

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasibullah RASOOLİ

**DAİRE VE DOĞRU EKSENLİ KOMPOZİT ÇUBUK
SİSTEMLERİN TAMAMLAYICI FONKSİYONLAR YÖNTEMİ
İLE STATİK ANALİZİ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA-2020

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DAİRE VE DOĞRU EKSENLİ KOMPOZİT ÇUBUK SİSTEMLERİN TAMAMLAYICI FONKSİYONLAR YÖNTEMİ İLE STATİK ANALİZİ

Hasibullah RASOOLİ

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Beytullah TEMEL
Yıl: 2020, Sayfa: 234
Jüri : Prof. Dr. Beytullah TEMEL
: Prof. Dr. H. Murat ARSLAN
: Dr. Öğr. Üyesi Ahmad Reshad NOORI

Bu çalışmada, tabakalanmış kompozit malzemeli, sabit ve değişken kesitli doğru ve/veya daire eksenli çubuklardan oluşan çerçeve sistemlerin düzlem içi tekil ve üniform yayılı statik yükler altındaki davranışı Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yöntemi (TFY) ile incelenmiştir. Değişken kesitli doğru ve daire eksenli çubukların statik davranışını idare eden denklemler Timoshenko kiriş teorisi kullanılarak elde edilmiştir. Formülasyonda, eksenel ve kayma deformasyonu etkileri göz önüne alınmıştır. TFY'ye dayalı başlangıç değer probleminin çözümleri için 5. mertebe Runge-Kutta (RK5) algoritması kullanılmıştır. Bu yapı elemanlarının rijitlik matrisleri ve yük vektörleri TFY ile elde edilmiş ve bu amaçla Fortran dilinde bilgisayar programı hazırlanmıştır. Hazırlanan bilgisayar programı yardımı ile tabakalanma açılarının, farklı kesit ve geometri özelliklerine sahip birçok çerçevenin eleman uç kuvvetleri ve düğüm deplasmanları üzerinde olan etkileri araştırılmıştır. Farklı tabakalanma durumları dikkate alınarak E_1/E_2 oranının sistemdeki eleman uç kuvvetleri ve düğüm deplasmanları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Problemler, çeşitli E_1/E_2 oranları için ayrı ayrı Fortran da kodlanan program ile çözülmüştür. Bilgisayar programının kontrolü literatürde mevcut sonlu eleman sonuçları ile karşılaştırılarak, literatür ve ANSYS ile uyumlu ve etkin olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yöntemi, Tabakalı Kompozit Çerçeveler, Değişken Kesitli Çubuklar, Statik Analiz, İki Noktalı Sınır Değer Problemi.

ABSTRACT

MSc THESIS

STATIC ANALYSIS OF COMPOSITE CIRCULAR AND STRAIGHT AXIS BEAM SYSTEMS BY COMPLEMENTARY FUNCTIONS METHOD

Hasibullah RASOOLI

**CUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING**

Supervisor : Prof. Dr. Beytullah TEMEL

Year: 2020, Pages: 234

Jury : Prof. Dr. Beytullah TEMEL

: Prof. Dr. H. Murat ARSLAN

: Asst. Prof. Dr. Ahmad Reshad NOORI

In this study, the behavior of frame systems with layered composite material consisting of straight and/or circular axis uniform and variable cross-section rods under the static in-plane point/uniformly distributed loads are examined by the Complementary Functions Method (CFM). Equations governing the static behavior of the straight and circular axis rods with variable cross-section are obtained by using the Timoshenko beam theory. The axial and shear deformation effects are considered in the formulations. The fifth-order Runge- Kutta (RK5) algorithm has been employed in the solution process of initial value problems by the CFM. The rigidity matrices and load vectors of these structural elements have been obtained by the CFM and for this purpose, a computer program is coded in FORTRAN. With the help of prepared program the effects of layer sticking angle, on the nodal displacement and element end forces of frames with variable cross-section and geometry features are investigated. The effects of the E_1/E_2 ratio on the element end forces and nodal displacement values of the system are investigated considering different layer sticking angles. The problems are solved in the program coded in FORTRAN for several E_1/E_2 ratios separately. Verification of the computer program is performed with the comparison of the presented results and those of the finite element method and it is shown that they are effective and in a good agreement with ANSYS and the literature.

Keywords: Complementary Functions Method, Layered Composite Frames, Variable Cross-Sectioned Rods, Static Analysis, Two Point Boundary Value Problems.

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Bu araştırmada, kompozit doğru ve/veya daire eksenli çubuklardan oluşan çerçeve sistemlerinin TFY yardımı ile statik yükler altındaki davranışları incelenmiştir. Formülasyonda Timoshenko kiriş teorisi kullanılmış, eksenel ve kayma deformasyonu etkileri göz önüne alınmıştır.

Uzaysal eğri eksenli çubuk sistemlerinin statik davranışını idare eden denklemler, denge, bünye ve uygunluk denklemlerinden dört adet vektörel denklem halinde elde edilmiştir. Hesaplamaların skaler olarak yürütülebilmesi için bu denklemler (t,n,b) hareketli koordinat takımına aktarılmış ve skaler formda toplam 12 adet birinci mertebeden adi diferansiyel denklem elde edilmiştir. Bu 12 adet denklem, biri düzlemi içinde diğeri ise düzlemine dik yüklü durumu ifade edecek şekilde iki gruba ayrılmıştır. Bu tür yapı sistemlerinin statik yükler altındaki davranışını idare eden kanonik formda elde edilen birinci mertebe adi diferansiyel denklem takımının çözümünde TFY kullanılmıştır. Bu amaçla 5. mertebe Runge-Kutta algoritması kullanılarak Fortran programlama dilinde genel amaçlı bilgisayar programı kodlanmıştır. Kodlanan bilgisayar programının doğruluğu için literatürde mevcut iki adet örnek önce hazırlanan programla çözülmüş daha sonra aynı problemler ANSYS paket programı yardımı ile çözülmüştür. Hazırlanan bilgisayar programından elde edilen sonuçların hem literatür hem de ANSYS sonuçları ile uyum içinde olduğu gösterilmiştir.

Bu çalışmada ele alınan çerçeve sistemleri sabit kesitli ve değişken kesitli olmak üzere iki ana başlık altında incelenmiştir.

Birinci başlık altında malzeme ve kesit özellikleri sabit olan çerçeve sistemleri ele alınmıştır. Önce tek malzemeden oluşan üç tabakalı farklı kesitler oluşturulmuş, Sonrasında ise iki farklı malzeme kullanılarak üç tabakadan oluşan farklı kesitler oluşturularak çözümler yapılmıştır. Hem tek malzemeden yapılan kesitler hem de iki farklı malzemeden yapılan kesitler farklı tabakalanma açıları için TFY ile çözülmüştür.

Bu başlık altında ele alınan problemler TFY yardımı ile tek malzeme (Carbon Epoxy ‘CE’) özelliklerinden oluşan üç tabakalı (CE, CE, CE) ve tabakalanma açıları (0° , 0° , 0°) olan kesit için çözülmüştür. Daha sonra bu problemler aynı kesit ve malzeme özellikleri için sonlu elemanlar yöntemine dayalı analiz yapan ANSYS paket programında çözülmüştür. ANSYS programında her bir çubuk 5, 10 ve 20 eşit parçaya bölünerek analizler yapılmıştır. TFY’den elde edilen sonuçlar ile ANSYS programından elde edilen sonuçlar arasındaki bağıl hatalar hesaplanarak düğüm deplasmanları ve eleman uç kuvvetleri olmak üzere tablolar üzerinde karşılaştırılmıştır. Daha sonra tabakalanma açılarının çerçeve sisteminin düğüm deplasmanları ve eleman uç kuvvetleri üzerindeki etkilerini araştırmak amacı ile ele alınan problem için dört farklı tabakalanma durumu dikkate alınarak, tek malzemeden oluşan tabakalı kesit için TFY yardımı ile analiz edilmiştir. Aynı işlemler iki farklı malzeme (Carbon Epoxy ‘CE’ ve Kevlar Epoxy ‘KE’) özelliklerinden oluşan üç tabakalı (CE, KE, CE) ve tabakalanma açıları (0° , 0° , 0°) olan kesit için tekrarlanmıştır. Benzer şekilde ele alınan problem için iki farklı malzemeden oluşan kesit özelliklerini dikkate alarak tabakalanma açılarınnn düğüm deplasmanları ve eleman uç kuvvetleri üzerindeki etkilerini araştırmak için dört farklı durum için analiz edilmektedir.

İkinci başlık altında kesit ve geometrik özellikleri eksen boyunca değişen, doğru ve daire eksenli çubuklardan oluşan çerçeve sistemleri ele alınmıştır. Bu kısımda kullanılan tüm problemlerde kesit genişliği (b) sabit, kesit yüksekliği (h) ise eksen boyunca değişken olarak dikkate alınmıştır. Bu başlık altındaki tüm problemler hem tek malzemeden oluşan kesit özellikleri (kesit I) hem de iki malzemeden oluşan kesit özellikleri (kesit II) için TFY yardımı ile farklı tabakalanma açıları dikkate alınarak çözülmüş, her bir durum için elde edilen sonuçlar; düğüm deplasman değerleri ve eleman uç kuvvetleri olmak üzere ayrı ayrı çizelgeler halinde verilmiştir.

Bu tezde tabakalanma açılarının yanı sıra E_1/E_2 oranının eleman uç kuvvetleri ve düğüm deplasmanları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sabit ve

değişken kesitli çerçeve sistemleri farklı E_1/E_2 oranları için ayrı ayrı analiz edilmiştir. Sabit kesitli doğru ve daire eksenli çubuklardan oluşan çerçeve sistemleri için dört farklı tabakalanma durumu dikkate alınarak; 1, 10, 15, 20 ve 30 E_1/E_2 oranları için hazırlanan programda çözülmüştür. $(0^\circ, 0^\circ, 0^\circ)$, $(0^\circ, 45^\circ, 0^\circ)$, $(45^\circ, 0^\circ, 45^\circ)$ ve $(0^\circ, 90^\circ, 0^\circ)$ tabakalanma durumlarına ait E_1/E_2 oranları 1 den 30 a kadar kademeli olarak artırılarak, TFY yardımı ile sayısal olarak çözülmüştür.

E_1/E_2 oranının üç tabakadan oluşan değişken kesitli doğru ve daire eksenli çerçeve sistemleri üzerindeki etkileri kesitin farklı tabakalanma açıları için de ayrıca araştırılmıştır. Farklı tabakalanma durumları için E_1/E_2 oranı artırılarak önce kesit I için, sonra kesit II malzeme grubu için çözülmüş, elde edilen sonuçlar eleman uç kuvvetleri ve düğüm deplasmanları olmak üzere ayrı çizelgeler halinde sunulmuştur.



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmam boyunca bana her konuda destek olan, tez çalışmam süresince bilgi birikimi ve tecrübeleri ile bana yol gösteren ve beni teşvik eden çok değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Beytullah TEMEL'e şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmam sırasında, zamanını ve bilgisini esirgemeyen, destekleri ile yüksek lisans eğitimim boyunca moral ve motivasyonumu yüksek tutmamı sağlayan Dr. Öğr. Üyesi Ahmad Reshad NOORI, Araştırma Görevlisi Timuçin Alp ASLAN ve isimlerini burada zikredemediğim ama her türlü yardımlarını esirgememiş olan tüm arkadaşlarıma içtenlikle teşekkür ederim.

Her zaman ve her konuda bana güvenip destek olan ve beni yürüttüğüm bu yolda hiç yalnız bırakmayan, sevgili eşim Tuğba RASOOLİ'ye teşekkür ederim.

Son olarak, hayatımın her aşamasında yanımda olan, bu günlere gelebilmem için her türlü fedakarlığı yapan, sevgilerini, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili aileme minnet ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR.....	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ	XII
ŞEKİLLER DİZİNİ	XXII
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XXIV
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
3. MATERYAL VE METOT	11
3.1. Giriş	11
3.2. Uzaysal Eğri Eksenli Çubuk Sistemleri	11
3.2.1. Çubuk Geometrisi.....	11
3.2.2. Çubuk Eksenli.....	11
3.2.3. Çubuk Dik Kesiti	13
3.2.4. Denklemlerin Elde Edilmesinde Yapılan Kabuller.....	14
3.2.5. Denge Denklemleri	15
3.2.6. Uygunluk Denklemleri.....	17
3.2.7. Kesit Tesirleri İle Şekil Değiştirme Arasındaki İlişki.....	20
3.2.8. Vektörel Denklemlerin (t, n, b) Hareketli Takımına Aktarılması	22
3.3. Düzlemsel Çubuklar.....	29
3.3.1. Daire Eksenli Çubukları İçin Kanonik Denklemler.....	33
3.3.2. Doğru Eksenli Çubuklar İçin Kanonik Denklemler.....	33
3.4. Kompozit Malzemeli Çubuklar.....	34
3.4.1. Anizotropik Malzemelerin Gerilme Şekil Değiştirme Bağıntısı	34
3.4.2. Ortotropik Malzemeler İçin Elastik Sabitler.....	37

3.4.3. Ortotropik Tabakalı Çubuklar İçin Elastik Sabitler.....	43
3.4.4. Kompozit Çubuklar İçin Bünye Denklemleri.....	46
3.5. Tabakalı Kompozit Daire Eksenli Çubuklar	49
3.6. Tabakalı Kompozit Doğru Eksenli Çubuklar.....	50
4. ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ	51
4.1. Direk Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yöntemi	51
4.1.1. Homojen Çözümün Elde Edilmesi	53
4.1.2. Özel Çözümün Elde Edilmesi.....	53
4.2. TFY'ye Dayalı Rijitlik Matrisi Yöntemi	54
4.2.1. Dönüşüm Matrisi.....	56
4.2.2. Beşinci Mertebe Runge-Kutta Algoritması.....	59
5. SAYISAL UYGULAMALAR VE TARTIŞMA.....	63
5.1. İzotropik Malzemeli Düzlemsel Çubukların Analizi	63
5.1.1. Doğrulama Uygulaması 1.....	64
5.1.2. Doğrulama Uygulaması 2.....	67
5.2. Düzlemi İçinde Yüklü Tabakalanmış Kompozit Malzemeli Çerçeve	
Sistemlerin Analizi.....	70
5.2.1. Üniform Kesitli Tabakalanmış Kompozit Malzemeli Çerçeveler	71
5.2.1.1. Uygulama 1.....	72
5.2.1.2. Uygulama 2	80
5.2.1.3. Uygulama 3	88
5.2.2. E_1/E_2 Oranının Üniform kesitli Sistem Üzerindeki Etkileri.....	94
5.2.2.1. Uygulama 4.....	95
5.2.2.2. Uygulama 5.....	112
5.2.2.3. Uygulama 6.....	129
5.2.3. Tabakalanmış Değişken Kesitli Kompozit Malzemeli Çerçeve	
Sistemleri	147
5.2.3.1. Uygulama 7	147
5.2.3.2. Uygulama 8	153

5.2.3.3. Uygulama 9	158
5.2.4. E_1/E_2 Oranının Değişken kesitli Sistem Üzerindeki Etkileri	163
5.2.4.1. Uygulama 10	163
5.2.4.2. Uygulama 11	181
5.2.4.3. Uygulama 12	199
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	217
KAYNAKLAR	221
ÖZGEÇMİŞ	227
EK-A	229



ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 3.1.	Kısaltılmış Notasyonda Gerilme ve Şekil Değiştirme Tansörü	36
Çizelge 5.1.	İzotropik Malzeme Özellikleri.....	64
Çizelge 5.2.	Sistem Düğüm Deplasmanları	65
Çizelge 5.3.	Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	66
Çizelge 5.4.	Düğüm Deplasmanların Karşılaştırılması.....	68
Çizelge 5.5.	Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	69
Çizelge 5.6.	Kompozit Malzeme Özellikleri.....	70
Çizelge 5.7.	Kesit I Malzeme Gurubu İçin Hesaplanan Eleman Uç Kuvvetlerinin karşılaştırılması	74
Çizelge 5.8.	Kesit I İçin Hesaplanan Düğüm Deplasman Değerlerinin.....	75
Çizelge 5.9.	Farklı Tabaka Açılı ve Kesit I Malzeme Gurubu İçin Hesaplanan	76
Çizelge 5.10.	Farklı Tabaka Açılı ve Kesit I Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Eleman Uç Kuvvetleri.....	77
Çizelge 5.11.	Farklı Tabaka Açılı ve Kesit II Malzeme Gurubu İçin Hesaplanan Düğüm Deplasmanlarının Karşılaştırılması	78
Çizelge 5.12.	Farklı Tabaka Açılı ve Kesit II Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Eleman Uç Kuvvetleri.....	79
Çizelge 5.13.	Kesit I Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Eleman Uç Kuvvetleri..	82
Çizelge 5.14.	Kesit I İçin Hesaplanan Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması.....	83
Çizelge 5.15.	Farklı Tabaka Açılı ve Kesit I Malzeme Grubu İçin Hesaplanan.	84
Çizelge 5.16.	Farklı Tabaka Açılı ve Kesit I Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Eleman Uç Kuvvetleri.....	85
Çizelge 5.17.	Farklı Tabaka Açılı ve Kesit II Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Düğüm Deplasmanların Karşılaştırılması	86

Çizelge 5.18. Farklı Tabaka Açılırları ve Kesit II Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Eleman Uç Kuvvetleri.....	87
Çizelge 5.19. Kesit I Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Eleman Uç Kuvvetleri ...	89
Çizelge 5.20. Kesit I İçin Hesaplanan Dügüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	90
Çizelge 5.21. Farklı Tabaka Açılırları ve Kesit I Malzeme Grubu İçin Hesaplanan	90
Çizelge 5.22. Farklı Tabaka Açılırları ve Kesit I Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Eleman Uç Kuvvetleri.....	91
Çizelge 5.23. Farklı Tabaka Açılırları ve Kesit II Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Dügüm Deplasmanların Karşılaştırılması	92
Çizelge 5.24. Farklı Tabaka Açılırları ve Kesit II Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Eleman Uç Kuvvetleri	93
Çizelge 5.25. E_1/E_2 oranları için hesaplanan malzeme özellikleri	95
Çizelge 5.26. E_1/E_2 oranları için hesaplanan malzeme özellikleri	95
Çizelge 5.27. Kesit I Malzeme Özellikleri ve Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Dügüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	96
Çizelge 5.28. Kesit I Malzeme Özellikleri Ve Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması.....	97
Çizelge 5.29. Kesit I Malzeme Özellikleri ve Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Dügüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	98
Çizelge 5.30. Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	99
Çizelge 5.31. Kesit I Malzeme Özellikleri ve Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Dügüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	100
Çizelge 5.32. Kesit I Malzeme Özellikleri ve Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması.....	101
Çizelge 5.33. Kesit I Malzeme Özellikleri ve Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Dügüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	102

Çizelge 5.34.	Kesit I Malzeme Özellikleri ve Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	103
Çizelge 5.35.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	104
Çizelge 5.36.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	105
Çizelge 5.37.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	106
Çizelge 5.38.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	107
Çizelge 5.39.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	108
Çizelge 5.40.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	109
Çizelge 5.41.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	110
Çizelge 5.42.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	111
Çizelge 5.43.	Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	113
Çizelge 5.44.	Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	114
Çizelge 5.45.	Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	115
Çizelge 5.46.	Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	116
Çizelge 5.47.	Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	117
Çizelge 5.48.	Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	118

	Karşılaştırılması	118
Çizelge 5.49.	Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	119
Çizelge 5.50.	Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	120
Çizelge 5.51.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	121
Çizelge 5.52.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	122
Çizelge 5.53.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	123
Çizelge 5.54.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	124
Çizelge 5.55.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	125
Çizelge 5.56.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	126
Çizelge 5.57.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	127
Çizelge 5.58.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	128
Çizelge 5.59.	Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	130
Çizelge 5.60.	Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	131
Çizelge 5.61.	Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	132
Çizelge 5.62.	Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	133

Çizelge 5.63.	Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	134
Çizelge 5.64.	Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	135
Çizelge 5.65.	Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	136
Çizelge 5.66.	Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	137
Çizelge 5.67.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	138
Çizelge 5.68.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması.....	139
Çizelge 5.69.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	140
Çizelge 5.70.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması.....	141
Çizelge 5.71.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	142
Çizelge 5.72.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması.....	143
Çizelge 5.73.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	144
Çizelge 5.74.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması.....	145
Çizelge 5.75.	Farklı Tabaka Açılırları ve Kesit I Malzeme Grubu İçin Hesaplanan.....	149
Çizelge 5.76.	Farklı Tabaka Açılırları ve Kesit I Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Eleman Uç Kuvvetleri.....	150
Çizelge 5.77.	Farklı Tabaka Açılırları ve Kesit II Malzeme Grubu İçin	

	Hesaplanan Dügüm Deplasmanların Karşılaştırılması	151
Çizelge 5.78.	Farklı Tabaka Açılırları ve Kesit II Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Eleman Uç Kuvvetleri	152
Çizelge 5.79.	Farklı Tabaka Açılırları ve Kesit I Malzeme Grubu İçin Hesaplanan.....	154
Çizelge 5.80.	Farklı Tabaka Açılırları ve Kesit I Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Eleman Uç Kuvvetleri.....	155
Çizelge 5.81.	Farklı Tabaka Açılırları ve Kesit II Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Dügüm Deplasmanların Karşılaştırılması	156
Çizelge 5.82.	Farklı Tabaka Açılırları ve Kesit II Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Eleman Uç Kuvvetleri	157
Çizelge 5.83.	Farklı Tabaka Açılırları ve Kesit I Malzeme Grubu İçin Hesaplanan.....	159
Çizelge 5.84.	Farklı Tabaka Açılırları ve Kesit I Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Eleman Uç Kuvvetleri.....	160
Çizelge 5.85.	Farklı Tabaka Açılırları ve Kesit II Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Dügüm Deplasmanların Karşılaştırılması	161
Çizelge 5.86.	Farklı Tabaka Açılırları ve Kesit II Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Eleman Uç Kuvvetleri	162
Çizelge 5.87.	Kesit I'ın Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Dügüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	164
Çizelge 5.88.	Kesit I'ın Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	165
Çizelge 5.89.	Kesit I'ın Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Dügüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	166
Çizelge 5.90.	Kesit I'ın Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	167
Çizelge 5.91.	Kesit I'ın Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Dügüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	168

Çizelge 5.92.	Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	169
Çizelge 5.93.	Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	170
Çizelge 5.94.	Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	171
Çizelge 5.95.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	172
Çizelge 5.96.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	173
Çizelge 5.97.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	174
Çizelge 5.98.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması.....	175
Çizelge 5.99.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	176
Çizelge 5.100.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması.....	177
Çizelge 5.101.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	178
Çizelge 5.102.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması.....	179
Çizelge 5.103.	Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	182
Çizelge 5.104.	Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	183
Çizelge 5.105.	Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	184
Çizelge 5.106.	Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin	

	Karşılaştırılması	185
Çizelge 5.107.	Kesit I'ın Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	186
Çizelge 5.108.	Kesit I'ın Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	187
Çizelge 5.109.	Kesit I'ın Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	188
Çizelge 5.110.	Kesit I'ın Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	189
Çizelge 5.111.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	190
Çizelge 5.112.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	191
Çizelge 5.113.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	192
Çizelge 5.114.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	193
Çizelge 5.115.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	194
Çizelge 5.116.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	195
Çizelge 5.117.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	196
Çizelge 5.118.	Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	197
Çizelge 5.119.	Kesit I'ın Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	200
Çizelge 5.120.	Kesit I'ın Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	201

Çizelge 5.121.	Kesit I'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	202
Çizelge 5.122.	Kesit I'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması.....	203
Çizelge 5.123.	Kesit I'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	204
Çizelge 5.124.	Kesit I'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması.....	205
Çizelge 5.125.	Kesit I'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	206
Çizelge 5.126.	Kesit I'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	207
Çizelge 5.127.	Değişken Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	208
Çizelge 5.128.	Değişken Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması.....	209
Çizelge 5.129.	Değişken Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	210
Çizelge 5.130.	Değişken Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	211
Çizelge 5.131.	Değişken Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	212
Çizelge 5.132.	Değişken Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	213
Çizelge 5.133.	Değişken Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	214
Çizelge 5.134.	Değişken Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması.....	215



ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 3. 1.	Çubuk Eksenli	12
Şekil 3. 2.	Çubuk Dik Kesiti	13
Şekil 3. 3.	Pozitif Kesit	14
Şekil 3. 4.	İç Kuvvetler	15
Şekil 3. 5.	Denge Durumu	16
Şekil 3. 6.	Çubuk Ekseninde Yer Değiştirme	17
Şekil 3. 7.	Çubuktaki Yer Değiştirmeler ve Dönmeler	19
Şekil 3. 8.	Daire Eksenli Çubukta Eğrilik İlişkisi	25
Şekil 3. 9.	Üç Boyutlu Gerilme Durumu	35
Şekil 3. 10.	Ortotropik Tabaka İçin Malzeme Simetri Düzlemi	39
Şekil 4. 1.	Doğrusal elemanın x, y, z takımında koordinat dönüşümü.....	56
Şekil 4. 2.	Dairesel elemanın t, n, b takımında koordinat dönüşümü.....	56
Şekil 4. 3.	Runge –Kutta fonksiyonu	60
Şekil 5. 1.	Düzlemi içinde yüklü daire eksenli çerçeve sistemi	64
Şekil 5. 2.	Sistem düğüm serbestlikleri ve kodlamaları	65
Şekil 5. 3.	Doğru ve daire eksenli çubuklardan oluşan çerçeve sistemi.....	67
Şekil 5. 4.	Sistem düğüm serbestlikleri ve kodlamaları	67
Şekil 5. 5.	Tek Malzemeden Oluşturulan Malzeme Özellikleri (Kesit I)	71
Şekil 5. 6.	İki Malzemeden Oluşturulan Malzeme Özellikleri (Kesit II).....	71
Şekil 5. 7.	Doğru ve daire eksenli çubuklardan oluşan çerçeve ve çubuk kesiti I	72
Şekil 5. 8.	Sistem düğüm serbestlikleri, kodlamaları ve tabakalı çubuk kesiti II.....	73
Şekil 5. 9.	Doğru ve daire eksenli çubuklardan oluşan çerçeve ve çubuk kesiti I	80
Şekil 5. 10.	Sistem düğüm serbestlikleri, kodlamaları ve tabakalı çubuk kesiti II	81

Şekil 5. 11. Doğru eksenli çubuklardan oluşan çerçeve ve tabakalı çubuk kesiti I	88
Şekil 5. 12. Sistem düğüm serbestlikleri, kodlamaları ve tabakalı çubuk kesiti II.....	88
Şekil 5. 13. Daire ve doğru eksenli çubuklardan oluşan çerçeve ve tabakalı çubuk kesiti I	148
Şekil 5. 14. Sistem düğüm serbestlikleri, kodlamaları ve tabakalı çubuk kesiti II.....	148
Şekil 5. 15. Daire ve doğru ve daire eksenli çubuklardan oluşan çerçeve sistemi ve tabakalı çubuk kesiti I.....	153
Şekil 5. 16. Sistem düğüm serbestlikleri, kodlamaları ve tabakalı çubuk kesiti II.....	153
Şekil 5. 17. Doğru eksenli çubuklardan oluşan çerçeve ve tabakalı çubuk kesiti I	158
Şekil 5. 18. Sistem düğüm serbestlikleri, kodlamaları ve tabakalı çubuk kesiti II.....	158

SİMGELER VE KISALTMALAR

r	: Durum vektörü
s	: Eğrisel koordinatlarda ekstenel uzunluk
t	: Teğet birim vektör
n	: Normal birim vektör
b	: Binormal birim vektör
χ	: Eğrilik
τ	: Tabii burulma
γ	: Rölatif birim uzama vektörü
ω	: Rölatif birim dönme vektörü
U	: Yer değıştirme vektörü
Ω	: Dönme vektörü
T	: İç kuvvet vektörü
M	: Moment vektörü
$[C]$	: Uzama ve kayma rijitliği
$[D]$	: Burulma ve eğilme rijitliği
A	: Kesit alanı
I_n, I_b	: Atalet momenti
I_t	: Burulma atalet momenti
E	: Elastisite modülü
G	: Kayma modülü
α_n, α_b	: Kayma düzeltme faktörü
ν	: Poisson oranı
M	: Dış kuvvetlerin eksene aktarılmasıyla oluşan kuvvet çifti
P	: Yayılı dış kuvvetler
Δs	: Sonsuz küçük çubuk elemanı
r	: Eğrilik yarıçapı
L	: Çubuk elemanın boyu

ε	: Şekil değıştirme
P_s	:Teğetsel yükler
P_z	: Normal yükler
$p^{(in)}$	: Yayılı kütlelel atalet kuvvet vektörü
$m^{(in)}$	: Yayılı kütlelel atalet moment vektörü
C_{ij}	: Rijitlik Matrisi
σ	: Gerilme
ε	: Şekil değıştirme
$[C]$	: Malzeme rijitlik matrisi
$[S]$	: Malzeme esneklik matrisi
$[T], [R]$	: Dönüşüm matrisi
$\tilde{\sigma}_i$	: Kısaltılmış notasyonda gerilmeler
$\tilde{\varepsilon}_i$	: Kısaltılmış notasyonda şekil değıştirmeler
$[C']$	: Dönüştürülmüş rijitlik matrisi
$[S']$	: Dönüştürülmüş esneklik matrisi
S_{ij}	: Gerilme tansörü
Q_{ij}	: İndirgenmiş rijitlik matrisi
$\tilde{Q}_{ij}$	: Kısaltılmış notasyonda rijitlik matrisi
$\tilde{Q}'_{ij}$	: Dönüştürülmüş ve indirgenmiş rijitlik matrisi
$\tilde{Y}_j$	: Kısaltılmış notasyonda rölatif birim uzama
$\tilde{\omega}_j$	: Rölatif birim dönme
A, B, F, D	: Çubuk kesitinin toplam esneklik sabitlerini içeren matrisler
TFY	:Tamamlayıcı Fonksiyonları Yöntemi
RK	:Runge-Kutta

1. GİRİŞ

Daire ve doğru eksenli çubuk sistemlerinin analizi mühendislik problemleri içinde önemli bir yer tutmaktadır. Çubuklar günümüzde inşaat, makine, otomotiv uçak ve uzay gibi birçok mühendislik dalında yapısal eleman olarak kullanılmaktadır. Çubuklar genellikle inşaat mühendisliğinde kemer, köprü ve merdiven gibi yapılarda taşıyıcı elemanlar olarak kullanılmaktadır. Eğri eksenli taşıyıcı sistemlerin çözümü, doğru eksenli taşıyıcı sistemlere göre daha karmaşık olduğu için pratikte eğri eksenli çubuk sistemleri çok sayıda doğru eksenli elemanlara bölünerek yapılmaktadır.

Teknolojik ve endüstriyel gelişmelerle birlikte, ihtiyaçlara cevap verecek özelliklere sahip malzemelerde de zamanla gelişmeler olmuştur. Mühendislik alanlarında kullanılan malzemelerin daha üstün ve çeşitli özelliklerini bir arada bulunduran kompozit malzemelerin gelişimi ve üretimi fevkalade artmıştır. Kompozit malzemeler amaca uygun olarak, istenen özellikleri artırarak istenmeyen özellikleri de azaltarak iki veya daha fazla malzemenin bir araya getirilmesi ile elde edilir.

Kompozit malzemelerin üretimindeki temel hedef, malzemenin mekanik dayanımı, rijitliği, korozyona direnci, ağırlığı, akustiği, yorulma dayanımı, yüksek ısı iletkenliği ve yüksek sıcaklığa dayanıklılığı gibi özelliklerin geliştirilmesidir. Uygulamada kullanılan birçok malzeme homojen ve izotropik özellik gösterirken, kompozit malzemeler heterojen ve anizotropik özellik göstermektedir. Kompozit malzemelerin birçok üstün özelliklerinden dolayı otomotiv, uçak ve uzay sanayilerinde, inşaat ve yapı sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kompozit malzemelerin elyafli kompozitler, parçacıklı kompozitler, tabakalı kompozitler ve karma kompozitler gibi çeşitli türleri mevcut olup, bu çalışmada tabakalı kompozit malzemelerden oluşan doğru ve daire eksenli çubuklar içeren çerçeve sistemleri üzerine bir araştırma yapılmıştır.

Araştırmacılar bu tür yapı sistemlerin statik yükler altındaki davranışını incelemek için farklı yöntemler kullanmışlardır. Bu çalışmada TFY'ye dayalı rijitlik matrisi metodu kullanılmıştır. Çubukların statik yükler altındaki davranışlarını idare eden denklemler TFY ile doğrudan sayısal olarak çözülmektedir. Ara mesnet ve yükleme gibi daha karmaşık durumlarda TFY'ye dayalı rijitlik matrisi metodu yardımı ile eleman rijitlik matrisi ve yük vektörü elde edilerek, çözümler yapılabilmektedir.

Bu çalışmada tabakalı kompozit malzemelerden oluşan, sabit ve değişken kesitli daire ve doğru eksenli çubuk sistemlerinin TFY ile statik analizi yapılmıştır. Bu tür çerçeve sistemlerin analizi için Fortran dilinde genel amaçlı bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Ele alınan tüm problemler hazırlanan bu bilgisayar programı vasıtasıyla çözülmüş, elde edilen sonuçlar ANSYS paket programı sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu paket programı ile hem doğru hem daire eksenli çerçeve sistemlerinin çözümleri yapılmıştır. Ele alınan problemleri ANSYS programında modelleyebilmek ve yeterli hassasiyette sonuçlara ulaşabilmek için sistemin fazla sayıda elemanlara bölünmesi gerekmektedir. Bu tezdeki tüm problemler, bir veya iki farklı malzemenin tabakalar (lamineler) şeklinde üst üste diziliminden oluşan kesit I ve kesit II için çözülmüştür. Ayrıca her bir problemin kesit I ve kesit II malzeme özellikleri için tabakalanma açıları değiştirilerek parametrik çalışmalar da yapılmıştır.

Bu çalışmada tabakalanma açılarının yanı sıra çeşitli E_1/E_2 oranlarının da çerçeve sistemlerinin düğüm deplasmanları ve eleman uç kuvvetleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kesit I ve kesit II malzeme özellikleri dikkate alınarak hem sabit kesitli hem değişken kesitli çerçeve sistemleri farklı E_1/E_2 oranları için çözülmüştür. Ele alınan çerçeve sistemleri için E_1/E_2 oranı 1 den 30 e kadar kademeli olarak artırılarak farklı tabakalanma durumu için TFY ile çözülmüştür.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatür incelendiğinde, daire ve doğru eksenli tabakalı kompozit çubukların statik ve dinamik analizleri üzerine farklı yöntemler kullanılarak, birçok araştırmacı tarafından ele alınmış özgün çalışmalar bulunmaktadır. Tabakalanmış kompozit çubuklarla ilgili literatürde bulunan bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Teh ve Huang (1980) kompozit kirişlerdeki tabaka açısının serbest titreşim frekanslarına olan etkilerini incelemişlerdir.

Çalım ve Bingöl (2009) değişken kesitli kompozit çubukların dinamik davranışını etkileyen faktörleri incelemişlerdir.

Abramovich ve Livshits (1994) Timoshenko kiriş teorisini kullanarak simetrik olmayan çapraz elyaf takviyeli tabakadan yapılmış kompozit kirişlerin serbest titreşimini çalışmışlardır. Dönme ataleti ve kayma deformasyonu etkilerini formülasyonda gözönüne almışlardır. Farklı sınır şartlarını içeren tabakalı kirişlerin doğal frekansları ve titreşim modlarını elde etmişlerdir.

Ecer (2015) farklı sınır koşulları altında doğru eksenli çubukların boyuna serbest titreşimini Gateaux türevi yöntemi ile incelemiştir. Daha hızlı ve kolay bir biçimde boyuna serbest titreşim frekanslarını elde etmek için Fortran dilinde genel amaçlı bir bilgisayar programı yazmış.

Noori ve Temel (2019) enine izotropik ve lamine kompozit parabolik kemerlerin düzlem içi zorlanmış titreşim davranışını TFY ile Laplace uzayında teorik olarak incelemişlerdir.

Çalım (2009) üniform olmayan kesit özelliklerine sahip simetrik tabakalı kompozit kirişlerin serbest ve zorlanmış titreşimini Laplace uzayında teorik olarak incelemiştir. Formülasyonda; malzeme anizotropisi, dönme ataleti, eksenel ve kayma deformasyonu etkileri göz önüne alınmıştır.

Temel ve Noori (2018) sürekli değişken kesite sahip enine izotropik ve lamine kompozit malzemeli parabolik kemerlerin serbest ve zorlanmış titreşim analizini yapmışlardır. Bu tür yapıların dinamik davranışını idare eden diferansiyel

denklemlerin çözümü için TFY ve Laplace dönüşümünün etkin sayısal modelini uygulamışlardır.

Çevik (2007) çapraz-tabakalı ve açılı-tabakalı kompozit konsol kirişlerin serbest titreşim analizini sonlu elemanlar yöntemiyle yapmıştır. Yaygın olarak karşılaşılan konsol kiriş için tabaka sayısının, boy/kalınlık oranının ve tabaka açısının doğal frekansına olan etkilerini araştırmıştır.

Chandrashekhara ve Bangera (1992) tabakalı kompozit kirişlerin serbest titreşimi için, yüksek mertebe kayma deformasyonu teorisine dayalı bir sonlu eleman modeli geliştirmişlerdir. Formülasyonda, kayma deformasyonu ve dönme ataleti etkileri göz önüne alınmıştır.

Dong ve ark. (2005) değişken kesitli tabakalı bir kompozit Timoshenko kirişinin titreşim karakteristiğini araştırmışlardır. Birinci mertebe kayma deformasyonu teorisine dayalı tabakalı bir kirişin eğilme ve kayma rijitliklerini hesaplamışlardır.

Krishnaswamy ve ark. (1992) tabakalanmış kompozit kirişlerin titreşim analizini yapmak için Lagrange çarpımları kullanarak yeni analitik çözümler geliştirmişler. Kompozit kirişlerin serbest titreşimini idare eden dinamik denklemlerini Hamilton prensibiyle elde etmişlerdir.

Singh ve ark. (2006) üniform olmayan kompozit kirişlerin analizi için yeni bir analitik model geliştirmişlerdir.

Yıldırım ve arkadaşları (1999a, 1999b, 1999c) çalışmalarında simetrik çapraz elyafli tabakalı kompozit kirişlerin düzlem içi serbest titreşim problemlerini taşıma matrisi metoduyla çözmüşlerdir. Dönme ataleti, eksenel ve kayma deformasyonu etkilerini Dönme ataleti, eksenel ve kayma deformasyonu etkileri, farklı sınır şartları ile L/h , E_1/E_2 ve h/b oranlarının ilk altı doğal frekans üzerindeki etkilerini araştırmışlardır.

Khdeir ve Reddy (1994) farklı sınır şartlarına sahip tabakalı kompozit kirişlerin serbest titreşimini çalışmışlardır. Analizlerde birinci, ikinci ve üçüncü mertebe teorilerini kullanmışlardır. Keyfi yüklemeler altında farklı sınır şartlarına

sahip, simetrik ve simetrik olmayan çapraz elyaf takviyeli kirişlerin kesin çözümlerini geliştirmişlerdir.

Çalım (2017) Timoshenko kiriş teorisini kullanarak değişken kesitli kirişlerin serbest titreşim analizini incelemiştir. Formülasyonda eksenel ve kayma deformasyonu etkilerini dikkate almış, Laplace uzayında birinci mertebe adi diferansiyel denklemlerin çözümü için TFY kullanmıştır.

Kıraç (2007) kompozit doğru eksenli çubukların zamanla değişen yükler altındaki dinamik davranışını incelemiştir. Laplace uzayında elde edilen skaler formdaki adi diferansiyel denklemleri TFY ile sayısal olarak çözmüştür. Sonlu elemanlar yöntemi ile analiz yapmak istenildiğinde yüzlerce eleman alınması gerekirken, yaptığı çalışmada önerilen çözüm yöntemi ile bir veya birkaç elemanla istenilen hassasiyetteki sonuçlara ulaşılabilirliğini göstermiştir.

Chandrashekhara ve ark. (1990) birinci mertebe kayma deformasyonu teorisini kullanarak simetrik tabakalı kompozit kirişlerin kesin çözümlerini sunmuşlardır.

Çalım ve ark. (2008) değişken kesitli kompozit çubukların serbest titreşim analizini incelemiştir.

Osman ve Suleiman (2017) birinci mertebe kayma deformasyon teorisini kullanarak tabakalı kompozit malzemeli kirişlerin serbest titreşim analizini incelemiş ve durumu idare eden diferansiyel denklemleri sayısal olarak çözmek için sonlu elemanlar yöntemini kullanmışlardır. Sınır koşullarının doğal titreşim frekansların üzerindeki etkilerini de ayrıca çalışmalarında yapmışlardır.

Si ve Basa (2017) sonlu elemanlar metodu kullanarak tabakalı kompozit kirişlerin serbest titreşim analizini yapmıştır. Tabakalı kompozit kirişlerin doğal frekansını etkileyen farklı parametreleri ve dinamik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır.

Hodges ve ark. (1991) kompozit çubukların doğal frekansları öngörmek için yeni metotlar geliştirmişlerdir. Bu yöntemlerden biri rijitliklerin kapalı formda

verilen basit analitik yöntem diğeri ise, detaylı enine kesitli sonlu elemanlar metodudur.

Banerjee ve Williams (1996) kayma deformasyonu ve dönme ataleti etkilerini dikkate alarak kompozit Timoshenko kirişleri için kesin dinamik rijitlik matrisini sunmuşlardır.

İyidoğan (2008) yüksek lisans çalışmasında karışık sonlu eleman formülasyonu kullanarak çeşitli sınır şartları altında çapraz tabakalı kompozit daire eksenli kirişlerin dinamik analizini yapmıştır. Gâteaux türev (yönsel) tekniğini kullanarak çapraz tabakalı dairesel kompozit kiriş için bir fonksiyonel elde etmiştir. Formülasyonda kesme deformasyonu içeren Timoshenko kiriş teorisini dikkate almıştır.

Kıraç ve arkadaşları (2008) tabakalı kompozit doğru eksenli çubukların zamanla değişen yükler altındaki serbest ve zorlanmış titreşim davranışlarını TFY incelemiştir.

Singh ve Abdelnaser (1992) simetrik tabakalı çapraz elyafli kompozit malzemeli kirişlerin hareket denklemini keyfi sınır şartları altında çözmek için genel amaçlı bir model geliştirmişlerdir. Bu modelde tabakalı kompozit kirişlerin zorlanmış titreşim için yüksek mertebe kayma deformasyon teorisini kullanmışlardır.

Çalım (2003) doktora çalışmasında izotropik, anizotropik, elastik ve viskoelastik malzemeden yapılmış eğri eksenli uzaysal çubuk sistemlerinin zamanla değişen yükler altındaki dinamik davranışını Laplace uzayında teorik olarak incelemiştir. Laplace uzayında elde edilen skaler formdaki adi diferansiyel denklemleri sayısal olarak TFY ile çözmüştür.

Bingöl (2009) değişken kesitli doğru eksenli kompozit çubukların dinamik davranışını Laplace uzayında teorik olarak incelemiştir. Değişken kesitli doğru eksenli kompozit çubukları idare eden denklemleri Timoshenko çubuk teorisi yardımıyla elde etmiştir.

Aktan (2008) Karışık sonlu elemanlar yöntemiyle daire eksenli çubukların farklı sınır şartları altında düzlem içi titreşim frekanslarının elde edilmesini incelemiştir. Timoshenko kiriş teorisinden yararlanarak denklemleri elde etmiş ve işlemleri kolay ve hızlı bir şekilde yapabilmek için ANSYS ve Fortran 90 bilgisayar programlarını kullanmıştır.

Akkurt (2011) elastik zemine oturan doğru ve daire eksenli çubukların dinamik davranışını Laplace uzayında teorik olarak incelemiştir. Çubukları idare eden birinci mertebeden adi diferansiyel denklemleri ve problemin dinamik rijitlik matrisini kesin olarak hesaplamak için TFY kullanmıştır. Formülasyonda Timoshenko kiriş teorisini kullanmış çubuk malzemesini de homojen, lineer elastik ve izotropik kabul etmiştir. Farklı sınır koşulları, zemin katsayısı, L/h ve R/h oranının elastik zemine oturan doğru ve daire eksenli çubukların dinamik davranışına olan etkilerini ayrıntılı bir şekilde incelemiştir.

Usal ve ark. (2008) basit mesnetli iki malzemeden oluşan kompozit kirişlerin statik ve dinamik analizlerini incelemişlerdir. İki farklı kompozit malzemenin 0, 30, 45, 60 ve 90 derece fiber açıları için hem statik hem de dinamik sonuçlarını grafiksel olarak sunmuşlardır.

Ditaranto (1973) orta tabakası kesme kuvveti taşıyan üç tabakalı kirişin doğal ve rijit sınır koşulları altındaki statik davranışını idare eden diferansiyel denklemlerini bir varyasyonel bir yöntemle elde etmiştir.

Madenci (2011) yaptığı çalışmada lamine kompozit kirişlerin statik ve dinamik analizlerini karışık sonlu eleman formülasyonu yardımı ile Gateaux diferansiyel metodu kullanarak incelemiştir. Analizlerinde sabit geometriye sahip üniform yayılı yük etkisi altında üç farklı mesnet koşuluna göre simetrik tek tabakalı ve çapraz tabaklı ortotropik kompozit Euler-Bernoulli ve Timoshenko kirişleri ele almıştır.

Rasooli ve Temel (2019) tabakalanmış kompozit malzemeli, değişken kesitli doğru ve daire eksenli çubuklardan oluşan çerçevelerin düzlemi içinde statik yüklemeler altındaki davranışını TFY ile incelemişlerdir. Eksenel ve kayma

deformasyonu etkilerini göz önüne bulundurularak formülasyonlar geliştirmişlerdir. TFY'ye dayalı başlangıç değer probleminin çözümleri için 5. mertebe Runge-Kutta (RK5) algoritmasını kullanmışlardır.

Eroğlu (2014) düzlemsel eğri eksenli çubukların düzlem içi ve düzlem dışı statik ve dinamik davranışlarını incelemek amacıyla yeni bir sonlu eleman formülasyonu geliştirmiş ve geliştirdiği bu yöntemin diğer geleneksel sonlu eleman yöntemlerine göre daha iyi ve etkin olduğunu da çalışmasında farklı örneklerle izah etmiştir.

Aslan (2016) geometrik özellikleri eksen boyunca değişen düzlemi içinde ve düzlemine dik yüklü daire eksenli çubuk sistemlerinin statik davranışlarını incelemişlerdir. Bu tür yapı elemanlarının statik davranışını idare eden birinci mertebe adi diferansiyel denklem takımını sayısal olarak TFY ile çözmüştür.

Karaca (2014) Timoshenko kiriş teorisini kullanarak düzlemsel çubukların statik ve dinamik analizlerini Taşıma ve Rijitlik matrisi metoduyla incelemiştir. Düzlemi içinde ve düzlemine dik yüklü daire eksenli çubukların statik ve dinamik analizlerini ayrı ayrı incelemiş ve bu amaçlı Mathematica dilinde genel amaçlı bir bilgisayar programı hazırlamıştır. Çalışmasında dinamik analizlerde daire eksenli çubukların merkez açısı arttıkça serbest titreşim frekanslarının azaldığını ve narinlik oranı arttıkça serbest titreşim frekanslarının arttığını göstermiştir.

Catapano, ve ark. (2011) Basit mesnetli çapraz elyafli kompozit kirişlerin statik analizi i.in Euler-Bernoulli ve Timoshenko kiriş teorileri ile Navier tipi çözümünü kullanarak yeni bir model geliştirmişler. Bu modeli farklı L/h oranı ve eğilme yükleri altında olan basit mesnetli kiriş üzerine uygulamışlardır.

Karamanlı (2018) kompozit ve sandviç tipi kirişlerin farklı sınır şartları altında Timoshenko kiriş teorisini kullanarak Ritz metoduyla eğilme davranışını çalışmıştır. Yaptığı bu çalışmada tabakaların dizilişi, elyafların açısı ve sınır şartlarının simetrik ve anti simetrik çapraz elyafli kompozit kirişlerin eğilme davranışı üzerindeki etkisini incelemiştir.

Kayha ve Turan (2017) yüksek mertebe kayma deformasyon teorisini kullanarak n adet tabakaya sahip kompozit kirişlerin eğilme davranışını sonlu elemanlar yöntemiyle incelemişler.

Vo ve Thai (2012) farklı kayma deformasyon teorilerini kullanarak kompozit kirişlerin statik davranışını incelemişlerdir. Üniform yayılı yük altındaki simetrik ve anti-simetrik çapraz elyafli kompozit kirişler için numerik çalışmalar yapmışlardır.

Özütok ve Madenci (2017) yüksek mertebeden kayma deformasyon teorisine dayalı karışık sonlu elemanlar modeli geliştirmişlerdir. Euler-Bernoulli kiriş teorisi ve birinci mertebe kayma deformasyon teorisi ile çözümler yaparak mevcut çalışmanın sonuçlarını karşılaştırmıştır.

Karaca ve Çalım (2015) daire eksenli kirişlerin statik davranışını taşıma matrisi ve rijitlik matrisi yöntemi yardımıyla teorik olarak incelemiştir. Timoshenko kiriş teorisini kullanmış, eksenel ve kayma deformasyon etkilerini de dikkate almıştır.

Bayhan (1993) daire eksenli düzlemsel çerçevelerin düzlemi içinde ve düzlemine dik statik yükler altındaki davranışlarını taşıma ve rijitlik matrisi yöntemleriyle çözmüştür. Birinci mertebe kayma deformasyon teorisini kullanmış, önce denklemleri vektörel formda elde etmiş, daha sonra hesapları skaler formda devam edebilmesi için bu denklemleri (t, n, b) hareketli koordinat takımına aktarmıştır.

Çalım (1996) eğri eksenli çubuk sistemleri ve silindirik tonoz yapılarının statik yükler altındaki davranışlarını incelemiş ve bu sistemleri idare eden denklemleri kanonik formda elde ederek çözümleri için hem direk TFY hem de TFY'ye dayalı rijitlik matrisi metodunu kullanmıştır.

Literatür incelendiğinde, doğru ve/veya daire eksenli çubuk sistemlerinin statik analizi üzerine farklı yöntemler kullanılarak birçok çalışma bulunmaktadır. Ancak kompozit malzeme hem doğru hem daire eksenli çubuklardan oluşan üniform

ve değişken kesitli çerçeve sistemlerin farklı statik yüklemeler altındaki davranışı TFY ile ilk kez bu çalışmada yapılmaktadır.



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Giriş

Çubuk sistemlerinde denge denklemleri, uygunluk denklemleri ve bünye şartları, vektörel denklemler halinde elde edilmektedir. Hesaplamaların skaler olarak yapılabilmesi için elde edilen bu vektörel denklemler (t, n, b) hareketli koordinat takımındaki bileşenlerine ayrılmaktadır, bu işlem yapıldığında on iki adet birinci mertebe adi diferansiyel denklem elde edilmektedir. (t, n, b) hareketli koordinat takımındaki bu on iki denklemin altısı çubuğun düzlemi içinde diğer altısı ise düzlemine dik yüklü halini ifade edecek şekilde iki gruba ayrılmaktadır. Formülasyonda, eksenel ve kayma deformasyon etkileri göz önüne alınmaktadır.

Düzlemi içinde statik yüklü doğru ve daire eksenli çubukların davranışını idare eden skaler formdaki denklemler sayısal olarak TFY ile çözülmektedir.

3.2. Uzaysal Eğri Eksenli Çubuk Sistemleri

3.2.1. Çubuk Geometrisi

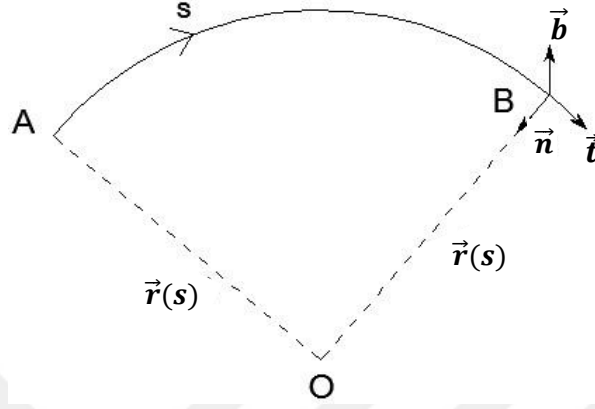
Uzunluk ve eğrilikler yanında, en kesit üzerindeki iki boyutu çok küçük olan taşıyıcı elemana çubuk denilmektedir. Bir çubukta başlıca çubuk eksenli ve çubuk dik kesiti olarak adlandırılan iki eleman vardır. Dik kesiti denilen sınırlı düzlem parçası, kendi ağırlık merkezinde çubuk eksenli olan bir uzay eğrisine daima dik kalacak şekilde hareket ederse çubuk meydana gelir İnan (1966).

