

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DEĞİŞKEN MALZEME ÖZELLİKLERİNİN ve YÜKLEME KOŞULLARININ HOMOJEN
OLMAYAN TABAKALI KOMPOZİT PLAKLARIN BURKULMA DAVRANIŞINA ETKİSİ

ÖZGE ATASOY

İNSAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SAMSUN
2019

Her hakkı saklıdır.

TEZ ONAYI

Özge ATASOY tarafından hazırlanan “Değişken Malzeme Özelliklerinin ve Yükleme Koşullarının Homojen Olmayan Tabakalı Kompozit Plakların Burkulma Davranışına Etkisi” adlı tez çalışması 11/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman

Doç.Dr. Zihni ZERİN

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof.Dr. Zeki KARACA
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye

Doç.Dr. Zihni ZERİN
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye

Doç.Dr. Burçin Şenol ŞEKER
Amasya Üniversitesi
Yapı Bilgisi Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım. .../.../2019

Prof.Dr. Bahtiyar ÖZTÜRK

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

11/07/2019
Özge ATASOY

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DEĞİŞKEN MALZEME ÖZELLİKLERİNİN ve YÜKLEME KOŞULLARININ
HOMOJEN OLMAYAN TABAKALI KOMPOZİT PLAKLARIN BURKULMA
DAVRANIŞINA ETKİSİ

Özge ATASOY

Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç.Dr. Zihni ZERİN

Tez çalışmasında, değişken malzeme özelliklerinin ve yükleme koşullarının homojen olmayan tabakalı kompozit plakların burkulma davranışına etkisi kayma deformasyon plak teorisi (KDPT) kapsamında incelenmektedir. İlk olarak, homojen olmayan ortotropik tabakalı kompozit plağın mekanik özelliklerinin matematiksel modelleri sunulmaktadır. Homojen olmayan ortotropik plağın temel bağıntıları KDPT kapsamında oluşturulmaktadır. Söz konusu bağıntılar kullanılarak, kısmi türevli stabilite temel denklemleri virtüel iş prensibinden yararlanılarak türetilmektedir. Kısmi türevli denklemlere Galerkin yönteminin uygulanmasıyla stabilite problemine ait cebirsel ifadeler elde edilmektedir. Temel bağıntı ve denklemlerde enine kayma deformasyon etkilerinin ihmal edilmesiyle de klasik plak teorisi (KPT) kapsamındaki stabilite ifadeleri özel olarak elde edilmektedir. Bulunan bu ifadelerin doğruluğu literatürdeki uygun değerlerle karşılaştırılarak teyit edilmektedir. Son olarak, kayma deformasyonun, homojen olmama durumunun, değişken malzeme özelliklerinin, çeşitli yükleme koşullarının, ortotropinin, çeşitli tabakalanma düzeninin ve çeşitli geometrik karakteristiklerin homojen olmayan ortotropik tabakalı kompozit plakların kritik burkulma yüküne etkileri araştırılmaktadır.

Temmuz 2019, 190 sayfa

Anahtar Kelimeler: Homojen olmayan malzeme, Ortotropik tabakalı plak, Kayma deformasyon teorisi, kritik burkulma yükü, burkulma davranışı

ABSTRACT

Master's Thesis

THE EFFECT OF VARIABLE MATERIAL PROPERTIES AND LOADING CONDITIONS ON BUCKLING BEHAVIOR OF NON-HOMOGENEOUS LAMINATED COMPOSITE PLATES

Özge ATASOY

Ondokuz Mayıs University
Graduate School of Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc.Prof.Dr. Zihni ZERİN

In this study, the effect of variable material properties and loading conditions on the buckling behavior of non-homogeneous laminated composite plates is investigated based on shear deformation plate theory (SDPT). Firstly, the mathematical models of the mechanical properties of the non-homogeneous orthotropic laminated composite plate are presented. The basic relations of the non-homogeneous orthotropic plate are expressed based on the SDPT. The partial differential stability equations are derived by using the virtual work principle. Algebraic expressions of stability problem are obtained by applying Galerkin method to the partial differential equations. Stability expressions for classical plate theory (CPT) are also obtained by neglecting the effects of transverse shear deformation in basic relations and equations. The accuracy of these expressions are validated by comparing with the appropriate value in the literature. Finally, the effects of shear deformation, non-homogeneity, variable material properties, various loading conditions, orthotropy, various lamination schemes and various geometric characteristics on the critical buckling load of non-homogeneous orthotropic laminated composite plates are investigated.

July 2019, 190 pages

Keywords: Non-homogeneous material, Orthotropic laminated plate, Shear deformation theory, critical buckling load, buckling behavior

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Akademik eğitim sürecimin bir üst noktası olan yüksek lisans tez çalışmalarım boyunca yardım ve desteğini benden esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Zihni Zerin'e, Sayın Arş.Gör. Ferruh TURAN'a ve Sayın Arş.Gör. M. Fatih BAŞOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim. Beni bugünlere getirmek için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan anneme, babama, dört yaşımdan beri yanımda olan kardeşlerime ve desteğini benden esirgemeyen eşime sonsuz teşekkür ederim. Yüksek lisans eğitimim boyunca yanımda yer alan çalışma arkadaşlarıma da teşekkür ederim.

Temmuz 2019, Samsun

Özge ATASOY

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Önemi	1
1.2. Tezin Amacı	3
1.3. Yöntem	4
1.4. Homojen Olmayan Ortotropik Tabakalı Kompozit Plakların Modellerinin Oluşturulması	4
1.5. Enine Kayma Deformasyon Fonksiyonlarının Matematiksel Modelleri	8
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ	11
2.1. Homojen Olmayan veya FD İzotropik ve Ortotropik Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Modellenmesi ile İlgili Kaynak Özetleri	11
2.2. Homojen İzotropik ve Ortotropik Plakların Stabilitesi ile İlgili Kaynak Özetleri	14
2.3. Homojen İzotropik ve Ortotropik Plakların Stabilitésinin KDT Kapsamında İncelenmesi ile İlgili Kaynak Özetleri	17
2.4. Homojen İzotropik ve Ortotropik Plakların Titreşimi ile İlgili Kaynak Özetleri	21
2.5. Homojen İzotropik ve Ortotropik Plakların Titreşiminin KDT Kapsamında İncelenmesi ile İlgili Kaynak Özetleri	23
2.6. Homojen Olmayan veya FD İzotropik ve Ortotropik Plakların Stabilitesi ve Titreşimi ile İlgili Kaynak Özetleri	25
2.7. KDT'lerin Matematiksel Modellenmesi ile İlgili Kaynak Özetleri	28
2.8. Literatürde Bulunan ve Tez Çalışmasında Kullanılan Bazı Kitap ve Tezler	30
3. MATERYAL VE YÖNTEM	33
3.1. KDPT Kullanılarak Homojen Olmayan Ortotropik Tabakalı Kompozit Plakların Gerilme-Şekildeğiştirme Bağıntılarının Oluşturulması	33
3.2. KDPT Kullanılarak Homojen Olmayan Ortotropik Tabakalı Kompozit Plakların Kuvvet ve Moment Bileşenlerinin Bulunması	36
3.3. Temel Denklemlerin Elde Edilmesi	39
3.4. Homojen Olmayan Ortotropik Tabakalı Kompozit Plakların Stabilité Probleminin Çözümü	43
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	49
4.1. Karşılaştırmalar	49
4.2. Sayısal Hesap ve Analizler	53
4.3. Plak geometrik parametrelerine göre yapılan analizler	59
4.3.1. Plağı meydana getiren malzeme özelliklerine göre yapılan analizler	102
4.3.2. Yükleme koşullarına göre yapılan analizler	131
4.3.3. Homojen olmayan malzemeyi temsil eden homojen olmama katsayısına göre yapılan analizler	159
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	179
KAYNAKLAR	181
EKLER	187

EK A. FARKLI TABAKA DÜZENLERİ İÇİN ELASTİSİTE VE KAYMA MODÜLLERİNİN KALINLIK DOĞRULTUSUNDA DOĞRUSAL, KUADRATİK VE KÜBİK DEĞİŞİMLERİNE AİT PROFİLLER.....	188
ÖZGEÇMİŞ	192



SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

$E_{01}^{(k)}$	x doğrultusundaki homojen ortotropik malzemenin elastisite modülü
$E_{02}^{(k)}$	y doğrultularında homojen ortotropik malzemenin elastisite modüllü
$G_{012}^{(k)}$	xy düzlemindeki homojen ortotropik malzemenin kayma modülü
$G_{013}^{(k)}$	xz düzlemindeki homojen ortotropik malzemenin kayma modülü
$G_{023}^{(k)}$	yz düzlemindeki homojen ortotropik malzemenin kayma modülü
$F(z)$	malzeme özelliği değişim fonksiyonu
$\varphi^{(k)}(z)$	k. tabakanın homojen olmama fonksiyonunu
μ	non-homojenlik katsayısı
ν_{12}, ν_{21}	homojen ortotropik malzemenin poisson oranı
σ_{xz}	xz düzlemindeki kayma gerilmesi
σ_{yz}	yz düzlemindeki kayma gerilmesi
ε_x	x doğrultusundaki deformasyon bileşenlerini
ε_y	y doğrultusundaki deformasyon bileşenlerini
ε_{xz}	xz düzlemindeki açısall ya da kayma deformasyon bileşeni
ε_{yz}	yz düzlemindeki açısall ya da kayma deformasyon bileşeni
ε_{xy}	xy düzlemindeki açısall ya da kayma deformasyon bileşeni
$\bar{q}_{ij}^{(k)} (i, j = 1, 2, \dots, 6)$	dönüşmüş malzeme özelliği
N, M, Q	kuvvet ve moment bileşenleri
P, R	yüksek mertebeden kuvvet bileşenleri
K_d	birinci mertebe kayma deformasyon teorisi için geçerli kayma düzeltme faktörü
u, v, w	sırasıyla x, y, z doğrultusundaki yerdeğiştirme fonksiyonları
ϕ_x	y eksenini etrafındaki açısall yerdeğiştirme
ϕ_y	x eksenini etrafındaki açısall yerdeğiştirme
n_{eks}^{KPT}	Klasik Plak Teorisi kritik basınç yükü

n_{eks}^{BMKDT}	Birinci Mertebe Kayma Deformasyon Teorisi kritik basınç yükü
n_{eks}^{YMKDT}	Yüksek Mertebe Kayma Deformasyon Teorisi kritik basınç yükü
$\bar{n}_{eks}^{KPT}$	Klasik Plak Teorisi boyutsuz kritik basınç yükü
$\bar{n}_{eks}^{BMKDT}$	Birinci Mertebe Kayma Deformasyon Teorisi boyutsuz kritik basınç yükü
$\bar{n}_{eks}^{YMKDT}$	Yüksek Mertebe Kayma Deformasyon Teorisi boyutsuz kritik basınç yükü

KISALTMALAR

BMKDPT	Birinci Mertebe Kayma Deformasyon Plak Teorisi
FD	Fonksiyonel Derecelendirilmiş 4
FD-GTK	Fonksiyonel Derecelendirilmiş Grafen Takviyeli Kompozit
GTK	Grafen Takviyeli Kompozit
KDPT	Kayma Deformasyon Plak Teorisi
KNT	Karbon Nanotüp
KPT	Klasik Plak Teorisi
SEY	Sonlu Elemanlar Yöntemi
ŞHA	Şekil Hafızalı Alaşım
YMKDPT	Yüksek Mertebe Kayma Deformasyon Plak Teorisi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Homojen olmayan ortotropik tabakalı kompozit plak: (a) tek eksenli eksenel basınç durumu, (b) iki eksenli eksenel basınç durumu, (c) enksesit detayı	5
Şekil 1.2.	Homojen olmayan ortotropik plağın E_{11} elastisite modülünün (a) $\mu = 1$ ve (b) $\mu = -1$ için doğrusal değişimi	7
Şekil 1.3.	Homojen olmayan ortotropik plağın E_{11} elastisite modülünün (a) $\mu = 1$ ve (b) $\mu = -1$ için kuadratik değişimi	7
Şekil 1.4.	Homojen olmayan ortotropik plağın E_{11} elastisite modülünün (a) $\mu = 1$ ve (b) $\mu = -1$ için kübik değişimi.....	8
Şekil 1.5.	Farklı kayma deformasyon teorilerine ait kayma deformasyon fonksiyonlarının plak -kalınlığı boyunca değişimi	9
Şekil 1.6.	Farklı kayma deformasyon teorilerine ait enine kayma gerilmesi değişim profilleri.....	10
Şekil 4.1.	$\bar{n}_{eks}^{KPT}$ 'in çeşitli tabaka düzenlerine ve a/b oranına göre değişimi ($\zeta = 0, \mu = 1$)	77
Şekil 4.2.	$\bar{n}_{eks}^{BMKDT}$ 'in çeşitli tabaka düzenlerine ve a/b oranına göre değişimi ($\zeta = 0, \mu = 1$)	78
Şekil 4.3.	$\bar{n}_{eks}^{YMKDT}$ 'in çeşitli tabaka düzenlerine ve a/b oranına göre değişimi ($\zeta = 0, \mu = 1$)	79
Şekil 4.4.	$\bar{n}_{eks}$ 'in çeşitli teorilere ve a/b oranına göre değişimi ($\zeta = 0, \mu = 1$)	80
Şekil 4.5.	$\bar{n}_{eks}$ 'in çeşitli teorilere ve a/b oranına göre değişimi ($\zeta = 0, \mu = 1$)	81
Şekil 4.6.	$\bar{n}_{eks}^{KPT}$ 'in çeşitli tabaka düzenlerine ve a/h oranına göre değişimi ($\zeta = 0, \mu = 1$).	98
Şekil 4.7.	$\bar{n}_{eks}^{BMKDT}$ 'in çeşitli tabaka düzenlerine ve a/h oranına göre değişimi ($\zeta = 0, \mu = 1$)	99
Şekil 4.8.	$\bar{n}_{eks}^{YMKDT}$ 'in çeşitli tabaka düzenlerine ve a/h oranına göre değişimi ($\zeta = 0, \mu = 1$).....	100
Şekil 4.9.	$\bar{n}_{eks}$ 'in çeşitli teorilere ve a/h oranına göre değişimi ($\zeta = 0, \mu = 1$) ..	101
Şekil 4.10.	$\bar{n}_{eks}$ 'in çeşitli teorilere ve a/h oranına göre değişimi ($\zeta = 0, \mu = 1$) ..	102

Şekil 4.11	$\bar{n}_{eks}^{KPT}$ 'in çeşitli tabaka düzenlerine ve E_{01} / E_{02} oranına göre değişimi ($\zeta = 0, \mu = 1$).....	127
Şekil 4.12	$\bar{n}_{eks}^{BMKDT}$ 'in çeşitli tabaka düzenlerine ve E_{01} / E_{02} oranına göre değişimi ($\zeta = 0, \mu = 1$).....	128
Şekil 4.13.	$\bar{n}_{eks}^{YMKDT}$ 'in çeşitli tabaka düzenlerine ve E_{01} / E_{02} oranına göre değişimi ($\zeta = 0, \mu = 1$).....	129
Şekil 4.14.	$\bar{n}_{eks}$ 'in çeşitli teorilere ve E_{01} / E_{02} oranına göre değişimi ($\zeta = 0, \mu = 1$)	130
Şekil 4.15.	$\bar{n}_{eks}$ 'in çeşitli teorilere ve E_{01} / E_{02} oranına göre değişimi ($\zeta = 0, \mu = 1$)	131
Şekil 4.16.	$\bar{n}_{eks}^{KPT}$ 'in çeşitli tabaka düzenlerine ve ζ oranına göre değişimi ($\mu = 1$).....	154
Şekil 4.17.	$\bar{n}_{eks}^{BMKDT}$ 'in çeşitli tabaka düzenlerine ve ζ oranına göre değişimi($\mu = 1$)	155
Şekil 4.18.	$\bar{n}_{eks}^{YMKDT}$ 'in çeşitli tabaka düzenlerine ve ζ oranına göre değişimi($\mu = 1$)	156
Şekil 4.19.	$\bar{n}_{eks}$ 'in çeşitli teorilere ve ζ oranına göre değişimi ($\mu = 1$)	157
Şekil 4.20.	$\bar{n}_{eks}$ 'in çeşitli teorilere ve ζ oranına göre değişimi ($\mu = 1$)	158
Şekil 4.21.	$\bar{n}_{eks}^{KPT}$ 'in çeşitli tabaka düzenlerine ve μ oranına göre değişimi ($\zeta = 0$)	174
Şekil 4.22.	$\bar{n}_{eks}^{BMKDT}$ 'in çeşitli tabaka düzenlerine ve μ oranına göre değişimi($\zeta = 0$)	175
Şekil 4.23.	$\bar{n}_{eks}^{YMKDT}$ 'in çeşitli tabaka düzenlerine ve μ oranına göre değişimi($\zeta = 0$)	176
Şekil 4.24.	$\bar{n}_{eks}$ 'in çeşitli teorilere ve μ oranına göre değişimi ($\zeta = 0$)	177
Şekil 4.25.	$\bar{n}_{eks}$ 'in çeşitli teorilere ve μ oranına göre değişimi ($\zeta = 0$)	178
Şekil A.1.	Tek tabakalı (0) plaklarda Elastisite ve Kayma modüllerinin kalınlık doğrultusunda değişimi.....	188

Şekil A.2.	Tek tabakalı (90) plaklarda Elastisite ve Kayma modüllerinin kalınlık doğrultusunda değişimi.....	188
Şekil A.3.	İki tabakalı (0/90) tabaka düzenli plaklarda Elastisite ve Kayma modüllerinin kalınlık doğrultusunda değişimi.....	188
Şekil A.4.	İki tabakalı (90/0) tabaka düzenli plaklarda Elastisite ve Kayma modüllerinin kalınlık doğrultusunda değişimi.....	188
Şekil A.5.	Üç tabakalı (0/90/0) tabaka düzenli plaklarda Elastisite ve Kayma modüllerinin kalınlık doğrultusunda değişimi.....	189
Şekil A.6.	Üç tabakalı (90/0/90) tabaka düzenli plaklarda Elastisite ve Kayma modüllerinin kalınlık doğrultusunda değişimi.....	189
Şekil A.7.	Dört tabakalı (0/90/90/0) tabaka düzenli plaklarda Elastisite ve Kayma modüllerinin kalınlık doğrultusunda değişimi.....	189
Şekil A.8.	Dört tabakalı (90/0/0/90) tabaka düzenli plaklarda Elastisite ve Kayma modüllerinin kalınlık doğrultusunda değişimi.....	190

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1.	Literatürde bulunan ve tez çalışmasında dikkate alınan farklı kayma deformasyon fonksiyonları 9
Çizelge 4.1.	Tek eksenli basınca maruz tek tabakalı homojen izotropik dikdörtgen plağın boyutsuz kritik burkulma yük değerlerinin karşılaştırılması...49
Çizelge 4.2.	Tek eksenli basınca maruz $0^\circ / 90^\circ / 90^\circ / 0^\circ$ homojen tabakalı kompozit plağın boyutsuz kritik burkulma yük değerlerinin karşılaştırılması.....50
Çizelge 4.3.	Tek eksenli basınca maruz ve farklı tabakalanma düzenine sahip homojen ortotropik tabakalı kompozit plağın boyutsuz kritik burkulma yük değerlerinin karşılaştırılması 50
Çizelge 4.4.	Tek eksenli basınca maruz $0^\circ / 90^\circ / 90^\circ / 0^\circ$ homojen tabakalı kompozit plağın boyutsuz kritik burkulma yük değerlerinin karşılaştırılması.....51
Çizelge 4.5.	Tek eksenli basınca maruz ve farklı tabakalanma düzenine sahip homojen ortotropik tabakalı kompozit plağın boyutsuz kritik burkulma yük değerlerinin karşılaştırılması 51
Çizelge 4.6.	Tek eksenli basınca maruz homojen ortotropik tabakalı kompozit plağın boyutsuz kritik burkulma yük değerlerinin karşılaştırılması...52
Çizelge 4.7.	Tek eksenli basınca maruz homojen ve homojen olmayan bor/epoksi malzemesinden oluşan ortotropik dikdörtgen plağın boyutsuz kritik burkulma yük değerlerinin karşılaştırılması 53
Çizelge 4.9.	H ve HO ortotropik tabakalı plakların farklı tabaka düzenleri için $\bar{n}_{eks}^{KPT}$, $\bar{n}_{eks}^{BMKDT}$ ve $\bar{n}_{eks}^{YMKDT}$ değerleri ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının değişimi.....55
Çizelge 4.10a.	H ve HO ortotropik tabakalı plakların farklı tabaka düzenleri için $\bar{n}_{eks}^{KPT}$ değerleri ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının a / b oranına bağlı değişimi.....59
Çizelge 4.10b.	H ve HO ortotropik tabakalı plakların farklı tabaka düzenleri için $\bar{n}_{eks}^{BMKDT}$ değerleri ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının a / b oranına bağlı değişimi 60
Çizelge 4.10c.	H ve HO ortotropik tabakalı plakların farklı tabaka düzenleri için $\bar{n}_{eks}^{YMKDT}$ değerleri ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının a / b oranına bağlı değişimi 61

Çizelge 4.11a.	H ve HO ortotropik tabakalı plakların farklı tabaka düzenleri için $\bar{n}_{eks}^{KPT}$ değerleri ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının a/h oranına bağlı değişimi.....	82
Çizelge 4.11b.	H ve HO ortotropik tabakalı plakların farklı tabaka düzenleri için $\bar{n}_{eks}^{BMKDT}$ değerleri ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının a/h oranına bağlı değişimi.....	83
Çizelge 4.11c.	H ve HO ortotropik tabakalı plakların farklı tabaka düzenleri için $\bar{n}_{eks}^{YMKDT}$ değerleri ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının a/h oranına bağlı değişimi.....	84
Çizelge 4.12a.	H ve HO ortotropik tabakalı plakların farklı tabaka düzenleri için $\bar{n}_{eks}^{KPT}$ değerleri ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının E_{01}/E_{02} oranına bağlı değişimi.....	104
Çizelge 4.12b.	H ve HO ortotropik tabakalı plakların farklı tabaka düzenleri için $\bar{n}_{eks}^{BMKDT}$ değerleri ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının E_{01}/E_{02} oranına bağlı değişimi.....	105
Çizelge 4.12c.	H ve HO ortotropik tabakalı plakların farklı tabaka düzenleri için $\bar{n}_{eks}^{YMKDT}$ değerleri ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının E_{01}/E_{02} oranına bağlı değişimi.....	106
Çizelge 4.13a.	H ve HO ortotropik tabakalı plakların farklı tabaka düzenleri için $\bar{n}_{eks}^{KPT}$ değerleri ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının ζ parametresine bağlı değişimi.....	133
Çizelge 4.13b.	H ve HO ortotropik tabakalı plakların farklı tabaka düzenleri için $\bar{n}_{eks}^{BMKDT}$ değerleri ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının ζ parametresine bağlı değişimi	134
Çizelge 4.13c.	H ve HO ortotropik tabakalı plakların farklı tabaka düzenleri için $\bar{n}_{eks}^{YMKDT}$ değerleri ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının ζ parametresine bağlı değişimi	135
Çizelge 4.14a.	H ve HO ortotropik tabakalı plakların farklı tabaka düzenleri için $\bar{n}_{eks}^{KPT}$ değerleri ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının μ parametresine bağlı değişimi.....	160
Çizelge 4.14b.	H ve HO ortotropik tabakalı plakların farklı tabaka düzenleri için $\bar{n}_{eks}^{BMKDT}$ değerleri ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının μ parametresine bağlı değişimi	161
Çizelge 4.14c.	H ve HO ortotropik tabakalı plakların farklı tabaka düzenleri için $\bar{n}_{eks}^{YMKDT}$ değerleri ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının μ parametresine bağlı değişimi.....	162

1. GİRİŞ

Anizotropik plaklar havacılık ve uzay endüstrisinde, otomotiv sanayinde ve inşaat mühendisliği gibi birçok alanda değişik amaçlar için kullanılmaktadır. Kullanım alanlarına ve çevresel faktörlere bağlı olarak anizotropik plaklar değişik faktörlerle temas halinde kalmaktadır. Bu durumda, bu faktörlerin anizotropik plakların mekanik davranışlarını nasıl etkilediğinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Basınç yüklerine maruz anizotropik plakların stabilite davranışlarının incelenmesiyle ilgili çalışmalar eski dayansa da halen güncelliğini korumaktadır. Eski çalışmalarda, basınca maruz anizotropik plakların stabilite analizleri KPT kapsamında yapılmıştır. Ancak bilimsel gelişmeler sonucunda KPT kullanılarak elde edilen sonuçların gerçeği yansıtmadığı sonucuna varılmıştır. Böylesi hatalar, bilim insanlarını yeni teoriler geliştirmeye yönlendirmiş ve bunun sonucunda KDPT ortaya atılmıştır. KDPT'nin kullanılması, anizotropik plaklar için daha güvenilir sonuçların elde edilmesine olanak sağlamıştır.

Yeni üretim teknik ve teknolojisinin gelişmesiyle birlikte homojen izotropik malzemelerin yanı sıra homojen olmayan anizotropik malzemelerin de üretimi kolaylaşmıştır. Özellikle son 20 yıl içerisinde bilim insanları homojen olmayan veya FD izotropik ve anizotropik malzeme üretimine yönelmiştir. Bu gelişmeler sayesinde, havacılık ve uzay endüstrisinden inşaat mühendisliği uygulamalarına kadar birçok mühendislik alanında homojen olmayan veya FD malzeme kullanımı artmıştır. Buna bağlı olarak da homojen olmayan malzemelerden oluşan anizotropik yapı elemanlarının mekanik davranışının belirlenmesi yeni bir araştırma alanı olarak ortaya çıkmıştır. Malzemelerin homojen olmaması üretim teknikleri, yüzeysel cilalamalar, ısı ve radyasyon etkisi gibi çeşitli nedenlerden ortaya çıkmaktadır.

Tez çalışmasında, değişken malzeme özelliklerinin ve yükleme koşullarının homojen olmayan tabakalı kompozit plakların burkulma davranışına etkisi incelenmektedir.

1.1. Tezin Önemi

Tabakalı kompozit plaklar çeşitli mühendislik alanlarında yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, kullanım koşullarına bağlı olarak geleneksel ve yeni nesil tabakalı kompozit plakların stabilite analizlerinin yeniden gözden geçirilmesi önem kazanmıştır.

Homojen izotropik ve ortotropik kompozit plakların stabilite ve titreşim gibi yapısal davranışlarının KPT kapsamında incelenmesi ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır (Noor, 1975; Bohlooly ve Mirzavand, 2016, 2017; Rasheed vd, 2017; Zerin vd, 2017; Zhang vd, 2017; Dong vd, 2018; İpek vd, 2018; Liang vd, 2018; Morozov ve Lopatin, 2018; Shahbaztabar ve Rahbar-Ranji, 2018; Tian vd, 2018; Zhang vd, 2018; Quintana ve Raffo, 2019).

Homojen izotropik ve ortotropik plakların titreşim ve stabilite problemlerinde enine kayma deformasyon etkilerinin ihmal edilmesi, frekans ve kritik burkulma yükü değerlerinin gerçeklikten uzaklaşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle bilim insanları enine kayma deformasyon etkilerini de içeren yeni teoriler elde etmek için çeşitli çalışmalar yapmışlardır (Ambartsumian, 1958; Reissner, 1974; Reddy, 1984; Touratier, 1991; Soldatos, 1992; Karama vd, 2003; Aydogdu, 2009; Thai ve Choi, 2013a; Mahi ve Tounsi, 2015; Shi vd, 2018).

KDT'leriyle ilgili bu temel çalışmalar tabakalı kompozit plakların stabilite ve titreşim problemleri için gerçeğe daha yakın değerler elde edilmesine olanak sağlamıştır. Bu gelişmelerle birlikte, homojen izotropik ve ortotropik kompozit plakların stabilite ve titreşim gibi yapısal davranışlarının KDT kapsamında incelenmesi ile ilgili literatürdeki çalışmalar artmaya başlamıştır (Phan ve Reddy, 1985; Reddy ve Phan, 1985; Thai ve Choi, 2013b; Adim vd, 2016; Patel ve Sheikh, 2016; Sayyad ve Ghugal, 2016; Zenkour ve Radwan, 2016; Chikh vd, 2017; Kabir ve Tavousi Tehrani, 2017; Lokesh, 2017; Samukham vd, 2017; Teter ve Kolakowski, 2017; Vescovini vd, 2017; Xing ve Xiang, 2017; Zamani vd, 2017; Belkacem vd, 2018; Kazemi, 2018; Manickam vd, 2018; Rezvani ve Kiasat, 2018; Topal vd, 2018a; Topal vd, 2018b; Tran ve Kim, 2018; Yang ve He, 2018; Muc vd, 2019; Tanzadeh ve Amoushahi, 2019).

Günümüzde ileri teknolojiye sahip ülkelerde yeni teknikler kullanılarak elde edilen değişik türdeki homojen olmayan malzemelerden meydana gelen yapı elemanlarının stabilite problemlerinde diğer faktörlerin yanı sıra malzemenin homojen olmama etkisinin de göz önüne alınması ve stabilite davranışına etkisinin incelenmesi zorunlu hale gelmiştir. Homojen olmayan veya FD malzemelerde, malzemenin mekanik özellikleri noktadan noktaya sürekli olarak değişmekte ve konumun sürekli fonksiyonu olmaktadır (Leissa ve Martin, 1990; Tanigawa, 1995; Sugano vd, 1996; Tanigawa vd, 1996a; Tanigawa vd, 1996b; Reddy ve Chin, 1998; Cheng vd, 2000; Ootao ve Tanigawa, 2001; Sugano vd, 2002; Chen ve Lee, 2003; Ootao ve Tanigawa, 2007; Sofiyev vd, 2009; Nejad vd, 2014; Sofiyev ve Pancar, 2017).

Homojen olmayan veya FD malzemelerden meydana gelen yapı elemanlarının stabilite ve titreşim problemlerinin incelenmesi matematiksel zorluklar içerdiğinden literatürde bulunan çalışma sayısı az olmasıyla birlikte son yıllarda artış göstermektedir (Meziane vd, 2014; Moradi-Dastjerdi ve Malek-Mohammadi, 2016; Shen vd, 2017b, 2017a; Shen vd, 2017c; Turan vd, 2017; Lei vd, 2018; Mercan vd, 2018; Nguyen-Quang vd, 2018).

Yapılan literatür taraması değişken malzeme özelliklerinin ve yükleme koşullarının homojen olmayan tabakalı kompozit plakların burkulma davranışına etkisinin KDT kapsamında incelenmesi konusunun halen güncel olduğunu ortaya koymaktadır. Sunulan tez çalışmasında, tek veya iki eksenli basınç yüküne maruz kalan homojen olmayan ortotropik plak ele alınacak ve stabilite problemi KDT kapsamında analiz edilecektir. Özel durum olarak KPT için, homojen ve izotropik durumlar için de sonuçlar elde edilecektir. Plak geometrik özelliklerinin ve çeşitli mekanik parametrelerin homojen olmayan ortotropik tabakalı kompozit plakların stabilite davranışına etkileri irdelenecektir.

1.2. Tezin Amacı

Tez çalışmasında, birinci mertebe kayma deformasyon plak teorisi (BMKDPT) ve enine kayma deformasyonun plak kalınlığı boyunca parabolik olarak dikkate alan yüksek mertebe kayma deformasyon plak teorisi (YMKDPT) kullanılarak, malzeme mekanik özelliklerinin kalınlık boyunca kuvvet yasası dağılımına göre değiştiği varsayılan homojen olmayan ortotropik tabakalı kompozit plağın kritik burkulma değerleri incelenmektedir.

İlk olarak, homojen olmayan ortotropik malzemelerin mekanik özelliklerine ait matematiksel modeller ile literatürde bulunan bazı enine kayma deformasyon fonksiyonları sunulmaktadır. Sonra, homojen olmayan ortotropik tabakalı kompozit plakların temel bağıntıları KDPT kapsamında oluşturulmakta ve stabilite probleminin temel denklemleri türetilmektedir. Daha sonra kısmi türevli diferansiyel denklemlere Galerkin yöntemi uygulanarak, kısmi türevli temel denklemler analitik ifadelerle dönüştürülmektedir. Temel bağıntı ve denklemlerden enine kayma deformasyon etkisi ihmal edilerek özel olarak KPT için de ifadeler elde edilmektedir. KPT, BMKDPT ve YMKDPT için elde edilen ifadeler, elde edilen kritik burkulma yükü değerleri literatürde bulunan uygun sonuçlarla kıyaslanarak doğrulanmaktadır. Son olarak, kayma deformasyonun, homojen olmamanın, ortotropinin, çeşitli yükleme koşullarının ve

çeşitli geometrik parametrelerin kritik burkulma yükü değerlerine etkileri araştırılmaktadır.

Sayısal hesapların elde edilmesinde Matlab, grafiklerin çiziminde Excel ve şekillerin çiziminde AutoCad bilgisayar programları kullanılmaktadır.

1.3. Yöntem

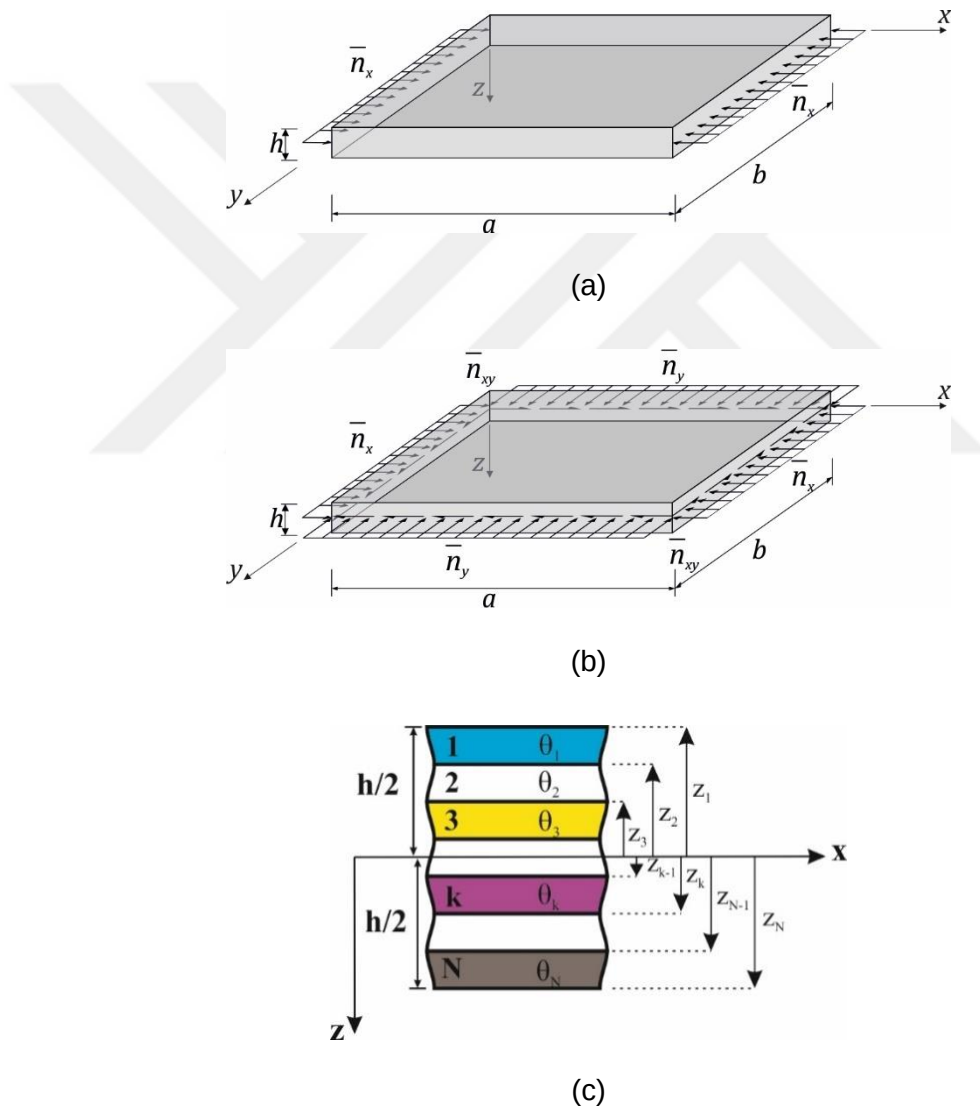
Sunulan tez çalışmasında, homojen olmayan ortotropik tabakalı kompozit plakların stabilite problemi KDPT kullanılarak incelenmektedir. KDPT kapsamında stabilite problemine ait temel bağıntı ve denklemler elde edilmektedir. Bu kısmi türevli temel diferansiyel denklemler Galerkin yöntemiyle cebirsel ifadelere dönüştürülmektedir. Enine kayma deformasyon etkilerinin dikkate almadığı özel durumda KPT için ifadeler elde edilmektedir. Ayrıca, homojen ortotropik tabakalı kompozit plakların kritik burkulma yükü değerleri de özel olarak bulunmaktadır. Matlab programında, elde edilen ifadelerin kodlanmasıyla sayısal sonuçlar elde edilmekte ve bu değerler literatürdeki uygun sonuçlarla kıyaslanmaktadır. Matlab programı kullanılarak elde edilen sayısal sonuçlar tablo ve Excel'de çizilen grafikler yardımıyla sunulmaktadır.

1.4. Homojen Olmayan Ortotropik Tabakalı Kompozit Plakların Modellerinin Oluşturulması

Şekil 1.1'de homojen olmayan ortotropik tabakalı kompozit plak, yükleme durumları ve plak enkesiti sunulmaktadır. N tane homojen olmayan ortotropik tabakadan meydana gelen plağın toplam kalınlığı h , x -ve y -eksenleri doğrultusundaki boyutları, sırasıyla, a ve b 'dir. Şekil 1.1a'da gösterildiği gibi, x -ve y -eksenlerinin oluşturduğu xy -düzlemi plak orta düzlemi olarak adlandırılmakta olup z -ekseni bu düzleme dik eksenidir. Orta düzlem üzerinde olmayan noktalar z -ekseni üzerinde bulunmaktadır. Şekil 1.1b'de gösterilen z -koordinatları plak kalınlığı içindeki herhangi bir noktanın orta düzleme olan uzaklıklarını ifade etmektedir. Ayrıca, $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_N$ açıları ise tabaka yönlenme açıları adını almaktadır.

Homojen malzemelerin mekanik özelliklerini temsil eden elastisite modülleri ve kayma modülleri konumdan bağımsız olmasına rağmen homojen olmayan malzemelerin bahsedilen özellikleri noktadan noktaya farklılık göstermektedir. Dolayısıyla, söz konusu malzeme özellikleri konuma bağlı birer fonksiyon olup rastgele, parçalı sürekli veya sürekli olarak değişim gösterebilir. Sunulan tez çalışmasında, sürekli homojen olmayan ortotropik malzeme modeli kullanılmaktadır.

Malzemenin homojenliği çeşitli sebeplerden ötürü bozulabilmektedir. Malzemelerin homojen olmaması yapısal olduğu gibi değişik etkiler sonucunda örneğin üretim teknikleri, yüzeysel cilalamalar, nem ve radyasyon gibi etkilerden dolayı da meydana gelebilmektedir. Ayrıca, istenilen mekanik özelliklere göre, laboratuvar ortamlarında da homojen olmayan malzeme üretilebilir ki bunlardan literatürde en çok rastlanılan fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler (FDM'ler)'dir (Reddy ve Chin, 1998). Literatürde homojen olmayan izotropik ve ortotropik malzemelerin mekanik özelliklerinin modellenmesi ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır (Reddy ve Chin, 1998; Ootao ve Tanigawa, 2007; Sofiyev vd, 2009; Nejad vd, 2014; Shen, 2016; Sofiyev ve Pancar, 2017).



Şekil 1.1. Homojen olmayan ortotropik tabakalı kompozit plak: (a) tek eksenli eksenel basınç durumu, (b) iki eksenli eksenel basınç durumu, (c) enkesit detayı

Homojen olmayan ortotropik malzemelerden oluşan tabakalı kompozit plakların elastisite modülleri ve kayma modülleri kalınlık koordinatının sürekli fonksiyonu olarak, aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$\begin{aligned} E_{11}^{(k)}(Z) &= E_{01}^{(k)} F(Z), & E_{22}^{(k)}(Z) &= E_{02}^{(k)} F(Z), & G_{12}^{(k)}(Z) &= G_{012}^{(k)} F(Z) \\ G_{13}^{(k)}(Z) &= G_{013}^{(k)} F(Z), & G_{23}^{(k)}(Z) &= G_{023}^{(k)} F(Z), & k &= 1, 2, \dots, N \end{aligned} \quad (1)$$

Burada, $E_{01}^{(k)}$ ve $E_{02}^{(k)}$ sırasıyla x ve y doğrultularında homojen ortotropik malzemenin elastisite modülleridir. $G_{012}^{(k)}$, $G_{013}^{(k)}$, $G_{023}^{(k)}$ ise homojen ortotropik malzemenin sırasıyla xy , xz , yz düzlemlerindeki kayma modülleri olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca, $F(z)$ malzeme özelliği değişim fonksiyonu olup $F(Z) = 1 + \mu \varphi^{(k)}(Z)$ şeklinde tanımlanmaktadır. $\varphi^{(k)}(Z)$ ise k . tabakanın non-homojenlik fonksiyonunu ifade etmektedir ve $Z = z/h$ boyutsuz kalınlık koordinatıdır. μ non-homojenlik katsayısı olup z – eksen doğrultusunda elastisite ve kayma modüllerinin değişimini karakterize etmektedir ve $-1 \leq \mu \leq 1$ eşitsizliğini sağlamaktadır. Burada, $\mu = 0$ durumu homojen ortotropik malzeme durumuna karşılık gelmektedir.

Tabakalı kompozit plakta tabakaları oluşturan homojen olmayan grafit/epoksi ve cam/epoksi malzemelerinin özellikleri şu şekildedir:

Homojen grafit/epoksi (T) ortotropik malzeme özellikleri (Reddy, 2004):

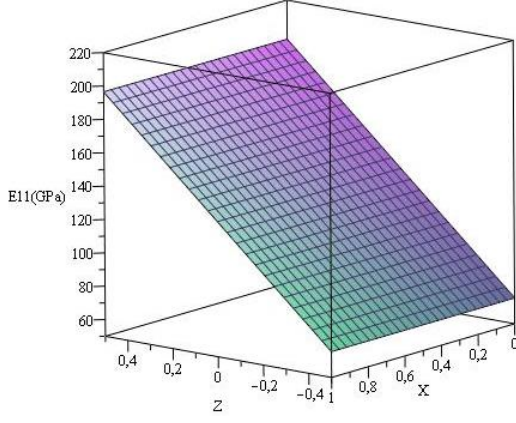
$$E_{01} = 131 \text{ GPa}, \quad E_{02} = 10.3 \text{ GPa}, \quad G_{12} = 6.9 \text{ GPa}, \quad G_{13} = 6.2 \text{ GPa}, \quad G_{23} = 6.2 \text{ GPa}, \quad \nu_{12} = 0.22$$

Homojen cam/epoksi (1) ortotropik malzeme özellikleri (Reddy, 2004):

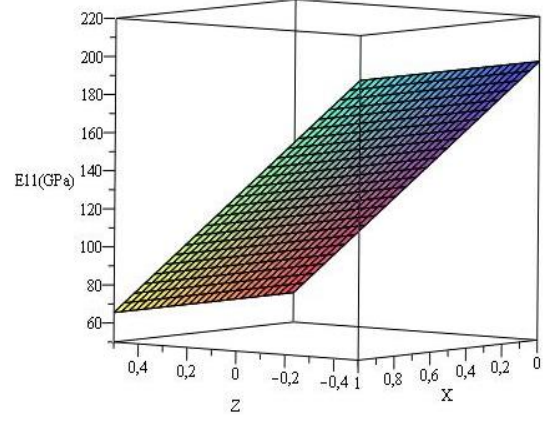
$$E_{01} = 53.8 \text{ GPa}, \quad E_{02} = 17.9 \text{ GPa}, \quad G_{12} = 9 \text{ GPa}, \quad G_{13} = 9 \text{ GPa}, \quad G_{23} = 3.4 \text{ GPa}, \quad \nu_{12} = 0.25$$

Grafit/epoksi malzemesine ait $E_{11}(z)$ elastisite modülünün kalınlık koordinatına bağlı değişim modelleri aşağıda sunulmaktadır. Grafit/epoksi'nin diğer doğrultulardaki elastisite ve kayma modülleri de benzer şekilde modellenebilir.

1) Homojen olmayan plağın elastisite ve kayma modülleri kalınlık koordinatının doğrusal fonksiyonu olduğunda $E_{11}(Z) = (1 + \mu Z) E_{01}$ 'in $\mu = 1$ ve $\mu = -1$ için değişimi Şekil 1.2a,b'de sunulmuştur:



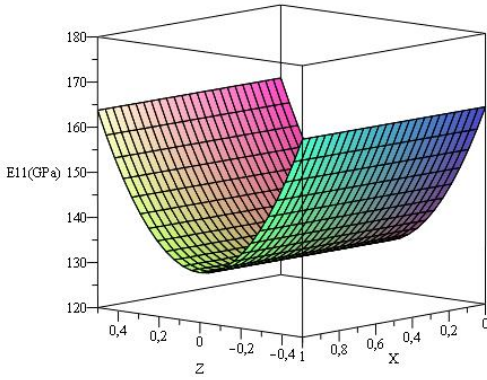
(a)



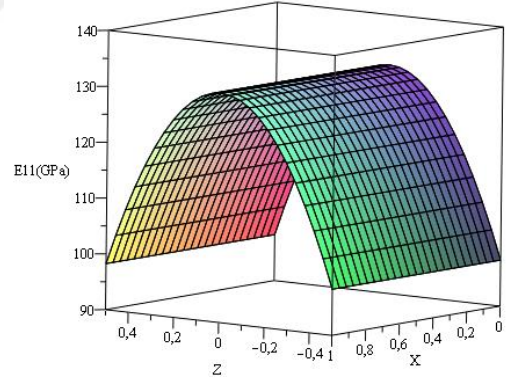
(b)

Şekil 1.2. Homojen olmayan ortotropik plağın E_{11} elastisite modülünün (a) $\mu = 1$ ve (b) $\mu = -1$ için doğrusal değişimi

2) Homojen olmayan plağın elastisite ve kayma modülleri kalınlık koordinatının kuadratik fonksiyonu olduğunda $E_{11}(Z) = (1 + \mu Z^2) E_{01}$ 'in $\mu = 1$ ve $\mu = -1$ için değişimi Şekil 1.3a,b'de sunulmuştur:



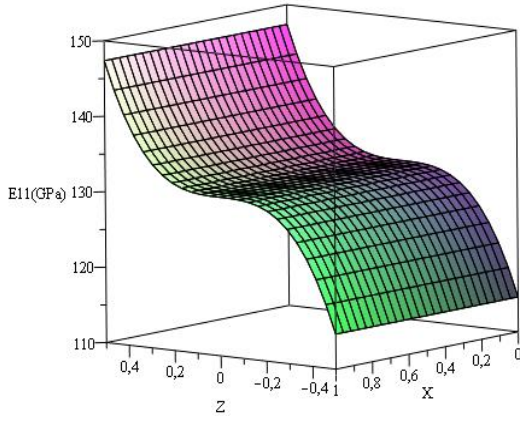
(a)



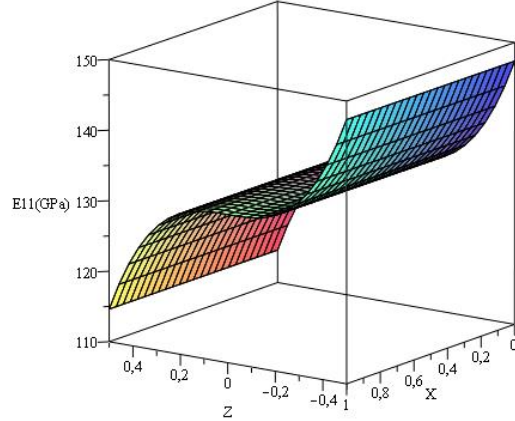
(b)

Şekil 1.3. Homojen olmayan ortotropik plağın E_{11} elastisite modülünün (a) $\mu = 1$ ve (b) $\mu = -1$ için kuadratik değişimi

3) Homojen olmayan plağın elastisite ve kayma modülleri kalınlık koordinatının kübik fonksiyonu olduğunda $E_{11}(Z) = (1 + \mu Z^3) E_{01}$ 'in $\mu = 1$ ve $\mu = -1$ için değişimi Şekil 1.4a,b'de sunulmuştur:



(a)



(b)

Şekil 1.4. Homojen olmayan ortotropik plağın E_{11} elastisite modülünün (a) $\mu = 1$ ve (b) $\mu = -1$ için kübik değişimi

1.5. Enine Kayma Deformasyon Fonksiyonlarının Matematiksel Modelleri

Tabakalı anizotropik plakların statik ve dinamik davranışları üzerindeki en önemli etmenlerden biri de enine kayma deformasyon etkileridir. Dolayısıyla bu etkinin modellenmesi önem arz etmektedir. Literatürde $f(z)$ enine kayma deformasyon fonksiyonlarının değişik modelleri bulunmaktadır. Günümüzde halen bu modellerin en uygun şeklinin bulunması için bilim insanları tarafından arayışlar sürdürülmektedir.

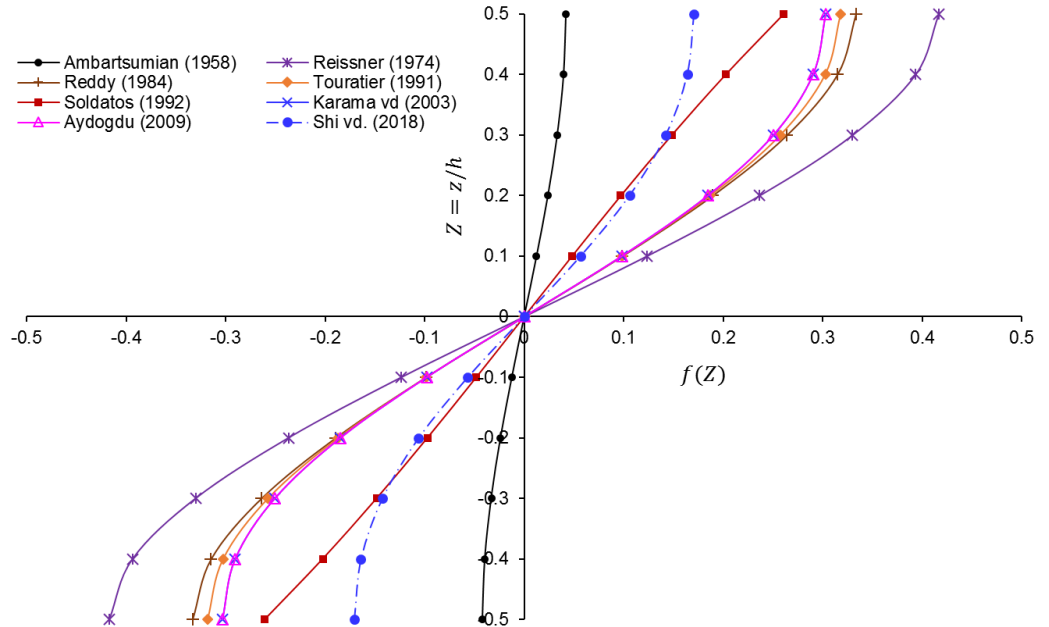
Tez çalışmasında, Mahi ve Tounsi (2015) çalışmasında dikkate alınan kayma deformasyon fonksiyonu seçilmiştir. Seçilen bu fonksiyon, herhangi bir kayma düzeltme faktörüne ihtiyaç duymaksızın plak kalınlığı boyunca parabolik kayma şekildeğiştirmeleri ve kayma gerilmelerini sağlamaktadır. Ayrıca, plağın en alt ve en üst serbest yüzeylerinde kayma gerilmesinin sıfır olması koşulunu da karşılamaktadır.

Çizelge 1.1’de literatürde bulunan ve tez çalışmasında dikkate alınan kayma deformasyon fonksiyonları sunulmuştur.

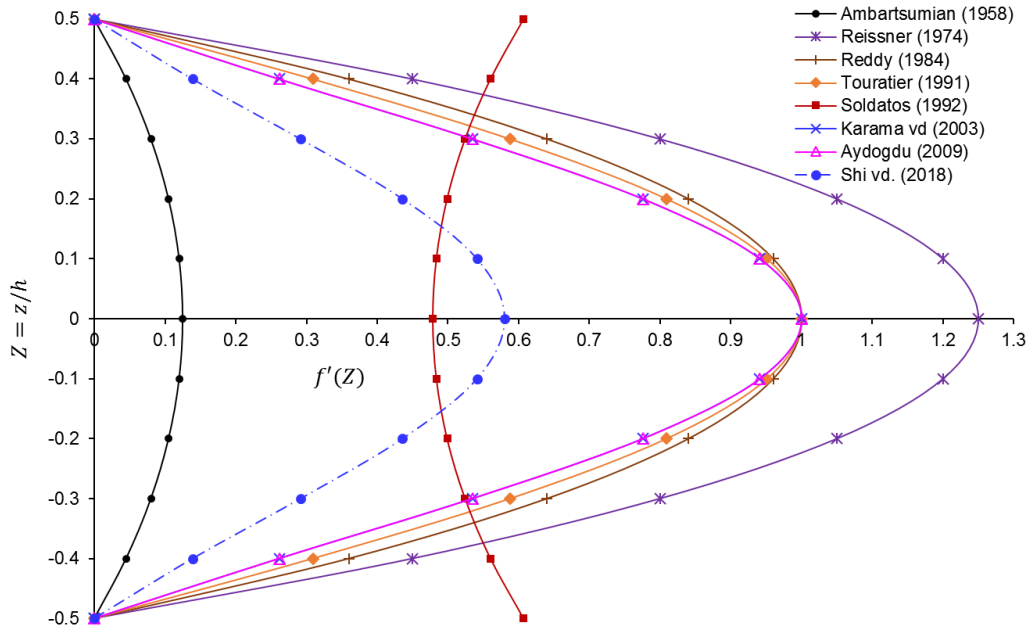
Çizelge 1.1. Literatürde bulunan ve tez çalışmasında dikkate alınan farklı kayma deformasyon fonksiyonları

Model	Şekil fonksiyonu
Ambartsumian (1958)	$f(z) = \frac{z}{2} \left(\frac{h^2}{4} - \frac{z^2}{3} \right)$
Reissner (1974)	$f(z) = \frac{5z}{4} \left(1 - \frac{4z^2}{3h^2} \right)$
Reddy (1984)	$f(z) = z \left(1 - \frac{4z^2}{3h^2} \right)$
Touratier (1991)	$f(z) = \frac{h}{\pi} \sin \left(\frac{\pi z}{h} \right)$
Soldatos (1992)	$f(z) = h \sinh \left(\frac{z}{h} \right) - z \sinh \left(\frac{1}{2} \right)$
Karama vd (2003)	$f(z) = ze^{-2 \left(\frac{z}{h} \right)^2}$
Aydogdu (2009)	$f(z) = z\alpha^{\frac{-2 \left(\frac{z}{h} \right)^2}{\ln \alpha}} \quad \alpha > 0, \alpha \neq 1$
Mahi ve Tounsi (2015)	$f(z) = \frac{h}{2} \tanh \left(2 \frac{z}{h} \right) - \frac{4}{3 \cosh^2(1)} \left(\frac{z^3}{h^2} \right)$
Shi vd (2018)	$f(z) = \frac{h}{2} \tanh \left(2 \frac{z}{h} \right) - \frac{z}{\cosh^2(1)}$

Tez çalışmasında seçilen kayma deformasyon fonksiyonunun, Çizelge 1.1’de sunulan diğer kayma deformasyon fonksiyonları ile nasıl bir ilişki içinde olduğu kalınlık boyunca kayma deformasyon şekillerinin ve enine kayma gerilmesi profillerinin verildiği Şekil 1.5 ve Şekil 1.6’da gösterilmiştir.



Şekil 1.5. Farklı kayma deformasyon teorilerine ait kayma deformasyon fonksiyonlarının plak -kalınlığı boyunca değişimi



Şekil 1.6. Farklı kayma deformasyon teorilerine ait enine kayma gerilmesi değişim profilleri

Bazı çalışmalarda kayma deformasyon etkisini gösterebilmek için kayma düzeltme faktörleri kullanılmaktadır. Ancak, bu işlem gerçek kayma deformasyon etkileri ifade edemeyebilir. Dolayısıyla, gerçeğe yakın kayma deformasyon etkileri yüksek mertebe kayma deformasyon teorilerinin kullanımıyla elde edilebilmektedir.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölüm sekiz alt başlıktan oluşmakta ve tez çalışmasına ait olan homojen ve homojen olmayan veya FD, izotropik ve ortotropik malzemelerden oluşan değişik plak çeşitlerinin stabilite ve titreşim problemleri ile ilgili olan bazı çalışmaların kısa özetleri sunulmaktadır. Ayrıca, homojen olmayan veya FD malzemelerden oluşan yapı elemanlarının mekanik özelliklerinin matematiksel modellenmesi ile ilgili kaynak özetleri de yer almaktadır.

2.1. Homojen Olmayan veya FD İzotropik ve Ortotropik Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Modellenmesi ile İlgili Kaynak Özetleri

Bu başlık altında, homojen olmayan veya FD izotropik ve ortotropik malzemelerin mekanik özelliklerinin modellenmesi ile ilgili kaynak özetleri sunulmuştur.

Matris malzeme içine paralel yerleştirilen liflerden meydana gelen kompozit malzemeler için düzlem gerilme kesin çözümü sunulmuştur. Lifler değişken aralıklara sahiptir ve elde edilen malzeme ortotropik ve homojen olmayan malzemedir. Gerilme, şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme için kesin çözümler rastgele lif aralığıyla ilgili dört tip problem için sunulmuştur: (1) Liflere paralel kenarlardan düzgün normal gerilme olması ve enine kenarlarda boy değişiminin olmaması; (2) liflere paralel kenarlardan normal gerilme olmaması ve enine kenarlarda düzgün boy değişiminin olması; (3) liflere paralel kenarlardan boy değişiminin olmaması ve enine kenarlarda düzgün boy değişiminin olması; (4) liflere paralel kenarlardan boy değişiminin olmaması ve tüm kenarlarda düzgün kayma gerilmesinin olması. İlk üç problem için tüm kenarlardaki kayma gerilmesinin sıfır olduğu varsayılmıştır. Sonuncusu için enine kenarda normal gerilmenin sıfır olduğu dikkate alınmıştır (Leissa ve Martin, 1990).

Tanigawa (1995) çalışmasında, fonksiyonel derecelendirilmiş malzeme gibi rastgele ve sürekli değişen malzeme özelliklerine sahip homojen olmayan plağın bir boyutlu geçici ısı iletim problemi ele alınmıştır. Bu tür homojen olmayan plak için ısı iletim denklemi doğrusal olmayan hale gelmekte ve bunun teorik olarak incelenmesi oldukça zor olmaktadır. Gerekli işlemlerden sonra, homojen olmayan çok tabakalı plağın sıcaklık problemi analitik olarak çözülmüştür. Ayrıca, sonsuz uzun homojen olmayan plağın söz konusu termal gerilme bileşenleri serbest yüzeyde sıfır olma şartını sağlayacak biçimde türetilmiştir. Sıcaklık değişiminin ve homojen olmama durumunun termo-elastik davranışa etkisi incelenmiştir.

Sugano vd (1996) çalışmasında, sadece kalınlık doğrultusunda homojen olmayan özelliklere ve sıcaklık değişimine sahip homojen olmayan plağın termal gerilme tepkisinin incelenmesiyle ilgilidir. Homojen olmayan plak, birbirine mükemmel şekilde bağlanmış farklı homojen ve izotropik tabakalardan oluşan tabakalı plak olarak dikkate alınmıştır. Homojen olmayan elastik ve termal özelliklerin plak orta düzlemine göre simetrik olduğu varsayılmıştır.

Tanigawa vd (1996a) çalışmasında ısıtılmış yüzeyindeki ve soğutulmuş ucundaki ısı iletimi dikkate alınan homojen olmayan plağın bir boyutlu geçici ısı iletim problemi teorik olarak ele alınmıştır. Gerekli işlemlerden sonra, homojen olmayan çok tabakalı plağın sıcaklık problemi analitik olarak çözülmüştür. Ayrıca, sonsuz uzun homojen olmayan plağın söz konusu termal gerilme bileşenleri serbest yüzeyde sıfır olma şartını sağlayacak biçimde türetilmiştir. Homojen olmamanın ve ısıtılmış ve soğutulmuş yüzeyler arasındaki ısı iletim katsayısının etkileri gösterilmiştir.

Homojen olmayan bir ortamın hem ısı iletim hem de temel denklemleri genel olarak doğrusal olmayan formdadır. Bu nedenle, bu doğrusal olmayan denklemlerin teorik incelenmesi çok zor ve kesin bir çözümün elde edilmesi ise neredeyse imkansızdır. Bu çalışmada, bir boyutlu sıcaklık çözümü kullanılarak geçici termal gerilme dağılışı en aza indirmek için optimum malzeme bileşimini elde etmeye çalışılmıştır. Ayrıca, malzeme özelliklerinin sıcaklığa bağlı olduğu durumlar da incelenmiştir (Tanigawa vd, 1996b).

Reddy ve Chin (1998) çalışmasında, FD silindir ve plakların dinamik termoelastik tepkileri incelenmiştir. Formülasyona termomekanik kavram dahil edilerek formülasyon için sonlu elemanlar modeli geliştirilmiştir. Termal yüklemeye maruz FD eksenel simetrik bir silindir için ısı iletimi ve termoelastik denklemler çözülmüştür. Buna ek olarak, üç boyutlu bir ısı iletim denklemiyle birleştirilmiş, enine kayma şekil değiştirmelerini ve dönmeleri dikkate alan birinci merteye kayma deformasyonlu plak teorisi (BMKDPT) kullanarak termoelastik sınır değer problemi, bir fonksiyonel dereceli plak için formüle edilmiştir. Her iki problem de seramik ve metalin hacim kesir oranının değişimi için kuvvet kuralı dağılımı kullanarak dinamik termoelastik tepkileri incelenmiştir.

Anizotropik homojen olmayan ve tabakalı piezoelektrik plaklar için 3B piezoelektrik çerçevesinde bir asimptotik teori geliştirilmiştir. Homojen olmamanın kalınlık doğrultusunda olduğu varsayılmış ve özel durum olarak piezoelektrik tabakaları da içine almaktadır. Farklı homojen olmayan terimlere sahip 2B diferansiyel denklemler asimptotik açılımlar yardımıyla elde edilmiştir. Temel denklemler elastisite

teorisine uyarlandığında, klasik plak teorisiyle aynı bağıntılara sahip olduğu görülmüştür. Önerilen çözüm, kenarlarından basit mesnetli hem mekanik hem de elektrik yüklerine maruz dikdörtgen bir piezoelektrik plak dikkate alınarak incelenmiştir. Literatürdeki uygun sonuçlarla mükemmel uyumlar gözlemlenmiştir (Cheng vd, 2000).

Ootao ve Tanigawa (2001) çalışmasında, yüzeyine piezoelektrik tabaka bağlanmış fonksiyonel derecelendirilmiş (FD) dikdörtgen plakların düzgün olmayan sıcaklık değişiminden kaynaklanan geçici termoelastik yerdeğiştirmenin kontrolü için bir teorik çalışma sunulmuştur. FD plakların kalınlık doğrultusunda homojen olmayan termal ve mekanik malzeme özelliklerine sahip olduğu varsayılarak, FD malzeme için basit mesnetli plağın geçici durumda 3B sıcaklık ve 3B geçici termal gerilmesi teorik olarak incelenmiştir.

Sugano vd (2002) çalışmasında, değişken yüzey sıcaklıklarına maruz fonksiyonel derecelendirilmiş (FD) plaktaki değişken sıcaklık, termal deformasyon ve termal gerilme için analitik çözümler sunulmuştur. Tabakalı plağın homojen olmayan termal özelliklere ve malzeme özelliklerinin rastgele değişimiyle ilişkili homojen olmayan mekanik özelliklere sahip olduğu ve sıcaklığın sadece plak kalınlığı doğrultusunda değiştiği varsayılmıştır. Yüzey sıcaklıkları zamana bağlı değişken fonksiyonlarla ifade edilmiştir. Sıcaklık, termal gerilme ve eğrilik için tepki korelasyon fonksiyonlarının analitik ifadeleri tabakalı plağın rastgele değişen yüzey sıcaklığının durağan rastgele bir proses yardımıyla modellenmesi koşulu altında türetilmiştir.

Enine izotropiye sahip manyeto-elektro-termo-elastisite teorisinin temel denklemleri, iki yerdeğiştirme ve iki gerilme fonksiyonları ilave edilerek basitleştirilmiştir. Malzeme özelliklerinin kalınlık boyunca homojen olmadığı dikkate alınmış ve analitik çözümü elde edebilmek için bir tabaka modeli kullanılmıştır. Tabakalı manyeto-elektro-elastik dikdörtgen plak için elde edilen sayısal sonuçlar, literatürdeki uygun sonuçlarla kıyaslanarak doğrulanmıştır (Chen ve Lee, 2003).

Ootao ve Tanigawa (2007) çalışmasında, düzgün olmayan ısı kaynağına maruz ortotropik FD dikdörtgen plağın geçici termoelastik problemi teorik olarak ele alınmıştır. Dikdörtgen plağın termal ve termoelastik sabitlerinin kalınlık doğrultusunda üstel fonksiyon şeklinde değiştiği varsayılmıştır. Burada, basit mesnetli dikdörtgen plak için üç boyutlu çözümü elde edilmiştir. Sıcaklık değişikliği, yer değiştirme ve gerilme dağılımları için bazı sayısal sonuçlar şekillerde gösterilmiştir. Ayrıca, malzemenin homojen olmamasının ve ortotropinin etkisi araştırılmıştır.

Sofiyev vd (2009) çalışmasında, hidrostatik basınç yükü etkisi altında homojen olmayan malzeme özellikli ortotropik konik kabukların titreşim ve stabilitesi incelenmiştir. Başlangıçta, Young modülü ve yoğunluğu kalınlık doğrultusunda sürekli değişen ortotropik kesik konik kabuklar için temel bağıntılar elde edilmiştir. Galerkin yöntemini yukarıdaki denklemlere uygulanmasıyla, kesik koni kabukların burkulma basınç yükü ve frekans parametresi için ifadeler elde edilmiştir. Young modülü ve yoğunluk birlikte ve ayrı-ayrı değiştiği durumlar için konik kabuk karakteristikleri, homojen olmama ve ortotropinin boyutsuz kritik hidrostatik basınç yükü ve boyutsuz frekansa etkileri incelenmiştir.

İç basınca maruz FD kalın cidarlı küresel basınç tanklarının elastik analizi yarı analitik bir iteratif yöntemle gerçekleştirilmiştir. Poisson'ın oranı dışındaki malzeme özelliklerinin küre kalınlığı boyunca üstel bir dağılıma göre derecelendirildiği varsayılmıştır. Farklı homojen olmayan sabit değerler için radyal doğrultunun fonksiyonu olan radyal yerdeğiştirme, radyal gerilme, çevresel gerilme ve von-Misses eşdeğer gerilmelerin değerleri elde edilmiştir. SEY kullanılarak elde edilen sonuçlar da sunulmuştur (Nejad vd, 2014).

Zamana bağlı eksenel yük altında homojen olmayan ortotropik kesik koni kabuğun parametrik kararsızlığı incelenmiştir. Dinamik temel denklemler, Galerkin yöntemi kullanılarak homojen olmayan ortotropik kesik koni kabukların kararsızlığını ifade eden Mathieu-Hill tipi diferansiyel denkleme indirgenmiştir. Elde edilen sonuçları doğrulamak amacıyla önceki çalışmalarla kıyaslama yapılmıştır. Eksenel yük faktörlerinin, heterojenliğin, ortotropinin ve koni kabuk özelliklerinin geri ve ileri yönlü uyarılma frekanslarına etkileri detaylı olarak incelenmiştir (Sofiyev ve Pancar, 2017).

2.2. Homojen İzotropik ve Ortotropik Plakların Stabilitesi ile İlgili Kaynak Özetleri

Bu başlık altında, homojen izotropik ve ortotropik malzemelerden oluşan plakların stabilitesi ile ilgili kaynak özetleri sunulmuştur.

Çok tabakalı kompozit plakların stabilite analizinde kullanılan klasik ve kayma deformasyon teorilerinin doğruluk ve geçerlilik aralığının belirlenmesi için nitel bir değerlendirme yapılmıştır. Kayma deformasyon teorisinin 3B elastisite çözümleriyle uygun sonuçlar verdiği bulunmuştur (Noor, 1975).

Bohlooly ve Mirzavand (2016) çalışmasında, yüzeyine yerleştirilmiş piezoelektrik uyarıcılara sahip ve kenarlarından düzlem içi basınç yüklerine, iki tür

termal yüke ve sabit uygulanan uyarıcı voltajına maruz basit mesnetli dikdörtgen simetrik çapraz tabakalı kompozit plağın termo-mekanik burkulma analizi sunulmuştur. Denklemler, von-Karman tipi doğrusal olmayan bağıntıları içeren klasik plak teorisi çerçevesinde türetilmiştir. Uygulanan uyarıcı voltajın, termal ve mekanik yüklerin, plak geometrisinin ve tabakalı plakların tabakalanma düzeni etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, literatürdeki uygun sonuçlarla kıyaslanmıştır.

Bohlooly ve Mirzavand (2017) çalışmasında, elastik temele oturan ve yanal basınca, düzlem içi basınca, sıcaklık ve elektrik yüklerine maruz iki piezoelektrik uyarıcıya sahip tabakalı kompozit plağın burkulma, burkulma sonrası davranışı ve doğrusal olmayan deformasyonu için kapalı form çözümü sunulmuştur. Malzeme özelliklerinin sıcaklığa bağlı olduğu varsayılmaktadır. Plağın başlangıç kusurlara ve iki farklı sınır koşuluna sahip olduğu dikkate alınmıştır. Formülasyonlar, Klasik Plak Teorisine dayanmaktadır. Yük deformasyon bağıntılarını Galerkin yöntemiyle elde edilmiştir. Elastik temelin yanal basıncın düzlem içi basıncın malzeme özelliklerinin sıcaklığa bağlılığının elektrik ve sıcaklık yüklerinin kusurun ve en boy oranının etkisi incelenmiştir.

