil yüklenmiş temel kirişi 3-4 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.	27
Çizelge 3.1 : Örnek-1 Birinci adım SAP2000 analiz sonuçları.	33
Çizelge 3.2 : Örnek-1 Birinci adım 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.	34
Çizelge 3.3 : Örnek-1 Birinci adım 2-3 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.	34
Çizelge 3.4 : Örnek-1 Birinci adım 3-4 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.	34

Çizelge 3.5 : Örnek-1 Birinci adım 4-5 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	34
Çizelge 3.6 : Örnek-1 Birinci adım 5-6 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	35
Çizelge 3.7 : Örnek-1 Birinci adım zemin tepkisinden gelen kesme kuvvetleri.	35
Çizelge 3.8 : Örnek-1 İkinci adım SAP2000 analiz sonuçları.....	36
Çizelge 3.9 : Örnek-1 İkinci adım 2-3 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	36
Çizelge 3.10 : Örnek-1 İkinci adım 2-3 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	37
Çizelge 3.11 : Örnek-1 İkinci adım 3-4 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	37
Çizelge 3.12 : Örnek-1 İkinci adım zemin tepkisinden gelen kesme kuvvetleri	38
Çizelge 3.13 : Örnek-1 Üçüncü adım SAP2000 analiz sonuçları.....	38
Çizelge 3.14 : Örnek-1 Üçüncü adım 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	39
Çizelge 3.15 : Örnek-1 Üçüncü adım 2-3 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	39
Çizelge 3.16 : Örnek-1 Üçüncü adım zemin tepkisinden gelen kesme kuvvetleri.	40
Çizelge 3.17 : Örnek-1 Dördüncü adım SAP2000 analiz sonuçları.....	40
Çizelge 3.18 : Örnek-1 Dördüncü adım 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	41
Çizelge 3.19 : Örnek-1 Dördüncü adım zemin tepkisinden gelen kesme kuvvetleri.....	41
Çizelge 3.20 : Örnek-2 Birinci adım SAP2000 analiz sonuçları.....	44
Çizelge 3.21 : Örnek-2 Birinci adım 6-7 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	44
Çizelge 3.22 : Örnek-2 Birinci adım 7-8 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	45
Çizelge 3.23 : Örnek-2 Birinci adım 8-9 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	45
Çizelge 3.24 : Örnek-2 Birinci adım 9-10 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	45
Çizelge 3.25 : Örnek-2 Birinci adım 10-11 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	45
Çizelge 3.26 : Örnek-2 Birinci adım 11-12 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	46
Çizelge 3.27 : Örnek-2 Birinci adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.	47
Çizelge 3.28 : Örnek-2 İkinci adım SAP2000 analiz sonuçları.....	47
Çizelge 3.29 : Örnek-2 İkinci adım 4-5 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	48
Çizelge 3.30 : Örnek-2 İkinci adım 5-6 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	48
Çizelge 3.31 : Örnek-2 İkinci adım 9-10 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	48
Çizelge 3.32 : Örnek-2 İkinci adım 10-11 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	48
Çizelge 3.33 : Örnek-2 İkinci adım 11-12 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	49
Çizelge 3.34 : Örnek-2 İkinci adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.	50

Çizelge 3.35 : Örnek-2 Üçüncü adım SAP2000 analiz sonuçları.....	50
Çizelge 3.36 : Örnek-2 Üçüncü adım 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	51
Çizelge 3.37 : Örnek-2 Üçüncü adım 2-3 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	51
Çizelge 3.38 : Örnek-2 Üçüncü adım 3-4 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	51
Çizelge 3.39 : Örnek-2 Üçüncü adım 4-5 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	51
Çizelge 3.40 : Örnek-2 Üçüncü adım 10-11 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	52
Çizelge 3.41 : Örnek-2 Üçüncü adım 11-12 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	52
Çizelge 3.42 : Örnek-2 Üçüncü adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.....	53
Çizelge 3.43 : Örnek-2 Dördüncü adım SAP2000 analiz sonuçları.....	53
Çizelge 3.44 : Örnek-2 Dördüncü adım 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	54
Çizelge 3.45 : Örnek-2 Dördüncü adım 2-3 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	54
Çizelge 3.46 : Örnek-2 Dördüncü adım 3-4 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	54
Çizelge 3.47 : Örnek-2 Dördüncü adım 10-11 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	55
Çizelge 3.48 : Örnek-2 Dördüncü adım 11-12 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	55
Çizelge 3.49 : Örnek-2 Dördüncü adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.....	56
Çizelge 3.50 : Örnek-2 Beşinci adım SAP2000 analiz sonuçları.....	56
Çizelge 3.51 : Örnek-2 Beşinci adım 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	57
Çizelge 3.52 : Örnek-2 Beşinci adım 2-3 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	57
Çizelge 3.53 : Örnek-2 Beşinci adım 10-11 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	57
Çizelge 3.54 : Örnek-2 Beşinci adım 11-12 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	57
Çizelge 3.55 : Örnek-2 Beşinci adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.....	58
Çizelge 3.56 : Örnek-2 Altıncı adım SAP2000 analiz sonuçları.....	59
Çizelge 3.57 : Örnek-2 Altıncı adım 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	59
Çizelge 3.58 : Örnek-2 Altıncı adım 10-11 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	60
Çizelge 3.59 : Örnek-2 Altıncı adım 11-12 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	60
Çizelge 3.60 : Örnek-2 Altıncı adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri....	61
Çizelge 3.61 : Örnek 3 Hesap parametreleri.....	62
Çizelge 3.62 : Örnek-3 Birinci adım SAP2000 analiz sonuçları.....	63

Çizelge 3.63 : Örnek -3 Birinci Adım 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	64
Çizelge 3.64 : Örnek -3 Birinci Adım 2-3 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	64
Çizelge 3.65 : Örnek -3 Birinci Adım 3-4 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	64
Çizelge 3.66 : Örnek -3 Birinci Adım 4-4 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	65
Çizelge 3.67 : Örnek-3 Birinci adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.	65
Çizelge 3.68 : Örnek-3 İkinci adım SAP2000 analiz sonuçları.....	66
Çizelge 3.69 : Örnek -3 İkinci Adım 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	66
Çizelge 3.70 : Örnek -3 İkinci Adım 2-3 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	66
Çizelge 3.71 : Örnek-3 İkinci adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.	67
Çizelge 3.72 : Örnek-3 Üçüncü adım SAP2000 analiz sonuçları.....	67
Çizelge 3.73 : Örnek -3 Üçüncü Adım 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	68
Çizelge 3.74 : Örnek-3 Üçüncü adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.	69
Çizelge 3.75 : Örnek -4 Hesap Parametreleri.....	69
Çizelge 3.76 : Örnek-5 Birinci adım SAP2000 analiz sonuçları.....	73
Çizelge 3.77 : Örnek-5 Birinci adım 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	73
Çizelge 3.78 : Örnek-5 Birinci adım 2-3 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	73
Çizelge 3.79 : Örnek-5 Birinci adım 3-4 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	74
Çizelge 3.80 : Örnek-5 Birinci adım 4-5 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	74
Çizelge 3.81 : Örnek-5 Birinci adım 5-6 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	74
Çizelge 3.82 : Örnek-5 Birinci adım 6-7 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	74
Çizelge 3.83 : Örnek-5 Birinci adım 7-8 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	75
Çizelge 3.84 : Örnek-5 Birinci adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.	75
Çizelge 3.85 : Örnek-5 İkinci adım SAP2000 analiz sonuçları.....	76
Çizelge 3.86 : Örnek-5 İkinci adım 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	76
Çizelge 3.87 : Örnek-5 İkinci adım 2-3 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	77
Çizelge 3.88 : Örnek-5 İkinci adım 3-4 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	77
Çizelge 3.89 : Örnek-5 İkinci adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.	78
Çizelge 3.90 : Örnek-5 Üçüncü adım SAP2000 analiz sonuçları.....	78
Çizelge 3.91 : Örnek-5 Üçüncü adım 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	78
Çizelge 3.92 : Örnek-5 Üçüncü adım 2-3 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	79

Çizelge 3.93 : Örnek-5 Üçüncü adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.....	79
Çizelge 3.94 : Örnek-5 Dördüncü adım SAP2000 analiz sonuçları.....	80
Çizelge 3.95 : Örnek-5 Dördüncü adım 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	80
Çizelge 3.96 : Örnek-5 Dördüncü adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.....	81
Çizelge 3.97 : Örnek-6 Birinci adım SAP2000 analiz sonuçları.....	83
Çizelge 3.98 : Örnek-6 Birinci adım 2-3 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	85
Çizelge 3.99 : Örnek-6 Birinci adım 3-4 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	85
Çizelge 3.100 : Örnek-6 Birinci adım 4-5 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	85
Çizelge 3.101 : Örnek-6 Birinci adım 11-12 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	86
Çizelge 3.102 : Örnek-6 Birinci adım 12-13 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	86
Çizelge 3.103 : Örnek-6 Birinci adım 13-14 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	86
Çizelge 3.104 : Örnek-6 Birinci adım 24-25 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	86
Çizelge 3.105 : Örnek-6 Birinci adım 25-26 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	87
Çizelge 3.106 : Örnek-6 Birinci adım 26-27 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	87
Çizelge 3.107 : Örnek-6 Birinci adım 34-35 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	87
Çizelge 3.108 : Örnek-6 Birinci adım 35-36 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	87
Çizelge 3.109 : Örnek-6 Birinci adım 36-37 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	88
Çizelge 3.110 : Örnek-6 Birinci adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.....	88
Çizelge 3.111 : Örnek-6 İkinci adım SAP2000 analiz sonuçları.....	89
Çizelge 3.112 : Örnek-6 İkinci adım 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	91
Çizelge 3.113 : Örnek-6 İkinci adım 2-3 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	91
Çizelge 3.114 : Örnek-6 İkinci adım 3-4 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	91
Çizelge 3.115 : Örnek-6 İkinci adım 12-13 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	91
Çizelge 3.116 : Örnek-6 İkinci adım 13-14 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	92
Çizelge 3.117 : Örnek-6 İkinci adım 14-15 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	92
Çizelge 3.118 : Örnek-6 İkinci adım 23-24 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	92

Çizelge 3.119 : Örnek-6 İkinci adım 24-25 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	92
Çizelge 3.120 : Örnek-6 İkinci adım 35-36 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	93
Çizelge 3.121 : Örnek-6 İkinci adım 36-37 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	93
Çizelge 3.122 : Örnek-6 İkinci adım 37-38 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	93
Çizelge 3.123 : Örnek-6 İkinci adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri....	94
Çizelge 3.124 : Örnek-6 Üçüncü adım SAP2000 analiz sonuçları.....	94
Çizelge 3.125 : Örnek-6 Üçüncü adım 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	96
Çizelge 3.126 : Örnek-6 Üçüncü adım 2-3 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	96
Çizelge 3.127 : Örnek-6 Üçüncü adım 13-14 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	96
Çizelge 3.128 : Örnek-6 Üçüncü adım 14-15 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	97
Çizelge 3.129 : Örnek-6 Üçüncü adım 22-23 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	97
Çizelge 3.130 : Örnek-6 Üçüncü adım 23-24 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	97
Çizelge 3.131 : Örnek-6 Üçüncü adım 37-38 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	97
Çizelge 3.132 : Örnek-6 Üçüncü adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.....	98
Çizelge 3.133 : Örnek-6 Dördüncü adım SAP2000 analiz sonuçları.....	98
Çizelge 3.134 : Örnek-6 Dördüncü adım 14-15 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	100
Çizelge 3.135 : Örnek-6 Dördüncü adım 22-23 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	101
Çizelge 3.136 : Örnek-6 Dördüncü adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.....	101
Çizelge 3.137 : Örnek 6 L=0.5 metre için SAP2000 analiz sonuçları.....	104
Çizelge 3.138 : Örnek 6 L=0.5 m için 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	105
Çizelge 3.139 : Örnek 6 L=0.5 m için 2-3 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	105
Çizelge 3.140 : Örnek 6 L=0.5 m için 6-7 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	105
Çizelge 3.141 : Örnek 6 L=0.5 m için 8-9 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	105
Çizelge 3.142 : Örnek 6 L=0.5 m için 12-13 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.....	106
Çizelge 3.143 : Örnek 6 L=0.5 metre için zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.....	106
Çizelge 3.144 : Örnek-1 Kayma şekildeğiştirmeleri dahil edildiğinde hesaplanan zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.....	108
Çizelge 3.145 : Örnek-2 Kayma şekildeğiştirmeleri dahil edilmiş durum yay kuvvetleri.....	109

Çizelge 3.146 : Örnek-3 Kayma şekildeğiştirmeleri dahil edilmiş durum yay kuvvetleri.....	109
Çizelge 3.147 : Örnek-5 Kayma şekildeğiştirmeleri dahil edilmiş durum yay kuvvetleri.....	110
Çizelge 3.148 : Örnek-6 Kayma şekildeğiştirmeleri dahil edilmiş durum yay kuvvetleri.....	111
Çizelge 3.149 : Örnek-1 Pasternak ve winkler tipi zemin modelleri karşılaştırması.....	112
Çizelge 3.150 : Örnek-2 Pasternak ve winkler tipi zemin modelleri karşılaştırması.....	112
Çizelge 3.151 : Örnek-3 Pasternak ve winkler tipi zemin modelleri karşılaştırması.....	113
Çizelge 3.152 : Örnek-4 Pasternak ve winkler tipi zemin modelleri karşılaştırması.....	113
Çizelge 3.153 : Örnek-5 Pasternak ve winkler tipi zemin modelleri karşılaştırması.....	113
Çizelge 3.154 : Örnek-6 Pasternak ve winkler tipi zemin modelleri karşılaştırması.....	114
Çizelge 3.155 : Örnek-1 Tez çalışması ve referans çalışma karşılaştırması.....	118
Çizelge 3.156 : Örnek-2 Tez çalışması ve referans çalışma karşılaştırması.....	118
Çizelge 3.157 : Örnek-3 Tez çalışması ve referans çalışma karşılaştırması.....	119
Çizelge 3.158 : Örnek-4 Tez çalışması ve referans çalışma karşılaştırması.....	119
Çizelge 3.159 : Örnek-6 Tez çalışması ve referans çalışma karşılaştırması.....	119
Çizelge A.1 : Örnek-1 İlk adım düğüm noktası yerdeğiştirmeleri	125
Çizelge A.2 : Örnek-1 Dördüncü adım düğüm noktası yerdeğiştirmeleri.....	125
Çizelge A.3 : Örnek-2 Birinci adım düğüm noktası yerdeğiştirmeleri.....	126
Çizelge A.4 : Örnek-2 Altıncı adım düğüm noktası yerdeğiştirmeleri.....	127
Çizelge A.5 : Örnek-3 İlk adım düğüm noktası yerdeğiştirmeleri	128
Çizelge A.6 : Örnek-3 Üçüncü adım düğüm noktası yerdeğiştirmeleri	129
Çizelge A.7 : Örnek-4 İlk adım düğüm noktası yerdeğiştirmeleri	130
Çizelge A.8 : Örnek-5 İlk adım düğüm noktası yerdeğiştirmeleri	131
Çizelge A.9 : Örnek-5 Dördüncü adım düğüm noktası yerdeğiştirmeleri.....	132
Çizelge A.10 : Örnek-6 İlk adım düğüm noktası yerdeğiştirmeleri	133
Çizelge A.11 : Örnek-6 Dördüncü adım düğüm noktası yerdeğiştirmeleri.....	134



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Uniform yük altında temel kirişi yerdeğiştirme grafiği: a – Winkler zemini; b – iki parametrelili zemin.....	2
Şekil 1.2 : Temel kirişinin zeminle temasının kesilmesi hali: a – basınç etkisinde ortadan ayrılma; b – çekme etkisinde ortadan ayrılma; c- basınç etkisinde kenardan ayrılma.	2
Şekil 1.3 : Winkler zemin modeli: a – yayılı yük; b – tekil yük; c – rijit cisme etkiyen tekil yük; d – üniform yayılı yük.....	5
Şekil 1.4 : Filonenko – Borodich zemin modeli: a- Basit model; b – Tekil yük; c – Rijit yük; d – Yayılı yük.....	6
Şekil 1.5 : Hetenyi zemin modeli.	7
Şekil 1.6 : Vlasov zemin modeli.....	8
Şekil 1.7 : Kerr zemin modeli.....	8
Şekil 1.8 : Pasternak zemin modeli.	9
Şekil 1.9 : Elastik zemine oturan elementer parça.....	11
Şekil 1.10 : İki ucu sonlu kiriş düğüm noktası serbestlikleri.....	11
Şekil 2.1 : Hesap Modeli.	16
Şekil 2.2 : SAP2000 pozitif yön kabulleri.	17
Şekil 2.3 : Hesap modelinde ikinci parametre kayma katsayısının tanımı.	17
Şekil 2.4 : Yalnızca kayma parametresi atanmış kiriş yerdeğiştirme grafiği.	18
Şekil 2.5 : Çözüm algoritmasının akış diyagramı.....	20
Şekil 2.6 : Düzgün yayılı yüklenmiş iki parametrelili kiriş.	21
Şekil 2.7 : İki parametrelili kiriş yerdeğiştirme grafiği.	21
Şekil 2.8 : İki parametrelili kiriş düğüm noktası yerdeğiştirmeleri.	21
Şekil 2.9 : Zemin tepkisi ve pozitif yönlü kesme kuvvetleri.	23
Şekil 2.10 : Düzgün yayılı yüklenmiş temel kirişi 1-2 ve 3-4 çubukları zeminden gelen kesit zorları.....	25
Şekil 2.11 : Ortasından tekil yüklü iki parametrelili zemine oturan kirişin yerdeğiştirme grafiği.	25
Şekil 2.12 : Ortasından tekil yüklü temel kirişi 1-2 ve 3-4 çubukları zeminden gelen kesit zorları.	27
Şekil 3.1 : Noktasal çekmeye maruz sonsuz kiriş.....	29
Şekil 3.2 : Farklı yay katsayısı parametreleri için ayrılma bölgesi uzunluğu ve dış yük arasındaki ilişki.....	30
Şekil 3.3 : Örnek-1 SAP2000 malzeme bilgileri.	31
Şekil 3.4 : Örnek-1 SAP2000 temel kirişi kesit özellikleri.	31
Şekil 3.5 : Örnek-1 Temel kirişi düşey yay ve ikinci parametre kayma katsayısı atamaları.	32
Şekil 3.6 : Örnek-1 P yükleme (kN).	32
Şekil 3.7 : Örnek-1 Düğüm Noktası Numaraları.....	33
Şekil 3.8 : Örnek-1 Birinci adım yerdeğiştirme grafiği.....	35

Şekil 3.9 : Örnek-1 Birinci adım SAP2000 yay kuvvetleri.	35
Şekil 3.10 : Örnek-1 İkinci adım yerdeğiştirme grafiği.	37
Şekil 3.11 : Örnek-1 İkinci adım SAP2000 yay kuvvetleri.	37
Şekil 3.12 : Örnek-1 Üçüncü adım yerdeğiştirme grafiği.	39
Şekil 3.13 : Örnek-1 Üçüncü adım SAP2000 yay kuvvetleri.	39
Şekil 3.14 : Örnek-1 Dördüncü adım yerdeğiştirme grafiği.	41
Şekil 3.15 : Örnek-1 Dördüncü adım SAP2000 yay kuvvetleri.	41
Şekil 3.16 : Noktasal basınca maruz sonsuz kiriş.	42
Şekil 3.17 : Farklı yay katsayısı parametreleri için temas bölgesi uzunluğu ve dış yük arasındaki ilişki.	42
Şekil 3.18 : Örnek-2 P yükleme (kN).	43
Şekil 3.19 : Örnek-2 Düğüm Noktası Numaraları.	43
Şekil 3.20 : Örnek-2 Birinci adım yerdeğiştirme grafiği.	46
Şekil 3.21 : Örnek-2 Birinci adım SAP2000 yay kuvvetleri.	46
Şekil 3.22 : Örnek-2 İkinci adım yerdeğiştirme grafiği.	49
Şekil 3.23 : Örnek-2 İkinci adım SAP2000 yay kuvvetleri.	49
Şekil 3.24 : Örnek-2 Üçüncü adım yerdeğiştirme grafiği.	52
Şekil 3.25 : Örnek-2 Üçüncü adım SAP2000 yay kuvvetleri.	53
Şekil 3.26 : Örnek-2 Dördüncü adım yerdeğiştirme grafiği.	55
Şekil 3.27 : Örnek-2 Dördüncü adım SAP2000 yay kuvvetleri.	56
Şekil 3.28 : Örnek-2 Beşinci adım yerdeğiştirme grafiği.	58
Şekil 3.29 : Örnek-2 Beşinci adım SAP2000 yay kuvvetleri.	58
Şekil 3.30 : Örnek-2 Altıncı adım yerdeğiştirme grafiği.	60
Şekil 3.31 : Örnek-2 Altıncı adım SAP2000 yay kuvvetleri.	61
Şekil 3.32 : İki ucundan basınca maruz sonlu kiriş.	61
Şekil 3.33 : Örnek 3 winkler yayı ve zemin kayma parametresi ile ayrılma bölgesi uzunluğunun değişimi.	62
Şekil 3.34 : Örnek 3 Hesap modeli.	63
Şekil 3.35 : Örnek-3 Birinci adım yerdeğiştirme grafiği.	65
Şekil 3.36 : Örnek-3 Birinci adım SAP2000 yay kuvvetleri.	65
Şekil 3.37 : Örnek-3 İkinci adım SAP2000 yerdeğiştirme grafiği.	67
Şekil 3.38 : Örnek-3 İkinci adım SAP2000 yay kuvvetleri.	67
Şekil 3.39 : Örnek-3 Üçüncü adım yerdeğiştirme grafiği.	68
Şekil 3.40 : Örnek-3 Üçüncü adım SAP2000 yay kuvvetleri.	68
Şekil 3.41 : Örnek 4 temel kirişi yerdeğiştirmesi ile k yay sabiti ilişkisi.	70
Şekil 3.42 : Örnek 4 SAP2000 modeli malzeme özellikleri.	70
Şekil 3.43 : Örnek 4 SAP2000 modeli malzeme ve kesit özellikleri.	70
Şekil 3.44 : Örnek 4 SAP2000 modeli yay atamaları.	71
Şekil 3.45 : Örnek 4 Analiz sonucu maksimum yer değiştirme.	71
Şekil 3.46 : Örnek 4 Analiz sonucu minimum yerdeğiştirme.	71
Şekil 3.47 : Örnek 5 Analiz modeli.	72
Şekil 3.48 : Örnek 5 düğüm noktası numaraları.	72
Şekil 3.49 : Örnek-5 Birinci adım yerdeğiştirme grafiği.	75
Şekil 3.50 : Örnek-5 Birinci adım SAP2000 yay kuvvetleri.	75
Şekil 3.51 : Örnek-5 İkinci adım yerdeğiştirme grafiği.	77
Şekil 3.52 : Örnek-5 İkinci adım SAP2000 yay kuvvetleri.	77
Şekil 3.53 : Örnek-5 Üçüncü adım yerdeğiştirme grafiği.	79
Şekil 3.54 : Örnek-5 Üçüncü adım SAP2000 yay kuvvetleri.	79
Şekil 3.55 : Örnek-5 Dördüncü adım yerdeğiştirme grafiği.	81
Şekil 3.56 : Örnek-5 Dördüncü adım SAP2000 yay kuvvetleri.	81

Şekil 3.57 : Örnek 6 Referans çalışma sistem kesiti.....	81
Şekil 3.58 : Örnek 6 Q0 yüklemesi.....	82
Şekil 3.59 : Örnek 6 Q1 yüklemesi.....	82
Şekil 3.60 : Örnek 6 P yüklemesi.	82
Şekil 3.61 : Örnek 6 düğüm noktası numaraları.	82
Şekil 3.62 : Örnek-6 Birinci adım SAP2000 deforme olmuş şekil.	88
Şekil 3.63 : Örnek-6 Birinci adım yerdeğiştirme grafiği.	88
Şekil 3.64 : Örnek-6 İkinci adım yerdeğiştirme grafiği.....	93
Şekil 3.65 : Örnek-6 İkinci adım SAP2000 yay kuvvetleri.	93
Şekil 3.66 : Örnek-6 Üçüncü adım yerdeğiştirme grafiği.	98
Şekil 3.67 : Örnek-6 Üçüncü adım SAP2000 yay kuvvetleri.	98
Şekil 3.68 : Örnek-6 Dördüncü adım yerdeğiştirme grafiği.	101
Şekil 3.69 : Örnek-6 Dördüncü adım SAP2000 yay kuvvetleri.	101
Şekil 3.70 : Örnek-6 Orta bölge yerdeğiştirmesi – $\Delta_{max} = 0.0018$ m.	102
Şekil 3.71 : Örnek-6 Tepe noktası yerdeğiştirmesi – $\Delta_{max} = 0.0041$ m.....	102
Şekil 3.72 : Örnek-6 Referans çalışma yerdeğiştirme grafiği – $\Delta_{max} = 0.0041$ m, $\Delta_{min} = 0.0016$ m.....	102
Şekil 3.73 : Örnek-6 SAP2000 kesme kuvveti diyagramı– $V_{max} = 26.6$ kN.....	103
Şekil 3.74 : Örnek-6 Referans çalışma kesme kuvveti diyagramı– $V_{max} = 27$ kN.....	103
Şekil 3.75 : Örnek 6 L=0.5 metre için düğüm noktası numaraları ve yerdeğiştirme grafiği.	104
Şekil 3.76 : Kayma şekildeğiştirmesinin fiziksel gösterimi.	107
Şekil 3.77 : Örnek-1 Kayma şekildeğiştirmeleri dahil edilmiş durum düğüm noktası yerdeğiştirmeleri.....	107
Şekil 3.78 : Örnek-1 Kayma şekildeğiştirmeleri dahil edilmiş durum yay kuvvetleri.....	108
Şekil 3.79 : Örnek-2 Kayma şekildeğiştirmeleri dahil edilmiş durum yerdeğiştirme grafiği.	108
Şekil 3.80 : Örnek-2 Kayma şekildeğiştirmeleri dahil edilmiş durum yay kuvvetleri.....	108
Şekil 3.81 : Örnek-3 Kayma şekildeğiştirmeleri dahil edilmiş durum yerdeğiştirme grafiği.	109
Şekil 3.82 : Örnek-3 Kayma şekildeğiştirmeleri dahil edilmiş durum yay kuvvetleri.....	109
Şekil 3.83 : Örnek-4 Kayma şekildeğiştirmeleri dahil edilmiş durum yerdeğiştirme grafiği.	110
Şekil 3.84 : Örnek-4 Kayma şekildeğiştirmeleri dahil edilmiş durum yay kuvvetleri.....	110
Şekil 3.85 : Örnek-5 Kayma şekildeğiştirmeleri dahil edilmiş durum yerdeğiştirme grafiği.	110
Şekil 3.86 : Örnek-5 Kayma şekildeğiştirmeleri dahil edilmiş durum yay kuvvetleri.....	110
Şekil 3.87 : Örnek-6 Kayma şekildeğiştirmeleri dahil edilmiş durum yerdeğiştirme grafiği.	111
Şekil 3.88 : Örnek-6 Kayma şekildeğiştirmeleri dahil edilmiş durum yay kuvvetleri.....	111
Şekil 3.89 : Örnek-1 Moment diyagramı.....	114
Şekil 3.90 : Örnek-1 Kesme kuvveti diyagramı.	115
Şekil 3.91 : Örnek-2 Moment diyagramı.....	115

Şekil 3.92 : Örnek-2 Kesme kuvveti diyagramı.	115
Şekil 3.93 : Örnek-3 Moment diyagramı.	116
Şekil 3.94 : Örnek-3 Kesme kuvveti diyagramı.	116
Şekil 3.95 : Örnek-5 Moment diyagramı.	116
Şekil 3.96 : Örnek-5 Kesme kuvveti diyagramı.	117
Şekil 3.97 : Örnek-6 Moment diyagramı.	117
Şekil 3.98 : Örnek-6 Kesme kuvveti diyagramı.	117
Şekil A.1 : Örnek-1 Sonlu eleman modeli düğüm noktası numaraları.....	125
Şekil A.2 : Örnek-2 Sonlu eleman modeli düğüm noktası numaraları.....	126
Şekil A.3 : Örnek-3 Sonlu eleman modeli düğüm noktası numaraları.....	128
Şekil A.4 : Örnek-4 Sonlu eleman modeli düğüm noktası numaraları.....	130
Şekil A.5 : Örnek-5 Sonlu eleman modeli düğüm noktası numaraları.....	131
Şekil A.6 : Örnek-6 Sonlu eleman modeli düğüm noktası numaraları.....	133



PASTERNAK TÜRÜ ZEMİNE OTURAN KİRİŞLERİN ZEMİNDEN AYRILMA PROBLEMİNİN SAP2000 YAZILIMI İLE ÇÖZÜMÜ

ÖZET

Mühendislik çalışmalarının amacı, karşılaşılan problemlere hem en güvenli hem en ekonomik çözümün üretilmesidir. Kamu yararına yapılacak bir mühendislik projesinde veya güvenliğin önem arzettiği durumlarda çözümün ekonomik olması koşulu ihmal edilebilir. Güvenliğin sağlanabilmesinin yolu gerçek davranışa en yakın hesap yönteminin seçilmesinden geçer.

Günümüz inşaat mühendisliğinde yapı temelleri altındaki zemin düğüm noktalarına tanımlanan Winkler ayrıık düşey yayları ile temsil edilmektedir. Bu kabul yanlış olmamakla birlikte eksikleri olan bir yaklaşımdır. Temel tabanına dik yönde, birbirinden bağımsız düşey yaylarla idealize edilen zemin çoğu zaman gerçek zemin davranışını yansıtmamaktadır. Kum ve çakıllı zeminler haricinde zeminin düşey liflerinin arasında kohezyon dolayısıyla kayma gerilmeleri meydana gelmekte ve zemin şekildeğıştirmeleri kararlı hale gelmektedir. Bu çalışmada Winkler düşey yaylarına ek olarak, bu kayma gerilmelerini temsil eden zemin ikinci parametresi kullanılmıştır.

Araştırmada ele alınan konu, sınır koşulları bakımından doğrusal olmayan temel kirişlerinin ardışık yaklaşımla çözülmesi esasına dayanmaktadır. Çekme almayan iki parametrelili zeminin temel kirişli ile temasının kesildiğı bölgenin uzunluğu, temel kirişinde oluşan kesit zorları ve yer değıştirmeler incelenmiştir. Farklı zemin parametrelerinin, dış yüklerin, kiriş uzunluğunun ve kiriş eğilme rijitliklerinin sonuçları ne ölçüde etkiledikleri araştırılmıştır. Hesaplarda CSI SAP2000 yapı analizi programından yararlanılmıştır.

Araştırma dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde problem ortaya konulmuş, problemin pratikte karşılaşıldığı durumlar anlatılmıştır. Ayrıca esas alınacak zemin modeli tanıtılmıştır. İki parametrelili pasternak tipi zemine oturan kirişin rijitlik matrisi verilmiştir. Diğer zemin modelleri ile ilgili bilgi ve konu ile ilgili yapılmış benzer çalışmalara yer verilmiştir. Hesapta kullanılacak referans çalışmalari tanıtılmıştır.

İkinci bölümde problemin çözüm yöntemi anlatılmıştır. SAP2000 programında iki parametrelili zeminin modellenmesi açıklanmıştır. Zeminin düşey yay katsayısı, kayma parametresi ve kiriş eğilme rijitliğinin süperpoze edilerek kiriş kesit zorlarının

dışardan hesabı gösterilmiştir. Bu hesaba göre kiriş uçlarında oluşan pozitif kesme kuvvetleri, kirişin zeminden ayrıldığıının göstergesidir. Zeminden ayrılan kiriş parçasının zemin yayları ve kayma parametresi ile olan ilişkisi kesilerek sistem tekrar çözülmüştür. Ardışık iki adımda kirişin zeminden ayrıldığı noktaya ulaşana kadar yaklaşıma devam edilmiştir.

Üçüncü bölümde sayısal örneklere yer verilmiştir. Altı adet sayısal örnek çözülmüştür. Tekil ve yayılı yük etkisi altında temel kirişinin zeminden ayrılma davranışı incelenmiştir. Bu örneklerden üçünde yerçekimine ters yöndeki tekil kuvvet etkisi temel kirişinin zeminden ayrılmasına sebep olmaktadır. Diğer üç örnekte ise yer çekimi doğrultusudaki tekil yüklerin etkisiyle kenardan ayrılan temel kirişlerinin hesabı gösterilmiştir. Ayrıca, kayma şekildeğiştirmelerinin her bir örnekte dahil edilmesi ve ihmal edilmesi durumundaki sonuçlar gösterilmiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

Son bölümde yapılan çalışmanın sonuçları verilmiştir. Hazır yapı analizi programları ve literatürde verilen çözümlerin bu çalışma ile karşılaştırılması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Pasternak, İki Parametrelili Zemin, Lift-off, SAP2000

SOLUTION OF LIFT-OFF PROBLEM OF BEAMS ON PASTERNAK TYPE SUBGRADE BY USING SAP2000

SUMMARY

The aim of the engineering studies is to be able to produce both secure and economical solution to faced problems. It may be negligible that the solution is economical in an engineering project to be carried out in the public interest or where security is important. The way to ensure safety is through the choice of the closest account method to the actual behavior. Hand made calculations are time consuming. In early 1900's engineers were improving basic assumptions for taking the approximate results. Recent technological developments provide us to compute huge problems in seconds. High performance computers use some technics such as finite elements, finite difference, central difference and calculate complex problems. Even if there are still many used assumptions, regarding these possibilities, it is easy to model actual behaviour of materials and geometries.

In today's civil engineering, the subgrade is represented by vertical separate Winkler springs that are defined to start and end points of joints below the foundation elements. This is the first mechanical model for foundation bases (1867). This practical approach is not a mistake but rather lacking. The subgrade, which is idealized with vertical springs perpendicular to the foundation, does not reflect the actual soil behavior. These linear springs deflect proportioned with the load above. Apart from sand and gravel soil, due to cohesion between the vertical fibers of the soil, shear stresses occur and the soil deformation becomes continuous. There has been some other soil behaviour models to take this effect into account. Filolenko-Borodich (1940), Pasternak (1954) and Vlasov (1966) are wellknown two-parameter soil models. In this study, in addition to Winkler vertical springs, the second parameter of the soil representing these shear stresses has been used. Pasternak soil model is the most appropriate approach for this work. Basically it is the assumption that there is a non-shorten shear layer which is perpendicular to linear vertical springs. This shear layer only deforms under the effects of shear stresses. This approach seems there is an in-plane tension force at the fictitious shear layer in both directions.

The subject covered in the research is based on the principle of solving the nonlinear contact problem between the beam and subgrade by sucesive approximation method. The length of the soil region where the contact with the foundation beam is cut off, the internal forces and displacements of the foundation beam are investigated for tensionless Pasternak foundation beam. It has been studied how different soil

parameters affect the results of external loads, beam length and beam bending stiffness. It has been used CSI SAP2000 structural analysis program for calculations. Finite element method has been used. The element that simulates Pasternak foundation beam has been developed. Two dimensional (x-z plane) problems have been solved.

The research consists of four parts. In the first part, the cause and the emergence of the problem and the situations in which the problem is encountered in practice have been explained. History of problem and solution approaches are illustrated. Moreover, the soil model to be taken into account has been introduced. Basically, there are two soil constants which are C and C_T . The one is typical vertical Winkler spring (kN/m^2) and the other is shear constant (kN). Beam bending rigidity, EI (kNm^2) and these two constants ensure loads come from structure. While developing the load and deformation equations of these constants, the stiffness matrix and mathematical expression of the beam on two-parameter Pasternak soil has been given. Similarity between tension force on bars at second order theory and Pasternak soil shear constant has been illustrated. Other soil models have been provided and similar works which are related to the subject have been given. The reference works to be used in the calculation have been introduced.

In the second part, the solution method of the problem has been explained. In SAP2000 software, two-parameter Pasternak soil modelling has been shown. The characteristics of two parameter foundation have been described, It is possible to model two-parameter foundation by assigning P-delta force to all foundation and soil elements. Then the shear transfer can be provided. Vertical spring coefficient of soil, shear parameter and beam bending stiffness are superimposed to show internal forces of beam. SAP2000 does not give the exact internal forces that comes from two parameter soil. Spring forces option represent only winkler springs. To comprehend the reactions come from two-parameter soil hand made calculations has been done. Joint displacements have been multiplied with soil stiffness matrices that has been proved at chapter-1. Then the reaction forces have been obtained. Positive shear forces at any point of the beam shows that lift-off from soil occurs. The system is re-solved by cutting off the relationship between the springs and the shear parameter assignments of the beam. The application continued until it reached the exact contact point at two consequent step.

Numerical examples are given in the third chapter. In order to verify the reliability of calculation method, problems existing in the literature are solved. Convergence tests have been carried on. Six numerical examples are solved and illustrated. Three of these examples have been taken from Ma, Butterford and Clifton's article (2009). Other two examples are at Celep and Demir's article (2007). Behavior of foundation beam under the influence of point load and span load is investigated. Three of these examples, the point load effect in the opposite direction of gravity, causes lift-off. The other three examples show the calculation of the foundation beams separated from the edge by the effect of the point loads in the gravity direction. Shear forces, moments, lift-off lengths and joint displacements have been shown for each step. Furthermore, results of inclusion and neglect of shear deformations in each example are shown.

The work done in the last section has been concluded. Existing structural analysis program results and solutions given by literature have been compared. Results have been listed.

Keywords: Pasternak, Two parameter foundation, Lift-off, SAP2000



1. GİRİŞ

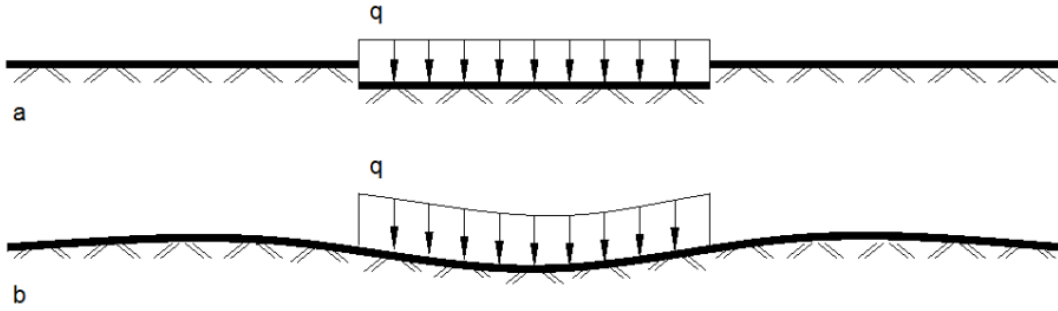
Yapı mühendisliğinde çoğu zaman temel ve üstyapı birbirinden bağımsız düşünülerek kolon alt uçları mesnetli kabul edilir. Bu kabul, pratik olarak bir mühendislik probleminin çözümü için mertebe bilgisi verse de kolon temel birleşimlerindeki dönmeler sonuçları oldukça etkilemektedir. Yapı temellerinin oturdukları zemin heterojen ve karmaşık yapıdadır. Mühendislik çalışmalarında bilgisayarlı hesap programlarının da gelişmesiyle bu karmaşık yapıyı idealleştirmek için bir çok zemin modeli ortaya çıkmıştır. Yapının yüklerini zemine aktarabilmesi ve zeminin de gerçeğe yakın tepki verebilmesi için geliştirilen bu modellerin çeşitliliğinden de anlaşıldığı gibi, zeminin davranışının kesin kabul görmüş bir formülasyonu yoktur.

1.1 Zeminden Ayrılma Problemi

Temellerin gerçeğe daha yakın davranışının belirlenmesi, temel çökmelerinin doğru hesaplanmasına bağlıdır. Zemin davranışını modelleyebilmek için geliştirilen çeşitli yöntemler içinde en pratik ve kullanışlı olanı Winkler Hipotezine dayanmaktadır. Winkler hipotezinde temel altındaki çökmeler o noktalardaki gerilmelerle orantılı olduğundan yapı yükleri temel tabanına dik yönde bağımsız elastik yaylar olarak idealleştirilir. Elastik yaylar arasında herhangi bir etkileşim bulunmamaktadır. Zemini tanımlayan tek parametre yatak katsayısıdır. Trupia ve Saygun'un (2009) belirttiği gibi "Temellerin altında ve civarında yapılan ölçümler, kısa süreli (bir ila üç hafta kadar) çökmelerin bile Winkler anlamında olmadığını göstermektedir" (Betonarme Yüzeysel Temeller, 2009, s.289).

Temel altındaki yayların birbirinden bağımsız olmasının eksiklikleri, iki parametrelili zemine oturan temellerle ilgili çeşitli çalışmaların yapılmasına sebep olmuştur. Burada temel altı yayları arasında bir süreklilik teşkil edilmesi amaçlanmıştır. Düşey zemin lifleri arasında kohezyondan doğan kayma gerilmeleri oluşmakta ve winkler zemin modelindeki bağımsız yaylar arasında bir etkileşim meydana getirilmektedir. Sadece kum veya kumlu çakıllı zeminlerde Winkler zemin modeli uygun olmakla

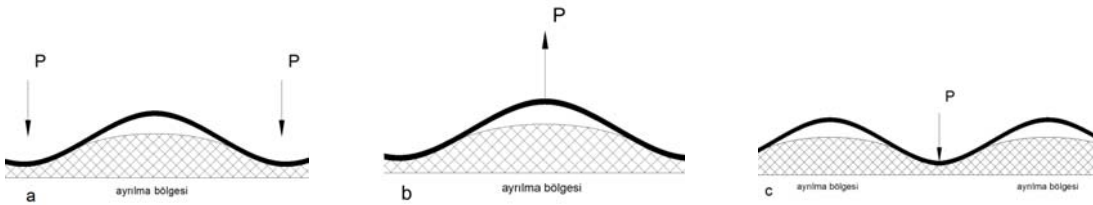
beraber, killi zeminlerde çökmelerin daha kararlı olmasından dolayı iki parametrelili zemin modelinin kullanılması daha gerçekçidir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 : Uniform yük altında temel kirişi yerdeğiştirme grafiği: a – Winkler zeminini; b – iki parametrelili zemin.

Uygulamada karşılaşılan bir diğer problem ise, Winkler zemininde göz önüne alınan düşey yayların sadece basınç değil çekme kuvvetlerine karşı da direnç göstermesidir. Oysa yapı temeline kolonlardan gelecek olan bir çekme etkisi altında veya zemine büyük basınç kuvvetleri aktaran komşu kolonların oturduğu temel orta bölgelerinde zeminden ayrılma gözlenebilmektedir. Ayrılan bölgenin zeminle temasının kesilmesinden dolayı pratik kabuldeki düşey yayların çekmeye karşı gösterdikleri direnç hatalıdır. Çekme durumunda zemin tepkisi oluşmamalıdır. Temelin zeminden ayrılması aşağıdaki hallerde gözlenir:

- Fabrika tipi yapıların, özellikle katar yükleri aktaran kolon altlarındaki şerit temellerde ayrılma hali; (Şekil 1.2 - a)
- Kule tipi yüksek yapılarda deprem anında düşey taşıyıcı alt uçlarının çekme kuvvetleri alması hali; (Şekil 1.2 - b)
- Temel kirişinin uygun zemin özelliklerinde, yüksek basınç kuvvetlerine sahip kolonun çevresinden ayrılması hali. (Şekil 1.2 - c)



Şekil 1.2 : Temel kirişinin zeminle temasının kesilmesi hali: a – basınç etkisinde ortadan ayrılma; b – çekme etkisinde ortadan ayrılma; c- basınç etkisinde kenardan ayrılma.