3.2.2. Çubuk Eksenli

Çubuk eksenli olarak herhangi bir eğri düşünülecek olursa, böyle bir eğri:

$$\vec{r} = \vec{r}(s) \quad (3.1)$$

yer vektörü olarak tarif edilir.



Şekil 3.1. Çubuk eksen

Şekil 3.1 de eğri üzerinde başlangıç olarak seçilen bir A noktası ile B noktası arasındaki uzaklığı göstermekte ve seçilen doğrultuda pozitiftir.

Eksene bağlı hareketli bir koordinat takımının $(\vec{t}, \vec{n}, \vec{b})$ seçilmesi problemin tanımlanmasında kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca her üç birim vektör de yer vektörüne bağlıdır.

Teğet birim vektör ($\vec{t}$) : Eksen eğrisine teğettir.

$$\vec{t} = \frac{d\vec{r}}{ds} \quad (3.2)$$

Normal birim vektör ($\vec{n}$) : Teğet vektöre dik olup yönü eğrilik merkezine doğrudur.

Binormal birim vektör ($\vec{b}$) : $\vec{t}$, $\vec{n}$ birim vektörlerinin düzlemine diktir.

$$\vec{b} = \vec{t} \times \vec{n} \quad (3.3)$$

$\vec{t}$, $\vec{n}$, $\vec{b}$ birim vektörlerinin oluşturduğu eksen takımı sağ el kuralına uygun olarak teşkil edilir ve aralarında Frenet formülleri denilen türevsel bağıntılar vardır.

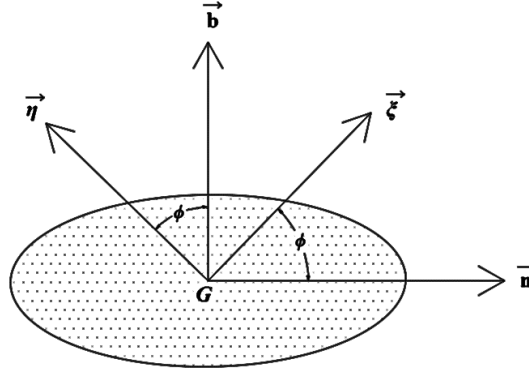
$$\begin{aligned}\frac{d\vec{t}}{ds} &= \chi \cdot \vec{n} \\ \frac{d\vec{n}}{ds} &= \tau \cdot \vec{b} - \chi \cdot \vec{t} \\ \frac{d\vec{b}}{ds} &= -\tau \cdot \vec{n}\end{aligned}\tag{3.4}$$

Burada χ , eğriliği ifade edip daima pozitifdir. Daire için χ sabittir.

τ , tabi burulmayı göstermektedir. Uzay eğrilerinde τ sıfırdan farklı olup, düzlemsel eğrilerde ise sıfırdır.

3.2.3. Çubuk Dik Kesiti

Dik kesit, kapalı bir eğri ile sınırlanmış ve $(\vec{n}, \vec{b})$ düzleminde yer alan bir düzlem parçasıdır. Şeklin ağırlık merkezi G ile, kesitin asal atalet moment eksenleri ise $\vec{\xi}$ ve $\vec{\eta}$ ile gösterilmektedir.

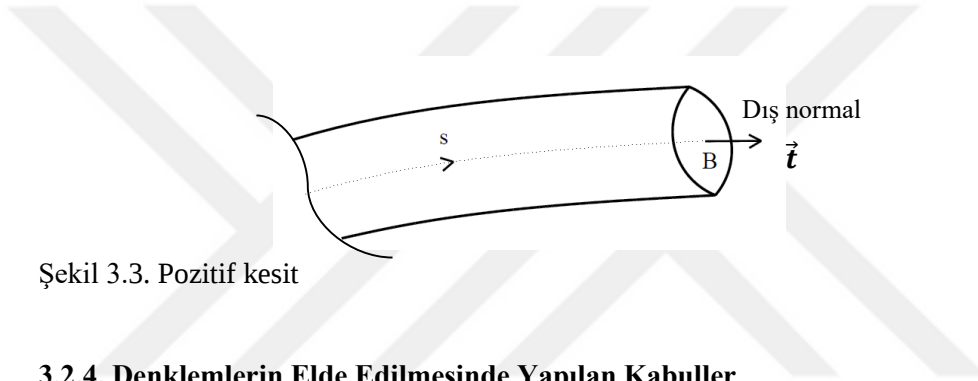


Şekil 3.2. Çubuğun dik kesiti

$(\vec{n}, \vec{b})$ eksen takımı ile dik kesite bağlı olan $(\vec{\xi}, \vec{\eta})$ eksen takımları ϕ açısı ile birbirine bağlıdır.

$$\phi = \phi(s) \quad (3.5)$$

Dış normalı $\vec{t}$ ile aynı doğrultuda olan kesitlere pozitif kesit, aksi halde negatif kesit denilmektedir (Şekil3.3).



Şekil 3.3. Pozitif kesit

3.2.4. Denklemlerin Elde Edilmesinde Yapılan Kabuller

Uzaysal çubuk denklemlerini elde ederken bazı kabuller yapılmaktadır.

- Formülasyonda çubuk malzemesi, elastik homojen ve izotrop olarak seçilmiştir.
- Şekil ve yer değiştirmelerin çok küçük olmasından dolayı birinci mertebe teorisi kullanılacaktır.
- Kesit tesirleri ve şekil değiştirme arasındaki bünye denklemlerinde Hook Kanunu kullanılacaktır.
- Göz önüne alınan bölgede çubuk kesiti eksen boyunca sabittir.
- Ayrıca, uygulamalarda kompozit malzeme özellikleri dikkate alınarak, ortotropik tabakalardan oluşan kompozit malzemeli çerçeveler çözülecektir.

3.2.5. Denge Denklemleri

Çubuğa etki eden dış kuvvetler ve çubuk parçaları arasındaki etki-tepkiyi karakterize eden iç kuvvetler ele alınacaktır. Doğrultuları çubuk ekseninden geçen s boyunca yayılı olan dış kuvvetler $\vec{p}$ vektörü ile gösterilirse,

$$\lim_{\Delta s \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta s} \right) = \vec{p} \quad (3.6)$$

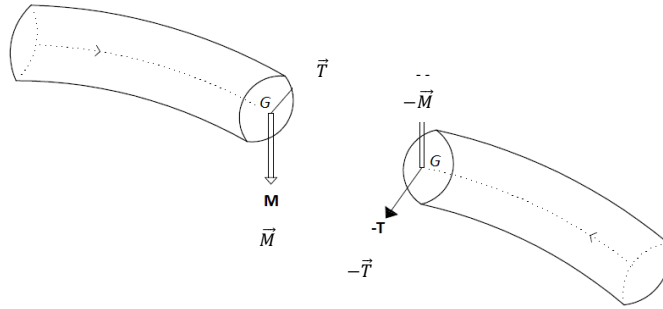
olur. Burada $\Delta \vec{p}$ kuvveti Δs eksen parçasına etki eden dış kuvvetlerin vektörel toplamıdır.

Doğrultu itibarıyla eksenden geçmeyen dış kuvvetleri eksene aktarmak mümkündür. Bu durumda da kuvvet çiftini hesaba katmak gerekir.

Çubuğun Δs kısmına etki eden dış kuvvetlerin eksene aktarılmasıyla oluşan kuvvet çifti $\Delta \vec{M}$ ile gösterilmektedir. Burada $\vec{m}$ vektörü yayılı dış kuvvet çiftlerini gösterir.

$$\lim_{\Delta s \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta \vec{M}}{\Delta s} \right) = \vec{m} \quad (3.7)$$

Kesitin pozitif yönüne tesir eden kuvvetler kesit tesirleri olarak alınmıştır. Kesit tesirleri adı verilen iç kuvvetler olarak kesit pozitif yönüne tesir eden kuvvetler alınmıştır. Yayılı iç kuvvetler kesitin ağırlık merkezine aktarılan değeridir.



Şekil 3.4. İç kuvvetler

$\vec{T}$ Vektörü, kesite tesir eden iç kuvvetlerin vektörel toplamını göstermektedir $\vec{M}$ vektörü ise bunların ağırlık merkezine aktarıldıkları durumda eklenmesi gereken kuvvet çiftini göstermektedir.

Elastik çubuk teorisinin hedeflerinden biri kesit tesirleri ve s 'ye göre değişen $\vec{T}(s)$ ve $\vec{M}(s)$ fonksiyonlarını hesaplamaktır.

$$\vec{T} \cdot \vec{t} = T_t \quad : \text{Eksenel Normal Kuvvet}$$

$$\vec{T} \cdot \vec{n} = T_n \quad : \text{Kesme Kuvveti}$$

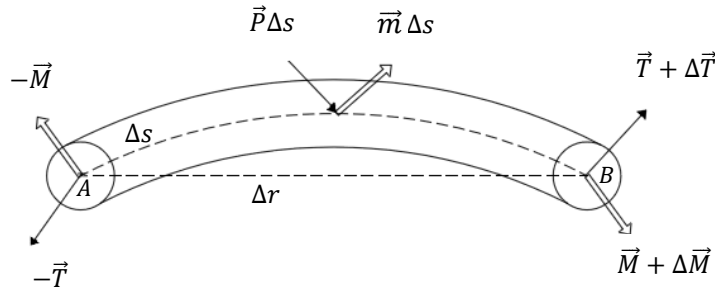
$$\vec{T} \cdot \vec{b} = T_b \quad : \text{Kesme Kuvveti}$$

$$\vec{M} \cdot \vec{t} = M_t \quad : \text{Burulma Momenti}$$

$$\vec{M} \cdot \vec{n} = M_n \quad : \text{Eğilme Momenti}$$

$$\vec{M} \cdot \vec{b} = M_b \quad : \text{Eğilme Momenti}$$

$\vec{T}(s)$ ve $\vec{M}(s)$ fonksiyonları ile dış kuvvetler arasında türevsel bir bağıntı mevcuttur. Bu diferansiyel bağıntı Δs uzunluğunda bir çubuk elemanının üzerine ve kesit yüzlerine tesir eden kuvvetlerle dengede olması şartı ile bulunur.



Şekil 3.5. Denge durumu

Toplam kuvvet denge şartından ve A noktasına göre moment şartından,

$$\begin{aligned}
-\vec{T} + \vec{T} + \Delta\vec{T} + \vec{p} \cdot \Delta s &= 0 \\
-\vec{M} + (\vec{M} + \Delta\vec{M}) + \vec{m} \cdot \Delta s + \vec{\Delta r} \times (\vec{T} + \Delta\vec{T}) &= 0
\end{aligned}$$

eşitlikleri elde edilir. Sadeleştirmeden sonra limite geçilirse,

$$\frac{d\vec{T}}{ds} + \vec{p} = 0 \quad (3.8)$$

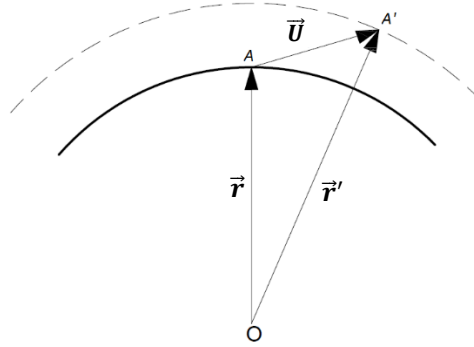
$$\frac{d\vec{M}}{ds} + \vec{t} \times \vec{T} + \vec{m} = 0 \quad (3.9)$$

diferansiyel denge denklemleri elde edilir.

3.2.6. Uygunluk Denklemleri

Çubuk şekil değiştirdikten sonra eksen üzerinde herhangi bir A noktası A' noktasına gelecektir. AA' vektörüne yer değiştirme vektörü denir ve aşağıdaki gibi gösterilir.

$$\vec{AA'} = \vec{U}(s) \quad (3.10)$$



Şekil 3.6. Çubuk ekseninde yer değiştirme

$\vec{U}(s)$ fonksiyonunun bilinmesi ile çubuk ekseninin yerdeğiřtirdikten sonraki durumu belli olur.

$$\vec{r'} = \vec{r} + \vec{U} \quad (3.11)$$

Çubuk şekil değiştirdikten sonra deforme olmuş kesitin düzlemi içindeki sapmaları ihmal edilmiştir. $\vec{U}(s)$ vektörü, dik kesitin ağırlık merkezine ait ötelenmesini ve $\Omega(s)$ ise ağırlık merkezinden geçen eksen etrafındaki dönmeyi gösterir. Bahsedilen bu iki vektör aynı cismin dik kesitine etki ettiği için aralarında diferansiyel bir bağıntı vardır.

Çubuk şekil değiştirmesi için önemli iki vektör daha vardır. Bunlardan birisi rölatif birim kayma vektörü $\vec{\gamma}$, diğeri ise rölatif birim dönme vektörü $\vec{\omega}$ dır.

$\vec{\gamma}$ vektörü, $\vec{\Omega} = 0$ alınmak şartıyla,

$$\left(\frac{d\vec{U}}{ds}\right)_{\vec{\Omega}=0} = \vec{\gamma} \quad (3.12)$$

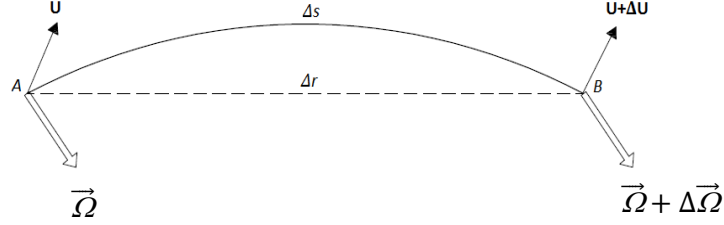
$\vec{\gamma}$ vektörü birim çubuk elemanının şekil değiştirmesini göstermektedir. $\vec{\omega}$ vektörü ise,

$$\frac{d\vec{\Omega}}{ds} = \vec{\omega} \quad (3.13)$$

birim boyun dönmesi olarak tarif edilir. Hesaplamalarda $\vec{\gamma}$ ve $\vec{\omega}$ vektörlerinin de $\vec{U}$ ve $\vec{\Omega}$ vektörleri gibi řiddetleri çok küçük olduğu kabul edilmektedir.

$$\vec{U}$$

$$\vec{U} + \Delta\vec{U}$$



Şekil 3.7. Çubuktaki yer değiştirme ve dönmeler

Şekil 3.7 de B noktasındaki yer değiştirmenin A dan olan farkı $\Delta \vec{U}$ ile gösterilmiştir. Bu farkın iki nedeni vardır. Birincisi, AB çubuk elemanının şekil değiştirmesi dolayısıyla B noktası A ya göre $\vec{\gamma} \Delta s$ kadar farklı hareket eder. İkincisi, A 'dan geçen kesit $\vec{\Omega}$ ile gösterilen bir dönme yapınca B noktası da $\vec{\Omega} \times \Delta \vec{r}$ ile gösterilen bir hareket yapacaktır. Buna göre,

$$\Delta \vec{U} = \vec{\gamma} \cdot \Delta s + \vec{\Omega} \times \Delta \vec{r} \quad (3.14)$$

(3.14.) denklemin her iki tarafı Δs değerine bölünüp limite geçilecek olursa,

$$\frac{d\vec{U}}{ds} = \vec{\gamma} + \vec{\Omega} \times \vec{t} \quad (3.15)$$

denklemini elde edilir. Denklemdaki $\vec{U}$ vektörü ile $\vec{\Omega}$ arasındaki bağıntı uygunluk şartını göstermektedir.

$$\frac{d\vec{\Omega}}{ds} - \vec{\omega} = 0 \quad (3.16)$$

$$\frac{d\vec{U}}{ds} + \vec{t} \times \vec{\Omega} - \vec{\gamma} = 0 \quad (3.17)$$

şeklinde ifade edilebilir.

$\vec{\gamma}$ ve $\vec{w}$ vektörlerinin $(\vec{t}, \vec{n}, \vec{b})$ koordinat takımındaki bileşenleri, γ_t birim uzamayı, γ_n ve γ_b değerleri $\vec{n}$ ve $\vec{b}$ doğrultularındaki kaymaları gösterir. w_t değeri burulmadaki birim dönme açısıdır, aynı zamanda twist adıyla da anılmaktadır. w_n ve w_b ise $\vec{n}$ ve $\vec{b}$ eksenleri etrafındaki eğilmeden dolayı meydana gelen rölatif birim dönmelerdir.

3.2.7. Kesit Tesirleri İle Şekil Değiştirme Arasındaki İlişki

$\vec{\gamma}$ ile $\vec{T}$ ve $\vec{w}$ ile $\vec{M}$ vektörleri arasındaki ilişki malzeme bünyesini belirtmektedir.

$$\vec{T} = f_1(\vec{\gamma}) \quad (3.18)$$

$$\vec{M} = f_2(\vec{w}) \quad (3.19)$$

Burada f_1 ve f_2 ilgili vektörler arasındaki ilişkiyi gösterir ve vektörlerin koordinatları T_1, T_2, T_3 e karşılık $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ ve M_1, M_2, M_3 e karşılık w_1, w_2, w_3 olsun. Kapalı formda aşağıdaki şekilde yazılır.

$$\begin{aligned} T_1 &= C_{11} \cdot \gamma_1 + C_{12} \cdot \gamma_2 + C_{13} \cdot \gamma_3 \\ T_2 &= C_{21} \cdot \gamma_1 + C_{22} \cdot \gamma_2 + C_{23} \cdot \gamma_3 \\ T_3 &= C_{31} \cdot \gamma_1 + C_{32} \cdot \gamma_2 + C_{33} \cdot \gamma_3 \end{aligned} \quad (3.20)$$

veya kısaca indissel notasyonda ifade edilirse,

$$T_i = \sum C_{ij} \cdot \gamma_j \quad (3.21)$$

benzer şekilde,

$$\begin{aligned}
M_1 &= D_{11} \cdot w_1 + D_{12} \cdot w_2 + D_{13} \cdot w_3 \\
M_2 &= D_{21} \cdot w_1 + D_{22} \cdot w_2 + D_{23} \cdot w_3 \\
M_3 &= D_{31} \cdot w_1 + D_{32} \cdot w_2 + D_{33} \cdot w_3
\end{aligned} \tag{3.22}$$

veya indissel notasyonda ifade edilirse,

$$M_i = \sum D_{ij} w_j \tag{3.23}$$

Burada C_{ij} ve D_{ij} ile gösterilen katsayılar $\vec{\gamma}$ ve $\vec{w}$ değişkenlerinden bağımsız olup, yalnız çubuk malzemesine ve kesit geometrisine bağlıdır. Yapılan kabullere göre; malzeme homojen ve izotrop, kesitin de üniform olduğu kabul edilirse, bu katsayılar s değişkeninden bağımsız olur. C_{ij} ve D_{ij} katsayıları çubuğun kaymaya ve dönmeye karşı rijitlikleri olup, simetriklerdir.

Matris bileşenleri $(\vec{t}, \vec{n}, \vec{b})$ takımında ele alındığında,

$$[C] = \begin{bmatrix} C_{tt} & 0 & 0 \\ 0 & C_{nn} & C_{nb} \\ 0 & C_{bn} & C_{bb} \end{bmatrix} \tag{3.24}$$

$$[D] = \begin{bmatrix} D_{tt} & 0 & 0 \\ 0 & D_{nn} & D_{nb} \\ 0 & D_{bn} & D_{bb} \end{bmatrix} \tag{3.25}$$

Bu özellik, γ_t eksenel birim uzamasının yalnız T_t eksenel normal kuvvete ve w_t birim dönme açısının M_t burulma momentine bağlı olmasına dayanır.

Yapılan kabüllerde ise $(\vec{n}, \vec{b})$ hareketli eksen takımı ile asal eksen takımı olan $(\vec{\xi}, \vec{\eta})$ ile çakışmaktadır. Bu sebeple rijitlik matrisleri aşağıdaki gibi düzenlenir.

$$[C] = \begin{bmatrix} C_{tt} & 0 & 0 \\ 0 & C_{nn} & 0 \\ 0 & 0 & C_{bb} \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

$$[D] = \begin{bmatrix} D_{tt} & 0 & 0 \\ 0 & D_{nn} & 0 \\ 0 & 0 & D_{bb} \end{bmatrix} \quad (3.27)$$

Rijitlik matrislerinin determinantları $|C_{ij}| \neq 0$ ve $|D_{ij}| \neq 0$ olduğundan dolayı bu matrislerin tersi alınabilir.

$$\vec{\gamma} = [C]^{-1} \vec{T} \quad (3.28)$$

$$\vec{w} = [D]^{-1} \vec{M} \quad (3.29)$$

3.2.8. Vektörel Denklemlerin $(\vec{t}, \vec{n}, \vec{b})$ Hareketli Takımına Aktarılması

Elastik çubuk teorisi kurulurken bilinmeyenler altı adet vektörel denklemden meydana gelmektedir. Bu denklemlerin her biri daha önceki bölümlerde elde edilmiştir. Bu altı vektörel denklemler aşağıdaki gibidir:

Denge denklemleri,

$$\frac{d\vec{T}}{ds} + \vec{p} = 0 \quad (3.8)$$

$$\frac{d\vec{M}}{ds} + \vec{t} \times \vec{T} + \vec{m} = 0 \quad (3.9)$$

uygunluk denklemleri,

$$\frac{d\vec{\Omega}}{ds} - \vec{w} = 0 \quad (3.16)$$

$$\frac{d\vec{U}}{ds} + \vec{t} \times \vec{\Omega} - \vec{\gamma} = 0 \quad (3.17)$$

bünye denklemleri,

$$\vec{\gamma} = [C]^{-1}\vec{T} \quad (3.28)$$

$$\vec{w} = [D]^{-1}\vec{M} \quad (3.29)$$

şeklinde elde edilmektedir.

(3.28.) ve (3.29.) bağıntıları (3.16.) ve (3.17.) denklemlerinde yerine konulduğunda,

$$\frac{d\vec{\Omega}}{ds} - [D]^{-1}\vec{M} = 0 \quad (3.30)$$

$$\frac{d\vec{U}}{ds} + \vec{t} \times \vec{\Omega} - [C]^{-1}\vec{T} = 0 \quad (3.31)$$

ifadeleri elde edilecektir. Böylece önceden elde edilmiş olan altı denklem, dört adet vektörel denkleme indirgenmiş olur. Bunlar sırasıyla,

$$\frac{d\vec{T}}{ds} + \vec{p} = 0 \quad (3.8)$$

$$\frac{d\vec{M}}{ds} + \vec{t} \times \vec{T} + \vec{m} = 0 \quad (3.9)$$

$$\frac{d\vec{\Omega}}{ds} - [D]^{-1}\vec{M} = 0 \quad (3.30)$$

$$\frac{d\vec{U}}{ds} + \vec{t} \times \vec{\Omega} - [C]^{-1}\vec{T} = 0 \quad (3.31)$$

Burada iç kuvvetler olarak, $\vec{T}$ ve $\vec{M}$ ile yer değiştirme ve dönme, $\vec{U}$ ve $\vec{\Omega}$ olmak üzere dört vektörel büyüklüğün hesaplanması gerekmektedir. Hesaplamalarda kolaylık sağlamak için skaler denklemlerle işlem yapılması uygun olacaktır. Dolayısıyla bu vektörel ifadeler, $(\vec{t}, \vec{n}, \vec{b})$ hareketli eksen takımına aktarılmıştır. Hesaplarda serbest değişken s yerine, ϕ ifadesi kullanılmıştır. Aralarında aşağıdaki bağıntı mevcuttur.

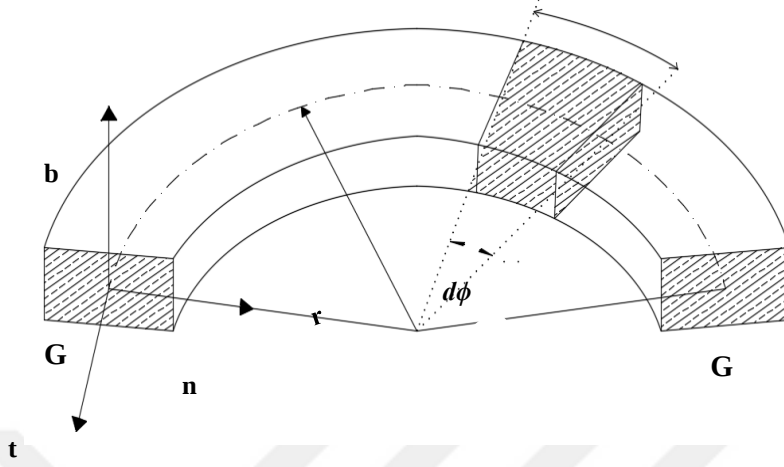
$$ds = r d\phi \quad (3.32)$$

Eğrilik ise,

$$\chi = \frac{1}{r} \quad (3.33)$$

şeklinde tarif edilir Şekil (3.8).

$$ds = r d\phi$$



Şekil 3.8. Daire eksenli çubukta eğrilik ilişkisi (Aslan 2016)

Frenet formülleri dikkate alınarak vektörel denklemlerin hareketli $(\vec{t}, \vec{n}, \vec{b})$ takımına aktarılması aşağıdaki gibi yapılır ve bu ifadeler $(\vec{t}, \vec{n}, \vec{b})$ takımındaki bileşenlere ayrılırsa,

$$\begin{aligned}\vec{T} &= T_t \vec{t} + T_n \vec{n} + T_b \vec{b} \\ \vec{p} &= p_t \vec{t} + p_n \vec{n} + p_b \vec{b}\end{aligned}\quad (3.34)$$

elde edilir. (3.4.) ve (3.34.) denklemleri (3.8.) denklemlerinde yerine konulursa,

$$\frac{dT_t}{d\phi} = T_n - r p_t \quad (3.35)$$

$$\frac{dT_n}{d\phi} = -T_t + r \tau T_b - r p_n \quad (3.36)$$

$$\frac{dT_b}{d\phi} = -\tau r T_n - r p_b \quad (3.37)$$

skaler denklemleri elde edilir. Aynı şekilde (3.9.) denklemindeki ifadeler düzenlenip, hareketli $(\vec{t}, \vec{n}, \vec{b})$ takımındaki bileşenlerine ayrılırsa,

$$\begin{aligned}\vec{M} &= M_t \vec{t} + M_n \vec{n} + M_b \vec{b} \\ \vec{m} &= m_t \vec{t} + m_n \vec{n} + m_b \vec{b} \\ \vec{T} &= T_t \vec{t} + T_n \vec{n} + T_b \vec{b}\end{aligned}\tag{3.38}$$

elde edilir. (3.4.) ve (3.38.) denklemleri (3.9.) denkleminde yerine konursa,

$$\frac{dM_t}{d\phi} = M_n - rm_t \tag{3.39}$$

$$\frac{dM_n}{d\phi} = -M_t + r\tau M_b + rT_b - rm_n \tag{3.40}$$

$$\frac{dM_b}{d\phi} = -r\tau M_n - rT_n - rm_b \tag{3.41}$$

skaler denklemleri elde edilir. (3.16.) denkleminde ilgili ifadeler bileşenlerine ayrıldığında,

$$\vec{\Omega} = \Omega_t \vec{t} + \Omega_n \vec{n} + \Omega_b \vec{b} \tag{3.42.a}$$

$$\vec{w} = w_t \vec{t} + w_n \vec{n} + w_b \vec{b} \tag{3.42.b}$$

şeklinde olur. (3.4.) ve (3.42.) denklemleri (3.16.) ifadesinde yerine konulursa,

$$\frac{d\Omega_t}{d\phi} = \Omega_n + rw_t \tag{3.43}$$

$$\frac{d\Omega_n}{d\phi} = -\Omega_t + r\tau\Omega_b + rw_n \quad (3.44)$$

$$\frac{d\Omega_b}{d\phi} = -r\tau\Omega_n + rw_b \quad (3.45)$$

skaler denklemleri elde edilir. (3.17.) denkleminde ilgili ifadeler bileşenlerine ayrılırsa,

$$\begin{aligned} \vec{U} &= U_t\vec{t} + U_n\vec{n} + U_b\vec{b} \\ \vec{\gamma} &= \gamma_t\vec{t} + \gamma_n\vec{n} + \gamma_b\vec{b} \end{aligned} \quad (3.46)$$

şeklinde düzenlenir. (3.4.) ve (3.40.) ifadeleri (3.17.) denklemlerinde yerine konulursa ,

$$\frac{dU_t}{d\phi} = U_n + r\gamma_t \quad (3.47)$$

$$\frac{dU_n}{d\phi} = -U_t + r\tau U_b + r\Omega_b + r\gamma_n \quad (3.48)$$

$$\frac{dU_b}{d\phi} = -r\tau U_n - r\Omega_n + r\gamma_b \quad (3.49)$$

denklemleri elde edilir.

Böylece uzaysal çubukların statik yükler altındaki davranışını idare eden genel vektörel denklemler hareketli koordinat takımına aktarılmıştır.

$(\vec{t}, \vec{n}, \vec{b})$ hareketli koordinat takımında on iki adet adi diferansiyel denklem, deplasman ve dönmeye karşılık kuvvet ve kuvvet çifti olarak sıralanıp toplu halde aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$\frac{dU_t}{d\phi} = U_n + r\gamma_t \quad (3.47)$$

$$\frac{dU_n}{d\phi} = -U_t + r\tau U_b + r\Omega_b + r\gamma_n \quad (3.48)$$

$$\frac{dU_b}{d\phi} = -r\tau U_n - r\Omega_n + r\gamma_b \quad (3.49)$$

$$\frac{d\Omega_b}{d\phi} = \Omega_n + rw_t \quad (3.43)$$

$$\frac{d\Omega_n}{d\phi} = -\Omega_t + r\tau \Omega_b + rw_n \quad (3.44)$$

$$\frac{d\Omega_t}{d\phi} = -r\tau \Omega_n + rw_b \quad (3.45)$$

$$\frac{dT_t}{d\phi} = T_n - rp_t \quad (3.35)$$

$$\frac{dT_n}{d\phi} = -T_t + r\tau T_b - rp_n \quad (3.36)$$

$$\frac{dT_b}{d\phi} = -\tau T_n - rp_b \quad (3.37)$$

$$\frac{dM_t}{d\phi} = M_n - rm_t \quad (3.39)$$

$$\frac{dM_n}{d\phi} = -M_t + r\tau M_b + rT_b - rm_n \quad (3.40)$$

$$\frac{dM_b}{d\phi} = -r\tau M_n - rT_n - rm_b \quad (3.41)$$

elde edilir.

3.3. Düzlemsel Çubuklar

Düzlemsel hal, eksen eğrisi bir düzlem içinde yer alan çubuklardır. Düzlemsel çubuklarda tabii burulma,

$$\tau = 0 \quad (3.50)$$

ve binormal birim vektör,

$$\vec{b} = \text{sabit} \quad (3.51)$$

Düzlemsel çubukların statik denklemleri elde edilirken, çubuk malzemesinin elastik ve izotrop olduğu, kesitin kayma ve geometrik merkezlerinin çakıştığı, çift simetrlili kesitlerde birinci mertebe teorisinin geçerli olduğu, kesit düzleminde bulunan $\vec{n}$, $\vec{b}$ birim vektörleri ile kesit asal eksenlerinin çakıştığı kabulü yapılacaktır (Aslan 2016).

$$[C] = \begin{bmatrix} C_{tt} & 0 & 0 \\ 0 & C_{nn} & 0 \\ 0 & 0 & C_{bb} \end{bmatrix} \quad (3.52)$$

$$[D] = \begin{bmatrix} D_{tt} & 0 & 0 \\ 0 & D_{nn} & 0 \\ 0 & 0 & D_{bb} \end{bmatrix} \quad (3.53)$$

Birim şekil değiştirmeler,

$$\begin{aligned}
\gamma_t &= \frac{T_t}{C_{tt}} \\
\gamma_n &= \frac{T_n}{C_{nn}} \\
\gamma_b &= \frac{T_b}{C_{bb}}
\end{aligned} \tag{3.54}$$

ve birim dönmeler

$$\begin{aligned}
w_t &= \frac{M_t}{D_{tt}} \\
w_n &= \frac{M_n}{D_{nn}} \\
w_b &= \frac{M_b}{D_{bb}}
\end{aligned} \tag{3.55}$$

skaler denklemlerde yerlerine konulacaktır. Eksenel ve kayma rijitlikleri ile burulma ve eğilme rijitlik terimleri sırasıyla,

$$\begin{aligned}
C_{tt} &= EA \\
C_{nn} &= GA/\alpha_n \\
C_{bb} &= GA/\alpha_b \\
D_{tt} &= GI_t \\
D_{nn} &= EI_n \\
D_{bb} &= EI_b
\end{aligned} \tag{3.56}$$

dikkate alınacaktır. Burada E elastisite modülü, A kesit alanı, G kayma modülü, α_n ve α_b kayma düzeltme faktörleri, I_t burulma atalet momenti, I_n ve I_b ise $\vec{n}$ ve $\vec{b}$ eksenlerine göre eğilme atalet momentlerini göstermektedir.

Şimdi bu ifadeler on iki adet birinci mertebeden skaler denklemlerde yerine konulursa,

$$\frac{dU_t}{d\phi} = U_n + r \frac{T_t}{C_{tt}} \quad (3.57)$$

$$\frac{dU_n}{d\phi} = -U_t + r\Omega_b + r \frac{T_n}{C_{nn}} \quad (3.58)$$

$$\frac{dU_b}{d\phi} = -r\Omega_n + r \frac{T_b}{C_{bb}} \quad (3.59)$$

$$\frac{d\Omega_t}{d\phi} = \Omega_n + r \frac{M_t}{D_{tt}} \quad (3.60)$$

$$\frac{d\Omega_n}{d\phi} = -\Omega_t + r \frac{M_n}{D_{nn}} \quad (3.61)$$

$$\frac{d\Omega_b}{d\phi} = r \frac{M_b}{D_{bb}} \quad (3.62)$$

$$\frac{dT_t}{d\phi} = T_n - rp_t \quad (3.63)$$

$$\frac{dT_n}{d\phi} = -T_t - rp_n \quad (3.64)$$

$$\frac{dT_b}{d\phi} = -rp_b \quad (3.65)$$

$$\frac{dM_t}{d\phi} = M_n - rm_t \quad (3.66)$$

$$\frac{dM_n}{d\phi} = -M_t + rT_b - m_n \quad (3.67)$$

$$\frac{dM_b}{d\phi} = -rT_n - rm_b \quad (3.68)$$

şekilde düzenlenir.

Elde edilen yukarıdaki on iki adet birinci mertebeden diferansiyel denklemler incelendiğinde, iki grup dikkat çekmektedir. Birinci grupta $U_t, U_n, \Omega_b, T_t, T_n, M_b$ gibi altı büyüklük, sadece (3.57.), (3.58.), (3.62.), (3.63.), (3.64.) ve (3.68.) denklemlerinde bulunmakta ve ikinci grupta da $U_b, \Omega_t, \Omega_n, T_b, M_t, M_n$ gibi altı büyüklük (3.59.), (3.60.), (3.61.), (3.65.), (3.66.) ve (3.67.) denklemlerinde yer almaktadır. Böylece elde edilen oniki denklem altışar adet olmak üzere iki gruba ayrılırsa, hesaplamalar için büyük kolaylık sağlanacaktır.

- I. Grup: $U_t, U_n, \Omega_b, T_t, T_n, M_b$
- II. Grup: $U_b, \Omega_t, \Omega_n, T_b, M_t, M_n$

Birinci grupta bilinmeyen kuvvet ve kuvvet çifti, T_t, T_n, M_b gibi iç kuvvetler $\vec{t}, \vec{n}$ düzleminde ve çubuk ekseninin bulunduğu düzlemde dir. Bu gruptaki diğer büyüklükler U_t, U_n, Ω_b gibi yer değiştirme ve dönmeler ise düzlem içinde bulunan değerlerdir. Ayrıca, dış kuvvet bileşenleri olan p_t, p_n ve m_b değerleri de aynı düzlemde etmektedir. O halde birinci gruptaki etkiler ve sonuçlar çubuk düzlemi içinde bulunmaktadır.

İkinci grupta yer alan T_b, M_t, M_n iç kuvvet ve kuvvet çiftine ait tesirler düzlemine dik doğrultuda olmaktadır ve aynı zamanda U_b, Ω_t, Ω_n gibi yer değiştirme ve dönmeler de düzlemine dik doğrultudadır. Ayrıca dış kuvvet bileşenleri olan p_b, m_t, m_n değerleri düzlemine dik etki etmektedir. O halde ikinci gruptaki etki ve sonuçlar düzlemine dik olmaktadır.

3.3.1. Daire Eksenli Çubukları İçin Kanonik Denklemler

Bu grupta düzlemsel daire eksenli çubukların düzlemi içinde yüklü hal için kanonik halde elde edilmiş denklemler verilmektedir. Daire eksenli çubuklarda (r) sabit olup notasyonda (r) yerine (R) kullanılacaktır.

$$\frac{dU_t}{d\phi} = U_n + R \frac{T_t}{c_{tt}} \quad (3.57)$$

$$\frac{dU_n}{d\phi} = -U_t + R \Omega_b + R \frac{T_n}{c_{nn}} \quad (3.58)$$

$$\frac{d\Omega_b}{d\phi} = R \frac{M_b}{D_{bb}} \quad (3.62)$$

$$\frac{dT_t}{d\phi} = T_n - R p_t \quad (3.63)$$

$$\frac{dT_n}{d\phi} = -T_t - R p_n \quad (3.64)$$

$$\frac{dM_b}{d\phi} = -RT_n - R M_b \quad (3.68)$$

3.3.2. Doğru Eksenli Çubuklar İçin Kanonik Denklemler

Bu grupta ise, düzlemsel doğru eksenli çubukların düzlemi içinde yüklü hal için kanonik halde elde edilmiş denklemler verilmektedir.

$$\frac{dU_t}{dx} = \frac{T_t}{c_{tt}} \quad (3.69)$$

$$\frac{dU_n}{dx} = \Omega_b + \frac{T_n}{c_{nn}} \quad (3.70)$$

$$\frac{d\Omega_b}{dx} = \frac{M_b}{D_{bb}} \quad (3.71)$$

$$\frac{dT_t}{dx} = -p_t \quad (3.72)$$

$$\frac{dT_n}{dx} = -p_n \quad (3.73)$$

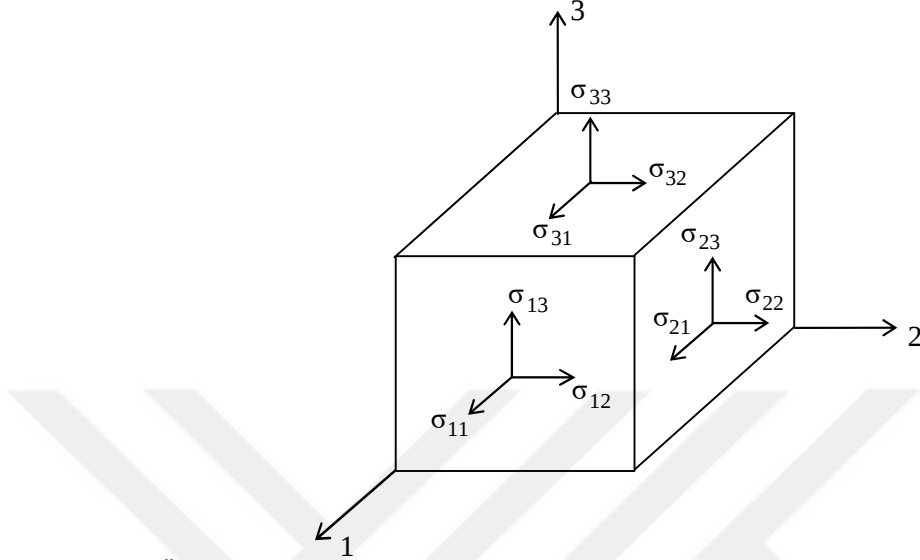
$$\frac{dM_b}{dx} = -T_n \quad (3.74)$$

3.4. Kompozit Malzemeli Çubuklar

Birbirlerinin zayıf yönünü düzelterek iki veya daha fazla malzemenin bir araya getirilmesiyle meydana gelen daha üstün özellikli malzemeye kompozit malzeme denilmektedir. Kompozit malzeme mikroskobik açıdan heterojen, makroskobik açıdan ise homojen malzeme gibi davranmaktadır.

3.4.1. Anizotropik Malzemelerin Gerilme Şekil Değiştirme Bağıntısı

Bir cismin herhangi bir noktasına etkiyen gerilmeler belli bir eksen takımına göre bileşenleri ile ifade edilirler. Bir düzleme etkiyen gerilme vektörünün üç bileşeni vardır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Üç Boyutlu Gerilme Durumu

σ_{ij} gerilme tansörü, üç düzleme etkiyen gerilmelerin dokuz bileşenden oluşmaktadır. Burada, gerilme tansöründeki i indisi gerilmenin etkidiği düzlemin normalini, j indisi ise gerilmenin doğrultusunu göstermektedir. σ_{ij} gerilme tansöründe $i=j$ normal gerilme, $i \neq j$ ise kayma gerilmesini simgelemektedir. Benzer şekilde, ε_{ij} şekil değiştirme tansörü de teşkil edilmektedir.

Gerilme ve şekil değiştirme tansörünün dokuz bileşeni olmakla birlikte moment denge koşulundan $\sigma_{ij} = \sigma_{ji}$ ve $\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ji}$ simetrik olduğu görülür. Buna göre de gerilme ve şekil değiştirme tansörlerinde altı bağımsız sabit bulunmaktadır.

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \text{simetrik} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ & & \sigma_{33} \end{bmatrix} \quad \varepsilon_{ij} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} & \varepsilon_{13} \\ \text{simetrik} & \varepsilon_{22} & \varepsilon_{23} \\ & & \varepsilon_{33} \end{bmatrix} \quad (3.68)$$

Çizelge 3.1. Kısaltılmış Notasyonda Gerilme ve Şekil Değiştirme Tansörü Bileşenleri

Gerilme		Şekil değiştirme	
Tansör notasyon	Kısaltılmış notasyon	Tansör notasyon	Kısaltılmış notasyon
σ_{11}	σ_1	ε_{11}	ε_1
σ_{22}	σ_2	ε_{22}	ε_2
σ_{33}	σ_3	ε_{33}	ε_3
$\tau_{23} = \sigma_{23}$	σ_4	$\gamma_{23} = 2\varepsilon_{23}$	ε_4
$\tau_{13} = \sigma_{13}$	σ_5	$\gamma_{13} = 2\varepsilon_{13}$	ε_5
$\tau_{12} = \sigma_{12}$	σ_6	$\gamma_{12} = 2\varepsilon_{12}$	ε_6

Kısaltılmış notasyon kullanarak lineer elastik malzeme için genelleştirilmiş Hooke Kanunu kapalı formda aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$\sigma_i = C_{ij} \varepsilon_j \quad (i, j = 1, 2, \dots, 6) \quad (3.69)$$

Burada C_{ij} rijitlik matrisini ifade etmekte ve en genel halde lineer elastik anizotropik malzeme için 36 eleman, 21 bağımsız sabit içermektedir.

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} & C_{35} & C_{36} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} & C_{45} & C_{46} \\ C_{51} & C_{52} & C_{53} & C_{54} & C_{55} & C_{56} \\ C_{61} & C_{62} & C_{63} & C_{64} & C_{65} & C_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{Bmatrix} \quad (3.70)$$

Eğer malzeme bir simetri düzlemine (monoclinic) sahip ise, rijitlik matrisinde 20 sıfırdan farklı eleman ve 13 bağımsız elastik sabiti içerir.

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & C_{16} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & C_{26} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & 0 & 0 & C_{36} \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & C_{45} & C_{46} \\ 0 & 0 & 0 & C_{54} & C_{55} & C_{56} \\ C_{61} & C_{62} & C_{63} & 0 & 0 & C_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{Bmatrix} \quad (3.70)$$

Eğer malzeme iki simetri düzlemine sahip ise (ortotropik) rijitlik matrisinde 12 sıfırdan farklı eleman ve 9 bağımsız elastik sabit içerir.

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & 0 \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & 0 \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & 0 & 0 & 0 \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{Bmatrix} \quad (3.70)$$

3.4.2. Ortotropik Malzemeler İçin Elastik Sabitler

Hooke kanununu, esneklik matrisi cinsinden de ifade etmek mümkündür. Esneklik matrisi S_{ij} , gerilme-şekil değiştirme bağıntısının tersi olarak tanımlanır.

Açık formda şekil değiştirme-gerilme ilişkisi,

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} & S_{15} & S_{16} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & S_{24} & S_{25} & S_{26} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & S_{34} & S_{35} & S_{36} \\ S_{41} & S_{42} & S_{43} & S_{44} & S_{45} & S_{46} \\ S_{51} & S_{52} & S_{53} & S_{54} & S_{55} & S_{56} \\ S_{61} & S_{62} & S_{63} & S_{64} & S_{65} & S_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{Bmatrix} \quad (3.71)$$

olarak verilmektedir. Kapalı formda ise aşağıdaki gibidir.

$$\varepsilon_j = S_{ij} \sigma_i \quad (3.72)$$

Esenklik matrisi, C_{ij} rijitlik matrisinin tersidir.

$$S_{ij} = C_{ij}^{-1} \quad (3.73)$$

Esneklik matrisi diyagonale göre simetrik olduğundan aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$\frac{v_{ij}}{E_{ii}} = \frac{v_{ji}}{E_{jj}} \quad (i,j=1,2,3) \quad (3.74)$$

(3.74) eşitliği yardımıyla şekil değiştirme-gerilme bağıntısı aşağıdaki hali almaktadır.

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_{11}} & \frac{-v_{12}}{E_{11}} & \frac{-v_{13}}{E_{11}} & 0 & 0 & 0 \\ & \frac{1}{E_{22}} & \frac{-v_{23}}{E_{22}} & 0 & 0 & 0 \\ & & \frac{1}{E_{33}} & 0 & 0 & 0 \\ & & & \frac{1}{G_{23}} & 0 & 0 \\ & & & & \frac{1}{G_{13}} & 0 \\ & & & & & \frac{1}{G_{12}} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{Bmatrix} \quad (3.75)$$

Simetrik

Esneklik matrisi S_{ij} ile rijitlik matrisi C_{ij} birbirlerinin tersi olmasından dolayı rijitlik matrisinin bileşenleri esneklik matrisi bileşenleri cinsinden ifade edilmektedir (Jones, 1975).

$$C_{11} = \frac{S_{22} S_{23} - S_{23}^2}{S} \quad C_{12} = \frac{S_{13} S_{23} - S_{12} S_{33}}{S} \quad (3.76.a)$$

$$C_{13} = \frac{S_{12} S_{23} - S_{13} S_{22}}{S} \quad C_{22} = \frac{S_{11} S_{33} - S_{13}^2}{S} \quad (3.76.b)$$

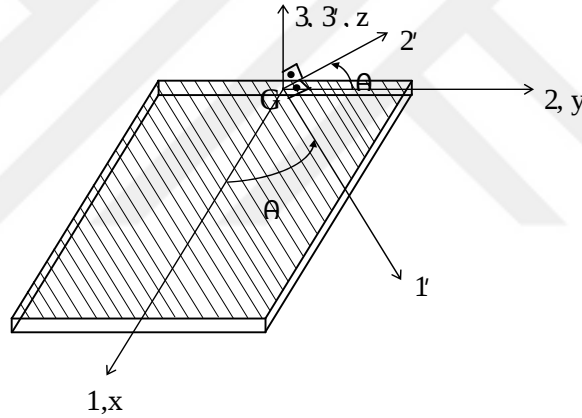
$$C_{23} = \frac{S_{12} S_{13} - S_{11} S_{23}}{s} \quad C_{33} = \frac{S_{11} S_{22} - S_{12}^2}{s} \quad (3.76.c)$$

$$C_{44} = \frac{1}{S_{44}} \quad C_{55} = \frac{1}{S_{55}} \quad C_{66} = \frac{1}{S_{66}} \quad (3.76.d)$$

Burada

$$s = S_{11} S_{22} S_{33} - S_{11} S_{23}^2 - S_{22} S_{13}^2 - S_{33} S_{12}^2 + 2 S_{12} S_{13} S_{23} \quad (3.77)$$

bağıntısı ile verilmektedir.



Şekil 3.10. Ortotropik tabaka için malzeme simetri düzlemi

Şekilden de görüldüğü gibi ortotropik malzemenin asal malzeme eksenleri ile çubuk eksenleri genelde çakışmazlar. Keyfi olarak seçilmiş tabaka doğrultusu ile çubuk eksenleri arasındaki açı θ ile gösterilmektedir. 1, 2, 3 koordinatlarında gerilme-şekil değiştirme ve şekil değiştirme-gerilme bağıntıları

$$\sigma_i = C'_{ij} \varepsilon_j \quad (i, j=1, 2, \dots, 6) \quad (3.77.a)$$

$$\varepsilon_i = S'_{ij} \sigma_j \quad (i, j=1, 2, \dots, 6) \quad (3.77.b)$$

şeklinde yazılabilir. Burada C'_{ij} ve S'_{ij} sırasıyla dönüştürülmüş rijitlik ve esneklik matrisleri olup, aşağıda verilen bağıntılar yardımı ile hesaplanmaktadır (Jones, 1975).

$$[C'] = [T]^{-1}[C][R][T][R]^{-1} \quad (3.78.a)$$

$$[S'] = [R][T]^{-1}[R]^{-1}[S][T] \quad (3.78.b)$$

Burada $m = \cos \theta$ ve $n = \sin \theta$ olmak üzere dönüşüm matrisleri aşağıdaki gibidir.

$$[T] = \begin{bmatrix} m^2 & n^2 & 0 & 0 & 0 & 2mn \\ n^2 & m^2 & 0 & 0 & 0 & -2mn \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m & -n & 0 \\ 0 & 0 & 0 & n & m & 0 \\ -mn & mn & 0 & 0 & 0 & m^2 - n^2 \end{bmatrix} \quad (3.79.a)$$

$$[R] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & 1 & 0 & 0 & 0 \\ & & & 2 & 0 & 0 \\ \text{simetrik} & & & & 2 & 0 \\ & & & & & 2 \end{bmatrix} \quad (3.79.b)$$

(3.78.a-b) eşitliklerin çözümünden dönüştürülmüş rijitlik ve esneklik matrisleri

$$[C'] = \begin{bmatrix} C'_{11} & C'_{12} & C'_{13} & 0 & 0 & C'_{16} \\ C'_{21} & C'_{22} & C'_{23} & 0 & 0 & C'_{26} \\ C'_{31} & C'_{32} & C'_{33} & 0 & 0 & C'_{36} \\ 0 & 0 & 0 & C'_{44} & C'_{45} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C'_{54} & C'_{55} & 0 \\ C'_{61} & C'_{62} & C'_{63} & 0 & 0 & C'_{66} \end{bmatrix} \quad (3.80)$$

$$[S'] = \begin{bmatrix} S'_{11} & S'_{12} & S'_{13} & 0 & 0 & S'_{16} \\ S'_{21} & S'_{22} & S'_{23} & 0 & 0 & S'_{26} \\ S'_{31} & S'_{32} & S'_{33} & 0 & 0 & S'_{36} \\ 0 & 0 & 0 & S'_{44} & S'_{45} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S'_{54} & S'_{55} & 0 \\ S'_{61} & S'_{62} & S'_{63} & 0 & 0 & S'_{66} \end{bmatrix} \quad (3.81)$$

olarak elde edilmektedir. Dönüştürülmüş rijitlik matrisinin elemanları aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$C'_{11} = m^4 C_{11} + 2n^2 m^2 C_{12} + n^4 C_{22} + 4n^2 m^2 C_{66} \quad (3.82.a)$$

$$C'_{12} = n^2 m^2 C_{11} + (n^4 + m^4) C_{12} + n^2 m^2 C_{22} - 4n^2 m^2 C_{66} \quad (3.82.b)$$

$$C'_{13} = m^2 C_{13} + n^2 C_{23} \quad (3.82.c)$$

$$C'_{16} = nm^3 C_{11} + nm(n^2 - m^2) C_{12} - n^3 m C_{22} + 2nm(n^2 - m^2) C_{66} \quad (3.82.d)$$

$$C'_{22} = n^4 C_{11} + 2n^2 m^2 C_{12} + m^4 C_{22} + 4n^2 m^2 C_{66} \quad (3.82.e)$$

$$C'_{23} = n^2 C_{13} + m^2 C_{23}$$

(3.82.f)

$$C'_{26} = nm^3 C_{11} + nm(m^2 - n^2) C_{12} - nm^3 C_{22} - 2nm(m^2 - n^2) C_{66} \quad (3.82.g)$$

$$C'_{33} = C_{33} \quad (3.82.h)$$

$$C'_{36} = nmC_{13} - nmC_{23} \quad (3.82.i)$$

$$C'_{44} = m^2C_{44} + n^2C_{55} \quad (3.82.j)$$

$$C'_{45} = -nmC_{44} + nmC_{55} \quad (3.82.k)$$

$$C'_{55} = n^2C_{44} + m^2C_{55} \quad (3.82.l)$$

$$C'_{66} = n^2m^2C_{11} - 2n^2m^2C_{12} + n^2m^2C_{22} + (m^2 - n^2)^2C_{66} \quad (3.82.m)$$

Dönüştürülmüş esneklik matrisinin elemanları hesaplanmış ve aşağıda verilmiştir.

$$S'_{11} = m^4S_{11} + 2n^2m^2S_{12} + n^4S_{22} + n^2m^2S_{66} \quad (3.83.a)$$

$$S'_{12} = n^2m^2S_{11} + (n^4 + m^4)S_{12} + n^2m^2S_{22} - n^2m^2S_{66} \quad (3.83.b)$$

$$S'_{13} = m^2S_{13} + n^2S_{23} \quad (3.83.c)$$

$$S'_{16} = 2nm^3S_{11} + 2nm(n^2 - m^2)S_{12} - 2n^3mS_{22} + nm(n^2 - m^2)S_{66} \quad (3.83.d)$$

$$S'_{22} = n^4S_{11} + 2n^2m^2S_{12} + m^4S_{22} + n^2m^2S_{66} \quad (3.83.e)$$

$$S'_{23} = n^2S_{13} + m^2S_{23} \quad (3.83.f)$$

$$S'_{26} = 2n^3mS_{11} + 2nm(m^2 - n^2)S_{12} - 2nm^3S_{22} + nm(m^2 - n^2)S_{66} \quad (3.83.g)$$

$$S'_{33} = S_{33} \quad (3.83.h)$$

$$S'_{36} = 2nmS_{13} - 2nmS_{23} \quad (3.83.i)$$

$$S'_{44} = m^2S_{44} + n^2S_{55} \quad (3.83.j)$$

$$S'_{45} = -nmS_{44} + nmS_{55} \quad (3.83.k)$$

$$S'_{55} = n^2S_{44} + m^2S_{55} \quad (3.83.l)$$

$$S'_{66} = 4n^2m^2S_{11} - 8n^2m^2S_{12} + 4n^2m^2S_{22} + (m^2 - n^2)^2S_{66} \quad (3.83.m)$$

3.4.3. Ortotropik Tabakalı Çubuklar İçin Elastik Sabitler

Klasik kiriş teorisinde $\sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_4 = 0$ kabulü yapılmaktadır. Buna göre şekil değiştirme-gerilme matrisi,

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} & S_{15} & S_{16} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & S_{24} & S_{25} & S_{26} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & S_{34} & S_{35} & S_{36} \\ S_{41} & S_{42} & S_{43} & S_{44} & S_{45} & S_{46} \\ S_{51} & S_{52} & S_{53} & S_{54} & S_{55} & S_{56} \\ S_{61} & S_{62} & S_{63} & S_{64} & S_{65} & S_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{Bmatrix} \quad (3.84)$$

şekilde olup matris ayrıklaşmasından sonra (3.85) ve (3.86) ilişkileri yazılabilir.