Genel anizotropik tabakalı kompozit basit mesnetli ince plaklar için kapalı form çözümü sunulmuştur. Rayleigh-Ritz yerdeğiştirme alanı yaklaşımı sonlu eleman sonuçlarına kıyasla üst sınırı olan enerji metoduna dayanmaktadır. Bu nedenle, kritik stabilite matrisi doğru bir burkulma ifadesi elde etmek amacıyla kullanılmıştır. Elde edilen formülasyon, etkili uzama ve eğilmeli uzama rijitliklerinin fonksiyonu olan ilave bir terim içermektedir. Eğilmeli uzama rijitlikleri, izotropik ve bazı tabakalı kompozit malzemeler için ihmal edilerek söz konusu burkulma ifadesi Euler burkulma bağıntısına indirgenmiştir. Elde edilen bağıntı, literatürdeki uygun sonuçlarla kıyaslanarak doğrulanmıştır (Rasheed vd, 2017).

Zerin vd (2017) çalışmasında, özellikle stadyum, havaalanı terminali, alışveriş merkezi gibi geniş açıklıklı yapılarda kendini taşıyan çatı elemanlarının burkulma davranışı incelenmiştir. Bu elemanların tabakalı kompozit plak olduğu varsayılmış ve serbest kenar form değişimi, oyuk şekli ve tabakalanma biçimi tasarım parametresi olarak kullanılmıştır. Mimari özellik ve yapısal gereksinim kapsamında eğrisel serbest kenar formunun kritik burkulma yüküne etkisi irdelenmiştir. Bu amaçla, toplam plak kalınlığı sabit kalmak koşuluyla çeşitli yönlenme açılarına, tabaka sayısına ve kalınlıklara sahip 14 tip tabakalanma şekli dikkate alınmıştır. Bunun yanı sıra, 6 farklı tür oyuk tipi ve 3 farklı serbest kenar şekli benimsenmiştir. Tüm bu parametreler kullanılarak kritik burkulma yükü değerleri ANSYS sonlu eleman yazılı kapsamında elde edilmiştir. Bu parametrelerin kritik burkulma yüküne etkileri irdelenmiştir.

Dong vd (2018) çalışmasında, elastik Winkler temeline oturan sonsuz uzunluklu tabakalı kompozit plağın basınç altındaki burkulma davranışı incelenmiştir. Tabakalı kompozit plağın burkulma katsayısı için analitik çözüm bir boyutlu analitik metot kullanılarak türetilmiştir. Tek eksenli basınç altındaki tabakalı kompozit plakların burkulma katsayılarına tabakalanma açısının ve temel rijitliğinin etkilerini gösteren sayısal problemler sunulmuştur. Son olarak, analitik çözümlerin doğruluğunu teyit etmek için sonlu elemanlar analizi yapılmıştır.

Liang vd (2018) çalışmasında, Koiter-Newton yöntemi değişken rijitlikteki kompozit plakların burkulma öncesi ve sonrası davranışları da dahil olmak üzere doğrusal olmayan burkulma analizine uyarlanmıştır. Von Karman bağıntılarını içeren klasik plak teorisi kapsamında dört düğümlü bir eleman geliştirilmiştir. Çalışmanın doğruluğu literatür karşılaştırmalarıyla doğrulanmıştır.

İpek vd (2018) çalışmasında, tabakalı kompozitlerdeki delaminasyonun boyut ve konumunun burkulma davranışına etkileri deneysel olarak incelemiştir. Farklı delaminasyon parametrelerine uygun tabakalı plaklar üretilmiştir. Numuneler iki kenarı serbest bırakılmak kaydıyla diğer iki kenarından burkulma testine tabi tutulmuştur. Kritik burkulma yükü, yük-deformasyon eğrilerinden elde edilmiştir. Ayrıca, plak kalınlığı doğrultusundaki delaminasyon alanına uygulanan yüke bağlı olarak yanal deformasyonlar bulunmuştur. Her iki durumda bulunan kritik yük değerleri birbirleriyle kıyaslanarak, en uygun delaminasyon boyutu belirlenmiştir. Sonuç olarak, burkulma davranışı üzerindeki en olumsuz etki delaminasyon konumuna göre gözlemlenmiştir.

Elyaf takviyeli kompozitler genel olarak bileşik termal mekanik yüklere maruz kalmaktadır. Tasarlanan kompozitlerin rijitlik ve mukavemetlerini belirlemek için delaminasyona uğramış fiber takviyeli kompozit plakların termal burkulma davranışı ve bileşik termo mekanik etkiler altındaki delaminasyon boyunca kırılma analizi layerwise teorisi çerçevesinde incelenmiştir. Herbir tabaka arasındaki delaminasyon yerdeğiştirme süreksizliği olarak modellenmiştir. Temel denklemler virtüel iş prensibiyle türetilmiştir. Tabakalanma düzeninin, delaminasyon boyutunun ve delaminasyon konumunun tabakalı kompozit plakların kritik burkulma sıcaklığına etkileri irdelenmiştir. getirilerek belirlenir (Tian vd, 2018).

2.3. Homojen İzotropik ve Ortotropik Plakların Stabilitésinin KDT Kapsamında İncelenmesi ile İlgili Kaynak Özetleri

Bu başlık altında, homojen izotropik ve ortotropik malzemelerden meydana gelen plakların stabilite probleminin KDT kapsamında incelenmesi ile ilgili kaynak özetler sunulmuştur.

Tabakalı anizotropik kompozit plakların sehim, gerilme, doğal frekans ve burkulma analizleri için yüksek mertebe kayma deformasyon teorisi sunulmuştur. Teori herhangi kayma düzeltme faktörüne ihtiyaç duyulmaksızın parabolik kayma gerilmesi dağılımını sağlamaktadır. Teorinin bir sonlu eleman modeli geliştirilmiş ve tabakalı plakların stabilite, titreşim ve eğilme davranışlarına uygulanması ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlar, klasik plak teorisi ve 3B elastisite teorisiyle kıyaslanmıştır (Phan ve Reddy, 1985).

Elastik plakların doğal frekanslarının ve burkulma yüklerinin belirlenmesi için yüksek mertebe kayma deformasyon teorisi kullanılmıştır. Teori, plak kalınlığı boyunca parabolik kayma gerilmesi dağılımını ve dönel ataleti dikkate almaktadır. Basit mesnetli plakların kesin çözümü elde edilmiş ve sonuçlar 3B elastisite teorisi, birinci mertebe kayma deformasyon teorisi ve klasik plak teorisi sonuçlarıyla kıyaslanmıştır (Reddy ve Phan, 1985).

Farklı sınır koşullarına sahip anti-simetrik çapraz tabakalı kompozit plakların burkulma analizi indirgenmiş yüksek mertebe üstel kayma deformasyon teorisi kullanılarak incelenmiştir. Klasik plak teorisi ile birçok yönden benzerliğe sahip olan teori kayma gerilmelerinin kalınlık boyunca parabolik değiştiğini varsaymakta ve üst ve alt yüzeylerde serbest yüzey koşullarını kayma düzeltme faktörüne gerek duyulmaksızın karşılamaktadır. Diğer kayma deformasyon teorilerinde beş olan bilinmeyen sayısı bu teoride dördür. Bu çalışmada, basit mesnetli kalın tabakalı dikdörtgen plakların hareket denklemleri türetilmiş ve Hamilton prensibi yardımıyla elde edilmiştir. Anti-simetrik çapraz ve açısız tabakalı plakların kapalı-form çözümü Navier yaklaşımıyla elde edilmiştir. Anti-simetrik çapraz tabakalı kompozit plakların kritik burkulma yükleri için sayısal sonuçlar sunulmuştur. Çalışmanın doğruluğu literatürdeki diğer yüksek mertebe teorisi çözümleri ile kıyaslama yapılarak teyit edilmiştir. Sunulan teorinin, farklı sınır koşullarına sahip anti-simetrik çapraz tabakalı kompozit plakların burkulma davranışlarının incelenmesinde doğru ve basit olduğu sonucuna varılmıştır (Adim vd, 2016).

Patel ve Sheikh (2016) çalışmasında, kısmi kenar yüklemesine maruz tabakalı kompozit rijit plakların burkulma analizi sonlu elemanlar yöntemi çerçevesinde

gerçekleştirilmiştir. Plak yüzeyini modellemek için sekiz düğümlü izoparametrik kabuk eleman ve birinci mertebe kayma deformasyon teorisi ile takviye elemanlarını modellemek için ise üç noktalı eğrisel kiriş elemanı kullanılmıştır. Çalışma, literatürdeki uygun sonuçlarla kıyaslanarak doğrulanmıştır. Lif yönlenme açısının, tabaka sayısının ve yükleme durumunun burkulma davranışına etkisi irdelenmiştir.

Chikh vd (2017) çalışmasında, çapraz tabakalı kompozit plakların termal burkulma davranışı için basitleştirilmiş YMKDT sunulmuştur. Mevcut YMKDT'de farklı olarak, sadece dört bilinmeyen ve belirsiz integral terimlerini içeren yeni bir yerdeğiştirme alanına sahiptir. Temel denklemler, toplam potansiyel enerjinin minimum olması prensibinden türetilmiştir. Sunulan teorinin geçerliliği literatürdeki uygun sonuçlarla kıyaslanmasıyla teyit edilmiştir.

Kabir ve Tavousi Tehrani (2017) çalışmasında, şekil hafızalı alaşım (SHA) lifleri ile takviye edilmiş simetrik tabakalı kompozit plakların termal, mekanik ve termomekanik burkulma ve burkulma sonrası davranışları için analitik bir çalışma sunulmuştur. Kapalı form çözümü von-Karman doğrusal olmayan bağıntılarını içeren birinci mertebe kayma deformasyon teorisiyle oluşturulmuştur. Burkulma yükü ve burkulma sonrası davranışı belirlemek için elde edilen doğrusal olmayan kısmi diferansiyel denklemleri Galerkin yöntemiyle çözülmüştür. Bu çalışmada, SHA aktivasyon sıcaklığı, SHA hacim oranı ve basıncın çift eksenli olması durumu gibi birkaç parametrenin etkisi detaylı olarak incelenmiştir.

Lokesh (2017) çalışmasında, simetrik tabakalı kompozit plakların burkulma davranışı yüksek mertebe kayma deformasyon teorisi kullanılarak incelenmiştir. Tabakalı plakların taşıma güçlerini kaybettiği en önemli sorunlardan birinin de burkulma olmasından dolayı kritik burkulma yükünün doğru belirlenebilmesi önem arz etmektedir. Tabakalı kompozit plağın temel denklemleri virtüel iş prensibiyle elde edilmiştir. Elde edilen denklemler analitik olarak çözülerek probleme ait kritik burkulma yükleri bulunmuştur. Sayısal sonuçlar, literatürdeki uygun sonuçlarla kıyaslanarak doğrulanmıştır.

Periyodik düzlem içi yüke maruz değişken açılı kompozit plağın dinamik stabilitesi sonlu elemanlar analizi kapsamında incelenmiştir. Söz konusu tabakalar birinci mertebe kayma deformasyon teorisi çerçevesinde modellenmiş ve stabilite davranışına lif yönlenme açısının etkisi irdelenmiştir. Düz lifli kompozitlerin aksine, kenarlar boyunca düzgün basınç yükünden kaynaklanan düzlem içi gerilme dağılımını ele edebilmek için ilk olarak tabakaların burkulma öncesi davranışı ifade edilmiştir. Daha sonra, tabakaların dinamik stabilite problemine ait temel denklemler elde

edilmiştir. Çalışmanın uygunluğu düz lifli tabakaların dinamik stabilitesi için elde edilen değerlerle kıyaslanarak teyit edilmiştir. Lif yönlenme açısı, yük parametreleri, sınır koşulları, ortotropi oranı ve en/boy oranı gibi parametrelerin dinamik satbiliteye etkileri irdelenmiştir (Samukham vd, 2017).

Teter ve Kolakowski (2017) çalışmasında, genel tabakalı plakların burkulma ve burkulma sonrası davranışları ele alınmıştır. Bu tür plaklar, keyfi olarak yerleştirilmiş birkaç tabakadan meydana gelmektedir. Dolayısıyla, tabakalanma düzeni simetrik olmayabilir. Bu durumda, gerilme, eğilme, kayma ve burulma bileşik halde etki etmektedir. Genel tabakalı plakların davranışı simetrik olanlardan farklıdır. Bu nedenle, düzlem içi, yüklere maruz kaldıklarında düzlem dışı deformasyona uğramaktadırlar. Bu tür genel tabakalı plaklar çeşitli uygulama olanakları sebebiyle araştırılmaya değerdir. Statik burkulma yüklerini ve burkulma sonrası denge durumunu belirlemek için Koiter teorisi kapsamında analitik-sayısal yöntem kullanılmıştır. Plakların denge denklemleri için doğrusal olmayan ifadeleri içeren klasik plak teorisi kullanılmıştır.

Vescovini vd (2017) çalışmasında, kompozit plakların ve sandviç panellerin termal burkulma analizi Ritz kapsamında değişken kinematik bir formülasyon yardımıyla incelenmiştir. Sunulan formülasyonun temel özelliği, yapıyı alt tabakalar yani paneli oluşturan keyfi katmanlar aracılığıyla dikkate almasıdır. Her bir alt tabaka bağımsız rastgele kinematik bağıntılarla açıklanmış ve böylece indirgenmiş yüksek mertebe kayma deformasyon teorilerinin kullanımı sandviç panellerin çekirdeğine uygulanması için uygun hale getirilmiştir. Doğrusal olmayan burkulma öncesi etkileri hesaba katılıp/katılmadığı durumdaki kritik sıcaklıklar sunulmuştur. Burkulma öncesi etkiler ihmal edildiğinde problem standart özdeğer problemine dönüşmektedir. Sonuçlar, 3B çözümlerle kıyaslanarak doğrulanmıştır.

Xing ve Xiang (2017) çalışmasında, paralel iki kenarı basit mesnetli diğer kenarları herhangi bir sınır koşuluna sahip simetrik çapraz tabakalı dikdörtgen kompozit tabakaların burkulma davranışını incelemek için birinci mertebe kayma deformasyon teorisi çerçevesinde analitik bir yöntem sunmuştur. Çalışma iki kısımdan oluşmaktadır. Birincisi, herhangi bir hesap zorluğu bulunmayan kapalı form burkulma çözümü için etkili analitik yöntemin sunulması ve ikincisi ise üstel matrisin doğru hesap yönteminin uzay tekniğine dahil edilmesiyle verilen yöntemin sunulmasıyla ilgilidir. Her iki analitik yöntemle elde edilen sonuçlar literatürdeki uygun sonuçlarla iyi bir uyum göstermiştir.

Belkacem vd (2018) çalışmasında, karbon/cam hibrit tabakalı kompozit plakların burkulma davranışı doğru ve basit indirgenmiş yüksek mertebe kayma deformasyon teorisi yardımıyla incelenmiştir. Bu teori, farklı sınır koşulları altında kritik burkulma yükünü belirlemek için dikkate alınan kayma deformasyonu ve kayma gerilmelerini içeren kayma etkilerini hesaba katmaktadır. Bu yeni tür hibrit tabakalı kompozit plakların en ilginç özelliği, farklı malzeme oranlarının istenildiği gibi ayarlanabildiğinden maliyet ve mukavemet gibi özellikleri bakımından klasik tabakalı kompozit plaklardan daha üstün olmasıdır. Çalışmada elde edilen sayısal sonuçlar, 3B elastisite çözümleriyle ve literatürde bulunan uygun kayma deformasyon teorisi çözümleriyle kıyaslanmıştır. Sunulan teorinin hibrit tabakalı kompozit plakların burkulma davranışını doğru olarak hesapladığı ve tasarımda sağladığı kolaylıklar açısından zaman ve maliyeti önemli derecede azalttığı sonucuna varılmıştır.

Mekanik ve higrotermal yüklere maruz kompozit tabakaların burkulma ve burkulma sonrası davranışlarının analizi için düzenlenmiş hiperbolik kayma deformasyon teorisi (DHKDT) çerçevesinde sonlu eleman esaslı bir formülasyon geliştirilmiştir. Farklı tabakalanma düzenlerinin, kalınlığının, malzeme özelliklerinin ve plak en/boy oranının burkulma yüküne etkileri araştırılmıştır. Ek olarak, düzgün düzlem içi sıcaklık ve nem içeren yüklere maruz kompozit plakların burkulma sonrası analizi DHKDT kapsamında analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, literatürdeki uygun sonuçlarla kıyaslanarak doğrulanmıştır (Kazemi, 2018).

Manickam vd (2018) çalışmasında, yüklere maruz değişken rijitlikteki tabakalı kompozit plakların termal burkulma davranışı birinci mertebe kayma deformasyon teorisine dayanan sonlu elemanlar yaklaşımı kullanılarak analiz edilmiştir. Kompozit plakta tabaka rijitliğinin değişmesine neden olan lif yönlenme açısı sürekli değişmektedir. Analizde, düzgün ve düzgün olmayan sıcaklık dağılımları da dikkate alınmıştır. Temel denklemler, toplam potansiyel enerjinin minimum olması prensibine dayanan yaklaşımla elde edilmiştir. Tabaka kenarı ve ortasındaki eğrisel lif açıları, tabakalanma düzeni, kalınlık oranı, ısı genleşme katsayıları ve anizotropi gibi parametrelerin kritik burkulma sıcaklığı değerlerine etkileri araştırılmıştır.

Pasternak temeline oturan ve düzlem içi düzgün kesme kuvvetine maruz simetrik çapraz tabakalı plakların kesme burkulması ele alınmıştır. Analiz için klasik plak teorisi dikkate alınmıştır. Uygun şekil fonksiyonuyla birlikte Rayleigh-Ritz yöntemi diferansiyel denklemlerin çözümünde kullanılmış ve kesme burkulma yüklerinin belirlenebilmesi için bilgisayar programı geliştirilmiştir. Son olarak, plak en/boy oranının, sınır koşullarının, kalınlık oranının, ortotropinin ve temel parametrelerinin

tabakalı plakların kesme burkulma davranışına etkileri incelenmiştir (Topal vd, 2018a).

Topal vd (2018b) çalışmasında, pasternak temeline oturan basit mesnetli antisimetrik açılı tabakalı plakların kritik burkulma yükü öğretmeye dayalı optimizasyon yöntemi (ÖDOY, teaching learning optimization method) kullanılarak incelenmiştir. Tabakalı plağın temel denklemleri birinci mertebe kayma deformasyon teorisi kapsamında türetilmiştir. Tabakalı plakların optimum tabakalanma düzenini elde etmek için Matlab bilgisayar programı geliştirilmiştir. Çalışmanın doğruluğu literatürdeki diğer çalışmalarla kıyaslanarak teyit edilmiştir. Ek olarak, çeşitli tabaka sayılarının, plak en/boy oranının, temel parametrelerinin ve yük oranlarının optimum çözüme etkileri irdelenmiştir.

İki eksenli basınca maruz tabakalı plaklar ile alt ve üst tabakalarında piezoelektrik yüzey bulunan sığ silindirik panellerin burkulma problemi ele alınmıştır. Analiz, klasik plak teorisi ve birinci mertebe kayma deformasyon teorisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kalınlık değişimi tek veya her iki doğrultuda da dikkate alınmıştır. Özdeğer probleminin çözümünde; kesin çözüm, Rayleigh tekniğine dayalı yaklaşık çözüm ve 3B sayısal sonlu elemanlar çözümü ele alınmıştır. Kompozit panellerin geometrik parametrelerinin, piezoelektrik yüzeylerin, piezoelektrik uyarım voltajının ve tabakalanma düzenlerinin burkulma davranışına etkileri araştırılmıştır (Muc vd, 2019).

2.4. Homojen İzotropik ve Ortotropik Plakların Titreşimi ile İlgili Kaynak Özetleri

Bu başlık altında, homojen izotropik ve ortotropik plakların titreşimi ile ilgili kaynak özetleri sunulmuştur.

Zhang vd (2017) çalışmasında, literatürde sık karşılaşılmayan düzgün olmayan sınır koşullarına sahip kalın tabakalı kompozit dikdörtgen plakların serbest titreşim problemi Fourier serisi yöntemiyle araştırılmıştır. Bu yöntemde, yerdeğiştirme ve dönme fonksiyonları sınır koşullarından bağımsız çift Fourier serisiyle ifade edilmiştir. Mevcut çoğu çalışmadan farklı olarak bu yöntemde herhangi bir çözüm prosedürü değiştirmeksizin, değişken malzeme ve geometrik özellikler altında farklı sınır koşullarına sahip plağın titreşim problemine kolayca uygulanabilmektedir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen sonuçlarla kıyaslanarak doğrulanmıştır.

Morozov ve Lopatin (2018) çalışmasında, tamamen ankastre mesnetli anizotropik tabakalı kompozit plağın temel frekansları analitik olarak incelenmiştir.

Plak, plak kenarlarından birine bir açıyla yönlendirilmiş tek doğrultulu kompozit tabakalardan oluşmaktadır. Plağı meydana getiren tabakalar birbirinden yalnızca yönlenme açısı bakımından farklıdır. Bu tür plaklar, uygun temel denklemlerde dikkate alınan burulmalı uzama ve kesmeli eğilme etkileriyle ilişkili yapısal anizotropi ile karakterize edilmektedir. Temel denklemler hem düzlem içi ve hem de düzlem dışı plak hareketleri modellemektedir. Titreşim problemi Galerkin yöntemi kullanılarak çözülmüştür. İki ucundan ankastre mesnetli bir kirişin birinci titreşim moduyla ilişkili giriş fonksiyonları yaklaşım fonksiyonu olarak uygulanmıştır. Yönlenme açısının, tabaka sayısının ve yapısal anizotropinin plak temel frekanslarına etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar sonlu elemanlar yöntemiyle kıyaslanarak doğrulanmıştır.

Pasternak elastik temeline oturan ve ideal, sıkışmaz ve viskoz olmayan bir sıvıya temas eden simetrik tabakalı kompozit plağın serbest titreşim analizi yapılmıştır. Sıvının, uzunluk doğrultusunda sonsuz uzunlukta olduğu ve derinliğinin ve genişliğinin sınırlı olduğu varsayılmıştır. Sıvı-plak-temel sistemine ait özdeğer denklemini elde etmek için Rayleigh-Ritz yöntemi uygulanmıştır. Çalışmanın doğruluğu literatürdeki uygun sonuçlarla kıyaslanarak teyit edilmiş ve farklı parametrelerin doğal frekanslar üzerindeki etkisini incelemek için parametrik çalışmalar yapılmıştır (Shahbazzabar ve Rahbar-Ranji, 2018).

Enine ve düzlem içi uyarımlara maruz basit mesnetli simetrik çapraz tabakalı kompozit piezoelektirik dikdörtgen plakların doğrusal olmayan titreşimi ve düzensiz hareketleri analiz edilmiştir. Simetrik çapraz tabakalı kompozit piezoelektrik dikdörtgen plağın birbirinden farklı tabakalarının birbirine kusursuz yapıştığı ve plağın içine piezoelektrik tabakaların yerleştirildiği varsayılmıştır. Kompozit plağın hareket denklemleri üçüncü mertebe kayma deformasyon teorisi kapsamında Hamilton prensibi yardımıyla türetilmiştir. Kısmi diferansiyel denklem sistemini parametrik ve dış uyarımlara maruz iki serbestlik dereceli doğrusal olmayan sisteme indirgemek için Galerkin yöntemi kullanılmıştır. Söz konusu plağın dallanma stabilite diyagramını ve periyodik ile düzensiz hareketlerini elde etmek amacıyla sayısal yöntemler kullanılmıştır. Enine, düzlem içi ve piezoelektrik uyarımların tabakalı kompozit piezoelektrik dikdörtgen plağın dallanma stabilitesine ve düzensiz davranışlarına etkileri araştırılmıştır (Zhang vd, 2018).

Bir çizgi boyunca bulunan ara mafsallı plakların serbest titreşim analizi Ritz yaklaşımıyla yapılmıştır. Plak, simetrik tabakalanma düzenine sahip olup birinci mertebe kayma deformasyon teorisiyle modellenmiştir. Ara mafsallı, birleşik plağın bir çizgi boyunca ayrılmasıyla modellenmiştir. Bu durum, süreklilik koşullarını ifade etmek için varyasyonel ifadenin artmasına neden olmaktadır. Geliştirilen matematiksel

modelin ve önerilen tekniğin doğruluğu literatürdeki uygun sonuçlarla teyit edilmiştir. Ara mafsallık parametrelerinin doğal frekans ve mod şekillerine etkisi araştırılmıştır (Quintana ve Raffo, 2019).

2.5. Homojen İzotropik ve Ortotropik Plakların Titreşiminin KDT Kapsamında İncelenmesi ile İlgili Kaynak Özetleri

Bu başlık altında, homojen izotropik ve ortotropik plakların titreşim probleminin KDT kapsamında incelenmesi ile ilgili kaynak özetleri sunulmuştur.

Thai ve Choi (2013b) çalışmasında, FD plakların burkulma ve serbest titreşim analizi için basit BMKDT sunulmuştur. Geleneksel BMKDT'den farklı olarak sunulan teoride dört bilinmeyen bulunmakta ve hareket denklemleri, sınır koşulları ve gerilme ifadeleri gibi birçok yönden KPT ile benzerlik göstermektedir. Hareket denklemleri Hamilton prensibiyle türetilmiştir. Basit mesnetli plakların kapalı form çözümleri elde edilmiş ve 3B çözümleriyle ve diğer plak teorileriyle karşılaştırılmıştır.

Sayyad ve Ghugal (2016) çalışmasında, antisimetrik tabakalı kompozit ve yumuşak çekirdekli sandviç plakların serbest titreşim analizi için enine kayma deformasyonu ve dönel atalet etkilerinin hesaba katan dört değişkenli basit bir trigonometrik kayma deformasyon teorisi sunulmuştur. Diğer kayma deformasyon teorilerinde beş veya daha fazla bilinmeyen varken bu teoride bilinmeyen sayısı dörde indirgenmiştir. Hareket denklemleri virtüel iş prensibiyle elde edilmiştir. Elde edilen denklemler Navier yöntemiyle analitik olarak çözülmüştür. Kenar/kalınlık oranının, modüler oranın ve yönlenme açısının etkisi araştırılmıştır. Doğal frekans için elde edilen sonuçlar literatürdeki uygun sonuçlarla kıyaslanarak çalışmanın doğruluğu teyit edilmiştir.

Zenkour ve Radwan (2016) çalışmasında, Winkler-Pasternak temeline oturan tabakalı kompozit ve yumuşak çekirdekli sandviç plakların serbest titreşimi dört değişkenli indirgenmiş plak teorisi kapsamında incelenmiştir. Teori, kayma düzeltme faktörüne ihtiyaç duyulmaksızın serbest yüzey koşullarını ve hiperbolik kayma gerilmesi dağılımını sağlamaktadır. Dinamik hareket denklemleri virtüel iş prensibiyle türetilmiştir. Elastik temele oturan antisimetrik çapraz tabakalı, açılı tabakalı ve yumuşak çekirdekli tabakalar veya yumuşak çekirdekli sandviç plakların kapalı form çözümleri Navier tekniği yardımıyla elde edilmiştir. Sunulan teoriden elde edilen sonuçlar, 3B elastisite teorisi ve birinci ve diğer yüksek mertebe kayma deformasyon teorileriyle karşılaştırılmıştır.

Pasternak viskoelastik temeline oturan basit mesnetli tabakalı viskoelastik kompozit plağın serbest titreşim davranışı incelenmiştir. Kompozit plak enine doğrultuda izotropik elastik liflerle takviye edilmiş viskoelastik polimer matristen meydana gelmiştir. Hacim/kayma modüllerine ait fonksiyonları içeren çok hücreli mikromekanik yaklaşım ve Boltzmann süperpozisyon prensibi yardımıyla, tabakaların zaman bağlı rijitlik katsayıları ifade edilmiştir. Kısmi türevli hareket denklemleri, Laplace dönüşümü ve Hamilton prensibiyle birlikte üçüncü mertebe kayma deformasyon teorisi kapsamında türetilmiştir. Geçici tepki için kapalı form çözümleri ve frekanslar, ağırlıklı artık yöntemi (weighted residual method), sayısal iteratif algoritması ve Fourier dönüşümüyle elde edilmiştir. Çalışma literatürdeki uygun sonuçlarla kıyaslanarak doğrulanmıştır. Parametrik çalışma olarak, malzeme özelliklerinin, tabakalanma düzeninin, geometri ve temelin dinamik davranışa etkileri araştırılmıştır (Zamani vd, 2017).

Rezvani ve Kiasat (2018) çalışmasında, viskoelastik köpük bir çekirdek ve örgülü karbon tabakalı yüzey kaplamasından meydana gelen kompozit sandviç plağın serbest titreşim probleminin analitik çözümüyle ilgilidir. Sıvıya temas eden birinci mertebe kayma deformasyonlu plağın hareket denklemleri, Hamilton prensibi çerçevesinde elde edilmiş ve Navier yöntemiyle de analitik olarak çözülmüştür. Suya temas eden sınır koşulları ve hız potansiyel fonksiyonları yardımıyla sıvının hareketi ifade edilmiştir. Kuru ve ıslak sandviç plakların doğal frekanslarını ölçmek için modal testte frekans tepki fonksiyonu uygulanmıştır. Deneysel sonuçlar analitik sonuçların geçerliliğini göstermektedir. Köpük çekirdek davranışının, çekirdek kalınlığının, plak boyut oranının ve sıvı yoğunluğunun doğal frekanslara etkisi araştırılmıştır.

Tran ve Kim (2018) çalışmasında, izogeometrik analiz ve yüksek mertebe kayma deformasyon teorisi kapsamında çok tabakalı plakların statik ve serbest titreşim davranışları incelenmiştir. Yüksek mertebeden terimli plak modeli hem kayma deformasyon etkilerini hem de kalınlık değişimini ifade edebilmektedir. Arayüzeylerde sürekliliği ve serbest yüzeylerde serbest yüzey koşullarını sağlayan kayma gerilmesi dağılımı, sehim ve özellikle sandviç plakların doğal frekanslar daha doğru biçimde hesaplanmıştır.

Yang ve He (2018) çalışmasında, yeniden düzenlenmiş birleşmiş gerilme teorisi ve zigzag teori kapsamında yeni bir boyuta bağlı tabakalı kompozit plak modeli sunulmuştur. Tabakalı kompozit plaklar için mevcut boyuta bağlı modellerin aksine arayüzeylerdeki enine kayma gerilmelerinin süreklilik koşulunu sağlamaktadır. Sunulan teoride, süreksiz olan kayma gerilmeleri Reissner karışık varyasyonel teoreminden elde edilen yeni sürekli kayma gerilmeleri ile değiştirilmiştir. Ayrıca, bu

teorem, temel denklemleri ve söz konusu sınır koşullarını elde etmek için kullanılmıştır. Daha sonra, basit mesnetli çapraz tabakalı plakların kritik yükleri, frekansları, gerilmeler ve sehimler çalışmanın doğruluğunu teyit etmek amacıyla sayısal olarak bulunmuş ve literatürdeki uygun sonuçlarla kıyaslanmıştır.

Piezoelektrik tabakalı kompozit plakların burkulma ve serbest titreşim problemi için zigzag, indirgenmiş plak ve diğer yüksek merteye kayma deformasyon teorileri çerçevesinde plak kalınlığı boyunca parabolik, sinüs ve üstel fonksiyonlar şeklinde değişen enine kayma gerilmesi varsayımına uygun sonlu şerit yöntemi geliştirilmiştir. Enine doğrultuda plağın en kesitini dönmesi ve düzlem içi ve düzlem dışı deformasyonları ifade etmek için polinom şekil fonksiyonları kullanılmıştır. Sunulan çalışmanın doğruluğunu teyit etmek için sayısal sonuçlar çeşitli kayma deformasyon plak teorileriyle kıyaslanmıştır. Çapraz ve açılı tabakalı plakların uzunluk/kalınlık oranının ve lif yönlenme açılarının etkisi araştırılmıştır. Ayrıca, düzlem içi kuvvet ve şekildeğişmeler altında farklı elektriksel koşulların kritik burkulma yüküne etkisi de araştırılmış ve piezoelektrik tabakalı kompozit plağın doğal frekansı sayısal olarak elde edilmiştir. Ek olarak, piezoelektrik tabakasının kalınlığının, bu tabakaların yerleştirilme düzeninin ve ayrıca uzunluk/kalınlık oranının kritik burkulma yüküne etkisi araştırılmıştır (Tanzadeh ve Amoushahi, 2019).

2.6. Homojen Olmayan veya FD İzotropik ve Ortotropik Plakların Stabilitesi ve Titreşimi ile İlgili Kaynak Özetleri

Bu başlık altında homojen olmayan veya FD izotropik ve ortotropik plakların stabilite ve titreşim problemlerinin incelenmesi ile ilgili kaynak özetleri sunulmuştur.

Meziane vd (2014) çalışmasında, elastik temele oturan çeşitli sınır koşullarına sahip üstel derecelendirilmiş sandviç plakların titreşimi ve burkulması için indirgenmiş bir KDT sunulmuştur. Bu teorinin yerdeğiştirme alanı, plak kalınlığı boyunca düzlem içi yerdeğiştirmelerin doğrusal olmayan değişimlerini kapsamında oluşturulmuştur. Enine yerdeğiştirme bileşeninin eğilme ve kayma bileşenlerine ayrılmasıyla bilinmeyen sayısı azaltılmış ve dolayısıyla teori basitleştirilmiştir. Hareket denklemleri Hamilton Prensipleriyle türetilmiştir. Çeşitli üstel derecelendirilmiş sandviç plak tipi için doğal frekans ve burkulma değerleri sayısal olarak sunulmuştur.

Moradi-Dastjerdi ve Malek-Mohammadi (2016) çalışmasında, simetrik kompozit tabakalı çekirdek ve iki fonksiyonel derecelendirilmiş kaplama tabakasına sahip sandviç plakların eki eksenli basınç altındaki burkulma analizi geliştirilmiş yüksek mertebeli kayma deformasyon teorisi yardımıyla yapılmıştır. Nano kompozit kaplama

tabakaları karbon nanotüp (KNT) takviyeli nano kompozitler olup malzeme özellikleri Mori-Tanaka yaklaşımıyla belirlenmiş ve bu özelliklerin tabaka kalınlığı boyunca değişim gösterdiği varsayılmıştır. Çekirdek ve yüzey tabakalarının modellenmesinde mevcut üçüncü mertebe teorisi kullanılmıştır. Hareket denklemleri ve sınır koşulları minimum potansiyel enerji prensibiyle elde edilmiştir. İki eksenli basınca maruz basit mesnetli sandviç plağın statik analizi Navier analitik çözüm tekniğiyle yapılmıştır. KNT hacim oranı, KNT dağılımı, iki eksenli yük oranı ve geometrik boyutlar gibi parametrelerin sandviç plakların burkulma davranışına etkileri incelenmiştir.

Shen vd (2017b) çalışmasında, düzlem içi sıcaklık değişimine maruz ve elastik temele oturan grafen takviyeli kompozit (GTK) tabakalı plakların burkulma sonrası davranışı modellenmiş ve analiz edilmiştir. GTK'nin sıcaklığa bağlı malzeme özelliklerini belirlemek için mikromekanik model kullanılmıştır. Bu çalışmada, kalınlık boyunca parçalı fonksiyonel derecelendirilmiş GTK (FD-GTK) dikkate alınmıştır. FD-GTK'nin temel denklemleri plak temel etkileşimi dikkate alınarak yüksek mertebe kayma deformasyon teorisiyle modellenmiş ve termal etkiler hesaba katılmıştır. Kusurlu/kusursuz FD-GTK plaklar için burkulma sıcaklığı ve burkulma sonrası yük-deformasyon eğrilerini belirlemek için iki aşamalı bir pertürbasyon tekniği kullanılmıştır.

Shen vd (2017c) çalışmada, grafen takviyeli kompozit (GTK) tabakalı plakların burkulma sonrası davranışı modellenmiş ve analiz edilmiştir. GTK plaklar termal ortamda bulunmakta, tek eksenli basınca maruz bırakılmakta ve elastik temele oturmaktadır. Fonksiyonel derecelendirilmiş grafen takviyeli kompozitin (FD-GTK'nin) sıcaklığa bağlı malzeme özelliklerinin tabaka kalınlığı boyunca değiştiği varsayılmış ve mikromekanik model yardımıyla da belirlenmiştir. FD-GTK'nin burkulma sonrası davranışı plak temel etkileşimi dikkate alınarak yüksek mertebe kayma deformasyon teorisiyle modellenmiş ve termal etkiler hesaba katılmıştır. Burkulma yükü ve burkulma sonrası denge durumunu belirlemek için iki aşamalı bir pertürbasyon tekniği kullanılmıştır. Farklı termal ortamdaki kusurlu/kusursuz orta düzleme göre simetrik FD-GTK tabakalı plakların burkulma ve burkulma sonrası davranışları elde edilmiş ve düzgün dağılmış malzeme özelliklerine sahip GTK için elde edilen değerlerle kıyaslanmıştır.

Shen vd (2017a) çalışmasında, termal ortamda elastik temele oturan fonksiyonel derecelendirilmiş grafen takviyeli (FDGT) tabakalı kompozit plağın büyük titreşim genliği problemiyle ilgilidir. FDGT kompozitlerin sıcaklığa bağlı malzeme özelliklerinin plak kalınlığı doğrultusunda derecelendirildiği varsayılmış ve mikromekanik model yardımıyla da ifade edilmiştir. Hareket denklemleri, von-Karman

doğrusal olmayan bağıntılarını içeren yüksek mertebe kayma deformasyon teorisi çerçevesinde elde edilmiştir. Plak-temel etkileşimiyle termal etkiler de dahil edilmiştir. Daha sonra hareket denklemleri, doğrusal olmayan frekansları belirlemek için pertürbasyon tekniğiyle çözülmüştür. Takviye elemanın dağılım türünün, sıcaklık değişiminin, temel rijitliklerinin ve farklı sınır koşullarının etkileri de araştırılmıştır.

Turan vd (2017) çalışmasında, basit mesnetli homojen olmayan tabakalı kompozit plakların eğilme ve burkulma analizleri birinci mertebe ve yüksek mertebe kayma deformasyon teorisi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Basitleştirilmiş yüksek mertebe teorisi, düzlem içi dönmenin kalınlık boyunca sabit olduğunu varsaymaktadır. Temel denklemler, virtüel iş prensibiyle elde edilmiştir. Çapraz katlı kompozit plakların eğilme ve burkulma davranışları için sayısal sonuçlar sunulmuştur. Homojen olmamanın, tabakalanma düzeninin, en/boy oranının, kenar/kalınlık oranının ve ortotropinin eğilme ve burkulma tepkisine etkisi incelenmiştir.

Lei vd (2018) çalışmasında, fonksiyonel derecelendirilmiş grafen takviyeli kompozit (FD-GTK) tabakalı plakların burkulma davranışı araştırılmıştır. GTK'nin etkili malzeme özelliklerinin belirlenmesinde Halpin-Tsai modeli kullanılmıştır. Denklemler, dönel atalet ve enine kayma deformasyonları içeren birinci mertebe kayma deformasyon teorisi çerçevesinde türetilmiştir. Sınır sıcaklığı, grafen dağılımı, plak en/boy ve boy/kalınlık oranları ile tabaka sayısı gibi parametrelerin etkileri incelenmiştir.

Tabakalı kompozit ve fonksiyonel derecelendirilmiş kompozit halka şekilli plakların serbest titreşim analizi araştırılmıştır. Halka şekilli plakların hareket denklemleri koni kabuk denklemleri kullanılarak elde edilmiştir. Kabuk hareket denklemleri için kayma deformasyon teorisi kullanılmıştır. Düzenlenmiş Shannon delta yönteminin ve Lagrange delta dizi yönteminin uygulanmasının ardından frekans değerlerini elde etmek amacıyla temel denklemlerin sayısal çözümleri için ayrık tekil konvolüsyon yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmanın doğruluğu literatürdeki uygun sonuçlarla kıyaslanarak teyit edilmiştir. İzotropik, tabakalı kompozit ve fonksiyonel derecelendirilmiş halka şekilli plaklar ve koni kabukların bazı parametrik sonuçları elde edilmiştir (Mercan vd, 2018).

Nguyen-Quang vd (2018) çalışmasında, piezoelektrik katmanlara sahip tabakalı karbon nanotüp takviyeli kompozit (KNTTK) plakların dinamik tepkisi için genişletilmiş izogeometrik yaklaşım sunulmuştur. Yerdeğiştirme alanı düzgün olmayan dönel B-spline temel fonksiyonları kapsamındaki formülasyonu içeren yüksek mertebe kayma deformasyon teorisi çerçevesinde oluşturulmuştur. Tek cidarlı nanotüplerin kalınlık

doğrultusunda düzgün dağılmış ve fonksiyonel derecelendirilmiş olduğu varsayılmıştır. KNTTK plakların malzeme özellikleri karışım kurallarına göre ifade edilirken, elektrik potansiyelinin her bir piezoelektrik tabakanın kalınlığı boyunca doğrusal bir fonksiyon olduğu varsayılmıştır. Çalışma literatürdeki uygun sonuçlarla kıyaslanarak doğrulanmıştır.

2.7. KDT'lerin Matematiksel Modellenmesi ile İlgili Kaynak Özetleri

Bu başlık altında, KDT'lerin modellenmesiyle ilgili bazı kaynak özetleri sunulmuştur.

Ambartsumian (1958) çalışmasında, plakta meydana gelen enine kayma gerilmelerinin serbest yüzey gerilme koşullarını sağlayacak yeni bir kayma deformasyon şekil fonksiyonu sunulmuştur.

Reissner (1974) çalışmasında, homojen izotropik plakların enine kayma deformasyon etkilerini içeren eğilme problemi ele alınmıştır. Problem 2B plak teorisiyle incelenirken aynı zamanda 3B çözüm için de bazı ek bilgiler sunulmuştur. Bu ek bilginin önemi, dairesel delikli sonsuz plağın eğilme problemi örneğinde gösterilmiştir.

Tabakalı kompozit plaklar için yüksek mertebe kayma deformasyon teorisi ele alınmıştır. Teori, birinci mertebe kayma deformasyon teorisindeki aynı sayıda bilinmeyen içerirken plak kalınlığı boyunca kayma gerilmelerinin parabolik dağılımını sağlamaktadır. Simetrik çapraz tabakalı plakların tam kapalı-form çözümü elde edilmiş ve sonuçlar 3B elastisite teorisi ve birinci mertebe kayma deformasyon teorisi çözümleri ile kıyaslanmıştır (Reddy, 1984).

Plağın üst ve alt yüzeylerinde kosinüs kayma gerilmesi dağılımını ve kayma gerilmesi için serbest sınır koşullarını sağlayan yeni bir standart plak teorisi sunulmuştur. Teori, BMKDT ile aynı karmaşıklık derecesine sahip olmasına rağmen kayma düzeltme faktörüne ihtiyaç duyulmamasından ötürü BMKDT'den ve literatürdeki diğer indirgenmiş plak teorilerinden daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Teori, kaymanın belirli bir sinüs fonksiyonuyla ifade edildiği kinematik yaklaşıma dayandırılmış. Sunulan teorinin doğruluğunu göstermek için tüm kenarlarından basit mesnetli üç tabakalı simetrik çapraz katlı dikdörtgen veya kare plakların eğilme, sönümlenmemiş serbest titreşim ve burkulma analizleri; dikdörtgen plağın burulması gibi parametrik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar 3B çözümleriyle karşılaştırılmıştır (Touratier, 1991).

Homojen monoklinik doğrusal elastik bir malzemeden meydana gelen plağın kayma deformasyon etkilerini içeren 2B bir teori sunulmuştur. Teori, Lagrange yöntemiyle birlikte Hamilton prensibiyle geliştirilmiştir. Kalınlık boyunca simetrik enine kayma deformasyon dağılımı dikkate alınmıştır. Özel ortotropik bir plağın eğilme problemi için beş serbestlik dereceli teorinin temel denklemleri çözülmüş ve üç farklı kayma deformasyon için sayısal sonuçlar elde edilmiş ve literatürdeki uygun sonuçlarla kıyaslanmıştır (Soldatos, 1992).

Karama vd (2003) çalışmasında, çok tabakalı kompozit yapıların mekanik davranışını belirlemek için yeni birçok tabakalı kompozit yapı modeli sunulmuştur. Örnek olarak, (90/0/0/90) kompozit kirişin mekanik davranışı statik ve dinamik açıdan incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar SEY çözümleriyle kıyaslanmış ve sunulan modelin eskilerine nazaran daha doğru olduğu sonucuna varılmıştır. Denge denklemleri virtüel iş prensibiyle türetilmiştir. Yeni modeli doğrulamak için eğilme, burkulma ve serbest titreşim problemlerinin farklı tipleri dikkate alınmıştır.

Aydogdu (2009) çalışmasında, yeni bir yüksek mertebe kayma deformasyon tabakalı kompozit plak teorisi sunulmuştur. Teori, tersine metot kullanılarak 3B elastisite çözümlerinden elde edilmiştir. Sunulan teori, plak alt ve üst yüzeylerinde gerilme sınır koşullarını karşılamaktadır. Bu teorinin mevcut beş serbestlik dereceli kayma deformasyon teorilerine göre 3B elastisite çözümleri açısından daha doğru sonuçlar verdiği görülmüştür.

Thai ve Choi (2013a) çalışmasında, tabakalı kompozit plaklar için basit bir BMKDT sunulmuştur. Sunulan teori, mevcut BMKDT'nin aksine sadece dört bilinmeyen içermekte ve aynı zamanda hareket denklemleri, gerilme ifadeleri ve sınır koşulları gibi birçok açıdan KPT ile benzerlikler içermektedir. Hareket denklemleri Hamilton Prensibiyle türetilmiştir. Basit mesnetli asimetrik çapraz katlı ve açılı katlı tabakaların analitik çözümleri elde edilmiş ve sonuçlar 3B çözümleri ve diğer plak teorileriyle kıyaslanmıştır.

İzotropik, FD, sandviç ve tabakalı kompozit plakların eğilme ve serbest titreşim problemlerine uygulanabilir yeni bir hiperbolik kayma deformasyon teorisi sunulmuştur. Bu teori, beş serbestlik derecesine sahiptir ve kalınlık boyunca parabolik enine kayma deformasyonu sağladığı için kayma düzeltme faktörüne ihtiyaç duymamaktadır. Aynı zamanda, plağın alt ve üst yüzeylerinde serbest yüzey sınır koşulları karşılanmaktadır. Temel denklemler Hamilton prensibiyle ve kapalı form çözümü ise Navier tekniğiyle elde edilmiştir. Sunulan teorinin doğruluğu literatürdeki uygun verilerle kıyaslanarak teyit edilmiştir (Mahi ve Tounsi, 2015).

Shi vd (2018) çalışmasında, tabakalı plakların statik, serbest titreşim ve burkulma analizi için yeni bir hiperbolik tanjant kayma deformasyon teorisi (HTKDT) sunulmuştur. Bu teoride, kayma düzeltme faktörüne ihtiyaç duyulmaksızın plağın alt ve üst yüzeylerindeki serbest yüzey şartları sağlanmaktadır. Daha sonra, tabakalı kompozit plakların statik, serbest titreşim ve burkulma analizinin denklemleri HTKDT ile türetilmiş ve izogeometrik analiz yardımıyla sayısal olarak çözülmüştür. Çalışma literatürdeki uygun değerlerle kıyaslanarak doğrulanmıştır.

2.8. Literatürde Bulunan ve Tez Çalışmasında Kullanılan Bazı Kitap ve Tezler

Bu başlık altında, literatür araştırmalarında sıkça karşılaşılan bazı kitapların ve tez çalışmalarındaki karşılaştırmalarda kullanılan bazı tezlerin özetleri sunulmuştur.

Reddy (2004) kitabı on üç bölümden oluşmuştur. Bölüm 1-3'de, bazı matematiksel hatırlatmalar ile anizotropik elastisite denklemleri, virtüel iş prensibi ve varyasyonel yöntemler sunulmuştur. Bölüm 4'de, kompozit malzemeler hakkında genel bilgiler verilmiş ve tabakalara ait temel denklemler ile gerilme-şekildeğiştirme ifadeleri elde edilmiştir. Bölüm 5'de, KTPT'ye ve BMKDT'ye ait hareket denklemleri sunulmuş ve seçilen tabakaların tabaka rijitlik özellikleri vurgulanmıştır. Bölüm 6, silindirik eğilme altındaki tabakalı kirişlere ve plak şeritlere bu teorilerin uygulanmasını içermektedir. Bölüm 7, özel ortotropik dikdörtgen tabakaların KTPT ile analiz edilmesiyle ilgilidir. Bölüm 8 ve 9'da sırasıyla KTPT ve BMKDT için dikdörtgen tabakaların eğilme, burkulma, doğal titreşim ve geçici tepki problemleri için, Navier ve Levy yaklaşımlarını temel alan analitik çözümler sunulmuştur. Bölüm 10, kompozit plakların sonlu eleman yöntemi (SEY) analizi ile ilgili olup, hem tek boyutlu (kiriş ve plak şeritleri için) hem de iki boyutlu (plaklar için), KTPT'yi ve BMKDT'yi temel alan sonlu eleman modelleri ve sayısal örnekleri sunulmuştur. Bölüm 11-12, sırasıyla yüksek mertebeden (üçüncü mertebe) tabaka teorilerine ve layerwise teorisine (LT) ayrılmıştır. Son olarak bölüm 13'de kompozit tabakaların geometrik doğrusal olmayan analizi dikkate alınmıştır.

Tabakalı kompozitler çok eski zamanlardan beri birçok mühendislik yapısında kullanılmıştır. Malzeme teknolojisindeki son gelişmelerle birlikte gelişmiş özelliklere sahip yeni kompozitler üretilmiştir. Kompozit malzemeler binalar, tekne gövdeleri, yarış arabası gövdeleri ve depolama tankları gibi birçok mühendislik alanında kullanılmaktadır. Kompozitler ihtiyaca göre çekme ve basınç yüklerini taşıyabilecek kapasitededir. İnce yapıları olmalarından dolayı basınç yükü altında burkulabileceği bilinen bir durumdur. Bundan dolayı kritik yükün belirlenebilmesi için laboratuvar ölçekli

bir burkulma test cihazı geliştirilmiştir. Buna ek olarak ANSYS'te bir simülasyon gerçekleştirilmiştir. Farklı parametreler için elde edilen sonuçlar detaylı olarak incelenmiştir (Sahu, 2014).

Kaplan (2015) çalışmasında, basınç yüküne maruz Winkler elastik temeline oturan homojen olmayan ortotropik dikdörtgen plağın stabilite problemi KDT kapsamında incelenmiştir. Söz konusu plağın tüm kenarlarından basit mesnetli olduğu varsayılmış ve stabilite temel denklemleri KDT kullanılarak türetilmiştir. Bu denklemler sınır koşulları dikkate alınarak KDT ve KPT kapsamında çözülmüştür. Kritik yük değerleri bulmak için elde edilen ifadeler dalga sayılarına göre minimize edilmiştir. Elde edilen ifadeler kullanılarak, homojen ve homojen olmayan, elastik temele oturan ve oturmayan ortotropik plaklar için sonuçlar özel olarak elde edilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar literatürdeki uygun sonuçlarla kıyaslanarak doğruluğu teyit edilmiştir. Son olarak kapsamlı bir parametrik çalışma gerçekleştirilmiştir.

Shen (2016) kitabında, yeni endüstriyel alanların ve modern işlemlerin gelişimiyle birlikte fonksiyonel derecelendirilmiş malzeme (FDM) olarak adlandırılan yeni bir tür kompozit malzemenin literatüre kazandırılmasıyla yapıların termal ortamlarda hizmet etmesine olanak sağlanmıştır. FDM'ler başlangıçta, havacılık yapılarının uygulamaları ve füzyon reaktörleri için ısı engelleme malzemesi olarak tasarlanmıştır. Günümüzde ise, son derece yüksek termal ortamlardaki yapısal bileşenler gibi genel kullanım için geliştirilmektedir. Termal ve mekanik yüklere maruz FD plak ve kabukların davranışını belirleyebilme, yapısal analizin başlıca ilgi alanını oluşturmaktadır. Aslında birçok yapı, büyük yerdeğiştirmelerden dolayı doğrusal olmayan yük-deformasyon bağıntılarına neden olan yüksek yük değerlerine maruz kalmaktadır. Özel dikkat gerektiren en önemli problemlerden birisi de bu yapıların doğrusal olmayan titreşimi ve doğrusal olmayan burkulma sonrası tepkisidir. Bölüm 1'de, FD malzemelerin ve yapıların modellenmesiyle ilgili genel bilgiler verilmiş ve von Karman tipi geometrik doğrusal olmama durumu çerçevesinde FD plakların temel denklemleri türetilmiştir. Bölüm 2'de, enine statik yük veya ısı iletimi etkisindeki FD plakların geometrik doğrusal olmayan eğilmesi sunulmuştur. Bölüm 3'de, termal, elektriksel ve mekanik yüklere maruz bırakılmış FD plakların burkulma sonrası davranışı detaylı olarak ele alınmıştır. Bölüm 4'de, FD plakların piezoelektrik uyarıcılara sahip olması ve olmaması durumlarında doğrusal olmayan titreşimleri sunulmuştur. Son olarak Bölüm 5'de, çeşitli yüklemeler altında FD silindirik kabukların burkulma sonrası analizi ele alınmıştır. Bu kitapta, literatürde mevcut olan birçok çalışma sunulmuştur. Burada sunulan sonuçlar, gelecekteki çalışmalara referans olacak niteliktedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. KDPT Kullanılarak Homojen Olmayan Ortotropik Tabakalı Kompozit Plakların Gerilme-Şekildeğiştirme Bağıntılarının Oluşturulması

KPT'den farklı olarak, KDPT kavramı deformasyondan önce plak orta düzlemine dik olan kesitlerin deformasyona uğradıktan sonra dik kalmadığı ve açısıl bir deformasyona uğradığı varsayımına dayanmaktadır. Dolayısıyla, bu açısıl deformasyonu meydana getiren enine kayma gerilmeleri σ_{xz} ve σ_{yz} KPT'ye ilave edilmelidir. Buna bağlı olarak, kayma deformasyon plak teorisi çerçevesinde k . homojen olmayan ortotropik kompozit tabakanın gerilme-deformasyon bağıntısı (Meziane vd, 2014; Turan vd, 2017):

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{yz} \\ \sigma_{xz} \\ \sigma_{xy} \end{Bmatrix}^{(k)} = \begin{bmatrix} \bar{q}_{11} & \bar{q}_{12} & 0 & 0 & \bar{q}_{16} \\ \bar{q}_{21} & \bar{q}_{22} & 0 & 0 & \bar{q}_{26} \\ 0 & 0 & \bar{q}_{44} & \bar{q}_{45} & 0 \\ 0 & 0 & \bar{q}_{45} & \bar{q}_{55} & 0 \\ \bar{q}_{16} & \bar{q}_{26} & 0 & 0 & \bar{q}_{66} \end{bmatrix}^{(k)} \begin{Bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{xy} \end{Bmatrix}^{(k)} \quad (3.1)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Burada, $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ sembolleri tabakalı plağın orta düzlemi üzerinde olmayan herhangi bir noktasında x ve y doğrultularındaki deformasyon bileşenlerini; $\varepsilon_{xz}, \varepsilon_{yz}, \varepsilon_{xy}$ sembolleri sırasıyla xz, yz, xy düzlemlerindeki açısıl ya da kayma deformasyon bileşenlerini; $\bar{q}_{ij}^{(k)}$ ($i, j=1, 2, \dots, 6$) sembolleri dönüşmüş malzeme özellikleri olup aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Thai ve Choi, 2013a, 2013b; Turan vd, 2017):

$$T \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & 0 & 0 & q_{16} \\ q_{12} & q_{22} & 0 & 0 & q_{26} \\ 0 & 0 & q_{44} & q_{45} & 0 \\ 0 & 0 & q_{45} & q_{55} & 0 \\ q_{16} & q_{26} & 0 & 0 & q_{66} \end{bmatrix}^{(k)} T^T, \quad (3.2)$$

$$T = \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & \sin^2 \theta & 0 & 0 & -2 \sin \theta \cos \theta \\ \sin^2 \theta & \cos^2 \theta & 0 & 0 & 2 \sin \theta \cos \theta \\ 0 & 0 & \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ 0 & 0 & -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ \sin \theta \cos \theta & -\sin \theta \cos \theta & 0 & 0 & \cos^2 \theta - \sin^2 \theta \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

Burada, θ açısı global ve lokal x eksenleri arasındaki açıdır. $q_{ij}^{(k)}$ ($i, j = 1, 2, \dots, 6$) ise k . homojen olmayan ortotropik tabakanın malzeme özellikleri olup aşağıdaki biçimde ifade edilmektedir:

$$\begin{aligned} q_{11}^{(k)}(Z) &= \frac{E_{11}^{(k)}(Z)}{1 - \nu_{12}^{(k)} \nu_{21}^{(k)}}, \quad q_{12}^{(k)}(Z) = \frac{\nu_{12}^{(k)} E_{22}^{(k)}(Z)}{1 - \nu_{12}^{(k)} \nu_{21}^{(k)}}, \quad q_{21}^{(k)}(Z) = \frac{\nu_{21}^{(k)} E_{11}^{(k)}(Z)}{1 - \nu_{12}^{(k)} \nu_{21}^{(k)}}, \\ q_{22}^{(k)}(Z) &= \frac{E_{22}^{(k)}(Z)}{1 - \nu_{12}^{(k)} \nu_{21}^{(k)}}, \quad q_{44}^{(k)}(Z) = G_{23}^{(k)}(Z), \quad q_{55}^{(k)}(Z) = G_{13}^{(k)}(Z), \\ q_{66}^{(k)}(Z) &= G_{12}^{(k)}(Z), \quad k = 1, 2, \dots, N_T \end{aligned} \quad (3.4)$$

Burada, ν_{12} ve ν_{21} sembolleri homojen olmayan ortotropik tabakalı kompozit plağı meydana getiren malzemenin Poisson oranları olup, kalınlık koordinatına göre değişiminin etkisi az olduğundan sabit kabul edilmekte ve $\nu_{12} E_{22}(Z) = \nu_{21} E_{11}(Z)$ koşulunun sağlandığı varsayılmaktadır.

KPT ve bazı KDPT'de orta düzleme dik olan normalerin kalınlık boyunca uzamadığı yani plağın kalınlığının değişmediği varsayılmıştır. Bu durumda;

$$\varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial Z} = 0, \quad w = w(x, y) \quad (3.5)$$

olmaktadır. (3.5) ifadesinden de görüldüğü gibi, orta düzleme dik olan normalin üzerindeki her bir noktanın yerdeğiştirmesi, orta düzlemin uygun noktasının w yerdeğiştirmesine (çökmesine) eşit olmaktadır.

KDPT kapsamında, ortotropik tabakalı kompozit plağın orta düzlemi üzerinde olmayan bir noktanın deformasyonları ile orta düzlemdeki deformasyonlar, eğrilikler ve enine kayma deformasyonları arasında aşağıdaki bağıntılar oluşturulabilir:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u_0}{\partial x} \\ \frac{\partial v_0}{\partial y} \\ \frac{\partial u_0}{\partial y} + \frac{\partial v_0}{\partial x} \end{Bmatrix} + Z \begin{Bmatrix} k_2 \frac{\partial \phi_x}{\partial x} - k_1 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ k_2 \frac{\partial \phi_y}{\partial y} - k_1 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ k_2 \left(\frac{\partial \phi_x}{\partial y} + \frac{\partial \phi_y}{\partial x} \right) - 2k_1 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{Bmatrix} + f(Z) \begin{Bmatrix} k_3 \frac{\partial \phi_x}{\partial x} \\ k_3 \frac{\partial \phi_y}{\partial y} \\ k_3 \left(\frac{\partial \phi_x}{\partial y} + \frac{\partial \phi_y}{\partial x} \right) \end{Bmatrix} \quad (3.6)$$

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yz} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} (1-k_1) \frac{\partial w}{\partial x} + k_2 \phi_x \\ (1-k_1) \frac{\partial w}{\partial y} + k_2 \phi_y \end{Bmatrix} + \frac{df(Z)}{dz} \begin{Bmatrix} k_3 \phi_x \\ k_3 \phi_y \end{Bmatrix}$$

Burada, $\frac{\partial u_0}{\partial x}$ ve $\frac{\partial v_0}{\partial y}$ terimleri kompozit plağın orta düzlemindeki sırasıyla x ve y eksenleri doğrultusundaki deformasyon bileşenlerini, $\frac{\partial u_0}{\partial y} + \frac{\partial v_0}{\partial x}$ terimi ise kompozit plağın orta düzlemindeki kayma deformasyon bileşenlerini, ϕ_x y eksen etrafındaki açılmalarda yer değiştirmeyi, ϕ_y x eksen etrafındaki yer değiştirmeyi göstermektedir. Ayrıca, $f(Z)$ terimi plak kalınlığı boyunca enine kayma deformasyonu ile kayma gerilmesi dağılımlarını belirten şekil fonksiyonu olup daha açık ifadesi ileriki bölümlerde ifade edilecektir. Ek olarak, k_1 , k_2 ve k_3 terimleri değişkenler olup $k_1=1, k_2=k_3=0$ olduğunda KPT, $k_2=1, k_1=k_3=0$ olduğunda BMKDPT ve $k_1=k_3=1, k_2=0$ olduğunda ise YMKDPT geçerli olmaktadır.

(3.6) ifadesi (3.1) bağıntısında yerine yazıldığında aşağıdaki bağıntılar elde edilmektedir:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{xz} \\ \sigma_{yz} \end{Bmatrix}^{(k)} = \begin{bmatrix} \bar{q}_{55} & 0 \\ 0 & \bar{q}_{44} \end{bmatrix}^{(k)} \begin{Bmatrix} (1-k_1) \frac{\partial w}{\partial x} + k_2 \phi_x \\ (1-k_1) \frac{\partial w}{\partial y} + k_2 \phi_y \end{Bmatrix} + \frac{df(Z)}{dz} \begin{bmatrix} \bar{q}_{55} & 0 \\ 0 & \bar{q}_{44} \end{bmatrix}^{(k)} \begin{Bmatrix} k_3 \phi_x \\ k_3 \phi_y \end{Bmatrix} \quad (3.7a)$$

$$\begin{aligned}
\begin{Bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{xy} \end{Bmatrix}^{(k)} &= \begin{bmatrix} \bar{q}_{11} & \bar{q}_{12} & 0 \\ \bar{q}_{21} & \bar{q}_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \bar{q}_{66} \end{bmatrix}^{(k)} \begin{Bmatrix} \frac{\partial u_0}{\partial x} \\ \frac{\partial v_0}{\partial y} \\ \frac{\partial u_0}{\partial y} + \frac{\partial v_0}{\partial x} \end{Bmatrix} \\
&+ Z \begin{bmatrix} \bar{q}_{11} & \bar{q}_{12} & 0 \\ \bar{q}_{21} & \bar{q}_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \bar{q}_{66} \end{bmatrix}^{(k)} \begin{Bmatrix} k_2 \frac{\partial \phi_x}{\partial x} - k_1 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ k_2 \frac{\partial \phi_y}{\partial y} - k_1 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ k_2 \left(\frac{\partial \phi_x}{\partial y} + \frac{\partial \phi_y}{\partial x} \right) - 2k_1 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{Bmatrix} \\
&+ f(Z) \begin{bmatrix} \bar{q}_{11} & \bar{q}_{12} & 0 \\ \bar{q}_{21} & \bar{q}_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \bar{q}_{66} \end{bmatrix}^{(k)} \begin{Bmatrix} k_3 \frac{\partial \phi_x}{\partial x} \\ k_3 \frac{\partial \phi_y}{\partial y} \\ k_3 \left(\frac{\partial \phi_x}{\partial y} + \frac{\partial \phi_y}{\partial x} \right) \end{Bmatrix}
\end{aligned} \tag{3.7b}$$

3.2. KDPT Kullanılarak Homojen Olmayan Ortotropik Tabakalı Kompozit Plakların Kuvvet ve Moment Bileşenlerinin Bulunması

Homojen olmayan ortotropik tabakalı kompozit plakların KDPT çerçevesinde kuvvet ve moment bileşenlerini bulmak için KPT'den yararlanılabilir. Yani KPT'deki tabakalı kompozit plaklar için geçerli kuvvet bileşenlerine σ_{xz} ve σ_{yz} gerilmelerinden meydana gelen Q_x ve Q_y kesme kuvveti terimleri de eklenmelidir. Bu da bu çalışmadaki probleme uygun olacak biçimde;

$$\begin{aligned}
(N_{xx}, N_{yy}, N_{xy}, M_{xx}, M_{yy}, M_{xy}) &= \sum_{k=1}^{N_T} \int_{Z_{k-1}}^{Z_k} (\sigma_{xx}^{(k)}, \sigma_{yy}^{(k)}, \sigma_{xy}^{(k)}, z \sigma_{xx}^{(k)}, z \sigma_{yy}^{(k)}, z \sigma_{xy}^{(k)}) dz, \\
(P_{xx}, P_{yy}, P_{xy}) &= \sum_{k=1}^{N_T} \int_{Z_{k-1}}^{Z_k} (\sigma_{xx}^{(k)}, \sigma_{yy}^{(k)}, \sigma_{xy}^{(k)}) f(Z) dz \\
(Q_{xz}, Q_{yz}, R_{xz}, R_{yz}) &= \sum_{k=1}^{N_T} \int_{Z_{k-1}}^{Z_k} \left(\sigma_{xz}^{(k)}, \sigma_{yz}^{(k)}, \frac{df(Z)}{dz} \sigma_{xz}^{(k)}, \frac{df(Z)}{dz} \sigma_{yz}^{(k)} \right) dz,
\end{aligned} \tag{3.8}$$

şeklinde elde edilmektedir. Burada, N, M, Q kuvvet ve moment bileşenleri ve P, R ise yüksek mertebeden kuvvet bileşenleridir. (3.7) ifadeleri (3.8) bağıntısında yerine yazıldığında kuvvet ve moment bileşenleri aşağıdaki gibi elde edilmektedir:

$$\begin{Bmatrix} N_{xx} \\ N_{yy} \\ N_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11}^0 & A_{12}^0 & 0 \\ A_{21}^0 & A_{22}^0 & 0 \\ 0 & 0 & A_{66}^0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial u_0}{\partial x} \\ \frac{\partial v_0}{\partial y} \\ \frac{\partial u_0}{\partial y} + \frac{\partial v_0}{\partial x} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} A_{11}^1 & A_{12}^1 & 0 \\ A_{21}^1 & A_{22}^1 & 0 \\ 0 & 0 & A_{66}^1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} k_2 \frac{\partial \phi_x}{\partial x} - k_1 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ k_2 \frac{\partial \phi_y}{\partial y} - k_1 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ k_2 \left(\frac{\partial \phi_x}{\partial y} + \frac{\partial \phi_y}{\partial x} \right) - 2k_1 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{11}^0 & B_{12}^0 & 0 \\ B_{21}^0 & B_{22}^0 & 0 \\ 0 & 0 & B_{66}^0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} k_3 \frac{\partial \phi_x}{\partial x} \\ k_3 \frac{\partial \phi_y}{\partial y} \\ k_3 \left(\frac{\partial \phi_x}{\partial y} + \frac{\partial \phi_y}{\partial x} \right) \end{Bmatrix} \quad (3.9a)$$

$$\begin{Bmatrix} M_{xx} \\ M_{yy} \\ M_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11}^1 & A_{12}^1 & 0 \\ A_{21}^1 & A_{22}^1 & 0 \\ 0 & 0 & A_{66}^1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial u_0}{\partial x} \\ \frac{\partial v_0}{\partial y} \\ \frac{\partial u_0}{\partial y} + \frac{\partial v_0}{\partial x} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} A_{11}^2 & A_{12}^2 & 0 \\ A_{21}^2 & A_{22}^2 & 0 \\ 0 & 0 & A_{66}^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} k_2 \frac{\partial \phi_x}{\partial x} - k_1 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ k_2 \frac{\partial \phi_y}{\partial y} - k_1 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ k_2 \left(\frac{\partial \phi_x}{\partial y} + \frac{\partial \phi_y}{\partial x} \right) - 2k_1 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{11}^1 & B_{12}^1 & 0 \\ B_{21}^1 & B_{22}^1 & 0 \\ 0 & 0 & B_{66}^1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} k_3 \frac{\partial \phi_x}{\partial x} \\ k_3 \frac{\partial \phi_y}{\partial y} \\ k_3 \left(\frac{\partial \phi_x}{\partial y} + \frac{\partial \phi_y}{\partial x} \right) \end{Bmatrix} \quad (3.9b)$$

$$\begin{Bmatrix} Q_{xz} \\ Q_{yz} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{55}^0 & 0 \\ 0 & A_{44}^0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} (1-k_1) \frac{\partial w}{\partial x} + K_d k_2 \phi_x \\ (1-k_1) \frac{\partial w}{\partial y} + K_d k_2 \phi_y \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} A_{55}^1 & 0 \\ 0 & A_{44}^1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} k_3 \phi_x \\ k_3 \phi_y \end{Bmatrix} \quad (3.9c)$$

$$\begin{Bmatrix} R_{xz} \\ R_{yz} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{55}^1 & 0 \\ 0 & A_{44}^1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} (1-k_1) \frac{\partial w}{\partial x} + k_2 \phi_x \\ (1-k_1) \frac{\partial w}{\partial y} + k_2 \phi_y \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} A_{55}^2 & 0 \\ 0 & A_{44}^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} k_3 \phi_x \\ k_3 \phi_y \end{Bmatrix} \quad (3.9d)$$

$$\begin{Bmatrix} P_{xx} \\ P_{yy} \\ P_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11}^0 & B_{12}^0 & 0 \\ B_{21}^0 & B_{22}^0 & 0 \\ 0 & 0 & B_{66}^0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial u_0}{\partial x} \\ \frac{\partial v_0}{\partial y} \\ \frac{\partial u_0}{\partial y} + \frac{\partial v_0}{\partial x} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{11}^1 & B_{12}^1 & 0 \\ B_{21}^1 & B_{22}^1 & 0 \\ 0 & 0 & B_{66}^1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} k_2 \frac{\partial \phi_x}{\partial x} - k_1 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ k_2 \frac{\partial \phi_y}{\partial y} - k_1 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ k_2 \left(\frac{\partial \phi_x}{\partial y} + \frac{\partial \phi_y}{\partial x} \right) - 2k_1 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{11}^2 & B_{12}^2 & 0 \\ B_{21}^2 & B_{22}^2 & 0 \\ 0 & 0 & B_{66}^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} k_3 \frac{\partial \phi_x}{\partial x} \\ k_3 \frac{\partial \phi_y}{\partial y} \\ k_3 \left(\frac{\partial \phi_x}{\partial y} + \frac{\partial \phi_y}{\partial x} \right) \end{Bmatrix} \quad (3.9e)$$

Burada şu tanımlar geçerlidir:

$$\begin{Bmatrix} A_{11}^s \\ A_{12}^s \\ A_{21}^s \\ A_{22}^s \end{Bmatrix} = \sum_{k=1}^{N_T} \int_{Z_{k-1}}^{Z_k} \frac{Z^s}{1 - \nu_{12}^{(k)} \nu_{21}^{(k)}} \begin{Bmatrix} E_{11}^{(k)}(Z) \\ \nu_{12}^{(k)} E_{22}^{(k)}(Z) \\ \nu_{21}^{(k)} E_{11}^{(k)}(Z) \\ E_{22}^{(k)}(Z) \end{Bmatrix} dz$$

$$\begin{Bmatrix} A_{44}^s \\ A_{55}^s \\ A_{66}^s \\ B_{66}^s \end{Bmatrix} = \sum_{k=1}^{N_T} \int_{Z_{k-1}}^{Z_k} \begin{Bmatrix} G_{13}^{(k)}(Z) \left[\frac{df(Z)}{dz} \right]^s \\ G_{23}^{(k)}(Z) \left[\frac{df(Z)}{dz} \right]^s \\ G_{12}^{(k)}(Z) Z^s \\ G_{12}^{(k)}(Z) Z^{(2s-s^2)} f(Z)^{0.5(s^2-s+2)} \end{Bmatrix} dz \quad (3.10)$$

$$\begin{Bmatrix} B_{11}^s \\ B_{12}^s \\ B_{21}^s \\ B_{22}^s \end{Bmatrix} = \sum_{k=1}^{N_T} \int_{Z_{k-1}}^{Z_k} \frac{Z^{(2s-s^2)} f(Z)^{0.5(s^2-s+2)}}{1 - \nu_{12}^{(k)} \nu_{21}^{(k)}} \begin{Bmatrix} E_{11}^{(k)}(Z) \\ \nu_{12}^{(k)} E_{22}^{(k)}(Z) \\ \nu_{21}^{(k)} E_{11}^{(k)}(Z) \\ E_{22}^{(k)}(Z) \end{Bmatrix} dz, \quad s = 0, 1, 2$$

Ayrıca, K_d terimi birinci mertebe kayma deformasyon teorisi için geçerli kayma düzeltme faktörü olup sayısal değeri ileriki bölümlerde ifade edilecektir.