1.2 Konu İle İlgili Yapılmış Çalışmalar

Zemin yapısı ve davranışı hakkındaki en temel araştırmalar Winkler (1867), Filonenko – Borodich (1940), Hetenyi (1950), Pasternak (1954) ve Vlasov (1966) tarafından yapılmıştır. Bu araştırmalar sonucunda temel – zemin etkileşimini temsil eden modeller oluşmuştur.

Miranda ve Nahir (1946), elastik zemine oturan kirişlerin diferansiyel elastik eğri denklemini matematikteki özel fonksiyonlarla çözümlmeye çalışmışlardır.

Henwood vd. (1981), Winkler tipi zemine oturan plakların hesabını sonlu farklar yöntemiyle çözmüştür. Bu sonuçları sonlu eleman yöntemi ile yapılan çözümlerle kıyaslamıştır.

Engesse (1983), Kiriş genişliği ile zemin yatak katsayısı arasında ters orantı olduğunu belirtmiştir.

Dumir ve Bhaskar (1988), Winkler ve Pasternak zeminine oturan temellerin non-lineer hesabını yapmışlardır.

Vallabhan ve Das (1988), ardışık yaklaşım ile bulunan zemin çökmesinin çökmeye dik doğrultudaki dağılımının hesabını açıklamışlardır.

Dillard (1989), tekil yük ve moment etkisi altındaki plağın eğilme hesaplarını yapmıştır. Sayısal örnekler altıncı dereceden diferansiyel bir denklem vasıtasıyla çözümlenmiştir.

Qin (1994), plak elamandaki şekil değiştirme değerlerini farklı zemin modelleri kullanarak kıyaslamış, parametrik bir çalışma yapmıştır.

Vallabhan ve Daloğlu (1999), Vlasov tipi zeminin sayısal incelemesini yaparak örnekler çözmüşler, geliştirdikleri sonlu eleman rijitlik matrisinin plak eğilme rijitliğine, zemin çökmesine ve kayma şekil değiştirmesine bağlı olduklarını ortaya koymuşlardır.

Teo ve Livew (2002), Pasternak tipi zeminin parametrelerini belirleyen çalışmalar yapmışlardır.

Celep ve Demir (2007), çekme almayan Winkler zemininde, zemine temas eden ve teması kesilen bölgeler için geliştirdikleri denge denklemlerini parametrik çalışmalarında kullanmışlardır. Farklı, kiriş uzunluğu, kayma modülü, yatak

katsayısı, dış yük gibi parametreler altında temel kirişinin kesit zorları, yerdeğiştirmeleri ve ayrılan bölge uzunlukları verilmiştir.

Kien (2008), sonlu elemanlar yöntemi kullanarak iki parametrelili elastik zemine outran öngerilmeli Timoschenko kirişinin dinamik davranışını araştırmıştır.

Ma vd. (2008), pasternak zeminine oturan kirişlerde çekme alan ve almayan bölgelerin denge denklemlerini transfer displacement function method (TDFM) ile açıklamışlardır. Bu metod sayesinde çekme almayan bölgenin tesbitini ardışık yaklaşıma ihtiyaç duymadan yapabilmışlerdir ve sayısal örnekler çözmüşlerdir.

Pratik olarak elastik zemine outran temel hesaplarında zeminin hem çekme hem basınç kuvvetlerine karşı koydukları kabulü ışığında Winkler modelinin daha da geliştirilmesini amaçlayan iki parametrelili zemine oturan temellerle ilgili diğeri çalışmaların belli başlıları Zhaova ve Cook (1983), Nath ve Jain (1983), Eisenberger ve Clastornik (1987), Valsangkar ve Pradhang (1987), Rosa ve Maurizi (1998), De Rosa (1988), Engin (1992), Razaqpur ve Shah (1991), Yokoyama (1991), Morfidis ve Avrimidis (2002), Hoibe ve Asano (2001) sayılabilir.

Çekme almayan elastik zemine oturan kirişlerle ilgili Tsai ve Westman (1967), Wietsman (1970), Choros ve Adams (1979), Lin ve Adams (1987), Kerr ve Coffin (1991), Celep ve Demir (2005), Coşkun (2003), Zhang ve Murphy (2004) tarafından çalışmalar yapılmıştır.

1.3 Zemin Modelleri

1.3.1 Winkler zemin modeli

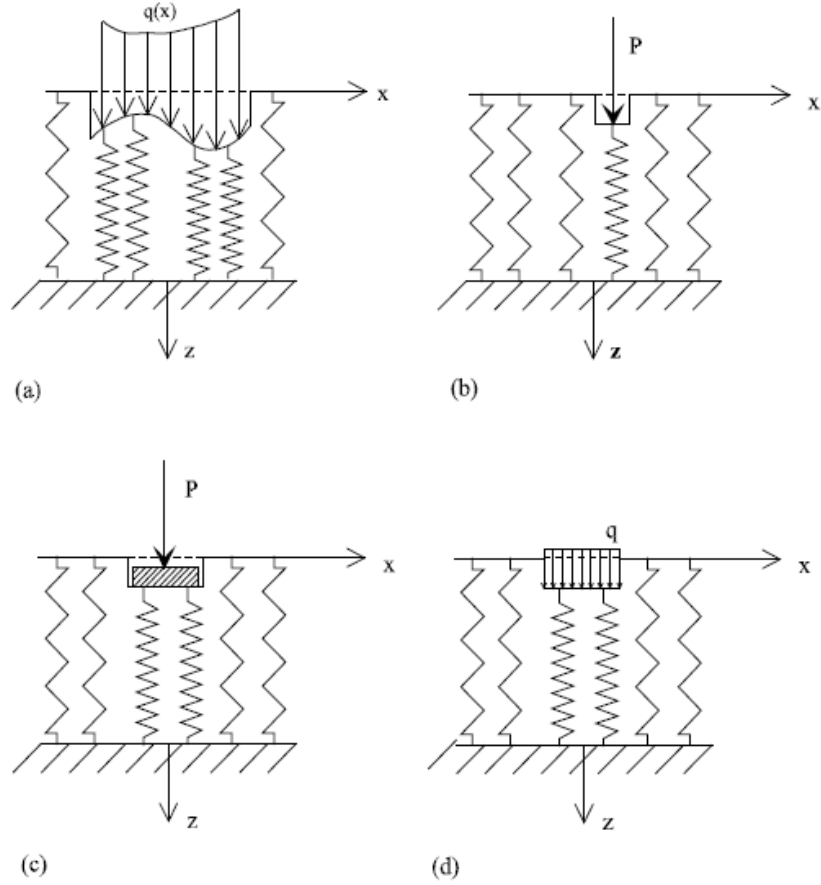
Genel olarak zemin modelleri, elastik bir zemin üzerine outran kirişlerin çökmeleri ile zeminin tepki kuvvetlerinin orantılı olduğu varsayımı ile geliştirilmiştir. Temelin düşey şekil değıştirme özellikleri, özdeş, bağımsız, lineer elastik yaylar vasıtasıyla tanımlanmaktadır. Bu yayların düşey rijitliğı k, yatak katsayısı olarak bilinir.

$$q(x,y) = kw(x,y) \quad (1.1)$$

Zeminin bu basit ve nispeten ilkel mekanik gösterimi ilk olarak Winkler (1867) tarafından tanımlanmıştır.

Başta demiryolu raylarının analizi için geliştirilen Winkler modeli çok basit olmasına karşı pratikte karşılaşılan birçok zemin yapısının özelliklerini doğı şekilde temsil

etmemektedir. Winkler modelinin en önemli eksikliği, temel yüzeyinin yüklü olan ve olmayan kısımları arasında yer değiştirme süreksizliğinin görülmesidir (Şekil 1.3). Ancak zemin yüzeyi herhangi bir süreksizlik göstermez.



Şekil 1.3 : Winkler zemin modeli: a – yayılı yük; b – tekil yük; c – rijit cisme etkileyen tekil yük; d – üniform yayılı yük.

Winkler modeli ile ilgili ilk deneysel çalışma Hertz (1884) tarafından yapılmıştır. Tekil yüklü, sonsuz uzunluklu temelin çökmeleri gözlenmiştir. Elde edilen çökmelerin formülasyon ile uyumluluğu kontrol edilmiştir. Tekil yük kaldırıldıktan sonra da zeminin çökmesinin tamamen ortadan kalkmadığı görülmüştür. Winkler modeli ile ilgili daha ayrıntılı çalışmalar ise Zimmermann (1888), Schlechter (1926) ve Hetenyi (1946) tarafından yapılmıştır.

1.3.2 Boussinesq zemin modeli

1885 yılında yayınlanan zemin mekaniği kitabında yerçekimi doğrultusunda tekil yük etkisi altındaki zeminin tepkisi için bir çözüm önerilmiştir. Her ne kadar bu model tam bir zemin modeli olarak görülme de zemin yapı etkilişimini tanımlayan bir çalışma olması ve daha sonra gelen çalışmalar için referans niteliğinden dolayı

dikkate değerdir. Zemin, homojen ve lineer-elastik bir malzeme olarak modellenmiştir. Kayma gerilmeleri düşey yer değiştirmeleri etkilemektedir. Bu yönüyle Winkler zemin modelinden daha gerçekçi olan Boussinesq modeli, matematiksel ifadesinin karmaşıklığı sebebiyle uygulanabilir değildir.

1.3.3 Filonenko - Borodich zemin modeli

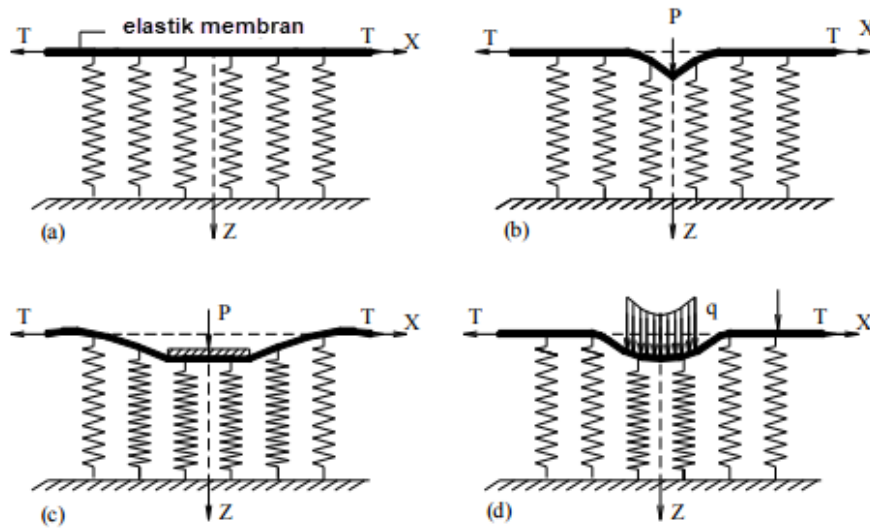
Filonenko ve Borodich tarafından 1940'da önerilen modelde Winkler modelindeki bağımsız yaylar arasındaki süreklilik ince bir elastik membran eleman vasıtasıyla sağlanmıştır. Temel dışardan yük aldığı anda elastik zarda çekme gerilmeleri meydana gelir. Üç boyutlu ortamda temel orta noktasındaki q yükü altındaki yer değiştirmenin matematiksel ifadesi:

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

şeklinde gösterilmiştir. Burada $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ Kartezyen koordinat sisteminde Laplace operatörüdür. Şerit temeller için basitleştirilmiş durumda denklem aşağıdaki hali alır:

$$q(x) = kw - T \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad (1.3)$$

Yukardaki ifadede; k yatak katsayısı, T ise membranda oluşan sabit çekme kuvvetidir. Bu modelin yer değiştirme modlarının tipik örnekleri Şekil 1.4'te gösterilmiştir.



Şekil 1.4 : Filonenko – Borodich zemin modeli: a- Basit model; b – Tekil yük; c – Rijit yük; d – Yayılı yük.

1.3.4 Hetenyi zemin modeli

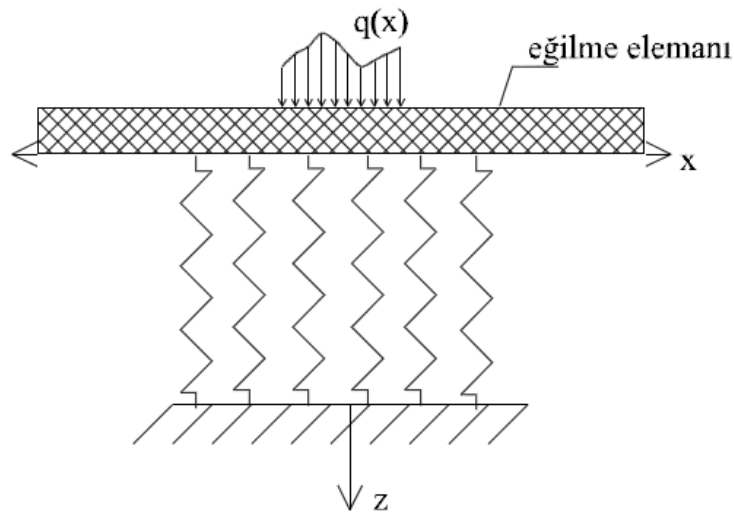
Bağımsız yay elemanları arasındaki etkileşim, üç boyutlu problemlerde bir elastik plak ile, iki boyutlu problemlerde ise bir elastik çubuk ile gerçekleştirilir. Zemin tepkisi ve dış yük denge deklemleri aşağıdaki gibidir:

$$q(x,y) = kw(x,y) - D\nabla^4 w(x,y) \quad (1.4)$$

Burada D , $[Eh^3/12(1-\nu^2)]$, elastik plağın eğilme rijitliğidir. İki boyutlu problemlerde ise denklem aşağıdaki hali alır:

$$q(x) = k w(x) - D \frac{\partial^4 w(x)}{\partial x^4} \quad (1.5)$$

Hetenyi zemin modelinin ana çizgilerini gösteren şema Şekil 1.5'te gösterilmiştir.



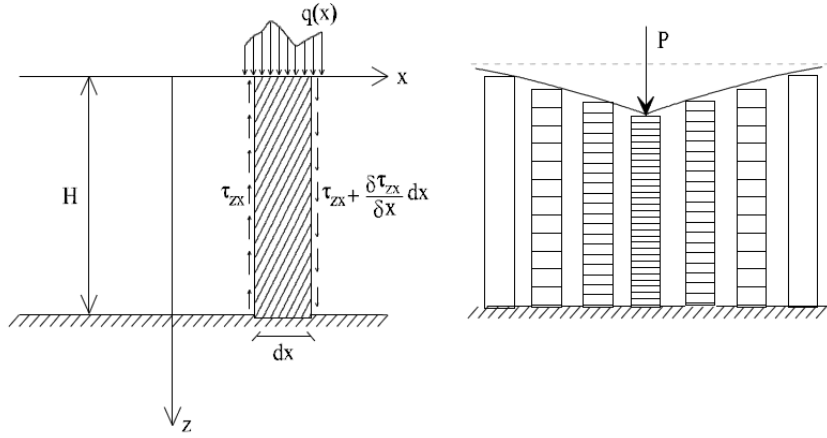
Şekil 1.5 : Hetenyi zemin modeli.

1.3.5 Vlasov zemin modeli

Vlasov tarafından önerilen zemin tepkisinde, temel altındaki zemin tabakasının derinliğine bağlı olarak teşkil edilen zemin koloncuklarının eksenel rijitlikleri ile orantılanmıştır. Zemin koloncukları arasındaki süreklilik, birbirlerine temas eden yüzlerden aktarılan kayma gerilmeleri vasıtasıyla sağlanmaktadır. Ortam sürekliliği Şekil 1.6’da açıklanmıştır.

Zemin tepkisi ile çökme ilişkisi aşağıdaki gibidir:

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



Şekil 1.6 : Vlasov zemin modeli.

1.3.6 Reissner zemin modeli

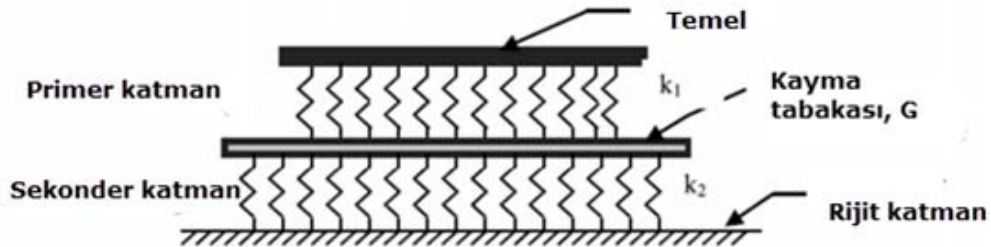
Reissner'in modeli, lineer elastik, izotropik malzeme için geliştirilen denklemleri basitleştiren yerdeğiştirme ve gerilme kabullerinden türetilmiştir. Zemin modeli için tepki fonksiyonu,

$$C_1 w - C_2 \nabla^2 w = q - \frac{C_2}{4C_1} \nabla^2 q \quad (1.7)$$

olarak verilmiştir. Burada H zemin tabakasının kalınlığını, w düşey yer değiştirmesi, q dış yükü temsil etmektedir. C1 ve C2 karakteristikleri zemin tabakası kalınlığına ve zeminin elastisite modülüne bağlıdır. $C_1 = E/H$ ve $C_2 = GH/3$ 'tür.

1.3.7 Kerr zemin modeli

Alt ve üstünde birbirinden farklı Winkler düşey yayları bulunan bir kayma tabakası teşkil edilmiştir. Şekil 1.7'de Kerr zemin modelinin fiziksel gösterimi verilmiştir.



Şekil 1.7 : Kerr zemin modeli.

Kerr zemin modeli denge denklemi aşağıdaki gibidir:

$$(1 + \frac{k_1}{k_2})q = \frac{G}{k_1} \nabla^2 p + k_2 w - G \nabla^2 w \quad (1.8)$$

Kerr (1964) yaptığı çalışmada daha önce yapılmış bir çok zemin modelini değiştirerek yeni bir metod ortaya koymuştur. Yaptığı hesaplarda pratik olarak üst tabaka düşey yay katsayısı k_1 'in, alt tabaka düşey yay katsayısı k_2 'nin üç katı olduğunu görmüştür.

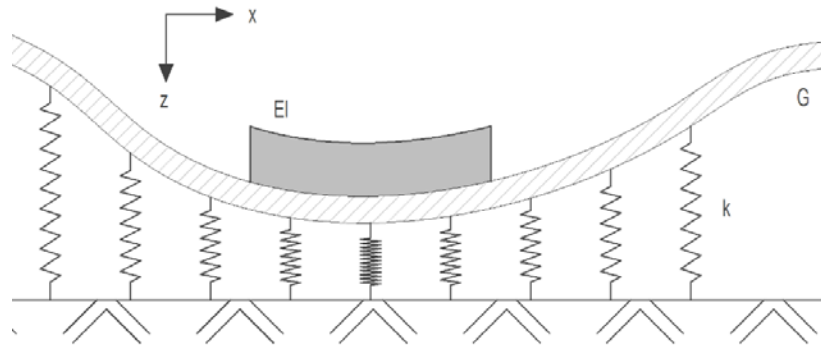
1.3.8 Pasternak zemin modeli

Pasternak tarafından önerilen model yay elemanları arasındaki kayma etkileşimini göz önünde bulundurmaktadır. Bu durum, yay elemanların, yaylara dik doğrultuda sıkışmaz kayma tabakasına bağlanmalarıyla sağlanır. Bu katman sadece kayma gerilmeleri etkisi altında deforme olur. Pasternak zemininin dış yük altındaki tepkisi:

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

şeklinde verilmiştir. Burada, k yatak katsayısı ve G kayma modülüdür. Kayma tabakasının eksenine dik doğrultuda izotropik olmasından dolayı kayma modülleri tüm yönler için eşittir.

Bu tez çalışmasında çekme almayan Pasternak zemin modeli kullanılacaktır. Bu modelin matematiksel ifadeleri ilerleyen bölümlerde verilecektir. Pasternak zemin modelinin tipik yerdeğiştirme grafiği şekil 1.8'de gösterilmiştir.



Şekil 1.8 : Pasternak zemin modeli.

1.4 Pasternak Tipi Zeminin Matematiksel İfadesi

Pasternak zemininde, iki parametrelili zemin denge koşulu denklem 1.9'daki yük – yerdeğiştirme ilişkisine dayanmaktadır. Bu formülasyonu iki boyutlu halde yazdığımızda:

$$q(x) = kw - G \frac{d^2 w}{dx^2} \quad (1.10)$$

şeklini almaktadır. İki parametrelili zeminin her hangi bir noktasında diferansiyel denge denklemi,

$$-(2Ct) \frac{d^2 w}{dx^2} + (C)w = 0 \quad (1.11)$$

gibidir. Burada C iki parametrelili zemin düşey yay katsayısı, Ct ise İki parametrelili zemin kayma katsayısıdır. Düşey yay ve kayma rijitlikleri Vlasov ve Leontiev tarafından 1.13 ve 1.14 denklemlerindeki gibi verilmiştir.

$$C = \frac{E_z}{H(1 + \nu_z)(1 - 2\nu_z)} \quad (1.12)$$

$$Ct = \frac{E_z H}{6(1 + \nu_z)} \quad (1.13)$$

E_z zeminin elastisite modülü, ν_z poisson oranı ve H zemin katmanının yüksekliğidir. Pasternak zeminine benzer bir diğer yaklaşım olan Filonenko – Borodich modelinde ise 2Ct değerinin yerini T sabit çekme kuvveti almaktadır.

Şekil 1.9’da görülen elastik zemine oturan kirişte elementer bir parça ele alındığında $V(x)$ kesme kuvveti, $M(x)$ ise moment olmak üzere kesit tesirleri aşağıdaki hali alır.

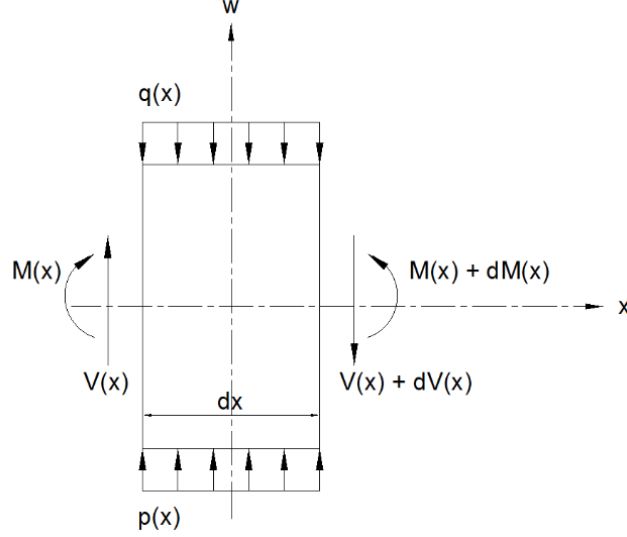
$$\frac{dV(x)}{dx} = q(x) - p(x) \quad (1.14)$$

$$\frac{dM(x)}{dx} = V(x) \quad (1.15)$$

Burada $q(x)$ dış yük ve $p(x)$ ise zemin tepkisidir. Kayma şekildeğiştirmeleri ihmal edilmiştir. Burada diferansiyel denklemlerin çözümü izleyen şekilde yapılacaktır.

Eğilme rijitliği EI olan temel kirişinde moment değeri denklem 1.16’daki gibidir.

$$EI \frac{d^2 w}{dx^2} = M(x) \quad (1.16)$$

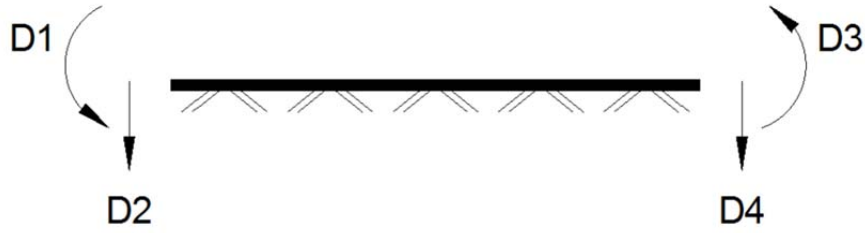


Şekil 1.9 : Elastik zemine oturan elementer parça.

Sistemin bir dx parçasında denge ve şekil değiştirme denklemi,

$$EI \frac{d^4 w}{dx^4} - (2Ct) \frac{d^2 w}{dx^2} + (C)w = q(x) \quad (1.11)$$

halini alır. Şekil 1.10’da iki parametrelili zemine oturan sonlu temel kirişi gösterilmektedir. Burada D1 ve D3 düğüm noktası dönmeleri, D2 ve D4 ise düğüm noktası düşey yerdeğiştirmeleridir.



Şekil 1.10 : İki ucu sonlu kiriş düğüm noktası serbestlikleri.

Dört serbestlik derecesinden oluşturulan yerdeğiştirme matrisi sonlu kirişe ait $[K]$ rijitlik matrisi ile çarpılarak kiriş uç kuvvetleri $\{M1, Q1, M2, Q2\}$ matrisi bulunur. $[K]$ sistem rijitlik matrisi üç ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlar $[k]$, kiriş eğilme rijitliğinden gelen rijitlik matrisi, $[C]$, iki parametrelili zemin düşey yay katsayısından gelen rijitlik matrisi ve $[Ct]$, kayma parametresinden gelen rijitlik matrisidir. Bu üç matrisin terimlerinin aritmetik toplamı $[K]$ sistem rijitlik matrisini verir.

Sistemin diferansiyel denge denklemi genel çözümü bulunarak veya elastik eğrinin şekil değiştirme enerjilerinin eşitliğinden rijitlik matrilerinin terimleri tayin edilmiş olur. Enerji yöntemleri ile bulunan sonuçlar daha pratik olmakla birlikte yaklaşık sonuç vermektedir.

Elastik zemine oturan kirişin eğilme rijitliği ve winkler yaylarına ait uzama enerjilerinin tanımları bilinmektedir. Zemin ikinci parametresi için bir k_1 kayma rijitliği ele alınmış olsun. Kayma rijitliği k_1 ile ilişkili birim şekil değiştirme rijitliği $(k_1/2)(dw/dx^2)$ olarak tanımlanır. Pasternak zemin modelinde kayma rijitliği $G\gamma^2/2$ 'dir. Burada G , kayma modülü, γ , kayma birim şekil değiştirmesidir. Eğilme rijitliği, winkler düşey yayları ve kayma rijitliğinin birlikte göz önüne alındığı enerji eşitliği izleyen denklemde verilmiştir.

$$U = \frac{1}{2} \int_0^L \left[\frac{d^2 w(x)}{dx^2} \right]^T \frac{EI}{2} \left[\frac{d^2 w(x)}{dx^2} \right] dx + \frac{1}{2} \int_0^L [w(x)]^T k [w(x)] dx + \frac{1}{2} \int_0^L \left[\frac{dw(x)}{dx} \right]^T k_1 \left[\frac{dw(x)}{dx} \right] dx \quad (1.12)$$

Yukardaki denklemin sadeleştirilmiş hali;

$$U = \frac{1}{2} \{d\}^T ([k_0^c] + [k_w^c] + [k_T^c]) \{d\} \quad (1.13)$$

olarak çözülmüştür¹. Çizelge 1.1'de rijitlik matrislerinin elemanları verilmiştir.

Verilen denklemlerin çekme ve eğilmenin ortak etkisi altındaki çubukların denge denklemleri ile birebir örtüşükleri görülmektedir. Normal kuvvetin basınç olması halinde ikinci mertebe etkilerine ait çubuk rijitlik matrisi ile çekme olması halindeki eleman rijitlik matrisleri eşit ve ters işaretlidirler. Bunun sebebi trigonometrik ve hiperbolik fonksiyonların seri açılımlarının aynı olmasıdır. Görüldüğü gibi ikinci mertebe etkilerinin çekme olması durumu ile zemine ait ikinci parametre rijitlik matrisleri sabit katsayı farkı ile birbirine eşittir (Çizelge 1.2). Bu sebeple

¹ Saygun ve Trupia'nın eserindeki notasyonlara göre k_0 , k_w ve k_T değerleri sırasıyla k , C ve C_t olarak verilmiştir. Bu tez kapsamında yazar da bu notasyonları kullandı.

SAP2000’de çubuk üzerine normal kuvvet atanması yerine pozitif değerli 2Ct verilmesi zemin eleman için yeterlidir.

Çizelge 1.1 : İki parametrelili zemine oturan kiriş rijitlik matrisleri.

$$[k] = E I \begin{bmatrix} 4/l & -6/l^2 & 2/l & 6/l^2 \\ & 12/l^3 & -6/l^2 & -12/l^3 \\ \text{simetrik} & & 4/l & 6/l^2 \\ & & & 12/l^3 \end{bmatrix}$$

$$[C] = C \begin{bmatrix} l^3/105 & -11l^2/210 & l^3/140 & -13l^2/420 \\ & 13l/35 & 13l^2/420 & 9l/70 \\ \text{simetrik} & & l^3/105 & 11l^2/210 \\ & & & 13l/35 \end{bmatrix}$$

$$[Ct] = 2Ct \begin{bmatrix} 2l/15 & -1/10 & -l/30 & 1/10 \\ & 6/5l & -1/10 & -6/5l \\ \text{simetrik} & & 2l/15 & 1/10 \\ & & & 6/5l \end{bmatrix}$$

Çizelge 1.2 : İkinci mertebe çekme kuvvetinden doğan çubuk rijitlik matrisi.

$$[k]^{II} = N \begin{bmatrix} 2l/15 & -1/10 & -l/30 & 1/10 \\ & 6/5l & -1/10 & -6/5l \\ \text{simetrik} & & 2l/15 & 1/10 \\ & & & 6/5l \end{bmatrix}$$



2. HESAP MODELİNİN OLUŞTURULMASI

2.1 Giriş

Bu tez çalışmasında; iki parametrelili, çekme almayan zemine oturan kirişler, sonlu eleman yöntemi kullanılarak modellenmiş ve literatürde verilmiş örnekler sonlu eleman yöntemi ile çözülerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Temel kirişleri çubuk eleman olarak göz önüne alınmıştır. Verilen dış yükler altında, sistemdeki şekildeğiştirmeler ve iç kuvvetler hesap edilmiştir. Yapısal sistem bir çubuklar gurubundan oluşmuş, bu çubuklar birbirine sonlu uzaklıktaki düğüm noktaları ile bağlanmıştır. Düğüm noktaları yerdeğiştirmelerinden yola çıkılarak sistemdeki her bir çubuğa ait uç kuvvetleri elde edilmiştir. Çubuk elemanların analiz öncesi ve sonrasında elastik şekildeğiştirme yaptıkları kabul edilmiştir. Bu şekildeğiştirme sonucunda kesitte denge, bünve ve geometrik süreklilik koşulları sağlanmalıdır. Hesap modeli hazır yapı analiz yazılımı CSI SAP2000 v.14 programında oluşturulmuştur.

2.2 SAP2000 Sonlu Eleman Yazılımında İki Parametrelili Zemin Modeli

SAP2000 hesap modelinde uygun parametrelerin tanımlanması halinde, kiriş eğilme rijitliği, iki parametrelili zemin düşey yay katsayısı ve ikinci parametre kayma katsayısından gelen tesirler süperpoze edilerek sonuç şekildeğiştirme ve iç kuvvetler hesaplanabilmektedir. Programın arayüzü oldukça basit ve kullanıcı dostudur. Programın define menüsünden malzeme ve kesit özellikleri girilmekte, assign menüsünden ise dış yük, yay, mafsall atamaları ve eleman özellikleri ile ilgili düzenlemeler yapılmaktadır.

Kiriş eğilme rijitliği, malzeme bölümünde girilen elastisite modülü ve kesit tanımında belirtilen geometrik enkesit ile tanımlanır. Düşey yaylar ise her bir çubuğa ayrı ayrı atanmaktadır. Program içinde çubuklara atanmış olan yaylar çubuğun i ve j ucundaki noktalara taşınarak noktasal yaylara dönüştürülmektedir. Temel kirişinin

yeterli sayıda çubuk parçasına bölünmesi durumunda elastik zemin Winkler zemini olarak idealleştirilmiş olur.

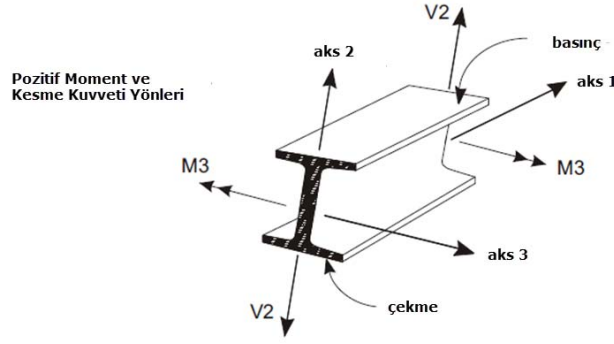
Şekil 1.1.b’de görüldüğü gibi, yapı temelinin kenar noktalarında zeminin dönmeleri oldukça önemlidir. İki parametrelili zemin modelinde bu davranış idealleştirilmektedir. Temel ve zemin ilişkisinin temin edilebilmesi için SAP2000 analiz modelinde zemin elemanları tanımlanmaktadır. Zemin elemanları yapı temeli ile ilişkiyi sağlayacak ve temelden gelen etkileri sönümleyebilecek yeterli uzunlukta olmalıdır. Zemin ve temel kirişleri yeterli sayıda parçalara bölünecektir.

Şekil 2.1’de gösterilen modelleme prensibine göre, düşey yay ve ikinci parametre kayma katsayıları tüm elemanlara atanacak ancak yalnızca temel kirişi eğilme rijitliğine sahip olacak şekilde sürekli bir çubuk sistemi oluşturulacaktır. Zemin elemanları temsil eden çubuklara assign > property modifiers menüsünden eğilme rijitliği hanesine sıfıra yakın küçük bir değer girilecektir. Ayrıca zemin elemanlarda aksenal rijitlik çok büyük bir sayı girilerek düzlem içi şekil değiştirmeler engellenecektir. Tüm elemanlarda kayma şekil değiştirmeleri ihmal edilerek ve müdahil edilerek iki çözüm yapılacaktır.



Şekil 2.1 : Hesap Modeli.

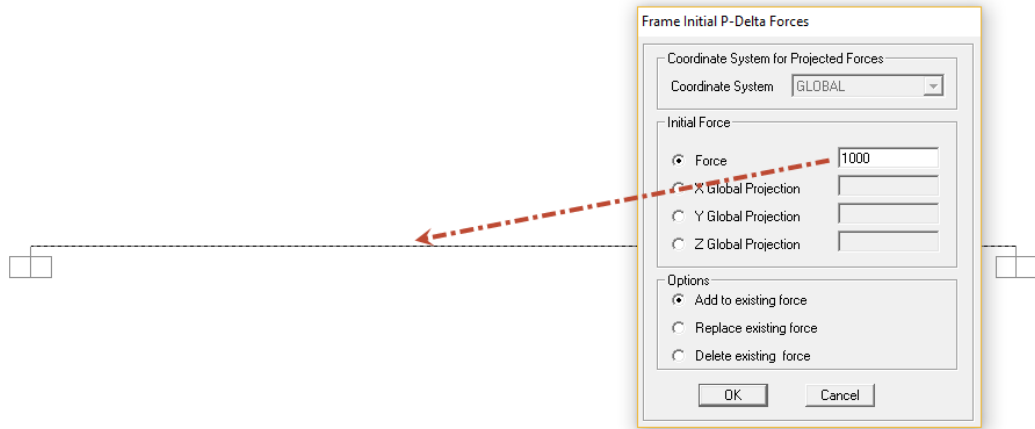
SAP2000’de iki parametrelili zemin, tüm elemanlara p-delta force ataması yapılarak modellenir. Zemin düşey yayları arasındaki ilişkiyi temsil eden kayma parametresi 2Ct değeri, çubuklara girilen bu çekme kuvveti ile modellenmiş olur. İkinci mertebe çekme kuvvetinin zemin kayma parametresi ile olan ilişkisi bölüm 1.4’te açıklanmıştır. Yay katsayıları tension and compression olarak atanır. Sistem nonlineer statik yöntemle çözülür. Şekil 2.2’de SAP2000 çubuk elemanların göz önüne alınan pozitif yön kabulü verilmiştir. Bu çalışma kapsamında kullanılan yerdeğiştirme matrisinin pozitif yönleri şekil 1.10’da verilmiştir. Burada önemli olan husus, SAP2000 ve dışardan yapılan hesaplardaki pozitif yönlerin ters işaretli oluşudur. Bu sebeple SAP2000’den alınan yer değiştirmelerin işaretleri değiştirilerek hesap edilecektir.



Şekil 2.2 : SAP2000 pozitif yön kabulleri.

2.3 Kayma Parametresinin Sayısal İncelemesi

Bu örnek, çizelge 1.1’de verilen ikinci parametre eleman rijitlik matrisinin SAP2000 ile doğrulanması amacıyla yapılmıştır. Gerçekleştirilen sayısal örnekte, 2 metre uzunluğundaki ortasından 1 kN tekil yük yüklenmiş kirişin, kayma parametresi $2C_t = 1000$ kN etkisindeki şekil değiştirmesi incelenmiştir. Kiriş SAP2000 modelinde ikiye bölünmüş ve iki ucuna ankastre mesnet tanımlanmıştır. Eğilme rijitliğinin etkisinin ihmal edildiği çözümde, hesap modelindeki orta nokta yerdeğiştirmesi ile dışardan yapılan çözümdeki sonuçlar karşılaştırılmıştır. SAP2000 modelinde problemin tanımlanması şekil 2.3’te gösterilmiştir.



Şekil 2.3 : Hesap modelinde ikinci parametre kayma katsayısının tanımı.

Kiriş kayma parametresine bağlı rijitlik matrisi ve ikiye bölünmüş çubuğun sistem rijitlik matrisi çizelge 2.1 ve çizelge 2.2 de gösterilmiştir. SAP2000 hesap modelinden analiz sonucunda ölçülen yerdeğiştirme şekil 2.4’te görülmektedir.

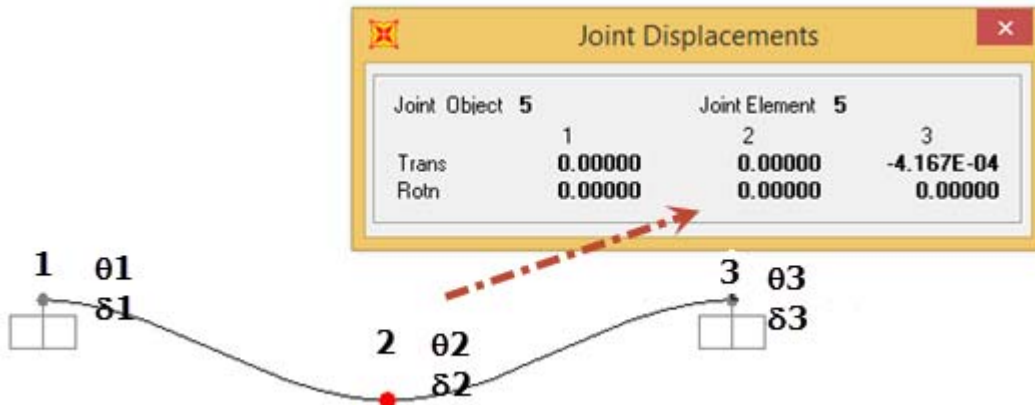
Çizelge 2.1 : 1 metre uzunluğundaki kirişin $2Ct = 1000$ kN için rijitlik matrisi.

133	-100	-33	100
-100	1200	-100	-1200
-33	-100	133	100
100	-1200	100	1200

Çizelge 2.2 : 2 metre uzunluğundaki kirişin $2Ct = 1000$ kN için sistem rijitlik matrisi.

1000000	-100	-33	100	0	0
-100	1000000	-100	-1200	0	0
-33	-100	267	0	-33	100
100	-1200	0	2400	-100	-1200
0	0	-33	-100	1000000	100
0	0	100	-1200	100	1000000

Sistemin solundaki ve sağındaki mesnet şartları göz önüne alınarak rijitlik matrisinin k_{11} , k_{22} , k_{55} ve k_{66} terimleri büyük sayı girilmiştir. Bu bilgilerden yola çıkılarak, sistem fleksibilite matrisi ve yük matrisi çarpılmış; yer değiştirme matrisi bulunmuştur. Matris çarpım işlemi çizelge 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4 : Yalnızca kayma parametresi atanmış kiriş yerdeğiştirme grafiği.

$$[f] \times [P] = d \quad (2.1)$$

Denklem 2.1’ de görülen işlem sonucunda elde edilen düğüm noktası yerdeğıştirmeleri çizelge 2.4’te verilmiştir.

Çizelge 2.3 : 2 metre uzunluğundaki kiriş fleksibilite ve yük matrisi.

1E-06	6.25E-11	1.25E-07	-4.2E-08	7.81E-15	-6.3E-11	0
6E-11	1E-06	3.75E-07	5.01E-07	6.25E-11	5.63E-10	0
1E-07	3.75E-07	0.00375	0	1.25E-07	-3.8E-07	0
-4E-08	5.01E-07	-2.3E-23	0.000417	4.17E-08	5.01E-07	1
8E-15	6.25E-11	1.25E-07	4.17E-08	1E-06	-6.3E-11	0
-6E-11	5.63E-10	-3.8E-07	5.01E-07	-6.3E-11	1E-06	0

x

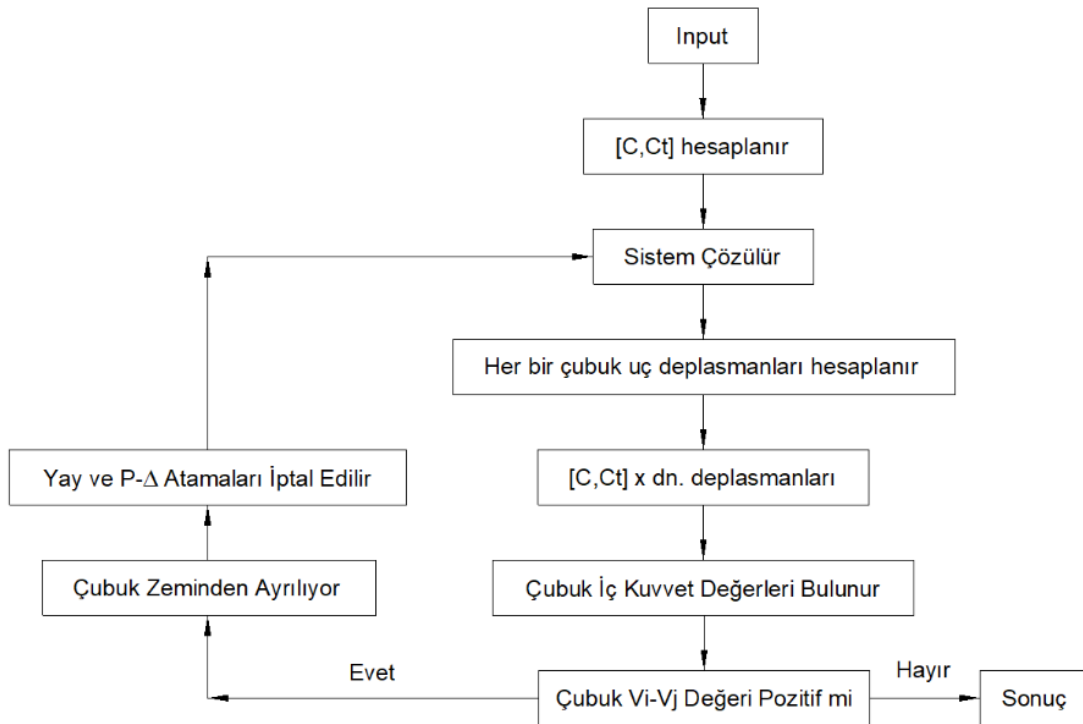
Çizelge 2.4 : 1 kN tekil yük altındaki kirişin düğüm noktası yerdeğıştirmeleri.