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{15} & S_{16} \\ S_{15} & S_{55} & S_{56} \\ S_{16} & S_{56} & S_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{Bmatrix} \quad (3.85)$$

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{21} & S_{25} & S_{26} \\ S_{35} & S_{35} & S_{36} \\ S_{41} & S_{46} & S_{46} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{Bmatrix} \quad (3.86)$$

(3.84) ifadesinin gerilme-şekil değıştirme cinsinden kapalı formu

$$\sigma_i = S_{ij}^{-1} \varepsilon_j \quad (i,j = 1,5,6) \quad (3.87)$$

(3.87) ifadesi (3.86.) ifadesinde yerine konulduğunda açık formda

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{21} & S_{25} & S_{26} \\ S_{35} & S_{35} & S_{36} \\ S_{41} & S_{46} & S_{46} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{11} & S_{15} & S_{16} \\ S_{15} & S_{55} & S_{56} \\ S_{16} & S_{56} & S_{66} \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{Bmatrix} \quad (3.88)$$

hali ve kapalı formda ise

$$\varepsilon_\beta = S_{\beta j} \alpha_{jk} \varepsilon_k \quad (j, k = 1,5,6 ; \beta = 2,3,4) \quad (3.89)$$

halini alır (Yıldırım, 199b). Burada

$$\alpha_{ij} = \alpha_{ji} = S_{ij}^{-1} \quad (i, j = 1,5,6) \quad (3.90)$$

ve

$$d = \begin{vmatrix} S_{11} & S_{15} & S_{16} \\ S_{15} & S_{55} & S_{56} \\ S_{16} & S_{56} & S_{66} \end{vmatrix} \quad (3.91)$$

olmak üzere α_{ij} matrisinin bileşenleri

$$\alpha_{11} = \frac{S_{55} S_{66} - S_{56}^2}{d} \quad \alpha_{15} = \frac{S_{16} S_{56} - S_{15} S_{66}}{d} \quad 3.92.a)$$

$$\alpha_{16} = \frac{S_{15} S_{56} - S_{16} S_{55}}{d} \quad \alpha_{55} = \frac{S_{11} S_{66} - S_{16}^2}{d} \quad (3.92.b)$$

$$\alpha_{56} = \frac{S_{15} S_{16} - S_{11} S_{56}}{d} \quad \alpha_{66} = \frac{S_{11} S_{55} - S_{15}^2}{d} \quad (3.92.c)$$

şekilde elde edilmektedir. Ortotropik tabaka için fiber doğrultularının 0° ve 90° olması halinde $\alpha_{15} = \alpha_{16} = \alpha_{56} = 0$ olmaktadır.

Buna göre lineer elastik, genelleştirilmiş Hooke kanunu

$$\sigma_i = Q_{ij} \varepsilon_j \quad (i,j= 1,5,6) \quad (3.93)$$

şeklinde indirgenmiş olur. Burada Q_{ij} indirgenmiş rijitlik matrisi olup aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Yıldırım, 1999b).

$$Q_{ij} = C_{ij} + C_{i\beta} S_{\beta k} \alpha_{kj} \quad (i,j,k = 1,5,6 ; \beta = 2,3,4) \quad (3.94)$$

Kısaltılmış notasyon kullanılarak indirgenmiş gerilme-şekil değiştirme bağıntısı

$$\tilde{\sigma}_i = \tilde{Q}_{ij} \tilde{\varepsilon}_j \quad (i,j= 1,2,3) \quad (3.95)$$

şekilde elde edilir ve transformasyon uygulanırsa, dönüştürülmüş ve indirgenmiş gerilme-şekil değiştirme bağıntısı

$$\tilde{\sigma}_i = \tilde{Q}'_{ij} \tilde{\varepsilon}_j \quad (i,j= 1,2,3) \quad (3.96)$$

halini alır. Ortotropik tabakalı çubuk için dönüştürülmüş ve indirgenmiş rijitlik matrisinin sıfırdan farklı elemanları,

$$\tilde{Q}'_{11} = C'_{11} + (C'_{12}S'_{12} + C'_{13}S'_{31})\alpha'_{11} + (C'_{12}S'_{26} + C'_{13}S'_{36})\alpha'_{61} \quad (3.97.a)$$

$$\tilde{Q}'_{12} = C'_{16} + (C'_{12}S'_{21} + C'_{13}S'_{31})\alpha'_{16} + (C'_{12}S'_{26} + C'_{13}S'_{36})\alpha'_{66} \quad (3.97.b)$$

$$\tilde{Q}'_{22} = C'_{66} + (C'_{62}S'_{21} + C'_{63}S'_{31})\alpha'_{16} + (C'_{62}S'_{26} + C'_{63}S'_{36})\alpha'_{66} \quad (3.97.c)$$

$$\tilde{Q}'_{22} = C'_{55} \quad (3.97.d)$$

şekilde elde edilir. İfadelerdeki α'_{11} , $\alpha'_{16} = \alpha'_{61}$ ve α'_{66} aşağıda verilmektedir.

$$\alpha'_{11} = \frac{S'_{66}}{S'_{11}S'_{66} - S'^2_{16}} \quad \alpha'_{16} = \alpha'_{61} = \frac{-S'_{66}}{S'_{11}S'_{66} - S'^2_{16}} \quad (3.98)$$

$$\alpha'_{66} = \frac{S'_{11}}{S'_{11}S'_{66} - S'^2_{16}} \quad (3.98)$$

3.4.4. Kompozit Çubuklar İçin Bünye Denklemleri

Kuvvet ve moment, rölatif birim uzama ve dönme cinsinden ifade edilebilir.

$$T_i = A_{ij} \tilde{\gamma}_{j^0} + B_{ij} \tilde{\omega}_{j^0} \quad (i, j = 1, 2, 3) \quad (3.99.a)$$

$$M_i = F_{ij} \tilde{\gamma}_{j^0} + D_{ij} \tilde{\omega}_{j^0} \quad (i, j = 1, 2, 3) \quad (3.99.b)$$

İfadelerdeki **A**, **B**, **F**, **D** matrisleri (3×3) boyutunda olup, kesit geometrisi ve malzeme özelliklerine bağlıdır ve aşağıdaki gibi verilmektedir (Yıldırım, 1999b).

$$A_{ij} = \int_A \tilde{Q}_{ij} dA \quad B_{ij} = \varepsilon_{mjk} \int_A \tilde{Q}_{im} x_k dA \quad (3.100.a)$$

$$F_{ij} = \varepsilon_{ikm} \int_A x_k \tilde{Q}_{mj} dA \quad D_{ij} = \varepsilon_{ihk} \varepsilon_{mjp} \int_A x_h x_p \tilde{Q}_{km} dA \quad (3.100.a)$$

(3.99.a-b) eşitliklerinin tersi alındığında bünye denklemleri

$$\tilde{\gamma}_{j^0} = A'_{ij} T_j + B'_{ij} M_j \quad (i, j = 1, 2, 3) \quad (3.101.a)$$

$$\tilde{\omega}_{j^0} = F'_{ij} T_j + D'_{ij} M_j \quad (i, j = 1, 2, 3) \quad (3.101.b)$$

yazılabilir. Burada

$$A' = A^* - B^* D^{*-1} F^*, \quad B' = B^* D^{*-1}, \quad F' = -D^{*-1} F^*, \quad D' = D^{*-1} \quad (3.102.a)$$

$$A^* = B^{-1}, \quad B^* = -A^{-1} B, \quad F^* = F A^{-1}, \quad D^* = D - F A^{-1} B \quad (3.102.b)$$

(3.101.a-b) ifadeleri ile elde edilen bünye denklemleri, geometrik uygunluk denklemlerinde yerine konulduğunda,

$$\frac{\partial U^0}{\partial s} = A' T + B' M + \Omega^0 \times t \quad (3.103.a)$$

$$\frac{\partial \Omega^0}{\partial s} = F' T + D' M \quad (3.103.b)$$

şekilde elde edilir.

A, B, F ve D matrisleri çubuk kesitinin indirgenmiş malzeme sabitlerini göstermekte olup her bir tabaka malzemesinin rijitlik terimlerinin toplamından elde edilmektedir. A', B', F' ve D' Kompozit çubuklar ile ilgili bünye denklemleri ve çubukların toplam rijitliklerini içeren malzeme matrislerinin tersinden elde edilmektedir (Rasooli ve Temel, 2019).

x_2 ve x_3 asal eksenler olup, kesit bu iki eksene göre geometri ve malzeme bakımından simetrik olduğu düşünülürse

$$\mathbf{B} = \mathbf{F} = \mathbf{0} \quad (3.104)$$

olmaktadır. $\mathbf{A}$ ve $\mathbf{D}$ matrislerinin sıfırdan farklı elemanları, indirgenmiş rijitlik matrisi cinsinden,

$$A_{11} = \sum_{k=1}^N \tilde{Q}'^{(k)}_{11} A^{(k)} \quad A_{12} = \sum_{k=1}^N \tilde{Q}'^{(k)}_{12} A^{(k)} \quad (3.105.a)$$

$$A_{22} = \sum_{k=1}^N \tilde{Q}'^{(k)}_{22} A^{(k)} \quad A_{33} = \sum_{k=1}^N \tilde{Q}'^{(k)}_{33} A^{(k)} \quad (3.105.b)$$

$$D_{11} = \sum_{k=1}^N \tilde{Q}'^{(k)}_{33} I_3^{(k)} + \sum_{k=1}^N \tilde{Q}'^{(k)}_{22} I_2^{(k)} \quad (3.105.c)$$

$$D_{12} = - \sum_{k=1}^N \tilde{Q}'^{(k)}_{21} I_2^{(k)} \quad (3.105.d)$$

$$D_{22} = \sum_{k=1}^N \tilde{Q}'^{(k)}_{11} I_2^{(k)} \quad D_{33} = \sum_{k=1}^N \tilde{Q}'^{(k)}_{11} I_3^{(k)} \quad (3.105.e)$$

ifade edilir. Dönüştürülmüş $\mathbf{A}'$ ve $\mathbf{D}'$ matrisleri (3.102.a-b) eşitlikleri yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$A_{11}' = \frac{A_{22}}{A_{11} A_{22} - A_{12}^2} \quad A_{12}' = - \frac{A_{12}}{A_{11} A_{22} - A_{12}^2} \quad (3.106.a)$$

$$A_{22}' = \frac{A_{11}}{A_{11} A_{22} - A_{12}^2} \quad A_{33}' = \frac{1}{A_{33}} \quad (3.106.b)$$

$$D_{11}' = \frac{D_{22}}{D_{11}D_{22} - D_{12}^2} \quad D_{12}' = -\frac{D_{12}}{D_{11}D_{22} - D_{12}^2} \quad (3.106.c)$$

$$D_{22}' = \frac{D_{11}}{D_{11}D_{22} - D_{12}^2} \quad D_{33}' = \frac{1}{D_{33}} \quad (3.106.d)$$

3.5. Tabakalı Kompozit Daire Eksenli Çubuklar

Kesitin kayma merkezi ile ağırlık merkezinin üst üste düştüğü kabul edilirse hareketli koordinat takımında $\vec{n}$, $\vec{b}$ hareketli eksenler asal eksenler olmaktadır. Seçilen kesitin geometri ve malzeme bakımından simetrik olduğu düşünülürse, hareketli dik koordinat takımında N adet kompozit tabakadan oluşan daire eksenli çubukların düzlem içi statik davranışını idare eden adi diferansiyel denklem takımı, kanonik formda aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

$$\frac{dU_t}{d\phi} = U_n + RA_{11}'T_t \quad (3.107)$$

$$\frac{dU_n}{d\phi} = -U_t + R\Omega_b + RA_{22}'T_n \quad (3.108)$$

$$\frac{d\Omega_b}{d\phi} = RD_{33}'M_b \quad (3.109)$$

$$\frac{dT_t}{d\phi} = T_n - Rp_t \quad (3.110)$$

$$\frac{dT_n}{d\phi} = -T_t - Rp_n \quad (3.111)$$

$$\frac{dM_b}{d\phi} = -RT_n - Rm_b \quad (3.112)$$

3.6. Tabakalı Kompozit Doğru Eksenli Çubuklar

N adet kompozit tabakadan oluşan doğru eksenli çubukların $\vec{n}$, $\vec{b}$ hareketli koordinat takımında düzlem içi statik davranışını idare eden adi diferansiyel denklem takımı kanonik formda aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

$$\frac{dU_t}{dx} = A_{11}' T_t \quad (3.107.a)$$

$$\frac{dU_n}{dx} = \Omega_b + \alpha_n A_{22}' T_n \quad (3.108.a.)$$

$$\frac{d\Omega_b}{dx} = D_{33}' M_b \quad (3.109.a)$$

$$\frac{dT_t}{dx} = -p_t \quad (3.110.a)$$

$$\frac{dT_n}{dx} = -p_n \quad (3.111.a)$$

$$\frac{dM_b}{dx} = -T_n \quad (3.112.a)$$

4. ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Bu bölümde kesit ve geometri özellikleri eksen boyunca değişen, düzlemi içinde yüklü, düzlemsel doğru ve daire eksenli çubuklardan oluşan çerçevelerin statik analizi yapılmaktadır. Olayı idare eden diferansiyel denklemlerin çözümünde TFY kullanılmaktadır. Bu çalışmada ele alınan örneklerin çözümünde TFY'ye dayalı rijitlik matrisi metodu kullanılmaktadır. TFY'de olayı idare eden sabit ve/veya değişken katsayılı adi diferansiyel denklemler esas alınmakta ve sınır değer problemleri başlangıç değer problemine indirgenerek başlangıç şartları yardımı ile çözümler yapılmaktadır. Mengi (1989); Haktanır ve Kırıl (1991), TFY'yi düzlemsel çubukların statikine doğrudan uygulamışlardır. Bu yöntemde iki noktalı sınır değer problemi başlangıç değer problemine indirgenmektedir. Başlangıç değer probleminin çözümü için RK5 algoritması Chapra ve Canale (2003) kullanılmıştır. TFY bilgisayarda kolayca kodlanabilir olup genel sınır şartlarına sahip fiziksel problemlerin çözümünde büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

4.1. Direk Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yöntemi

Birinci mertebeden n adet diferansiyel denklem,

$$\frac{d\{Y(\phi)\}}{d\phi} = [A(\phi)]_{n \times n} \{Y(\phi)\}_{n \times 1} + \{F(\phi)\}_{n \times 1} \quad (4.1)$$

şeklinde olsun. Burada ϕ bağımsız değişken, $\{Y\}$ bilinmeyen bağımlı değişkenleri içeren kolon matrisi, $[A]$ diferansiyel geçiş kare matrisi, $\{F\}$ yükleme terimlerini içeren kolon matristir.

Çözümde kullanılacak olan n adet sınır şartından r adeti başlangıçta, $n-r$ adeti ise çözüm bölgesinin sonundadır.

$$\sum_{j=1}^n b_{ij} y_j(a) = \alpha_i \quad (i=1, \dots, r) \quad (4.2)$$

$$\sum_{j=1}^n d_{ij} y_j(b) = \beta_i \quad (i=1, \dots, n-r) \quad (4.3)$$

Problemin sınır şartları, bilinmeyen bağımlı değişkenleri içeren vektör $\{Y\}$ 'nin çözüm bölgesinin başlangıcındaki ve sonundaki bileşenlerinin lineer kombinasyonları olarak da ifade edilebilir.

(4.1.) de verilen ifadenin homojen ve özel çözümünün problemin sınır şartlarından bağımsız olarak, tamamen çözüm bölgesi başlangıcında belirlenen sınır şartları ile bulunması esasına dayanmaktadır.

$$\{Y(\phi)\} = \sum_{m=1}^n C_m [\mathbf{U}^{(m)}(\phi)] + \{\mathbf{V}(\phi)\} \quad (4.4)$$

Burada C_m ler integrasyon sabitleri olup, çözüm bölgesi başlangıcında ve sonunda verilmiş olan sınır şartlarından elde edilecektir. m 'inci sınır şartına ait homojen çözüm $[\mathbf{U}^{(m)}(\phi)]$ ve homojen olmayan sınır şartlarından elde edilen çözüm (özel çözüm) $\{\mathbf{V}(\phi)\}$ olarak gösterilmiştir.

n adet homojen sınır şartının çözümünden elde edilen homojen çözümler,

$$[\mathbf{U}(\phi)]_{n \times n} = [\{\mathbf{U}^{(1)}\}_{n \times 1}, \{\mathbf{U}^{(2)}\}_{n \times 1}, \dots, \{\mathbf{U}^{(m)}\}_{n \times 1}] \quad (4.5)$$

denklem (4.4) aşağıdaki gibi düzenlenebilir.

$$\{Y(\phi)\} = [\mathbf{U}(\phi)]\{C\} + \{\mathbf{V}(\phi)\} \quad (4.6)$$

C_m sabitleri elde edildikten sonra, çözüm bölgesinde istenilen yerdeki bağımlı değişkenlerin değerleri kolaylıkla hesaplanabilir.

4.1.1. Homojen Çözümün Elde Edilmesi

$$\frac{d\{U^{(m)}\}}{d\phi} = [A]\{U^{(m)}\} \quad (m=1,\dots,n) \quad (4.7)$$

(4.1.) de ifade edilen denklemin homojen hali (4.7.) de verilen denklem n adet farklı başlangıç şartı için n kere çözülmesi gerekir. Böylece $n \times n$ adet çözüm elde edilir. $\{U^{(m)}\}$, $\{U\}$ bilinmeyen vektörünün çözüm bölgesi başlangıcında m 'inci elemanına 1, diğerlerine 0 verilmesi durumunda elde edilen çözüm demektir.

$m=1$	$m=2$	$m=n$
$U_1(a)=1$	$U_2(a)=0$	$U_n(a)=0$
$U_1(a)=0$	$U_2(a)=1$	$U_n(a)=0$
....		
$U_1(a)=0$	$U_2(a)=0$	$U_n(a)=1$

(4.8)

Böylece bu şekilde elde edilmiş olan $[U]$ kare matrisinin, çözüm bölgesinin başlangıcındaki değerleri birim matrise karşılık gelmektedir.

$$[U(a)] = [I] \quad (4.9)$$

4.1.2. Özel Çözümün Elde Edilmesi

$$\frac{d\{V\}}{d\phi} = [A]\{V\} + \{F\} \quad (4.10)$$

Denklem (4.1) de verilen genel denklemin özel çözümü (4.10) de verilmiş olup,

$$\{V(a)\} = \{0\} \quad (4.11)$$

sınır şartları ile bir defa çözümlmesinden elde edilir.

$$\begin{array}{c} \underline{m = n} \\ V_1(a)=0 \\ V_2(a)=0 \\ \dots \\ \dots \\ V_n(a)=0 \end{array} \quad (4.12)$$

4.2. TFY'ye Dayalı Rijitlik Matrisi Yöntemi

Doğru ve daire eksenli çubuklar için 6x6'lık eleman rijitlik matrisi elde edilmektedir. Eleman serbestlik derecelerinden birincisine bir, diğerlerine sıfır değeri verilerek bulunur. Böylece eleman rijitlik matrisinin ilk kolunu oluşturulmaktadır. Bu şekilde devam edilerek diğer kolonlar da oluşturulur.

$$[k]^{(e)}_{t,n,b} = \begin{bmatrix} -k_{11} & -k_{12} & -k_{13} & -k_{14} & -k_{15} & -k_{16} \\ -k_{21} & -k_{22} & -k_{23} & -k_{24} & -k_{25} & -k_{26} \\ -k_{31} & -k_{32} & -k_{33} & -k_{34} & -k_{35} & -k_{36} \\ k_{41} & k_{42} & k_{43} & k_{44} & k_{45} & k_{46} \\ k_{51} & k_{52} & k_{53} & k_{54} & k_{55} & k_{56} \\ k_{61} & k_{62} & k_{63} & k_{64} & k_{65} & k_{66} \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

Eleman yük vektörünü oluşturmak için elemanın her iki ucu ankastre kabul edilir. Çubuk üzerinde bulunan yayılı yük için ankastrelik uç kuvvetleri de hesaplanır.

$$\{\mathbf{f}\}^{(e)}_{t,n,b} = \begin{Bmatrix} f_{11} \\ f_{21} \\ f_{31} \\ f_{41} \\ f_{51} \\ f_{61} \end{Bmatrix} \quad (4.14)$$

Eleman denklemi aşağıdaki şekilde yazılmaktadır.

$$\{\mathbf{p}\} = [\mathbf{k}]\{\mathbf{d}\} + \{\mathbf{f}\} \quad (4.15)$$

Her düğümde üç serbestlik derecesi olmak üzere, bunun ikisi deplasman üçüncüsü dönmedir. Elemanın başlangıçtaki düğümü i , diğer ucu ise j düğümü olmak üzere elemanın düğüm deplasmanları ve uç kuvvetleri,

$$\{\mathbf{d}\} = \{U_t(\phi_i), U_n(\phi_i), \Omega_b(\phi_i), U_t(\phi_j), U_n(\phi_j), \Omega_b(\phi_j)\}^T \quad (4.16)$$

$$\{\mathbf{p}\} = \{T_t(\phi_i), T_n(\phi_i), M_b(\phi_i), T_t(\phi_j), T_n(\phi_j), M_b(\phi_j)\}^T \quad (4.17)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Eleman rijitlik matrisini hesaplamak için (4.1) ifadesindeki eleman uç deplasmanlarına sırasıyla birim deplasman uygulanır. Bu işlem 6 kez tekrarlanır. Ankastrelik uç kuvvetleri ise, bütün uç deplasmanları sıfıra eşitleyerek (4.1.) denkleminin çözümünden hesaplanmaktadır.

$$\{\mathbf{f}\} = \{-T_t(\phi_i), -T_n(\phi_i), -M_b(\phi_i), T_t(\phi_j), T_n(\phi_j), M_b(\phi_j)\}^T \quad (4.18)$$

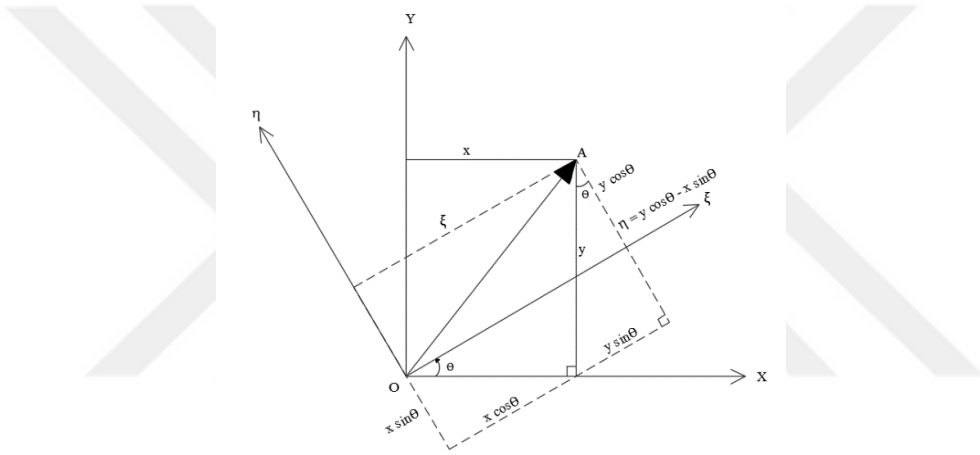
Eleman koordinatlarında elde edilen bu denklemleri sistem koordinatlarına aktarmak için aşağıdaki transformasyon işlemi uygulanmalıdır.

$$[\mathbf{k}'] = [\mathbf{T}]^T [\mathbf{k}] [\mathbf{T}] ; \quad [\mathbf{f}'] = [\mathbf{T}]^T [\mathbf{f}] \quad (4.19)$$

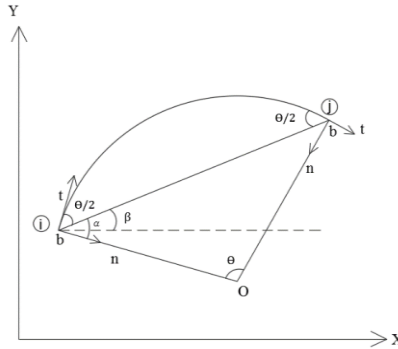
Burada T transformasyon (dönüşüm) matrisi olup aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

4.2.1. Dönüşüm Matrisi

Sistemdeki elemanlar arası geçişte elemanların teğetleri çakışmıyorsa geçiş dönüşüm matrisi ile sağlanmaktadır. Bunun için ortak bir koordinat sistemi belirlenir ve bütün elemanların kodlamaları bu sistemde yapılır. Bu ortak koordinat takımına sistem koordinatları adı verilir.



Şekil 4.1. Doğrusal elemanın (x, y, z) takımında koordinat dönüşümü



Şekil 4.2. Dairesel elemanın $(\vec{t}, \vec{n}, \vec{b})$ takımında koordinat dönüşümü

Doğru eksenli elemanın koordinat dönüşümü için; Şekil 4.1 den ξ, η ile x, y koordinatları arasında aşağıdaki bağıntılar elde edilir.

$$\xi = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (4.20)$$

$$\eta = y \cos \theta - x \sin \theta \quad (4.21)$$

Matris formunda ise aşağıdaki şekli alır.

$$\begin{pmatrix} \xi \\ \eta \\ z \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (4.22)$$

Daire eksenli elemanın koordinat dönüşümü, Şekil 4.2 den elde edilir. i ucu için (t, n, b) takımına geçilirse

$$t = y \cos(-\alpha) - x \sin(-\alpha) \quad (4.23)$$

$$n = x \cos(-\alpha) + y \sin(-\alpha) \quad (4.24)$$

burada

$$\alpha + \frac{\theta}{2} = \frac{\pi}{2} \quad (4.25)$$

(4.25) eşitliinden α çekilirse

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \frac{\theta}{2} \quad (4.26)$$

elde edilir. (4.26) eşitliği (4.23) ve (4.24) denklemlerinde yerine konulup çözülürse,

$$t = y \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) + x \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (4.27)$$

$$n = x \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) - y \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (4.28)$$

elde edilir. Matris formatında yazıldığında,

$$\begin{Bmatrix} t \\ n \\ b \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \frac{\theta}{2} & \sin \frac{\theta}{2} & 0 \\ \sin \frac{\theta}{2} & -\cos \frac{\theta}{2} & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x \\ y \\ z \end{Bmatrix} \quad (4.29)$$

Buradan sistem koordinat takımına geçilirse,

$$x = x \cos(\beta) + y \sin(\beta) \quad (4.30)$$

$$y = y \cos(\beta) - x \sin(\beta) \quad (4.31)$$

yazılır. Bu denklemler matris formunda yazıldığında

$$\begin{Bmatrix} x \\ y \\ z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta & \sin \beta & 0 \\ -\sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix} \quad (4.32)$$

şeklini alır. Bu denklem (4.29) da yerine konulursa:

$$\begin{Bmatrix} t \\ n \\ b \end{Bmatrix} = [T]_i \begin{Bmatrix} x \\ y \\ z \end{Bmatrix} \quad (4.33)$$

sonucu elde edilir. $[T]_i$ 'nin açık ifadesi için

$$my = \cos \beta \quad (4.34)$$

$$ny = \sin \beta \quad (4.35)$$

kabulü yapılırsa,

$$[T]_i = \begin{bmatrix} my \cos(\frac{\theta}{2}) - ny \sin(\frac{\theta}{2}) & ny \cos(\frac{\theta}{2}) + my \sin(\frac{\theta}{2}) & 0 \\ my \sin(\frac{\theta}{2}) + ny \cos(\frac{\theta}{2}) & ny \sin(\frac{\theta}{2}) - my \cos(\frac{\theta}{2}) & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (4.36)$$

matrisi bulunur. (4.36), dairesel çubuğun i ucunda (t,n,b) takımı ile ortak (X,Y,Z) takımı arasındaki dönüşümü göstermektedir. Benzer şekilde j ucu için dönüşüm matrisi $[T]_i$ de $(\frac{\theta}{2})$ yerine $(-\frac{\theta}{2})$ konulması ile elde edilir. Bir çubuk elemanı için dönüşüm matrisi aşağıda verilmektedir:

$$[T] = \begin{bmatrix} [T]_i & \underline{0} \\ \underline{0} & [T]_j \end{bmatrix}_{6 \times 6} \quad (4.37)$$

Bu şekilde sistem koordinatlarında elde edilen eleman matrislerinin uygun bileşenleri kullanılarak, kodlama tekniği ile sistem rijitlik matrisi ve sistem yük vektörü oluşturulmaktadır.

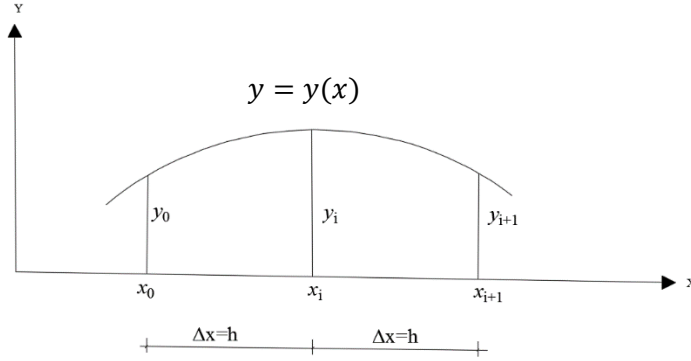
4.2.2. Beşinci Mertebe Runge-Kutta Algoritması

Bir adet diferansiyel denklemler için 5. mertebe Runge kutta algoritması Chapra ve Canale (2003) de verilmektedir. Bu kısımda iki adet diferansiyel denklem takımı için 5. mertebe Runge-Kutta (RK5) algoritması aşağıda özetlenmiştir. Diferansiyel denklemler ve başlangıç şartları,

$$\begin{aligned} y'_1 &= f_1(x, y_1, y_2) \\ y'_2 &= f_2(x, y_1, y_2) \end{aligned}$$

$$y_1(x_0) = y_1(0)$$

$$y_2(x_0) = y_2(0)$$



Şekil 4.3. Runge –Kutta fonksiyonu

olsun. İki denklem için kullanılacak genel 5. Mertebe Runge-Kutta algoritması aşağıda verilmiştir.

$$y_1(i+1) = y_1(i) + \frac{1}{90}(7k_1 + 32k_3 + 12k_4 + 32k_5 + 7k_6)h$$

$$y_2(i+1) = y_2(i) + \frac{1}{90}(7l_1 + 32l_3 + 12l_4 + 32l_5 + 7l_6)h$$

Burada sabitler,

$$k_1 = f_1(x_i, y_{1i}, y_{2i})$$

$$l_1 = f_2(x_i, y_{1i}, y_{2i})$$

$$k_2 = f_1(x_i + \frac{1}{4}h, y_{1i} + \frac{1}{4}k_1h, y_{2i} + \frac{1}{4}l_1h)$$

$$l_2 = f_2(x_i + \frac{1}{4}h, y_{1i} + \frac{1}{4}k_1h, y_{2i} + \frac{1}{4}l_1h)$$

$$k_3 = f_1(x_i + \frac{1}{4}h, y_{1i} + \frac{1}{8}k_1h + \frac{1}{8}k_2h, y_{2i} + \frac{1}{8}l_1h + \frac{1}{8}l_2h)$$

$$l_3 = f_2(x_i + \frac{1}{4}h, y_{1i} + \frac{1}{8}k_1h + \frac{1}{8}k_2h, y_{2i} + \frac{1}{8}l_1h + \frac{1}{8}l_2h)$$

$$k_4 = f_1(x_i + \frac{1}{2}h, y_{1i} - \frac{1}{2}k_2h + k_3h, y_{2i} - \frac{1}{2}l_2h + \frac{1}{2}l_3h)$$

$$l_4 = f_2(x_i + \frac{1}{2}h, y_{1i} - \frac{1}{2}k_2h + k_3h, y_{2i} - \frac{1}{2}l_2h + \frac{1}{2}l_3h)$$

$$k_5 = f_1(x_i + \frac{3}{4}h, y_{1i} + \frac{3}{16}k_1h + \frac{9}{16}k_4h, y_{2i} + \frac{3}{16}l_1h + \frac{9}{16}l_4h)$$

$$l_5 = f_2(x_i + \frac{3}{4}h, y_{1i} + \frac{3}{16}k_1h + \frac{9}{16}k_4h, y_{2i} + \frac{3}{16}l_1h + \frac{9}{16}l_4h)$$

$$k_6 = f_1(x_i + h, y_{1i} - \frac{3}{7}k_1h + \frac{2}{7}k_2h + \frac{12}{7}k_3h - \frac{12}{7}k_4h + \frac{12}{7}k_5h, y_{2i} - \frac{3}{7}l_1h + \frac{2}{7}l_2h + \frac{12}{7}l_3h - \frac{12}{7}l_4h + \frac{12}{7}l_5h)$$

$$l_6 = f_2(x_i + h, y_{1i} - \frac{3}{7}k_1h + \frac{2}{7}k_2h + \frac{12}{7}k_3h - \frac{12}{7}k_4h + \frac{12}{7}k_5h, y_{2i} - \frac{3}{7}l_1h + \frac{2}{7}l_2h + \frac{12}{7}l_3h - \frac{12}{7}l_4h + \frac{12}{7}l_5h)$$

şeklinde tarif edilmektedir. Burada integrasyon adım aralığı, $\Delta x = h$ seçilmektedir.



5. SAYISAL UYGULAMALAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada ele alınan problemler, TFY'ye dayalı Rijitlik Matrisi yöntemi ve ANSYS 15 sürümü bilgisayar programı ile çözülmüştür. Eksenel ve kayma deformasyon etkileri dikkate alınarak yapılan çözümler için, RK5 algoritması kullanılarak Fortran dilinde genel amaçlı bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Hazırlanan bilgisayar programının veri dosyası hazırlama kılavuzu **EK-A** da verilmiştir. **DUZLEM-DDKOM-D2** programının exe hali ve problemlere ait veri dosyaları yazardan temin edilebilir. Hazırlanan programın sonuçlarını doğrulamak amacıyla literatürde mevcut olan, farklı düzlem içi yükleme durumlarına sahip doğru ve daire eksenli çubuklardan oluşan, izotropik malzemeli çerçeve sistemleri ele alınmıştır. Bu bölümde ele alınan tüm problemlerin çözümünde RK5 algoritması kullanmıştır. Doğru ve daire eksenli düzlemsel üniform ve değişken kesitli çubuklardan oluşan tabakalı kompozit malzemeli çerçeve sistemleri ele alınmıştır. Bu çerçeve sistemleri farklı yükleme durumları ile farklı tabakalanma açıları için TFY ile sayısal olarak çözümlü, elde edilen sonuçlar ise detaylı olarak çizelgelerde sunulmuştur. Ele alınan her bir problem çeşitli statik yüklemeler altında hem kesit I hem kesit II malzeme özellikleri için TFY ile çözümlü, elde edilen sonuçları ise ANSYS paket programından elde edilen sonuçlar ile çizelgeler üzerinde karşılaştırılmıştır.

5.1. İzotropik Malzemeli Düzlemsel Çubukların Analizi

Bu bölümde ele alınan düzlemi içinde yüklü doğru ve daire eksenli çubuklardan oluşan çerçeve sistemleri Fortran dilinde hazırlanan genel amaçlı bir bilgisayar programı yardımıyla çözülmüştür. Programın doğruluğunu kontrol etmek amacı ile, aynı çerçeve sistemlerini taşıma matrisi metoduyla çözen (Bayhan, 1993) ve sonlu elemanlar metoduna dayalı analiz yapan ANSYS paket programından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. ANSYS programında sistemin analizi yapılırken BEAM 188 elemanı kullanılarak her bir çubuk belli sayıda eşit parçalara

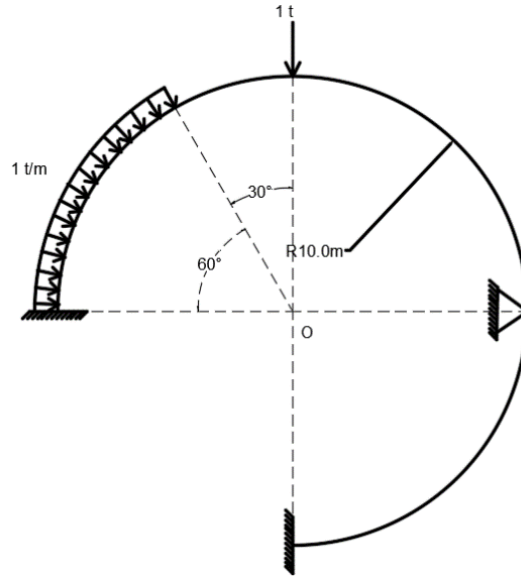
bölünmektedir. TFY ile analizi yapılırken kayma düzeltme faktörü 1.1875 olarak seçilmiştir. Çalışmanın bu bölümünde ele alınan çerçeve sistemlerinin analizinde kullanılan malzeme özellikleri Çizelge 5.1 de verilmiştir.

Çizelge 5.1. İzotropik Malzeme Özellikleri

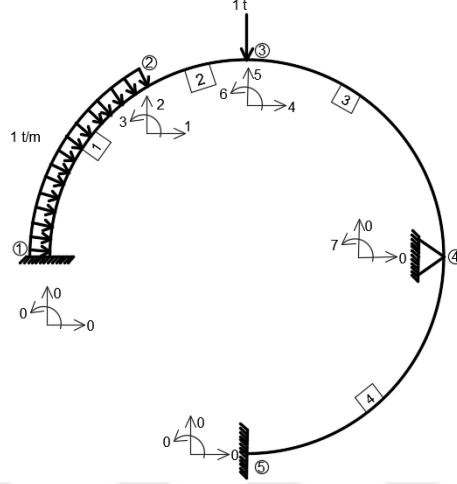
E	I_b	A	ν
$1 \times 10^6 \text{ t/m}^2$	$1/12 \text{ m}^4$	1 m^2	0.3

5.1.1. Doğrulama Uygulaması 1

Düzlemi içinde hem üniform yayılı yük hem de tekil yükle yüklenmiş daire eksenli çubuklardan oluşan çerçeve sistemi ele alınmaktadır. Sistem ilk önce TFY'ye dayalı rijitlik matrisi yardımıyla çözülmüştür. Daha sonra ANSYS programında, her bir eleman 270 eşit parçaya bölünerek analiz yapılmıştır.



Şekil 5. 1. Düzlemi içinde yüklü daire eksenli çerçeve sistemi



Şekil 5. 2. Sistem düğüm serbestlikleri ve kodlamaları

Çerçeve sistemine ait, TFY ile elde edilmiş düğüm deplasman değerlerinin ANSYS ve Bayhan (1993) ile karşılaştırılması Çizelge 5.2 de verilmektedir.

Çizelge 5.2. Sistem Düğüm Deplasmanları

Serbestlikler	Bu Çalışma	ANSYS	Bayhan 1993
1	0.00216946	0.002169400	0.001385
2	-0.00097129	-0.00097120	-0.001919
3	0.000092807	0.000092803	0.000093
4	0.001910970	0.001910900	0.001901
5	0.000074038	0.000074068	0.000072
6	0.000244361	0.000024434	0.000244
7	-0.00001741	-0.000174060	-0.000173

Sisteme ait her bir eleman için uç kuvvetleri sırasıyla, bu çalışmada hazırlanan TFY, ANSYS ve Bayhan (1993)'ın sonuçları Çizelge 5.3 de verilmektedir. İlgili kaynak ile sonuçları karşılaştırabilmek için uç kuvvetleri eleman koordinatlarında (t,n,b) verilmiştir.

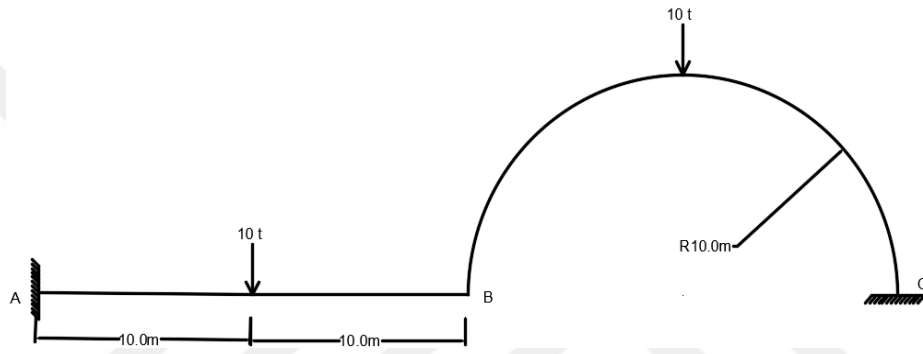
Çizelge 5.3. Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Eleman No	Kuvvetler	Bu Çalışma	ANSYS	Bayhan 1993
1	T_{ti}	4.31805	4.31800	4.31800
	T_{ni}	-6.20308	-6.20310	-6.20300
	M_{bi}	-19.0488	-19.0490	-19.0520
	T_{ij}	-1.78700	-1.78699	-1.78700
	T_{nj}	-1.81917	-1.81924	-1.81900
	M_{bj}	-6.26163	-6.2614	-6.26200
2	T_{ti}	1.78689	1.78699	1.78700
	T_{ni}	1.81928	1.81923	1.81900
	M_{bi}	6.26163	6.26140	6.26200
	T_{ij}	-2.45714	-2.45720	-2.45700
	T_{nj}	-0.68210	-0.68201	-0.68200
	M_{bj}	0.44079	0.44068	0.43 800
3	T_{ti}	2.45717	2.45720	2.45700
	T_{ni}	1.68198	1.68200	1.68200
	M_{bi}	-0.44079	-0.44068	-0.43800
	T_{ij}	-1.68198	-1.68200	-1.68200
	T_{nj}	2.45717	2.45720	2.45700
	M_{bj}	-7.31109	-7.31120	-7.17700
4	T_{ti}	1.16813	1.16810	1.17400
	T_{ni}	1.67014	1.67020	1.67500
	M_{bi}	7.31109	7.31120	7.31600
	T_{ij}	-1.67014	-1.67020	-1.67500
	T_{nj}	1.16813	1.16810	1.17400
	M_{bj}	-2.29104	-2.2910	-2.30900

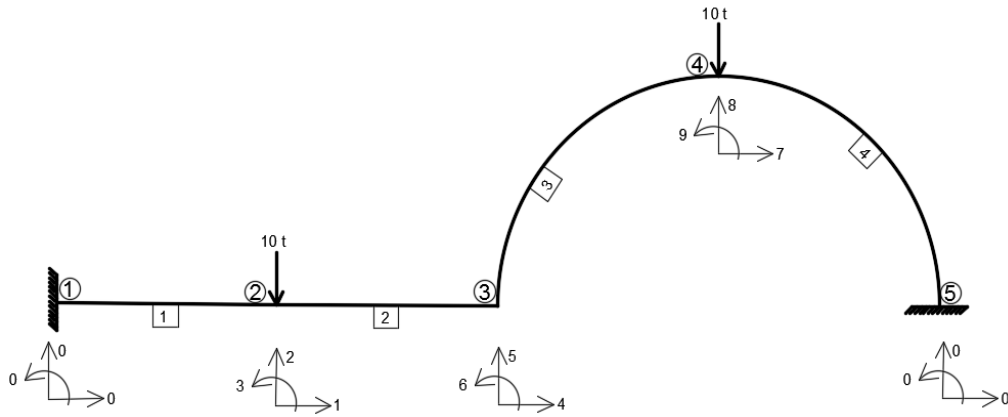
Çizelge 5.2 ve 5.3 incelendiğinde, bu çalışmanın sonuçları, Bayhan (1993) ve ANSYS sonuçları ile çok uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. 1 ve 2 serbestlikleri doğrultusundaki deplasmanların farklı olmalarının sebebi, Bayhan (1993)'de uç deplasmanların (t, n, b) hareketli koordinat takımında hesaplanmasından kaynaklanmaktadır.

5.1.2. Doğrulama Uygulaması 2

Düzlemi içinde tekil yüklerle yüklenmiş, doğru ve daire eksenli çubuklardan oluşan çerçeve sistemi ele alınmaktadır. Sistem önce bu çalışmada hazırlanan bilgisayar programı yardımıyla çözülmekte, daha sonra ANSYS paket programında her bir eleman 270 parçaya bölünerek analiz yapılmaktadır. Çerçeve sisteminin malzeme özellikleri Çizelge 5.1 de verilmiştir.



Şekil 5.3. Doğru ve daire eksenli çubuklardan oluşan çerçeve sistemi



Şekil 5.4. Sistem düğüm serbestlikleri ve kodlamaları

Bu çalışmada Şekil 5.3 deki sistemin TFY ile elde edilen düğüm deplasman değerleri Çizelge 5.4 üzerinde literatür ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5. 4. Düğüm Deplasmanların Karşılaştırılması

Kodlar	Bu Çalışma	ANSYS	Bayhan 1993
1	-0.0004787	-0.000476	-0.00005
2	-0.0330210	-0.033347	-0.03304
3	-0.0042211	-0.004214	-0.00422
4	-0.0000957	-0.000095	-0.00010
5	-0.0567641	-0.056709	-0.05683
6	-0.0001444	-0.000142	-0.00015
7	-0.0178230	-0.017933	-0.01783
8	-0.0297863	-0.030038	-0.02988
9	0.0036303	0.003641	0.00363

Benzer şekilde, sistemdeki her bir elemana ait uç kuvvetleri sırasıyla Çizelge 5.5 üzerinde verilmiştir.

Çizelge 5.5. Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Eleman No	Kuvvetler	Bu Çalışma	ANSYS	Bayhan 1993
1	T_{ti}	4.78713	4.7621	4.780
	T_{ni}	11.9146	11.906	11.915
	M_{bi}	94.7481	94.652	94.774
	T_{tj}	-4.78713	-4.7621	-4.780
	T_{nj}	-11.9146	-11.906	-11.915
	M_{bj}	24.3979	24.407	24.372
2	T_{ti}	4.78713	4.7607	4.780
	T_{ni}	1.91461	1.9177	1.915
	M_{bi}	-24.3979	-24.407	-24.372
	T_{tj}	-4.78713	-4.7621	-4.780
	T_{nj}	-1.91461	-1.9059	-1.915
	M_{bj}	43.544	43.338	43.517
3	T_{ti}	1.91461	1.9059	1.915
	T_{ni}	4.78713	4.7621	4.780
	M_{bi}	43.544	43.466	43.517
	T_{tj}	-4.78713	-4.7621	-4.780
	T_{nj}	1.91461	1.9059	1.915
	M_{bj}	-14.8188	-14.904	-14.861
4	T_{ti}	4.78713	4.7621	4.780
	T_{ni}	8.08539	8.0941	8.085
	M_{bi}	14.8188	14.904	14.861
	T_{tj}	-8.08539	-8.0941	-8.085
	T_{nj}	4.78713	4.7621	4.780
	M_{bj}	18.1638	18.416	18.191

Çizelge 5.4 ve 5.5 incelendiğinde, bu çalışmada TFY ile bulunan düğüm deplasmanları ve uç kuvvetlerinin literatür ile uyumlu olduğu görülmektedir.

5.2. Düzlemi İçinde Yüklü Tabakalanmış Kompozit Malzemeli Çerçeve Sistemlerin Analizi

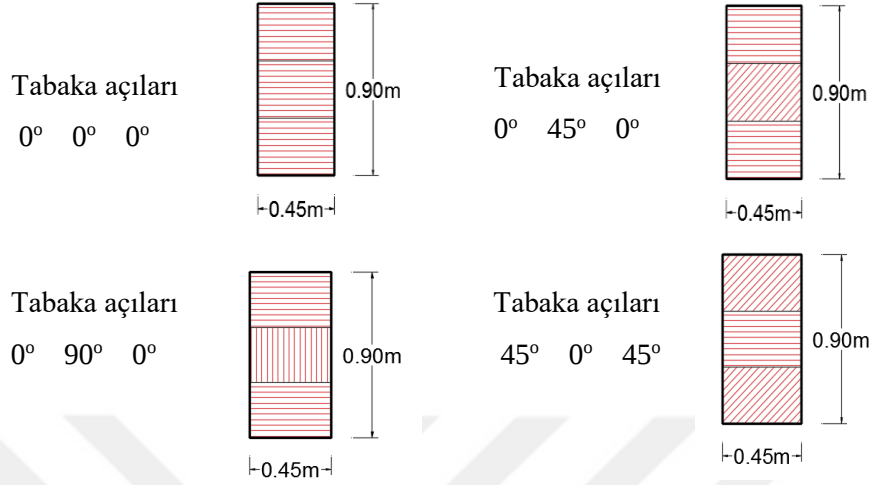
Çalışmanın bu bölümünde, düzlemi içinde çeşitli statik yükler ile yüklenmiş, tabakalı kompozit malzemeli ve farklı tabakalanma açılarına sahip, doğru ve daire eksenli çubuklardan oluşan karma sistemlerin statik davranışı incelenmektedir. Bu bölümde, kesit özellikleri eksen boyunca sabit ve değişken olan çerçeve sistemleri ele alınmaktadır. Ele alınan çerçeve sistemleri, TFY yardımıyla çözülmektedir. Aynı problemler ANSYS programında BEAM 189 elemanı kullanılarak her bir çubuk belli sayıda eşit parçalara bölünerek analiz yapılmaktadır. Her iki yöntemle elde edilen sonuçlar eleman uç kuvvetleri ve düğüm deplasman değerleri olmak üzere ayrı çizelgeler üzerinde karşılaştırılmıştır. Ele alınan problemlerin TFY ile çözümünde kayma düzeltme faktörü 1.1875 olarak seçilmiştir.