3.3. Temel Denklemlerin Elde Edilmesi

Homojen olmayan ortotropik tabakalı kompozit plakların stabilite denklemlerinin elde edilmesinde virtüel iş prensibinden yararlanılabilir. Buna bağlı olarak, virtüel iş ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\begin{aligned}
 \int_A \left[N_{xx} \frac{\partial \delta u_0}{\partial x} + N_{yy} \frac{\partial \delta v_0}{\partial y} + N_{xy} \left(\frac{\partial \delta u_0}{\partial y} + \frac{\partial \delta v_0}{\partial x} \right) + M_{xx} \left(k_2 \frac{\partial \delta \phi_x}{\partial x} - k_1 \frac{\partial^2 \delta w}{\partial x^2} \right) \right. \\
 + M_{yy} \left(k_2 \frac{\partial \delta \phi_y}{\partial y} - k_1 \frac{\partial^2 \delta w}{\partial y^2} \right) + M_{xy} \left(k_2 \left(\frac{\partial \delta \phi_x}{\partial y} + \frac{\partial \delta \phi_y}{\partial x} \right) - 2k_1 \frac{\partial^2 \delta w}{\partial x \partial y} \right) \\
 + P_{xx} \left(k_3 \frac{\partial \delta \phi_x}{\partial x} \right) + P_{yy} \left(k_3 \frac{\partial \delta \phi_y}{\partial y} \right) + P_{xy} \left(k_3 \left(\frac{\partial \delta \phi_x}{\partial y} + \frac{\partial \delta \phi_y}{\partial x} \right) \right) \\
 + Q_{xz} \left((1-k_1) \frac{\partial \delta w}{\partial x} + k_2 \delta \phi_x \right) + Q_{yz} \left((1-k_1) \frac{\partial \delta w}{\partial y} + k_2 \delta \phi_y \right) \\
 \left. + R_{xz} (k_3 \delta \phi_x) + R_{yz} (k_3 \delta \phi_y) - \left(\bar{n}_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \bar{n}_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + 2\bar{n}_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right) \delta w \right] dA = 0
 \end{aligned} \quad (3.11)$$

Burada, $\bar{n}_x$, $\bar{n}_y$, $\bar{n}_{xy}$ sırasıyla x -ekseni, y -ekseni doğrultusunda ve xy -düzleminde uygulanan basınç yükleridir. (3.11) ifadesinin yerdeğiştirme bileşenleri cinsinden kısmi integrallerinin alınması sonucunda aşağıdaki bağıntılar elde edilmektedir:

$$\delta u_0 : \frac{\partial N_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial N_{xy}}{\partial y} = 0 \quad (3.12a)$$

$$\delta v_0 : \frac{\partial N_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial N_{yy}}{\partial y} = 0 \quad (3.12b)$$

$$\delta w : \frac{\partial^2 \bar{M}_{xx}}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 \bar{M}_{xy}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 \bar{M}_{yy}}{\partial y^2} + \frac{\partial \bar{Q}_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{Q}_{yz}}{\partial y} + \bar{n}_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + 2\bar{n}_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + \bar{n}_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0 \quad (3.12c)$$

$$\delta \phi_x : \frac{\partial \hat{M}_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \hat{M}_{xy}}{\partial y} - \hat{R}_{xz} = 0 \quad (3.12d)$$

$$\delta \phi_y : \frac{\partial \hat{M}_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \hat{M}_{yy}}{\partial y} - \hat{R}_{yz} = 0 \quad (3.12e)$$

Burada şu tanımlar geçerlidir:

$$\begin{aligned}
 (\bar{M}_{xx}, \bar{M}_{yy}, \bar{M}_{xy}) &= -k_1 (M_{xx}, M_{yy}, M_{xy}) \\
 (\bar{Q}_{xz}, \bar{Q}_{yz}) &= (1-k_1)(Q_{xz}, Q_{yz}), \quad (\hat{R}_{xz}, \hat{R}_{yz}) = k_2 (Q_{xz}, Q_{yz}) + k_3 (R_{xz}, R_{yz}) \\
 (\hat{M}_{xx}, \hat{M}_{yy}, \hat{M}_{xy}) &= k_2 (M_{xx}, M_{yy}, M_{xy}) + k_3 (P_{xx}, P_{yy}, P_{xy})
 \end{aligned} \tag{3.13}$$

(3.12) ifadelerinde, (3.13) ve (3.9) bağıntıları yerlerine yazıldığında aşağıdaki ifadeler elde edilmektedir:

$$\begin{aligned}
 &\frac{\partial^2 u_0}{\partial x^2} A_{11}^0 + \frac{\partial^2 u_0}{\partial y^2} A_{66}^0 + \frac{\partial^2 v_0}{\partial x \partial y} (A_{12}^0 + A_{66}^0) - k_1 \left[\frac{\partial^3 w}{\partial x^3} A_{11}^1 + \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial y^2} (A_{12}^1 + 2A_{66}^1) \right] \\
 &+ \frac{\partial^2 \phi_x}{\partial x^2} (k_2 A_{11}^1 + k_3 B_{11}^0) + \frac{\partial^2 \phi_y}{\partial x \partial y} [k_2 (A_{12}^1 + A_{66}^1) + k_3 (B_{12}^0 + B_{66}^0)] \\
 &+ \frac{\partial^2 \phi_x}{\partial y^2} (k_2 A_{66}^1 + k_3 B_{66}^0) = 0
 \end{aligned} \tag{3.14a}$$

$$\begin{aligned}
 &\frac{\partial^2 u_0}{\partial x \partial y} (A_{21}^0 + A_{66}^0) + \frac{\partial^2 v_0}{\partial x^2} A_{66}^0 + \frac{\partial^2 v_0}{\partial y^2} A_{22}^0 - k_1 \left[\frac{\partial^3 w}{\partial x^2 \partial y} (A_{21}^1 + 2A_{66}^1) + \frac{\partial^3 w}{\partial y^3} A_{22}^1 \right] \\
 &+ \frac{\partial^2 \phi_x}{\partial x \partial y} [k_2 (A_{21}^1 + A_{66}^1) + k_3 (B_{21}^0 + B_{66}^0)] + \frac{\partial^2 \phi_y}{\partial y^2} (k_2 A_{22}^1 + k_3 B_{22}^0) \\
 &+ \frac{\partial^2 \phi_y}{\partial x^2} (k_2 A_{66}^1 + k_3 B_{66}^0) = 0
 \end{aligned} \tag{3.14b}$$

$$\begin{aligned}
 &-k_1 \left[\frac{\partial^3 u_0}{\partial x^3} A_{11}^1 + \frac{\partial^3 u_0}{\partial x \partial y^2} (A_{21}^1 + 2A_{66}^1) + \frac{\partial^3 v_0}{\partial x^2 \partial y} (A_{12}^1 + 2A_{66}^1) + \frac{\partial^3 v_0}{\partial y^3} A_{22}^1 \right] \\
 &-k_1 \left[\frac{\partial^3 \phi_x}{\partial x^3} (k_2 A_{11}^2 + k_3 B_{11}^1) + \frac{\partial^3 \phi_x}{\partial x \partial y^2} (k_2 (A_{21}^2 + 2A_{66}^2) + k_3 (B_{21}^1 + 2B_{66}^1)) \right. \\
 &\left. + \frac{\partial^3 \phi_y}{\partial x^2 \partial y} (k_2 (A_{12}^2 + 2A_{66}^2) + k_3 (B_{12}^1 + 2B_{66}^1)) + \frac{\partial^3 \phi_y}{\partial y^3} (k_2 A_{22}^2 + k_3 B_{22}^1) \right] \\
 &+ k_1^2 \left[\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} A_{11}^2 + (A_{12}^2 + A_{21}^2 + 4A_{66}^2) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} A_{22}^2 \right] \\
 &+ (1-k_1) \left[(1-k_1) \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} A_{55}^0 + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} A_{44}^0 \right) + K_d k_2 \left(\frac{\partial \phi_x}{\partial x} A_{55}^0 + \frac{\partial \phi_y}{\partial y} A_{44}^0 \right) \right. \\
 &\left. + k_3 \left(\frac{\partial \phi_x}{\partial x} A_{55}^1 + \frac{\partial \phi_y}{\partial y} A_{44}^1 \right) \right] + \bar{n}_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + 2\bar{n}_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + \bar{n}_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0
 \end{aligned} \tag{3.14c}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial^2 u_0}{\partial x^2} (k_2 A_{11}^1 + k_3 B_{11}^0) + \frac{\partial^2 u_0}{\partial y^2} (k_2 A_{66}^1 + k_3 B_{66}^0) + \frac{\partial^2 v_0}{\partial x \partial y} \left[k_2 (A_{12}^1 + A_{66}^1) + k_3 (B_{12}^0 + B_{66}^0) \right] \\
& - k_1 \left[\frac{\partial^3 w}{\partial x^3} (k_2 A_{11}^2 + k_3 B_{11}^1) + \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial y^2} \left[k_2 (A_{12}^2 + 2A_{66}^2) + k_3 (B_{12}^1 + 2B_{66}^1) \right] \right] \\
& + (k_1 - 1) (k_2 A_{55}^0 + k_3 A_{55}^1) \frac{\partial w}{\partial x} + k_2 \left[\frac{\partial^2 \phi_x}{\partial x^2} (k_2 A_{11}^2 + k_3 B_{11}^1) + \frac{\partial^2 \phi_x}{\partial y^2} (k_2 A_{66}^2 + k_3 B_{66}^1) \right. \\
& \left. + \frac{\partial^2 \phi_y}{\partial x \partial y} \left[k_2 (A_{12}^2 + A_{66}^2) + k_3 (B_{12}^1 + B_{66}^1) \right] - \phi_x (K_d k_2 A_{55}^0 + k_3 A_{55}^1) \right] \\
& + k_3 \left[\frac{\partial^2 \phi_x}{\partial x^2} (k_2 B_{11}^1 + k_3 B_{11}^2) + \frac{\partial^2 \phi_x}{\partial y^2} (k_2 B_{66}^1 + k_3 B_{66}^2) \right. \\
& \left. + \frac{\partial^2 \phi_y}{\partial x \partial y} \left[k_2 (B_{12}^1 + B_{66}^1) + k_3 (B_{12}^2 + B_{66}^2) \right] - \phi_x (k_2 A_{55}^1 + k_3 A_{55}^2) \right] = 0
\end{aligned} \tag{3.14d}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial^2 u_0}{\partial x \partial y} \left[k_2 (A_{21}^1 + A_{66}^1) + k_3 (B_{21}^0 + B_{66}^0) \right] + \frac{\partial^2 v_0}{\partial x^2} (k_2 A_{66}^1 + k_3 B_{66}^0) + \frac{\partial^2 v_0}{\partial y^2} (k_2 A_{22}^1 + k_3 B_{22}^0) \\
& - k_1 \left[\frac{\partial^3 w}{\partial x^2 \partial y} \left[k_2 (A_{21}^2 + 2A_{66}^2) + k_3 (B_{21}^1 + 2B_{66}^1) \right] + \frac{\partial^3 w}{\partial y^3} (k_2 A_{22}^2 + k_3 B_{22}^1) \right] \\
& + (k_1 - 1) (k_2 A_{44}^0 + k_3 A_{44}^1) \frac{\partial w}{\partial y} + k_2 \left[\frac{\partial^2 \phi_y}{\partial x^2} [k_2 A_{66}^2 + k_3 B_{66}^1] + \frac{\partial^2 \phi_y}{\partial y^2} [k_2 A_{22}^2 + k_3 B_{22}^1] \right. \\
& \left. + \frac{\partial^2 \phi_x}{\partial x \partial y} \left[k_2 (A_{21}^2 + A_{66}^2) + k_3 (B_{21}^1 + B_{66}^1) \right] - \phi_y (K_d k_2 A_{44}^0 + k_3 A_{44}^1) \right] \\
& + k_3 \left[\frac{\partial^2 \phi_y}{\partial x^2} (k_2 B_{66}^1 + k_3 B_{66}^2) + \frac{\partial^2 \phi_y}{\partial y^2} (k_2 B_{22}^1 + k_3 B_{22}^2) \right. \\
& \left. + \frac{\partial^2 \phi_x}{\partial x \partial y} \left[k_2 (B_{21}^1 + B_{66}^1) + k_3 (B_{21}^2 + B_{66}^2) \right] - \phi_y (k_2 A_{44}^1 + k_3 A_{44}^2) \right] = 0
\end{aligned} \tag{3.14e}$$

Bu ifadelerden (3.14a) ve (3.14d)'yi x değişkenine göre, (3.14b) ve (3.14e)'yi ise y değişkenine göre kısmi türevlerinin alınmasıyla (3.14) denklem sistemi aşağıdaki denklem sistemine dönüşmektedir:

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial^3 u_0}{\partial x^3} A_{11}^0 + \frac{\partial^3 u_0}{\partial x \partial y^2} A_{66}^0 + \frac{\partial^3 v_0}{\partial x^2 \partial y} (A_{12}^0 + A_{66}^0) - k_1 \left[\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} A_{11}^1 + \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} (A_{12}^1 + 2A_{66}^1) \right] \\
& + \frac{\partial^3 \phi_x}{\partial x^3} (k_2 A_{11}^1 + k_3 B_{11}^0) + \frac{\partial^3 \phi_y}{\partial x^2 \partial y} \left[k_2 (A_{12}^1 + A_{66}^1) + k_3 (B_{12}^0 + B_{66}^0) \right] + \frac{\partial^3 \phi_x}{\partial x \partial y^2} (k_2 A_{66}^1 + k_3 B_{66}^0) = 0
\end{aligned} \tag{3.15a}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial^3 u_0}{\partial x \partial y^2} (A_{21}^0 + A_{66}^0) + \frac{\partial^3 v_0}{\partial x^2 \partial y} A_{66}^0 + \frac{\partial^3 v_0}{\partial y^3} A_{22}^0 - k_1 \left[\frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} (A_{21}^1 + 2A_{66}^1) + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} A_{22}^1 \right] \\
& + \frac{\partial^3 \phi_x}{\partial x \partial y^2} \left[k_2 (A_{21}^1 + A_{66}^1) + k_3 (B_{21}^0 + B_{66}^0) \right] + \frac{\partial^3 \phi_y}{\partial y^3} (k_2 A_{22}^1 + k_3 B_{22}^0) + \frac{\partial^3 \phi_y}{\partial x^2 \partial y} (k_2 A_{66}^1 + k_3 B_{66}^0) = 0
\end{aligned} \tag{3.15b}$$

$$\begin{aligned}
& -k_1 \left[\frac{\partial^3 u_0}{\partial x^3} A_{11}^1 + \frac{\partial^3 u_0}{\partial x \partial y^2} (A_{21}^1 + 2A_{66}^1) + \frac{\partial^3 v_0}{\partial x^2 \partial y} (A_{12}^1 + 2A_{66}^1) + \frac{\partial^3 v_0}{\partial y^3} A_{22}^1 \right] \\
& -k_1 \left[\frac{\partial^3 \phi_x}{\partial x^3} (k_2 A_{11}^2 + k_3 B_{11}^1) + \frac{\partial^3 \phi_x}{\partial x \partial y^2} (k_2 (A_{21}^2 + 2A_{66}^2) + k_3 (B_{21}^1 + 2B_{66}^1)) \right. \\
& \left. + \frac{\partial^3 \phi_y}{\partial x^2 \partial y} (k_2 (A_{12}^2 + 2A_{66}^2) + k_3 (B_{12}^1 + 2B_{66}^1)) + \frac{\partial^3 \phi_y}{\partial y^3} (k_2 A_{22}^2 + k_3 B_{22}^1) \right] \\
& + k_1^2 \left[\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} A_{11}^2 + (A_{12}^2 + A_{21}^2 + 4A_{66}^2) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} A_{22}^2 \right]
\end{aligned} \tag{3.15c}$$

$$\begin{aligned}
& + (1 - k_1) \left[(1 - k_1) \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} A_{55}^0 + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} A_{44}^0 \right) + K_d k_2 \left(\frac{\partial \phi_x}{\partial x} A_{55}^0 + \frac{\partial \phi_y}{\partial y} A_{44}^0 \right) \right. \\
& \left. + k_3 \left(\frac{\partial \phi_x}{\partial x} A_{55}^1 + \frac{\partial \phi_y}{\partial y} A_{44}^1 \right) \right] + \bar{n}_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + 2\bar{n}_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + \bar{n}_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial^3 u_0}{\partial x^3} (k_2 A_{11}^1 + k_3 B_{11}^0) + \frac{\partial^3 u_0}{\partial x \partial y^2} (k_2 A_{66}^1 + k_3 B_{66}^0) + \frac{\partial^3 v_0}{\partial x^2 \partial y} \left[k_2 (A_{12}^1 + A_{66}^1) + k_3 (B_{12}^0 + B_{66}^0) \right] \\
& -k_1 \left[\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} (k_2 A_{11}^2 + k_3 B_{11}^1) + \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} \left[k_2 (A_{12}^2 + 2A_{66}^2) + k_3 (B_{12}^1 + 2B_{66}^1) \right] \right] \\
& + (k_1 - 1) (k_2 A_{55}^0 + k_3 A_{55}^1) \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + k_2 \left[\frac{\partial^3 \phi_x}{\partial x^3} (k_2 A_{11}^2 + k_3 B_{11}^1) + \frac{\partial^3 \phi_x}{\partial x \partial y^2} (k_2 A_{66}^2 + k_3 B_{66}^1) \right. \\
& \left. + \frac{\partial^3 \phi_y}{\partial x^2 \partial y} \left[k_2 (A_{12}^2 + A_{66}^2) + k_3 (B_{12}^1 + B_{66}^1) \right] - \frac{\partial \phi_x}{\partial x} (K_d k_2 A_{55}^0 + k_3 A_{55}^1) \right] \\
& + k_3 \left[\frac{\partial^3 \phi_x}{\partial x^3} (k_2 B_{11}^1 + k_3 B_{11}^2) + \frac{\partial^3 \phi_x}{\partial x \partial y^2} (k_2 B_{66}^1 + k_3 B_{66}^2) \right. \\
& \left. + \frac{\partial^3 \phi_y}{\partial x^2 \partial y} \left[k_2 (B_{12}^1 + B_{66}^1) + k_3 (B_{12}^2 + B_{66}^2) \right] - \frac{\partial \phi_x}{\partial x} (k_2 A_{55}^1 + k_3 A_{55}^2) \right] = 0
\end{aligned} \tag{3.15d}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial^3 u_0}{\partial x \partial y^2} \left[k_2 (A_{21}^1 + A_{66}^1) + k_3 (B_{21}^0 + B_{66}^0) \right] + \frac{\partial^3 v_0}{\partial x^2 \partial y} (k_2 A_{66}^1 + k_3 B_{66}^0) + \frac{\partial^3 v_0}{\partial y^3} (k_2 A_{22}^1 + k_3 B_{22}^0) \\
& - k_1 \left[\frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} \left[k_2 (A_{21}^2 + 2A_{66}^2) + k_3 (B_{21}^1 + 2B_{66}^1) \right] + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} (k_2 A_{22}^2 + k_3 B_{22}^1) \right] \\
& + (k_1 - 1) (k_2 A_{44}^0 + k_3 A_{44}^1) \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + k_2 \left[\frac{\partial^3 \phi_y}{\partial x^2 \partial y} [k_2 A_{66}^2 + k_3 B_{66}^1] + \frac{\partial^3 \phi_y}{\partial y^3} [k_2 A_{22}^2 + k_3 B_{22}^1] \right] \\
& + \frac{\partial^3 \phi_x}{\partial x \partial y^2} \left[k_2 (A_{21}^2 + A_{66}^2) + k_3 (B_{21}^1 + B_{66}^1) \right] - \frac{\partial \phi_y}{\partial y} (K_d k_2 A_{44}^0 + k_3 A_{44}^1) \Big] \\
& + k_3 \left[\frac{\partial^3 \phi_y}{\partial x^2 \partial y} (k_2 B_{66}^1 + k_3 B_{66}^2) + \frac{\partial^3 \phi_y}{\partial y^3} (k_2 B_{22}^1 + k_3 B_{22}^2) \right. \\
& \left. + \frac{\partial^3 \phi_x}{\partial x \partial y^2} [k_2 (B_{21}^1 + B_{66}^1) + k_3 (B_{21}^2 + B_{66}^2)] - \frac{\partial \phi_y}{\partial y} (k_2 A_{44}^1 + k_3 A_{44}^2) \right] = 0
\end{aligned} \tag{3.15e}$$

3.4. Homojen Olmayan Ortotropik Tabakalı Kompozit Plakların Stabilité Probleminin Çözümü

Basit mesnetli dikdörtgen plak için aşağıdaki sınır koşulları (3.15) ifadelerine ilave edilir:

$$\begin{aligned}
x=0, a \quad , u=w=\phi_x &= 0. \\
y=0, b \quad , v=w=\phi_y &= 0.
\end{aligned} \tag{3.16}$$

(3.16) ifadesinde belirtilen sınır koşullarını sağlayan (3.15) kısmi türevli diferansiyel denklem sisteminin çözümü için gerekli yaklaşım fonksiyonları:

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \\ \phi_x \\ \phi_y \end{Bmatrix} = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \begin{Bmatrix} U_{mn} \cos(\lambda x) \sin(\mu y) \\ V_{mn} \sin(\lambda x) \cos(\mu y) \\ W_{mn} \sin(\lambda x) \sin(\mu y) \\ X_{mn} \cos(\lambda x) \sin(\mu y) \\ Y_{mn} \sin(\lambda x) \cos(\mu y) \end{Bmatrix} \tag{3.17}$$

Burada, U_{mn} , V_{mn} , W_{mn} , X_{mn} ve Y_{mn} bilinmeyen katsayılar olup şu tanımlar geçerlidir:

$$\lambda = \frac{m\pi}{a}, \quad \mu = \frac{n\pi}{b} \tag{3.18}$$

(3.15) kısmi türevli diferansiyel denklem sisteminde (3.17) yaklaşım fonksiyonları yerlerine yazılıp, $0 \leq x \leq a$ ve $0 \leq y \leq b$ için Galerkin yöntemi uygulanırsa:

$$\int_0^a \int_0^b \left\{ \Lambda_{j1} U_{mn} + \Lambda_{j2} V_{mn} + \Lambda_{j3} W_{mn} + \Lambda_{j4} X_{mn} + \Lambda_{j5} Y_{mn} \right\} \sin(\lambda x) \sin(\mu y) dx dy = 0, \quad j = 1, 2, \dots, 5 \quad (3.19)$$

Burada şu tanımlar geçerlidir:

$$\begin{aligned} \Lambda_{11} &= \lambda^3 A_{11}^0 + \lambda \mu^2 A_{66}^0, \quad \Lambda_{12} = \lambda^2 \mu (A_{12}^0 + A_{66}^0), \\ \Lambda_{13} &= -k_1 \left[\lambda^4 A_{11}^1 + \lambda^2 \mu^2 (A_{12}^1 + 2A_{66}^1) \right], \\ \Lambda_{14} &= \lambda^3 (k_2 A_{11}^1 + k_3 B_{11}^0) + \lambda \mu^2 (k_2 A_{66}^1 + k_3 B_{66}^0), \\ \Lambda_{15} &= \lambda^2 \mu (k_2 [A_{12}^1 + A_{66}^1] + k_3 [B_{12}^0 + B_{66}^0]), \\ \Lambda_{21} &= \lambda \mu^2 (A_{21}^0 + A_{66}^0), \quad \Lambda_{22} = \lambda^2 \mu A_{66}^0 + \mu^3 A_{22}^0, \\ \Lambda_{23} &= -k_1 \left[\lambda^2 \mu^2 (A_{21}^1 + 2A_{66}^1) + \mu^4 A_{22}^1 \right], \\ \Lambda_{24} &= \lambda \mu^2 (k_2 [A_{21}^1 + A_{66}^1] + k_3 [B_{21}^0 + B_{66}^0]), \\ \Lambda_{25} &= \lambda^2 \mu (k_2 A_{66}^1 + k_3 B_{66}^0) + \mu^3 (k_2 A_{22}^1 + k_3 B_{22}^0), \\ \Lambda_{31} &= -k_1 \left[\lambda^3 A_{11}^1 + \lambda \mu^2 (A_{21}^1 + 2A_{66}^1) \right], \\ \Lambda_{32} &= -k_1 \left[\lambda^2 \mu (A_{12}^1 + 2A_{66}^1) + \mu^3 A_{22}^1 \right], \\ \Lambda_{33} &= k_1^2 \left[\lambda^4 A_{11}^2 + \lambda^2 \mu^2 (A_{12}^2 + A_{21}^2 + 4A_{66}^2) + \mu^4 A_{22}^2 \right] \\ &\quad - (1 - k_1)^2 \left[\lambda^2 A_{55}^0 + \mu^2 A_{44}^0 \right], \\ \bar{\Lambda}_{33} &= \Lambda_{33} - (\lambda^2 \bar{n}_x + \mu^2 \bar{n}_y), \\ \Lambda_{34} &= -k_1 \left[\lambda^3 (k_2 A_{11}^2 + k_3 B_{11}^1) + \lambda \mu^2 (k_2 [A_{21}^2 + 2A_{66}^2] + k_3 [B_{21}^1 + 2B_{66}^1]) \right] \\ &\quad - \lambda (1 - k_1) (K_d k_2 A_{55}^0 + k_3 A_{55}^1), \\ \Lambda_{35} &= -k_1 \left[\lambda^2 \mu (k_2 (A_{12}^2 + 2A_{66}^2) + k_3 (B_{12}^1 + 2B_{66}^1)) + \mu^3 (k_2 A_{22}^2 + k_3 B_{22}^1) \right] \\ &\quad - \mu (1 - k_1) (K_d k_2 A_{44}^0 + k_3 A_{44}^1), \end{aligned} \quad (3.20a)$$

$$\begin{aligned}
\Lambda_{41} &= \lambda^3 (k_2 A_{11}^1 + k_3 B_{11}^0) + \lambda \mu^2 (k_2 A_{66}^1 + k_3 B_{66}^0), \\
\Lambda_{42} &= \lambda^2 \mu (k_2 [A_{12}^1 + A_{66}^1] + k_3 [B_{12}^0 + B_{66}^0]), \\
\Lambda_{43} &= -k_1 \left[\lambda^4 (k_2 A_{11}^2 + k_3 B_{11}^1) + \lambda^2 \mu^2 (k_2 [A_{12}^2 + 2A_{66}^2] + k_3 [B_{12}^1 + 2B_{66}^1]) \right] \\
&\quad + \lambda^2 (1 - k_1) (k_2 A_{55}^0 + k_3 A_{55}^1), \\
\Lambda_{44} &= k_2 \left[\lambda^3 (k_2 A_{11}^2 + k_3 B_{11}^1) + \lambda \mu^2 (k_2 A_{66}^2 + k_3 B_{66}^1) + \lambda (K_d k_2 A_{55}^0 + k_3 A_{55}^1) \right] \\
&\quad + k_3 \left[\lambda^3 (k_2 B_{11}^1 + k_3 B_{11}^2) + \lambda \mu^2 (k_2 B_{66}^1 + k_3 B_{66}^2) + \lambda (k_2 A_{55}^1 + k_3 A_{55}^2) \right], \\
\Lambda_{45} &= k_2 \left[\lambda^2 \mu (k_2 (A_{12}^2 + A_{66}^2) + k_3 (B_{12}^1 + B_{66}^1)) \right] \\
&\quad + k_3 \left[\lambda^2 \mu (k_2 (B_{12}^1 + B_{66}^1) + k_3 (B_{12}^2 + B_{66}^2)) \right], \\
\Lambda_{51} &= \lambda \mu^2 (k_2 [A_{21}^1 + A_{66}^1] + k_3 [B_{21}^0 + B_{66}^0]), \\
\Lambda_{52} &= \lambda^2 \mu (k_2 A_{66}^1 + k_3 B_{66}^0) + \mu^3 (k_2 A_{22}^1 + k_3 B_{22}^0), \\
\Lambda_{53} &= -k_1 \left[\lambda^2 \mu^2 (k_2 [A_{21}^2 + 2A_{66}^2] + k_3 [B_{21}^1 + 2B_{66}^1]) + \mu^4 (k_2 A_{22}^2 + k_3 B_{22}^1) \right] \\
&\quad + \mu^2 (1 - k_1) (k_2 A_{44}^0 + k_3 A_{44}^1), \\
\Lambda_{54} &= k_2 \left[\lambda \mu^2 (k_2 (A_{21}^2 + A_{66}^2) + k_3 (B_{21}^1 + B_{66}^1)) \right] \\
&\quad + k_3 \left[\lambda \mu^2 (k_2 (B_{21}^1 + B_{66}^1) + k_3 (B_{21}^2 + B_{66}^2)) \right], \\
\Lambda_{55} &= k_2 \left[\lambda^2 \mu (k_2 A_{66}^2 + k_3 B_{66}^1) + \mu^3 (k_2 A_{22}^2 + k_3 B_{22}^1) + \mu (K_d k_2 A_{44}^0 + k_3 A_{44}^1) \right] \\
&\quad + k_3 \left[\lambda^2 \mu (k_2 B_{66}^1 + k_3 B_{66}^2) + \mu^3 (k_2 B_{22}^1 + k_3 B_{22}^2) + \mu (k_2 A_{44}^1 + k_3 A_{44}^2) \right],
\end{aligned} \tag{3.20b}$$

Bu ifadeler matris formda yazılırsa:

$$\begin{bmatrix}
\Lambda_{11} & \Lambda_{12} & \Lambda_{13} & \Lambda_{14} & \Lambda_{15} \\
\Lambda_{21} & \Lambda_{22} & \Lambda_{23} & \Lambda_{24} & \Lambda_{25} \\
\Lambda_{31} & \Lambda_{32} & \Lambda_{33} - (\lambda^2 \bar{n}_x + \mu^2 \bar{n}_y) & \Lambda_{34} & \Lambda_{35} \\
\Lambda_{41} & \Lambda_{42} & \Lambda_{43} & \Lambda_{44} & \Lambda_{45} \\
\Lambda_{51} & \Lambda_{52} & \Lambda_{53} & \Lambda_{54} & \Lambda_{55}
\end{bmatrix}
\begin{Bmatrix}
U_{mn} \\
V_{mn} \\
W_{mn} \\
X_{mn} \\
Y_{mn}
\end{Bmatrix}
=
\begin{Bmatrix}
0 \\
0 \\
0 \\
0 \\
0
\end{Bmatrix} \tag{3.21}$$

ifadesi elde edilmektedir. Homojen olmayan ortotropik tabakalı kompozit plakların aksenal basınç yükü altındaki kritik yükünü bulmak için (3.21) matematiksel ifadenin katsayılar matrisinin determinantı sıfıra eşitlenir.

$$\begin{vmatrix} \Lambda_{11} & \Lambda_{12} & \Lambda_{13} & \Lambda_{14} & \Lambda_{15} \\ \Lambda_{21} & \Lambda_{22} & \Lambda_{23} & \Lambda_{24} & \Lambda_{25} \\ \Lambda_{31} & \Lambda_{32} & \Lambda_{33} - (\lambda^2 \bar{n}_x + \mu^2 \bar{n}_y) & \Lambda_{34} & \Lambda_{35} \\ \Lambda_{41} & \Lambda_{42} & \Lambda_{43} & \Lambda_{44} & \Lambda_{45} \\ \Lambda_{51} & \Lambda_{52} & \Lambda_{53} & \Lambda_{54} & \Lambda_{55} \end{vmatrix} = 0 \quad (3.22)$$

(3.22) ifadesindeki determinant kofaktörler cinsinden yazıldığında şu şekle dönüşür:

$$\Lambda_{31} \mathfrak{S}_{31} + \Lambda_{32} \mathfrak{S}_{32} + (\Lambda_{33} - (\lambda^2 \bar{n}_x + \mu^2 \bar{n}_y)) \mathfrak{S}_{33} + \Lambda_{34} \mathfrak{S}_{34} + \Lambda_{35} \mathfrak{S}_{35} = 0 \quad (3.23)$$

Burada Γ_{3j} ($j=1,2,\dots,5$) olacak biçimde kofaktör ifadeleri olup aşağıdaki tanımlar geçerlidir:

$$\begin{aligned} \mathfrak{S}_{31} &= (-1)^{(3+1)} \begin{vmatrix} \Lambda_{12} & \Lambda_{13} & \Lambda_{14} & \Lambda_{15} \\ \Lambda_{22} & \Lambda_{23} & \Lambda_{24} & \Lambda_{25} \\ \Lambda_{42} & \Lambda_{43} & \Lambda_{44} & \Lambda_{45} \\ \Lambda_{52} & \Lambda_{53} & \Lambda_{54} & \Lambda_{55} \end{vmatrix}, \quad \mathfrak{S}_{32} = (-1)^{(3+2)} \begin{vmatrix} \Lambda_{11} & \Lambda_{13} & \Lambda_{14} & \Lambda_{15} \\ \Lambda_{21} & \Lambda_{23} & \Lambda_{24} & \Lambda_{25} \\ \Lambda_{41} & \Lambda_{43} & \Lambda_{44} & \Lambda_{45} \\ \Lambda_{51} & \Lambda_{53} & \Lambda_{54} & \Lambda_{55} \end{vmatrix} \\ \mathfrak{S}_{33} &= (-1)^{(3+3)} \begin{vmatrix} \Lambda_{11} & \Lambda_{12} & \Lambda_{14} & \Lambda_{15} \\ \Lambda_{21} & \Lambda_{22} & \Lambda_{24} & \Lambda_{25} \\ \Lambda_{41} & \Lambda_{42} & \Lambda_{44} & \Lambda_{45} \\ \Lambda_{51} & \Lambda_{52} & \Lambda_{54} & \Lambda_{55} \end{vmatrix}, \quad \mathfrak{S}_{34} = (-1)^{(3+4)} \begin{vmatrix} \Lambda_{11} & \Lambda_{12} & \Lambda_{13} & \Lambda_{15} \\ \Lambda_{21} & \Lambda_{22} & \Lambda_{23} & \Lambda_{25} \\ \Lambda_{41} & \Lambda_{42} & \Lambda_{43} & \Lambda_{45} \\ \Lambda_{51} & \Lambda_{52} & \Lambda_{53} & \Lambda_{55} \end{vmatrix} \\ \mathfrak{S}_{35} &= (-1)^{(3+5)} \begin{vmatrix} \Lambda_{11} & \Lambda_{12} & \Lambda_{13} & \Lambda_{14} \\ \Lambda_{21} & \Lambda_{22} & \Lambda_{23} & \Lambda_{24} \\ \Lambda_{41} & \Lambda_{42} & \Lambda_{43} & \Lambda_{44} \\ \Lambda_{51} & \Lambda_{52} & \Lambda_{53} & \Lambda_{54} \end{vmatrix} \end{aligned} \quad (3.24)$$

(3.23) ifadesinden kayma deformasyon teorisi çerçevesinde homojen olmayan ortotropik tabakalı kompozit plak için kritik burkulma yükü aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\lambda^2 \bar{n}_x + \mu^2 \bar{n}_y = \frac{\Lambda_{31} \mathfrak{S}_{31} + \Lambda_{32} \mathfrak{S}_{32} + \Lambda_{33} \mathfrak{S}_{33} + \Lambda_{34} \mathfrak{S}_{34} + \Lambda_{35} \mathfrak{S}_{35}}{\mathfrak{S}_{33}} \quad (3.25)$$

Tabakalı kompozit plağın aşağıdaki yük durumuna maruz kaldığını varsayalım:

$$\bar{n}_x = -n_{eks}, \bar{n}_y = -\zeta n_{eks}, \bar{n}_{xy} = 0 \quad (3.26)$$

Burada ζ terimi yük parametresi olup $\zeta = 0$ olduğunda tek eksenli ve $\zeta \neq 0$ olması ise iki eksenli basınç durumuna karşılık gelmektedir. (3.26) ifadesi (3.25) bağıntısında yerine yazıldığında homojen olmayan ortotropik tabakalı kompozit plağın kritik eksenel basınç yükü aşağıdaki ifade ile elde edilebilir:

$$n_{eks} = - \frac{\Lambda_{31}\mathfrak{S}_{31} + \Lambda_{32}\mathfrak{S}_{32} + \Lambda_{33}\mathfrak{S}_{33} + \Lambda_{34}\mathfrak{S}_{34} + \Lambda_{35}\mathfrak{S}_{35}}{(\lambda^2 + \zeta\mu^2)\mathfrak{S}_{33}} \quad (3.27)$$

Bu ifade, KPT, BMKDPT ve YMKDPT için geçerli genel bir ifadedir. (3.27) ifadesi daha özel durumda:

$$\begin{aligned} n_{eks}^{KPT} &= - \frac{\hat{\Lambda}_{31}\mathfrak{S}_{31} + \hat{\Lambda}_{32}\mathfrak{S}_{32} + \hat{\Lambda}_{33}\mathfrak{S}_{33} + \hat{\Lambda}_{34}\mathfrak{S}_{34} + \hat{\Lambda}_{35}\mathfrak{S}_{35}}{(\lambda^2 + \zeta\mu^2)\mathfrak{S}_{33}} \\ n_{eks}^{BMKDT} &= - \frac{\check{\Lambda}_{31}\mathfrak{S}_{31} + \check{\Lambda}_{32}\mathfrak{S}_{32} + \check{\Lambda}_{33}\mathfrak{S}_{33} + \check{\Lambda}_{34}\mathfrak{S}_{34} + \check{\Lambda}_{35}\mathfrak{S}_{35}}{(\lambda^2 + \zeta\mu^2)\mathfrak{S}_{33}} \\ n_{eks}^{YMKDT} &= - \frac{\tilde{\Lambda}_{31}\mathfrak{S}_{31} + \tilde{\Lambda}_{32}\mathfrak{S}_{32} + \tilde{\Lambda}_{33}\mathfrak{S}_{33} + \tilde{\Lambda}_{34}\mathfrak{S}_{34} + \tilde{\Lambda}_{35}\mathfrak{S}_{35}}{(\lambda^2 + \zeta\mu^2)\mathfrak{S}_{33}} \end{aligned} \quad (3.28)$$

şeklinde ifade edilebilir. İfadelerdeki $\hat{\Lambda}_{3j}, \check{\Lambda}_{3j}, \tilde{\Lambda}_{3j} (j=1,2,...,5)$ terimleri (3.20) ifadelerindeki sırasıyla $k_1=1, k_2=k_3=0$ KPT'ye, $k_2=1, k_1=k_3=0$ BMKDT'ye ve $k_1=k_3=1, k_2=0$ YMKDT'ye karşılık gelmektedir. Ayrıca, (3.28) ifadesi homojen olmayan ortotropik plağın boyutlu kritik basınç yükü ifadesidir.

Tez çalışmasında dikkate alınan boyutsuz kritik basınç yükleri aşağıdaki ifadeden bulunmaktadır.

$$\left(\bar{\bar{n}}_{eks}^{KPT}, \bar{\bar{n}}_{eks}^{BMKDT}, \bar{\bar{n}}_{eks}^{YMKDT} \right) = \left(n_{eks}^{KPT}, n_{eks}^{BMKDT}, n_{eks}^{YMKDT} \right) \frac{b^2}{\pi^2 D_0} \quad (3.29)$$

Burada şu tanım geçerlidir:

$$D_0 = \frac{E_{01}h^3}{12(1-\nu_{12}\nu_{21})} \quad (3.30)$$

olup plağın rijitlik katsayısıdır. (3.28)-(3.30) ifadeleri bazı özel durumlarda da kullanılabilir. Örneğin;

- a) Ortotropik malzemenin homojen olması durumunda, yani $\mu = 0$ olduğunda söz konusu ifadelerden homojen ortotropik dikdörtgen plağın kritik basınç yükü ifadesi özel olarak elde edilir.
- b) Dikkate alınan malzemenin izotropik olması durumunda, yani $E_{01} = E_{02}$ olduğunda söz konusu ifadelerden homojen olmayan izotropik dikdörtgen plağın kritik basınç yükü ifadesi elde edilir.
- c) Dikkate alınan malzemenin homojen izotropik olması durumunda, yani $\mu = 0, E_{01} = E_{02}$ olduğunda söz konusu ifadelerden homojen izotropik dikdörtgen plağın kritik basınç yükü ifadesi elde edilir.
- d) Yükleme koşulları bakımından, tek eksenli ve iki eksenli eksenel yük etkisi için, yani sırasıyla $\xi = 0, \xi \neq 0$ olduğunda söz konusu ifadelerden homojen olmayan ortotropik dikdörtgen plağın tek veya iki eksenli kritik basınç yükü ifadesi elde edilir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Karşılaştırmalar

Bu bölümde, tez çalışmasında elde edilen sonuçların doğruluğunu teyit etmek için literatürde bulunan uygun sonuçlarla karşılaştırmalar yapılmıştır. Tez çalışmasında, KPT, BMKDT ve YMKDT kullanılarak kritik eksenel basınç yükü için elde edilen ifadelerin doğruluğunu kanıtlamak için değişik yöntemlerle elde edilen sonuçlar çizelgeler yardımıyla sunulmuştur.

İlk karşılaştırmada KPT kullanılarak homojen izotrop malzemeden meydana gelen tek eksenli basınç yüküne maruz tek tabakalı plağın boyutsuz kritik burkulma yükü değerleri Reddy ve Phan (1985) çalışmasında elde edilen boyutsuz kritik burkulma yük değerleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada aşağıdaki plak karakteristikleri ve malzeme özellikleri kullanılmıştır: $a/h=10$, $E_{01}=E_{02}$,

$$G_{12}=G_{13}=G_{23}=\frac{E_{01}}{2(1+\nu)}, \nu=0.25. \text{ Çizelge 4.1'de değişik } a/b \text{ oranları için sunulan}$$

değerlerin Reddy ve Phan (1985) çalışmasında elde edilen uygun değerlerle uyum içinde olması tez çalışmasında sunulan formülün doğruluğunu teyit eden unsurlardan biridir.

Çizelge 4.1. Tek eksenli basınca maruz tek tabakalı homojen izotropik dikdörtgen plağın boyutsuz kritik burkulma yük değerlerinin karşılaştırılması

$\tilde{n}_{eks}^{KPT} = n_{eks}^{KPT} \frac{b^2}{\pi^2 D}$		
a/b	Reddy ve Phan (1985)	Tez Çalışması
0.2	27.040	27.0399(1,1)
0.4	8.410	8.4099(1,1)
0.8	4.202	4.2025(1,1)
1.0	4.000	4.0000(1,1)
1.2	4.134	4.1344(1,1)
1.4	4.470	4.4702(1,1)
3.0	4.000(3,1)	4.0000(3,1)

İkinci karşılaştırmada, KPT kullanılarak farklı malzeme özelliklerine sahip $0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ$ tabaklanma düzenindeki homojen tabakalı kompozit plağın kritik burkulma yükü değerleri Phan ve Reddy (1985) çalışmasında elde edilen boyutsuz kritik burkulma yük değerleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada aşağıdaki plak karakteristikleri ve malzeme özellikleri kullanılmıştır: $a/h=10$, $a/b=1$,

$G_{12} = G_{13} = 0.6E_{02}$, $G_{23} = 0.5E_{02}$, $\nu_{12} = 0.25$. Çizelge 4.2'de, değişik malzeme özellikleri için sunulan değerlerin Phan ve Reddy (1985) çalışmasında elde edilen uygun değerlerle uyum içinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.2. Tek eksenli basınca maruz $0^\circ / 90^\circ / 90^\circ / 0^\circ$ homojen tabakalı kompozit plağın boyutsuz kritik burkulma yük değerlerinin karşılaştırılması

E_{01} / E_{02}	$\bar{n}_{eks}^{KPT} = n_{eks}^{KPT} \frac{b^2}{E_{02} h^3}$	
	Phan ve Reddy (1985)	Tez Çalışması
3	5.7538	5.7538(1,1)
10	11.492	11.4918(1,1)
20	19.712	19.7124(1,1)
30	27.936	27.9357(1,1)
40	36.160	36.1597(1,1)

Üçüncü karşılaştırmada, KPT kullanılarak homojen ortotropik malzemeden meydana gelen $0^\circ / 90^\circ$, $0^\circ / 90^\circ / 0^\circ$, $0^\circ / 90^\circ / 90^\circ / 0^\circ$ tabakalanma düzenlerine sahip tabakalı kompozit plağın kritik burkulma yükü değerleri Reddy ve Phan (1985) çalışmasında elde edilen uygun değerlerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada aşağıdaki plak karakteristikleri ve malzeme özellikleri kullanılmıştır: $a / h = 10$, $a / b = 1$, $E_{01} = 40E_{02}$, $G_{12} = G_{13} = 0.6E_{02}$, $G_{23} = 0.5E_{02}$, $\nu_{12} = 0.25$. Çizelge 4.3'de değişik tabakalanma düzenleri için sunulan değerlerin Reddy ve Phan (1985) çalışmasında elde edilen uygun değerlerle uyum içinde olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.3. Tek eksenli basınca maruz ve farklı tabakalanma düzenine sahip homojen ortotropik tabakalı kompozit plağın boyutsuz kritik burkulma yük değerlerinin karşılaştırılması

Tabakalanma düzeni	$\bar{n}_{eks}^{KPT} = n_{eks}^{KPT} \frac{b^2}{E_{02} h^3}$	
	Reddy ve Phan (1985)	Tez Çalışması
$0^\circ / 90^\circ$	12.628	12.9573(1,1)
$0^\circ / 90^\circ / 0^\circ$	35.831	36.1597(1,1)
$0^\circ / 90^\circ / 90^\circ / 0^\circ$	35.831	36.1597(1,1)

Dördüncü karşılaştırmada, KDPT kullanılarak farklı malzeme özelliklerine sahip $0^\circ / 90^\circ / 90^\circ / 0^\circ$ tabakalanma düzenindeki homojen tabakalı kompozit plağın kritik burkulma yükü değerleri Phan ve Reddy (1985) ve Noor (1975) çalışmalarında elde edilen boyutsuz kritik burkulma yük değerleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada aşağıdaki plak karakteristikleri ve malzeme özellikleri kullanılmıştır: $a / h = 10$,

$a/b = 1$, $G_{12} = G_{13} = 0.6E_{02}$, $G_{23} = 0.5E_{02}$, $\nu_{12} = 0.25$. Çizelge 4.5'de, değişik malzeme özellikleri için sunulan değerlerin Phan ve Reddy (1985) ve Noor (1975) çalışmalarında elde edilen uygun değerlerle uyum içinde olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.4. Tek eksenli basınca maruz $0^\circ / 90^\circ / 90^\circ / 0^\circ$ homojen tabakalı kompozit plağın boyutsuz kritik burkulma yük değerlerinin karşılaştırılması

$\bar{n}_{eks} = n_{eks} \frac{b^2}{E_{02} h^3}$				
E_{01} / E_{02}	$\bar{n}_{eks}^{YMKDT}$	3B Elastisite Teorisi		$\bar{n}_{eks}^{BMKDT}$
	Phan ve Reddy (1985)	Noor (1975)	Tez Çalışması	
3	5.1143	5.2944	5.4551(1,1)	5.3938(1,1)
10	9.7740	9.7621	10.1888(1,1)	9.9443(1,1)
20	15.298	15.0191	15.9268(1,1)	15.3112(1,1)
30	19.957	19.3040	20.7392(1,1)	19.6980(1,1)
40	23.340	22.8807	24.8548(1,1)	23.3746(1,1)

Beşinci karşılaştırmada, KDPT kullanılarak homojen ortotropik malzemeden meydana gelen $0^\circ / 90^\circ$, $0^\circ / 90^\circ / 0^\circ$, $0^\circ / 90^\circ / 90^\circ / 0^\circ$ tabakalanma düzenlerine sahip tabakalı kompozit plağın kritik burkulma yükü değerleri Reddy ve Phan (1985) çalışmasında elde edilen uygun değerlerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada aşağıdaki plak karakteristikleri ve malzeme özellikleri kullanılmıştır: $a/b = 1$, $E_{01} = 40E_{02}$, $G_{12} = G_{13} = 0.6E_{02}$, $G_{23} = 0.5E_{02}$, $\nu_{12} = 0.25$. Çizelge 4.5'de değişik tabakalanma düzenleri için sunulan değerlerin Reddy ve Phan (1985) çalışmasında elde edilen uygun değerlerle uyum içinde olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.5. Tek eksenli basınca maruz ve farklı tabakalanma düzenine sahip homojen ortotropik tabakalı kompozit plağın boyutsuz kritik burkulma yük değerlerinin karşılaştırılması

$\bar{n}_{eks} = n_{eks} \frac{b^2}{E_{02} h^3}$					
a/h	Tabakalanma düzeni	$\bar{n}_{eks}^{BMKDT}$	$\bar{n}_{eks}^{YMKDT}$	$\bar{n}_{eks}^{BMKDT}$	$\bar{n}_{eks}^{YMKDT}$
		Reddy ve Phan (1985)		Tez Çalışması	
10	$0^\circ / 90^\circ$	11.099	11.305	11.5919(1,1)	11.6074(1,1)
	$0^\circ / 90^\circ / 0^\circ$	21.643	22.160	23.7920(1,1)	22.1252(1,1)
	$0^\circ / 90^\circ / 90^\circ / 0^\circ$	23.270	23.849	24.8548(1,1)	23.3746(1,1)
20	$0^\circ / 90^\circ$	12.208	12.268	12.5867(1,1)	12.5900(1,1)
	$0^\circ / 90^\circ / 0^\circ$	30.664	30.922	31.9207(1,1)	31.0729(1,1)
	$0^\circ / 90^\circ / 90^\circ / 0^\circ$	31.432	31.737	32.3638(1,1)	31.6781(1,1)
50	$0^\circ / 90^\circ$	12.559	12.569	12.8965(1,1)	12.8971(1,1)
	$0^\circ / 90^\circ / 0^\circ$	34.883	34.936	35.4026(1,1)	35.2281(1,1)
	$0^\circ / 90^\circ / 90^\circ / 0^\circ$	35.037	35.100	35.4872(1,1)	35.3506(1,1)

Altıncı karşılaştırmada, KDPT kullanılarak farklı malzeme ve geometrik özelliklere sahip $0^\circ/90^\circ/0^\circ$, $0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ$ tabakalanma düzenlerine sahip homojen ortotropik tabakalı kompozit plağın kritik burkulma yükü değerleri Sahu (2014) çalışmasında elde edilen uygun deneysel değerlerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada aşağıdaki plak karakteristikleri ve malzeme özellikleri kullanılmıştır: $a/b=1$, $E_{02}=1\times 10^3 \text{ MPa}$, $G_{12}=G_{13}=0.6E_{02}$, $G_{23}=0.5E_{02}$, $\nu_{12}=0.25$. Çizelge 4.6'da sunulan değerlerin Sahu (2014) çalışmasında elde edilen uygun deneysel değerlerle uyum içinde olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.6. Tek eksenli basınca maruz homojen ortotropik tabakalı kompozit plağın boyutsuz kritik burkulma yük değerlerinin karşılaştırılması

$\bar{n}_{eks} = n_{eks} \frac{b^2}{E_{02} h^3}$					
a/h	E_{01}/E_{02}	Tabakalanma Düzeni	Deneysel Çalışma Sahu (2014)	n_{eks}^{BMKDT}	n_{eks}^{YMKDT}
				Tez Çalışması	
10	3	$0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ$	5.3215	5.4551(1,1)	5.3938(1,1)
		$0^\circ/90^\circ/0^\circ$	5.4702	5.4525(1,1)	5.3898(1,1)
	10	$0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ$	9.7154	10.1888(1,1)	9.9443(1,1)
		$0^\circ/90^\circ/0^\circ$	8.6645	10.1064(1,1)	9.8309(1,1)
100	3	$0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ$	5.6521	5.7506(1,1)	5.7499(1,1)
		$0^\circ/90^\circ/0^\circ$	6.8984	5.7506(1,1)	5.7499(1,1)
	10	$0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ$	10.6945	11.4770(1,1)	11.4737(1,1)
		$0^\circ/90^\circ/0^\circ$	14.1641	11.4759(1,1)	11.4721(1,1)

Son olarak, KPT ve KDPT kullanılarak tek eksenli basınç altında homojen ve homojen olmayan bor/epoksi malzemesinden oluşan dikdörtgen plakların boyutsuz kritik basınç değerlerinin a/b oranına bağlı değişimi Kaplan (2015) çalışmasındaki uygun değerlerle kıyaslanmıştır. Karşılaştırmada aşağıdaki plak karakteristikleri ve malzeme özellikleri kullanılmıştır: $a/h=10$, $b=0.341m$, $E_{01}=206.844\times 10^9 \text{ Pa}$, $E_{02}=18.6159\times 10^9 \text{ Pa}$, $G_{12}=G_{13}=4.48162\times 10^9 \text{ Pa}$, $G_{23}=2.55107\times 10^9 \text{ Pa}$, $\nu_{12}=0.21$. Çizelge 4.7'de sunulan değerlerin Kaplan (2015) çalışmasında elde edilen uygun değerlerle uyum içinde olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.7. Tek eksenli basınca maruz homojen ve homojen olmayan bor/epoksi malzemesinden oluşan ortotropik dikdörtgen plağın boyutsuz kritik burkulma yük değerlerinin karşılaştırılması

Kaplan (2015)						
a/b	$\mu = 0$			$\mu = 1, \varphi(Z) = Z$		
	$\bar{n}_{eks}^{KPT}$ $\times 10^3$	$\bar{n}_{eks}^{BMKDT}$ $\times 10^3$	$\bar{n}_{eks}^{YMKDT}$ $\times 10^3$	$\bar{n}_{eks}^{KPT}$ $\times 10^3$	$\bar{n}_{eks}^{BMKDT}$ $\times 10^3$	$\bar{n}_{eks}^{YMKDT}$ $\times 10^3$
0.25	16.13	11.069		14.786	10.387	
0.50	4.147	2.850		3.801	2.674	
0.75	1.953	1.350	---	1.79	1.266	---
1	1.214	0.848		1.113	0.795	
Tez Çalışması						
a/b	$\mu = 0$			$\mu = 1, \varphi(Z) = Z$		
	$\bar{n}_{eks}^{KPT}$ $\times 10^3$	$\bar{n}_{eks}^{BMKDT}$ $\times 10^3$	$\bar{n}_{eks}^{YMKDT}$ $\times 10^3$	$\bar{n}_{eks}^{KPT}$ $\times 10^3$	$\bar{n}_{eks}^{BMKDT}$ $\times 10^3$	$\bar{n}_{eks}^{YMKDT}$ $\times 10^3$
0.25	16.1298	11.6799	11.1053	14.7856	10.9584	10.4510
0.50	4.1466	3.0065	2.8595	3.8011	2.8204	2.6906
0.75	1.9525	1.4223	1.3540	1.7898	1.3337	1.2734
1	1.2141	0.8924	0.8509	1.1129	0.8363	0.7996

* Tüm kritik değerler (m,n)=(1,1) durumunda meydana gelmiştir.

4.2. Sayısal Hesap ve Analizler

Bu bölümde, homojen ve homojen olmayan ortotropik tabakalı plakların kritik basınç yükü değerleri KDT ve KPT kullanılarak sayısal olarak elde edilmektedir.

Tabakalı plakların homojen ve homojen olmayan ortotropik grafit/epoksi (T) malzemesinden meydana geldiği varsayılmakta ve özellikleri “1.4. Homojen Olmayan Ortotropik Tabakalı Kompozit Plakların Modellerinin Oluşturulması” bölümünde sunulmaktadır.

Sayısal hesaplamalarda kullanılan kayma deformasyon şekil fonksiyonu Mahi ve Tounsi (2015) tarafından öne sürülen $f(z) = \frac{h}{2} \tanh\left(2\frac{z}{h}\right) - \frac{4}{3 \cosh^2(1)} \left(\frac{z^3}{h^2}\right)$ ’dir. Grafit/epoksi (T) ortotropik malzemesinin elastisite ve kayma modüllerinin sabit (homojen) ve doğrusal, kuadratik ve kübik değişimli homojen olmayan durumları dikkate alınmaktadır. Homojen olmama katsayısının (parametresinin) etkilerinin sunulduğu çizelge ve şekiller haricindeki diğer tüm hesaplamalarda $\mu = 1$ kabul edilmektedir.

Sayısal hesaplarda, a/b ve a/h gibi tabakalı plağın geometrik parametrelerinin yanı sıra malzeme ortotropisi ile homojen olmama katsayısı ve yükleme parametresi de dikkate alınmaktadır.

Matlab ve Excel programları kullanılarak sayısal hesaplamalar yapılmaktadır. İlk aşamada, Materyal ve Yöntem bölümünde elde edilen (3.28) ifadeleri ve onların içerdiği parametreler Matlab'da yazılmaktadır. Homojen ve homojen olmayan ortotropik grafit/epoksi (T) malzeme özellikleri ve yukarıda bahsedilen tabakalı plak karakteristikleri ve yükleme koşulları ilave edilerek KPT, BMKDT ve YMKDT için kritik basınç yükü değerleri bulunmaktadır. Bulunan bu sayısal değerlere göre Excel programında grafikler çizilmektedir.

Kritik basınç yükü değerlerine homojen olmamanın, kayma deformasyonun, tabaka düzeninin ve yüksek mertebe kayma deformasyonun etkilerini görebilmek için $\frac{HO-H}{H} \times 100$, $\frac{KPT-KDT}{KPT} \times 100$, $\frac{(0/..)-(0)}{(0)} \times 100$, $\frac{(90/..)-(90)}{(90)} \times 100$ ve $\frac{YMKDT-BMKDT}{BMKDT} \times 100$ oranları kullanılmaktadır. Burada HO ve H sırasıyla homojen olmayan ve homojen kelimelerinin kısaltmasıdır. İlerleyen bölümlerde HO ve H kısaltmaları kullanılacaktır. Yapılan sayısal hesaplamalar Çizelge 4.9-4.14 ve Şekil 4.1-4.20'de sunulmaktadır.

Çizelge 4.9'da, $a/h=10$, $b=0.5m$, $a/b=2$ değerleri için KPT ve KDT kullanılarak çeşitli tabakalanma düzenine sahip homojen ($\mu=0$) ve homojen olmayan ($\mu=1$) ortotropik tabakalı kompozit plağın kritik burkulma yük değerleri ve onlara karşılık gelen dalga sayıları sunulmuştur. Tabakaları oluşturan malzemelerin Elastisite ve Kayma modülleri kalınlık doğrultusunda doğrusal, kuadratik ve kübik fonksiyonlar şeklinde değişmektedir. Boyutsuz kritik burkulma yüküne homojen olmamanın etkisi KPT, BMKDT ve YMKDT için aşağıdaki gibi saptanmıştır:

- Tabakaları meydana getiren ortotropik malzemenin homojen olmaması doğrusal olarak değiştiğinde; KPT kullanıldığında kritik burkulma yüküne homojen olmamanın en büyük etkisi (%-8.33) ile (0) ve (90) tabaka düzenlerinde, en küçük etkisi (%-4.68) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde, BMKDT dikkate alındığında homojen olmamanın kritik burkulma yüküne en büyük etkisi (%-7.33) ile (0) tabaka düzeninde, en küçük etkisi (%-3.20) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, YMKDT için ise homojen olmamanın en büyük etkisi (%-7.16) ile yine (0) tabaka düzeninde, en küçük etkisi (%-2.28) ile (90/0/90) tabaka düzeninde elde edilmektedir.
- Tabakaları meydana getiren ortotropik malzemenin homojen olmaması kuadratik olarak değiştiğinde; KPT kullanıldığında kritik burkulma yüküne homojen olmamanın en büyük etkisi (%15) ile (90) tabaka düzeninde, en küçük etkisi

(%11.08) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, BMKDT dikkate alındığında homojen olmamanın kritik burkulma yüküne en büyük etkisi (%14.07) ile (0) tabaka düzeninde, en küçük etkisi (%10.48) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, YMKDT için ise homojen olmamanın en büyük etkisi (%13.31) ile (0) tabaka düzeninde, en küçük etkisi (%8.88) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde elde edilmektedir.

Çizelge 4.9. H ve HO ortotropik tabakalı plakların farklı tabaka düzenleri için $\bar{n}_{eks}^{KPT}$, $\bar{n}_{eks}^{BMKDT}$ ve $\bar{n}_{eks}^{YMKDT}$ değerleri ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının değişimi

$\bar{n}_{eks}^{KPT} (m,n)$				
Tabakalanma Düzeni	Hom.	$\phi^k(Z)$		
		Z	Z ²	Z ³
0°	0.8090(1,1)	0.7416(1,1)	0.9303(1,1)	0.8075(1,1)
90°	0.8658(3,1)	0.7937(3,1)	0.9957(3,1)	0.8642(3,1)
0° / 90°	0.7133(2,1)	0.6799(2,1)	0.8091(2,1)	0.7123(2,1)
90° / 0°	0.7133(2,1)	0.6799(2,1)	0.8091(2,1)	0.7123(2,1)
0° / 90° / 0°	0.9370(1,1)	0.8769(1,1)	1.0604(1,1)	0.9357(1,1)
90° / 0° / 90°	0.9275(3,1)	0.8505(3,1)	1.0584(3,1)	0.9257(3,1)
0° / 90° / 90° / 0°	1.2409(1,1)	1.1658(1,1)	1.3784(1,1)	1.2394(1,1)
90° / 0° / 0° / 90°	1.0738(3,1)	0.9854(3,1)	1.2115(3,1)	1.0717(3,1)
$\bar{n}_{eks}^{BMKDT} (m,n)$				
Tabakalanma Düzeni	Hom.	$\phi^k(Z)$		
		Z	Z ²	Z ³
0°	0.7000(1,1)	0.6487(1,1)	0.7985(1,1)	0.6988(1,1)
90°	0.5405(3,1)	0.5104(3,1)	0.6085(3,1)	0.5398(3,1)
0° / 90°	0.5711(2,1)	0.5496(2,1)	0.6419(2,1)	0.5705(2,1)
90° / 0°	0.5711(2,1)	0.5496(2,1)	0.6419(2,1)	0.5705(2,1)
0° / 90° / 0°	0.8103(1,1)	0.7678(1,1)	0.9101(1,1)	0.8094(1,1)
90° / 0° / 90°	0.5883(3,1)	0.5695(3,1)	0.6566(3,1)	0.5878(3,1)
0° / 90° / 90° / 0°	1.0528(1,1)	1.0000(1,1)	1.1631(1,1)	1.0518(1,1)
90° / 0° / 0° / 90°	0.6845(3,1)	0.6519(3,1)	0.7570(3,1)	0.6839(3,1)
$\bar{n}_{eks}^{YMKDT} (m,n)$				
Tabakalanma Düzeni	Hom.	$\phi^k(Z)$		
		Z	Z ²	Z ³
0°	0.6829(1,1)	0.6340(1,1)	0.7738(1,1)	0.6818(1,1)
90°	0.5087(3,1)	0.4817(3,1)	0.5641(3,1)	0.5081(3,1)
0° / 90°	0.5613(2,1)	0.5404(2,1)	0.6256(2,1)	0.5607(2,1)
90° / 0°	0.5613(2,1)	0.5404(2,1)	0.6256(2,1)	0.5607(2,1)
0° / 90° / 0°	0.7839(1,1)	0.7440(1,1)	0.8746(1,1)	0.7831(1,1)
90° / 0° / 90°	0.5486(3,1)	0.5361(3,1)	0.6030(3,1)	0.5481(3,1)
0° / 90° / 90° / 0°	0.9973(1,1)	0.9486(1,1)	1.0940(1,1)	0.9963(1,1)
90° / 0° / 0° / 90°	0.6242(3,1)	0.5958(3,1)	0.6796(3,1)	0.6235(3,1)

- Tabakaları meydana getiren ortotropik malzemenin homojen olmaması kübik olarak değiştiğinde; KPT kullanıldığında kritik burkulma yüküne homojen olmamanın en büyük etkisi çok az olup (%-0.20) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en küçük etkisi yine çok az olup (%-0.13) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, BMKDT dikkate alındığında homojen olmamanın kritik burkulma yüküne en büyük etkisi çok az olup (%-0.17) ile (0) tabaka düzeninde, en küçük etkisi yine çok az olup (%-0.12) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, YMKDT için ise homojen olmamanın en büyük etkisi çok az olup (%-0.16) ile (0) tabaka düzeninde, en küçük etkisi sıfıra yakın olup (%-0.09) ile (90/0/90) tabaka düzeninde elde edilmektedir.

Çizelge 4.9'dan ve analizlerden görüldüğü üzere $\phi^k(Z) = Z^3$ olduğunda tabakalı kompozit malzemeleri meydana getiren ortotropik malzemenin homojen olmamasının kritik basınç yüküne etkisi çok azdır, dolayısıyla tabakaları homojen olmayan ortotropik malzemeden oluşan tabakalı kompozit plaklar homojen ortotropik tabakalı plak gibi yapısal davranış sergilemektedir. Bu nedenle, bundan sonraki hesaplarda $\phi^k(Z) = Z^3$ durumu dikkate alınmayacaktır.

Çizelge 4.9'dan homojen ve homojen olmayan ortotropik tabakalı kompozit plakların kritik burkulma yükü değerlerine enine kayma deformasyonun etkisi aşağıdaki gibidir:

- Homojen durumda; BMKDT dikkate alındığında kayma deformasyonun kritik burkulma yüküne en büyük etkisi (%37.57) ile (90) tabaka düzeninde, en küçük etkisi (%13.47) ile (0) tabaka düzeninde, YMKDT kullanıldığında kayma deformasyonun en büyük etkisi (%41.87) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en küçük etkisi ise (%15.59) ile yine (0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır.
- Homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde; BMKDT dikkate alındığında kayma deformasyonun kritik burkulma yüküne en büyük etkisi (%35.69) ile (90) tabaka düzeninde, en küçük etkisi (%12.44) ile (0/90/0) tabaka düzeninde, YMKDT kullanıldığında kayma deformasyonun en büyük etkisi (%39.54) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en küçük etkisi ise (%14.51) ile yine (0) tabaka düzeninde elde edilmektedir.
- Homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde; BMKDT dikkate alındığında kayma deformasyonun kritik burkulma yüküne en büyük etkisi (%38.89) ile (90) tabaka düzeninde, en küçük etkisi (%14.17) ile (0) ve (0/90/0) tabaka düzenlerinde, YMKDT dikkate alındığında ise kayma deformasyonun en büyük etkisi (%43.90)

ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en küçük etkisi ise (%16.82) ile (0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır.

- Homojen olmama kübik olarak değiştiğinde; BMKDT kullanıldığında kayma deformasyonunun en büyük etkisi (%37.54) ile (90) tabaka düzeninde, en küçük etkisi (%13.46) ile (0) tabaka düzeninde, YMKDT dikkate alındığında ise kayma deformasyonunun en büyük etkisi (%41.82) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en küçük etkisi ise (%15.57) ile (0) tabaka düzeninde elde edilmektedir.
- Tüm tabaka düzenleri ve malzeme özellikleri dikkate alınarak kritik burkulma yükü değerleri kıyaslandığında; BMKDT için kayma deformasyonunun en büyük etkisi (90) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde (%38.89) olarak, en az etkisi ise (90) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde (%35.69) olarak, YMKDT kullanıldığında ise kayma deformasyonunun en büyük etkisi (90/0/0/90) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde (%43.90) olarak, en az etkisi (90/0/0/90) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde (%39.54) olarak elde edilmektedir.

KPT, BMKDT ve YMKDT dikkate alındığında, (0/90), (0/90/0) ve (0/90/90/0) tabaka düzenleri (0) tabaka düzeniyle ve (90/0), (90/0/90) ve (90/0/0/90) tabaka düzenleri ise (90) tabaka düzeniyle kendi aralarında kıyaslandığında aradaki farkların tabaka dizilişi ve sayısına göre yüzde olarak önemli derecede değiştiği ve aşağıdaki şekilde olduğu görülmüştür:

- Homojen durumda; KPT kullanıldığında kritik basınç yüküne tabaka düzeninin en büyük etkisi (%53.39) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi ise (%7.13) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, BMKDT dikkate alındığında tabaka düzeninin en büyük etkisi (%50.40) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi ise (%5.66) ile (90/0) tabaka düzeninde, YMKDT için tabaka düzeninin en büyük etkisi (%46.04) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi ise (%7.84) ile (90/0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır.
- Homojen olmama doğrusal değiştiğinde; KPT kullanıldığında kritik basınç yüküne tabaka düzeninin en büyük etkisi (%57.20) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.16) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, BMKDT kullanıldığında tabaka düzeninin en büyük etkisi (%54.15) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi ise (%7.68) ile (90/0) tabaka düzeninde, YMKDT dikkate alındığında ise tabaka düzeninin en büyük etkisi (%49.62) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%11.29) ile (90/0/90) tabaka düzeninde elde edilmektedir.