0.00000	θ1
0.00000	δ1
0.00000	θ2
0.000417	δ2
0.00000	θ3
0.00000	δ3

Yukardaki işlemlerde görüldüğü gibi, orta nokta yerdeğıştirmesi hem SAP2000 analizi sonucunda hem de dışardan yapılan hesaplarda aynı bulunmuştur. SAP2000 de kayma parametresinin ikinci mertebe çekme kuvveti olarak tanımlanması uygundur.

2.4 Program Çıktılarının Yorumlanması

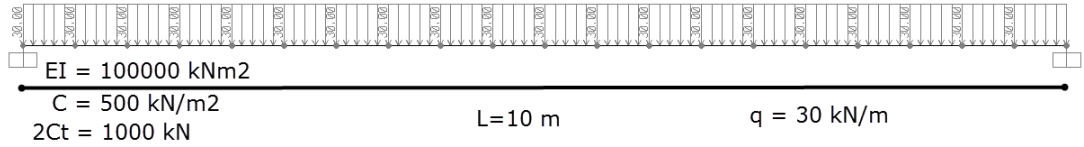
Sonlu eleman modelinden alınan analiz çıktıları, kirişin eğilme rijitliği, düşey yay katsayısı ve ikinci parametre kayma katsayısının ortaklaşa gösterdikleri dirence ait tepki kuvvetleri ve deformasyonlarıdır. Bu çalışma kapsamında analiz çıktılarından alınan yer değiştirme değerleri eleman eğilme, düşey yay ve kayma parametresi rijitlik matrisleri ile çarpılarak her bir parametreden gelen iç kuvvet değerleri ayrı ayrı yorumlanacaktır. Düşey yay ve kayma parametrelerinden doğan kesme kuvveti değerlerinin pozitif çıkması, söz konusu düğüm noktalarının zemin ile temasının kesildikleri anlamını taşımaktadırlar. Böyle bir durumun tesbiti halinde analiz modelinde başa dönülecek ve teması kesilen düğüm noktalarına kiriş elemanların yay ve p-delta force atamaları silinerek sistem tekrar çözdürülecektir. Bu ardışık yaklaşım sistemdeki zeminle teması kesilen tüm düğüm noktalarının tesbit edilip yay atamaları kaldırılincaya kadar tekrarlanacaktır. Ardışık yaklaşım sonucunda iki parametrelili zemine oturan temel kirişi gerçeğe daha yakın olarak hesaplanmış olacaktır. İşlem sonunda ayrılma yüzeyi, iç kuvvet ve sonuç yerdeğiştirme değerleri bulunacaktır. Bu ardışık yaklaşım işlemini anlatan algoritmanın akış diyagramı şekil 2.5'te özetlenmiştir.



Şekil 2.5 : Çözüm algoritmasının akış diyagramı.

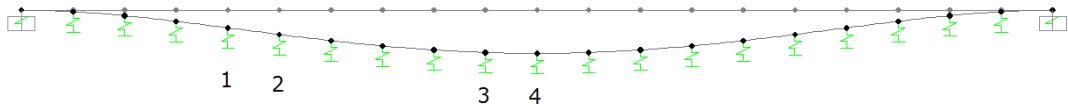
Çözüm yönteminin açıklanması ve daha iyi kavranması için gerçekleştirilen örnekte kiriş açıklığı boyunca yerçekimi doğrultusunda etkililen yayılı yükün oluşturduğu tesirler gösterilecektir.

10 metre açıklıklı kirişin düşey yay katsayısı 500 kN/m^2 , kayma parametresi 1000 kN ve eğilme rijitliği 100000 kNm^2 olarak girilmiştir. 30 kN/m düzgün yayılı yük altındaki kiriş şekil 2.6’da verilmiştir.

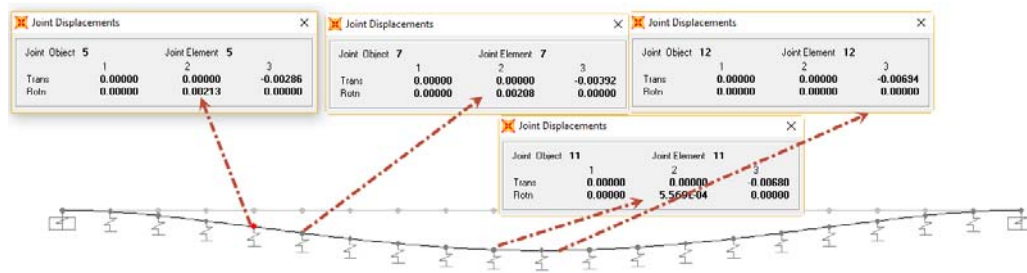


Şekil 2.6 : Düzgün yayılı yüklenmiş iki parametrelili kiriş.

Şekil 2.7’de işaretlenmiş 4 düğüm noktasına ait uç yerdeğiştirme değerleri çizelge 2.5’te verilmiştir. Ayrıca hesap programından alınan veriler şekil 2.8’de görülmektedir. Burda dikkat edilmesi gereken konu, daha önce de belirtildiği gibi SAP2000 ve dışardan yapılan hesaplarda kabul edilen yönlerin ters işaretli oluşudur.



Şekil 2.7 : İki parametrelili kiriş yerdeğiştirme grafiği.



Şekil 2.8 : İki parametrelili kiriş düğüm noktası yerdeğiştirmeleri.

Temel kirişinin kabul edilen EI, C ve $2Ct$ değerlerinden yola çıkılarak hesaplanan $[k]$, $[C]$ ve $[Ct]$ matrisleri çizelge 2.6, 2.7 ve 2.8’de gösterilmiştir. Rijitlik matrisi terimleri ve nasıl oluşturuldukları çizelge 1.1’de belirtilmiştir. Verilen rijitlik matrislerinin tüm terimleri toplandığında sistem rijitlik matrisi hesaplanmaktadır.

Sadece düşey yay ve kayma parametresinden gelen rijitlik matrisi terimleri toplandığında ise zemin rijitlik matrisi hesaplanmış olur.

Çizelge 2.5 : İki parametrelili düzgün yaylı yüklenmiş kiriş SAP2000 analiz sonuçları.

Düğüm Noktası	Düşey Yerdeğiştirme (m)	Dönme (1/m)	Kesme Kuvveti (kN)	Moment (kNm)
1	0.00286	-0.0021300	82.19	-7.28
2	0.00392	-0.0020800	67.19	28.99
3	0.00680	-0.0005569	12.43	106.53
4	0.00694	0.00000000	0	109.71

Çizelge 2.6 : Düzgün yaylı yüklenmiş kiriş eğilme rijitliğinden gelen rijitlik matrisi.

$$[k] = 100000 \begin{bmatrix} 8 & -24 & 4 & 24 \\ & 96 & -24 & -96 \\ \text{simetrik} & & 8 & 24 \\ & & & 96 \end{bmatrix}$$

Çizelge 2.7 : Düzgün yaylı yüklenmiş kiriş düşey yaylardan gelen rijitlik matrisi.

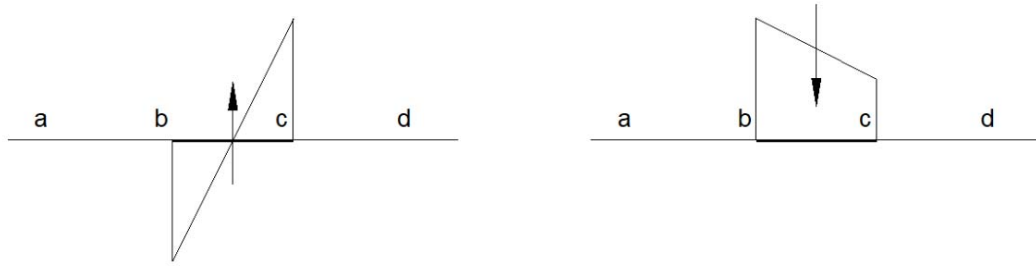
$$[C] = 500 \begin{bmatrix} 0.0012 & -0.0131 & -0.0009 & -0.0077 \\ & 0.1857 & 0.0077 & 0.0643 \\ \text{simetrik} & & 0.0012 & 0.0131 \\ & & & 0.1857 \end{bmatrix}$$

Çizelge 2.8 : Düzgün yaylı yüklenmiş kiriş kayma parametresinden gelen rijitlik matrisi.

$$[C_t] = 1000 \begin{bmatrix} 0.066667 & -0.1 & -0.01667 & 0.1 \\ & 2.4 & -0.1 & -2.4 \\ \text{simetrik} & & 0.066667 & 0.1 \\ & & & 2.4 \end{bmatrix}$$

Uç yerdeğiştirmelerinin sistem rijitlik matrisleri ile çarpılarak dışardan hesaplanan uç kuvveti değerleri çizelge 2.9’da verilmiştir. Çizelge 2.10’da sadece zemin düşey yayları ve kayma parametresinin rijitlik matrisleri ile uç yerdeğiştirmeleri çarpılmış

ve sonuçlar gösterilmiştir. Burada bizi ilgilendiren sadece zemin parametrelerinin doğurduğu kesit tesirlerinin pozitif yönlü bir kesme kuvveti oluşturup oluşturmadığıdır. Ancak kesit küçük uzunluklu bir çok parçaya bölündüğünden kesitin i ve j ucunda okunan kesme kuvvetleri farklarının pozitif olması kesitte pozitif kesmenin oluştuğunu gösterir. Şekil 2.9'da bahsi geçen konu şema olarak gösterilmiştir. Buna göre şekil 2.9a'da abcd çubuğunun b ve c düğüm noktaları arasında $V_b - V_c$ değeri negatiftir. Bu durumda zeminden ayrılma yoktur. Ancak şekil 2.9b'de ise $V_b - V_c$ değeri pozitif olduğundan kiriş kesitinin b-c düğüm noktaları arasında zeminle temasının kesildiği anlaşılmaktadır.



Şekil 2.9 : Zemin tepkisi ve pozitif yönlü kesme kuvvetleri.

Çizelge 2.10'da $V_i - V_j$ değeri -0.84 kN'dur, beklenildiği gibi zeminden temasın kesilmesi durumu söz konusu değildir. Aynı işlemler 3-4 çubuğu için de yapılmış ve hesap sonuçları çizelge 2.11 ve 2.12'de gösterilmiştir. Şekil 2.10'da 1-2 ve 3-4 çubuklarında sadece zeminden gelen kesit zorları görsel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 2.9 : İki parametrelili düzgün yayılı yüklenmiş temel kirişi 1-2 çubuğu toplam kesit zorları.

Sistem Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)							
800067.3	-2400107	399982.89	2400096	θ_i	-0.00213	M_i	-8.59
-2400107	9602493	-2400096	-9602368	δ_i	0.00286	V_i	81.23
399982.9	-2400096	800067.26	2400107	θ_j	-0.00208	M_j	27.41
2400096	-9602368	2400106.5	9602493	δ_j	0.00392	V_j	67.07

Çizelge 2.10 : İki parametrelili düzgün yayılı yüklenmiş temel kirişi 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
67.2619	-106.548	-17.1131	96.13095	x	θ_i	-0.00213	M_i	0.04
-106.548	2492.857	-96.13095	-2367.86		δ_i	0.00286	V_i	1.73
-17.1131	-96.131	67.261905	106.5476		θ_j	-0.00208	M_j	0.04
96.13095	-2367.86	106.54762	2492.857		δ_j	0.00392	V_j	2.57

Çizelge 2.11 : İki parametrelili düzgün yayılı yüklenmiş temel kirişi 3-4 çubuğu toplam kesit zorları.

Sistem Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)			
800067.3	-2400107	399982.89	2400096
-2400107	9602493	-2400096	-9602368
399982.9	-2400096	800067.26	2400107
2400096	-9602368	2400106.5	9602493

θ_i	-0.0005569
δ_i	0.0068
θ_j	0
δ_j	0.00694

M_i	108.99
V_i	14.36
M_j	112.71
V_j	1.09

x

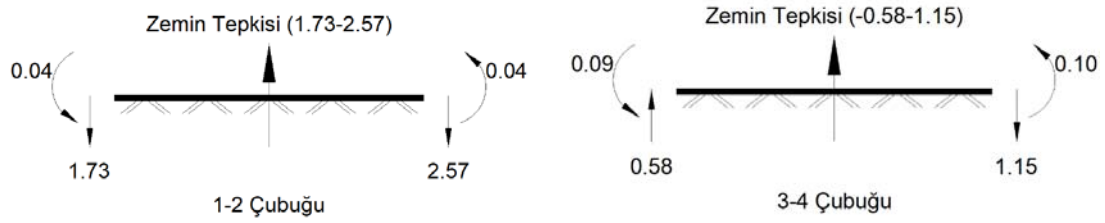
=

Çizelge 2.12 : İki parametrelili düzgün yayılı yüklenmiş temel kirişi 3-4 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

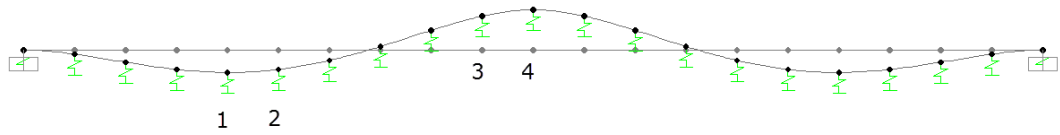
Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
67.2619	-106.548	-17.1131	96.13095	x	θ_i	-0.0005569	M_i	0.09
-106.548	2492.857	-96.13095	-2367.86		δ_i	0.0068	V_i	-0.58
-17.1131	-96.131	67.261905	106.5476		θ_j	0	M_j	0.10
96.13095	-2367.86	106.54762	2492.857		δ_j	0.00694	V_j	1.15

Söz konusu örnekte kiriş açıklık ortasına yer çekime zıt yönde 160 kN tekil yük uygulanmıştır. Şekil 2.11’de yüklü sistemin deforme olmuş hali görülmektedir.

Şekilden de anlaşılacağı üzere 3-4 çubuğunda ayrılma beklenmektedir. Bu analize ait hesaplar çizelge 2.13 – 2.17’de verilmiştir.



Şekil 2.10 : Düzgün yayılı yüklenmiş temel kirişi 1-2 ve 3-4 çubukları zeminden gelen kesit zorları.



Şekil 2.11 : Ortasından tekil yüklü iki parametrelili zemine oturan kirişin yerdeğiştirme grafiği.

Çizelge 2.13 : İki parametrelili düzgün yayılı ve tekil yüklenmiş kiriş SAP2000 analiz sonuçları.

Düğüm Noktası	Düşey Yerdeğiştirme (m)	Dönme (1/m)	Kesme Kuvveti (kN)	Moment (kNm)
1	0.0002721	-0.000006478	10.15	29.58
2	0.0002371	0.0001479	-4.85	30.94
3	-0.0004175	0.0002771	-64.93	-37.98
4	-0.0004943	0.00000000	-79.93	-74.13

Çizelge 2.14 : Ortasından tekil yüklenmiş temel kirişi 1-2 çubuğu toplam kesit zorları.

Sistem Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
800067.3	-2400107	399982.89	2400096	x	θ_i	-0.000006478	M_i	29.41
-2400107	9602493	-2400096	-9602368		δ_i	0.0002721	V_i	10.81
399982.9	-2400096	800067.26	2400107		θ_j	0.0001479	M_j	31.11
2400096	-9602368	2400106.5	9602493		δ_j	0.0002371	V_j	-4.13

Çizelge 2.15 : Ortasından tekil yüklenmiş temel kirişi 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
67.2619	-106.548	-17.1131	96.13095	x	θ_i	-0.000006478	M_i	0.01
-106.548	2492.857	-96.13095	-2367.86		δ_i	0.0002721	V_i	-0.10
-17.1131	-96.131	67.261905	106.5476		θ_j	0.0001479	M_j	0.01
96.13095	-2367.86	106.54762	2492.857		δ_j	0.0002371	V_j	-0.04

Çizelge 2.15'te görüldüğü gibi V_i - V_j değeri -0.07 kN dur. Beklenildiği gibi çubuk zeminden ayrılmamaktadır. Çizelge 2.16 ve 2.17'de açıklık ortasındaki 3-4 çubuğu için elde edilen sonuçlara bakıldığında sadece zeminden gelen kesme kuvvetleri farkı 0.12 kN çıkmıştır. Çubuk zeminden ayrılmaktadır.

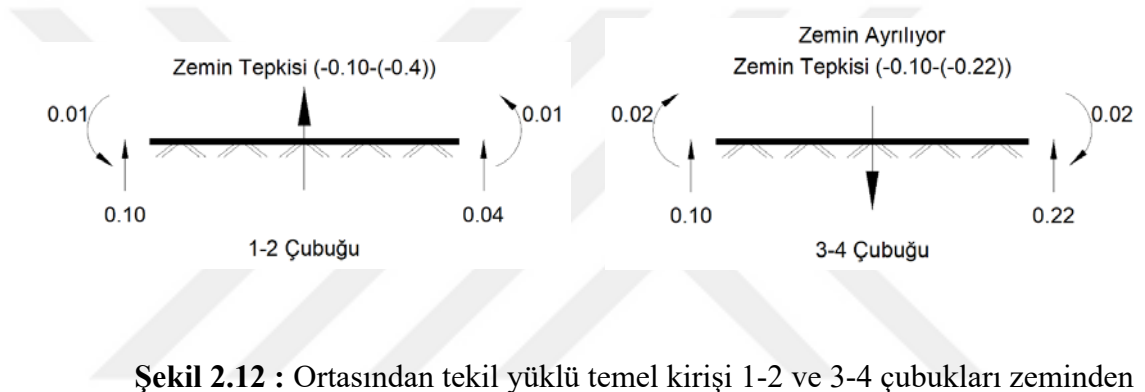
Çizelge 2.16 : Ortasından tekil yüklenmiş temel kirişi 3-4 çubuğu toplam kesit zorları.

Sistem Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
800067.3	-2400107	399982.89	2400096	x	θ_i	0.0002771	M_i	-38.00
-2400107	9602493	-2400096	-9602368		δ_i	-0.0004175	V_i	-64.84
399982.9	-2400096	800067.26	2400107		θ_j	0	M_j	-74.12
2400096	-9602368	2400106.5	9602493		δ_j	-0.0004943	V_j	-79.96

Çizelge 2.17 : Ortasından tekil yüklenmiş temel kirişi 3-4 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)							
67.2619	-106.548	-17.1131	96.13095	θ_i	0.0002771	M_i	-0.02
-106.548	2492.857	-96.13095	-2367.86	δ_i	-0.0004175	V_i	-0.10
-17.1131	-96.131	67.261905	106.5476	θ_j	0	M_j	-0.02
96.13095	-2367.86	106.54762	2492.857	δ_j	-0.0004943	V_j	-0.22

Şekil 2.12’de söz edilen hesap görsel olarak açıklanmıştır.



Şekil 2.12 : Ortasından tekil yüklü temel kirişi 1-2 ve 3-4 çubukları zeminden gelen kesit zorları.

Sistemde ayrılan çubuklara ait yay atamaları silinir ve sistem tekrar çözülür. Çubukların hiçbirinde zemin tepkisinden gelen kesme kuvveti pozitif olmayacak şekilde ardışık yaklaşıma devam edilir.



3. SAYISAL ANALİZLER

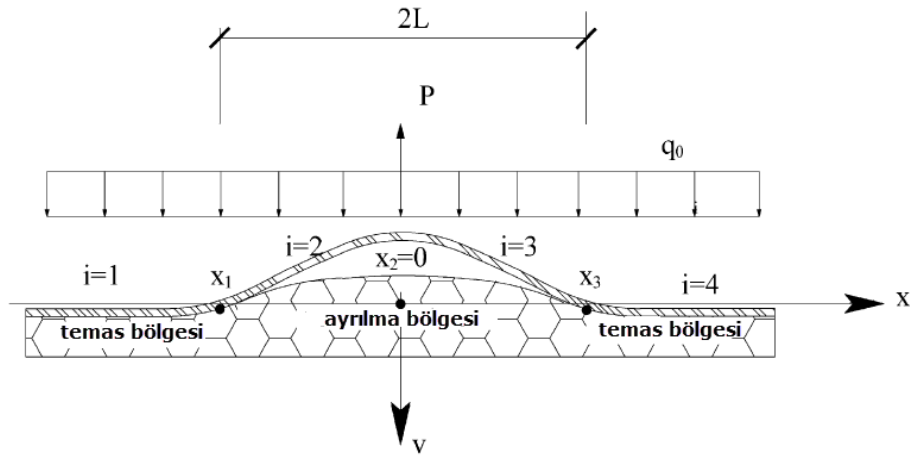
Tez konusu ile ilgili olarak daha önce yazılmış makalelerden beş adet ve bir adet bağımsız olmak üzere toplam altı sayısal örnek çözülecektir. Bu örneklerden üçü Ma, Butterworth ve Clifton tarafından 2009 yılında yayınladıkları makaleden alınmıştır. Diğer iki örnek ise Celep ve Demir'in 2006 tarihli yayınlarından türetilmiştir. Tüm örneklerde ilk aşamada kayma şekil değiştirmeleri ihmal edilecek, ikinci çözümlerde dahil edilecektir. SAP2000 yapı analiz programından alınan veriler ve dışardan yapılan hesaplar çizelgeler halinde açıklanacaktır. Hesap sonuçları referans örneklerin sonuçları ile karşılaştırılacaktır.

3.1 Örnek 1

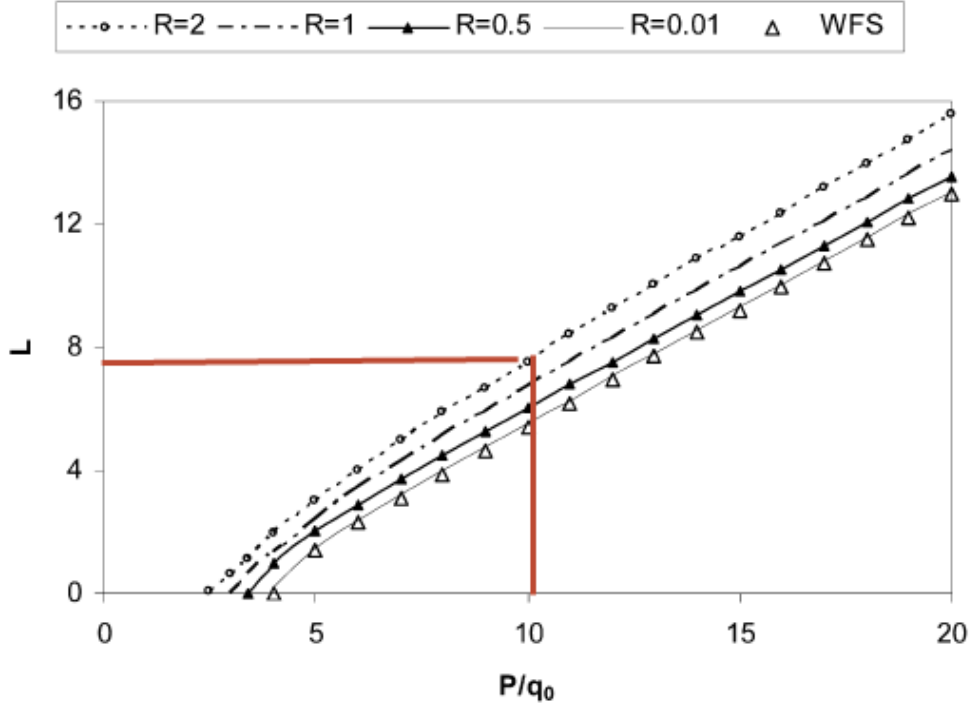
Örnek modelde sonsuz uzunluktaki kirişe etkiyen yer çekimine zıt yöndeki noktasal yük altında ayrılan bölge uzunluğu gösterilmiştir. Şekil 3.1'de örnek problemin fiziksel gösterimi görülmektedir. Verilerin oransal değişimine göre sonuçlar tablolastırılmıştır. Burada verilenler:

P/q_0 ; noktasal yükün zati ağırlığa oranıdır. R ; $2Ct/C$ oranıdır.

Şekil 3.2'de düşey yay birim deplasman sabiti $(C/4EI)^{0.25} = 0.5 \text{ m}^{-1}$ olması durumundaki ayrılan bölge uzunlukları gösterilmiştir. $P/q_0 = 10$, $R = 2$ seçilmiştir.



Şekil 3.1 : Noktasal çekmeye maruz sonsuz kiriş.



Şekil 3.2 : Farklı yay katsayısı parametreleri için ayrılma bölgesi uzunluğu ve dış yük arasındaki ilişki.

SAP2000 hesap modeline örnek çalışmadan alınan parametreler girilmiştir.

3.1.1 SAP2000 Girdi Bilgileri

Sonlu eleman hesap modelinde 1x1 m genişliğinde temel kirişi referans çalışma ile uyumlu olacak şekilde modellenmiştir. Öncelikli olarak malzeme tanımı yapılmıştır. Malzeme birim ağırlığı yaklaşık olarak beton elemanlar için alınan 25 kN/m³ alınmıştır (Şekil 3.3). Örnek çalışmada alınan yayılı düşey yük q_0 bu durumda 25 kN/m'dir. Buna karşın kiriş ortasından yüklenen tekil yük eleman zati ağırlığının 10 katı seçilmiştir (Şekil 3.6). P/q_0 oranı 10 olan kiriş için R katsayısı 2 olacak şekilde yay atamaları yapılmıştır (Şekil 3.5). Hesapta kabul edilen sayısal parametreleri özetlemek gerekirse:

Kiriş Kesiti	: 100/100 cm
Kiriş Atalet Momenti, I	: 0.0833 m ⁴
Malzeme Elastisite Modülü, E	: 1200000 kN/m ²
Düşey Yay Katsayısı, C	: 250000 kN/m ²
İkinci Parametre Kayma Katsayısı, 2Ct	: 500000 kN

Bu kesit özelliklerinin SAP2000’de tanımlanması şekil 3.4’te verilmiştir.

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: MAT

Material Type: Concrete

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 25.

Mass per Unit Volume: 2.5493

Units: KN, m, C

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 12000000

Poisson's Ratio, U: 0.2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 9.900E-06

Shear Modulus, G: 5000000.

Other Properties for Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, f'c: 1.

☐ Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

☐ Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Şekil 3.3 : Örnek-1 SAP2000 malzeme bilgileri.

Property Data

Section Name: KIRIS

Properties

Cross-section (axial) area	1.	Section modulus about 3 axis	0.1667
Torsional constant	0.1408	Section modulus about 2 axis	0.1667
Moment of Inertia about 3 axis	0.0833	Plastic modulus about 3 axis	0.25
Moment of Inertia about 2 axis	0.0833	Plastic modulus about 2 axis	0.25
Shear area in 2 direction	0.8333	Radius of Gyration about 3 axis	0.2887
Shear area in 3 direction	0.8333	Radius of Gyration about 2 axis	0.2887

OK

Şekil 3.4 : Örnek-1 SAP2000 temel kirişi kesit özellikleri.

Object Model - Line Information

Location Assignments Loads Design

Identification

Label 152 Design Procedure Concrete Frame

Section Property	KIRIS
Property Modifiers	None
Material Overwrite	None
Releases	None
Partial Fixity Springs	None
Local Axes	Default
Insertion Point	Default
End Length Offsets	None
Max. Station Spacing	0.5
Station at Elm Intersect	Yes
Station at Conc Loads	Yes
P-Delta Force	
Direction	Local 1
Force	500000
T/C Limits	None
Nonlinear Hinges	None
Line Spring	
Spring Type	Simple
Stiffness/Length	250000
Springs Resists	Tension and Compression

KN, m, C

Reset All

Update Display

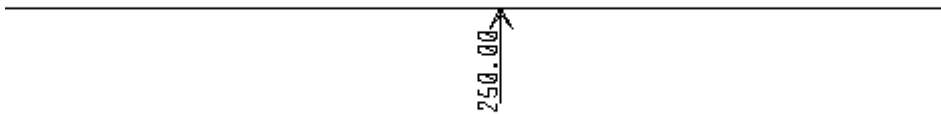
Modify Display

OK

Cancel

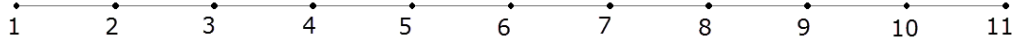
Double click white background cell to edit item.

Şekil 3.5 : Örnek-1 Temel kirişi düşey yay ve ikinci parametre kayma katsayısı atamaları.



Şekil 3.6 : Örnek-1 P yükleme (kN).

Yukarda verilen bilgiler ışığında sistem çözülmüştür. Adım adım yapılan hesaplarda ilk adımda zeminden ayrılan elemanlar bulunmuş ve yay atamaları silinerek sistem tekrar çözülmüştür. Bu işlem zeminden ayrılan tüm elemanlar tesbit edilene kadar devam ettirilmiştir. Şekil 3.7’de temel kirişinin analiz edilecek düğüm noktası numaraları verilmiştir.



Şekil 3.7 : Örnek-1 Düğüm Noktası Numaraları.

3.1.2 Birinci adım hesap sonuçları

İlk adım analiz sonucunda ölçülen düğüm noktası yerdeğiştirmeleri ve iç kuvvetler çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Örnek-1 Birinci adım SAP2000 analiz sonuçları.

Düğüm Noktası	Düşey Yerdeğiştirme (m)	Dönme (1/m)	Kesme Kuvveti (kN)	Moment (kNm)
1	0.00008564	0.00001327	4.89	-7.25
2	0.00006710	0.00002464	8.35	-12.29
3	0.00003499	0.00004016	20.59	-15.87
4	-0.00001305	0.00005514	42.85	-11.18
5	-0.00007008	0.00005421	78.24	17.29
6	-0.0001004	0	±111.99	99.82
7	-0.00007008	-0.00005421	-78.24	17.29
8	-0.00001305	-0.00005514	-42.85	-11.18
9	0.00003499	-0.00004016	-20.59	-15.87
10	0.00006710	-0.00002464	-8.35	-12.29
11	0.00008564	-0.00001327	-4.89	-7.25

Çizelge 3.2-3.6’da sadece zemin düşey yayları ve kayma parametresinin rijitlik matrisleri ile uç yerdeğiştirmeleri çarpılmış ve sonuçlar gösterilmiştir. Pozitif kesme kuvvetleri bulunmuştur.

Çizelge 3.2 : Örnek-1 Birinci adım 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)							
69047.62	-63095.2	-18452.38	42261.9	θ_i	0.00001327	M_i	2.11
-63095.2	692857.1	-42261.9	-567857	δ_i	0.00008564	V_i	-19.35
-18452.4	-42261.9	69047.619	63095.24	θ_j	0.00002464	M_j	2.07
42261.9	-567857	63095.238	692857.1	δ_j	0.00006710	V_j	-0.03

Çizelge 3.3 : Örnek-1 Birinci adım 2-3 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)							
69047.62	-63095.2	-18452.38	42261.9	θ_i	0.00002464	M_i	1.79
-63095.2	692857.1	-42261.9	-567857	δ_i	0.00006710	V_i	-23.37
-18452.4	-42261.9	69047.619	63095.24	θ_j	0.00004016	M_j	1.69
42261.9	-567857	63095.238	692857.1	δ_j	0.00003499	V_j	-10.28

Çizelge 3.4 : Örnek-1 Birinci adım 3-4 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)							
69047.62	-63095.2	-18452.38	42261.9	θ_i	0.00004016	M_i	1.00
-63095.2	692857.1	-42261.9	-567857	δ_i	0.00003499	V_i	-26.79
-18452.4	-42261.9	69047.619	63095.24	θ_j	0.00005514	M_j	0.76
42261.9	-567857	63095.238	692857.1	δ_j	-0.00001305	V_j	-23.73

Çizelge 3.5 : Örnek-1 Birinci adım 4-5 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

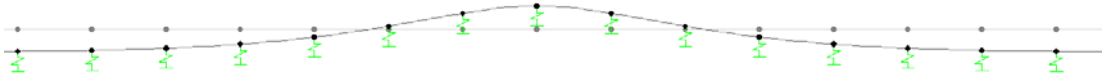
Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)							
69047.62	-63095.2	-18452.38	42261.9	θ_i	0.00005514	M_i	-0.67
-63095.2	692857.1	-42261.9	-567857	δ_i	-0.00001305	V_i	-24.98
-18452.4	-42261.9	69047.619	63095.24	θ_j	0.00005421	M_j	-1.14
42261.9	-567857	63095.238	692857.1	δ_j	-0.00007008	V_j	-35.39

Çizelge 3.6 : Örnek-1 Birinci adım 5-6 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

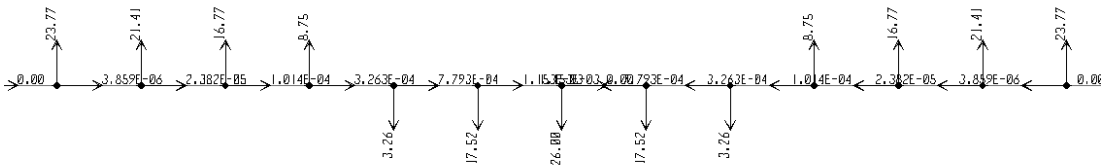
Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
69047.62	-63095.2	-18452.38	42261.9	x	θ_i	0.00005421	M_i	-3.92
-63095.2	692857.1	-42261.9	-567857		δ_i	-0.00007008	V_i	-5.04
-18452.4	-42261.9	69047.619	63095.24		θ_j	0	M_j	-4.37
42261.9	-567857	63095.238	692857.1		δ_j	-0.0001004	V_j	-27.48

Yukardaki çizelgelerde birinci adım sonucunda zemin düşey yay ve kayma parametrelerinin yol açtığı uç kuvvetleri verilmiştir.

Şekil 3.8 ve 3.9’da birinci adım sonunda SAP2000 analiz programından alınan sonuçlar gösterilmiştir. Dışardan yapılan hesapta her bir çubuk için hesaplanan V_i - V_j farklarına ait sonuçlar çizelge 3.7’de verilmiştir. Burada, ilk adımda noktasal yükten itibaren iki çubukta temelden ayrılma olduğu görülmektedir. Yükün her iki tarafındadaki ikişer çubuğa ait yay ve p-delta force atamaları silinerek sistem tekrar çözülecektir.



Şekil 3.8 : Örnek-1 Birinci adım yerdeğiştirme grafiği.



Şekil 3.9 : Örnek-1 Birinci adım SAP2000 yay kuvvetleri.

Çizelge 3.7 : Örnek-1 Birinci adım zemin tepkisinden gelen kesme kuvvetleri.

Çubuk no	1	2	3	4	5
Kesme Kuvveti (kN)	-19.32	-13.09	-3.06	10.41	22.44

3.1.3 İkinci adım hesap sonuçları

İkinci adım analiz sonucunda ölçülen düğüm noktası yerdeğiştirmeleri ve iç kuvvetler çizelge 3.8’de verilmiştir. Çizelge 3.9-3.11’de sadece zemin düşey yayları ve kayma parametresinin rijitlik matrisleri ile uç yerdeğiştirmeleri çarpılmış ve sonuçlar gösterilmiştir. Pozitif kesme kuvvetleri bulunmuştur.

Çizelge 3.8 : Örnek-1 İkinci adım SAP2000 analiz sonuçları.

Düğüm Noktası	Düşey Yerdeğiştirme (m)	Dönme (1/m)	Kesme Kuvveti (kN)	Moment (kNm)
1	0.00007724	0.00002307	2.40	-15.22
2	0.00004416	0.00004486	12.76	-26.01
3	-0.00001580	0.00007676	34.18	-36.29
4	-0.0001108	0.0001131	68.08	-35.14
5	-0.0002279	0.0001065	100.00	52.36
6	-0.0002905	0	±125.00	164.86
7	-0.0002279	-0.0001065	-100.00	52.36
8	--0.0001108	-0.0001131	-68.08	-35.14
9	-0.00001580	-0.00007676	-34.18	-36.29
10	0.00004416	-0.00004486	-12.76	-26.01
11	0.00007724	-0.00002307	-2.40	-15.22

Çizelge 3.9 : Örnek-1 İkinci adım 2-3 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
69047.62	-63095.2	-18452.38	42261.9	x	θ_i	0.00002307	M_i	2.24
-63095.2	692857.1	-42261.9	-567857		δ_i	0.00007724	V_i	-25.09
-18452.4	-42261.9	69047.619	63095.24		θ_j	0.00004486	M_j	2.19
42261.9	-567857	63095.238	692857.1		δ_j	0.00004416	V_j	-9.46

Çizelge 3.12 : Örnek-1 İkinci adım zemin tepkisinden gelen kesme kuvvetleri

Çubuk no	1	2	3	4	5
Kesme Kuvveti (kN)	-19.63	-4.21	15.83	-	-

3.1.4 Üçüncü adım hesap sonuçları

Üçüncü adım analiz sonucunda ölçülen düğüm noktası yerdeğiştirmeleri ve iç kuvvetler çizelge 3.13'te verilmiştir. Çizelge 3.14-3.15'te sadece zemin düşey yayları ve kayma parametresinin rijitlik matrisleri ile uç yerdeğiştirmeleri çarpılmış ve sonuçlar gösterilmiştir. Pozitif kesme kuvvetleri bulunmuştur.

Çizelge 3.13 : Örnek-1 Üçüncü adım SAP2000 analiz sonuçları.

Düğüm Noktası	Düşey Yerdeğiştirme (m)	Dönme (1/m)	Kesme Kuvveti (kN)	Moment (kNm)
1	0.00006858	0.00003560	-6.34	-26.39
2	0.00001615	0.00007259	14.59	-46.49
3	-0.00008332	0.0001301	50.00	-69.14
4	-0.0002386	0.0001701	75.00	-6.64
5	-0.0003984	0.0001350	100.00	80.86
6	-0.0004753	0	±125.00	193.36
7	-0.0003984	-0.0001350	-100.00	80.86
8	-0.0002386	-0.0001701	-75.00	-6.64
9	-0.00008332	-0.0001301	-50.00	-69.14
10	0.00001615	-0.00007259	-14.59	-46.49
11	0.00006858	-0.00003560	6.34	-26.39

Çizelge 3.14 : Örnek-1 Üçüncü adım 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
69047.62	-63095.2	-18452.38	42261.9	x	θ_i	0.0000356	M_i	2.53
-63095.2	692857.1	-42261.9	-567857		δ_i	0.00006858	V_i	-33.03
-18452.4	-42261.9	69047.619	63095.24		θ_j	0.00007259	M_j	2.48
42261.9	-567857	63095.238	692857.1		δ_j	0.00001615	V_j	-21.67

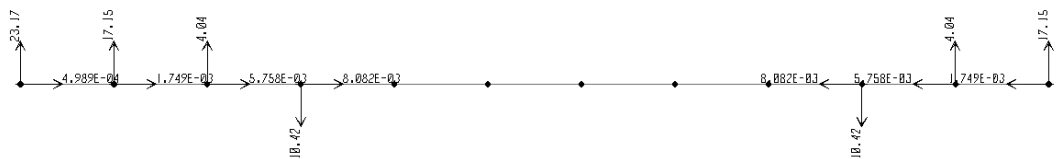
Çizelge 3.15 : Örnek-1 Üçüncü adım 2-3 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
69047.62	-63095.2	-18452.38	42261.9	x	θ_i	0.00007259	M_i	1.93
-63095.2	692857.1	-42261.9	-567857		δ_i	0.00001615	V_i	-48.43
-18452.4	-42261.9	69047.619	63095.24		θ_j	0.0001301	M_j	1.70
42261.9	-567857	63095.238	692857.1		δ_j	-0.00008332	V_j	-55.62

Şekil 3.12 ve 3.13'te üçüncü adım sonunda SAP2000 analiz programından alınan sonuçlar gösterilmiştir. Dışardan yapılan hesapta her bir çubuk için hesaplanan V_i - V_j farklarına ait sonuçlar çizelge 3.16'da verilmiştir. Burada, ilk iki adımda ayrılan üç çubuğa ek olarak bir çubuk daha (2-3) zeminden ayrılmıştır. Bu çubuğa ait yay ve p-delta force atamaları silinerek sistem tekrar çözülecektir.



Şekil 3.12 : Örnek-1 Üçüncü adım yerdeğiştirme grafiği.



Şekil 3.13 : Örnek-1 Üçüncü adım SAP2000 yay kuvvetleri.

Çizelge 3.16 : Örnek-1 Üçüncü adım zemin tepkisinden gelen kesme kuvvetleri.

Çubuk no	1	2	3	4	5
Kesme Kuvveti (kN)	-11.36	7.19	-	-	-

3.1.5 Dördüncü adım hesap sonuçları

Üçüncü adım analiz sonucunda ölçülen düğüm noktası yerdeğiştirmeleri ve iç kuvvetler çizelge 3.17’de verilmiştir. Çizelge 3.18’de sadece zemin düşey yayları ve kayma parametresinin rijitlik matrisleri ile uç yerdeğiştirmeleri çarpılmış ve sonuçlar gösterilmiştir. Pozitif kesme kuvvetleri bulunmuştur.

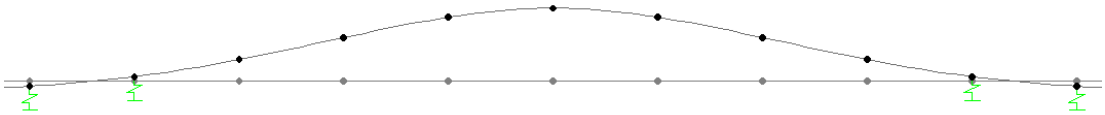
Çizelge 3.17 : Örnek-1 Dördüncü adım SAP2000 analiz sonuçları.

