

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEĞİŞKEN PARAMETRELİ PASTERNAK ZEMİNE OTURAN SÜREKLİ
KİRİŞLERİN SABİT VE HAREKETLİ YÜKLER İÇİN SAP2000 YAZILIMI
İLE HESABI**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

TUĞÇE KASAP KARAKAŞ

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Mühendisliği Programı**

Şubat 2020

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEĞİŞKEN PARAMETRELİ PASTERNAK ZEMİNE OTURAN SÜREKLİ
KİRİŞLERİN SABİT VE HAREKETLİ YÜKLER İÇİN SAP2000 YAZILIMI
İLE HESABI**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TUĞÇE KASAP KARAKAŞ
(501121053)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Engin ORAKDÖĞEN

Şubat 2020

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501121053 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Tuğçe KASAP KARAKAŞ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “DEĞİŞKEN PARAMETRELİ PASTERNAK ZEMİNE OTURAN SÜREKLİ KİRİŞLERİN SABİT VE HAREKETLİ YÜKLER İÇİN SAP2000 YAZILIMI İLE HESABI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

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

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

Doç. Dr. Öğr. Üyesi Hasan ÖZKAYNAK
Beykent Üniversitesi

Teslim Tarihi : **10.03.2020**
Savunma Tarihi : **12.03.2020**



ÖNSÖZ

Çalışmam sürecinde engin bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim danışman hocam Prof. Dr. Engin ORAKDÖĞEN'e desteklerinden ötürü sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Bilgisi, tecrübesi ve her türlü desteği ile yanımda olan kadim dostum Serap ATMACA'ya teşekkür ederim.

Destekleri ile zorlukların üstesinden gelmemi sağlayan Annem Gülcan KASAP başta olmak üzere aileme teşekkürü borç bilirim. Varlığı ile bu sürece hayat enerjisini katan Sevgili Oğlum Ahmet Kerem KARAKAŞ'a şükürler olsun.

Mart 2020

Tuğçe KASAP KARAKAŞ
İnşaat Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	ix
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Yapı Zemin İlişkisi	1
1.2 Tezin Amacı ve Kapsamı	1
1.3 Konu İle İlgili Yapılmış Çalışmalar	2
1.4 Yapı Zemin Etkileşim Modelleri.....	3
1.4.1 Winkler zemin modeli.....	3
1.4.2 Boussinesq zemin modeli	4
1.4.3 Filonenko Borodich zemin modeli.....	5
1.4.4 Hetenyi Zemin Modeli	5
1.4.5 Vlasov zemin modeli.....	6
1.4.6 Pasternak zemin modeli.....	7
1.5 Pasternak Tipi Zeminin Matematiksel İfadesi	8
2. HESAP MODELİNİN OLUŞTURULMASI	11
2.1 Giriş	11
2.2 SAP2000 Sonlu Eleman Yazılımında İki Parametrelili Zemin Modeli.....	11
2.3 Genelleştirilmiş Müller-Breslau Metodu ile Tesir Çizgilerinin Elde Edilmesi	13
2.3.1 Tesir Çizgisi Kavramı	13
2.3.2 Genelleştirilmiş Müller-Breslau Prensipleri ile ve SAP2000 programı Kullanılarak Tesir Çizgilerinin Elde Edilmesi	13
2.3.3 Birim Yer Değiştirmelerden Oluşan Çubuk Ankastrelik Uç Kuvvetleri Hesabı	14
3. SAYISAL ÖRNEKLER.....	17
3.1. Örnek 1 Üç Açıklıklı Sürekli Kiriş.....	17
3.1.1. SAP2000 girdileri	18
3.1.2. Analiz sonucu	20
3.2. Örnek 2 İki Parametrelili Zemine Oturan Kiriş.....	21
3.2.1. SAP2000 girdileri	22
3.2.2. Analiz sonucu	23
3.3. Örnek 3 İki Parametrelili Zemine Oturan Kirişin Farklı Zemin Yükseklikleri İçin Kirişin İncelenmesi.....	26
3.3.1. SAP2000 girdileri	27
3.3.2 Analiz sonucu	31
3.4 Örnek 4 Genelleştirilmiş Müller-Breslau Metodu ile Tesir Çizgilerinin Elde Edilmesi	34
3.4.1 SAP2000 girdileri	36
3.4.2 Analiz sonucu	40

3.5. Örnek 5 İki Parametrelili Zemine Oturan Kiriş	41
3.5.1 Simpson metodu ile moment değeri bulma	41
3.5.2 Analiz sonucu	42
3.6 Örnek 6 Her Açıklıkta Farklı C ve 2Ct Değerine Sahip Kiriş	42
3.6.1 SAP2000 girdileri	43
3.6.2 Analiz sonucu	46
3.7 Örnek 7 Kiriş Boyunca Değişen C ve 2Ct Değerine Sahip Kiriş	46
3.7.1. SAP2000 girdileri	48
3.7.2 Analiz sonucu	51
4. SONUÇLAR	55
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	59



KISALTMALAR

değ. : Değeri
dn : Düğüm noktası
yd : Yer değiştirme
kN : Kilonewton
kNm : Kilonewton metre
m : Metre





SEMBOLLER

B	: Temel kirişı taban genişliği
C	: İki parametrelili zemin düşey yay katsayısı
Ct	: İki parametrelili zeminin kayma katsayısı
D	: Elastik plak eleman eğilme rijitliği
E, Eb	: Temel kirişı elastisite modülü
Ez	: Zemin elastisite modülü
G	: Zemin kayma modülü
H	: Zemin tabakası kalınlığı
I	: Temel kirişı atalet momenti
k	: İkinci mertebe teorisi çubuk eleman eğilme rijitliği
L	: Çubuk uzunluğu
q	: Düşey yayılı yük
p	: Noktasal yük
P	: Eksenel çekme kuvveti
Mi	: Bakış yönüne göre çubuk sol ucundaki moment
Mj	: Bakış yönüne göre çubuk sağ ucundaki moment
T	: Elastik zarda oluşan çekme kuvveti
u3	: SAP2000 programında düşey yer değıştirme
vk	: Temel kirişı poisson oranı
vs	: Zemin poisson oranı
w	: Temel kirişı düşey yer değıştirmesi
đ	: yer değıştirme
Δ	: Kiriş uzunluğu
[K]	: Kiriş eğilme rijitliğinden gelen rijitlik matrisi
[Ks]	: Kiriş ikinci mertebe eksenel rijitliğinden gelen rijitlik matrisi
[C]	: İki parametrelili zemin düşey yay katsayısından gelen rijitlik matrisi
[Ct]	: Zemin kayma parametresi ile ilgili rijitlik matrisi
x	: uzunluk değışkeni



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Düşey Yd, Kesme Kuvveti ve Eğilme Moment Kıyas Tablosu.	20
Çizelge 3.2 : Örnek 2'ye ait yer değiştirme kıyas tablosu.	24
Çizelge 3.3 : Örnek 2'ye ait kesme kuvveti ve eğilme momenti kıyas tablosu..	24
Çizelge 3.4 : Örnek 3 H=5 m için referans çalışma ile SAP2000 yd değerleri kıyas tablosu.	32
Çizelge 3.5 : Örnek 3 H=10 m için referans çalışma ile SAP2000 yd değerleri kıyas tablosu.	32
Çizelge 3.6 : Örnek 3 H=15 m için referans çalışma ile SAP2000 yd değerleri kıyas tablosu.	33
Çizelge 3.7 : Örnek 3 H=20 m için referans çalışma ile SAP2000 yd değerleri kıyas tablosu.	33
Çizelge 3.8 : H=5 m için ankastrelik uç kuvvetleri	34
Çizelge 3.9 : H=10 m için ankastrelik uç kuvvetleri.	34
Çizelge 3.10 : H=15 m için ankastrelik uç kuvvetleri.	35
Çizelge 3.11 : H=20 m için ankastrelik uç kuvvetleri.	35
Çizelge 3.12 : Referans çalışma ile SAP2000'deki çalışmanın yd kıyas tablosu	40
Çizelge 3.13 : Yayılı yük altındaki alan hesabı.	42
Çizelge 3.14 : Moment değeri kıyas tablosu.	42
Çizelge 3.15 : Yay sabiti ve zemin kayma parametresi değerleri.	47
Çizelge 3.16 : Yer değiştirme Tablosu	51
Çizelge 3.17 : Kesme Kuvveti ve Eğilme Moment Tablosu.	52



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Winkler zemin modelinde yer değiştirmeler	4
Şekil 1.2 : Filonenko- Brodich zemin modelinde meydana gelen yer değiştirmeler	5
Şekil 1.3 : Hetenyi Zemin Modeli.	6
Şekil 1.4 : Vlasov Zemin Modeli.	7
Şekil 1.5 : Pasternak Zemin Modeli.	8
Şekil 1.6 : Pasternak zemin modelinde meydana gelen yerdeğiştirmeler.	8
Şekil 1.7 : Kirişin kesit tesirleri	9
Şekil 2.1 : Hesap modeli	12
Şekil 2.2 : SAP2000 pozitif yön kabulleri.	12
Şekil 2.3 : Sonlu kiriş düğüm noktası serbestlikleri	15
Şekil 3.1 : Örnek 1 üç açıklı sürekli kiriş.	18
Şekil 3.2 : Örnek 1'e ait yay katsayısı değerini SAP2000'de oluşturma.	19
Şekil 3.3 : Örnek 1'e ait kayma gerilmesi değerini SAP2000'de oluşturma.	19
Şekil 3.4 : Örnek 1'in SAP2000 ve referans çalışmadaki yer değiştirme analizi.	20
Şekil 3.5 : Örnek 1'in SAP2000 ve referans çalışmadaki kesme kuvveti analizi.	21
Şekil 3.6 : Örnek 1'in SAP2000 ve referans çalışmadaki moment değeri analizi.	21
Şekil 3.7 : Örnek 2 İki parametrelili zemine oturan kiriş	22
Şekil 3.8 : Örnek 2'ye ait yay katsayısı değerinin SAP2000'de girilmesi.	23
Şekil 3.9 : Örnek 2'ye ait zemin kayma parametresi değerinin SAP2000'de girilmesi	23
Şekil 3.10 : SAP2000'de analizin 0,5 m aralıklarla yapılması	23
Şekil 3.11 : Örnek 2'in SAP2000 ve referans çalışmadaki yer değiştirme analizi	25
Şekil 3.12 : Örnek 2'in SAP2000 ve referans çalışmadaki kesme kuvveti analizi.	25
Şekil 3.13 : Örnek 2'in SAP2000 ve referans çalışmadaki moment değeri analizi	25
Şekil 3.14 : Örnek 3 zemin yüksekliği H=5 m.	26
Şekil 3.15 : Örnek 3 zemin yüksekliği H=10 m.	26
Şekil 3.16 : Örnek 3 zemin yüksekliği H=15 m.	27
Şekil 3.17 : Örnek 3 zemin yüksekliği H=20 m.	27
Şekil 3.18 : Örnek 3 H=5 m için yay katsayısı değeri.	28
Şekil 3.19 : Örnek 3 H=5 m için kayma gerilmesi değerinin SAP2000'de tanımlanması.	28
Şekil 3.20 : Örnek 3 H=10 m için yay katsayısı değeri.	29
Şekil 3.21 : Örnek 3 H=10 m için kayma gerilmesi değerinin SAP2000'de tanımlanması.	29
Şekil 3.22 : Örnek 3 H=15 m için yay katsayısı değeri.	30
Şekil 3.23 : Örnek 3 H=15 m için kayma gerilmesi değerinin SAP2000'de tanımlanması.	30

Şekil 3.24 : Örnek 3 H=20 m için yay katsayısı değeri.	31
Şekil 3.25 : Örnek 3 H=20 m için kayma gerilmesi değerinin SAP2000'de tanımlanması.	31
Şekil 3.26 : Örnek 3 H=5 m için referans çalışma ile SAP2000 yd grafiği.	32
Şekil 3.27 : Örnek 3 H=10 m için referans çalışma ile SAP2000 yd grafiği.	32
Şekil 3.28 : Örnek 3 H=15 m için referans çalışma ile SAP2000 yd grafiği.	33
Şekil 3.29 : Örnek 3 H=20 m için referans çalışma ile SAP2000 yd grafiği.	33
Şekil 3.30 : Örnek 3 zemin yüksekliği H=5 m.	34
Şekil 3.31 : Örnek 3 zemin yüksekliği H=10 m.	35
Şekil 3.32 : Örnek 3 zemin yüksekliği H=15 m.	35
Şekil 3.33 : Örnek 3 zemin yüksekliği H=20 m.	36
Şekil 3.34 : H=5 m için i ucuna kesme kuvveti ve moment değeri etkitilmesi.	36
Şekil 3.35 : H=5 m için j ucuna kesme kuvveti ve moment değeri etkitilmesi.	37
Şekil 3.36 : H=10 m için i ucuna kesme kuvveti ve moment değeri etkitilmesi.	37
Şekil 3.37 : H=10 m için j ucuna kesme kuvveti ve moment değeri etkitilmesi.	38
Şekil 3.38 : H=15 m için i ucuna kesme kuvveti ve moment değeri etkitilmesi.	38
Şekil 3.39 : H=15 m için j ucuna kesme kuvveti ve moment değeri etkitilmesi.	39
Şekil 3.40 : H=20 m için i ucuna kesme kuvveti ve moment değeri etkitilmesi.	39
Şekil 3.41 : H=20 m için j ucuna kesme kuvveti ve moment değeri etkitilmesi.	40
Şekil 3.42 : Örnek 4 zemin yüksekliği H=5 m, H=10 m, H=15 m, H=20 m yer değiştirme kıyas grafiği	41
Şekil 3.43 : Örnek 5 İki Parametrelili Zemine Oturan Kiriş	41
Şekil 3.44 : Örnek 6 Her Açıklıkta Farklı C ve 2Ct Değerine Sahip Kiriş	43
Şekil 3.45 : L=0-5 m arası için yay katsayısı 64 kN/m ² atanması.	43
Şekil 3.46 : L=0-5 m arası için zemin kayma parametresi 800 kN atanması.	44
Şekil 3.47 : L=5-10 m arası için yay katsayısı 128 kN/m ² atanması.	44
Şekil 3.48 : L=5-10 m arası için zemin kayma parametresi 1600 kN atanması.	45
Şekil 3.49 : L=10-15 m arası için yay katsayısı 192 kN/m ² atanması.	45
Şekil 3.50 : L=10-15 m arası için zemin kayma parametresi 2400 kN atanması	46
Şekil 3.51 : Örnek 7 kiriş boyunca değişen C ve 2Ct değerine sahip kiriş.	47
Şekil 3.52 : 1 nolu Düğüm noktası yay sabiti ataması.	47
Şekil 3.53 : 2 nolu Düğüm noktası yay sabiti ataması.	48
Şekil 3.54 : 60 nolu Düğüm noktası yay sabiti ataması.	48
Şekil 3.55 : 61 nolu Düğüm noktası yay sabiti ataması.	49
Şekil 3.56 : 1 nolu Kirişe zemin kayma parametresi ataması.	49
Şekil 3.57 : 2 nolu Kirişe zemin kayma parametresi ataması.	50
Şekil 3.58 : 59 nolu Kirişe zemin kayma parametresi ataması.	50
Şekil 3.59 : 60 nolu Kirişe zemin kayma parametresi ataması.	50
Şekil 3.60 : Örnek 1, Örnek 6 ve Örnek 7'nin yer değiştirme karşılaştırma grafiği.	53
Şekil 3.61 : Örnek 1, Örnek 6 ve Örnek 7'nin kesme kuvveti karşılaştırma grafiği.	53
Şekil 3.62 : Örnek 1, Örnek 6 ve Örnek 7'nin moment karşılaştırma grafiği.	54

DEĞİŞKEN PARAMETRELİ PASTERNAK ZEMİNE OTURAN SÜREKLİ KİRİŞLERİN SABİT VE HAREKETLİ YÜKLER İÇİN SAP2000 YAZILIMI İLE HESABI

ÖZET

Yapı zemin etkileşimi problemi hem yapı hem de geoteknik mühendislerinin ilgi alanıdır. Söz konusu etkileşim yapıların kendi ağırlıkları ve ilave yükler altında olduğu kadar deprem etkileri altında da önemli bir problemidir. Yapı zemin etkileşiminde, zemin de sonlu elemanlar veya benzeri yöntemlerle modellenerek göz önüne alınabildiği gibi, bu yöntemlerin genelde uygulanması zor ve karmaşık olması nedeniyle, daha basit zemin modelleri ile de temsil edilebilmektedir. Bu modellerden en bilineni ve pratikte en çok kullanılanı Winkler zemin modelidir. Bu model bir parametrelili zemin modelidir. Bu modelde temel altındaki herhangi bir noktadaki çökme o noktadaki gerilme ile orantılıdır. Söz konusu orantı katsayısına zemin yatak katsayısı adı verilmektedir. Bu modelde temel altındaki komşu iki noktanın etkileşimi göz önüne alınamamaktadır. Bu etkileşimi göz önüne alan bir model Pasternak zemin modeli ise iki parametrelili zemin modelidir. Pasternak modelinde komşu iki noktada kayma kuvvetlerinin etkileşimi söz konusudur. Pasternak modelinde sıkışabilir zemin tabakası kalınlığı göz önüne alınamamaktadır. Temel zemininin düşey kalınlığını ve bu kalınlık boyunca zemin özelliklerinin değişimini göz önüne alan daha iyi bir model Vlasov zemin modelidir. Bu modelde, zemin parametreleri temel altındaki gerilme yayılışına ve sıkışabilir düşey zemin tabakası kalınlığına göre değişmekte olup iki parametrelili zemin modeli olarak yer almaktadır. Başlangıçta zemin gerilmesi bilinmediğinden bu tür zeminlere oturan temel ve yapıların hesabında bir ardışık yaklaşım yöntemi uygulanmaktadır.

Bu çalışmada Pasternak türü zemine oturan sürekli temellerin hesabı incelenmiştir. Literatürde Pasternak türü zemine oturan sürekli kirişlerin hesabı ile ilgili oldukça çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda kesin analitik formülasyonlar olduğu gibi sonlu elemanlar veya sonlu farklar gibi ayrık sistem hesap yöntemleri de bulunmaktadır. Ancak söz konusu yöntem ve algoritmalar mühendisleri yaygın olarak kullanabileceği formülasyonlar olmayıp genellikle bir yazılım hazırlanmasını gerektirmektedir. Bu çalışmada, Pasternak türü zeminlerin, ülkemizde pratikte ve bilimsel araştırmalarda sıklıkla başvuru olan SAP2000 isimli ticari programla nasıl modellenebileceği verilmiş ve yapılan sayısal uygulamalarla modellemenin uygun olduğu gösterilmiştir. SAP2000 programında Winkler zeminin modellenmesi ile ilgili program özellikleri bulunmakla birlikte, Pasternak zemine ait özel bir özellik bulunmamaktadır. Zeminin ikinci parametresi adı verilen Pasternak parametresine ait

eleman rijitlik matrisi ile ikinci merteye yani P-Delta hesabında normal kuvvetin pozitif olması halindeki eleman rijitlik matrisinin benzerliğinden yararlanılarak, temel zemini SAP2000 programı içerisinde kolaylıkla modellenenbilmektedir. Buna göre kirişlere P-delta ataması yapılması ve kirişe pozitif normal kuvvet yerine Pasternak zemine ait kayma modülü veri olarak girilmesi yeterlidir. Bu özellikten yararlanarak temel dışında kalan zeminde kolaylıkla modellenenbilmektedir. Temelin dışındaki zemin elemanlar için her iki ucuna adi mafsallar bulunan P-delta ataması yapılmış fiktif ve line spring kirişlerin tanımlanması yeterlidir.

Çalışmada ayrıca Genelleştirilmiş Müller-Breslau prensibine dayanan bir tesir çizgisi çizme yöntemi de verilmiş ve Pasternak zemine oturan sürekli temellere nasıl uygulanacağı gösterilmiştir. Müller Breslau Yönteminde uygulanan düğüm noktalarına birim yer değiştirmesi girilmesi SAP2000 programında pratik olmamaktadır. Bunun yerine birim yer değiştirmelerden oluşan ankastrelik uç kuvvetleri hesaplanarak kirişin her iki ucuna moment ve kesme kuvveti olarak dışarıdan etkililmektedir. Genelleştirilmiş Müller Breslau Yöntemi olarak adlandırılan bu metodun uygulanması SAP2000 analiz programında daha kolay olmaktadır. Bu yöntemin uygulanması sonucunda tesir çizgileri elde edilmektedir.

Yapılan sayısal uygulamalar üç gruptan oluşmaktadır. Birinci grup sayısal uygulamada literatürden örnekler çözülerek yöntemin doğruluğu ve etkinliği gösterilmiştir. Bu doğrultuda ikinci grup sayısal uygulamada Genelleştirilmiş Müller-Breslau yöntemi ile tesir çizgilerinin nasıl çizilebileceği gösterilmiştir. Dış yüklerden oluşan kesit zorlarının kiriş düğüm noktalarına etkililmesi ile oluşan tesir çizgisi elde edilerek söz konusu yöntem doğruluğu görülmüştür. Üçüncü örnek grupta, zemin özelliklerinin temel boyunca sürekli değiştiğini kabul ederek sonuçların nasıl değiştiği tartışılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Pasternak, Değişken Parametrelili Zemin, İki Parametrelili Zemin, SAP2000

CALCULATION OF CONTINUOUS BEAMS SETTING VARIABLE PARAMETER PASTERNAK FOUNDATION FOR FIXED AND LIVE LOADS WITH SAP2000 SOFTWARE

SUMMARY

The problem of soil structure interaction is of interest to both structural and geotechnical engineers. The interaction is an important problem under the effects of earthquakes as well as under their own weight and additional loads. In soil structure interaction, soils can be considered by modeling with finite elements or similar methods because these methods are generally difficult and complex to apply, they can also be represented by simpler soil models. The common used in practice is the Winkler Foundation Model. This model is a parameter foundation model. In this model, the collapse at any point under the foundation is proportional to the stress at that point. The said ratio coefficient is called the spring stiffness k . In this model, the interaction of two neighboring points under the foundation cannot be considered. A model that takes this interaction into account is the Pasternak Foundation Model, which is a two-parameter foundation model. In the Pasternak Model, there is interaction of shear forces at two consecutive points. In the Pasternak Model, the thickness of compressible soil layer cannot be considered. A better model is the Vlasov Foundation model, which takes into account the vertical thickness of the foundation and the variation of the foundation properties throughout this thickness. In this two-parameter foundation model, the soil parameters are taken into account according to the stress distribution under the foundation and the thickness of the compressible vertical soil layer. Since initial soil tension is not known, a sequential approach method is applied in the calculation of foundations and structures that fit on such soils. Besides these models, the operating principles of Boussinesq, Filonenko Borodich, Hetenyi two parameter soils are briefly mentioned.

In this study, the calculation of the continuous foundations of Pasternak Foundation was investigated. In the literature, there are quite a number of studies on the calculation of the continuous beams on the Pasternak type soil. In these studies, there are precise analytical formulations as well as discrete system calculation methods such as finite elements or finite differences. However, the methods and algorithms in question are not formulations that engineers can use widely but usually require a software. In this study, it is shown how Pasternak type soils can be modeled by commercial program called SAP2000 which is frequently applied in practice and scientific researches in our country and it has been shown that modeling is suitable with numerical applications. Although there are program features related to Winkler

Foundation modeling in SAP2000 program, there is no feature specific to Pasternak Foundation. In contrast, the element stiffness matrix of the Pasternak parameter, called the second parameter of the soil, can be easily modeled in the SAP2000 program, using the similarity of the element stiffness matrix, provided that the normal force is positive in the second order, P-Delta calculation. Accordingly, it is sufficient to assign P-delta to the beams and enter the slip module of the Pasternak soil as data instead of the positive normal force on the beam. By using this feature, it can be easily modeled on the soil outside the foundation. For soil elements outside the foundation, it is sufficient to define P-delta assigned fixative and line spring beams with ordinary joints on both ends. Foundation elements should be of sufficient length to ensure the relationship with the foundation of the building and absorb the effects from the foundation. The vertical spring and the second parameter shear coefficients will be assigned to all elements, but a continuous bar system will be created with only the foundation beam bending stiffness. A small value close to zero will be entered in the bending stiffness digit of the beams representing the foundation elements. In addition, a very large number of axial stiffness in soil elements will be entered and elongation deformations will be neglected. Soil and foundation beams will be divided into a sufficient number of pieces. In SAP2000, the two-parameter soil is modeled by assigning line spring and p-delta force to all elements. In addition, line spring and p-delta assignments are applied for each beam group where the change occurs in variable parameter foundation models. In the foundation model with variable soil parameters, if each beam has a different ground parameter value, each beam element is selected separately and line spring and p-delta are assigned.