Bu bölümde ele alınan sayısal uygulamalarda kullanılan kompozit malzeme özellikleri Çizelge 5.6 da verilmiştir.

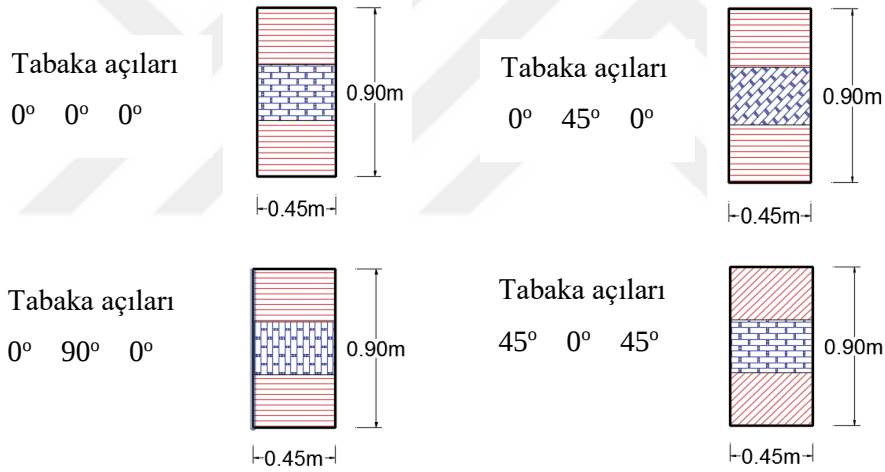
Çizelge 5.6. Kompozit Malzeme Özellikleri

Malzemenin Türü	E_1 (GPa)	$E_2=E_3$ (GPa)	$G_{12}=G_{13}$ (GPa)	G_{23} (GPa)	$\nu_{12}=\nu_{13}$	ν_{23}	ρ (kg/m ³)
Kevlar 49 Epoxy	76	5.56	2.3	1.618	0.34	0.718	1460.00
Carbon Epoxy	144.8	9.65	4.14	3.45	0.30	0.399	1389.23

Çalışmanın bu kısmında ele alınan çerçeve sistemlerinde kullanılan kesit özellikleri ve tabakalanma açıları Şekil 5.5 ve 5.6 de gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Tek Malzemedan Oluşturulan Malzeme Özellikleri (Kesit I)



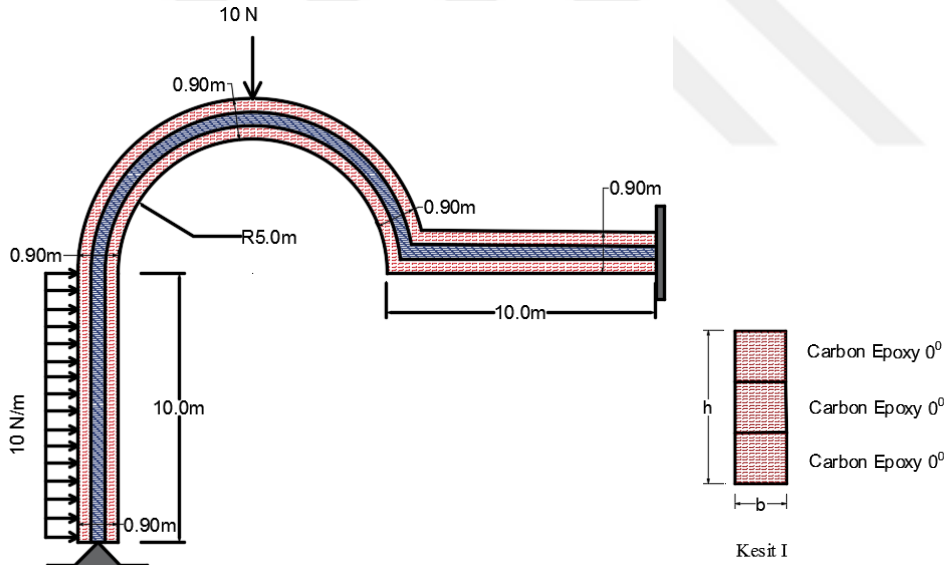
Şekil 5.6. İki Malzemedan Oluşturulan Malzeme Özellikleri (Kesit II)

5.2.1. Üniform Kesitli Tabakalanmış Kompozit Malzemeli Çerçeveler

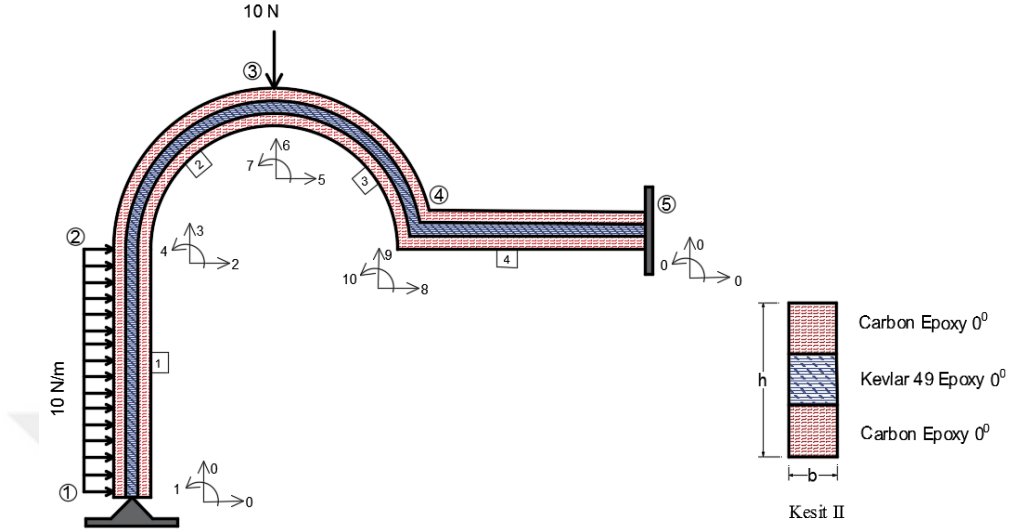
Çalışmanın bu kısmında TFY'ye dayalı rijitlik matrisi metodu ile kesit özellikleri eksen boyunca değişmeyen, üniform kesitli çerçeve sistemlerin düzgün yayılı ve tekil yükler altındaki statik analizi yapılmaktadır.

5.2.1.1. Uygulama 1

İlk uygulama olarak, farklı mesnet koşullarına sahip kolon, kiriş ve kemer sistemi ele alınmaktadır (Şekil 5.7). Çerçeve sisteminde bulunan elemanlar çeşitli düzlem içi yükler ile yüklenmiştir. Dikey eleman (kolon) üniform yayılı yük ($q_n=10$ N/m), kemer ise ortasından tekil yük ($p=10$ N) ile yüklenmiş ve yatay eleman (kiriş) ise üzerinde herhangi bir dış yük bulunmamaktadır. Tabaka kalınlığı 0.30 m olan üç simetrik tabakanın üst üste konulması ile meydana gelen ve eksen boyunca genişliği ($b=0.45$ m) ve yüksekliği ($h=0.90$ m) sabit olan üç tabakalı kesit kullanılmıştır. Bu problemde kullanılan malzeme özellikleri ise Çizelge 5.6 da verilmiştir. Burada tek tip malzeme kullanılarak, tabakalanma açıları 0° ve üç simetrik tabakadan oluşan kesit ‘Kesit I’ olarak adlandırılmaktadır. İki tip malzeme kullanılarak, farklı tabakalanma açıları için oluşturulan kesit ise ‘Kesit II’ olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 5.7. Doğru ve daire eksenli çubuklardan oluşan çerçeve ve çubuk kesiti I



Şekil 5. 8. Sistem düğüm serbestlikleri, kodlamaları ve tabakalı çubuk kesiti II

Kesti I malzeme grubu kullanılarak, ANSYS programı ile sistemdeki her bir eleman 5, 10 ve 20 eşit parçaya bölünerek çözümler yapılmıştır. Her bir durum için elde edilen sonuçlar, eleman uç kuvvetleri ve düğüm deplasman değerleri olmak üzere ayrı ayrı çizelgelerde sunulmuştur. Sistem, kesit I malzeme grubu ve tabaka açıları farklı olan dört durum için TFY ile çözülmüştür. Burada tabaka açılarının değişiminin düğüm deplasmanları ve eleman uç kuvvetleri üzerindeki etkileri çizelgelerde gösterilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan TFY nin sonuçları, kesit I malzeme özellikleri kullanılarak her bir çubuğun 20 eşit parçaya bölünmesi sonucu elde edilen ANSYS sonuçları ile Çizelge 5.7 de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.7. Kesit I Malzeme Gurubu İçin Hesaplanan Eleman Uç Kuvvetlerinin karşılaştırılması
(XYZ) KOORDINAT TAKIMINDA

Eleman No		N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
1	Bu Çalışma	-59.1316	2.5590	0.0000	-40.8684	-2.5590	91.3161
	ANSYS	-59.1320	2.5588	0.0000	-40.8680	-2.5588	91.3210
2	Bu Çalışma	40.8684	2.5590	-91.3161	-40.8684	-2.5590	-100.2310
	ANSYS	40.8680	2.5588	-91.3210	-40.8680	-2.5588	-100.2200
3	Bu Çalışma	40.8684	-7.4410	100.2310	-40.8684	7.4410	66.9058
	ANSYS	40.8680	-7.4412	100.2200	-40.8680	7.4412	66.9090
4	Bu Çalışma	40.8684	-7.4410	-66.9058	-40.8684	7.4410	7.5044
	ANSYS	40.8680	-7.4412	-66.9090	-40.8680	7.4412	7.5032

Çizelge 5.8. Kesit I İçin Hesaplanan Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Düğüm No		U dep. (m)	V dep. (m)	θ (Rad.)
1	Bu Çalışma	0.00000E+00	0.00000E+00	-9.38618E-07
	ANSYS (5 El.)	0.00000E+00	0.00000E+00	-9.38370E-07
	ANSYS (10 El.)	0.00000E+00	0.00000E+00	-9.38720E-07
	ANSYS (20 El.)	0.00000E+00	0.00000E+00	-9.38750E-07
	Bağlı Hata	0.00000E+00	0.00000E+00	1.40632E-04
2	Bu Çalışma	3.70257E-06	-4.36357E-10	3.64829E-07
	ANSYS (5 El.)	3.70100E-06	-4.36640E-10	3.64990E-07
	ANSYS (10 El.)	3.70420E-06	-4.36350E-10	3.64740E-07
	ANSYS (20 El.)	3.70440E-06	-4.36330E-10	3.64720E-07
	Bağlı Hata	4.94251E-04	6.18759E-05	2.98770E-04
3	Bu Çalışma	1.53462E-06	1.68219E-06	9.40191E-08
	ANSYS (5 El.)	1.53360E-06	1.68460E-06	9.39960E-08
	ANSYS (10 El.)	1.53570E-06	1.68250E-06	9.39640E-08
	ANSYS (20 El.)	1.53580E-06	1.68250E-06	9.39600E-08
	Bağlı Hata	7.68920E-04	1.84284E-04	6.28596E-04
4	Bu Çalışma	6.96890E-09	8.21324E-07	-3.00123E-07
	ANSYS (5 El.)	6.96920E-09	8.21280E-07	-3.00190E-07
	ANSYS (10 El.)	6.96880E-09	8.20890E-07	-3.00150E-07
	ANSYS (20 El.)	6.96880E-09	8.20870E-07	-3.00140E-07
	Bağlı Hata	1.43495E-05	5.52766E-04	5.66434E-05

Bu çalışmada hazırlanan genel amaçlı bilgisayar programının doğrulanması için, sonlu eleman yöntemine dayalı ANSYS programında her bir elemanı 5, 10 ve 20 parçaya bölünmek suretiyle analizler yapılmıştır. Bu çerçeve sisteminde, TFY kullanılarak elde edilen her bir düğümün yatay ve düşey deplasmanlar ile

dönmelerin değerleri, ANSYS programından elde edilen değerler ile Çizelge 5.8 üzerinde karşılaştırılmış ve aralarındaki bağıl hatalar hesaplanmıştır.

Çizelge 5. 9. Farklı Tabaka Açıları ve Kesit I Malzeme Gurubu İçin Hesaplanan Düğüm Deplasmanlarının Karşılaştırılması

Düğüm No		U dep. (m)	V dep. (m)	θ (Rad.)
1	0° 0° 0°	0.00000E+00	0.00000E+00	-0.93861E-06
	0° 45° 0°	0.00000E+00	0.00000E+00	-0.13287E-05
	45° 0° 45°	0.00000E+00	0.00000E+00	-0.23072E-05
	0° 90° 0°	0.00000E+00	0.00000E+00	-0.13569E-05
2	0° 0° 0°	0.37026E-05	-0.43636E-09	0.36483E-06
	0° 45° 0°	0.51364E-05	-0.62874E-09	0.52830E-06
	45° 0° 45°	0.88353E-05	-0.11284E-08	0.92684E-06
	0° 90° 0°	0.52926E-05	-0.63472E-09	0.53419E-06
3	0° 0° 0°	0.15346E-05	0.16822E-05	0.94019E-07
	0° 45° 0°	0.20968E-05	0.23765E-05	0.13856E-06
	45° 0° 45°	0.35809E-05	0.41226E-05	0.24498E-06
	0° 90° 0°	0.21753E-05	0.24292E-05	0.13904E-06
4	0° 0° 0°	0.69689E-08	0.82132E-06	-0.30012E-06
	0° 45° 0°	0.10011E-07	0.12060E-05	-0.42639E-06
	45° 0° 45°	0.17942E-07	0.21289E-05	-0.74162E-06
	0° 90° 0°	0.10111E-07	0.12121E-05	-0.43475E-06

Çizelge 5.9 ve 5.10 incelendiğinde, kesit I malzeme gurubu için genel olarak 45° 0° 45° tabakalanma açısı durumunda en büyük deplasmanlar meydana gelirken, tabaka açılarının eleman uç kuvvetleri üzerinde önemli ölçüde bir etkisi görülmemektedir.

Çizelge 5.10. Farklı Tabaka Açılırları ve Kesit I Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Eleman Uç Kuvvetleri

Tabaka Açılırları	El. No	N _i (N)	T _i (N)	M _i (N.m)	N _j (N)	T _j (N)	M _j (N.m)	
Durum I	0°	1	-59.1316	2.5581	0.0000	-40.8684	-2.5581	91.3161
		2	40.8684	2.5582	-91.3161	-40.8684	-2.5581	-100.231
		3	40.8684	-7.4410	100.2310	-40.8684	7.4410	66.9058
		4	40.8684	-7.4410	-66.9058	-40.8684	7.4410	-7.50444
Durum II	0°	1	-59.1065	2.5683	0.0000	-40.8935	-2.5683	91.0652
		2	40.8935	2.5683	-91.0652	-40.8935	-2.5683	-100.561
		3	40.8935	-7.4317	100.561	-40.8935	7.4317	66.7480
		4	40.8935	-7.4317	-66.7480	-40.8935	7.4317	-7.56919
Durum III	45°	1	-59.0951	2.5725	0.0000	-40.9049	-2.5725	90.9514
		2	40.9049	2.5725	-90.9514	-40.9049	-2.5725	-100.711
		3	40.9049	-7.4275	100.711	-40.9049	7.4275	66.6761
		4	40.9049	-7.4275	-66.6761	-40.9049	7.4275	-7.59920
Durum IV	0°	1	-59.1175	2.5642	0.0000	-40.8825	-2.5642	91.1753
		2	40.8825	2.5642	-91.1753	-40.8825	-2.5642	-100.416
		3	40.8825	-7.4358	100.416	-40.8825	7.4358	66.8172
		4	40.8825	-7.4358	-66.8172	-40.8825	7.4358	-7.54092

Farklı tabaka açıları ve Kesit II malzeme grubu (iki malzemeli) için TFY ile hesaplanan düğüm deplasmanları Çizelge 5.11 de, eleman uç kuvvetleri de Çizelge 5.12 de verilmektedir.

Çizelge 5.11. Farklı Tabaka Açıları ve Kesit II Malzeme Gurubu İçin Hesaplanan Düğüm Deplasmanlarının Karşılaştırılması

Düğüm No		U dep. (m)	V dep. (m)	θ (Rad.)
1	0° 0° 0°	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.11507E-06
	0° 45° 0°	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.36108E-06
	45° 0° 45°	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.80103E-06
	0° 90° 0°	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.37770E-06
2	0° 0° 0°	4.39673E-06	-5.18512E-10	4.33629E-07
	0° 45° 0°	5.28840E-06	-6.39737E-10	5.38157E-07
	45° 0° 45°	1.45218E-05	-1.91314E-09	1.53079E-06
	0° 90° 0°	5.39508E-06	-6.43054E-10	5.39963E-07
3	0° 0° 0°	1.82175E-06	1.99834E-06	1.11793E-07
	0° 45° 0°	2.16721E-06	2.43572E-06	1.40544E-07
	45° 0° 45°	5.87518E-06	6.78973E-06	4.05395E-07
	0° 90° 0°	2.22401E-06	2.46735E-06	1.40063E-07
4	0° 0° 0°	8.28044E-09	9.76512E-07	-3.56572E-07
	0° 45° 0°	1.01939E-08	1.22438E-06	-4.36390E-07
	45° 0° 45°	3.04118E-08	3.52162E-06	-1.22227E-06
	0° 90° 0°	1.02587E-08	1.22189E-06	-4.41098E-07

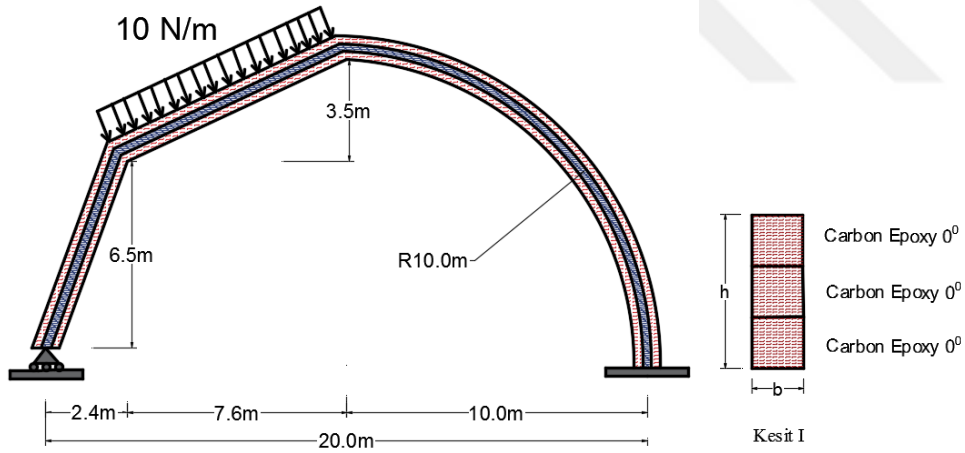
Çizelge 5.11 ve 5.12 incelendiğinde, Kesit II malzeme gurubu için tabakalanma açılarının değişimi, düğüm deplasmanlarını büyük ölçüde etkilerken, eleman uç kuvvetleri üzerinde önemli ölçüde bir etkisi görülmemektedir.

Çizelge 5. 12. Farklı Tabaka Açılırları ve Kesit II Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Eleman Uç Kuvvetleri

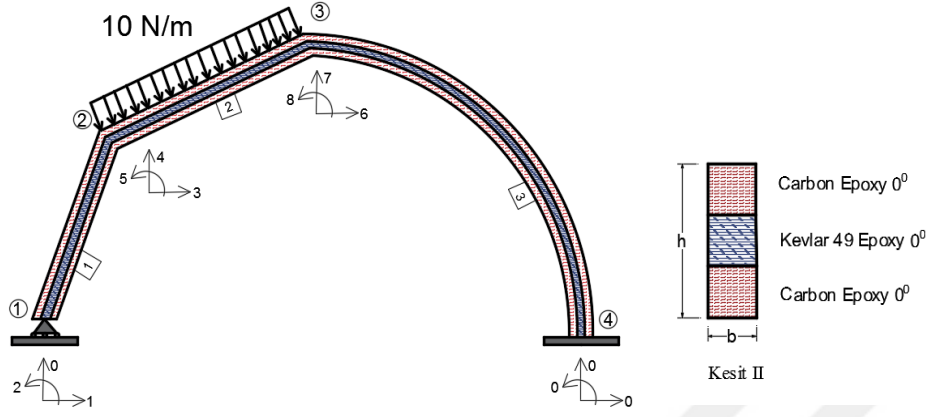
	Tabaka Açılırları	El. No	N _i (N)	T _i (N)	M _i (N.m)	N _j (N)	T _j (N)	M _j (N.m)
Durum I	0°	1	-59.13110	2.55917	0.00000	-40.86890	-2.55917	91.31070
	0°	2	40.86890	2.55917	-91.31070	-40.86890	-2.55917	-100.2380
	0°	3	40.86890	-7.44083	100.2380	-40.86890	7.44083	66.90240
	0°	4	40.86890	-7.44083	-66.90240	-40.86890	7.44083	-7.505860
Durum II	0°	1	-59.11270	2.56596	0.00000	-40.88730	-2.56596	91.12750
	45°	2	40.88730	2.56596	-91.12750	-40.88730	-2.56596	-100.4790
	0°	3	40.88730	-7.43404	100.4790	-40.88730	7.43404	66.78710
	0°	4	40.88730	-7.43404	-66.78710	-40.88730	7.43404	-7.553270
Durum III	45°	1	-59.09240	2.57340	0.00000	-40.90760	-2.57340	90.92420
	0°	2	40.90760	2.57340	-90.92420	-40.90760	-2.57340	-100.7470
	45°	3	40.90760	-7.42660	100.7470	-40.90760	7.42660	66.65820
	45°	4	40.90760	-7.42660	-66.65820	-40.90760	7.42660	-7.607740
Durum IV	0°	1	-59.12250	2.56235	0.000000	-40.87750	-2.56235	91.22460
	90°	2	40.87750	2.56235	-91.22460	-40.87750	-2.56236	-100.3510
	0°	3	40.87750	-7.43764	100.35100	-40.87750	7.43764	66.84820
	0°	4	40.87750	-7.43764	-66.84820	-40.87750	7.43764	-7.528260

5.2.1.2. Uygulama 2

Daire ve doğru eksenli üç elemandan oluşan, toplam açıklığı 20.0 m olan, bir ucu ankastre diğer ucu kayıcı mesnetli çerçeve sistemi ele alınmıştır. Bu çerçeve sistemi sadece statik üniform yayılı yükü ($q_n = 10 \text{ N/m}$) yüklenmiştir. Tabaka kalınlığı 0.30 m olan üç simetrik tabakanın üst üste konulması ile meydana gelen ve eksen boyunca genişliği ($b=0.45 \text{ m}$) ve yüksekliği ($h=0.90 \text{ m}$) sabit olan üç tabakalı kesit kullanılmıştır. Şekil 5.9 daki çerçeve sistemi önce TFY için hazırlanan genel amaçlı bilgisayar programı ile, sonrasında ANSYS paket programı yardımı ile çerçeve sisteminde bulunan her bir eleman 5, 10 ve 20 eşit parçaya bölünerek çözümler yapılmaktadır. ANSYS paket programının sonuçları ile TFY'den elde edilen sonuçlar arasında, düğüm deplasmanları ve eleman uç kuvvetleri bakımından ayrı çizelgeler üzerinde karşılaştırmalar yapılmıştır.



Şekil 5.9. Doğru ve daire eksenli çubuklardan oluşan çerçeve ve çubuk kesiti I



Şekil 5.10. Sistem düğüm serbestlikleri, kodlamaları ve tabakalı çubuk kesiti II

ANSYS programında, Kesit I malzeme özellikleri kullanılarak, Şekil 5.9 da verilen çerçeve sistemine ait her bir eleman 20 eşit parçaya bölünerek analizler yapılmıştır. Yapılan analizler neticesinde elde edilen sonuçlar, TFY sonuçları ile Çizelge 5.13 üzerinde karşılaştırılmıştır. Çizelge 5.13 de sunulan eleman uç kuvvetlerinin değerleri incelendiğinde, bu çalışmadaki sonuçlar ve ANSYS programı sonuçları noktadan sonra yuvarlanmış 3 hane için birbirine eşit olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.13. Kesit I Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Eleman Uç Kuvvetleri

(XYZ) KOORDINAT TAKIMINDA		N _i (N)	T _i (N)	M _i (N.m)	N _j (N)	T _j (N)	M _j (N.m)
Eleman No							
1	Bu Çalışma	0.0000	41.4631	0.0000	0.0000	-41.4631	99.5116
	ANSYS	0.0000	41.4630	0.0000	0.0000	-41.4630	99.5120
2	Bu Çalışma	0.0000	41.4631	-99.5116	-35.0000	34.5369	64.5815
	ANSYS	0.0000	41.4630	-99.512	-35.0000	34.5370	64.5830
3	Bu Çalışma	35.0000	-34.5369	-64.5815	-35.0000	34.5369	69.2129
	ANSYS	35.0000	-34.5370	-64.583	-35.0000	34.5370	69.2160

Çizelge 5. 14. Kesit I İçin Hesaplanan Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Düğüm No		U dep. (m)	V dep. (m)	θ (Rad.)
1	Bu Çalışma	-7.85413E-06	0.00000E+00	-1.08926E-06
	ANSYS (5 El.)	-7.84390E-06	0.00000E+00	-1.08780E-06
	ANSYS (10 El.)	-7.84350E-06	0.00000E+00	-1.08780E-06
	ANSYS (20 El.)	-7.84340E-06	0.00000E+00	-1.08780E-06
	Bağıl Hata	1.36616E-03	0.00000E+00	1.34036E-03
2	Bu Çalışma	-1.46419E-06	-2.36426E-06	-7.40893E-07
	ANSYS (5 El.)	-1.46200E-06	-2.36130E-06	-7.39870E-07
	ANSYS (10 El.)	-1.46120E-06	-2.36140E-06	-7.39920E-07
	ANSYS (20 El.)	-1.46120E-06	-2.36140E-06	-7.39920E-07
	Bağıl Hata	2.04208E-03	1.20968E-03	1.31328E-03
3	Bu Çalışma	-1.04702E-06	-3.27604E-06	4.46087E-07
	ANSYS (5 El.)	-1.04560E-06	-3.27150E-06	4.45480E-07
	ANSYS (10 El.)	-1.04460E-06	-3.27200E-06	4.45430E-07
	ANSYS (20 El.)	-1.04450E-06	-3.27200E-06	4.45430E-07
	Bağıl Hata	2.40683E-03	1.23320E-03	1.47281E-03

Ele alınan çerçeve sistemi, Fortran’da hazırlanan genel amaçlı bir bilgisayar programı yardımı ile analizi neticesinde elde edilen sonuçlar, sonlu eleman yöntemine dayalı ANSYS paket programındaki analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. ANSYS da, Şekil 5.9 da verilen çerçeve sistemine ait her bir eleman 5, 10 ve 20 peşit arçaya bölünerek analizler yapılmıştır.

Çizelge 5. 15. Farklı Tabaka Açılı ve Kesit I Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Düğüm Deplasmanların Karşılaştırılması

Düğüm No		U dep. (m)	V dep. (m)	θ (Rad.)
1	0° 0° 0°	-0.78541E-05	0.00000E+00	-0.10893E-05
	0° 45° 0°	0.11434E-04	0.00000E+00	-0.13470E-05
	45° 0° 45°	0.20027E-04	0.00000E+00	-0.23510E-05
	0° 90° 0°	0.11580E-04	0.00000E+00	-0.13689E-05
2	0° 0° 0°	-0.14641E-05	-0.23643E-05	-0.74089E-06
	0° 45° 0°	0.18463E-04	-0.26070E-05	-0.51953E-06
	45° 0° 45°	0.32232E-04	-0.45276E-05	-0.91008E-06
	0° 90° 0°	0.18758E-04	-0.26622E-05	-0.52606E-06
3	0° 0° 0°	-0.10470E-05	-0.32760E-05	0.44609E-06
	0° 45° 0°	0.14350E-04	0.63087E-05	0.32366E-05
	45° 0° 45°	0.25059E-04	0.11024E-04	0.56290E-05
	0° 90° 0°	0.14576E-04	0.64039E-05	0.33005E-05

Çizelge 5. 16. Farklı Tabaka Açılırları ve Kesit I Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Eleman Uç Kuvvetleri

Tabaka Açılırları		El. No	N _i (N)	T _i (N)	M _i (N.m)	N _j (N)	T _j (N)	M _j (N.m)	
85	Durum I	0°	1	0.0000	41.4631	0.0000	0.0000	-41.4631	99.5116
		0°	2	0.0000	41.4631	-99.5116	-35.0000	34.5369	64.5815
		0°	3	35.0000	-34.5369	-64.5815	-35.0000	34.5369	69.2129
	Durum II	0°	1	0.0000	69.0658	0.0000	0.0000	-69.0658	165.7580
		45°	2	0.0000	69.0658	-165.7580	-35.0000	6.93418	340.6080
		0°	3	35.0000	-6.9342	-340.6080	-35.0000	6.93418	59.9500
	Durum III	45°	1	0.0000	69.0253	0.0000	0.0000	-69.0253	165.6610
		0°	2	0.0000	69.0253	-165.6610	-35.0000	6.97474	340.2030
		45°	3	35.0000	-6.97474	-340.2030	-35.0000	6.97474	59.9500
Durum IV	0°	1	0.0000	69.1054	0.0000	0.0000	-69.1054	165.8530	
	90°	2	0.0000	69.1054	-165.8530	-35.0000	6.89463	341.0040	
	0°	3	35.0000	-6.89463	-341.0040	-35.0000	6.89463	59.9500	

Şekil 5.9 da verilen çerçeve sistemi, tabakalanma açıları farklı olan dört durum dikkate alınarak, kesit II için TFY ile çözümler yapılmıştır. Yapılan çözümler neticesinde her bir düğüme ait yatay ve düşey deplasmanlar ile dönmeler ve her bir elemana ait uç kuvvetleri, tüm durumlar için ayrı ayrı elde edilmiş ve çizelgeler üzerinde sunulmuştur.

Çizelge 5. 17. Farklı Tabaka Açılımları ve Kesit II Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Düğüm Deplasmanların Karşılaştırılması

Düğüm No		U dep. (m)	V dep. (m)	θ (Rad.)
1	0° 0° 0°	-9.33199E-06	0.00000E+00	-1.29418E-06
	0° 45° 0°	-1.14457E-05	0.00000E+00	-1.58562E-06
	45° 0° 45°	-3.21341E-05	0.00000E+00	-4.44666E-06
	0° 90° 0°	-1.15560E-05	0.00000E+00	-1.60180E-06
2	0° 0° 0°	-1.74093E-06	-2.80868E-06	-8.80255E-07
	0° 45° 0°	-2.18580E-06	-3.42621E-06	-1.07771E-06
	45° 0° 45°	-6.29430E-06	-9.56220E-06	-3.01988E-06
	0° 90° 0°	-2.17982E-06	-3.46917E-06	-1.08912E-06
3	0° 0° 0°	-1.24530E-06	-3.89192E-06	5.30084E-07
	0° 45° 0°	-1.57980E-06	-4.75075E-06	6.52646E-07
	45° 0° 45°	-4.59916E-06	-1.32689E-05	1.84032E-06
	0° 90° 0°	-1.56697E-06	-4.80864E-06	6.57595E-07

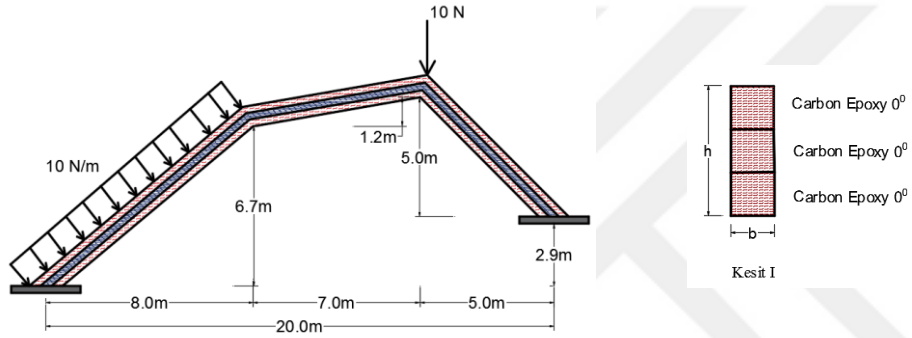
Bu kısımda, tabakalanma açılarının hem düğüm deplasmanları hem de eleman uç kuvvetleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çizelge 5.17 incelendiğinde tabakalanma açılarının değişimi düğüm deplasman değerlerini önemli ölçüde etkilediği görülmektedir. Çizelge 5.18 incelendiğinde ise, eleman uç kuvvetlerinin de tabakalanma açılarının değişiminden etkilediği açıkça görülmektedir.

Çizelge 5. 18. Farklı Tabaka Açıları ve Kesit II Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Eleman Uç Kuvvetleri

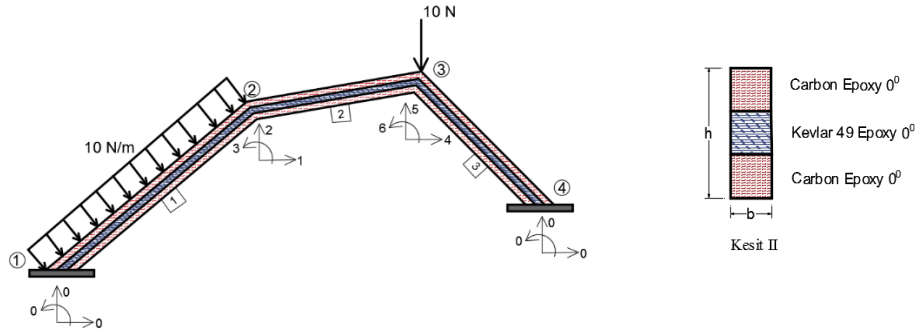
Tabaka Açılışı	El. No	N _i (N)	T _i (N)	M _i (N.m)	N _j (N)	T _j (N)	M _j (N.m)	
Durum I	0°	1	0.0000	41.4630	0.0000	0.0000	-41.4630	99.5112
	0°	2	0.0000	41.4630	-99.5112	-35.0000	34.5370	64.5798
	0°	3	35.0000	-34.5370	-64.5798	-35.0000	34.5370	69.2096
Durum II	0°	1	0.0000	41.4574	0.0000	0.0000	-41.4574	99.4977
	45°	2	0.0000	41.4574	-99.4977	-35.0000	34.5426	64.5238
	0°	3	35.0000	-34.5426	-64.5238	-35.0000	34.5426	69.0976
Durum III	45°	1	0.0000	41.4511	0.0000	0.0000	-41.4511	99.4827
	0°	2	0.0000	41.4511	-99.4827	-35.0000	34.5489	64.4611
	45°	3	35.0000	-34.5489	-64.4611	-35.0000	34.5489	68.9722
Durum IV	0°	1	0.0000	41.4603	0.0000	0.0000	-41.4603	99.5048
	90°	2	0.0000	41.4603	-99.5048	-35.0000	34.5397	64.5535
	0°	3	35.0000	-34.5397	-64.5535	-35.0000	34.5397	69.1570

5.2.1.3. Uygulama 3

Ankastre mesnetli, kompozit üç tabakalı, doğru eksenli çubuklardan oluşan çerçeve sistemi ele alınmıştır (Şekil 5.11). Ele alınan çerçeve sisteminin toplam yüksekliği 7.9 m ve toplam açıklığı 20 m olup, hem tekil ($p=10$ N) hem de düzgün yayılı ($q_n=10$ N/m) yüklerle yüklenmiştir. Tabaka kalınlığı 0.30 m olan üç simetrik tabakanın üst üste konulması ile meydana gelen ve eksen boyunca genişliği ($b=0.45$ m) ve yüksekliği ($h=0.90$ m) sabit olan üç tabakalı kesit kullanılmıştır. Bu çerçeve sistemi hem kesit I hem de kesit II malzeme grubu için ayrı ayrı çözülmüştür.



Şekil 5.11. Doğru eksenli çubuklardan oluşan çerçeve ve tabakalı çubuk kesiti I



Şekil 5.12. Sistem düğüm serbestlikleri, kodlamaları ve tabakalı çubuk kesiti II

Şekil 5.11 de görülen çerçeve sistemi ilk önce TFY yardımıyla çözülmüş, daha sonra sonlu elemanlar yöntemine dayalı analiz yapan ANSYS paket programında çözülmüştür. Şekildeki çerçeve sistemi tek tip malzeme kullanılarak 0° tabakalanma açıları ile simetrik üç tabakadan oluşan kesit (kesit I) için ANSYS paket programında her bir eleman 20 eşit parçaya bölünerek çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar, eleman uç kuvvetleri ve düğüm deplasman değerleri olmak üzere ayrı çizelgeler halinde sunulmuştur.

Çizelge 5. 19. Kesit I Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Eleman Uç Kuvvetleri

(XYZ) KOORDINAT TAKIMINDA		N _i (N)	T _i (N)	M _i (N.m)	N _j (N)	T _j (N)	M _j (N.m)
Eleman No							
1	Bu Çalışma	-23.083	73.5679	172.6480	-43.917	-41.463	99.5116
	ANSYS	-23.084	73.5660	172.6400	-43.916	-41.463	99.5120
2	Bu Çalışma	43.9173	-6.4321	-26.0991	-43.917	34.5369	64.5815
	ANSYS	43.9160	-6.4339	-26.1050	-43.916	34.5370	64.5830
3	Bu Çalışma	43.9173	-16.432	71.6265	-43.917	34.5369	69.2129
	ANSYS	43.9160	-16.434	71.6300	-43.916	34.5370	69.2160

Çizelge 5.20. Kesit I İçin Hesaplanan Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Düğüm No		U dep. (m)	V dep. (m)	θ (Rad.)
2	Bu Çalışma	6.39428E-07	-7.71683E-07	1.84183E-07
	ANSYS (5 El.)	6.38640E-07	-7.70730E-07	1.83940E-07
	ANSYS (10 El.)	6.39320E-07	-7.71540E-07	1.84010E-07
	ANSYS (20 El.)	6.39320E-07	-7.71540E-07	1.84010E-07
	Bağıl Hata	1.68901E-04	1.85309E-04	9.39283E-04
3	Bu Çalışma	4.29563E-07	4.22286E-07	2.08168E-08
	ANSYS (5 El.)	4.29040E-07	4.21770E-07	2.07990E-08
	ANSYS (10 El.)	4.29500E-07	4.22230E-07	2.08780E-08
	ANSYS (20 El.)	4.29500E-07	4.22230E-07	2.08780E-08
	Bağıl Hata	1.46661E-04	1.32612E-04	2.93993E-03

Kesit I malzeme grubu için ANSYS programında her bir eleman 5, 10 ve 20 eşit parçaya bölünerek analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucu elde edilen düğüm deplasman değerleri, TFY ile analiz sonucu elde edilen düğüm deplasman değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5. 21. Farklı Tabaka Açılırları ve Kesit I Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Düğüm Deplasmanların Karşılaştırılması

Düğüm No	Tabaka açıları	U dep. (m)	V dep. (m)	θ (Rad.)
2	0° 0° 0°	6.39428E-07	-7.71683E-07	1.84183E-07
	0° 45° 0°	8.59800E-07	-1.03843E-06	2.57175E-07
	45° 0° 45°	1.45667E-06	-1.76048E-06	4.43641E-07
	0° 90° 0°	8.98467E-07	-1.08471E-06	2.64245E-07
3	0° 0° 0°	4.29563E-07	4.22286E-07	2.08168E-08
	0° 45° 0°	5.77171E-07	5.66724E-07	2.36066E-08
	45° 0° 45°	9.77182E-07	9.58465E-07	3.62834E-08
	0° 90° 0°	6.03359E-07	5.92796E-07	2.67563E-08

Çizelge 5.21 incelendiğinde Kesit I için tabakalanma açıları 0° 90° 0° olan durum için deplasmanların ve dönmelerin genel olarak büyük olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 5.22. Farklı Tabaka Açılırları ve Kesit I Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Eleman Uç Kuvvetleri

	Tabaka Açılırları	El. No	Ni (N)	Ti (N)	Mi (N.m)	Nj (N)	Tj (N)	Mj (N.m)
Durum I	0°	1	-23.0827	73.5679	172.648	-43.9173	6.4321	26.0991
	0°	2	43.9173	-6.4321	-26.0991	-43.9173	6.4321	-71.6265
	0°	3	43.9173	-16.4321	71.6265	-43.9173	16.4321	65.7997
Durum II	0°	1	-23.0015	73.6514	173.075	-43.9985	6.3486	25.7969
	45°	2	43.9985	-6.3486	-25.7969	-43.9985	6.3486	-71.4414
	0°	3	43.9985	-16.3486	71.4414	-43.9985	16.3486	66.8079
Durum III	45°	1	-22.9663	73.6895	173.278	-44.0337	6.3105	25.6618
	0°	2	44.0337	-6.3105	-25.6618	-44.0337	6.3105	-71.3520
	45°	3	44.0337	-16.3105	71.3520	-44.0337	16.3105	67.2645
Durum IV	0°	1	-23.0373	73.6146	172.8870	-43.9627	6.3854	25.9301
	90°	2	43.9627	-6.3854	-25.9301	-43.9627	6.3854	-71.5229
	0°	3	43.9627	-16.3854	71.5229	-43.9627	16.3854	66.3637

Çizelge 5.22 incelendiğinde, tabakalanma açılarının değişimi ile birlikte eleman uç kuvvetlerinin değerleri de değişmektedir.

Şekil 5.11 da verilen çerçeve sistemi, Çizelge 5.6 da verilen her iki malzeme özellikleri kullanılarak, kesit genişliği $b=0.45\text{m}$ ve yüksekliği $h=0.90\text{m}$ olan simetrik üç tabakalı kesit (kesit II) için TFY ile çözülmüştür. Ele alınan çerçeve sistemi, tabakalanma açıları farklı olan dört ayrı durum için çözülmüş, elde edilen sonuçlar düğüm deplasman değerleri ve eleman uç kuvvetleri olmak üzere sırasıyla aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 5. 23. Farklı Tabaka Açıları ve Kesit II Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Düğüm Deplasmanların Karşılaştırılması

Düğüm No	Tabaka açıları	U dep. (m)	V dep. (m)	θ (Rad.)
2	0° 0° 0°	7.58819E-07	-9.15780E-07	2.18745E-07
	0° 45° 0°	8.92346E-07	-1.07749E-06	2.64360E-07
	45° 0° 45°	2.38494E-06	-2.88360E-06	7.29590E-07
	0° 90° 0°	9.21463E-07	-1.11232E-06	2.69014E-07
3	0° 0° 0°	5.09761E-07	5.01115E-07	2.46255E-08
	0° 45° 0°	5.99152E-07	5.88513E-07	2.56883E-08
	45° 0° 45°	1.59922E-06	1.56750E-06	5.79298E-08
	0° 90° 0°	6.18884E-07	6.08175E-07	2.83595E-08

Çizelge 5.24. Farklı Tabaka Açılı ve Kesit II Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Eleman Uç Kuvvetleri

Tabaka Açılışları	El. No	N _i (N)	T _i (N)	M _i (N.m)	N _j (N)	T _j (N)	M _j (N.m)	
Durum I	0°	1	-23.0810	73.5697	172.6570	-43.9191	6.4303	26.0926
	0°	2	43.9191	-6.4303	-26.0926	-43.9191	6.4303	-71.6224
	0°	3	43.9191	-16.4303	71.6224	-43.9191	16.4303	65.8213
Durum II	0°	1	-23.0219	73.6306	172.9690	-43.9782	6.3694	25.8724
	45°	2	43.9782	-6.3694	-25.8724	-43.9782	6.3694	-71.4874
	0°	3	43.9782	-16.3694	71.4874	-43.9782	16.3694	66.5563
Durum III	45°	1	-22.9605	73.6985	173.3390	-44.0395	6.3015	25.6342
	0°	2	44.0395	-6.3015	-25.6342	-44.0395	6.3015	-71.3239
	45°	3	44.0395	-16.3015	71.3239	-44.0395	16.3015	67.3659
Durum IV	0°	1	-23.0534	73.5982	172.8040	-43.9466	6.4018	25.9896
	90°	2	43.9466	-6.4018	-25.9896	-43.9466	6.4018	-71.5589
	0°	3	43.9466	-16.4018	71.5589	-43.9466	16.4018	66.1653

5.2.2. E_1/E_2 Oranının Üniform kesitli Sistem Üzerindeki Etkileri

Çalışmanın bu kısmında E_1/E_2 oranının, üniform kesitli doğru ve daire eksenli çubuklardan oluşan çerçeve sistemlerin eleman uç kuvvetleri ve düğüm deplasmanları üzerindeki etkileri araştırılmaktadır. Bu başlık altında ele alınan tüm problemler kesit I ve kesit II için ayrı ayrı çözülmektedir. Burada, tek tip malzeme kullanılarak tabakalanma açıları 0° olan üç simetrik tabakadan oluşan kesit, Kesit I, iki malzeme kullanılarak tabakalanma açıları 0° olan üç simetrik tabakadan oluşan kesit ise kesit II olarak adlandırılmaktadır.

Çalışmanın bu bölümünde ele alınan tüm problemler için, tabakalanma açıları farklı olan dört ayrı durum dikkate alınarak hem kesit I hem kesit II için E_1/E_2 oranının etkileri incelenmiştir. Ele alınan çerçeve sistemleri TFY ile E_1/E_2 oranı 1, 10, 15, 20 ve 30 olarak değiştirilerek, her durum için ayrı ayrı çözülmüştür. Çerçeve sistemlerine ait eleman uç kuvvetleri ve düğüm deplasman değerleri hazırlanan bilgisayar programı yardımı ile hesaplanarak çizelgeler üzerinde sunulmaktadır.

E_1 sabit tutulup, E_2 küçültülerek E_1/E_2 oranları oluşturulmuştur. Kayma modülleri (Jones, 1975) ve (Hull ve Clyne, 1996) da verilen bağıntılar yardımı ile her E_1/E_2 oranı için aşağıdaki gibi yaklaşık olarak elde edilmiştir.

$$G_{12} = G_{13} = \frac{E_1}{2\left(\frac{E_1}{E_2} + \nu_{12}\right)} \quad (5.1)$$

$$G_{23} = \frac{E_1}{(1 + \nu_{23})} \quad (5.2)$$

Çizelge 5.25. E_1/E_2 oranları için hesaplanan malzeme özellikleri

Malzeme Özellikleri	E_1/E_2 Oranları Carbon Epoxy				
	1	10	15	20	30
$E_{11}=E_1$	1.448E+11	1.448E+11	1.448E+11	1.448E+11	1.448E+11
$E_{22}=E_2$	1.448E+11	1.448E+10	9.653E+09	7.240E+09	4.827E+09
$G_{12}=G_{13}$	5.569E+10	7.029E+09	4.732E+09	3.567E+09	2.389E+09
G_{23}	5.175E+10	5.175E+09	3.450E+09	2.588E+09	1.725E+09
$\nu_{12}=\nu_{13}$	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
ν_{23}	0.399	0.399	0.399	0.399	0.399

Çizelge 5.26. E_1/E_2 oranları için hesaplanan malzeme özellikleri

Malzeme Özellikleri	E_1/E_2 Oranları Kevlar Epoxy				
	1	10	15	20	30
$E_{11}=E_1$	7.600E+10	7.600E+10	7.600E+10	7.600E+10	7.600E+10
$E_{22}=E_2$	7.600E+10	7.600E+09	5.067E+09	3.800E+09	2.533E+09
$G_{12}=G_{13}$	2.836E+10	3.675E+09	2.477E+09	1.868E+09	1.252E+09
G_{23}	2.212E+10	2.212E+09	1.475E+09	1.106E+09	7.373E+08
$\nu_{12}=\nu_{13}$	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340
ν_{23}	0.718	0.718	0.718	0.718	0.718

5.2.2.1. Uygulama 4

Şekil 5.7 de verilen farklı mesnet koşullarına sahip kolon, kiriş ve kemer sistemi ele alınmaktadır. Çerçeve sisteminde bulunan elemanlar çeşitli düzlem içi yükler ile yüklenmiştir. Tabaka kalınlığı 0.30 m olan üç simetrik tabakanın üst üste konulması ile meydana gelen ve eksen boyunca değişmeyen tabakalı kesit kullanılmıştır. Kesitte kullanılan malzeme özellikleri Çizelge 5.6 da verilmiştir. Bu sistem farklı E_1/E_2 oranları için TFY yardımı ile sayısal olarak çözülmüştür. Ele alınan çerçeve sistemi üzerindeki E_1/E_2 oranının etkileri dört farklı tabakalanma durumu için düğüm deplasmanları ve eleman uç kuvvetleri olmak üzere ayrı ayrı TFY ile çözülmüştür.

Kesit I Durum I: 0° 0° 0°

Şekil 5.7 de verilen çerçeve sistemi için 0° 0° 0° tabakalanma açıları ve kesit I malzeme özellikleri dikkate alınarak, düğüm deplasman değerleri ve eleman uç kuvvetleri farklı E_1/E_2 oranları için TFY ile çözülmekte ve çizelgelerde sunulmaktadır.

Çizelge 5. 27. Kesit I Malzeme Özellikleri ve Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 0° 0°	1	U dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		V dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		θ (Rad)	-9.2706E-07	-9.3350E-07	-9.3706E-07	-9.4062E-07	-9.4771E-07
	2	U dep (m)	3.5342E-06	3.6278E-06	3.6798E-06	3.7318E-06	3.8358E-06
		V dep (m)	-4.3904E-10	-4.3753E-10	-4.3671E-10	-4.3590E-10	-4.3431E-10
		θ (Rad)	3.7426E-07	3.6901E-07	3.6610E-07	3.6320E-07	3.5740E-07
	3	U dep (m)	1.4272E-06	1.4869E-06	1.5201E-06	1.5533E-06	1.6196E-06
		V dep (m)	1.6561E-06	1.6706E-06	1.6787E-06	1.6867E-06	1.7029E-06
		θ (Rad)	9.9270E-08	9.6352E-08	9.4730E-08	9.3107E-08	8.9852E-08
	4	U dep (m)	6.9761E-09	6.9721E-09	6.9699E-09	6.9677E-09	6.9633E-09
		V dep (m)	8.6210E-07	8.3942E-07	8.2683E-07	8.1425E-07	7.8907E-07
		θ (Rad)	-2.9826E-07	-2.9929E-07	-2.9987E-07	-3.0045E-07	-3.0163E-07

Çizelge 5.28. Kesit I Malzeme Özellikleri Ve Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
	1	1	-59.08950	2.57472	0.000000	-40.91050	-2.57472	90.89500
		10	-59.11300	2.56588	0.000000	-40.88700	-2.56588	91.13000
		15	-59.12600	2.56106	0.000000	-40.87400	-2.56106	91.25960
		20	-59.13890	2.55631	0.000000	-40.86120	-2.55631	91.38850
		30	-59.16450	2.54699	0.000000	-40.83550	-2.54699	91.64480
	2	1	40.91050	2.57472	-90.89500	-40.91050	-2.57472	-100.7840
		10	40.88700	2.56588	-91.13000	-40.88700	-2.56588	-100.4760
		15	40.87400	2.56106	-91.25960	-40.87400	-2.56106	-100.3050
		20	40.86120	2.55631	-91.38850	-40.86120	-2.55631	-100.1360
		30	40.83550	2.54700	-91.64480	-40.83550	-2.54700	-99.79780
	3	1	40.91050	-7.42528	100.78400	-40.91050	7.42528	66.64220
		10	40.88700	-7.43412	100.47600	-40.88700	7.43412	66.78880
		15	40.87400	-7.43894	100.30500	-40.87400	7.43894	66.87020
		20	40.86120	-7.44369	100.13600	-40.86120	7.44369	66.95160
		30	40.83550	-7.45300	99.79780	-40.83550	7.45300	67.11480
	4	1	40.91050	-7.42528	-66.64220	-40.91050	7.42528	-7.610530
		10	40.88700	-7.43412	-66.78880	-40.88700	7.43412	-7.552460
		15	40.87400	-7.43894	-66.87020	-40.87400	7.43894	-7.519210
		20	40.86120	-7.44369	-66.95160	-40.86120	7.44369	-7.485280
		30	40.83550	-7.45300	-67.11480	-40.83550	7.45300	-7.415270

Kesit I Durum II: 0° 45° 0°

Ele alınan çerçeve sistemi için 0° 45° 0° tabakalanma açıları ve kesit I malzeme özellikleri dikkate alınarak, farklı E_1/E_2 oranları için TFY ile çözülmekte ve karşılaştırılmalar Çizelge 5.29 ve 5.30 da verilmektedir.