- Homojen olmama kuadratik değiştiğinde; KPT dikkate alındığında tabaka düzeninin en büyük etkisi (%48.17) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%6.30) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, BMKDT kullanıldığında tabaka düzeninin en büyük etkisi (%45.66) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%5.49) ile (90/0) tabaka düzeninde YMKDT için ise tabaka düzeninin en büyük etkisi (%41.38) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%6.90) ile (90/0/90) tabaka düzeninde elde edilmektedir.
- Homojen olmama kübik değiştiğinde; KPT dikkate alındığında tabaka düzeninin en büyük etkisi (%53.49) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.12) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, BMKDT için tabaka düzeninin en büyük etkisi (%50.52) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%5.69) ile (90/0) tabaka düzeninde, YMKDT dikkate alındığında ise tabaka düzeninin en büyük etkisi (%46.13) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.87) ile (90/0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır.

Çeşitli tabaka düzenleri ve homojen olmama fonksiyonları dikkate alındığında BMKDT ile YMKDT kendi aralarında kıyaslandığında yüksek mertebe kayma deformasyon etkilerinin tabaka düzenine ve homojen olmama durumlarına göre yüzde olarak önemli derecede değiştiği aşağıdaki şekilde olduğu görölmüştür:

- Homojen durumda; yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yükü değerine en büyük etkisi (%-8.81) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.72) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde elde edilmektedir.
- Homojen olmama doğrusal değiştiğinde; yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yükü değerine en büyük etkisi (%-8.61) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.67) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde elde edilmektedir.
- Homojen olmama kuadratik değiştiğinde; yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yükü değerine en büyük etkisi (%-10.22) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-2.54) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde elde edilmektedir.
- Homojen olmama kübik değiştiğinde; yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yükü değerine en büyük etkisi (%-8.83) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.72) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde elde edilmiştir.

-

4.3. Plak geometrik parametrelerine göre yapılan analizler

Çizelge 4.10a-c'de, $a/h=10$, $b=0.5m$ değerleri için KPT ve KDT kullanılarak çeşitli tabakalanma düzenine sahip homojen ve homojen olmayan ortotropik tabakalı kompozit plağın kritik burkulma yük değerlerinin ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının a/b oranına bağlı değişimi sunulmuştur.

Çizelge 4.10a.H ve HO ortotropik tabakalı plakların farklı tabaka düzenleri için $\bar{n}_{eks}^{KPT}$ değerleri ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının a/b oranına bağlı değişimi

a/b	Tabakalanma Düzeni	$\bar{n}_{eks}^{KPT}(m,n)$		
		Hom.	$\phi^k(Z)$	
			Z	Z^2
0.25	0°	16.2494(1,1)	14.8953(1,1)	18.6868(1,1)
	90°	1.5650(1,1)	1.4346(1,1)	1.7997(1,1)
	0° / 90°	4.1456(1,1)	3.8494(1,1)	4.6804(1,1)
	90° / 0°	4.1456(1,1)	4.0982(1,1)	4.6804(1,1)
	0° / 90° / 0°	15.7055(1,1)	13.8893(1,1)	18.1339(1,1)
	90° / 0° / 90°	2.1089(1,1)	2.0364(1,1)	2.3527(1,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	14.4138(1,1)	12.4562(1,1)	16.7824(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	3.4005(1,1)	3.2785(1,1)	3.7041(1,1)
0.50	0°	4.2641(1,1)	3.9088(1,1)	4.9038(1,1)
	90°	0.8090(1,1)	0.7416(1,1)	0.9303(1,1)
	0° / 90°	1.2623(1,1)	1.1764(1,1)	1.4283(1,1)
	90° / 0°	1.2623(1,1)	1.2366(1,1)	1.4283(1,1)
	0° / 90° / 0°	4.1362(1,1)	3.6659(1,1)	4.7737(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.9370(1,1)	0.8769(1,1)	1.0604(1,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	3.8322(1,1)	3.3253(1,1)	4.4557(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	1.2409(1,1)	1.1658(1,1)	1.3784(1,1)
0.75	0°	2.0665(1,1)	1.8943(1,1)	2.3765(1,1)
	90°	0.9442(2,1)	0.8655(2,1)	1.0859(2,1)
	0° / 90°	0.7963(1,1)	0.7497(1,1)	0.9027(1,1)
	90° / 0°	0.7963(1,1)	0.7694(1,1)	0.9027(1,1)
	0° / 90° / 0°	2.0250(1,1)	1.8032(1,1)	2.3343(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.9882(1,1)	0.8993(1,1)	1.1309(1,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	1.9265(1,1)	1.6866(1,1)	2.2312 (1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	1.0867(1,1)	0.9868(1,1)	1.2340(1,1)
1	0°	1.3231(1,1)	1.2129(1,1)	1.5216(1,1)
	90°	0.8090(2,1)	0.7416(2,1)	0.9303(2,1)
	0° / 90°	0.7133(1,1)	0.6799(1,1)	0.8091(1,1)
	90° / 0°	0.7133(1,1)	0.6799(1,1)	0.8091(1,1)
	0° / 90° / 0°	1.3231(1,1)	1.1873(1,1)	1.5216(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.9370(2,1)	0.8769(2,1)	1.0604(2,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	1.3231(1,1)	1.1747(1,1)	1.5216(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	1.2409(2,1)	1.1658(2,1)	1.3784(2,1)

Çizelge 4.10b.H ve HO ortotropik tabakalı plakların farklı tabaka düzenleri için $\bar{n}_{eks}^{BMKDT}$ değerleri ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının a/b oranına bağlı değişimi

$\bar{n}_{eks}^{BMKDT} (m,n)$				
$\phi^k(Z)$				
a/b	Tabakalanma Düzeni	Hom.	Z	Z^2
0.25	0°	13.8352(1,1)	12.8412(1,1)	15.7665(1,1)
	90°	1.5387(1,1)	1.4125(1,1)	1.7677(1,1)
	0° / 90°	3.9744(1,1)	3.7012(1,1)	4.4794(1,1)
	90° / 0°	3.9744(1,1)	3.9307(1,1)	4.4794(1,1)
	0° / 90° / 0°	13.4404(1,1)	12.0886(1,1)	15.3725(1,1)
	90° / 0° / 90°	2.0636(1,1)	1.9944(1,1)	2.3006(1,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	12.4863(1,1)	10.9913(1,1)	14.3937(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	3.2858(1,1)	3.1716(1,1)	3.5785(1,1)
0.50	0°	3.6314(1,1)	3.3704(1,1)	4.1384(1,1)
	90°	0.7780(1,1)	0.7154(1,1)	0.8926(1,1)
	0° / 90°	1.2079(1,1)	1.1289(1,1)	1.3642(1,1)
	90° / 0°	1.2079(1,1)	1.1843(1,1)	1.3642(1,1)
	0° / 90° / 0°	3.5410(1,1)	3.1918(1,1)	4.0484(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.9012(1,1)	0.8464(1,1)	1.0177(1,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	3.3223(1,1)	2.9362(1,1)	3.8244(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	1.1876(1,1)	1.1193(1,1)	1.3172(1,1)
0.75	0°	1.7620(1,1)	1.6352(1,1)	2.0082(1,1)
	90°	0.8602(2,1)	0.7943(2,1)	0.9839(2,1)
	0° / 90°	0.7581(1,1)	0.7157(1,1)	0.8575(1,1)
	90° / 0°	0.7581(1,1)	0.7336(1,1)	0.8575(1,1)
	0° / 90° / 0°	1.7369(1,1)	1.5728(1,1)	1.9835(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.9087(1,1)	0.8347(1,1)	1.0344(1,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	1.6750(1,1)	1.4930(1,1)	1.9209(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	1.0056(1,1)	0.9213(1,1)	1.1360(1,1)
1	0°	1.1314(1,1)	1.0496(1,1)	1.2897(1,1)
	90°	0.7000(2,1)	0.6487(2,1)	0.7985(2,1)
	0° / 90°	0.6715(1,1)	0.6419(1,1)	0.7596(1,1)
	90° / 0°	0.6715(1,1)	0.6419(1,1)	0.7596(1,1)
	0° / 90° / 0°	1.1392(1,1)	1.0393(1,1)	1.2981(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.8103(2,1)	0.7678(2,1)	0.9101(2,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	1.1554(1,1)	1.0435(1,1)	1.3161(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	1.0528(2,1)	1.0000(2,1)	1.1631(2,1)

Çizelge 4.10c. H ve HO ortotropik tabakalı plakların farklı tabaka düzenleri için $\bar{n}_{eks}^{YMKDT}$ değerleri ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının a/b oranına bağlı değişimi

$\bar{n}_{eks}^{YMKDT}(m,n)$				
a/b	Tabakalanma Düzeni	$\phi^k(Z)$		
		Hom.	Z	Z^2
0.25	0°	13.4511(1,1)	12.5096(1,1)	15.2103(1,1)
	90°	1.5337(1,1)	1.4082(1,1)	1.7603(1,1)
	0° / 90°	3.9646(1,1)	3.6819(1,1)	4.4609(1,1)
	90° / 0°	3.9646(1,1)	3.9322(1,1)	4.4609(1,1)
	0° / 90° / 0°	13.1187(1,1)	11.8278(1,1)	14.8893(1,1)
	90° / 0° / 90°	2.0476(1,1)	1.9793(1,1)	2.2803(1,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	12.2807(1,1)	10.8318(1,1)	14.0536(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	3.2303(1,1)	3.1194(1,1)	3.5122(1,1)
0.50	0°	3.5309(1,1)	3.2836(1,1)	3.9929(1,1)
	90°	0.7723(1,1)	0.7106(1,1)	0.8842(1,1)
	0° / 90°	1.2040(1,1)	1.1227(1,1)	1.3574(1,1)
	90° / 0°	1.2040(1,1)	1.1835(1,1)	1.3574(1,1)
	0° / 90° / 0°	3.4562(1,1)	3.1229(1,1)	3.9212(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.8927(1,1)	0.8389(1,1)	1.0060(1,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	3.2666(1,1)	2.8927(1,1)	3.7331(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	1.1693(1,1)	1.1025(1,1)	1.2940(1,1)
0.75	0°	1.7138(1,1)	1.5935(1,1)	1.9385(1,1)
	90°	0.8458(2,1)	0.7820(2,1)	0.9630(2,1)
	0° / 90°	0.7548(1,1)	0.7117(1,1)	0.8521(1,1)
	90° / 0°	0.7548(1,1)	0.7317(1,1)	0.8521(1,1)
	0° / 90° / 0°	1.6954(1,1)	1.5389(1,1)	1.9215(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.8949(1,1)	0.8232(1,1)	1.0142(1,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	1.6456(1,1)	1.4696(1,1)	1.8738(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	0.9896(1,1)	0.9075(1,1)	1.1135(1,1)
1	0°	1.1011(1,1)	1.0235(1,1)	1.2459(1,1)
	90°	0.6829(2,1)	0.6340(2,1)	0.7738(2,1)
	0° / 90°	0.6678(1,1)	0.6385(1,1)	0.7535(1,1)
	90° / 0°	0.6678(1,1)	0.6385(1,1)	0.7535(1,1)
	0° / 90° / 0°	1.1119(1,1)	1.0167(1,1)	1.2577(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.7839(2,1)	0.7440(2,1)	0.8746(2,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	1.1326(1,1)	1.0247(1,1)	1.2814(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	0.9973(2,1)	0.9486(2,1)	1.0940(2,1)

Tabakaları oluşturan malzemelerin Elastisite ve Kayma modülleri kalınlık doğrultusunda doğrusal ve kuadratik fonksiyonlar şeklinde değişmektedir. Homojen olmamanın ortotropik tabakalı kompozit plakların kritik basınç yüküne a/b oranı değişimine bağlı etkileri KPT, BMKDT ve YMKDT kullanılarak belirlenmiş ve şu şekilde sıralanmıştır:

1) Homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde;

- KPT dikkate alındığında $a/b = 0.25$ için homojen olmamanın kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-13.58) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.14) ile (90/0) tabaka düzeninde; $a/b = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-13.23) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-2.04) ile (90/0) tabaka düzeninde; $a/b = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-12.45) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-3.38) ile (90/0) tabaka düzeninde; $a/b = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-11.22) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-4.68) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/b oranının artışına bağlı olarak (0/..) formundaki tabaka düzenlerinde homojen olmamanın kritik basınç yüküne etkisi azalırken (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde ise artmaktadır. Tek tabakalı (0) ve (90) tabaka düzenlerinde ise hemen hemen bir değişim olmamaktadır. Örneğin; a/b oranı 0.25'den 1'e kadar arttığında (0/90/90/0) için (%-11.56)'dan (%-10.26)'a azalırken, (90/0/90) için (%-3.44)'den (%-6.41)'e artmaktadır.
- BMKDT kullanıldığında $a/b = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-11.97) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.10) ile (90/0) tabaka düzeninde; $a/b = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-11.62) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.95) ile (90/0) tabaka düzeninde; $a/b = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-10.87) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-3.23) ile (90/0) tabaka düzeninde; $a/b = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-9.68) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-4.41) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/b oranının artışına bağlı olarak (0/..) formundaki tabaka düzenlerinde homojen olmamanın kritik basınç yüküne etkisi azalırken (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde ise artmaktadır. Örneğin; a/b oranı 0.25'den 1'e kadar arttığında (0/90/90/0) için (%-11.97)'den (%-9.68)'e azalırken, (90/0/90) için (%-3.48)'den (%-5.02)'e artmaktadır.
- YMKDT kullanıldığında $a/b = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-11.80) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi çok az olup (%-0.82) ile (90/0) tabaka düzeninde; $a/b = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-11.45) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.70) ile (90/0) tabaka düzeninde; $a/b = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-10.70) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-3.06) ile (90/0) tabaka

düzeninde; $a/b=1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-9.53) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-4.39) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/b oranının artışına bağlı olarak (0/..) formundaki tabaka düzenlerinde homojen olmamanın kritik basınç yüküne etkisi azalırken (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde ise artmaktadır. Örneğin; a/b oranı 0.25'den 1'e kadar arttığında (0/90) için (%-7.13)'den (%-4.39)'e azalırken, (90/0) için (%-0.82)'den (%-4.39)'a artmaktadır.

2) Homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde;

- KPT dikkate alındığında $a/b=0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%16.43) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%8.93) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $a/b=0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%16.27) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%11.08) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $a/b=0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%15.82) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%13.36) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $a/b=1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%15) ile (0), (0/90/0) ve (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%11.08) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/b oranının artışına bağlı olarak (0/90) haricindeki tüm (0/..) formundaki tabaka düzenlerinde homojen olmamanın kritik basınç yüküne etkisi azalırken (0/90) ve tüm (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde homojen olmamanın kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; a/b oranı 0.25'den 1'e kadar arttığında (0/90/0) için (%15.46)'dan (%15)'e azalmakta, (90/0/90) için (%11.56)'dan (%13.17)'e artmakta, (0/90) için (%12.90)'dan (%13.43)'e artmaktadır.
- BMKDT kullanıldığında $a/b=0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%15.28) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%8.91) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $a/b=0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%15.11) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%10.91) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $a/b=0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14.68) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%12.97) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $a/b=1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14.07) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%10.48) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/b oranının artışına bağlı olarak (0/90) haricindeki tüm (0/..) formundaki tabaka düzenlerinde homojen olmamanın kritik basınç yüküne etkisi azalırken (0/90) ve tüm (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde homojen

olmamanın kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; a/b oranı 0.25'den 1'e kadar arttığında (0/90/0) için (%14.38)'den (%13.95)'e azalmakta, (90/0/90) için (%11.48)'den (%12.32)'e artmakta, (0/90) için (%12.72)'den (%13.12)'e artmaktadır.

- YMKDT kullanıldığında $a/b = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14.77) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%8.73) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $a/b = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14.49) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%10.66) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $a/b = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%13.87) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%12.52) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $a/b = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%13.31) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%9.70) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/b oranının artışına bağlı olarak (0/90) haricindeki tüm (0/..) formundaki tabaka düzenlerinde homojen olmamanın kritik basınç yüküne etkisi azalırken (0/90) ve tüm (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde homojen olmamanın kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; a/b oranı 0.25'den 1'e kadar arttığında (0/90/0) için (%13.50)'den (%13.11)'e azalmakta, (90/0/90) için (%11.36)'dan (%11.57)'ye artmakta, (0/90) için (%12.52)'den (%12.83)'e artmaktadır.

Çizelge 4.10a-c'den ve analizlerden görüldüğü üzere a/b oranının değişimi homojen olmamanın etkisini önemli derecede etkilemektedir. Daha da önemlisi homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde a/b oranının artışına bağlı olarak ortotropik tabakalı kompozit plağın kritik basınç yüküne homojen olmamanın etkisi (0/..) formundaki tabaka düzenlerinde azalırken (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde artmaktadır. Homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde ise bu etki (0/90) hariç tüm (0/..) formundaki tabaka düzenlerinde azalırken, (0/90) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde artmaktadır. KPT kullanıldığında (0) ve (90) tabaka düzenine sahip ortotropik tabakalı kompozit plakların kritik basınç yüküne homojen olmamanın a/b oranına bağlı değişimi hemen hemen sıfırdır.

Çizelge 4.10a-c'den kayma deformasyonun ortotropik tabakalı kompozit plakların kritik basınç yüküne a/b oranı değişimine bağlı etkileri BMKDT ve YMKDT kullanılarak belirlenmiş ve şu şekilde sıralanmıştır:

3) Homojen durumda;

- BMKDT kullanıldığında kayma deformasyonun $a/b=0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14.86) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%1.68) ile (90) tabaka düzeninde; $a/b=0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14.84) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%3.82) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $a/b=0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14.74) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%4.80) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $a/b=1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%15.16) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%5.86) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/b oranının artışına bağlı olarak (0/90) haricindeki tüm (0/..) formundaki tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi azalırken (0/90) ve tüm (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; a/b oranı 0.25'den 1'e kadar arttığında (0/90/90/0) için (%13.37)'den (%12.67)'e azalırken, (90/0/0/90) için (%3.37)'den (%15.16)'e kadar artmakta; (0/90) için (%4.13)'den (%5.86)'ya artmaktadır.
- YMKDT kullanıldığında $a/b=0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%17.22) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%2) ile (90) tabaka düzeninde; $a/b=0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%17.19) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%4.54) ile (90) tabaka düzeninde; $a/b=0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%17.07) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%5.21) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $a/b=1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%19.63) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%6.38) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/b oranının artışına bağlı olarak (0/90) haricindeki tüm (0/..) formundaki tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi azalırken (0/90) ve tüm (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; a/b oranı 0.25'den 1'e kadar arttığında (0/90/0) için (%16.47)'den (%15.96)'ya azalırken, (90/0/90) için (%2.91)'den (%16.34)'e kadar artmakta; (0/90) için (%4.37)'den (%6.38)'e artmaktadır.

4) Homojen olmama doğrusal değiştiğinde;

- BMKDT kullanıldığında kayma deformasyonun $a/b=0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%13.79) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%1.54)

ile (90) tabaka düzeninde; $a/b = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%13.77) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%3.48) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $a/b = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%13.68) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%4.54) ile (0/90) tabaka düzeninde; $a/b = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14.22) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%5.59) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/b oranının artışına bağlı olarak (0/90) haricindeki tüm (0/..) formundaki tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi azalırken (0/90) ve tüm (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; a/b oranı 0.25'den 1'e kadar arttığında (0/90/90/0) için (%11.76)'dan (%11.17)'ye azalırken, (90/0/0/90) için (%3.26)'dan (%14.22)'e kadar artmakta; (0/90) için (%3.85)'den (%5.59)'a artmaktadır.

- YMKDT kullanıldığında $a/b = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%16.02) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%1.84) ile (90) tabaka düzeninde; $a/b = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%15.99) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%4.18) ile (90) tabaka düzeninde; $a/b = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%15.88) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%4.90) ile (90/0) tabaka düzeninde; $a/b = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%18.63) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%6.09) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/b oranının artışına bağlı olarak (0/90) haricindeki tüm (0/..) formundaki tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi azalırken (0/90) ve tüm (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; a/b oranı 0.25'den 1'e kadar arttığında (0/90/0) için (%14.84)'den (%14.37)'ye azalırken, (90/0/90) için (%2.80)'den (%15.16)'ya artmakta; (0/90) için (%4.35)'den (%6.09)'a artmaktadır.

5) Homojen olmama kuadratik değiştiğinde;

- BMKDT kullanıldığında kayma deformasyonun $a/b = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%15.63) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%1.78) ile (90) tabaka düzeninde; $a/b = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%15.61) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%4.03) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $a/b = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%15.50) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%5.01) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde;

$a/b=1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%15.62) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%6.12) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/b oranının artışına bağlı olarak (0/90) haricindeki tüm (0/..) formundaki tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi azalırken (0/90) ve tüm (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; a/b oranı 0.25'den 1'e kadar arttığında (0/90/90/0) için (%14.23)'den (%13.51)'e azalırken, (90/0/0/90) için (%3.39)'dan (%15.62)'ye artmakta; (0/90) için (%4.29)'dan (%6.12)'ye artmaktadır.

- YMKDT kullanıldığında $a/b=0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%18.60) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%2.19) ile (90) tabaka düzeninde; $a/b=0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%18.58) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%4.96) ile (90), (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $a/b=0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%18.43) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%5.61) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $a/b=1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%20.63) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%6.87) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/b oranının artışına bağlı olarak (0/90) haricindeki tüm (0/..) formundaki tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi azalırken (0/90) ve tüm (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; a/b oranı 0.25'den 1'e kadar arttığında (0/90/0) için (%17.89)'dan (%17.34)'e azalırken, (90/0/90) için (%3.08)'den (%17.52)'ye kadar artmakta; (0/90) için (%4.69)'dan (%6.87)'ye artmaktadır.

6) Tüm tabaka düzenleri ve malzeme özellikleri dikkate alınarak kritik basınç yükü değerleri kıyaslandığında;

- BMKDT için kayma deformasyonun $a/b=0.25$ için en büyük etkisi (0) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde (%15.63) olarak ve en az etkisi ise (90) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde (%1.54) olarak, kayma deformasyonun $a/b=0.50$ için en büyük etkisi (90/0) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde (%20.44) olarak ve en az etkisi ise (90) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde (%3.52) olarak, kayma deformasyonun $a/b=0.75$ için en büyük etkisi (0) tabaka düzeninde ve

homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde (%15.50) olarak ve en az etkisi (0/90) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde (%4.54) olarak, kayma deformasyonun $a/b=1$ için en büyük etkisi (90/0/0/90) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde (%15.62) olarak ve en az etkisi (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde (%5.59) olarak elde edilmektedir.

- YMKDT için ise kayma deformasyonun $a/b=0.25$ için en büyük etkisi (0) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde (%18.60) olarak ve en az etkisi (90) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde (%1.84) olarak, kayma deformasyonun $a/b=0.50$ için en büyük etkisi (0) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde (%18.58) olarak ve en az etkisi (90) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde (%4.18) olarak, kayma deformasyonun $a/b=0.75$ için en büyük etkisi (0) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde (%18.43) olarak ve en az etkisi (90/0) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde (%4.90) olarak, kayma deformasyonun $a/b=1$ için en büyük etkisi (90/0/0/90) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde (%20.63) olarak ve en az etkisi (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğine (%6.09) olarak elde edilmektedir.

7) Tüm tabaka düzenleri, malzeme özellikleri ve a/b oranları dikkate alınarak kritik basınc yükü değerleri kıyaslandığında;

- BMKDT için kayma deformasyonun en büyük etkisi (0) tabaka düzeninde, homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde ve $a/b=0.25$ olduğunda (%15.63) olarak ve en az etkisi ise (90) tabaka düzeninde, homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde ve $a/b=0.25$ olduğunda (%1.54) olarak ortaya çıkmaktadır.
- YMKDT için ise kayma deformasyonun en büyük etkisi (90/0/0/90) tabaka düzeninde, homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde ve $a/b=1$ olduğunda (%20.63) olarak ve en az etkisi (90) tabaka düzeninde, homojen olmama doğrusal değiştiğinde ve $a/b=0.25$ olduğunda (%1.84) olarak ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 4.10a-c'den ve analizlerden görüldüğü üzere a/b oranının değişimi kayma deformasyonun etkisini önemli derecede etkilemektedir. Ayrıca a/b oranının

artışına bağlı olarak (0/90) haricindeki tüm (0/..) formundaki tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi azalırken (0/90) ve tüm (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Dahası hem BMKDT hem de YMKDT kullanıldığında ve homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde (0/90) ve (90/0) tabaka düzenine sahip ortotropik tabakalı kompozit plakların kritik basınç yükü değerlerine kayma deformasyonun etkileri a/b oranının artışına bağlı olarak artmış ve her bir a/b değeri için ortaya çıkardıkları etkiler birbirine eşit olmaktadır. Dolayısıyla homojen olmama kuadratik değiştiğinde ortotropik grafit/epoksi (T) malzemesinden oluşan (90/0) tabakalı kompozit plak (0/90) tabakalı kompozit plak özelliği sergilemektedir.

KPT, BMKDT ve YMKDT dikkate alındığında, (0/90), (0/90/0) ve (0/90/90/0) tabaka düzenleri (0) tabaka düzeniyle ve (90/0), (90/0/90) ve (90/0/0/90) tabaka düzenleri ise (90) tabaka düzeniyle kendi aralarında kıyaslandığında aradaki farkların tabaka dizilişi, sayısına ve a/b oranının değişimine göre yüzde olarak önemli derecede değiştiği ve aşağıdaki şekilde olduğu görülmüştür:

8) Homojen durumda;

- KPT dikkate alındığında $a/b = 0.25$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%164.89) ile (90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-3.35) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $a/b = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-70.40) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-3) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $a/b = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-61.47) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-2.01) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $a/b = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%53.39) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%0) ile (0/90/0) ve (90/0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/b oranının artışına bağlı olarak (0/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde ve (90/0/90) ile (90/0/0/90) tabaka düzenleri haricindeki tüm (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi azalmaktadır. Örneğin; a/b oranı 0.25'den 1'e kadar arttığında (0/90/0) için (%-3.35)'den (%0)'a, azalmaktadır. a/b oranı 0.25'den 0.75'e kadar arttığında (90/0/90) için (%34.75)'den (%4.66)'a azalmakta ve $a/b = 1$ olduğunda (%15.82)'ye artmaktadır.
- BMKDT kullanıldığında $a/b = 0.25$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%158.30) ile (90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-2.85) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $a/b = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-66.74) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-2.49) ile (0/90/0) tabaka

düzeninde; $a/b = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-56.98) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.42) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $a/b = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%50.40) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%0.69) ile (0/90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/b oranının artışına bağlı olarak (0/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde ve (90/0/90) ile (90/0/0/90) tabaka düzenleri haricindeki tüm (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi azalmaktadır. Örneğin; a/b oranı 0.25'den 1'e kadar arttığında (0/90/0) için (%-3.35)'den (%0)'a, azalmaktadır. a/b oranı 0.25'den 0.75'e kadar arttığında (90/0/90) için (%34.75)'den (%4.66)'a azalmakta ve $a/b = 1$ olduğunda (%15.82)'ye artmaktadır.

- YMKDT kullanıldığında ise $a/b = 0.25$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%158.50) ile (90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-2.47) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $a/b = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-65.90) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-2.12) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $a/b = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-55.96) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.07) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $a/b = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%46.04) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%0.98) ile (0/90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/b oranının artışına bağlı olarak (0/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde ve (90/0/90) ile (90/0/0/90) tabaka düzenleri haricindeki tüm (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi azalmaktadır. Örneğin; a/b oranı 0.25'den 1'e kadar arttığında (0/90/0) için (%-2.47)'den (%0.98)'e, azalmaktadır. a/b oranı 0.25'den 0.75'e kadar arttığında (90/0/90) için (%33.51)'den (%5.81)'e azalmakta ve $a/b = 1$ olduğunda (%14.79)'a artmaktadır.

9) Homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde;

- KPT dikkate alındığında $a/b = 0.25$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%185.67) ile (90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-6.75) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $a/b = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-69.90) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-6.21) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $a/b = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-60.42) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%3.91) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $a/b = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%57.20) ile (90/0/0/90) tabaka

düzeninde, en az etkisi (%-2.11) ile (0/90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/b oranının artışına bağlı olarak (0/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde ve (90/0/90) ile (90/0/0/90) tabaka düzenleri haricindeki tüm (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi azalmaktadır. Örneğin; a/b oranı 0.25'den 1'e kadar arttığında (0/90/0) için (%-6.75)'den (%-2.11)'e, azalmaktadır. a/b oranı 0.25'den 0.75'e kadar arttığında (90/0/90) için (%41.95)'den (%3.91)'e azalmakta ve $a/b=1$ olduğunda (%18.24)'e artmaktadır.

- BMKDT kullanıldığında $a/b=0.25$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%178.28) ile (90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-5.86) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $a/b=0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-66.51) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-5.30) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $a/b=0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-56.23) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-3.82) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $a/b=1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%54.15) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-0.58) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/b oranının artışına bağlı olarak (0/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde ve (90/0/90) ile (90/0/0/90) tabaka düzenleri haricindeki tüm (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi azalmaktadır. Örneğin; a/b oranı 0.25'den 1'e kadar arttığında (0/90/0) için (%-5.86)'dan (%-0.98)'e, azalmaktadır. a/b oranı 0.25'den 0.75'e kadar arttığında (90/0/90) için (%41.20)'den (%5.09)'a azalmakta ve $a/b=1$ olduğunda (%18.36)'ya artmaktadır.
- YMKDT kullanıldığında ise $a/b=0.25$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%179.24) ile (90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-5.45) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $a/b=0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%66.55) ile (90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-4.89) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $a/b=0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-55.34) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-3.43) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $a/b=1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%49.62) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%0.12) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/b oranının artışına bağlı olarak (0/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde ve (90/0/90) ile (90/0/0/90) tabaka düzenleri haricindeki tüm (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi azalmaktadır. Örneğin; a/b oranı

0.25'den 1'e kadar arttığında (0/90/0) için (%-5.45)'den (%-0.66)'ya, azalmaktadır. a/b oranı 0.25'den 0.75'e kadar arttığında (90/0/90) için (%40.56)'dan (%5.27)'ye azalmakta ve $a/b=1$ olduğunda (%17.35)'e artmaktadır.

10) Homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde;

- KPT dikkate alındığında $a/b = 0.25$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%160.07) ile (90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-2.96) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $a/b = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-70.87) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-2.65) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $a/b = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-62.02) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.78) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $a/b = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%48.17) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%0) ile (0/90/0) ve (0/90/90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/b oranının artışına bağlı olarak (0/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde ve (90/0/90) ile (90/0/0/90) tabaka düzenleri haricindeki tüm (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi azalmaktadır. Örneğin; a/b oranı 0.25'den 1'e kadar arttığında (0/90/0) için (%-2.96)'dan (%0)'a, azalmaktadır. a/b oranı 0.25'den 0.75'e kadar arttığında (90/0/90) için (%30.73)'den (%4.14)'e azalmakta ve $a/b = 1$ olduğunda (%13.98)'e artmaktadır.
- BMKDT kullanıldığında $a/b = 0.25$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%153.40) ile (90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-2.50) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $a/b = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-67.04) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-2.17) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $a/b = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-57.30) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.23) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $a/b = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%45.66) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%0.65) ile (0/90//0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/b oranının artışına bağlı olarak (0/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde ve (90/0/90) ile (90/0/0/90) tabaka düzenleri haricindeki tüm (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi azalmaktadır. Örneğin; a/b oranı 0.25'den 1'e kadar arttığında (0/90/0) için (%-2.50)'den (%0.65)'e, azalmaktadır. a/b oranı 0.25'den 0.75'e kadar arttığında (90/0/90) için (%30.15)'den (%5.13)'e azalmakta ve $a/b = 1$ olduğunda (%13.98)'e artmaktadır.

- YMKDT kullanıldığında ise $a/b=0.25$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%153.42) ile (90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-2.11) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $a/b=0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-66) ile (90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.80) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $a/b=0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-56.04) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-0.88) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $a/b=1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%41.38) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-0.66) ile (0/90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/b oranının artışına bağlı olarak (0/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde ve (90/0/90) ile (90/0/0/90) tabaka düzenleri haricindeki tüm (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi azalmaktadır. Örneğin; a/b oranı 0.25'den 1'e kadar arttığında (0/90/0) için (%-2.11)'den (%-0.66)'ya, azalmaktadır. a/b oranı 0.25'den 0.75'e kadar arttığında (90/0/90) için (%29.54)'den (%5.32)'ye azalmakta ve $a/b=1$ olduğunda (%13.03)'e artmaktadır.

Çizelge 4.10a-c'den ve analizlerden görüldüğü üzere a/b oranının değişimi tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisini önemli derecede etkilemektedir. Ayrıca a/b oranının artışına bağlı olarak ortotropik tabakalı kompozit plağın kritik basınç yüküne tabaka düzeninin etkisi (0/..) formundaki tabaka düzenlerinde azalmakta ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde azalmakta veya artmaktadır. Yani, a/b oranı 0.25'den 0.75'e kadar arttığı durumunda (90/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi azalırken, $a/b=1$ olduğunda sadece (90/0/90) ve (90/0/0/90) tabaka düzenlerinde bu etki artmaktadır.

Çeşitli tabaka düzenleri ve homojen olmama fonksiyonları dikkate alındığında BMKDT ile YMKDT kendi aralarında kıyaslandığında yüksek mertebe kayma deformasyon etkilerinin tabaka düzenine, homojen olmama durumlarına ve a/b oranlarına göre yüzde olarak değişiminin aşağıdaki şekilde olduğu görülmüştür:

11) Homojen durumda;

- Yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yükü değerine $a/b=0.25$ için en büyük etkisi (%-2.78) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi çok küçük olup (%-0.25) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde; $a/b=0.50$ için en büyük etkisi (%-2.77) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi çok küçük olup (%-0.32) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde; $a/b=0.75$ için en büyük etkisi (%-2.74) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi çok küçük olup (%-0.44) ile (0/90) ve (90/0)

tabaka düzenlerinde; $a/b=1$ için en büyük etkisi (%-5.27) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi çok küçük olup (%-0.55) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde elde edilmektedir. Ayrıca a/b oranının artışına bağlı olarak (0) ve (0/90/0) hariç (0/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde ve (90/0/0/90) tabaka düzenleri haricindeki tüm (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. (0) tabaka düzeninde a/b oranının artışına bağlı olarak bu etki azalırken, (0/90/0) ve (90/0/0/90) tabaka düzenlerinde artmakta veya azalmaktadır. Örneğin; (0/90/0) için a/b oranı 0.25'den 0.50'ye kadar arttığında (%-2.39)'dan (%-2.40)'a artarken a/b oranı 0.50'den 0.75'e kadar arttığında (%-2.40)'dan (%-2.39)'a azalmakta ve a/b oranı 0.75'den 1'e kadar arttığında (%-2.39)'dan (%-2.40)'a artmaktadır. Aynı şekilde, (90/0/0/90) için a/b oranı 0.25'den 0.50'ye kadar arttığında (%-1.69)'dan (%-1.54)'e azalırken a/b oranı 0.50'den 0.75'e kadar arttığında (%-1.54)'den (%-1.59)'a artmakta ve a/b oranı 0.75'den 1'e kadar arttığında (%-1.59)'dan (%-5.27)'ye artmaktadır.

12) Homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde;

- Yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yükü değerine $a/b=0.25$ için en büyük etkisi (%-2.58) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi sıfıra yakın olup (%0.04) ile (90/0) tabaka düzeninde; $a/b=0.50$ için en büyük etkisi (%-2.58) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi sıfıra yakın olup (%-0.07) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde; $a/b=0.75$ için en büyük etkisi (%-2.55) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi çok küçük olup (%-0.26) ile (90/0) tabaka düzeninde; $a/b=1$ için en büyük etkisi (%-5.14) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi çok küçük olup (%-0.53) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde elde edilmektedir. Ayrıca a/b oranının artışına bağlı olarak (0) ve (0/90/0) hariç (0/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde ve (90/0/0/90) tabaka düzenleri haricindeki tüm (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. (0) tabaka düzeninde a/b oranının artışına bağlı olarak bu etki azalırken, (0/90/0) ve (90/0/0/90) tabaka düzenlerinde artmakta veya azalmaktadır. Örneğin; (0/90/0) için a/b oranı 0.25'den 0.50'ye kadar arttığında (%-2.16)'dan (%-2.17)'e artarken a/b oranı 0.50'den 0.75'e kadar arttığında (%-2.17)'den (%-2.16)'ya azalmakta ve a/b oranı 0.75'den 1'e kadar arttığında (%-2.16)'dan (%-2.18)'e artmaktadır. Aynı şekilde, (90/0/0/90) için a/b oranı 0.25'den

0.75'e kadar arttığında (%-1.65)'den (%-1.50)'ye azalırken a/b oranı 0.75'den 1'e kadar arttığında (%-1.50)'dan (%-5.14)'e artmaktadır.

13) Homojen olmama kuadratik değiştiğinde;

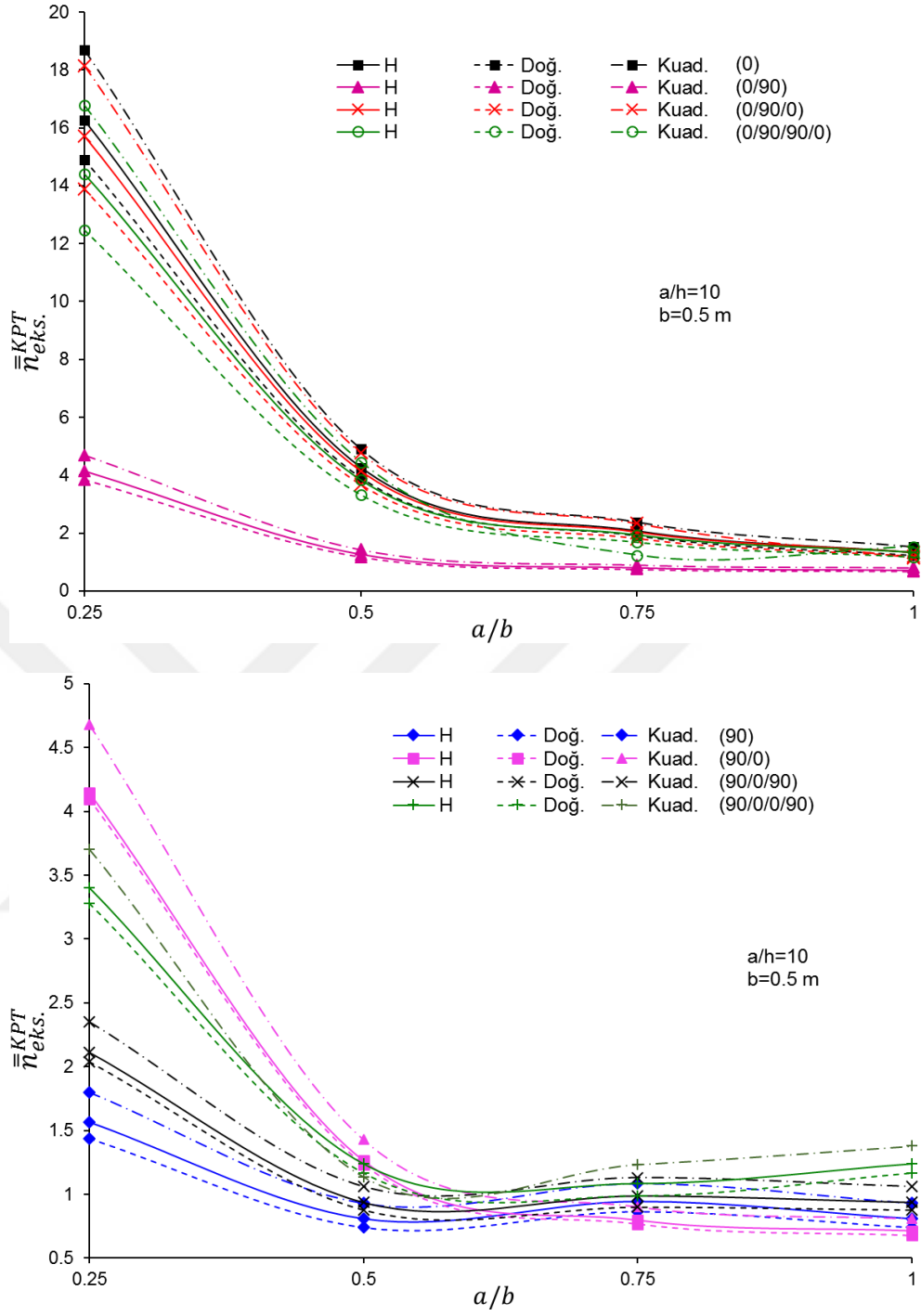
- Yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yükü değerine $a/b = 0.25$ için en büyük etkisi (%-3.53) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi çok küçük olup (%-0.41) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde; $a/b = 0.50$ için en büyük etkisi (%-3.52) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi çok küçük olup (%-0.50) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde; $a/b = 0.75$ için en büyük etkisi (%-3.47) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi çok küçük olup (%-0.63) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde; $a/b = 1$ için en büyük etkisi (%-5.94) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi çok küçük olup (%-0.80) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde elde edilmektedir. Ayrıca a/b oranının artışına bağlı olarak (0) ve (0/90/0) hariç (0/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde ve (90/0/0/90) tabaka düzenleri haricindeki tüm (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. (0) tabaka düzeninde a/b oranının artışına bağlı olarak bu etki azalırken, (0/90/0) ve (90/0/0/90) tabaka düzenlerinde artmakta veya azalmaktadır. Örneğin; (0/90/0) için a/b oranı 0.25'den 0.75'e kadar arttığında (%-3.14)'den (%-3.12)'ye azalırken a/b oranı 0.75'den 1'e kadar arttığında (%-3.12)'den (%-4.65)'e artmaktadır. Aynı şekilde, (90/0/0/90) için a/b oranı 0.25'den 0.50'ye kadar arttığında (%-1.85)'den (%-1.76)'ye azalırken a/b oranı 0.50'den 0.75'e kadar arttığında (%-1.76)'dan (%-1.98)'e artmakta ve a/b oranı 0.75'den 1'e kadar arttığında (%-1.98)'den (%-5.94)'e artmaktadır.

Çizelge 4.10a-c'den ve analizlerden görüldüğü üzere a/b oranının değişimi yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi mevcuttur. Ayrıca a/b oranının artışına bağlı olarak (0) ve (0/90/0) hariç (0/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde ve (90/0/0/90) tabaka düzenleri haricindeki tüm (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. (0) tabaka düzeninde a/b oranının artışına bağlı olarak bu etki azalırken, (0/90/0) ve (90/0/0/90) tabaka düzenlerinde artmakta veya azalmaktadır. Yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi homojen olmamanın kuadratik değiştiği durumda ve $a/b = 1$ için daha belirgindir. Dahası homojen durumda ve homojen olmamanın kuadratik değiştiği durumlarda a/b oranının artışına bağlı olarak (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde yüksek mertebeden kayma deformasyon terimlerinin etkileri artmakta ve her bir a/b değeri

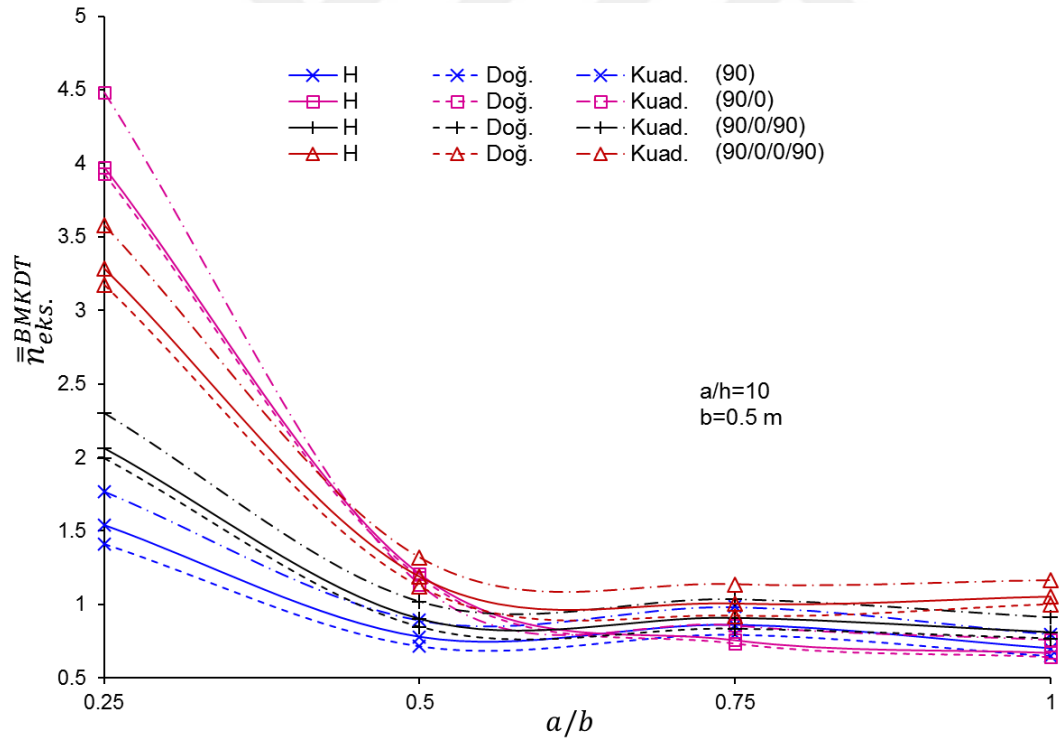
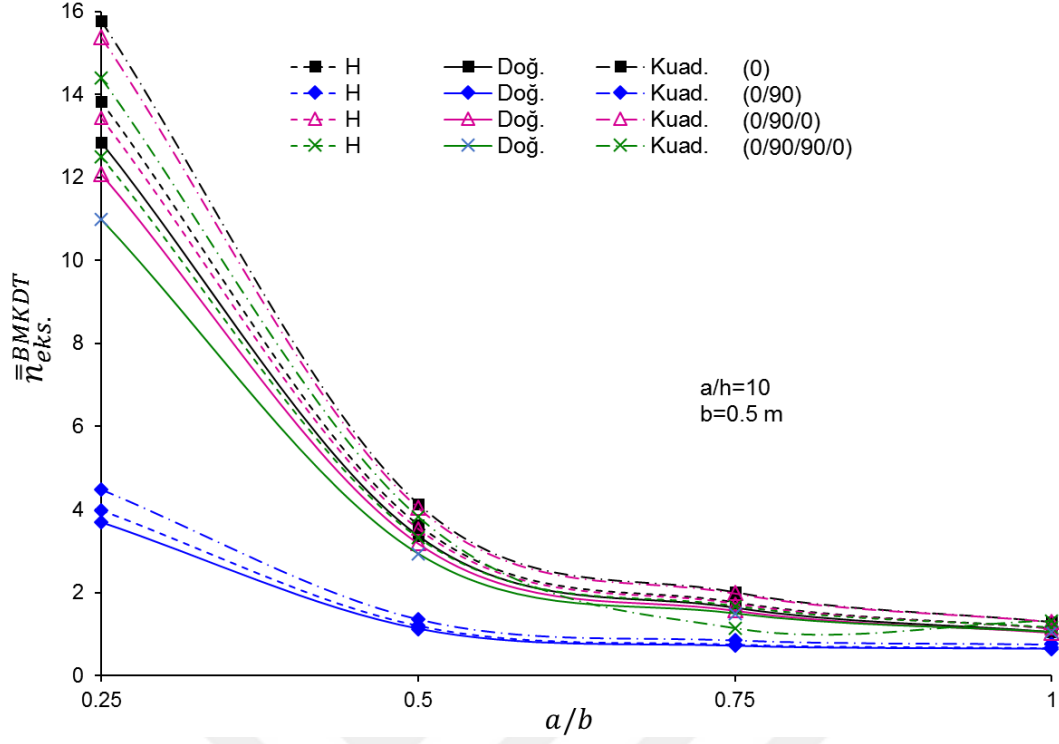
için ortaya çıkardıkları etkiler birbirine eşit olmaktadır. Dolayısıyla kuadratik değişimli veya homojen ortotropik grafit/epoksi (T) malzemesinden meydana gelen (90/0) tabakalı kompozit plak (0/90) tabakalı kompozit plak özelliği sergilemektedir.

şekil 4.1-4.5..KPT ve KDT kapsamında homojen ve homojen olmayan ortotropik tabakalı kompozit plağın kritik basın yükü değerlerinin çeşitli tabaka düzenlerine ve a/b oranına bağlı değişimi sunulmaktadır. şekillerde kullanılan veriler izelge 4.10a-c'den alınmıştır.

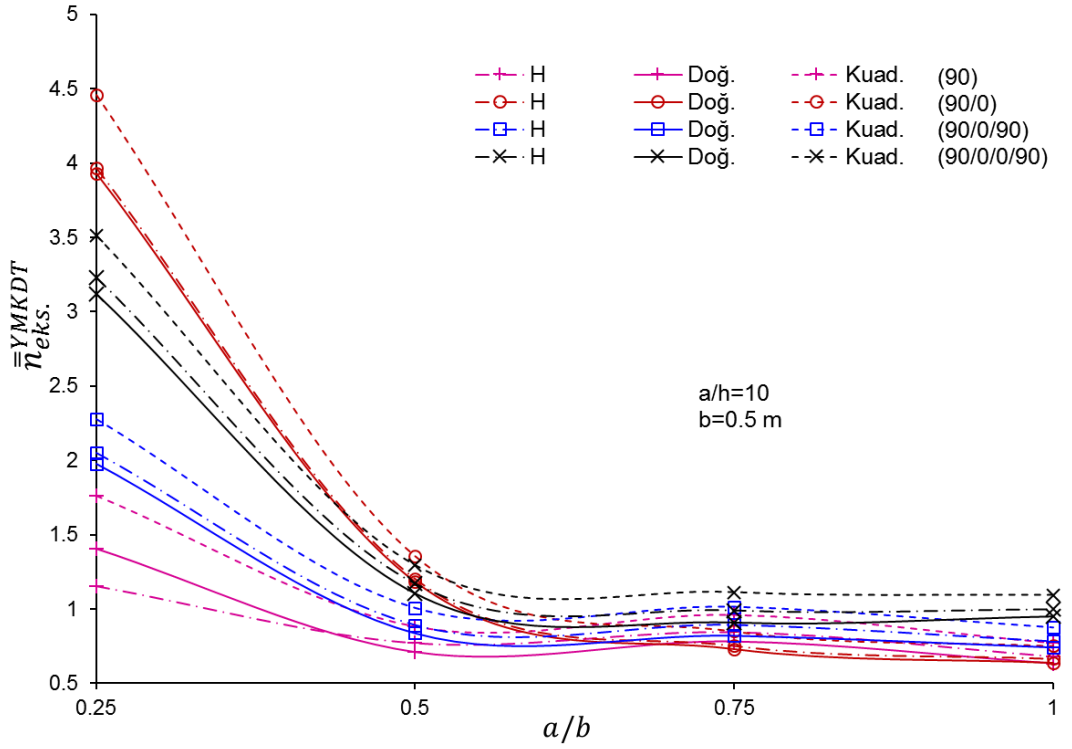
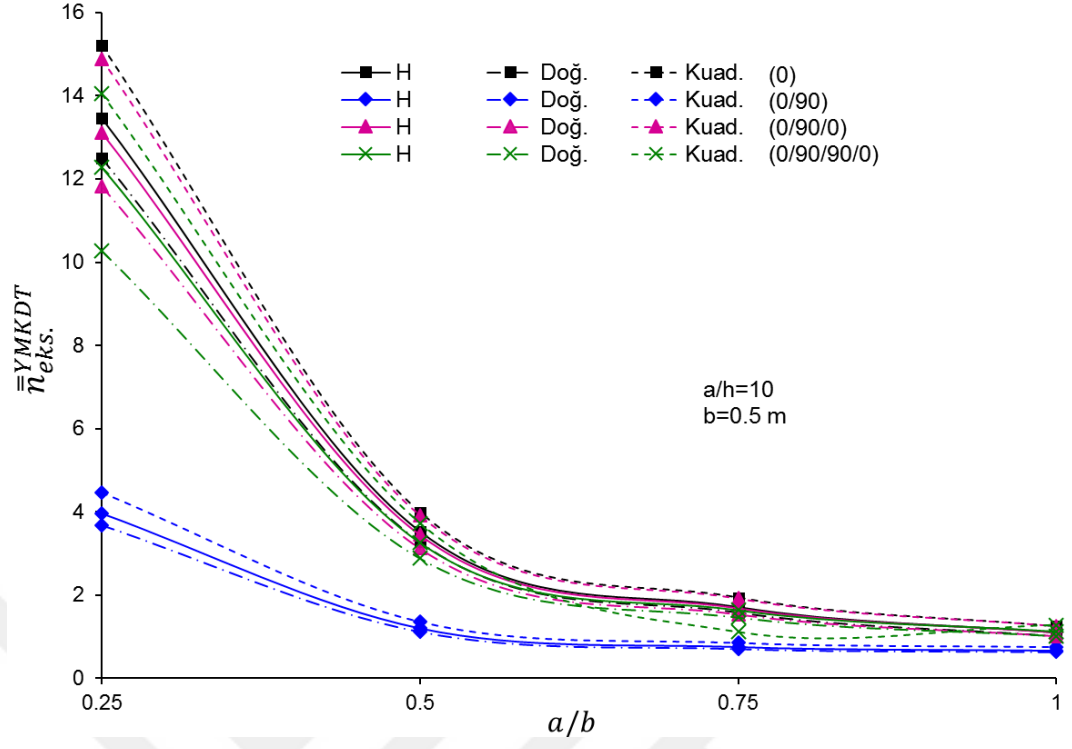




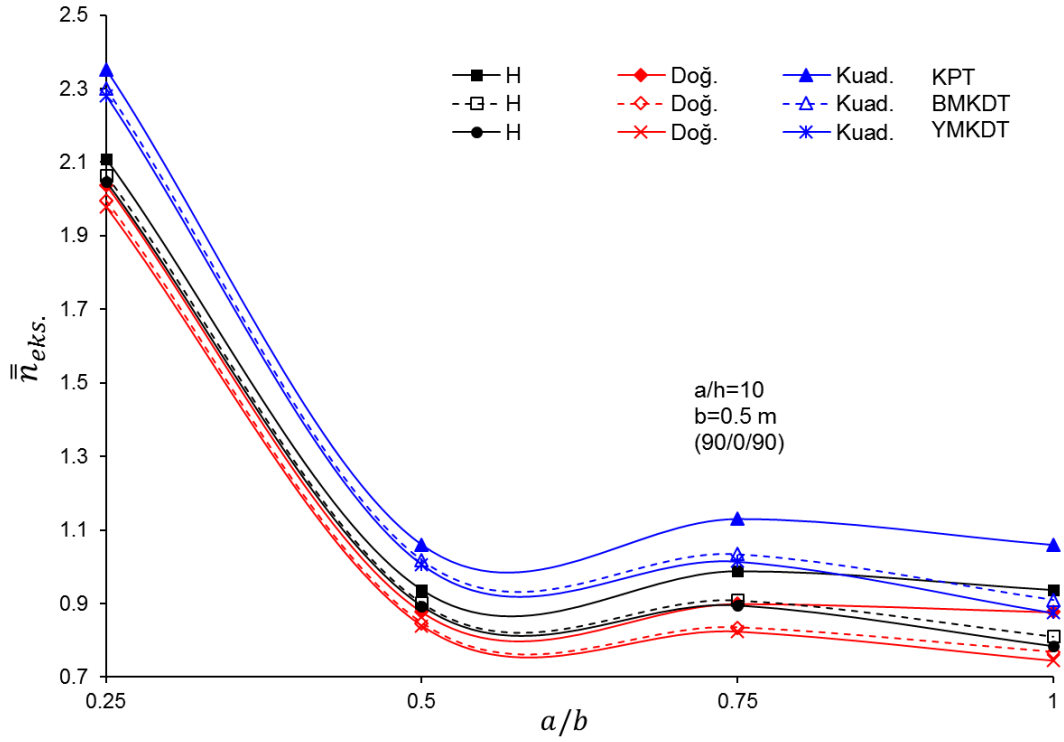
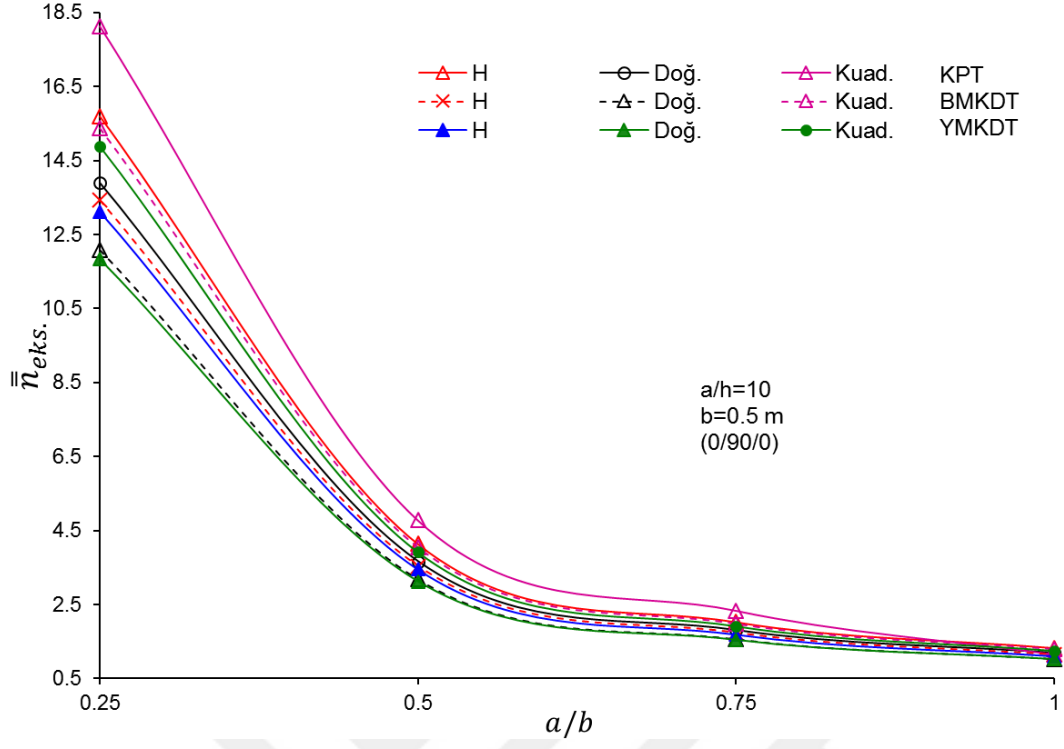
Şekil 4.1. $\bar{n}_{eks}^{KPT}$ 'in çeşitli tabaka düzenlerine ve a/b oranına göre değişimi ($\zeta = 0, \mu = 1$)



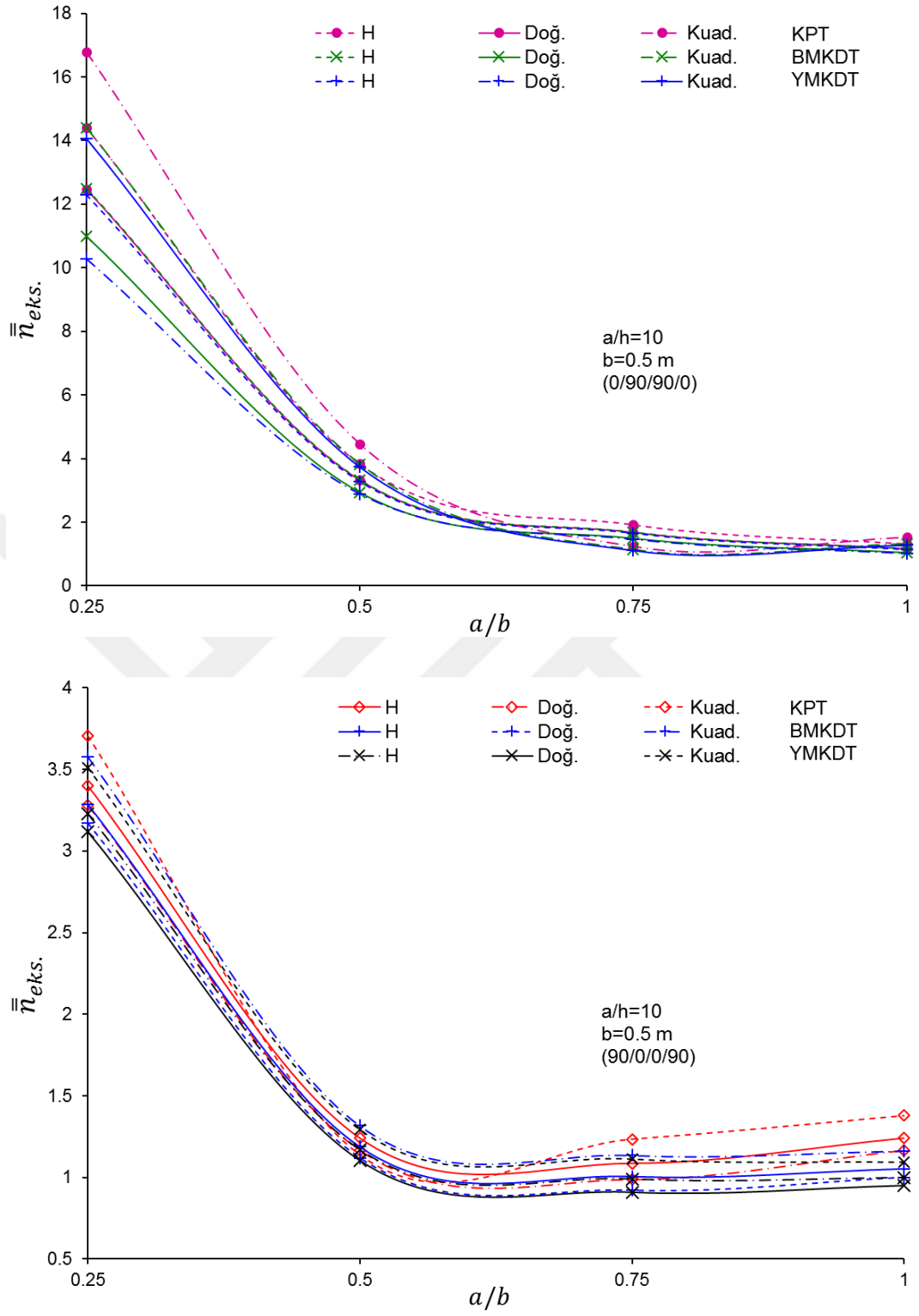
Şekil 4.2. $\bar{n}_{eks}^{BMKDT}$ 'in çeşitli tabaka düzenlerine ve a/b oranına göre değişimi ($\zeta = 0, \mu = 1$)



Şekil 4.3. $\bar{n}_{eks}^{YMKDT}$ 'in çeşitli tabaka düzenlerine ve a/b oranına göre değişimi ($\zeta = 0, \mu = 1$)



Şekil 4.4. $\bar{n}_{eks}$ 'in çeşitli teorilere ve a/b oranına göre değişimi ($\zeta = 0, \mu = 1$)



Şekil 4.5. $\bar{n}_{eks.}$ 'in çeşitli teorilere ve a/b oranına göre değişimi ($\zeta = 0, \mu = 1$)

Çizelge 4.11'da, $b=0.5m$, $a/b=2$ değerleri için KPT ve KDT kullanılarak çeşitli tabakalanma düzenine sahip homojen ve homojen olmayan ortotropik tabakalı kompozit plağın kritik burkulma yük değerlerinin ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının a/h oranına bağlı değişimi sunulmuştur.

Çizelge 4.11a.H ve HO ortotropik tabakalı plakların farklı tabaka düzenleri için $\bar{n}_{eks}^{KPT}$ değerleri ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının a/h oranına bağlı değişimi

a/h	Tabakalanma Düzeni	$\bar{n}_{eks}^{KPT}(m,n)$		
		$\phi^k(Z)$		
		Hom.	Z	Z^2
10	0°	0.8090(1,1)	0.7416(1,1)	0.9303(1,1)
	90°	0.8658(3,1)	0.7937(3,1)	0.9957(3,1)
	0°/90°	0.7133(2,1)	0.6799(2,1)	0.8091(2,1)
	90°/0°	0.7133(2,1)	0.6799(2,1)	0.8091(2,1)
	0°/90°/0°	0.9370(1,1)	0.8769(1,1)	1.0604(1,1)
	90°/0°/90°	0.9274(3,1)	0.8505(3,1)	1.0583(3,1)
	0°/90°/90°/0°	1.2409(1,1)	1.1658(1,1)	1.3784(1,1)
	90°/0°/0°/90°	1.0738(3,1)	0.9854(3,1)	1.2115(3,1)
20	0°	0.8090(1,1)	0.7416(1,1)	0.9303(1,1)
	90°	0.8658(3,1)	0.7937(3,1)	0.9957(3,1)
	0°/90°	0.7133(2,1)	0.6799(2,1)	0.8091(2,1)
	90°/0°	0.7133(2,1)	0.6799(2,1)	0.8091(2,1)
	0°/90°/0°	0.9370(1,1)	0.8769(1,1)	1.0604(1,1)
	90°/0°/90°	0.9274(3,1)	0.8505(3,1)	1.0583(3,1)
	0°/90°/90°/0°	1.2409(1,1)	1.1658(1,1)	1.3784(1,1)
	90°/0°/0°/90°	1.0738(3,1)	0.9854(3,1)	1.2115(3,1)
30	0°	0.8090(1,1)	0.7416(1,1)	0.9303(1,1)
	90°	0.8658(3,1)	0.7937(3,1)	0.9957(3,1)
	0°/90°	0.7133(2,1)	0.6799(2,1)	0.8091(2,1)
	90°/0°	0.7133(2,1)	0.6799(2,1)	0.8091(2,1)
	0°/90°/0°	0.9370(1,1)	0.8769(1,1)	1.0604(1,1)
	90°/0°/90°	0.9274(3,1)	0.8505(3,1)	1.0583(3,1)
	0°/90°/90°/0°	1.2409(1,1)	1.1658(1,1)	1.3784(1,1)
	90°/0°/0°/90°	1.0738(3,1)	0.9854(3,1)	1.2115(3,1)
50	0°	0.8090(1,1)	0.7416(1,1)	0.9303(1,1)
	90°	0.8658(3,1)	0.7937(3,1)	0.9957(3,1)
	0°/90°	0.7133(2,1)	0.6799(2,1)	0.8091(2,1)
	90°/0°	0.7133(2,1)	0.6799(2,1)	0.8091(2,1)
	0°/90°/0°	0.9370(1,1)	0.8769(1,1)	1.0604(1,1)
	90°/0°/90°	0.9274(3,1)	0.8505(3,1)	1.0583(3,1)
	0°/90°/90°/0°	1.2409(1,1)	1.1658(1,1)	1.3784(1,1)
	90°/0°/0°/90°	1.0738(3,1)	0.9854(3,1)	1.2115(3,1)

Çizelge 4.11b.H ve HO ortotropik tabakalı plakların farklı tabaka düzenleri için $\bar{n}_{eks}^{BMKDT}$ değerleri ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının a/h oranına bağlı değişimi

a/h	Tabakalanma Düzeni	$\bar{n}_{eks}^{BMKDT}(m,n)$		
		$\phi^k(Z)$		
		Hom.	Z	Z ²
10	0°	0.7000(1,1)	0.6487(1,1)	0.7985(1,1)
	90°	0.5405(3,1)	0.5104(3,1)	0.6085(3,1)
	0°/90°	0.5711(2,1)	0.5496(2,1)	0.6419(2,1)
	90°/0°	0.5711(2,1)	0.5496(2,1)	0.6419(2,1)
	0°/90°/0°	0.8103(1,1)	0.7678(1,1)	0.9101(1,1)
	90°/0°/90°	0.5883(3,1)	0.5610(3,1)	0.6566(3,1)
	0°/90°/90°/0°	1.0528(1,1)	1.0000(1,1)	1.1631(1,1)
	90°/0°/0°/90°	0.6845(3,1)	0.6519(3,1)	0.7570(3,1)
20	0°	0.7780(1,1)	0.7154(1,1)	0.8926(1,1)
	90°	0.7466(3,1)	0.6922(3,1)	0.8516(3,1)
	0°/90°	0.6715(2,1)	0.6419(2,1)	0.7596(2,1)
	90°/0°	0.6715(2,1)	0.6419(2,1)	0.7596(2,1)
	0°/90°/0°	0.9012(1,1)	0.8464(1,1)	1.0177(1,1)
	90°/0°/90°	0.8052(3,1)	0.7493(3,1)	0.9110(3,1)
	0°/90°/90°/0°	1.1876(1,1)	1.1193(1,1)	1.3172(1,1)
	90°/0°/0°/90°	0.9370(3,1)	0.8717(3,1)	1.0491(3,1)
30	0°	0.7948(1,1)	0.7297(1,1)	0.9131(1,1)
	90°	0.8078(3,1)	0.7446(3,1)	0.9251(3,1)
	0°/90°	0.6941(2,1)	0.6625(2,1)	0.7863(2,1)
	90°/0°	0.6941(2,1)	0.6625(2,1)	0.7863(2,1)
	0°/90°/0°	0.9207(1,1)	0.8630(1,1)	1.0409(1,1)
	90°/0°/90°	0.8681(3,1)	0.8018(3,1)	0.9865(3,1)
	0°/90°/90°/0°	1.2166(1,1)	1.1447(1,1)	1.3505(1,1)
	90°/0°/0°/90°	1.0080(3,1)	0.9311(3,1)	1.1329(3,1)
50	0°	0.8038(1,1)	0.7372(1,1)	0.9240(1,1)
	90°	0.8438(3,1)	0.7752(3,1)	0.9689(3,1)
	0°/90°	0.7062(2,1)	0.6735(2,1)	0.8008(2,1)
	90°/0°	0.7062(2,1)	0.6735(2,1)	0.8008(2,1)
	0°/90°/0°	0.9310(1,1)	0.8718(1,1)	1.0533(1,1)
	90°/0°/90°	0.9050(3,1)	0.8322(3,1)	1.0311(3,1)
	0°/90°/90°/0°	1.2320(1,1)	1.1581(1,1)	1.3682(1,1)
	90°/0°/0°/90°	1.0490(3,1)	0.9651(3,1)	1.1818(3,1)

Çizelge 4.11c. H ve HO ortotropik tabakalı plakların farklı tabaka düzenleri için $\bar{n}_{eks}^{YMKDT}$ değerleri ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının a/h oranına bağlı değişimi

$\bar{n}_{eks}^{YMKDT}(m,n)$				
a/h	Tabakalanma Düzeni	$\phi^k(Z)$		
		Hom.	Z	Z ²
10	0°	0.6829(1,1)	0.6340(1,1)	0.7738(1,1)
	90°	0.5087(3,1)	0.4817(3,1)	0.5640(3,1)
	0° / 90°	0.5613(2,1)	0.5404(2,1)	0.6257(2,1)
	90° / 0°	0.5613(2,1)	0.5404(2,1)	0.6257(2,1)
	0° / 90° / 0°	0.7839(1,1)	0.7440(1,1)	0.8746(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.5486(3,1)	0.5248(3,1)	0.6030(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	0.9973(1,1)	0.9486(1,1)	1.0940(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	0.6242(1,1)	0.5958(3,1)	0.6796(3,1)
20	0°	0.7723(1,1)	0.7106(1,1)	0.8842(1,1)
	90°	0.7279(3,1)	0.6760(3,1)	0.8245(3,1)
	0° / 90°	0.6678(2,1)	0.6385(2,1)	0.7535(2,1)
	90° / 0°	0.6678(2,1)	0.6385(2,1)	0.7535(2,1)
	0° / 90° / 0°	0.8927(1,1)	0.8389(1,1)	1.0060(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.7843(3,1)	0.7313(3,1)	0.8814(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	1.1693(1,1)	1.1025(1,1)	1.2940(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	0.9073(3,1)	0.8452(3,1)	1.0093(3,1)
30	0°	0.7922(1,1)	0.7274(1,1)	0.9091(1,1)
	90°	0.7975(3,1)	0.7358(3,1)	0.9101(3,1)
	0° / 90°	0.6923(2,1)	0.6608(2,1)	0.7834(2,1)
	90° / 0°	0.6923(2,1)	0.6608(2,1)	0.7834(2,1)
	0° / 90° / 0°	0.9167(1,1)	0.8596(1,1)	1.0354(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.8570(3,1)	0.7924(3,1)	0.9704(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	1.2080(1,1)	1.1368(1,1)	1.3395(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	0.9925(3,1)	0.9175(3,1)	1.1119(3,1)
50	0°	0.8028(1,1)	0.7364(1,1)	0.9226(1,1)
	90°	0.8397(3,1)	0.7716(3,1)	0.9628(3,1)
	0° / 90°	0.7056(2,1)	0.6729(2,1)	0.7996(2,1)
	90° / 0°	0.7056(2,1)	0.6729(2,1)	0.7996(2,1)
	0° / 90° / 0°	0.9295(1,1)	0.8705(1,1)	1.0513(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.9006(3,1)	0.8285(3,1)	1.0247(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	1.2288(1,1)	1.1552(1,1)	1.3642(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	1.0429(3,1)	0.9598(3,1)	1.1735(3,1)

Tabakaları oluşturan malzemelerin Elastisite ve Kayma modülleri kalınlık doğrultusunda doğrusal ve kuadratik fonksiyonlar şeklinde değişmektedir. Homojen olmamanın ortotropik tabakalı kompozit plakların kritik basınç yüküne a/h oranı değişimine bağlı etkileri KPT, BMKDT ve YMKDT kullanılarak belirlenmiş ve şu şekilde sıralanmıştır:

14) Homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde;

- KPT dikkate alındığında a/h oranının artışına bağlı olarak homojen olmamanın etkisi sabit kalmaktadır. Örneğin; (0/90/0) tabaka düzeni için a/h oranı 10'dan 50'ye kadar arttığında homojen olmamanın kritik basınç yüküne etkisi (%-6.41) ile sabit kalmaktadır. Dolayısıyla, homojen olmamanın etkisi a/h oranından bağımsızdır. Bu açıklamayla birlikte homojen olmamanın kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-8.33) ile (0) ve (90) tabaka düzenlerinde, en az etkisi (%-4.68) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır.
- BMKDT kullanıldığında $a/h=10$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-7.33) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-3.76) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $a/h=20$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-8.05) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-4.41) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $a/h=30$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-8.19) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-4.55) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $a/h=50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-8.29) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-4.63) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/h oranının artışına bağlı olarak (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde homojen olmamanın kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; a/h oranı 10'dan 50'ye kadar arttığında (0/90/90/0) için (%-5.02)'den (%-6)'ya, (90/0/0/90) için (%-4.76)'dan (%-8)'e artmaktadır.
- YMKDT kullanıldığında $a/h=10$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-7.16) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-3.72) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $a/h=20$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-7.99) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-4.39) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $a/h=30$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-8.18) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-4.55) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $a/h=50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-8.27) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-4.63) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/h oranının artışına bağlı olarak (0/..) formundaki tabaka düzenlerinde homojen olmamanın kritik basınç yüküne etkisi azalırken (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde ise artmaktadır. Ayrıca a/h oranının artışına bağlı olarak (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde homojen olmamanın kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; a/h oranı 10'dan

50'ye kadar arttığında (0/90/0) için (%-5.09)'dan (%-6.35)'e, (90/0/90) için (%-4.34)'dan (%-8.01)'e artmaktadır.

15) Homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde;

- KPT dikkate alındığında a/h oranının artışına bağlı olarak homojen olmamanın etkisi sabit kalmaktadır. Örneğin; (0/90/90/0) tabaka düzeni için a/h oranı 10'dan 50'ye kadar arttığında homojen olmamanın kritik basınç yüküne etkisi (%11.08) ile sabit kalmaktadır. Dolayısıyla, homojen olmamanın etkisi a/h oranından bağımsızdır. Bu açıklamayla birlikte homojen olmamanın kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%15) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%11.08) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır.
- BMKDT kullanıldığında $a/h=10$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14.07) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%10.48) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde; $a/h=20$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14.73) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%10.91) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde; $a/h=30$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14.88) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%11.01) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde; $a/h=50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14.95) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%11.06) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/h oranının artışına bağlı olarak (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde homojen olmamanın kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; a/h oranı 10'dan 50'ye kadar arttığında (0/90/90/0) için (%10.48)'den (%11.06)'ya, (90/0/0/90) için (%10.59)'dan (%12.66)'e artmaktadır.
- YMKDT kullanıldığında $a/h=10$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%13.31) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%8.88) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $a/h=20$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14.49) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%10.66) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $a/h=30$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14.76) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%10.89) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde; $a/h=50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14.92) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%11.02) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/h oranının artışına bağlı olarak (0/..) formundaki tabaka düzenlerinde homojen olmamanın kritik basınç yüküne etkisi azalırken (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde ise artmaktadır. Ayrıca a/h oranının artışına bağlı olarak (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde homojen olmamanın kritik

basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; a/h oranı 10'dan 50'ye kadar arttığında (0/90/0) için (%11.57)'den (%13.10)'a, (90/0/90) için (%9.92)'den (%13.78)'e artmaktadır.

Çizelge 4.11a-c'den ve analizlerden görüldüğü üzere a/h oranının değişimi homojen olmamanın etkisini önemli derecede etkilemektedir. Daha da önemlisi BMKDT ve YMKDT kullanıldığında a/h oranının artışına bağlı olarak ortotropik tabakalı kompozit plağın kritik basınç yüküne homojen olmamanın etkisi (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde artmaktadır. KPT kullanıldığında ise a/h oranının artışına bağlı olarak homojen olmamanın etkisi sabit kalmaktadır. Yani KPT kullanıldığında homojen olmamanın etkisi a/h oranından bağımsızdır. Dahası hem KPT hem de BMKDT ve YMKDT kullanıldığında ve homojen olmama doğrusal ve kuadratik olarak değiştiğinde (0/90) ve (90/0) tabaka düzenine sahip ortotropik tabakalı kompozit plakların kritik basınç yükü değerlerine homojen olmamanın etkileri a/h oranının artışına bağlı olarak artmakta ve her bir a/h değeri için ortaya çıkardıkları etkiler birbirine eşit olmaktadır. Dolayısıyla homojen olmama doğrusal ve kuadratik olarak değiştiğinde ortotropik grafit/epoksi (T) malzemesinden oluşan (90/0) tabakalı kompozit plak (0/90) tabakalı kompozit plak özelliği sergilemektedir.

Çizelge 4.11a-c'den kayma deformasyonun ortotropik tabakalı kompozit plakların kritik basınç yüküne a/h oranı değişimine bağlı etkileri BMKDT ve YMKDT kullanılarak belirlenmiş ve şu şekilde sıralanmıştır:

16) Homojen durumda;

- BMKDT kullanıldığında kayma deformasyonun $a/h=10$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%37.57) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%13.47) ile (0) tabaka düzeninde; $a/h=20$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%13.77) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%3.82) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $a/h=30$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%6.70) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%1.74) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $a/h=50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%2.54) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%0.64) ile (0) ve (0/90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/h oranının artışına bağlı olarak (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi azalmaktadır. Örneğin; a/h oranı 10'dan 50'ye kadar arttığında (0/90/90/0) için (%15.16)'dan (%0.72)'ye, (90/0/0/90) için (%36.25)'den (%2.31)'e azalmaktadır.

- YMKDT kullanıldığında $a/h=10$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%41.87) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%15.59) ile (0) tabaka düzeninde; $a/h=20$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%15.93) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%4.54) ile (0) tabaka düzeninde; $a/h=30$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%7.89) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%2.08) ile (0) tabaka düzeninde; $a/h=50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%3.01) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%0.77) ile (0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/h oranının artışına bağlı olarak (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi azalmaktadır. Örneğin; a/h oranı 10'dan 50'ye kadar arttığında (0/90/0) için (%16.34)'den (%0.80)'e, (90/0/90) için (%40.85)'den (%2.89)'a azalmaktadır.

17) Homojen olmama doğrusal değiştiğinde;

- BMKDT kullanıldığında kayma deformasyonun $a/h=10$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%41.05) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%18.06) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $a/h=20$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%20.05) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%9.67) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $a/h=30$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.12) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $a/h=50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%10.46) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%5.58) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/h oranının artışına bağlı olarak (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi azalmaktadır. Örneğin; a/h oranı 10'dan 50'ye kadar arttığında (0/90/90/0) için (%19.41)'den (%6.67)'ye, (90/0/0/90) için (%39.29)'dan (%10.12)'ye azalmaktadır.
- YMKDT kullanıldığında $a/h=10$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%39.54) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%14.51) ile (0) tabaka düzeninde; $a/h=20$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14.83) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%4.18) ile (0) tabaka düzeninde; $a/h=30$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%7.29) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%1.91) ile (0) tabaka düzeninde; $a/h=50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%2.78) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%0.70) ile (0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/h oranının artışına bağlı olarak

(0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi azalmaktadır. Örneğin; a/h oranı 10'dan 50'ye kadar arttığında (0/90/0) için (%15.16)'dan (%0.73)'e, (90/0/90) için (%38.30)'dan (%2.59)'a azalmaktadır.

18) Homojen olmama kuadratik değiştiğinde;

- BMKDT kullanıldığında kayma deformasyonun $a/h=10$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%38.89) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%14.17) ile (0) ve (0/90/0) tabaka düzeninde; $a/h=20$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14.47) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%4.03) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $a/h=30$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%7.09) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%1.84) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $a/h=50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%2.69) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%0.67) ile (0/90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/h oranının artışına bağlı olarak (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi azalmaktadır. Örneğin; a/h oranı 10'dan 50'ye kadar arttığında (0/90/90/0) için (%15.62)'den (%0.74)'e, (90/0/0/90) için (%37.52)'den (%2.45)'e azalmaktadır.
- YMKDT kullanıldığında $a/h=10$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%43.90) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%16.82) ile (0) tabaka düzeninde; $a/h=20$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%17.19) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%4.96) ile (0) tabaka düzeninde; $a/h=30$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%8.60) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%2.28) ile (0) tabaka düzeninde; $a/h=50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%3.30) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%0.83) ile (0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/h oranının artışına bağlı olarak (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi azalmaktadır. Örneğin; a/h oranı 10'dan 50'ye kadar arttığında (0/90/0) için (%17.52)'den (%0.86)'ya, (90/0/90) için (%43.90)'den (%3.17)'ye azalmaktadır.

19) Tüm tabaka düzenleri ve malzeme özellikleri dikkate alınarak kritik basınç yükü değerleri kıyaslandığında;

- BMKDT kullanıldığında kayma deformasyonun $a/h=10$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%41.05) ile (90) tabaka düzeninde ve homojen olmama

doğrusal olarak değiştiğinde, en az etkisi (%13.47) ile (0) tabaka düzeninde ve homojen durumda; $a/h = 20$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%20.05) ile (90) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde, en az etkisi (%3.82) ile (0/90/0) tabaka düzeninde ve homojen durumda; $a/h = 30$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14) ile (90) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde, en az etkisi (%1.74) ile (0/90/0) tabaka düzeninde ve homojen durumda; $a/h = 50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%10.46) ile (90) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde, en az etkisi (%0.64) ile (0) ve (0/90/0) tabaka düzeninde ve homojen durumda ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/h oranının artışına bağlı olarak (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi azalmaktadır.

- YMKDT kullanıldığında $a/h = 10$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%43.90) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde, en az etkisi (%14.51) ile (0) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde; $a/h = 20$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%17.19) ile (90) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde, en az etkisi (%4.18) ile (0) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde; $a/h = 30$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%8.60) ile (90) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde, en az etkisi (%1.91) ile (0) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde; $a/h = 50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%3.30) ile (90) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde, en az etkisi (%0.70) ile (0) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/h oranının artışına bağlı olarak (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi azalmaktadır.

20) Tüm tabaka düzenleri, malzeme özellikleri ve a/h oranları dikkate alınarak kritik basınç yükü değerleri kıyaslandığında;

- BMKDT için kayma deformasyonun en büyük etkisi (90) tabaka düzeninde, homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde ve $a/h = 10$ olduğunda (%41.05) olarak ve en az etkisi ise (90) ve (0/90/0) tabaka düzeninde, homojen durumda ve $a/h = 50$ olduğunda (%0.64) olarak ortaya çıkmaktadır.

- YMKDT için ise kayma deformasyonun en büyük etkisi (90/0/0/90) tabaka düzeninde, homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde ve $a/h=10$ olduğunda (%43.90) olarak ve en az etkisi (0) tabaka düzeninde, homojen olmama doğrusal değiştiğinde ve $a/h=50$ olduğunda (%0.70) olarak ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 4.11'dan ve analizlerden görüldüğü üzere a/h oranının değişimi kayma deformasyonun etkisini önemli derecede etkilemektedir. Ayrıca a/h oranının artışına bağlı olarak (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi azalmaktadır. Dahası hem BMKDT hem de YMKDT kullanıldığında ve homojen ve homojen olmama durumlarında (0/90) ve (90/0) tabaka düzenine sahip ortotropik tabakalı kompozit plakların kritik basınç yükü değerlerine kayma deformasyonun etkileri a/h oranının artışına bağlı olarak azalmakta ve her bir a/h değeri için ortaya çıkardıkları etkiler birbirine eşit olmaktadır. Dolayısıyla homojen veya homojen olmayan ortotropik grafit/epoksi (T) malzemesinden oluşan (90/0) tabakalı kompozit plak (0/90) tabakalı kompozit plak özelliği sergilemektedir. BMKDT kullanıldığında a/h oranının artışına bağlı olarak kayma deformasyonun kritik basınç yüküne en büyük etkisi homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde ve en az etkisi homojen durumda ortaya çıkarken, YMKDT kullanıldığında en büyük etkisi homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde ve en az etkisi ise homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde ortaya çıkmaktadır.

KPT, BMKDT ve YMKDT dikkate alındığında, (0/90), (0/90/0) ve (0/90/90/0) tabaka düzenleri (0) tabaka düzeniyle ve (90/0), (90/0/90) ve (90/0/0/90) tabaka düzenleri ise (90) tabaka düzeniyle kendi aralarında kıyaslandığında aradaki farkların tabaka dizilişi, sayısına ve a/h oranının değişimine göre kritik basınç yüküne etkisinin olduğu ve aşağıdaki şekilde olduğu görülmüştür:

21) Homojen durumda;

- KPT dikkate alındığında a/h oranının her bir değeri için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%53.39) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.11) ile (90/0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/h oranının artışına bağlı olarak (0/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi sabit kalmaktadır.

- BMKDT kullanıldığında $a/h=10$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%50.40) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%5.66) ile (90/0) tabaka düzeninde; $a/h=20$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%52.65) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.85) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $a/h=30$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%53.07) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.46) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $a/h=50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%53.27) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.25) ile (90/0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/h oranının artışına bağlı olarak (0/90) tabaka düzeni haricindeki tüm (0/..) formundaki tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi artarken, (90/0) haricindeki tüm (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi azalmaktadır. Örneğin; a/h oranı 10'dan 50'ye kadar arttığında (0/90/0) için (%15.76)'dan (%15.82)'ye artarken, (90/0/90) için ise (%8.84)'den (%7.25)'e azalmaktadır. a/h oranı 10'dan 50'ye kadar arttığında (0/90) için bu etki (%-18.41)'den (%-12.14)'e azalırken (90/0) için ise (%5.66)'dan (%-16.61)'e artmaktadır.
- YMKDT kullanıldığında ise $a/h=10$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%46.04) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.84) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $a/h=20$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%51.40) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.75) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $a/h=30$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%52.49) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.46) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $a/h=50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%53.06) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.25) ile (90/0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/h oranının artışına bağlı olarak (0/90) haricindeki tüm (0/..) formundaki tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi artarken, (90/0/90) haricindeki tüm (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; a/h oranı 10'dan 50'ye kadar arttığında (0/90/0) için (%14.79)'dan (%15.78)'e, (90/0/90) için (%7.84)'den (%7.25)'e azalırken, (0/90) için (%-17.81)'den (%-12.11)'e azalırken, (90/0) için ise (%10.34)'den (%15.97)'ye artmaktadır.

-

22) Homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde;

- KPT dikkate alındığında a/h oranının her bir değeri için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%57.20) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.16) ile (90/0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/h oranının artışına bağlı olarak (0/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi sabit kalmaktadır.
- BMKDT kullanıldığında $a/h=10$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%54.15) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.68) ile (90/0) tabaka düzeninde; $a/h=20$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%56.46) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-7.27) ile (90/0) tabaka düzeninde; $a/h=30$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%56.87) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.68) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $a/h=50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%57.09) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.35) ile (90/0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/h oranının artışına bağlı olarak (0/90/90/0) tabaka düzeni haricindeki tüm (0/..) formundaki tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi azalırken, (90/0) haricindeki tüm (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi azalmaktadır. Örneğin; a/h oranı 10'dan 50'ye kadar arttığında (0/90/90/0) için (%54.15)'den (%57.09)'a artarken, (90/0/0/90) için ise (%27.72)'den (%24.50)'ye azalmaktadır. a/h oranı 10'dan 50'ye kadar arttığında (0/90) için bu etki (%-15.28)'den (%-8.64)'e azalırken (90/0) için ise (%7.68)'den (%-13.12)'ye artmaktadır.
- YMKDT kullanıldığında ise $a/h=10$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%49.62) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%8.95) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $a/h=20$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%55.15) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-5.55) ile (90/0) tabaka düzeninde; $a/h=30$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%56.28) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.69) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $a/h=50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%56.87) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.37) ile (90/0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/h oranının artışına bağlı olarak (0/90) haricindeki tüm (0/..) formundaki tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik

basınç yüküne etkisi artarken, (90/0/90) haricindeki tüm (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; a/h oranı 10'dan 50'ye kadar arttığında (0/90/0) için (%17.35)'dan (%18.21)'e artarken (90/0/90) için (%8.95)'ten (%7.37)'e azalmaktadır. Bu etki (0/90) için (%-17.76)'den (%-8.62)'ye azalırken, (90/0) için ise (%12.19)'dan (%-12.79)'a artmaktadır.

23) Homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde;

- KPT dikkate alındığında a/h oranının her bir değeri için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%48.17) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%6.29) ile (90/0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/h oranının artışına bağlı olarak (0/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi sabit kalmaktadır.
- BMKDT kullanıldığında $a/h=10$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%45.66) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%5.49) ile (90/0) tabaka düzeninde; $a/h=20$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%47.57) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%6.98) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $a/h=30$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%47.90) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%6.64) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $a/h=50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%48.07) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%6.42) ile (90/0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/h oranının artışına bağlı olarak (0/90) tabaka düzeni haricindeki tüm (0/..) formundaki tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi artarken, (90/0) haricindeki tüm (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi azalmaktadır. Örneğin; a/h oranı 10'dan 50'ye kadar arttığında (0/90/90/0) için (%45.66)'dan (%48.07)'ye artarken, (90/0/0/90) için ise (%24.40)'dan (%21.97)'ye azalmaktadır. a/h oranı 10'dan 50'ye kadar arttığında (0/90) için bu etki (%-19.61)'den (%-13.33)'e azalırken (90/0) için ise (%5.49)'dan (%-17.35)'e artmaktadır.
- YMKDT kullanıldığında ise $a/h=10$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%41.38) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%6.91) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $a/h=20$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%46.35) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%6.90) ile

(90/0/90) tabaka düzeninde; $a/h = 30$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%47.34) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%6.63) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $a/h = 50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%47.86) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%6.43) ile (90/0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca a/h oranının artışına bağlı olarak (0/90) haricindeki tüm (0/..) formundaki tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi artarken, (90/0/90) haricindeki tüm (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; a/h oranı 10'dan 50'ye kadar arttığında (0/90/0) için (%13.03)'ten (%13.95)'e artarken (90/0/90) için (%6.91)'den (%6.43)'e azalmaktadır. Bu etki (0/90) için (%-19.14)'ten (%-13.33)'ye azalırken, (90/0) için ise (%10.94)'ten (%-16.95)'e artmaktadır.

Çizelge 4.11a-c'den ve analizlerden görüldüğü üzere a/h oranının değişimi tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisini önemli derecede etkilemektedir. Ayrıca a/h oranının artışına bağlı olarak ortotropik tabakalı kompozit plağın kritik basınç yüküne tabaka düzeninin etkisi BMDT ve YMKDT kullanıldığında (0/90) haricindeki tüm (0/..) formundaki tabaka düzenlerinde artmakta ve (90/0) haricindeki tüm (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde ise azalmaktadır. KPT kullanıldığında ise a/h oranının artışına bağlı olarak (0/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi sabit kalmaktadır.

Çeşitli tabaka düzenleri ve homojen olmama fonksiyonları dikkate alındığında BMKDT ile YMKDT kendi aralarında kıyaslandığında yüksek mertebe kayma deformasyon etkilerinin tabaka düzenine, homojen olmama durumlarına ve a/h oranlarına göre yüzde olarak değişiminin aşağıdaki şekilde olduğu görülmüştür:

24) Homojen durumda;

- Yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yükü değerine $a/h = 10$ için en büyük etkisi (%-8.81) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.72) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde; $a/h = 20$ için en büyük etkisi (%-2.17) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi çok küçük olup (%-0.55) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde; $a/h = 30$ için en büyük etkisi (%-1.54) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi çok küçük olup (%-0.26) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde; $a/h = 50$ için en büyük etkisi (%-0.58) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi çok küçük olup (%-0.09) ile (0/90) ve

(90/0) tabaka düzenlerinde elde edilmektedir. Ayrıca a/h oranının artışına bağlı olarak (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi azalmaktadır. Örneğin; (0/90/0) için a/h oranı 10'dan 50'ye kadar arttığında (%-3.26)'dan (%-0.16)'ya (90/0/90) için ise (%-6.75)'ten (%-0.49)'a azalmaktadır.

25) Homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde;

- Yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yükü değerine $a/h=10$ için en büyük etkisi (%-8.61) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.67) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde; $a/h=20$ için en büyük etkisi (%-3.04) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi çok küçük olup (%-0.53) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde; $a/h=30$ için en büyük etkisi (%-1.46) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi çok küçük olup (%-0.26) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde; $a/h=50$ için en büyük etkisi (%-0.55) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi çok küçük olup (%-0.09) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde elde edilmektedir. Ayrıca a/h oranının artışına bağlı olarak (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi azalmaktadır. Örneğin; (0/90/0) için a/h oranı 10'dan 50'ye kadar arttığında (%-3.10)'dan (%-0.15)'e (90/0/90) için ise (%-6.45)'ten (%-0.45)'e azalmaktadır.

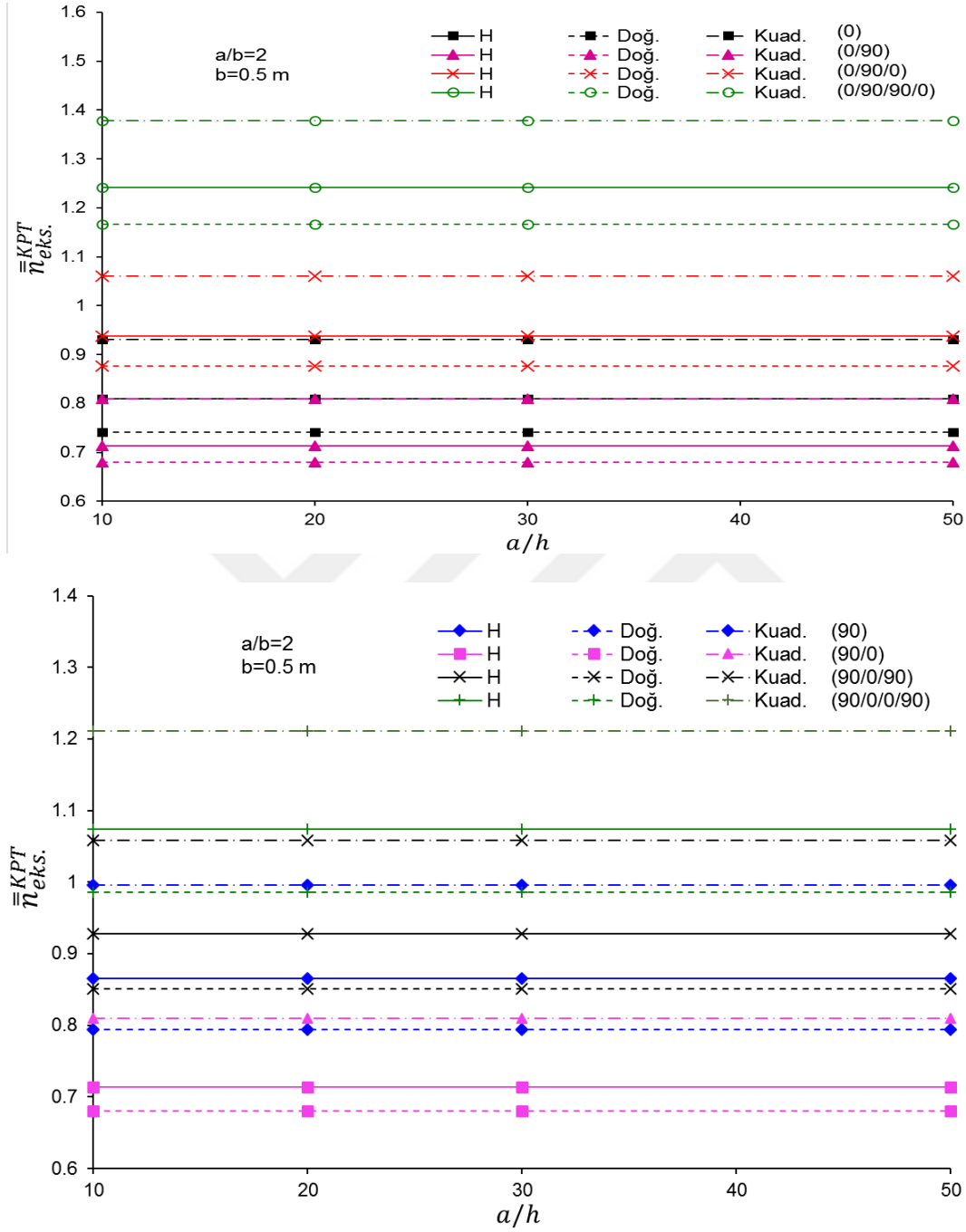
26) Homojen olmama kuadratik değiştiğinde;

- Yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yükü değerine $a/h=10$ için en büyük etkisi (%-10.23) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-2.52) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde; $a/h=20$ için en büyük etkisi (%-3.79) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi çok küçük olup (%-0.80) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde; $a/h=30$ için en büyük etkisi (%-1.85) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi çok küçük olup (%-0.37) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde; $a/h=50$ için en büyük etkisi (%-0.70) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi çok küçük olup (%-0.15) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde elde edilmektedir. Ayrıca a/h oranının artışına bağlı olarak (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi azalmaktadır. Örneğin; (0/90/0) için a/h oranı 10'dan 50'ye kadar arttığında (%-3.90)'dan (%-0.19)'a (90/0/90) için ise (%-8.16)'dan (%-0.62)'ye azalmaktadır.

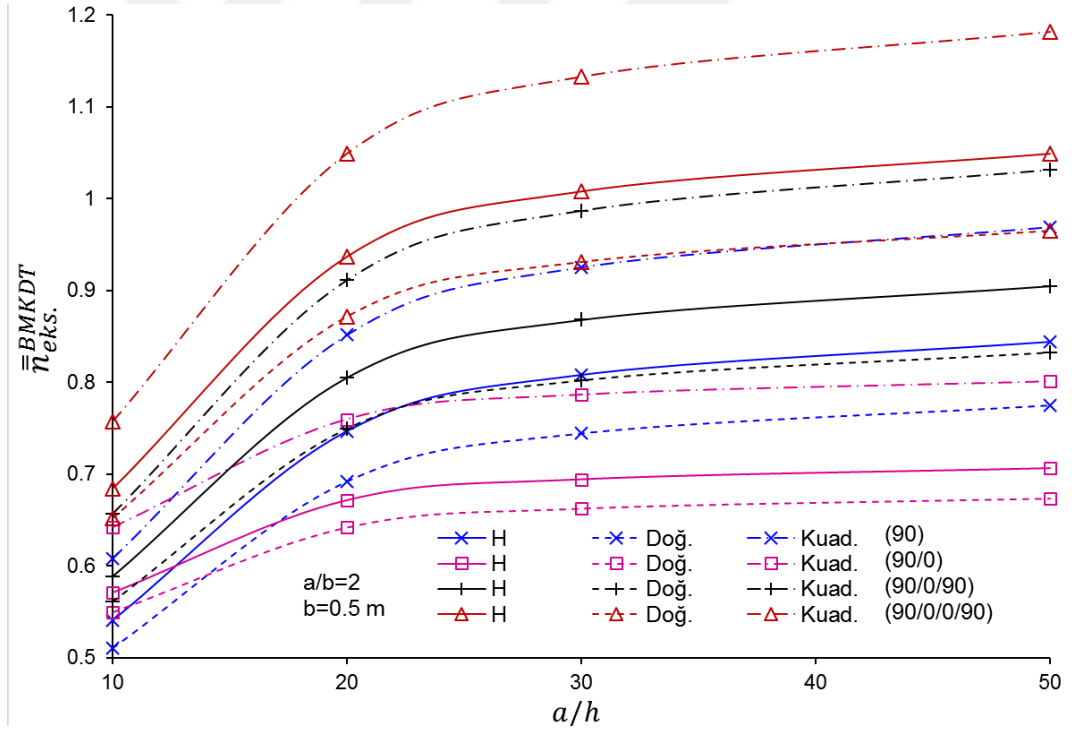
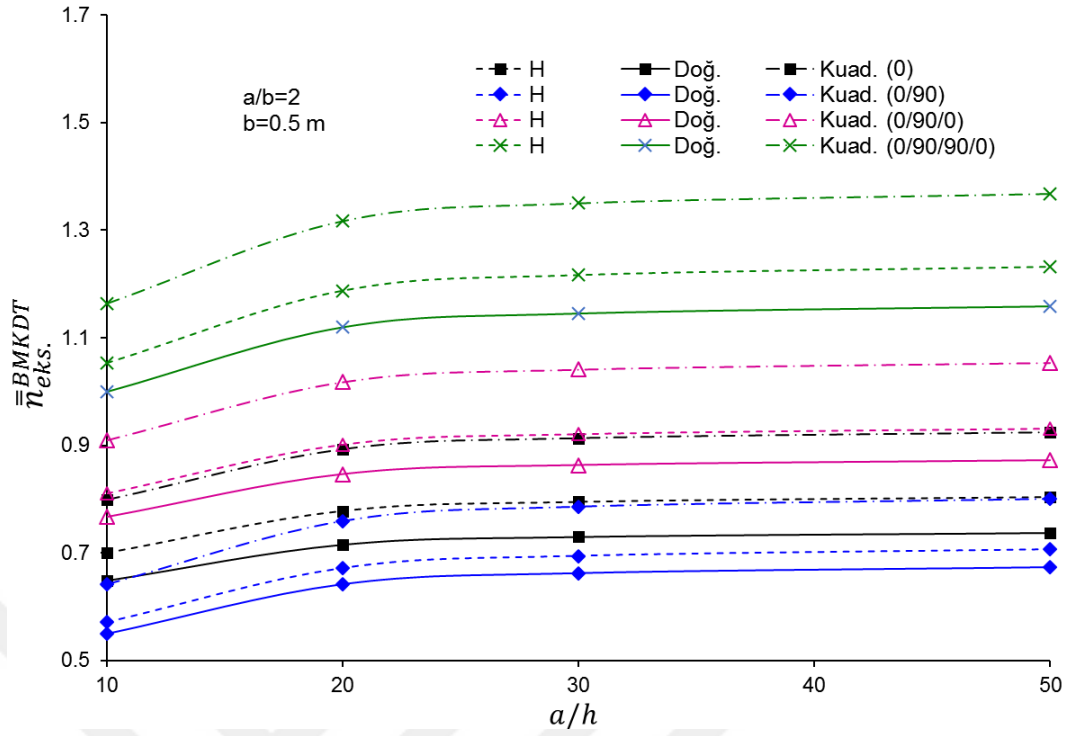
Çizelge 4.11a-c'den ve analizlerden görüldüğü üzere a/h oranının değişimi yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi mevcuttur. Ayrıca a/h oranının artışına bağlı olarak (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi azalmaktadır. Yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi homojen olmamanın kuadratik değiştiği durumda ve $a/h=10$ için daha belirgindir. Dahası homojen durumda ve homojen olmamanın kuadratik değiştiği durumlarda a/h oranının artışına bağlı olarak, yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne en az etkisi (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde ortaya çıkarken, en büyük etki ise (90/0/0/90) tabaka düzenlerinde elde edilmektedir.



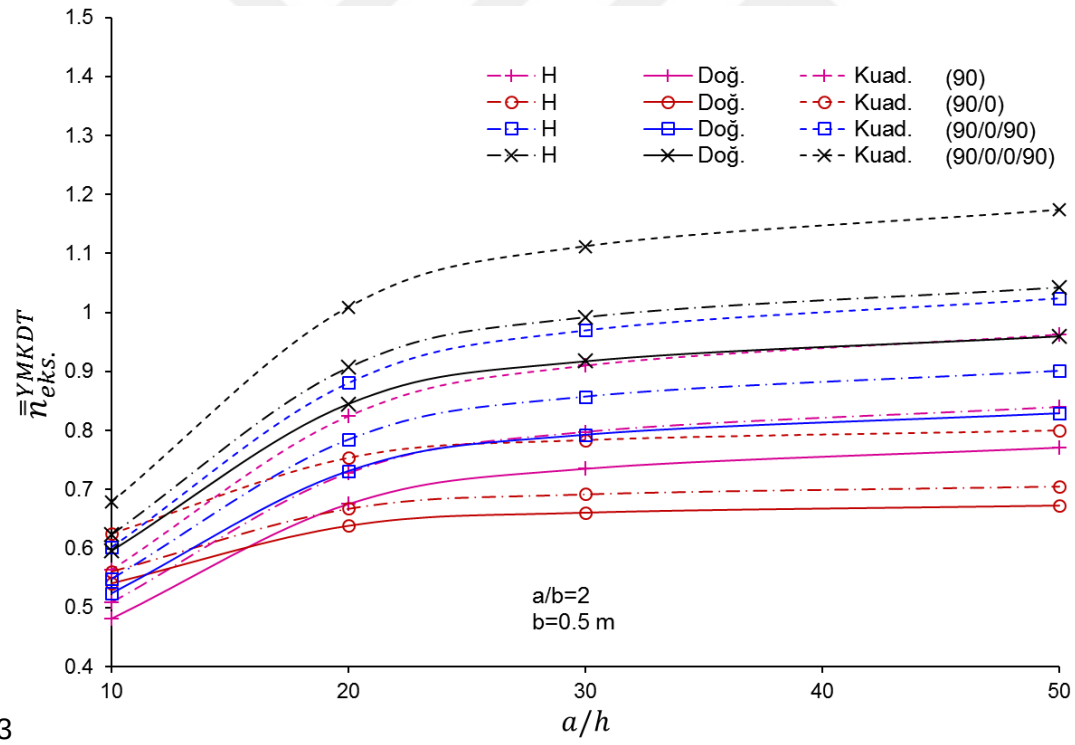
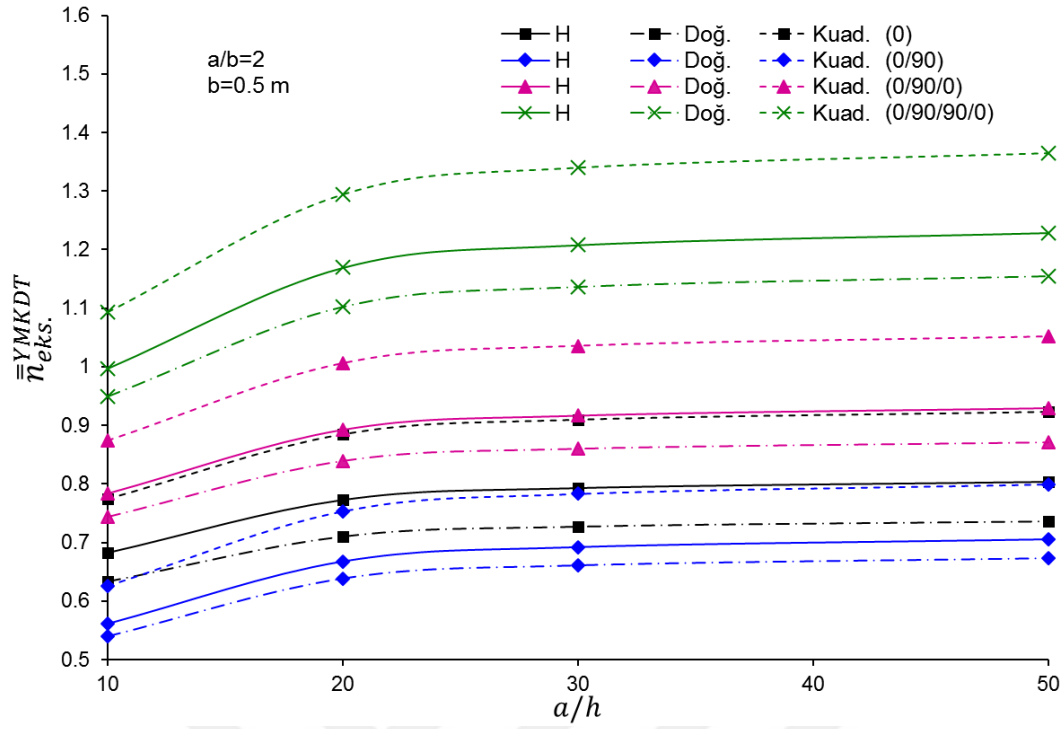
Şekil 4.6-4.10. KPT ve KDT kapsamında homojen ve homojen olmayan ortotropik tabakalı kompozit plağın kritik basın yükü değerlerinin çeşitli tabaka düzenlerine ve a/h oranına bağlı değişimi sunulmaktadır.



Şekil 4.6. $\bar{n}_{eks}^{KPT}$ 'in çeşitli tabaka düzenlerine ve a/h oranına göre değişimi ($\zeta=0, \mu=1$).

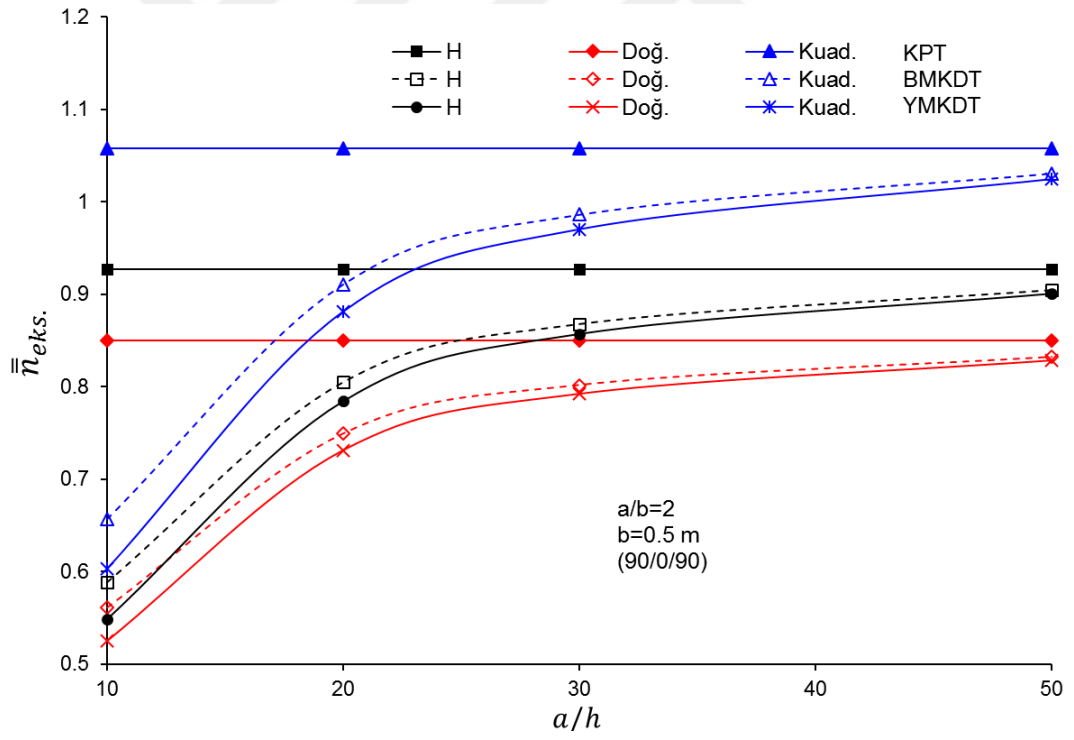
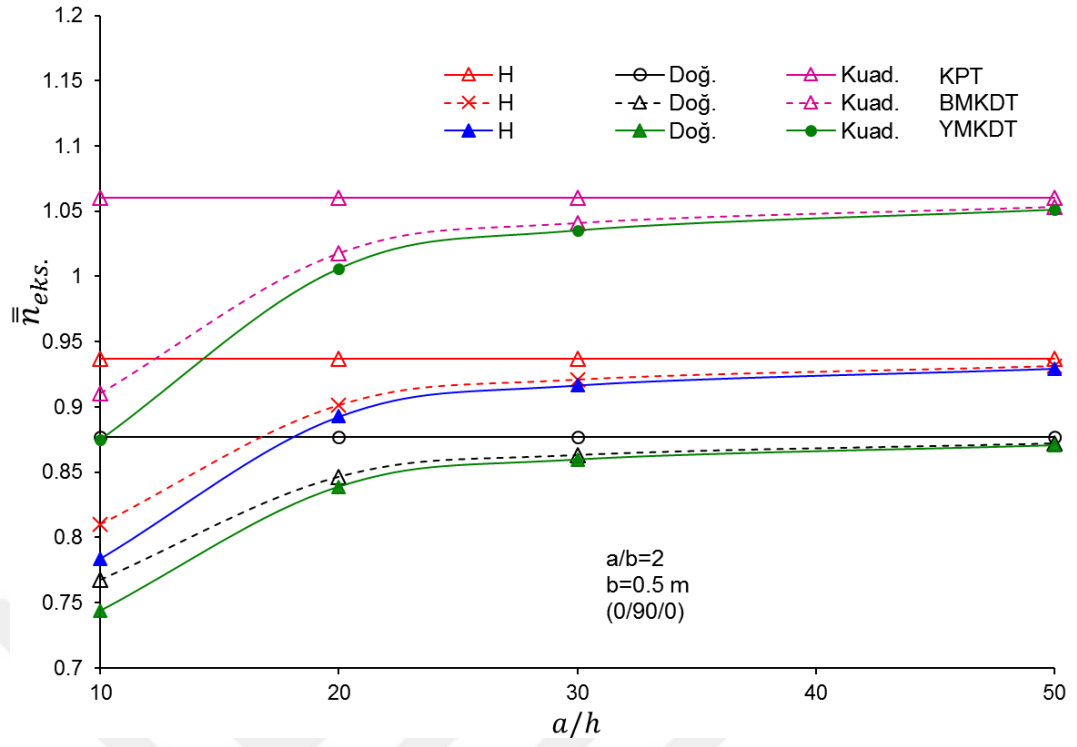


Şekil 4.7. $\bar{n}_{eks}^{BMKDT}$ 'in çeşitli tabaka düzenlerine ve a/h oranına göre değişimi ($\zeta = 0, \mu = 1$)

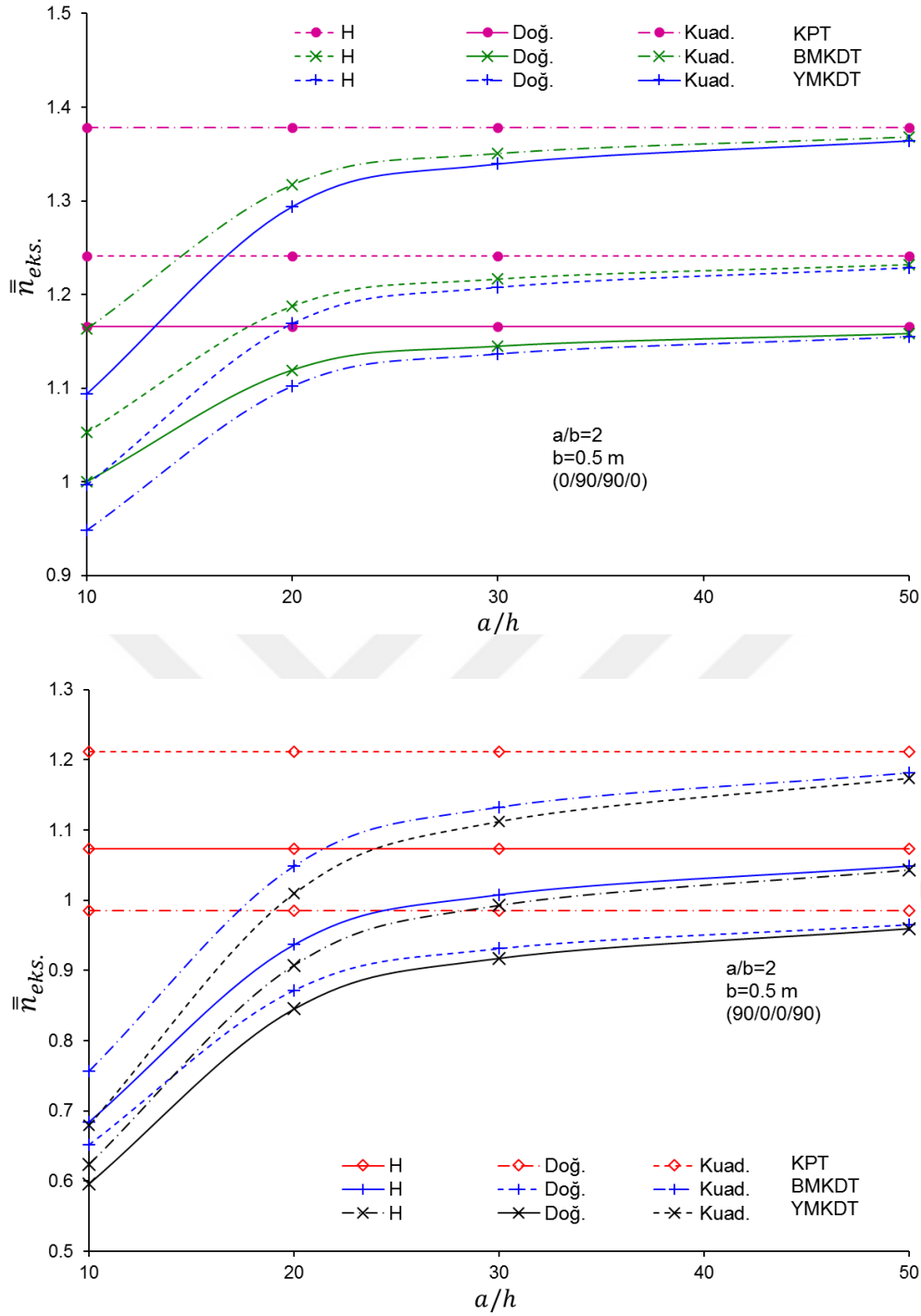


3

Şekil 4.8. $\bar{n}_{eks}^{YMKDT}$ 'in çeşitli tabaka düzenlerine ve a/h oranına göre değişimi ($\zeta = 0, \mu = 1$)



Şekil 4.9. $\bar{n}_{eks}$ 'in çeşitli teorilere ve a/h oranına göre değişimi ($\zeta = 0, \mu = 1$)



Şekil 4.10. $\bar{n}_{eks}$ 'in çeşitli teorilere ve a/h oranına göre değişimi ($\zeta = 0, \mu = 1$)

4.3.1. Plağı meydana getiren malzeme özelliklerine göre yapılan analizler

Çizelge 4.12'de, $a/h=10$, $b=0.5$ m, $a/b=2$ değerleri için KPT ve KDT kullanılarak çeşitli tabakalanma düzenine sahip homojen ve homojen olmayan

ortotropik tabakalı kompozit plağın kritik burkulma yük değerlerinin ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının E_{01} / E_{02} oranına bağlı değişimi sunulmuştur.

Tabakaları oluşturan malzemelerin Elastisite ve Kayma modülleri kalınlık doğrultusunda doğrusal ve kuadratik fonksiyonlar şeklinde değişmektedir. Homojen olmamanın ortotropik tabakalı kompozit plakların kritik basınç yüküne E_{01} / E_{02} oranı değişimine bağlı etkileri KPT, BMKDT ve YMKDT kullanılarak belirlenmiş ve şu şekilde sıralanmıştır:

27) Homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde;

- KPT dikkate alındığında $E_{01} / E_{02} = 1$, yani izotropik malzeme durumunda, homojen olmamanın etkisi tabaka düzenine göre değişmemektedir. Yani; (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenleri için homojen olmamanın kritik basınç yüküne etkisi (%-8.33) ile sabit kalmaktadır. Dolayısıyla, homojen olmamanın etkisi $E_{01} / E_{02} = 1$ için tabaka düzeninden bağımsızdır. $E_{01} / E_{02} = 5$ için homojen olmamanın kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-8.73) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-7.84) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 15$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-8.34) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-6.66) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-8.50) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-5.88) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 35$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-8.66) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-5.33) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 45$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-8.79) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-5.33) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca E_{01} / E_{02} oranının artışına bağlı olarak (0) ve (90) formundaki tabaka düzenlerinde homojen olmamanın kritik basınç yüküne etkisi sabit kalırken, (0/..) tabaka düzeninde azalmakta ve (90/0) haricindeki tüm (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde artmaktadır. Örneğin; E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (0/90/90/0) için (%-8.73)'den (%-6.85)'e azalırken, (90/0/0/90) için (%-8.19)'dan (%-8.66)'ya artmakta ve (0/90) ile (90/0) tabaka düzeninde (%-7.84)'den (%-4.93)'e azalmaktadır.

Çizelge 4.12a.H ve HO ortotropik tabakalı plakların farklı tabaka düzenleri için $\bar{n}_{eks}^{KPT}$ değerleri ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının E_{01}/E_{02} oranına bağlı değişimi

E_{01}/E_{02}	Tabakalanma Düzeni	$\bar{n}_{eks}^{KPT}(m,n)$		
		Hom.	$\phi^k(Z)$	
			Z	Z^2
1	0°	28.7042(2,1)	26.3121(2,1)	33.0098(2,1)
	90°	28.7042(2,1)	26.3121(2,1)	33.0098(2,1)
	0° / 90°	28.7042(2,1)	26.3121(2,1)	33.0098(2,1)
	90° / 0°	28.7042(2,1)	26.3121(2,1)	33.0098(2,1)
	0° / 90° / 0°	28.7042(2,1)	26.3121(2,1)	33.0098(2,1)
	90° / 0° / 90°	28.7042(2,1)	26.3121(2,1)	33.0098(2,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	28.7042(2,1)	26.3121(2,1)	33.0098(2,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	28.7042(2,1)	26.3121(2,1)	33.0098(2,1)
5	0°	6.6046(1,1)	6.0542(1,1)	7.5953(1,1)
	90°	6.4490(3,1)	5.9116(3,1)	7.4164(3,1)
	0° / 90°	6.3229(2,1)	5.8270(2,1)	7.2635(2,1)
	90° / 0°	6.3229(2,1)	5.8270(2,1)	7.2635(2,1)
	0° / 90° / 0°	6.7157(1,1)	6.1747(2,1)	7.7082(1,1)
	90° / 0° / 90°	6.5025(3,1)	5.9698(3,1)	7.4708(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	6.7546(2,1)	6.1647(2,1)	7.7678(2,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	6.6296(3,1)	6.0866(3,1)	7.6037(3,1)
15	0°	2.3801(1,1)	2.1817(1,1)	2.7371(1,1)
	90°	2.4578(3,1)	2.2530(3,1)	2.8265(3,1)
	0° / 90°	2.3003(2,1)	2.1470(2,1)	2.6338(2,1)
	90° / 0°	2.3003(2,1)	2.1470(2,1)	2.6338(2,1)
	0° / 90° / 0°	2.5097(1,1)	2.3171(1,1)	2.8689(1,1)
	90° / 0° / 90°	2.5203(3,1)	2.3102(3,1)	2.8900(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	2.8176(1,1)	2.6097(1,1)	3.1910(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	2.6685(3,1)	2.4461(3,1)	3.0451(3,1)
25	0°	1.5295(1,1)	1.4020(1,1)	1.7589(1,1)
	90°	1.6539(3,1)	1.5161(3,1)	1.9020(3,1)
	0° / 90°	1.4834(2,1)	1.3962(2,1)	1.6936(2,1)
	90° / 0°	1.4834(2,1)	1.3962(2,1)	1.6936(2,1)
	0° / 90° / 0°	1.6628(1,1)	1.5361(1,1)	1.8944(1,1)
	90° / 0° / 90°	1.7181(3,1)	1.5720(3,1)	1.9673(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	1.9795(1,1)	1.8380(1,1)	2.2258(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	1.8706(3,1)	1.7122(3,1)	2.1268(3,1)
35	0°	1.1643(1,1)	1.0673(1,1)	1.3390(1,1)
	90°	1.3088(3,1)	1.1997(3,1)	1.5051(3,1)
	0° / 90°	1.1320(2,1)	1.0717(2,1)	1.2891(2,1)
	90° / 0°	1.1320(2,1)	1.0717(2,1)	1.2891(2,1)
	0° / 90° / 0°	1.2993(1,1)	1.2006(1,1)	1.4762(1,1)
	90° / 0° / 90°	1.3737(3,1)	1.2548(3,1)	1.5711(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	1.6197(1,1)	1.5066(1,1)	1.8114(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	1.5280(3,1)	1.3970(3,1)	1.7326(3,1)

Çizelge 4.12a.(devamı).

		$\bar{n}_{eks}^{KPT}(m,n)$		
		$\varphi^k(Z)$		
E_{01}/E_{02}	Tabakalanma Düzeni	Hom.	Z	Z ²
45	0°	0.9613(1,1)	0.8812(1,1)	1.1055(1,1)
	90°	1.1169(3,1)	1.0238(3,1)	1.2844(3,1)
	0° / 90°	0.9365(2,1)	0.8904(2,1)	1.0640(2,1)
	90° / 0°	0.9365(2,1)	0.8904(2,1)	1.0640(2,1)
	0° / 90° / 0°	1.0971(1,1)	1.0139(1,1)	1.2436(1,1)
	90° / 0° / 90°	1.1823(3,1)	1.0784(3,1)	1.3509(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	1.4197(1,1)	1.3224(1,1)	1.5811(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	1.3376(3,1)	1.2218(3,1)	1.5134(3,1)

Çizelge 4.12b.H ve HO ortotropik tabakalı plakların farklı tabaka düzenleri için $\bar{n}_{eks}^{BMKDT}$ değerleri ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının E_{01}/E_{02} oranına bağlı değişimi

		$\bar{n}_{eks}^{BMKDT}(m,n)$		
		$\varphi^k(Z)$		
E_{01}/E_{02}	Tabakalanma Düzeni	Hom.	Z	Z ²
1	0°	26.5772(2,1)	24.5138(2,1)	30.4251(2,1)
	90°	26.5772(2,1)	24.5138(2,1)	30.4251(2,1)
	0° / 90°	26.5772(2,1)	24.5138(2,1)	30.4251(2,1)
	90° / 0°	26.5772(2,1)	24.5138(2,1)	30.4251(2,1)
	0° / 90° / 0°	26.5772(2,1)	24.5138(2,1)	30.4251(2,1)
	90° / 0° / 90°	26.5772(2,1)	24.5138(2,1)	30.4251(2,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	26.5772(2,1)	24.5138(2,1)	30.4251(2,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	26.5772(2,1)	24.5138(2,1)	30.4251(2,1)
5	0°	6.2898(1,1)	5.7886(1,1)	7.2122(1,1)
	90°	5.6574(3,1)	5.2394(3,1)	6.4573(3,1)
	0° / 90°	5.8292(2,1)	5.4051(2,1)	6.6649(2,1)
	90° / 0°	5.8292(2,1)	5.4051(2,1)	6.6649(2,1)
	0° / 90° / 0°	6.3966(1,1)	5.6984(2,1)	7.3205(1,1)
	90° / 0° / 90°	5.7051(3,1)	5.2934(3,1)	6.5055(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	6.1901(2,1)	5.6917(2,1)	7.0819(2,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	5.8175(3,1)	5.3981(3,1)	6.6224(3,1)
15	0°	2.2482(1,1)	2.0704(1,1)	2.5767(1,1)
	90°	2.0916(3,1)	1.9412(3,1)	2.3837(3,1)
	0° / 90°	2.1068(2,1)	1.9774(2,1)	2.4007(2,1)
	90° / 0°	2.1068(2,1)	1.9774(2,1)	2.4007(2,1)
	0° / 90° / 0°	2.3727(1,1)	2.2017(1,1)	2.7030(1,1)
	90° / 0° / 90°	2.1481(3,1)	1.9967(3,1)	2.4408(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	2.6655(1,1)	2.4809(1,1)	3.0089(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	2.2789(3,1)	2.1182(3,1)	2.5771(3,1)

Çizelge 4.12b.(devamı).

$\bar{n}_{eks}^{BMKDT}(m, n)$				
E_{01} / E_{02}	Tabakalanma Düzeni	$\varphi^k(Z)$		
		Hom.	Z	Z ²
25	0°	1.4324(1,1)	1.3199(1,1)	1.6408(1,1)
	90°	1.3631(3,1)	1.2679(3,1)	1.5510(3,1)
	0° / 90°	1.3503(2,1)	1.2776(2,1)	1.5342(2,1)
	90° / 0°	1.3503(2,1)	1.2776(2,1)	1.5342(2,1)
	0° / 90° / 0°	1.5604(1,1)	1.4502(1,1)	1.7707(1,1)
	90° / 0° / 90°	1.4219(3,1)	1.3238(3,1)	1.6106(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	1.8593(1,1)	1.7362(1,1)	2.0832(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	1.5559(3,1)	1.4487(3,1)	1.7505(3,1)
35	0°	1.0807(1,1)	0.9966(1,1)	1.2374(1,1)
	90°	1.0440(3,1)	0.9731(3,1)	1.1861(3,1)
	0° / 90°	1.0242(2,1)	0.9745(2,1)	1.1607(2,1)
	90° / 0°	1.0242(2,1)	0.9745(2,1)	1.1607(2,1)
	0° / 90° / 0°	1.2102(1,1)	1.1261(1,1)	1.3688(1,1)
	90° / 0° / 90°	1.1041(3,1)	1.0297(3,1)	1.2470(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	1.5105(1,1)	1.4139(1,1)	1.6828(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	1.2389(3,1)	1.1557(3,1)	1.3880(3,1)
45	0°	0.8841(1,1)	0.8159(1,1)	1.0118(1,1)
	90°	0.8621(3,1)	0.8053(3,1)	0.9781(3,1)
	0° / 90°	0.8422(2,1)	0.8047(2,1)	0.9522(2,1)
	90° / 0°	0.8422(2,1)	0.8047(2,1)	0.9522(2,1)
	0° / 90° / 0°	1.0144(1,1)	0.9449(1,1)	1.1440(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.9232(3,1)	0.8625(3,1)	1.0400(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	1.3145(1,1)	1.2328(1,1)	1.4580(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	1.0580(3,1)	0.9888(3,1)	1.1812(3,1)

Çizelge 4.12c. H ve HO ortotropik tabakalı plakların farklı tabaka düzenleri için $\bar{n}_{eks}^{YMKDT}$ değerleri ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının E_{01} / E_{02} oranına bağlı değişimi

$\bar{n}_{eks}^{YMKDT}(m, n)$				
E_{01} / E_{02}	Tabakalanma Düzeni	$\varphi^k(Z)$		
		E_{01} / E_{02}	Tabakalanma Düzeni	E_{01} / E_{02}
1	0°	26.1996(2,1)	24.1922(2,1)	29.8718(2,1)
	90°	26.1996(2,1)	24.1922(2,1)	29.8718(2,1)
	0° / 90°	26.1996(2,1)	24.1922(2,1)	29.8718(2,1)
	90° / 0°	26.1996(2,1)	24.1922(2,1)	29.8718(2,1)
	0° / 90° / 0°	26.1996(2,1)	24.1922(2,1)	29.8718(2,1)
	90° / 0° / 90°	26.1996(2,1)	24.1922(2,1)	29.8718(2,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	26.1996(2,1)	24.1922(2,1)	29.8718(2,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	26.1996(2,1)	24.1922(2,1)	29.8718(2,1)

Çizelge 4.12c.(devamı).

$\bar{n}_{eks}^{YMKDT}(m, n)$				
$\phi^k(Z)$				
E_{01} / E_{02}	Tabakalanma Düzeni	E_{01} / E_{02}	Tabakalanma Düzeni	E_{01} / E_{02}
5	0°	6.2320(1,1)	5.7396(1,1)	7.1272(1,1)
	90°	5.5268(3,1)	5.1272(3,1)	6.2676(3,1)
	0° / 90°	5.7457(2,1)	5.3332(2,1)	6.5419(2,1)
	90° / 0°	5.7457(2,1)	5.3332(2,1)	6.5419(2,1)
	0° / 90° / 0°	6.3365(1,1)	5.6144(2,1)	7.2328(1,1)
	90° / 0° / 90°	5.5716(3,1)	5.1786(3,1)	6.3123(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	6.0919(2,1)	5.6082(2,1)	6.9379(2,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	5.6777(3,1)	5.2775(3,1)	6.4215(3,1)
15	0°	2.2243(1,1)	2.0501(1,1)	2.5416(1,1)
	90°	2.0339(3,1)	1.8914(3,1)	2.3002(3,1)
	0° / 90°	2.0786(2,1)	1.9524(2,1)	2.3585(2,1)
	90° / 0°	2.0786(2,1)	1.9524(2,1)	2.3585(2,1)
	0° / 90° / 0°	2.3461(1,1)	2.1789(1,1)	2.6647(1,1)
	90° / 0° / 90°	2.0872(3,1)	1.9442(3,1)	2.3535(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	2.6313(1,1)	2.4511(1,1)	2.9614(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	2.2096(3,1)	2.0579(3,1)	2.4799(3,1)
25	0°	1.4150(1,1)	1.3052(1,1)	1.6154(1,1)
	90°	1.3194(3,1)	1.2299(3,1)	1.4882(3,1)
	0° / 90°	1.3336(2,1)	1.2625(2,1)	1.5086(2,1)
	90° / 0°	1.3336(2,1)	1.2625(2,1)	1.5086(2,1)
	0° / 90° / 0°	1.5400(1,1)	1.4327(1,1)	1.7418(1,1)
	90° / 0° / 90°	1.3751(3,1)	1.2833(3,1)	1.5440(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	1.8294(1,1)	1.7098(1,1)	2.0430(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	1.4992(3,1)	1.3989(3,1)	1.6724(3,1)
35	0°	1.0660(1,1)	0.9840(1,1)	1.2158(1,1)
	90°	1.0061(3,1)	0.9400(3,1)	1.1318(3,1)
	0° / 90°	1.0126(2,1)	0.9639(2,1)	1.1424(2,1)
	90° / 0°	1.0126(2,1)	0.9639(2,1)	1.1424(2,1)
	0° / 90° / 0°	1.1923(1,1)	1.1107(1,1)	1.3436(1,1)
	90° / 0° / 90°	1.0630(3,1)	0.9940(3,1)	1.1890(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	1.4812(1,1)	1.3878(1,1)	1.6444(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	1.1868(3,1)	1.1095(3,1)	1.3172(3,1)
45	0°	0.8707(1,1)	0.8044(1,1)	0.9922(1,1)
	90°	0.8275(3,1)	0.7748(3,1)	0.9286(3,1)
	0° / 90°	0.8335(2,1)	0.7967(2,1)	0.9381(2,1)
	90° / 0°	0.8335(2,1)	0.7967(2,1)	0.9381(2,1)
	0° / 90° / 0°	0.9976(1,1)	0.9305(1,1)	1.1206(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.8852(3,1)	0.8295(3,1)	0.9867(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	1.2847(1,1)	1.2061(1,1)	1.4195(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	1.0078(3,1)	0.9440(3,1)	1.1137(3,1)

- BMKDT dikkate alındığında $E_{01} / E_{02} = 1$, yani izotropik malzeme durumunda, homojen olmamanın etkisi tabaka düzenine göre değişmemektedir. Yani; (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenleri için homojen olmamanın kritik basınç

yüküne etkisi (%-7.76) ile sabit kalmaktadır. Dolayısıyla, homojen olmamanın etkisi $E_{01} / E_{02} = 1$ için tabaka düzeninden bağımsızdır. $E_{01} / E_{02} = 5$ için homojen olmamanın kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-10.92) ile (0/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-7.21) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 15$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-7.91) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-6.14) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-7.85) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-5.38) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 35$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-7.78) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-4.85) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 45$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-7.71) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-4.45) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca E_{01} / E_{02} oranının artışına bağlı olarak (0/..) ve (90/..) tabaka düzenlerinde homojen olmamanın kritik basınç yüküne etkisi azalmaktadır. Örneğin; E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (0/90/0) için (%-10.92)'den (%-6.85)'e, (90/0/90) için (%-7.22)'den (%-6.57)'ye ve (0/90) ile (90/0) tabaka düzeninde (%-7.28)'den (%-4.45)'e azalmaktadır.

- YMKDT dikkate alındığında $E_{01} / E_{02} = 1$, yani izotropik malzeme durumunda, homojen olmamanın etkisi tabaka düzenine göre değişmemektedir. Yani; (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenleri için homojen olmamanın kritik basınç yüküne etkisi (%-7.66) ile sabit kalmaktadır. Dolayısıyla, homojen olmamanın etkisi $E_{01} / E_{02} = 1$ için tabaka düzeninden bağımsızdır. $E_{01} / E_{02} = 5$ için homojen olmamanın kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-11.40) ile (0/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-7.05) ile (90/0/90) ve (90/0/0/90) tabaka düzenlerinde; $E_{01} / E_{02} = 15$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-7.83) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-6.07) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-7.76) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-5.33) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 35$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-7.69) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-4.81) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 45$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-7.61) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-4.42) ile (0/90) ve (90/0) tabaka

düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca E_{01} / E_{02} oranının artışına bağlı olarak (0/..) ve (90/..) tabaka düzenlerinde homojen olmamanın kritik basınç yüküne etkisi azalmaktadır. Örneğin; E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (0/90/90/0) için (%-7.94)'ten (%-6.12)'ye, (90/0/0/90) için (%-7.05)'ten (%-6.33)'e ve (0/90) ile (90/0) tabaka düzeninde (%-7.18)'den (%-4.42)'ye azalmaktadır.

28) Homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde;

- KPT dikkate alındığında $E_{01} / E_{02} = 1$, yani izotropik malzeme durumunda, homojen olmamanın etkisi tabaka düzenine göre değişmemektedir. Yani; (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenleri için homojen olmamanın kritik basınç yüküne etkisi (%15) ile sabit kalmaktadır. Dolayısıyla, homojen olmamanın etkisi $E_{01} / E_{02} = 1$ için tabaka düzeninden bağımsızdır. $E_{01} / E_{02} = 5$ için homojen olmamanın kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%15) ile (0), (90) ve (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%14.78) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 15$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%15) ile (0) ve (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%13.25) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%15) ile (0) ve (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%12.44) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 35$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%15) ile (0) ve (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%11.84) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 45$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%15) ile (0) ve (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%11.37) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca E_{01} / E_{02} oranının artışına bağlı olarak (0) ve (90) formundaki tabaka düzenlerinde homojen olmamanın kritik basınç yüküne etkisi sabit kalırken, (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde azalmaktadır. Örneğin; E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (0/90/90/0) için (%15)'den (%11.37)'ye, (90/0/0/90) için (%14.69)'dan (%13.14)'e ve (0/90) ile (90/0) tabaka düzeninde (%14.88)'den (%13.61)'e azalmaktadır.
- BMKDT dikkate alındığında $E_{01} / E_{02} = 1$, yani izotropik malzeme durumunda, homojen olmamanın etkisi tabaka düzenine göre değişmemektedir. Yani; (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenleri için homojen olmamanın kritik basınç yüküne etkisi (%14.48) ile sabit kalmaktadır. Dolayısıyla, homojen olmamanın

etkisi $E_{01} / E_{02} = 1$ için tabaka düzeninden bağımsızdır. $E_{01} / E_{02} = 5$ için homojen olmamanın kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14.67) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%13.84) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 15$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14.61) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%12.88) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14.55) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%12.04) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 35$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14.50) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%11.41) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 45$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14.44) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%10.92) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca E_{01} / E_{02} oranının artışına bağlı olarak (0/..) ve (90/..) tabaka düzenlerinde homojen olmamanın kritik basınç yüküne etkisi azalmaktadır. Örneğin; E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (0/90/0) için (%14.44)'ten (%12.78)'e, (90/0/90) için (%14.03)'ten (%12.65)'e ve (0/90) ile (90/0) tabaka düzeninde (%14.34)'ten (%13.06)'ya azalmaktadır.