In addition, in the study, a method of drawing an influence line based on the Generalized Muller-Breslau principle is also given and how to apply it to the continuous foundations that resting on the Pasternak Foundation. According to the Muller-Breslau principle, the effect line of any section force is obtained by making a cut that eliminates this size by taking the external effect of the unit value of the displacement that performs work on the section force in the opposite direction of the section force. It is not practical in SAP2000 program to enter the unit displacement into the node applied in the Muller Breslau Method. Instead, it is more practical in the SAP2000 analysis program to model the built-in tip forces consisting of unit displacements to load both ends of the beam as a load vector. In this method, which is called the Generalized Muller Breslau Method, the rod element stiffness matrix (k), shear stress coefficient (C), the stiffness matrix ($2Ct$) of the Winkler spring coefficient ($2Ct$) are collected and the system is matrix. The displacement matrix, formed from four degrees of freedom, is multiplied by the stiffness matrix $[K]$ of the finite beam, and the anchoring end force $\{M1, T1, M2, T2\}$ matrix is found. Since we will find the M_i moment value at the mid point of the beam, it will be sufficient to calculate the values in the first line. The important point here is that the positive aspects in SAP2000 and external accounts are reversed. The values in the first row are influenced by moment and shear force on the i end of the beam, and as the moment and shear force on the j end of the beam, in reverse sign. This correction is limited only to the rod with built-in tip force loading. As a result of the application of this method, lines of influence are obtained.

Finally, numerical applications consist of three groups. In the first numerical application group, examples from the literature were solved and the accuracy and effectiveness of the method was demonstrated. In Pasternak foundation model, by comparing the results of displacement, moment and shear force analysis of the

samples from the literature with the SAP2000 analysis program, it was seen that this program can be used safely. The facilitating and accelerating effect of using this program in numerical examples was used. In the second numerical application group, it was shown how to draw the influence lines with the Generalized Muller-Breslau method. The built-in tip forces consisting of unit displacements were calculated as an external load vector on both ends of the beam. Influence lines are formed by acting as reverse vectors with load vectors. It was seen that the cross section forces of these external loads were verified by the numerical integration of the influence line region, and that this method could be applied safely and practically in the SAP2000 program. In the third numerical application group, there are examples in which the soil parameters change along the foundation. In the three-span foundation beam, soil properties, soil spring stiffness and soil slip parameter values are assigned by selecting each opening separately in the example, which is different for each beam span. In the example, whose soil parameters change linearly along the foundation beam, each beam part of the foundation beam consisting of 60 rod parts is selected one by one and the soil spring stiffness and soil slip parameter values are influenced. These examples discuss how the results of the sample whose soil parameters are constant along the foundation beam change.

Keywords: Pasternak, Variable Parameter Soil, Two parameter foundation, SAP2000



1. GİRİŞ

1.1 Yapı Zemin İlişkisi

Yapı zemin etkileşimi problemi hem yapı hem de geoteknik mühendislerinin ilgi alanıdır. Söz konusu etkileşim yapıların kendi ağırlıkları ve ilave yükler altında olduğu kadar deprem etkileri altında da önemli bir problemdir. Yapı zemin etkileşiminde, zemin de sonlu elemanlar veya benzeri yöntemlerle modellenerek göz önüne alınabildiği gibi, bu yöntemlerin genelde uygulanması zor ve karmaşık olması nedeniyle, daha basit zemin modelleri ile de temsil edilebilmektedir. Bu modellerden en bilineni ve pratikte en çok kullanılanı Winkler zemin modelidir. Bu modelde temel altındaki herhangi bir noktadaki çökme o noktadaki gerilme ile orantılıdır. Söz konusu orantı katsayısına zemin yatak katsayısı adı verilmektedir. Bu modelde temel altındaki komşu iki noktanın etkileşimi göz önüne alınamamaktadır. Bu etkileşimi göz önüne alan bir model Pasternak zemin modelidir. Pasternak modelinde komşu iki noktada kayma kuvvetlerinin etkileşimi söz konusudur. Pasternak modelinde sıkışabilir zemin tabakası kalınlığı göz önüne alınamamaktadır. Temel zeminin kalınlığını ve bu kalınlık boyunca zemin özelliklerinin değişimini göz önüne alan daha iyi bir model Vlasov zemin modelidir. Bu modelde, zemin parametreleri temel altındaki gerilme yayılışına ve sıkışabilir zemin tabakası kalınlığına göre değişmektedir. Başlangıçta zemin gerilmesi bilinmediğinden bu tür zeminlere oturan temel ve yapıların hesabında bir ardışık yaklaşım yöntemi uygulanmaktadır.

Bu çalışmada Pasternak türü zemine oturan sürekli temellerin hesabı incelenmiştir.

1.2 Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmalarda kesin analitik formülasyonlar olduğu gibi sonlu elemanlar veya sonlu farklar gibi ayrık sistem hesap yöntemleri de bulunmaktadır. Ancak söz konusu yöntem ve algoritmalar mühendisleri yaygın olarak kullanabileceği formülasyonlar olmayıp genellikle bir yazılım hazırlanmasını gerektirmektedir. Bu çalışmada, Pasternak türü zeminlerin, ülkemizde pratikte ve bilimsel araştırmalarda sıklıkla başvuru olan SAP2000 isimli ticari programla nasıl modellenebileceği verilmiş ve yapılan sayısal uygulamalarla modellenmesi ve analizinin uygun olduğu gösterilmeye çalışılmıştır. SAP2000 programında Winkler zeminin modellenmesi ile ilgili program özellikleri bulunmakla birlikte, Pasternak zemine ait özel bir özellik bulunmamaktadır. Zeminin ikinci parametresi adı verilen Pasternak parametresine ait eleman rijitlik matrisi ile ikinci mertebe yani P-Delta hesabında normal kuvvetin pozitif olması halindeki eleman rijitlik matrisinin benzerliğinden yararlanılmıştır. Böylece SAP2000 programı içerisinde Pasternak türü zeminin modellenebilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada ayrıca Genelleştirilmiş Müller-Breslau prensibine dayanan bir tesir çizgisi çizme yöntemine yer verilerek Pasternak zemine oturan sürekli temellere nasıl uygulanacağı gösterilmiştir. Müller Breslau Yönteminde uygulanan düğüm noktalarına birim yer değiştirmesi girilmesi SAP2000 programında pratik olmamaktadır. Bunun yerine birim yer değiştirmelerden oluşan ankastrelik uç kuvvetleri hesaplanarak kirişin her iki ucuna zıt işaretli yük vektörü olarak dışarıdan etkililmektedir. Genelleştirilmiş Müller Breslau Yöntemi olarak adlandırılan bu metodun uygulanmasının SAP2000 analiz programında uygun olduğu gösterilmeye çalışılmıştır.

Son olarak sayısal uygulamalarda sürekli temel boyunca sabit zemin parametreleri ile temel altındaki zeminin özelliklerinin sürekli temel boyunca değiştiği kabul edilen farklı senaryolarda deplasman sonuçlarına etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

1.3 Konu İle İlgili Yapılmış Çalışmalar

Zemin yapısı ve zemin 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 belirlemiştir. Dumir ve Bhaskar (1988), Winkler ve Pasternak zeminine oturan temellerin nonlineer hesabını yapmışlardır. Vallabhan ve Das (1988), ardışık yaklaşım ile bulunan zemin çökmesinin, yer değiştirmeye dik doğrultudaki dağılımını hesaplamışlardır. Dillard (1989), tekil yük ve moment etkisi altındaki plağın eğilme hesaplarını yaparak altıncı dereceden diferansiyel denklemle sayısal örnekleri çözümlenmiştir. Qin (1994), plak elamandaki şekil değiştirme değerlerini farklı zemin modelleri kullanıp kıyaslayarak parametrik bir çalışma yapmıştır. Vallabhan ve Daloğlu (1999), Vlasov tipi zeminin sayısal incelemesini yaparak örnekler çözmüşlerdir. Geliştirdikleri sonlu eleman rijitlik matrisinin; plak eğilme rijitliğine, zemin çökmesine ve kayma şekil değiştirmesine bağlı olduğunu 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, yer değiştirmeleri ve ayrılan bölge uzunlukları verilmiştir. Kien (2008), sonlu elemanlar yöntemi kullanarak iki parametrelili elastik zemine oturan öngerilmeli Timoschenko kirişinin dinamik davranışını araştırmıştır. Ma vd. (2008), Pasternak zemine oturan kirişlerde çekme alan ve almayan bölgelerin denge denklemlerini transfer displacement function method (TDFM) ile açıklamışlardır. Bu metodla ardışık yaklaşıma ihtiyaç duymadan çekme almayan bölgeyi tespit ederek 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 belli başlı diğer çalışmalar 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 yapılmıştır.

1.4 Yapı Zemin Etkileşim Modelleri

Yapıların zemin üzerine inşa edilmesi yapı- zemin etkileşiminin önemini ortaya koymaktadır. Güvenli yapı inşa edebilmek için zemine uygun doğru temel planlaması yapılmasını bu da zemin yapısının doğru bilinmesini gerekli kılmaktadır. Zeminler karmaşık ve değişken yapıya sahip olduğundan zeminin tanımı ancak bazı parametrelerde idealleştirme kabulüyle mümkündür. Temel elemanları ile zemin arasındaki etkileşimin gerçeğe en yakın biçimde modellenmesi için inşaat mühendislerince değişik zemin mekaniği modelleri geliştirilmiştir.

1.4.1 Winkler zemin modeli

Bu model sıkışabilir zemin tabakasını, temel sistemine yeterli aralıklarla yerleştirilmiş birbirinden bağımsız doğrusal yaylarla tanımlamıştır. Dolayısıyla her yay, komşu yayların yükleme durumlarından etkilenmez, yalnızca üzerine doğrudan uygulanan düşey gerilmelerin etkisi altında çökme meydana gelmektedir.

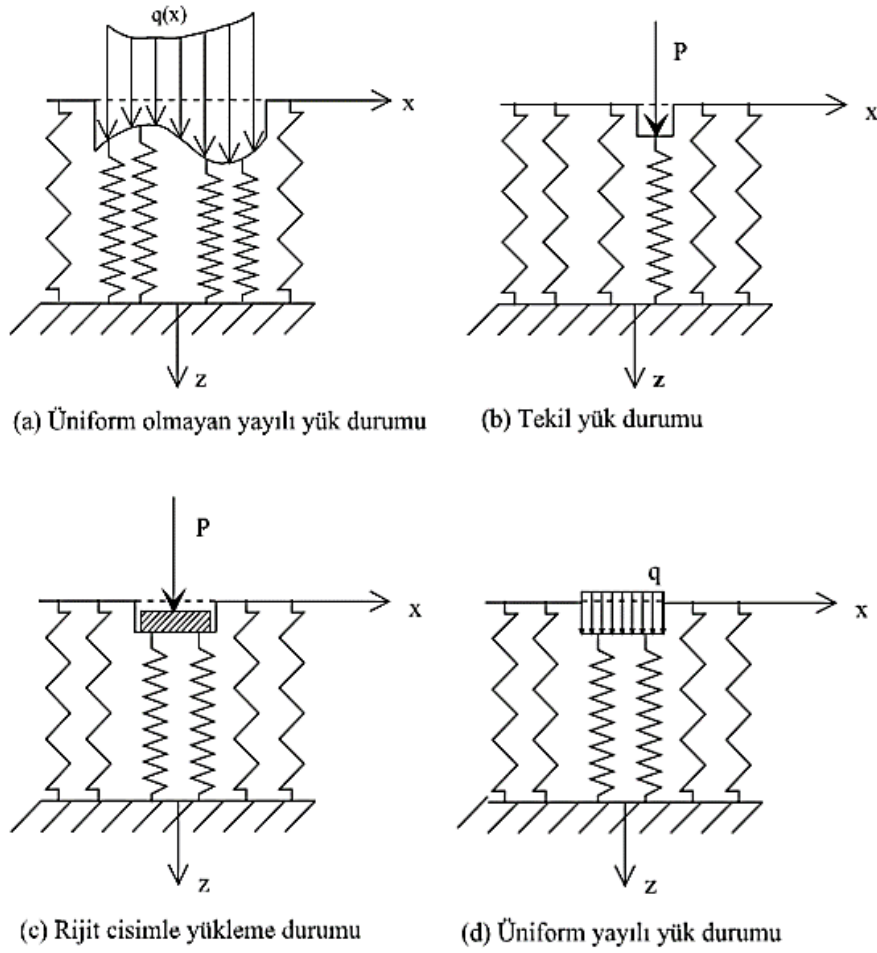
Modelde temel altındaki herhangi bir noktadaki çökme ile o noktadaki gerilme oranı zemin yatak katsayısı (k) ile tanımlanmıştır. Winkler zemin modeli, q zemin tepkilerinin, w plak çökmeleri ile doğru orantılı olduğu kabulüne dayanarak

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

bağıntısı ile ifade edilmektedir.

Winkler zemin modelinin en önemli eksiği, zemin yüzeyinde çökme değerlerinin süreklilik koşullarını sağlayamamasıdır. Yük etkileyen ve etkimeyen yaylarda yer değiştirme süreksizliği mevcuttur. Gerçekte ise zemin yüzeyi süreksizlik göstermez. Bu önemli dezavantaja rağmen pek çok zemin problemi için yeterli yaklaşım sağlayan bu model, sadeliği ve kullanım kolaylığı açısından günümüzde en çok kullanılan zemin modelidir.

Şekil (1.1) de Winkler zemin modelinde değişik yüklere ait deplasman durumları gösterilmiştir.



Şekil 1.1 : Winkler Zemin Modelinde Yer değıştirmeler.

Şekilde 1.1’de görüldüğü üzere k yay sabiti parametresiyle tanımlanan Winkler zemin modelinin bazı durumlarda yetersiz kalması, araştırmacıların zemin sürekliliğini daha iyi tanımlayabilmek için zemin modelleri geliştirmelerini gerekli kılmıştır. Bu modeller tek parametrelili Winkler zemin modelinde eksik olan zemin sürekliliğinin sağlanmasına yönelik iki parametrelili zemin modelleridir.

1.4.2 Boussinesq zemin modeli

Boussinesq’in 1885 yılında yayınlanan zemin mekaniği kitabında zemine dik doğrultuda tekil yük etkisi altında homojen, lineer elastik ve yarı sonsuz zemindeki gerilme için bir çözüm önerilmiştir. Zeminde meydana gelen kayma gerilmelerinin yer değıştirmeler üzerindeki etkisi dikkate alınarak daha gerçekçi bir yaklaşım modeli olmuştur ancak matematiksel ifadesinin karmaşıklığı sebebiyle uygulanabilir değildir. Ayrıca yer değıştirme dağılımı sürekli kabul edilmiştir. Kiriş ve plakların kenarlarında, çatlaklarında veya mafsallı birleşimlerin oturdukları zeminler ile olan yer değıştirmelerini doğru ifade edememektedir.

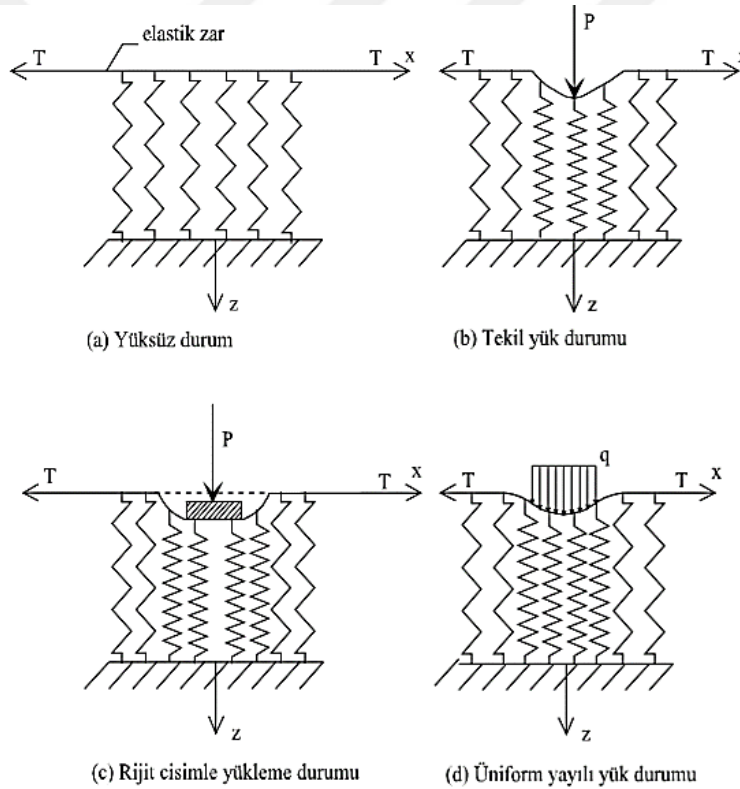
Bu model tam bir zemin modeli olarak görülmesi de zemin yapı etkilişimini tanımlayan bir çalışma olması ve sonraki çalışmalar için referans olması sebebiyle önemlidir.

1.4.3 Filonenko Borodich zemin modeli

Filonenko Borodich zemin modelinde ortamın sürekliliği, yayların üst yüzeyinde ince elastik zar tabakası ile tanımlanmıştır. Temele dışardan yük etki etkilendiğinde elastik zarda çekme gerilmeleri, yaylar arasında ise etkileşim meydana gelmektedir. Bu model için zemin reaksiyonu;

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

formülünde iki parametre T elastik zarda meydana gelen sabit çekme kuvveti, k zemin yatak katsayısı yer almaktadır. Şekil 1.2’de bu modelin çeşitli yüklemelerde meydana gelen yer değiştirmesi görülmektedir.



Şekil 1.2 : Filonenko- Brodich zemin modelinde meydana gelen yer değiştirmeler.

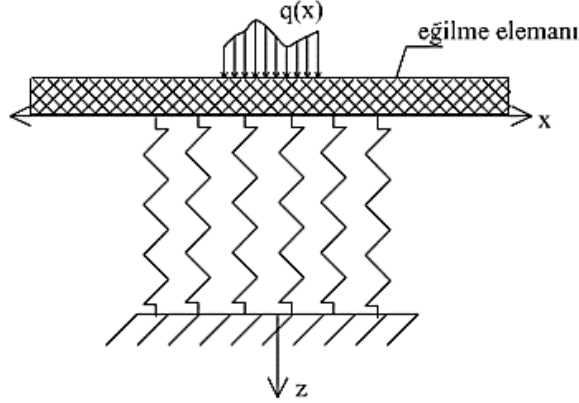
1.4.4 Hetenyi Zemin Modeli

Hetenyi modelinde ortam sürekliliği, Filonenko – Brodich modelinden farklı olarak Winkler yayları üzerinde iki boyutlu problemler için elastik bir plak, tek boyutlu

problemler için elastik bir kiriş olduğu varsayımı yapılmıştır. Zemin reaksiyonu D plağın eğilme rijitliği, k zemin yatak katsayısı olmak üzere;

$$q(x,y)=kw-D(\partial^4 w/\partial x^4) \quad (1.3)$$

formülünde yer alan iki parametre yer almaktadır. Hetenyi zemin modeli Şekil 1.3’de görülmektedir.



Şekil 1.3 : Hetenyi Zemin Modeli.

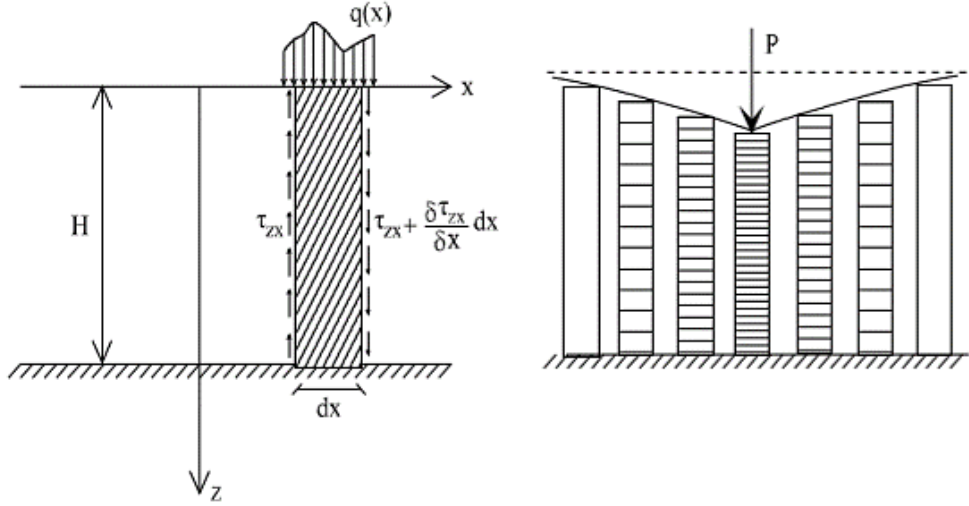
1.4.5 Vlasov zemin modeli

Vlasov modelinde zemini Winkler yayları ile tanımlamak yerine x-z düzleminde zemin kolonları olarak ele almıştır. Zemin kolonları arasındaki süreklilik, Şekil 1.4’te de zemin kolonlarında τ_{zx} ve τ_{zy} kayma gerilmelerinin dikkate alınması ile örneklendirildiği gibi birbirlerine temas eden yüzlerden aktarılan kayma gerilmeleri vasıtasıyla sağlanmıştır.

Bu zemin kolonu içindeki yer değiştirmeler; $u(x,y)$ x-z düzleminde yatay deplasman, $w(x,z)$ aynı düzlemde düşey deplasman ve $\phi(z)$ fonksiyonu $w(x)$ yer değiştirmelerinin derinlik boyunca değişimini veren yaklaşım fonksiyonu olmak üzere;

$$u(x,z) = 0, \quad w(x,z) = w(x) \phi(z) \quad (1.4)$$

denklemleri ile tanımlanmıştır.



Şekil 1.4 : Vlasov zemin modeli.

1.4.6 Pasternak zemin modeli

Winkler modelindeki yay elemanlarının, yaylara dik doğrultuda sadece düşey yer değiştirme yapan ve sıkışmayan kayma tabakasına tutulu oldukları Pasternak zemin modelinde yaylar arasında kayma etkileşimi gözönünde bulundurularak; ortam sürekliliği sağlanmıştır. Bu katmanda yalnızca kayma gerilmeleri etkisi altında deformasyon meydana gelmektedir. Bu kayma tabakasının (x,y) düzleminde izotropik olduğu kabul edilerek zemin kayma modülleri arasındaki bağıntı,

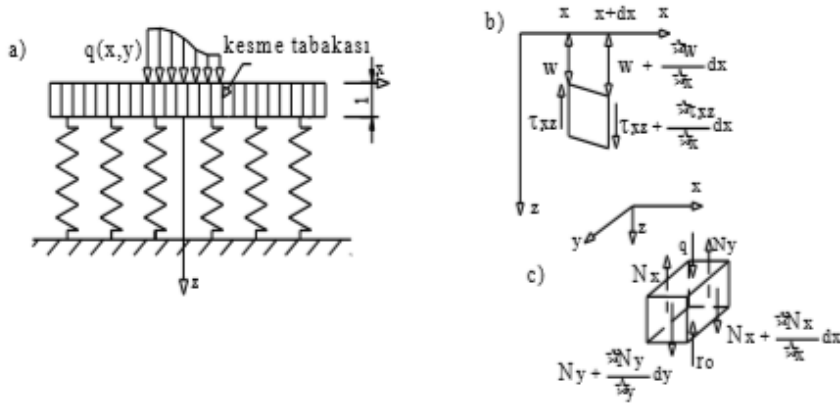
$$G_x = G_y = G_p \quad (1.5)$$

olarak ifade edilmektedir. G_p zemin kayma modülü, k zemin yatak katsayısı olmak üzere Pasternak zemin modeli için zemin reaksiyonu;

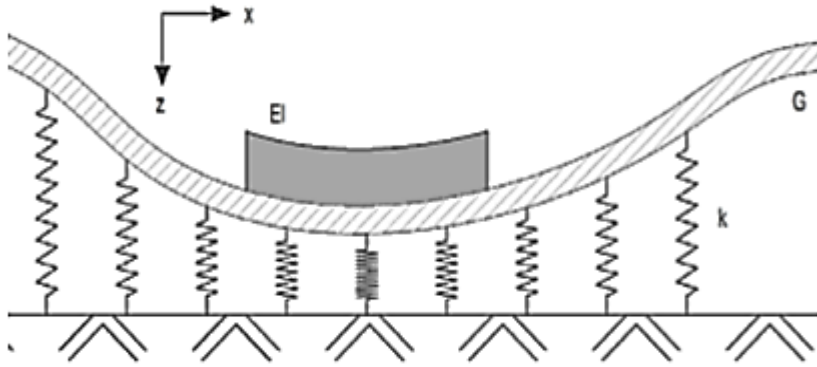
$$q(x,y) = kw - G_p \partial^2 w \quad (1.6)$$

$$\partial^2 = (\partial^2 / \partial x^2) + (\partial^2 / \partial y^2) \quad (1.7)$$

formülü ile tanımlanmıştır. Burada ∂^2 Laplacen operatörü denklem (1.6) ile ifade edilmektedir. Zemin modeli Şekil 1.5'te, yükleme durumunda meydana gelen yer değiştirme Şekil 1.6'da görülmektedir.



