

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**LİNEER OLMAYAN ELASTİK ZEMİN ÜZERİNDE BULUNAN ÇOK
TABAKALI HETEROJEN KOMPOZİT SİLİNDİRİK KABUKLARIN LİNEER
OLMAYAN TİTREŞİM DAVRANIŞLARININ ANALİZİ**

DOKTORA TEZİ

Tarkan VERGÜL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

ŞUBAT 2026

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**LİNEER OLMAYAN ELASTİK ZEMİN ÜZERİNDE BULUNAN ÇOK
TABAKALI HETEROJEN KOMPOZİT SİLİNDİRİK KABUKLARIN LİNEER
OLMAYAN TİTREŞİM DAVRANIŞLARININ ANALİZİ**

DOKTORA TEZİ

**Tarkan VERGÜL
(501192033)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fethi KADIOĞLU

Eş Danışman: Prof. Dr. Abdullah AVEY

ŞUBAT 2026

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**ANALYSIS OF NONLINEAR VIBRATION BEHAVIOR OF MULTI-LAYERED
HETEROGENEOUS COMPOSITE CYLINDRICAL SHELLS ON NONLINEAR
ELASTIC FOUNDATION**

Ph.D. THESIS

**Tarkan VERGÜL
(501192033)**

Department of Civil Engineering

Structure Engineering Programme

Thesis Advisor: Prof. Dr. Fethi KADIOĞLU

Thesis Co-Advisor: Prof. Dr. Abdullah AVEY

FEBRUARY 2026

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 501192033 numaralı Doktora Öğrencisi Tarkan VERGÜL, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "LİNEER OLMAYAN ELASTİK ZEMİN ÜZERİNDE BULUNAN ÇOK TABAKALI HETEROJEN KOMPOZİT SİLİNDİRİK KABUKLARIN LİNEER OLMAYAN TİTREŞİM DAVRANIŞLARININ ANALİZİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Fethi KADIOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Eş Danışman : **Prof. Dr. Abdullah AVEY**
İstanbul Ticaret Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Reha ARTAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Zihni ZERİN
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Prof. Dr. Abdullah GEDİKLİ
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Zafer KÜTÜĞ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Hale ERGÜN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 30 Aralık 2025
Savunma Tarihi : 04 Şubat 2026





Aileme,



ÖNSÖZ

Uzun ve yoğun bir çalışma sürecinin sonucu olan bu doktora tezine, çeşitli aşamalarda çok kıymetli görüş, eleştiri ve katkılarıyla çalışmanın ilerlemesi ve olgunlaşmasına imkân tanıyan tüm değerli hocalarıma teşekkür etmeyi akademik bir sorumluluk olarak görmekteyim.

Bu tez çalışmasının planlanması, yürütülmesi ve sonuçlandırılması sürecinde yol göstericiliği, akademik deneyimi ve titiz yaklaşımıyla önemli katkılar sunan danışmanım Sayın Prof. Dr. Fethi KADIOĞLU'na en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasının kapsamlı ve derinlikli bir yapıya sahip olması; kavramsallaştırma, metodoloji, tasarım, yazılım, doğrulama ve biçimsel analiz aşamalarının çağdaş mekaniğin gereklerini karşılayacak düzeyde ele alınabilmesi, eş danışmanım Sayın Prof. Dr. Abdullah AVEY'in sağladığı önemli bilimsel katkılar sayesinde mümkün olmuştur ve ona en içten teşekkürlerimi ifade ederim.

Akademik tartışmalarda sağladıkları görüş ve önerileriyle çalışma süreçlerinin iyileştirilmesine katkıda bulunan kıymetli tez izleme üyeleri Sayın Prof. Dr. Reha ARTAN, Sayın Prof. Dr. Zihni ZERİN ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Hale ERGÜN'e teşekkürlerimi sunarım. Sağladıkları yapıcı geri bildirimler, araştırmanın çeşitli boyutlarının daha tutarlı ve bilimsel bir çizgiye gelmesini sağlamıştır.

Doktora eğitimim boyunca akademik yönlendirmeleri ile düşünsel ve kuramsal bakış açımın gelişmesine katkı sunan başta Sayın Prof. Dr. İbrahim BAZ, Sayın Prof. Dr. Muammer KALYON, Sayın Prof. Dr. İsmail EKMEKÇİ, Sayın Prof. Dr. Hamit Haluk SELİM, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Yalçın EYİĞÜN ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ufuk ŞANVER olmak üzere tüm hocalarıma ve çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim. Bu süreçte edindiğim bilgi ve birikim, çalışmanın bilimsel çerçevesini oluşturan önemli bir temel sağlamıştır.