- YMKDT dikkate alındığında $E_{01} / E_{02} = 1$, yani izotropik malzeme durumunda, homojen olmamanın etkisi tabaka düzenine göre değişmemektedir. Yani; (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenleri için homojen olmamanın kritik basınç yüküne etkisi (%14.02) ile sabit kalmaktadır. Dolayısıyla, homojen olmamanın etkisi $E_{01} / E_{02} = 1$ için tabaka düzeninden bağımsızdır. $E_{01} / E_{02} = 5$ için homojen olmamanın kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14.36) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%13.10) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 15$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14.27) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%12.23) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14.16) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%11.55) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 35$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14.05) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%10.99) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 45$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%13.95) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%10.49) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca E_{01} / E_{02} oranının artışına bağlı olarak (0/..) ve (90/..)

tabaka düzenlerinde homojen olmamanın kritik basınç yüküne etkisi azalmaktadır. Örneğin; E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (0/90/90/0) için (%13.89)'dan (%10.51)'e, (90/0/0/90) için (%13.10)'dan (%10.49)'a ve (0/90) ile (90/0) tabaka düzeninde (%13.86)'dan (%12.55)'e azalmaktadır.

Çizelge 4.12a-c'den ve analizlerden görüldüğü üzere E_{01} / E_{02} oranının değişimi homojen olmamanın etkisini önemli derecede etkilemektedir. Daha da önemlisi KPT, BMKDT ve YMKDT kullanıldığında E_{01} / E_{02} oranının artışına bağlı olarak ortotropik tabakalı kompozit plağın kritik basınç yüküne homojen olmamanın etkisi (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde azalmaktadır. $E_{01} / E_{02} = 1$ olduğunda ise homojen olmamanın etkisi tüm tabaka düzenleri için sabit kalmaktadır. Yani $E_{01} / E_{02} = 1$ olduğunda homojen olmamanın etkisi tabaka düzeninden bağımsızdır. Dahası hem KPT hem de BMKDT ve YMKDT kullanıldığında ve homojen olmama doğrusal ve kuadratik olarak değiştiğinde (0/90) ve (90/0) tabaka düzenine sahip ortotropik tabakalı kompozit plakların kritik basınç yükü değerlerine homojen olmamanın etkileri E_{01} / E_{02} oranının artışına bağlı olarak azalmakta ve her bir E_{01} / E_{02} değeri için ortaya çıkardıkları etkiler birbirine eşit olmaktadır. Dolayısıyla homojen olmama doğrusal ve kuadratik olarak değiştiğinde ortotropik grafit/epoksi (T) malzemesinden oluşan (90/0) tabakalı kompozit plak (0/90) tabakalı kompozit plak özelliği sergilemektedir. Aynı durum KPT kullanıldığında ve homojen olmamanın kuadratik olarak değiştiği durum için de (0) ve (90) tabaka düzenleri için ortaya çıkmaktadır. Yani homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde ve KPT kullanıldığında ortotropik grafit/epoksi (T) malzemesinden oluşan (90) tabakalı kompozit plak (0) tabakalı kompozit plak özelliği sergilemektedir. $E_{01} / E_{02} > 5$ için homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde homojen olmamanın kritik basınç yüküne en küçük etkisi (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde meydana gelirken, homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde KPT için (0) ve (90), BMKDT ve YMKDT için (0/90/90/0) tabaka düzenlerinde meydana gelmektedir.

Çizelge 4.12a-c'den kayma deformasyonun ortotropik tabakalı kompozit plakların kritik basınç yüküne E_{01} / E_{02} oranı değişimine bağlı etkileri BMKDT ve YMKDT kullanılarak belirlenmiş ve şu şekilde sıralanmıştır:

29) Homojen durumda;

- BMKDT kullanıldığında kayma deformasyonun $E_{01} / E_{02} = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14.41) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.41) ile (0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 5$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%22.41) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%15.41) ile (0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 15$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%30.41) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%23.41) ile (0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%38.41) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%31.41) ile (0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 35$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%46.41) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%39.41) ile (0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 45$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%54.41) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%47.41) ile (0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca E_{01} / E_{02} oranının artışına bağlı olarak (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (0/90/90/0) için (%21.41)'den (%53.41)'e, (90/0/0/90) için (%22.41)'den (%54.41)'e artmaktadır.
- YMKDT kullanıldığında kayma deformasyonun $E_{01} / E_{02} = 1$, yani izotropik malzeme durumunda, kayma deformasyonun etkisi tabaka düzenine göre değişmemektedir. Yani; (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenleri için kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi (%8.73) ile sabit kalmaktadır. Dolayısıyla, kayma deformasyonun etkisi $E_{01} / E_{02} = 1$ için tabaka düzeninden bağımsızdır. Kayma deformasyonun $E_{01} / E_{02} = 5$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14.36) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%5.64) ile (0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 15$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%17.25) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%6.52) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%20.22) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.39) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 35$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%23.13) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%8.24) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 45$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%25.91) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%9.07) ile (0/90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca

E_{01} / E_{02} oranının artışına bağlı olarak (0/90/90/0) haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (0/90/90/0) için (%9.81)'den (%9.51)'e azalırken, (90/0/0/90) için (%14.36)'dan (%24.66)'ya artmaktadır. (0/90) ve (90/0) tabaka düzenleri için ise (%9.13)'ten (%11)'e artmaktadır.

30) Homojen olmama doğrusal değiştiğinde;

- BMKDT kullanıldığında kayma deformasyonun $E_{01} / E_{02} = 1$, yani izotropik malzeme durumunda, kayma deformasyonun etkisi tabaka düzenine göre değişmemektedir. Yani; (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenleri için kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi (%6.83) ile sabit kalmaktadır. Dolayısıyla, kayma deformasyonun etkisi $E_{01} / E_{02} = 1$ için tabaka düzeninden bağımsızdır. Kayma deformasyonun $E_{01} / E_{02} = 5$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%11.37) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%4.39) ile (0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 15$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%13.84) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%4.94) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%16.37) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%5.54) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 35$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%18.89) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%6.15) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 45$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%21.34) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%6.78) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca E_{01} / E_{02} oranının artışına bağlı olarak (0/90/0) ve (0/90/90/0) haricindeki (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (0/90/0) için (%7.71)'den (%6.81)'e azalırken, (90/0/90) için (%11.33)'den (%20.02)'ye artmaktadır. (0/90) ve (90/0) tabaka düzenleri için ise (%7.24)'ten (%9.62)'ye artmaktadır.

31) YMKDT kullanıldığında kayma deformasyonun $E_{01} / E_{02} = 1$, yani izotropik malzeme durumunda, kayma deformasyonun etkisi tabaka düzenine göre

değişmemektedir. Yani; (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenleri için kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi (%8.06) ile sabit kalmaktadır. Dolayısıyla, kayma deformasyonun etkisi $E_{01} / E_{02} = 1$ için tabaka düzeninden bağımsızdır. Kayma deformasyonun $E_{01} / E_{02} = 5$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%13.29) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%5.20) ile (0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 15$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%16.05) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%5.96) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%18.88) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%6.73) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 35$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%21.65) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.49) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 45$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%24.32) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%8.23) ile (0/90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca E_{01} / E_{02} oranının artışına bağlı olarak (0/90/0) ve (0/90/90/0) haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (0/90/90/0) için (%9.03)'ten (%8.79)'a azalırken, (90/0/0/90) için (%13.29)'dan (%22.74)'e artmaktadır. (0/90) ve (90/0) tabaka düzenleri için ise (%8.47)'den (%10.52)'ye artmaktadır.

32) Homojen olmama kuadratik değiştiğinde;

- BMKDT kullanıldığında kayma deformasyonun $E_{01} / E_{02} = 1$, yani izotropik malzeme durumunda, kayma deformasyonun etkisi tabaka düzenine göre değişmemektedir. Yani; (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenleri için kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi (%7.83) ile sabit kalmaktadır. Dolayısıyla, kayma deformasyonun etkisi $E_{01} / E_{02} = 1$ için tabaka düzeninden bağımsızdır. Kayma deformasyonun $E_{01} / E_{02} = 5$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%12.93) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%5.03) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 15$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%15.67) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%5.71) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%18.45) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%6.41) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 35$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%21.19) ile (90) tabaka

düzeninde, en az etkisi (%7.10) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 45$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%23.85) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.79) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca E_{01} / E_{02} oranının artışına bağlı olarak (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (0/90/0) için (%5.03)'ten (%8.01)'e, (90/0/90) için (%12.92)'den (%23.01)'e artmaktadır. (0/90) ve (90/0) tabaka düzenleri için ise (%8.24)'ten (%10.51)'e artmaktadır.

- YMKDT kullanıldığında kayma deformasyonun $E_{01} / E_{02} = 1$, yani izotropik malzeme durumunda, kayma deformasyonun etkisi tabaka düzenine göre değişmemektedir. Yani; (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenleri için kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi (%9.51) ile sabit kalmaktadır. Dolayısıyla, kayma deformasyonun etkisi $E_{01} / E_{02} = 1$ için tabaka düzeninden bağımsızdır. Kayma deformasyonun $E_{01} / E_{02} = 5$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%15.55) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%6.16) ile (0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 15$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%18.62) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.12) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%21.76) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%8.06) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 35$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%24.80) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%8.98) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 45$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%27.70) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%9.89) ile (0/90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca E_{01} / E_{02} oranının artışına bağlı olarak (0/90/0) ve (0/90/90/0) haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (0/90/90/0) için (%10.68)'ten (%10.22)'ye azalırken, (90/0/0/90) için (%15.55)'ten (%26.41)'e artmaktadır. (0/90) ve (90/0) tabaka düzenleri için ise (%9.93)'ten (%11.83)'e artmaktadır.

33) Tüm tabaka düzenleri ve malzeme özellikleri dikkate alınarak kritik basınç yükü değerleri kıyaslandığında;

- BMKDT kullanıldığında kayma deformasyonun $E_{01} / E_{02} = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14.41) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde ve homojen durumda, en az etkisi (%6.83) ile tabaka düzeninden bağımsız olarak ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde; $E_{01} / E_{02} = 5$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%22.41) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde ve homojen durumda, en az etkisi (%4.39) ile (0) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde; $E_{01} / E_{02} = 15$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%30.41) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde ve homojen durumda, en az etkisi (%4.94) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde; $E_{01} / E_{02} = 25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%38.41) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde ve homojen durumda, en az etkisi (%5.54) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde; $E_{01} / E_{02} = 35$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%46.41) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde ve homojen durumda, en az etkisi (%6.15) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde; $E_{01} / E_{02} = 45$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%54.41) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde ve homojen durumda, en az etkisi (%6.78) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde ortaya çıkmaktadır.
- YMKDT kullanıldığında kayma deformasyonun $E_{01} / E_{02} = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%9.51) ile tabaka düzeninden bağımsız olarak ve homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde, en az etkisi (%8.06) ile tabaka düzeninden bağımsız olarak ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde; $E_{01} / E_{02} = 5$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%15.55) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde, en az etkisi (%5.20) ile (0) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde; $E_{01} / E_{02} = 15$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%18.62) ile (90) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde, en az etkisi (%5.96) ile (0/90/0) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde; $E_{01} / E_{02} = 25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%21.76) ile (90) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde, en az etkisi (%6.73) ile (0/90/0) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde; $E_{01} / E_{02} = 35$ için kritik basınç yüküne en

büyük etkisi (%24.80) ile (90) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde, en az etkisi (%7.49) ile (0/90/0) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde; $E_{01} / E_{02} = 45$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%27.70) ile (90) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde, en az etkisi (%8.23) ile (0/90/0) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde ortaya çıkmaktadır.

34) Tüm tabaka düzenleri, malzeme özellikleri ve E_{01} / E_{02} oranları dikkate alınarak kritik basınç yükü değerleri kıyaslandığında;

- BMKDT için kayma deformasyonun en büyük etkisi (90/0/0/90) tabaka düzeninde, homojen durumda ve $E_{01} / E_{02} = 45$ olduğunda (%54.41) olarak ve en az etkisi ise (0) tabaka düzeninde, homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde ve $E_{01} / E_{02} = 5$ olduğunda (%4.39) olarak ortaya çıkmaktadır.
- YMKDT için ise kayma deformasyonun en büyük etkisi (90) tabaka düzeninde, homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde ve $E_{01} / E_{02} = 45$ olduğunda (%27.70) olarak ve en az etkisi (0) tabaka düzeninde, homojen olmama doğrusal değiştiğinde ve $E_{01} / E_{02} = 5$ olduğunda (%5.20) olarak ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 4.12a-c'den ve analizlerden görüldüğü üzere E_{01} / E_{02} oranının değişimi kayma deformasyonun etkisini önemli derecede etkilemektedir. İzotropik durumda, yani $E_{01} / E_{02} = 1$ için, kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi tabaka düzeninden bağımsızdır. Homojen olmama doğrusal ve kuadratik olarak değiştiğinde kayma deformasyonun en az etkisi BMKDT için (0/90/90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkarken YMKDT için (0/90/0) tabaka düzeninde elde edilmektedir. Homojen durumda ise BMKDT için (0) ve YMKDT için (0/90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Dahası hem BMKDT hem de YMKDT kullanıldığında ve homojen olmama doğrusal ve kuadratik olarak değiştiğinde (0/90) ve (90/0) tabaka düzenine sahip ortotropik tabakalı kompozit plakların kritik basınç yükü değerlerine kayma deformasyonun etkileri E_{01} / E_{02} oranının artışına bağlı olarak artmakta ve her bir E_{01} / E_{02} değeri için ortaya çıkardıkları etkiler birbirine eşit olmaktadır. Dolayısıyla doğrusal ve kuadratik değişimli homojen olmayan ortotropik grafit/epoksi (T) malzemesinden oluşan (90/0) tabakalı kompozit plak (0/90) tabakalı kompozit plak

özelliği sergilemektedir. BMKDT kullanıldığında E_{01} / E_{02} oranının artışına bağlı olarak kayma deformasyonun kritik basınç yüküne en büyük etkisi homojen durumda ve en az etkisi homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde ortaya çıkarken, YMKDT kullanıldığında en büyük etkisi homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde ve en az etkisi ise homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde ortaya çıkmaktadır.

KPT, BMKDT ve YMKDT dikkate alındığında, (0/90), (0/90/0) ve (0/90/90/0) tabaka düzenleri (0) tabaka düzeniyle ve (90/0), (90/0/90) ve (90/0/0/90) tabaka düzenleri ise (90) tabaka düzeniyle kendi aralarında kıyaslandığında aradaki farkların tabaka dizilişi, sayısına ve E_{01} / E_{02} oranının değişimine göre kritik basınç yüküne etkisi mevcuttur. İzotropik durumda tabaka düzeninin herhangi bir etkisinin olmadığı ve diğer E_{01} / E_{02} oranı değişimine göre bu etkinin aşağıdaki şekilde olduğu görülmüştür:

35) Homojen durumda;

- KPT kullanıldığında $E_{01} / E_{02} = 5$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-4.27) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%0.83) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 15$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%18.38) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%2.54) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%29.42) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-3.01) ile (0/90) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 35$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%24.66) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-2.77) ile (0/90) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 45$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%29.40) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-2.58) ile (0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca E_{01} / E_{02} oranının artışına bağlı olarak (0/90) tabaka düzeni haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (0/90/0) için (%1.68)'den (%17.15)'e, (90/0/90) için ise (%0.83)'ten (%26.25)'e artmaktadır. E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (0/90) için bu etki (%-4.27)'den (%-2.58)'e azalırken (90/0) için ise (%-1.96)'dan (%-16.15)'e artmaktadır.

- BMKDT kullanıldığında $E_{01} / E_{02} = 5$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-7.32) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%0.84) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 15$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%18.56) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%0.73) ile (90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%29.80) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-0.94) ile (90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 35$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%24.81) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.90) ile (90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 45$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%29.58) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-2.31) ile (90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca E_{01} / E_{02} oranının artışına bağlı olarak (0/90) ve (90/0) tabaka düzeni haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (0/90/90/0) için (%-1.59)'dan (%29.58)'e, (90/0/0/90) için ise (%2.83)'ten (%14.60)'a artmaktadır. E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (0/90) için bu etki (%-7.32)'den (%-4.74)'e , (90/0) için ise (%3.04)'ten (%-2.31)'e azalmaktadır.
- YMKDT kullanıldığında $E_{01} / E_{02} = 5$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-7.80) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%0.81) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 15$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%18.30) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%2.20) ile (90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%29.29) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%1.08) ile (90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 35$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%24.23) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%0.65) ile (90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 45$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%28.78) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%0.73) ile (90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca E_{01} / E_{02} oranının artışına bağlı olarak (0/90) ve (90/0) tabaka düzeni haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (0/90/0) için (%1.68)'den (%19.69)'a, (90/0/90)

için ise (%0.81)'den (%6.20)'ye artmaktadır. E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (0/90) için bu etki (%-7.80)'den (%-4.27)'ye , (90/0) için ise (%3.96)'dan (%0.73)'e azalmaktadır.

36) Homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde;

- KPT kullanıldığında $E_{01} / E_{02} = 5$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-3.75) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%0.98) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 15$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%19.62) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.59) ile (0/90) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%31.10) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-0.41) ile (0/90) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 35$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%25.49) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%0.41) ile (0/90) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 45$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%30.43) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%1.04) ile (0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca E_{01} / E_{02} oranının artışına bağlı olarak (0/90) tabaka düzeni haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (0/90/0) için (%1.99)'dan (%13.87)'ye, (90/0/90) için ise (%0.98)'den (%21.11)'e artmaktadır. E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (0/90) için bu etki (%-3.75)'ten (%1.04)'e azalırken (90/0) için ise (%-1.43)'ten (%-13.03)'e artmaktadır.
- BMKDT kullanıldığında $E_{01} / E_{02} = 5$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-6.63) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%1.03) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 15$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%19.83) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%1.86) ile (90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%31.54) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%0.77) ile (90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 35$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%25.56) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%0.14) ile (90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 45$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%30.47) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-0.07) ile (90/0) tabaka düzeninde ortaya

çıkılmaktadır. Ayrıca E_{01} / E_{02} oranının artışına bağlı olarak (0/90) ve (90/0) tabaka düzeni haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (0/90/90/0) için (%-1.67)'den (%30.47)'ye, (90/0/0/90) için ise (%3.03)'ten (%14.64)'e artmaktadır. E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (0/90) için bu etki (%-6.63)'ten (%-1.37)'ye , (90/0) için ise (%3.16)'dan (%-0.07)'ye azalmaktadır.

- YMKDT kullanıldığında $E_{01} / E_{02} = 5$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-7.08) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%1) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 15$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%19.56) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%2.79) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%31) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%2.65) ile (90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 35$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%24.95) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%2.54) ile (90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 45$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%29.62) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-0.96) ile (0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca E_{01} / E_{02} oranının artışına bağlı olarak (0/90) ve (90/0) tabaka düzeni haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (0/90/0) için (%-2.18)'den (%16.79)'a, (90/0/90) için ise (%1)'den (%4.12)'ye artmaktadır. E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (0/90) için bu etki (%-7.08)'den (%-0.96)'ya , (90/0) için ise (%4.02)'den (%2.83)'e azalmaktadır.

37) Homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde;

- KPT kullanıldığında $E_{01} / E_{02} = 5$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-4.37) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%0.73) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 15$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%16.58) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%2.25) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%26.54) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%3.43) ile

(90/0/90) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 35$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%22.71) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-3.73) ile (0/90) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 45$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%27.14) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-3.75) ile (0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca E_{01} / E_{02} oranının artışına bağlı olarak (0/90) tabaka düzeni haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (0/90/0) için (%1.49)'dan (%16.88)'e, (90/0/90) için ise (%0.73)'ten (%26.96)'ya artmaktadır. E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (0/90) için bu etki (%-4.37)'den (%-3.75)'e azalırken (90/0) için ise (%-2.06)'dan (%-17.16)'ya artmaktadır.

- BMKDT kullanıldığında $E_{01} / E_{02} = 5$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-7.59) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%0.75) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 15$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%16.77) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%0.71) ile (90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%26.96) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.08) ile (90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 35$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%22.94) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-2.14) ile (90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 45$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%27.45) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-2.65) ile (90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca E_{01} / E_{02} oranının artışına bağlı olarak (0/90) ve (90/0) tabaka düzeni haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (0/90/90/0) için (%-1.81)'den (%27.45)'e, (90/0/0/90) için ise (%2.56)'dan (%13.58)'e artmaktadır. E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (0/90) için bu etki (%-7.59)'dan (%-5.89)'a , (90/0) için ise (%3.21)'den (%-2.65)'e azalmaktadır.
- YMKDT kullanıldığında $E_{01} / E_{02} = 5$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-8.21) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%0.71) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 15$ için kritik basınç yüküne en büyük

etkisi (%16.52) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%2.32) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%26.47) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%1.37) ile (90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 35$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%22.39) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%0.94) ile (90/0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 45$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%26.67) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%1.02) ile (0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca E_{01} / E_{02} oranının artışına bağlı olarak (0/90) ve (90/0) tabaka düzeni haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (0/90/0) için (%1.48)'den (%19.45)'e, (90/0/90) için ise (%0.71)'den (%5.18)'e artmaktadır. E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (0/90) için bu etki (%-8.21)'den (%-5.45)'e , (90/0) için ise (%4.38)'den (%1.02)'ye azalmaktadır.

Çizelge 4.12a-c'den ve analizlerden görüldüğü üzere E_{01} / E_{02} oranının değişimi tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisini önemli derecede etkilemektedir. Ayrıca E_{01} / E_{02} oranının artışına bağlı olarak ortotropik tabakalı kompozit plağın kritik basınç yüküne tabaka düzeninin etkisi BMKDT ve YMKDT kullanıldığında (0/90) ve (90/0) haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde artarken, KPT kullanıldığında ise E_{01} / E_{02} oranının artışına bağlı olarak (0/90) haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde artmaktadır. Dahası $E_{01} / E_{02} > 5$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (0/90/90/0) için ortaya çıkarken en az etkisi farklı tabaka düzenlerinde elde edilmektedir.

Çeşitli tabaka düzenleri ve homojen olmama fonksiyonları dikkate alındığında BMKDT ile YMKDT kendi aralarında kıyaslandığında yüksek mertebe kayma deformasyon etkilerinin tabaka düzenine, homojen olmama durumlarına ve E_{01} / E_{02} oranlarına göre yüzde olarak değişiminin aşağıdaki şekilde olduğu görülmüştür:

38) Homojen durumda;

- Yüksek mertebe kayma deformasyonun etkisi $E_{01} / E_{02} = 1$, yani izotropik malzeme durumunda, tabaka düzenine göre değişmemektedir. Yani; (0/..) ve

(90/..) formundaki tüm tabaka düzenleri için yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi (%-1.42) ile sabit kalmaktadır. Dolayısıyla, yüksek mertebe kayma deformasyonun etkisi $E_{01} / E_{02} = 1$ için tabaka düzeninden bağımsızdır. Yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yükü değerine $E_{01} / E_{02} = 5$ için en büyük etkisi (%-2.40) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-0.92) ile (0) tabaka düzenlerinde; $E_{01} / E_{02} = 15$ için en büyük etkisi (%-3.04) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.06) ile (0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 25$ için en büyük etkisi (%-3.64) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.22) ile (0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 35$ için en büyük etkisi (%-4.21) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.13) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde; $E_{01} / E_{02} = 45$ için en büyük etkisi (%-4.75) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.03) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde elde edilmektedir. Ayrıca E_{01} / E_{02} oranının artışına bağlı olarak (0/90) ve (90/0) haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; (0/90/0) için E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (%-0.94)'den (%-1.66)'ya (90/0/90) için ise (%-2.34)'ten (%-4.12)'ye artmaktadır. (0/90) ve (90/0) için E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (%-1.43)'ten (%-1.03)'e azalmaktadır.

39) Homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde;

- Yüksek mertebe kayma deformasyonun etkisi $E_{01} / E_{02} = 1$, yani izotropik malzeme durumunda, tabaka düzenine göre değişmemektedir. Yani; (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenleri için yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi (%-1.31) ile sabit kalmaktadır. Dolayısıyla, yüksek mertebe kayma deformasyonun etkisi $E_{01} / E_{02} = 1$ için tabaka düzeninden bağımsızdır. Yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yükü değerine $E_{01} / E_{02} = 5$ için en büyük etkisi (%-2.23) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-0.85) ile (0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 15$ için en büyük etkisi (%-2.85) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-0.98) ile (0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 25$ için en büyük etkisi (%-3.44) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.11) ile (0) tabaka düzeninde;

$E_{01} / E_{02} = 35$ için en büyük etkisi (%-4) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.09) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde; $E_{01} / E_{02} = 45$ için en büyük etkisi (%-4.53) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-0.99) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde elde edilmektedir. Ayrıca E_{01} / E_{02} oranının artışına bağlı olarak (0/90) ve (90/0) haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; (0/90/90/0) için E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (%-1.47)'den (%-2.17)'ye (90/0/0/90) için ise (%-2.23)'ten (%-4.53)'e artmaktadır. (0/90) ve (90/0) için E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (%-1.33)'ten (%-0.99)'a azalmaktadır.

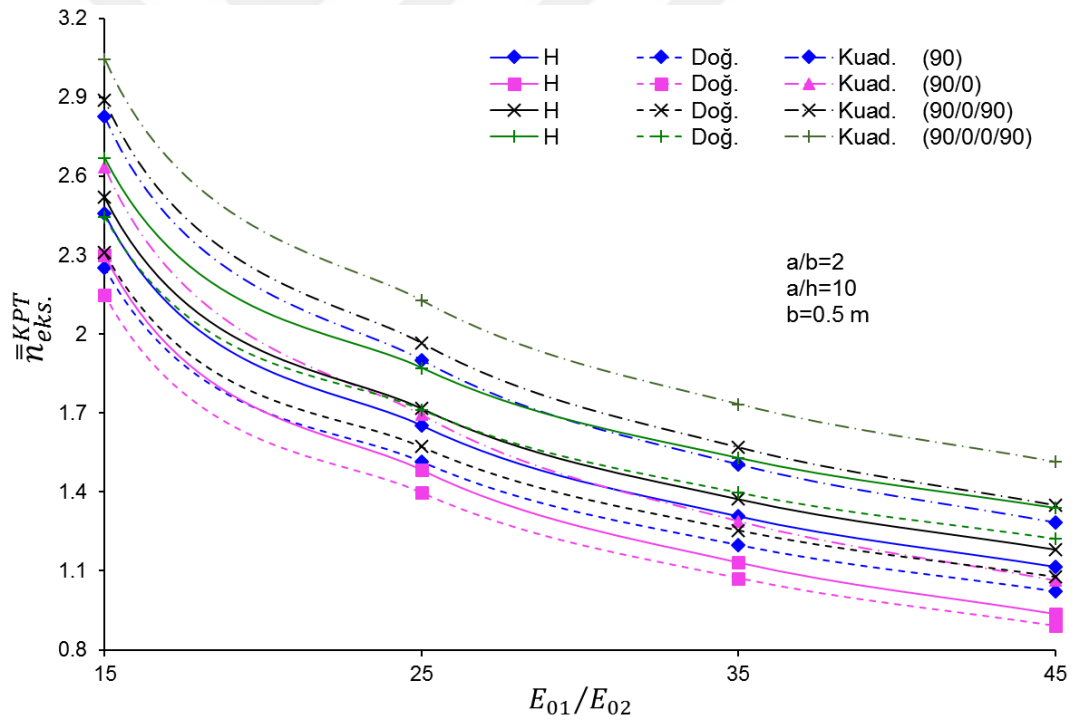
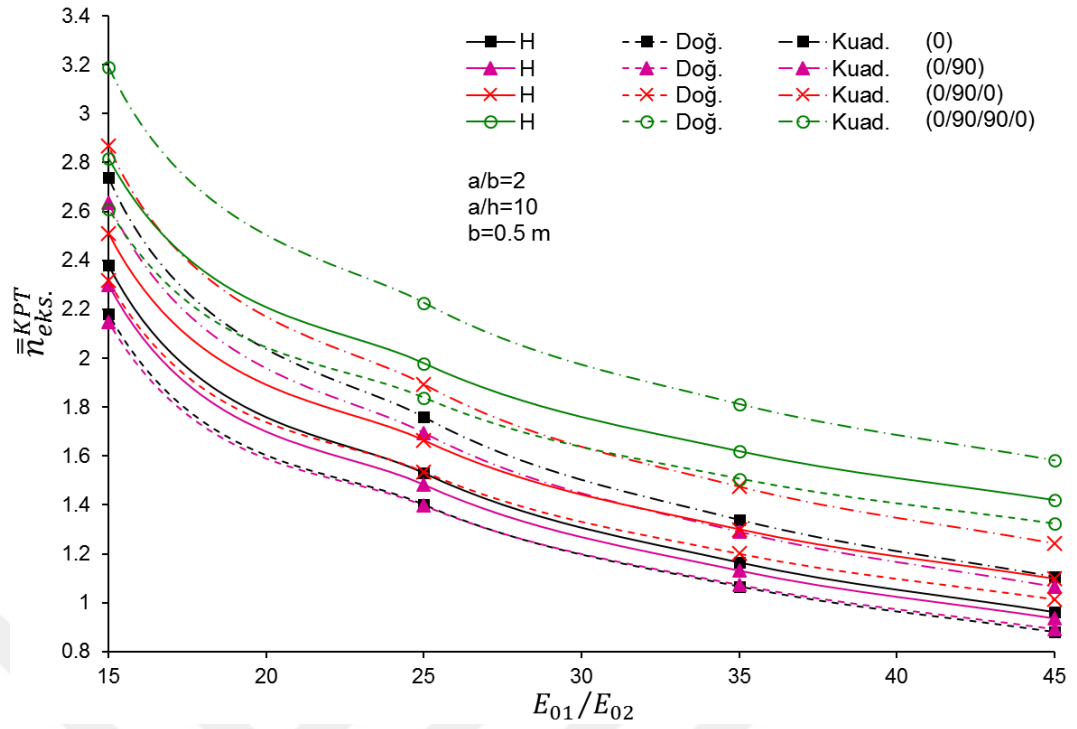
40) Homojen olmama kuadratik değiştiğinde;

- Yüksek mertebe kayma deformasyonun etkisi $E_{01} / E_{02} = 1$, yani izotropik malzeme durumunda, tabaka düzenine göre değişmemektedir. Yani; (0/..) ve (90/..) formundaki tüm tabaka düzenleri için yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi (%-1.82) ile sabit kalmaktadır. Dolayısıyla, yüksek mertebe kayma deformasyonun etkisi $E_{01} / E_{02} = 1$ için tabaka düzeninden bağımsızdır. Yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yükü değerine $E_{01} / E_{02} = 5$ için en büyük etkisi (%-3.03) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.18) ile (0) tabaka düzenlerinde; $E_{01} / E_{02} = 15$ için en büyük etkisi (%-3.77) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.36) ile (0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 25$ için en büyük etkisi (%-4.46) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.55) ile (0) tabaka düzeninde; $E_{01} / E_{02} = 35$ için en büyük etkisi (%-5.1) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.58) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde; $E_{01} / E_{02} = 45$ için en büyük etkisi (%-5.72) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.48) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde elde edilmektedir. Ayrıca E_{01} / E_{02} oranının artışına bağlı olarak (0/90) ve (90/0) haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; (0/90/0) için E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (%-1.20)'den (%-2.05)'e (90/0/90)

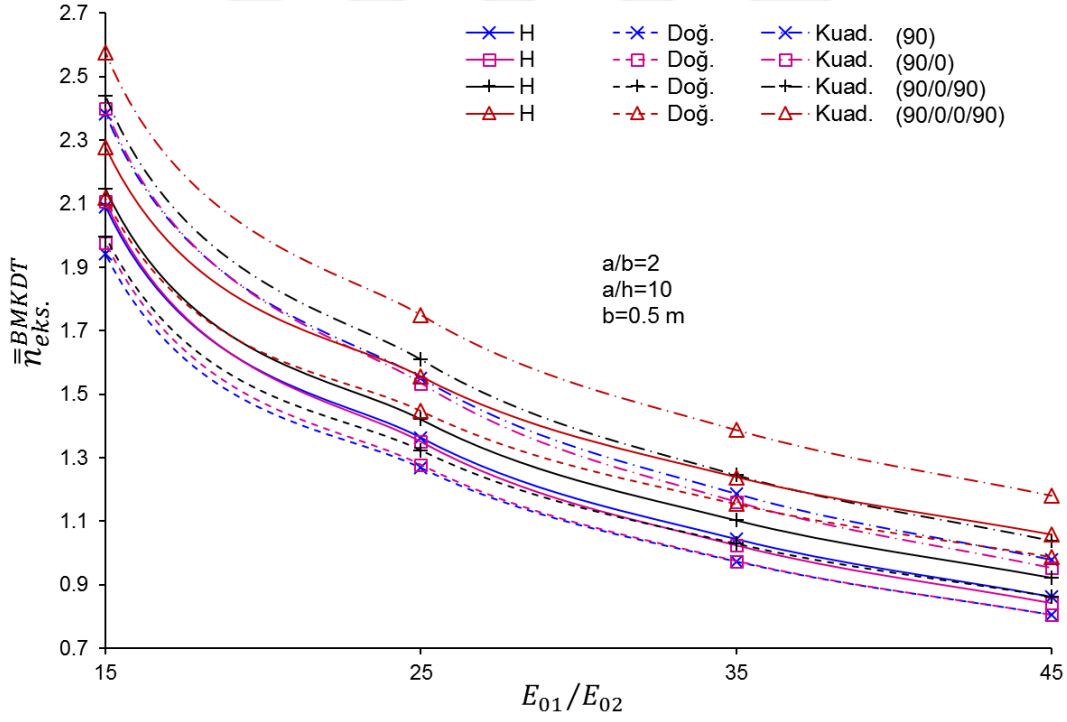
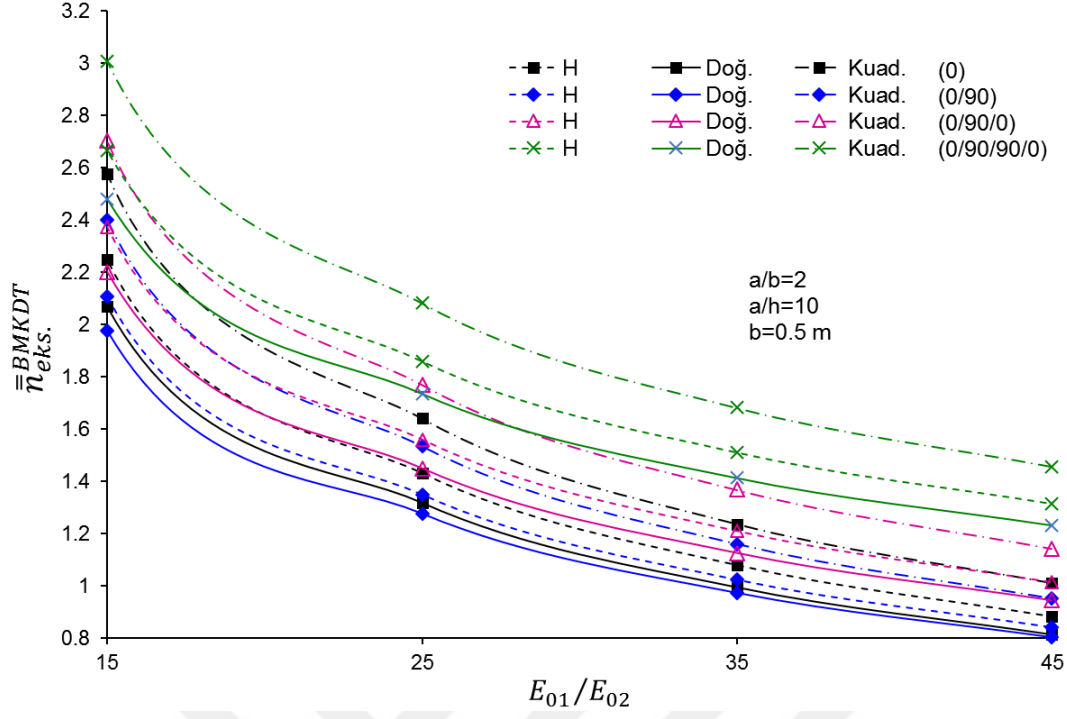
için ise (%-2.97)'den (%-5.13)'e artmaktadır. (0/90) ve (90/0) için E_{01} / E_{02} oranı 5'den 45'e kadar arttığında (%-1.85)'ten (%-1.48)'e azalmaktadır.

Çizelge 4.12a-c'den ve analizlerden görüldüğü üzere E_{01} / E_{02} oranının değişimi yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi mevcuttur. Ayrıca E_{01} / E_{02} oranının artışına bağlı olarak (0/90) ve (90/0) haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi homojen olmamanın kuadratik değiştiği durumda ve $E_{01} / E_{02} = 45$ için daha belirgindir. Dahası E_{01} / E_{02} oranının artışına bağlı olarak, yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç en büyük etkisi (90/0/0/90) tabaka düzeninde ve en az etkisi farklı tabaka düzenlerinde elde edilmektedir. Homojen durumda ve homojen olmama doğrusal ve kuadratik olarak değiştiğinde (0/90) ve (90/0) tabaka düzenine sahip ortotropik tabakalı kompozit plakların kritik basınç yükü değerlerine yüksek mertebe kayma deformasyonun etkileri E_{01} / E_{02} oranının artışına bağlı olarak azalmakta ve her bir E_{01} / E_{02} değeri için ortaya çıkardıkları etkiler birbirine eşit olmaktadır. Dolayısıyla homojen, doğrusal ve kuadratik değişimli homojen olmayan ortotropik grafit/epoksi (T) malzemesinden oluşan (90/0) tabakalı kompozit plak (0/90) tabakalı kompozit plak özelliği sergilemektedir.

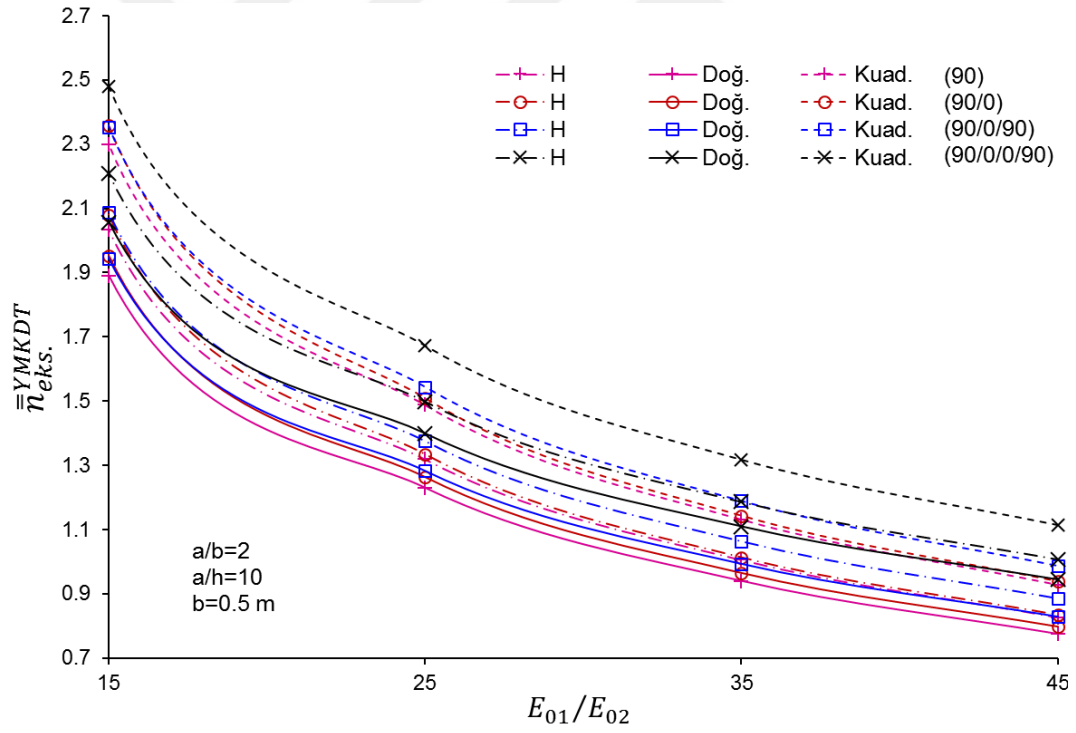
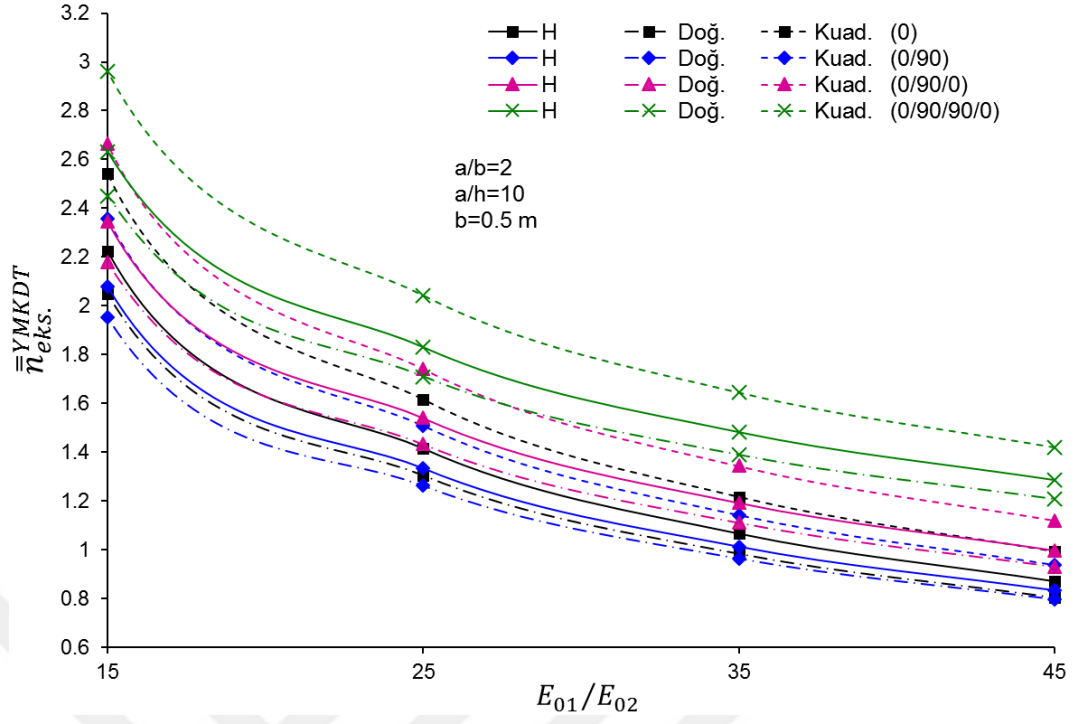
Şekil 4.11-4.15, KPT ve KDT kapsamında homojen ve homojen olmayan ortotropik tabakalı kompozit plağın kritik basınç yükü değerlerinin çeşitli tabaka düzenlerine ve E_{01} / E_{02} oranına bağlı değişimi sunulmaktadır. Şekillerde kullanılan veriler Çizelge 4.12a-c'den alınmıştır. Homojen olmama doğrusal ve kuadratik değişmektedir.



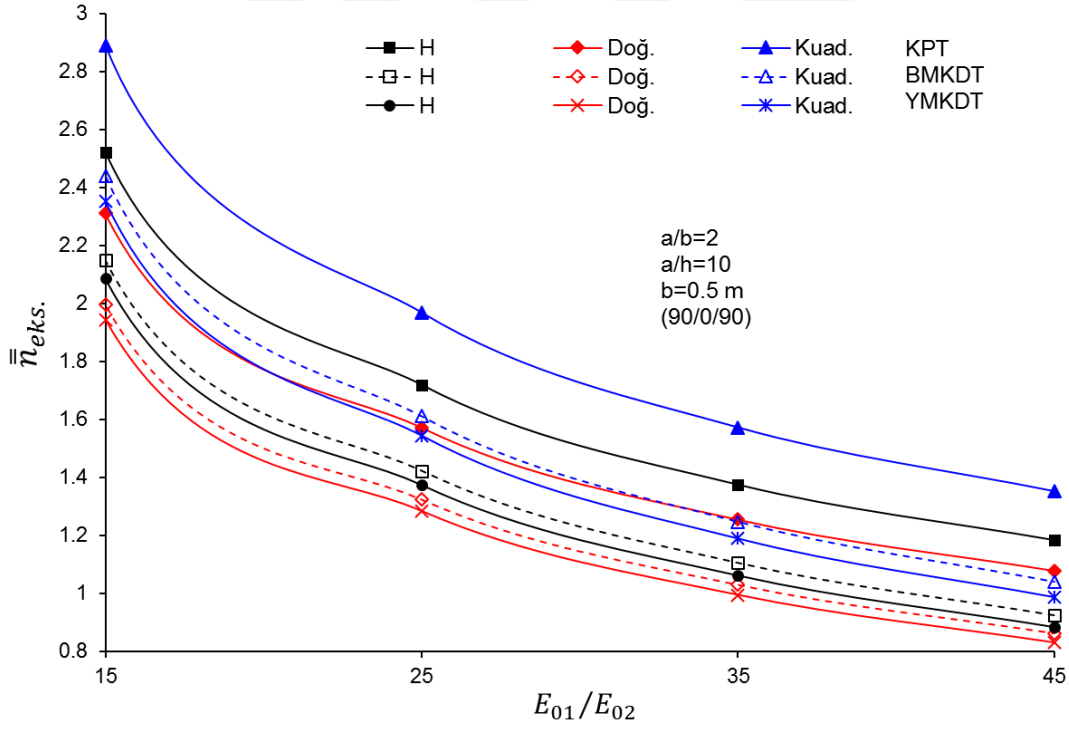
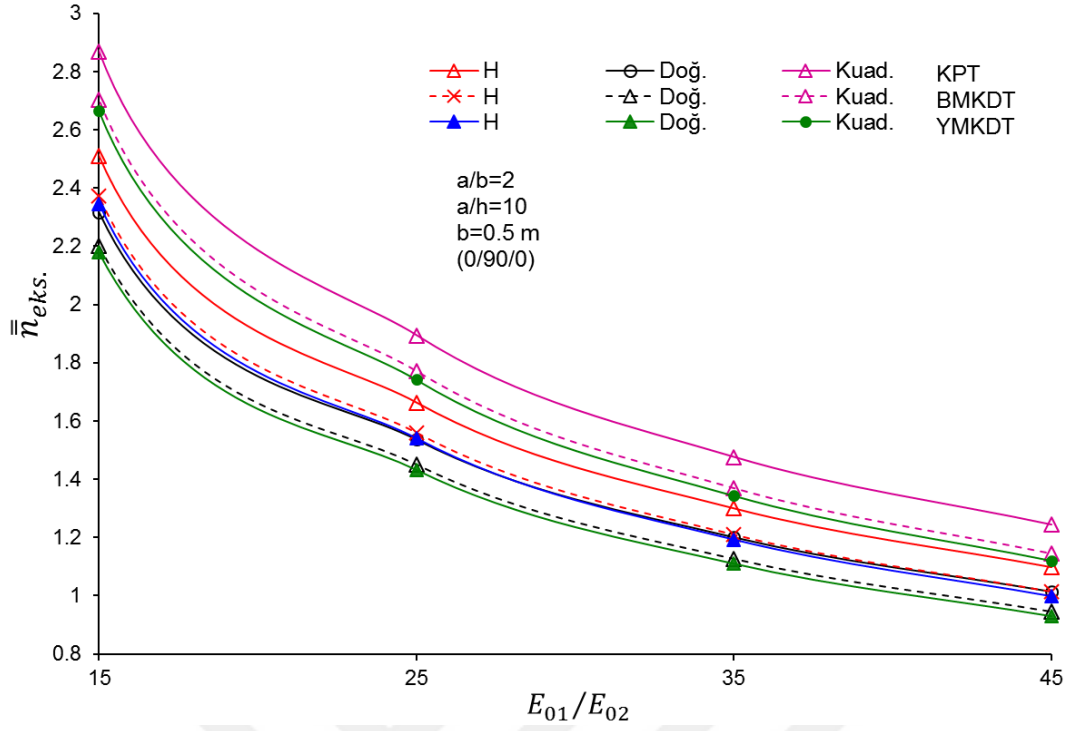
Şekil 4.11 $\bar{n}_{eks}^{KPT}$ 'in çeşitli tabaka düzenlerine ve E_{01}/E_{02} oranına göre değişimi ($\zeta = 0, \mu = 1$).



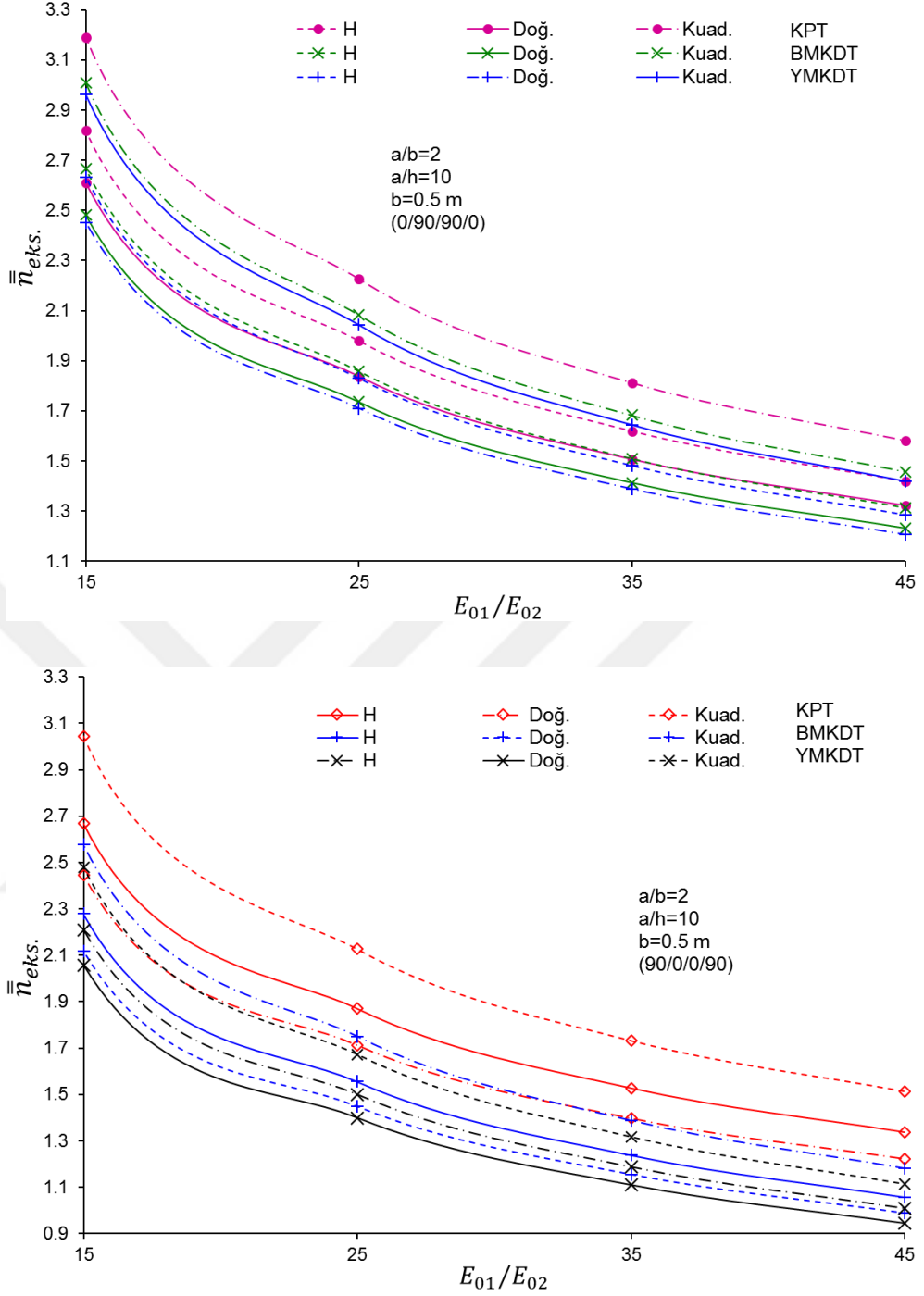
Şekil 4.12 $\bar{n}_{eks}^{BMKDT}$ 'in çeşitli tabaka düzenlerine ve E_{01}/E_{02} oranına göre değişimi ($\zeta = 0, \mu = 1$)



Şekil 4.13. $\bar{n}_{eks}^{YMKDT}$ 'in çeşitli tabaka düzenlerine ve E_{01}/E_{02} oranına göre değişimi ($\zeta = 0, \mu = 1$)



Şekil 4.14. $\bar{n}_{eks}$ 'in çeşitli teorilere ve E_{01}/E_{02} oranına göre değişimi ($\zeta = 0, \mu = 1$)



Şekil 4.15. $\bar{n}_{eks}$ 'in çeşitli teorilere ve E_{01}/E_{02} oranına göre değişimi ($\zeta = 0, \mu = 1$)

4.3.2. Yükleme koşullarına göre yapılan analizler

Çizelge 4.13'de, $a/h=10$, $b=0.5$ m, $a/b=2$ değerleri için KPT ve KDT kullanılarak çeşitli tabakalanma düzenine sahip homojen ve homojen olmayan ortotropik tabakalı kompozit plağın kritik burkulma yük değerlerinin ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının ζ parametresine bağlı değişimi sunulmuştur.

Tabakaları oluşturan malzemelerin Elastisite ve Kayma modülleri kalınlık doğrultusunda doğrusal ve kuadratik fonksiyonlar şeklinde değişmektedir. Homojen olmamanın ortotropik tabakalı kompozit plakların kritik basınç yüküne ζ parametresi değişimine bağlı etkileri KPT, BMKDT ve YMKDT kullanılarak belirlenmiş ve şu şekilde sıralanmıştır:

41) Homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde;

- KPT dikkate alındığında $\zeta = 0$, yani tek eksenli basınç durumunda, homojen olmamanın en büyük etkisi (%-8.33) ile (0) ve (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-4.68) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.25$ için en büyük etkisi (%-8.34) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-4.66) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-10.85) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-2.04) ile (0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-11.22) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-2.06) ile (0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-11.23) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-2.06) ile (0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 2$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-13.22) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-2.07) ile (0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca ζ parametresinin artışına bağlı olarak (0) formundaki tabaka düzenlerinde yük parametresinin kritik basınç yüküne etkisi hemen hemen sabit kalırken, (0/90) haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde artmaktadır. Örneğin; ζ parametresi 0'dan 2'ye kadar arttığında (0/90/90/0) için (%-6.05)'ten (%-6.09)'a, (90/0/0/90) için (%-8.23)'ten (%-13.22)'ye artmakta ve (0/90) için (%-4.68)'den (%-2.07)'ye azalırken, (90/0) için (%-4.68)'den (%-6.84)'de artmaktadır. Dahası $\zeta = 0$ için kritik basınç yüküne yük parametresinin etkisi (0) ve (90) için (%-8.33) ve (0/90) ve (90/0) için (%-4.68) olmaktadır.

Çizelge 4.13a.H ve HO ortotropik tabakalı plakların farklı tabaka düzenleri için $\bar{n}_{eks}^{KPT}$ değerleri ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının ζ parametresine bağlı değişimi

ζ	Tabakalanma Düzeni	$\bar{n}_{eks}^{KPT}(m,n)$		
		$\phi^k(Z)$		
		Hom.	Z	Z ²
0	0°	0.8090(1,1)	0.7416(1,1)	0.9033(1,1)
	90°	0.8658(3,1)	0.7937(3,1)	0.9957(3,1)
	0° / 90°	0.7133(2,1)	0.6799(2,1)	0.8091(2,1)
	90° / 0°	0.7133(2,1)	0.6799(2,1)	0.8091(2,1)
	0° / 90° / 0°	0.9370(1,1)	0.8769(1,1)	1.0604(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.9274(3,1)	0.8505(3,1)	1.0583(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	1.2409(1,1)	1.1658(1,1)	1.3784(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	1.0738(3,1)	0.9854(3,1)	1.2115(3,1)
0.25	0°	0.4045(1,1)	0.3708(1,1)	0.4652(1,1)
	90°	0.7793(3,1)	0.7143(3,1)	0.8961(3,1)
	0° / 90°	0.5706(2,1)	0.5440(2,1)	0.6473(2,1)
	90° / 0°	0.5706(2,1)	0.5440(2,1)	0.6473(2,1)
	0° / 90° / 0°	0.4685(1,1)	0.4384(1,1)	0.5302(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.8347(3,1)	0.7654(3,1)	0.9525(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	0.6204(1,1)	0.5829(1,1)	0.6892(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	0.9664(3,1)	0.8868(3,1)	1.0903(3,1)
0.50	0°	0.2697(1,1)	0.2472(1,1)	0.3101(1,1)
	90°	0.7084(3,1)	0.6494(3,1)	0.8147(3,1)
	0° / 90°	0.4208(1,1)	0.4122(1,1)	0.4761(1,1)
	90° / 0°	0.4208(1,1)	0.3921(1,1)	0.4761(1,1)
	0° / 90° / 0°	0.3123(1,1)	0.2923(1,1)	0.3535(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.7588(3,1)	0.6958(3,1)	0.8659(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	0.4136(1,1)	0.3886(1,1)	0.4595(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	0.8785(3,1)	0.7832(2,1)	0.9912(3,1)
0.75	0°	0.2022(1,1)	0.1854(1,1)	0.2326(1,1)
	90°	0.6494(3,1)	0.5953(3,1)	0.7468(3,1)
	0° / 90°	0.3156(1,1)	0.3091(1,1)	0.3571(1,1)
	90° / 0°	0.3156(1,1)	0.2941(1,1)	0.3571(1,1)
	0° / 90° / 0°	0.2342(1,1)	0.2192(1,1)	0.2651(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.6956(3,1)	0.6378(3,1)	0.7938(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	0.3102(1,1)	0.2915(1,1)	0.3446(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	0.7561(2,1)	0.6713(2,1)	0.8695(2,1)
1	0°	0.1618(1,1)	0.1483(1,1)	0.1861(1,1)
	90°	0.5994(3,1)	0.5495(3,1)	0.6893(3,1)
	0° / 90°	0.2525(1,1)	0.2473(1,1)	0.2857(1,1)
	90° / 0°	0.2525(1,1)	0.2353(1,1)	0.2857(1,1)
	0° / 90° / 0°	0.1874(1,1)	0.1754(1,1)	0.2121(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.6421(3,1)	0.5888(3,1)	0.7327(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	0.2482(1,1)	0.2332(1,1)	0.2757(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	0.6616(2,1)	0.5874(2,1)	0.7608(2,1)

Çizelge 4.13a.(devamı)

$\bar{n}_{eks}^{KPT}(m,n)$				
$\varphi^k(Z)$				
ζ	Tabakalanma Düzeni	Hom.	Z	Z ²
2	0°	0.0899(1,1)	0.0824(1,1)	0.1034(1,1)
	90°	0.4584(3,1)	0.4043(2,1)	0.5072(2,1)
	0° / 90°	0.1403(1,1)	0.1374(1,1)	0.1587(1,1)
	90° / 0°	0.1403(1,1)	0.1307(1,1)	0.1587(1,1)
	0° / 90° / 0°	0.1041(1,1)	0.0974(1,1)	0.1178(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.4410(2,1)	0.3958(2,1)	0.5072(2,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	0.1379(1,1)	0.1295(1,1)	0.1532(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	0.4258(1,1)	0.3695(1,1)	0.4951(1,1)

Çizelge 4.13b.H ve HO ortotropik tabakalı plakların farklı tabaka düzenleri için $\bar{n}_{eks}^{BMKDT}$ değerleri ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının ζ parametresine bağlı değişimi

$\bar{n}_{eks}^{BMKDT}(m,n)$				
$\varphi^k(Z)$				
ζ	Tabakalanma Düzeni	Hom.	Z	Z ²
0	0°	0.7000(1,1)	0.6487(1,1)	0.7985(1,1)
	90°	0.5405(3,1)	0.5104(3,1)	0.6085(3,1)
	0° / 90°	0.5711(2,1)	0.5496(2,1)	0.6419(2,1)
	90° / 0°	0.5711(2,1)	0.5496(2,1)	0.6419(2,1)
	0° / 90° / 0°	0.8103(1,1)	0.7678(1,1)	0.9101(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.5883(1,1)	0.5610(3,1)	0.6566(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	1.0528(1,1)	1.0000(1,1)	1.1631(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	0.6845(3,1)	0.6519(3,1)	0.7570(3,1)
0.25	0°	0.3500(1,1)	0.3244(1,1)	0.3993(1,1)
	90°	0.4864(3,1)	0.4594(3,1)	0.5476(3,1)
	0° / 90°	0.4569(2,1)	0.4397(2,1)	0.5135(2,1)
	90° / 0°	0.4569(2,1)	0.4397(2,1)	0.5135(2,1)
	0° / 90° / 0°	0.4052(1,1)	0.3839(1,1)	0.4550(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.5295(3,1)	0.5049(3,1)	0.5909(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	0.5264(1,1)	0.5000(1,1)	0.5816(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	0.6161(3,1)	0.5867(3,1)	0.6813(3,1)
0.50	0°	0.2333(1,1)	0.2162(1,1)	0.2662(1,1)
	90°	0.4422(3,1)	0.4176(3,1)	0.4979(3,1)
	0° / 90°	0.3566(1,1)	0.3504(1,1)	0.4009(2,1)
	90° / 0°	0.3566(1,1)	0.3357(1,1)	0.4009(1,1)
	0° / 90° / 0°	0.2701(1,1)	0.2559(1,1)	0.3034(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.4813(3,1)	0.4590(3,1)	0.5372(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	0.3509(1,1)	0.3333(1,1)	0.3877(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	0.5601(3,1)	0.5255(2,1)	0.6194(3,1)

Çizelge 4.13b.(devamı)

$\bar{n}_{eks}^{BMKDT}(m,n)$				
$\phi^k(Z)$				
ζ	Tabakalanma Düzeni	Hom.	Z	Z ²
0.75	0°	0.1750(1,1)	0.1622(1,1)	0.1996(1,1)
	90°	0.4054(3,1)	0.3828(3,1)	0.4564(3,1)
	0° / 90°	0.2675(1,1)	0.2628(1,1)	0.3007(1,1)
	90° / 0°	0.2675(1,1)	0.2518(1,1)	0.3007(1,1)
	0° / 90° / 0°	0.2026(1,1)	0.1919(1,1)	0.2275(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.4412(3,1)	0.4207(3,1)	0.4924(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	0.2632(1,1)	0.2500(1,1)	0.2908(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	0.4836(2,1)	0.4504(2,1)	0.5419(2,1)
1	0°	0.1400(1,1)	0.1297(1,1)	0.1597(1,1)
	90°	0.3742(3,1)	0.3534(3,1)	0.4213(3,1)
	0° / 90°	0.2140(1,1)	0.2103(1,1)	0.2405(1,1)
	90° / 0°	0.2140(1,1)	0.2014(1,1)	0.2405(1,1)
	0° / 90° / 0°	0.1621(1,1)	0.1536(1,1)	0.1820(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.4073(3,1)	0.3884(3,1)	0.4546(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	0.2106(1,1)	0.2000(1,1)	0.2326(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	0.4232(2,1)	0.3941(2,1)	0.4741(2,1)
2	0°	0.0778(1,1)	0.0721(1,1)	0.0887(1,1)
	90°	0.2861(3,1)	0.2519(2,1)	0.2989(2,1)
	0° / 90°	0.1189(1,1)	0.1168(1,1)	0.1336(1,1)
	90° / 0°	0.1189(1,1)	0.1119(1,1)	0.1336(1,1)
	0° / 90° / 0°	0.0900(1,1)	0.0853(1,1)	0.1011(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.2714(2,1)	0.2548(2,1)	0.3044(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	0.1170(1,1)	0.1111(1,1)	0.1292(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	0.2646(1,1)	0.2420(1,1)	0.2991(1,1)

Çizelge 4.13c. H ve HO ortotropik tabakalı plakların farklı tabaka düzenleri için $\bar{n}_{eks}^{YMKDT}$ değerleri ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının ζ parametresine bağlı değişimi

$\bar{n}_{eks}^{YMKDT}(m,n)$				
$\phi^k(Z)$				
ζ	Tabakalanma Düzeni	Hom.	Z	Z ²
0	0°	0.6829(1,1)	0.6340(1,1)	0.7738(1,1)
	90°	0.5087(3,1)	0.4817(3,1)	0.5640(3,1)
	0° / 90°	0.5613(2,1)	0.5404(2,1)	0.6256(2,1)
	90° / 0°	0.5613(2,1)	0.5404(2,1)	0.6256(2,1)
	0° / 90° / 0°	0.7839(1,1)	0.7440(1,1)	0.8746(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.5486(1,1)	0.5248(3,1)	0.6030(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	0.9973(1,1)	0.9486(1,1)	1.0940(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	0.6242(3,1)	0.5958(3,1)	0.6796(3,1)

Çizelge 4.13c.(devamı)

$\bar{n}_{eks}^{YMKDT}(m, n)$				
ζ	Tabakalanma Düzeni	$\varphi^k(Z)$		
		Hom.	Z	Z ²
0.25	0°	0.3414(1,1)	0.3170(1,1)	0.3869(1,1)
	90°	0.4578(3,1)	0.4335(3,1)	0.5076(3,1)
	0° / 90°	0.4490(2,1)	0.4323(2,1)	0.5005(2,1)
	90° / 0°	0.4490(2,1)	0.4323(2,1)	0.5005(2,1)
	0° / 90° / 0°	0.3920(1,1)	0.3720(1,1)	0.4373(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.4937(3,1)	0.4723(3,1)	0.5427(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	0.4986(1,1)	0.4743(1,1)	0.5470(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	0.5618(3,1)	0.5362(3,1)	0.6116(3,1)
0.50	0°	0.2276(1,1)	0.2113(1,1)	0.2879(1,1)
	90°	0.4162(3,1)	0.3941(3,1)	0.4615(3,1)
	0° / 90°	0.3529(1,1)	0.3498(1,1)	0.3942(1,1)
	90° / 0°	0.3529(1,1)	0.3294(1,1)	0.3942(1,1)
	0° / 90° / 0°	0.2613(1,1)	0.2480(1,1)	0.2915(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.4489(3,1)	0.4294(3,1)	0.4934(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	0.3324(1,1)	0.3162(1,1)	0.3647(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	0.5107(3,1)	0.4983(2,1)	0.5560(3,1)
0.75	0°	0.1707(1,1)	0.1585(1,1)	0.1935(1,1)
	90°	0.3815(3,1)	0.3613(3,1)	0.4230(3,1)
	0° / 90°	0.2647(1,1)	0.2624(1,1)	0.2957(1,1)
	90° / 0°	0.2647(1,1)	0.2471(1,1)	0.2957(1,1)
	0° / 90° / 0°	0.1960(1,1)	0.1860(1,1)	0.2186(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.4115(3,1)	0.3936(3,1)	0.4522(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	0.2493(1,1)	0.2371(1,1)	0.2735(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	0.4571(2,1)	0.4271(2,1)	0.5038(2,1)
1	0°	0.1366(1,1)	0.1268(1,1)	0.1548(1,1)
	90°	0.3522(3,1)	0.3335(3,1)	0.3905(3,1)
	0° / 90°	0.2117(1,1)	0.2099(1,1)	0.2365(1,1)
	90° / 0°	0.2117(1,1)	0.1977(1,1)	0.2365(1,1)
	0° / 90° / 0°	0.1568(1,1)	0.1488(1,1)	0.1749(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.3798(3,1)	0.3633(3,1)	0.4175(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	0.1995(1,1)	0.1897(1,1)	0.2188(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	0.4000(2,1)	0.3737(2,1)	0.4408(2,1)
2	0°	0.0759(1,1)	0.0704(1,1)	0.0860(1,1)
	90°	0.2693(3,1)	0.2365(2,1)	0.2751(2,1)
	0° / 90°	0.1176(1,1)	0.1166(1,1)	0.1314(1,1)
	90° / 0°	0.1176(1,1)	0.1098(1,1)	0.1314(1,1)
	0° / 90° / 0°	0.0871(1,1)	0.0827(1,1)	0.0972(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.2551(2,1)	0.2405(2,1)	0.2814(2,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	0.1108(1,1)	0.1054(1,1)	0.1216(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	0.2529(1,1)	0.2322(1,1)	0.2807(1,1)

- BMKDT dikkate alındığında $\zeta = 0$, yani tek eksenli basınç durumunda, homojen olmamanın en büyük etkisi (%-7.33) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-3.76) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.25$ için en büyük etkisi (%-7.31) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-3.76) ile (0/90) ve (90/0)

tabaka düzeninde; $\zeta = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-7.33) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.76) ile (0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-7.31) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.76) ile (0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-7.36) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.73) ile (0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 2$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-11.95) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.77) ile (0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca ζ parametresinin artışına bağlı olarak (0) formundaki tabaka düzenlerinde yük parametresinin kritik basınç yüküne etkisi hemen hemen sabit kalırken, (0/90) ve (0/90/0) haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde artmaktadır. Örneğin; ζ parametresi 0'dan 2'ye kadar arttığında (0/90/0) için (%-5.24)'ten (%-5.22)'ye azalırken (90/0/90) için (%-4.64)'ten (%-6.12)'ye artmakta ve (0/90) için (%-3.76)'dan (%-1.77)'ye azalırken, (90/0) için (%-3.76)'dan (%-5.89)'a artmaktadır. Dahası $\zeta = 0$ için kritik basınç yüküne yük parametresinin etkisi (0/90) ve (90/0) için (%-3.76) olmaktadır.

- YMKDT dikkate alındığında $\zeta = 0$, yani tek eksenli basınç durumunda, homojen olmamanın en büyük etkisi (%-7.16) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-3.72) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.25$ için en büyük etkisi (%-7.15) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-3.72) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-7.16) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-0.88) ile (0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-7.15) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-0.87) ile (0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-7.17) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-0.85) ile (0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 2$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-12.18) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-0.85) ile (0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca ζ parametresinin artışına bağlı olarak (0) ve (0/90/90/0) formundaki tabaka düzenlerinde yük parametresinin kritik basınç yüküne etkisi hemen hemen sabit kalırken, (0/90) ve (0/90/0) haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde artmaktadır. Örneğin; ζ parametresi 0'dan 2'ye kadar arttığında (0/90/0) için (%-5.09)'dan (%-5.04)'e azalırken (90/0/90) için (%-4.34)'ten (%-5.72)'ye artmakta ve (0/90) ve (0/90/0) için (%-3.72)'den (%-0.85)'e azalırken, (90/0) için (%-3.72)'den (%-6.63)'e artmaktadır.