Çizelge 5.29. Kesit I Malzeme Özellikleri ve Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 45° 0°	1	U dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		V dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		θ (Rad)	-9.2707E-07	-1.2876E-06	-1.3198E-06	-1.3387E-06	-1.3612E-06
	2	U dep (m)	3.5342E-06	4.9508E-06	5.0967E-06	5.1919E-06	5.3238E-06
		V dep (m)	-4.3905E-10	-6.1267E-10	-6.2565E-10	-6.3239E-10	-6.3904E-10
		θ (Rad)	3.7426E-07	5.1503E-07	5.2541E-07	5.3042E-07	5.3427E-07
	3	U dep (m)	1.4272E-06	2.0126E-06	2.0789E-06	2.1247E-06	2.1926E-06
		V dep (m)	1.6561E-06	2.3019E-06	2.3605E-06	2.3953E-06	2.4375E-06
		θ (Rad)	9.9270E-08	1.3569E-07	1.3793E-07	1.3874E-07	1.3874E-07
	4	U dep (m)	6.9761E-09	9.7474E-09	9.9603E-09	1.0074E-08	1.0193E-08
		V dep (m)	8.6211E-07	1.1800E-06	1.2003E-06	1.2083E-06	1.2101E-06
		θ (Rad)	-2.9826E-07	-4.1362E-07	-4.2363E-07	-4.2937E-07	-4.3592E-07

Çizelge 5.30. Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
0° 45° 0°	1	1	-59.08950	2.57472	0.000000	-40.91050	-2.57472	90.89500
		10	-59.09990	2.57076	0.000000	-40.90010	-2.57076	90.99900
		15	-59.10520	2.56876	0.000000	-40.89480	-2.56876	91.05210
		20	-59.11050	2.56680	0.000000	-40.88950	-2.56680	91.10460
		30	-59.12090	2.56291	0.000000	-40.87910	-2.56291	91.20900
	2	1	40.91050	2.57472	-90.89500	-40.91050	-2.57472	-100.7840
		10	40.90010	2.57076	-90.99900	-40.90010	-2.57076	-100.6480
		15	40.89480	2.56877	-91.05210	-40.89480	-2.56877	-100.5780
		20	40.88950	2.56680	-91.10460	-40.88950	-2.56680	-100.5090
		30	40.87910	2.56292	-91.20900	-40.87910	-2.56292	-100.3720
	3	1	40.91050	-7.42528	100.7840	-40.91050	7.42528	66.64220
		10	40.90010	-7.42924	100.6480	-40.90010	7.42924	66.70660
		15	40.89480	-7.43123	100.5780	-40.89480	7.43123	66.73980
		20	40.88950	-7.43320	100.5090	-40.88950	7.43320	66.77270
		30	40.87910	-7.43708	100.3720	-40.87910	7.43708	66.83820
	4	1	40.91050	-7.42528	-66.64220	-40.91050	7.42528	-7.610530
		10	40.90010	-7.42924	-66.70660	-40.90010	7.42924	-7.585810
		15	40.89480	-7.43123	-66.73980	-40.89480	7.43123	-7.572550
		20	40.88950	-7.43320	-66.77270	-40.88950	7.43320	-7.559310
		30	40.87910	-7.43708	-66.83820	-40.87910	7.43708	-7.532620

Kesit I Durum III: 45° 0° 45°

Çerçevenin 45° 0° 45° tabakalanma açıları ve kesit I malzeme özellikleri dikkate alınarak, TFY yardımı ile farklı E_1/E_2 oranları için çözülmüş ve takip eden çizelgelerde karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.31. Kesit I Malzeme Özellikleri ve Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
45° 0° 45°	1	U dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		V dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		θ (Rad)	-9.2708E-07	-2.0885E-06	-2.2575E-06	-2.3607E-06	-2.4819E-06
	2	U dep (m)	3.5343E-06	7.9844E-06	8.6439E-06	9.0530E-06	9.5471E-06
		V dep (m)	-4.3905E-10	-1.0353E-09	-1.1115E-09	-1.1549E-09	-1.2024E-09
		θ (Rad)	3.7427E-07	8.4048E-07	9.0698E-07	9.4687E-07	9.9218E-07
	3	U dep (m)	1.4272E-06	3.2319E-06	3.5030E-06	3.6732E-06	3.8828E-06
		V dep (m)	1.6561E-06	3.7310E-06	4.0336E-06	4.2188E-06	4.4368E-06
		θ (Rad)	9.9271E-08	2.2245E-07	2.3976E-07	2.4999E-07	2.6130E-07
	4	U dep (m)	6.9762E-09	1.6458E-08	1.7674E-08	1.8368E-08	1.9133E-08
		V dep (m)	8.6212E-07	1.9327E-06	2.0835E-06	2.1730E-06	2.2725E-06
		θ (Rad)	-2.9826E-07	-6.7150E-07	-7.2565E-07	-7.5862E-07	-7.9715E-07

Çizelge 5. 32. Kesit I Malzeme Özellikleri ve Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
45° 0° 45°	1	1	-59.08950	2.57472	0.000000	-40.91050	-2.57472	90.89500
		10	-59.09320	2.57316	0.000000	-40.90680	-2.57316	90.93180
		15	-59.09500	2.57248	0.000000	-40.90500	-2.57248	90.95030
		20	-59.09690	2.57181	0.000000	-40.90310	-2.57181	90.96870
		30	-59.10060	2.57045	0.000000	-40.89940	-2.57045	91.00560
	2	1	40.91050	2.57472	-90.89500	-40.91050	-2.57472	-100.7840
		10	40.90680	2.57317	-90.93180	-40.90680	-2.57317	-100.7370
		15	40.90500	2.57249	-90.95030	-40.90500	-2.57249	-100.7120
		20	40.90310	2.57181	-90.96870	-40.90310	-2.57181	-100.6880
		30	40.89940	2.57045	-91.00560	-40.89940	-2.57045	-100.6390
	3	1	40.91050	-7.42528	100.7840	-40.91050	7.42528	66.64220
		10	40.90680	-7.42683	100.7370	-40.90680	7.42683	66.66350
		15	40.90500	-7.42751	100.7120	-40.90500	7.42751	66.67520
		20	40.90310	-7.42819	100.6880	-40.90310	7.42819	66.68680
		30	40.89940	-7.42955	100.6390	-40.89940	7.42955	66.71010
	4	1	40.91050	-7.42528	-66.64220	-40.91050	7.42528	-7.610530
		10	40.90680	-7.42683	-66.66350	-40.90680	7.42683	-7.604860
		15	40.90500	-7.42751	-66.67520	-40.90500	7.42751	-7.599930
		20	40.90310	-7.42819	-66.68680	-40.90310	7.42819	-7.595050
		30	40.89940	-7.42955	-66.71010	-40.89940	7.42955	-7.585420

Kesit I Durum IV: 0° 90° 0°

Problemin 0° 90° 0° tabakalanma açıları ve kesit I malzeme özellikleri dikkate alınarak, hazırlanan genel amaçlı bilgisayar programı yardımı ile farklı E_1/E_2 oranları için çözülmüş ve takip eden çizelgelerde karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5. 33. Kesit I Malzeme Özellikleri ve Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 90° 0°	1	U dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		V dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		θ (Rad)	-9.2706E-07	-1.3304E-06	-1.3553E-06	-1.3698E-06	-1.3881E-06
	2	U dep (m)	3.5342E-06	5.1367E-06	5.2698E-06	5.3633E-06	5.5096E-06
		V dep (m)	-4.3904E-10	-6.2578E-10	-6.3507E-10	-6.3943E-10	-6.4308E-10
		θ (Rad)	3.7426E-07	5.2973E-07	5.3546E-07	5.3698E-07	5.3566E-07
	3	U dep (m)	1.4272E-06	2.0949E-06	2.1608E-06	2.2107E-06	2.2941E-06
		V dep (m)	1.6561E-06	2.3794E-06	2.4256E-06	2.4532E-06	2.4892E-06
		θ (Rad)	9.9270E-08	1.3908E-07	1.3975E-07	1.3931E-07	1.3725E-07
	4	U dep (m)	6.9761E-09	9.9621E-09	1.0121E-08	1.0201E-08	1.0280E-08
		V dep (m)	8.6210E-07	1.2103E-06	1.2176E-06	1.2153E-06	1.2005E-06
		θ (Rad)	-2.9826E-07	-4.2705E-07	-4.3449E-07	-4.3859E-07	-4.4333E-07

Çizelge 5. 34. Kesit I Malzeme Özellikleri ve Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açılışı	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
0° 90° 0°	1	1	-59.08950	2.57472	0.000000	-40.91050	-2.57472	90.89500
		10	-59.10500	2.56889	0.000000	-40.89500	-2.56889	91.04950
		15	-59.11360	2.56564	0.000000	-40.88640	-2.56564	91.13620
		20	-59.12230	2.56243	0.000000	-40.87770	-2.56243	91.22260
		30	-59.13950	2.55608	0.000000	-40.86050	-2.55608	91.39480
	2	1	40.91050	2.57472	-90.89500	-40.91050	-2.57472	-100.7840
		10	40.89500	2.56889	-91.04950	-40.89500	-2.56889	-100.5810
		15	40.88640	2.56564	-91.13620	-40.88640	-2.56565	-100.4670
		20	40.87770	2.56243	-91.22260	-40.87770	-2.56243	-100.3540
		30	40.86050	2.55608	-91.39480	-40.86050	-2.55608	-100.1270
	3	1	40.91050	-7.42528	100.78400	-40.91050	7.42528	66.64220
		10	40.89500	-7.43111	100.58100	-40.89500	7.43111	66.73840
		15	40.88640	-7.43435	100.46700	-40.88640	7.43435	66.79270
		20	40.87770	-7.43757	100.35400	-40.87770	7.43757	66.84690
		30	40.86050	-7.44392	100.12700	-40.86050	7.44392	66.95560
	4	1	40.91050	-7.42528	-66.64220	-40.91050	7.42528	-7.610530
		10	40.89500	-7.43111	-66.73840	-40.89500	7.43111	-7.572660
		15	40.88640	-7.43435	-66.79270	-40.88640	7.43435	-7.550880
		20	40.87770	-7.43757	-66.84690	-40.87770	7.43757	-7.528790
		30	40.86050	-7.44392	-66.95560	-40.86050	7.44392	-7.483610

Kesit II Durum I: 0° 0° 0°

Şekil 5.7 deki çerçeve sistemi için, 0° 0° 0° tabakalanma açıları ve kesit II malzeme özellikleri dikkate alınarak TFY yardımı ile farklı E_1/E_2 oranları için çözülmüş ve takip eden çizelgelerde sunulmuştur.

Çizelge 5.35. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 0° 0°	1	U dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		V dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		θ (Rad)	-1.1015E-06	-1.1092E-06	-1.1134E-06	-1.1176E-06	-1.1261E-06
	2	U dep (m)	4.1994E-06	4.3106E-06	4.3724E-06	4.4341E-06	4.5577E-06
		V dep (m)	-5.2166E-10	-5.1987E-10	-5.1889E-10	-5.1793E-10	-5.1604E-10
		θ (Rad)	4.4468E-07	4.3845E-07	4.3499E-07	4.3154E-07	4.2465E-07
	3	U dep (m)	1.6958E-06	1.7668E-06	1.8062E-06	1.8456E-06	1.9245E-06
		V dep (m)	1.9677E-06	1.9850E-06	1.9946E-06	2.0042E-06	2.0233E-06
		θ (Rad)	1.1795E-07	1.1448E-07	1.1255E-07	1.1062E-07	1.0676E-07
	4	U dep (m)	8.2889E-09	8.2841E-09	8.2815E-09	8.2789E-09	8.2737E-09
		V dep (m)	1.0243E-06	9.9737E-07	9.8240E-07	9.6745E-07	9.3754E-07
		θ (Rad)	-3.5438E-07	-3.5561E-07	-3.5630E-07	-3.5699E-07	-3.5839E-07

Çizelge 5.36. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açılı	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
0° 0° 0°	1	1	-59.08950	2.57471	0.000000	-40.91050	-2.57471	90.89520
		10	-59.11300	2.56587	0.000000	-40.88700	-2.56587	91.13020
		15	-59.12600	2.56105	0.000000	-40.87400	-2.56105	91.25980
		20	-59.13890	2.55630	0.000000	-40.86110	-2.55630	91.38870
		30	-59.16450	2.54699	0.000000	-40.83550	-2.54699	91.64500
	2	1	40.91050	2.57471	-90.89520	-40.91050	-2.57472	-100.7840
		10	40.88700	2.56587	-91.13020	-40.88700	-2.56587	-100.4750
		15	40.87400	2.56105	-91.25980	-40.87400	-2.56105	-100.3050
		20	40.86110	2.55630	-91.38870	-40.86110	-2.55630	-100.1350
		30	40.83550	2.54699	-91.64500	-40.83550	-2.54699	-99.79750
	3	1	40.91050	-7.42529	100.78400	-40.91050	7.42528	66.64240
		10	40.88700	-7.43413	100.47500	-40.88700	7.43413	66.78890
		15	40.87400	-7.43895	100.30500	-40.87400	7.43895	66.87030
		20	40.86110	-7.44370	100.13500	-40.86110	7.44370	66.95180
		30	40.83550	-7.45301	99.79750	-40.83550	7.45301	67.11490
	4	1	40.91050	-7.42529	-66.64240	-40.91050	7.42529	-7.610470
		10	40.88700	-7.43413	-66.78890	-40.88700	7.43413	-7.552400
		15	40.87400	-7.43895	-66.87030	-40.87400	7.43895	-7.519150
		20	40.86110	-7.44370	-66.95180	-40.86110	7.44370	-7.485210
		30	40.83550	-7.45301	-67.11490	-40.83550	7.45301	-7.415200

Kesit II Durum II: 0° 45° 0°

Ele alınan çerçeve sistemi için kesit II malzeme özellikleri ve 0° 45° 0° tabakalanma açıları dikkate alınarak, TFY yardımı ile farklı E_1/E_2 oranları için çözülmüş ve takip eden çizelgelerde karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.37. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 45° 0°	1	U dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		V dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		θ (Rad)	-1.1015E-06	-1.3381E-06	-1.3579E-06	-1.3701E-06	-1.3860E-06
	2	U dep (m)	4.1994E-06	5.1614E-06	5.2695E-06	5.3484E-06	5.4737E-06
		V dep (m)	-5.2166E-10	-6.3192E-10	-6.3885E-10	-6.4224E-10	-6.4516E-10
		θ (Rad)	4.4468E-07	5.3334E-07	5.3764E-07	5.3890E-07	5.3799E-07
	3	U dep (m)	1.6958E-06	2.1034E-06	2.1574E-06	2.1996E-06	2.2707E-06
		V dep (m)	1.9677E-06	2.3929E-06	2.4297E-06	2.4530E-06	2.4842E-06
		θ (Rad)	1.1795E-07	1.4014E-07	1.4056E-07	1.4017E-07	1.3850E-07
	4	U dep (m)	8.2888E-09	1.0058E-08	1.0178E-08	1.0241E-08	1.0306E-08
		V dep (m)	1.0243E-06	1.2193E-06	1.2242E-06	1.2222E-06	1.2101E-06
		θ (Rad)	-3.5438E-07	-4.2958E-07	-4.3547E-07	-4.3891E-07	-4.4307E-07

Çizelge 5.38. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açılı	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
0° 45° 0°	1	1	-59.08950	2.57471	0.000000	-40.91050	-2.57471	90.89520
		10	-59.10380	2.56931	0.000000	-40.89620	-2.56931	91.03800
		15	-59.11120	2.56653	0.000000	-40.88880	-2.56653	91.11210
		20	-59.11850	2.56380	0.000000	-40.88150	-2.56380	91.18540
		30	-59.13310	2.55842	0.000000	-40.86690	-2.55842	91.33100
	2	1	40.91050	2.57471	-90.89520	-40.91050	-2.57472	-100.7840
		10	40.89620	2.56931	-91.03800	-40.89620	-2.56931	-100.5960
		15	40.88880	2.56653	-91.11210	-40.88880	-2.56654	-100.4990
		20	40.88150	2.56380	-91.18540	-40.88150	-2.56380	-100.4030
		30	40.86690	2.55842	-91.33100	-40.86690	-2.55842	-100.2110
	3	1	40.91050	-7.42529	100.78400	-40.91050	7.42528	66.64240
		10	40.89620	-7.43069	100.59600	-40.89620	7.43069	66.73110
		15	40.88880	-7.43346	100.49900	-40.88880	7.43346	66.77750
		20	40.88150	-7.43620	100.40300	-40.88150	7.43620	66.82350
		30	40.86690	-7.44158	100.21100	-40.86690	7.44158	66.91520
	4	1	40.91050	-7.42529	-66.64240	-40.91050	7.42529	-7.610470
		10	40.89620	-7.43069	-66.73110	-40.89620	7.43069	-7.575760
		15	40.88880	-7.43346	-66.77750	-40.88880	7.43346	-7.557170
		20	40.88150	-7.43620	-66.82350	-40.88150	7.43620	-7.538510
		30	40.86690	-7.44158	-66.91520	-40.86690	7.44158	-7.500650

0

Kesit II Durum III: 45° 0° 45°

Problem için, 45° 0° 45° tabakalanma açıları ve kesit II malzeme özellikleri dikkate alınarak TFY yardımı ile farklı E_1/E_2 oranları için çözülmüş ve sonuçlar takip eden çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 5. 39. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
45° 0° 45°	1	U dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		V dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		θ (Rad)	-1.1016E-06	-3.2434E-06	-3.6682E-06	-3.9465E-06	-4.2922E-06
	2	U dep (m)	4.1995E-06	1.2382E-05	1.4016E-05	1.5092E-05	1.6442E-05
		V dep (m)	-5.2167E-10	-1.6653E-09	-1.8685E-09	-1.9926E-09	-2.1362E-09
		θ (Rad)	4.4469E-07	1.3073E-06	1.4771E-06	1.5878E-06	1.7237E-06
	3	U dep (m)	1.6959E-06	5.0067E-06	5.6710E-06	6.1104E-06	6.6657E-06
		V dep (m)	1.9678E-06	5.7928E-06	6.5522E-06	7.0502E-06	7.6694E-06
		θ (Rad)	1.1795E-07	3.4643E-07	3.9117E-07	4.2017E-07	4.5551E-07
	4	U dep (m)	8.2890E-09	2.6470E-08	2.9704E-08	3.1679E-08	3.3971E-08
		V dep (m)	1.0243E-06	3.0090E-06	3.3980E-06	3.6505E-06	3.9587E-06
		θ (Rad)	-3.5439E-07	-1.0431E-06	-1.1795E-06	-1.2688E-06	-1.3796E-06

Çizelge 5. 40. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açılışı	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
45° 0° 45°	1	1	-59.08950	2.57471	0.000000	-40.91050	-2.57471	90.89520
		10	-59.09160	2.57364	0.000000	-40.90840	-2.57364	90.91590
		15	-59.09260	2.57329	0.000000	-40.90740	-2.57329	90.92590
		20	-59.09360	2.57295	0.000000	-40.90640	-2.57295	90.93580
		30	-59.09560	2.57223	0.000000	-40.90440	-2.57223	90.95590
	2	1	40.91050	2.57471	-90.89520	-40.91050	-2.57472	-100.7840
		10	40.90840	2.57365	-90.91590	-40.90840	-2.57365	-100.7580
		15	40.90740	2.57329	-90.92590	-40.90740	-2.57330	-100.7450
		20	40.90640	2.57295	-90.93580	-40.90640	-2.57295	-100.7310
		30	40.90440	2.57224	-90.95590	-40.90440	-2.57224	-100.7050
	3	1	40.91050	-7.42529	100.78400	-40.91050	7.42528	66.64240
		10	40.90840	-7.42635	100.75800	-40.90840	7.42635	66.65240
		15	40.90740	-7.42671	100.74500	-40.90740	7.42670	66.65890
		20	40.90640	-7.42705	100.73100	-40.90640	7.42705	66.66530
		30	40.90440	-7.42776	100.70500	-40.90440	7.42776	66.67830
	4	1	40.91050	-7.42529	-66.64240	-40.91050	7.42529	-7.610480
		10	40.90840	-7.42635	-66.65240	-40.90840	7.42635	-7.611150
		15	40.90740	-7.42671	-66.65890	-40.90740	7.42671	-7.608190
		20	40.90640	-7.42705	-66.66530	-40.90640	7.42705	-7.605180
		30	40.90440	-7.42776	-66.67830	-40.90440	7.42776	-7.599330

Kesit II Durum IV: 0° 90° 0°

Ele alınan problemin, 0° 90° 0° tabakalanma açıları ve kesit II malzeme özellikleri dikkate alınarak TFY ile farklı E_1/E_2 oranları için çözülmüş ve sonuçlar takip eden çizelgelerde sunulmuştur.

Çizelge 5. 41. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 90° 0°	1	U dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		V dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		θ (Rad)	-1.1015E-06	-1.3624E-06	-1.3783E-06	-1.3884E-06	-1.4028E-06
	2	U dep (m)	4.1994E-06	5.2734E-06	5.3794E-06	5.4636E-06	5.6098E-06
		V dep (m)	-5.2166E-10	-6.3998E-10	-6.4452E-10	-6.4634E-10	-6.4725E-10
		θ (Rad)	4.4468E-07	5.4100E-07	5.4225E-07	5.4118E-07	5.3669E-07
	3	U dep (m)	1.6958E-06	2.1547E-06	2.2120E-06	2.2604E-06	2.3484E-06
		V dep (m)	1.9677E-06	2.4373E-06	2.4676E-06	2.4878E-06	2.5176E-06
		θ (Rad)	1.1795E-07	1.4174E-07	1.4107E-07	1.3978E-07	1.3655E-07
	4	U dep (m)	8.2889E-09	1.0192E-08	1.0277E-08	1.0319E-08	1.0358E-08
		V dep (m)	1.0243E-06	1.2340E-06	1.2299E-06	1.2205E-06	1.1961E-06
		θ (Rad)	-3.5438E-07	-4.3713E-07	-4.4156E-07	-4.4415E-07	-4.4745E-07

Çizelge 5.42. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açılı	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
0° 90° 0°	1	1	-59.08950	2.57471	0.000000	-40.91050	-2.57471	90.89520
		10	-59.10800	2.56774	0.000000	-40.89200	-2.56774	91.08000
		15	-59.11830	2.56390	0.000000	-40.88170	-2.56390	91.18290
		20	-59.12850	2.56011	0.000000	-40.87150	-2.56011	91.28530
		30	-59.14890	2.55262	0.000000	-40.85110	-2.55262	91.48930
	2	1	40.91050	2.57471	-90.89520	-40.91050	-2.57472	-100.7840
		10	40.89200	2.56775	-91.08000	-40.89200	-2.56775	-100.5410
		15	40.88170	2.56390	-91.18290	-40.88170	-2.56391	-100.4060
		20	40.87150	2.56011	-91.28530	-40.87150	-2.56011	-100.2710
		30	40.85110	2.55262	-91.48930	-40.85110	-2.55263	-100.0030
	3	1	40.91050	-7.42529	100.78400	-40.91050	7.42528	66.64240
		10	40.89200	-7.43225	100.54100	-40.89200	7.43225	66.75750
		15	40.88170	-7.43609	100.40600	-40.88170	7.43609	66.82190
		20	40.87150	-7.43989	100.27100	-40.87150	7.43989	66.88640
		30	40.85110	-7.44737	100.00300	-40.85110	7.44737	67.01560
	4	1	40.91050	-7.42529	-66.64240	-40.91050	7.42529	-7.610470
		10	40.89200	-7.43225	-66.75750	-40.89200	7.43225	-7.565040
		15	40.88170	-7.43609	-66.82190	-40.88170	7.43609	-7.538990
		20	40.87150	-7.43989	-66.88640	-40.87150	7.43989	-7.512500
		30	40.85110	-7.44737	-67.01560	-40.85110	7.44737	-7.458140

Kesit I malzeme özellikleri kullanılarak Şekil 5.7 de verilen üniform kesitli çerçeve sistemi, tabakalanma açıları farklı olan dört durum için analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, eleman uç kuvvetlerinin her bir tabakalanma durumunda E_1/E_2 oranının değişiminden etkilendiği görülmektedir. Tüm tabakalanma durumlarında en büyük eleman uç kuvveti E_1/E_2 oranının 1 olduğu durumda elde edilmiştir. TFY den elde edilen sonuçlar düğüm deplasman değerleri bakımından incelendiğinde, E_1/E_2 oranının artışı ile birlikte düğüm deplasman değerleri de önemli ölçüde artmaktadır. En büyük düğüm deplasman değeri 45° 0° 45° derece tabakalanma açıları ve E_1/E_2 oranının 30 olduğu durumda elde edilmiştir.

Kesit II malzeme özellikleri dikkate alınarak Şekil 5.7 de verilen çerçeve sistemi dört farklı tabakalanma açıları ve E_1/E_2 oranlarının sırası ile 1, 10, 15, 20 ve 30 olduğu durumlar için TFY ile çözülmüştür. E_1/E_2 oranının 1 olduğu durumda en büyük eleman uç kuvveti elde edilmiştir. Ele alınan çerçeve sistemine ait 3. elemanın *i* ucundaki moment değeri sistemdeki en büyük eleman uç kuvvetidir. Kesit II malzeme grubu için maksimum düğüm deplasman değeri 45° 0° 45° derece tabakalanma açıları ve E_1/E_2 oranının 30 olduğu durumda elde edilmiştir.

5.2.2.2. Uygulama 5

Daire eksenli ve doğru eksenli üç elemandan oluşan toplam açıklığı 20.0 m olan bir ucu ankastre diğer ucu kayıcı mesnetli çerçeve sistemi ele alınmıştır. Sistem sadece statik üniform yayılı yükle ($q_n=10$ N/m) yüklenmiştir. Eksen boyunca sabit, genişliği ($b=0.45$ m) ve yüksekliği ($h=0.90$ m) olan üç tabakalı kesit kullanılmıştır. Şekil 5.9 daki çerçeve sistemi 1, 10, 15, 20 ve 30 E_1/E_2 oranları için TFY yardımı ile çözülmektedir. Bu çerçeve sistemin hem kesit I hem de kesit II nin aşağıdaki dört farklı durumu dikkate alınarak, farklı E_1/E_2 oranları için TFY ile ayrı ayrı sayısal olarak çözülmüş, sonuçlar tablolar üzerinde sunulmuştur.

Kesit I Durum I: 0° 0° 0°

Ele alınan çerçeve sistemi kesit I malzeme özellikleri için 0° 0° 0° derece tabakalanma açıları dikkate alınarak, TFY yardımı ile farklı E_1/E_2 oranları için çözülmektedir.

Çizelge 5. 43. Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 0° 0°	1	U dep (m)	-7.8438E-06	-7.8496E-06	-7.8527E-06	-7.8559E-06	-7.8622E-06
		V dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		θ (Rad)	-1.0852E-06	-1.0874E-06	-1.0887E-06	-1.0900E-06	-1.0925E-06
	2	U dep (m)	-1.5416E-06	-1.4986E-06	-1.4747E-06	-1.4508E-06	-1.4029E-06
		V dep (m)	-2.3319E-06	-2.3499E-06	-2.3599E-06	-2.3699E-06	-2.3899E-06
		θ (Rad)	-7.3689E-07	-7.3912E-07	-7.4035E-07	-7.4159E-07	-7.4405E-07
	3	U dep (m)	-1.1279E-06	-1.0829E-06	-1.0580E-06	-1.0330E-06	-9.8296E-07
		V dep (m)	-3.2361E-06	-3.2583E-06	-3.2706E-06	-3.2830E-06	-3.3077E-06
		θ (Rad)	4.4942E-07	4.4756E-07	4.4654E-07	4.4551E-07	4.4346E-07

Çizelge 5. 44. Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
0° 0° 0°	1	1	0.00000	41.45030	0.00000	0.00000	-41.45030	99.48080
		10	0.00000	41.45750	0.00000	0.00000	-41.45750	99.49790
		15	0.00000	41.46140	0.00000	0.00000	-41.46140	99.50740
		20	0.00000	41.46540	0.00000	0.00000	-41.46540	99.51690
		30	0.00000	41.47330	0.00000	0.00000	-41.47330	99.53580
	2	1	0.00000	41.45030	-99.48080	-35.00000	34.54970	64.45330
		10	0.00000	41.45750	-99.49790	-35.00000	34.54250	64.52460
		15	0.00000	41.46140	-99.50740	-35.00000	34.53860	64.56420
		20	0.00000	41.46540	-99.51690	-35.00000	34.53460	64.60360
		30	0.00000	41.47330	-99.53580	-35.00000	34.52670	64.68260
	3	1	35.00000	-34.54970	-64.45330	-35.00000	34.54970	68.95650
		10	35.00000	-34.54250	-64.52460	-35.00000	34.54250	69.09920
		15	35.00000	-34.53860	-64.56420	-35.00000	34.53860	69.17830
		20	35.00000	-34.53460	-64.60360	-35.00000	34.53460	69.25730
		30	35.00000	-34.52670	-64.68260	-35.00000	34.52670	69.41520

Kesit I Durum II: 0° 45° 0°

Çerçeve sistemi, kesit I malzeme özellikleri için 0° 45° 0° tabakalanma açıları dikkate alınarak, TFY yardımı ile farklı E_1/E_2 oranları için sayısal olarak çözülmüş ve sonuçlar takip eden çizelgelerde sunulmuştur.

Çizelge 5. 45. Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 45° 0°	1	U dep (m)	-7.8439E-06	-1.0865E-05	-1.1121E-05	-1.1265E-05	-1.1422E-05
		V dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		θ (Rad)	-1.0852E-06	-1.5040E-06	-1.5399E-06	-1.5603E-06	-1.5832E-06
	2	U dep (m)	-1.5416E-06	-2.1084E-06	-2.1439E-06	-2.1574E-06	-2.1590E-06
		V dep (m)	-2.3319E-06	-3.2399E-06	-3.3216E-06	-3.3697E-06	-3.4275E-06
		θ (Rad)	-7.3690E-07	-1.0217E-06	-1.0464E-06	-1.0604E-06	-1.0764E-06
	3	U dep (m)	-1.1279E-06	-1.5344E-06	-1.5559E-06	-1.5612E-06	-1.5534E-06
		V dep (m)	-3.2361E-06	-4.4946E-06	-4.6069E-06	-4.6728E-06	-4.7512E-06
		θ (Rad)	4.4942E-07	6.2118E-07	6.3512E-07	6.4263E-07	6.5022E-07

Çizelge 5. 46. Kesit I'ın Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
0° 45° 0°	1	1	0.00000	41.45030	0.00000	0.00000	-41.45030	99.48080
		10	0.00000	41.45350	0.00000	0.00000	-41.45350	99.48830
		15	0.00000	41.45510	0.00000	0.00000	-41.45510	99.49220
		20	0.00000	41.45670	0.00000	0.00000	-41.45670	99.49600
		30	0.00000	41.45990	0.00000	0.00000	-41.45990	99.50370
	2	1	0.00000	41.45030	-99.48080	-35.00000	34.54970	64.45330
		10	0.00000	41.45350	-99.48830	-35.00000	34.54650	64.48460
		15	0.00000	41.45510	-99.49220	-35.00000	34.54490	64.50080
		20	0.00000	41.45670	-99.49600	-35.00000	34.54330	64.51680
		30	0.00000	41.45990	-99.50370	-35.00000	34.54010	64.54860
	3	1	35.0000	-34.54970	-64.45330	-35.00000	34.54970	68.95650
		10	35.0000	-34.54650	-64.48460	-35.00000	34.54650	69.01920
		15	35.0000	-34.54490	-64.50080	-35.00000	34.54490	69.05160
		20	35.0000	-34.54330	-64.51680	-35.00000	34.54330	69.08360
		30	35.0000	-34.54010	-64.54860	-35.00000	34.54010	69.14730

Kesit I Durum III: 45° 0° 45°

Ele alınan Problem için kesit I malzeme özellikleri ve 45° 0° 45° tabakalanma açıları dikkate alınarak, bu çalışmada hazırlanan bilgisayar programı yardımı ile çeşitli E_1/E_2 oranları için çözülmüş ve devamında karşılaştırılmalar yapılmıştır.

Çizelge 5. 47. Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
45° 0° 45°	1	U dep (m)	-7.8440E-06	-1.7653E-05	-1.9072E-05	-1.9934E-05	-2.0938E-05
		V dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		θ (Rad)	-1.0852E-06	-2.4428E-06	-2.6395E-06	-2.7591E-06	-2.8986E-06
	2	U dep (m)	-1.5416E-06	-3.4544E-06	-3.7236E-06	-3.8831E-06	-4.0600E-06
		V dep (m)	-2.3319E-06	-5.2540E-06	-5.6795E-06	-5.9395E-06	-6.2452E-06
		θ (Rad)	-7.3690E-07	-1.6590E-06	-1.7927E-06	-1.8741E-06	-1.9692E-06
	3	U dep (m)	-1.1279E-06	-2.5230E-06	-2.7170E-06	-2.8306E-06	-2.9538E-06
		V dep (m)	-3.2361E-06	-7.2903E-06	-7.8802E-06	-8.2404E-06	-8.6633E-06
		θ (Rad)	4.4943E-07	1.0108E-06	1.0916E-06	1.1405E-06	1.1970E-06

Çizelge 5. 48. Kesit I'ın Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
45° 0° 45°	1	1	0.00000	41.45030	0.00000	0.00000	-41.45030	99.48080
		10	0.00000	41.45140	0.00000	0.00000	-41.45140	99.48330
		15	0.00000	41.45190	0.00000	0.00000	-41.45190	99.48460
		20	0.00000	41.45250	0.00000	0.00000	-41.45250	99.48600
		30	0.00000	41.45360	0.00000	0.00000	-41.45360	99.48870
	2	1	0.00000	41.45030	-99.48080	-35.00000	34.54970	64.45330
		10	0.00000	41.45140	-99.48330	-35.00000	34.54860	64.46360
		15	0.00000	41.45190	-99.48460	-35.00000	34.54810	64.46930
		20	0.00000	41.45250	-99.48600	-35.00000	34.54750	64.47500
		30	0.00000	41.45360	-99.48870	-35.00000	34.54640	64.48630
	3	1	35.00000	-34.54970	-64.45330	-35.00000	34.54970	68.95650
		10	35.00000	-34.54860	-64.46360	-35.00000	34.54860	68.97730
		15	35.00000	-34.54810	-64.46930	-35.00000	34.54810	68.98870
		20	35.00000	-34.54750	-64.47500	-35.00000	34.54750	69.00000
		30	35.00000	-34.54640	-64.48630	-35.00000	34.54640	69.02270

Kesit I Durum VI: 0° 90° 0°

Problem için kesit I malzeme özellikleri ve 0° 90° 0° tabakalanma açıları dikkate alınarak, TFY yardımı ile farklı E_1/E_2 oranları için çözülmüş ve sonuçları Çizelge 5.49 ve 5.50 de verilmiştir.

Çizelge 5. 49. Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 90° 0°	1	U dep (m)	-7.8438E-06	-1.1211E-05	-1.1395E-05	-1.1491E-05	-1.1591E-05
		V dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		θ (Rad)	-1.0852E-06	-1.5524E-06	-1.5786E-06	-1.5927E-06	-1.6083E-06
	2	U dep (m)	-1.5416E-06	-2.1619E-06	-2.1737E-06	-2.1680E-06	-2.1388E-06
		V dep (m)	-2.3319E-06	-3.3482E-06	-3.4118E-06	-3.4493E-06	-3.4973E-06
		θ (Rad)	-7.3689E-07	-1.0548E-06	-1.0730E-06	-1.0829E-06	-1.0942E-06
	3	U dep (m)	-1.1279E-06	-1.5691E-06	-1.5703E-06	-1.5587E-06	-1.5223E-06
		V dep (m)	-3.2361E-06	-4.6438E-06	-4.7307E-06	-4.7811E-06	-4.8446E-06
		θ (Rad)	4.4942E-07	6.4029E-07	6.4962E-07	6.5390E-07	6.5724E-07

Çizelge 5. 50. Kesit I'ın Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
120°	1	1	0.00000	41.45030	0.00000	0.00000	-41.45030	99.48080
		10	0.00000	41.45500	0.00000	0.00000	-41.45500	99.49200
		15	0.00000	41.45770	0.00000	0.00000	-41.45770	99.49840
		20	0.00000	41.46030	0.00000	0.00000	-41.46030	99.50470
		30	0.00000	41.46560	0.00000	0.00000	-41.46560	99.51730
	2	1	0.00000	41.45030	-99.48080	-35.00000	34.54970	64.45330
		10	0.00000	41.45500	-99.49200	-35.00000	34.54500	64.50010
		15	0.00000	41.45770	-99.49840	-35.00000	34.54240	64.52650
		20	0.00000	41.46030	-99.50470	-35.00000	34.53970	64.55280
		30	0.00000	41.46560	-99.51730	-35.00000	34.53440	64.60560
	3	1	35.00000	-34.54970	-64.45330	-35.00000	34.54970	68.95650
		10	35.00000	-34.54500	-64.50010	-35.00000	34.54500	69.05030
		15	35.00000	-34.54240	-64.52650	-35.00000	34.54230	69.10300
		20	35.00000	-34.53970	-64.55290	-35.00000	34.53970	69.15570
		30	35.00000	-34.53440	-64.60560	-35.00000	34.53440	69.26110

Kesit II Durum I: 0° 0° 0°

Şekil 5.9 da verilen çerçeve sistemi, kesit II malzeme özellikleri için 0° 0° 0° tabakalanma açıları dikkate alınarak, çeşitli E_1/E_2 oranları için TFY’de sayısal çözülmekte ve karşılaştırmalar verilmektedir.

Çizelge 5. 51. Kesit II’nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 0° 0°	1	U dep (m)	-9.3199E-06	-9.3267E-06	-9.3305E-06	-9.3343E-06	-9.3418E-06
		V dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		θ (Rad)	-1.2894E-06	-1.2921E-06	-1.2936E-06	-1.2951E-06	-1.2981E-06
	2	U dep (m)	-1.8316E-06	-1.7805E-06	-1.7521E-06	-1.7237E-06	-1.6669E-06
		V dep (m)	-2.7707E-06	-2.7921E-06	-2.8040E-06	-2.8159E-06	-2.8396E-06
		θ (Rad)	-8.7556E-07	-8.7821E-07	-8.7968E-07	-8.8114E-07	-8.8407E-07
	3	U dep (m)	-1.3401E-06	-1.2867E-06	-1.2570E-06	-1.2273E-06	-1.1679E-06
		V dep (m)	-3.8451E-06	-3.8715E-06	-3.8862E-06	-3.9008E-06	-3.9301E-06
		θ (Rad)	5.3399E-07	5.3179E-07	5.3057E-07	5.2935E-07	5.2691E-07

Çizelge 5. 52. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
0° 0° 0°	1	1	0.00000	41.45030	0.00000	0.00000	-41.45030	99.48080
		10	0.00000	41.45750	0.00000	0.00000	-41.45750	99.49790
		15	0.00000	41.46140	0.00000	0.00000	-41.46140	99.50740
		20	0.00000	41.46540	0.00000	0.00000	-41.46540	99.51690
		30	0.00000	41.47330	0.00000	0.00000	-41.47330	99.53580
	2	1	0.00000	41.45030	-99.48080	-35.00000	34.54970	64.45330
		10	0.00000	41.45750	-99.49790	-35.00000	34.54250	64.52470
		15	0.00000	41.46140	-99.50740	-35.00000	34.53860	64.56420
		20	0.00000	41.46540	-99.51690	-35.00000	34.53460	64.60370
		30	0.00000	41.47330	-99.53580	-35.00000	34.52670	64.68260
	3	1	35.00000	-34.54970	-64.45330	-35.00000	34.54970	68.95670
		10	35.00000	-34.54250	-64.52470	-35.00000	34.54250	69.09930
		15	35.00000	-34.53860	-64.56420	-35.00000	34.53860	69.17850
		20	35.00000	-34.53460	-64.60370	-35.00000	34.53460	69.25750
		30	35.00000	-34.52670	-64.68260	-35.00000	34.52670	69.41530

Kesit II Durum II: 0° 45° 0°

Çerçeve sistemi, kesit II malzeme özellikleri ve 0° 45° 0° tabakalanma açıları dikkate alınarak, farklı E_1/E_2 oranları için TFY yardımı ile çözülmüş ve sonuçlar Çizelge 5.53 ve 5.54 te verilmiştir.

Çizelge 5.53. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E ₁ /E ₂ Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 45° 0°	1	U dep (m)	-9.3198E-06	-1.1279E-05	-1.1424E-05	-1.1504E-05	-1.1593E-05
		V dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		θ (Rad)	-1.2894E-06	-1.5617E-06	-1.5824E-06	-1.5942E-06	-1.6079E-06
	2	U dep (m)	-1.8316E-06	-2.1782E-06	-2.1858E-06	-2.1809E-06	-2.1571E-06
		V dep (m)	-2.7707E-06	-3.3673E-06	-3.4180E-06	-3.4496E-06	-3.4913E-06
		θ (Rad)	-8.7556E-07	-1.0611E-06	-1.0755E-06	-1.0838E-06	-1.0937E-06
	3	U dep (m)	-1.3401E-06	-1.5819E-06	-1.5811E-06	-1.5712E-06	-1.5411E-06
		V dep (m)	-3.8450E-06	-4.6706E-06	-4.7397E-06	-4.7822E-06	-4.8374E-06
		θ (Rad)	5.3398E-07	6.4433E-07	6.5159E-07	6.5518E-07	6.5824E-07

Çizelge 5.54. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
124	1	1	0.00000	41.45030	0.00000	0.00000	-41.45030	99.48080
		10	0.00000	41.45470	0.00000	0.00000	-41.45470	99.49120
		15	0.00000	41.45690	0.00000	0.00000	-41.45690	99.49660
		20	0.00000	41.45910	0.00000	0.00000	-41.45910	99.50200
		30	0.00000	41.46360	0.00000	0.00000	-41.46360	99.51260
	2	1	0.00000	41.45030	-99.48080	-35.00000	34.54970	64.45330
		10	0.00000	41.45470	-99.49120	-35.00000	34.54530	64.49660
		15	0.00000	41.45690	-99.49660	-35.00000	34.54310	64.51910
		20	0.00000	41.45910	-99.50200	-35.00000	34.54090	64.54150
		30	0.00000	41.46360	-99.51260	-35.00000	34.53640	64.58600
	3	1	35.00000	-34.54970	-64.45330	-35.00000	34.54970	68.95670
		10	35.00000	-34.54530	-64.49660	-35.00000	34.54530	69.04310
		15	35.00000	-34.54310	-64.51910	-35.00000	34.54310	69.08820
		20	35.00000	-34.54090	-64.54150	-35.00000	34.54090	69.13290
		30	35.00000	-34.53640	-64.58600	-35.00000	34.53640	69.22200

Kesit II Durum III: 45° 0° 45°

Ele alınan problem için kesit II malzeme özellikleri ve 45° 0° 45° tabakalanma açıları dikkate alınarak, farklı E_1/E_2 oranları için TFY ile çözülmüş ve elde edilen sonuçlar takip eden çizelgelerde sunulmuştur.

Çizelge 5.55. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
45° 0° 45°	1	U dep (m)	-9.3201E-06	-2.7426E-05	-3.1010E-05	-3.3354E-05	-3.6257E-05
		V dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		θ (Rad)	-1.2894E-06	-3.7950E-06	-4.2912E-06	-4.6158E-06	-5.0180E-06
	2	U dep (m)	-1.8317E-06	-5.3778E-06	-6.0730E-06	-6.5241E-06	-7.0742E-06
		V dep (m)	-2.7708E-06	-8.1593E-06	-9.2282E-06	-9.9286E-06	-1.0799E-05
		θ (Rad)	-8.7558E-07	-2.5772E-06	-2.9143E-06	-3.1349E-06	-3.4083E-06
	3	U dep (m)	-1.3401E-06	-3.9314E-06	-4.4373E-06	-4.7643E-06	-5.1605E-06
		V dep (m)	-3.8452E-06	-1.1323E-05	-1.2805E-05	-1.3777E-05	-1.4983E-05
		θ (Rad)	5.3400E-07	1.5710E-06	1.7759E-06	1.9097E-06	2.0750E-06

Çizelge 5.56. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açılı	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
45° 0° 45°	1	1	0.00000	41.45030	0.00000	0.00000	-41.45030	99.48080
		10	0.00000	41.45080	0.00000	0.00000	-41.45080	99.48200
		15	0.00000	41.45110	0.00000	0.00000	-41.45110	99.48270
		20	0.00000	41.45150	0.00000	0.00000	-41.45150	99.48350
		30	0.00000	41.45210	0.00000	0.00000	-41.45210	99.48500
	2	1	0.00000	41.45030	-99.48080	-35.00000	34.54970	64.45330
		10	0.00000	41.45080	-99.48200	-35.00000	34.54920	64.45820
		15	0.00000	41.45110	-99.48270	-35.00000	34.54890	64.46140
		20	0.00000	41.45150	-99.48350	-35.00000	34.54850	64.46460
		30	0.00000	41.45210	-99.48500	-35.00000	34.54790	64.47090
	3	1	35.00000	-34.54970	-64.45330	-35.00000	34.54970	68.95670
		10	35.00000	-34.54920	-64.45820	-35.00000	34.54920	68.96650
		15	35.00000	-34.54890	-64.46140	-35.00000	34.54890	68.97280
		20	35.00000	-34.54850	-64.46460	-35.00000	34.54850	68.97910
		30	35.00000	-34.54790	-64.47090	-35.00000	34.54790	68.99170

Kesit II Durum IV: 0° 90° 0°

Ele alınan erçeve sistemi için kesit II malzeme özellikleri ve 0° 90° 0° tabakalanma açıları dikkate alınarak farklı, E_1/E_2 oranları için TFY ile çözülmüş ve sonuçlar Çizelge 5.57 ve 5.58 de verilmiştir.

Çizelge 5.57. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 90° 0°	1	U dep (m)	-9.3199E-06	-1.1472E-05	-1.1574E-05	-1.1628E-05	-1.1685E-05
		V dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		θ (Rad)	-1.2894E-06	-1.5887E-06	-1.6039E-06	-1.6123E-06	-1.6223E-06
	2	U dep (m)	-1.8316E-06	-2.2038E-06	-2.1948E-06	-2.1763E-06	-2.1294E-06
		V dep (m)	-2.7707E-06	-3.4291E-06	-3.4702E-06	-3.4969E-06	-3.5357E-06
		θ (Rad)	-8.7556E-07	-1.0796E-06	-1.0904E-06	-1.0965E-06	-1.1042E-06
	3	U dep (m)	-1.3401E-06	-1.5969E-06	-1.5815E-06	-1.5590E-06	-1.5069E-06
		V dep (m)	-3.8451E-06	-4.7555E-06	-4.8108E-06	-4.8461E-06	-4.8962E-06
		θ (Rad)	5.3399E-07	6.5476E-07	6.5918E-07	6.6083E-07	6.6127E-07

Çizelge 5.58. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açılı	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
0° 90° 0°	1	1	0.00000	41.45030	0.00000	0.00000	-41.45030	99.48080
		10	0.00000	41.45590	0.00000	0.00000	-41.45590	99.49430
		15	0.00000	41.45910	0.00000	0.00000	-41.45910	99.50180
		20	0.00000	41.46220	0.00000	0.00000	-41.46220	99.50930
		30	0.00000	41.46850	0.00000	0.00000	-41.46850	99.52430
	2	1	0.00000	41.45030	-99.48080	-35.00000	34.54970	64.45330
		10	0.00000	41.45590	-99.49430	-35.00000	34.54410	64.50940
		15	0.00000	41.45910	-99.50180	-35.00000	34.54090	64.54070
		20	0.00000	41.46220	-99.50930	-35.00000	34.53780	64.57200
		30	0.00000	41.46850	-99.52430	-35.00000	34.53150	64.63460
	3	1	35.0000	-34.54970	-64.45330	-35.00000	34.54970	68.95670
		10	35.0000	-34.54410	-64.50940	-35.00000	34.54410	69.06880
		15	35.0000	-34.54090	-64.54070	-35.00000	34.54090	69.13150
		20	35.0000	-34.53780	-64.57200	-35.00000	34.53780	69.19410
		30	35.0000	-34.53150	-64.63460	-35.00000	34.53150	69.31930

Kesit I ve kesit II malzeme özellikleri kullanılarak Şekil 5.9 de verilen üniform kesitli çerçeve sistemi, dört farklı tabakalanma açıları ve E_1/E_2 oranlarının 1, 10, 15, 20 ve 30 olduğu durumlar için TFY ile çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar hem kesit I hem kesit II malzeme grubu için eleman uç kuvvetleri bakımından incelendiğinde, eleman uç kuvvetlerinin her bir tabakalanma durumunda E_1/E_2 oranının değişiminden çok az etkilendiği görülmektedir. Her bir tabakalanma durumunda en büyük eleman uç kuvveti E_1/E_2 oranının 30 olduğu durumda elde edilmiştir. Sistemdeki en büyük eleman uç kuvveti E_1/E_2 oranının 30 olduğu ve tabakalanma açılarının $0^\circ 0^\circ 0^\circ$ derece olan durumda elde edilmiştir.

TFY'den elde edilen sonuçlar kesit I ve kesit II malzeme özellikleri için düğüm deplasman değerleri bakımından incelendiğinde, düğüm deplasman değerlerinin E_1/E_2 oranının artışından önemli ölçüde etkilendiği görülmektedir. Ele alınan çerçeve sistemindeki en büyük düğüm deplasman değeri $45^\circ 0^\circ 45^\circ$ derece tabakalanma açıları ve E_1/E_2 oranının 30 olduğu durumda elde edilmiştir.

5.2.2.3. Uygulama 6

Ankastre mesnetli kompozit üç tabakalı doğru eksenli çubuklardan oluşan çerçeve sistemi ele alınmıştır. Şekil 5.11 deki çerçeve sisteminin toplam yüksekliği 7.9 m ve toplam açıklığı 20.0 m olup hem tekil ($p=10$ N) hem de düzgün yayılı ($q_n=10$ N/m) yüklerle yüklenmiştir. Bu çerçeve sisteminde kesit genişliği ($b=0.45$ m) ve yüksekliği ($h=0.90$ m) olan üç tabakalı kesit kullanılmıştır. Şekil 5.11 deki çerçeve sistemi 1, 10, 15, 20 ve 30 E_1/E_2 oranları için TFY ile ayrı ayrı çözülmektedir. Bu sistem farklı E_1/E_2 oranları için TFY yardımı ile kesit I ve kesit II malzeme özellikleri için ayrı ayrı sayısal olarak çözülmüş sonuçlar düğüm deplasman değerleri ve eleman uç kuvvetleri olmak üzere çizelgeler üzerinde sunulmuştur.

Kesit I Durum I: 0° 0° 0°

Şekil 5.11 de verilen çerçeve sistemi için 0° 0° 0° tabakalanma açıları ve kesit I malzeme özellikleri dikkate alınarak 1, 10, 15, 20 ve 30 E₁/E₂ oranları için TFY yardımı ile ayrı ayrı çözülmüş ve ayrı ayrı sunulmuştur.

Çizelge 5.59. Kesit I'ın Farklı E₁/E₂ Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E ₁ /E ₂ Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 0° 0°	2	U dep (m)	5.7838E-07	6.1235E-07	6.3119E-07	6.5000E-07	6.8761E-07
		V dep (m)	-6.9885E-07	-7.3938E-07	-7.6186E-07	-7.8430E-07	-8.2917E-07
		θ (Rad)	1.7776E-07	1.8134E-07	1.8332E-07	1.8529E-07	1.8921E-07
	3	U dep (m)	3.8809E-07	4.1117E-07	4.2397E-07	4.3674E-07	4.6229E-07
		V dep (m)	3.8082E-07	4.0389E-07	4.1669E-07	4.2947E-07	4.5501E-07
		θ (Rad)	1.3621E-08	1.7659E-08	1.9862E-08	2.2035E-08	2.6309E-08

Çizelge 5.60. Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açılışı	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
0° 0° 0°	1	1	-22.94200	73.70900	173.35100	-44.05800	6.29099	25.58270
		10	-23.02230	73.62980	172.96300	-43.97770	6.37024	25.87480
		15	-23.06460	73.58660	172.74400	-43.93540	6.41340	26.03160
		20	-23.10540	73.54400	172.52400	-43.89460	6.45595	26.18460
		30	-23.18260	73.46050	172.07700	-43.81740	6.53950	26.48060
	2	1	44.05800	-6.29099	-25.58270	-44.05800	6.29099	-71.32380
		10	43.97770	-6.37024	-25.87480	-43.97770	6.37024	-71.49000
		15	43.93540	-6.41340	-26.03160	-43.93540	6.41340	-71.58460
		20	43.89460	-6.45595	-26.18460	-43.89460	6.45595	-71.68060
		30	43.81740	-6.53950	-26.48060	-43.81740	6.53950	-71.87670
	3	1	44.05800	-16.29100	71.32380	-44.05800	16.29100	67.51120
		10	43.97770	-16.37020	71.49000	-43.97770	16.37020	66.54710
		15	43.93540	-16.41340	71.58460	-43.93540	16.41340	66.02520
		20	43.89460	-16.45600	71.68060	-43.89460	16.45600	65.51270
		30	43.81740	-16.53950	71.87670	-43.81740	16.53950	64.51260

Kesit I Durum II: 0° 45° 0°

0° 45° 0° tabakalanma açıları ve kesit I malzeme özellikleri dikkate alınarak, Şekil 5.11 deki çerçeve sistemi 1, 10, 15, 20 ve 30 E₁/E₂ oranları için TFY yardımı ile ayrı ayrı çözülmekte ve sonuçlar Çizelge 5.61 ve 5.62 verilmektedir.