Son olarak, akademik çalışmaların kaçınılmaz olarak gerektirdiği yoğun emek, zaman sınırlılıkları ve disiplinli çalışma düzeni boyunca göstermiş oldukları anlayış ve sabır için aileme içten teşekkürlerimi sunarım. Bu sürecin gerekliliklerine duydukları saygı ve verdikleri manevi destek, tez çalışmasının istikrarlı ve sağlıklı bir biçimde tamamlanmasında önemli bir katkı sağlamıştır.

Şubat 2026

Tarkan VERGÜL
(İnşaat Yüksek Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Literatür Araştırması	3
1.3 Hipotez	16
2. PROBLEMİN FORMÜLASYONU	19
2.1 Çok Tabakalı Heterojen Ortotropik Silindirik Kabukların ve Malzeme Özelliklerinin Matematiksel ve Görsel Modellenmesi	19
2.2 Elastik Zemin Modelleri	24
2.3 Kabuk-Zemin Etkileşiminin Modellenmesi	26
3. MATERYAL METOT	31
3.1 Kayma Deformasyon Teorisi Kapsamında Çok Tabakalı Heterojen Ortotropik Silindirik Kabukların Lineer Olmayan Temel Bağlantıların Oluşturulması	31
3.2 Çok Tabakalı Heterojen Ortotropik Silindirik Kabukların Kuvvet ve Moment Bileşenlerinin Oluşturulması	35
3.3 Kayma Deformasyon Teorisinde Lineer Olmayan Elastik Zemin Üzerinde Bulunan Çok Tabakalı Heterojen Ortotropik Silindirik Kabukların Lineer Olmayan Temel Denklemlerinin Türetilmesi	40
4. ÇÖZÜM PROSEDÜRÜ	43
4.1 Lineer Olmayan Kısmi Türevli Diferansiyel Denklemlerin Lineer Adı Diferansiyel Denklemlere Dönüştürülmesi	43
4.2 Lineer Olmayan Zemin Üzerinde Bulunan Heterojen Ortotropik Silindirik Kabukların Lineer Olmayan Frekans İfadelerinin Genliğe Bağlı İfadesinin KDT'ye Bağlı Bulunması	50
5. NÜMERİK ANALİZ VE TARTIŞMALAR	55
5.1 Karşılaştırma Örnekleri	55
5.2 Özgün Analizler	59
5.2.1 HTO_i -lin için BLOFP analizleri	60
5.2.2 HTO_i -kuad için BLOFP analizleri	78
5.2.3 HTO_i -lin için LOFOP analizleri	110
5.2.4 HTO_i -kuad için LOFOP analizleri	127
5.2.5 Silindirik kabuk boyut parametrelerinin karşılaştırmalı analizleri	149
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	171

KAYNAKLAR.....	177
ÖZGEÇMİŞ.....	187



KISALTMALAR

BLOFP	: Boyutsuz Lineer Olmayan Frekans Parametresi
ÇTHOSK	: Çok Tabakalı Heterojen Ortotropik Silindirik Kabuklar
FDM	: Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzeme
HOM	: Homojen
HTO	: Heterojen
<i>HTO₁</i>	: Young modüllerinin değiştiği ve yoğunluğun sabit kaldığı heterojen ortotropik malzeme
<i>HTO₂</i>	: Young modüllerinin ve yoğunluğun değiştiği heterojen ortotropik malzeme
<i>HTO₃</i>	: Young modüllerinin negatif katsayıyla değiştiği ve yoğunluğun sabit kaldığı heterojen ortotropik malzeme
<i>HTO₄</i>	: Young modüllerinin ve yoğunluğun negatif katsayıyla değiştiği heterojen ortotropik malzeme
<i>HTO_i-lin</i>	: Heterojenliği tanımlayan fonksiyonun lineer olduğu heterojen ortotropik malzemeler
<i>HTO_i-kuad</i>	: Heterojenliği tanımlayan fonksiyonun ikinci derece olduğu heterojen ortotropik malzemeler
KDT	: Kayma Deformasyon Teorisi
KLT	: Klasik Kabuk Teorisi
Lin-Pasternak	: Lineer Pasternak Zemini
Lin-Winkler	: Lineer Winkler Zemini
LOFOP	: Lineer Olmayan Frekans Oranı Parametresi
LO-Pasternak	: Lineer Olmayan Pasternak Zemini
LO-Winkler	: Lineer Olmayan Winkler Zemini