Dahası $\zeta = 0$ için kritik basınç yüküne yük parametresinin etkisi (0/90) ve (90/0) için (%-3.72) olmaktadır.

42) Homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde;

- KPT dikkate alındığında $\zeta = 0$, yani tek eksenli basınç durumunda, homojen olmamanın en büyük etkisi (%15) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%11.08) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.25$ için en büyük etkisi (%-8.34) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-4.66) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%15.01) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%11.10) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%15.03) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%11.09) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%15.02) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%11.08) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 2$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%15.02) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%11.09) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca ζ parametresinin artışına bağlı olarak (0), (0/90/0) ve (0/90/90/0) formundaki tabaka düzenlerinde yük parametresinin kritik basınç yüküne etkisi hemen hemen sabit kalırken, (90), (0/90), (90/0) tabaka düzenlerinde azalırken (0), (90/0/90) ve (90/0/0/90) tabaka düzenlerinde artmaktadır. Örneğin; ζ parametresi 0'dan 2'ye kadar arttığında (0/90) ve (90/0) için (%13.43)'ten (%13.11)'e azalmakta ve (90/0/90) için (%14.11)'den (%15.01)'e artmaktadır.
- BMKDT dikkate alındığında $\zeta = 0$, yani tek eksenli basınç durumunda, homojen olmamanın en büyük etkisi (%14.07) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%10.48) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.25$ için en büyük etkisi (%14.09) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%10.49) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14.10) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%10.49) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14.06) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%10.49) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14.07) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%10.45) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 2$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%14.01) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%4.47) ile (0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca ζ parametresinin

artışına bağlı olarak (0/90/0) formundaki tabaka düzenlerinde yük parametresinin kritik basınç yüküne etkisi hemen hemen sabit kalırken, (90), (90/0/90) ve (0/90/90/0) haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde artmaktadır. Örneğin; ζ parametresi 0'dan 2'ye kadar arttığında (0/90/90/0) için (%10.48)'den (%10.43)' e azalırken (90/0/0/90) için (%10.59)'dan (%13.04)' e artmakta ve (0/90) ve (90/0) için (%12.40)'dan (%12.36)'ya azalmaktadır.

- YMKDT dikkate alındığında $\zeta = 0$, yani tek eksenli basınç durumunda, homojen olmamanın en büyük etkisi (%13.31) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%8.88) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.25$ için en büyük etkisi (%13.33) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%8.86) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%26.49) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%8.87) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%13.36) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%9.71) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%13.32) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%9.67) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 2$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%13.31) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%2.15) ile (90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca ζ parametresinin artışına bağlı olarak (0) formundaki tabaka düzenlerinde yük parametresinin kritik basınç yüküne etkisi hemen hemen sabit kalırken, (90) haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde artmaktadır. Örneğin; ζ parametresi 0'dan 2'ye kadar arttığında (0/90/0) için (%11.57)'den (%11.60)'a, (90/0/90) için (%9.92)'den (%10.31)' e artmakta ve (0/90) ve (90/0) için (%11.46)'dan (%11.73)'e artmaktadır.

Çizelge 4.13a-c'den ve analizlerden görüldüğü üzere ζ parametresinin değişiminin homojen olmamanın etkisine az da olsa etkisi mevcuttur. ζ parametresinin artışına bağlı olarak homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde $0 \leq \zeta \leq 1$ için homojen olmamanın kritik basınç yüküne en az etkisi (0/90/90/0) veya (90/0/0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkarken, homojen olmama kuadratik değiştiğinde $0 \leq \zeta \leq 2$ için homojen olmamanın kritik basınç yüküne en az etkisi (0/90) tabaka düzeninde elde edilmektedir. ζ parametresinin artışına bağlı olarak homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde homojen olmamanın kritik basınç yüküne etkisi (0) tabaka düzeni için sabit kalırken, (0/90) haricindeki tüm (0/..) ve

(90/..) tabaka düzenlerinde artmaktadır. Homojen olmama kuadratik değıştiğinde ise bu şekilde bir genelleme yapılamamaktadır. Homojen olmama doğrusal olarak değıştiğinde homojen olmamanın kritik basınç yüküne etkisi $\zeta = 0$ için (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde birbirine eşit olurken, homojen olmama kuadratik olarak değıştiğinde ise bu etki $0 \leq \zeta \leq 2$ için (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde birbirine eşit çıkmaktadır. Dolayısıyla homojen olmama doğrusal değıştiğinde ve tek eksenli basınç durumunda ve homojen olmama kuadratik olarak değıştiğinde ve tek veya iki eksenli tüm basınç durumlarında ortotropik grafit/epoksi (T) malzemesinden oluşan (90/0) tabakalı kompozit plak (0/90) tabakalı kompozit plak özelliği sergilemektedir.

Çizelge 4.13a-c'den kayma deformasyonun ortotropik tabakalı kompozit plakların kritik basınç yüküne ζ parametresi değışimine bağıli etkileri BMKDT ve YMKDT kullanılarak belirlenmiş ve şu şekilde sıralanmıştır:

43) Homojen durumda;

- BMKDT kullanıldığında kayma deformasyonun $\zeta = 0$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%37.57) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%13.47) ile (0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%37.59) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%13.47) ile (0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%37.58) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%13.50) ile (0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%37.57) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%13.45) ile (0) tabaka düzeninde; $\zeta = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%37.57) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%13.47) ile (0) tabaka düzeninde; $\zeta = 2$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%38.46) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%13.46) ile (0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca ζ parametresinin artışına bağıli olarak (0), (0/90) ve (90/0) haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; ζ parametresi 0'dan 2'ye kadar arttığında (0/90/0) için (%13.52)'den (%13.54)'e, (90/0/90) için (%36.56)'dan (%38.46)'ya artmaktadır. Dahası ζ parametresi 0'dan 2'ye kadar arttığında (0/90) ve (90/0) için (%19.94)'ten (%15.25)'e azalmaktadır.
- YMKDT kullanıldığında kayma deformasyonun $\zeta = 0$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%41.25) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%15.59) ile (0)

tabaka düzeninde; $\zeta = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%41.87) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%15.60) ile (0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%41.87) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%15.61) ile (0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%41.25) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%15.58) ile (0) tabaka düzeninde; $\zeta = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%41.24) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%15.57) ile (0) tabaka düzeninde; $\zeta = 2$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%42.15) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%15.57) ile (0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca ζ parametresinin artışına bağlı (90) tabaka düzeninde sabit kalırken (90/0/90) ve (0/90/90/0) haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi azalmaktadır. Örneğin; ζ parametresi 0'dan 2'ye kadar arttığında (0/90/0) için (%16.34)'den (%16.33)'e azalırken (90/0/90) için (%40.85)'ten (%42.15)'e artmaktadır. Dahası ζ parametresi 0'dan 2'ye kadar arttığında (0/90) ve (90/0) için (%21.31)'den (%16.18)'e azalmaktadır.

44) Homojen olmama doğrusal değiştiğinde;

- BMKDT kullanıldığında kayma deformasyonun $\zeta = 0$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%35.69) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%12.44) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%35.69) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%13.47) ile (0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%37.58) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%13.50) ile (0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%37.57) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%13.45) ile (0) tabaka düzeninde; $\zeta = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%37.57) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%13.47) ile (0) tabaka düzeninde; $\zeta = 2$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%38.46) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%13.46) ile (0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca ζ parametresinin artışına bağlı olarak (0), (0/90) ve (90/0) haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; ζ parametresi 0'dan 2'ye kadar arttığında (0/90/0) için (%13.52)'den (%13.54)'e, (90/0/90) için (%36.56)'dan (%38.46)'ya artmaktadır. Dahası ζ parametresi

0'dan 2'ye kadar arttığında (0/90) ve (90/0) için (%19.94)'ten (%15.25)'e azalmaktadır.

- YMKDT kullanıldığında kayma deformasyonun $\zeta = 0$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%41.25) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%15.59) ile (0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%41.87) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%15.60) ile (0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%41.87) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%15.61) ile (0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%41.25) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%15.58) ile (0) tabaka düzeninde; $\zeta = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%41.24) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%15.57) ile (0) tabaka düzeninde; $\zeta = 2$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%42.15) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%15.57) ile (0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca ζ parametresinin artışına bağlı olarak (0), (0/90) ve (90/0) haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; ζ parametresi 0'dan 2'ye kadar arttığında (0/90/0) için (%13.52)'den (%13.54)'e, (90/0/90) için (%36.56)'dan (%38.46)'ya artmaktadır. Dahası ζ parametresi 0'dan 2'ye kadar arttığında (0/90) ve (90/0) için (%19.94)'ten (%15.25)'e azalmaktadır.

45) Homojen olmama kuadratik değiştiğinde;

- BMKDT kullanıldığında kayma deformasyonun $\zeta = 0$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%38.89) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%14.17) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%38.89) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%14.17) ile (0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%38.89) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%14.16) ile (0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%38.89) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%14.18) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%38.88) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%14.19) ile (0) ve (0/90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 2$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%41.07) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%14.18) ile (0/90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca ζ parametresinin artışına bağlı olarak

(0/90) ve (90/0) haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; ζ parametresi 0'dan 2'ye kadar arttığında (0/90/90/0) için (%15.62)'den (%15.67)'e, (90/0/0/90) için (%37.52)'den (%39.59)'a artmaktadır. Dahası ζ parametresi 0'dan 2'ye kadar arttığında (0/90) ve (90/0) için (%20.66)'dan (%15.82)'ye azalmaktadır.

- YMKDT kullanıldığında kayma deformasyonun $\zeta = 0$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%43.90) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%14.34) ile (0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%43.91) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%16.83) ile (0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%43.91) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.16) ile (0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%43.36) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%16.81) ile (0) tabaka düzeninde; $\zeta = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%43.35) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%16.82) ile (0) tabaka düzeninde; $\zeta = 2$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%45.76) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%16.83) ile (0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca ζ parametresinin artışına bağlı olarak (0/90/90/0) tabaka düzeninde sabit kalırken, (0), (90) ve (90/0/90) haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi azalmaktadır. Örneğin; ζ parametresi 0'dan 2'ye kadar arttığında (0/90/0) için (%17.52)'den (%17.49)'a azalırken, (90/0/90) için (%43.02)'den (%44.52)'ye artmaktadır. Dahası ζ parametresi 0'dan 2'ye kadar arttığında (0/90) ve (90/0) için (%22.68)'den (%17.20)'ye azalmaktadır.

46) Tüm tabaka düzenleri ve malzeme özellikleri dikkate alınarak kritik basınç yükü değerleri kıyaslandığında;

- BMKDT kullanıldığında kayma deformasyonun $\zeta = 0$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%38.89) ile (90) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik değiştiğinde, en az etkisi (%11.60) ile (0) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik değiştiğinde; $\zeta = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%38.89) ile (90) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik değiştiğinde, en az etkisi (%12.43) ile (0/90/0) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde; $\zeta = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%38.89) ile (90) tabaka düzeninde ve homojen olmama

kuadratik değiştiğinde, en az etkisi (%12.45) ile (0/90/0) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde; $\zeta = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%38.89) ile (90) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik değiştiğinde, en az etkisi (%12.45) ile (0/90/0) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde; $\zeta = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%38.88) ile (90) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik değiştiğinde, en az etkisi (%12.43) ile (0/90/0) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde; $\zeta = 2$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%41.07) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik değiştiğinde, en az etkisi (%12.42) ile (0/90/0) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde ortaya çıkmaktadır.

- YMKDT kullanıldığında kayma deformasyonun $\zeta = 0$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%43.90) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik değiştiğinde, en az etkisi (%14.34) ile (0) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik değiştiğinde; $\zeta = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%43.91) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik değiştiğinde, en az etkisi (%14.51) ile (0) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde; $\zeta = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%43.91) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik değiştiğinde, en az etkisi (%7.16) ile (0) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde; $\zeta = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%43.36) ile (90) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik değiştiğinde, en az etkisi (%14.51) ile (0) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde; $\zeta = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%43.35) ile (90) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik değiştiğinde, en az etkisi (%14.50) ile (0) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde; $\zeta = 2$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%45.76) ile (90) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik değiştiğinde, en az etkisi (%14.56) ile (0) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde ortaya çıkmaktadır.

47) Tüm tabaka düzenleri, malzeme özellikleri ve ζ oranları dikkate alınarak kritik basınç yükü değerleri kıyaslandığında;

- BMKDT için kayma deformasyonun en büyük etkisi (90) tabaka düzeninde, homojen olmama kuadratik değiştiğinde ve $\zeta = 2$ olduğunda (%41.07) olarak

ve en az etkisi ise (0) tabaka düzeninde, homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde ve $\zeta = 0$ olduğunda (%11.60) olarak ortaya çıkmaktadır.

- YMKDT için ise kayma deformasyonun en büyük etkisi (90) tabaka düzeninde, homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde ve $\zeta = 2$ olduğunda (%45.76) olarak ve en az etkisi (0) tabaka düzeninde, homojen olmama kuadratik değiştiğinde ve $\zeta = 0.5$ olduğunda (%7.16) olarak ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 4.13a-c'den ve analizlerden görüldüğü üzere ζ parametresinin değişimi kayma deformasyonun etkisini önemli derecede etkilemektedir. Homojen durumda ve homojen olmama doğrusal değiştiğinde kayma deformasyonun en az etkisi (0) tabaka düzeninde ortaya çıkarken, homojen olmama kuadratik değiştiğinde BMKDT için (0) veya (0/90/0) tabaka düzeninde, YMKDT için ise (0) tabaka düzeninde elde edilmektedir. Dahası hem BMKDT hem de YMKDT kullanıldığında ve homojen durumda, homojen olmama doğrusal ve kuadratik olarak değiştiğinde (0/90) ve (90/0) tabaka düzenine sahip ortotropik tabakalı kompozit plakların kritik basınç yükü değerlerine kayma deformasyonun etkileri ζ parametresinin artışına bağlı olarak azalmakta ve her bir ζ değeri için ortaya çıkardıkları etkiler birbirine eşit olmaktadır. Dolayısıyla homojen veya doğrusal ve kuadratik değişimli homojen olmayan ortotropik grafit/epoksi (T) malzemesinden oluşan (90/0) tabakalı kompozit plak (0/90) tabakalı kompozit plak özelliği sergilemektedir. BMKDT ve YMKDT kullanıldığında ζ parametresinin artışına bağlı olarak kayma deformasyonun kritik basınç yüküne en büyük ve en az etkisi homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde çıkmaktadır.

KPT, BMKDT ve YMKDT dikkate alındığında, (0/90), (0/90/0) ve (0/90/90/0) tabaka düzenleri (0) tabaka düzeniyle ve (90/0), (90/0/90) ve (90/0/0/90) tabaka düzenleri ise (90) tabaka düzeniyle kendi aralarında kıyaslandığında aradaki farkların tabaka dizilişi, sayısına ve ζ parametresinin değişimine göre kritik basınç yüküne önemli derecede etkisi mevcuttur. ζ parametresi değişimine göre bu etkinin aşağıdaki şekilde olduğu görülmüştür:

48) Homojen durumda;

- KPT kullanıldığında $\zeta = 0$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%53.39) ile (0/90/90/0) ve (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.11) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%53.37) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.11) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi

(%56.03) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.11) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%120.41) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%8.70) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%154.30) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%3.04) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 2$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-69.39) ile (90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-3.80) ile (90/0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca ζ parametresinin artışına bağlı olarak etkiler (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde artmakta diğer tabaka düzenlerinde ise azalmakta ve artmaktadır. Örneğin; (0/90/0) için ζ parametresi 0'dan 1'e kadar arttığında (%15.82)'den (%-25.78)'e artmakta, ζ parametresi 1'den 2'ye kadar arttığında ise (%-25.78)'den (%15.80)'e azalmaktadır.

- BMKDT kullanıldığında $\zeta = 0$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%50.40) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%5.66) ile (90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%50.40) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-6.06) ile (90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%52.85) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%8.84) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%64.93) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%9.61) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%90.33) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%3.90) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 2$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-58.44) ile (90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-5.14) ile (90/0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca ζ parametresinin artışına bağlı olarak etkiler (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde artmakta diğer tabaka düzenlerinde ise azalmakta ve artmaktadır. Örneğin; (0/90/90/0) için ζ parametresi 0'dan 1'e kadar arttığında (%50.40)'dan (%29.92)'ye azalmakta, ζ parametresi 1'den 2'ye kadar arttığında ise (%29.92)'den (%50.39)'a artmaktadır.
- YMKDT kullanıldığında $\zeta = 0$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%46.04) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.84) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%46.05) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.92) ile (90/0)

tabaka düzeninde; $\zeta = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%55.05) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.86) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%55.46) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%11.08) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%79.40) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%5.32) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 2$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-56.33) ile (90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-5.27) ile (90/0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca ζ parametresinin artışına bağlı olarak etkiler (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde artmakta ve azalmaktadır. Örneğin; (0/90/0) için ζ parametresi 0'dan 1'e kadar arttığında (%14.79)'dan (%-25.93)'e artmakta, ζ parametresi 1'den 2'ye kadar arttığında ise (%-25.93)'den (%14.76)'ya azalmaktadır.

49) Homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde;

- KPT kullanıldığında $\zeta = 0$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%57.20) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-8.32) ile (0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%57.20) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.15) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%66.75) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.15) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%116.87) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%5.25) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%150.23) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-0.24) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 2$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-67.67) ile (90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-2.10) ile (90/0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca ζ parametresinin artışına bağlı olarak etkiler (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde artmakta diğer tabaka düzenlerinde ise azalmakta ve artmaktadır. Örneğin; (90/0/90) için ζ parametresi 0'dan 1'e kadar arttığında (%7.16)'dan (%150.23)'e artmakta, ζ parametresi 1'den 2'ye kadar arttığında ise (%150.23)'ten (%-2.10)'a azalmaktadır.
- BMKDT kullanıldığında $\zeta = 0$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%54.15) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.68) ile (90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi

(%54.13) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-4.29) ile (90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%62.07) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%9.91) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%67.08) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.06) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%92.85) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%1.47) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 2$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%62) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%1.15) ile (90/0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca ζ parametresinin artışına bağlı olarak etkiler tüm tabaka düzenlerinde azalmakta ve artmaktadır. Örneğin; (0/90/90/0) için ζ parametresi 0'dan 1'e kadar arttığında (%54.15)'den (%30.21)'e azalmakta, ζ parametresi 1'den 2'ye kadar arttığında ise (%30.21)'den (%54.09)'a artmaktadır.

- YMKDT kullanıldığında $\zeta = 0$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%49.62) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%8.95) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%49.62) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-0.28) ile (90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%65.55) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%8.96) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%65.55) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%8.51) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%83.76) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%2.86) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 2$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%65.63) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%1.69) ile (90/0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca ζ parametresinin artışına bağlı olarak etkiler (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde artmakta ve azalmaktadır. Örneğin; (90/0/0/90) için ζ parametresi 0'dan 0.25'e kadar arttığında (%23.69)'dan (%23.71)'e artmakta, ζ parametresi 0.25'den 2'ye kadar arttığında ise (%23.71)'den (%-1.82)'ye azalmaktadır.

50) Homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde;

- KPT kullanıldığında $\zeta = 0$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%52.60) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%6.29) ile

(90/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%48.15) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%6.29) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%53.33) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%6.28) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%122.29) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%9.54) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%156.46) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%3.84) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 2$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-68.71) ile (90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%0) ile (90/0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca ζ parametresinin artışına bağlı olarak etkiler (90/0) tabaka düzenlerinde artmakta diğer tabaka düzenlerinde ise azalmakta ve artmaktadır. Örneğin; (0/90/0) için ζ parametresi 0'dan 1'e kadar arttığında (%17.39)'dan (%-25.76)'ya artmakta, ζ parametresi 1'den 2'ye kadar arttığında ise (%-25.76)'dan (%13.93)'e azalmaktadır.

- BMKDT kullanıldığında $\zeta = 0$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%45.66) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%5.49) ile (90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%45.65) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-6.23) ile (90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%50.60) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.89) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%63.75) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%10.05) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%89.02) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%4.29) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 2$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-55.30) ile (90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%0.07) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca ζ parametresinin artışına bağlı olarak etkiler (90/0) tabaka düzenlerinde artmakta diğer tabaka düzenlerinde ise azalmakta ve artmaktadır. Örneğin; (0/90/90/0) için ζ parametresi 0'dan 1'e kadar arttığında (%45.66)'dan (%27.80)'e azalmakta, ζ parametresi 1'den 2'ye kadar arttığında ise (%27.80)'den (%45.66)'ya artmaktadır.

- YMKDT kullanıldığında $\zeta = 0$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%41.38) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%6.91) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%41.38) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.40) ile (90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%36.92) ile (0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%1.25) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%52.93) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%11.41) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%76.53) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%5.58) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 2$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%52.79) ile (90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%2.04) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca ζ parametresinin artışına bağlı olarak etkiler (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde artmakta ve azalmaktadır. Örneğin; (0/90/0) için ζ parametresi 0'dan 1'e kadar arttığında (%13.03)'den (%-26.05)'e artmakta, ζ parametresi 1'den 2'ye kadar arttığında ise (%-26.05)'ten (%13.02)'ye azalmaktadır.

51) Tüm tabaka düzenleri, malzeme özellikleri ve ζ oranları dikkate alınarak kritik basınç yükü değerleri kıyaslandığında;

- KPT için tabaka düzeninin en büyük etkisi (90/0/90) tabaka düzeninde, homojen olmama kuadratik değiştiğinde ve $\zeta = 1$ olduğunda (%156.46) olarak ve en az etkisi ise (90/0/90) tabaka düzeninde, homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde ve $\zeta = 2$ olduğunda (%0) olarak ortaya çıkmaktadır.
- BMKDT için ise tabaka düzeninin en büyük etkisi (90/0/90) tabaka düzeninde, homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde ve $\zeta = 1$ olduğunda (%92.85) olarak ve en az etkisi (90/0/0/90) tabaka düzeninde, homojen olmama kuadratik değiştiğinde ve $\zeta = 2$ olduğunda (%0.07) olarak ortaya çıkmaktadır.
- YMKDT için ise tabaka düzeninin en büyük etkisi (90/0/90) tabaka düzeninde, homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde ve $\zeta = 1$ olduğunda (%83.76) olarak ve en az etkisi (90/0) tabaka düzeninde, homojen olmama doğrusal değiştiğinde ve $\zeta = 0.25$ olduğunda (%-0.28) olarak ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 4.13a-c'den ve analizlerden görüldüğü üzere ζ parametresinin değişimi tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisini önemli derecede

etkilemektedir. Ayrıca ζ parametresinin artışına bağlı olarak ortotropik tabakalı kompozit plağın kritik basınç yüküne tabaka düzeninin etkisi BMKDT ve YMKDT kullanıldığında tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde artmakta ve azalmaktadır. KPT kullanıldığında ise ζ parametresinin artışına bağlı olarak (90/0) tabaka düzeninde artarken diğer tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde artmakta ve azalmaktadır. BMKDT ve YMKDT kullanıldığında tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi homojen olmama doğrusal değiştiğinde, KPT ve BMKDT kullanıldığında ise en az etkisi homojen olmama kuadratik değiştiğinde ortaya çıkmaktadır. KPT, BMKDT ve YMKDT kullanıldığında tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (90/0/90) tabaka düzeninde elde edilmektedir.

Çeşitli tabaka düzenleri ve homojen olmama fonksiyonları dikkate alındığında BMKDT ile YMKDT kendi aralarında kıyaslandığında yüksek mertebe kayma deformasyon etkilerinin tabaka düzenine, homojen olmama durumlarına ve ζ oranlarına göre yüzde olarak değişiminin aşağıdaki şekilde olduğu görülmüştür:

52) Homojen durumda;

- Yüksek mertebe kayma deformasyonun etkisi $\zeta = 0$, yani tek eksenli basınç durumunda yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-8.80) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.72) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.25$ için en büyük etkisi (%-8.81) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.73) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde; $\zeta = 0.50$ için en büyük etkisi (%-8.82) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.04) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.75$ için en büyük etkisi (%-6.73) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.05) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 1$ için en büyük etkisi (%-6.75) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.08) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde; $\zeta = 2$ için en büyük etkisi (%-6.01) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.09) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde elde edilmektedir. Ayrıca ζ parametresinin artışına bağlı olarak tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde azalmakta ve artmaktadır. Örneğin; (90/0/0/90) için ζ parametresi 0'dan 0.5'e kadar arttığında (%-8.80)'den (%-8.82)'ye artarken, ζ parametresi 0.5'den 2'ye kadar arttığında ise (%-8.82)'den (%-4.42)'ye azalmaktadır. (0/90) ve (90/0) için ζ parametresi 0'dan 0.5'e kadar arttığında (%-1.72)'den (%-1.04)'e azalırken, ζ parametresi 0.5'den 2'ye kadar arttığında ise (%-1.04)'den (%-1.09)'a artmaktadır.

53) Homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde;

- Yüksek mertebe kayma deformasyonun etkisi $\zeta = 0$, yani tek eksenli basınç durumunda yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-8.60) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.67) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.25$ için en büyük etkisi (%-8.61) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.68) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde; $\zeta = 0.50$ için en büyük etkisi (%-6.45) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-0.17) ile (0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.75$ için en büyük etkisi (%-6.44) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-0.15) ile (0/90) tabaka düzeninde; $\zeta = 1$ için en büyük etkisi (%-6.46) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-0.19) ile (0/90) tabaka düzenlerinde; $\zeta = 2$ için en büyük etkisi (%-6.11) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-0.17) ile (0/90) tabaka düzenlerinde elde edilmektedir. Ayrıca ζ parametresinin artışına bağlı olarak tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde azalmakta ve artmaktadır. Örneğin; (0/90/0) için ζ parametresi 0'dan 0.75'e kadar arttığında (%-3.10)'dan (%-3.08)'e azalırken, ζ parametresi 0.75'den 1'e kadar arttığında ise (%-3.08)'den (%-3.13)'e artmakta ve ζ parametresi 1'den 2'ye kadar arttığında ise (%-3.13)'den (%-3.05)'e azalmaktadır. (0/90) ve (90/0) için ζ parametresi 0'dan 0.5'e kadar arttığında (%-1.67)'den (%-1.68)'e eşit olarak artarken, ζ parametresi 0.5'den 2'ye kadar arttığında ise (0/90) (%-1.68)'den (%-0.17)'e azalmakta, (90/0) ise (%-1.68)'den (%-1.88)'e artmaktadır.

54) Homojen olmama kuadratik değiştiğinde;

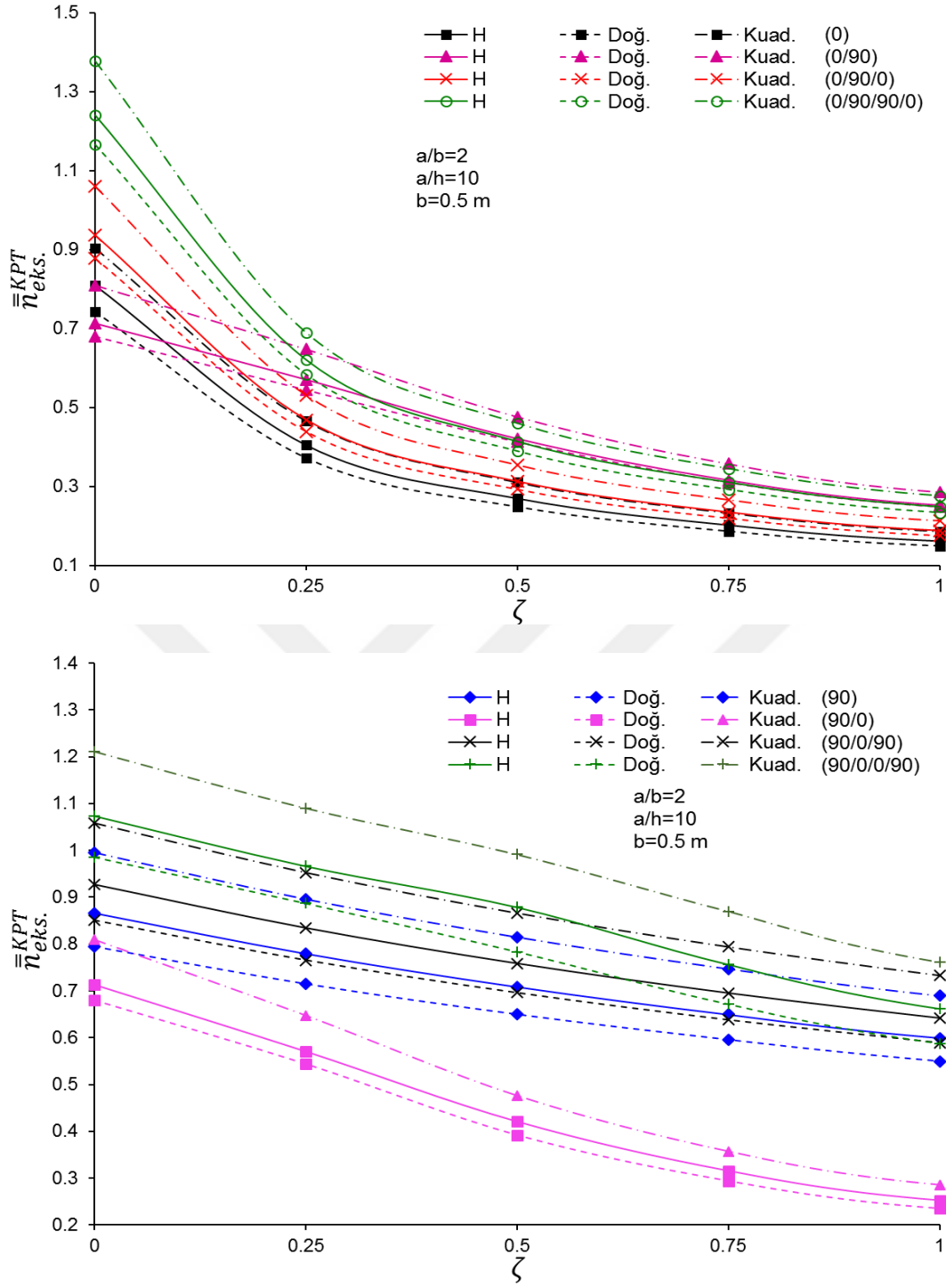
- Yüksek mertebe kayma deformasyonun etkisi $\zeta = 0$, yani tek eksenli basınç durumunda yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-10.22) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-2.54) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.25$ için en büyük etkisi (%-10.23) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-2.53) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde; $\zeta = 0.50$ için en büyük etkisi (%-10.24) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.67) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 0.75$ için en büyük etkisi (%-8.16) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.66) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $\zeta = 1$ için en büyük etkisi (%-8.16) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.64) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde; $\zeta = 2$ için en büyük etkisi (%-7.56) ile (90/0/90)

tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.65) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde elde edilmektedir. Ayrıca ζ parametresinin artışına bağlı olarak (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde azalırken diğer tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde azalmakta ve artmaktadır. Örneğin; (90/0/90) için ζ parametresi 0'dan 0.50'ye kadar arttığında (%-8.16)'dan (%-8.15)'e azalırken, ζ parametresi 0.75'den 1'e kadar arttığında ise (%-8.15)'den (%-8.16)'ya artmakta ve ζ parametresi 1'den 2'ye kadar arttığında ise (%-8.16)'dan (%-7.56)'ya azalmaktadır. (0/90) ve (90/0) için ζ parametresi 0'dan 2'ye kadar arttığında (%-2.54)'ten (%-1.65)'e azalmaktadır.

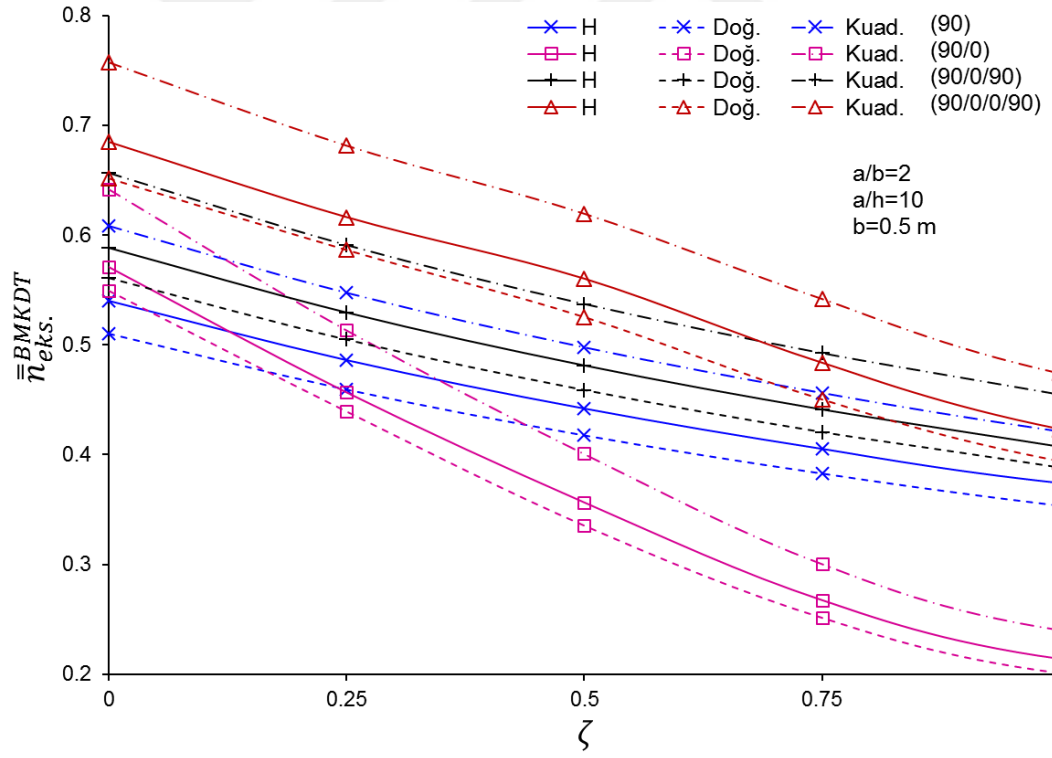
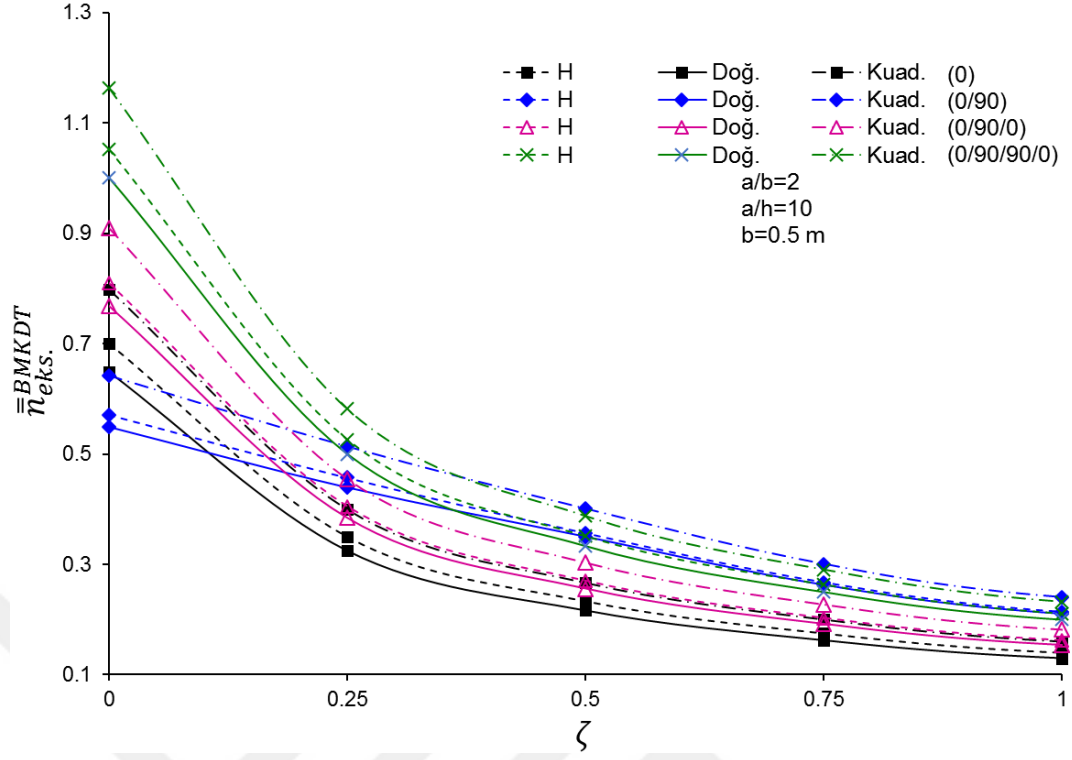
Çizelge 4.13a-c'den ve analizlerden görüldüğü üzere ζ parametresinin değişimi yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi mevcuttur. Ayrıca ζ parametresinin artışına bağlı olarak homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde azalırken diğer tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde ise azalmakta ve artmaktadır. Homojen ve homojen olmamanın doğrusal değiştiği durumlarda ise (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde bu etki $\zeta \leq 0.5$ için azalırken $\zeta \geq 0.5$ içinse artmakta ve azalmaktadır. Yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi homojen olmamanın kuadratik değiştiği durumda ve $\zeta = 0.5$ için daha belirgindir. Dahası ζ parametresinin artışına bağlı olarak, yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç en büyük etkisi (90/0/0/90) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde, en az etkisi ise (0/90) için homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde elde edilmektedir.

Homojen durumda ve homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde (0/90) ve (90/0) tabaka düzenine sahip ortotropik tabakalı kompozit plakların kritik basınç yükü değerlerine yüksek mertebe kayma deformasyonun etkileri her bir ζ değeri için birbirine eşit olmaktadır. Dolayısıyla homojen, kuadratik değişimli homojen olmayan ortotropik grafit/epoksi (T) malzemesinden oluşan (90/0) tabakalı kompozit plak (0/90) tabakalı kompozit plak özelliği sergilemektedir.

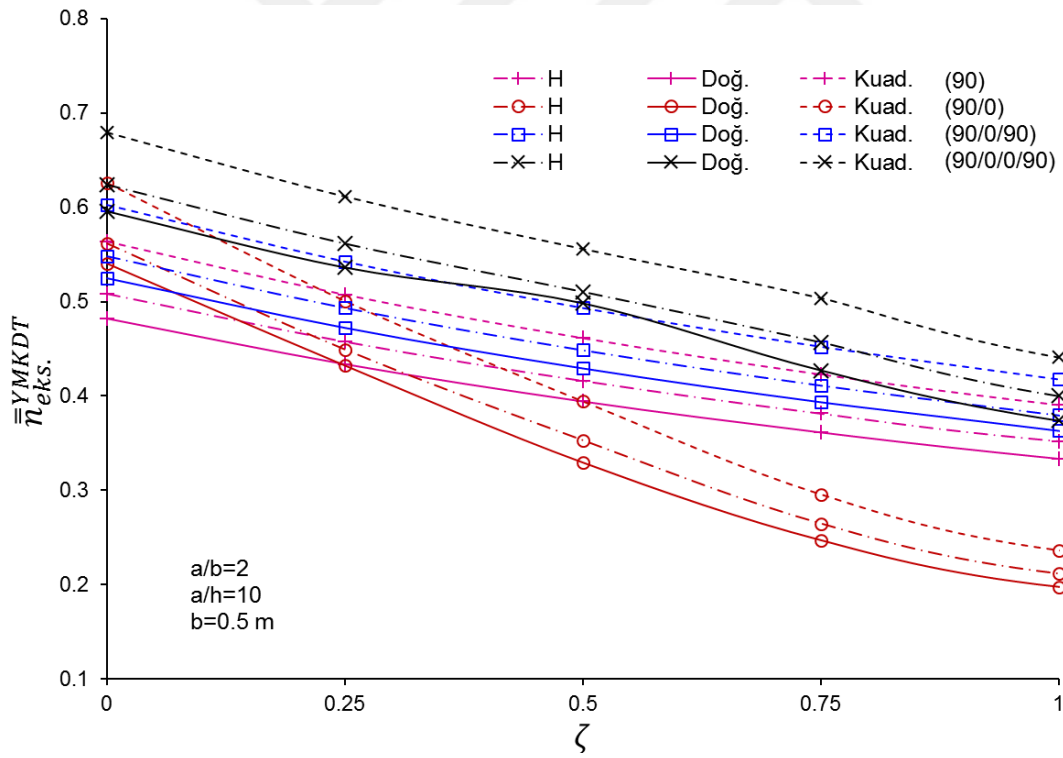
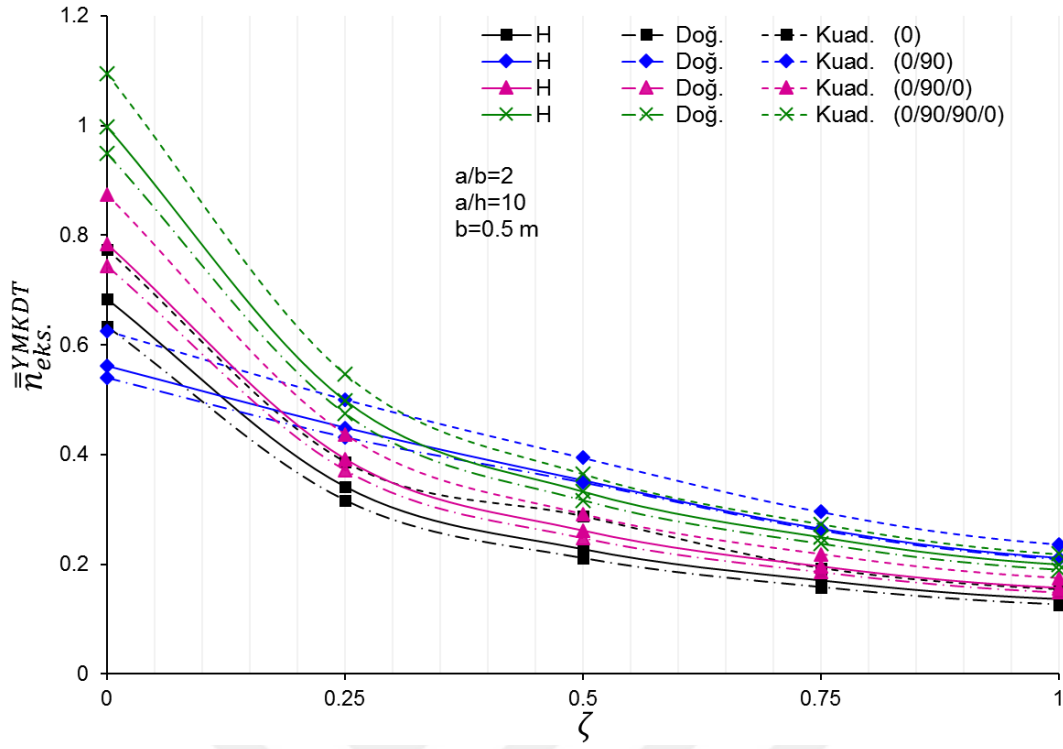
Şekil 4.16-4.20, KPT ve KDT kapsamında homojen ve homojen olmayan ortotropik tabakalı kompozit plağın kritik basınç yükü değerlerinin çeşitli tabaka düzenlerine ve ζ parametresine bağlı değişimi sunulmaktadır. Şekillerde kullanılan veriler Çizelge 4.13a-c'den alınmıştır. Homojen olmama doğrusal ve kuadratik değişmektedir.



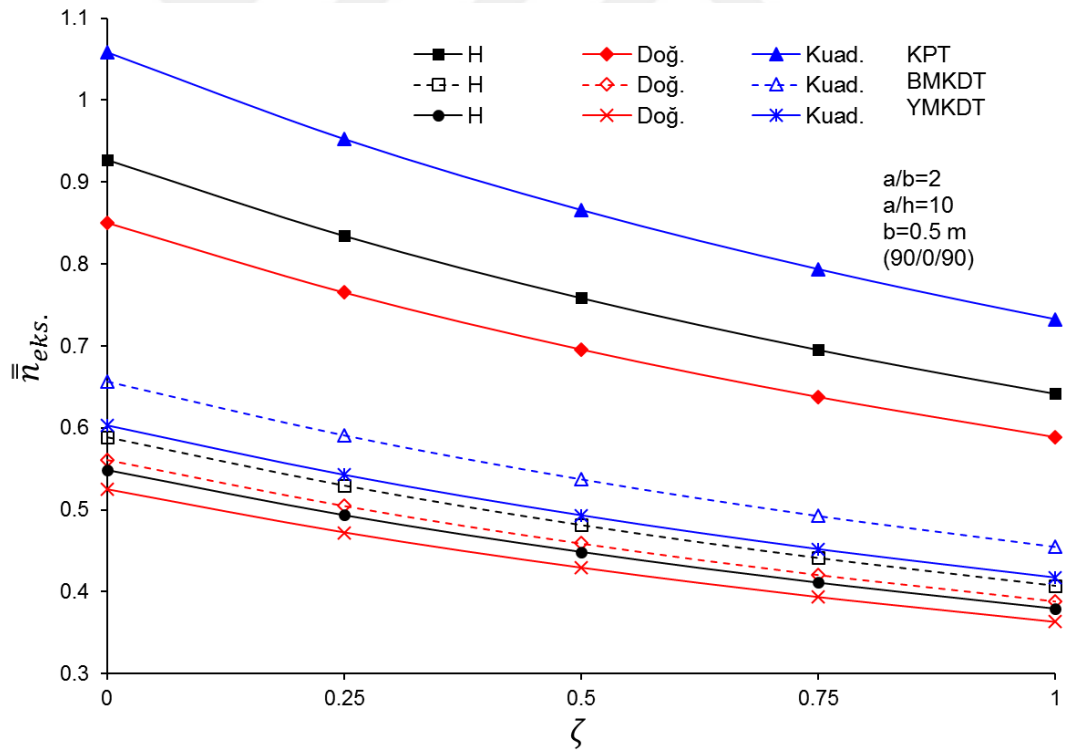
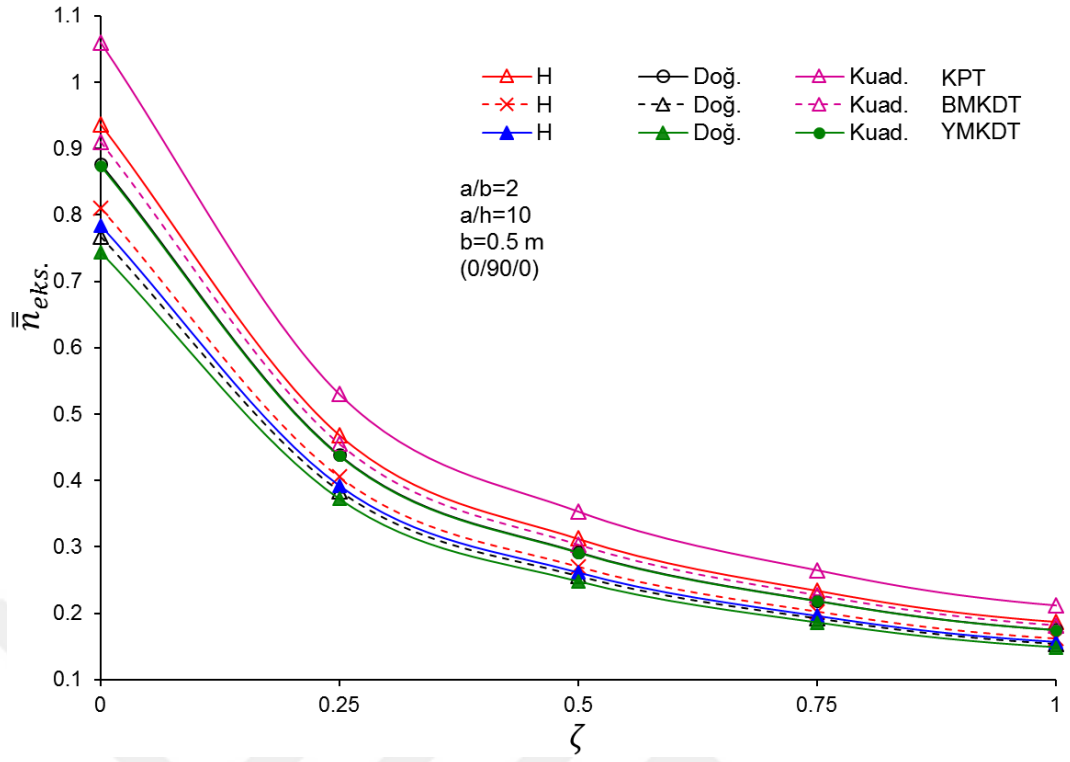
Şekil 4.16. $\bar{\eta}_{eks}^{KPT}$ 'in çeşitli tabaka düzenlerine ve ζ oranına göre değişimi ($\mu=1$).



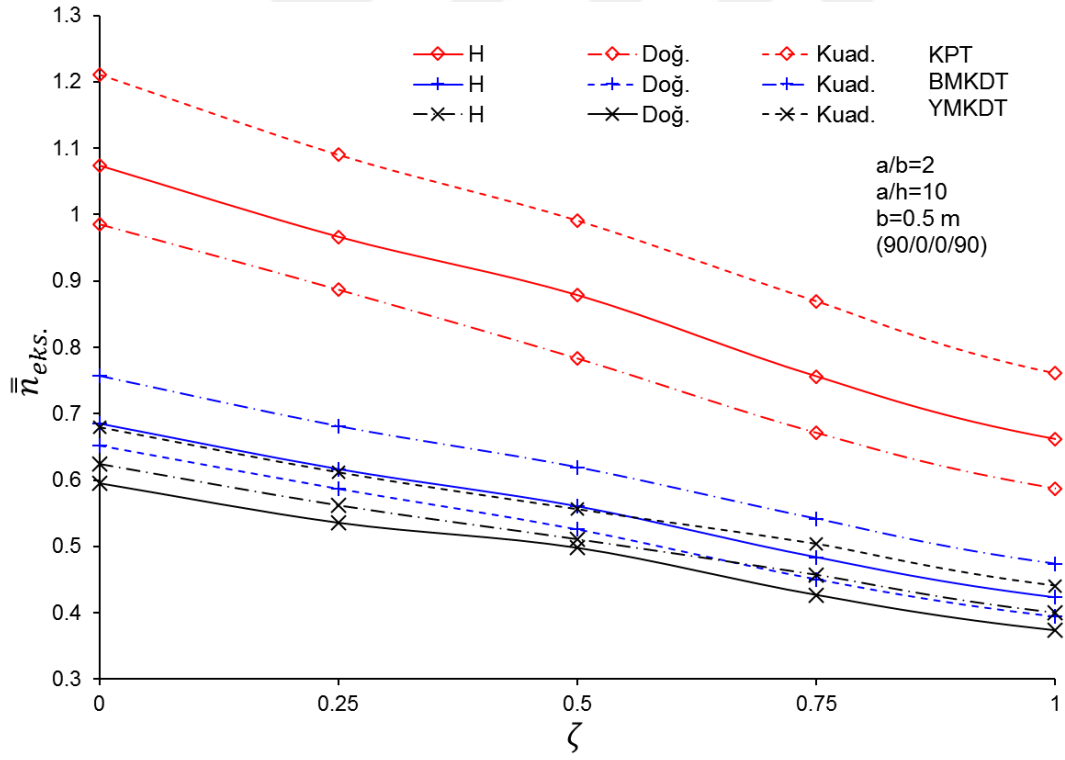
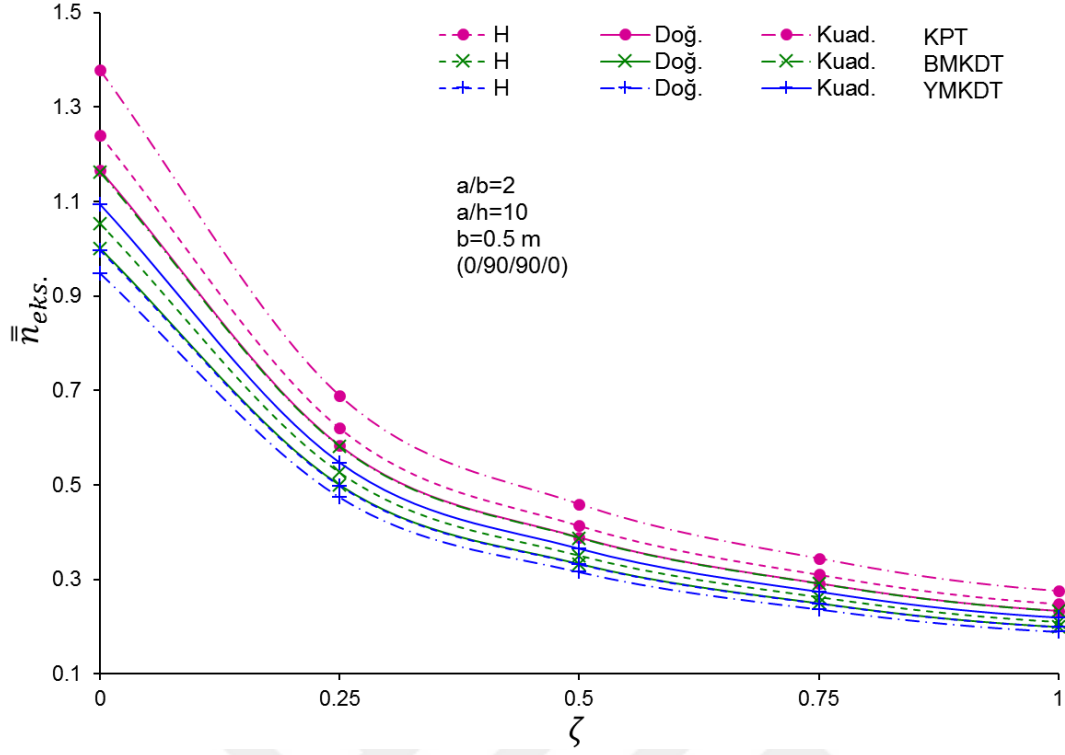
Şekil 4.17. $\bar{n}_{eks}^{BMKDT}$ 'in çeşitli tabaka düzenlerine ve ζ oranına göre değişimi ($\mu = 1$)



Şekil 4.18. $\bar{\sigma}_{YMKDT} / \bar{\sigma}_{eks.}$ 'in çeşitli tabaka düzenlerine ve ζ oranına göre değişimi ($\mu = 1$)



Şekil 4.19. $\bar{n}_{eks.}$ 'in çeşitli teorilere ve ζ oranına göre değişimi ($\mu=1$)



Şekil 4.20. $\bar{n}_{eks}$ 'in çeşitli teorilere ve ζ oranına göre değişimi ($\mu = 1$)

4.3.3. Homojen olmayan malzemeyi temsil eden homojen olmama katsayısına göre yapılan analizler

Çizelge 4.14'de, $a/h=10$, $b=0.5m$, $a/b=2$ değerleri için KPT ve KDT kullanılarak çeşitli tabakalanma düzenine sahip homojen ve homojen olmayan ortotropik tabakalı kompozit plağın kritik burkulma yük değerlerinin ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının μ parametresine bağlı değişimi sunulmuştur.

Tabakaları oluşturan malzemelerin Elastisite ve Kayma modülleri kalınlık doğrultusunda doğrusal ve kuadratik fonksiyonlar şeklinde değişmektedir. Homojen olmamanın ortotropik tabakalı kompozit plakların kritik basınç yüküne μ parametresi değişimine bağlı etkileri KPT, BMKDT ve YMKDT kullanılarak belirlenmiş ve şu şekilde sıralanmıştır:

55) Homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde;

- KPT dikkate alındığında $\mu = 1$ için homojen olmamanın en büyük etkisi (%-8.33) ile (0) ve (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-4.68) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $\mu = 0.75$ için en büyük etkisi (%-4.69) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-2.59) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $\mu = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-2.09) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.14) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $\mu = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-0.53) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-0.28) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca μ parametresinin artışına bağlı olarak (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde artmaktadır. Örneğin; μ parametresi 0.25'den 1'e kadar arttığında (0/90/90/0) için (%-0.38)'den (%-6.05)'e, (90/0/0/90) için (%-0.51)'den (%-8.23)'e artmakta, (0/90) ve (90/0) için ise (%-0.28)'den (%-4.68)'e artmaktadır.

Çizelge 4.14a.H ve HO ortotropik tabakalı plakların farklı tabaka düzenleri için $\bar{n}_{eks}^{KPT}$ değerleri ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının μ parametresine bağlı değişimi

$\bar{n}_{eks}^{KPT}(m,n)$			
$\varphi^k(Z)$			
μ	Tabakalanma Düzeni	Z	Z^2
0	0°	0.8090(1,1)	
	90°	0.8658(3,1)	
	0° / 90°	0.7133(2,1)	
	90° / 0°	0.7133(2,1)	
	0° / 90° / 0°	0.9370(1,1)	
	90° / 0° / 90°	0.9275(3,1)	
	0° / 90° / 90° / 0°	1.2409(1,1)	
	90° / 0° / 0° / 90°	1.0738(3,1)	
0.25	0°	0.8048(1,1)	0.8393(1,1)
	90°	0.8613(3,1)	0.8983(3,1)
	0° / 90°	0.7113(2,1)	0.7374(2,1)
	90° / 0°	0.7113(2,1)	0.7374(2,1)
	0° / 90° / 0°	0.9332(1,1)	0.9678(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.9226(3,1)	0.9602(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	1.2362(1,1)	1.2753(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	1.0683(3,1)	1.1082(3,1)
0.50	0°	0.7921(1,1)	0.8697(1,1)
	90°	0.8478(3,1)	0.9308(3,1)
	0° / 90°	0.7052(2,1)	0.7614(2,1)
	90° / 0°	0.7052(2,1)	0.7614(2,1)
	0° / 90° / 0°	0.9219(1,1)	0.9987(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.9082(3,1)	0.9929(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	1.2221(1,1)	1.3097(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	1.0517(3,1)	1.1426(3,1)
0.75	0°	0.7711(1,1)	0.9000(1,1)
	90°	0.8252(3,1)	0.9632(3,1)
	0° / 90°	0.6948(2,1)	0.7853(2,1)
	90° / 0°	0.6948(2,1)	0.7853(2,1)
	0° / 90° / 0°	0.9032(1,1)	1.0296(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.8841(3,1)	1.0256(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	1.1986(1,1)	1.3440(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	1.0240(3,1)	1.1770(3,1)
1	0°	0.7416(1,1)	0.9303(1,1)
	90°	0.7937(3,1)	0.9957(3,1)
	0° / 90°	0.6799(2,1)	0.8091(2,1)
	90° / 0°	0.6799(2,1)	0.8091(2,1)
	0° / 90° / 0°	0.8769(1,1)	1.0604(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.8505(3,1)	1.0584(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	1.1658(1,1)	1.3784(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	0.9854(3,1)	1.2115(3,1)

Çizelge 4.14b.H ve HO ortotropik tabakalı plakların farklı tabaka düzenleri için $\bar{n}_{eks}^{BMKDT}$ değerleri ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının μ parametresine bağlı değişimi

μ	Tabakalanma Düzeni	$\bar{n}_{eks}^{BMKDT} (m,n)$	
		$\phi^k(Z)$	
		Z	Z^2
0	0°	0.7000(1,1)	
	90°	0.5405(3,1)	
	0° / 90°	0.5711(2,1)	
	90° / 0°	0.5711(2,1)	
	0° / 90° / 0°	0.8103(1,1)	
	90° / 0° / 90°	0.5883(3,1)	
	0° / 90° / 90° / 0°	1.0528(1,1)	
	90° / 0° / 0° / 90°	0.6845(3,1)	
0.25	0°	0.6968(1,1)	0.7247(1,1)
	90°	0.5387(3,1)	0.5576(3,1)
	0° / 90°	0.5699(2,1)	0.5890(2,1)
	90° / 0°	0.5699(2,1)	0.5890(2,1)
	0° / 90° / 0°	0.8077(1,1)	0.8353(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.5960(3,1)	0.6055(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	1.0495(1,1)	1.0804(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	0.6826(3,1)	0.7027(3,1)
0.50	0°	0.6873(1,1)	0.7493(1,1)
	90°	0.5331(3,1)	0.5746(3,1)
	0° / 90°	0.5659(2,1)	0.6067(2,1)
	90° / 0°	0.5659(2,1)	0.6067(2,1)
	0° / 90° / 0°	0.7998(1,1)	0.8603(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.5908(3,1)	0.6225(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	1.0397(1,1)	1.1080(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	0.6766(3,1)	0.7209(3,1)
0.75	0°	0.6713(1,1)	0.7740(1,1)
	90°	0.5238(3,1)	0.5916(3,1)
	0° / 90°	0.5593(2,1)	0.6243(2,1)
	90° / 0°	0.5593(2,1)	0.6243(2,1)
	0° / 90° / 0°	0.7865(1,1)	0.8852(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.5821(3,1)	0.6376(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	1.0233(1,1)	1.1356(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	0.6665(3,1)	0.7390(3,1)
1	0°	0.6487(1,1)	0.7985(1,1)
	90°	0.5104(3,1)	0.6085(3,1)
	0° / 90°	0.5496(2,1)	0.6419(2,1)
	90° / 0°	0.5496(2,1)	0.6419(2,1)
	0° / 90° / 0°	0.7678(1,1)	0.9101(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.5695(3,1)	0.6566(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	1.0000(1,1)	1.1631(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	0.6519(3,1)	0.7570(3,1)

Çizelge 4.14c.H ve HO ortotropik tabakalı plakların farklı tabaka düzenleri için $\bar{n}_{eks}^{YMKDT}$ değerleri ve onlara karşılık gelen dalga sayılarının μ parametresine bağlı değişimi

$\bar{n}_{eks}^{YMKDT}(m,n)$			
$\varphi^k(Z)$			
μ	Tabakalanma Düzeni	Z	Z^2
0	0°	0.6829(1,1)	
	90°	0.5087(3,1)	
	0° / 90°	0.5613(2,1)	
	90° / 0°	0.5613(2,1)	
	0° / 90° / 0°	0.7839(1,1)	
	90° / 0° / 90°	0.5486(3,1)	
	0° / 90° / 90° / 0°	0.9973(1,1)	
	90° / 0° / 0° / 90°	0.6242(3,1)	
0.25	0°	0.6799(1,1)	0.7058(1,1)
	90°	0.5071(3,1)	0.5228(3,1)
	0° / 90°	0.5601(2,1)	0.5776(2,1)
	90° / 0°	0.5601(2,1)	0.5776(2,1)
	0° / 90° / 0°	0.7815(1,1)	0.8068(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.5597(3,1)	0.5624(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	0.9943(1,1)	1.0216(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	0.6225(3,1)	0.6383(3,1)
0.50	0°	0.6708(1,1)	0.7286(1,1)
	90°	0.5021(3,1)	0.5367(3,1)
	0° / 90°	0.5563(2,1)	0.5938(2,1)
	90° / 0°	0.5563(2,1)	0.5938(2,1)
	0° / 90° / 0°	0.7741(1,1)	0.8295(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.5551(3,1)	0.5761(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	0.9853(1,1)	1.0459(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	0.6173(3,1)	0.6522(3,1)
0.75	0°	0.6555(1,1)	0.7513(1,1)
	90°	0.4937(3,1)	0.5504(3,1)
	0° / 90°	0.5498(2,1)	0.6098(2,1)
	90° / 0°	0.5498(2,1)	0.6098(2,1)
	0° / 90° / 0°	0.7616(1,1)	0.8521(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.5473(3,1)	0.5896(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	0.9701(1,1)	1.0700(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	0.6086(3,1)	0.6660(3,1)
1	0°	0.6340(1,1)	0.7738(1,1)
	90°	0.4817(3,1)	0.5641(3,1)
	0° / 90°	0.5404(2,1)	0.6256(2,1)
	90° / 0°	0.5404(2,1)	0.6256(2,1)
	0° / 90° / 0°	0.7440(1,1)	0.8746(1,1)
	90° / 0° / 90°	0.5361(3,1)	0.6030(3,1)
	0° / 90° / 90° / 0°	0.9486(1,1)	1.0940(1,1)
	90° / 0° / 0° / 90°	0.5958(3,1)	0.6796(3,1)

- BMKDT dikkate alındığında $\mu = 1$ için homojen olmamanın en büyük etkisi (%-7.33) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-3.20) ile (90/0/90) tabaka

düzeninde; $\mu = 0.75$ için en büyük etkisi (%-4.10) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.05) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $\mu = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-1.81) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%0.42) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $\mu = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%1.31) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-0.21) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca μ parametresinin artışına bağlı olarak (90/0/90) haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde artmaktadır. (90/0/90) tabaka düzeninde ise önce azalmakta sonra artmaktadır. Örneğin; μ parametresi 0.25'den 1'e kadar arttığında (0/90/0) için (%-0.32)'den (%-5.24)'e artmaktadır. (90/0/90) için μ parametresi 0.25'den 0.5'e kadar arttığında (%1.31)'den (%0.42)'ye azalmakta ve bu oran 0.5'ten 1'e kadar arttığında ise (%0.42)'den (%-3.20)'ye artmaktadır (0/90) ve (90/0) için ise (%-0.21)'den (%-3.76)'ya artmaktadır.

- YMKDT dikkate alındığında $\mu = 1$ için homojen olmamanın en büyük etkisi (%-7.16) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-2.28) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $\mu = 0.75$ için en büyük etkisi (%-4.01) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-0.24) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $\mu = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-1.77) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-0.89) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $\mu = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%2.02) ile (90/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-0.21) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca μ parametresinin artışına bağlı olarak (90/0/90) haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde artmaktadır. (90/0/90) tabaka düzeninde ise önce azalmakta sonra artmaktadır. Örneğin; μ parametresi 0.25'den 1'e kadar arttığında (0/90/0) için (%-0.31)'den (%-5.09)'a artmaktadır. (90/0/90) için μ parametresi 0.25'den 0.75'e kadar arttığında (%2.02)'den (%-0.24)'e azalmakta ve bu oran 0.75'ten 1'e kadar arttığında ise (%-0.24)'den (%-2.28)'e artmaktadır. (0/90) ve (90/0) için ise (%-0.21)'den (%-3.72)'ya artmaktadır.

56) Homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde;

- KPT dikkate alındığında $\mu = 1$ için homojen olmamanın en büyük etkisi (%15) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%11.08) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde; $\mu = 0.75$ için en büyük etkisi (%11.25) ile (0) ve (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%8.31) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde; $\mu = 0.50$ için

kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%7.51) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%5.54) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde; $\mu = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%3.75) ile (0) ve (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%2.77) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca μ parametresinin artışına bağlı olarak (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde artmaktadır. Örneğin; μ parametresi 0.25'den 1'e kadar arttığında (0/90/0) için (%3.29)'dan (%13.17)'ye, (90/0/90) için (%3.53)'ten (%14.11)'e, (0/90) ve (90/0) için ise (%3.38)'den (%13.43)'e artmaktadır.

- BMKDT dikkate alındığında $\mu = 1$ için homojen olmamanın en büyük etkisi (%14.07) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%10.48) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde; $\mu = 0.75$ için en büyük etkisi (%10.57) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.86) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde; $\mu = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%7.04) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%5.24) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde; $\mu = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%3.53) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%2.62) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca μ parametresinin artışına bağlı olarak (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde artmaktadır. Örneğin; μ parametresi 0.25'den 1'e kadar arttığında (0/90/90/0) için (%2.62)'den (%10.48)'e, (90/0/0/90) için ise (%2.66)'dan (%10.59)'a artmaktadır. (0/90) ve (90/0) için ise (%3.13)'den (%12.40)'a artmaktadır.
- YMKDT dikkate alındığında $\mu = 1$ için homojen olmamanın en büyük etkisi (%13.3) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%8.81) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $\mu = 0.75$ için en büyük etkisi (%10.02) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%6.70) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $\mu = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%6.69) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%4.49) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde; $\mu = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%3.35) ile (0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%2.26) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca μ parametresinin artışına bağlı olarak (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde artmaktadır. Örneğin; μ parametresi 0.25'den 1'e kadar arttığında (0/90/0) için (%2.92)'den (%11.57)'ye, (90/0/90) için ise (%2.52)'den (%9.92)'ye artmaktadır. (0/90) ve (90/0) için ise (%2.90)'dan (%11.46)'ya artmaktadır.

Çizelge 4.14a-c'den ve analizlerden görüldüğü üzere μ parametresinin değişiminin homojen olmamanın etkisine önemli derecede etkisi mevcuttur. μ parametresinin artışına bağlı olarak homojen olmamanın kritik basınç yüküne etkisi homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde KPT için (0/..) ve (90/..) tabaka düzenlerinde artarken; KDT kullanıldığında (90/0/90) tabaka düzeninde önce azalıp sonra artmakta ve bunun dışındaki tüm (0/..) ve (90/..) tabaka düzenlerinde ise artmaktadır. Homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde ise bu etki (0/..) ve (90/..) tabaka düzenlerinde artmaktadır. μ parametresinin artışına bağlı olarak homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde homojen olmamanın kritik basınç yüküne en büyük etkisi KPT, BMKDT ve YMKDT için (0) tabaka düzeninde ortaya çıkarken, en az etkisi KPT için (0/90/90/0) tabaka düzeninde ve BMKDT ve YMKDT için (90/0/0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Homojen olmama doğrusal değiştiğinde ise bu şekilde bir genelleme yapılamamaktadır. Homojen olmama doğrusal ve kuadratik olarak değiştiğinde homojen olmamanın kritik basınç yüküne etkisi (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde birbirine eşit olmaktadır. Dolayısıyla homojen olmama doğrusal ve kuadratik değiştiğinde ortotropik grafit/epoksi (T) malzemesinden oluşan (90/0) tabakalı kompozit plak (0/90) tabakalı kompozit plak özelliği sergilemektedir.

Çizelge 4.14a-c'den kayma deformasyonun ortotropik tabakalı kompozit plakların kritik basınç yüküne μ parametresi değişimine bağlı etkileri BMKDT ve YMKDT kullanılarak belirlenmiş ve şu şekilde sıralanmıştır:

57) Homojen olmama doğrusal değiştiğinde;

- BMKDT kullanıldığında kayma deformasyonun $\mu = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%37.46) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%13.42) ile (0) tabaka düzeninde; $\mu = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%37.12) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%13.23) ile (0) tabaka düzeninde; $\mu = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%36.52) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%12.92) ile (0/90/0) tabaka düzeninde; $\mu = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%35.69) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%12.44) ile (0/90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca μ parametresinin artışına bağlı olarak (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi azalmaktadır. Örneğin; μ parametresi 0.25'den 1'e kadar arttığında (0/90/0) için (%13.45)'den (%12.44)'e, (90/0/90) için (%35.40)'dan (%33.04)'e

azalmaktadır. Dahası (0/90) ve (90/0) için (%19.88)'den (%19.16)'ya azalmaktadır.