Şekil 1.5 : Pasternak zemin modeli.



Şekil 1.6 : Pasternak zemin modelinde meydana gelen yer değiştirmeler.

Bu tez çalışmasında Pasternak zemin modeli kullanılarak problem çözümleri yapılacaktır.

1.5 Pasternak Tipi Zeminin Matematiksel İfadesi

Pasternak zemininde, iki parametrelili zemin denge koşulu denklem 1.6'daki yük- yer değiştirme ilişkisine dayanmaktadır. Bu formülasyonu iki boyutlu halde yazdığımızda:

$$q(x) = kw - G(\partial^2 w / \partial x^2) \quad (1.8)$$

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

$$-(G)(\partial^2 w / \partial x^2) + (k)w = 0 \quad (1.9)$$

şeklindedir.

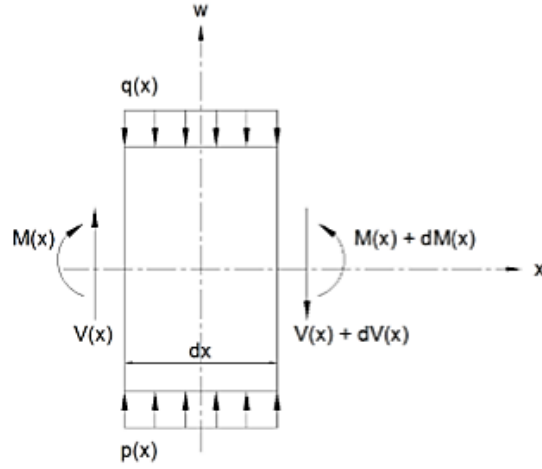
$$\frac{dV(x)}{dx} = q(x) - p(x) \quad (1.10)$$

$$\frac{dM(x)}{dx} = V(x) \quad (1.11)$$

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

Eğilme rijitliği EI olan temel kirişinde moment değeri denklem 1.14'deki gibidir.

$$EI(\partial^2 w / \partial x^2) = M(x) \quad (1.12)$$



Şekil 1.7 : Kirişin kesit tesirleri.

Sistemin bir dx parçasında denge ve şekil değiştirme denklemi,

$$EI(\partial^4 w / \partial x^4) - (G)(\partial^2 w / \partial x^2) + kw = q(x) \quad (1.13)$$

halini alır.



2. HESAP MODELİNİN OLUŞTURULMASI

2.1 Giriş

Bu tez çalışmasında; iki parametrelili zemine oturan kirişler, sonlu eleman yöntemi kullanılarak modellenmiş ve literatürde verilmiş örnekler sonlu eleman yöntemi ile çözülerek sonuçlar kıyaslanmıştır. Temel kirişleri çubuk eleman olarak göz önüne alınmıştır. Verilen dış yükler altında, sistemdeki yer değiştirmeler ve iç kuvvetler hesap edilmiştir. Yapısal sistem bir çubuklar grubundan oluşmuş, bu çubuklar birbirine sonlu uzaklıktaki düğüm noktaları ile bağlanmıştır. Hesaplarda CSI SAP2000 v.20 analiz yazılımı programından yararlanılmıştır.

2.2 SAP2000 Sonlu Eleman Yazılımında İki Parametrelili Zemin Modeli

SAP2000 programında Winkler zeminin modellenmesi line spring seçeneği ile yapılabilmekle birlikte Pasternak zemine ait kayma parametresi direkt olarak atanamamaktadır. Buna karşılık zeminin ikinci parametresi adı verilen Pasternak parametresine ait eleman rijitlik matrisi ile ikinci mertebe yani P-Delta hesabında normal kuvvetin pozitif olması halindeki eleman rijitlik matrisinin benzerliğinden yararlanılarak, temel zemini SAP2000 programı içerisinde kolaylıkla modellenebilmektedir. Buna göre kirişlere P-delta ataması yapılması ve kirişe pozitif normal kuvvet yerine Pasternak zemine ait kayma modülü veri olarak girilmesi yeterlidir. Bu özellikten yararlanarak temel dışında kalan zeminde kolaylıkla modellenebilmektedir. Temelin dışındaki zemin elemanlar için her iki ucuna adi mafsallar bulunan P-delta ataması yapılmış fiktif ve line spring kirişlerin tanımlanması yeterlidir.

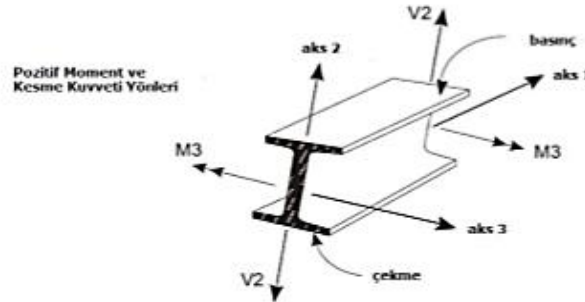
SAP2000 hesap modelinde yukarıda belirtilen uygun parametrelerin tanımlanması halinde, kiriş eğilme rijitliği, iki parametrelili zemin düşey yay katsayısı ve ikinci parametre kayma katsayısından gelen tesirler süperpoze edilerek sonuç yer değiştirmeler ve iç kuvvetler hesaplanabilmektedir. Programın arayüzü oldukça basit olup define menüsünden malzeme ve kesit özellikleri girilmekte, assign menüsünden ise dış yük, yay, mafsalları 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. Temel kirişinin yeterli sayıda çubuk parçasına bölünmesi durumunda elastik zemin line spring ataması ile Winkler zeminine oturan kiriş olarak idealleştirilmiş olur. Yapı temelini kenar noktalarında zeminin dönmeleri oldukça önemlidir. İki parametrelili zemin modelinde bu davranış göz

önüne alınabilmektedir. Temel dışındaki zemin için SAP2000 analiz modelinde zemin elemanları tanımlanmaktadır. Zemin elemanları yapı temeli ile ilişkiyi sağlayacak ve temelden gelen etkileri sönmüleyebilecek yeterli uzunlukta olmalıdır. Zemin ve temel kirişleri yeterli sayıda parçalara bölünecektir. Düşey yay ve ikinci parametre kayma katsayıları tüm elemanlara atanacak ancak yalnızca temel kirişi eğilme rijitliğine de 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 eksenel rijitlik çok büyük bir sayı girilerek uzama şekil değiştirmeler ihmal edilecektir.



Şekil 2.1 : Hesap Modeli.

SAP2000’de iki parametrelili zemin, tüm elemanlara p-delta force ataması yapılarak modellenir. Ayrıca değişken parametrelili modellerde çubuk elemanların her birine ayrı ayrı p-delta ataması yapılmaktadır. Zemin düşey yayları arasındaki ilişkiyi temsil eden kayma parametresi $2C_t$ değeri, çubuklara girilen bu pozitif P-delta kuvveti ile temsil edilmiş olur. Winkler parametresine ait yay katsayıları tension and compression olarak atanır. Sistem statik yöntemle çözülür. Şekil 2.2’de SAP2000 çubuk elemanlardaki kesit zorlarının göz önüne alınan pozitif yön kabulleri verilmiştir.



Şekil 2.2 : SAP2000 pozitif yön kabulleri.

SAP2000’de çubuk üzerine normal kuvvet atanması yerine pozitif değerli $2C_t$ verilmesi ve düğüm noktaları yaylarının atanması iki parametrelili zemine oturan kirişin tanımlanması için yeterlidir.

Çalışmada ayrıca Genelleştirilmiş Müller-Breslau prensibine dayanan bir tesir çizgisi çizme yöntemi de verilmiş ve Pasternak zemine oturan sürekli temellere nasıl uygulanacağı açıklanmıştır.

2.3 Genelleştirilmiş Müller-Breslau Metodu ile Tesir Çizgilerinin Elde Edilmesi

2.3.1 Tesir Çizgisi Kavramı

Sistem üzerinde hareket eden 1 kN'luk tekil kuvvetten dolayı, sistemin herhangi bir kesitindeki herhangi bir etkinin değerini söz konusu kesitin altında ordinat almak sureti ile çizilen grafiklere tesir çizgisi denilmektedir. Tesir çizgilerini çizmek için çeşitli yöntemler bulunmakla birlikte en pratik yöntem Müller Breslau adıyla bilinen yöntemdir. Bu yöntemle göre, tesir çizgisi çizilecek etki ortadan kaldıracak şekilde sistem üzerinde bir kesim yapılmakta ve söz konusu etki üzerinde iş yapan büyüklük, etki ile ters yönde olacak şekilde kesite etkililmektedir. Bu etkiden meydana gelen elastik eğri direkt olarak ilgili etkinin tesir çizgisini vermektedir. Örneğin, eğilme momenti tesir çizgisi için önce bu etkiyi ortadan kaldıracak şekilde kesitte bir kesim yapılmakta yani kesite bir adi mafsala konulmaktadır. Daha sonra söz konusu mafsala eğilme momenti ile ters yönde rölatif birim dönme yüklemesi yapılmaktadır. Rölatif dönme yüklemesinden oluşan sisteme ait yer değiştirme grafiği yani elastik eğri o kesite ait eğilme momenti tesir çizgisini vermektedir. Modifiye Müller Breslau yönteminde ise kesite yapılacak birim yer değiştirme yüklemesi yerine kesitin bulunduğu çubukta söz konusu birim yer değiştirmeden oluşan ankastrelik uç kuvvetleri çubuk yükleme vektörü olarak verilebilmektedir. Buna göre izostatik sistemlerin tesir çizgileri, kesim yapılmış sistem mekanizma durumuna geldiğinden doğru parçalarından oluşmakta, hiperstatik sistemlerin tesir çizgileri ise eğrisel parçalardan oluşmaktadır. Ayrıca sistem üzerinde hareket etmekte olan etki tekil kuvvet dışında herhangi bir etki de olabilmekte ve kesim yapılan sisteme bu etki üzerinde iş yapan büyüklük dış yük olarak verilebilmektedir. Genelleştirilmiş Müller Breslau yöntemi olarak adlandırılan bu yöntemle ve SAP2000 programı kullanılarak tesir çizgilerinin nasıl elde edileceği aşağıdaki bölümde açıklanmıştır.

2.3.2 Genelleştirilmiş Müller-Breslau Prensibi ile ve SAP2000 programı Kullanılarak Tesir Çizgilerinin Elde Edilmesi

Müller-Breslau prensibine göre herhangi bir kesit zoruna ait tesir çizgisi, bu büyüklüğü ortadan kaldıracak bir kesim yapılarak kesit zorunun tersi doğrultusunda kesit zoru üzerinde iş yapan yer değiştirmenin birim değerinin dış etki alınması sureti ile elde edilmektedir. Birim yüklemeden elde edilen elastik eğri sistem üzerinde dolaşmakta olan 1 kN'luk düşey yüke ait tesir çizgisini vermektedir. SAP2000 ve benzer yazılımlarda herhangi bir düğüm noktasına yer değiştirme yüklemesi yapılabilmekle birlikte çubuk üzerinde herhangi bir noktaya yer değiştirme yüklemesi yapmak çok pratik olmamaktadır. Bunun yerine birim yer değiştirme verilecek düğüm noktasının bağlantılı ilgili ucuna yer değiştirmenin birim değerinden meydana gelen ankastrelik uç kuvvetler ters işareti alınarak yük vektörü olarak verilmesi daha pratik olmaktadır.

Ayrıca SAP2000 programında dışarıdan ankastrelik uç kuvvetler girilemediğinden bunların ters işaretlileri, ilgili kirişin sol ve sağ uçlarına düğüm noktası yükü olarak girilebilmektedir. Bu durum sistemin yer değiştirmelerini etkilemeyeceğinden tesir çizgileri kolaylıkla elde edilebilmektedir. Düğüm noktalarına birim yer değiştirmesi girilmesi yerine bunlardan oluşan ankastrelik uç kuvvetlerinin dış etki olarak verilmesi Genelleştirilmiş Müller Breslau Yöntemi olarak adlandırılmaktadır.

SAP2000 programında ankastrelik uç kuvvetleri yerine düğüm noktası yükleri ters işaretle girildiğinden bu yüklemeyle ait moment, kesme kuvveti ve normal kuvvet diyagramlarında ilgili çubuğun ankastrelik uç kuvvetlerinde, birim yüklemeden meydana gelen ankastrelik uç kuvvetlerinin de analiz sonucu elde edilen ankastrelik uç kuvvetleri ile birlikte göz önüne alınması sureti ile bir uç kuvveti düzeltilmesi yapılması gerekmektedir. Bu düzeltme sadece ankastrelik uç kuvveti yükleme yapılan çubukla sınırlıdır.

Genelleştirilmiş Müller-Breslau Prensibine göre, birim yer değiştirme yüklemeinden elde edilen;

- Moment diyagramı bu büyüklük üzerine iş yapan hareketli birim eğilme şekil değiştirmesinden meydana gelen tesir çizgisini,
- Kesme kuvveti diyagramı bu büyüklük üzerinden iş yapan hareketli kayma birim şekil değiştirmesinden meydana gelen tesir çizgisini,
- Normal kuvvet diyagramı bu büyüklük üzerinde iş yapan hareketli uzama birim şekil değiştirmesinden meydana gelen tesir çizgisini vermektedir.

2.3.3 Birim Yer Değiştirmelerden Oluşan Çubuk Ankastrelik Uç Kuvvetleri Hesabı

Çubuk uçlarındaki yer değiştirmelerin birim değerlerinden oluşan ankastrelik uç kuvvetleri, eleman rijitlik matrisinin yer değiştirmelere karşı gelen satır veya sütunlarındaki elemanlardır. Kayma şekil değiştirmelerin de göz önüne alındığı çubuk eleman rijitlik matrisi (k), Winkler yay katsayısına ait rijitlik matrisi (C), kayma parametresine ait rijitlik matrisi (2Ct) formülasyonları hesabıyla K_{sistem} matrisi bulunur. Dört serbestlik derecesinden oluşturulan yer değiştirme matrisi sonlu kirişe ait [K] rijitlik matrisi ile çarpılarak kiriş ankastrelik uç kuvvetleri $\{M1, T1, M2, T2\}$ matrisi bulunur. Temel kirişinin i ve j uçlarına etkitilecek ankastrelik uç kuvvetleri K_{sistem} matrisinde ilk satırdaki sırası ile D1, D2, D3, D4 şeklindedir.

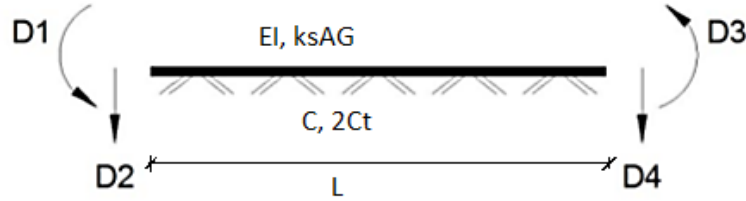
$$[k] = \begin{bmatrix} \frac{4*Eb*I_k*(1+\beta)}{(L*(1+4\beta))} & \frac{-(K11+K13)}{L} & \frac{2*Eb*I_k*(1-2\beta)}{(L*(1+4\beta))} & \frac{(K11+K13)}{L} \\ \frac{2*K14}{L} & K12 & -K22 & \\ simetrik & K11 & K14 & K22 \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

$$[C] = C \begin{bmatrix} l^3/105 & -11l^2/210 & l^3/140 & -13l^2/420 \\ & 13/35 & 13l^2/420 & 9l/70 \\ \text{simetrik} & & l^3/105 & 11l^2/210 \\ & & & 13l/35 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

$$[2Ct] = 2Ct \begin{bmatrix} 2l/15 & -1/10 & -l/30 & 1/10 \\ & 6/5l & -1/10 & -6/5l \\ \text{simetrik} & & 2l/15 & 1/10 \\ & & & 6/5l \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

$$[K]_{\text{sistem}} = [k] + [C] + [2Ct] \quad (2.4)$$

Bu çalışma kapsamında kullanılan sonlu eleman uç kuvvetlerinin pozitif yönleri Şekil 2.3'te gösterilmektedir. Burada önemli olan husus, SAP2000 ve dışardan yapılan hesaplardaki pozitif yönlerin ters işaretli oluşudur. Bu sebeple hesaplanan D1 ve D3 moment değeri, D2 ve D4 kesme kuvveti olarak değerleri düğüm noktasına ters işaretleri alınarak etkitilmektedir. Kirişin orta noktasındaki M_i moment değerini bulacağımız için ilk satırındaki değerleri hesaplamak yeterli olacaktır.



Şekil 2.3 : Sonlu kiriş düğüm noktası serbestlikleri.

Zeminin ikinci parametresi adı verilen Pasternak parametresine ait eleman rijitlik matrisi ile ikinci merteye yani P-Delta hesabında normal kuvvetin pozitif olması halindeki eleman rijitlik matrisinin benzerliğinden yararlanılarak, temel zemini SAP2000 programı içerisinde kolaylıkla modellenenmektedir. Aşağıda SAP2000 tarafından kullanılan, çubuk elemana ait II. Mertebe teorisine ait ek rijitlik matrisi verilmiştir. Burada T değişkeni yerine 2Ct değeri girildiğinde zeminin ikinci parametresine ait rijitlik matrisi aynen elde edilmektedir. Matristeki elemanların farklı yerlerde olması bu çalışma ile SAP2000 programının kullandığı yer değiştirmelerin çubuktaki sıralamasının farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

$$\begin{bmatrix} Fi \\ Mi \\ Fj \\ Mj \end{bmatrix} = \frac{T}{30L} \begin{bmatrix} 36 & 3L & -36 & 3L \\ 4L^2 & -3L & -L^2 & \\ simetrik & 36 & -3L & \\ & & 4L^2 & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} vi \\ \emptyset i \\ vj \\ \emptyset j \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

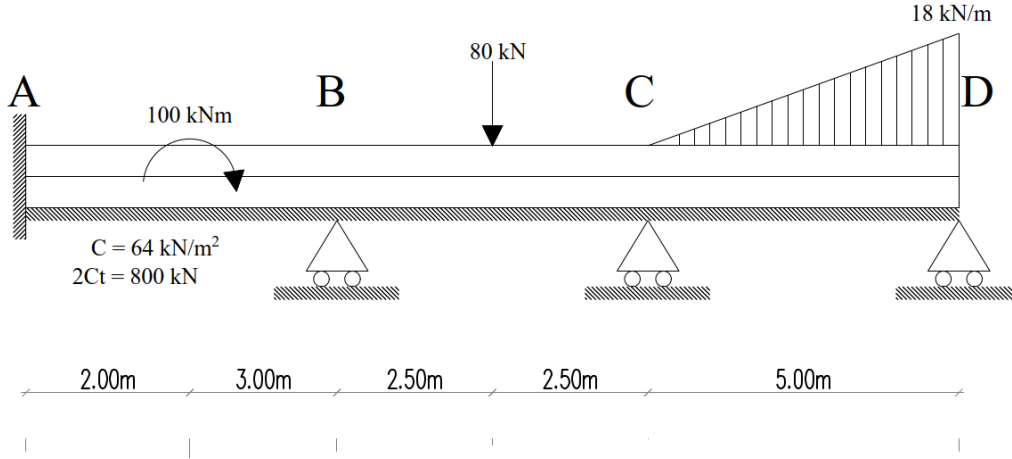


3. SAYISAL ÖRNEKLER

İlk iki örnekte daha önce yapılmış çalışmalarda elde edilen zemin parametreleri aynen kullanılmış ve elde edilen kesme kuvveti, eğilme momenti ve yer değiştirmeler karşılaştırılmıştır. Bu örneklerle iki parametrelili zeminin SAP2000’de modellenenebilirliğini doğrulamak amaçlanmıştır. Üçüncü örnekte, daha önce yapılmış çalışmada 4 farklı zemin tabak kalınlığı için ayrı ayrı elde edilen zemin parametre değeri aynen kullanılarak; yer değiştirmeler kıyaslanmıştır. Dördüncü örnekte Genelleştirilmiş Müller-Breslau Yöntemine göre kirişe ankastrelik uç kuvvetler etkililerek elde edilen tesir çizgisinden yararlanarak önceki örnekte elde edilen birim yüklemeden meydana gelen yer değiştirme (ilgili kesitteki moment değeri) değeri kıyaslanmıştır. Beşinci örnekte verilen statik yüklemeden meydana gelen eğilme momenti değeri, tesir çizgisinden elde edilen eğilme momenti değeri ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır.

3.1. Örnek 1 Üç Açıklıklı Sürekli Kiriş

Razaqpur ve Shah tarafından yapılmış olan iki parametrelili zemine oturan temel kirişi çalışması [6] SAP2000’de 1’er metre aralıklara bölünerek Şekil 3.1’de görüldüğü şekilde çözülmüştür. Analiz sonucunda yer değiştirmeler karşılaştırılmış ve SAP2000’de iki parametrelili zeminin modellenenebilirliği görülmüştür.



Şekil 3.1 : Örnek 1 Üç Açıklıklı Sürekli Kiriş.

Bu örnekte zeminin elastisite modülü $E=2000 \text{ kN/m}^2$, zemin parametreleri $C=64 \text{ kN/m}^2$, $2Ct=800 \text{ kN}$ 'dir.

3.1.1. SAP2000 girdileri

Sonlu eleman hesap modelinde sırasıyla eksen, malzeme ve kesit özellikleri tanımlanmıştır. Gerekli mesnet atamaları ve yüklemeler yapılarak C ve 2Ct parametreleri kiriş boyunca Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'teki gibi girilmiştir.

Assign Springs Along Frame Object

Spring Type

☒ Simple

Spring Stiffness per Unit Length: 64 kN/m/m

Simple Spring Resists: Tension and Compression

☐ Link Property

Local 2 Axis Angle from Default Orientation

Spring Tension Direction

☒ Parallel to Line Object Local Axis: 2 Axis

☐ In Frame Object 2-3 Plane

Counterclockwise Angle from Frame +2 Axis

☐ User Specified Direction Vector

Coordinate System

Local 1 Component

Local 2 Component

Local 3 Component

Options

☐ Add to Existing Springs

☒ Replace Existing Springs

☐ Delete Existing Springs

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Şekil 3.2 : Örnek 1'e ait yay katsayısı değerini SAP2000'de oluşturma.

Assign Frame Initial P-Delta Forces

P-Delta Force Type

☒ Force

☐ X Projection

☐ Y Projection

☐ Z Projection

Coordinate System for Projected Forces

Direction

Initial Force

Force: 800 kN

Options

☐ Add to Existing Forces

☒ Replace Existing Forces

☐ Delete Existing Forces

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

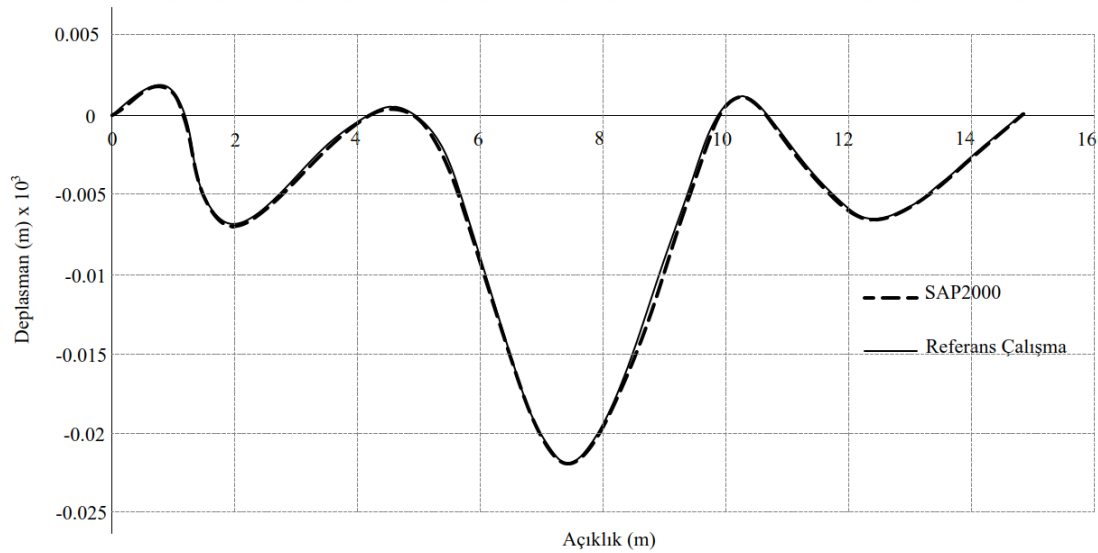
Şekil 3.3 : Örnek 1'e ait kayma gerilmesi değerini SAP2000'de oluşturma.