Düğüm Noktası	Düşey Yerdeğiştirme (m)	Dönme (1/m)	Kesme Kuvveti (kN)	Moment (kNm)
1	0.00005066	0.00006013	-4.91	-47.79
2	-0.00003929	0.0001260	25.00	-85.18
3	-0.0002026	0.0001945	50.00	-47.68
4	-0.0004115	0.0002130	75.00	14.82
5	-0.0006036	0.0001565	100.00	102.32
6	-0.0006912	0	±125.00	214.82
7	-0.0006036	-0.0001565	-100.00	102.32
8	-0.0004115	-0.0002130	-75.00	14.82
9	-0.0002026	-0.0001945	-50.00	-47.68
10	-0.00003929	-0.0001260	-25.00	-85.18
11	0.00005066	-0.00006013	4.91	-47.79

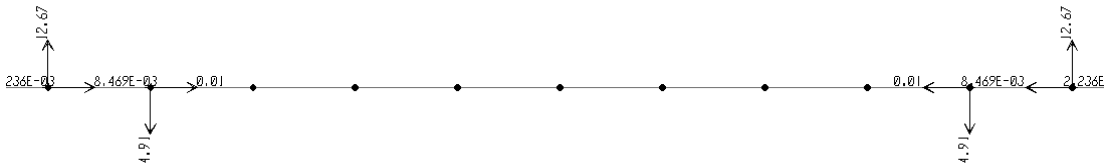
Çizelge 3.18 : Örnek-1 Dördüncü adım 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
69047.62	-63095.2	-18452.38	42261.9	x	θ_i	0.00006013	M_i	3.03
-63095.2	692857.1	-42261.9	-567857		δ_i	0.00005066	V_i	-48.29
-18452.4	-42261.9	69047.619	63095.24		θ_j	0.0001260	M_j	2.97
42261.9	-567857	63095.238	692857.1		δ_j	-0.00003929	V_j	-45.50

Şekil 3.14 ve 3.15’de dördüncü adım sonunda SAP2000 analiz programından alınan sonuçlar gösterilmiştir. Dışardan yapılan hesapta (1-2) çubuğunda V_i-V_j farkı $(-48.29-(-45.50)) = -2.79$ negatif çıktığından sistemin zeminden ayrılmasının bu adımda durduğu görülmektedir. Bu durumda sonsuz uzunluktaki temel kirişinin 8 metrelik bölümü nihai aşamada zeminden ayrılmaktadır. Final durumdaki zemin tepkisinden gelen kesme kuvvetleri çizelge 3.19’da verilmiştir.



Şekil 3.14 : Örnek-1 Dördüncü adım yerdeğiştirme grafiği.



Şekil 3.15 : Örnek-1 Dördüncü adım SAP2000 yay kuvvetleri.

Çizelge 3.19 : Örnek-1 Dördüncü adım zemin tepkisinden gelen kesme kuvvetleri.

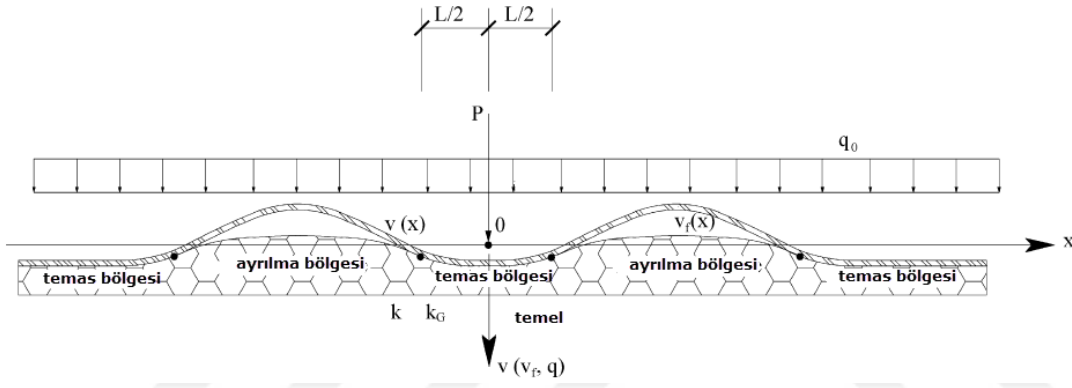
Çubuk no	1	2	3	4	5
Kesme Kuvveti (kN)	-2.79	-	-	-	-

3.2 Örnek 2

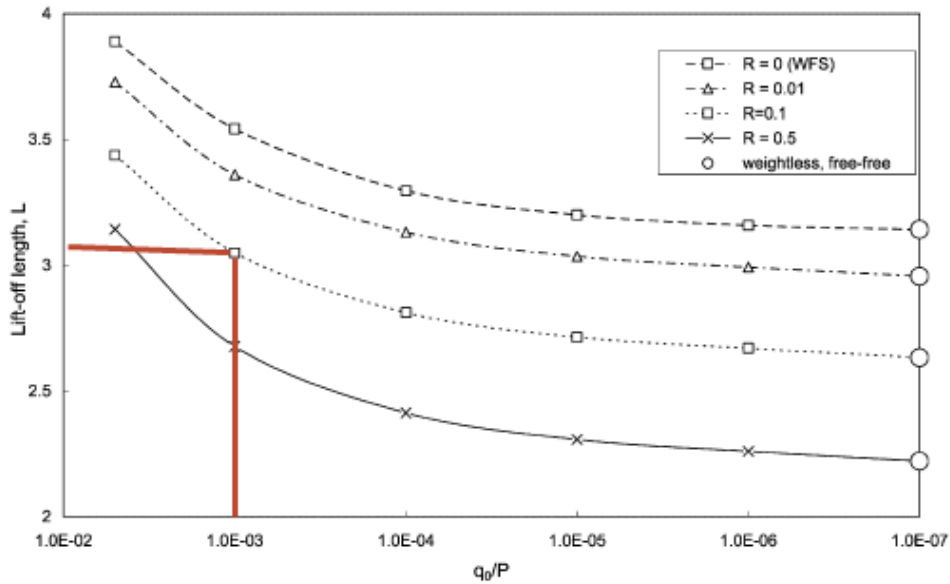
Örnek 1 ile aynı makaleden alınmış olan ikinci sayısal örnekte sonsuz uzunluktaki kirişe etkiyen yer çekimi ile aynı yöndeki noktasal yük altında zeminle teması kesilmeyen bölge uzunluğu gösterilmiştir. Referans çalışmada hesap parametreleri boyutsuz verilmiş olup, hesap sonuçları şekil 3.17’de verilmiştir. Burada verilenler:

P/q_0 ; noktasal yükün zati ağırlığı oranıdır. R ; $2Ct/C$ oranıdır.

Şekil 3.17’de $q_0/P = 1 \times 10^{-3}$, $R = 0.1$ seçilmesi durumundaki ayrılan bölge uzunlukları gösterilmiştir. Şekil 3.16’da örnek problemin fiziksel gösterimi görülmektedir.



Şekil 3.16 : Noktasal basınca maruz sonsuz kiriş.



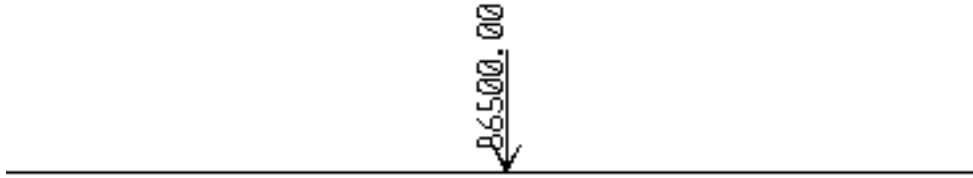
Şekil 3.17 : Farklı yay katsayısı parametreleri için temas bölgesi uzunluğu ve dış yük arasındaki ilişki.

SAP2000 hesap modeline örnek çalışmadan alınan parametreler girilmiştir.

3.2.1 SAP2000 Girdi Bilgileri

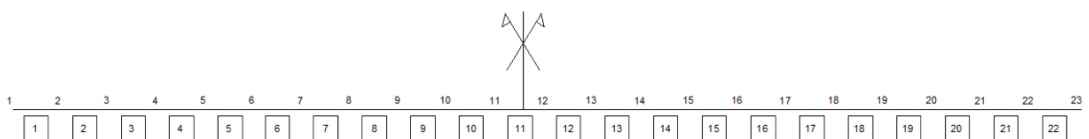
Sonlu eleman hesap modelinde 1.86x1.86 m genişliğinde ($I = 1 \text{ m}^4$) temel kirişi referans çalışma ile uyumlu olacak şekilde modellenmiştir. Öncelikli olarak örnek 1’de olduğu gibi malzeme tanımı yapılmıştır. Malzeme birim ağırlığı yaklaşık olarak beton elemanlar için alınan 25 kN/m^3 alınmıştır. Örnek çalışmada alınan yayılı düşey yük q_0 bu durumda 86.5 kN/m ’dir. Buna karşın kiriş ortasından yüklenen tekil yük eleman zati ağırlığının 1000 katı seçilmiştir (Şekil 3.18). P/q_0 oranı 1000 olan kiriş için R katsayısı 0.1 olacak şekilde yay atamaları yapılmıştır. Hesapta kabul edilen sayısal parametreleri özetlemek gerekirse:

Kiriş Kesiti	: 186/186 cm
Kiriş Atalet Momenti, I	: 1 m ⁴
Malzeme Elastisite Modülü, E	: 30000000 kN/m ²
Düşey Yay Katsayısı, C	: 120000000 kN/m ²
İkinci Parametre Kayma Katsayısı, 2Ct	: 12000000 kN



Şekil 3.18 : Örnek-2 P yüklemesi (kN).

Yukarda verilen bilgiler ışığında sistem çözülmüştür. Adım adım yapılan hesaplarda ilk adımda zeminden ayrılan elemanlar bulunmuş ve yay atamaları silinerek sistem tekrar çözülmüştür. Bu işlem zeminden ayrılan tüm elemanlar tesbit edilene kadar devam ettirilmiştir. Şekil 3.19’da temel kirişinin analiz edilecek düğüm noktası numaraları verilmiştir.



Şekil 3.19 : Örnek-2 Düğüm Noktası Numaraları.

3.2.2 Birinci adım hesap sonuçları

İlk adım analiz sonucunda ölçülen düğüm noktası yerdeğiştirmeleri ve iç kuvvetler çizelge 3.20’de verilmiştir. Sisteme ortasından tekil yük yüklendiğinden simetrik davranış gözlenecektir. Sistemin yarısı ile hesaplar kontrol edilmiştir.

Çizelge 3.20 : Örnek-2 Birinci adım SAP2000 analiz sonuçları.

Düğüm Noktası	Düşey Yerdeğiştirme (m)	Dönme (1/m)	Kesme Kuvveti (kN)	Moment (kNm)
1	0	0	-42.67	7.09
2	0	0	-41.44	7.66
3	0	0	-42.24	9.72
4	0	0	-54.86	11.96
5	0	0	-90.31	2.68
6	0	0	-105.75	-46.32
7	-0.000001249	0.000003911	130.69	-133.96
8	-0.000006872	0.000006747	1041.92	-27.45
9	-0.000008526	-0.000009318	2151.70	1037.92
10	0.00003162	-0.00008574	-1555.69	3714.64
11	0.0001785	-0.0002094	-22886.95	3964.63
12	0.0003408	0	-22800.35	-16930.87

Çizelge 3.21-3.26’da sadece zemin düşey yayları ve kayma parametresinin rijitlik matrisleri ile uç yerdeğiştirmeleri çarpılmış ve sonuçlar gösterilmiştir. Pozitif kesme kuvvetleri tesbit edilmiştir.

Çizelge 3.21 : Örnek-2 Birinci adım 6-7 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)							
2742857	-7485714	-1257143	-2514286	θ_i	0	M_i	1.78
-7485714	58971429	2514285.7	1028571	δ_i	0	V_i	-8.55
-1257143	2514286	2742857.1	7485714	θ_j	0.000003911	M_j	1.38
-2514286	1028571	7485714.3	58971429	δ_j	-0.000001249	V_j	-44.38

Çizelge 3.22 : Örnek-2 Birinci adım 7-8 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
2742857	-7485714	-1257143	-2514286	x	θ_i	0.000003911	M_i	-28.87
-7485714	58971429	2514285.7	1028571		δ_i	-0.000001249	V_i	93.04
-1257143	2514286	2742857.1	7485714		θ_j	0.000006747	M_j	-40.99
-2514286	1028571	7485714.3	58971429		δ_j	-0.000006872	V_j	-365.86

Çizelge 3.23 : Örnek-2 Birinci adım 8-9 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)									
2742857	-7485714	-1257143	-2514286	x	θ_i	0.000006747	=	M_i	-103.10
-7485714	58971429	2514285.7	1028571		δ_i	-0.000006872		V_i	487.96
-1257143	2514286	2742857.1	7485714		θ_j	-0.000009318		M_j	-115.14
-2514286	1028571	7485714.3	58971429		δ_j	-0.000008526		V_j	-596.57

Çizelge 3.24 : Örnek-2 Birinci adım 9-10 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
2742857	-7485714	-1257143	-2514286	x	θ_i	-0.000009318	M_i	-66.55
-7485714	58971429	2514285.7	1028571		δ_i	-0.000008526	V_i	616.09
-1257143	2514286	2742857.1	7485714		θ_j	-0.00008574	M_j	-8.20
-2514286	1028571	7485714.3	58971429		δ_j	0.00003162	V_j	1237.51

Çizelge 3.25 : Örnek-2 Birinci adım 10-11 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)			
2742857	-7485714	-1257143	-2514286
-7485714	58971429	2514285.7	1028571
-1257143	2514286	2742857.1	7485714
-2514286	1028571	7485714.3	58971429

x

θ_i	-0.00008574
δ_i	0.00003162
θ_j	-0.0002094
δ_j	0.0001785

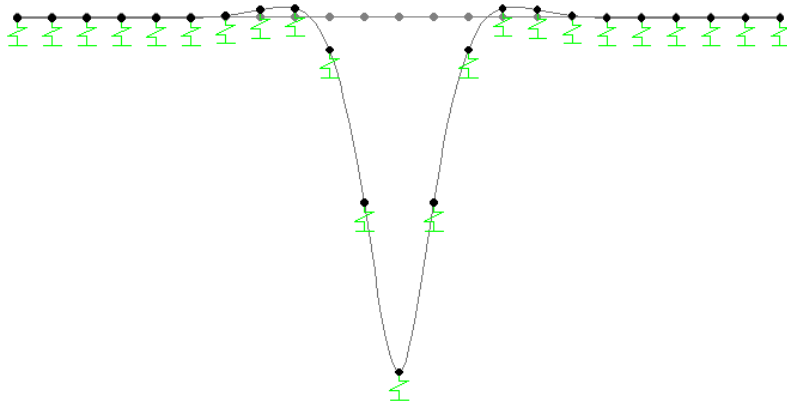
=

M_i	657.43
V_i	-2163.61
M_j	949.13
V_j	9206.99

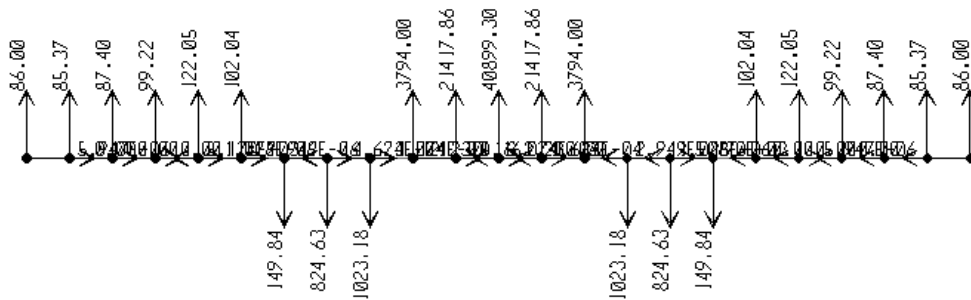
Çizelge 3.26 : Örnek-2 Birinci adım 11-12 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)				x			=		
2742857	-7485714	-1257143	-2514286		θ_i	-0.0002094		M _i	2767.42
-7485714	58971429	2514285.7	1028571		δ_i	0.0001785		V _i	-12444.45
-1257143	2514286	2742857.1	7485714		θ_j	0		M _j	3263.18
-2514286	1028571	7485714.3	58971429	δ_j	0.0003408	V _j	20807.55		

Yukardaki çizelgelerde birinci adım sonucunda zemin düşey yay ve kayma parametrelerinin yol açtığı uç kuvvetleri verilmiştir. Şekil 3.20 ve 3.21’de birinci adım sonunda SAP2000 analiz programından alınan sonuçlar gösterilmiştir. Dışardan yapılan hesapta her bir çubuk için hesaplanan V_i - V_j farklarına ait sonuçlar çizelge 3.27’de verilmiştir. Burada, ilk adımda 6, 7 ve 8 nolu çubuklarda temelden ayrılma olduğu görülmektedir. Söz konusu çubukların ve simetriğindeki üç çubuğun yay ve p-delta force atamaları silinerek sistem tekrar çözülecektir.



Şekil 3.20 : Örnek-2 Birinci adım yerdeğiştirme grafiği.



Şekil 3.21 : Örnek-2 Birinci adım SAP2000 yay kuvvetleri.

Çizelge 3.27 : Örnek-2 Birinci adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.

Çubuk no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Kesme Kuvveti	0	0	0	0	0	35.83	458.9	.11E4	-.62E3	-.11E5	-.33E5

3.2.3 İkinci adım hesap sonuçları

İkinci adım SAP2000 analizi sonuçları çizelge 3.28’de verilmiştir. Çizelge 3.29-3.33’te zemin tepkisinden doğan iç kuvvetler verilmiştir.

Çizelge 3.28 : Örnek-2 İkinci adım SAP2000 analiz sonuçları.

Düğüm Noktası	Düşey Yerdeğiştirme (m)	Dönme (1/m)	Kesme Kuvveti (kN)	Moment (kNm)
1	0	0	-39.38	-8.82
2	0	0	-44.73	-13.49
3	0	0	-79.84	-15.04
4	0	0	-153.21	-17.68
5	0	0.00000267	-112.02	-139.04
6	-0.000005382	0.000009611	297.48	-276.88
7	-0.00001783	0.0000134	384.08	63.90
8	-0.00002792	0.000004389	470.67	491.28
9	-0.00002138	-0.00002031	1840.17	1005.26
10	0.00002818	-0.00009248	-1454.49	3483.44
11	0.0001788	-0.000211	-22827.66	3880.10
12	0.0003418	0	-22741.06	-16948.45

Çizelge 3.29 : Örnek-2 İkinci adım 4-5 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)							
2742857	-7485714	-1257143	-2514286	θ_i	0	M_i	3.36
-7485714	58971429	2514285.7	1028571	δ_i	0	V_i	-6.71
-1257143	2514286	2742857.1	7485714	θ_j	0.00000267	M_j	7.32
-2514286	1028571	7485714.3	58971429	δ_j	0	V_j	19.99

Çizelge 3.30 : Örnek-2 İkinci adım 5-6 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)							
2742857	-7485714	-1257143	-2514286	θ_i	0.00000267	M_i	-8.77
-7485714	58971429	2514285.7	1028571	δ_i	0	V_i	1.36
-1257143	2514286	2742857.1	7485714	θ_j	0.000009611	M_j	-17.28
-2514286	1028571	7485714.3	58971429	δ_j	-0.000005382	V_j	-252.15

Çizelge 3.31 : Örnek-2 İkinci adım 9-10 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)							
2742857	-7485714	-1257143	-2514286	θ_i	-0.00002031	M_i	-149.75
-7485714	58971429	2514285.7	1028571	δ_i	-0.00002138	V_i	1312.31
-1257143	2514286	2742857.1	7485714	θ_j	-0.00009248	M_j	-70.93
-2514286	1028571	7485714.3	58971429	δ_j	0.00002818	V_j	998.61

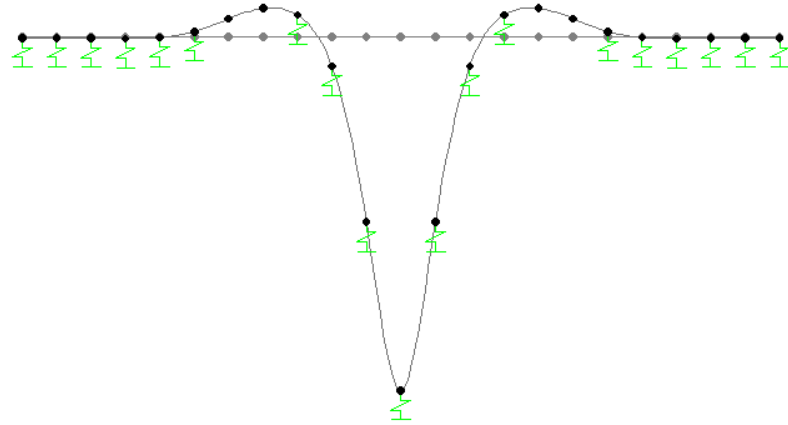
Çizelge 3.32 : Örnek-2 İkinci adım 10-11 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)							
2742857	-7485714	-1257143	-2514286	θ_i	-0.00009248	M_i	648.90
-7485714	58971429	2514285.7	1028571	δ_i	0.00002818	V_i	-2007.49
-1257143	2514286	2742857.1	7485714	θ_j	-0.000211	M_j	946.82
-2514286	1028571	7485714.3	58971429	δ_j	0.0001788	V_j	9226.11

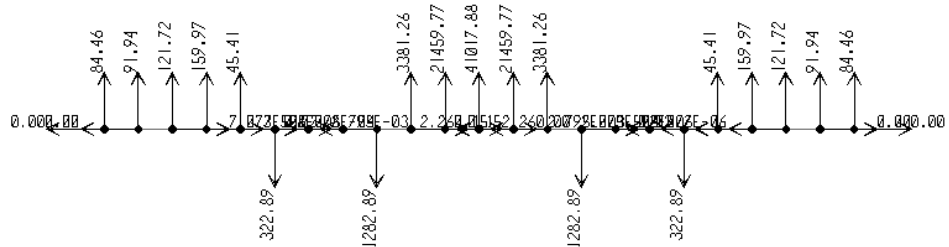
Çizelge 3.33 : Örnek-2 İkinci adım 11-12 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)							
2742857	-7485714	-1257143	-2514286	θ_i	-0.000211	M_i	2776.57
-7485714	58971429	2514285.7	1028571	δ_i	0.0001788	V_i	-12475.1
-1257143	2514286	2742857.1	7485714	θ_j	0	M_j	3273.43
-2514286	1028571	7485714.3	58971429	δ_j	0.0003418	V_j	20870.86

Yukardaki çizelgelerde ikinci adım sonucunda zemin düşey yay ve kayma parametrelerinin yol açtığı uç kuvvetleri verilmiştir. Şekil 3.22 ve 3.23’de ikinci adım sonunda SAP2000 analiz programından alınan sonuçlar gösterilmiştir. Dışardan yapılan hesapta her bir çubuk için hesaplanan V_i - V_j farklarına ait sonuçlar çizelge 3.34’te verilmiştir. Burada, ilk adımda 6, 7 ve 8 nolu çubuklara ilave olarak 5 ve 9 nolu çubuklarda da ayrılma gözlenmiştir. Söz konusu çubukların ve simetriğindeki çubukların yay ve p-delta force atamaları silinerek sistem tekrar çözülecektir.



Şekil 3.22 : Örnek-2 İkinci adım yerdeğiştirme grafiği.



Şekil 3.23 : Örnek-2 İkinci adım SAP2000 yay kuvvetleri.

Çizelge 3.34 : Örnek-2 İkinci adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.

Ç ubuk no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Kesme Kuvveti	0	0	0	-26.7	253.5	-	-	-	313.7	-11E5	-33E5

3.2.4 Üçüncü adım hesap sonuçları

Üçüncü adım SAP2000 analizi sonuçları çizelge 3.35'te verilmiştir. Çizelge 3.36-3.41'de zemin tepkisinden doğan iç kuvvetler verilmiştir.

Çizelge 3.35 : Örnek-2 Üçüncü adım SAP2000 analiz sonuçları.

Düğüm Noktası	Düşey Yerdeğiştirme (m)	Dönme (1/m)	Kesme Kuvveti (kN)	Moment (kNm)
1	0	0	-39.38	-8.82
2	0.000001197	0	-44.73	-13.49
3	0.000001869	0	-79.84	-15.04
4	0.000003951	0	-153.21	-17.68
5	-0.000008736	0.00000267	-112.02	-139.04
6	-0.00003194	0.000009611	297.48	-276.88
7	-0.00005862	0.0000134	384.08	63.90
8	-0.00007180	0.000004389	470.67	491.28
9	-0.00005164	-0.00002031	1840.17	1005.26
10	0.00002460	-0.00009248	-1454.49	3483.44
11	0.0001833	-0.000211	-22827.66	3880.10
12	0.0003460	0	-22741.06	-16948.45

Çizelge 3.36 : Örnek-2 Üçüncü adım 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
2742857	-7485714	-1257143	-2514286	x	θ_i	0	M_i	3.01
-7485714	58971429	2514285.7	1028571		δ_i	0	V_i	-1.23
-1257143	2514286	2742857.1	7485714		θ_j	0	M_j	8.96
-2514286	1028571	7485714.3	58971429		δ_j	0.000001197	V_j	70.59

Çizelge 3.37 : Örnek-2 Üçüncü adım 2-3 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)			
2742857	-7485714	-1257143	-2514286
-7485714	58971429	2514285.7	1028571
-1257143	2514286	2742857.1	7485714
-2514286	1028571	7485714.3	58971429

x

θ_i	0
δ_i	0.000001197
θ_j	0
δ_j	0.000001869

=

M_i	13.66
V_i	-72.51
M_j	17.00
V_j	111.45

Çizelge 3.38 : Örnek-2 Üçüncü adım 3-4 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)			
2742857	-7485714	-1257143	-2514286
-7485714	58971429	2514285.7	1028571
-1257143	2514286	2742857.1	7485714
-2514286	1028571	7485714.3	58971429

θ_i

0

δ_i

0.000001869

θ_j

0.000003951

δ_j

0

x

M_i

18.96

V_i

-120.15

M_j

15.54

V_j

31.50

=

Çizelge 3.39 : Örnek-2 Üçüncü adım 4-5 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
2742857	-7485714	-1257143	-2514286	x	θ_i	0.000003951	M_i	-29.45
-7485714	58971429	2514285.7	1028571		δ_i	0	V_i	31.85
-1257143	2514286	2742857.1	7485714		θ_j	0.00000267	M_j	-63.04
-2514286	1028571	7485714.3	58971429		δ_j	-0.000008736	V_j	-505.12

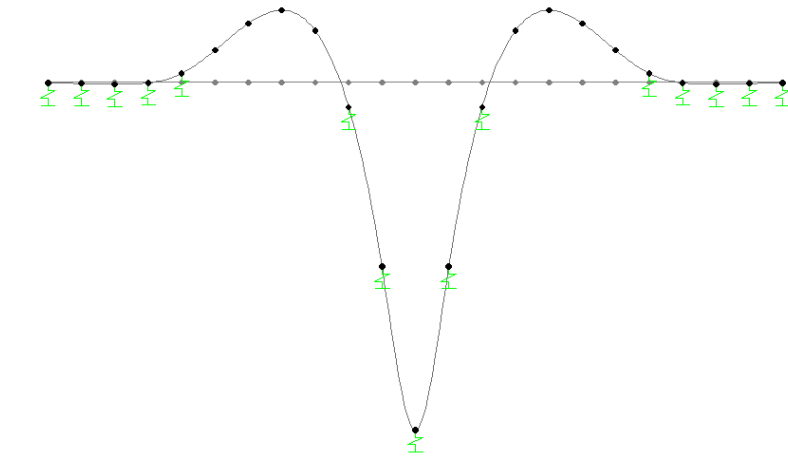
Çizelge 3.40 : Örnek-2 Üçüncü adım 10-11 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
2742857	-7485714	-1257143	-2514286	x	θ_i	-0.00009248	M_i	633.42
-7485714	58971429	2514285.7	1028571		δ_i	0.0000246	V_i	-1801.00
-1257143	2514286	2742857.1	7485714		θ_j	-0.000211	M_j	971.50
-2514286	1028571	7485714.3	58971429		δ_j	0.0001833	V_j	9487.80

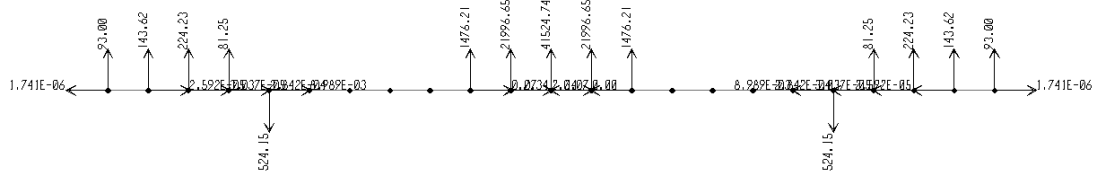
Çizelge 3.41 : Örnek-2 Üçüncü adım 11-12 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)				x			=		
2742857	-7485714	-1257143	-2514286		θ_i	-0.000211		M_i	2820.82
-7485714	58971429	2514285.7	1028571		δ_i	0.0001833		V_i	-12744.83
-1257143	2514286	2742857.1	7485714		θ_j	0		M_j	3316.18
-2514286	1028571	7485714.3	58971429	δ_j	0.000346	V_j	21123.17		

Yukardaki çizelgelerde üçüncü adım sonucunda zemin düşey yay ve kayma parametrelerinin yol açtığı uç kuvvetleri verilmiştir. Şekil 3.24 ve 3.25’de üçüncü adım sonunda SAP2000 analiz programından alınan sonuçlar gösterilmiştir. Dışardan yapılan hesapta her bir çubuk için hesaplanan V_i - V_j farklarına ait sonuçlar çizelge 3.42’de verilmiştir. Burada, daha önceki adımlardakilere ek olarak 4 nolu çubukta da ayrılma gözlenmiştir. Söz konusu çubukların ve simetriğindeki çubukların yay ve p-delta force atamaları silinerek sistem tekrar çözülecektir.



Şekil 3.24 : Örnek-2 Üçüncü adım yerdeğiştirme grafiği.



Şekil 3.25 : Örnek-2 Üçüncü adım SAP2000 yay kuvvetleri.

Çizelge 3.42 : Örnek-2 Üçüncü adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.

Çubuk no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Kesme Kuvveti	-71.8	-184	-151.6	536.9	-	-	-	-	-	-11E5	-33E5

3.2.5 Dördüncü adım hesap sonuçları

Dördüncü adım SAP2000 analizi sonuçları çizelge 3.43'te verilmiştir. Çizelge 3.44-3.48'de zemin tepkisinden doğan iç kuvvetler verilmiştir

Çizelge 3.43 : Örnek-2 Dördüncü adım SAP2000 analiz sonuçları.

Düğüm Noktası	Düşey Yerdeğiştirme (m)	Dönme (1/m)	Kesme Kuvveti (kN)	Moment (kNm)
1	0.000001905	0	-84.61	-23.72
2	0.000001758	0	-208.96	-9.64
3	0.000001136	0.000002768	-258.63	-182.76
4	-0.000006313	0.00001381	206.78	-487.48
5	-0.00002698	0.00002613	293.38	-237.4
6	-0.00005532	0.00002868	379.98	99.28
7	-0.00008011	0.00001855	466.58	522.57
8	-0.00008724	-0.000007124	553.19	1032.45
9	-0.00005972	-0.00005124	639.79	1628.94
10	0.00002235	-0.0001167	-614.60	2312.03
11	0.0001834	-0.000213	-22540.07	3673.73
12	0.0003466	0	-22453.47	-16864.94

Çizelge 3.44 : Örnek-2 Dördüncü adım 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
2742857	-7485714	-1257143	-2514286	x	θ_i	0	M_i	18.68
-7485714	58971429	2514285.7	1028571		δ_i	1.91E-06	V_i	-114.15
-1257143	2514286	2742857.1	7485714		θ_j	0	M_j	17.95
-2514286	1028571	7485714.3	58971429		δ_j	1.76E-06	V_j	105.63

Çizelge 3.45 : Örnek-2 Dördüncü adım 2-3 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)			
2742857	-7485714	-1257143	-2514286
-7485714	58971429	2514285.7	1028571
-1257143	2514286	2742857.1	7485714
-2514286	1028571	7485714.3	58971429

x

θ_i	0
δ_i	1.76E-06
θ_j	2.77E-06
δ_j	1.14E-06

=

M_i	19.50
V_i	-111.80
M_j	20.52
V_j	89.52

Çizelge 3.46 : Örnek-2 Dördüncü adım 3-4 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
2742857	-7485714	-1257143	-2514286	x	θ_i	2.77E-06	M_i	2.40
-7485714	58971429	2514285.7	1028571		δ_i	1.14E-06	V_i	-74.50
-1257143	2514286	2742857.1	7485714		θ_j	1.38E-05	M_j	-10.00
-2514286	1028571	7485714.3	58971429		δ_j	-6.31E-06	V_j	-274.70

Çizelge 3.47 : Örnek-2 Dördüncü adım 10-11 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
2742857	-7485714	-1257143	-2514286	x	θ_i	-0.000117	M_i	680.75
-7485714	58971429	2514285.7	1028571		δ_i	2.24E-05	V_i	-1844.69
-1257143	2514286	2742857.1	7485714		θ_j	-0.000213	M_j	991.55
-2514286	1028571	7485714.3	58971429		δ_j	0.000183	V_j	9537.31

Çizelge 3.48 : Örnek-2 Dördüncü adım 11-12 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)			
2742857	-7485714	-1257143	-2514286
-7485714	58971429	2514285.7	1028571
-1257143	2514286	2742857.1	7485714
-2514286	1028571	7485714.3	58971429

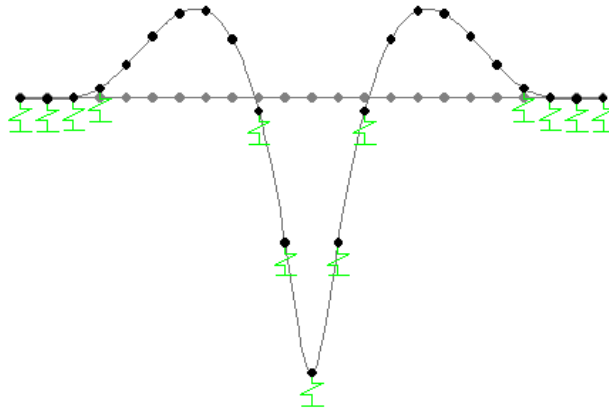
x

θ_i	-0.000213
δ_i	0.0001834
θ_j	0
δ_j	0.0003466

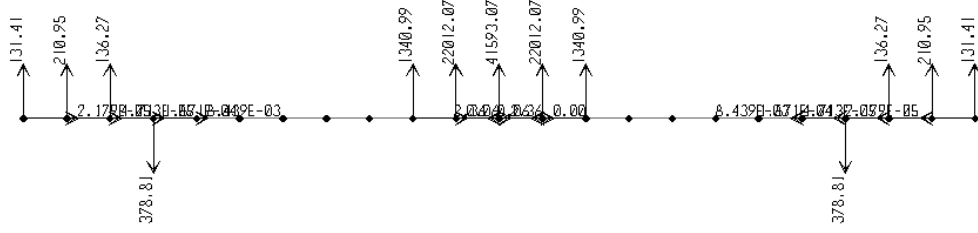
=

Mi	2828.56
Vi	-12766.32
Mj	3323.44
Vj	21163.68

Yukardaki çizelgelerde dördüncü adım sonucunda zemin düşey yay ve kayma parametrelerinin yol açtığı uç kuvvetleri verilmiştir. Şekil 3.26 ve 3.27’de dördüncü adım sonunda SAP2000 analiz programından alınan sonuçlar gösterilmiştir. Dışardan yapılan hesapta her bir çubuk için hesaplanan V_i - V_j farklarına ait sonuçlar çizelge 3.49’da verilmiştir. Burada, 3 nolu çubukta ayrılma gözlenmiştir. Söz konusu çubuğun ve simetriğindeki çubuğun yay ve p-delta force atamaları silinerek sistem tekrar çözülecektir.



Şekil 3.26 : Örnek-2 Dördüncü adım yerdeğiştirme grafiği.



Şekil 3.27 : Örnek-2 Dördüncü adım SAP2000 yay kuvvetleri.

Çizelge 3.49 : Örnek-2 Dördüncü adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.

Çubuk no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Kesme Kuvveti	-219.8	-201.3	200.2	-	-	-	-	-	-	-.11E5	-.33E5

3.2.6 Beşinci adım hesap sonuçları

Beşinci adım SAP2000 analizi sonuçları çizelge 3.50’de verilmiştir. Çizelge 3.51-3.54’te zemin tepkisinden doğan iç kuvvetler verilmiştir.

Çizelge 3.50 : Örnek-2 Beşinci adım SAP2000 analiz sonuçları.

Düğüm Noktası	Düşey Yerdeğiştirme (m)	Dönme (1/m)	Kesme Kuvveti (kN)	Moment (kNm)
1	0.000001565	0	-171.46	-1.77
2	0.000001384	0.000001680	-250.94	-128.56
3	-0.000003926	0.00001044	71.21	-399.92
4	-0.00002051	0.00002210	157.81	-285.41
5	-0.00004637	0.00002850	244.41	-84.30
6	-0.00007480	0.00002676	331.01	203.42
7	-0.00009621	0.00001398	417.61	577.73
8	-0.00009812	-0.00001272	504.22	1038.65
9	-0.00006516	-0.00005623	590.82	1586.16
10	0.00002090	-0.0001194	-576.76	2220.28
11	0.0001836	-0.0002137	-22516.45	3638.61
12	0.0003470	0	-22429.85	-16873.13

Çizelge 3.51 : Örnek-2 Beşinci adım 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)							
2742857	-7485714	-1257143	-2514286	θ_i	0	M_i	17.31
-7485714	58971429	2514285.7	1028571	δ_i	1.91E-06	V_i	-97.94
-1257143	2514286	2742857.1	7485714	θ_j	0	M_j	18.90
-2514286	1028571	7485714.3	58971429	δ_j	1.76E-06	V_j	95.80

Çizelge 3.52 : Örnek-2 Beşinci adım 2-3 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)							
2742857	-7485714	-1257143	-2514286	θ_i	1.68E-06	M_i	9.01
-7485714	58971429	2514285.7	1028571	δ_i	1.38E-06	V_i	-91.25
-1257143	2514286	2742857.1	7485714	θ_j	1.04E-05	M_j	0.61
-2514286	1028571	7485714.3	58971429	δ_j	-3.93E-06	V_j	-156.17

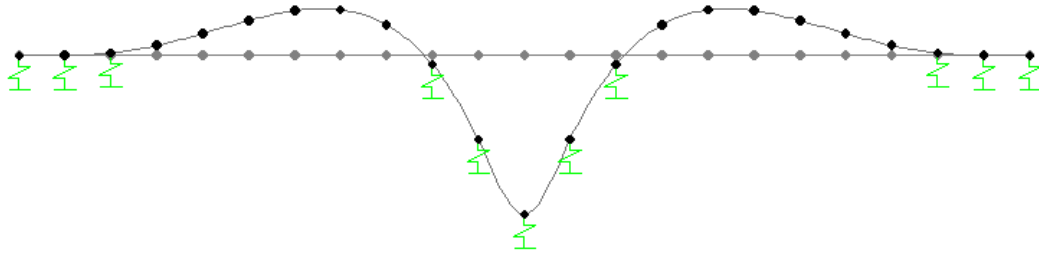
Çizelge 3.53 : Örnek-2 Beşinci adım 10-11 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)							
2742857	-7485714	-1257143	-2514286	θ_i	-0.000119	M_i	676.92
-7485714	58971429	2514285.7	1028571	δ_i	2.09E-05	V_i	-1777.84
-1257143	2514286	2742857.1	7485714	θ_j	-0.000214	M_j	990.88
-2514286	1028571	7485714.3	58971429	δ_j	0.000184	V_j	9549.16

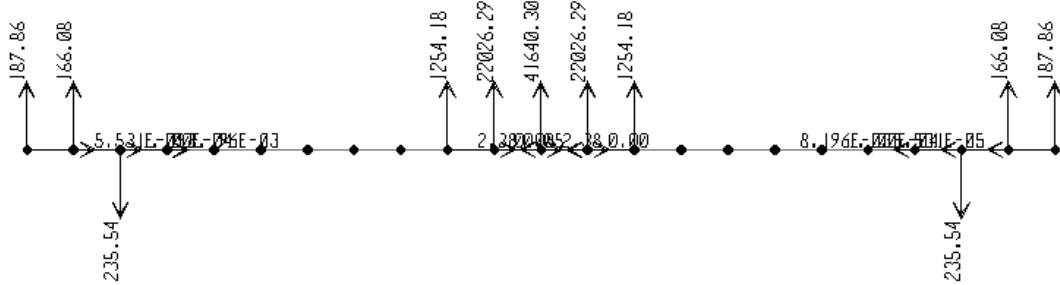
Çizelge 3.54 : Örnek-2 Beşinci adım 11-12 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)							
2742857	-7485714	-1257143	-2514286	θ_i	-0.0002137	M_i	2832.98
-7485714	58971429	2514285.7	1028571	δ_i	0.0001836	V_i	-12783.77
-1257143	2514286	2742857.1	7485714	θ_j	0	M_j	3327.82
-2514286	1028571	7485714.3	58971429	δ_j	0.000347	V_j	21189.23

Yukardaki çizelgelerde beşinci adım sonucunda zemin düşey yay ve kayma parametrelerinin yol açtığı uç kuvvetleri verilmiştir. Şekil 3.28 ve 3.29’da beşinci adım sonunda SAP2000 analiz programından alınan sonuçlar gösterilmiştir. Dışardan yapılan hesapta her bir çubuk için hesaplanan $V_i - V_j$ farklarına ait sonuçlar çizelge 3.55’te verilmiştir. Burada, 2 nolu çubukta ayrılma gözlenmiştir. Söz konusu çubuğun ve simetriğindeki çubuğun yay ve p-delta force atamaları silinerek sistem tekrar çözülecektir.



Şekil 3.28 : Örnek-2 Beşinci adım yerdeğiştirme grafiği.



Şekil 3.29 : Örnek-2 Beşinci adım SAP2000 yay kuvvetleri.

Çizelge 3.55 : Örnek-2 Beşinci adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.

Çubuk no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Kesme Kuvveti	-193.7	64.92	-	-	-	-	-	-	-	-.11E5	-.34E5

3.2.7 Altıncı adım hesap sonuçları

Altıncı adım SAP2000 analizi sonuçları çizelge 3.56’da verilmiştir. Çizelge 3.57-3.59’da zemin tepkisinden doğan iç kuvvetler verilmiştir.

Çizelge 3.56 : Örnek-2 Altıncı adım SAP2000 analiz sonuçları.