- YMKDT kullanıldığında kayma deformasyonun $\mu = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%41.73) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%15.52) ile (0) tabaka düzeninde; $\mu = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%41.30) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%15.31) ile (0) tabaka düzeninde; $\mu = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%40.57) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%14.99) ile (0) tabaka düzeninde; $\mu = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%39.54) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%14.51) ile (0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca μ parametresinin artışına bağlı olarak (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi azalmaktadır. Örneğin; μ parametresi 0.25'den 1'e kadar arttığında (0/90/90/0) için (%19.57)'den (%18.63)'e, (90/0/0/90) için (%41.73)'ten (%39.54)'e azalmaktadır. Dahası (0/90) ve (90/0) için (%21.26)'dan (%20.52)'ye azalmaktadır.

58) Homojen olmama kuadratik değiştiğinde;

- BMKDT kullanıldığında kayma deformasyonun $\mu = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%37.93) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%13.65) ile (0) tabaka düzeninde; $\mu = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%38.27) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%13.84) ile (0) tabaka düzeninde; $\mu = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%38.58) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%14.00) ile (0) tabaka düzeninde; $\mu = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%38.89) ile (90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%14.17) ile (0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca μ parametresinin artışına bağlı olarak (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; μ parametresi 0.25'den 1'e kadar arttığında (0/90/0) için (%13.69)'dan (%14.18)'e, (90/0/90) için (%36.94)'ten (%37.96)'ya artmaktadır. Dahası (0/90) ve (90/0) için (%20.12)'den (%20.66)'ya artmaktadır.
- YMKDT kullanıldığında kayma deformasyonun $\mu = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%42.40) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%15.91) ile (0) tabaka düzeninde; $\mu = 0.50$ için kritik basınç yüküne en

büyük etkisi (%42.92) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%16.22) ile (0) tabaka düzeninde; $\mu = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%43.42) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%16.52) ile (0) tabaka düzeninde; $\mu = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%43.90) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%16.82) ile (0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca μ parametresinin artışına bağlı olarak (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi artmaktadır. Örneğin; μ parametresi 0.25'den 1'e kadar arttığında (0/90/90/0) için (%19.89)'dan (%20.63)'e, (90/0/0/90) için (%42.40)'dan (%43.90)'a artmaktadır. Dahası (0/90) ve (90/0) için (%21.67)'den (%22.68)'e artmaktadır.

59) Tüm tabaka düzenleri ve malzeme özellikleri dikkate alınarak kritik basınç yükü değerleri kıyaslandığında;

- BMKDT kullanıldığında kayma deformasyonun $\mu = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%37.93) ile (90) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik değiştiğinde, en az etkisi (%13.42) ile (0) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal değiştiğinde; $\mu = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%38.27) ile (90) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik değiştiğinde, en az etkisi (%13.23) ile (0) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde; $\mu = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%38.58) ile (90) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik değiştiğinde, en az etkisi (%12.92) ile (0/90/0) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde; $\mu = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%38.89) ile (90) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik değiştiğinde, en az etkisi (%12.44) ile (0/90/0) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde ortaya çıkmaktadır.
- YMKDT kullanıldığında kayma deformasyonun $\mu = 0.25$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%42.40) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik değiştiğinde, en az etkisi (%15.52) ile (0) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal değiştiğinde; $\mu = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%42.92) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik değiştiğinde, en az etkisi (%15.31) ile (0) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde; $\mu = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%43.42) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde ve homojen

olmama kuadratik değiştiğinde, en az etkisi (%14.99) ile (0) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde; $\mu = 1$ için kritik basınc kne en büyük etkisi (%43.90) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik değiştiğinde, en az etkisi (%14.51) ile (0) tabaka düzeninde ve homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde ortaya çıkmaktadır.

60) Tüm tabaka düzenleri, malzeme özellikleri ve μ oranları dikkate alınarak kritik basınc k değerleri kıyaslandığıında;

- BMKDT için kayma deformasyonun en büyük etkisi (90) tabaka düzeninde, homojen olmama kuadratik değiştiğinde ve $\mu = 1$ olduğunda (%38.89) olarak ve en az etkisi ise (0/90/0) tabaka düzeninde, homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde ve $\mu = 1$ olduğunda (%12.44) olarak ortaya çıkmaktadır.
- YMKDT için ise kayma deformasyonun en büyük etkisi (90/0/0/90) tabaka düzeninde, homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde ve $\mu = 1$ olduğunda (%43.90) olarak ve en az etkisi (0) tabaka düzeninde, homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde ve $\mu = 1$ olduğunda (%14.51) olarak ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 4.14a-c'den ve analizlerden görüldüğü üzere μ parametresinin değişimi kayma deformasyonun etkisini önemli derecede etkilemektedir. μ parametresinin artışına bağlı olarak homojen olmama doğrusal ve kuadratik olarak değiştiğinde kayma deformasyonun kritik basınc kne en büyük etkisi BMKDT için (90), YMKDT için (90/0/0/90) tabaka düzenlerinde; en az etkisi YMKDT için (0) tabaka düzeninde ortaya çıkarken BMKDT için böyle bir genelleme yapılamamaktadır. Yine bu parametresin artışına bağlı olarak kayma deformasyonun kritik basınca etkisi homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde azalırken kuadratik olarak değiştiğinde ise tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde artmaktadır. Dahası hem BMKDT hem de YMKDT kullanıldığında, homojen olmama doğrusal ve kuadratik olarak değiştiğinde (0/90) ve (90/0) tabaka düzenine sahip ortotropik tabakalı kompozit plaklarda kayma deformasyonun kritik basınc kne etkileri her bir μ değeri için birbirine eēit olmaktadır. Dolayısıyla doğrusal ve kuadratik değişimli homojen olmayan ortotropik grafit/epoksi (T) malzemesinden oluşan (90/0) tabakalı kompozit plak (0/90) tabakalı kompozit plak özelliği sergilemektedir. BMKDT ve YMKDT kullanıldığında μ parametresinin artışına bağlı olarak kayma deformasyonun kritik basınc kne en

büyük etkisi homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde ve en az etkisi homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde ortaya çıkmaktadır.

KPT, BMKDT ve YMKDT dikkate alındığında, (0/90), (0/90/0) ve (0/90/90/0) tabaka düzenleri (0) tabaka düzeniyle ve (90/0), (90/0/90) ve (90/0/0/90) tabaka düzenleri ise (90) tabaka düzeniyle kendi aralarında kıyaslandığında aradaki farkların tabaka dizilişi, sayısına ve μ parametresinin değişimine göre kritik basınç yüküne önemli derecede etkisi mevcuttur. μ parametresi değişimine göre bu etkinin aşağıdaki şekilde olduğu görülmüştür:

61) Homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde;

- KPT kullanıldığında $\mu = 0.25$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%53.60) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.12) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $\mu = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%54.29) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.13) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $\mu = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%55.44) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.14) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $\mu = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%57.20) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.16) ile (90/0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca μ parametresinin artışına bağlı olarak etkiler (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde azalmakta diğer tabaka düzenlerinde ise artmaktadır. Örneğin; (0/90/0) için μ parametresi 0.25'den 1'e kadar arttığında (%15.95)'den (%18.24)'e artmakta, (90/0/90) için ise (%7.12)'den (%7.16)'ya artmaktadır.
- BMKDT kullanıldığında $\mu = 0.25$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%50.62) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%5.79) ile (90/0) tabaka düzeninde; $\mu = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%51.27) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%6.15) ile (90/0) tabaka düzeninde; $\mu = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%52.44) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%6.78) ile (90/0) tabaka düzeninde; $\mu = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%54.15) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.68) ile (90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca μ parametresinin artışına bağlı olarak etkiler (0/90) haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde artmaktadır. Örneğin;

(0/90/90/0) için μ parametresi 0.25'dan 1'e kadar arttığında (%50.62)'den (%54.15)'e, (90/0/0/90) için (%26.71)'den (%27.72)'ye artmaktadır.

- YMKDT kullanıldığında $\mu = 0.25$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%46.24) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%10.37) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $\mu = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%46.88) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%10.56) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $\mu = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%47.99) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%10.86) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $\mu = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%49.62) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%11.29) ile (90/0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca μ parametresinin artışına bağlı olarak etkiler (0/90) haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde artmaktadır. Örneğin; (0/90/90/0) için μ parametresi 0.25'den 1'e kadar arttığında (%46.24)'den (%49.62)'ye, (90/0/0/90) için ise (%22.76)'dan (%23.69)'a artmaktadır.

62) Homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde;

- KPT kullanıldığında $\mu = 0.25$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%51.95) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%6.89) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $\mu = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%50.59) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%6.67) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $\mu = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%49.33) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%6.48) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $\mu = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%48.17) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%6.30) ile (90/0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca μ parametresinin artışına bağlı olarak etkiler (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde artmakta diğer tabaka düzenlerinde ise azalmaktadır. Örneğin; (0/90/0) için μ parametresi 0.25'ten 1'e kadar arttığında (%15.31)'den (%13.98)'e, (90/0/90) için ise (%6.89)'dan (%6.30)'a azalmaktadır.
- BMKDT kullanıldığında $\mu = 0.25$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%49.08) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%5.63) ile (90/0) tabaka düzeninde; $\mu = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%47.87) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%5.59) ile (90/0) tabaka

düzeninde; $\mu = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%46.72) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%5.53) ile (90/0) tabaka düzeninde; $\mu = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%45.66) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%5.49) ile (90/0) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca μ parametresinin artışına bağlı olarak etkiler (0/90) haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde azalmaktadır. Örneğin; (0/90/90/0) için μ parametresi 0.25'ten 1'e kadar arttığında (%49.08)'den (%45.66)' ya, (90/0/0/90) için ise (%26.02)'den (%24.40)'a azalmaktadır.

- YMKDT kullanıldığında $\mu = 0.25$ için tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%44.74) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.57) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $\mu = 0.50$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%43.55) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.34) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $\mu = 0.75$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%42.42) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%7.12) ile (90/0/90) tabaka düzeninde; $\mu = 1$ için kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%41.38) ile (0/90/90/0) tabaka düzeninde, en az etkisi (%6.90) ile (90/0/90) tabaka düzeninde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca μ parametresinin artışına bağlı olarak etkiler (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde artmakta diğer tabaka düzenlerinde ise azalmaktadır. Örneğin; (0/90/0) için μ parametresi 0.25'ten 1'e kadar arttığında (%14.31)'den (%13.03)'e, (90/0/90) için ise (%7.57)'den (%6.90)'a azalmaktadır.

63) Tüm tabaka düzenleri, malzeme özellikleri ve μ oranları dikkate alınarak kritik basınç yükü değerleri kıyaslandığında;

- KPT için tabaka düzeninin en büyük etkisi (0/90/90/0) tabaka düzeninde, homojen olmama doğrusal değiştiğinde ve $\mu = 1$ olduğunda (%57.20) olarak ve en az etkisi ise (90/0/90) tabaka düzeninde, homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde ve $\mu = 1$ olduğunda (%6.30) olarak ortaya çıkmaktadır.
- BMKDT için ise tabaka düzeninin en büyük etkisi (0/90/90/0) tabaka düzeninde, homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde ve $\mu = 1$ olduğunda (%54.15) olarak ve en az etkisi (90/0) tabaka düzeninde, homojen olmama kuadratik değiştiğinde ve $\mu = 1$ olduğunda (%5.49) olarak ortaya çıkmaktadır.
- YMKDT için ise tabaka düzeninin en büyük etkisi (0/90/90/0) tabaka düzeninde, homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde ve $\mu = 1$ olduğunda (%49.62)

olarak ve en az etkisi (90/0/90) tabaka düzeninde, homojen olmama kuadratik değıştiğinde ve $\mu = 1$ olduğunda (%6.90) olarak ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 4.14a-c'den ve analizlerden görüldüğü üzere μ parametresinin değışimi tabaka düzeninin kritik basınç yüküne etkisini önemli derecede etkilemektedir. Ayrıca μ parametresinin artışına bağı olarak ortotropik tabakalı kompozit plağın kritik basınç yüküne tabaka düzeninin etkisi BMKDT ve YMKDT için homojen olmama doğrusal değıştiğinde (0/90) haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde artarken kuadratik değıştiğinde ise (0/90) haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde azalmaktadır. KPT için homojen olmama doğrusal değıştiğinde (0/90) ve (90/0) haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde artarken kuadratik değıştiğinde ise (0/90) ve (90/0) haricindeki tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde azalmaktadır. μ parametresinin artışına bağı olarak homojen olmama doğrusal ve kuadratik değıştiğinde tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi KPT, BMKDT ve YMKDT için (0/90/90/0) tabaka düzeninde; en az etkisi ise KPT ve YMKDT için (90/0/90), BMKDT için (90/0) tabaka düzeninde elde edilmektedir. KPT, BMKDT ve YMKDT kullanıldığında tabaka düzeninin kritik basınç yüküne en büyük etkisi homojen olmama doğrusal değıştiğinde, en az etkisi ise homojen olmama kuadratik değıştiğinde ortaya çıkmaktadır.

Çeşitli tabaka düzenleri ve homojen olmama fonksiyonları dikkate alındığında BMKDT ile YMKDT kendi aralarında kıyaslandığında yüksek mertebe kayma deformasyon etkilerinin tabaka düzenine, homojen olmama durumlarına ve μ oranlarına göre yüzde olarak değışiminin aşağıdaki şekilde olduğu görülmüştür:

64) Homojen olmama doğrusal olarak değıştiğinde;

- Yüksek mertebe kayma deformasyonun etkisi $\mu = 0.25$ için yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-8.80) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.72) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $\mu = 0.50$ için en büyük etkisi (%-8.76) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.70) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde; $\mu = 0.75$ için en büyük etkisi (%-8.69) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.69) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $\mu = 1$ için en büyük etkisi (%-8.61) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.67) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde elde edilmektedir. Ayrıca μ parametresinin artışına bağı olarak tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde azalmaktadır.

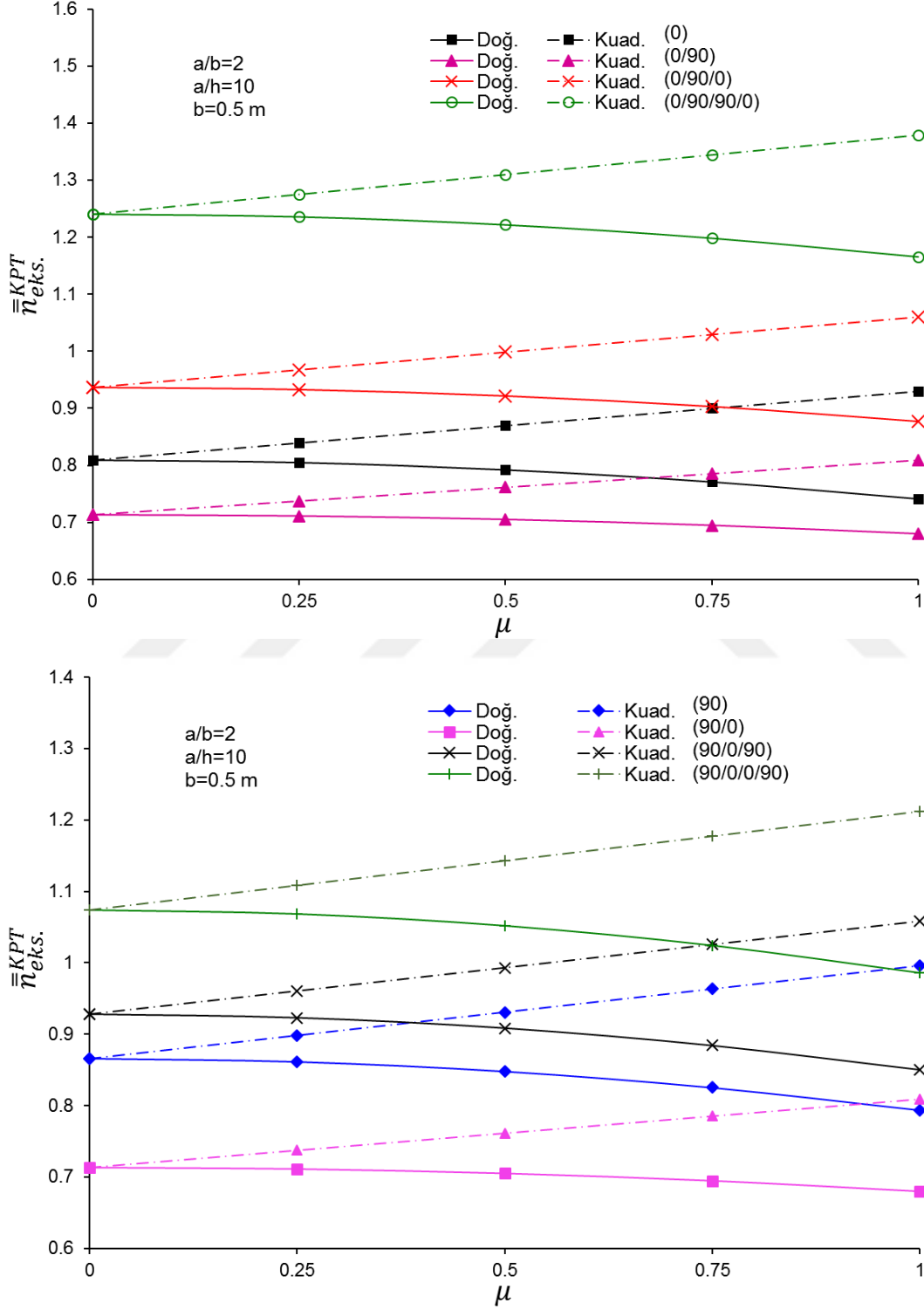
Örneğin; (0/90/0) için μ parametresi 0.25'ten 1'e kadar arttığında (%-3.24)'ten (%-3.10)'a, (90/0/90) için ise (%-6.09)'dan (%-5.86)'ya azalmaktadır. (0/90) ve (90/0) için μ parametresi 0.25'ten 1'e kadar arttığında (%-1.72)'den (%-1.67)'e eşit olarak azalmaktadır.

65) Homojen olmama kuadratik değiştiğinde;

- Yüksek mertebe kayma deformasyonun etkisi $\mu = 0.25$ için yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne en büyük etkisi (%-9.16) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-1.94) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $\mu = 0.50$ için en büyük etkisi (%-9.53) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-2.13) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzenlerinde; $\mu = 0.75$ için en büyük etkisi (%-9.88) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-2.32) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde; $\mu = 1$ için en büyük etkisi (%-10.22) ile (90/0/0/90) tabaka düzeninde, en az etkisi (%-2.54) ile (0/90) ve (90/0) tabaka düzeninde elde edilmektedir. Ayrıca μ parametresinin artışına bağlı olarak tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde artmaktadır. Örneğin; (0/90/90/0) için μ parametresi 0.25'ten 1'e kadar arttığında (%-5.44)'ten (%-5.94)'e, (90/0/0/90) için ise (%-9.16)'dan (%-10.22)'ye artmaktadır. (0/90) ve (90/0) için μ parametresi 0.25'ten 1'e kadar arttığında (%-1.94)'ten (%-2.54)'e eşit olarak artmaktadır.

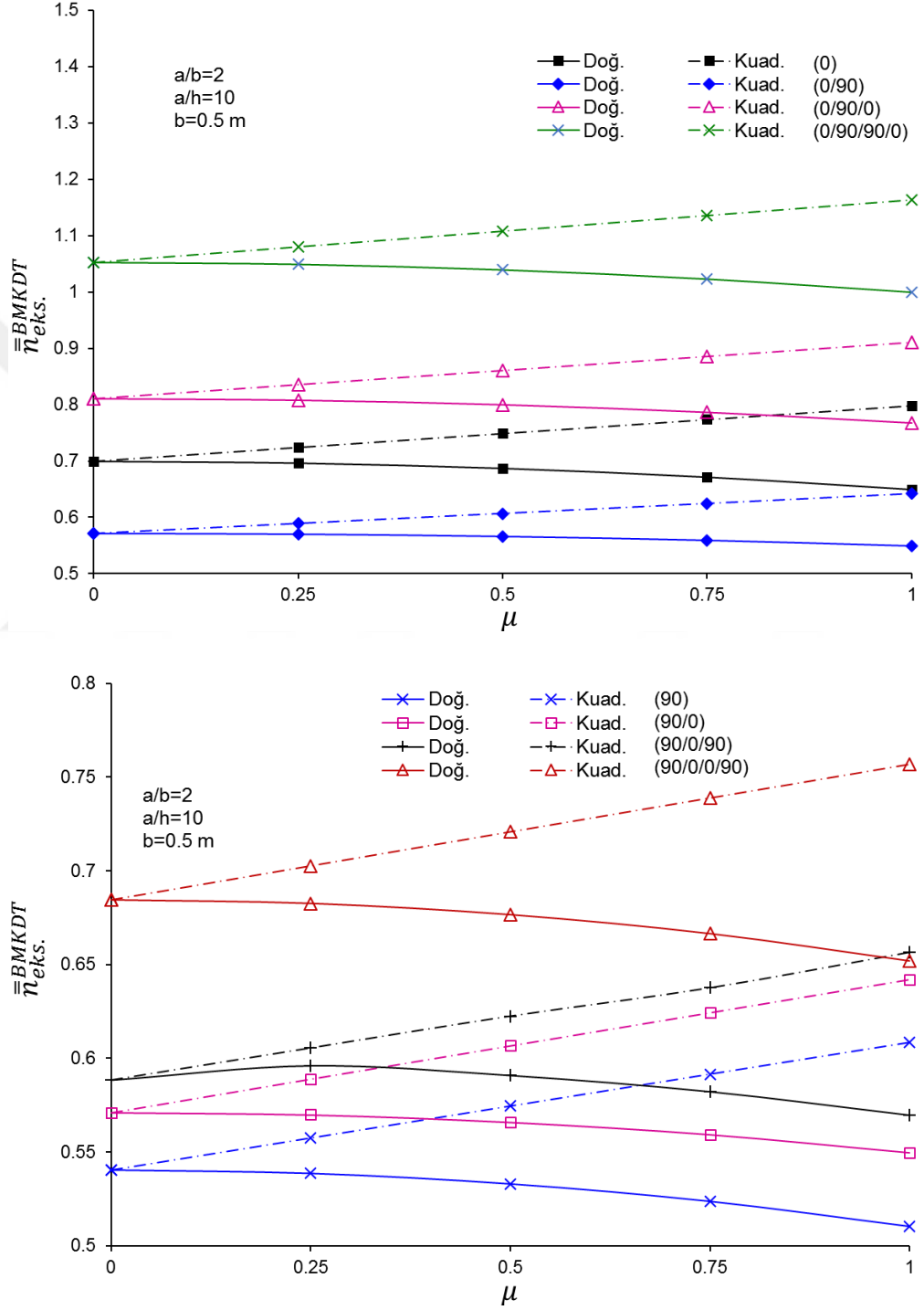
Çizelge 4.14a-c'den ve analizlerden görüldüğü üzere μ parametresinin değişimi yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi mevcuttur. Ayrıca μ parametresinin artışına bağlı olarak yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde azalırken kuadratik olarak değiştiğinde ise tüm (0/..) ve (90/..) formundaki tabaka düzenlerinde artmaktadır. Yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi homojen olmamanın kuadratik değiştiği durumda ve $\mu = 1$ için daha belirgindir. Dahası μ parametresinin artışına bağlı olarak, yüksek mertebe kayma deformasyonun kritik basınç yüküne en büyük etkisi (90/0/0/90) tabaka düzeninde ve homojen olmama kuadratik olarak değiştiğinde, en az etkisi ise (0/90) ve (90/0) için homojen olmama doğrusal olarak değiştiğinde elde edilmektedir. Homojen olmama doğrusal ve kuadratik olarak değiştiğinde (0/90) ve (90/0) tabaka düzenine sahip ortotropik tabakalı kompozit plakların kritik basınç yükü değerlerine yüksek mertebe

kayma deformasyonun etkileri her bir μ değeri için birbirine eşit olmaktadır. Dolayısıyla doğrusal ve kuadratik değişimli homojen olmayan ortotropik grafit/epoksi (T) malzemesinden oluşan (90/0) tabakalı kompozit plak (0/90) tabakalı kompozit plak özelliği sergilemektedir.

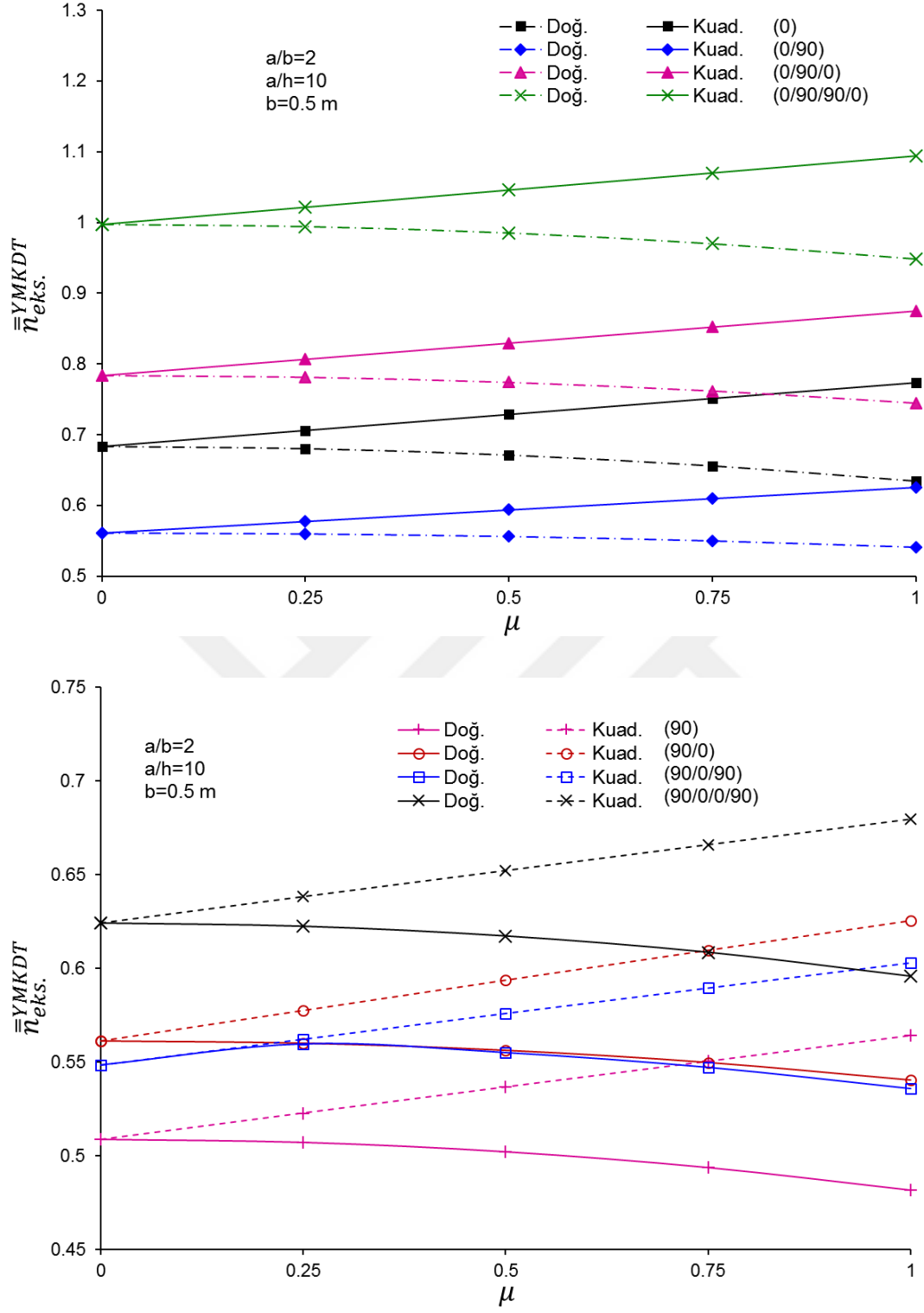


Şekil 4.21. $\bar{n}_{eks}^{KPT}$ 'in çeşitli tabaka düzenlerine ve μ oranına göre değişimi ($\zeta = 0$).

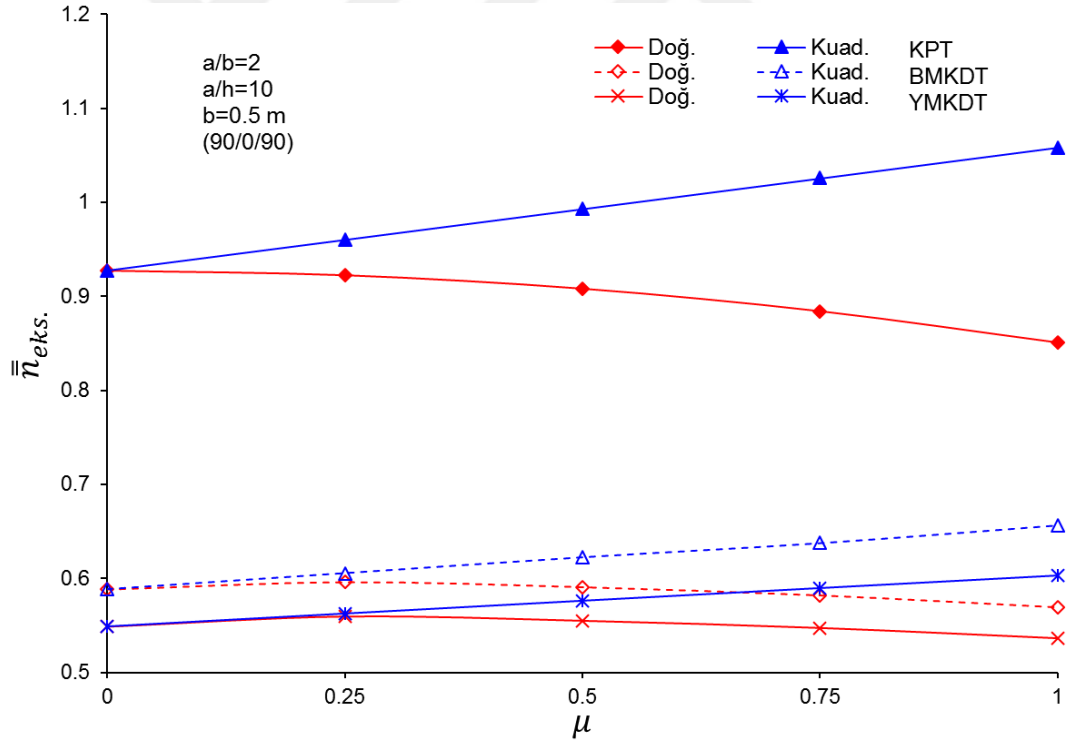
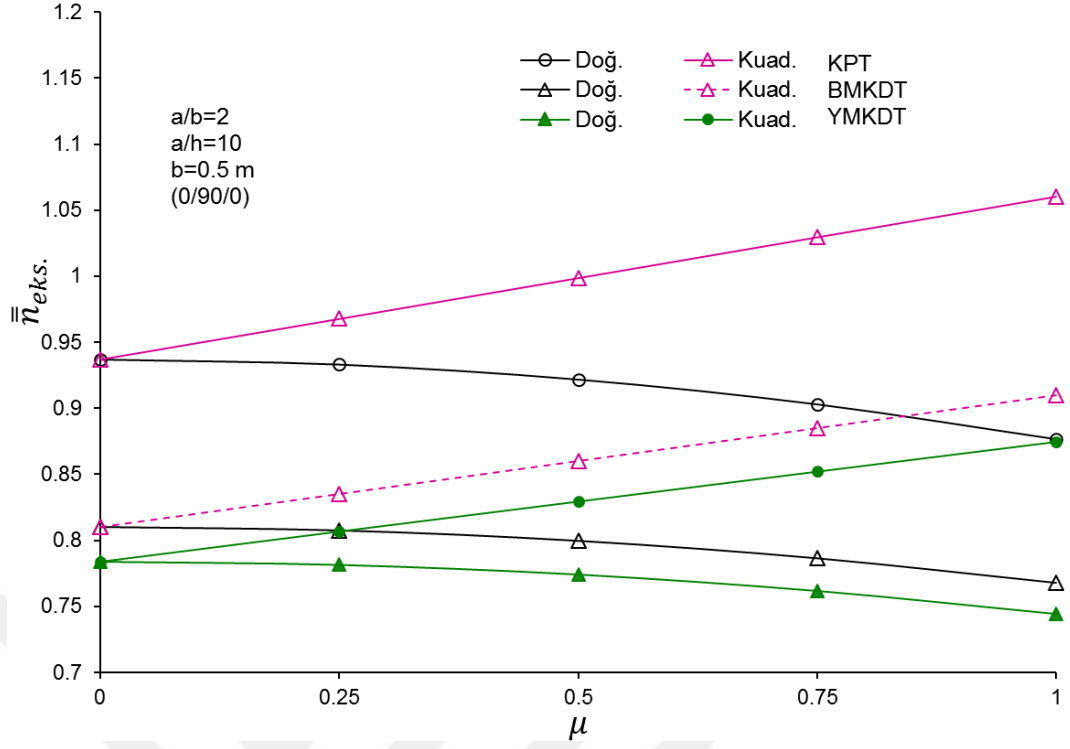
Şekil 4.21-4.25, KPT ve KDT kapsamında homojen ve homojen olmayan ortotropik tabakalı kompozit plağın kritik basın yükü değerlerinin çeşitli tabaka düzenlerine ve μ parametresine bağlı değişimi sunulmaktadır. Şekillerde kullanılan veriler Çizelge 4.14a-c'den alınmıştır. Homojen olmama doğrusal ve kuadratik değişmektedir.



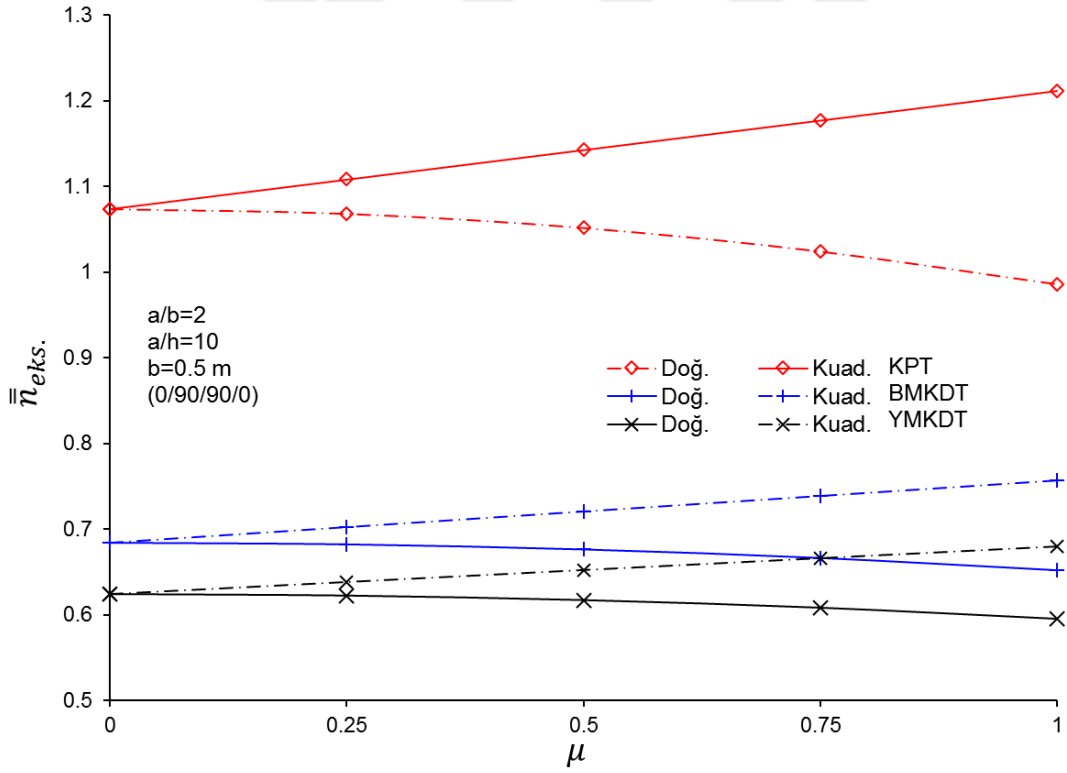
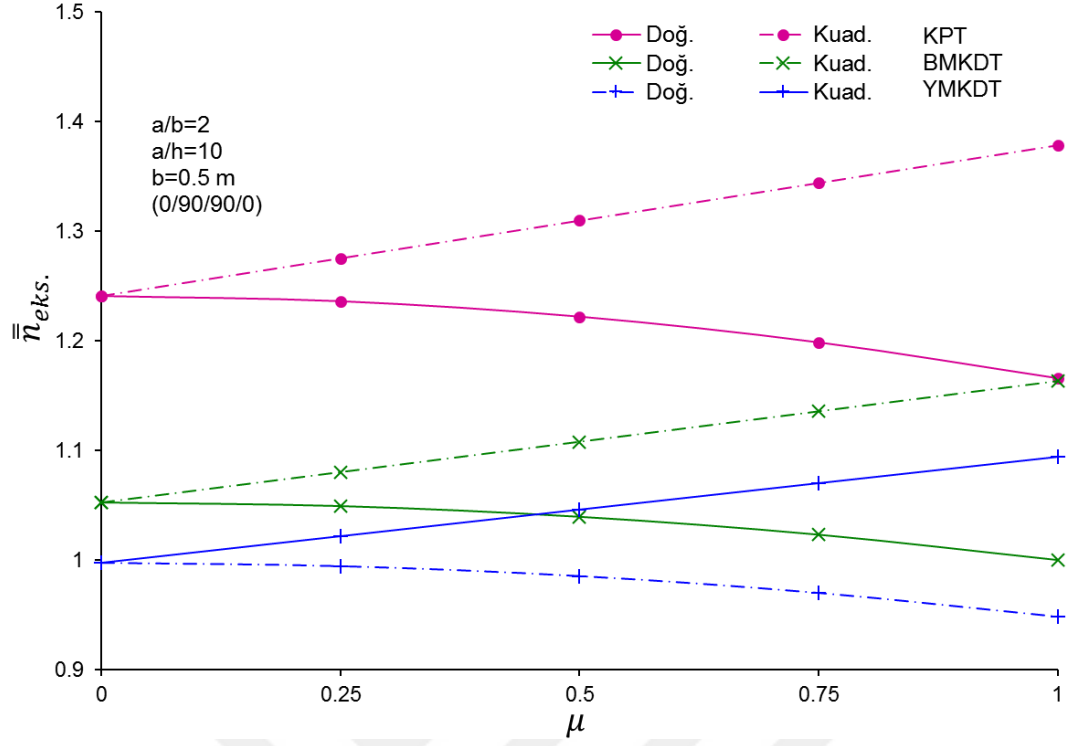
Şekil 4.22. $\bar{n}_{eks}^{BMKDT}$ 'in çeşitli tabaka düzenlerine ve μ oranına göre değişimi ($\zeta = 0$)



Şekil 4.23. $\bar{n}_{eks}^{YMKDT}$ 'in çeşitli tabaka düzenlerine ve μ oranına göre değişimi ($\zeta = 0$)



Şekil 4.24. $\bar{n}_{eks.}$ 'in çeşitli teorilere ve μ oranına göre değişimi ($\zeta = 0$).



Şekil 4.25. $\bar{n}_{eks}$ 'in çeşitli teorilere ve μ oranına göre değişimi ($\zeta = 0$).

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Tez çalışmasında, değişken malzeme özelliklerinin ve yükleme koşullarının homojen olmayan tabakalı kompozit plakların burkulma davranışına etkisi incelenmiştir. İlk olarak, homojen olmayan ortotropik tabakalı kompozit plağın temel bağıntı ve stabilite denklemleri KDT çerçevesinde türetilmiştir. İkinci olarak, homojen olmayan ortotropik tabakalı kompozit plağın tüm kenarlarından basit mesnetli olduğu varsayılmış ve bu sınır şartlarını karşılayacak yaklaşım fonksiyonları seçilmiştir. Üçüncü olarak, bu yaklaşım fonksiyonlarından yararlanılarak stabilite problemi çözülerek, söz konusu plağın kritik burkulma yükü ifadeleri KDT çerçevesinde ve özel olarak KPT kapsamında elde edilmiştir. Ayrıca bu ifadelerden özel olarak homojen ortotropik tabakalı kompozit plağın da kritik burkulma yükü değerleri bulunmuştur.

Elde edilen sayısal analizlere dayanılarak aşağıdaki genel sonuçlara varılmıştır:

- 1) Homojen olmama kübik şeklinde değiştiğinde tabakalı kompozit malzemeleri meydana getiren ortotropik malzemenin homojen olmamasının kritik basınç yüküne etkisi çok azdır, dolayısıyla tabakaları homojen olmayan ortotropik malzemeden oluşan tabakalı kompozit plaklar homojen ortotropik tabakalı plak gibi yapısal davranış sergilemektedir.
- 2) Homojen ve homojen olmayan ortotropik tabakalı kompozit plakların kritik basınç yükü değerlerine kayma deformasyonunun etkileri önemli derecededir.
- 3) Tabaka sayısı ve düzeni değiştiğinde kritik basınç yükü değerleri hem KPT hem de KDT durumlarında önemli derecede değişmektedir.
- 4) Tüm tabaka düzenleri ile homojen ve homojen olmayan malzeme özellikleri dikkate alınarak kritik basınç yükü değerleri mukayese edildiğinde; kritik basınç yüküne kayma deformasyonunun en büyük etki BMKDT ve YMKDT kullanıldığında, sırasıyla, (%38.89) ile (90) tabaka düzenli ve (%43.90) ile (90/0/0/90) tabaka düzenli kompozit plaklarda ve homojen olmamanın kuadratik olarak değiştiği durum için, en az etki ise BMKDT ve YMKDT kullanıldığında, sırasıyla, (%35.69) ile (90) tabaka düzenli ve (%39.54) ile (90/0/0/90) tabaka düzenli kompozit plaklarda ve homojen olmamanın doğrusal olarak değiştiği durum için elde edilmektedir.
- 5) KPT, BMKDT ve YMKDT dikkate alındığında, (0/90), (0/90/0) ve (0/90/90/0) tabaka düzenleri (0) tabaka düzeniyle ve (90/0), (90/0/90) ve (90/0/0/90) tabaka düzenleri

ise (90) tabaka düzeniyle kendi aralarında kıyaslandığında aradaki farklar tabaka dizilişi ve sayısına göre yüzde olarak önemli derecede değişmektedir.

- 6) Homojen ve homojen olmayan grafit/epoksi (T) malzemesinden oluşan tabakalı kompozit plaklarda kayma deformasyonun kritik basınç yüküne en büyük etkisi homojen olmama fonksiyonunun kuadratik olması durumunda ortaya çıkmaktadır.
- 7) Tabakalı kompozit plaklarda BMKDT ve YMKDT kendi aralarında kıyaslandığında yüksek mertebeden kayma deformasyonun kritik basınç yüküne en büyük etkileri (90/0/0/90) tabaka düzenine sahip tabakalı kompozit plaklarda ortaya çıkmaktadır.
- 8) Tabakalı kompozit plaklarda, yüksek mertebeden kayma deformasyonun kritik basınç yüküne etkisi (0/..) formundaki tabaka düzeni için (90/..) formundaki tabaka düzenine kıyasla daha önemli olmaktadır.
- 9) Homojen olmamanın, KPT kullanılarak elde edilen kritik basınç yüklerine etkisi BMKDT ve YMKDT kullanılarak elde edilen kritik basınç yükü değerlerine etkisinden daha büyüktür. Bundan dolayı, kayma deformasyon etkilerinin dikkate alınması homojen olmamanın kritik basınç yüklerine etkilerini azaltmaktadır. Ayrıca, yüksek mertebe kayma deformasyon etkilerinin hesaba katılması bu durumu daha da önemli hale getirmektedir.
- 10) Homojen olmama doğrusal ve kuadratik olarak değiştiğinde (0/90) ve (90/0) tabaka düzenine sahip ortotropik tabakalı kompozit plakların kritik basınç yükü değerlerine yüksek mertebe kayma deformasyonun etkileri her bir μ değeri için birbirine eşit olmaktadır. Dolayısıyla doğrusal ve kuadratik değişimli homojen olmayan ortotropik grafit/epoksi (T) malzemesinden oluşan (90/0) tabakalı kompozit plak (0/90) tabakalı kompozit plak özelliği sergilemektedir.

KAYNAKLAR

- Adim, B., Daouadji, T. H. and Abbes, B. 2016. Buckling Analysis of Anti-Symmetric Cross-Ply Laminated Composite Plates Under Different Boundary Conditions. *International Applied Mechanics*, 52:6, 661-676.
- Ambartsumian, S. 1958. On the theory of bending plates. *Izv Otd Tech Nauk AN SSSR*, 5:5, 69-77.
- Aydogdu, M. 2009. A new shear deformation theory for laminated composite plates. *Composite Structures*, 89:1, 94-101.
- Belkacem, A., Tahar, H. D., Abderrezak, R., Amine, B. M., Mohamed, Z. ve Boussad, A. 2018. Mechanical buckling analysis of hybrid laminated composite plates under different boundary conditions. *Structural Engineering and Mechanics*, 66:6, 761-769.
- Bohlooly, M. and Mirzavand, B. 2016. Thermomechanical buckling of hybrid cross-ply laminated rectangular plates. *Advanced Composite Materials*, 26:5, 407-426.
- Bohlooly, M. and Mirzavand, B. 2017. Postbuckling and deflection response of imperfect piezo-composite plates resting on elastic foundations under in-plane and lateral compression and electro-thermal loading. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 25:3, 192-201.
- Chen, W. Q. and Lee, K. Y. 2003. Alternative state space formulations for magnetoelectric thermoelasticity with transverse isotropy and the application to bending analysis of nonhomogeneous plates. *International Journal of Solids and Structures*, 40:21, 5689-5705.
- Cheng, Z.-Q., Lim, C. and Kitipornchai, S. 2000. Three-dimensional asymptotic approach to inhomogeneous and laminated piezoelectric plates. *International Journal of Solids and Structures*, 37:23, 3153-3175.
- Chikh, A., Tounsi, A., Hebali, H. and Mahmoud, S. R. 2017. Thermal buckling analysis of cross-ply laminated plates using a simplified HSDT. *Smart Structures and Systems*, 19:3, 289-297.
- Dong, J., Ma, X., Zhuge, Y. and Mills, J. E. 2018. Buckling Analysis of Laminated Composite Plate on Tensionless Elastic Foundations Under Uniaxial Compression. *International Journal of Structural Stability and Dynamics*, 18:06, 1850079.
- İpek, G., Arman, Y. and Çelik, A. 2018. The effect of delamination size and location to buckling behavior of composite materials. *Composites Part B: Engineering*, 155, 69-76.
- Kabir, M.-Z. and Tavousi Tehrani, B. 2017. Closed-form solution for thermal, mechanical, and thermo-mechanical buckling and post-buckling of SMA composite plates. *Composite Structures*, 168, 535-548.

- Kaplan, A. N. 2015. Winkler elastik zemine oturan ve kayma gerilmeleri içeren homojen olmayan ortotropik dikdörtgen plakların stabilitesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 141, Isparta.
- Karama, M., Afaq, K. and Mistou, S. 2003. Mechanical behaviour of laminated composite beam by the new multi-layered laminated composite structures model with transverse shear stress continuity. *International Journal of Solids and Structures*, 40:6, 1525-1546.
- Kazemi, M. 2018. Hygrothermoelastic buckling response of composite laminates by using modified shear deformation theory. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 3.
- Lei, Z., Su, Q., Zeng, H., Zhang, Y. and Yu, C. 2018. Parametric studies on buckling behavior of functionally graded graphene-reinforced composites laminated plates in thermal environment. *Composite Structures*, 202, 695-709.
- Leissa, A. and Martin, A. 1990. Some exact plane elasticity solutions for nonhomogeneous, orthotropic sheets. *Journal of Elasticity*, 23:1, 97-112.
- Liang, K., Sun, Q. and Zhang, Y. 2018. Nonlinear buckling analysis of variable stiffness composite plates based on the reduced order model. *Composite Structures*, 206, 681-692.
- Lokesh, S. 2017. Buckling Analysis of Laminated Composite Plates using Layer Wise Higher Order Shear Deformation Theory. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)*, 7:5, 63-74.
- Mahi, A. and Tounsi, A. 2015. A new hyperbolic shear deformation theory for bending and free vibration analysis of isotropic, functionally graded, sandwich and laminated composite plates. *Applied Mathematical Modelling*, 39:9, 2489-2508.
- Manickam, G., Bharath, A., Das, A. N., Chandra, A. and Barua, P. 2018. Thermal buckling behaviour of variable stiffness laminated composite plates. *Materials Today Communications*, 16, 142-151.
- Mercan, K., Baltacıoglu, A. K. and Civalet, Ö. 2018. Free vibration of laminated and FGM/CNT composites annular thick plates with shear deformation by discrete singular convolution method. *Composite Structures*, 186, 139-153.
- Meziane, M. A. A., Abdelaziz, H. H. and Tounsi, A. 2014. An efficient and simple refined theory for buckling and free vibration of exponentially graded sandwich plates under various boundary conditions. *Journal of Sandwich Structures & Materials*, 16:3, 293-318.
- Moradi-Dastjerdi, R. and Malek-Mohammadi, H. 2016. Biaxial buckling analysis of functionally graded nanocomposite sandwich plates reinforced by aggregated carbon nanotube using improved high-order theory. *Journal of Sandwich Structures & Materials*, 19:6, 736-769.
- Morozov, E. and Lopatin, A. 2018. Fundamental frequency of fully clamped antisymmetric angle-ply laminated plates with structural anisotropy. *Composite Structures*, 202, 530-538.

- Muc, A., Kędziora, P. and Stawiarski, A. 2019. Buckling enhancement of laminated composite structures partially covered by piezoelectric actuators. *European Journal of Mechanics - A/Solids*, 73, 112-125.
- Nejad, M. Z., Rastgoo, A. and Hadi, A. 2014. Effect of exponentially-varying properties on displacements and stresses in pressurized functionally graded thick spherical shells with using iterative technique. *Journal of Solid Mechanics*, 6:4, 366-377.
- Nguyen-Quang, K., Vo-Duy, T., Dang-Trung, H. and Nguyen-Thoi, T. 2018. An isogeometric approach for dynamic response of laminated FG-CNT reinforced composite plates integrated with piezoelectric layers. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 332, 25-46.
- Noor, A. K. 1975. Stability of multilayered composite plates. *Fibre Science and Technology*, 8:2, 81-89.
- Ootao, Y. and Tanigawa, Y. 2001. Control of the transient thermoelastic displacement of a functionally graded rectangular plate bonded to a piezoelectric plate due to nonuniform heating. *Acta Mechanica*, 148:1-4, 17-33.
- Ootao, Y. and Tanigawa, Y. 2007. Three-dimensional solution for transient thermal stresses of an orthotropic functionally graded rectangular plate. *Composite Structures*, 80:1, 10-20.
- Patel, S. N. and Sheikh, A. H. 2016. Buckling response of laminated composite stiffened plates subjected to partial in-plane edge loading. *International Journal for Computational Methods in Engineering Science and Mechanics*, 17:5-6, 322-338.
- Phan, N. and Reddy, J. 1985. Analysis of laminated composite plates using a higher-order shear deformation theory. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 21:12, 2201-2219.
- Quintana, M. V. and Raffo, J. L. 2019. A variational approach to vibrations of laminated composite plates with a line hinge. *European Journal of Mechanics - A/Solids*, 73, 11-21.
- Rasheed, H. A., Al-Masri, R. and Alali, B. 2017. Closed form stability solution of simply supported anisotropic laminated composite plates under axial compression compared with experiments. *Engineering Structures*, 151, 327-336.
- Reddy, J. and Phan, N. 1985. Stability and vibration of isotropic, orthotropic and laminated plates according to a higher-order shear deformation theory. *Journal of Sound and Vibration*, 98:2, 157-170.
- Reddy, J. N. 1984. A simple higher-order theory for laminated composite plates. *Journal of Applied Mechanics*, 51:4, 745-752.
- Reddy, J. N. 2004. *Mechanics of laminated composite plates and shells: theory and analysis*. CRC press, Boca Raton.
- Reddy, J. N. and Chin, C. D. 1998. Thermomechanical analysis of functionally graded cylinders and plates. *Journal of Thermal Stresses*, 21:6, 593-626.

- Reissner, E. 1974. On Transverse Bending of Plates, Including The Effect of Transverse Shear Deformation. *International Journal of Solids and Structures*, 11, 569-573.
- Rezvani, S. S. and Kiasat, M. S. 2018. Analytical and experimental investigation on the free vibration of a floating composite sandwich plate having viscoelastic core. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 18:4, 1241-1258.
- Sahu, P. 2014. Buckling analysis of laminated composite plates. Bachelor of Technology in Mechanical Engineering, National Institute of Technology Rourkela Department of Mechanical Engineering Odisha, India. (110ME0327).
- Samukham, S., Raju, G. and Vyasarayani, C. P. 2017. Parametric instabilities of variable angle tow composite laminate under axial compression. *Composite Structures*, 166, 229-238.
- Sayyad, A. S. and Ghugal, Y. M. 2016. On the free vibration of angle-ply laminated composite and soft core sandwich plates. *Journal of Sandwich Structures & Materials*, 19:6, 679-711.
- Shahbazzabar, A. and Rahbar-Ranji, A. 2018. Free Vibration Analysis of Symmetrically Laminated Composite Plates on Elastic Foundation and Coupled with Stationary Fluid. *China Ocean Engineering*, 32:3, 266-277.
- Shen, H.-S., Xiang, Y. and Lin, F. 2017a. Nonlinear vibration of functionally graded graphene-reinforced composite laminated plates in thermal environments. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 319, 175-193.
- Shen, H.-S., Xiang, Y. and Lin, F. 2017b. Thermal buckling and postbuckling of functionally graded graphene-reinforced composite laminated plates resting on elastic foundations. *Thin-walled Structures*, 118, 229-237.
- Shen, H.-S., Xiang, Y., Lin, F. and Hui, D. 2017c. Buckling and postbuckling of functionally graded graphene-reinforced composite laminated plates in thermal environments. *Composites Part B: Engineering*, 119, 67-78.
- Shen, H. S. 2016. *Functionally graded materials: nonlinear analysis of plates and shells*. CRC press,
- Shi, P., Dong, C., Sun, F., Liu, W. and Hu, Q. 2018. A new higher order shear deformation theory for static, vibration and buckling responses of laminated plates with the isogeometric analysis. *Composite Structures*, 204, 342-358.
- Sofiyev, A. H., Omurtag, M. H. and Schnack, E. 2009. The vibration and stability of orthotropic conical shells with non-homogeneous material properties under a hydrostatic pressure. *Journal of Sound and Vibration*, 319:3, 963-983.
- Sofiyev, A. H. and Pancar, E. B. 2017. The effect of heterogeneity on the parametric instability of axially excited orthotropic conical shells. *Thin-walled Structures*, 115, 240-246.
- Soldatos, K. 1992. A transverse shear deformation theory for homogeneous monoclinic plates. *Acta Mechanica*, 94:3-4, 195-220.

- Sugano, Y., Kanno, T. and Chiba, R. 2002. Stochastic thermal deformation and thermal stress in a laminated plate including FGM layer under random surface temperatures. *Trans Jpn Soc Mech Eng. A*, 68, 1588-1593.
- Sugano, Y., Sato, K., Kimura, N. and Sumi, N. 1996. Three-dimensional analysis of transient thermal stresses in a nonhomogeneous plate. *Trans Jpn Soc Mech Eng*, 62, 728-736.
- Tanigawa, Y. 1995. One-dimensional transient heat conduction and associated thermal stress problems of a plate with nonhomogeneous material properties. *Trans. Jpn. Soc. Mech. Eng.*, 61:584, 607.
- Tanigawa, Y., Akai, T., Kawamura, R. and Oka, N. 1996a. Transient thermal stress analysis of a nonhomogeneous plate taking into account the relative heat transfer at boundary surfaces. *Trans. Jpn. Soc. Mech. Eng*, 62, 131-137.
- Tanigawa, Y., Matsumoto, M. and Akai, T. 1996b. Optimization problem of material composition for nonhomogeneous plate to minimize thermal stress. *Trans of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series A*, 62:593, 115-122.
- Tanzadeh, H. and Amoushahi, H. 2019. Buckling and free vibration analysis of piezoelectric laminated composite plates using various plate deformation theories. *European Journal of Mechanics - A/Solids*, 74, 242-256.
- Teter, A. and Kolakowski, Z. 2017. Influence of mechanical couplings on the buckling behaviour of thin-walled plates made of general laminates under compression. *Composite Structures*, 166, 68-76.
- Thai, H.-T. and Choi, D.-H. 2013a. A simple first-order shear deformation theory for laminated composite plates. *Composite Structures*, 106, 754-763.
- Thai, H.-T. and Choi, D.-H. 2013b. A simple first-order shear deformation theory for the bending and free vibration analysis of functionally graded plates. *Composite Structures*, 101, 332-340.
- Tian, X., Yao, D. and Li, Q. 2018. Thermal buckling response and fracture analysis for delaminated fiber reinforced composite plates under thermo-mechanical coupling. *Journal of Composite Materials*, 52:27, 3715-3730.
- Topal, U., Nazarimofrad, E. Vand Kholerdi, S. E. S. 2018a. Shear buckling analysis of cross-ply laminated plates resting on Pasternak foundation. *Structural Engineering and Mechanics*, 68:3, 369-375.
- Topal, U., Vo-Duy, T., Dede, T. and Nazarimofrad, E. 2018b. Buckling load optimization of laminated plates resting on Pasternak foundation using TLBO. *Structural Engineering and Mechanics*, 67:6, 617-628.
- Touratier, M. 1991. An efficient standard plate theory. *International Journal of Engineering Science*, 29:8, 901-916.
- Tran, L. V. and Kim, S.-E. 2018. Static and free vibration analyses of multilayered plates by a higher-order shear and normal deformation theory and isogeometric analysis. *Thin-walled Structures*, 130, 622-640.

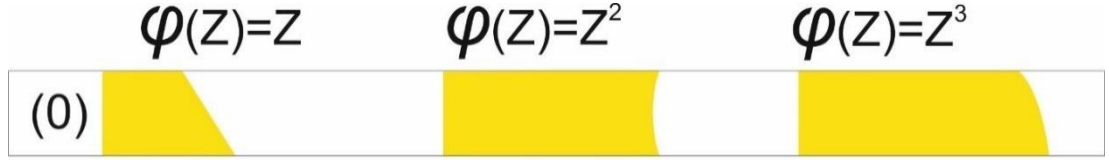
- Turan, F., Başoğlu, M. F. and Zerin, Z. 2017. Analytical solution for bending and buckling response of laminated non-homogeneous plates using a simplified-higher order theory. *Challenge Journal of Structural Mechanics*, 3:1, 1-16.
- Vescovini, R., D'Ottavio, M., Dozio, L. and Polit, O. 2017. Thermal buckling response of laminated and sandwich plates using refined 2-D models. *Composite Structures*, 176, 313-328.
- Xing, Y. and Xiang, W. 2017. Analytical solution methods for eigenbuckling of symmetric cross-ply composite laminates. *Chinese Journal of Aeronautics*, 30:1, 282-291.
- Yang, W. and He, D. 2018. Bending, free vibration and buckling analyses of anisotropic layered micro-plates based on a new size-dependent model. *Composite Structures*, 189, 137-147.
- Zamani, H. A., Aghdam, M. M. and Sadighi, M. 2017. Free vibration analysis of thick viscoelastic composite plates on visco-Pasternak foundation using higher-order theory. *Composite Structures*, 182, 25-35.
- Zenkour, A. M. and Radwan, A. F. 2016. Free vibration analysis of multilayered composite and soft core sandwich plates resting on Winkler–Pasternak foundations. *Journal of Sandwich Structures & Materials*, 20:2, 169-190.
- Zerin, Z., Basoglu, M. F. and Turan, F. 2017. Curvilinear free-edge form effect on stability of perforated laminated composite plates. *Structural Engineering and Mechanics*, 61:2, 255-266.
- Zhang, H., Shi, D. and Wang, Q. 2017. An improved Fourier series solution for free vibration analysis of the moderately thick laminated composite rectangular plate with non-uniform boundary conditions. *International Journal of Mechanical Sciences*, 121, 1-20.
- Zhang, Y. F., Zhang, W. and Yao, Z. G. 2018. Analysis on nonlinear vibrations near internal resonances of a composite laminated piezoelectric rectangular plate. *Engineering Structures*, 173, 89-106.

EKLER

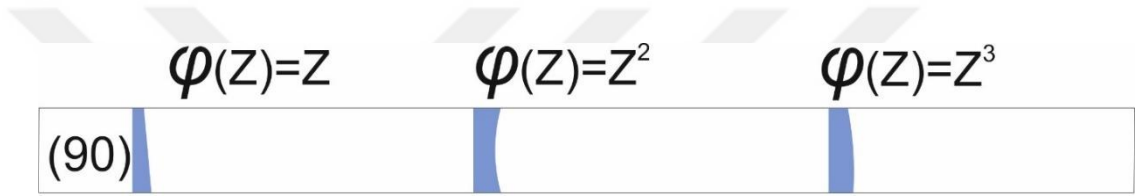
EK A. Farklı tabaka düzenleri için Elastisite ve Kayma modüllerinin kalınlık doğrultusunda doğrusal, kuadratik ve kübik değişimlerine ait profiller



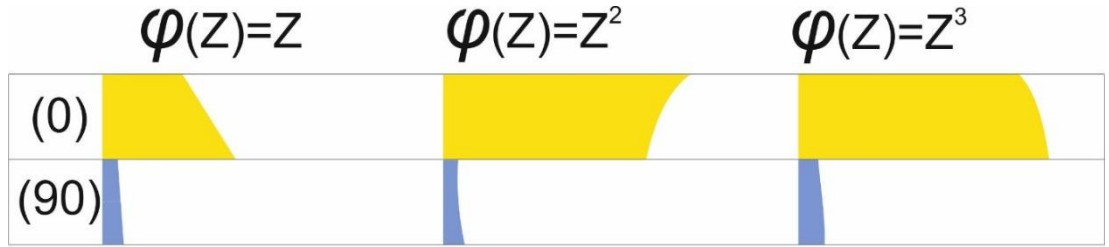
EK A. FARKLI TABAKA DÜZENLERİ İÇİN ELASTİSİTE VE KAYMA MODÜLLERİNİN KALINLIK DOĞRULTUSUNDA DOĞRUSAL, KUADRATİK VE KÜBİK DEĞİŞİMLERİNE AİT PROFİLLER



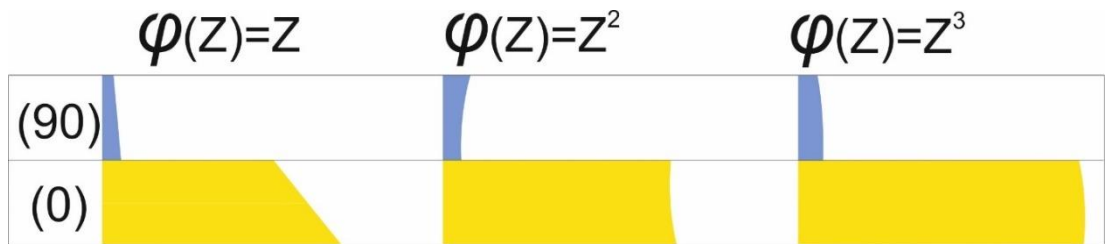
Şekil A.1. Tek tabakalı (0) plaklarda Elastisite ve Kayma modüllerinin kalınlık doğrultusunda değişimi



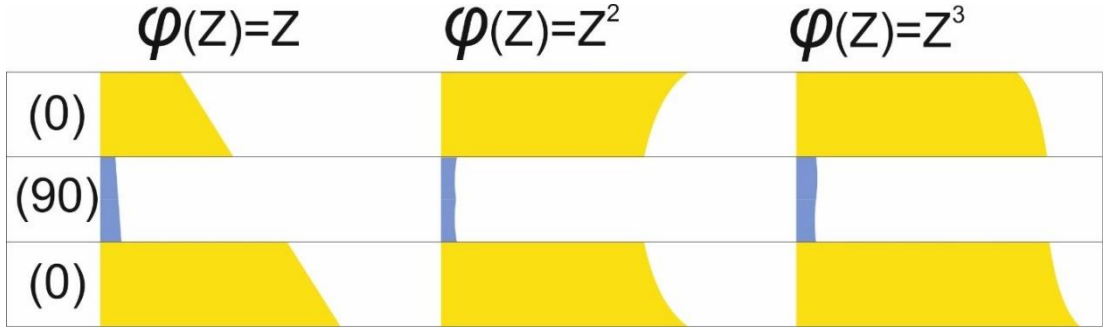
Şekil A.2. Tek tabakalı (90) plaklarda Elastisite ve Kayma modüllerinin kalınlık doğrultusunda değişimi



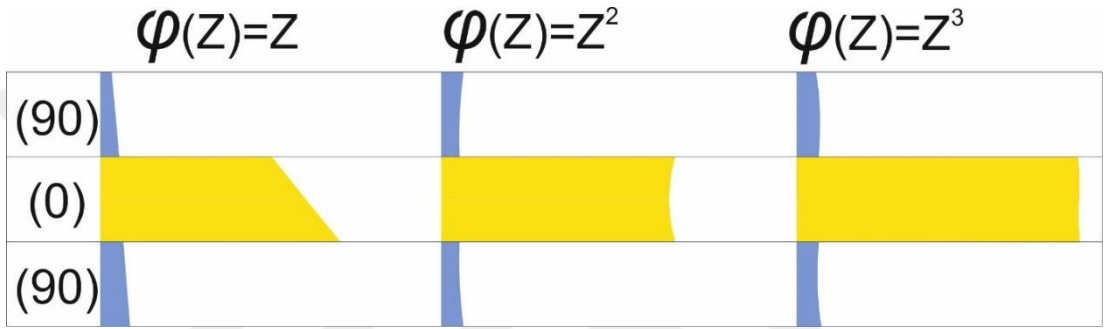
Şekil A.3. İki tabakalı (0/90) tabaka düzenli plaklarda Elastisite ve Kayma modüllerinin kalınlık doğrultusunda değişimi



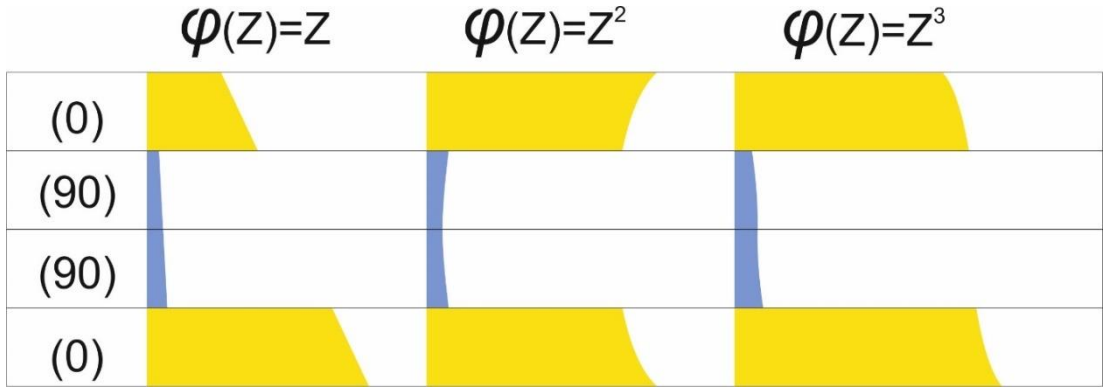
Şekil A.4. İki tabakalı (90/0) tabaka düzenli plaklarda Elastisite ve Kayma modüllerinin kalınlık doğrultusunda değişimi



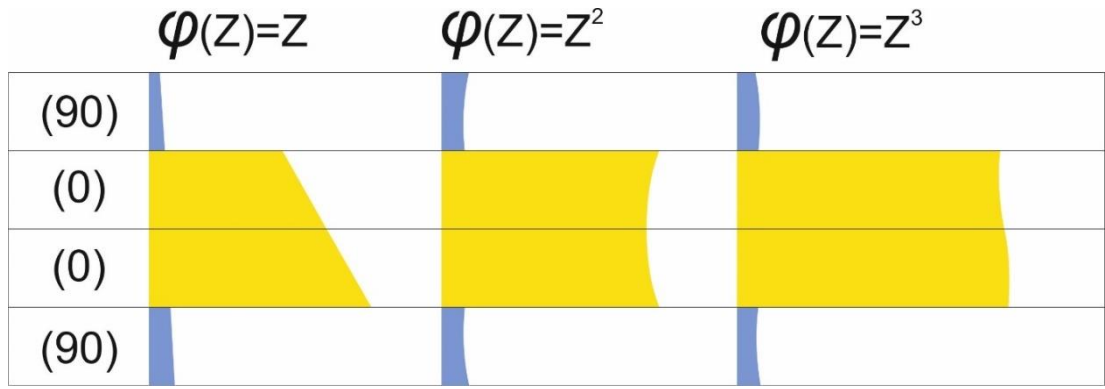
Şekil A.5. Üç tabakalı (0/90/0) tabaka düzenli plaklarda Elastisite ve Kayma modüllerinin kalınlık doğrultusunda değişimi



Şekil A.6. Üç tabakalı (90/0/90) tabaka düzenli plaklarda Elastisite ve Kayma modüllerinin kalınlık doğrultusunda değişimi



Şekil A.7. Dört tabakalı (0/90/90/0) tabaka düzenli plaklarda Elastisite ve Kayma modüllerinin kalınlık doğrultusunda değişimi



Şekil A.8. Dört tabakalı (90/0/0/90) tabaka düzenli plaklarda Elastisite ve Kayma modüllerinin kalınlık doğrultusunda değişimi



ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Özge ATASOY

Doğum Yeri : Elbistan

Doğum Tarihi : 22.05.1995

Eğitim Durumu

Lise : Elbistan Anadolu Lisesi (2012)

Lisans : Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü (2016)

Yüksek Lisans : Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı (Eylül 2016 – Temmuz 2016)

Çalıştığı Kurumlar

- IC Holding 3.Köprü Projesi I. Staj (2014)
- Dia Holding Bilkent Entegre Sağlık Kampüsü II. Staj (2015)
- Samsun İlk Yapı Denetim Ltd. Şti. (2016-2018)
- Samsun Ata Yapı Denetim Ltd Şti. (2018)

Yayınlar

- Atasoy, Ö., **Turan, F.**, Zerin, Z., & Basoglu, M.F. (2019). Buckling analysis of non-homogeneous orthotropic plates based on shear deformation theory. Presented at the 4th international conference on civil and environmental geology and mining engineering.