3.1.2. Analiz sonucu

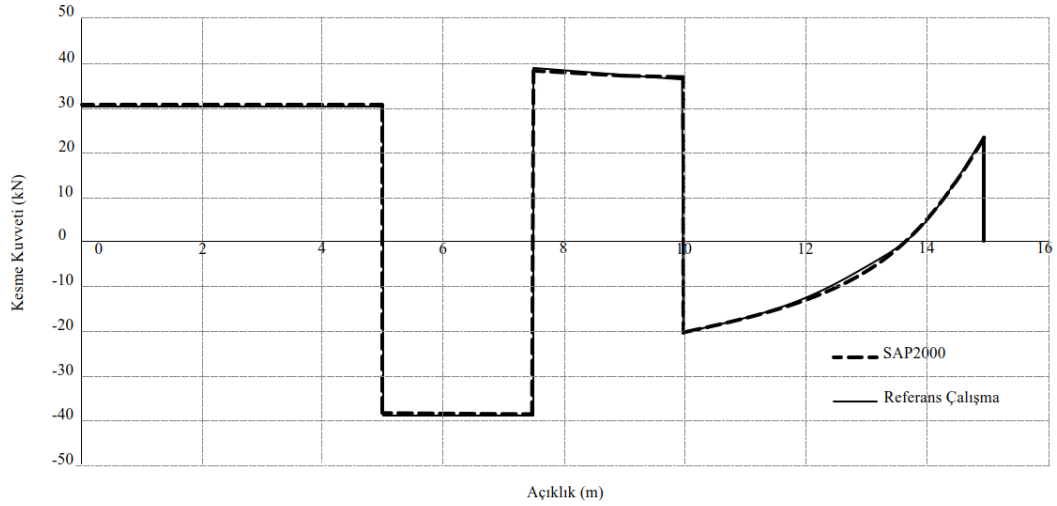
SAP2000 yazılımında yapılan analiz sonucunda düşey yer değiştirme, kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri, daha önce yapılan çalışmanın değerleri ile yakın çıkmıştır. Karşılaştırma tablosu Çizelge 3.1’de, karşılaştırma grafikleri Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’da verilmiştir. Tablodaki değerlerin birbiri ile zıt işaretli olması SAP2000 programının yön kabulünden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 3.1 : Düşey Yd, Kesme Kuvveti ve Eğilme Moment Kıyas Tablosu.

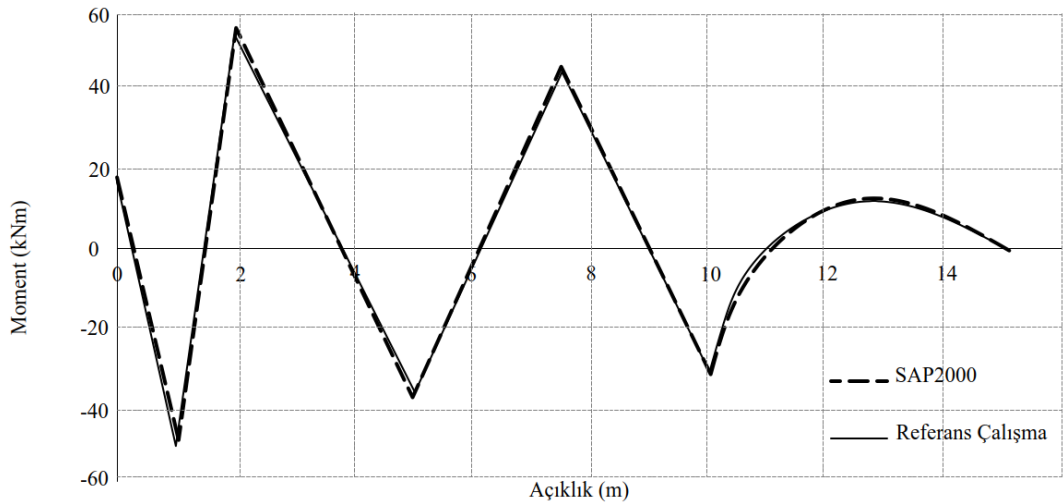
ÖNCEKİ ÇALIŞMAYA AİT DEĞERLER				SAP2000 ANALİZ SONUÇLARI			
Düğüm Noktası	Düşey Yer değiştirme (m)	Kesme Kuvveti (kN)	Eğilme Momenti (kNm)	Düşey Yer değiştirme (m)	Kesme Kuvveti (kN)	Eğilme Momenti (kNm)	
1	0,0000	-30,46	17,02	0,0000	30,54	16,21	
2	-0,0016	-30,46	-47,43	0,0016	30,54	-47,82	
3	0,0080	+38,90	52,20	-0,0081	-38,86	52,18	
4	0,0000	+38,96	-35,00	0,0000	-38,86	-35,14	
5	0,0254	-39,00	44,00	-0,0254	38,39	43,38	
6	-0,0013	-36,40	-29,80	0,0012	36,75	-29,99	
7	0,0080	+21,00	11,20	-0,0076	-20,63	10,99	
8	0,0000	-24,00	0,00	0,0000	23,27	0,00	



Şekil 3.4 : Örnek 1'in SAP2000 ve referans çalışmadaki yer değiştirme analizi.



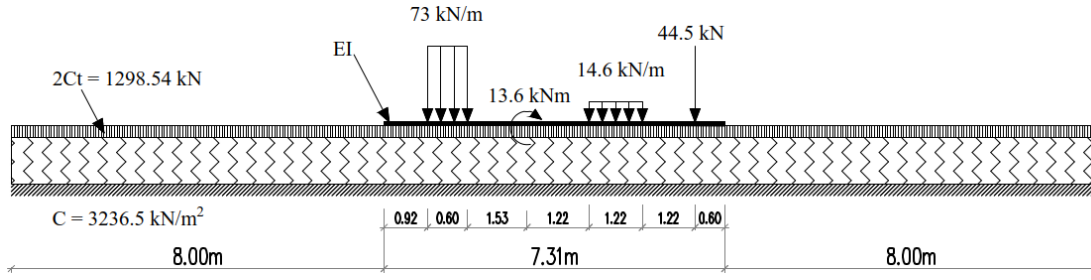
Şekil 3.5 : Örnek 1'in SAP2000 ve referans çalışmadaki kesme kuvveti analizi.



Şekil 3.6 : Örnek 1'in SAP2000 ve referans çalışmadaki moment değeri analizi.

3.2. Örnek 2 İki Parametrelili Zemine Oturan Kiriş

Eisenberger ve Bielak tarafından yapılmış olan çalışmada iki parametrelili zemine oturan temel kirişi [1], tekil yük, tekil moment ve yayılı yükler altında, birimlerde uygun dönüştürmeler yapılarak çözülmüştür. Şekil 3.7'de gösterilen modelde temelin her iki yanında 8 m uzunluğunda zemin tabakası varsayılmıştır. Bu örnekte temel kirişinin elastisite modülü $E=14369,41 \text{ kN/m}^2$, zeminin elastisite modülü $E=1 \text{ kN/m}^2$. Zemin parametreleri $C=3236,50 \text{ kN/m}^2$, $2Ct=1298,54 \text{ kN}$ 'dur. Yeterli hassasiyette çözüm yapılabilmesi için kiriş, 0,5 m aralıklarla analiz ettirilmiştir.



Şekil 3.7 : Örnek 2 İki Parametrelili Zemine Oturan Kiriş.

3.2.1. SAP2000 girdileri

Referans çalışmanın birimlerinde uygun dönüşümler yapılmış olarak; SAP2000’de kNm birimi seçilmiştir. Temel ve zemin kirişi için malzeme ve kesit özellikleri ayrı ayrı tanımlanmıştır. Temel kirişinde gerekli yüklemeler yapılarak; C ve 2Ct parametreleri Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’daki gibi kiriş boyunca girilmiştir. Yeterli hassasiyette çözüm yapılabilmesi için kiriş, 0,5 m aralıklarla Şekil 3.10’da gösterildiği gibi analiz ettirilmiştir.

Şekil 3.8 : Örnek 2'ye ait yay katsayısı değerinin SAP2000'de girilmesi.

Şekil 3.9 : Örnek 2'ye ait zemin kayma parametresi değerinin SAP2000'de girilmesi.

Şekil 3.10 : SAP2000'de analizin 0,5 m aralıklarla yapılması.

3.2.2. Analiz sonucu

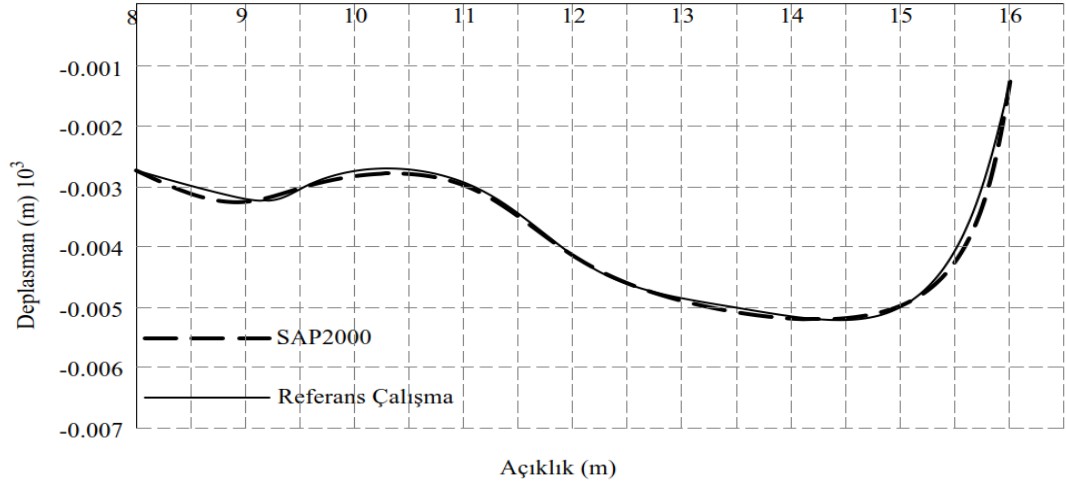
Çalışmamız ve referans çalışmaya ait yer değiştirme tablosu Çizelge 3.2'de, kesme kuvveti ve moment değerleri tablosu Çizelge 3.3'deki; Şekil 3.11, Şekil 3.12, Şekil 3.13'te grafiklerde karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.2 : Örnek 2'ye ait yer değiştirme kıyas tablosu.

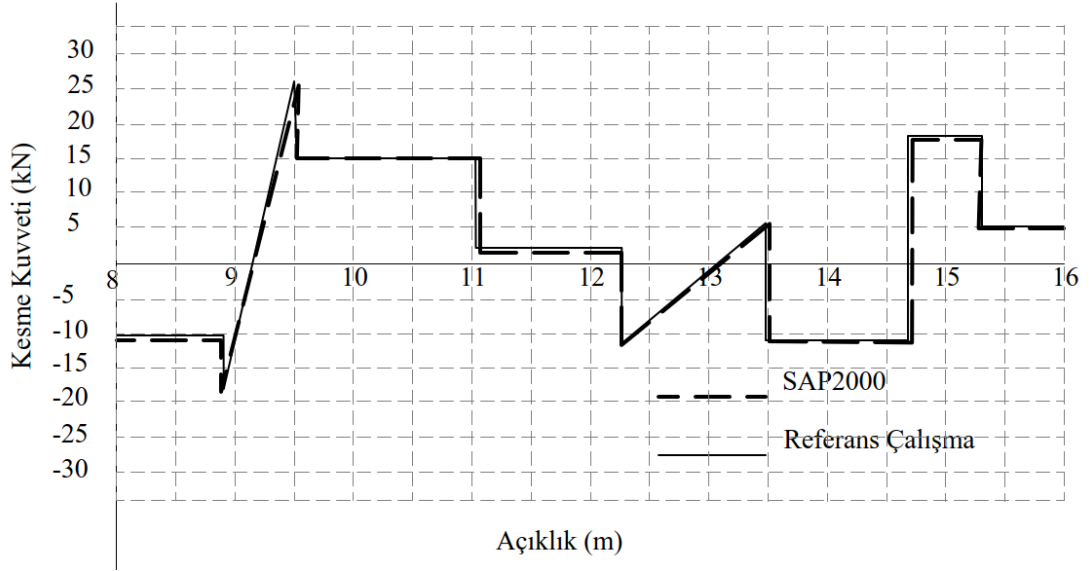
Düğüm Noktası	Önceki Çalışmaya Ait Düşey Yd (m)	SAP2000 Analizi Sonucu Düşey Yd (m)
7	-0,0001	-0,0001
8	-0,0006	-0,0006
9	-0,0027	-0,0027
10	-0,0031	-0,0031
11	-0,0032	-0,0032
12	-0,0030	-0,0030
13	-0,0035	-0,0035
14	-0,0043	-0,0043
15	-0,0050	-0,0050

Çizelge 3.3 : Örnek 2'ye ait kesme kuvveti ve eğilme momenti kıyas tablosu.

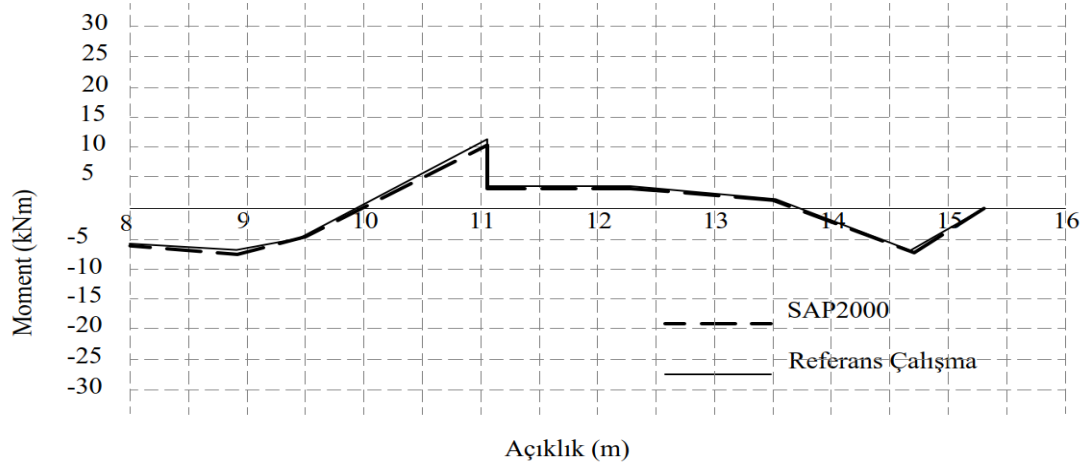
Kiriş Numarası	Referans Çalışma Analiz Sonucu		SAP2000 Analiz Sonucu		Kiriş Numarası	Referans Çalışma Analiz Sonucu		SAP2000 Analiz Sonucu	
	Kesme Kuvveti (kN)	Moment Değ. (kNm)	Kesme Kuvveti (kN)	Moment Değ. (kNm)		Kesme Kuvveti (kN)	Moment Değ. (kNm)	Kesme Kuvveti (kN)	Moment Değ. (kNm)
6	-0,15	0	-0,15	0	12	1,689	-4,6211	1,689	-4,6211
7	-0,62	0	-0,62	0	13	-12,169	-4,6211	-12,169	-4,6211
8	-2,66	0	-2,66	0	13	-6,232	-1,2019	-6,232	-1,2019
9	-10,91	5,7E-14	-10,91	5,7E-14	13	-0,294	-0,2243	-0,294	-0,2243
9	-10,91	4,6258	-10,91	4,6258	13	5,643	-1,6736	5,643	-1,6736
9	-10,91	9,3384	-10,91	9,3384	14	-11,357	-1,6736	-11,357	-1,6736
10	-18,607	9,3384	-18,607	9,3384	14	-11,357	2,5797	-11,357	2,5797
10	3,658	11,5443	3,658	11,5443	14	-11,357	6,8716	-11,357	6,8716
10	25,923	7,0471	25,923	7,0471	14	-11,357	11,267	-11,357	11,2667
11	14,982	7,0471	14,982	7,0471	15	18,307	11,267	18,307	11,2667
11	14,982	1,4558	14,982	1,4558	15	18,307	5,6097	18,307	5,6097
11	14,982	-4,1164	14,982	-4,1164	15	18,307	8E-14	18,307	8,3E-14
11	14,982	-9,7428	14,982	-9,7428	16	5,054	0	5,054	0
12	14,982	-15,497	14,982	-15,497	17	1,187	0	1,187	0
12	1,689	-1,8966	1,689	-1,8966	17	1,187	1E-16	1,187	1,1E-16
12	1,689	-2,7589	1,689	-2,7589	17	1,187	2E-16	1,187	2,2E-16
11	1,689	-3,6625	1,689	-3,6625					



Şekil 3.11 : Örnek 2'in SAP2000 ve referans çalışmadaki yer değiştirme analizi.



Şekil 3.12 : Örnek 2'in SAP2000 ve referans çalışmadaki kesme kuvveti analizi.

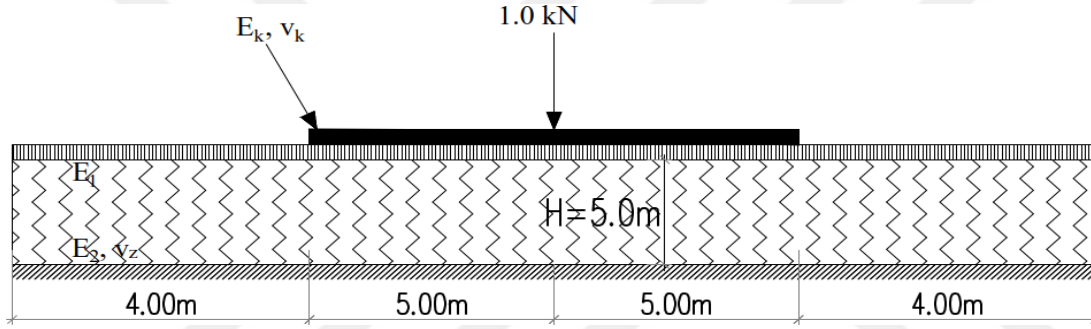


Şekil 3.13 : Örnek 2'in SAP2000 ve referans çalışmadaki moment değeri analizi.

3.3. Örnek 3 İki Parametrelili Zemine Oturan Kirişin Farklı Zemin Yükseklikleri İçin Kirişin İncelenmesi

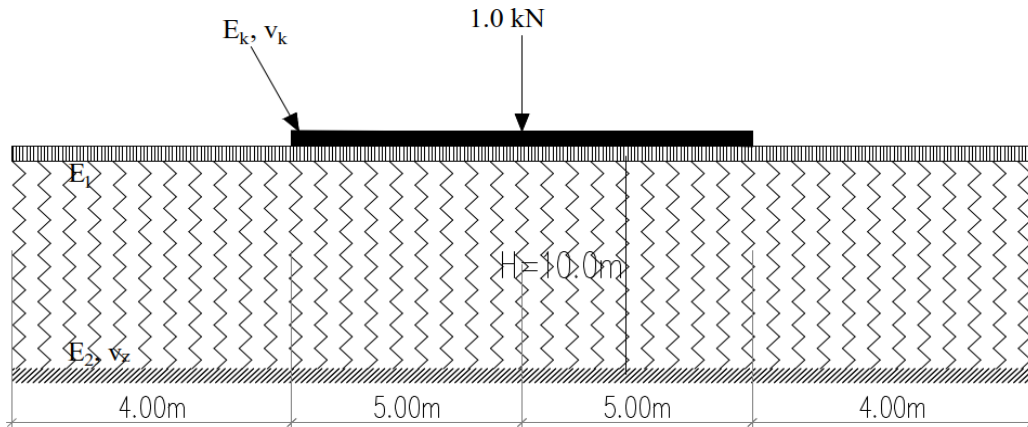
Bu örnekte, Gürarslan tarafından yapılmış olan yükseklikleri değişen dört farklı çalışmada [3] 10 metre uzunluğundaki temel kirişinin iki yanında 4'er metre boyunda zemin modellenmiş olup; kirişin ortasından 1 kN tekil yük uygulanmıştır. Zemin yay katsayısı ve kayma parametresi zemin yüksekliklerine göre farklı değerler almıştır. Kirişin elastisite modülü $E_k=2 \times 10^6$ kN/m²; zemine ait elastisite modülü $E=7000$ kN/m²'dir. Örnekte kayma şekil değiştirmelerinin etkisi göz önüne alınmıştır.

- Zemin yüksekliği $H=5$ m için ;
Yay katsayısı $C= 3453,44$ kN/m², kayma parametresi $2Ct= 8014,96$ kN olup model Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



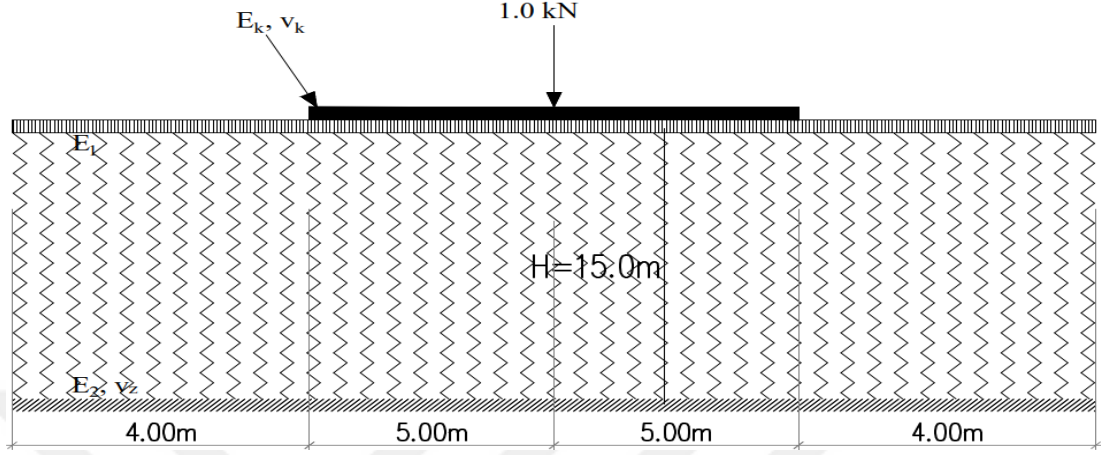
Şekil 3.14 : Örnek 3 zemin yüksekliği $H=5$ m.

- Zemin yüksekliği $H=10$ m için ;
Yay katsayısı $C= 1791,88$ kN/m², kayma parametresi $2Ct= 14709,80$ kN olup model Şekil 3.15'te gösterilmiştir.



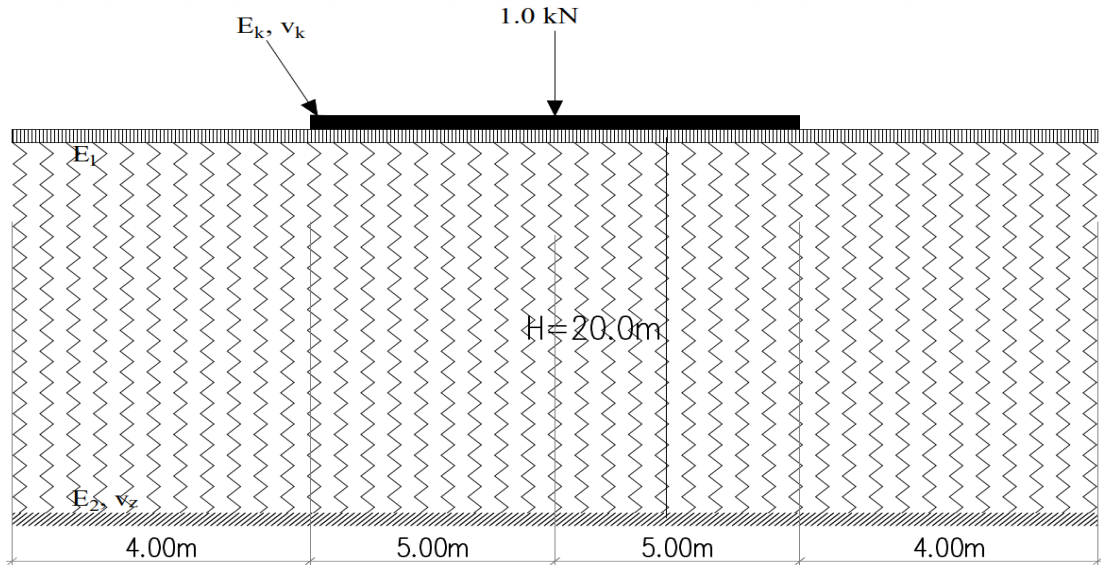
Şekil 3.15 : Örnek 3 zemin yüksekliği $H=10$ m.