Düğüm Noktası	Düşey Yerdeğiştirme (m)	Dönme (1/m)	Kesme Kuvveti (kN)	Moment (kNm)
1	0.000001493	0	-220.41	-71.35
2	-0.000001564	0.000006639	-39.99	-285.15
3	-0.00001306	0.00001633	46.61	-281.83
4	-0.00003370	0.00002447	133.22	-191.92
5	-0.00006051	0.00002816	219.82	-15.40
6	-0.00008758	0.00002453	306.42	247.72
7	-0.0001062	0.00001068	393.02	597.44
8	-0.0001046	-0.00001626	479.62	1033.76
9	-0.00006831	-0.00005920	566.22	1556.69
10	0.00002010	-0.0001210	-553.09	2166.21
11	0.0001836	-0.0002141	-22502.59	3618.85
12	0.0003472	0	-22415.99	-16877.25

Çizelge 3.57 : Örnek-2 Altıncı adım 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)							
2742857	-7485714	-1257143	-2514286	θ_i	0	M_i	15.59
-7485714	58971429	2514285.7	1028571	δ_i	1.49E-06	V_i	-103.13
-1257143	2514286	2742857.1	7485714	θ_j	6.64E-06	M_j	10.26
-2514286	1028571	7485714.3	58971429	δ_j	-1.56E-06	V_j	-41.00

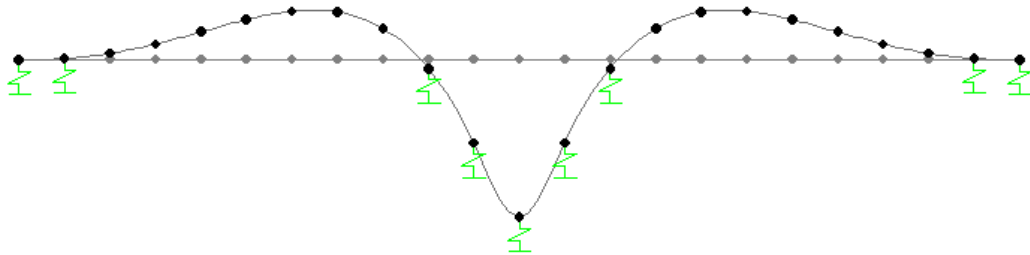
Çizelge 3.58 : Örnek-2 Altıncı adım 10-11 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
2742857	-7485714	-1257143	-2514286	x	θ_i	-0.000121	M_i	674.82
-7485714	58971429	2514285.7	1028571		δ_i	0.0000201	V_i	-1741.63
-1257143	2514286	2742857.1	7485714		θ_j	-0.0002141	M_j	989.78
-2514286	1028571	7485714.3	58971429		δ_j	0.0001836	V_j	9549.37

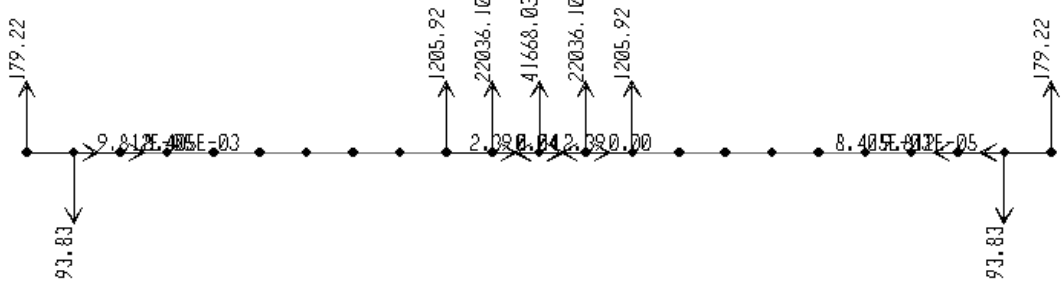
Çizelge 3.59 : Örnek-2 Altıncı adım 11-12 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)				x			=		
2742857	-7485714	-1257143	-2514286		θ_i	-0.0002141		M_i	2834.58
-7485714	58971429	2514285.7	1028571		δ_i	0.0001836		V_i	-12786.97
-1257143	2514286	2742857.1	7485714		θ_j	0		M_j	3329.82
-2514286	1028571	7485714.3	58971429	δ_j	0.0003472	V_j	21202.03		

Yukardaki çizelgelerde altıncı adım sonucunda zemin düşey yay ve kayma parametrelerinin yol açtığı uç kuvvetleri verilmiştir. Şekil 3.30 ve 3.31’de beşinci adım sonunda SAP2000 analiz programından alınan sonuçlar gösterilmiştir. Dışardan yapılan hesapta (1-2) çubuğunda V_i - V_j farkı ($-103.13 - 41.00 = -62.13$) negatif çıktığından sistemin zeminden ayrılmasının bu adımda durduğu görülmektedir. Bu durumda sonsuz uzunluktaki temel kirişinin 8 metrelik bölümü nihai aşamada zeminden ayrılmaktadır. Buna karşın 4 metrelik kiriş orta bölümü zemine temas etmektedir. Bu değer referans çalışmada 3.05 metre olarak verilmiştir. Final durumda zeminden gelen kesme kuvvetleri çizelge 3.60’ta verilmiştir.



Şekil 3.30 : Örnek-2 Altıncı adım yerdeğiştirme grafiği.



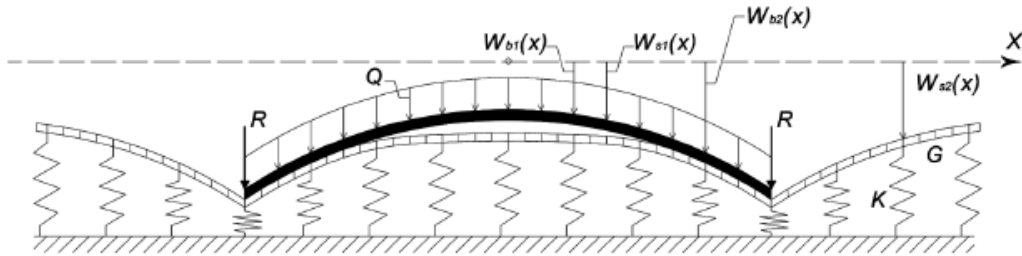
Şekil 3.31 : Örnek-2 Altıncı adım SAP2000 yay kuvvetleri.

Çizelge 3.60 : Örnek-2 Altıncı adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.

Çubuk no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Kesme Kuvveti	-62.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-.34E5

3.3 Örnek 3

Bu örnekte Zekai Celep ve Ünal Demir (2007) tarafından yayınlanan symmetrically loaded beam on a two-parameter tensionless foundation makalesindeki sayısal örnek çözülecektir. Referans çalışmada hesap parametreleri boyutsuz olarak verilmiş ve parametrik çalışma sonuçları çizelgeler halinde gösterilmiştir. Çözülecek örneğe ait sistem prensibi şekil 3.32’de gösterilmiştir.



Şekil 3.32 : İki ucundan basınca maruz sonlu kiriş.

L uzunluğuna sahip sonlu kirişin iki ucuna yer çekimi doğrultusunda simetrik yükleme yapılacaktır. Bu durumda kiriş ortasında zeminden ayrılma oluşacaktır. Hesap parametreleri ve model bilgileri çizelge 3.61’de verilmiştir.

Çizelge 3.61 : Örnek 3 Hesap parametreleri.

Parametre	Açıklama	Değer	Birim
L	kiriş uzunluğu	10	m
EI	kiriş eğilme rijitliği	3000	kNm ²
R	noktasal yük	300	kN
K	winkler yay sabiti	285	kN/m ²
G	kayma parametresi	150	kN

Burada

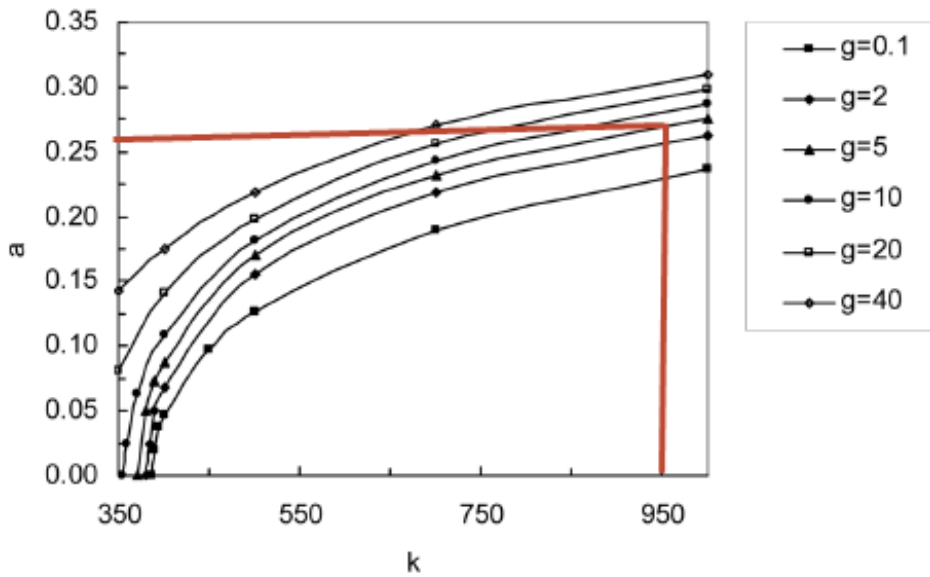
$r = R/L$ boyutsuz noktasal yük

$k = KL^4/EI$ boyutsuz winkler yayı

$g = GL^2/EI$ boyutsuz kayma parametresi

olmak üzere sırasıyla bu değerler 10, 950 ve 5 seçilmiştir. Referans çalışmada seçili değerler için hesaplanan temelden ayrılan bölge uzunluğu şekil 3.33’de verilmiştir.

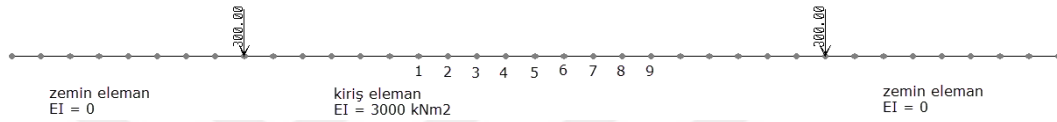
Burada a; boyutsuz ayrılma yüzeyi olup $2A/L$ formülü ile hesaplanır.



Şekil 3.33 : Örnek 3 winkler yayı ve zemin kayma parametresi ile ayrılma bölgesi uzunluğunun değişimi.

3.3.1 Sap2000 girdi bilgileri

Sonlu eleman hesap modelinde 1.86x1.86 m genişliğinde temel kirişi modellenmiştir. Öncelikli olarak malzeme tanımı yapılmıştır. Hesapta yayılı yük alınmadığından malzeme birim ağırlığı 0 girilmiştir. Elastisite modülü 3000 kNm²'dir. İlk iki örnekten farklı olarak burada zemin elemanlar tanımlanmıştır. Sonlu kirişin zeminle olan etkileşimi modele yansıtılmıştır. Zemin elemanlar; eksenel rijitliği çok büyük, eğilme ve kayma rijitlikleri çok küçük olarak girilen fiktif elemanlardan teşkil edilmiştir. Şekil 3.34'te hesap modelinde girilen yükler ve göz önüne alınacak düğüm noktaları gösterilmiştir. Verilen yük ve yay parametreleri altında sistem çözülecektir.



Şekil 3.34 : Örnek 3 Hesap modeli.

3.3.2 Birinci adım hesap sonuçları

İlk adım analiz sonucunda ölçülen düğüm noktası yerdeğiştirmeleri ve iç kuvvetler çizelge 3.62'de verilmiştir. Sistem geometrik ve yükleme bakımından simetrik olduğundan sistemin yarısıyla hesap yapılmıştır.

Çizelge 3.62 : Örnek-3 Birinci adım SAP2000 analiz sonuçları.

Düğüm Noktası	Düşey Yerdeğiştirme (m)	Dönme (1/m)	Kesme Kuvveti (kN)	Moment (kNm)
1	0.04753	0.07970	5.35	133.34
2	0.01312	0.05817	5.35	125.40
3	-0.01086	0.03791	7.22	118.12
4	-0.02497	0.01868	5.67	113.13
5	-0.02963	0	2.11	111.36

Çizelge 3.63-3.66'da sadece zemin düşey yayları ve kayma parametresinin rijitlik matrisleri ile uç yerdeğiştirmeleri çarpılmış ve sonuçlar gösterilmiştir. Pozitif kesme kuvvetleri bulunmuştur.

Çizelge 3.63 : Örnek -3 Birinci Adım 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)			
10.34	-18.73	-2.75	12.79
-18.73	412.93	-12.79	-341.68
-2.75	-12.79	10.34	18.73
12.79	-341.69	18.73	412.93

x

θ_i	0.0797
δ_i	0.04753
θ_j	0.05817
δ_j	0.01312

=

M_i	0.06
V_i	-12.91
M_j	0.02
V_j	-8.71

Çizelge 3.64 : Örnek -3 Birinci Adım 2-3 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
10.34	-18.73	-2.75	12.79	x	θ_i	0.05817	M_i	-0.11
-18.73	412.93	-12.79	-341.68		δ_i	0.01312	V_i	-7.55
-2.75	-12.79	10.34	18.73		θ_j	0.03791	M_j	-0.14
12.79	-341.69	18.73	412.93		δ_j	-0.01086	V_j	-7.51

Çizelge 3.65 : Örnek -3 Birinci Adım 3-4 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
10.34	-18.73	-2.75	12.79	x	θ_i	0.03791	M_i	-0.23
-18.73	412.93	-12.79	-341.68		δ_i	-0.0109	V_i	-3.08
-2.75	-12.79	10.34	18.73		θ_j	0.01868	M_j	-0.24
12.79	-341.69	18.73	412.93		δ_j	-0.02497	V_j	-5.75

Çizelge 3.66 : Örnek -3 Birinci Adım 4-4 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)			
10.34	-18.73	-2.75	12.79
-18.73	412.93	-12.79	-341.68
-2.75	-12.79	10.34	18.73
12.79	-341.69	18.73	412.93

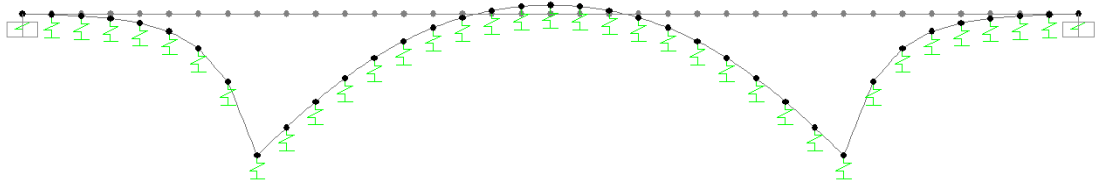
x

θ_i	0.01868
δ_i	-0.02497
θ_j	0
δ_j	-0.02963

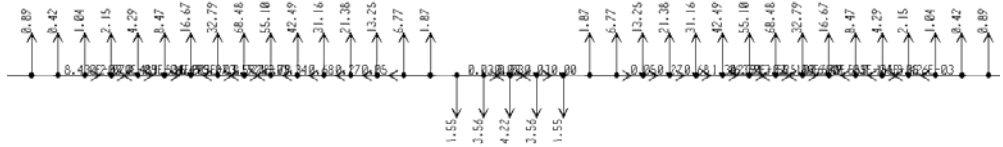
=

M_i	-0.28
V_i	0.54
M_j	-0.29
V_j	-3.46

Yukardaki çizelgelerde birinci adım sonucunda zemin düşey yay ve kayma parametrelerinin yol açtığı uç kuvvetleri verilmiştir. Şekil 3.35 ve 3.36’da birinci adım sonunda SAP2000 analiz programından alınan sonuçlar gösterilmiştir.



Şekil 3.35 : Örnek-3 Birinci adım yerdeğiştirme grafiği.



Şekil 3.36 : Örnek-3 Birinci adım SAP2000 yay kuvvetleri.

Her bir çubuk için hesaplanan uç kuvvetleri farkları çizelge 3.67’de özetlenmiştir. Bu durumda 3-4 ve 4-5 çubuklarında zeminden ayrılma görülmüştür. Bu çubuklara ait yay atamaları silinerek sistem ikinci kez çözülecektir.

Çizelge 3.67 : Örnek-3 Birinci adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.

Çubuk no	1	2	3	4
Kesme Kuvveti	-4.20	-0.04	2.67	2.92

3.3.3 İkinci adım hesap sonuçları

Çizelge 3.68’de ikinci adımda ölçülen yerdeğiştirme ve iç kuvvet değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.68 : Örnek-3 İkinci adım SAP2000 analiz sonuçları.

Düğüm Noktası	Düşey Yerdeğiştirme (m)	Dönme (1/m)	Kesme Kuvveti (kN)	Moment (kNm)
1	0.03803	0.08350	1.45	133.88
2	0.00177	0.06174	1.45	127.61
3	-0.02386	0.04091	1.70	122.84
4	-0.03920	0.02045	0	122.79
5	-0.04431	0	0	122.78

Çizelge 3.69 ve 3.70’de sadece zemin düşey yayları ve kayma parametresinin rijitlik matrisleri ile uç yerdeğiştirmeleri çarpılmış ve sonuçlar gösterilmiştir. Pozitif kesme kuvvetleri bulunmuştur.

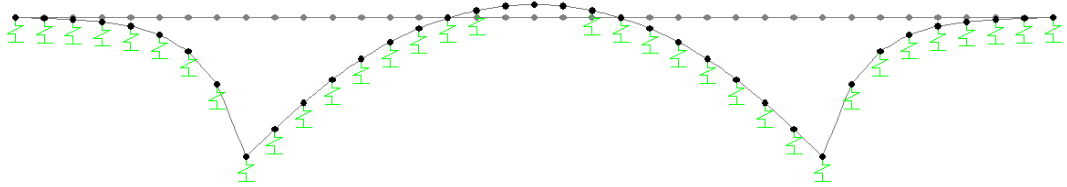
Çizelge 3.69 : Örnek -3 İkinci Adım 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)				x			=		
10.34	-18.73	-2.75	12.79		θ_i	0.0835		M_i	0.00
-18.73	412.93	-12.79	-341.68		δ_i	0.03803		V_i	-12.74
-2.75	-12.79	10.34	18.73		θ_j	0.06174		M_j	-0.05
12.79	-341.69	18.73	412.93	δ_j	0.00177	V_j	-10.04		

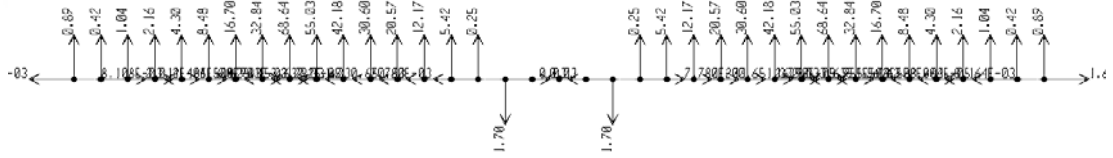
Çizelge 3.70 : Örnek -3 İkinci Adım 2-3 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
10.34	-18.73	-2.75	12.79	x	θ_i	0.06174	M_i	-0.19
-18.73	412.93	-12.79	-341.68		δ_i	0.00177	V_i	-7.20
-2.75	-12.79	10.34	18.73		θ_j	0.04091	M_j	-0.22
12.79	-341.69	18.73	412.93		δ_j	-0.02386	V_j	-8.90

Yukardaki çizelgelerde görüldüğü gibi 2-3 çubuğunda zeminden ayrılma oluşmuştur. SAP2000 analiz modelinde ikinci adımda oluşan yer değiştirme ve düğüm tepkileri şekil 3.37 ve 3.38’de gösterilmiştir. Sadece zemin tepkisinden doğan kuvvetler ise çizelge 3.71’de özetlenmiştir. Zeminden ayrılan 2-3 çubuğunun da yay atamaları silinerek sistem tekrar çözülecektir.



Şekil 3.37 : Örnek-3 İkinci adım SAP2000 yerdeğiştirme grafiği.



Şekil 3.38 : Örnek-3 İkinci adım SAP2000 yay kuvvetleri.

Çizelge 3.71 : Örnek-3 İkinci adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.

Çubuk no	1	2	3	4
Kesme Kuvveti	-2.71	1.70	-	-

3.3.4 Üçüncü adım hesap sonuçları

Çizelge 3.72’de üçüncü adımda ölçülen yerdeğiştirme ve iç kuvvet değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.72 : Örnek-3 Üçüncü adım SAP2000 analiz sonuçları.

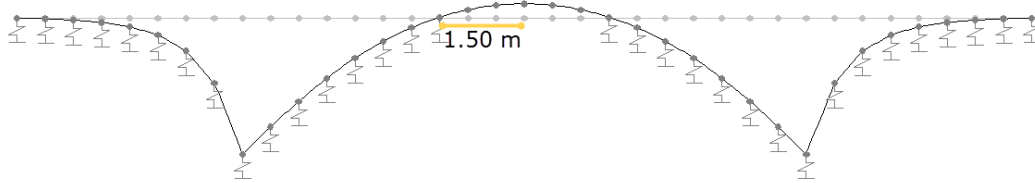
Düğüm Noktası	Düşey Yerdeğiştirme (m)	Dönme (1/m)	Kesme Kuvveti (kN)	Moment (kNm)
1	0.03423	0.08538	0.21	133.33
2	-0.00300	0.06368	0.21	127.53
3	-0.02953	0.04244	0	127.45
4	-0.04544	0.02122	0	122.41
5	-0.05075	0	0	127.39

Çizelge 3.73'te sadece zemin düşey yayları ve kayma parametresinin rijitlik matrisleri ile uç yerdeğiştirmeleri çarpılmış ve sonuçlar gösterilmiştir. Pozitif kesme kuvvetleri bulunmuştur.

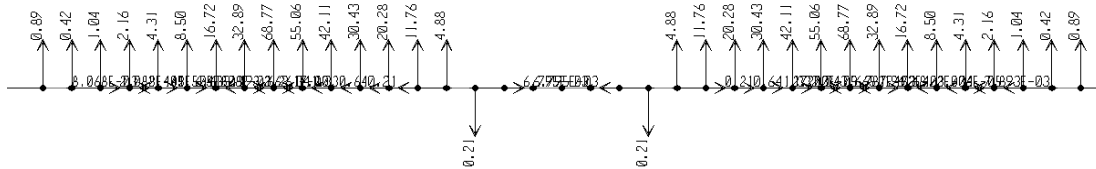
Çizelge 3.73 : Örnek -3 Üçüncü Adım 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
10.34	-18.73	-2.75	12.79	x	θ_i	0.08538	M_i	-0.03
-18.73	412.93	-12.79	-341.68		δ_i	0.03423	V_i	-12.75
-2.75	-12.79	10.34	18.73		θ_j	0.06368	M_j	-0.07
12.79	-341.69	18.73	412.93		δ_j	-0.003	V_j	-10.65

Çizelge 3.73'te görüldüğü gibi üçüncü adım sonunda V_i-V_j farkı negatiftir, zeminden ayrılma görülmemiştir. Ardışık yaklaşık sona ermiştir. Üçüncü adım sonundaki SAP2000 düğüm noktası yerdeğiştirme ve tepkileri şekil 3.39 ve 3.40'da gösterilmiştir.



Şekil 3.39 : Örnek-3 Üçüncü adım yerdeğiştirme grafiğı.



Şekil 3.40 : Örnek-3 Üçüncü adım SAP2000 yay kuvvetleri.

Örnek-3'te referans çalışmada seçilen kesit özelliklerinde zeminden ayrılan bölge uzunluğu $a, 0.26 \times 10 / 2 = 1.3$ m olarak verilmiştir. Bu çalışmada aynı hesap

parametreleri altında yapılan çözümde ayrılma bölgesi uzunluğu 1.50 m olarak bulunmuştur. Analiz sonuçları birbirine oldukça yakındır. Final durumdaki zemin tepkisinden gelen kesme kuvvetleri çizelge 3.74'te verilmiştir.

Çizelge 3.74 : Örnek-3 Üçüncü adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.

Çubuk no	1	2	3	4
Kesme Kuvveti	-2.10	-	-	-

3.4 Örnek 4

Bu örnekte Zekai Celep ve Ünal Demir (2007) tarafından yayınlanan symmetrically loaded beam on a two-parameter tensionless foundation makalesindeki sayısal örnek, parametreleri değiştirilerek tekrar çözülecektir. Bu çalışmada, seçilen zemin ve yük parametreleri altında kiriş düşey yerdeğiştirmesi ölçülecektir. Yükleme ve davranış prensip detayı Örnek 3'teki gibidir. Probleme ait seçilen parametreler çizelge 3.75'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.75 : Örnek -4 Hesap Parametreleri.

Parametre	Açıklama	Değer	Birim
L	kiriş uzunluğu	10	m
EI	kiriş eğilme rijitliği	3000	kNm ²
R	noktasal yük	300	kN
K	winkler yay sabiti	300	kN/m ²
G	kayma parametresi	900	kN

Burada

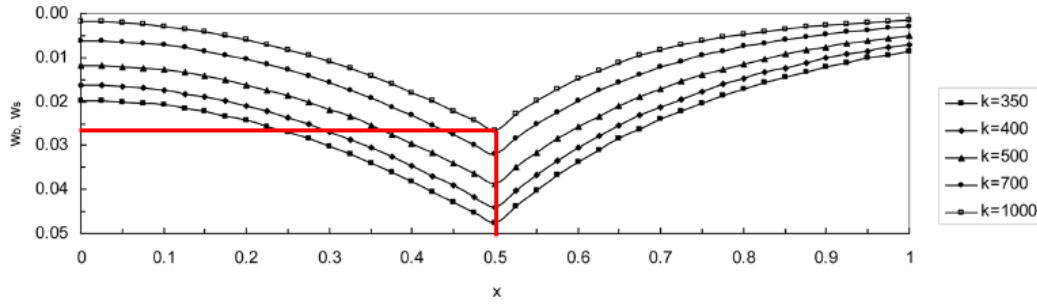
$$r = R/L \quad \text{boyutsuz noktasal yük}$$

$$k = KL^4/EI \quad \text{boyutsuz winkler yayı}$$

$$g = GL^2/EI \quad \text{boyutsuz kayma parametresi}$$

olmak üzere sırasıyla bu değerler 10, 1000 ve 30 seçilmiştir. Referans çalışmada seçili değerler için hesaplanan maksimum yerdeğiştirme şekil 3.41'de verilmiştir. Burada w; boyutsuz temel kirişi yerdeğiştirmesi olup, düşey yerdeğiştirmenin kiriş

uzunluğuna oranı ile ölçülmektedir. Şekil 3.41’de görüldüğü gibi seçili parametreler altında okunan rölatif yerdeğiştirme değeri, $0.026 \times 10 = 0.26$ m’dir.



Şekil 3.41 : Örnek 4 temel kirişi yerdeğiştirmesi ile k yay sabiti ilişkisi.

SAP2000 hesap modelinde zemin ve kiriş elemanlar ayrı ayrı modellenmiştir. Yapısal sisteme ait yükleme bilgileri şekil 3.42’de, malzeme özellikleri ise şekil 3.43’te verilmiştir.



Şekil 3.42 : Örnek 4 SAP2000 modeli malzeme özellikleri.

Şekil 3.44’de hesap modeline tanımlanan elemana atanmış yay katsayıları görülmektedir.

Material Property Data

General Data
Material Name and Display Color: MAT
Material Type: Concrete
Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass
Weight per Unit Volume: 0
Mass per Unit Volume: 0
Units: KN, m, C

Isotropic Property Data
Modulus of Elasticity, E: 3000
Poisson's Ratio, U: 0.2
Coefficient of Thermal Expansion, A: 9.900E-06
Shear Modulus, G: 1250

Other Properties for Concrete Materials
Specified Concrete Compressive Strength, f_c: 1
☐ Lightweight Concrete
Shear Strength Reduction Factor:
☐ Switch To Advanced Property Display

Property Data

Section Name: KIRIS

Properties
Cross-section (axial) area: 3.4652
Torsional constant: 1.6911
Moment of Inertia about 3 axis: 1.0006
Moment of Inertia about 2 axis: 1.0006
Shear area in 2 direction: 2.8877
Shear area in 3 direction: 2.8877

Şekil 3.43 : Örnek 4 SAP2000 modeli malzeme ve kesit özellikleri.

Object Model - Line Information

Location Assignments Loads Design

Identification

Label 208 Design Procedure Concrete Frame

Section Property	KIRIS
Property Modifiers	None
Material Overwrite	None
Releases	None
Partial Fixity Springs	None
Local Axes	Default
Insertion Point	Default
End Length Offsets	None
Max. Station Spacing	0.5
Station at Elm Intersect	Yes
Station at Conc Loads	Yes
P-Delta Force	
Direction	Local 1
Force	900
T/C Limits	None
Nonlinear Hinges	None
Line Spring	
Spring Type	Simple
Stiffness/Length	300.
Springs Resists	Tension and Compressi

KN, m, C

Reset All

Update Display

Modify Display

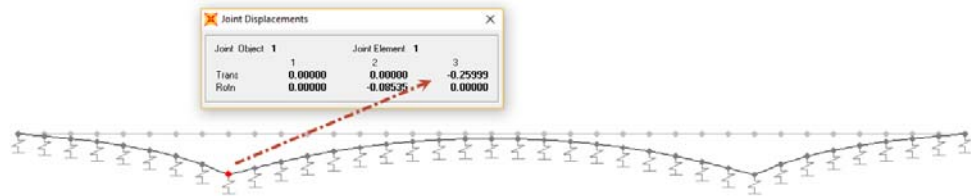
OK

Cancel

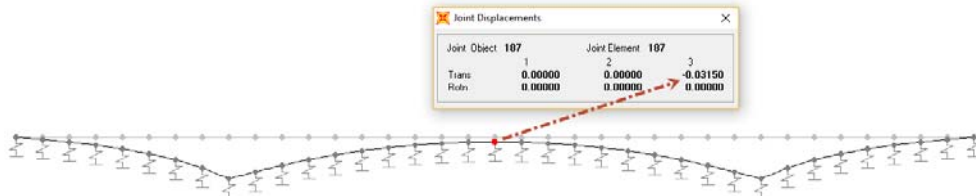
Double click white background cell to edit item.

Şekil 3.44 : Örnek 4 SAP2000 modeli yay atamaları.

Yukardaki bilgiler ışığında sistem çözülmüştür. Tek adımda sonuçlandırılan hesapta orta nokta yerdeğiştirmesi değeri okunmuş ve referans çalışma ile karşılaştırılmıştır. Analiz sonucunda ortaya çıkan deforme olmuş şekil ve uç yerdeğiştirmesi değerleri şekil 3.45 ve 3.46'da gösterilmiştir.



Şekil 3.45 : Örnek 4 Analiz sonucu maksimum yer değıştirme.

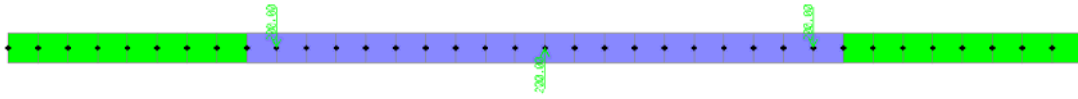


Şekil 3.46 : Örnek 4 Analiz sonucu minimum yer değıştirme.

Yukarda görüldüğü gibi temel kirişı rölatif yerdeğiştirmesi değeri $0.26 - 0.03 = 0.23$ m bulunmuştur. Referans çalışmada verilen 0.26 m ile yeterince yakınsamıştır.

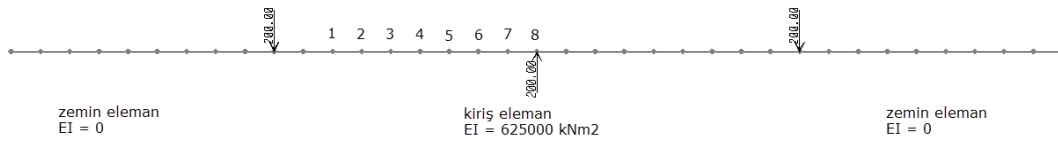
3.5 Örnek 5

Çekme ve basınç kuvvetlerine maruz temel kirişi modellenmiştir. Pratikte karşılaşılabilecek mertebelerde yük ve zemin parametreleri kullanılmıştır. Sayısal örnekte 200/50 cm boyutlarında temel kirişine 200 kN'luk çekme ve basınç kuvvetleri girilmiştir. Malzeme olarak C25 betonunun elastisite modülü 30000000 kN/m² özellikleri atandı. Yapının yüklerini aktardığı zemin için ise 20000 kN/m winkler düşey yay katsayısı ve 10000 kN ikinci parametre kayma katsayısı girilmiştir. Analiz modeli şekil 3.47'de gösterilmiştir.



Şekil 3.47 : Örnek 5 Analiz modeli.

SAP2000 modeli nonlinear static çözülmüştür. Uç yerdeğiştirmeleri sistem rijitlik matrisi elamanları ile çarpılarak zemin yaylarından kaynaklanan pozitif uç kuvvetleri tesbit edilmiştir. Temelde ayrılma oluşan çubuklara atanan yaylar adım adım silinmiştir. Hesap modelinde kabul edilen düğüm noktası numaraları şekil 3.48'de gösterilmiştir.



Şekil 3.48 : Örnek 5 düğüm noktası numaraları.

3.5.1 Birinci adım hesap sonuçları

İlk adım analiz sonucunda ölçülen düğüm noktası yerdeğiştirmeleri ve iç kuvvetler çizelge 3.76'da verilmiştir. Sistem geometrik ve yükleme bakımından simetrik olduğundan sistemin yarısıyla hesap yapılmıştır.

Çizelge 3.76 : Örnek-5 Birinci adım SAP2000 analiz sonuçları.

Düğüm Noktası	Düşey Yerdeğiştirme (m)	Dönme (1/m)	Kesme Kuvveti (kN)	Moment (kNm)
1	0.00132	0.00105	-85.67	62.66
2	0.0008061	0.0009881	-85.67	100.38
3	0.0003344	0.0008942	-77.61	134.47
4	-0.00008359	0.0007735	-74.27	167.42
5	-0.0004346	0.000626	-75.10	201.46
6	-0.0007048	0.000450	-79.45	238.49
7	-0.0008794	0.0002427	-86.50	279.99
8	-0.0009416	0	-95.29	327.01

Çizelge 3.77-3.83'te sadece zemin düşey yayları ve kayma parametresinin rijitlik matrisleri ile uç yerdeğiştirmeleri çarpılmış ve sonuçlar gösterilmiştir. Pozitif kesme kuvvetleri bulunmuştur.

Çizelge 3.77 : Örnek-5 Birinci adım 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
690.48	-1261.90	-184.52	845.24	x	θ_i	0.00105	M_i	0.44
-1261.90	27714.29	-845.24	-22714.29		δ_i	0.00132	V_i	-16.11
-184.52	-845.24	690.48	1261.90		θ_j	0.0009881	M_j	0.39
845.24	-22714.29	1261.90	27714.29		δ_j	0.0008061	V_j	-5.51

Çizelge 3.78 : Örnek-5 Birinci adım 2-3 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
690.48	-1261.90	-184.52	845.24	x	θ_i	0.0009881	M_i	0.22
-1261.90	27714.29	-845.24	-22714.29		δ_i	0.0008061	V_i	-12.74
-184.52	-845.24	690.48	1261.90		θ_j	0.0008942	M_j	0.18
845.24	-22714.29	1261.90	27714.29		δ_j	0.0003344	V_j	-7.08

Çizelge 3.79 : Örnek-5 Birinci adım 3-4 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
690.48	-1261.90	-184.52	845.24	x	θ_i	0.0008942	M_i	0.02
-1261.90	27714.29	-845.24	-22714.29		δ_i	0.0003344	V_i	-9.38
-184.52	-845.24	690.48	1261.90		θ_j	0.0007735	M_j	-0.02
845.24	-22714.29	1261.90	27714.29		δ_j	-8.359E-5	V_j	-8.18

Çizelge 3.80 : Örnek-5 Birinci adım 4-5 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
690.48	-1261.90	-184.52	845.24	x	θ_i	0.0007735	M_i	-0.16
-1261.90	27714.29	-845.24	-22714.29		δ_i	-8.359E-5	V_i	-6.05
-184.52	-845.24	690.48	1261.90		θ_j	0.000626	M_j	-0.19
845.24	-22714.29	1261.90	27714.29		δ_j	-4.346E-4	V_j	-8.70

Çizelge 3.81 : Örnek-5 Birinci adım 5-6 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
690.48	-1261.90	-184.52	845.24	x	θ_i	0.000626	M_i	-0.30
-1261.90	27714.29	-845.24	-22714.29		δ_i	-4.346E-4	V_i	-2.79
-184.52	-845.24	690.48	1261.90		θ_j	0.00045	M_j	-0.33
845.24	-22714.29	1261.90	27714.29		δ_j	-7.048E-4	V_j	-8.56

Çizelge 3.82 : Örnek-5 Birinci adım 6-7 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)				x			=		
690.48	-1261.90	-184.52	845.24		θ_i	0.00045		M_i	-0.41
-1261.90	27714.29	-845.24	-22714.29		δ_i	-7.048E-4		V_i	0.33
-184.52	-845.24	690.48	1261.90		θ_j	0.0002427		M_j	-0.43
845.24	-22714.29	1261.90	27714.29	δ_j	-8.794E-4	V_j	-7.68		

Çizelge 3.83 : Örnek-5 Birinci adım 7-8 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)			
690.48	-1261.90	-184.52	845.24
-1261.90	27714.29	-845.24	-22714.29
-184.52	-845.24	690.48	1261.90
845.24	-22714.29	1261.90	27714.29

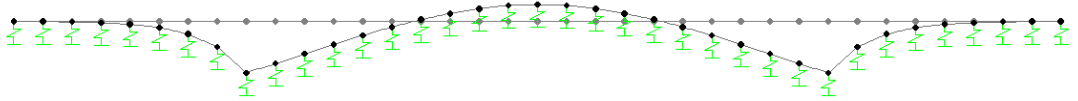
x

θ_i	0.0002427
δ_i	-8.794E-4
θ_j	0
δ_j	-9.416E-4

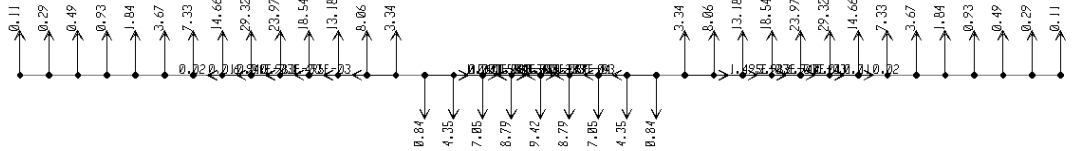
=

M_i	-0.48
V_i	3.29
M_j	-0.49
V_j	-5.92

Yukardaki çizelgelerde birinci adım sonucunda zemin düşey yay ve kayma parametrelerinin yol açtığı uç kuvvetleri verilmiştir. Birinci adım sonucunda SAP2000 modelinden alınan sonuçlar şekil 3.49 ve 3.50’de görülmektedir.



Şekil 3.49 : Örnek-5 Birinci adım yerdeğiştirme grafiği.



Şekil 3.50 : Örnek-5 Birinci adım SAP2000 yay kuvvetleri.

Her bir çubuk için hesaplanan uç kuvvetleri farkları çizelge 3.84’te özetlenmiştir. Bu durumda 4-5, 5-6, 6-7 ve 7-8 çubuklarında zeminden ayrılma görülmüştür. Bu çubuklara ait yay atamaları silinerek sistem ikinci kez çözülecektir.

Çizelge 3.84 : Örnek-5 Birinci adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.

Çubuk no	1	2	3	4	5	6	7
Kesme Kuvveti	-10.6	-5.66	-1.20	2.65	5.77	8.01	9.21

3.5.2 İkinci adım hesap sonuçları

İkinci adımda ölçülen düğüm noktası yerdeğiştirmeleri ve iç kuvvetler çizelge 3.85’te verilmiştir.

Çizelge 3.85 : Örnek-5 İkinci adım SAP2000 analiz sonuçları.

Düğüm Noktası	Düşey Yerdeğiştirme (m)	Dönme (1/m)	Kesme Kuvveti (kN)	Moment (kNm)
1	0.0009188	0.00125	-105.97	66.37
2	0.0003109	0.00118	-96.78	108.68
3	-0.0002535	0.00107	-93.67	149.87
4	-0.0007579	0.0009374	-96.21	192.94
5	-0.00118	0.0007630	-100.00	242.94
6	-0.00151	0.0005487	-100.00	292.94
7	-0.00173	0.0002943	-100.00	342.94
8	-0.00180	0	-100.00	392.94

Çizelge 3.86-3.88’de ilk adımdaki zeminden teması kesilen kirişlerin dışında kalan elemanlara ait kesit tesirleri verilmiştir.

Çizelge 3.86 : Örnek-5 İkinci adım 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
690.48	-1261.90	-184.52	845.24	x	θ_i	0.00125	M_i	0.25
-1261.90	27714.29	-845.24	-22714.29		δ_i	0.0009188	V_i	-15.83
-184.52	-845.24	690.48	1261.90		θ_j	0.00118	M_j	0.20
845.24	-22714.29	1261.90	27714.29		δ_j	0.0003109	V_j	-9.71

Çizelge 3.87 : Örnek-5 İkinci adım 2-3 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)			
690.48	-1261.90	-184.52	845.24
-1261.90	27714.29	-845.24	-22714.29
-184.52	-845.24	690.48	1261.90
845.24	-22714.29	1261.90	27714.29

θ_i

0.00118

δ_i

0.0003109

θ_j

0.00107

δ_j

-2.535E-4

$\times$

M_i

-0.01

V_i

-11.98

M_j

-0.06

V_j

-11.74

$=$

Çizelge 3.88 : Örnek-5 İkinci adım 3-4 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)			
690.48	-1261.90	-184.52	845.24
-1261.90	27714.29	-845.24	-22714.29
-184.52	-845.24	690.48	1261.90
845.24	-22714.29	1261.90	27714.29

θ_i

δ_i

θ_j

δ_j

0.00107

-2.535E-4

0.0009374

-7.579E-4

$\times$

$=$

M_i

V_i

M_j

V_j

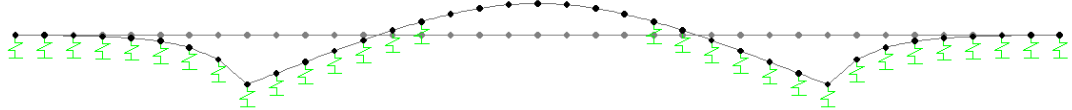
-0.25

-8.05

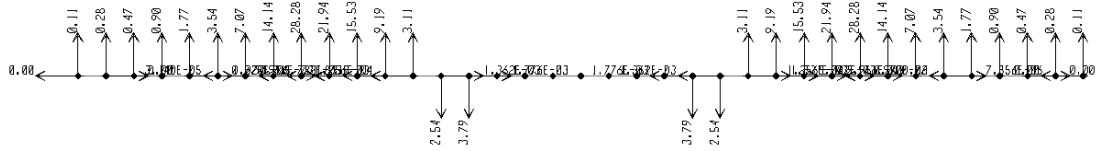
-0.29

-13.16

İkinci adım sonucunda SAP2000 modelinden alınan sonuçlar şekil 3.51 ve 3.52’de görülmektedir.



Şekil 3.51 : Örnek-5 İkinci adım yerdeğiştirme grafiği.



Şekil 3.52 : Örnek-5 İkinci adım SAP2000 yay kuvvetleri.

İkinci adım sonucunda zemin elemandan doğan kesme kuvvetleri 3-4 çubuğunda pozitif çıkmıştır. Tüm sonuçlara ait özet, çizelge 3.89’da verilmiştir. 3-4 çubuğuna ait yay atamaları silinerek sistem tekrar çözülecektir.

Çizelge 3.89 : Örnek-5 İkinci adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.

Çubuk no	1	2	3	4	5	6	7
Kesme Kuvveti	-6.12	-0.24	5.11	-	-	-	-

3.5.3 Üçüncü adım hesap sonuçları

Üçüncü adım analiz sonucunda ölçülen düğüm noktası yerdeğiştirmeleri ve iç kuvvetler çizelge 3.90’da verilmiştir.

Çizelge 3.90 : Örnek-5 Üçüncü adım SAP2000 analiz sonuçları.

Düğüm Noktası	Düşey Yerdeğiştirme (m)	Dönme (1/m)	Kesme Kuvveti (kN)	Moment (kNm)
1	0.000815	0.00129	-107.98	67.58
2	0.000184	0.00122	-99.83	111.18
3	-0.0004026	0.00112	-97.99	154.31
4	-0.0009270	0.0009738	-100.00	204.31
5	-0.00137	0.0007903	-100.00	254.31
6	-0.00171	0.0005669	-100.00	304.31
7	-0.00193	0.0003034	-100.00	354.31
8	-0.00201	0	-100.00	404.31

Çizelge 3.91 ve 3.92’de ilk iki adımda zeminden teması kesilen kirişlerin dışında kalan elemanlara ait kesit tesirleri verilmiştir.