Çizelge 5.61. Kesit I'ın Farklı E₁/E₂ Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E ₁ /E ₂ Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 45° 0°	2	U dep (m)	5.7839E-07	8.2156E-07	8.5170E-07	8.7350E-07	9.0751E-07
		V dep (m)	-6.9885E-07	-9.9247E-07	-1.0287E-06	-1.0549E-06	-1.0956E-06
		θ (Rad)	1.7776E-07	2.4831E-07	2.5528E-07	2.5968E-07	2.6556E-07
	3	U dep (m)	3.8810E-07	5.5138E-07	5.7170E-07	5.8643E-07	6.0945E-07
		V dep (m)	3.8082E-07	5.4121E-07	5.6131E-07	5.7592E-07	5.9881E-07
		θ (Rad)	1.3621E-08	2.1348E-08	2.3140E-08	2.4725E-08	2.7649E-08

Çizelge 5.62. Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açılı	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
0° 45° 0°	1	1	-22.94200	73.70900	173.35100	-44.05800	6.29099	25.58270
		10	-22.97930	73.67370	173.18600	-44.02070	6.32630	25.71530
		15	-22.99720	73.65580	173.09700	-44.00280	6.34419	25.78090
		20	-23.01480	73.63820	173.00900	-43.98520	6.36181	25.84530
		30	-23.04890	73.60340	172.83300	-43.95110	6.39665	25.97190
	2	1	44.05800	-6.29099	-25.58270	-44.05800	6.29099	-71.32380
		10	44.02070	-6.32630	-25.71530	-44.02070	6.32630	-71.39360
		15	44.00280	-6.34419	-25.78090	-44.00280	6.34419	-71.43170
		20	43.98520	-6.36181	-25.84530	-43.98520	6.36181	-71.46970
		30	43.95110	-6.39665	-25.97190	-43.95110	6.39665	-71.54590
	3	1	44.05800	-16.29100	71.32380	-44.05800	16.29100	67.51120
		10	44.02070	-16.32630	71.39360	-44.02070	16.32630	67.07830
		15	44.00280	-16.34420	71.43170	-44.00280	16.34420	66.86120
		20	43.98520	-16.36180	71.46970	-43.98520	16.36180	66.64750
		30	43.95110	-16.39670	71.54590	-43.95110	16.39670	66.22620

Kesit I Durum III: 45° 0° 45°

Ele alınan problem için 45° 0° 45° tabakalanma açıları ve kesit I malzeme özellikleri dikkate alınarak, 1, 10, 15, 20 ve 30 E₁/E₂ oranları için ayrı ayrı TFY’de çözülmüştür.

Çizelge 5.63. Kesit I’ın Farklı E₁/E₂ Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E ₁ /E ₂ Oranları				
			1	10	15	20	30
45° 0° 45°	2	U dep (m)	5.7839E-07	1.3128E-06	1.4248E-06	1.4960E-06	1.5855E-06
		V dep (m)	-6.9886E-07	-1.5869E-06	-1.7222E-06	-1.8080E-06	-1.9157E-06
		θ (Rad)	1.7776E-07	4.0109E-07	4.3403E-07	4.5436E-07	4.7871E-07
	3	U dep (m)	3.8810E-07	8.8046E-07	9.5574E-07	1.0036E-06	1.0639E-06
		V dep (m)	3.8082E-07	8.6330E-07	9.3731E-07	9.8446E-07	1.0439E-06
		θ (Rad)	1.3621E-08	3.2107E-08	3.5460E-08	3.7865E-08	4.1455E-08

Çizelge 5.64. Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açılışı	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
45° 0° 45°	1	1	-22.94200	73.70900	173.35100	-44.05800	6.29099	25.58270
		10	-22.96110	73.69610	173.31800	-44.03890	6.30394	25.64010
		15	-22.96680	73.68980	173.28400	-44.03320	6.31015	25.66200
		20	-22.97240	73.68370	173.25100	-44.02760	6.31633	25.68370
		30	-22.98400	73.67130	173.18500	-44.01600	6.32872	25.72780
	2	1	44.05800	-6.29099	-25.58270	-44.05800	6.29099	-71.32380
		10	44.03890	-6.30394	-25.64010	-44.03890	6.30394	-71.33410
		15	44.03320	-6.31015	-25.66200	-44.03320	6.31015	-71.34900
		20	44.02760	-6.31633	-25.68370	-44.02760	6.31633	-71.36380
		30	44.01600	-6.32872	-25.72780	-44.01600	6.32872	-71.39240
	3	1	44.05800	-16.29100	71.32380	-44.05800	16.29100	67.51120
		10	44.03890	-16.30390	71.33410	-44.03890	16.30390	67.34060
		15	44.03320	-16.31020	71.34900	-44.03320	16.31020	67.26640
		20	44.02760	-16.31630	71.36380	-44.02760	16.31630	67.19270
		30	44.01600	-16.32870	71.39240	-44.01600	16.32870	67.04400

Kesit I Durum IV: 0° 90° 0°

Şekil 5.11 deki çerçeve sistemi için 0° 90° 0° tabakalanma açıları ve kesit I malzeme özellikleri dikkate alınarak 1, 10, 15, 20 ve 30 E_1/E_2 oranları için sayısal olarak TFY ile çözülmüş ve sonuçlar çizelgelerde sunulmuştur.

Çizelge 5. 65. Kesit I'ın Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 90° 0°	2	U dep (m)	5.7838E-07	8.5814E-07	8.9021E-07	9.1581E-07	9.6036E-07
		V dep (m)	-6.9885E-07	-1.0364E-06	-1.0749E-06	-1.1055E-06	-1.1588E-06
		θ (Rad)	1.7776E-07	2.5730E-07	2.6338E-07	2.6745E-07	2.7352E-07
	3	U dep (m)	3.8809E-07	5.7607E-07	5.9775E-07	6.1508E-07	6.4529E-07
		V dep (m)	3.8082E-07	5.6568E-07	5.8719E-07	6.0444E-07	6.3456E-07
		θ (Rad)	1.3621E-08	2.3262E-08	2.5789E-08	2.8148E-08	3.2666E-08

Çizelge 5.66. Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açılışı	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
0° 90° 0°	1	1	-22.94200	73.70900	173.35100	-44.05800	6.29099	25.58270
		10	-22.99540	73.65670	173.09700	-44.00460	6.34326	25.77600
		15	-23.02440	73.62770	172.95300	-43.97560	6.37232	25.88250
		20	-23.05270	73.59890	172.80700	-43.94730	6.40111	25.98720
		30	-23.10730	73.54200	172.51300	-43.89270	6.45801	26.19200
	2	1	44.05800	-6.29099	-25.58270	-44.05800	6.29099	-71.32380
		10	44.00460	-6.34326	-25.77600	-44.00460	6.34326	-71.43230
		15	43.97560	-6.37232	-25.88250	-43.97560	6.37232	-71.49450
		20	43.94730	-6.40111	-25.98720	-43.94730	6.40111	-71.55740
		30	43.89270	-6.45801	-26.19200	-43.89270	6.45801	-71.68530
	3	1	44.05800	-16.29100	71.32380	-44.05800	16.29100	67.51120
		10	44.00460	-16.34330	71.43230	-44.00460	16.34330	66.87450
		15	43.97560	-16.37230	71.49450	-43.97560	16.37230	66.52190
		20	43.94730	-16.40110	71.55740	-43.94730	16.40110	66.17350
		30	43.89270	-16.45800	71.68530	-43.89270	16.45800	65.48800

Kesit II Durum I: 0° 0° 0°

Bu uygulamada ele alınan çerçeve sistemi için 0° 0° 0° tabakalanma durumu ve kesit II malzeme özellikleri dikkate alınarak, 1, 10, 15, 20 ve 30 E_1/E_2 oranları için ayrı ayrı TFY’de sayısal olarak çözülmekte ve devamında sonuçlar ayrı ayrı verilmiştir.

Çizelge 5.67. Kesit II’nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 0° 0°	2	U dep (m)	6.8726E-07	7.2762E-07	7.5001E-07	7.7236E-07	8.1704E-07
		V dep (m)	-8.3040E-07	-8.7856E-07	-9.0527E-07	-9.3194E-07	-9.8525E-07
		θ (Rad)	2.1121E-07	2.1547E-07	2.1782E-07	2.2016E-07	2.2481E-07
	3	U dep (m)	4.6115E-07	4.8857E-07	5.0378E-07	5.1896E-07	5.4931E-07
		V dep (m)	4.5250E-07	4.7992E-07	4.9513E-07	5.1031E-07	5.4067E-07
		θ (Rad)	1.6189E-08	2.0987E-08	2.3604E-08	2.6187E-08	3.1265E-08

Çizelge 5. 68. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açılı	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
139	1	1	-22.94210	73.70890	173.35100	-44.05790	6.29106	25.58290
		10	-23.02240	73.62970	172.96300	-43.97760	6.37031	25.87510
		15	-23.06470	73.58650	172.74400	-43.93530	6.41347	26.03190
		20	-23.10550	73.54400	172.52300	-43.89450	6.45603	26.18490
		30	-23.18270	73.46040	172.07700	-43.81730	6.53957	26.48090
	2	1	44.05790	-6.29106	-25.58290	-44.05790	6.29106	-71.32400
		10	43.97760	-6.37031	-25.87510	-43.97760	6.37031	-71.49020
		15	43.93530	-6.41347	-26.03190	-43.93530	6.41347	-71.58480
		20	43.89450	-6.45603	-26.18490	-43.89450	6.45603	-71.68080
		30	43.81730	-6.53957	-26.48090	-43.81730	6.53957	-71.87690
	3	1	44.05790	-16.29110	71.32400	-44.05790	16.29110	67.51030
		10	43.97760	-16.37030	71.49020	-43.97760	16.37030	66.54630
		15	43.93530	-16.41350	71.58480	-43.93530	16.41350	66.02430
		20	43.89450	-16.45600	71.68080	-43.89450	16.45600	65.51180
		30	43.81730	-16.53960	71.87690	-43.81730	16.53960	64.51170

Kesit II Durum II: 0° 45° 0°

Ele alınan Problem için 0° 45° 0° tabakalanma açıları ve kesit II malzeme özellikleri dikkate alınarak 1, 10, 15, 20 ve 30 E₁/E₂ oranları için TFY yardımı ile çözülmüş ve sonuçlar takip eden çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 5.69. Kesit II'nin Farklı E₁/E₂ Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E ₁ /E ₂ Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 45° 0°	2	U dep (m)	6.8726E-07	8.6095E-07	8.8741E-07	9.0906E-07	9.4696E-07
		V dep (m)	-8.3040E-07	-1.0399E-06	-1.0716E-06	-1.0975E-06	-1.1428E-06
		θ (Rad)	2.1121E-07	2.5862E-07	2.6352E-07	2.6696E-07	2.7218E-07
	3	U dep (m)	4.6115E-07	5.7792E-07	5.9581E-07	6.1048E-07	6.3617E-07
		V dep (m)	4.5250E-07	5.6742E-07	5.8519E-07	5.9979E-07	6.2541E-07
		θ (Rad)	1.6189E-08	2.3120E-08	2.5258E-08	2.7261E-08	3.1096E-08

Çizelge 5.70. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açılışı	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
0° 45° 0°	1	1	-22.94210	73.70890	173.35100	-44.05790	6.29106	25.58290
		10	-22.99190	73.66060	173.11800	-44.00810	6.33940	25.76250
		15	-23.01680	73.63570	172.99400	-43.98320	6.36428	25.85370
		20	-23.04090	73.61120	172.87100	-43.95910	6.38877	25.94290
		30	-23.08760	73.56300	172.62400	-43.91240	6.43703	26.11710
	2	1	44.05790	-6.29106	-25.58290	-44.05790	6.29106	-71.32400
		10	44.00810	-6.33940	-25.76250	-44.00810	6.33940	-71.42300
		15	43.98320	-6.36428	-25.85370	-43.98320	6.36428	-71.47620
		20	43.95910	-6.38877	-25.94290	-43.95910	6.38877	-71.52950
		30	43.91240	-6.43703	-26.11710	-43.91240	6.43703	-71.63690
	3	1	44.05790	-16.29110	71.32400	-44.05790	16.29110	67.51030
		10	44.00810	-16.33940	71.42300	-44.00810	16.33940	66.92050
		15	43.98320	-16.36430	71.47620	-43.98320	16.36430	66.61850
		20	43.95910	-16.38880	71.52950	-43.95910	16.38880	66.32210
		30	43.91240	-16.43700	71.63690	-43.91240	16.43700	65.73990

Kesit II Durum III: 45° 0° 45°

Problem için 45° 0° 45° tabakalanma açıları ve kesit II malzeme özellikleri dikkate alınarak, 1, 10, 15, 20 ve 30 E_1/E_2 oranları için TFY de sayısal olarak çözülmüş ve sonuçlar Çizelge 5.71 ve 5.72 de sunulmuştur.

Çizelge 5.71. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
45° 0° 45°	2	U dep (m)	6.8728E-07	2.0309E-06	2.3021E-06	2.4824E-06	2.7121E-06
		V dep (m)	-8.3042E-07	-2.4562E-06	-2.7839E-06	-3.0015E-06	-3.2784E-06
		θ (Rad)	2.1121E-07	6.2215E-07	7.0408E-07	7.5799E-07	8.2542E-07
	3	U dep (m)	4.6116E-07	1.3615E-06	1.5435E-06	1.6646E-06	1.8190E-06
		V dep (m)	4.5251E-07	1.3338E-06	1.5125E-06	1.6315E-06	1.7835E-06
		θ (Rad)	1.6189E-08	4.8958E-08	5.6030E-08	6.0983E-08	6.7871E-08

Çizelge 5.72. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açılışı	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
45° 0° 45°	1	1	-22.94210	73.70890	173.35100	-44.05790	6.29106	25.58290
		10	-22.96030	73.70110	173.36400	-44.03970	6.29891	25.62850
		15	-22.96280	73.69780	173.34300	-44.03720	6.30223	25.63930
		20	-22.96510	73.69450	173.32200	-44.03490	6.30550	25.64970
		30	-22.97020	73.68780	173.28100	-44.02980	6.31216	25.67160
	2	1	44.05790	-6.29106	-25.58290	-44.05790	6.29106	-71.32400
		10	44.03970	-6.29891	-25.62850	-44.03970	6.29891	-71.31140
		15	44.03720	-6.30223	-25.63930	-44.03720	6.30223	-71.32100
		20	44.03490	-6.30550	-25.64970	-44.03490	6.30550	-71.33080
		30	44.02980	-6.31216	-25.67160	-44.02980	6.31216	-71.34930
	3	1	44.05790	-16.29110	71.32400	-44.05790	16.29110	67.51030
		10	44.03970	-16.29890	71.31140	-44.03970	16.29890	67.39250
		15	44.03720	-16.30220	71.32100	-44.03720	16.30220	67.35410
		20	44.03490	-16.30550	71.33080	-44.03490	16.30550	67.31650
		30	44.02980	-16.31220	71.34930	-44.02980	16.31220	67.23900

Kesit II Durum IV: 0° 90° 0°

Çerçeve için 0° 90° 0° tabakalanma açıları ve kesit II malzeme özellikleri dikkate alınarak, 1, 10, 15, 20 ve 30 E_1/E_2 oranları için TFY yardımı ile çözülmekte ve sonuçlar takip eden çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 5.73. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 90° 0°	2	U dep (m)	6.8726E-07	8.8446E-07	9.1406E-07	9.4008E-07	9.8850E-07
		V dep (m)	-8.3040E-07	-1.0681E-06	-1.1035E-06	-1.1346E-06	-1.1924E-06
		θ (Rad)	2.1121E-07	2.6394E-07	2.6853E-07	2.7200E-07	2.7781E-07
	3	U dep (m)	4.6115E-07	5.9379E-07	6.1384E-07	6.3149E-07	6.6435E-07
		V dep (m)	4.5250E-07	5.8316E-07	6.0312E-07	6.2071E-07	6.5353E-07
		θ (Rad)	1.6189E-08	2.4564E-08	2.7362E-08	3.0052E-08	3.5278E-08

Çizelge 5. 74. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açılışı	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
145	1	1	-22.94210	73.70890	173.35100	-44.05790	6.29106	25.58290
		10	-23.00570	73.64650	173.04600	-43.99430	6.35350	25.81360
		15	-23.03980	73.61210	172.87400	-43.96020	6.38791	25.93920
		20	-23.07290	73.57810	172.70000	-43.92710	6.42193	26.06240
		30	-23.13640	73.51100	172.34900	-43.86360	6.48899	26.30240
	2	1	44.05790	-6.29106	-25.58290	-44.05790	6.29106	-71.32400
		10	43.99430	-6.35350	-25.81360	-43.99430	6.35350	-71.45410
		15	43.96020	-6.38791	-25.93920	-43.96020	6.38791	-71.52840
		20	43.92710	-6.42193	-26.06240	-43.92710	6.42193	-71.60360
		30	43.86360	-6.48899	-26.30240	-43.86360	6.48899	-71.75690
	3	1	44.05790	-16.29110	71.32400	-44.05790	16.29110	67.51030
		10	43.99430	-16.35350	71.45410	-43.99430	16.35350	66.75010
		15	43.96020	-16.38790	71.52840	-43.96020	16.38790	66.33320
		20	43.92710	-16.42190	71.60360	-43.92710	16.42190	65.92230
		30	43.86360	-16.48900	71.75690	-43.86360	16.48900	65.11630

Kesit I ve kesit II malzeme özellikleri kullanılarak Şekil 5.11 de verilen üniform kesitli doğru ve daire eksenli çubuklar içeren çerçeve sistemi, tabakalanma açıları farklı olan dört durum ve E_1/E_2 oranlarının sırası ile 1, 10, 15, 20 ve 30 olduğu durumlar için ayrı ayrı TFY ile çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar hem kesit I hem kesit II malzeme özellikleri için eleman uç kuvvetleri bakımından incelendiğinde, eleman uç kuvvetleri tabakalanma açılarının yanı sıra E_1/E_2 oranının değişiminden önemli ölçüde etkilendiği görülmektedir. E_1/E_2 oranının 1 olduğu durumda tabakalanma açılarının değişimi eleman uç kuvvetlerini etkilememektedir. Kesit I için sistemdeki en büyük eleman uç kuvveti E_1/E_2 oranının 1 olduğu durumda elde edilmiştir. Kesit II için sistemdeki en büyük eleman uç kuvveti tabakalanma açılarının 45° 0° 45° derece olduğu kesit ve E_1/E_2 oranının 10 olduğu durumda elde edilmiştir.

TFY'den kesit I ve kesit II malzeme özellikleri için elde edilen sonuçlar düğüm deplasman değerleri bakımından incelendiğinde, düğüm deplasman değerlerinin E_1/E_2 oranının artışından önemli ölçüde etkilendiği görülmektedir. Ele alınan üniform kesitli çerçeve sistemindeki en büyük düğüm deplasman değeri hem kesit I hem kesit II için 45° 0° 45° derece tabakalanma açıları ve E_1/E_2 oranının 30 olduğu durumda elde edilmiştir.

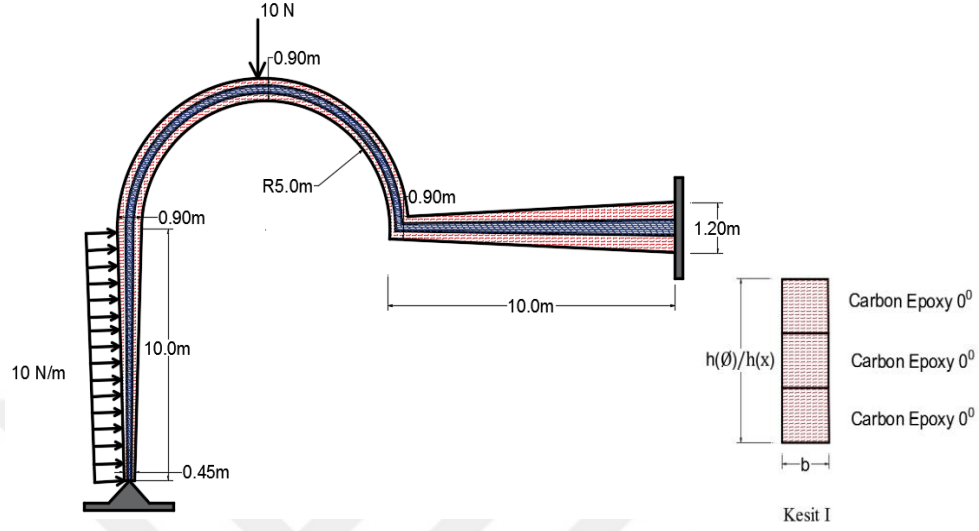
5.2.3. Tabakalanmış Değişken Kesitli Kompozit Malzemeli Çerçeve Sistemleri

Bu başlık altında TFY'ye dayalı rijitlik matrisi metodu ile kesit özellikleri eksen boyunca değişen çerçeve sistemlerin farklı düzlem içi yükler altındaki statik analizi yapılmaktadır.

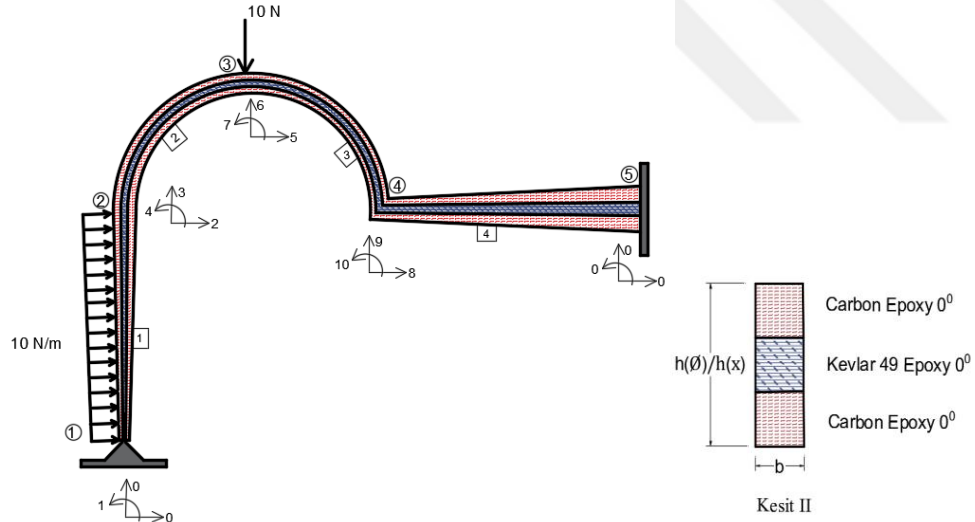
Burada ele alınan problemlerde kesit genişliği ($b = 0.45\text{m}$) sabit olup kesit yüksekliği ise ($h = \text{değişken}$) eksen boyunca değişkendir. Kesit malzemesi olarak Çizelge 5.6 daki malzeme özellikleri kullanılmaktadır.

5.2.3.1. Uygulama 7

Farklı mesnet koşullarına sahip kolon, kiriş ve kemer sistemi ele alınmaktadır (Şekil 5.13). Çerçeve sisteminde bulunan dikey eleman (kolon) üniform yayılı yük ($q_n=10 \text{ N/m}$), kemer tipi eleman ise tekil yük ($p=10 \text{ N}$) ile yüklenmiş ve yatay eleman (kiriş) üzerinde ise herhangi bir dış yük bulunmamaktadır. Kesit özellikleri eksen boyunca değişen, genişliği ($b=0.45 \text{ m}$) sabit, yüksekliği ise eksen boyunca değişken ($h= \text{değişken}$) olan üç tabakalı kesit kullanılmıştır. Bu kesiti oluşturan malzeme özellikleri ise Çizelge 5.6 da detaylı bir şekilde verilmiştir.



Şekil 5.13. Daire ve doğru eksenli çubuklardan oluşan çerçeve ve tabakalı çubuk kesiti I



Şekil 5.14. Sistem düğüm serbestlikleri, kodlamaları ve tabakalı çubuk kesiti II

Çizelge 5.6 daki malzeme özellikleri kullanılarak, 0.30 m lik üç simetrik tabakanın üst üste konulması ile meydana gelen genişliği sabit ($b=0.45$ m), yüksekliği (h = değişken) ise eksen boyunca değişken olan kesit I için Şekil 5.13 teki çerçeve sistemi TFY ile çözülmüştür. Ele alınan çerçeve sisteminin her bir düğümüne ait yatay ve düşey deplasman değerleri ile dönme değerleri ve her bir elemana ait uç kuvvetleri TFY ile hesaplanmış olup, Çizelge 5.75 ve 5.76 da verilmektedir.

Çizelge 5. 75. Farklı Tabaka Açıları ve Kesit I Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Düğüm Deplasmanların Karşılaştırılması

Düğüm No	Tabaka açıları	U dep. (m)	V dep. (m)	θ (Rad.)
1	0° 0° 0°	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.19938E-06
	0° 45° 0°	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.70498E-06
	45° 0° 45°	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.96636E-06
	0° 90° 0°	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.73797E-06
2	0° 0° 0°	4.10232E-06	-8.31061E-10	4.59745E-07
	0° 45° 0°	5.69088E-06	-1.19260E-09	6.60169E-07
	45° 0° 45°	9.78896E-06	-2.13629E-09	1.15382E-06
	0° 90° 0°	5.86401E-06	-1.20610E-09	6.69981E-07
3	0° 0° 0°	1.60541E-06	1.89524E-06	1.08001E-07
	0° 45° 0°	2.19666E-06	2.67028E-06	1.57088E-07
	45° 0° 45°	3.75388E-06	4.62638E-06	2.76144E-07
	0° 90° 0°	2.27743E-06	2.73268E-06	1.58533E-07
4	0° 0° 0°	6.14772E-09	1.00716E-06	-3.18742E-07
	0° 45° 0°	8.82809E-09	1.46035E-06	-4.53055E-07
	45° 0° 45°	1.58191E-08	2.56350E-06	-7.88168E-07
	0° 90° 0°	8.92538E-09	1.47579E-06	-4.61846E-07

Çizelge 5. 76. Farklı Tabaka Açılırları ve Kesit I Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Eleman Uç Kuvvetleri

	Tabaka Açılırları	El. No	Ni (N)	Ti (N)	Mi (N.m)	Nj (N)	Tj (N)	Mj (N.m)
Durum I	0° 0° 0°	1	-58.22620	3.51561	0.000000	-41.77380	-3.51561	82.26210
		2	41.77380	3.51561	-82.26210	-41.77380	-3.51561	-109.0290
		3	41.77380	-6.48439	109.02900	-41.77380	6.48438	67.41820
		4	41.77380	-6.48439	-67.41820	-41.77380	6.48439	2.574380
Durum II	0° 45° 0°	1	-58.21650	3.51407	0.000000	-41.78350	-3.51407	82.16530
		2	41.78350	3.51407	-82.16530	-41.78350	-3.51407	-109.1820
		3	41.78350	-6.48593	109.18200	-41.78350	6.48592	67.30600
		4	41.78350	-6.48593	-67.30600	-41.78350	6.48593	2.446790
Durum III	45° 0° 45°	1	-58.21220	3.51323	0.000000	-41.78780	-3.51323	82.12250
		2	41.78780	3.51323	-82.12250	-41.78780	-3.51323	-109.2500
		3	41.78780	-6.48677	109.25000	-41.78780	6.48677	67.25480
		4	41.78780	-6.48677	-67.25480	-41.78780	6.48677	2.387100
Durum IV	0° 90° 0°	1	-58.22080	3.51476	0.000000	-41.77920	-3.51476	82.20760
		2	41.77920	3.51476	-82.20760	-41.77920	-3.51477	-109.1150
		3	41.77920	-6.48523	109.11500	-41.77920	6.48523	67.35530
		4	41.77920	-6.48523	-67.35530	-41.77920	6.48523	2.502920

Çizelge 5.75 ve 5.76 incelendiğinde, kesit I malzeme özellikleri için tabakalanma açıları düğüm deplasman değerlerini büyük ölçüde etkilerken, eleman uç kuvvetlerini aşırı derecede etkilememektedir.

Şekil 5.13 teki kolon, kiriş ve kemer sistemi için kesit II malzeme özellikleri dikkate alınarak, dört farklı tabakalanma durumu için TFY ile çözülmüştür. Sistemdeki her bir düğüm için bulunan yatay ve düşey deplasmanlar ile dönmeler ve her bir elemana ait uç kuvvetleri aşağıdaki çizelgelerde detaylı olarak verilmiştir.

Çizelge 5. 77. Farklı Tabaka Açıları ve Kesit II Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Düğüm Deplasmanların Karşılaştırılması

Düğüm No	Tabaka açıları	U dep. (m)	V dep. (m)	θ (Rad.)
1	0° 0° 0°	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.42499E-06
	0° 45° 0°	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.74472E-06
	45° 0° 45°	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.88940E-06
	0° 90° 0°	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.76315E-06
2	0° 0° 0°	4.87144E-06	-9.87443E-10	5.46344E-07
	0° 45° 0°	5.85930E-06	-1.21469E-09	6.73877E-07
	45° 0° 45°	1.60890E-05	-3.62041E-09	1.90389E-06
	0° 90° 0°	5.97754E-06	-1.22292E-09	6.78342E-07
3	0° 0° 0°	1.90585E-06	2.25130E-06	1.28380E-07
	0° 45° 0°	2.26958E-06	2.73862E-06	1.59845E-07
	45° 0° 45°	6.15994E-06	7.61701E-06	4.56327E-07
	0° 90° 0°	2.32779E-06	2.77710E-06	1.60107E-07
4	0° 0° 0°	7.30466E-09	1.19713E-06	-3.78697E-07
	0° 45° 0°	8.99011E-09	1.48712E-06	-4.63631E-07
	45° 0° 45°	2.68122E-08	4.23459E-06	-1.29905E-06
	0° 90° 0°	9.04864E-09	1.49136E-06	-4.68546E-07

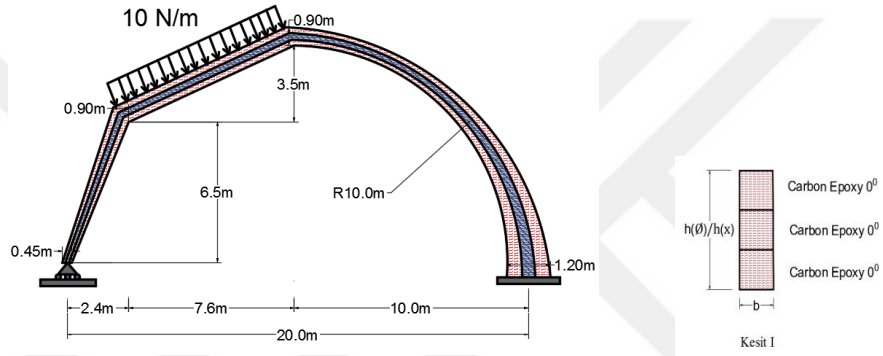
Çizelge 5.78. Farklı Tabaka Açılırları ve Kesit II Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Eleman Uç Kuvvetleri

	Tabaka Açılırları	El. No	Ni (N)	Ti (N)	Mi (N.m)	Nj (N)	Tj (N)	Mj (N.m)
Durum I	0°	1	-58.22600	3.51558	0.00000	-41.77400	-3.51558	82.26000
		2	41.77400	3.51558	-82.26000	-41.77400	-3.51558	-109.0320
		3	41.77400	-6.48442	109.03200	-41.77400	6.48442	67.41580
		4	41.77400	-6.48442	-67.41580	-41.77400	6.48442	2.571620
Durum II	0°	1	-58.21890	3.51446	0.000000	-41.78110	-3.51446	82.18920
		2	41.78110	3.51446	-82.18920	-41.78110	-3.51447	-109.1440
		3	41.78110	-6.48554	109.14400	-41.78110	6.48553	67.33390
		4	41.78110	-6.48553	-67.33390	-41.78110	6.48553	2.478500
Durum III	45°	1	-58.21130	3.51288	0.000000	-41.78870	-3.51288	82.11310
		2	41.78870	3.51289	-82.11310	-41.78870	-3.51289	-109.2660
		3	41.78870	-6.48711	109.26600	-41.78870	6.48711	67.24200
		4	41.78870	-6.48711	-67.24200	-41.78870	6.48711	2.370860
Durum IV	0°	1	-58.22270	3.51506	0.000000	-41.77730	-3.51506	82.22670
		2	41.77730	3.51506	-82.22670	-41.77730	-3.51506	-109.0850
		3	41.77730	-6.48494	109.08500	-41.77730	6.48494	67.37730
		4	41.77730	-6.48494	-67.37730	-41.77730	6.48494	2.527880

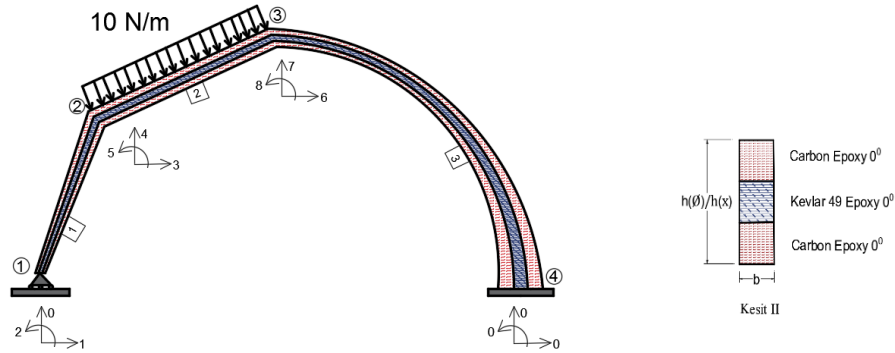
Çizelge 5.77 ve 5.78 incelendiğinde, kesit II malzeme özellikleri için tabakalanma açılarının düğüm deplasman değerleri ve eleman uç kuvvetleri üzerinde herhangi bir etkisi görülmemektedir.

5.2.3.2. Uygulama 8

Değişken kesitli daire ve doğru eksenli üç elemandan oluşan, toplam açıklığı 20.0 m ve yüksekliği 9.80 m olan bir ucu ankastre diğer ucu kayıcı mesnetli çerçeve sistemi ele alınmıştır Şekil 5.15. Sistem sadece statik üniform yayılı yükü ($q_n = 10$ N/m) yüklenmiştir. Üç simetrik tabakanın üst üste konulması ile meydana gelen ve eksen boyunca yüksekliği sürekli değişen ($h =$ değişken) ve genişliği ($b = 0.45$ m) sabit olan tabakalı kesit kullanılmıştır.



Şekil 5.15. Daire ve doğru ve daire eksenli çubuklardan oluşan çerçeve sistemi ve tabakalı çubuk kesiti I



Şekil 5.16. Sistem düğüm serbestlikleri, kodlamaları ve tabakalı çubuk kesiti II

Şekil 5.15 deki çerçeve sistemi kesit I ve kesit II malzeme grubu için TFY ile ayrı ayrı çözülmüştür. Ele alınan çerçeve sistemi için farklı tabakalanma açılarına sahip dört durum dikkate alınarak, kesit I için analiz edilmiş, elde edilen sonuçlar ise düğüm deplasman değerleri ve eleman uç kuvvetleri olmak üzere sırasıyla aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 5. 79. Farklı Tabaka Açıları ve Kesit I Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Düğüm Deplasmanların Karşılaştırılması

Düğüm No		U dep. (m)	V dep. (m)	θ (Rad.)
1	0° 0° 0°	-0.812525E-05	0.000000E+00	-0.115171E-05
	0° 45° 0°	-0.115433E-04	0.000000E+00	-0.163907E-05
	45° 0° 45°	-0.200766E-04	0.000000E+00	-0.285312E-05
	0° 90° 0°	-0.117700E-04	0.000000E+00	-0.166995E-05
2	0° 0° 0°	-0.157320E-05	-0.242596E-05	-0.727021E-06
	0° 45° 0°	-0.229310E-05	-0.342516E-05	-0.103357E-05
	45° 0° 45°	-0.403427E-05	-0.594067E-05	-0.179824E-05
	0° 90° 0°	-0.231212E-05	-0.350192E-05	-0.105354E-05
3	0° 0° 0°	-0.118461E-05	-0.327563E-05	0.445176E-06
	0° 45° 0°	-0.174065E-05	-0.463318E-05	0.637432E-06
	45° 0° 45°	-0.307325E-05	-0.804257E-05	0.111268E-05
	0° 90° 0°	-0.174899E-05	-0.473323E-05	0.647708E-06

Çizelge 5.80. Farklı Tabaka Açılırları ve Kesit I Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Eleman Uç Kuvvetleri

	Tabaka Açılırları	El. No	Ni (N)	Ti (N)	Mi (N.m)	Nj (N)	Tj (N)	Mj (N.m)
Durum I	0°	1	0.00000	41.20000	0.00000	0.000000	-41.20000	98.80000
	0°	2	0.00000	41.20000	-98.80000	-35.00000	34.80000	61.80000
	0°	3	35.0000	-34.80000	-61.80000	-35.00000	34.80000	63.60000
Durum II	0°	1	0.00000	41.20000	0.000000	0.000000	-41.20000	98.80000
	45°	2	0.00000	41.20000	-98.80000	-35.00000	34.80000	61.70000
	0°	3	35.0000	-34.80000	-61.70000	-35.00000	34.80000	63.40000
Durum III	45°	1	0.00000	41.20000	0.000000	0.000000	-41.20000	98.80000
	0°	2	0.00000	41.20000	-98.80000	-35.00000	34.80000	61.60000
	45°	3	35.0000	-34.80000	-61.60000	-35.00000	34.80000	63.30000
Durum IV	0°	1	0.00000	41.20000	0.000000	0.000000	-41.20000	98.80000
	90°	2	0.00000	41.20000	-98.80000	-35.00000	34.80000	61.70000
	0°	3	35.0000	-34.80000	-61.70000	-35.00000	34.80000	63.50000

Şekil 5.15 te verilen çerçeve sistemi için kesit I malzeme özellikleri dikkate alınarak analizi sonucu elde edilen ve Çizelge 5.79 ve 5.80 de sunulan değerler incelendiğinde, tabakalanma açılarının değişimi ile birlikte düğüm deplasman değerleri değişirken eleman uç kuvvetleri hiç değişmemektedir.

Şekil 5.15 deki çerçeve sistemi iki malzemeden oluşan üç tabakalı kesit için TFY ile sayısal olarak çözülmüştür. Dört farklı tabakalanma durumu için TFY ile analizi sonucu elde edilen veriler düğüm deplasman değerleri ve eleman uç kuvvetleri olmak üzere sırasıyla aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir. Sistemdeki her bir düğüme ait yatay, düşey deplasman değerleri ile dönme değerleri ve eleman uç kuvvetleri sırasıyla aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 5.81. Farklı Tabaka Açıları ve Kesit II Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Düğüm Deplasmanların Karşılaştırılması

Düğüm No		U dep. (m)	V dep. (m)	θ (Rad.)
1	0° 0° 0°	-0.117812E-04	0.000000E+00	-0.163390E-05
	0° 45° 0°	-0.118143E-04	0.000000E+00	-0.167681E-05
	45° 0° 45°	-0.330875E-04	0.000000E+00	-0.470325E-05
	0° 90° 0°	-0.119419E-04	0.000000E+00	-0.169377E-05
2	0° 0° 0°	-0.219629E-05	-0.354639E-05	-0.111134E-05
	0° 45° 0°	-0.233217E-05	-0.351095E-05	-0.105764E-05
	45° 0° 45°	-0.666719E-05	-0.978457E-05	-0.296395E-05
	0° 90° 0°	-0.233409E-05	-0.355742E-05	-0.106878E-05
3	0° 0° 0°	-0.157053E-05	-0.491406E-05	0.669130E-06
	0° 45° 0°	-0.176685E-05	-0.474709E-05	0.651124E-06
	45° 0° 45°	-0.508345E-05	-0.132492E-04	0.183549E-05
	0° 90° 0°	-0.176282E-05	-0.480654E-05	0.656159E-06

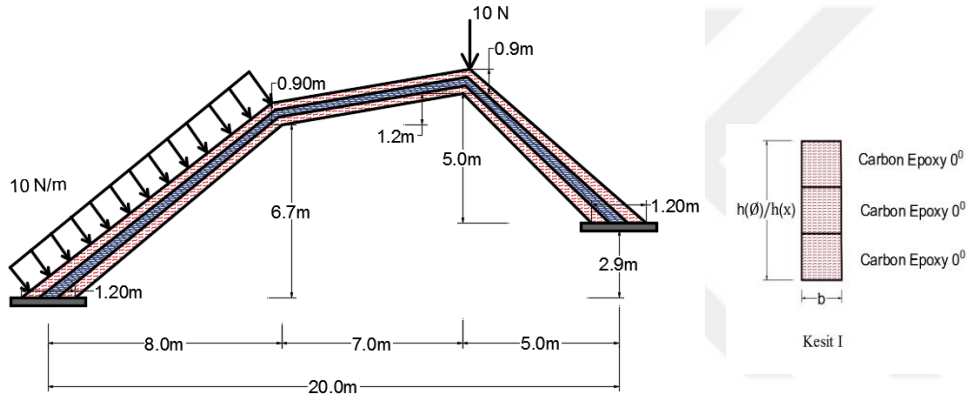
Çizelge 5. 82. Farklı Tabaka Açıları ve Kesit II Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Eleman Uç Kuvvetleri

	Tabaka Açıları	El. No	Ni (N)	Ti (N)	Mi (N.m)	Nj (N)	Tj (N)	Mj (N.m)
Durum I	0°	1	0.00000	41.46310	0.00000	0.000000	-41.46310	99.51160
	0°	2	0.00000	41.46310	-99.51160	-35.00000	34.53690	64.58150
	0°	3	35.0000	-34.53690	-64.58150	-35.00000	34.53690	69.21290
Durum II	0°	1	0.00000	41.17500	0.00000	0.000000	-41.17500	98.81990
	45°	2	0.00000	41.17500	-98.81990	35.00000	34.82500	61.69970
	0°	3	35.0000	-34.82500	-61.69980	-35.00000	34.82500	63.44950
Durum III	45°	1	0.00000	41.16820	0.00000	0.000000	-41.16820	98.80370
	0°	2	0.00000	41.16820	-98.80370	-35.00000	34.83180	61.63210
	45°	3	35.0000	-34.83180	-61.63210	-35.00000	34.83180	63.31420
Durum IV	0°	1	0.00000	41.17820	0.000000	0.000000	-41.17820	98.82760
	90°	2	0.00000	41.17820	-98.82760	-35.00000	34.82180	61.73160
	0°	3	35.0000	-34.82180	-61.73160	-35.00000	34.82180	63.51320

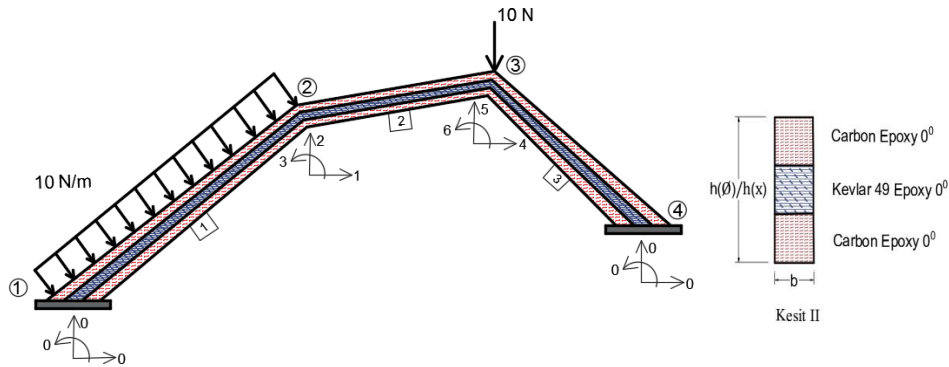
Kesit II malzeme özellikleri için elde edilen sonuçlar incelendiğinde, tabakalanma açılarının değişimi düğüm deplasman değerlerini etkilerken, eleman uç kuvvetlerini hiç etkilememektedir.

5.2.3.3. Uygulama 9

Hem tekil hem de üniform yayılı yüklerle yüklenmiş her iki ucu ankastre mesnetli kompozit üç tabakalı ve değişken kesite sahip doğru eksenli çubuklardan oluşan çerçeve sistemi ele alınmıştır (Şekil 5.17). Ele alınan çerçeve sistemi TFY ile kesit I ve kesit II malzeme özellikleri için ayrı ayrı incelenmiştir. Problem için dört farklı tabakalanma durumu dikkate alınarak her iki kesit özellikleri için sayısal olarak çözülmektedir.



Şekil 5.17. Doğru eksenli çubuklardan oluşan çerçeve ve tabakalı çubuk kesiti I



Şekil 5.18. Sistem düğüm serbestlikleri, kodlamaları ve tabakalı çubuk kesiti II

Ele alınan çerçeve sistemi önce kesit I malzeme özellikleri dikkate alınarak dört farklı tabakalanma durumu için, daha sonra kesit II için aynı koşullar altında çözümler yapılmaktadır. Burada kesit I için TFY ile çözümler yapılarak hesaplanan her bir düğümün deplasman değerleri ile eleman uç kuvvetleri sırasıyla Çizelge 5.83 ve 5.84 de verilmiştir.

Çizelge 5.83. Farklı Tabaka Açıları ve Kesit I Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Düğüm Deplasmanların Karşılaştırılması

Düğüm No		U dep. (m)	V dep. (m)	θ (Rad.)
2	0° 0° 0°	0.565715E-06	-0.682477E-06	0.158980E-06
	0° 45° 0°	0.761479E-06	-0.919320E-06	0.222933E-06
	45° 0° 45°	0.129078E-05	-0.155935E-05	0.385350E-06
	0° 90° 0°	0.795346E-06	-0.959850E-06	0.228626E-06
3	0° 0° 0°	0.379600E-06	0.373460E-06	0.130905E-07
	0° 45° 0°	0.510533E-06	0.501713E-06	0.137022E-07
	45° 0° 45°	0.864759E-06	0.848953E-06	0.199075E-07
	0° 90° 0°	0.533466E-06	0.524550E-06	0.161777E-07

Çizelge 5.84. Farklı Tabaka Açılırları ve Kesit I Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Eleman Uç Kuvvetleri

	Tabaka Açılırları	El. No	Ni (N)	Ti (N)	Mi (N.m)	Nj (N)	Tj (N)	Mj (N.m)
Durum I	0°	1	-23.89840	74.09470	182.2260	-43.10160	5.90531	26.20110
	0°	2	43.10160	-5.90531	-26.20110	-43.10160	5.90531	-66.85790
	0°	3	43.10160	-15.90530	66.85790	-43.10160	15.90530	69.12330
Durum II	0°	1	-23.78680	74.17660	182.4690	-43.21320	5.82340	25.86560
	45°	2	43.21320	-5.82340	-25.86560	-43.21320	5.82340	-66.75400
	0°	3	43.21320	-15.82340	66.75400	-43.21320	15.82340	70.19500
Durum III	45°	1	-23.73700	74.21410	182.5870	-43.26300	5.78590	25.71400
	0°	2	43.26300	-5.78590	-25.71400	-43.26300	5.78590	-66.70290
	45°	3	43.26300	-15.78590	66.70290	-43.26300	15.78590	70.68250
Durum IV	0°	1	-23.83620	74.14050	182.3620	-43.16380	5.85954	26.01380
	90°	2	43.16380	-5.85954	-26.01380	-43.16380	5.85954	-66.79950
	0°	3	43.16380	-15.85950	66.79950	-43.16380	15.85950	69.72190

Kesit I malzeme özellikleri için Çizelge 5.83 ve 5.84 ta verilen sonuçlar incelendiğinde, tabakalanma açılarının değişimi düğüm deplasman değerleri ve eleman uç kuvvetlerinin değerlerinde önemli değişikliklere sebep olmaktadır.

Şekil 5.17 deki çerçeve sistemi iki malzemeden oluşan tabakalı kesit II için TFY ile çözülmüştür. Dört farklı tabakalanma durumu için elde edilen sonuçlar düğüm deplasman değerleri ve eleman uç kuvvetleri olmak üzere sırasıyla aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir. Sistemdeki her bir düğüme ait yatay, düşey deplasman değerleri ile dönme değerleri Çizelge 5.85 te verilmiştir.

Çizelge 5.85. Farklı Tabaka Açıları ve Kesit II Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Düğüm Deplasmanların Karşılaştırılması

Düğüm No		U dep. (m)	V dep. (m)	θ (Rad.)
2	0° 0° 0°	0.671357E-06	-0.809934E-06	0.188829E-06
	0° 45° 0°	0.790089E-06	-0.953656E-06	0.228914E-06
	45° 0° 45°	0.211366E-05	-0.255449E-05	0.634050E-06
	0° 90° 0°	0.815536E-06	-0.984089E-06	0.232558E-06
3	0° 0° 0°	0.450480E-06	0.443184E-06	0.154654E-07
	0° 45° 0°	0.529845E-06	0.520864E-06	0.152792E-07
	45° 0° 45°	0.141538E-05	0.138859E-05	0.312859E-07
	0° 90° 0°	0.547088E-06	0.538050E-06	0.174086E-07

Çizelge 5.86. Farklı Tabaka Açılırları ve Kesit II Malzeme Grubu İçin Hesaplanan Eleman Uç Kuvvetleri

	Tabaka Açılırları	El. No	Ni (N)	Ti (N)	Mi (N.m)	Nj (N)	Tj (N)	Mj (N.m)
Durum I	0°	1	-23.89610	74.09640	182.23100	-43.10390	5.90356	26.19400
	0°	2	43.10390	-5.90356	-26.19400	-43.10390	5.90356	-66.85560
	0°	3	43.10390	-15.90360	66.85560	-43.10390	15.90360	69.14620
Durum II	0°	1	-23.81480	74.15610	182.40900	-43.18520	5.84387	25.94970
	45°	2	43.18520	-5.84387	-25.94970	-43.18520	5.84387	-66.77960
	0°	3	43.18520	-15.84390	66.77960	-43.18520	15.84390	69.92680
Durum III	45°	1	-23.72770	74.22280	182.62700	-43.27230	5.77716	25.68190
	0°	2	43.27230	-5.77716	-25.68190	-43.27230	5.77716	-66.68490
	45°	3	43.27230	-15.77720	66.68490	-43.27230	15.77720	70.79060
Durum IV	0°	1	-23.85820	74.12440	182.31500	-43.14180	5.87564	26.07990
	90°	2	43.14180	-5.87564	-26.07990	-43.14180	5.87564	-66.81970
	0°	3	43.14180	-15.87560	66.81970	-43.14180	15.87560	69.51110

Şekil 5.17 teki çerçeve sistemi kesit II malzeme grubu için TFY ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde, tabaka açılarının değişiminden hem düğüm deplasman değerleri hem de eleman uç kuvvetleri büyük ölçüde etkilendiği açıkça görülmektedir.

5.2.4. E_1/E_2 Oranının Değişken kesitli Sistem Üzerindeki Etkileri

E_1/E_2 oranının, değişken kesitli doğru ve daire eksenli çubuklardan oluşan karma sistemlerin eleman uç kuvvetleri ve düğüm deplasmanları üzerindeki etkileri araştırılmaktadır. Ele alınan tüm problemlerin kesit I ve kesit II malzeme özellikleri için E_1/E_2 oranının etkileri ayrı ayrı araştırılmıştır.