- Zemin yüksekliği $H=15$ m için ;
Yay katsayısı $C= 1177,18 \text{ kN/m}^2$, kayma parametresi $2Ct= 22746,12 \text{ kN}$ olup model Şekil 3.16’da gösterilmiştir.



Şekil 3.16 : Örnek 3 zemin yüksekliği $H=15$ m.

- Zemin yüksekliği $H=20$ m için ;
Yay katsayısı $C= 861,06 \text{ kN/m}^2$, kayma parametresi $2Ct= 32311,12 \text{ kN}$ olup model Şekil 3.17’de gösterilmiştir.



Şekil 3.17 : Örnek 3 zemin yüksekliği $H=20$ m.

3.3.1. SAP2000 girdileri

Bu örnekte zemin yay katsayısı ve zemin kayma parametresi değerleri zemin yükseklikleri $H=5$, $H=10$, $H=15$, $H=20$ m için Şekil 3.18, Şekil 3.19, Şekil 3.20,

Şekil 3.21, Şekil 3.22, Şekil 3.23, Şekil 3.24, Şekil 3.25'te gösterildiği gibi atanmıştır.

Assign Springs Along Frame Object

Spring Type

☒ Simple

Spring Stiffness per Unit Length: 3453.44 kN/m/m

Simple Spring Resists: Tension and Compression

☐ Link Property

Local 2 Axis Angle from Default Orientation

Spring Tension Direction

☒ Parallel to Line Object Local Axis: 2 Axis

☐ In Frame Object 2-3 Plane

Counterclockwise Angle from Frame +2 Axis

☐ User Specified Direction Vector

Coordinate System

Local 1 Component

Local 2 Component

Local 3 Component

Options

☐ Add to Existing Springs

☒ Replace Existing Springs

☐ Delete Existing Springs

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Şekil 3.18 : Örnek 3 H=5 m için yay katsayısı değeri.

Assign Frame Initial P-Delta Forces

P-Delta Force Type

☒ Force

☐ X Projection

☐ Y Projection

☐ Z Projection

Coordinate System for Projected Forces

Direction

Initial Force

Force: 8014.96 kN

Options

☐ Add to Existing Forces

☒ Replace Existing Forces

☐ Delete Existing Forces

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Şekil 3.19 : Örnek 3 H=5 m için kayma parametresi değerinin SAP2000'de tanımlanması.

Assign Springs Along Frame Object

Spring Type

☒ Simple

Spring Stiffness per Unit Length kN/m/m

Simple Spring Resists

☐ Link Property

Local 2 Axis Angle from Default Orientation

Spring Tension Direction

☒ Parallel to Line Object Local Axis

☐ In Frame Object 2-3 Plane

Counterclockwise Angle from Frame +2 Axis

☐ User Specified Direction Vector

Coordinate System

Local 1 Component

Local 2 Component

Local 3 Component

Options

☐ Add to Existing Springs

☒ Replace Existing Springs

☐ Delete Existing Springs

Şekil 3.20 : Örnek 3 H=10 m için yay katsayısı değeri.

Assign Frame Initial P-Delta Forces

P-Delta Force Type

☒ Force

☐ X Projection

☐ Y Projection

☐ Z Projection

Coordinate System for Projected Forces

Direction

Initial Force

Force kN

Options

☐ Add to Existing Forces

☒ Replace Existing Forces

☐ Delete Existing Forces

Şekil 3.21 : Örnek 3 H=10 m için kayma parametresi değerinin SAP2000'de tanımlanması.

Assign Springs Along Frame Object

Spring Type

☒ Simple

Spring Stiffness per Unit Length: 1177,18 kN/m/m

Simple Spring Resists: Tension and Compression

☐ Link Property

Local 2 Axis Angle from Default Orientation

Spring Tension Direction

☒ Parallel to Line Object Local Axis: 2 Axis

☐ In Frame Object 2-3 Plane

Counterclockwise Angle from Frame +2 Axis

☐ User Specified Direction Vector

Coordinate System

Local 1 Component

Local 2 Component

Local 3 Component

Options

☐ Add to Existing Springs

☒ Replace Existing Springs

☐ Delete Existing Springs

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Şekil 3.22 : Örnek 3 H=15 m için yay katsayısı değeri.

Assign Frame Initial P-Delta Forces

P-Delta Force Type

☒ Force

☐ X Projection

☐ Y Projection

☐ Z Projection

Coordinate System for Projected Forces

Direction

Initial Force

Force: 22746,12 kN

Options

☐ Add to Existing Forces

☒ Replace Existing Forces

☐ Delete Existing Forces

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Şekil 3.23 : Örnek 3 H=15 m için kayma parametresi değerinin SAP2000'de tanımlanması.

Assign Springs Along Frame Object

Spring Type

☒ Simple

Spring Stiffness per Unit Length: 861,06 kN/m/m

Simple Spring Resists: Tension and Compression

☐ Link Property

Local 2 Axis Angle from Default Orientation:

Spring Tension Direction

☒ Parallel to Line Object Local Axis: 2 Axis

☐ In Frame Object 2-3 Plane

Counterclockwise Angle from Frame +2 Axis:

☐ User Specified Direction Vector

Coordinate System:

Local 1 Component:

Local 2 Component:

Local 3 Component:

Options

☐ Add to Existing Springs

☒ Replace Existing Springs

☐ Delete Existing Springs

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Şekil 3.24 : Örnek 3 H=20 m için yay katsayısı değeri.

Assign Frame Initial P-Delta Forces

P-Delta Force Type

☒ Force

☐ X Projection

☐ Y Projection

☐ Z Projection

Coordinate System for Projected Forces

Direction:

Initial Force

Force: 32311,12 kN

Options

☐ Add to Existing Forces

☒ Replace Existing Forces

☐ Delete Existing Forces

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Şekil 3.25 : Örnek 3 H=20 m için kayma parametresi değerinin SAP2000'de tanımlanması.

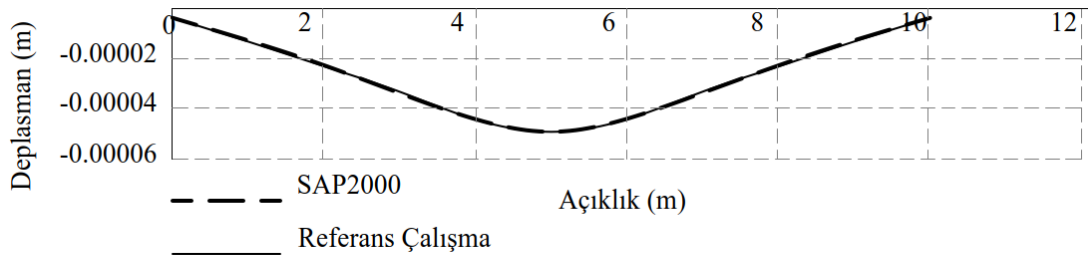
3.3.2 Analiz sonucu

Çalışmamız ile referans çalışmaya ait yer değiştirme karşılaştırmaları tablo ve grafikler halinde düzenlenmiştir.

- Zemin yüksekliği $H=5$ m için sonuçlar Çizelge 3.4 ve Şekil 3.26'da yer almaktadır.

Çizelge 3.4 : Örnek 3 $H=5$ m için referans çalışma ile SAP2000 yd değerleri kıyas tablosu.

Referans Çalışma Düşey Yer değiştirme Değerleri											
x/L	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
w(m)	,36E-5	,13E-4	,23 E-4	,33E-4	,44E-4	,49E-4	,44E-4	,33E-4	,23E-4	,13E-4	,36E-5
SAP2000 Modellemesi Düşey Yer değiştirme Değerleri											
d(m)	-,36E-5	-,13E-4	,23 E-4	-,33E-4	-,44E-4	-,49E-4	-,44E-4	-,34E-4	-,23E-4	-,13E-4	-,37E-5

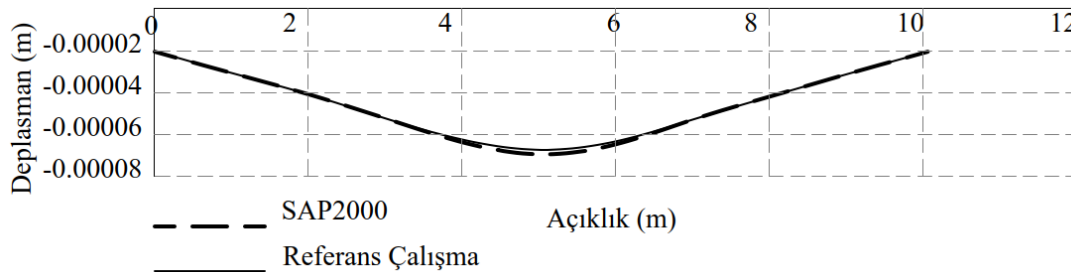


Şekil 3.26 : Örnek 3 $H=5$ m için referans çalışma ile SAP2000 yd grafiği.

- Zemin yüksekliği $H=10$ m için sonuçlar Çizelge 3.5 ve Şekil 3.27'de yer almaktadır.

Çizelge 3.5 : Örnek 3 $H=10$ m için referans çalışma ile SAP2000 yd değerleri kıyas tablosu.

Referans Çalışma Düşey Yer değiştirme Değerleri											
x/L	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
w(m)	2E-5	3E-5	4,1E-5	5,2E-5	6,2E-5	6,7E-5	6,2E-5	5,2E-5	4,1E-5	3E-5	2E-5
SAP2000 Modellemesi Düşey Yer değiştirme Değerleri											
d(m)	-2E-5	-3E-5	-4,1E-5	-5,2E-5	-6,2E-5	-6,7E-5	-6,2E-5	-5,2E-5	-4,1E-5	-3E-5	-2E-5

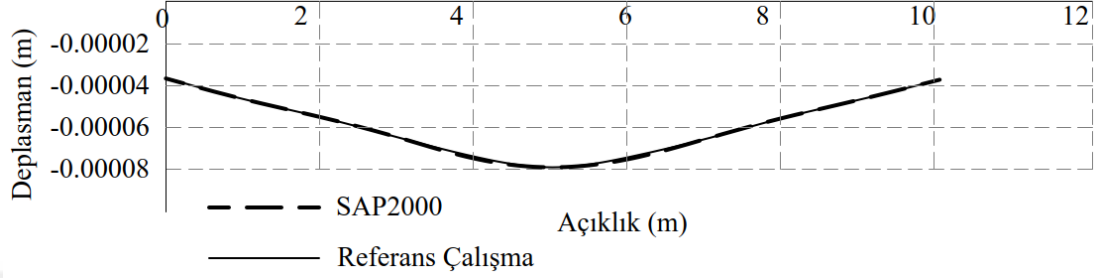


Şekil 3.27 : Örnek 3 $H=10$ m için referans çalışma ile SAP2000 yd grafiği.

- Zemin yüksekliği $H=15$ m için sonuçlar Çizelge 3.6 ve Şekil 3.28'de yer almaktadır.

Çizelge 3.6 : Örnek 3 H=15 m için referans çalışma ile SAP2000 yd değerleri kıyas tablosu.

Referans Çalışma Düşey Yer değiştirme Değerleri											
x/L	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
w(m)	,38E-4	,47E-4	,56E-4	,66E-4	,75E-4	,80E-4	,75E-4	,66E-4	,56E-4	,47E-4	,38E-4
SAP2000 Modellemesi Düşey Yer değiştirme Değerleri											
d(m)	-3,8E-5	-4,7E-5	-5,6E-5	-6,6E-5	-7,6E-5	-8E-5	-7,6E-5	-6,6E-5	-5,6E-5	-4,7E-5	-3,8E-5

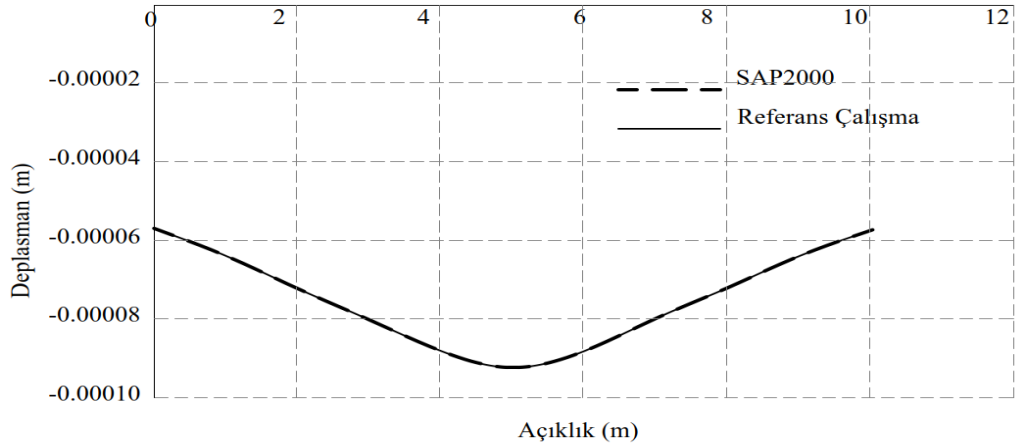


Şekil 3.28 : Örnek 3 H=15 m için referans çalışma ile SAP2000 yd grafiği.

- Zemin yüksekliği H=20 m için sonuçlar Çizelge 3.6 ve Şekil 3.29'da yer almaktadır.

Çizelge 3.7 : Örnek 3 H=20 m için referans çalışma ile SAP2000 yd değerleri kıyas tablosu.

Referans Çalışma Düşey Yer değiştirme Değerleri											
x/L	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
w(m)	,57E-4	,64E-4	,72E-4	,80E-4	,88E-4	,92E-4	,88E-4	,80E-4	,72E-4	,64E-4	,57E-4
SAP2000 Modellemesi Düşey Yer değiştirme Değerleri											
d(m)	-5,7E-5	-6,4E-5	-7,2E-5	-8E-5	-8,8 E-5	-9,2 E-5	-8,8 E-5	-8E-5	-7,2 E-5	-6,4 E-5	-5,7E-5



Şekil 3.29 : Örnek 3 H=20 m için referans çalışma ile SAP2000 yd grafiği.

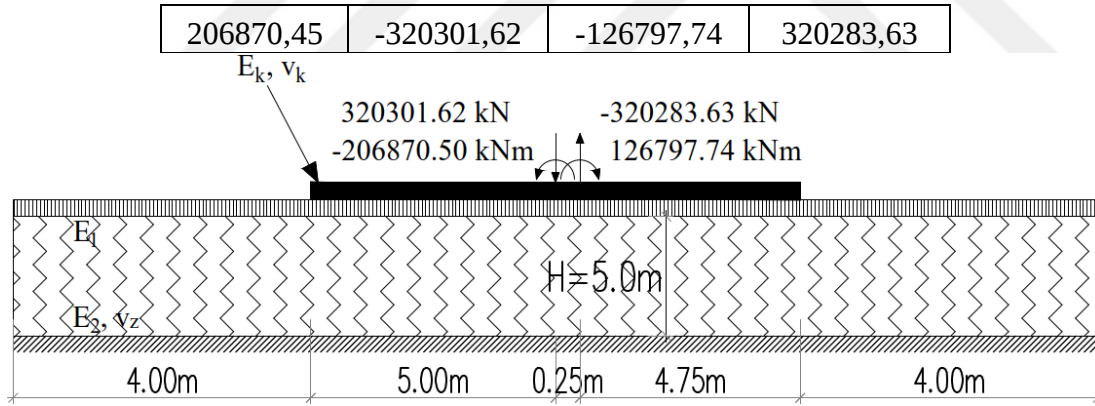
3.4 Örnek 4 Genelleştirilmiş Müller-Breslau Metodu ile Tesir Çizgilerinin Elde Edilmesi

Önceki örnekteki kirişin orta noktasına 1 kN birim yük etkimesi durumunda oluşacak çubuk ankastrelik uç kuvvetleri, Genelleştirilmiş Müller-Breslau Metodu ile kayma etkisi gözönünde tutularak hesaplanmıştır. Yön kabulleri Şekil 1.8'deki gibi olacak şekilde $i=x/L=0,5$ olan kirişin sol düğüm noktası ve j (sağ düğüm) noktalarına kesme kuvveti ve moment etkiltilmiş; analiz sonucu kirişin i düğüm noktasında meydana gelen eğilme moment ordinat değerleri, önceki örnekteki momentler ile aynı zemin yükseklikleri için karşılaştırılmıştır. $b=2$ m, $h=0,5$ m boyutlarındadır.

Her zemin yüksekliği için ankastrelik uç kuvvetleri değerleri hesaplanmıştır.

- Örnek 4 zemin yüksekliği $H=5$ metre modeli Şekil 3.30, ankastrelik uç kuvvet değerleri Çizelge 3.8'de yer almaktadır. Zemin yay katsayısı $C=3453,44$ kN/m², kayma parametresi $2Ct=8014,96$ kN'dur.

Çizelge 3.8 : $H=5$ m için ankastrelik uç kuvvetleri.

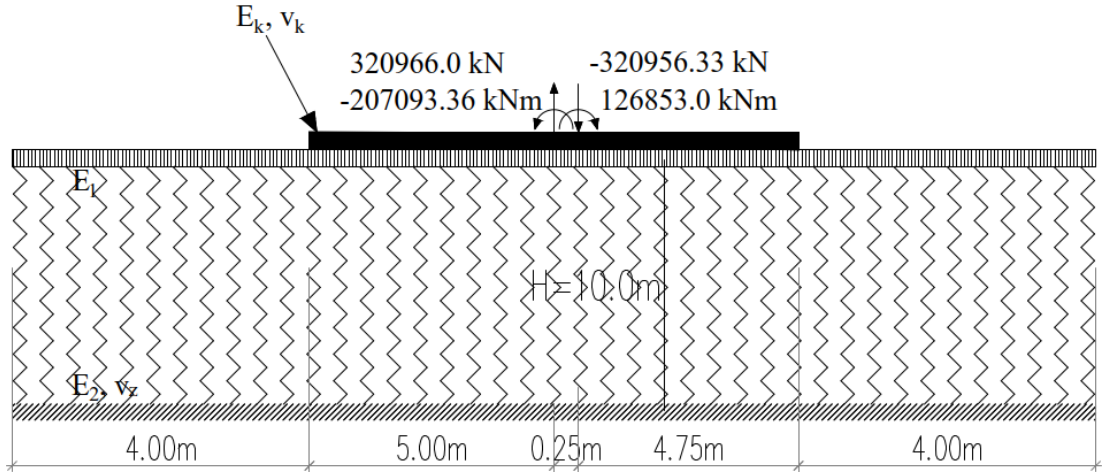


Şekil 3.30 : Örnek 4 zemin yüksekliği $H=5$ m.

- Örnek 4 zemin yüksekliği $H=10$ metre modeli Şekil 3.31, ankastrelik uç kuvvet değerleri Çizelge 3.9'da yer almaktadır. Zemin yay katsayısı $C=1791,88$ kN/m², kayma parametresi $2Ct=14709,80$ kN'dur.

Çizelge 3.9 : $H=10$ m için ankastrelik uç kuvvetleri.

207093,36	-320966	-126853	320956,33
-----------	---------	---------	-----------

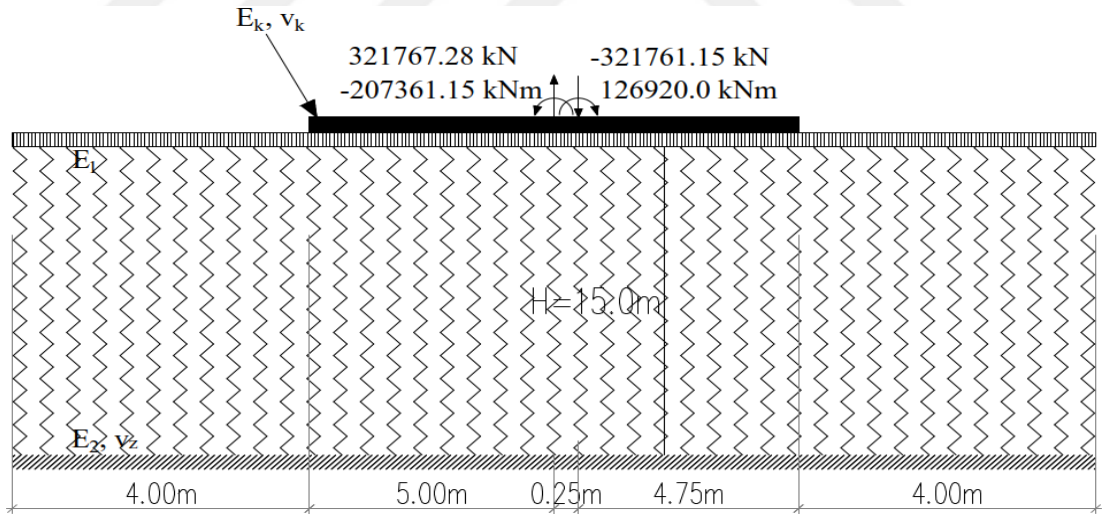


Şekil 3.31 : Örnek 4 zemin yüksekliği H=10 m.

- Örnek 4 zemin yüksekliği H=15 metre modeli Şekil 3.32, ankastrelik uç kuvvet değerleri Çizelge 3.10'da yer almaktadır. Zemin yay katsayısı $C=1177,18 \text{ kN/m}^2$, kayma parametresi $2Ct=22746,12 \text{ kN}$ 'dur.

Çizelge 3.10 : H=15 m için ankastrelik uç kuvvetleri.

207361,15	-321767,28	-126920	321761,15
-----------	------------	---------	-----------

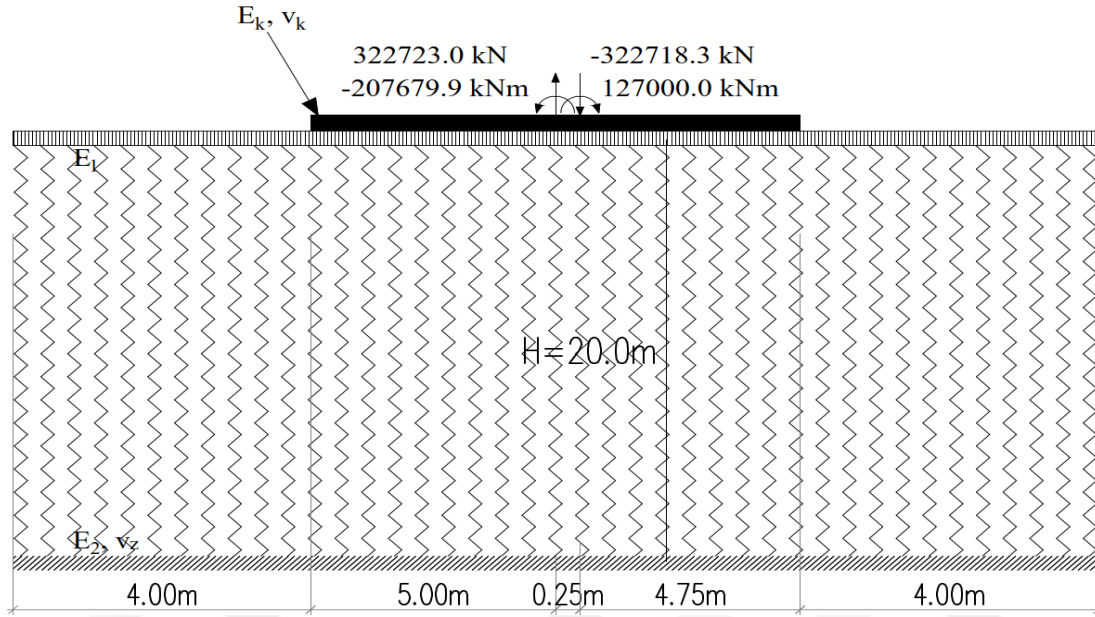


Şekil 3.32 : Örnek 4 zemin yüksekliği H=15 m.

- Örnek 4 zemin yüksekliği H=20 metre modeli Şekil 3.33, ankastrelik uç kuvvet değerleri Çizelge 3.11'de yer almaktadır. Zemin yay katsayısı $C=861,06 \text{ kN/m}^2$, kayma parametresi $2Ct=32311,12 \text{ kN}$ 'dur.

Çizelge 3.11 : H=20 m için ankastrelik uç kuvvetleri.

207679,93	-322723	-127000	322718,26
-----------	---------	---------	-----------



Şekil 3.33 : Örnek 4 zemin yüksekliği H=20 m.

3.4.1 SAP2000 girdileri

Değerlerin işaretleri SAP2000 yazılımında düzenlenerek Şekil 3.34, Şekil 3.35, Şekil 3.36, Şekil 3.37, Şekil 3.38, Şekil 3.39, Şekil 3.40, Şekil 3.41’de gösterildiği gibi atanmıştır.