Çizelge 3.91 : Örnek-5 Üçüncü adım 1-2 çubuğı sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
690.48	-1261.90	-184.52	845.24	x	θ_i	0.00129	M_i	0.21
-1261.90	27714.29	-845.24	-22714.29		δ_i	0.000815	V_i	-15.75
-184.52	-845.24	690.48	1261.90		θ_j	0.00122	M_j	0.15
845.24	-22714.29	1261.90	27714.29		δ_j	0.000184	V_j	-10.78

Çizelge 3.92 : Örnek-5 Üçüncü adım 2-3 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)			
690.48	-1261.90	-184.52	845.24
-1261.90	27714.29	-845.24	-22714.29
-184.52	-845.24	690.48	1261.90
845.24	-22714.29	1261.90	27714.29

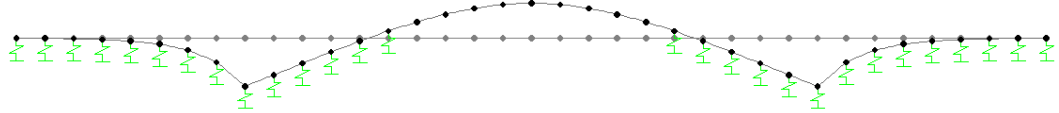
x

θ_i	0.00122
δ_i	0.000184
θ_j	0.00112
δ_j	-4.026E-4

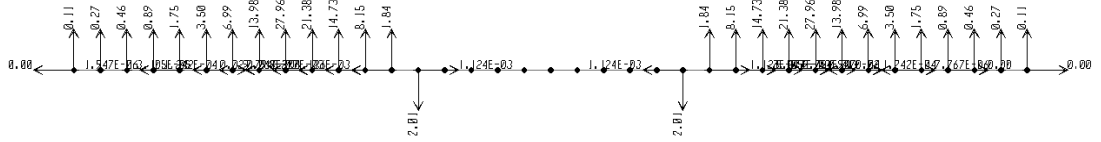
=

M_i	-0.06
V_i	-11.76
M_j	-0.12
V_j	-12.89

Üçüncü adım sonucunda SAP2000 modelinden alınan sonuçlar şekil 3.53 ve 3.54’de görülmektedir.



Şekil 3.53 : Örnek-5 Üçüncü adım yerdeğiştirme grafiği.



Şekil 3.54 : Örnek-5 Üçüncü adım SAP2000 yay kuvvetleri.

Üçüncü adım sonucunda 2-3 çubuğunun zeminden ayrıldığı gözlenmiştir. Tüm sonuçlara ait özet, çizelge 3.93’te verilmiştir.

Çizelge 3.93 : Örnek-5 Üçüncü adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.

Çubuk no	1	2	3	4	5	6	7
Kesme Kuvveti	-4.79	1.13	-	-	-	-	-

3.5.4 Dördüncü adım hesap sonuçları

Dördüncü adımda 2-3 çubuğuna atanan yaylar silindikten sonra tekrar çözüm yapılmıştır. Hesap modelinden elde edilen sonuçlar çizelge 3.94’te gösterilmiştir.

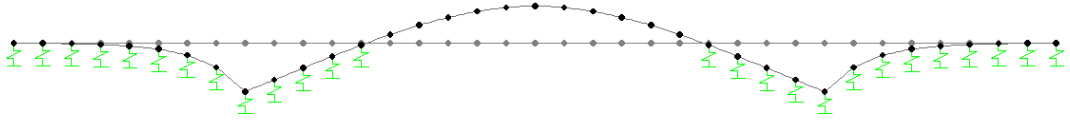
Çizelge 3.94 : Örnek-5 Dördüncü adım SAP2000 analiz sonuçları.

Düğüm Noktası	Düşey Yerdeğiştirme (m)	Dönme (1/m)	Kesme Kuvveti (kN)	Moment (kNm)
1	0.000772	0.00133	-108.35	67.34
2	0.0001258	0.00125	-100.63	111.19
3	-0.0004755	0.00114	-100.00	161.19
4	-0.00101	0.0009958	-100.00	211.19
5	-0.00146	0.0008069	-100.00	261.19
6	-0.00181	0.0005779	-100.00	311.19
7	-0.00204	0.0003090	-100.00	361.19
8	-0.00211	0	-100.00	411.19

Dördüncü adım sonucunda 1-2 çubuğunda sadece zeminden gelen kesit zorları çizelge 3.95’de görülmektedir. Burada $V_i - V_j$ farkı (-4.46) negatif olduğundan söz konusu çubuğun zeminden ayrıldığı anlaşılmaktadır. Ardışık yaklaşım sona ermiştir. Nihai durumda hesap modelinden alınan yerdeğiştirme ve yay kuvvetleri şekil 3.55 ve 3.56’da gösterilmiştir. Ardışık yaklaşım sonunda temelden ayrılan bölge uzunluğu 6 metre olarak bulunmuştur. Final durumda zemin tepkisinden gelen kesme kuvvetleri çizelge 3.96’da verilmiştir.

Çizelge 3.95 : Örnek-5 Dördüncü adım 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)							
690.48	-1261.90	-184.52	845.24	θ_i	0.00133	M_i	0.18
-1261.90	27714.29	-845.24	-22714.29	δ_i	0.000772	V_i	-15.80
-184.52	-845.24	690.48	1261.90	θ_j	0.00125	M_j	0.12
845.24	-22714.29	1261.90	27714.29	δ_j	0.0001258	V_j	-11.35



Şekil 3.55 : Örnek-5 Dördüncü adım yerdeğiştirme grafiği.



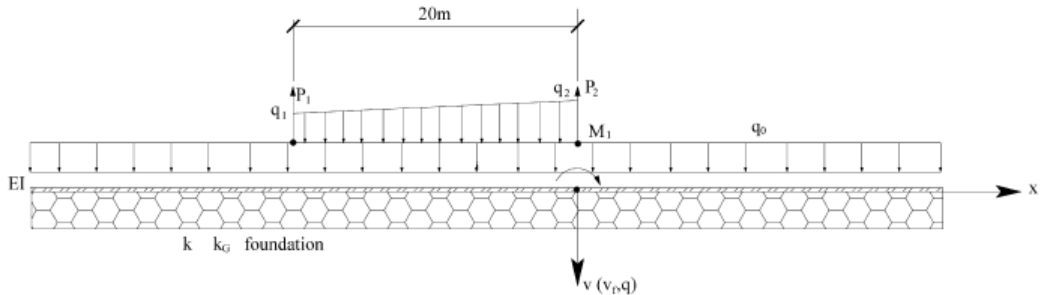
Şekil 3.56 : Örnek-5 Dördüncü adım SAP2000 yay kuvvetleri.

Çizelge 3.96 : Örnek-5 Dördüncü adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.

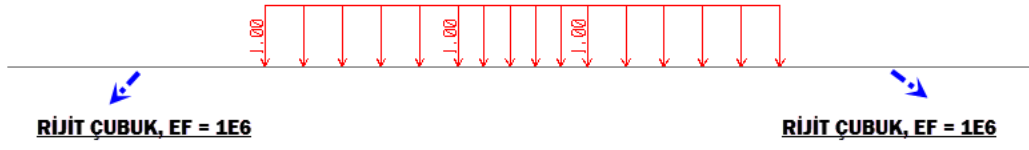
Çubuk no	1	2	3	4	5	6	7
Kesme Kuvveti	-4.45	-	-	-	-	-	-

3.6 Örnek 6

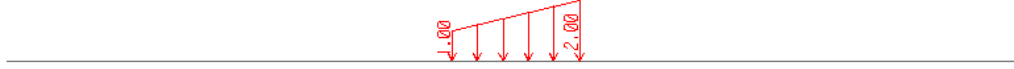
Seismic Analysis of An Infinite Beam Resting On A Tensionless Pasternak Foundation makalesinde yayınlanmış üçüncü örnek çözülecektir. Son örnekte daha karmaşık, sayısal olarak parametreleri belirlenmiş olan bir sistem seçilmiştir. Sistem detayı şekil 3.57’de gösterilmiştir. Buna göre düzgün yayılı düşey yükler ile noktasal tersinir yükler etkisi altındaki temel kirişi incelenecektir. SAP2000 hesap modelinde yapılan yüklemeler şekil 3.58, 3.59 ve 3.60’ta verilmiştir. Analiz modelinde tüm bu yüklemelerin kombinasyonu alınarak elde edilen sonuçlar tablolastırılmıştır.



Şekil 3.57 : Örnek 6 Referans çalışma sistem kesiti.



Şekil 3.58 : Örnek 6 Q0 yüklemesi.



Şekil 3.59 : Örnek 6 Q1 yüklemesi.



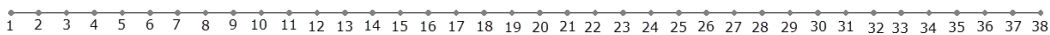
Şekil 3.60 : Örnek 6 P yüklemesi.

Yapısal sisteme ait hesap bilgileri aşağıda listelenmiştir:

I	: 1 m ⁴
E	: 250000 kN/m ²
C	: 100 kN/m ²
2C _T	: 100 kN/m

3.6.1 Birinci adım hesap sonuçları

Winkler düşey yayları ve kayma paratresinin üniform olarak atandığı sistemin ilk adım sonucunda ölçülen iç kuvvet ve yerdeğiştirme değerleri çizelge 3.97’de gösterilmiştir. Yapısal sistem düğüm noktası numaraları şekil 3.61’de belirtilmiştir.



Şekil 3.61 : Örnek 6 düğüm noktası numaraları.

Çizelge 3.97 : Örnek-6 Birinci adım SAP2000 analiz sonuçları.

Düğüm Noktası	Düşey Yerdeğiştirme (m)	Dönme (1/m)	Kesme Kuvveti (kN)	Moment (kNm)
1	0.00182	0.0007459	4.31	2.22
2	0.00108	0.0007279	5.21	6.96
3	0.0003694	0.0006891	6.17	12.60
4	-0.0002903	0.0006258	7.20	19.20
5	-0.0008728	0.0005341	8.29	26.84
6	-0.00135	0.0004096	9.42	35.58
7	-0.00168	0.0002479	10.59	45.46
8	-0.00183	0.0000442	11.77	56.54
9	-0.00175	-0.0002062	12.77(-22.05)	68.81
10	-0.00142	-0.0004387	-19.89	47.80
11	-0.0009015	-0.0005916	-17.72	29.00
12	-0.0002633	-0.0006737	-15.57	12.40
13	0.0004253	-0.0006938	-13.44	-2.02
14	0.00111	-0.0006604	-11.32	-14.28
15	0.00173	-0.0005823	-9.22	-24.41
16	0.00226	-0.0004679	-7.12	-32.42
17	0.00266	-0.0003257	-5.01	-38.31
18	0.00290	-0.0001640	-2.88	-42.09

Çizelge 3.97(devam) : Örnek-6 Birinci adım SAP2000 analiz sonuçları.

19	0.00298	0.000008443	-0.70	-43.73
20	0.00289	0.0001831	1.53	-43.18
21	0.00262	0.0003511	3.85	-40.39
22	0.00219	0.0005033	6.25	-35.28
23	0.00162	0.0006303	8.77	-27.75
24	0.0009403	0.0007221	11.40	-17.69
25	0.0001909	0.0007684	14.15	-4.99
26	-0.0005776	0.0007583	17.04	10.50
27	-0.00130	0.0006805	20.04	28.90
28	-0.00191	0.0005230	23.16	50.34
29	-0.00232	0.0002734	26.13(-13.64)	74.94
30	-0.00245	0	-12.39	61.79
31	-0.00234	-0.0002228	-11.16	49.91
32	-0.00202	-0.0004008	-9.95	39.29
33	-0.00155	-0.0005388	-8.80	29.88
34	-0.0009545	-0.0006415	-7.70	21.64
35	-0.0002747	-0.0007134	-6.68	14.50
36	0.0004636	-0.0007589	-5.72	8.40
37	0.00124	-0.0007819	-4.85	3.25
38	0.00202	-0.0007860	-3.85	-1.02

Yukardaki çizelgede görüldüğü gibi sistem iki noktada zeminden ayrılmaktadır. Uniform yayların kullanıldığı ilk adımda SAP2000 çıktılarında 4, 12, 26 ve 35 nolu düğüm noktalarının ayrılma sınırlarını oluşturduğu görülmektedir. Dışardan yapılan hesaplarda bu düğüm noktalarının ve komşu düğüm noktalarının zemin parametrelerinden doğan kesit tesirleri gösterilecektir. İlgili hesaplar çizelge 3.98-3.109’da verilmiştir.

Çizelge 3.98 : Örnek-6 Birinci adım 2-3 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)			
14.29	-15.24	-4.05	6.90
-15.24	157.14	-6.90	-107.14
-4.05	-6.90	14.29	15.24
6.90	-107.14	15.24	157.14

x

θ_i	0.0007279
δ_i	0.00108
θ_j	0.0006891
δ_j	0.0003694

=

M_i	0.01
V_i	-0.11
M_j	0.01
V_j	-0.04

Çizelge 3.99 : Örnek-6 Birinci adım 3-4 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)			
14.29	-15.24	-4.05	6.90
-15.24	157.14	-6.90	-107.14
-4.05	-6.90	14.29	15.24
6.90	-107.14	15.24	157.14

x

θ_i	0.0006891
δ_i	0.0003694
θ_j	0.0006258
δ_j	-2.903E-4

=

Mi	0.00
Vi	-0.07
Mj	0.00
Vj	-0.07

Çizelge 3.100 : Örnek-6 Birinci adım 4-5 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
14.29	-15.24	-4.05	6.90	x	θ_i	0.0006258	M_i	-0.01
-15.24	157.14	-6.90	-107.14		δ_i	-2.903E-4	V_i	-0.03
-4.05	-6.90	14.29	15.24		θ_j	0.0005341	M_j	-0.01
6.90	-107.14	15.24	157.14		δ_j	-8.728E-4	V_j	-0.09

Çizelge 3.101 : Örnek-6 Birinci adım 11-12 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
14.29	-15.24	-4.05	6.90	x	θ_i	-5.916E-4	M_i	-0.01
-15.24	157.14	-6.90	-107.14		δ_i	-9.015E-4	V_i	0.10
-4.05	-6.90	14.29	15.24		θ_j	-6.737E-4	M_j	-0.01
6.90	-107.14	15.24	157.14		δ_j	-2.633E-4	V_j	0.04

Çizelge 3.102 : Örnek-6 Birinci adım 12-13 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
14.29	-15.24	-4.05	6.90	x	θ_i	-6.74E-04	M_i	0.00
-15.24	157.14	-6.90	-107.14		δ_i	-2.63E-04	V_i	0.07
-4.05	-6.90	14.29	15.24		θ_j	-6.94E-04	M_j	0.00
6.90	-107.14	15.24	157.14		δ_j	4.25E-04	V_j	0.08

Çizelge 3.103 : Örnek-6 Birinci adım 13-14 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)				x		=			
14.29	-15.24	-4.05	6.90		θ_i		-6.94E-04	M_i	0.01
-15.24	157.14	-6.90	-107.14		δ_i		4.25E-04	V_i	0.04
-4.05	-6.90	14.29	15.24		θ_j		-6.60E-04	M_j	0.01
6.90	-107.14	15.24	157.14	δ_j	1.11E-03	V_j	0.11		

Çizelge 3.104 : Örnek-6 Birinci adım 24-25 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)				x			=		
14.29	-15.24	-4.05	6.90		θ_i	7.22E-04		M_i	0.01
-15.24	157.14	-6.90	-107.14		δ_i	9.40E-04		V_i	-0.11
-4.05	-6.90	14.29	15.24		θ_j	7.68E-04		M_j	0.00
6.90	-107.14	15.24	157.14	δ_j	1.91E-04	V_j	-0.05		

Çizelge 3.105 : Örnek-6 Birinci adım 25-26 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
14.29	-15.24	-4.05	6.90	x	θ_i	7.68E-04	M_i	0.00
-15.24	157.14	-6.90	-107.14		δ_i	1.91E-04	V_i	-0.07
-4.05	-6.90	14.29	15.24		θ_j	7.58E-04	M_j	0.00
6.90	-107.14	15.24	157.14		δ_j	-5.78E-04	V_j	-0.09

Çizelge 3.106 : Örnek-6 Birinci adım 26-27 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)			
14.29	-15.24	-4.05	6.90
-15.24	157.14	-6.90	-107.14
-4.05	-6.90	14.29	15.24
6.90	-107.14	15.24	157.14

x

θ_i	7.58E-04
δ_i	-5.78E-04
θ_j	6.81E-04
δ_j	-1.30E-03

=

M_i	-0.01
V_i	-0.03
M_j	-0.01
V_j	-0.13

Çizelge 3.107 : Örnek-6 Birinci adım 34-35 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)				x			=		
14.29	-15.24	-4.05	6.90		θ_i	-6.42E-04		M_i	-0.01
-15.24	157.14	-6.90	-107.14		δ_i	-9.55E-04		V_i	0.11
-4.05	-6.90	14.29	15.24		θ_j	-7.13E-04		M_j	-0.01
6.90	-107.14	15.24	157.14	δ_j	-2.75E-04	V_j	0.04		

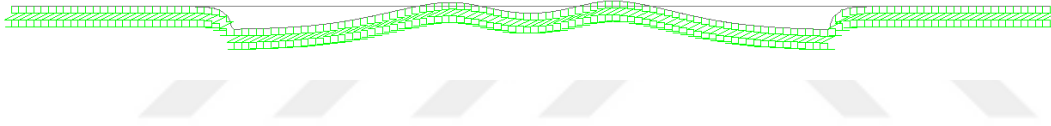
Çizelge 3.108 : Örnek-6 Birinci adım 35-36 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
14.29	-15.24	-4.05	6.90	x	θ_i	-7.13E-04	M_i	0.00
-15.24	157.14	-6.90	-107.14		δ_i	-2.75E-04	V_i	0.08
-4.05	-6.90	14.29	15.24		θ_j	-7.59E-04	M_j	0.00
6.90	-107.14	15.24	157.14		δ_j	4.64E-04	V_j	0.09

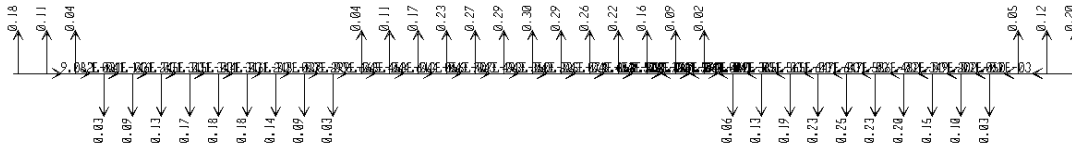
Çizelge 3.109 : Örnek-6 Birinci adım 36-37 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
14.29	-15.24	-4.05	6.90	x	θ_i	-7.59E-04	M_i	0.01
-15.24	157.14	-6.90	-107.14		δ_i	4.64E-04	V_i	0.04
-4.05	-6.90	14.29	15.24		θ_j	-7.82E-04	M_j	0.01
6.90	-107.14	15.24	157.14		δ_j	1.24E-03	V_j	0.13

İlk adım analizi sonucunda SAP2000 programından alınan deforme olmuş hal ve yay tepkileri şekil 3.62 ve şekil 3.63'te gösterilmiştir. Dışardan yapılan hesaplarda elde edilen kesme kuvvetleri çizelge 3.110'da gösterilmiştir. Bu durumda 4, 11, 25 ve 34 nolu çubuklar ilk adım ayrılma sınırını oluşturmaktadır.



Şekil 3.62 : Örnek-6 Birinci adım SAP2000 deforme olmuş şekil.



Şekil 3.63 : Örnek-6 Birinci adım yerdeğiştirme grafiği.

Çizelge 3.110 : Örnek-6 Birinci adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.

Çubuk no	2	3	4	---	11	12	13	---	24	25	26	---	34	35	36
Kesme Kuvveti	-0.07	-0.003	0.058	KE	0.058	-0.008	-0.077	KE	-0.057	0.019	0.095	KE	0.026	-0.009	-0.085

İlk adım analizinden elde edilen verilere göre, 4-12 ve 25-35 nolu düğüm noktaları arasında kalan çubuklara ait yay ve p-delta kuvveti atamaları silinerek sistem tekrar çözülecektir.

3.6.2 İkinci adım hesap sonuçları

Çizelge 3.111'de ikinci adımda ölçülen yerdeğiştirme ve iç kuvvet değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.111 : Örnek-6 İkinci adım SAP2000 analiz sonuçları.

Düğüm Noktası	Düşey Yerdeğiştirme (m)	Dönme (1/m)	Kesme Kuvveti (kN)	Moment (kNm)
1	0.00128	0.0008016	4.58	2.07
2	0.0004848	0.0007836	5.54	7.07
3	-0.0002809	0.0007438	6.56	13.03
4	-0.0009941	0.0006780	7.61	20.03
5	-0.00163	0.0005820	8.61	28.14
6	-0.00215	0.0004515	9.61	37.25
7	-0.00252	0.0002826	10.61	47.37
8	-0.00270	0.00007123	11.61	58.48
9	-0.00264	-0.0001866	12.61(-22.38)	70.60
10	-0.00233	-0.0004256	-20.36	49.22
11	-0.00182	-0.0005831	-18.29	29.89
12	-0.00119	-0.0006675	-16.10	12.66
13	-0.0005065	-0.0006875	-13.88	-2.89
14	0.0001675	-0.0006522	-11.67	-14.99
15	0.0007824	-0.0005705	-9.47	-25.46
16	0.0013	-0.0004514	-7.28	-33.72

Çizelge 3.111(devam) : Örnek-6 İkinci adım SAP2000 analiz sonuçları.

17	0.00168	-0.0003036	-5.07	-39.78
18	0.0019	-0.0001360	-2.83	-43.62
19	0.00194	0.00004245	-0.55	-45.21
20	0.00181	0.0002227	1.79	-44.52
21	0.0015	0.0003956	4.22	-41.47
22	0.00103	0.0005514	6.74	-36.00
23	0.0004073	0.0006802	9.37	-27.99
24	-0.0003223	0.0007718	12.13	-17.33
25	-0.00112	0.0008151	14.96	-3.89
26	-0.00193	0.0007989	17.79	12.48
27	-0.00269	0.0007115	20.66	31.70
28	-0.00333	0.0005415	23.59	53.82
29	-0.00375	0.0002771	26.56(-13.44)	78.89
30	-0.00387	-0.00001227	-12.44	65.95
31	-0.00374	-0.0002518	-11.44	54.01
32	-0.00339	-0.0004457	-10.44	43.07
33	-0.00286	-0.0005977	-9.44	33.13
34	-0.00220	-0.0007121	-8.44	24.19
35	-0.00145	-0.0007926	-7.37	16.25
36	-0.0006272	-0.0008437	-6.31	9.47
37	0.0002315	-0.0008698	-5.33	3.75
38	0.00111	-0.0008750	-4.33	-0.99

İkinci adımda SAP2000 çıktılarında 3, 14, 24 ve 37 nolu düğüm noktalarının ayrılma sınırlarını oluşturduğu görülmektedir. Dışardan yapılan hesaplarda bu düğüm noktalarının ve komşu düğüm noktalarının zemin parametrelerinden doğan kesit tesirleri gösterilecektir. İlgili hesaplar çizelge 3.112-3.122’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.112 : Örnek-6 İkinci adım 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
14.29	-15.24	-4.05	6.90	x	θ_i	8.02E-04	M_i	0.01
-15.24	157.14	-6.90	-107.14		δ_i	1.28E-03	V_i	-0.13
-4.05	-6.90	14.29	15.24		θ_j	7.84E-04	M_j	0.01
6.90	-107.14	15.24	157.14		δ_j	4.85E-04	V_j	-0.04

Çizelge 3.113 : Örnek-6 İkinci adım 2-3 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
14.29	-15.24	-4.05	6.90	x	θ_i	7.84E-04	M_i	0.00
-15.24	157.14	-6.90	-107.14		δ_i	4.85E-04	V_i	-0.09
-4.05	-6.90	14.29	15.24		θ_j	7.44E-04	M_j	0.00
6.90	-107.14	15.24	157.14		δ_j	-2.81E-04	V_j	-0.08

Çizelge 3.114 : Örnek-6 İkinci adım 3-4 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)									
14.29	-15.24	-4.05	6.90	x	θ_i	7.44E-04	=	M_i	-0.01
-15.24	157.14	-6.90	-107.14		δ_i	-2.81E-04		V_i	-0.05
-4.05	-6.90	14.29	15.24		θ_j	6.78E-04		M_j	-0.01
6.90	-107.14	15.24	157.14		δ_j	-9.94E-04		V_j	-0.11

Çizelge 3.115 : Örnek-6 İkinci adım 12-13 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
14.29	-15.24	-4.05	6.90	x	θ_i	-6.68E-04	M_i	-0.01
-15.24	157.14	-6.90	-107.14		δ_i	-1.19E-03	V_i	0.12
-4.05	-6.90	14.29	15.24		θ_j	-6.88E-04	M_j	-0.01
6.90	-107.14	15.24	157.14		δ_j	-5.07E-04	V_j	0.03

Çizelge 3.116 : Örnek-6 İkinci adım 13-14 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
14.29	-15.24	-4.05	6.90	x	θ_i	-6.88E-04	M_i	0.01
-15.24	157.14	-6.90	-107.14		δ_i	5.07E-04	V_i	-0.08
-4.05	-6.90	14.29	15.24		θ_j	-6.52E-04	M_j	-0.01
6.90	-107.14	15.24	157.14		δ_j	1.68E-04	V_j	-0.04

Çizelge 3.117 : Örnek-6 İkinci adım 14-15 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)				x			=		
14.29	-15.24	-4.05	6.90		θ_i	-6.52E-04		M_i	-0.02
-15.24	157.14	-6.90	-107.14		δ_i	1.68E-04		V_i	0.01
-4.05	-6.90	14.29	15.24		θ_j	-5.71E-03		M_j	-0.07
6.90	-107.14	15.24	157.14		δ_j	7.82E-04		V_j	0.01

Çizelge 3.118 : Örnek-6 İkinci adım 23-24 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)				x		=			
14.29	-15.24	-4.05	6.90		θ_i		6.80E-04	M_i	0.00
-15.24	157.14	-6.90	-107.14		δ_i		4.07E-04	V_i	-0.08
-4.05	-6.90	14.29	15.24		θ_j		7.72E-04	M_j	0.00
6.90	-107.14	15.24	157.14	δ_j	-3.22E-04	V_j	-0.08		

Çizelge 3.119 : Örnek-6 İkinci adım 24-25 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
14.29	-15.24	-4.05	6.90	x	θ_i	7.72E-04	M_i	0.00
-15.24	157.14	-6.90	-107.14		δ_i	-3.22E-04	V_i	-0.05
-4.05	-6.90	14.29	15.24		θ_j	8.15E-04	M_j	-0.01
6.90	-107.14	15.24	157.14		δ_j	-1.12E-03	V_j	-0.12

Çizelge 3.120 : Örnek-6 İkinci adım 35-36 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)				x			=		
14.29	-15.24	-4.05	6.90		θ	-7.93E-04		M _i	-0.01
-15.24	157.14	-6.90	-107.14		δ	-1.45E-03		V _i	0.14
-4.05	-6.90	14.29	15.24		θ	-8.44E-04		M _j	-0.01
6.90	-107.14	15.24	157.14		δ	-6.27E-04		V _j	0.04

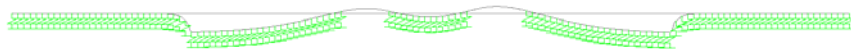
Çizelge 3.121 : Örnek-6 İkinci adım 36-37 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
14.29	-15.24	-4.05	6.90	x	θ_i	-8.44E-04	M_i	0.00
-15.24	157.14	-6.90	-107.14		δ_i	-6.27E-04	V_i	0.10
-4.05	-6.90	14.29	15.24		θ_j	-8.70E-04	M_j	0.00
6.90	-107.14	15.24	157.14		δ_j	2.32E-04	V_j	0.08

Çizelge 3.122 : Örnek-6 İkinci adım 37-38 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
14.29	-15.24	-4.05	6.90	x	θ_i	-8.70E-04	M_i	0.00
-15.24	157.14	-6.90	-107.14		δ_i	2.32E-04	V_i	0.06
-4.05	-6.90	14.29	15.24		θ_j	-8.75E-04	M_j	0.01
6.90	-107.14	15.24	157.14		δ_j	1.11E-03	V_j	0.13

İkinci adım analizi sonucunda SAP2000 programından alınan deforme olmuş hal ve yay tepkileri şekil 3.64 ve şekil 3.65’de gösterilmiştir. Dışardan yapılan hesaplarda elde edilen kesme kuvvetleri çizelge 3.123’te gösterilmiştir. Bu durumda 3, 12, 24 ve 36 nolu çubuklar ikinci adım ayrılma sınırını oluşturmaktadır.



Şekil 3.64 : Örnek-6 İkinci adım yerdeğiştirme grafiği.



Şekil 3.65 : Örnek-6 İkinci adım SAP2000 yay kuvvetleri.

Çizelge 3.123 : Örnek-6 İkinci adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.

Çubuk no	1	2	3	---	12	13	14	---	23	24	---	35	36	37
Kesme Kuvveti	-0.088	-0.010	0.064	KE	0.085	-0.034	-0.005	KE	-0.005	0.072	KE	0.104	0.020	-0.067

İkinci adım analizinden elde edilen verilere göre, 3-4, 12-13, 24-25, 35-36 ve 36-37 nolu düğüm noktaları arasında kalan çubuklara ait yay ve p-delta kuvveti atamaları silinerek sistem tekrar çözülecektir.

3.6.3 Üçüncü adım hesap sonuçları

Çizelge 3.124'te üçüncü adım hesap sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 3.124 : Örnek-6 Üçüncü adım SAP2000 analiz sonuçları.

Düğüm Noktası	Düşey Yerdeğiştirme (m)	Dönme (1/m)	Kesme Kuvveti (kN)	Moment (kNm)
1	0.00119	0.0008105	4.63	2.06
2	0.000387	0.0007905	5.59	7.11
3	-0.0003875	0.0007524	6.61	13.12
4	-0.00111	0.0006860	7.61	20.23
5	-0.00175	0.0005892	8.61	28.34
6	-0.00228	0.0004579	9.61	37.46
7	-0.00265	0.0002882	10.61	47.57
8	-0.00284	0.00007604	11.61	58.68
9	-0.00279	-0.0001826	12.61(-22.39)	70.79
10	-0.00248	-0.0004223	-20.36	49.41
11	-0.00197	-0.0005806	-18.29	30.08
12	-0.00134	-0.0006657	-16.16	12.85
13	-0.0006617	-0.0006862	-13.96	-2.23
14	0.0000112	-0.0006510	-11.73	-15.01

Çizelge 3.124(devam) : Örnek-6 Üçüncü adım SAP2000 analiz sonuçları.

15	0.0006248	-0.0005691	-9.52	-25.55
16	0.00114	-0.0004495	-7.31	-33.86
17	0.00151	-0.0003011	-5.08	-39.95
18	0.00173	-0.0001328	-2.83	-43.80
19	0.00178	0.00004643	-0.54	-45.40
20	0.00164	0.0002274	1.83	-44.69
21	0.00132	0.0004009	4.27	-41.61
22	0.0008429	0.0005571	6.81	-36.08
23	0.0002185	0.0006862	9.46	-28.00
24	-0.0005169	0.0007776	12.21	-17.25
25	-0.00132	0.0008204	14.99	-3.66
26	-0.00214	0.0008031	17.81	12.74
27	-0.00290	0.0007147	20.69	31.99
28	-0.00354	0.0005434	23.61	54.13
29	-0.00396	0.0002777	26.59(-13.41)	79.23
30	-0.00409	-0.0000131	-12.41	66.32
31	-0.00395	-0.0002542	-11.41	54.40
32	-0.00359	-0.0004497	-10.41	43.49
33	-0.00306	-0.0006035	-9.41	33.58
34	-0.00240	-0.0007197	-8.41	24.67
35	-0.00164	-0.0008022	-7.41	16.76
36	-0.0008041	-0.0008551	-6.41	9.84
37	0.0000665	-0.0008823	-5.42	3.93
38	0.0009533	-0.0008880	-4.42	-0.89

Üçüncü adımda SAP2000 çıktılarında 3, 14, 23 ve 37 nolu düğüm noktalarının ayrılma sınırlarını oluşturduğu görülmektedir. Dışardan yapılan hesaplarda bu düğüm

noktalarının ve komşu düğüm noktalarının zemin parametrelerinden doğan kesit tesirleri gösterilecektir. İlgili hesaplar çizelge 3.125-3.131’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.125 : Örnek-6 Üçüncü adım 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
14.29	-15.24	-4.05	6.90	x	θ_i	8.11E-04	M_i	0.01
-15.24	157.14	-6.90	-107.14		δ_i	1.19E-03	V_i	-0.13
-4.05	-6.90	14.29	15.24		θ_j	7.91E-04	M_j	0.01
6.90	-107.14	15.24	157.14		δ_j	3.87E-04	V_j	-0.05

Çizelge 3.126 : Örnek-6 Üçüncü adım 2-3 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)				x			=		
14.29	-15.24	-4.05	6.90		θ_i	7.91E-04		M_i	0.03
-15.24	157.14	-6.90	-107.14		δ_i	3.87E-04		V_i	-0.04
-4.05	-6.90	14.29	15.24		θ_j	7.52E-03		M_j	0.10
6.90	-107.14	15.24	157.14	δ_j	-3.88E-04	V_j	0.02		

Çizelge 3.127 : Örnek-6 Üçüncü adım 13-14 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
14.29	-15.24	-4.05	6.90	x	θ_i	-6.86E-04	M_i	0.00
-15.24	157.14	-6.90	-107.14		δ_i	-6.62E-04	V_i	0.09
-4.05	-6.90	14.29	15.24		θ_j	-6.51E-04	M_j	0.00
6.90	-107.14	15.24	157.14		δ_j	1.12E-05	V_j	0.06

Çizelge 3.128 : Örnek-6 Üçüncü adım 14-15 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)			
14.29	-15.24	-4.05	6.90
-15.24	157.14	-6.90	-107.14
-4.05	-6.90	14.29	15.24
6.90	-107.14	15.24	157.14

x

θ_i	-6.51E-04
δ_i	1.12E-05
θ_j	-5.69E-04
δ_j	6.25E-04

=

M_i	0.00
V_i	0.05
M_j	0.00
V_j	0.08

Çizelge 3.129 : Örnek-6 Üçüncü adım 22-23 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)									
14.29	-15.24	-4.05	6.90	x	θ_i	5.57E-04	=	M_i	0.01
-15.24	157.14	-6.90	-107.14		δ_i	8.43E-04		V_i	-0.10
-4.05	-6.90	14.29	15.24		θ_j	6.86E-04		M_j	0.01
6.90	-107.14	15.24	157.14		δ_j	2.19E-04		V_j	-0.04

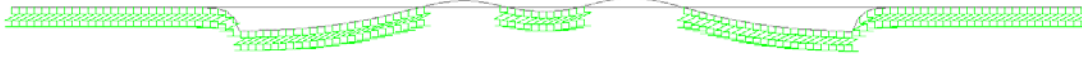
Çizelge 3.130 : Örnek-6 Üçüncü adım 23-24 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)									
14.29	-15.24	-4.05	6.90	x	θ_i	6.86E-04	=	M_i	0.00
-15.24	157.14	-6.90	-107.14		δ_i	2.19E-04		V_i	-0.07
-4.05	-6.90	14.29	15.24		θ_j	7.78E-04		M_j	0.00
6.90	-107.14	15.24	157.14		δ_j	-5.17E-04		V_j	-0.09

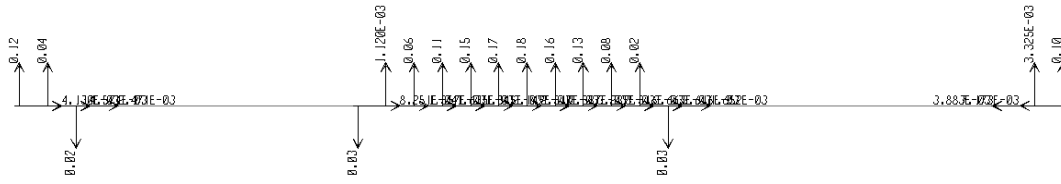
Çizelge 3.131 : Örnek-6 Üçüncü adım 37-38 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)									
14.29	-15.24	-4.05	6.90	x	θ_i	-8.82E-04	=	M_i	0.00
-15.24	157.14	-6.90	-107.14		δ_i	6.65E-05		V_i	0.07
-4.05	-6.90	14.29	15.24		θ_j	-8.88E-04		M_j	0.00
6.90	-107.14	15.24	157.14		δ_j	9.53E-04		V_j	0.12

Üçüncü adım analizi sonucunda SAP2000 programından alınan deforme olmuş hal ve yay tepkileri şekil 3.66 ve şekil 3.67’de gösterilmiştir. Dışardan yapılan hesaplarda elde edilen kesme kuvvetleri çizelge 3.132’de gösterilmiştir. Bu durumda 13-14 ve 23-24 düğüm noktaları arasında kalan çubukların zeminden teması kesilmiştir. Bu çubuklara ait yay atamaları silinerek çözüm yinelenenektir.



Şekil 3.66 : Örnek-6 Üçüncü adım yerdeğiştirme grafiği.



Şekil 3.67 : Örnek-6 Üçüncü adım SAP2000 yay kuvvetleri.

Çizelge 3.132 : Örnek-6 Üçüncü adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.

Çubuk no	1	2	---	13	14	---	23	24	---	37
Kesme Kuvveti	-0.079	-0.056	KE	0.032	-0.032	KE	-0.054	0.014	KE	-0.051

3.6.4 Dördüncü adım hesap sonuçları

Dördüncü adımda 13-14 ve 23-24 çubuğuna atanan yaylar silindikten sonra çözüm yapılmıştır. Hesap modelinden elde edilen sonuçlar çizelge 3.133’te gösterilmiştir.

Çizelge 3.133 : Örnek-6 Dördüncü adım SAP2000 analiz sonuçları.

Düğüm Noktası	Düşey Yerdeğiştirme (m)	Dönme (1/m)	Kesme Kuvveti (kN)	Moment (kNm)
1	0.00117	0.0008126	4.64	2.04
2	0.0003663	0.0007947	5.60	7.10

Çizelge 3.133 (devam) : Örnek-6 Dördüncü adım SAP2000 analiz sonuçları.

3	-0.0004103	0.0007545	6.62	13.13
4	-0.00113	0.0006881	7.62	20.25
5	-0.00178	0.0005912	8.62	28.37
6	-0.00230	0.0004598	9.62	37.49
7	-0.00268	0.0002899	10.62	47.62
8	-0.00287	0.00007755	11.62	58.74
9	-0.00282	-0.0001813	12.62(-22.38)	70.86
10	-0.00251	-0.0004214	-20.35	49.49
11	-0.00201	-0.00058	-18.28	30.17
12	-0.00138	-0.0006656	-16.15	12.96
13	-0.0006976	-0.0006865	-13.98	-2.11
14	-0.00002426	-0.0006516	-11.75	-14.98
15	0.00059	-0.0005698	-9.54	-25.54
16	0.0011	-0.0004502	-7.32	-33.86
17	0.00148	-0.0003018	-5.09	-39.96
18	0.0017	-0.0001334	-2.84	-43.83
19	0.00174	0.00004596	-0.54	-45.43
20	0.00161	0.0002271	1.83	-44.72
21	0.00129	0.0004007	4.27	-41.64
22	0.0008115	0.0005571	6.82	-36.11
23	0.0001872	0.0006862	9.48	-28.02
24	-0.0005483	0.0007775	12.21	-17.18
25	-0.00135	0.00082	14.98	-3.59

Çizelge 3.133 (devam) : Örnek-6 Dördüncü adım SAP2000 analiz sonuçları.

26	-0.00217	0.0008025	17.81	12.80
27	-0.00293	0.0007138	20.68	32.04
28	-0.00357	0.0005424	23.61	54.18
29	-0.00399	0.0002764	26.58(-13.42)	79.27
30	-0.00411	-0.00001446	-12.42	66.35
31	-0.00397	-0.0002557	-11.42	54.43
32	-0.00362	-0.0004513	-10.42	43.51
33	-0.00309	-0.0006051	-9.42	33.60
34	-0.00242	-0.0007214	-8.42	24.68
35	-0.00165	-0.0008039	-7.42	16.76
36	-0.000821	-0.0008565	-6.42	9.84
37	0.00005130	-0.000884	-5.42	3.92
38	0.0009397	-0.0008897	-4.42	-0.91

Dördüncü adım sonucunda 14-15 çubuğunda sadece zeminden gelen kesit zorları çizelge 3.134'te, 22-23 çubuğundan gelen kesit zorları ise 3.135'te görülmektedir. Burada $V_i - V_j$ farkı negatif olduğundan söz konusu çubukların zeminden ayrıldığı anlaşılmaktadır. Ardışık yaklaşım sona ermiştir. Nihai durumda hesap modelinden alınan yerdeğiştirme ve yay kuvvetleri şekil 3.68 ve 3.69'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.134 : Örnek-6 Dördüncü adım 14-15 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
14.29	-15.24	-4.05	6.90	x	θ_i	-6.52E-04	M_i	0.00
-15.24	157.14	-6.90	-107.14		δ_i	-2.43E-05	V_i	0.05
-4.05	-6.90	14.29	15.24		θ_j	-5.70E-04	M_j	0.00
6.90	-107.14	15.24	157.14		δ_j	5.90E-04	V_j	0.08

Çizelge 3.135 : Örnek-6 Dördüncü adım 22-23 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

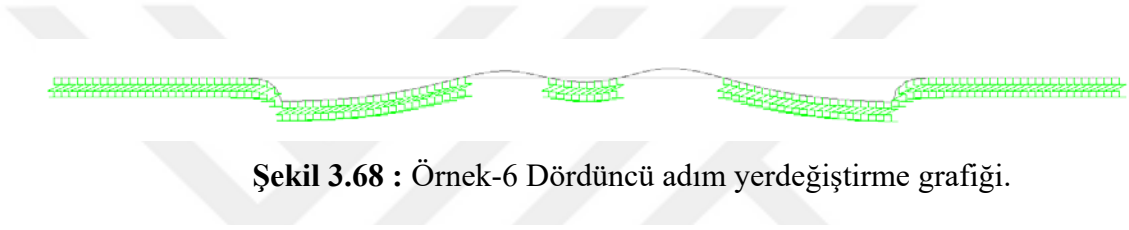
Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)			
14.29	-15.24	-4.05	6.90
-15.24	157.14	-6.90	-107.14
-4.05	-6.90	14.29	15.24
6.90	-107.14	15.24	157.14

x

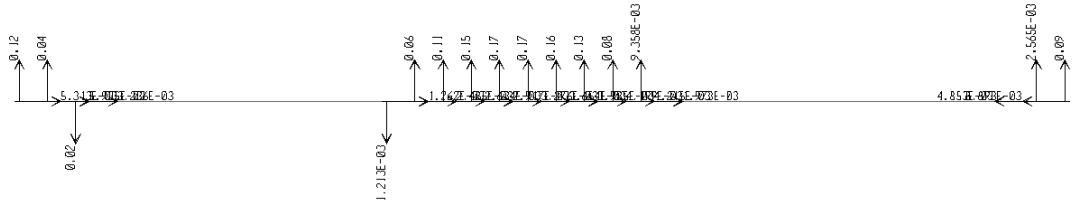
θ_i	5.57E-04
δ_i	8.12E-04
θ_j	6.86E-04
δ_j	1.87E-04

=

M_i	0.01
V_i	-0.09
M_j	0.00
V_j	-0.04



Şekil 3.68 : Örnek-6 Dördüncü adım yerdeğiştirme grafiği.