Bu başlık altında ele alınan tüm problemler için hem kesit I hem kesit II malzeme grubu dikkate alınarak, farklı tabakalanma açlarına sahip dört durum için E_1/E_2 oranının etkileri incelenmiştir. E_1/E_2 oranı 1, 10, 15, 20, 30 olarak değiştirilerek ele alınan tüm çerçeve sistemleri TFY ile her durum için ayrı ayrı çözülmüştür. Sistemdeki her elemana ait uç kuvvetleri ve düğüm deplasman değerleri ayrı ayrı çizelgelerde verilmiştir.

5.2.4.1. Uygulama 10

Şekil 5.13 teki farklı mesnet koşullarına sahip kolon, kiriş ve kemer sistemi ele alınmaktadır. Sistemde bulunan elemanlar çeşitli düzlem içi yüklerle yüklenmiştir. Kolon tipi eleman üniform yayılı yük ($q_n=10$ N/m), kemer tipi eleman ise tekil yük ($p=10$ N) ile yüklenmiş ve kiriş eleman üzerinde ise herhangi bir dış yük bulunmamaktadır. Eksen boyunca kesit özellikleri değişen, genişliği ($b=0.45$ m) sabit, yüksekliği ise eksen boyunca değişken ($h=$ değişken) olan üç tabakalı kesit kullanılmıştır. Bu kesiti oluşturan malzeme özellikleri ise Çizelge 5.6 da verilmiştir.

Burada ele alınan çerçeve sistemi 1, 10, 15, 20 ve 30 E_1/E_2 oranları ve kesit I ile kesit II malzeme özellikleri için TFY ile ayrı ayrı çözülmektedir. Her iki kesit özellikleri için elde edilen sonuçlar ayrı ayrı değerlendirilmektedir.

Kesit I malzeme özellikleri dikkate alınarak dört farklı tabakalanma durumu için E_1/E_2 oranının etkileri araştırılmıştır.

Kesit I Durum I: 0° 0° 0°

Ele alınan değişken kesitli çerçeve sistemi için kesit I malzeme grubu ve 0° 0° 0° tabakalanma açıları dikkate alınarak 1, 10, 15, 20 ve 30 E_1/E_2 oranları için TFY ile çözülmekte ve sonuçlar çizelgelerde sunulmuştur.

Çizelge 5.87. Kesit I'ın Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 0° 0°	1	U dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		V dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		θ (Rad)	-1.1930E-06	-1.1966E-06	-1.1985E-06	-1.2005E-06	-1.2044E-06
	2	U dep (m)	3.9157E-06	4.0195E-06	4.0771E-06	4.1347E-06	4.2500E-06
		V dep (m)	-8.3048E-10	-8.3080E-10	-8.3098E-10	-8.3117E-10	-8.3155E-10
		θ (Rad)	4.6509E-07	4.6211E-07	4.6047E-07	4.5882E-07	4.5554E-07
	3	U dep (m)	1.4967E-06	1.5572E-06	1.5907E-06	1.6243E-06	1.6915E-06
		V dep (m)	1.8573E-06	1.8784E-06	1.8901E-06	1.9018E-06	1.9253E-06
		θ (Rad)	1.1160E-07	1.0960E-07	1.0849E-07	1.0738E-07	1.0516E-07
	4	U dep (m)	6.1501E-09	6.1488E-09	6.1481E-09	6.1473E-09	6.1459E-09
		V dep (m)	1.0354E-06	1.0197E-06	1.0110E-06	1.0023E-06	9.8484E-07
		θ (Rad)	-3.1700E-07	-3.1797E-07	-3.1851E-07	-3.1904E-07	-3.2012E-07

Çizelge 5. 88. Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
	1	1	-58.20990	3.51314	0.00000	-41.79010	-3.51314	82.09930
		10	-58.21900	3.51449	0.00000	-41.78100	-3.51449	82.19010
		15	-58.22400	3.51527	0.00000	-41.77600	-3.51527	82.24020
		20	-58.22900	3.51606	0.00000	-41.77100	-3.51606	82.29010
		30	-58.23900	3.51768	0.00000	-41.76100	-3.51768	82.38950
	2	1	41.79010	3.51315	-82.09930	-41.79010	-3.51315	-109.2850
		10	41.78100	3.51450	-82.19010	-41.78100	-3.51450	-109.1420
		15	41.77600	3.51527	-82.24020	-41.77600	-3.51527	-109.0630
		20	41.77100	3.51606	-82.29010	-41.77100	-3.51606	-108.9850
		30	41.76100	3.51769	-82.38950	-41.76100	-3.51769	-108.8270
	3	1	41.79010	-6.48685	109.28500	-41.79010	6.48685	67.23070
		10	41.78100	-6.48550	109.14200	-41.78100	6.48550	67.33500
		15	41.77600	-6.48473	109.06300	-41.77600	6.48473	67.39290
		20	41.77100	-6.48394	108.98500	-41.77100	6.48394	67.45070
		30	41.76100	-6.48231	108.82700	-41.76100	6.48231	67.56640
	4	1	41.79010	-6.48685	-67.23070	-41.79010	6.48685	2.362210
		10	41.78100	-6.48550	-67.33500	-41.78100	6.48550	2.480010
		15	41.77600	-6.48473	-67.39290	-41.77600	6.48473	2.545630
		20	41.77100	-6.48394	-67.45070	-41.77100	6.48394	2.611330
		30	41.76110	-6.48231	-67.56640	-41.76110	6.48231	2.743270

Kesit I Durum II: 0° 45° 0°

Ele alınan değişken kesitli çerçeve sistemi için kesit I malzeme grubu ve 0° 45° 0° tabakalanma açıları dikkate alınarak 1, 10, 15, 20 ve 30 E_1/E_2 oranları için TFY ile çözülmekte ve sonuçlar Çizelge 5.89 ve 5.90 da sunulmaktadır..

Çizelge 5. 89. Kesit I'ın Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 45° 0°	1	U dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		V dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		θ (Rad)	-1.1931E-06	-1.6542E-06	-1.6940E-06	-1.7167E-06	-1.7425E-06
	2	U dep (m)	3.9158E-06	5.4852E-06	5.6469E-06	5.7523E-06	5.8985E-06
		V dep (m)	-8.3049E-10	-1.1609E-09	-1.1865E-09	-1.2003E-09	-1.2150E-09
		θ (Rad)	4.6509E-07	6.4219E-07	6.5627E-07	6.6368E-07	6.7083E-07
	3	U dep (m)	1.4967E-06	2.1093E-06	2.1781E-06	2.2253E-06	2.2951E-06
		V dep (m)	1.8573E-06	2.5846E-06	2.6519E-06	2.6925E-06	2.7430E-06
		θ (Rad)	1.1160E-07	1.5332E-07	1.5626E-07	1.5761E-07	1.5847E-07
	4	U dep (m)	6.1502E-09	8.5947E-09	8.7831E-09	8.8842E-09	8.9903E-09
		V dep (m)	1.0354E-06	1.4241E-06	1.4524E-06	1.4659E-06	1.4758E-06
		θ (Rad)	-3.1701E-07	-4.3954E-07	-4.5014E-07	-4.5619E-07	-4.6306E-07

Çizelge 5.90. Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açılı	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
0° 45° 0°	1	1	-58.20990	3.51314	0.000000	-41.79010	-3.51314	82.09930
		10	-58.21400	3.51367	0.000000	-41.78600	-3.51367	82.13980
		15	-58.21600	3.51399	0.000000	-41.78400	-3.51399	82.16030
		20	-58.21810	3.51430	0.000000	-41.78190	-3.51430	82.18050
		30	-58.22210	3.51493	0.000000	-41.77790	-3.51493	82.22080
	2	1	41.79010	3.51315	-82.09930	-41.79010	-3.51315	-109.2850
		10	41.78600	3.51367	-82.13980	-41.78600	-3.51368	-109.2220
		15	41.78400	3.51399	-82.16030	-41.78400	-3.51399	-109.1900
		20	41.78190	3.51430	-82.18050	-41.78190	-3.51430	-109.1580
		30	41.77790	3.51493	-82.22080	-41.77790	-3.51493	-109.0940
	3	1	41.79010	-6.48685	109.28500	-41.79010	6.48685	67.23070
		10	41.78600	-6.48633	109.22200	-41.78600	6.48632	67.27650
		15	41.78400	-6.48601	109.19000	-41.78400	6.48601	67.30020
		20	41.78190	-6.48570	109.15800	-41.78190	6.48569	67.32360
		30	41.77790	-6.48507	109.09400	-41.77790	6.48507	67.37020
	4	1	41.79010	-6.48685	-67.23070	-41.79010	6.48685	2.362210
		10	41.78600	-6.48633	-67.27650	-41.78600	6.48633	2.413280
		15	41.78400	-6.48601	-67.30020	-41.78400	6.48601	2.440070
		20	41.78190	-6.48570	-67.32360	-41.78190	6.48570	2.466620
		30	41.77790	-6.48507	-67.37020	-41.77790	6.48507	2.519510

Kesit I Durum III: 45° 0° 45°

Problem için 45° 0° 45° tabakalanma açıları ve kesit I malzeme grubu dikkate alınarak, 1, 10, 15, 20 ve 30 farklı E_1/E_2 oranları için TFY yardımı ile sayısal olarak çözülmüş ve sonuçlar takip eden çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 5.91. Kesit I'ın Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
45° 0° 45°	1	U dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		V dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		θ (Rad)	-1.1931E-06	-2.6861E-06	-2.9025E-06	-3.0343E-06	-3.1881E-06
	2	U dep (m)	3.9158E-06	8.8461E-06	9.5769E-06	1.0030E-05	1.0578E-05
		V dep (m)	-8.3049E-10	-1.9594E-09	-2.1043E-09	-2.1872E-09	-2.2786E-09
		θ (Rad)	4.6509E-07	1.0456E-06	1.1290E-06	1.1794E-06	1.2374E-06
	3	U dep (m)	1.4967E-06	3.3884E-06	3.6723E-06	3.8502E-06	4.0690E-06
		V dep (m)	1.8574E-06	4.1860E-06	4.5265E-06	4.7351E-06	4.9819E-06
		θ (Rad)	1.1160E-07	2.5050E-07	2.7024E-07	2.8203E-07	2.9534E-07
	4	U dep (m)	6.1502E-09	1.4510E-08	1.5582E-08	1.6195E-08	1.6870E-08
		V dep (m)	1.0354E-06	2.3249E-06	2.5086E-06	2.6187E-06	2.7435E-06
		θ (Rad)	-3.1701E-07	-7.1367E-07	-7.7119E-07	-8.0621E-07	-8.4710E-07

Çizelge 5.92. Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açılırları	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
45° 0° 45°	1	1	-58.20990	3.51314	0.00000	-41.79010	-3.51314	82.09930
		10	-58.21150	3.51303	0.00000	-41.78850	-3.51303	82.11540
		15	-58.21220	3.51318	0.00000	-41.78780	-3.51318	82.12230
		20	-58.21290	3.51332	0.00000	-41.78710	-3.51332	82.12920
		30	-58.21430	3.51359	0.00000	-41.78570	-3.51359	82.14310
	2	1	41.79010	3.51315	-82.09930	-41.79010	-3.51315	-109.2850
		10	41.78850	3.51303	-82.11540	-41.78850	-3.51303	-109.2620
		15	41.78780	3.51318	-82.12230	-41.78780	-3.51318	-109.2510
		20	41.78710	3.51332	-82.12920	-41.78710	-3.51332	-109.2400
		30	41.78570	3.51359	-82.14310	-41.78570	-3.51359	-109.2170
	3	1	41.79010	-6.48685	109.28500	-41.79010	6.48685	67.23070
		10	41.78850	-6.48697	109.26200	-41.78850	6.48696	67.24570
		15	41.78780	-6.48682	109.25100	-41.78780	6.48682	67.25410
		20	41.78710	-6.48668	109.24000	-41.78710	6.48668	67.26240
		30	41.78570	-6.48641	109.21700	-41.78570	6.48641	67.27900
	4	1	41.79010	-6.48685	-67.23070	-41.79010	6.48685	2.362210
		10	41.78850	-6.48697	-67.24570	-41.78850	6.48697	2.376080
		15	41.78780	-6.48682	-67.25410	-41.78780	6.48682	2.385910
		20	41.78710	-6.48668	-67.26240	-41.78710	6.48668	2.395650
		30	41.78570	-6.48641	-67.27900	-41.78570	6.48641	2.414900

Kesit I Durum IV: 0° 90° 0°

Çerçeve sistemi için 0° 90° 0° tabakalanma açıları ve kesit I malzeme grubu dikkate alınarak, 1, 10, 15, 20 ve 30 farklı E_1/E_2 oranları için TFY yardımı ile sayısal olarak çözülmüş ve sonuçlar Çizelge 5.93 ve 5.94 te sunulmuştur.

Çizelge 5.93. Kesit I'ın Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 90° 0°	1	U dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		V dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		θ (Rad)	-1.1930E-06	-1.7077E-06	-1.7371E-06	-1.7531E-06	-1.7713E-06
	2	U dep (m)	3.9157E-06	5.6912E-06	5.8387E-06	5.9424E-06	6.1045E-06
		V dep (m)	-8.3048E-10	-1.1867E-09	-1.2060E-09	-1.2160E-09	-1.2263E-09
		θ (Rad)	4.6509E-07	6.6162E-07	6.7070E-07	6.7454E-07	6.7683E-07
	3	U dep (m)	1.4967E-06	2.1949E-06	2.2627E-06	2.3138E-06	2.3989E-06
		V dep (m)	1.8573E-06	2.6731E-06	2.7275E-06	2.7611E-06	2.8068E-06
		θ (Rad)	1.1160E-07	1.5755E-07	1.5902E-07	1.5923E-07	1.5835E-07
	4	U dep (m)	6.1501E-09	8.7846E-09	8.9256E-09	8.9975E-09	9.0697E-09
		V dep (m)	1.0354E-06	1.4644E-06	1.4796E-06	1.4831E-06	1.4781E-06
		θ (Rad)	-3.1700E-07	-4.5377E-07	-4.6161E-07	-4.6588E-07	-4.7076E-07

Çizelge 5.94. Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
0° 90° 0°	1	1	-58.20990	3.51314	0.000000	-41.79010	-3.51314	82.09930
		10	-58.21590	3.51402	0.000000	-41.78410	-3.51402	82.15900
		15	-58.21920	3.51453	0.000000	-41.78080	-3.51453	82.19250
		20	-58.22260	3.51504	0.000000	-41.77740	-3.51504	82.22590
		30	-58.22930	3.51610	0.000000	-41.77070	-3.51610	82.29260
	2	1	41.79010	3.51315	-82.09930	-41.79010	-3.51315	-109.2850
		10	41.78410	3.51403	-82.15900	-41.78410	-3.51403	-109.1910
		15	41.78080	3.51453	-82.19250	-41.78080	-3.51453	-109.1390
		20	41.77740	3.51505	-82.22590	-41.77740	-3.51505	-109.0860
		30	41.77070	3.51610	-82.29260	-41.77070	-3.51610	-108.9810
	3	1	41.79010	-6.48685	109.28500	-41.79010	6.48685	67.23070
		10	41.78410	-6.48597	109.19100	-41.78410	6.48597	67.29920
		15	41.78080	-6.48547	109.13900	-41.78080	6.48546	67.33780
		20	41.77740	-6.48495	109.08600	-41.77740	6.48495	67.37640
		30	41.77070	-6.48390	108.98100	-41.77070	6.48390	67.45350
	4	1	41.79010	-6.48685	-67.23070	-41.79010	6.48685	2.362210
		10	41.78410	-6.48597	-67.29920	-41.78410	6.48597	2.439520
		15	41.78080	-6.48547	-67.33780	-41.78080	6.48547	2.483150
		20	41.77740	-6.48495	-67.37640	-41.77740	6.48495	2.526840
		30	41.77070	-6.48390	-67.45350	-41.77070	6.48390	2.614530

Kesit II Durum I: 0° 0° 0°

Problem için 0° 0° 0° tabakalanma açıları ile kesit II malzeme grubu ve 1, 10, 15, 20 ve 30 E_1/E_2 oranları dikkate alınarak, TFY yardımı ile analizi yapılmış ve sonuçlar takip eden çizelgelerde sunulmuştur.

Çizelge 5.95. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 0° 0°	1	U dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		V dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		θ (Rad)	-1.4176E-06	-1.4218E-06	-1.4241E-06	-1.4264E-06	-1.4310E-06
	2	U dep (m)	4.6527E-06	4.7760E-06	4.8445E-06	4.9129E-06	5.0500E-06
		V dep (m)	-9.8676E-10	-9.8714E-10	-9.8736E-10	-9.8758E-10	-9.8804E-10
		θ (Rad)	5.5260E-07	5.4907E-07	5.4711E-07	5.4516E-07	5.4126E-07
	3	U dep (m)	1.7784E-06	1.8502E-06	1.8901E-06	1.9300E-06	2.0098E-06
		V dep (m)	2.2069E-06	2.2319E-06	2.2458E-06	2.2597E-06	2.2876E-06
		θ (Rad)	1.3260E-07	1.3022E-07	1.2890E-07	1.2758E-07	1.2494E-07
	4	U dep (m)	7.3075E-09	7.3059E-09	7.3050E-09	7.3041E-09	7.3024E-09
		V dep (m)	1.2302E-06	1.2116E-06	1.2012E-06	1.1909E-06	1.1702E-06
		θ (Rad)	-3.7666E-07	-3.7781E-07	-3.7845E-07	-3.7908E-07	-3.8036E-07

Çizelge 5.96. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
0° 0° 0°	1	1	-58.20990	3.51314	0.000000	-41.79010	-3.51314	82.09940
		10	-58.21900	3.51449	0.000000	-41.78100	-3.51449	82.19020
		15	-58.22400	3.51527	0.000000	-41.77600	-3.51527	82.24030
		20	-58.22900	3.51606	0.000000	-41.77100	-3.51606	82.29020
		30	-58.23900	3.51769	0.000000	-41.76100	-3.51769	82.38960
	2	1	41.79010	3.51315	-82.09940	-41.79010	-3.51315	-109.2850
		10	41.78100	3.51450	-82.19020	-41.78100	-3.51450	-109.1420
		15	41.77600	3.51527	-82.24030	-41.77600	-3.51527	-109.0630
		20	41.77100	3.51606	-82.29020	-41.77100	-3.51606	-108.9840
		30	41.76100	3.51769	-82.38960	-41.76100	-3.51769	-108.8270
	3	1	41.79010	-6.48685	109.28500	-41.79010	6.48685	67.23080
		10	41.78100	-6.48550	109.14200	-41.78100	6.48550	67.33510
		15	41.77600	-6.48473	109.06300	-41.77600	6.48473	67.39300
		20	41.77100	-6.48394	108.98400	-41.77100	6.48394	67.45080
		30	41.76100	-6.48231	108.82700	-41.76100	6.48231	67.56650
	4	1	41.79010	-6.48685	-67.23080	-41.79010	6.48685	2.362310
		10	41.78100	-6.48550	-67.33510	-41.78100	6.48550	2.480120
		15	41.77600	-6.48473	-67.39300	-41.77600	6.48473	2.545740
		20	41.77100	-6.48394	-67.45080	-41.77100	6.48394	2.611450
		30	41.76100	-6.48231	-67.56650	-41.76100	6.48231	2.743400

Kesit II Durum II: 0° 45° 0°

Şekil 5.13 teki çerçeve sistemi için 0° 90° 0° tabakalanma durumu ve kesit II malzeme grubu dikkate alınarak 1, 10, 15, 20 ve 30 E_1/E_2 oranları için TFY yardımı ile sayısal olarak çözülmüş ve sonuçlar takip eden çizelgelerde sunulmuştur.

Çizelge 5.97. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 45° 0°	1	U dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		V dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		θ (Rad)	-1.4175E-06	-1.7178E-06	-1.7411E-06	-1.7546E-06	-1.7706E-06
	2	U dep (m)	4.6527E-06	5.7186E-06	5.8383E-06	5.9258E-06	6.0647E-06
		V dep (m)	-9.8675E-10	-1.1981E-09	-1.2127E-09	-1.2206E-09	-1.2290E-09
		θ (Rad)	5.5260E-07	6.6587E-07	6.7289E-07	6.7611E-07	6.7829E-07
	3	U dep (m)	1.7784E-06	2.2039E-06	2.2595E-06	2.3027E-06	2.3752E-06
		V dep (m)	2.2068E-06	2.6879E-06	2.7314E-06	2.7598E-06	2.7993E-06
		θ (Rad)	1.3260E-07	1.5866E-07	1.5974E-07	1.5990E-07	1.5922E-07
	4	U dep (m)	7.3074E-09	8.8694E-09	8.9758E-09	9.0325E-09	9.0914E-09
		V dep (m)	1.2302E-06	1.4745E-06	1.4858E-06	1.4887E-06	1.4851E-06
		θ (Rad)	-3.7666E-07	-4.5647E-07	-4.6266E-07	-4.6626E-07	-4.7054E-07

Çizelge 5. 98. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açılı	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
0° 45° 0°	1	1	-58.20990	3.51314	0.00000	-41.79010	-3.51314	82.09940
		10	-58.21550	3.51393	0.00000	-41.78450	-3.51393	82.15470
		15	-58.21830	3.51437	0.00000	-41.78170	-3.51437	82.18330
		20	-58.22120	3.51481	0.00000	-41.77880	-3.51481	82.21160
		30	-58.22680	3.51569	0.00000	-41.77320	-3.51569	82.26790
	2	1	41.79010	3.51315	-82.09940	-41.79010	-3.51315	-109.28500
		10	41.78450	3.51394	-82.15460	-41.78450	-3.51394	-109.19800
		15	41.78170	3.51437	-82.18330	-41.78170	-3.51437	-109.15300
		20	41.77880	3.51481	-82.21160	-41.77880	-3.51481	-109.10900
		30	41.77320	3.51569	-82.26790	-41.77320	-3.51569	-109.02000
	3	1	41.79010	-6.48685	109.28500	-41.79010	6.48685	67.23080
		10	41.78450	-6.48606	109.19800	-41.78450	6.48606	67.29400
		15	41.78170	-6.48563	109.15300	-41.78170	6.48563	67.32700
		20	41.77880	-6.48519	109.10900	-41.77880	6.48519	67.35970
		30	41.77320	-6.48431	109.02000	-41.77320	6.48431	67.42480
	4	1	41.79010	-6.48685	-67.23080	-41.79010	6.48685	2.36232
		10	41.78450	-6.48606	-67.29400	-41.78450	6.48606	2.43339
		15	41.78170	-6.48563	-67.32700	-41.78170	6.48563	2.47072
		20	41.77880	-6.48519	-67.35970	-41.77880	6.48519	2.50779
		30	41.77320	-6.48431	-67.42480	-41.77320	6.48431	2.58178

Kesit II Durum III: 45° 0° 45°

Problem için, 45° 0° 45° derece tabakalanma durumu ve kesit II malzeme grubu dikkate alınarak 1, 10, 15, 20 ve 30 E₁/E₂ oranları için TFY yardımı ile çözülmüş ve sonuçlar çizelgeler halinde verilmiştir.

Çizelge 5.99. Kesit II'nin Farklı E₁/E₂ Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E ₁ /E ₂ Oranları				
			1	10	15	20	30
45° 0° 45°	1	U dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		V dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		θ (Rad)	-1.4176E-06	-4.1728E-06	-4.7185E-06	-5.0756E-06	-5.5183E-06
	2	U dep (m)	4.6528E-06	1.3718E-05	1.5528E-05	1.6721E-05	1.8217E-05
		V dep (m)	-9.8678E-10	-3.1509E-09	-3.5361E-09	-3.7714E-09	-4.0447E-09
		θ (Rad)	5.5262E-07	1.6254E-06	1.8372E-06	1.9755E-06	2.1461E-06
	3	U dep (m)	1.7785E-06	5.2496E-06	5.9457E-06	6.4061E-06	6.9875E-06
		V dep (m)	2.2069E-06	6.4980E-06	7.3506E-06	7.9102E-06	8.6069E-06
		θ (Rad)	1.3260E-07	3.8977E-07	4.4033E-07	4.7322E-07	5.1354E-07
	4	U dep (m)	7.3076E-09	2.3336E-08	2.6188E-08	2.7930E-08	2.9952E-08
		V dep (m)	1.2303E-06	3.6165E-06	4.0862E-06	4.3920E-06	4.7674E-06
		θ (Rad)	-3.7667E-07	-1.1086E-06	-1.2536E-06	-1.3485E-06	-1.4662E-06

Çizelge 5.100. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
45° 0° 45°	1	1	-58.20990	3.51314	0.00000	-41.79010	-3.51314	82.09940
		10	-58.21110	3.51270	0.00000	-41.78890	-3.51270	82.11070
		15	-58.21140	3.51281	0.00000	-41.78860	-3.51281	82.11430
		20	-58.21180	3.51292	0.00000	-41.78820	-3.51292	82.11770
		30	-58.21250	3.51313	0.00000	-41.78750	-3.51313	82.12490
	2	1	41.79010	3.51315	-82.09940	-41.79010	-3.51315	-109.28500
		10	41.78890	3.51270	-82.11070	-41.78890	-3.51270	-109.27000
		15	41.78860	3.51281	-82.11430	-41.78860	-3.51281	-109.26500
		20	41.78820	3.51293	-82.11770	-41.78820	-3.51293	-109.25900
		30	41.78750	3.51313	-82.12490	-41.78750	-3.51314	-109.24700
	3	1	41.79010	-6.48685	109.28500	-41.79010	6.48685	67.23080
		10	41.78890	-6.48730	109.27000	-41.78890	6.48730	67.23770
		15	41.78860	-6.48719	109.26500	-41.78860	6.48719	67.24240
		20	41.78820	-6.48707	109.25900	-41.78820	6.48707	67.24700
		30	41.78750	-6.48686	109.24700	-41.78750	6.48686	67.25630
	4	1	41.79010	-6.48685	-67.23080	-41.79010	6.48685	2.36231
		10	41.78890	-6.48730	-67.23770	-41.78890	6.48730	2.36477
		15	41.78860	-6.48719	-67.24240	-41.78860	6.48719	2.37051
		20	41.78820	-6.48707	-67.24700	-41.78820	6.48707	2.37630
		30	41.78750	-6.48686	-67.25630	-41.78750	6.48686	2.38765

Kesit II Durum IV: 0° 90° 0°

Problem için kesit II malzeme özellikleri ve 0° 90° 0° derece tabakalanma durumu dikkate alınarak 1, 10, 15, 20 ve 30 farklı E_1/E_2 oranları için TFY yardımı ile çözülmüş ve sonuçlar çizelgelerde sunulmuştur.

Çizelge 5. 101. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 90° 0°	1	U dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		V dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		θ (Rad)	-1.4176E-06	-1.7479E-06	-1.7652E-06	-1.7751E-06	-1.7874E-06
	2	U dep (m)	4.6527E-06	5.8427E-06	5.9602E-06	6.0535E-06	6.2156E-06
		V dep (m)	-9.8676E-10	-1.2142E-09	-1.2249E-09	-1.2304E-09	-1.2362E-09
		θ (Rad)	5.5260E-07	6.7637E-07	6.8026E-07	6.8127E-07	6.8035E-07
	3	U dep (m)	1.7784E-06	2.2571E-06	2.3157E-06	2.3651E-06	2.4545E-06
		V dep (m)	2.2069E-06	2.7390E-06	2.7762E-06	2.8019E-06	2.8417E-06
		θ (Rad)	1.3260E-07	1.6082E-07	1.6090E-07	1.6030E-07	1.5837E-07
	4	U dep (m)	7.3075E-09	8.9877E-09	9.0641E-09	9.1024E-09	9.1402E-09
		V dep (m)	1.2302E-06	1.4953E-06	1.4980E-06	1.4943E-06	1.4802E-06
		θ (Rad)	-3.7666E-07	-4.6446E-07	-4.6908E-07	-4.7173E-07	-4.7504E-07

Çizelge 5.102. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
0° 90° 0°	1	1	-58.20990	3.51314	0.00000	-41.79010	-3.51314	82.09940
		10	-58.21710	3.51420	0.00000	-41.78290	-3.51420	82.17080
		15	-58.22110	3.51481	0.00000	-41.77890	-3.51481	82.21050
		20	-58.22500	3.51542	0.00000	-41.77500	-3.51542	82.25020
		30	-58.23290	3.51669	0.00000	-41.76710	-3.51669	82.32920
	2	1	41.79010	3.51315	-82.09940	-41.79010	-3.51315	-109.2850
		10	41.78290	3.51420	-82.17080	-41.78290	-3.51420	-109.1730
		15	41.77890	3.51481	-82.21050	-41.77890	-3.51481	-109.1100
		20	41.77500	3.51543	-82.25020	-41.77500	-3.51543	-109.0480
		30	41.76710	3.51669	-82.32920	-41.76710	-3.51669	-108.9230
	3	1	41.79010	-6.48685	109.28500	-41.79010	6.48685	67.23080
		10	41.78290	-6.48580	109.17300	-41.78290	6.48579	67.31280
		15	41.77890	-6.48519	109.11000	-41.77890	6.48519	67.35860
		20	41.77500	-6.48457	109.04800	-41.77500	6.48457	67.40440
		30	41.76710	-6.48331	108.92300	-41.76710	6.48331	67.49610
	4	1	41.79010	-6.48685	-67.23080	-41.79010	6.48685	2.362310
		10	41.78290	-6.48580	-67.31280	-41.78290	6.48580	2.454840
		15	41.77890	-6.48519	-67.35860	-41.77890	6.48519	2.506740
		20	41.77500	-6.48457	-67.40440	-41.77500	6.48457	2.558720
		30	41.76710	-6.48331	-67.49610	-41.76710	6.48331	2.663030

Kesit I ve kesit II malzeme özellikleri kullanılarak Şekil 5.13 te verilen değişken kesitli doğru ve daire eksenli çubuklardan oluşan çerçeve sistemi, tabakalanma açıları farklı olan dört durum dikkate alınarak sırası ile 1, 10, 15, 20 ve 30 E_1/E_2 oranları için TFY ile çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar düğüm deplasman değerleri ve eleman uç kuvvetleri olmak üzere kesit I ve kesit II malzeme grubu için sırasıyla çizelgelerde sunulmuştur.

Elde edilen sonuçlar kesit I ve kesit II malzeme özellikleri için eleman uç kuvvetleri bakımından incelendiğinde, eleman uç kuvvetleri E_1/E_2 oranının değişiminden önemli derecede etkilendiği görülmektedir. E_1/E_2 oranının 1 olduğu durumda tabakalanma açılarının değişimi eleman uç kuvvetlerini etkilememektedir. Kesit I ve kesit II malzeme grubu için sistemdeki en büyük eleman uç kuvvetinin değeri E_1/E_2 oranının 1 olduğu durumda elde edilmiştir.

TFY den kesit I ve kesit II malzeme özellikleri için elde edilen sonuçlar düğüm deplasman değerleri bakımından incelendiğinde, düğüm deplasman değerlerinin E_1/E_2 oranının artışından önemli ölçüde etkilendiği görülmektedir. Ele alınan çerçeve sistemindeki en büyük düğüm deplasman değeri hem kesit I hem kesit II malzeme grubu için 45° 0° 45° derece tabakalanma açıları ve E_1/E_2 oranının 30 olduğu durumda elde edilmiştir.

5.2.4.2. Uygulama 11

Şekil 5.15 de görüldüğü gibi daire ve doğru eksenli üç adet değişken kesitli elemandan oluşan toplam açıklığı 20.0 m ve yüksekliği 9.80 m olan bir ucu ankastre diğer ucu kayıcı mesnetli çerçeve sistemi ele alınmıştır. Sistem sadece statik üniform yayılı yük (q_n =10 N/m) yüklenmiştir. Üç tabakanın üst üste konulması ile meydana gelen kesit genişliği (b=0.45 m) ve yüksekliği ise elemanın her noktasında değişken (h=değişken) olan tabakalı kesit kullanılmıştır. Şekil 5.15 deki çerçeve sistemi bu çalışmada hazırlanan bilgisayar programı ile kesit I ve kesit II için ayrı ayrı ele alınmıştır.

Burada ele alınan çerçeve sistemi 1, 10, 15, 20 ve 30 E₁/E₂ oranları için kesit I ve kesit II malzeme özellikleri için TFY ile ayrı ayrı çözülmektedir. Her iki kesit özellikleri için elde edilen sonuçlar, eleman uç kuvvetleri ve düğüm deplasman değerleri olmak üzere sırası ile çizelgelerde verilmiştir.

Kesit I Durum I: 0° 0° 0°

Ele alınan değişken kesitli çerçeve sistemi için 0° 0° 0° derece tabakalanma durumu ve kesit I malzeme grubu dikkate alınarak 1, 10, 15, 20 ve 30 farklı E_1/E_2 oranları için TFY ile çözülmüş ve sonuçlar sırası ile aşağıda verilmiştir.

Çizelge 5.103. Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 0° 0°	1	U dep (m)	-8.0742E-06	-8.1026E-06	-8.1184E-06	-8.1341E-06	-8.1656E-06
		V dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		θ (Rad)	-1.1478E-06	-1.1500E-06	-1.1512E-06	-1.1524E-06	-1.1548E-06
	2	U dep (m)	-1.6314E-06	-1.5991E-06	-1.5811E-06	-1.5631E-06	-1.5271E-06
		V dep (m)	-2.3856E-06	-2.4081E-06	-2.4205E-06	-2.4330E-06	-2.4579E-06
		θ (Rad)	-7.2327E-07	-7.2536E-07	-7.2652E-07	-7.2767E-07	-7.2998E-07
	3	U dep (m)	-1.2448E-06	-1.2113E-06	-1.1928E-06	-1.1742E-06	-1.1369E-06
		V dep (m)	-3.2310E-06	-3.2558E-06	-3.2696E-06	-3.2834E-06	-3.3110E-06
		θ (Rad)	4.4821E-07	4.4652E-07	4.4559E-07	4.4465E-07	4.4278E-07

Çizelge 5. 104. Kesit I'ın Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
0° 0° 0°	1	1	0.00000	41.16740	0.00000	0.00000	-41.16740	98.80180
		10	0.00000	41.17510	0.00000	0.00000	-41.17510	98.82020
		15	0.00000	41.17930	0.00000	0.00000	-41.17930	98.83030
		20	0.00000	41.18350	0.00000	0.00000	-41.18350	98.84050
		30	0.00000	41.19200	0.00000	0.00000	-41.19200	98.86080
	2	1	0.00000	41.16740	-98.80180	-35.00000	34.83260	61.62410
		10	0.00000	41.17510	-98.82020	-35.00000	34.82490	61.70060
		15	0.00000	41.17930	-98.83030	-35.00000	34.82070	61.74300
		20	0.00000	41.18350	-98.84050	-35.00000	34.81650	61.78540
		30	0.00000	41.19200	-98.86080	-35.00000	34.80800	61.86990
	3	1	35.00000	-34.83260	-61.62410	-35.00000	34.83260	63.29830
		10	35.00000	-34.82490	-61.70060	-35.00000	34.82490	63.45130
		15	35.00000	-34.82070	-61.74300	-35.00000	34.82070	63.53610
		20	35.00000	-34.81650	-61.78540	-35.00000	34.81650	63.62070
		30	35.00000	-34.80800	-61.86990	-35.00000	34.80800	63.78990

Kesit I Durum II: 0° 45° 0°

Çerçeve sistemi için 0° 45° 0° derece tabakalanma durumu dikkate alınarak 1, 10, 15, 20 ve 30 E_1/E_2 oranları için TFY ile çözülmüş ve sonuçlar çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 5.105. Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 45° 0°	1	U dep (m)	-8.0743E-06	-1.1197E-05	-1.1469E-05	-1.1624E-05	-1.1802E-05
		V dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		θ (Rad)	-1.1478E-06	-1.5907E-06	-1.6286E-06	-1.6501E-06	-1.6741E-06
	2	U dep (m)	-1.6314E-06	-2.2393E-06	-2.2813E-06	-2.3000E-06	-2.3104E-06
		V dep (m)	-2.3856E-06	-3.3171E-06	-3.4019E-06	-3.4525E-06	-3.5143E-06
		θ (Rad)	-7.2327E-07	-1.0028E-06	-1.0269E-06	-1.0407E-06	-1.0563E-06
	3	U dep (m)	-1.2448E-06	-1.7033E-06	-1.7324E-06	-1.7437E-06	-1.7458E-06
		V dep (m)	-3.2310E-06	-4.4891E-06	-4.6022E-06	-4.6688E-06	-4.7488E-06
		θ (Rad)	4.4821E-07	6.1961E-07	6.3357E-07	6.4111E-07	6.4878E-07

Çizelge 5.106. Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
0° 45° 0°	1	1	0.00000	41.16740	0.00000	0.00000	-41.16740	98.80180
		10	0.00000	41.17080	0.00000	0.00000	-41.17080	98.80990
		15	0.00000	41.17250	0.00000	0.00000	-41.17250	98.81400
		20	0.00000	41.17420	0.00000	0.00000	-41.17420	98.81810
		30	0.00000	41.17760	0.00000	0.00000	-41.17760	98.82630
	2	1	0.00000	41.16740	-98.80180	-35.00000	34.83260	61.62410
		10	0.00000	41.17080	-98.80990	-35.00000	34.82920	61.65770
		15	0.00000	41.17250	-98.81400	-35.00000	34.82750	61.67500
		20	0.00000	41.17420	-98.81810	-35.00000	34.82580	61.69220
		30	0.00000	41.17760	-98.82630	-35.00000	34.82240	61.72640
	3	1	35.00000	-34.83260	-61.62410	-35.00000	34.83260	63.29830
		10	35.00000	-34.82920	-61.65770	-35.00000	34.82920	63.36540
		15	35.00000	-34.82750	-61.67500	-35.00000	34.82750	63.40010
		20	35.00000	-34.82580	-61.69220	-35.00000	34.82580	63.43440
		30	35.00000	-34.82240	-61.72640	-35.00000	34.82240	63.50270

Keit I Durum III: 45° 0° 45°

Problem, 45° 0° 45° derece tabakalanma durumu dikkate alınarak değişken kesit I malzeme grubu 1, 10, 15, 20 ve 30 farklı E_1/E_2 oranları için TFY yardımı ile çözülmüş ve karşılaştırmalar çizelgelerde sunulmuştur.

Çizelge 5.107. Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
45° 0° 45°	1	U dep (m)	-8.0744E-06	-1.8178E-05	-1.9644E-05	-2.0537E-05	-2.1580E-05
		V dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		θ (Rad)	-1.1478E-06	-2.5837E-06	-2.7917E-06	-2.9182E-06	-3.0656E-06
	2	U dep (m)	-1.6315E-06	-3.6600E-06	-3.9479E-06	-4.1197E-06	-4.3129E-06
		V dep (m)	-2.3857E-06	-5.3764E-06	-5.8126E-06	-6.0795E-06	-6.3941E-06
		θ (Rad)	-7.2328E-07	-1.6283E-06	-1.7595E-06	-1.8394E-06	-1.9326E-06
	3	U dep (m)	-1.2448E-06	-2.7899E-06	-3.0076E-06	-3.1367E-06	-3.2800E-06
		V dep (m)	-3.2311E-06	-7.2798E-06	-7.8693E-06	-8.2295E-06	-8.6530E-06
		θ (Rad)	4.4822E-07	1.0081E-06	1.0888E-06	1.1376E-06	1.1940E-06

Çizelge 5.108. Kesit I'ın Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
45° 0° 45°	1	1	0.00000	41.16740	0.00000	0.00000	-41.16740	98.80180
		10	0.00000	41.16850	0.00000	0.00000	-41.16850	98.80440
		15	0.00000	41.16910	0.00000	0.00000	-41.16910	98.80590
		20	0.00000	41.16970	0.00000	0.00000	-41.16970	98.80730
		30	0.00000	41.17090	0.00000	0.00000	-41.17090	98.81030
	2	1	0.00000	41.16740	-98.80180	-35.00000	34.83260	61.62410
		10	0.00000	41.16850	-98.80440	-35.00000	34.83150	61.63490
		15	0.00000	41.16910	-98.80590	-35.00000	34.83090	61.64110
		20	0.00000	41.16970	-98.80730	-35.00000	34.83030	61.64720
		30	0.00000	41.17090	-98.81030	-35.00000	34.82910	61.65940
	3	1	35.00000	-34.83260	-61.62410	-35.00000	34.83260	63.29830
		10	35.00000	-34.83150	-61.63490	-35.00000	34.83150	63.31990
		15	35.00000	-34.83090	-61.64110	-35.00000	34.83090	63.33220
		20	35.00000	-34.83030	-61.64720	-35.00000	34.83030	63.34440
		30	35.00000	-34.82910	-61.65940	-35.00000	34.82910	63.36890

Kesit I Durum IV: 0° 90° 0°

Problem için 0° 90° 0° derece tabakalanma durumu ve kesit I malzeme özellikleri dikkate alınarak 1, 10, 15, 20 ve 30 E_1/E_2 oranları için TFY ile çözülmüş ve karşılaştırmalar sırayla sunulmuştur.

Çizelge 5.109. Kesit I'in Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 90° 0°	1	U dep (m)	-8.0742E-06	-1.1561E-05	-1.1763E-05	-1.1874E-05	-1.2002E-05
		V dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		θ (Rad)	-1.1478E-06	-1.6418E-06	-1.6694E-06	-1.6842E-06	-1.7003E-06
	2	U dep (m)	-1.6314E-06	-2.3002E-06	-2.3200E-06	-2.3213E-06	-2.3049E-06
		V dep (m)	-2.3856E-06	-3.4291E-06	-3.4964E-06	-3.5370E-06	-3.5905E-06
		θ (Rad)	-7.2327E-07	-1.0352E-06	-1.0530E-06	-1.0627E-06	-1.0737E-06
	3	U dep (m)	-1.2448E-06	-1.7469E-06	-1.7571E-06	-1.7533E-06	-1.7310E-06
		V dep (m)	-3.2310E-06	-4.6390E-06	-4.7272E-06	-4.7790E-06	-4.8453E-06
		θ (Rad)	4.4821E-07	6.3872E-07	6.4811E-07	6.5247E-07	6.5598E-07

Çizelge 5. 110. Kesit I'ın Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açılı	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
0° 90° 0°	1	1	0.00000	41.16740	0.00000	0.00000	-41.16740	98.80180
		10	0.00000	41.17240	0.00000	0.00000	-41.17240	98.81390
		15	0.00000	41.17530	0.00000	0.00000	-41.17530	98.82060
		20	0.00000	41.17810	0.00000	0.00000	-41.17810	98.82740
		30	0.00000	41.18370	0.00000	0.00000	-41.18370	98.84100
	2	1	0.00000	41.16740	-98.80180	-35.00000	34.83260	61.62410
		10	0.00000	41.17240	-98.81390	-35.00000	34.82760	61.67440
		15	0.00000	41.17530	-98.82060	-35.00000	34.82470	61.70270
		20	0.00000	41.17810	-98.82740	-35.00000	34.82190	61.73090
		30	0.00000	41.18370	-98.84100	-35.00000	34.81630	61.78740
	3	1	35.00000	-34.83260	-61.62410	-35.00000	34.83260	63.29830
		10	35.00000	-34.82760	-61.67440	-35.00000	34.82760	63.39880
		15	35.00000	-34.82470	-61.70270	-35.00000	34.82470	63.45530
		20	35.00000	-34.82190	-61.73090	-35.00000	34.82190	63.51180
		30	35.00000	-34.81630	-61.78740	-35.00000	34.81630	63.62490

Kesit II Durum I: 0° 0° 0°

Şekil 5.15 te verilen çerçeve sistemi için 0° 0° 0° tabakalanma durumu ve kesit II malzeme özellikleri dikkate alınarak 1, 10, 15, 20 ve 30 E_1/E_2 oranları için TFY yardımı ile sayısal olarak çözülmüş ve karşılaştırmalar çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 5.111. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 0° 0°	1	U dep (m)	-9.5937E-06	-9.6274E-06	-9.6461E-06	-9.6648E-06	-9.7023E-06
		V dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		θ (Rad)	-1.3638E-06	-1.3664E-06	-1.3678E-06	-1.3692E-06	-1.3721E-06
	2	U dep (m)	-1.9384E-06	-1.8999E-06	-1.8786E-06	-1.8572E-06	-1.8144E-06
		V dep (m)	-2.8346E-06	-2.8612E-06	-2.8760E-06	-2.8908E-06	-2.9205E-06
		θ (Rad)	-8.5938E-07	-8.6186E-07	-8.6324E-07	-8.6461E-07	-8.6736E-07
	3	U dep (m)	-1.4790E-06	-1.4393E-06	-1.4172E-06	-1.3951E-06	-1.3509E-06
		V dep (m)	-3.8391E-06	-3.8685E-06	-3.8849E-06	-3.9013E-06	-3.9340E-06
		θ (Rad)	5.3255E-07	5.3055E-07	5.2944E-07	5.2833E-07	5.2611E-07

Çizelge 5. 112. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
0° 0° 0°	1	1	0.00000	41.16740	0.00000	0.00000	-41.16740	98.80180
		10	0.00000	41.17510	0.00000	0.00000	-41.17510	98.82020
		15	0.00000	41.17930	0.00000	0.00000	-41.17930	98.83040
		20	0.00000	41.18350	0.00000	0.00000	-41.18350	98.84050
		30	0.00000	41.19200	0.00000	0.00000	-41.19200	98.86080
	2	1	0.00000	41.16740	-98.80180	-35.00000	34.83260	61.62420
		10	0.00000	41.17510	-98.82020	-35.00000	34.82490	61.70070
		15	0.00000	41.17930	-98.83040	-35.00000	34.82070	61.74310
		20	0.00000	41.18350	-98.84050	-35.00000	34.81650	61.78540
		30	0.00000	41.19200	-98.86080	-35.00000	34.80800	61.87000
	3	1	35.00000	-34.83260	-61.62420	-35.00000	34.83260	63.29840
		10	35.00000	-34.82490	-61.70070	-35.00000	34.82490	63.45140
		15	35.00000	-34.82070	-61.74310	-35.00000	34.82070	63.53620
		20	35.00000	-34.81650	-61.78540	-35.00000	34.81650	63.62090
		30	35.00000	-34.80800	-61.87000	-35.00000	34.80800	63.79000

Kesit II Durum II: 0° 45° 0°

Problem için, 0° 45° 0° derece tabakalanma durumu ve kesit II malzeme özellikleri dikkate alınarak 1, 10, 15, 20 ve 30 E₁/E₂ oranları için TFY yardımı ile çözülmüş ve karşılaştırmalar çizelgeler halinde sunulmuştur.

Çizelge 5.113. Kesit II'nin Farklı E₁/E₂ Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E ₁ /E ₂ Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 45° 0°	1	U dep (m)	-9.5936E-06	-1.1630E-05	-1.1789E-05	-1.1883E-05	-1.1995E-05
		V dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		θ (Rad)	-1.3638E-06	-1.6517E-06	-1.6734E-06	-1.6858E-06	-1.7001E-06
	2	U dep (m)	-1.9384E-06	-2.3166E-06	-2.3309E-06	-2.3319E-06	-2.3189E-06
		V dep (m)	-2.8346E-06	-3.4485E-06	-3.5022E-06	-3.5364E-06	-3.5828E-06
		θ (Rad)	-8.5937E-07	-1.0414E-06	-1.0555E-06	-1.0636E-06	-1.0733E-06
	3	U dep (m)	-1.4790E-06	-1.7600E-06	-1.7667E-06	-1.7634E-06	-1.7453E-06
		V dep (m)	-3.8390E-06	-4.6656E-06	-4.7358E-06	-4.7795E-06	-4.8371E-06
		θ (Rad)	5.3255E-07	6.4274E-07	6.5006E-07	6.5371E-07	6.5691E-07

Çizelge 5.114. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
0° 45° 0°	1	1	0.00000	41.16740	0.00000	0.00000	-41.16740	98.80180
		10	0.00000	41.17210	0.00000	0.00000	-41.17210	98.81290
		15	0.00000	41.17450	0.00000	0.00000	-41.17450	98.81870
		20	0.00000	41.17690	0.00000	0.00000	-41.17690	98.82450
		30	0.00000	41.18160	0.00000	0.00000	-41.18160	98.83590
	2	1	0.00000	41.16740	-98.80180	-35.00000	34.83260	61.62420
		10	0.00000	41.17210	-98.81290	-35.00000	34.82790	61.67050
		15	0.00000	41.17450	-98.81870	-35.00000	34.82550	61.69470
		20	0.00000	41.17690	-98.82450	-35.00000	34.82310	61.71870
		30	0.00000	41.18160	-98.83590	-35.00000	34.81840	61.76640
	3	1	35.00000	-34.83260	-61.62420	-35.00000	34.83260	63.29840
		10	35.00000	-34.82790	-61.67050	-35.00000	34.82790	63.39110
		15	35.00000	-34.82550	-61.69470	-35.00000	34.82550	63.43950
		20	35.00000	-34.82310	-61.71870	-35.00000	34.82310	63.48740
		30	35.00000	-34.81840	-61.76640	-35.00000	34.81840	63.58280

Kesit II Durum III: 45° 0° 45°

Çerçeve sistemi için 45° 0° 45° derece tabakalanma durumu ve kesit II malzeme özellikleri dikkate alınarak 1, 10, 15, 20 ve 30 E_1/E_2 oranları için TFY yardımı ile çözülmüş ve çizelgeler üzerinde karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.115. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
45° 0° 45°	1	U dep (m)	-9.5939E-06	-2.8236E-05	-3.1930E-05	-3.4348E-05	-3.7347E-05
		V dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		θ (Rad)	-1.3638E-06	-4.0140E-06	-4.5388E-06	-4.8821E-06	-5.3074E-06
	2	U dep (m)	-1.9384E-06	-5.6946E-06	-6.4331E-06	-6.9133E-06	-7.5016E-06
		V dep (m)	-2.8346E-06	-8.3486E-06	-9.4429E-06	-1.0160E-05	-1.1053E-05
		θ (Rad)	-8.5940E-07	-2.5295E-06	-2.8603E-06	-3.0768E-06	-3.3452E-06
	3	U dep (m)	-1.4791E-06	-4.3432E-06	-4.9048E-06	-5.2693E-06	-5.7141E-06
		V dep (m)	-3.8391E-06	-1.1305E-05	-1.2786E-05	-1.3757E-05	-1.4963E-05
		θ (Rad)	5.3257E-07	1.5669E-06	1.7713E-06	1.9048E-06	2.0697E-06

Çizelge 5.116. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
45° 0° 45°	1	1	0.00000	41.16740	0.00000	0.00000	-41.16740	98.80180
		10	0.00000	41.16790	0.00000	0.00000	-41.16790	98.80290
		15	0.00000	41.16820	0.00000	0.00000	-41.16820	98.80380
		20	0.00000	41.16860	0.00000	0.00000	-41.16860	98.80460
		30	0.00000	41.16930	0.00000	0.00000	-41.16930	98.80620
	2	1	0.00000	41.16740	-98.80180	-35.0000	34.83260	61.62420
		10	0.00000	41.16790	-98.80290	-35.0000	34.83210	61.62890
		15	0.00000	41.16820	-98.80380	-35.0000	34.83180	61.63240
		20	0.00000	41.16860	-98.80460	-35.0000	34.83140	61.63580
		30	0.00000	41.16930	-98.80620	-35.0000	34.83070	61.64260
	3	1	35.0000	-34.83260	-61.62420	-35.0000	34.83260	63.29840
		10	35.0000	-34.83210	-61.62890	-35.0000	34.83210	63.30780
		15	35.0000	-34.83180	-61.63240	-35.0000	34.83180	63.31470
		20	35.0000	-34.83140	-61.63580	-35.0000	34.83140	63.32160
		30	35.0000	-34.83070	-61.64260	-35.0000	34.83070	63.33530

Kesit II Durum IV: 0° 90° 0°

Ele alınan problem için 0° 90° 0° derece tabakalanma durumu dikkate alınarak 1, 10, 15, 20 ve 30 E_1/E_2 oranları için TFY yardımı ile çözülmekte ve karşılaştırmalar Çizelge 5.117 ve 5.118 de sunulmaktadır.