Şekil 3.34 : H=5 m için i ucuna kesme kuvveti ve moment değeri etkiltilmesi.

Assign Joint Forces

General

Load Pattern: DEAD

Coordinate System: GLOBAL

Forces

Force Global X: 0 kN

Force Global Y: 0 kN

Force Global Z: -320283,63 kN

Moment about Global X: 0 kN-m

Moment about Global Y: 126797,74 kN-m

Moment about Global Z: 0 kN-m

Options

☐ Add to Existing Loads

☒ Replace Existing Loads

☐ Delete Existing Loads

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Şekil 3.35: H=5 m için j ucuna kesme kuvveti ve moment değeri etkitilmesi.

Assign Joint Forces

General

Load Pattern: DEAD

Coordinate System: GLOBAL

Forces

Force Global X: 0 kN

Force Global Y: 0 kN

Force Global Z: 320966 kN

Moment about Global X: 0 kN-m

Moment about Global Y: -207093,36 kN-m

Moment about Global Z: 0 kN-m

Options

☐ Add to Existing Loads

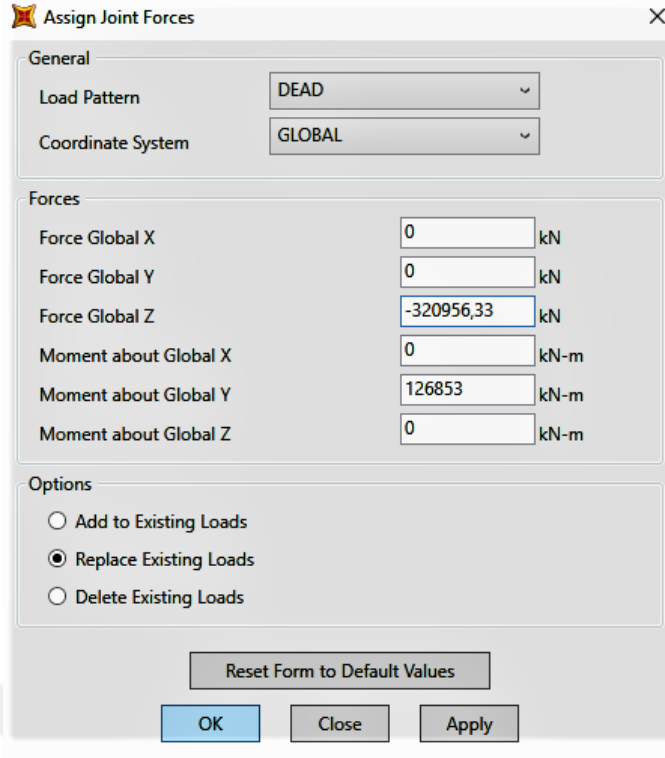
☒ Replace Existing Loads

☐ Delete Existing Loads

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Şekil 3.36 : H=10 m için i ucuna kesme kuvveti ve moment değeri etkitilmesi.



Assign Joint Forces

General

Load Pattern: DEAD

Coordinate System: GLOBAL

Forces

Force Global X: 0 kN

Force Global Y: 0 kN

Force Global Z: -320956,33 kN

Moment about Global X: 0 kN-m

Moment about Global Y: 126853 kN-m

Moment about Global Z: 0 kN-m

Options

☐ Add to Existing Loads

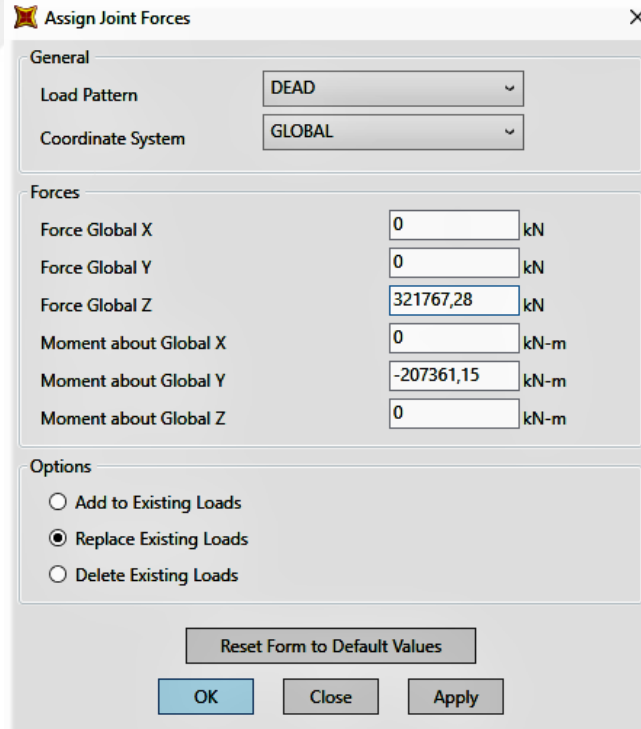
☒ Replace Existing Loads

☐ Delete Existing Loads

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Şekil 3.37 : H=10 m için j ucuna kesme kuvveti ve moment değeri etkitilmesi.



Assign Joint Forces

General

Load Pattern: DEAD

Coordinate System: GLOBAL

Forces

Force Global X: 0 kN

Force Global Y: 0 kN

Force Global Z: 321767,28 kN

Moment about Global X: 0 kN-m

Moment about Global Y: -207361,15 kN-m

Moment about Global Z: 0 kN-m

Options

☐ Add to Existing Loads

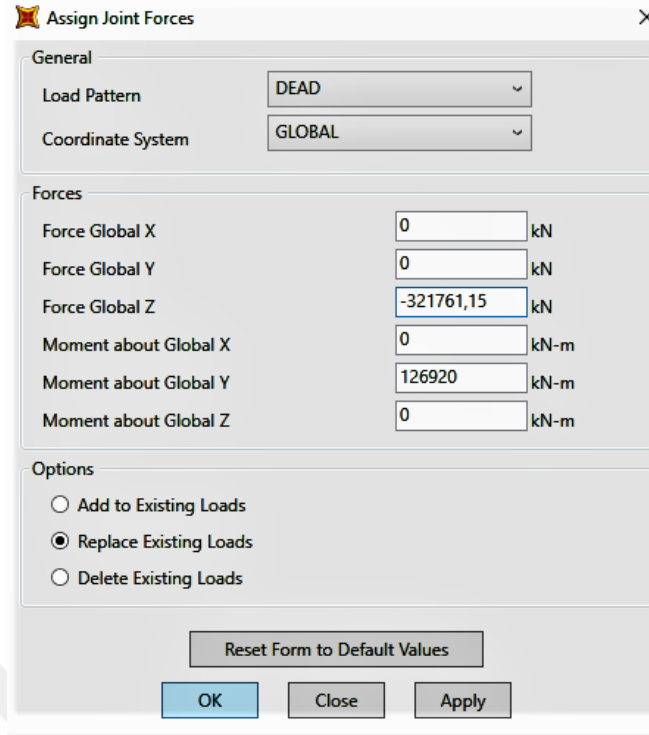
☒ Replace Existing Loads

☐ Delete Existing Loads

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Şekil 3.38 : H=15 m için i ucuna kesme kuvveti ve moment değeri etkitilmesi.



Assign Joint Forces

General

Load Pattern: DEAD

Coordinate System: GLOBAL

Forces

Force Global X: 0 kN

Force Global Y: 0 kN

Force Global Z: -321761,15 kN

Moment about Global X: 0 kN-m

Moment about Global Y: 126920 kN-m

Moment about Global Z: 0 kN-m

Options

☐ Add to Existing Loads

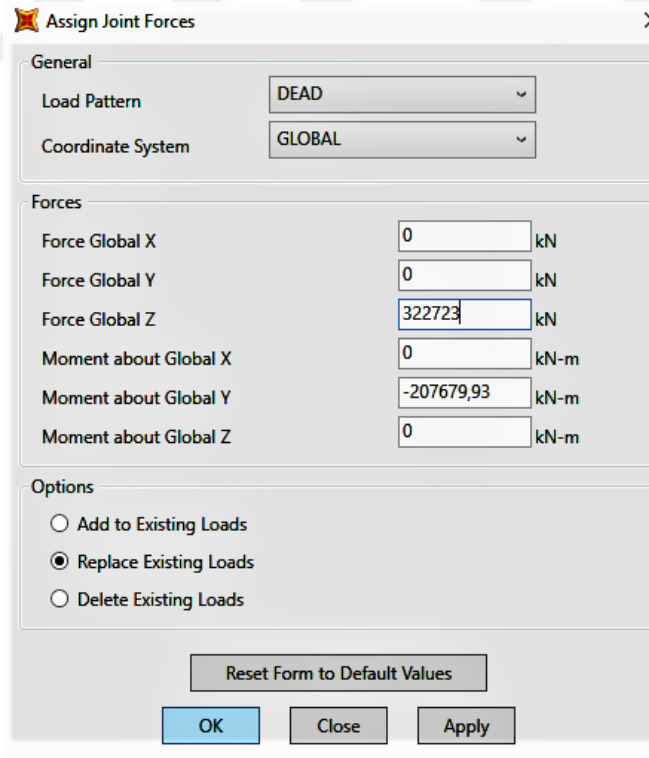
☒ Replace Existing Loads

☐ Delete Existing Loads

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Şekil 3.39 : H=15 m için j ucuna kesme kuvveti ve moment değeri etkililmesi.



Assign Joint Forces

General

Load Pattern: DEAD

Coordinate System: GLOBAL

Forces

Force Global X: 0 kN

Force Global Y: 0 kN

Force Global Z: 322723 kN

Moment about Global X: 0 kN-m

Moment about Global Y: -207679,93 kN-m

Moment about Global Z: 0 kN-m

Options

☐ Add to Existing Loads

☒ Replace Existing Loads

☐ Delete Existing Loads

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Şekil 3.40 : H=20 m için i ucuna kesme kuvveti ve moment değeri etkililmesi.

Assign Joint Forces

General

Load Pattern: DEAD

Coordinate System: GLOBAL

Forces

Force Global X: 0 kN

Force Global Y: 0 kN

Force Global Z: -322718,26 kN

Moment about Global X: 0 kN-m

Moment about Global Y: 127000 kN-m

Moment about Global Z: 0 kN-m

Options

☐ Add to Existing Loads

☒ Replace Existing Loads

☐ Delete Existing Loads

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

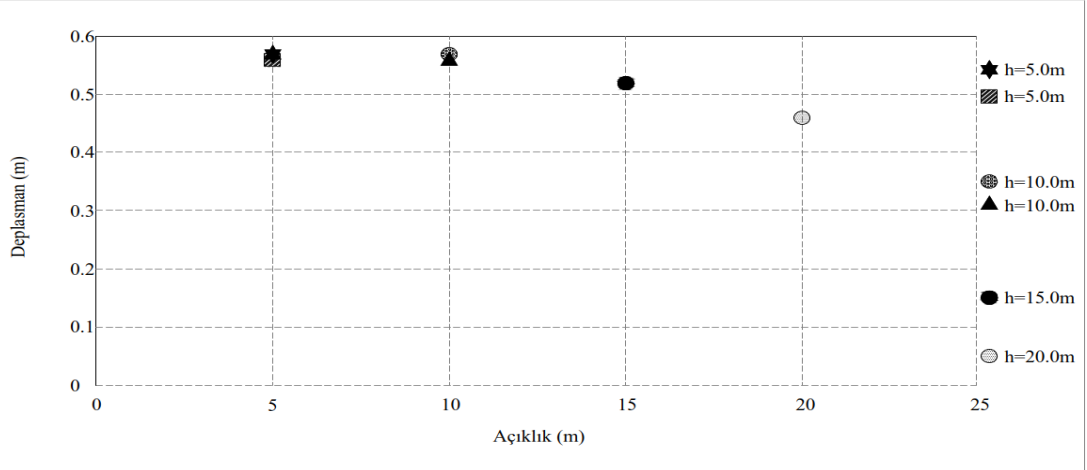
Şekil 3.41 : H=20 m için j ucuna kesme kuvveti ve moment değeri etkililmesi.

3.4.2 Analiz sonucu

SAP2000’de i ve j uçlarına dışarıdan moment ve kesme kuvveti etkililerek yapılan analiz sonuçları ile referans çalışma tesir çizgilerinin kontrolü Çizelge 3.12’de yer almaktadır.

Çizelge 3.12 : Referans çalışma ile SAP2000’deki çalışmanın yd kıyas tablosu.

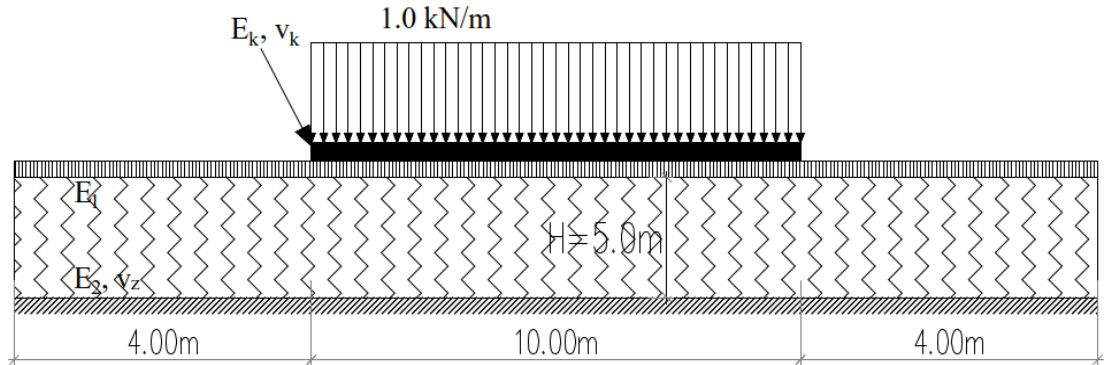
	H=5 m		H=10 m		H=15 m		H=20 m	
d.n.	Örnek 4	Örnek 3	Örnek 4	Örnek 3	Örnek 4	Örnek 3	Örnek 4	Örnek 3
x/L	M(kNm)	M(kNm)	M(kNm)	M(kNm)	M(kNm)	M(kNm)	M(kNm)	M(kNm)
0,5	0,57	0,56	0,57	0,56	0,52	0,52	0,46	0,47



Şekil 3.42 : Örnek 4 zemin yüksekliği H=5 m, H=10 m, H=15 m, H=20 m yer değiştirme kıyas grafiği

3.5. Örnek 5 İki Parametrelili Zemine Oturan Kiriş

Bu örnekte Şekil 3.43'te verilen yüklemeden oluşan kesit zoru değerleri tesir çizgilerinden yararlanılarak hesaplanmıştır. Örnek 4'te H=5 m olan temelde meydana gelen deplasman değerleri kullanılarak simpson metoduna göre yayılı yük altındaki alan Çizelge 3.13'te hesaplanarak; kirişin orta noktasındaki moment değeri bulunmuştur. Kiriş 0,25m uzunluklara ayrılmıştır.



Şekil 3.43 : Örnek 5 İki Parametrelili Zemine Oturan Kiriş.

3.5.1 Simpson metodu ile moment değeri bulma

$$M = P * d + q * A \quad (3.1)$$

$$A = \frac{\Delta}{3} * \sum [1 * d1 + 4 * d2 + 2 * d3 + 4 * d4 + \dots + 4 * d(n-1) + 1 * dn] \quad (3.2)$$

Simpson metodunda aralık sayısı çift, ordinat sayısı tek olmalıdır.

Çizelge 3.13 : Yayılı yük altındaki alan hesabı.

d.n.	yd (m)	d.n.	yd (m)	d.n.	yd (m)
17	-0,1201	31	0,0787	45	-0,0004
18	-0,1191	32	0,1309	46	-0,0294
19	-0,1179	33	0,1931	47	-0,0526
20	-0,1161	34	0,2665	48	-0,0709
21	-0,1134	35	0,3525	49	-0,0851
22	-0,1095	36	0,4524	50	-0,0958
23	-0,1038	37	0,5677	51	-0,1038
24	-0,0959	38	0,4522	52	-0,1094
25	-0,0851	39	0,3523	53	-0,1134
26	-0,0709	40	0,2664	54	-0,1160
27	-0,0526	41	0,1930	55	-0,1178
28	-0,0294	42	0,1308	56	-0,1190
29	-0,0004	43	0,0787	57	-0,1200
30	0,0353	44	0,0353	A (m²)	0,354

3.5.2 Analiz sonucu

Bulunan bu değer, Örnek 3'te aynı malzeme, kesit özelliği ve zemin parametrelerine sahip olan kirişin orta noktasına 1 kN tekil yükün etkililerek tesir çizgisiyle hesaplanan eğilme momenti değeri ile Örnek 3'teki analiz sonucu elde edilen moment değeri ile Çizelge 3.14'te karşılaştırılmıştır. Sonuçlar yakın çıkmıştır.

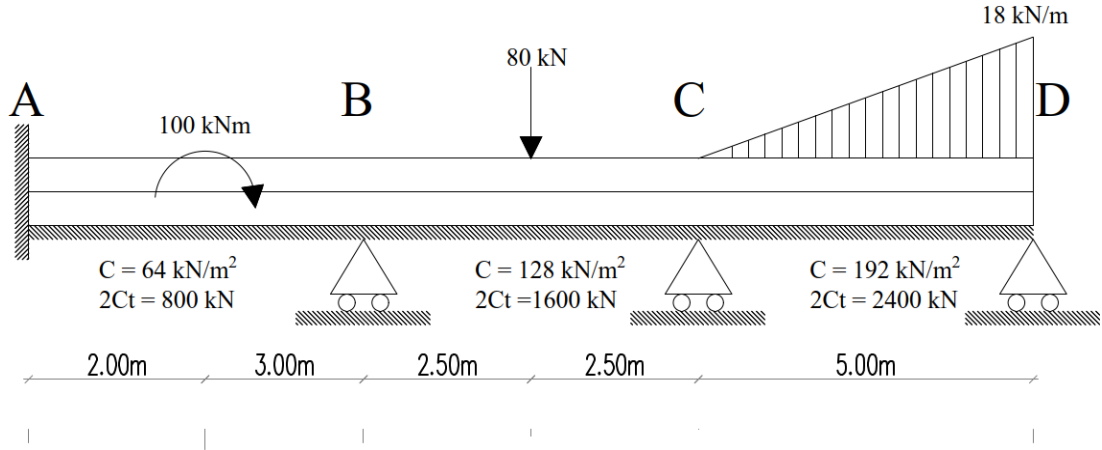
Çizelge 3.14 : Moment değeri karşılaştırma tablosu.

	Örnek 3	Örnek 5
x/L	M (kNm)	M (kNm)
0,5	0,33	0,35

3.6 Örnek 6 Her Açıklıkta Farklı C ve 2Ct Değerine Sahip Kiriş

Bu örnekte, 1. örnekteki tekil yük, tekil moment ve yayılı yük değerleri aynı olup aynı noktalarda uygulanmıştır. Kesit ve malzeme özellikleri de birebir aynıdır. Diğer yandan yay katsayısı ve zemin kayma parametresi değerleri sabit olmayıp 15 m boyundaki temel kirişinin ilk 5 metresinde yay katsayısı 64 kN/m² , zemin kayma parametresi 800 kN ; 5-10 m arasındaki temel kirişinin yay katsayısı 128 kN/m² ,

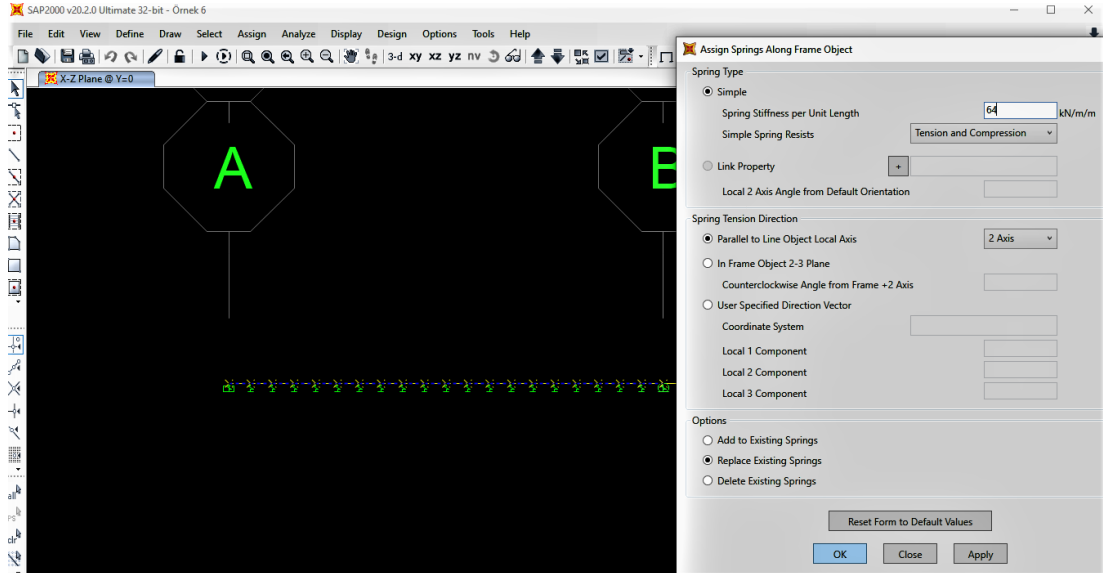
zemin kayma parametresi 1600 kN ; 10-15 m arasındaki temel kirişinin yay katsayısı 192 kN/m² , zemin kayma parametresi 2400 kN olup Şekil 3.44'te görülmektedir.



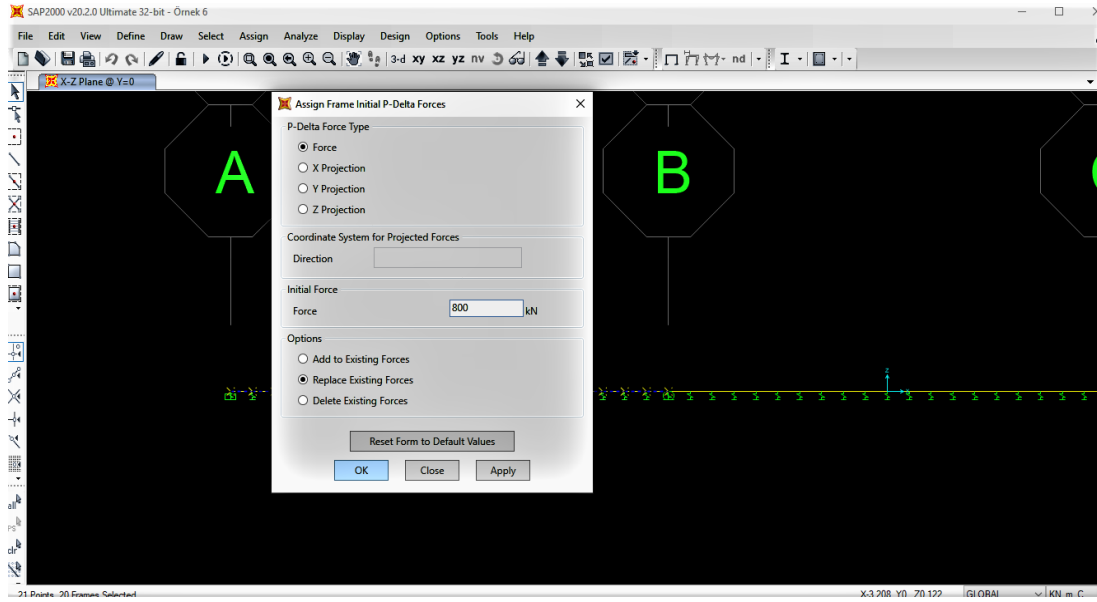
Şekil 3.44 : Örnek 6 Her Açıklıkta Farklı C ve 2Ct Değerine Sahip Kiriş.