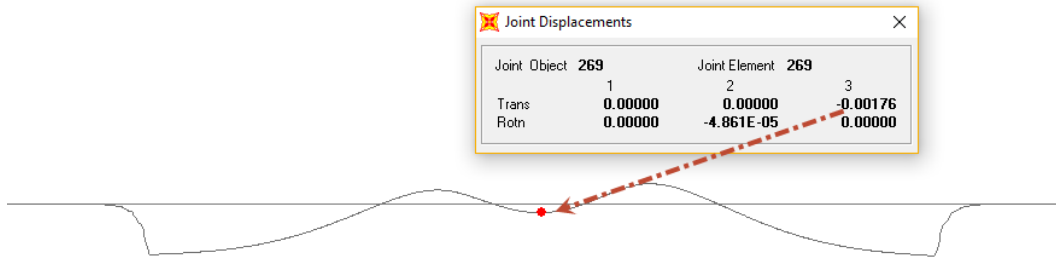


Şekil 3.69 : Örnek-6 Dördüncü adım SAP2000 yay kuvvetleri.

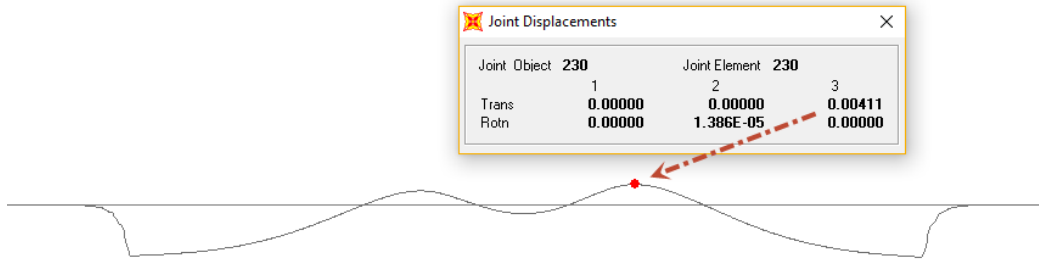
Dördüncü adım sonunda hesaplanan kesin sonuçlar referans alınan makaledeki verilerle karşılaştırılmıştır. Şekil 3.70, 3.71 ve 3.72’de yapısal sisteme ait yer değıştirme değeri verilmiştir. Final durumda zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri çizelge 3.136’da verilmiştir.

Çizelge 3.136 : Örnek-6 Dördüncü adım zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.

Çubuk no	1	2	---	14	---	23	---	37
Kesme Kuvveti	-0.077	-0.003	KE	-0.030	KE	-0.050	KE	-0.050



Şekil 3.70 : Örnek-6 Orta bölge yerdeğiştirmesi – $\Delta_{max} = 0.0018$ m.



Şekil 3.71 : Örnek-6 Tepe noktası yerdeğiştirmesi – $\Delta_{max} = 0.0041$ m.

SAP2000 hesap modeli ve örnek çalışma kesme kuvvetleri kıyaslaması ise şekil 3.73 ve 3.74’te verilmiştir. Buna göre tez çalışması ve örnek çalışma arasında birebir uyum gözlenmiştir.

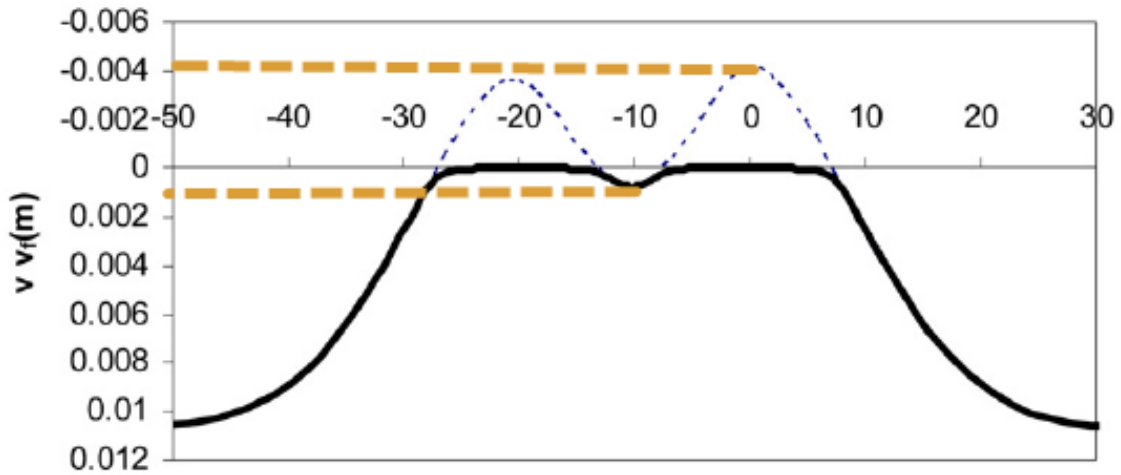
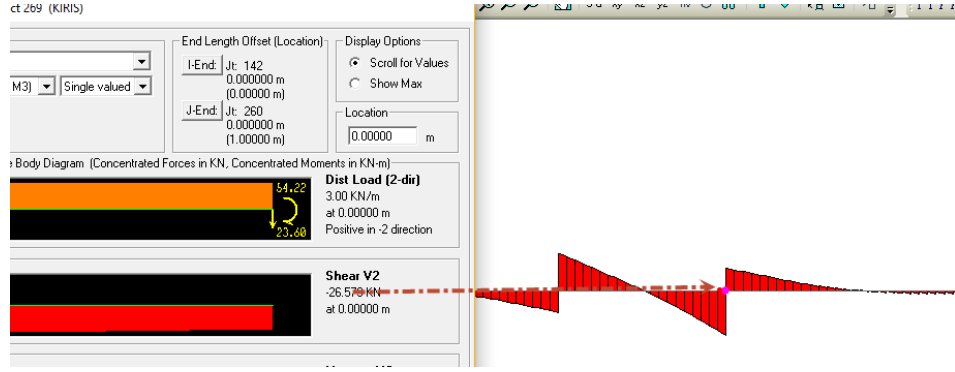
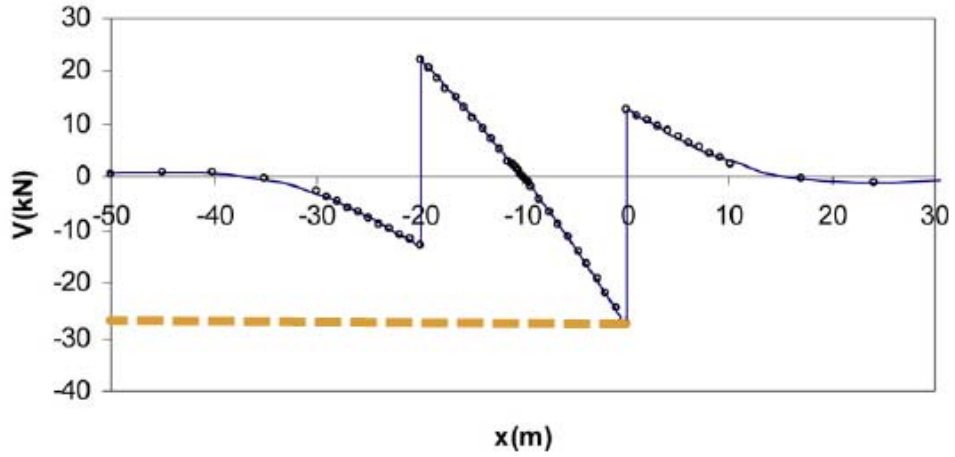


Fig. 9. Displaced shape of beam and foundation.

Şekil 3.72 : Örnek-6 Referans çalışma yerdeğiştirme grafiği – $\Delta_{max} = 0.0041$ m, $\Delta_{min} = 0.0016$ m.



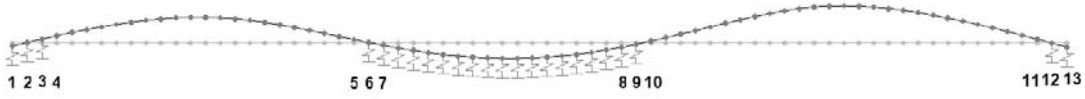
Şekil 3.73 : Örnek-6 SAP2000 kesme kuvveti diyagramı– $V_{max} = 26.6$ kN.



Şekil 3.74 : Örnek-6 Referans çalışma kesme kuvveti diyagramı– $V_{max} = 27$ kN.

3.6.5 Çubuk elemanların daha sık bölünerek hesabın tekrarlanması

Altıncı sayısal örnekte iç kuvvet ve tepe noktası yer değiştirmeleri referans çalışma ile birebir uyumlu bulunmuş olsa da ayrılma bölgesi uzunluğunda %13'lük fark çıkmıştır. Çıkan farkın sebebinin daha iyi gözlenebilmesi için temel kirişini temsil eden çubukların bölünme sıklıkları iki kat artırılmıştır. Önceki çözümde her bir çubuğun boyu birer metre iken bu analizde 0.5 metre yapılarak son adım kontrolleri yinlenecektir. Bir önceki analizde üçüncü adım sonunda 2-14 ve 23-37 nolu çubuklar arasında kalan bölgenin zeminden teması kesilmekteydi. Bu çalışmada eleman sayısı arttığından düğüm noktaları ve çubuklar yeniden numaralandırılacaktır. Burada temasın kesildiği nokta önceden bilinmekte ve daha kesin sonuç aranmaktadır. Bu sebeple sadece temas yüzeyi civarındaki düğüm noktaları ile ilgilenilmiştir. Hesaplarda kontrol edilecek düğüm noktaları şekil 3.75'te gösterilmiştir.



Şekil 3.75 : Örnek 6 L=0.5 metre için düğüm noktası numaraları ve yerdeğiştirme grafiği.

Ölçülen iç kuvvet ve yer değıştirme değeri çizelge 3.137’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.137 : Örnek 6 L=0.5 metre için SAP2000 analiz sonuçları.

Düğüm Noktası	Düşey Yerdeğiştirme (m)	Dönme (1/m)	Kesme Kuvveti (kN)	Moment (kNm)
1	0.0003406	0.0007961	5.60	7.15
2	-0.00005334	0.0007789	6.11	10.04
3	-0.0004373	0.0007557	6.62	13.18
4	-0.0008080	0.0007260	7.11	16.61
5	-0.0003889	-0.0006752	-12.88	-8.84
6	-0.00005679	-0.0006512	-11.76	-14.99
7	0.0002604	-0.0006156	-10.64	-20.56
8	0.0004763	0.0006267	8.16	-32.38
9	0.0001475	0.0006872	9.47	-27.99
10	-0.0002093	0.0007382	10.84	-22.91
11	-0.0004249	-0.0008753	-5.91	6.84
12	0.00001571	-0.0008861	-5.41	4.01
13	0.0004603	-0.0008916	-4.91	1.47

Göz önüne alınan çubuklarda sadece zeminden gelen kesit zorları çizelge 3.138-3.142’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.138 : Örnek 6 L=0.5 m için 1-2 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)			
6.79	-11.31	-1.76	9.23
-11.31	258.57	-9.23	-233.57
-1.76	-9.23	6.79	11.31
9.23	-233.57	11.31	258.57

x

θ_i	7.96E-04
δ_i	3.41E-04
θ_j	7.79E-04
δ_j	-5.33E-05

=

M_i	0.00
V_i	-0.08
M_j	0.00
V_j	-0.08

Çizelge 3.139 : Örnek 6 L=0.5 m için 2-3 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)			
6.79	-11.31	-1.76	9.23
-11.31	258.57	-9.23	-233.57
-1.76	-9.23	6.79	11.31
9.23	-233.57	11.31	258.57

x

θ_i	7.79E-04
δ_i	-5.33E-05
θ_j	7.56E-04
δ_j	-4.37E-04

=

M_i	0.00
V_i	-0.07
M_j	0.00
V_j	-0.08

Çizelge 3.140 : Örnek 6 L=0.5 m için 6-7 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
6.79	-11.31	-1.76	9.23	x	θ_i	-6.51E-04	M_i	0.00
-11.31	258.57	-9.23	-233.57		δ_i	-5.68E-05	V_i	0.06
-1.76	-9.23	6.79	11.31		θ_j	-6.16E-04	M_j	0.00
9.23	-233.57	11.31	258.57		δ_j	2.60E-04	V_j	0.07

Çizelge 3.141 : Örnek 6 L=0.5 m için 8-9 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)								
6.79	-11.31	-1.76	9.23	x	θ_i	6.27E-04	M_i	0.00
-11.31	258.57	-9.23	-233.57		δ_i	4.76E-04	V_i	-0.08
-1.76	-9.23	6.79	11.31		θ_j	6.87E-04	M_j	0.00
9.23	-233.57	11.31	258.57		δ_j	1.48E-04	V_j	-0.06

Çizelge 3.142 : Örnek 6 L=0.5 m için 12-13 çubuğu sadece zeminden gelen kesit zorları.

Zemin Rijitlik Matrisi (Birimler - kN - m)			
6.79	-11.31	-1.76	9.23
-11.31	258.57	-9.23	-233.57
-1.76	-9.23	6.79	11.31
9.23	-233.57	11.31	258.57

x

θ_i	-8.86E-04
δ_i	1.57E-05
θ_j	-8.92E-04
δ_j	4.60E-04

=

M_i	0.00
V_i	0.09
M_j	0.00
V_j	0.10

Final durumda zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri çizelge 3.143'te verilmiştir. Görüldüğü gibi 2-3 çubuğunda zeminden ayrılma gerçekleşmektedir. Böylelikle çubuk eleman sıklığı arttığında zeminden ayrılma yüzeyinin de bir çubuk parçası kadar (0.5 metre) arttığı görülmektedir. Sistemin diğer temas noktalarında her hangi bir kayma yoktur. Daha önce birer metrelik çubuk parçaları ile yapılan çözümün yaklaşıklığının yeterli olduğu görülmüştür.

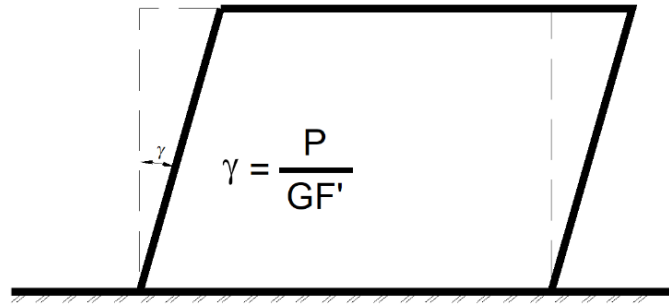
Çizelge 3.143 : Örnek 6 L=0.5 metre için zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.

Çubuk no	1	2	---	6	---	8	---	12
Kesme Kuvveti	-0.007	0.012	KE	-0.005	KE	-0.016	KE	-0.012

3.7 Kayma Şekil Değiştirmelerinin Göz Önüne Alınması Durumu

Daha önce açıklanan sayısal örneklerde kayma şekildeğiştirmelerinin etkileri ihmal edilmekteydi. Genellikle pratik mühendislikte de ihmal edilen bu durumun etkisi betonarme perdeler gibi uzunluğun genişliğine oranı küçük olan elemanlarda gözlenebilmektedir. Başlangıçta dik olan iki doğru arasındaki açının, şekil değiştirme sonrasında diklikten sapması durumu olarak ifade edilen kayma şekildeğiştirmesi hali çoğu zaman çubuk elemanlarda hiç gözlenmez. Şekil 3.76'da söz konusu şekildeğiştirme hali gösterilmiştir. Kiriş eğilme rijitliğinden doğan rijitlik matrisi terimleri kayma şekil değiştirmelerinin göz önüne alınması halinde çizelge 1.1'de

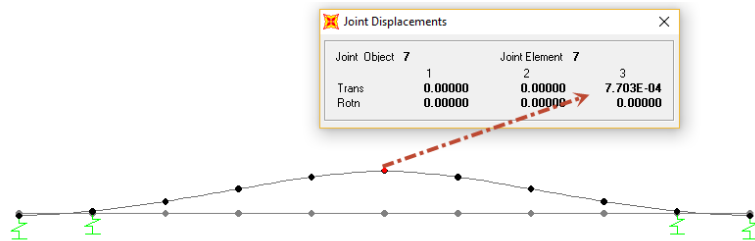
verilen terimlere bazı eklemeler yapılarak güncellenir. (Çakıroğlu, 1980, Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinesi Programları Cilt II. s.254). SAP2000 yapı analiz programında varsayılan kiriş eğilme rijitliği parametreleri bu artırmaları yapmaktadır. Önceki analizlerimizde temel kirişi kesit özelliklerine dışardan müdahale edilerek kayma alanları denge denklemlerini bozmayacak şekilde (10E6 mertebesinde) büyütülmüştür. Böylelikle kayma şekil değiştirmelerinin etkisi sıfırlanmıştır. Aynı analizler bu artırma yapılmadan tekrarlanacaktır.



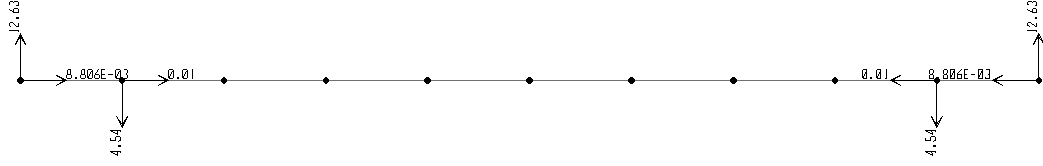
Şekil 3.76 : Kayma şekildeğiştirmesinin fiziksel gösterimi.

Tekrar edilen altı sayısal örnekte ilk analizlerde olduğu gibi tüm düğüm noktası yerdeğiştirmeleri belirlendikten sonra sadece zemin düşey yay ve kayma parametrelerinden doğan rijitlik matrisleri terimleri ile bu yerdeğiştirmelerin çarpılarak hesaplandığı kesit zorları içinde pozitif kesme alan çubuklara ait yay ve p-delta force atamaları silinmiştir. Burada sadece ardışık yaklaşım sonuçlandıktan sonra elde edilen veriler paylaşılacaktır.. İlk ve son adım düğüm noktası yerdeğiştirme değerleri tüm analizler için Ek A’da listelenmiştir.

Şekil 3.77 ve 3.78’de verildiği üzere zeminden ayrılan bölge uzunluklar bölüm 3.1’de bulunan sonuç ile birebir aynıdır. Sadece tepe yerdeğiştirmesinde ufak farklar göze çarpmaktadır. Çizelge 3.144’te son adımdaki zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri gösterilmektedir.



Şekil 3.77 : Örnek-1 Kayma şekildeğiştirmeleri dahil edilmiş durum düğüm noktası yerdeğiştirmeleri.

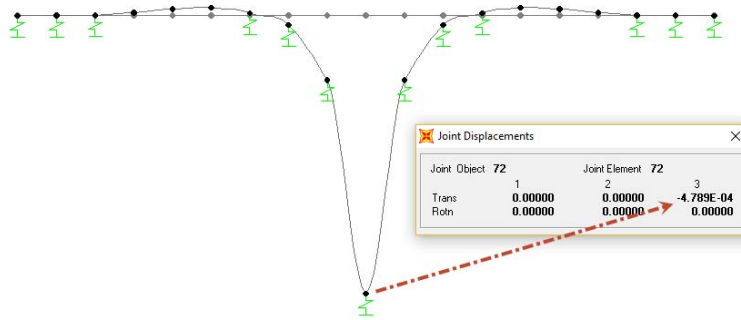


Şekil 3.78 : Örnek-1 Kayma şekildeğiştirmeleri dahil edilmiş durum yay kuvvetleri.

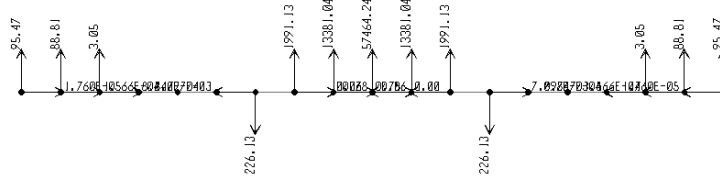
Çizelge 3.144 : Örnek-1 Kayma şekildeğiştirmeleri dahil edildiğinde hesaplanan zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri.

Çubuk no	1	2	3	4	5
Kesme Kuvveti (kN)	-3.15	-	-	-	-

Örnek 2’de elde edilen sonuçlar biraz daha farklıdır. Zeminle teması kesilen bölge uzunluğu azalmış, maksimum yerdeğiştirme değeri oldukça farklı çıkmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 3.79 ve 3.80’de görülmektedir. Final duruma ait zemin tepkisinden doğan kesme kuvvetleri çizelge 3.145’te verilmiştir.



Şekil 3.79 : Örnek-2 Kayma şekildeğiştirmeleri dahil edilmiş durum yerdeğiştirme grafiği.

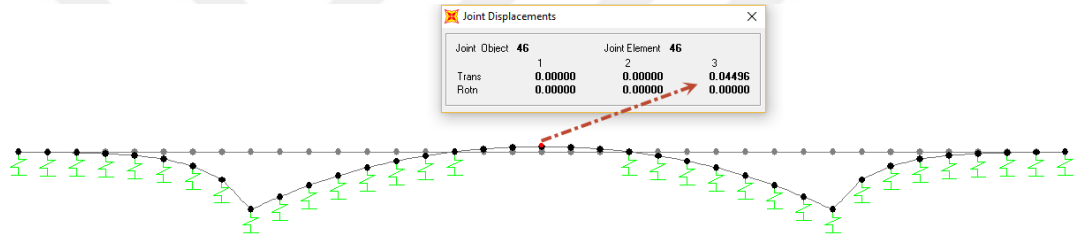


Şekil 3.80 : Örnek-2 Kayma şekildeğiştirmeleri dahil edilmiş durum yay kuvvetleri.

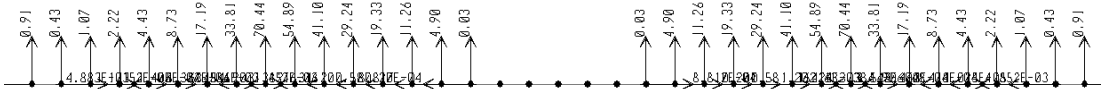
Çizelge 3.145 : Örnek-2 Kayma şekildeğiştirmeleri dahil edilmiş durum yay kuvvetleri.

Çubuk no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Kesme Kuvveti	0	0	0	-21.40	-	-	-	-	-392.26	-7186.30	-36584.0

Benzer şekilde örnek 3,4,5 ve 6 için yapılan analizlerde zeminle teması kesilen bölgeler hemen hemen aynıdır. şekil 3.81-88’de ve çizelge 3.146-148’de analiz sonuçları gösterilmiştir.



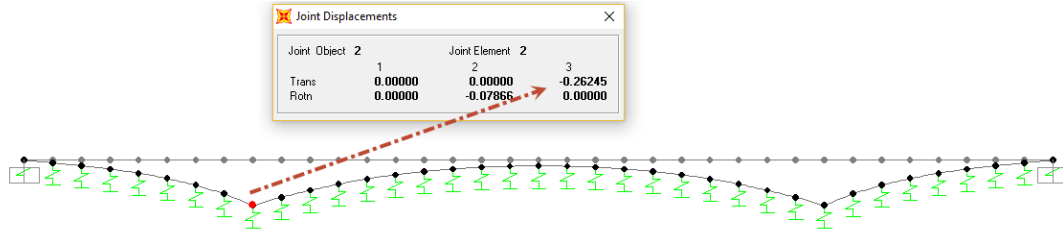
şekil 3.81 : Örnek-3 Kayma şekildeğiştirmeleri dahil edilmiş durum yerdeğiştirme grafiği.



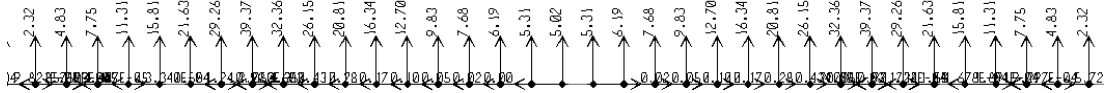
şekil 3.82 : Örnek-3 Kayma şekildeğiştirmeleri dahil edilmiş durum yay kuvvetleri.

Çizelge 3.146 : Örnek-3 Kayma şekildeğiştirmeleri dahil edilmiş durum yay kuvvetleri.

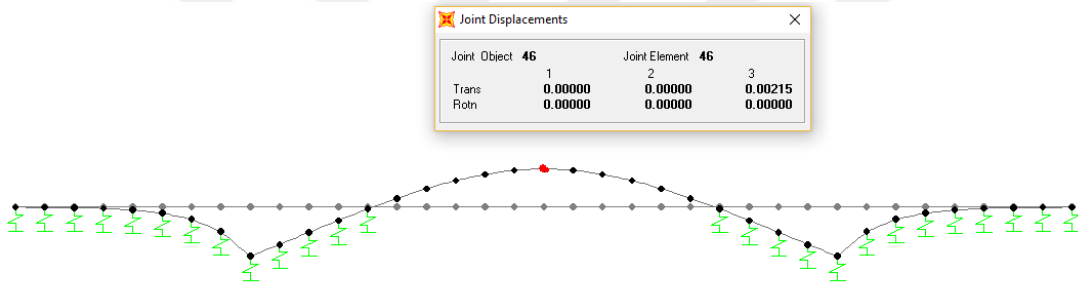
Çubuk no	1	2	3	4
Kesme Kuvveti	-2.35	-	-	-



Şekil 3.83 : Örnek-4 Kayma şekildeğişirmeleri dahil edilmiş durum yerdeğiştirme grafiği.



Şekil 3.84 : Örnek-4 Kayma şekildeğişirmeleri dahil edilmiş durum yay kuvvetleri.



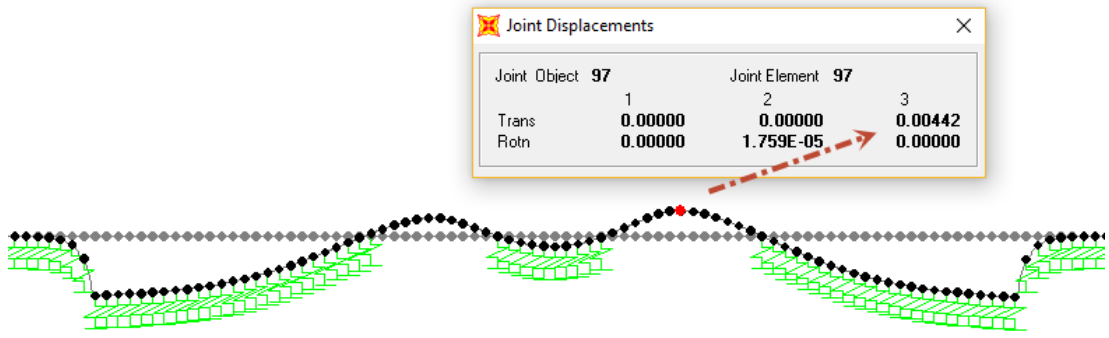
Şekil 3.85 : Örnek-5 Kayma şekildeğişirmeleri dahil edilmiş durum yerdeğiştirme grafiği.



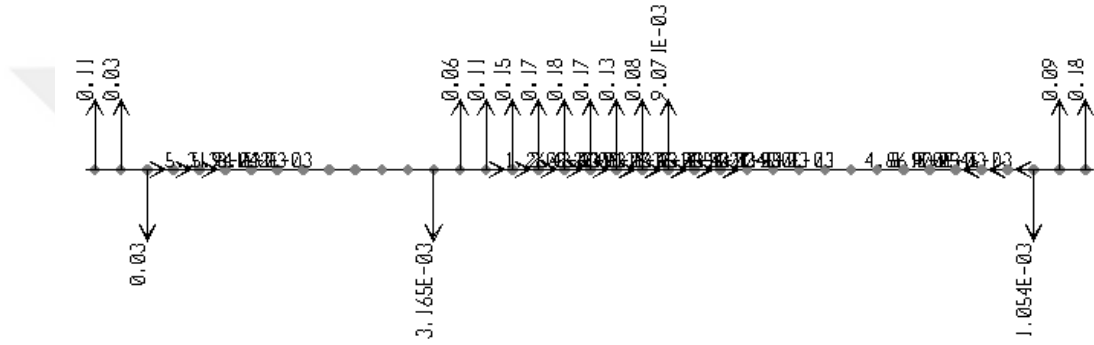
Şekil 3.86 : Örnek-5 Kayma şekildeğişirmeleri dahil edilmiş durum yay kuvvetleri.

Çizelge 3.147 : Örnek-5 Kayma şekildeğişirmeleri dahil edilmiş durum yay kuvvetleri.

Çubuk no	1	2	3	4	5	6	7
Kesme Kuvveti	-4.40	-	-	-	-	-	-



Şekil 3.87 : Örnek-6 Kayma şekildeğiştirmeleri dahil edilmiş durum yerdeğiştirme grafiği.



Şekil 3.88 : Örnek-6 Kayma şekildeğiştirmeleri dahil edilmiş durum yay kuvvetleri.

Çizelge 3.148 : Örnek-6 Kayma şekildeğiştirmeleri dahil edilmiş durum yay kuvvetleri.

Çubuk no	1	2	---	14	---	24	---	37
Kesme Kuvveti	-0.071	-0.011	---	-0.037	---	-0.052	---	-0.043

3.8 Analizlerin Yorumlanması

Farklı zemin ve temel kirişi parametreleri altında kayma şekil değıştirmeleri ihmal ve dahil edilerek analizler yapılmıştır. Yapılan analizlerde temel kirişinin ayrılma bölgesi uzunlukları, orta nokta yerdeğiştirmeleri ve iç kuvvetlerindeki değışimler gözlemlenmiştir. İki parametrelili zemin modeli kullanılarak yapılan analizlerin klasik

winkler zemini kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmaları çizelge 3.149-3.154'te verilmiştir. Burada özellikle birinci ve dördüncü örneklerin sonuçlarında belirgin farklar görülmektedir.

Çizelge 3.149 : Örnek-1 Pasternak ve winkler tipi zemin modelleri karşılaştırması.

	EI (kNm ²)	C (kN/m ²)	2Ct (kN)	Ayrılma Bölgesi (m)	Orta Nokta Yerdeğiştirme (m)
Pasternak Tipi Çekme Almayan Temel Kirişi	1E7	5E5	2.5E5	8	6.912E-4
Winkler Yayları Atanmış Temel Kirişi	1E7	5E5	-	4	1.499E-4
Pasternak çekme almayan zemin modeli ve Winkler zemin modelleri arasındaki fark				%50	%78

Çizelge 3.150 : Örnek-2 Pasternak ve winkler tipi zemin modelleri karşılaştırması.

	EI (kNm ²)	C (kN/m ²)	2Ct (kN)	Temas Bölgesi (m)	Orta Nokta Yerdeğiştirme (m)
Pasternak Tipi Çekme Almayan Temel Kirişi	3E7	1.2E8	1.2E7	4	4.789E-4
Winkler Yayları Atanmış Temel Kirişi	3E7	1.2E8	-	4	3.574E-4
Pasternak çekme almayan zemin modeli ve Winkler zemin modelleri arasındaki fark				0	%25

Çizelge 3.151 : Örnek-3 Pasternak ve winkler tipi zemin modelleri karşılaştırması.

	EI (kNm ²)	C (kN/m ²)	2Ct (kN)	Ayrılma Bölgesi (m)	Orta Nokta Yerdeğiştirmesi (m)
Pasternak Tipi Çekme Almayan Temel Kirişi	3000	285	150	1.5	5.075E-2
Winkler Yayları Atanmış Temel Kirişi	3000	285	-	2	6.384E-2
Pasternak çekme almayan zemin modeli ve Winkler zemin modelleri arasındaki fark				%25	%21

Çizelge 3.152 : Örnek-4 Pasternak ve winkler tipi zemin modelleri karşılaştırması.

	EI (kNm ²)	C (kN/m ²)	2Ct (kN)	Orta Nokta Yerdeğiştirmesi (m)
Pasternak Tipi Çekme Almayan Temel Kirişi	3000	300	900	0.23
Winkler Yayları Atanmış Temel Kirişi	3000	300	-	0.73
Pasternak çekme almayan zemin modeli ve Winkler zemin modelleri arasındaki fark				%68

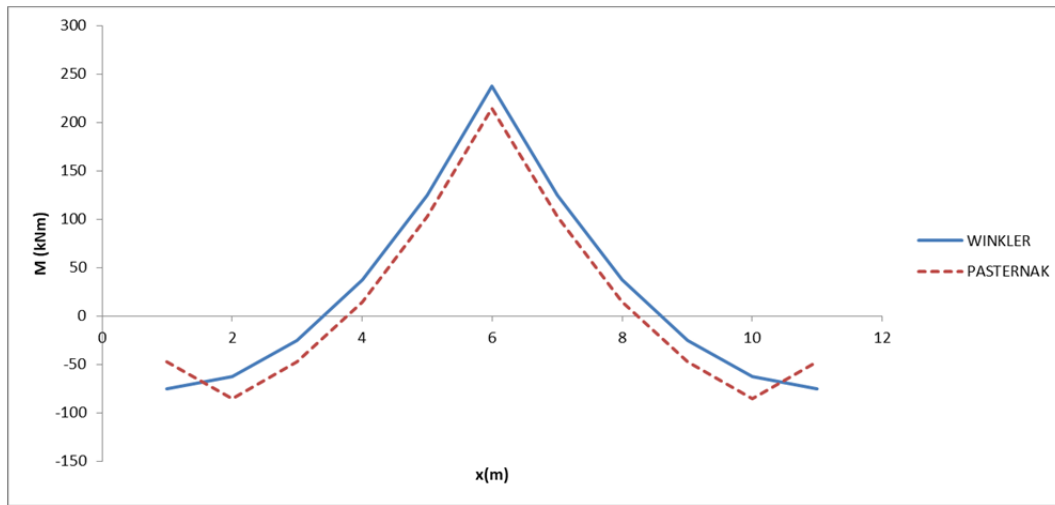
Çizelge 3.153 : Örnek-5 Pasternak ve winkler tipi zemin modelleri karşılaştırması.

	EI (kNm ²)	C (kN/m ²)	2Ct (kN)	Ayrılma Bölgesi (m)	Orta Nokta Yerdeğiştirmesi (m)
Pasternak Tipi Çekme Almayan Temel Kirişi	6.24E5	20000	10000	6	2.11E-3
Winkler Yayları Atanmış Temel Kirişi	6.24E5	20000	-	4	1.05E-2
Pasternak çekme almayan zemin modeli ve Winkler zemin modelleri arasındaki fark				%33	%80

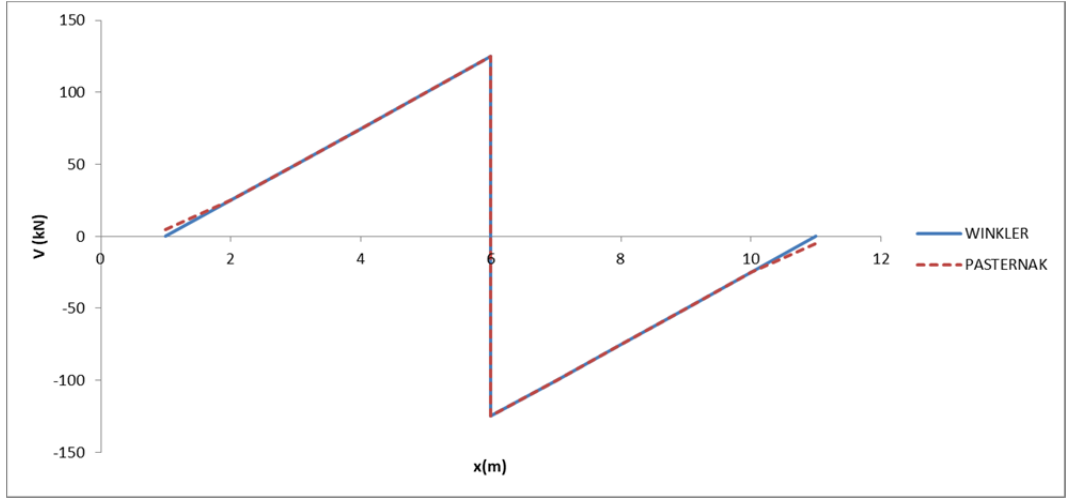
Çizelge 3.154 : Örnek-6 Pasternak ve winkler tipi zemin modelleri karşılaştırması.

	EI (kNm ²)	C (kN/m ²)	2Ct (kN)	Ayrılma Bölgesi (m)	Orta Nokta Yerdeğiştir- mesi (m)	Kesme Kuvveti (kN)
Pasternak Tipi Çekme Almayan Temel Kirişi	2.5E5	100	100	14	4.1E-3	26.6
Winkler Yayları Atanmış Temel Kirişi	2.5E5	100	-	11	2.5E-3	26.1
Pasternak çekme almayan zemin modeli ve Winkler zemin modelleri arasındaki fark				%22	%39	%2

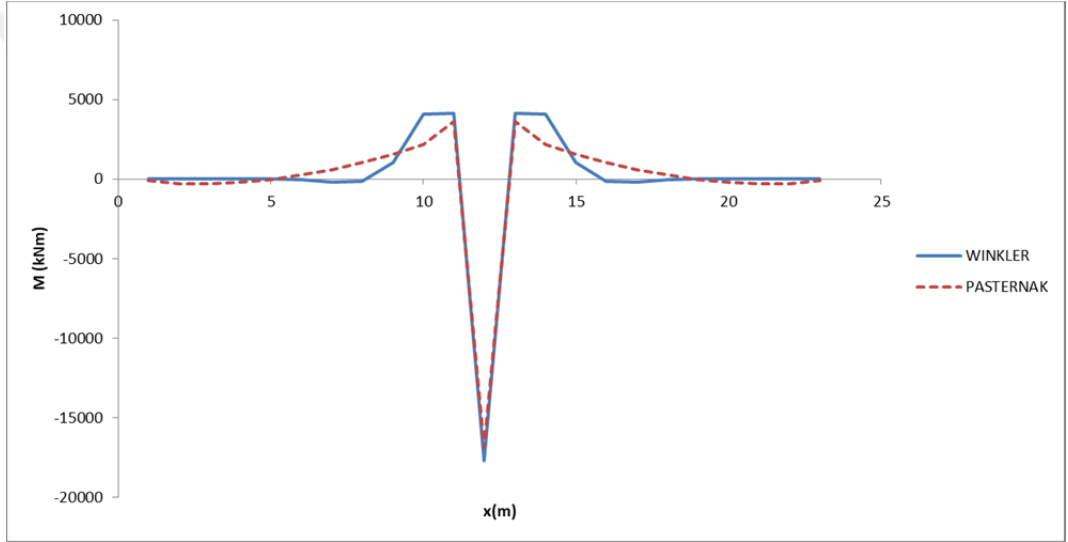
Yukarda verilen çizelgelerde görüldüğü gibi, hesap parametrelerine bağlı olarak oldukça farklı sonuçlar elde edilebildiği gibi, birbirine yakın davranışlar gözlemlenmek de mümkündür. İç kuvvetlerin karşılaştırması şekil 3.89-3.98’de verilmiştir. Ele alınan örneklerin literatürdeki referans çalışmalar ile karşılaştırılmaları çizelge 3.155-3.159’da gösterilmiştir.



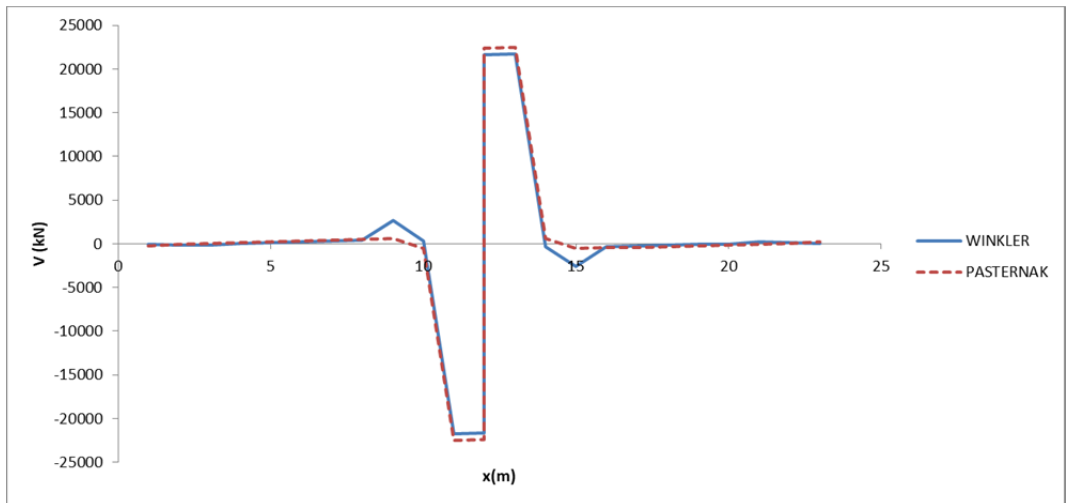
Şekil 3.89 : Örnek-1 Moment diyagramı.



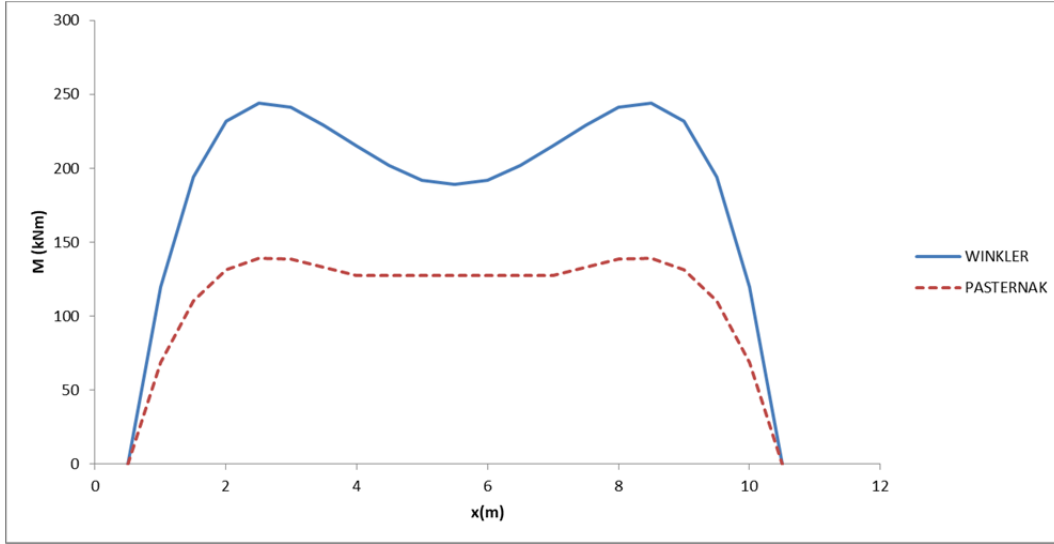
Şekil 3.90 : Örnek-1 Kesme kuvveti diyagramı.