Çizelge 5. 117. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 90° 0°	1	U dep (m)	-9.5937E-06	-1.1834E-05	-1.1954E-05	-1.2025E-05	-1.2114E-05
		V dep (m)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
		θ (Rad)	-1.3638E-06	-1.6802E-06	-1.6960E-06	-1.7048E-06	-1.7150E-06
	2	U dep (m)	-1.9384E-06	-2.3473E-06	-2.3465E-06	-2.3356E-06	-2.3033E-06
		V dep (m)	-2.8346E-06	-3.5127E-06	-3.5575E-06	-3.5874E-06	-3.6323E-06
		θ (Rad)	-8.5938E-07	-1.0596E-06	-1.0700E-06	-1.0760E-06	-1.0834E-06
	3	U dep (m)	-1.4790E-06	-1.7810E-06	-1.7746E-06	-1.7605E-06	-1.7243E-06
		V dep (m)	-3.8391E-06	-4.7511E-06	-4.8080E-06	-4.8450E-06	-4.8984E-06
		θ (Rad)	5.3255E-07	6.5318E-07	6.5770E-07	6.5945E-07	6.6010E-07

Çizelge 5.118. Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
0° 90° 0°	1	1	0.00000	41.16740	0.00000	0.00000	-41.16740	98.80180
		10	0.00000	41.17340	0.00000	0.00000	-41.17340	98.81620
		15	0.00000	41.17680	0.00000	0.00000	-41.17680	98.82430
		20	0.00000	41.18010	0.00000	0.00000	-41.18010	98.83240
		30	0.00000	41.18690	0.00000	0.00000	-41.18690	98.84850
	2	1	0.00000	41.16740	-98.80180	-35.0000	34.83260	61.62420
		10	0.00000	41.17340	-98.81620	-35.0000	34.82660	61.68430
		15	0.00000	41.17680	-98.82430	-35.0000	34.82320	61.71790
		20	0.00000	41.18010	-98.83240	-35.0000	34.81990	61.75150
		30	0.00000	41.18690	-98.84850	-35.0000	34.81310	61.81860
	3	1	35.0000	-34.83260	-61.62420	-35.0000	34.83260	63.29840
		10	35.0000	-34.82660	-61.68430	-35.0000	34.82660	63.41870
		15	35.0000	-34.82320	-61.71790	-35.0000	34.82320	63.48590
		20	35.0000	-34.81990	-61.75150	-35.0000	34.81990	63.55300
		30	35.0000	-34.81310	-61.81860	-35.0000	34.81310	63.68710

Kesit I ve kesit II malzeme özellikleri kullanılarak Şekil 5.15 te verilen değişken kesitli doğru ve daire eksenli çubuklardan oluşan çerçeve problemi, tabakalanma açıları farklı olan dört durum dikkate alınarak E_1/E_2 oranları sırası ile 1, 10, 15, 20 ve 30 olduğu durum için TFY ile çözümler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar düğüm deplasman değerleri ve eleman uç kuvvetleri olmak üzere kesit I ve kesit II malzeme grubu için sırasıyla çizelgelerde sunulmuştur.

Elde edilen sonuçlar kesit I ve kesit II malzeme özellikleri için eleman uç kuvvetleri bakımından incelendiğinde, eleman uç kuvvetleri E_1/E_2 oranının değişiminden etkilendiği çizelgelerden açıkça görülmektedir. E_1/E_2 oranının 1 olduğu durumda tabakalanma açılarının değişimi eleman uç kuvvetlerini etkilememektedir. Kesit I ve kesit II için sistemdeki en büyük eleman uç kuvveti tabakalanma açıları 0° 0° 0° derece ve E_1/E_2 oranının 30 olduğu durumda elde edilmiştir.

TFY den değişken kesit I ve II malzeme özellikleri için elde edilen sonuçlar düğüm deplasman değerleri bakımından incelendiğinde, düğüm deplasman değerlerinin E_1/E_2 oranının artışından önemli ölçüde etkilendiği görülmektedir. Ele alınan değişken kesitli çerçeve sistemindeki en büyük düğüm deplasman değeri hem kesit I hem kesit II için 45° 0° 45° derece tabakalanma açıları ve E_1/E_2 oranının 30 olduğu durumda elde edilmiştir.

5.2.4.3. Uygulama 12

Burada değişken kesite sahip kompozit malzemeli üç tabakalı doğru eksenli çubuklardan oluşan çerçeve sistemi ele alınmıştır. Şekil 5.17 deki çerçeve sisteminin toplam yüksekliği 7.9 m ve toplam açıklığı 20.0 m olup hem tekil ($p=10$ N) hem de düzgün yayılı ($q_n=10$ N/m) yüklerle yüklenmiştir. Bu çerçeve sisteminde kesit genişliği ($b=0.45$ m) ve yüksekliği eksenin her yerinde değişken ($h=\text{değişken}$) olan üç tabakalı kesit kullanılmıştır. Şekil 5.17 deki çerçeve sistemi 1, 10, 15, 20 ve 30 E_1/E_2 oranları için TFY ile önce kesit I sonra kesit II malzeme özellikleri için ayrı ayrı çözülmüştür. Her bir kesit için dört farklı tabakalanma durumu dikkate alınarak analizler yapılmıştır. Yapılan analizler neticesinde elde edilen sonuçlar, kesit I ve kesit II malzeme özellikleri için düğüm deplasmanlar ve eleman uç kuvvetleri olmak üzere sırasıyla çizelgelerde sunulmuştur.

Kesit I Durum I: 0° 0° 0°

Ele alınan değişken kesitli çerçeve sistemi için 0° 0° 0° derece tabakalanma durumu ve kesit I malzeme özellikleri dikkate alınarak, 1, 10, 15, 20 ve 30 E_1/E_2 oranları için TFY ile çözülmüş ve çizelgeler üzerinde karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.119. Kesit I'ın Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
200 0° 0° 0°	2	U dep (m)	5.1264E-07	5.4217E-07	5.5855E-07	5.7491E-07	6.0760E-07
		V dep (m)	-6.1915E-07	-6.5439E-07	-6.7393E-07	-6.9344E-07	-7.3244E-07
		θ (Rad)	1.5455E-07	1.5702E-07	1.5838E-07	1.5974E-07	1.6245E-07
	3	U dep (m)	3.4353E-07	3.6360E-07	3.7473E-07	3.8584E-07	4.0806E-07
		V dep (m)	3.3739E-07	3.5746E-07	3.6859E-07	3.7970E-07	4.0192E-07
		θ (Rad)	7.1983E-09	1.0513E-08	1.2312E-08	1.4082E-08	1.7547E-08

Çizelge 5.120. Kesit I'ın Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açılışı	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
0° 0° 0°	1	1	-23.70550	74.23340	182.61700	-43.29450	5.76657	25.62740
		10	-23.81560	74.15530	182.40500	-43.18440	5.84466	25.95250
		15	-23.87370	74.11300	182.28100	-43.12630	5.88701	26.12650
		20	-23.92960	74.07140	182.15400	-43.07040	5.92862	26.29580
		30	-24.03580	73.99000	181.88800	-42.96420	6.00996	26.62220
	2	1	43.29450	-5.76657	-25.62740	-43.29450	5.76657	-66.69190
		10	43.18440	-5.84466	-25.95250	-43.18440	5.84466	-66.78130
		15	43.12630	-5.88701	-26.12650	-43.12630	5.88701	-66.83420
		20	43.07040	-5.92862	-26.29580	-43.07040	5.92862	-66.88900
		30	42.96420	-6.00996	-26.62220	-42.96420	6.00996	-67.00450
	3	1	43.29450	-15.76660	66.69190	-43.29450	15.76660	70.94770
		10	43.18440	-15.84470	66.78130	-43.18440	15.84470	69.91710
		15	43.12630	-15.88700	66.83420	-43.12630	15.88700	69.36230
		20	43.07040	-15.92860	66.88900	-43.07040	15.92860	68.81970
		30	42.96420	-16.01000	67.00450	-42.96420	16.01000	67.76660

Kesit I Durum II: 0° 45° 0°

Problem için kesit I malzeme özellikleri ve 0° 45° 0° tabakalanma durumu dikkate alınarak, 1, 10, 15, 20 ve 30 E_1/E_2 oranları için TFY yardımı ile çözülmüş ve karşılaştırmalar devamında verilmiştir.

Çizelge 5.121. Kesit I'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 45° 0°	2	U dep (m)	5.1264E-07	7.2783E-07	7.5435E-07	7.7348E-07	8.0324E-07
		V dep (m)	-6.1916E-07	-8.7889E-07	-9.1076E-07	-9.3370E-07	-9.6935E-07
		θ (Rad)	1.5455E-07	2.1550E-07	2.2134E-07	2.2495E-07	2.2964E-07
	3	U dep (m)	3.4354E-07	4.8785E-07	5.0572E-07	5.1864E-07	5.3878E-07
		V dep (m)	3.3739E-07	4.7927E-07	4.9695E-07	5.0977E-07	5.2980E-07
		θ (Rad)	7.1984E-09	1.2014E-08	1.3355E-08	1.4582E-08	1.6896E-08

Çizelge 5.122. Kesit I'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açılışı	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
0° 45° 0°	1	1	-23.70550	74.23340	182.61700	-43.29450	5.76657	25.62740
		10	-23.75620	74.19860	182.53000	-43.24380	5.80145	25.77480
		15	-23.78080	74.18090	182.48100	-43.21920	5.81906	25.84780
		20	-23.80490	74.16360	182.43200	-43.19510	5.83640	25.91950
		30	-23.85190	74.12940	182.33300	-43.14810	5.87061	26.06010
	2	1	43.29450	-5.76657	-25.62740	-43.29450	5.76657	-66.69190
		10	43.24380	-5.80145	-25.77480	-43.24380	5.80145	-66.72790
		15	43.21920	-5.81906	-25.84780	-43.21920	5.81906	-66.74860
		20	43.19510	-5.83640	-25.91950	-43.19510	5.83640	-66.76950
		30	43.14810	-5.87061	-26.06010	-43.14810	5.87061	-66.81190
	3	1	43.29450	-15.76660	66.69190	-43.29450	15.76660	70.94770
		10	43.24380	-15.80140	66.72790	-43.24380	15.80140	70.48380
		15	43.21920	-15.81910	66.74860	-43.21920	15.81910	70.25190
		20	43.19510	-15.83640	66.76950	-43.19510	15.83640	70.02400
		30	43.14810	-15.87060	66.81190	-43.14810	15.87060	69.57560

Kesit I Durum III: 45° 0° 45°

Ele alınan Problem için 45° 0° 45° derece tabakalanma durumu ve kesit I malzeme özellikleri dikkate alınarak, 1, 10, 15, 20 ve 30 E_1/E_2 oranları için TFY yardımı ile çözülmüş ve karşılaştırmalar çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 5.123. Kesit I'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
45° 0° 45°	2	U dep (m)	5.1264E-07	1.1634E-06	1.2626E-06	1.3255E-06	1.4046E-06
		V dep (m)	-6.1917E-07	-1.4058E-06	-1.5254E-06	-1.6013E-06	-1.6964E-06
		θ (Rad)	1.5455E-07	3.4852E-07	3.7701E-07	3.9454E-07	4.1541E-07
	3	U dep (m)	3.4354E-07	7.7923E-07	8.4579E-07	8.8809E-07	9.4126E-07
		V dep (m)	3.3739E-07	7.6473E-07	8.3022E-07	8.7191E-07	9.2440E-07
		θ (Rad)	7.1984E-09	1.7414E-08	1.9447E-08	2.0983E-08	2.3420E-08

Çizelge 5.124. Kesit I'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açılışı	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
45° 0° 45°	1	1	-23.70550	74.23340	182.61700	-43.29450	5.76657	25.62740
		10	-23.72930	74.22050	182.61100	-43.27070	5.77949	25.68920
		15	-23.73740	74.21440	182.59200	-43.26260	5.78562	25.71390
		20	-23.74540	74.20830	182.57200	-43.25460	5.79170	25.73840
		30	-23.76170	74.19610	182.53400	-43.23830	5.80389	25.78790
	2	1	43.29450	-5.76657	-25.62740	-43.29450	5.76657	-66.69190
		10	43.27070	-5.77949	-25.68920	-43.27070	5.77949	-66.69200
		15	43.26260	-5.78562	-25.71390	-43.26260	5.78562	-66.70060
		20	43.25460	-5.79170	-25.73840	-43.25460	5.79170	-66.70910
		30	43.23830	-5.80389	-25.78790	-43.23830	5.80389	-66.72530
	3	1	43.29450	-15.76660	66.69190	-43.29450	15.76660	70.94770
		10	43.27070	-15.77950	66.69200	-43.27070	15.77950	70.76380
		15	43.26260	-15.78560	66.70060	-43.26260	15.78560	70.68450
		20	43.25460	-15.79170	66.70910	-43.25460	15.79170	70.60560
		30	43.23830	-15.80390	66.72530	-43.23830	15.80390	70.44680

Kesit I Durum IV: 0° 90° 0°

Şekil 5.17 deki Problem için kesit I malzeme özellikleri ve 0° 90° 0° tabakalanma durumu dikkate alınarak, 1, 10, 15, 20 ve 30 E_1/E_2 oranları için TFY ile çözülmüş ve sonuçlar takip eden çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 5. 125. Kesit I'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 90° 0°	2	U dep (m)	5.1264E-07	7.6006E-07	7.8817E-07	8.1054E-07	8.4939E-07
		V dep (m)	-6.1915E-07	-9.1758E-07	-9.5129E-07	-9.7807E-07	-1.0245E-06
		θ (Rad)	1.5455E-07	2.2310E-07	2.2803E-07	2.3121E-07	2.3578E-07
	3	U dep (m)	3.4353E-07	5.0960E-07	5.2859E-07	5.4373E-07	5.7008E-07
		V dep (m)	3.3739E-07	5.0082E-07	5.1967E-07	5.3475E-07	5.6102E-07
		θ (Rad)	7.1983E-09	1.3408E-08	1.5386E-08	1.7269E-08	2.0903E-08

Çizelge 5.126. Kesit I'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açılışı	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
0° 90° 0°	1	1	-23.70550	74.23340	182.61700	-43.29450	5.76657	25.62740
		10	-23.77870	74.18190	182.47900	-43.22130	5.81813	25.84270
		15	-23.81850	74.15330	182.39900	-43.18150	5.84671	25.96100
		20	-23.85730	74.12500	182.31700	-43.14270	5.87497	26.07720
		30	-23.93230	74.06940	182.14800	-43.06770	5.93063	26.30390
	2	1	43.29450	-5.76657	-25.62740	-43.29450	5.76657	-66.69190
		10	43.22130	-5.81813	-25.84270	-43.22130	5.81813	-66.74980
		15	43.18150	-5.84671	-25.96100	-43.18150	5.84671	-66.78380
		20	43.14270	-5.87497	-26.07720	-43.14270	5.87497	-66.81880
		30	43.06770	-5.93063	-26.30390	-43.06770	5.93063	-66.89180
	3	1	43.29450	-15.76660	66.69190	-43.29450	15.76660	70.94770
		10	43.22130	-15.81810	66.74980	-43.22130	15.81810	70.26620
		15	43.18150	-15.84670	66.78380	-43.18150	15.84670	69.89030
		20	43.14270	-15.87500	66.81880	-43.14270	15.87500	69.51980
		30	43.06770	-15.93060	66.89180	-43.06770	15.93060	68.79360

Kesit II Durum I: 0° 0° 0°

Ele alınan çerçeve sistemi için kesit II malzeme özellikleri ve 0° 0° 0° derece tabakalanma durumu dikkate alınarak, 1, 10, 15, 20 ve 30 E_1/E_2 oranları için TFY ile çözülmüş, elde edilen sonuçlar ise eleman uç kuvvetleri ve düğüm deplasman değerleri olmak üzere sırası ile çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 5.127. Değişken Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 0° 0°	2	U dep (m)	6.0914E-07	6.4423E-07	6.6370E-07	6.8313E-07	7.2197E-07
		V dep (m)	-7.3571E-07	-7.7758E-07	-8.0080E-07	-8.2398E-07	-8.7032E-07
		θ (Rad)	1.8364E-07	1.8657E-07	1.8819E-07	1.8981E-07	1.9303E-07
	3	U dep (m)	4.0820E-07	4.3205E-07	4.4528E-07	4.5848E-07	4.8487E-07
		V dep (m)	4.0090E-07	4.2475E-07	4.3798E-07	4.5118E-07	4.7758E-07
		θ (Rad)	8.5565E-09	1.2494E-08	1.4633E-08	1.6736E-08	2.0853E-08

Çizelge 5.128. Değişken Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açılışı	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
0° 0° 0°	1	1	-23.70560	74.23340	182.61700	-43.29440	5.76664	25.62770
		10	-23.81570	74.15530	182.40500	-43.18430	5.84473	25.95280
		15	-23.87380	74.11290	182.28100	-43.12620	5.88708	26.12670
		20	-23.92970	74.07130	182.15400	-43.07030	5.92870	26.29610
		30	-24.03590	73.99000	181.88800	-42.96410	6.01004	26.62250
	2	1	43.29440	-5.76664	-25.62770	-43.29440	5.76664	-66.69200
		10	43.18430	-5.84473	-25.95280	-43.18430	5.84473	-66.78140
		15	43.12620	-5.88708	-26.12670	-43.12620	5.88708	-66.83430
		20	43.07030	-5.92870	-26.29610	-43.07030	5.92870	-66.88910
		30	42.96410	-6.01004	-26.62250	-42.96410	6.01004	-67.00460
	3	1	43.29440	-15.76660	66.69200	-43.29440	15.76660	70.94670
		10	43.18430	-15.84470	66.78140	-43.18430	15.84470	69.91620
		15	43.12620	-15.88710	66.83430	-43.12620	15.88710	69.36140
		20	43.07030	-15.92870	66.88910	-43.07030	15.92870	68.81870
		30	42.96410	-16.01000	67.00460	-42.96410	16.01000	67.76560

Kesit II Durum II: 0° 45° 0°

Ele alınan problem için 0° 45° 0° derece tabakalanma durumu ve kesit II malzeme özellikleri dikkate alınarak 1, 10, 15, 20 ve 30 E_1/E_2 oranları için ayrı ayrı TFY ile çözülmüş ve karşılaştırmalar çizelgelerde sunulmuştur.

Çizelge 5.129. Değişken Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E ₁ /E ₂ Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 45° 0°	2	U dep (m)	6.0913E-07	7.6258E-07	7.8577E-07	8.0470E-07	8.3775E-07
		V dep (m)	-7.3570E-07	-9.2069E-07	-9.4849E-07	-9.7113E-07	-1.0106E-06
		θ (Rad)	1.8364E-07	2.2429E-07	2.2825E-07	2.3093E-07	2.3488E-07
	3	U dep (m)	4.0820E-07	5.1125E-07	5.2692E-07	5.3974E-07	5.6215E-07
		V dep (m)	4.0090E-07	5.0239E-07	5.1796E-07	5.3071E-07	5.5307E-07
		θ (Rad)	8.5565E-09	1.3258E-08	1.4938E-08	1.6537E-08	1.9623E-08

Çizelge 5.130. Değişken Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açılışı	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
211	1	1	-23.70560	74.23340	182.61700	-43.29440	5.76664	25.62770
		10	-23.77370	74.18570	182.49200	-43.22630	5.81434	25.82750
		15	-23.80790	74.16120	182.42300	-43.19210	5.83882	25.92890
		20	-23.84100	74.13710	182.35400	-43.15900	5.86287	26.02790
		30	-23.90510	74.08990	182.21200	-43.09490	5.91013	26.22100
	2	1	43.29440	-5.76664	-25.62770	-43.29440	5.76664	-66.69200
		10	43.22630	-5.81434	-25.82750	-43.22630	5.81434	-66.74440
		15	43.19210	-5.83882	-25.92890	-43.19210	5.83882	-66.77340
		20	43.15900	-5.86287	-26.02790	-43.15900	5.86287	-66.80300
		30	43.09490	-5.91013	-26.22100	-43.09490	5.91013	-66.86380
	3	1	43.29440	-15.76660	66.69200	-43.29440	15.76660	70.94670
		10	43.22630	-15.81430	66.74440	-43.22630	15.81430	70.31530
		15	43.19210	-15.83880	66.77340	-43.19210	15.83880	69.99310
		20	43.15900	-15.86290	66.80300	-43.15900	15.86290	69.67760
		30	43.09490	-15.91010	66.86380	-43.09490	15.91010	69.06000

Kesit II Durum III: 45° 0° 45°

Ele alınan değişken kesitli çerçeve sistemi için kesit II malzeme özellikleri ve 45° 0° 45° derece tabakalanma durumu dikkate alınarak 1, 10, 15, 20 ve 30 E_1/E_2 oranları için TFY yardımı ile sayısal olarak çözülmüş ve karşılaştırmalar takip eden çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 5.131. Değişken Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
45° 0° 45°	2	U dep (m)	6.0915E-07	1.8000E-06	2.0403E-06	2.1999E-06	2.4032E-06
		V dep (m)	-7.3572E-07	-2.1760E-06	-2.4661E-06	-2.6588E-06	-2.9038E-06
		θ (Rad)	1.8364E-07	5.4077E-07	6.1187E-07	6.5859E-07	7.1692E-07
	3	U dep (m)	4.0821E-07	1.2050E-06	1.3660E-06	1.4731E-06	1.6097E-06
		V dep (m)	4.0091E-07	1.1817E-06	1.3398E-06	1.4452E-06	1.5797E-06
		θ (Rad)	8.5567E-09	2.6315E-08	3.0304E-08	3.3179E-08	3.7356E-08

Çizelge 5.132. Değişken Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açılışı	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
45° 0° 45°	1	1	-23.70560	74.23340	182.61700	-43.29440	5.76664	25.62770
		10	-23.72640	74.22540	182.64600	-43.27360	5.77463	25.67460
		15	-23.73020	74.22210	182.63200	-43.26980	5.77788	25.68700
		20	-23.73380	74.21890	182.61900	-43.26620	5.78109	25.69900
		30	-23.74150	74.21240	182.59300	-43.25850	5.78763	25.72410
	2	1	43.29440	-5.76664	-25.62770	-43.29440	5.76664	-66.69200
		10	43.27360	-5.77463	-25.67460	-43.27360	5.77463	-66.67600
		15	43.26980	-5.77788	-25.68700	-43.26980	5.77788	-66.68200
		20	43.26620	-5.78109	-25.69900	-43.26620	5.78109	-66.68810
		30	43.25850	-5.78763	-25.72410	-43.25850	5.78763	-66.69950
	3	1	43.29440	-15.76660	66.69200	-43.29440	15.76660	70.94670
		10	43.27360	-15.77460	66.67600	-43.27360	15.77460	70.81860
		15	43.26980	-15.77790	66.68200	-43.26980	15.77790	70.77760
		20	43.26620	-15.78110	66.68810	-43.26620	15.78110	70.73750
		30	43.25850	-15.78760	66.69950	-43.25850	15.78760	70.65480

Kesit II Durum IV: 0° 90° 0°

Ele alınan problem için 0° 90° 0° derece tabakalanma durumu ve kesit II malzeme özellikleri dikkate alınarak 1, 10, 15, 20 ve 30 E_1/E_2 oranları için TFY yardımı ile sayısal olarak çözülmüş ve sonuçlar Çizelge 5.133 ve 5.134 te sunulmuştur.

Çizelge 5.133. Değişken Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Düğüm Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açıları	Düğüm No	Deplasman	E_1/E_2 Oranları				
			1	10	15	20	30
0° 90° 0°	2	U dep (m)	6.0914E-07	7.8326E-07	8.0912E-07	8.3181E-07	8.7396E-07
		V dep (m)	-7.3571E-07	-9.4551E-07	-9.7646E-07	-1.0036E-06	-1.0539E-06
		θ (Rad)	1.8364E-07	2.2874E-07	2.3230E-07	2.3490E-07	2.3912E-07
	3	U dep (m)	4.0820E-07	5.2521E-07	5.4272E-07	5.5810E-07	5.8671E-07
		V dep (m)	4.0090E-07	5.1623E-07	5.3366E-07	5.4901E-07	5.7759E-07
		θ (Rad)	8.5565E-09	1.4344E-08	1.6584E-08	1.8755E-08	2.2980E-08

Çizelge 5.134. Değişken Kesit II'nin Farklı E_1/E_2 Oranları İçin Eleman Uç Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Tabaka Açılışı	Eleman No	E_1/E_2	N_i (N)	T_i (N)	M_i (N.m)	N_j (N)	T_j (N)	M_j (N.m)
215	1	1	-23.70560	74.23340	182.61700	-43.29440	5.76664	25.62770
		10	-23.79280	74.17180	182.45100	-43.20720	5.82821	25.88450
		15	-23.83960	74.13800	182.35500	-43.16040	5.86201	26.02400
		20	-23.88500	74.10460	182.25600	-43.11500	5.89536	26.16060
		30	-23.97220	74.03920	182.05100	-43.02780	5.96084	26.42580
	2	1	43.29440	-5.76664	-25.62770	-43.29440	5.76664	-66.69200
		10	43.20720	-5.82821	-25.88450	-43.20720	5.82821	-66.76160
		15	43.16040	-5.86201	-26.02400	-43.16040	5.86201	-66.80260
		20	43.11500	-5.89536	-26.16060	-43.11500	5.89536	-66.84490
		30	43.02780	-5.96084	-26.42580	-43.02780	5.96084	-66.93350
	3	1	43.29440	-15.76660	66.69200	-43.29440	15.76660	70.94670
		10	43.20720	-15.82820	66.76160	-43.20720	15.82820	70.13350
		15	43.16040	-15.86200	66.80260	-43.16040	15.86200	69.68950
		20	43.11500	-15.89540	66.84490	-43.11500	15.89540	69.25320
		30	43.02780	-15.96080	66.93350	-43.02780	15.96080	68.40140

Şekil 5.17 de verilen değişken kesitli doğru ve daire eksenli çubuklardan oluşan çerçeve sistemi kesit I ve kesit II malzeme özellikleri için tabakalanma açıları farklı olan dört durum dikkate alınarak E_1/E_2 oranları sırası ile 1, 10, 15, 20 ve 30 olduğu durumlar için TFY ile çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar düğüm deplasman değerleri ve eleman uç kuvvetleri olmak üzere kesit I ve kesit II malzeme özellikleri için sırasıyla çizelgelerde verilmiştir.

Elde edilen sonuçlar değişken kesiti I ve II malzeme özellikleri için eleman uç kuvvetleri bakımından incelendiğinde, eleman uç kuvvetlerinin E_1/E_2 oranının değişiminden etkilendiği çizelgelerden bariz bir şekilde görülmektedir. Kesit I malzeme grubu için sistemdeki en büyük eleman uç kuvveti tabakalanma açıları 0° 0° 0° derce ve E_1/E_2 oranının 1 olduğu durumda elde edilmiştir. Kesit II malzeme grubu için ele alınan çerçeve sistemindeki en büyük eleman uç kuvveti 45° 0° 45° derece tabakalanma açıları ve E_1/E_2 oranının 10 olduğu durumda elde edilmiştir.

Değişken kesiti I ve II malzeme özellikleri için TFY den elde edilen sonuçlar düğüm deplasman değerleri bakımından incelendiğinde, düğüm deplasman değerleri E_1/E_2 oranının artışından önemli ölçüde etkilenmektedir. Ele alınan değişken kesitli çerçeve sistemindeki en büyük düğüm deplasman değeri hem kesit I hem kesit II için 45° 0° 45° derece tabakalanma açıları ve E_1/E_2 oranının 30 olduğu durumda elde edilmiştir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, etkin bir yöntem kullanılarak kompozit doğru ve daire eksenli çubuklardan oluşan çerçeve sistemlerinin farklı tip statik yükler altındaki davranışı incelenmiştir. Formülasyonda Timoshenko kiriş teorisi kullanılmış, dönme ataleti, eksenel ve kayma deformasyon etkileri göz önüne alınmıştır.

Uzaysal eğri eksenli çubuk sistemlerinin statik davranışını idare eden denklemler öncelikle denge, bünye ve uygunluk denklemlerinden dört adet vektörel denklem elde edilmiştir. Hesaplamaların skaler olarak yürütülebilmesi için bu denklemler (t, n, b) hareketli koordinat takımına aktarılmış böylece skaler formda toplam 12 adet birinci mertebeden adi diferansiyel denklem elde edilmiştir. Bu 12 adet denklem, biri düzlemi içinde diğeri ise düzlemine dik yüklü durumu ifade edecek şekilde iki gruba ayrılmıştır. Bu işlem daha az bilinmeyenle çözüme gitmeyi mümkün kılmaktadır.

Kompozit doğru ve daire eksenli çubuklardan oluşan çerçeve sistemlerinin statik yükler altındaki davranışını idare eden kanonik formda elde edilen birinci mertebeden adi diferansiyel denklem takımının çözümünde TFY kullanılmıştır. TFY’de iki noktalı sınır değer problemi başlangıç değer problemine indirgenerek çözüme gidilmektedir. Bu çalışmada TFY’ye dayalı başlangıç değer problemlerinin çözümünde RK5 algoritması kullanılmıştır. Ara mesnet bulunmayan çubuklarda TFY direkt olarak uygulanabilir ancak, farklı yükleme ve değişik mesnet koşullarına sahip sistemlerde TFY’ye dayalı rijitlik matrisi metodu (TFY’nin daha genel hali) kullanılmaktadır.

Bu çalışmada TFY’ye dayalı rijitlik matrisi metodu kullanılmış ve bu amaçla Fortran dilinde genel amaçlı bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Hazırlanan bilgisayar programında eleman rijitlik matrisi ve eleman yük vektörü TFY ile elde edilmiştir. Eleman rijitlik matrisini elde ederken serbestlik derecelerinden sadece birine birim değeri, diğerlerine sıfır verilerek elde

edilmektedir. Eleman yük vektörünün bulunmasında arada sadece yayılı yük olması hali dikkate alınmış, arada tekil yük olması durumunda ise tekil yükün etki ettiği nokta düğüm noktası olarak kabul edilmiştir. Sonuçları ortak koordinat takımında elde edebilmek için, sistemde bulunan elemanlar arası geçiş yapılması durumunda eleman teğetleri her zaman çakışmayabilir, böyle durumlarda ise geçiş dönüşüm matrisi ile sağlanmaktadır.

Hazırlanan bilgisayar programının doğruluğu için literatürde mevcut, homojen, lineer elastik ve izotrop malzemeli iki problem ele alınmıştır. Ele alınan problemler önce hazırlanan bilgisayar programı ile çözülmüş, daha sonra aynı problemler ANSYS paket programı yardımı ile çözülmüştür. TFY ile elde edilen sonuçların hem literatür, hem de ANSYS sonuçları ile uyum içinde olduğu gösterilmiştir.

Bu çalışmada ele alınan çerçeve sistemleri sabit kesitli ve değişken kesitli olmak üzere iki ayrı grup halinde incelenmiştir. Her iki gruptaki çerçeve sistemleri iki farklı kesit için çözülmüştür. Birinci grupta yer alan sabit kesitli çerçeve sistemleri ilk önce bu çalışmada hazırlanan bilgisayar programı ile çözülmüş, daha sonra ANSYS paket programı yardımı ile her bir çubuk 5, 10 ve 20 eşit parçaya mesh yapılarak çözülmüştür. Tek malzemeden oluşan üç tabakalı ($0^\circ, 0^\circ, 0^\circ$) derece tabakalanma açılarına sahip kesite kesit I ve iki malzemeden oluşan üç tabakalı ($0^\circ, 0^\circ, 0^\circ$) derece tabakalanma açılarına sahip, kesite ise kesit II ismi verilmiştir. Ele alınan çerçeve sistemi hem kesit I hem de kesit II malzeme özellikleri için ayrı ayrı TFY ile çözülmüştür. Problem TFY ile analiz edilirken hem kesit I hem de kesit II malzeme özellikleri için dört farklı tabakalanma durumu dikkate alınmıştır.

İkinci grupta ise, kesit özellikleri eksen boyunca değişen kompozit malzemeli doğru ve daire eksenli çubuklardan oluşan çerçeveler ele alınmıştır.

Hem sabit hem değişken kesitli çerçeve sistemleri ($0^\circ \ 90^\circ \ 0^\circ$, $0^\circ \ 45^\circ \ 0^\circ$, $45^\circ \ 0^\circ \ 45^\circ$) tabakalanma durumları için çözümlere parametrik çalışma yapılmış ve

düğüm deplasman değerleri ile eleman uç kuvvetleri üzerine olan etkisi araştırılmıştır.

Ele alınan her problem dört farklı tabaka açıları için TFY ile çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar ise düğüm deplasman değerleri ve eleman uç kuvvetleri olmak üzere ayrı ayrı tablolar üzerine sunulmuştur.

Yapılan analizler sonucu sonlu elemanlar yöntemine dayalı analiz yapan ANSYS paket programı ile çözüm yapılırken yüzlerce eleman kullanılarak ancak yeterli hassasiyette sonuçlara ulaşılmaktadır. TFY ile çözüm aralığı (çubuk boyu) sadece birkaç bölme yapılarak istenilen hassasiyette sonuçlar elde edilebilmektedir.

Bu çalışmada yer alan tabakalı kompozit malzemeli üniform ve değişken kesitli doğru ve daire eksenli çubuklardan oluşan karma sistemlerde tabakalanma açılarının düğüm deplasmanları ve eleman uç kuvvetleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmalardan tabaka açılarının eleman uç kuvvetleri üzerine etkisi çok az iken, düğüm deplasman değerlerini önemli ölçüde etkilediği tablolarda açıkça görülmektedir.

E_1/E_2 oranının hem üniform kesitli hem değişken kesitli çerçeve sistemlerin eleman uç kuvvetleri ve düğüm deplasman değerleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. E_1 sabit iken E_2 azaltılarak 1 den 30 a kadar beş farklı E_1/E_2 oranı için analizler yapılmıştır. Bu oranlar için üniform kesitli çerçeve sistemleri, dört farklı tabakalanma durumu dikkate alınarak hem kesit I hem de kesit II malzeme grubu için ayrı ayrı TFY ile çözülmüştür. Ele alınan çerçeve sistemleri önce kesit I malzeme özellikleri için $(0^\circ \ 0^\circ \ 0^\circ)$, $(0^\circ \ 45^\circ \ 0^\circ)$, $(45^\circ \ 0^\circ \ 45^\circ)$ ve $(0^\circ \ 90^\circ \ 0^\circ)$ tabakalanma durumları dikkate alınarak 1, 10, 15, 20 ve 30 E_1/E_2 oranları için çözülmüş, sonrasında aynı koşullarda kesit II malzeme özellikleri için çözümler yapılmıştır.

Değişken kesitli doğru ve daire eksenli çubuklardan oluşan çerçeve sistemleri için ilk önce kesit I malzeme özellikleri, ardından kesit II malzeme özellikleri dikkate alınarak çeşitli E_1/E_2 oranları için parametrik çalışmalar

yapılmıştır. Ele alınan çerçeve sistemleri önce kesit I malzeme özellikleri dikkate alınarak 1, 10, 15, 20 ve 30 E_1/E_2 oranları için çözülmüş, daha sonra kesit II malzeme özellikleri dikkate alınarak aynı E_1/E_2 oranları için çözümler yapılmıştır. Bütün problemlerde önce tabakalanma açıları $(0^\circ \ 0^\circ \ 0^\circ)$ derece olan durum dikkate alınmış, bunu müteakip tabaka açıları $(0^\circ \ 45^\circ \ 0^\circ)$, $(45^\circ \ 0^\circ \ 45^\circ)$ ve $(0^\circ \ 90^\circ \ 0^\circ)$ olan durumlar dikkate alınmış olup, her durumda E_1/E_2 oranı sırasıyla 1, 10, 15, 20 ve 30 olarak seçilip çözümler yapılmıştır. Yapılan çözümler sonucu hem üniform hem değişken kesitli çerçeve sistemleri için elde edilen sonuçlar, ayrı ayrı çizelgelerde verilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, sistemdeki eleman uç kuvvetleri ve düğüm deplasman değerleri E_1/E_2 oranının değişiminden önemli ölçüde etkilendiği anlaşılmaktadır. Her bir tabakalanma durumu için, E_1/E_2 oranının çerçeve sistemi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ele alınan üniform ve değişken kesitli çerçeve sistemlerinin genelinde en büyük düğüm deplasman değeri $45^\circ \ 0^\circ \ 45^\circ$ derece tabakalanma durumunda elde edilmiştir.

Daha sonra yapılacak araştırmalarda, fonksiyonel derecelenmiş malzemeden yapılan kirişler, enine ve boyuna fonksiyonel derecelenmiş kompozit malzemeli çubuklar, kademeli değişken kesitli ve tabakalanmış kompozit malzemeli simetrik ve antisimetrik çubuk sistemlerin analizleri için TFY geliştirilecektir.

KAYNAKLAR

- Abramovich, H., & Livshits, A., 1994. Free Vibrations of Non-Symmetric Cross-Ply Laminated Composite Beams. *Journal of Sound and Vibration*, 176(5): 597-612.
- Akkurt, F.G., 2011. Elastik Zeminde Oturan Doğru ve Daire Eksenli Çubukların Dinamik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Hatay, 63s.
- Aktan, H., 2008. Daire Eksenli Çubukların Düzlem İçi Dinamik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 45s.
- ANSYS, 2013. Inc Release 15.0, Canonsburg, PA.
- Aslan, T. A., 2016, Eğrisel Yapı Elemanlarının Etkin Sayısal Analizi Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 161s.
- Bathe, K. J., 1982. Finite Element Procedures in Engineering Analysis. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 735s.
- Bayhan, S., 1993. Daire Eksenli Düzlemsel Çubukların Taşıma ve Rijitlik Matrisi Yöntemi ile Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 193s.
- Banerjee, J. R., & Williams, F. W., 1996. Exact Dynamic Stiffness Matrix For Composite Timoshenko Beams with Applications. *Journal of Sound and Vibration*, 194 (4): 573-585.
- Bingöl, M., 2009. Değişken Kesitli Kompozit Kirişlerin Dinamik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hatay, 95s.

- Catapano, A., Giunta, G., Belouettar, S., & Carrera, E., 2011. Static Analysis of Laminated Beams via a Unified Formulation. *Composite Structures*, 94: 75-83.
- Chandrashekhara, K., and Bangera, K.M., 1992. Free Vibration Of Composite Beams Using a Refined Shear Flexible Beam Element. *Computer and Structures*, 43(4): 719-727.
- Chandrashekhara, K., Krisnamurty, K. and Roy, S., 1990. Free Vibration of Composite Beams Including Rotary Inertia and Shear Deformation, *Composite Structures*, 14, 269-279.
- Chapra, S.C., Canale, R.P., 2003, Yazılım ve Programlama Uygulamalarıyla Mühendisler İçin Sayısal Yöntemler, Literatür Yayınevi, İstanbul, 1004 s.
- Çalım, F. F., Bingöl, M., And Temel, B., 2008. Değişken Kesitli Kompozit Çubukların Serbest Titreşim Analizi. *ÇÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(2): 127-135.
- _____, 2009. Free and Forced Vibration of Non-Uniform Composite Beams. *Composite Structures*, 88(3): 413-23.
- _____, Bingöl M., 2009. Değişken Kesitli Kompozit Çubukların Dinamik Davranışını Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi. XVI. Ulusal Mekanik Kongresi, 22-26 Haziran, Kayseri.
- _____, 2017. Değişken Kesitli Timoshenko Kirişinin Serbest Titreşim Analizi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6 (1): 76-82.
- _____, 1996. Eğri Eksenli Çubuk Sistemler ve Silindirik Tonoz Yapıların Tamamlayıcı Fonksiyonlar Metodu ve Rijitlik Matrisi Yöntemi ile Statik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 166s.
- _____, 2003. Viskoelastik, Anizotropik Eğri Eksenli Uzaysal Çubuk Sistemlerin Dinamik Analizi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 160s.

- Çevik, M., 2007. Çapraz Tabakalı ve Açılı Tabakalı Kompozit Konsol Kirişlerin Serbest Titreşim Analizi. Fırat Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimler Dergisi, 19 (2): 139-145.
- Ditaranto, R. A., 1973. Static Analysis of a Laminated Beam. Journal of Engineering for Industry, 72(8): 755-761.
- Dong X. J., Meng G., Li H. G., & Ye, L., 2005. Vibration Analysis of a Stepped Laminated Composite Timoshenko Beam. Mechanics Research Communications. 32(5): 572-81.
- Ecer, S., 2015. Doğru Eksenli Çubukların Karışık Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Boyuna Titreşim Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 40s.
- Eroğlu, U., 2014. Eğri Eksenli Çubukların Analizi İçin Analitik Çözümle Sonlu Eleman Formülasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 93s.
- Haktanır, V., Kırıl E., 1991. Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yönteminin Düzlemsel Çubukların Statiğine Doğrudan Uygulanması, Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi., Adana, 2;155-167
- Hodges, D.H., Atilgan, A. R., Fulton, M.V., & Rehfield, L.W., 1991. Free Vibration Analysis of Composite Beams. Journal of The American Helicopter Society, 36-47.
- Hull, D., & Clyne, T. W. (1996). An Introduction to Composite Materials.
- İnan, M., 1966. Elastik Çubukların Genel Teorisi. Berksoy Matbaası, İstanbul, 179s.
- İyidoğan, C., 2008. Çapraz Tabakalı Kompozit Daire Eksenli Kirişlerin Dinamik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 51s.
- Jones, R. M., 1999. Mechanics of Composite Materials. Taylor & Francis, Virginia, Second Edition, 519s.

- Kahya, V., and Turan, M., 2017. Bending of Laminated Composite Beams By a Multi-Layer Finite Element Based on A Higher-Order Theory. *Acta Physica Polonica A*, 132 (3): 473-475.
- Karaca, N., 2014. Düzlemsel Çubukların Taşıma ve Rijitlik Matrisi Metodu İle Statik ve Dinamik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Hatay, 67s.
- Karaca, N., ve Çalım, F.F., 2015. Daire Eksenli Kirişlerin Taşıma ve Rijitlik Matrisi Yöntemi ile Statik Analizi. *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimler Dergisi*, 4 (1): 59-67
- Karamanlı, A., 2018. Bending Analysis of Composite and Sandwich Beams Using Ritz Method. *Anadolu University Journal of Science and Technology A, Applied Sciences and Engineering*, 19 (1): 10-23.
- Khdeir, A. A., and Reddy, J. N., 1994. Free Vibration of Cross-Ply Laminated Beams with Arbitrary Boundary Conditions. *International Journal of Engineering Science*, 32 (12): 1971-1980.
- Kıraç, M., 2007. Doğru Eksenli Kompozit Çubukların Dinamik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hatay, 57s.
- Kıraç, M., Çalım, F. F., ve Temel, B., 2008. Doğru Eksenli Kompozit Çubukların Dinamik Analizi. *Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23 (1): 275-284.
- Krishnaswamy, S., Chandrashekara, K., & Wu, W. Z. B., 1992. Analytical Solutions to Vibration of Generally Layered Composite Beams. *Journal of Sound and Vibration*, 159 (1): 85-99.
- Madenci, E., 2011. Kompozit Kirişlerin Karışık Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Statik ve Dinamik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 67s.

- Mengi, Y., 1989. Numerical Methods in Engineering Ders Notları.
- Noori, A. R., & Temel, B., 2018. on The Vibration Analysis of Laminated Composite Parabolic Arches with Variable Cross-Section of Various Ply Stacking Sequences. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, DOI: 10.1080/15376494.2018.1524949
- Osman, M.Y., and Suleiman, O.M.E., 2017. Free Vibration Analysis of Laminated Composite Beams Using Finite Element Method. *International Journal of Engineering Research and Advanced Technology*, 3 (2): 5-22
- Özütok, A., And Madenci, E., 2017. Static Analysis of Laminated Composite Beams Based on Higher-Order Shear Deformation Theory By Using Mixed-Type Finite Element Method. *International Journal of Mechanical Sciences*, 130: 234–243.
- Recebli, Z., Özkaymak, M., ve Kurt, H., 2014. Mühendislik Diferansiyel Denklemleri. Seçkin, Ankara, 296s.
- Rasooli, H., & Temel, B., 2019. Değişken Kesitli ve Tabakalanmış Kompozit Malzemeli, Doğru ve Daire Eksenli Karma Sistemlerin Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yöntemi İle Statik Analizi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8 (3): 46-56.
- Si, P., and Basa, B., 2017. Free Vibration Analysis of Laminated Composite Beams. *Indian Journal of Science Researches*, 14 (2): 270-275.
- Singh, M. P., & Abdelnaser, A. S., 1992. Random Response of Symmetric Cross-Ply Composite Beams with Arbitrary Boundary Conditions. *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, 30 (4): 1081-1088.
- Singh, K. V., Li G., & Pang S. S., 2006. Free Vibration and Physical Parameter Identification of Non-Uniform Composite Beams. *Composite Structures*, 74:37-50.

- Teh, K. K., & Huang, C. C., 1980. The Effects of Fibre Orientation on Free Vibrations of Composite Beams. *Journal of Sound and Vibration*, 69(2): 327-337.
- Temel, B., & Noori, A. R., 2019. Transient Analysis of Laminated Composite Parabolic Arches of Uniform Thickness. *Mechanics Based Design of Structures and Machines*, 47 (5): 546-554.
- Tütüncü, N., 2013. Principles of Designing with Fiber-Reinforced Composites. Çukurova University, Mechanical Engineering Department, Adana, 52s.
- Usal, R. M., Usal, M., & Esendemir, Ü., 2008. Static and Dynamic Analysis of Simply Supported Beams. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 27(3): 263-276.
- Vo, P. T., & Thai, H. T., 2012. Static Behavior of Composite Beams Using Various Refined Shear Deformation Theories. *Composite Structures*, 94: 2513-2522.
- Yıldırım, V., Sancaktar, E., & Kırıl, E., 1999a. Free Vibration Analysis of Symmetric Cross-Ply Laminated Composite Beams with The Help of The Transfer Matrix Approach. *Communication in Numerical Methods in Engineering*, 15: 651-660.
- _____, Sancaktar, E., & Kırıl, E., 1999b. Comparison of The in-Plane Natural Frequencies of Symmetric Cross-Pl Laminated Beams Based on The Bernoulli Euler and Timoshenko Beam Theories. *Journal of Applied Mechanics*, 66: 410-417.
- _____, 1999c. in-Plane Free Vibration of Symmetric Cross-Ply Laminated Circular Bars. *Journal of Engineering Mechanics*, 125: 630-636.

ÖZGEÇMİŞ

Hasibullah RASOOLI, 13 Şubat 1993 yılında Wardak/Afghanisatan'da dünyaya geldi. İlkokulunu Wardak'ta ortaokul ve liseyi Kabil'de tamamladı. 2013 yılında başladığı Çukurova Üniversitesi inşaat mühendisliği bölümünden 2017 yılında mezun oldu. Aynı yılın Eylül ayında Çukurova üniversitesi fen bilimleri enstitüsü inşaat mühendisliği bölümü mekanik anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı.







EKLER



EK-A

DUZLEM-DDKOM-D2

PROGRAMI VERİ DOSYASI HAZIRLAMA KILAVUZU

NOT: Altı çizilmiş olan satırlar veri dosyasına yazılacak bilgiler olup, diğerleri ise bu bilgilerin açıklamalarıdır.

BASLIK "Açıklama bilgisi, problemi tanıtmak için en fazla 80 karakter olabilir."

NEL IDS NBIL MCS MGS KEST "Kontrol Bilgileri"

NEL : Toplam çubuk elemanı sayısı

IDS : Toplam düğüm sayısı

NBIL : Toplam bilinmeyen sayısı (En büyük KOD numarası)

MCS : Malzeme çeşidi sayısı

MGS : Geometri çeşidi sayısı

KEST= 0 : Dairesel kesit için

= 1 : Dikdörtgen kesit için

ID RO

" Kompozit Malzeme Bilgileri"

E11 E22 E33

G12 G13 G23

PO12 PO13 PO23

ID : Malzeme çeşidi no

RO : ID numaralı Tabakanın Kütlesel yoğunluğu

E11, E22, E33 : ID numaralı Tabakanın Elastisite modülleri

G12, G13, G23 : ID numaralı Tabakanın Kayma modülleri

PO12, PO13, PO23 : ID numaralı Tabakanın Poisson oranları

ID XB XH1 XH2 XKE "Dikdörtgen Kesit Bilgileri, Eğer KEST=0 ise, bu kısmı atlayınız"

ID : Geometri çeşidi no
XB : ID numaralı Geometrinin kesit genişliği (b)
XH1 : ID numaralı Geometri için I ucunun kalınlığı (h1)
XH2 : ID numaralı Geometri için J ucunun kalınlığı (h2)
XKF : Kayma faktörü (kayma gerilmesinin kesit boyunca dağılımını temsil eder)

DCC XKF “Dairesel Kesit Bilgileri, Eğer KEST=1 ise, bu kısmı atlayınız!”

DCC : Kesit çapı (D)
XKF : Kayma faktörü (kayma gerilmesinin kesit boyunca dağılımını temsil eder)

Not : Kompozit Malzeme Bilgileri ve (dikdörtgen veya dairesel) Kesit Bilgileri, her bir farklı tabaka için bu iki bilgi birlikte olmak üzere, MCS kadar alt alta yazılmalıdır.

ITC ITAB

“Tabaka Bilgileri”

ITC :Tabakalanma çeşidi sayısı
ITAB :Tabaka sayısı

KT MT MC(KT, MT) MG(KT, MT) LACI(KT,MT)

KT : Tabakalanma çeşidi no
MT : Tabaka no
MC : (KT. tabakalanma çeşidinin MT. tabakasına ait) Malzeme çeşidi no
MG : (KT. tabakalanma çeşidinin MT. tabakasına ait) Geometri çeşidi no
LACI : (KT. tabakalanma çeşidinin MT. tabakasına ait) Tabaka açısı

Not : (KT, MT, MC, MG, LACI) Bu gruptaki bilgiler, tabakalanma grupları olarak tabakalanma çeşidi sayısı kadar (matris şeklinde) alt alta yazılmalıdır.

NOD(I) NOD(J) ICT ICG

“Çubuk Tarifleri, Çubuk Tipi ve Tabakalanma No”

NOD(I) : I'nıncı elemanın birinci düğüm no
NOD(J) : I'nıncı elemanın ikinci düğüm no
ICT : Çubuk elemanın tipi (ICT =0 ise Dairesel; =1 ise Doğrusal çubuk)

ICG : Tabakalanma çeşidi no (her çubuk için ICG yukarıdaki KT ile eşleşecek)

Not : Çubuk tarifleri ve Tipi, çubuk sayısı kadar alt alta yazılmalıdır.

X Y

“Düğüm

koordinatları”

X : I'nıncı Düğümün x- koordinatı

Y : I'nıncı Düğümün y- koordinatı

Not : Tüm düğümlerin (x, y) koordinatları, sırasıyla, düğüm sayısı kadar alt alta yazılmalı.

RA ACI(I) ACI(J)

“Dairesel Çubuk Bilgileri, ICT =1 ise, BU SATIRI

ATLAYINIZ”

RA : Dairesel Elemanın yarıçapı

ACI(I) : Elemanın i ucunun açısı

ACI(J) : Elemanın j ucunun açısı

Not: Sistemde dairesel çubuk varsa, bu bölümde sadece daire eksenli çubuk bilgileri girilmelidir.

KOD(I,1) KOD(I,2) KOD(I,3)

“Düğümlerin Kod Numaraları”

KOD(I,1) : I'nıncı düğüme ait yatay yer değiştirme

KOD(I,2) : I'nıncı düğüme ait düşey yer değiştirme

KOD(I,3) : I'nıncı düğüme ait dönme

Not : I'nıncı düğüme ait deplasmanlar ve dönmeden tutulu olanlar için, = 0 , serbest olanlar için KOD (serbestlik) numarasını veriniz. KOD numaraları satırı düğüm sayısı kadar tekrarlanmalıdır.

IYYUK ITEKYUK

“Yükleme Durumları İçin Kontrol Bilgileri”

IYYUK : Sistemde **yayılı yük** bulunan eleman varsa 1, yoksa 0 veriniz.

ITEKYUK : Sistemde **düğümlere etkiyen tekil yük** varsa 1, yoksa 0 veriniz.

IELSAY

“Yayılı Yük Bilgileri, IYYUK =0 ise bu iki satırı atlayınız.”

IL Qt Qn

IELSAY : Yayılı yük bulunan eleman sayısı

IL : Yayılı yük bulunan çubuk elemanı no

Qt : Yayılı yükün **eksenel** bileşeni (sağa doğru ise “+” işaretlidir.)

Qn : Yayılı yükün **eksene dik** bileşeni (çubuk elemanına basınç olarak etkiyorsa negatif “-” işaretli alınız).

IDUGSAY

“Tekil Yük Bilgileri, ITEKYUK =0 ise bu iki satırı atlayınız.”

IDUGNO FX FY M

IDUGSAY : Tekil yük bulunan düğüm sayısı

IDUGNO : Tekil yük bulunan düğüm no

FX : Tekil yükün yatay bileşeni

FY : Tekil yükün düşey bileşeni

M : Tekil moment

Not : Tekil yük ve moment bileşenleri kodlama yönlerinde ise pozitif “+” işaretli alınız.

Not: Sistem (x,y,z takımında) ve Eleman (t,n,b takımında) Koordinatlarında elde edilen çubuk uç kuvvetlerinin doğrultuları, çubuğun her iki ucu için, KODLAMA yönünde pozitif (+) işaretlidir.