3.6.1 SAP2000 girdileri

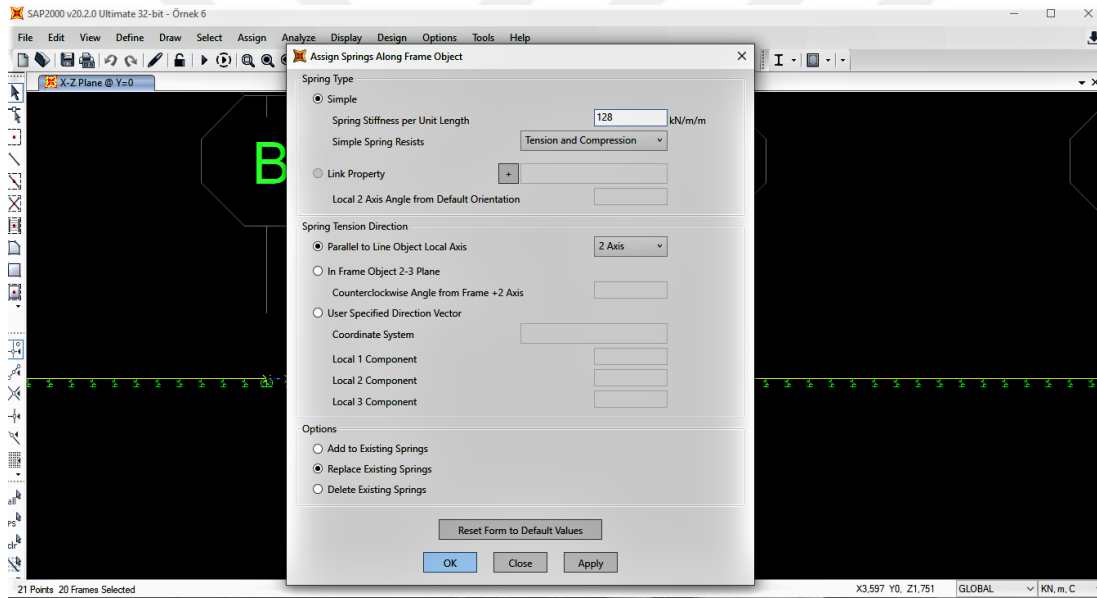
Temel kirişinin ilk 5 metresinde yay katsayısı Şekil 3.45'te gösterildiği gibi 64 kN/m² , zemin kayma parametresi Şekil 3.46'de gösterildiği gibi 800 kN ; 5-10 m arasındaki temel kirişinin yay katsayısı Şekil 3.47'de gösterildiği gibi 128 kN/m² , zemin kayma parametresi Şekil 3.48'de gösterildiği gibi 1600 kN ; 10-15 m arasındaki temel kirişinin yay katsayısı Şekil 3.49'da gösterildiği gibi 192 kN/m² , zemin kayma parametresi Şekil 3.50'de gösterildiği gibi 2400 kN olarak ataması yapılmıştır.



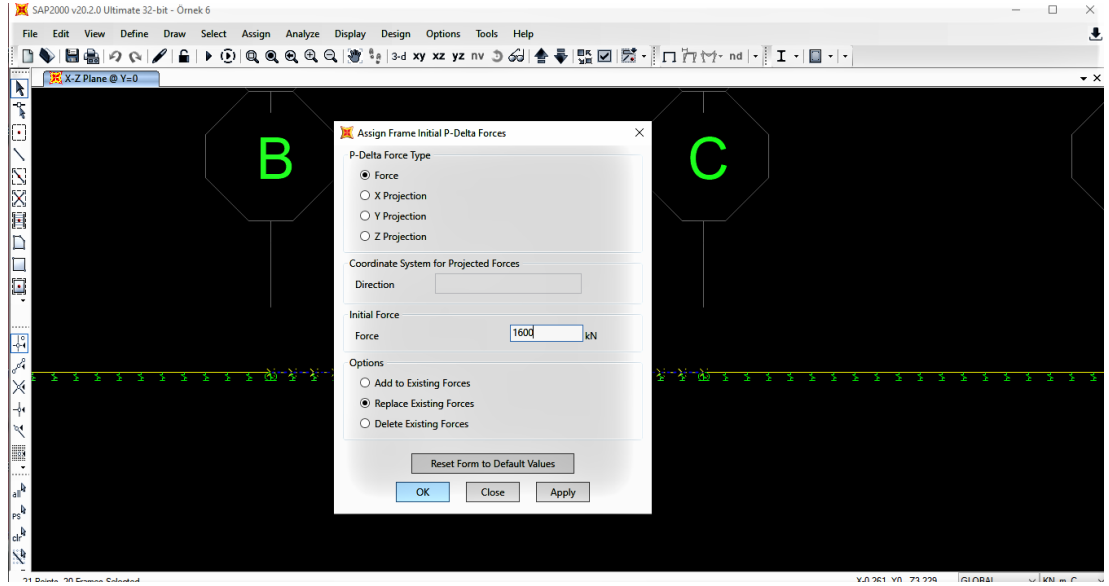
Şekil 3.45 : L=0-5 m arası için yay katsayısı 64 kN/m² atanması.



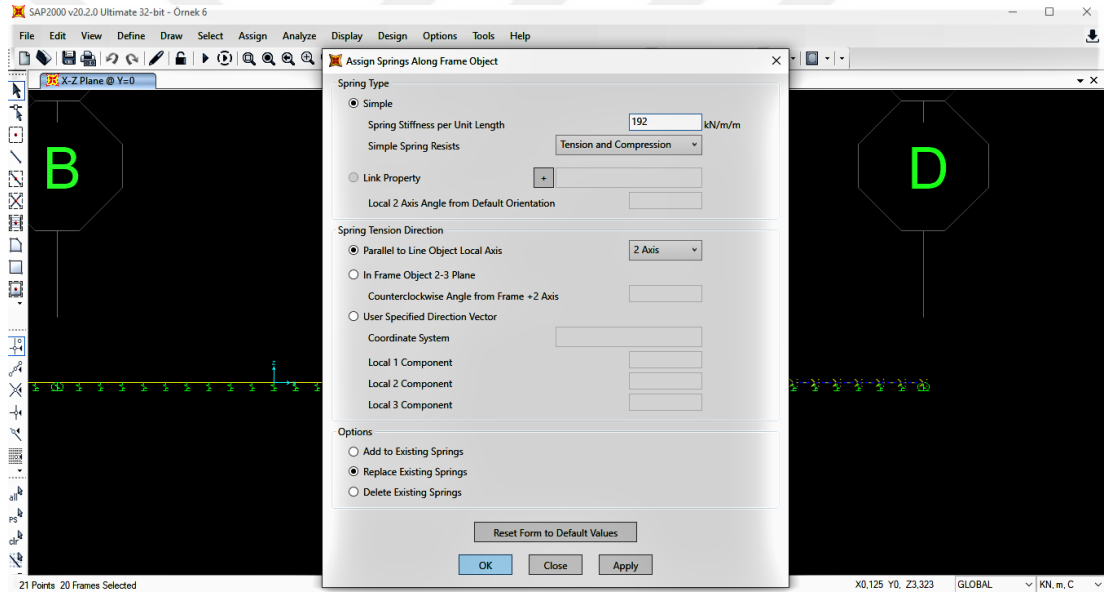
Şekil 3.46 : L=0-5 m arası için zemin kayma parametresi 800 kN atanması.



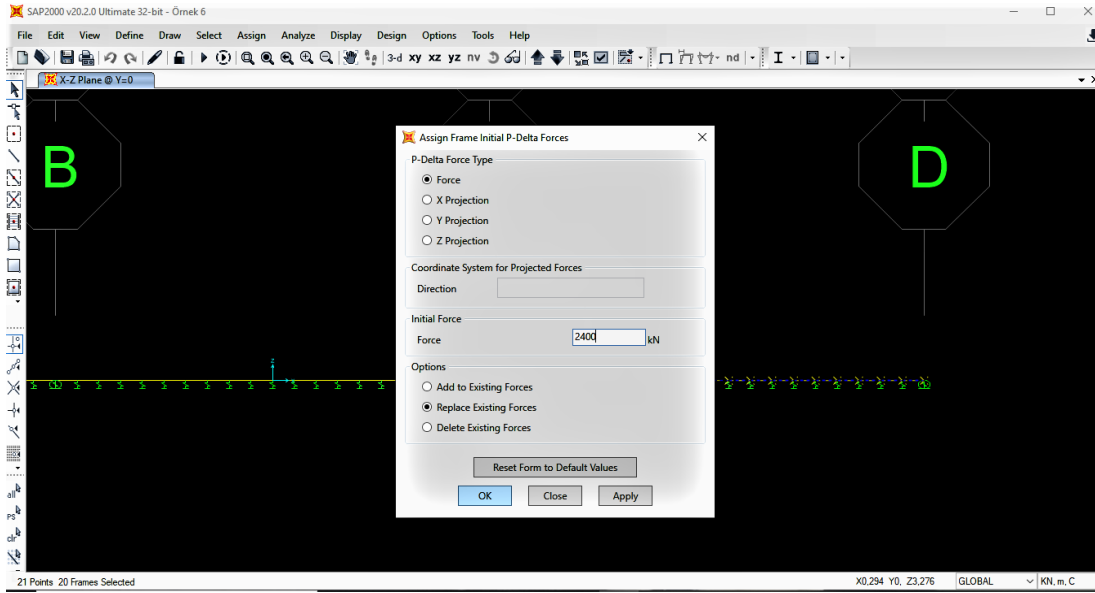
Şekil 3.47 : L=5-10 m arası için yay katsayısı 128 kN/m² atanması.



Şekil 3.48 : L=5-10 m arası için zemin kayma parametresi 1600 kN atanması.



Şekil 3.49 : L=10-15 m arası için yay katsayısı 192 kN/m2 atanması.



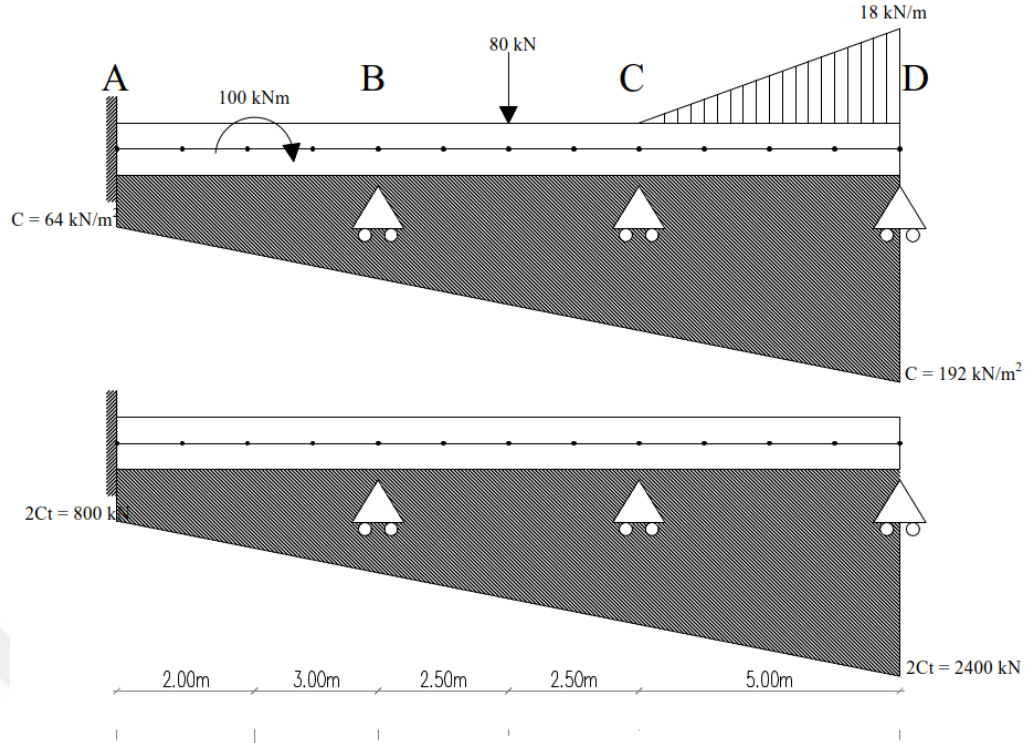
3.50 : $L=10-15$ m arası için zemin kayma parametresi 2400 kN atanması.

3.6.2 Analiz sonucu

Bu örneğin yer değiştirme, moment değeri ve kesme kuvveti analiz sonucu, Örnek 1 ve Örnek 7 ile yer değiştirme kıyaslama tablosu Çizelge 3.16'da, kesme kuvveti ve moment kıyas tablosu Çizelge 3.17'de ; yer değiştirme, kesme kuvveti ve moment karşılaştırma grafikleri sırasıyla Şekil 3.61 , Şekil 3.62 , Şekil 3.63'te gösterilmiştir.

3.7 Örnek 7 Kiriş Boyunca Değişen C ve $2C_t$ Değerine Sahip Kiriş

Bu örnekte, örnek 6'daki kesit özellikleri, malzeme özellikleri ve yüklemeler birebir aynı olmak üzere 15 m boyundaki temel kirişi, 0,25 m parçalara bölünüp düğüm noktalarına yay sabiti ve zemin kayma parametresi ataması değişken olarak Şekil 3.51'deki şekilde yapılmıştır. Çizelge 3.15'te gösterildiği gibi noktasal yay sabiti ilk düğüm noktasına 16 kN/m uygulanmış olup doğrusal artarak son düğüm noktasına 48 kN/m olarak etkitilmiştir. Kayma parametresi ise 0,25m temel kirişlerinin her iki ucundaki kayma parametresi değerlerinin ortalaması, Çizelge 3.15'te yer alan şekilde doğrusal artış olacak şekilde her bir kirişe farklı değerler olarak etkitilmiştir.



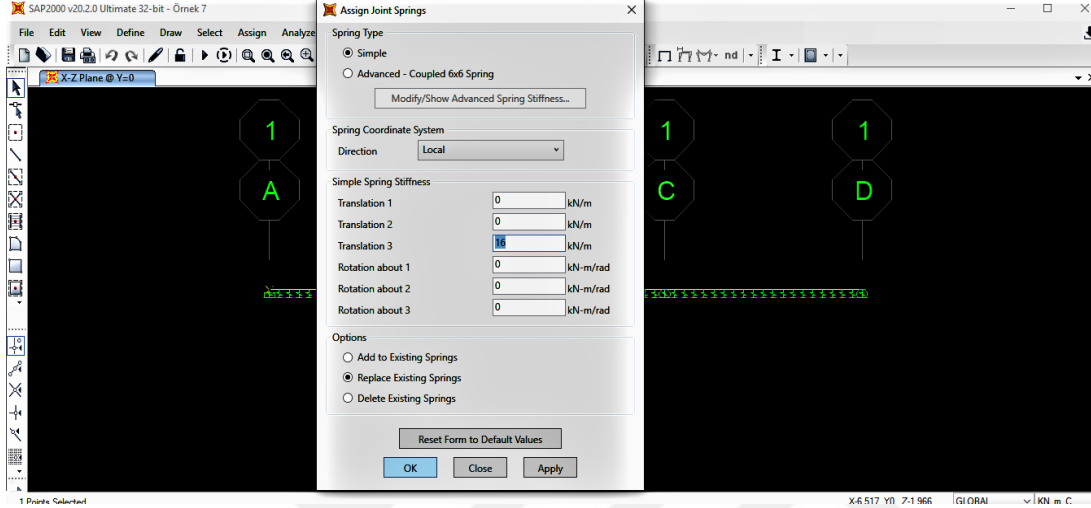
Şekil 3.51 : Model 7.

Çizelge 3.15 : Yay sabiti ve zemin kayma parametresi değerleri.

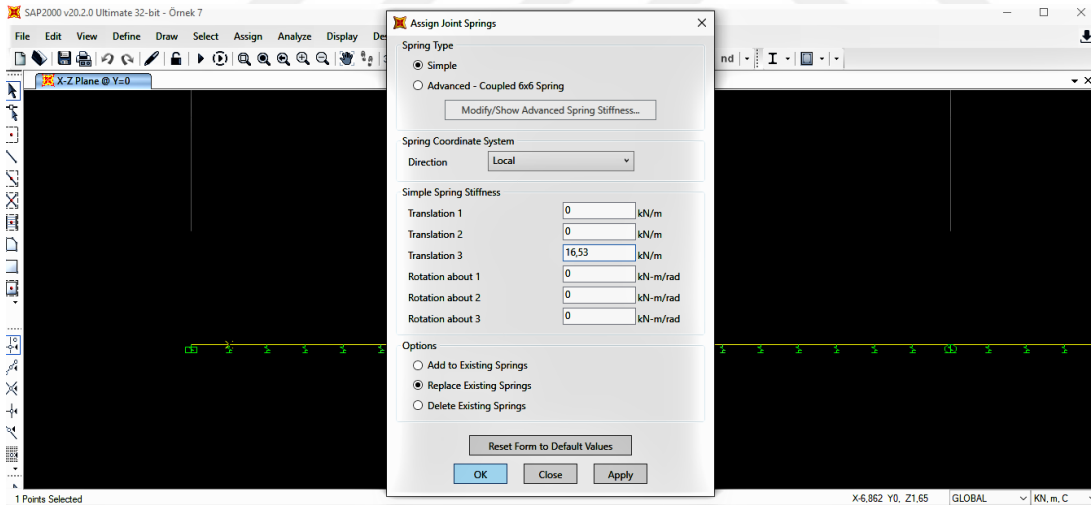
Düğüm Noktası	Noktasal yay sabiti (kN/m)	Düğüm Noktası	Noktasal yay sabiti (kN/m)	Kiriş Numarası	Ortalama 2Ct (kN)	Kiriş Numarası	Ortalama 2Ct (kN)
1	16,00	32	32,53				
2	16,53	33	33,07	1	813,33	31	1613,33
3	17,07	34	33,60	2	840,00	32	1640,00
4	17,60	35	34,13	3	866,67	33	1666,67
5	18,13	36	34,67	4	893,33	34	1693,33
6	18,67	37	35,20	5	920,00	35	1720,00
7	19,20	38	35,73	6	946,67	36	1746,67
8	19,73	39	36,27	7	973,33	37	1773,33
9	20,27	40	36,80	8	1000,00	38	1800,00
10	20,80	41	37,33	9	1026,67	39	1826,67
11	21,33	42	37,87	10	1053,33	40	1853,33
12	21,87	43	38,40	11	1080,00	41	1880,00
13	22,40	44	38,93	12	1106,67	42	1906,67
14	22,93	45	39,47	13	1133,33	43	1933,33
15	23,47	46	40,00	14	1160,00	44	1960,00
16	24,00	47	40,53	15	1186,67	45	1986,67
17	24,53	48	41,07	16	1213,33	46	2013,33
18	25,07	49	41,60	17	1240,00	47	2040,00
19	25,60	50	42,13	18	1266,67	48	2066,67
20	26,13	51	42,67	19	1293,33	49	2093,33
21	26,67	52	43,20	20	1320,00	50	2120,00
22	27,20	53	43,73	21	1346,67	51	2146,67
23	27,73	54	44,27	22	1373,33	52	2173,33
24	28,27	55	44,80	23	1400,00	53	2200,00
25	28,80	56	45,33	24	1426,67	54	2226,67
26	29,33	57	45,87	25	1453,33	55	2253,33
27	29,87	58	46,40	26	1480,00	56	2280,00
28	30,40	59	46,93	27	1506,67	57	2306,67
29	30,93	60	47,47	28	1533,33	58	2333,33
30	31,47	61	48,00	29	1560,00	59	2360,00
31	32,00			30	1586,67	60	2386,67

3.7.1. SAP2000 girdileri

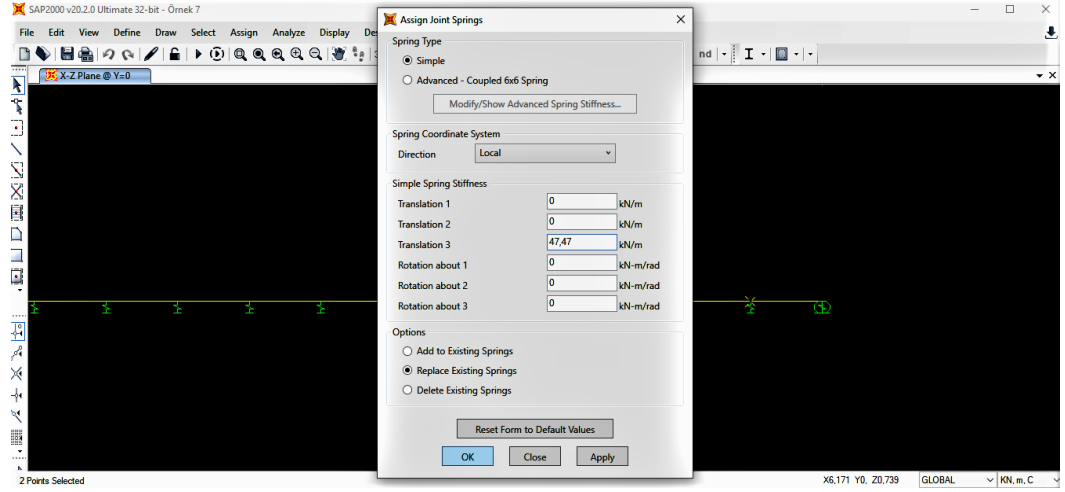
Bu örnekte yay sabiti ve zemin kayma parametresi değerleri, temel kirişindeki 61 düğüm noktası için tek tek farklı değerler olarak SAP2000 analiz programında atanmış olup ; bir kaç tanesinin gösterilmesi uygun olacaktır. Bunlar Şekil 3.52, Şekil 3.53, Şekil 3.54, Şekil 3.55, Şekil 3.56, Şekil 3.57, Şekil 3.58, Şekil 3.59'da görülen değerler girilerek atanmıştır.



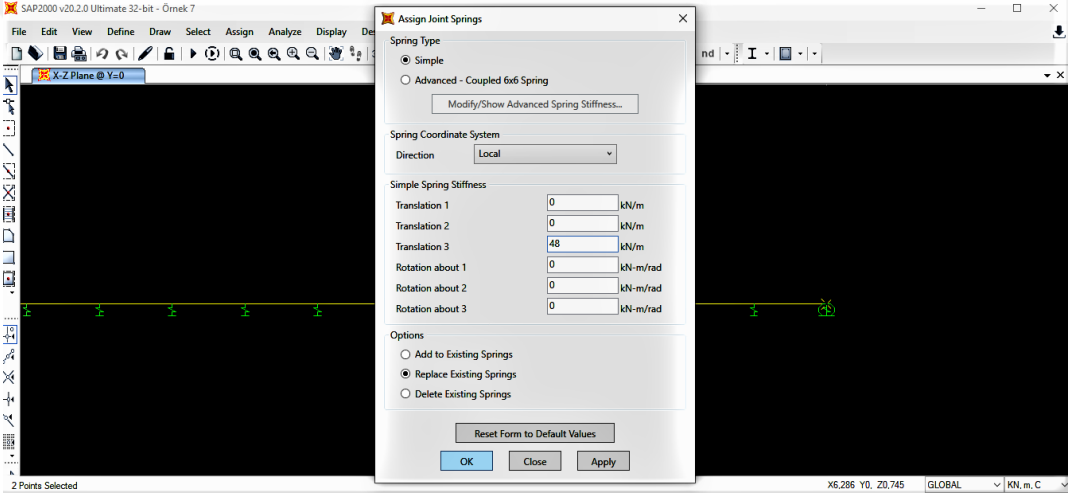
Şekil 3.52 : 1 nolu Düğüm noktası yay sabiti ataması.



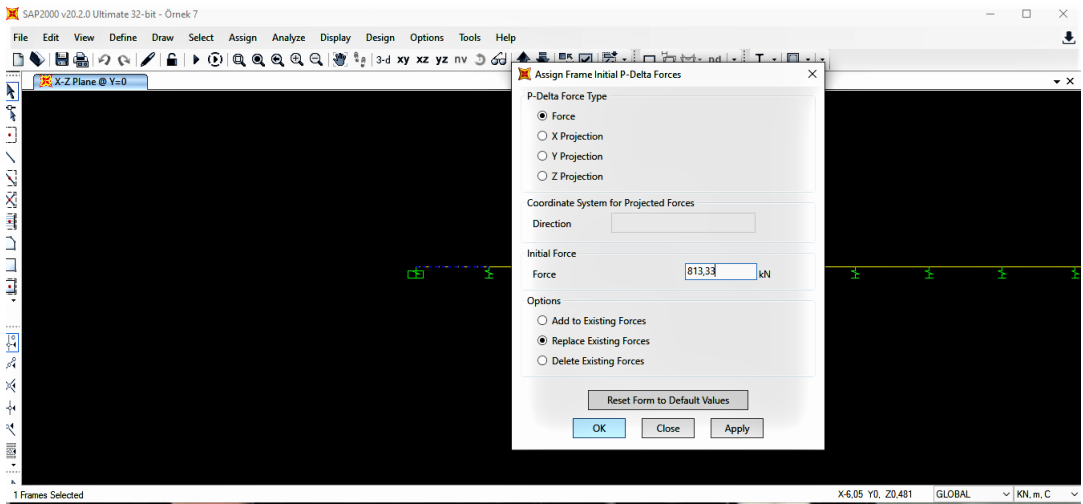
Şekil 3.53 : 2 nolu Düğüm noktası yay sabiti ataması.