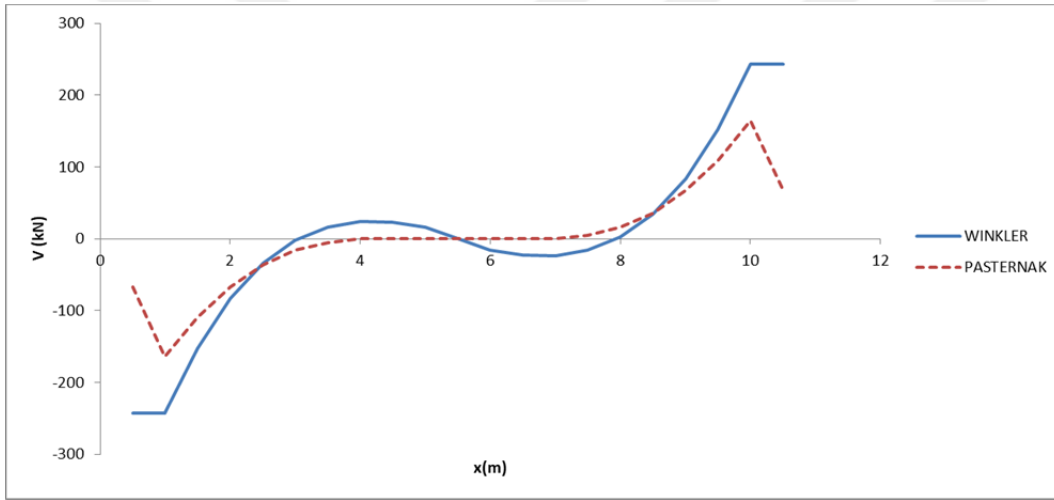
Şekil 3.91 : Örnek-2 Moment diyagramı.



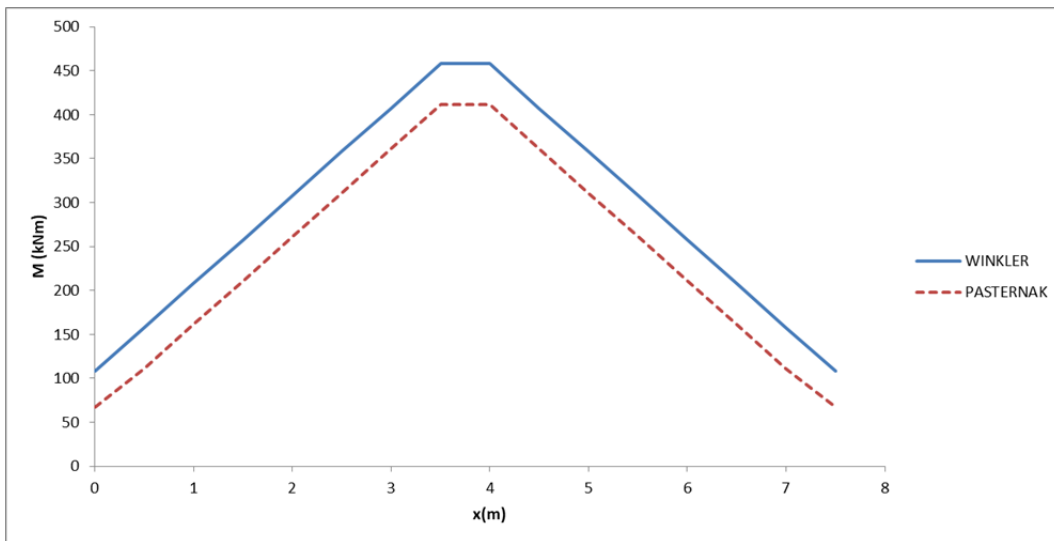
Şekil 3.92 : Örnek-2 Kesme kuvveti diyagramı.



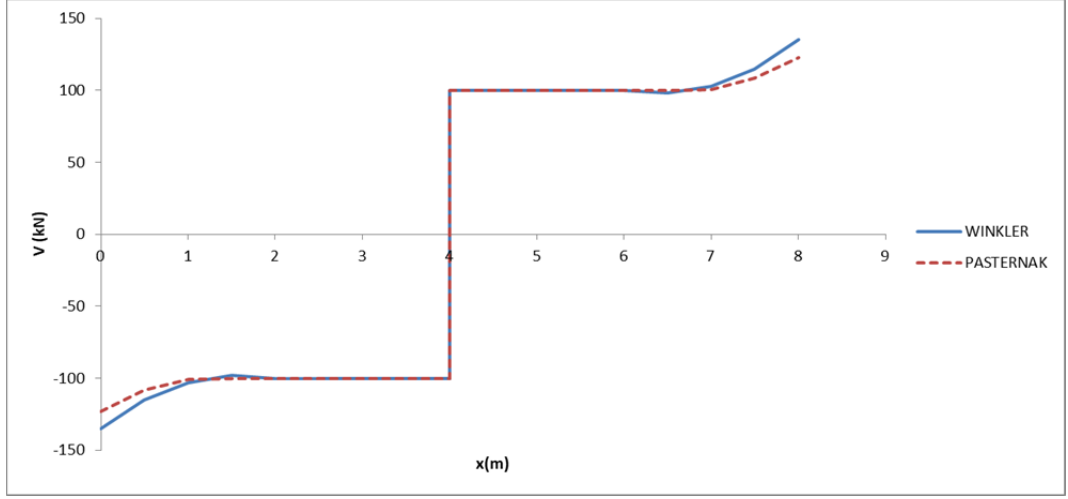
Şekil 3.93 : Örnek-3 Moment diyagramı.



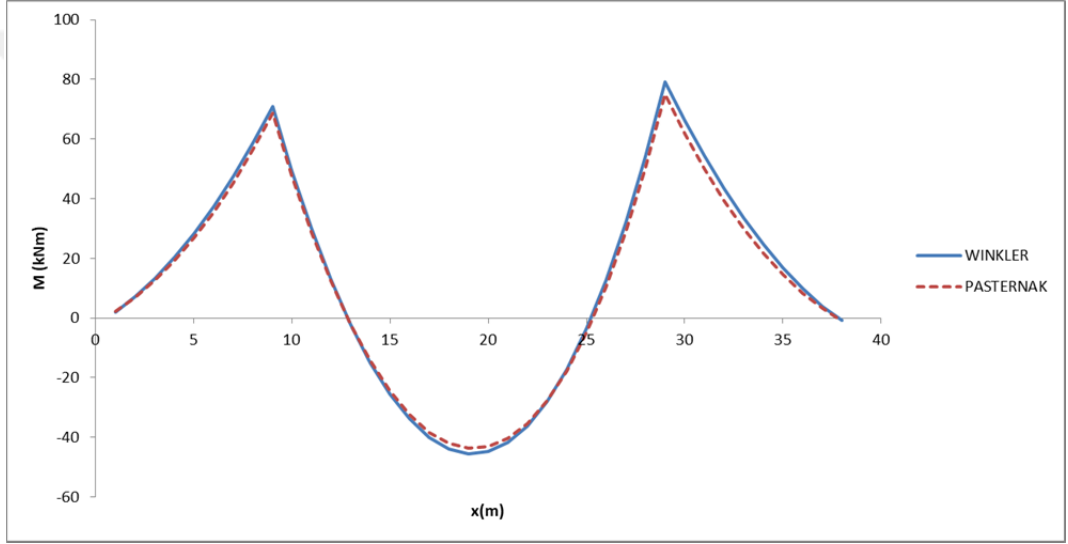
Şekil 3.94 : Örnek-3 Kesme kuvveti diyagramı.



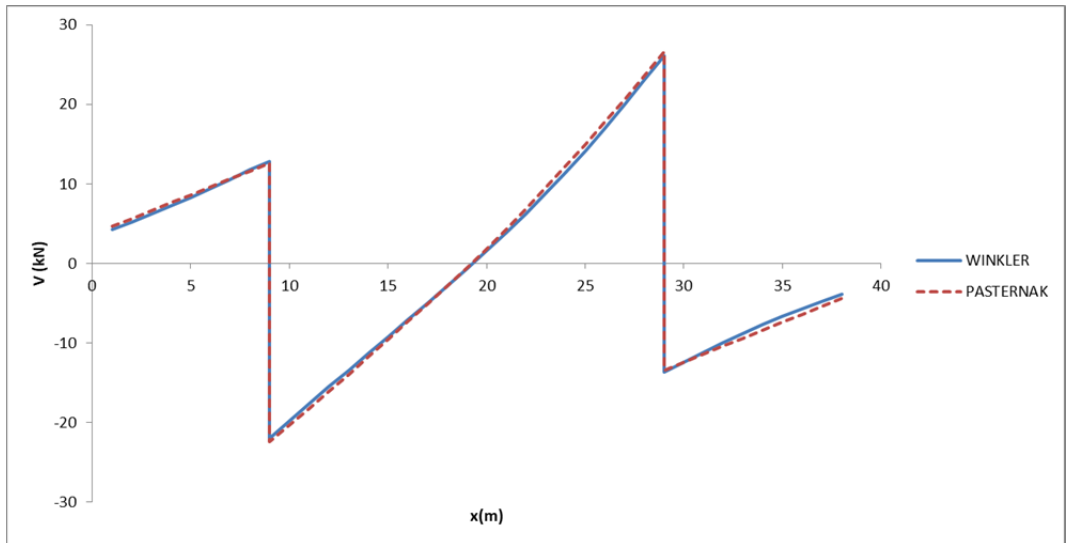
Şekil 3.95 : Örnek-5 Moment diyagramı.



Şekil 3.96 : Örnek-5 Kesme kuvveti diyagramı.



Şekil 3.97 : Örnek-6 Moment diyagramı.



Şekil 3.98 : Örnek-6 Kesme kuvveti diyagramı.

Çizelge 3.155 : Örnek-1 Tez çalışması ve referans çalışma karşılaştırması.

	EI (kNm ²)	C (kN/m ²)	2Ct (kN)	Ayrılma Bölgesi (m)	Orta Nokta Yerdeğiştirmesi (m)
Bu çalışma Kayma ř.d. İhmal	1E7	5E5	2.5E5	8	6.912E-4
Bu çalışma Kayma ř.d. Dahil				8	7.703E-4
Referans Çalışma				7.8	belirtilmemiştir
Referans Çalışma ile Bu çalışma arasındaki fark				%3	-

Çizelge 3.156 : Örnek-2 Tez çalışması ve referans çalışma karşılaştırması.

	EI (kNm ²)	C (kN/m ²)	2Ct (kN)	Temas Bölgesi (m)	Orta Nokta Yerdeğiştirmesi (m)
Bu alışma Kayma ř.d. İhmal	3E7	1.2E8	1.2E7	4	4.789E-4
Bu alışma Kayma ř.d. Dahil				6	3.472E-4
Referans alışma				3.5	belirtilmemiştir
Referans alışma ile Bu alışma arasındaki fark				%13	-

Çizelge 3.157 : Örnek-3 Tez çalışması ve referans çalışma karşılaştırması.

	EI (kNm ²)	C (kN/m ²)	2Ct (kN)	Ayrılma Bölgesi (m)	Orta Nokta Yerdeğiştirmesi (m)
Bu çalışma Kayma ř.d. İhmal	3000	285	150	1.5	5.075E-2
Bu çalışma Kayma ř.d. Dahil				1.5	4.496E-2
Referans Çalışma				1.3	belirtilmemiştir
Referans Çalışma ile Bu çalışma arasındaki fark				%13	-

Çizelge 3.158 : Örnek-4 Tez çalışması ve referans çalışma karşılaştırması.

	EI (kNm ²)	C (kN/m ²)	2Ct (kN)	Orta Nokta Yerdeğiştirmesi (m)
Bu alışma Kayma ř.d. İhmal	3000	300	900	0.23
Bu alışma Kayma ř.d. Dahil				0.23
Referans alışma				0.26
Referans alışma ile Bu alışma arasındaki fark				%12

Çizelge 3.159 : Örnek-6 Tez çalışması ve referans çalışma karşılaştırması.

Örnek 6	EI (kNm ²)	C (kN/m ²)	2Ct (kN)	Ayrılma Bölgesi (m)	Orta Nokta Yerdeğiştir mesi (m)	Kesme Kuvveti (kN)
Bu çalışma Kayma ş.d. İhmal	2.5E5	100	100	14	4.1E-3	26.6
Bu çalışma Kayma ş.d. Dahil				13	4.4E-3	26.6
Referans Çalışma				16	4.0E-3	27
Referans Çalışma ile Bu çalışma arasındaki fark				%12	%2	%1



4. SONUÇLAR

Bu çalışmada çekme almayan iki parametrelili pasternak tipi zemine oturan temel kirişlerinin yapı yükleri altındaki davranışı incelenmiştir. İncelemede yapılan çalışmanın geçerliliğini gözlemlemek için daha önce literatürde sonuçları verilmiş olan sayısal örnekler çözülmüştür. Çözülen altı adet sayısal örnekte tekil yük, düzgün ve düzgün olmayan yayılı yük durumları ayrı ayrı incelenmiştir. Yapısal sistemler SAP2000 yapı analiz programında modellenmiştir. Dışardan yapılan ardışık yaklaşımla zeminden ayrılan temel kirişi elemanları tesbit edilmiş, temel kirişindeki şekildeğiştirme ve kesit zorları incelenmiştir. Temel kirişi zemine temas ettiği durumda göz önüne alınan problem lineer statik bir problemidir. Ancak temelden ayrılma olduğunda sınır koşulları bakımından lineer olmayan davranış gözlenmektedir.

Literatürde yapının oturduğu zeminin düzensiz yapısından dolayı pek çok farklı şekilde modellendiği, günümüzde pratik mühendislikte kullanılan Winkler zemin modelinin çoğu zaman gerçek davranışla örtüşmediği, iki parametrelili zemin modelinin gerçeğe daha yakın davranışı idealize ettiği gösterilmiştir. Çubuk elemanlar için çıkarılmış ikinci mertebe çekme haline ait denge denklemlerinin iki parametrelili zemin kayma parametresi denge denklemleri ile birebir uyuştukları gösterilmiştir. Böylelikle temel kirişlerinde zemin kayma parametresinin temsili için çubuk uçlarından çekme kuvveti uygulanmasının doğru bir yaklaşım olacağı açıklanmıştır. SAP2000 yapı analiz programında çekme almayan Pasternak zeminine oturan temel kirişleri için genel bir modelleme prensibi oluşturulmuştur. Ayrıca dışardan yapılacak hesaplar için Pasternak zeminine oturan kiriş rijitlik matrislerinin terimleri verilmiştir. Yapılan hesaplar sonucu elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- Sonlu eleman programı ile yapılan çözümlerin referans çalışmalar ile yakın sonuçlar verdikleri görülmüştür. Modelleme prensibi uygundur. Bu çalışma ve referans çalışmalar arasında ölçülen en büyük fark %13'tür (bkz. Çizelge 3.156 ve Çizelge 3.157). Zemin kayma parametresinin küçük değerleri için zemin tepkisi sadece düşey yaylar tarafından karşılanmaktadır. Böyle

durumlarda sadece yay kuvvetlerine bakarak kirişin zeminden ayrılıp ayrılmayacağına karar verilebilir. Oysa bu çalışmada dışardan yapılan hesaplama zemin düşey yay ve kayma parametrelerinin ortaklaşa etkisinden doğan zemin tepkileri hesaplanmıştır. Referans çalışmada yay kuvvetlerine bakılarak gözlem yapılmış ise bu küçük farklılık ortaya çıkmış olabilir.

- Zemin elemanla birlikte modellenen sonlu uzunluktaki temel kirişlerinde iki parametrelili zemin modeli kullanılması halinde, klasik winkler zeminine kıyasla daha belirgin farklılıklar olduğu görülmüştür. Bunun sebebi temel kirişinin uç noktalarındaki dönmelerin Winkler tipi zeminde göz önüne alınmamasıdır (bkz. Örnek-3, Örnek-4, Örnek-5).
- Göz önüne alınan sayısal örneklerin ilk adım doğrusal çözümlerinde küçük yerdeğiştirmeler ölçülmüştür. Yapısal sistemin doğrusal olmayan davranışa geçtiği zeminden ayrılma halinde ise adım adım gidilen ardışık yaklaşım sonucunda temel kirişi yer değiştirmeleri oldukça farklılaşmaktadır. Özellikle örnek-1 ve örnek-5'te final durum ile doğrusal çözüm arasındaki fark %80 mertebesinde (bkz. Çizelge 3.149 ve Çizelge 3.153).
- Zemin kayma parametresi $2C_t$ değeri arttıkça ayrılma bölgesi uzunluğu artmakta yer değiştirmeler azalmaktadır (bkz.Çizelge 3.149, Çizelge 3.153 ve Çizelge 3.154). Ayrıca $2C_t$ azaldıkça temel kirişinin yerdeğiştirme diyagramındaki süreksizlik artmaktadır.
- Kayma şekildeğiştirmelerinin göz önünde bulundurulması durumunun sadece eğilme rijitliği değeri diğer analizlere görece büyük olan örnek-2'de etkin olduğu görülmüştür. Bu örnekte temel kirişinin zeminden ayrılan bölge uzunluğu azalmıştır. Zemine temas eden uzunluk %50 mertebesinde artış göstermiş, tepe nokta yer değiştirmesi %28 oranında daha küçük bir değer bulunmuştur. Diğer örneklerde yerdeğiştirme ve zeminden ayrılan bölge uzunluklarında belirgin bir fark gözlenmemiştir (bkz.Çizelge 3.156).

KAYNAKLAR

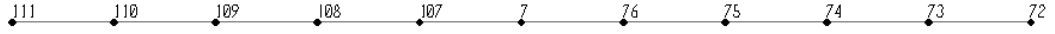
- Celep, Z. ve Demir, F.** (2007). Symmetrically loaded beam on a two-parameter tensionless foundation. *Structural Engineering and Mechanics*, Vol. 27, No. 5 (2007) 555-574
- Çakıroğlu, A., Özden, E. ve Özmen, G.** (1970). *Yapı Sistemlerinin Hesabı için Matris Metodları ve Elektronik Hesap Makinası Programları*. İTÜ Kütüphanesi, İstanbul, Cilt 1, Cilt 2.
- Çelik, M.** (1996). *Plak sonlu elemanlarda kayma şekildeğiştirmelerinin gözönüne alınması ve iki parametrelili zemine oturan plakların hesabı için bir yöntem*. (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Chiwanga, M. ve Valsangkar, A. J.** (1985). Generalized beam element on two-parameter elastic foundation. *Journal of Structural Engineering*, Vol. 114, No. 6
- Evcan, N.** (2012). *Pasternak Zemine Oturan Sonsuz Bir Kişin Hareketli Tekil Yük Altındaki Dinamik Davranışının İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Filolenko-Borodich, M.M.** (1940) Some approximate theories of the elastic foundation. *Uchenyie Zapiski Moscovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Mekhanika*. 46, 3-18.
- Hetenyi, M.** (1946) *Beams On Elastic Foundation*. The University of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan.
- Kerr, A.** (1991) Beams on a two-dimensional pasternak base subjected to loads that cause lift-off. *International Journal of Solid and Structures*, 28(4): 413-422.
- Ma, X., Butterworth, J.W. ve Clifton G.C.** (2009). Static analysis of infinite beam resting on a tensionless Pasternak foundation. *European Journal of Mechanics A/Solids* 28 (2009) 697-703.
- Pasternak, P.L.** (1954) On a new method of analysis of an elastic foundation by means of two foundation constants. *Gosudarstvennoe Izdatelstvo Literaturi po Stroitelstvu i Arkhitekture*, Moscow, Russia.
- Reissner, E.** (1945) The effect of transverse shear deformation on the bending of elastic plates, *J. Appl. Mech.*, 12, 69-77
- SAP2000** (Version 14.2). [Computer software]. Structural analysis program Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- Saygun, A. ve Trupia, A.** (2009). *Betonarme Yüzeysel Temeller*. Nobel Akademik Yayıncılık, İstanbul .
- Vlasov, V.Z. ve Leontiev, N.N.** (1966) *Beams plates and shells on elastic foundations*. Israel Programme For Scientific Translations, Tel Aviv.

- Winkler, E.** (1867) *Die Lehre von der Elastizitat und Festiget*, Prague Czechaslovakia.
- Yüksel, E. ve Karadoğan, F.** (n.d.), *Sınır koşulları yönünden lineer olmayan sistemlerin çözümü için bir algoritma*. İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Zhaohua, F. ve Cook, R.D.** (1983), Beam elements on two parameter elastic foundations, *Journal of Engineering Mechanics*, 109(6): 1390-1402



EK A

Örnek-1 Düzüm Noktası Yerdeğiştirmeleri (Kayma şekildeğiştirmesi hali)



şekil A.1 : Örnek-1 Sonlu eleman modeli düğüm noktası numaraları

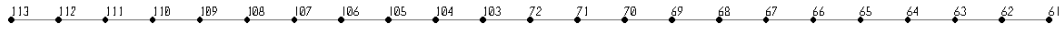
Çizelge A.1 : Örnek-1 İlk adım düğüm noktası yerdeğiştirmeleri

Düğüm Noktası Yerdeğiştirmeleri				
dn	Yük Hali	Yük tipi	U3	R2
			m	Radian
7	COMB1	Combination	0.000117	0.000000
72	COMB1	Combination	-0.000086	0.000014
73	COMB1	Combination	-0.000068	0.000024
74	COMB1	Combination	-0.000037	0.000039
75	COMB1	Combination	0.000010	0.000052
76	COMB1	Combination	0.000069	0.000050
107	COMB1	Combination	0.000069	-0.000050
108	COMB1	Combination	0.000010	-0.000052
109	COMB1	Combination	-0.000037	-0.000039
110	COMB1	Combination	-0.000068	-0.000024
111	COMB1	Combination	-0.000086	-0.000014

Çizelge A.2 : Örnek-1 Dördüncü adım düğüm noktası yerdeğiştirmeleri

Düğüm Noktası Yerdeğiştirmeleri				
dn	Yük Hali	Yük tipi	U3	R2
			m	Radians
7	COMB1	Combination	0.000770	0.000000
72	COMB1	Combination	-0.000051	0.000065
73	COMB1	Combination	0.000036	0.000131
74	COMB1	Combination	0.000213	0.000198
75	COMB1	Combination	0.000440	0.000216
76	COMB1	Combination	0.000655	0.000158
107	COMB1	Combination	0.000655	-0.000158
108	COMB1	Combination	0.000440	-0.000216
109	COMB1	Combination	0.000213	-0.000198
110	COMB1	Combination	0.000036	-0.000131
111	COMB1	Combination	-0.000051	-0.000065

Örnek-2 Düzüm Noktası Yerdeğiştirmeleri (Kayma şekildeğiştirmesi hali)



Şekil A.2 : Örnek-2 Sonlu eleman modeli düğüm noktası numaraları

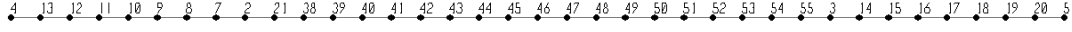
Çizelge A.3 : Örnek-2 Birinci adım düğüm noktası yerdeğiştirmeleri

Düzüm Noktası Yerdeğiştirmeleri				
dn	Yük Hali	Yük tipi	U3	R2
			m	Radians
61	COMB1	Combination	-7.223E-07	2.049E-09
62	COMB1	Combination	-7.219E-07	6.451E-09
63	COMB1	Combination	-7.169E-07	1.626E-08
64	COMB1	Combination	-6.912E-07	2.742E-08
65	COMB1	Combination	-5.939E-07	-1.043E-08
66	COMB1	Combination	-2.927E-07	-3.501E-07
67	COMB1	Combination	4.489E-07	-0.000001945
68	COMB1	Combination	0.000001627	-0.00000772
69	COMB1	Combination	7.218E-07	-0.000025
70	COMB1	Combination	-0.000017	-0.000064
71	COMB1	Combination	-0.000111	-0.000115
72	COMB1	Combination	-0.000479	1.383E-19
103	COMB1	Combination	-0.000111	0.000115
104	COMB1	Combination	-0.000017	0.000064
105	COMB1	Combination	7.218E-07	0.000025
106	COMB1	Combination	0.000001627	0.00000772
107	COMB1	Combination	4.489E-07	0.000001945
108	COMB1	Combination	-2.927E-07	3.501E-07
109	COMB1	Combination	-5.939E-07	1.043E-08
110	COMB1	Combination	-6.912E-07	-2.742E-08
111	COMB1	Combination	-7.169E-07	-1.626E-08
112	COMB1	Combination	-7.219E-07	-6.451E-09
113	COMB1	Combination	-7.223E-07	-2.049E-09

Çizelge A.4 : Örnek-2 Altıncı adım düğüm noktası yerdeğiştirmeleri

Düğüm Noktası Yerdeğiştirmeleri				
dn	Yük Hali	Yük tipi	U3	R2
			m	Radians
61	COMB1	Combination	-7.366E-07	1.374E-08
62	COMB1	Combination	-7.611E-07	7.149E-08
63	COMB1	Combination	-7.956E-07	2.746E-07
64	COMB1	Combination	-7.401E-07	8.579E-07
65	COMB1	Combination	-5.088E-08	0.00000214
66	COMB1	Combination	0.000004419	0.000002821
67	COMB1	Combination	0.00001	-1.165E-07
68	COMB1	Combination	0.000013	-0.000009559
69	COMB1	Combination	0.000003769	-0.000028
70	COMB1	Combination	-0.000017	-0.000066
71	COMB1	Combination	-0.000112	-0.000116
72	COMB1	Combination	-0.000479	1.411E-19
103	COMB1	Combination	-0.000112	0.000116
104	COMB1	Combination	-0.000017	0.000066
105	COMB1	Combination	0.000003769	0.000028
106	COMB1	Combination	0.000013	0.000009559
107	COMB1	Combination	0.00001	1.165E-07
108	COMB1	Combination	0.000004419	-0.000002821
109	COMB1	Combination	-5.088E-08	-0.00000214
110	COMB1	Combination	-7.401E-07	-8.579E-07
111	COMB1	Combination	-7.956E-07	-2.746E-07
112	COMB1	Combination	-7.611E-07	-7.149E-08
113	COMB1	Combination	-7.366E-07	-1.374E-08

Örnek-3 Düzüm Noktası Yerdeğıştirmeleri (Kayma şekildeğıştirmesi hali)



Şekil A.3 : Örnek-3 Sonlu eleman modeli düğüm noktası numaraları

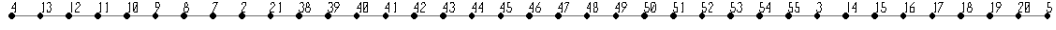
Çizelge A.5 : Örnek-3 İlk adım düğüm noktası yerdeğıştirmeleri

Düzüm Noktası Yerdeğıştirmeleri				
dn	Yük Hali	Yük tipi	U3	R2
			m	Radians
2	COMB1	Combination	-0.492722	-0.180324
3	COMB1	Combination	-0.492722	0.180324
4	COMB1	Combination	0	0
5	COMB1	Combination	0	0
7	COMB1	Combination	-0.236737	0.943233
8	COMB1	Combination	-0.120362	0.00017
9	COMB1	Combination	-0.061154	-0.00115
10	COMB1	Combination	-0.030995	0.001633
11	COMB1	Combination	-0.015559	0.000862
12	COMB1	Combination	-0.007513	0.00029
13	COMB1	Combination	-0.003036	0.000056
14	COMB1	Combination	-0.236737	-0.943234
15	COMB1	Combination	-0.120362	-0.000173
16	COMB1	Combination	-0.061154	0.00117
17	COMB1	Combination	-0.030995	-0.001652
18	COMB1	Combination	-0.015559	-0.000895
19	COMB1	Combination	-0.007513	-0.000299
20	COMB1	Combination	-0.003036	-0.000063
21	COMB1	Combination	-0.385324	-0.174875
38	COMB1	Combination	-0.290266	-0.160705
39	COMB1	Combination	-0.208918	-0.14157
40	COMB1	Combination	-0.141399	-0.120126
41	COMB1	Combination	-0.087055	-0.098132
42	COMB1	Combination	-0.044831	-0.076633
43	COMB1	Combination	-0.013546	-0.05612
44	COMB1	Combination	0.007902	-0.036678
45	COMB1	Combination	0.020395	-0.0181
46	COMB1	Combination	0.024494	-6.388E-11
47	COMB1	Combination	0.020395	0.0181
48	COMB1	Combination	0.007902	0.036678
49	COMB1	Combination	-0.013546	0.05612
50	COMB1	Combination	-0.044831	0.076633
51	COMB1	Combination	-0.087055	0.098132
52	COMB1	Combination	-0.141399	0.120126
53	COMB1	Combination	-0.208918	0.14157
54	COMB1	Combination	-0.290266	0.160705
55	COMB1	Combination	-0.385324	0.174875

Çizelge A.6 : Örnek-3 Üçüncü adım düğüm noktası yerdeğiştirmeleri

Düğüm Noktası Yerdeğiştirmeleri				
dn	Yük Hali	Yük tipi	U3	R2
			m	Radians
2	COMB1	Combination	-0.49435	-0.184017
3	COMB1	Combination	-0.49435	0.184017
4	COMB1	Combination	0	0
5	COMB1	Combination	0	0
7	COMB1	Combination	-0.237285	0.956055
8	COMB1	Combination	-0.120641	0.000169
9	COMB1	Combination	-0.061296	-0.001118
10	COMB1	Combination	-0.031067	0.001607
11	COMB1	Combination	-0.015595	0.000755
12	COMB1	Combination	-0.00753	0.000261
13	COMB1	Combination	-0.003043	0.000053
14	COMB1	Combination	-0.237285	-0.956055
15	COMB1	Combination	-0.120641	-0.000166
16	COMB1	Combination	-0.061296	0.001111
17	COMB1	Combination	-0.031067	-0.0016
18	COMB1	Combination	-0.015595	-0.000761
19	COMB1	Combination	-0.00753	-0.000264
20	COMB1	Combination	-0.003043	-0.000047
21	COMB1	Combination	-0.385219	-0.178604
38	COMB1	Combination	-0.288395	-0.164542
39	COMB1	Combination	-0.205181	-0.14558
40	COMB1	Combination	-0.135633	-0.124345
41	COMB1	Combination	-0.079053	-0.102546
42	COMB1	Combination	-0.034364	-0.08115
43	COMB1	Combination	-0.000409	-0.060546
44	COMB1	Combination	0.024797	-0.040356
45	COMB1	Combination	0.039919	-0.020176
46	COMB1	Combination	0.044959	-6.094E-11
47	COMB1	Combination	0.039919	0.020176
48	COMB1	Combination	0.024797	0.040356
49	COMB1	Combination	-0.000409	0.060546
50	COMB1	Combination	-0.034364	0.08115
51	COMB1	Combination	-0.079053	0.102546
52	COMB1	Combination	-0.135633	0.124345
53	COMB1	Combination	-0.205181	0.14558
54	COMB1	Combination	-0.288395	0.164542
55	COMB1	Combination	-0.385219	0.178604

Örnek-4 Düzüm Noktası Yerdeğiştirmeleri (Kayma şekildeğiştirmesi hali)



Şekil A.4 : Örnek-4 Sonlu eleman modeli düğüm noktası numaraları

Çizelge A.7 : Örnek-4 İlk adım düğüm noktası yerdeğiştirmeleri

Düzüm Noktası Yerdeğiştirmeleri				
dn	Yük Hali	Yük tipi	U3	R2
			m	Radians
2	COMB1	Combination	-0.262449	-0.078665
3	COMB1	Combination	-0.262449	0.078665
4	COMB1	Combination	0	0
5	COMB1	Combination	0	0
7	COMB1	Combination	-0.195044	0.297511
8	COMB1	Combination	-0.144221	0.00019
9	COMB1	Combination	-0.105413	-0.000111
10	COMB1	Combination	-0.075391	-0.000017
11	COMB1	Combination	-0.05165	0.000086
12	COMB1	Combination	-0.032214	-0.000131
13	COMB1	Combination	-0.015463	0.000038
14	COMB1	Combination	-0.195044	-0.297511
15	COMB1	Combination	-0.144221	-0.000193
16	COMB1	Combination	-0.105413	0.000118
17	COMB1	Combination	-0.075391	-0.000031
18	COMB1	Combination	-0.05165	0.000148
19	COMB1	Combination	-0.032214	-0.000194
20	COMB1	Combination	-0.015463	-0.000163
21	COMB1	Combination	-0.215736	-0.076345
38	COMB1	Combination	-0.174356	-0.070331
39	COMB1	Combination	-0.138755	-0.062226
40	COMB1	Combination	-0.10894	-0.053118
41	COMB1	Combination	-0.084663	-0.043703
42	COMB1	Combination	-0.065552	-0.034388
43	COMB1	Combination	-0.051205	-0.025364
44	COMB1	Combination	-0.041252	-0.016676
45	COMB1	Combination	-0.035404	-0.008262
46	COMB1	Combination	-0.033475	-2.968E-11
47	COMB1	Combination	-0.035404	0.008262
48	COMB1	Combination	-0.041252	0.016676
49	COMB1	Combination	-0.051205	0.025364
50	COMB1	Combination	-0.065552	0.034388
51	COMB1	Combination	-0.084663	0.043703
52	COMB1	Combination	-0.10894	0.053118
53	COMB1	Combination	-0.138755	0.062226
54	COMB1	Combination	-0.174356	0.070331
55	COMB1	Combination	-0.215736	0.076345

Örnek-5 Düzüm Noktası Yerdeğıştirmeleri (Kayma şekildeğıştirmesi hali)

4 13 12 11 10 9 8 7 2 21 28 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 3 14 15 16 17 18 19 20 5

Şekil A.5 : Örnek-5 Sonlu eleman modeli düğüm noktası numaraları

Çizelge A.8 : Örnek-5 İlk adım düğüm noktası yerdeğıştirmeleri

Düzüm Noktası Yerdeğıştirmeleri				
dn	Yük Hali	Yük tipi	U3	R2
			m	Radians
2	COMB1	Combination	-0.002935	-0.001061
3	COMB1	Combination	-0.002935	0.001061
4	COMB1	Combination	-0.000023	-2.776E-07
5	COMB1	Combination	-0.000023	-6.939E-08
7	COMB1	Combination	-0.001468	0
8	COMB1	Combination	-0.000734	0
9	COMB1	Combination	-0.000367	-0.000004441
10	COMB1	Combination	-0.000184	0
11	COMB1	Combination	-0.000093	0
12	COMB1	Combination	-0.000049	0
13	COMB1	Combination	-0.000029	2.776E-07
14	COMB1	Combination	-0.001468	0
15	COMB1	Combination	-0.000734	-0.000008882
16	COMB1	Combination	-0.000367	0
17	COMB1	Combination	-0.000184	0.00000222
18	COMB1	Combination	-0.000093	-0.00000111
19	COMB1	Combination	-0.000049	5.551E-07
20	COMB1	Combination	-0.000029	0
21	COMB1	Combination	-0.002406	-0.001075
38	COMB1	Combination	-0.00186	-0.001082
39	COMB1	Combination	-0.001321	-0.001049
40	COMB1	Combination	-0.000808	-0.000984
41	COMB1	Combination	-0.000335	-0.000891
42	COMB1	Combination	0.000085	-0.000771
43	COMB1	Combination	0.000438	-0.000624
44	COMB1	Combination	0.000711	-0.000448
45	COMB1	Combination	0.000889	-0.000242
46	COMB1	Combination	0.000955	1.839E-19
47	COMB1	Combination	0.000889	0.000242
48	COMB1	Combination	0.000711	0.000448
49	COMB1	Combination	0.000438	0.000624
50	COMB1	Combination	0.000085	0.000771
51	COMB1	Combination	-0.000335	0.000891
52	COMB1	Combination	-0.000808	0.000984
53	COMB1	Combination	-0.001321	0.001049
54	COMB1	Combination	-0.00186	0.001082
55	COMB1	Combination	-0.002406	0.001075

Çizelge A.9 : Örnek-5 Dördüncü adım düğüm noktası yerdeğiştirmeleri

Düğüm Noktası Yerdeğiştirmeleri				
dn	Yük Hali	Yük tipi	U3	R2
			m	Radians
2	COMB1	Combination	-0.002799	-0.001339
3	COMB1	Combination	-0.002799	0.001339
4	COMB1	Combination	-0.000022	-2.082E-07
5	COMB1	Combination	-0.000022	0
7	COMB1	Combination	-0.001399	0
8	COMB1	Combination	-0.0007	0
9	COMB1	Combination	-0.00035	0.000004441
10	COMB1	Combination	-0.000176	-0.00000222
11	COMB1	Combination	-0.000089	0
12	COMB1	Combination	-0.000046	5.551E-07
13	COMB1	Combination	-0.000027	0
14	COMB1	Combination	-0.001399	0
15	COMB1	Combination	-0.0007	-0.000008882
16	COMB1	Combination	-0.00035	-0.000004441
17	COMB1	Combination	-0.000176	0
18	COMB1	Combination	-0.000089	0.00000111
19	COMB1	Combination	-0.000046	0
20	COMB1	Combination	-0.000027	2.776E-07
21	COMB1	Combination	-0.00213	-0.001353
38	COMB1	Combination	-0.001445	-0.001359
39	COMB1	Combination	-0.000768	-0.001324
40	COMB1	Combination	-0.000118	-0.001253
41	COMB1	Combination	0.000487	-0.001144
42	COMB1	Combination	0.001029	-0.000995
43	COMB1	Combination	0.001485	-0.000806
44	COMB1	Combination	0.001838	-0.000578
45	COMB1	Combination	0.002066	-0.000309
46	COMB1	Combination	0.00215	1.557E-18
47	COMB1	Combination	0.002066	0.000309
48	COMB1	Combination	0.001838	0.000578
49	COMB1	Combination	0.001485	0.000806
50	COMB1	Combination	0.001029	0.000995
51	COMB1	Combination	0.000487	0.001144
52	COMB1	Combination	-0.000118	0.001253
53	COMB1	Combination	-0.000768	0.001324
54	COMB1	Combination	-0.001445	0.001359
55	COMB1	Combination	-0.00213	0.001353

Örnek-6 Düzüm Noktası Yerdeğıştirmeleri (Kayma şekildeğıştirmesi hali)

184 103 182 101 188 99 98 8 282 281 288 279 141 140 139 138 137 136 135 134 133 132 131 130 129 128 127 7 97 96 95 94 93 92 91 90 89

Şekil A.6 : Örnek-6 Sonlu eleman modeli düğüm noktası numaraları

Çizelge A.10 : Örnek-6 İlk adım düğüm noktası yerdeğıştirmeleri

Düzüm Noktası Yerdeğıştirmeleri				
dn	Yük Hali	Yük tipi	U3	R2
			m	Radians
7	COMB1	Combination	0.002537	-0.000271
8	COMB1	Combination	0.001954	0.000204
89	COMB1	Combination	-0.002043	0.000782
90	COMB1	Combination	-0.001247	0.000778
91	COMB1	Combination	-0.000461	0.000756
92	COMB1	Combination	0.000294	0.000711
93	COMB1	Combination	0.000995	0.000639
94	COMB1	Combination	0.001614	0.000538
95	COMB1	Combination	0.002117	0.0004
96	COMB1	Combination	0.002468	0.000223
97	COMB1	Combination	0.002624	1.288E-06
98	COMB1	Combination	0.001988	-0.000046
99	COMB1	Combination	0.001801	-0.000248
100	COMB1	Combination	0.001436	-0.000409
101	COMB1	Combination	0.000933	-0.000533
102	COMB1	Combination	0.000327	-0.000624
103	COMB1	Combination	-0.000353	-0.000687
104	COMB1	Combination	-0.001079	-0.000725
127	COMB1	Combination	0.002052	-0.00052
128	COMB1	Combination	0.001376	-0.000676
129	COMB1	Combination	0.000593	-0.000754
130	COMB1	Combination	-0.000222	-0.000764
131	COMB1	Combination	-0.001009	-0.000718
132	COMB1	Combination	-0.001718	-0.000627
133	COMB1	Combination	-0.002309	-0.0005
134	COMB1	Combination	-0.002752	-0.000349
135	COMB1	Combination	-0.003028	-0.000182
136	COMB1	Combination	-0.003125	-8.31E-06
137	COMB1	Combination	-0.003042	0.000163
138	COMB1	Combination	-0.002785	0.000324
139	COMB1	Combination	-0.002369	0.000465
140	COMB1	Combination	-0.001817	0.000579
141	COMB1	Combination	-0.001163	0.000657
279	COMB1	Combination	-0.000445	0.000069
280	COMB1	Combination	0.000288	0.000067
281	COMB1	Combination	0.000977	0.000588
282	COMB1	Combination	0.001558	0.000436

Çizelge A.11 : Örnek-6 Dördüncü adım düğüm noktası yerdeğıştirmeleri

Düğüm Noktası Yerdeğıştirmeleri				
dn	Yük Hali	Yük tipi	U3	R2
			m	Radians
7	COMB1	Combination	0.004335	-0.000273
8	COMB1	Combination	0.003129	0.000177
89	COMB1	Combination	-0.000886	0.000893
90	COMB1	Combination	0.000021	0.000887
91	COMB1	Combination	0.000916	0.00086
92	COMB1	Combination	0.001775	0.000807
93	COMB1	Combination	0.00257	0.000725
94	COMB1	Combination	0.00327	0.000609
95	COMB1	Combination	0.003837	0.000455
96	COMB1	Combination	0.004234	0.000259
97	COMB1	Combination	0.004416	0.000018
98	COMB1	Combination	0.003133	-0.000081
99	COMB1	Combination	0.002905	-0.000294
100	COMB1	Combination	0.002489	-0.000464
101	COMB1	Combination	0.001926	-0.000595
102	COMB1	Combination	0.001253	-0.000691
103	COMB1	Combination	0.000503	-0.000758
104	COMB1	Combination	-0.000297	-0.000797
127	COMB1	Combination	0.003837	-0.00054
128	COMB1	Combination	0.003131	-0.000711
129	COMB1	Combination	0.002305	-0.0008
130	COMB1	Combination	0.001435	-0.000818
131	COMB1	Combination	0.000589	-0.000776
132	COMB1	Combination	-0.000181	-0.000685
133	COMB1	Combination	-0.000832	-0.000556
134	COMB1	Combination	-0.00133	-0.0004
135	COMB1	Combination	-0.001656	-0.000227
136	COMB1	Combination	-0.001795	-0.000047
137	COMB1	Combination	-0.001747	0.000132
138	COMB1	Combination	-0.001517	0.0003
139	COMB1	Combination	-0.001121	0.000448
140	COMB1	Combination	-0.000583	0.000567
141	COMB1	Combination	0.000063	0.000648
279	COMB1	Combination	0.000776	0.000683
280	COMB1	Combination	0.001504	0.000662
281	COMB1	Combination	0.002186	0.000576
282	COMB1	Combination	0.002754	0.000418

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Ahmet Çağatay Tahaoğlu
Doğum Tarihi ve Yeri : 1990 - İstanbul
E-posta : ac.tahaoglu@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans : 2013, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği
Yükseklisans : 2017, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yapı Mühendisliği,

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2013- yılından itibaren Nodus Mühendislik'te inşaat mühendisi olarak çalışmaktadır.