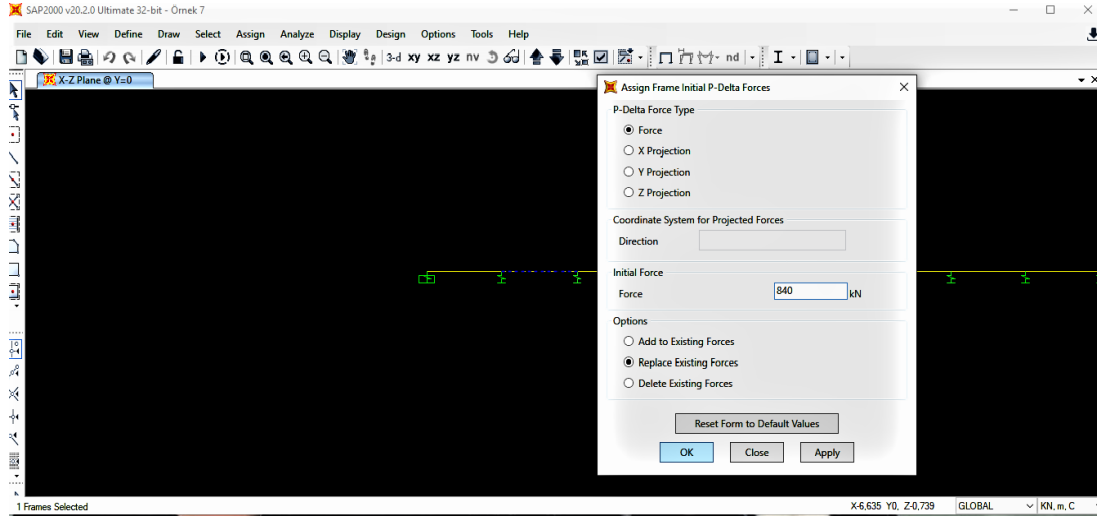
Şekil 3.54 : 60 nolu Düğüm noktası yay sabiti ataması.



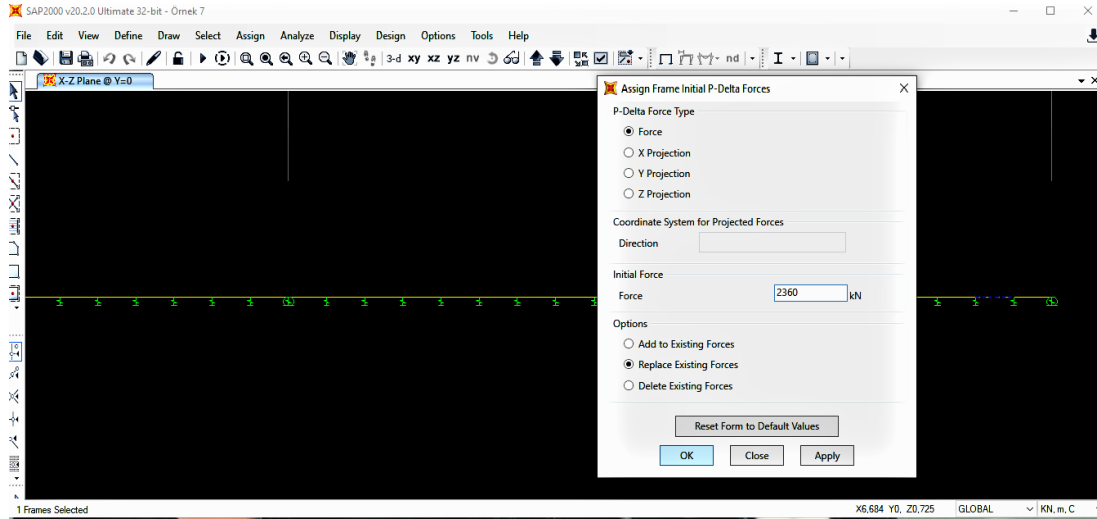
Şekil 3.55 : 61 nolu Düğüm noktası yay sabiti ataması.



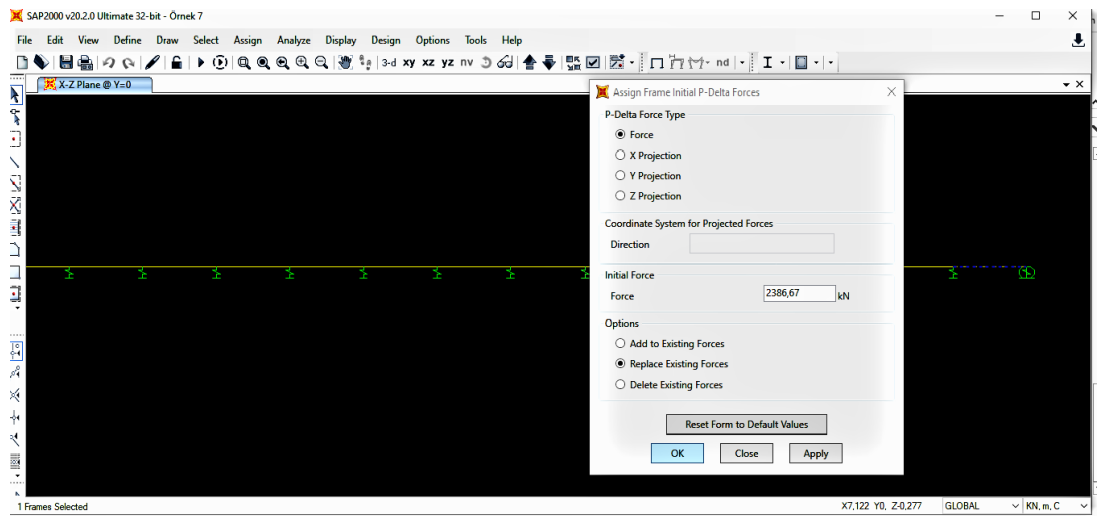
Şekil 3.56 : 1 nolu Kiriş zemin kayma parametresi ataması.



Şekil 3.57 : 2 nolu Kirişe zemin kayma parametresi ataması.



Şekil 3.58 : 59 nolu Kirişe zemin kayma parametresi ataması.



Şekil 3.59 : 60 nolu Kirişe zemin kayma parametresi ataması.

3.7.2 Analiz sonucu

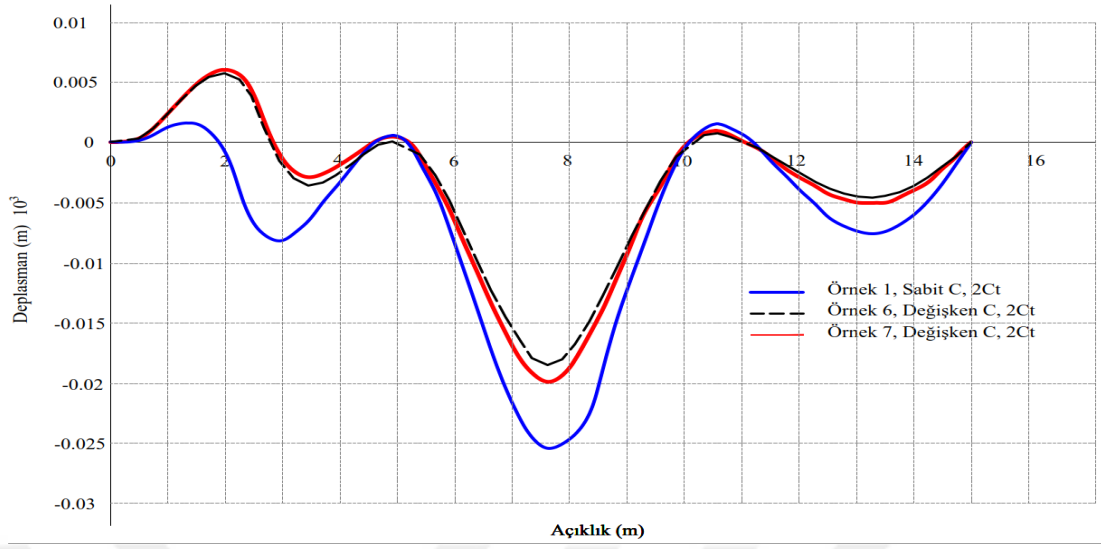
Örnek 1 temel kirişi boyunca sabit zemin C ve 2Ct, Örnek 6 her açıklıkta farklı C ve Ct; Örnek 7 kiriş boyunca doğrusal değişen C ve Ct değerlerine sahip örneklerin yer değiştirme ve kesit tesirleri karşılaştırma tabloları Çizelge 3.16, Çizelge 3.17; karşılaştırma grafikleri Şekil 3.60, Şekil 3.61 ve Şekil 3.62’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.16 : Yer değiştirme Tablosu.

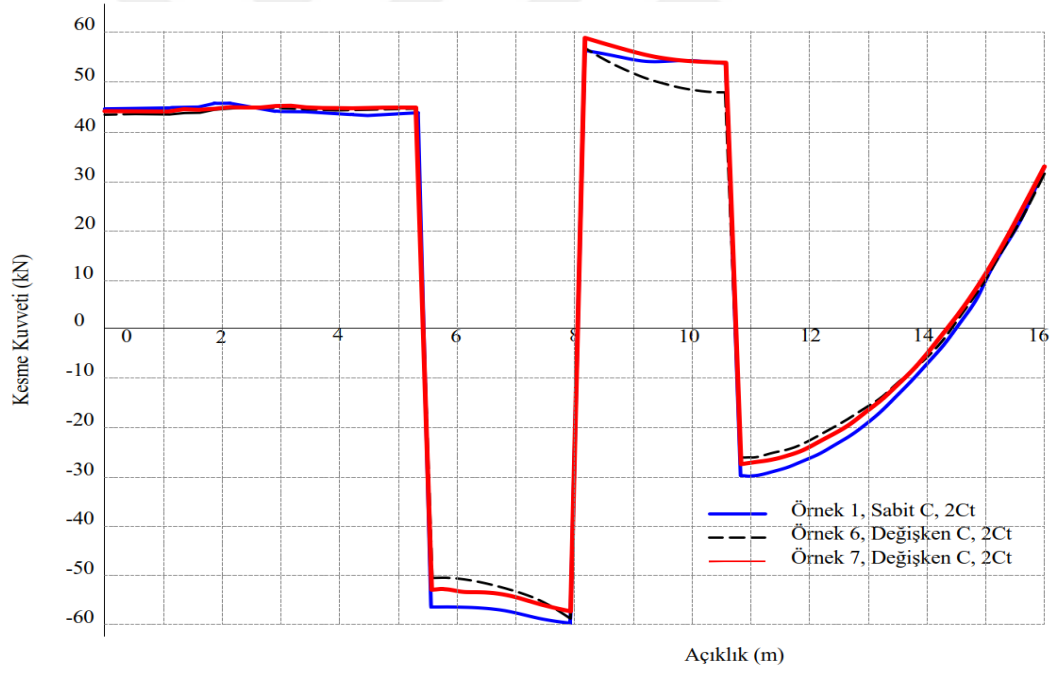
	Örnek 1	Örnek 6	Örnek 7		Örnek 1	Örnek 6	Örnek 7
DN	Yer değş. (m)	Yer değş. (m)	Yer değş. (m)	DN	Yer değş. (m)	Yer değş. (m)	Yer değş. (m)
1	0	0	0	32	-0,0249	-0,0180	-0,0193
2	0,0002	0,0003	0,0003	33	-0,0233	-0,0167	-0,0179
3	0,0007	0,0012	0,0012	34	-0,0209	-0,0149	-0,0160
4	0,0012	0,0023	0,0024	35	-0,0179	-0,0127	-0,0136
5	0,0016	0,0036	0,0036	36	-0,0146	-0,0103	-0,0110
6	0,0015	0,0047	0,0048	37	-0,0111	-0,0078	-0,0084
7	0,0008	0,0055	0,0057	38	-0,0077	-0,0054	-0,0058
8	-0,0008	0,0058	0,0060	39	-0,0046	-0,0032	-0,0034
9	-0,0036	0,0054	0,0057	40	-0,002	-0,0013	-0,0014
10	-0,0063	0,0040	0,0043	41	0	0	0
11	-0,0077	0,0012	0,0017	42	0,0011	0,0007	0,0007
12	-0,0081	-0,0015	-0,0009	43	0,0014	0,0008	0,0009
13	-0,0076	-0,0030	-0,0023	44	0,0012	0,0006	0,0007
14	-0,0066	-0,0035	-0,0028	45	0,0005	0,0001	0,0002
15	-0,0052	-0,0034	-0,0027	46	-0,0005	-0,0005	-0,0006
16	-0,0036	-0,0027	-0,0021	47	-0,0016	-0,0012	-0,0014
17	-0,0020	-0,0018	-0,0013	48	-0,0029	-0,002	-0,0022
18	-0,0007	-0,0009	-0,0004	49	-0,0041	-0,0027	-0,003
19	0,0003	-0,0001	0,0002	50	-0,0052	-0,0033	-0,0037
20	0,0006	0,0002	0,0004	51	-0,0062	-0,0038	-0,0043
21	0,0000	0,0000	0,0000	52	-0,007	-0,0042	-0,0047
22	-0,0016	-0,0010	-0,0012	53	-0,0074	-0,0045	-0,005
23	-0,0040	-0,0027	-0,0031	54	-0,0076	-0,0046	-0,005
24	-0,0070	-0,0048	-0,0055	55	-0,0074	-0,0045	-0,0049
25	-0,0103	-0,0072	-0,0081	56	-0,0069	-0,0041	-0,0046
26	-0,0138	-0,0097	-0,0108	57	-0,006	-0,0036	-0,004
27	-0,0172	-0,0122	-0,0134	58	-0,0049	-0,0029	-0,0032
28	-0,0203	-0,0145	-0,0159	59	-0,0034	-0,0021	-0,0023
29	-0,0229	-0,0165	-0,0179	60	-0,0018	-0,0011	-0,0012
30	-0,0247	-0,0178	-0,0193	61	0	0	0
31	-0,0254	-0,0184	-0,0198				

Çizelge 3.17 : Kesme Kuvveti ve Eğilme Moment Tablosu.

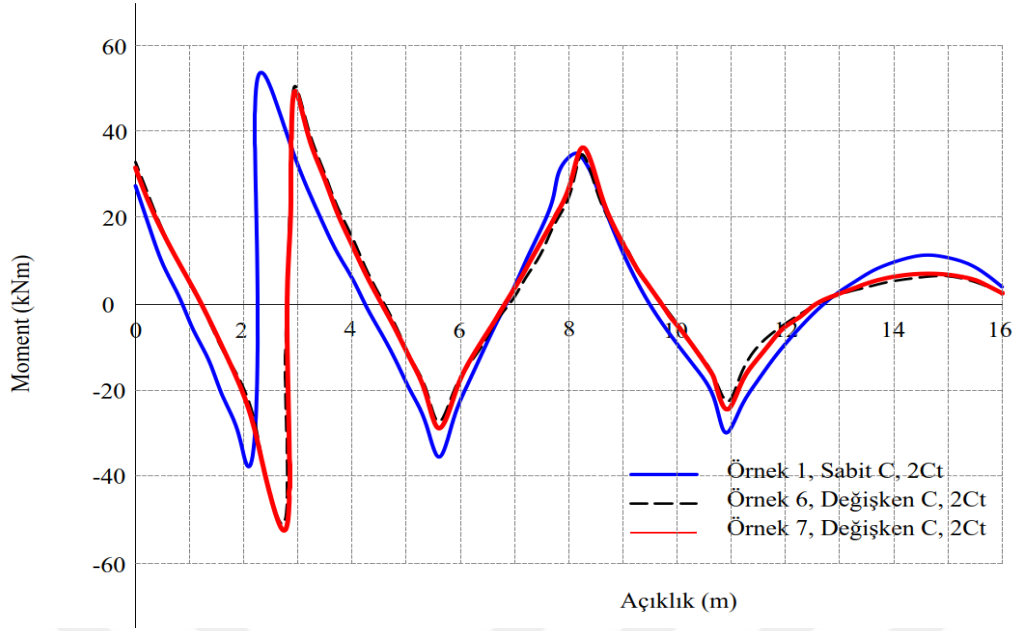
	Örnek 1	Örnek 6	Örnek 7	Örnek 1	Örnek 6	Örnek 7
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
1	30,54	29,58	29,97	16,21	23,49	23,84
2	30,55	29,59	29,97	8,75	16,36	16,62
3	30,56	29,62	29,99	1,50	9,64	9,85
4	30,58	29,70	30,03	-5,71	3,15	3,36
5	30,60	29,82	30,10	-13,07	-3,29	-3,02
6	30,63	29,99	30,19	-20,76	-9,83	-9,47
7	30,64	30,18	30,30	-28,98	-16,66	-16,18
8	30,63	30,39	30,42	-37,92	-23,96	-23,40
9	30,57	30,59	30,53	52,18	-40,71	-40,38
10	30,47	30,73	30,62	42,35	-50,57	-50,78
11	30,35	30,78	30,66	33,61	49,43	49,22
12	30,22	30,72	30,64	25,75	39,55	38,70
13	30,10	30,60	30,59	18,56	30,67	29,47
14	29,99	30,47	30,52	11,86	22,59	21,25
15	29,91	30,33	30,46	5,49	15,11	13,82
16	29,85	30,23	30,41	-0,72	8,05	6,91
17	29,82	30,15	30,38	-6,93	1,21	0,30
18	29,81	30,12	30,37	-13,31	-5,58	-6,27
19	29,81	30,11	30,37	-20,03	-12,50	-13,07
20	29,82	30,12	30,39	-27,24	-19,73	-20,37
21	-38,86	-34,82	-36,44	-35,14	-27,46	-28,52
22	-38,89	-34,88	-36,48	-26,68	-20,40	-21,07
23	-38,95	-35,05	-36,56	-18,88	-14,34	-14,54
24	-39,06	-35,34	-36,72	-11,54	-8,97	-8,68
25	-39,23	-35,77	-36,95	-4,45	-3,97	-3,23
26	-39,45	-36,37	-37,27	2,56	0,94	2,06
27	-39,72	-37,13	-37,67	9,69	6,04	7,45
28	-40,05	-38,03	-38,15	17,13	11,64	13,22
29	-40,41	-39,07	-38,70	25,09	18,05	19,68
30	-40,81	-40,20	-39,31	33,76	25,63	27,20
31	38,39	38,62	40,06	34,10	34,78	36,18
32	38,01	37,46	39,43	25,78	25,81	26,97
33	37,68	36,38	38,84	18,20	18,43	19,33
34	37,39	35,40	38,30	11,16	12,24	12,88
35	37,16	34,56	37,84	4,47	6,92	7,30
36	36,98	33,87	37,45	-2,05	2,16	2,29
37	36,86	33,35	37,16	-8,58	-2,33	-2,42
38	38,79	32,99	36,95	43,38	-6,80	-7,12
39	36,78	32,77	36,83	-15,29	-11,51	-12,10
40	36,75	32,68	36,78	-22,36	-16,76	-17,68
41	-20,63	-18,22	-18,90	-29,99	-22,82	-24,23
42	-20,50	-18,05	-18,76	-23,97	-16,66	-18,11
43	-20,14	-17,64	-18,39	-18,61	-11,83	-13,13
44	-19,56	-17,03	-17,80	-13,84	-8,02	-9,06
45	-18,76	-16,23	-17,00	-9,59	-5,00	-5,74
46	-17,76	-15,26	-16,01	-5,81	-2,59	-3,01
47	-16,54	-14,13	-14,83	-2,45	-0,64	-0,77
48	-15,13	-12,84	-13,46	0,51	0,95	1,08
49	-13,51	-11,40	-11,89	3,11	2,25	2,60
50	-11,68	-9,78	-10,14	5,34	3,33	3,85
51	-9,64	-7,99	-8,18	7,23	4,23	4,86
52	-7,39	-6,02	-6,02	8,76	4,98	5,67
53	-4,92	-3,84	-3,65	9,91	5,57	6,28
54	-2,23	-1,45	-1,06	10,67	6,01	6,70
55	0,69	1,17	1,75	10,99	6,27	6,91
56	3,84	4,16	4,92	10,83	6,30	6,85
57	7,24	7,31	8,23	10,12	6,05	6,48
58	10,87	10,74	11,79	8,79	5,43	5,75
59	14,75	14,48	15,62	6,74	4,33	4,53
60	18,89	18,54	19,73	3,85	2,59	2,68



Şekil 3.60 : Örnek 1, Örnek 6 ve Örnek 7'nin yer değiştirme karşılaştırma grafiği.



Şekil 3.61 : Örnek 1, Örnek 6 ve Örnek 7'nin kesme kuvveti karşılaştırma grafiği.



Şekil 3.62 : Örnek 1, Örnek 6 ve Örnek 7'nin eğilme momenti karşılaştırma grafiği.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada İki parametrelili (Pasternak türü) zemine oturan sürekli temellerin hesabı incelenmiştir. Yapılan sayısal uygulamalar üç gruptan oluşmaktadır. Birinci grup sayısal uygulamada literatürden örnekler çözülerek yöntemin doğruluğu ve etkinliği gösterilmiştir. İkinci grup sayısal uygulamada Genelleştirilmiş Müller-Breslau yöntemi ile tesir çizgilerinin nasıl çizilebileceği gösterilmiş ve dış yüklerden oluşan kesit zorları, tesir çizgisi kavramından yararlanarak doğrulanmıştır. Üçüncü grup örnekte ise, temel altındaki zeminin özelliklerinin sürekli temel boyunca değiştiği kabul edilerek sonuçların nasıl değiştiği tartışılmıştır. İki parametrelili zemine oturan sürekli kirişler SAP2000 yapı analizi programında modellenmiş ve yer değiştirmeler ile kesit zorları direkt olarak elde edilmiştir.

Zemin, düzensiz yapısından dolayı zemin yapı etkileşimini göz önüne almak üzere pek çok farklı şekilde modellenmekte olup günümüzde en sık kullanılan model Winkler zemin modelidir. Ancak bu model gerçek davranışı tam olarak yansıtmadığı için daha iyi bir model olan iki parametrelili zemin modeli esas alınmış ve SAP2000 yapı analiz programı ile sözkonusu zeminine oturan sistemlerin nasıl modellenebileceği gösterilmiştir. Yapılan hesaplar sonucu elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- Çubukların uygun sayıda elemana bölünmesi ile SAP2000 programı ile yapılan çözümlerin referans çalışmalar ile aynı sonuçları verdikleri görülmüştür.
- Genelleştirilmiş Müller-Breslau yöntemi ile ve SAP2000 programı kullanılarak tesir çizgilerinin nasıl çizilebileceği gösterilmiş ve dış yüklerden oluşan kesit zorları, söz konusu kesit tesirine ait tesir çizgisinden yararlanarak doğrulanmıştır.
- Temel kirişi boyunca değişken zemin parametresinin gözönüne alındığı örneklere ait yer değiştirmelerin ve kesit tesirlerinin incelenmesinden, zemin parametreleri C ve $2C_t$ değerlerinin arttığı bölgelerdeki yer değiştirmelerin azaldığı görülmüştür.



KAYNAKLAR

- Eisenberger, M. ve Bielak, J.** (1992) Finite Beam on Infinite Two-Parameter Elastic Foundations. Computers and Structures (Vol. 42, No. 4, pp. 661-664).
- Filolenko-Borodich, M.M.** (1940) Some approximate theories of the elast foundation. Uchenyie Zapiski Moscovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Mekhanika. 46, 3-18.
- Güraslan, M. O.,** 2008. ki parametrelili zemine oturan kirişler. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hetenyi, M. (1946)** Beams On Elastic Foundation. The University of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan.
- 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.
- Razaqpur, A. G. ve Shah, K.R.** (1991). Exact Analysis of Beams on Two Parameter Elastic Foundations, Solids Structures (Vol. 27, No. 4, pp. 435-454).
- SAP2000** (Version 14.2). [Computer software]. Structural analysis program Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- Tahaoğlu, A. Ç.** Pasternak türü zemine oturan kirişlerin zeminden ayrılma probleminin Sap2000 yazılımı ile çözümü (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Türkmen, G.** Tesir çizgilerinin ve tesir yüzeylerinin mevcut bir yapı analizi programıyla doğrudan elde edilmesi. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 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 Elastizität und Festigkeit, Prague Czechoslovakia.



ÖZGEÇMİŞ

1990 yılında Sivas'ta doğan Tuğçe KASAP KARAKAŞ, ilk, orta ve lise öğrenimini Sivas'ta tamamlamıştır. 2007 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne girmiştir. Dört yıllık inşaat mühendisliği eğitiminin ardından 2011 yılında mezun olmuştur. Bir süre ara verdikten sonra tekrar 2019 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Anabilim Dalı Yapı Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitime başlamıştır. Mezun olduktan sonra yüksek lisans eğitiminin yanında çalışma hayatına da başlayan Tuğçe KASAP KARAKAŞ halen İSKİ Genel Müdürlüğü'nde inşaat mühendisi olarak çalışmaktadır. Evli ve 1 çocuk annesidir.