SEMBOLLER

u_z	: Orta yüzeye normal olan yer değiştirme
$\sigma_{xz}^{(k)}, \sigma_{yz}^{(k)}$	: Kayma gerilmeleri
$\epsilon_x^0, \epsilon_y^0$	: Lineer olmayan deformasyon bileşenleri
$\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$	: Normal deformasyon bileşenleri
$\epsilon_{xz}, \epsilon_{yz}$	: Kayma deformasyon bileşenleri
$\psi_i(x, y, t)$	: Keyfi aranan fonksiyonlar
k	: Tabaka sayısı
w	: Yer değiştirme
$\phi_1^{(k)}, \phi_2^{(k)}$	: Kayma gerilmelerinin değişimini karakterize eden fonksiyonlar
N	: Toplam tabaka sayısı
L	: Silindirik kabuğun uzunluğu
h	: Silindirik kabuğun toplam kalınlığı
R	: Silindirik kabuğun yarıçapı
$\bar{h}$	: Tabaka kalınlığı
$\bar{z}$	: Boyutsuz kalınlık koordinatı ($\bar{z} = z / h$)
$\bar{x}$	: Boyutsuz uzunluk koordinatı ($\bar{x} = x / L$)
$E_{011}^{(k)}, E_{022}^{(k)}$	: Homojen ortotropik malzemelerin Young modülleri
$E_{11}^{(k)}, E_{22}^{(k)}$	: Heterojen ortotropik malzemelerin Young modülleri
$G_{012}^{(k)}, G_{013}^{(k)}, G_{023}^{(k)}$	: Homojen ortotropik malzemelerin kayma modülleri
$G_{12}^{(k)}, G_{13}^{(k)}, G_{23}^{(k)}$	: Heterojen ortotropik malzemelerin kayma modülleri
$\rho_0^{(k)}$	: Homojen ortotropik malzemelerin yoğunluğu
$\rho^{(k)}$	: Heterojen ortotropik malzemelerin yoğunluğu
$\eta_i^{(k)}$	: Kuvvet fonksiyonu şeklinde ifade edilen sürekli fonksiyon
$\mu_1^{(k)}$	: Young ve kayma modüllerinin değişim katsayısı
$\mu_2^{(k)}$	: Yoğunluk değişim katsayısı

P_1	: Lineer Winkler zemininin tepki kuvveti
K_L	: Lineer Winkler zemininin rijitlik katsayısı
P_2	: Lineer olmayan Winkler zemininin tepki kuvveti
K_{LO}	: Yayların lineer olmayan davranışını karakterize eden rijitlik katsayısı
P_3	: Lineer Pasternak elastik zemininin tepki kuvveti
K_P	: Kayma tabakasının rijitlik katsayısı
P_4	: Lineer olmayan Pasternak elastik zemininin tepki kuvveti
$\gamma_{xy}, \gamma_{xz}, \gamma_{yz}$	: Kayma deformasyon bileşenleri
$Y_{ij}^{(k)}$	: k 'nci tabakadaki elastik özellikler
$\nu_{12}^{(k)}, \nu_{21}^{(k)}$	: Poisson oranları
u_x, u_y, u_z	: Yer değiştirme bileşenleri
γ_{xy}^0	: Referans yüzeydeki lineer olmayan kayma deformasyonu
T_x, T_y	: Normal kuvvet bileşenleri
T_{xy}	: Burulma kuvveti
Q_x, Q_y	: Enine kesme kuvvetleri
M_x, M_y	: x ve y eksenlerine göre eğilme momentleri
$M_{xy}=M_{yx}$	: Burulma momenti
Φ	: Airy gerilme fonksiyonu
t	: Zaman
$\bar{\rho}$	: Normal atalet momentinin katsayısı
ρ_i	: Dönel atalet momentinin katsayısı
m	: Ana doğrultudaki yarım dalga sayısı
n	: Dairesel doğrultudaki dalga sayısı
A	: Boyutsal olmayan genlik
w_{max}	: w yer değiştirmesinin maksimum değeri
Ω	: Silindirik kabuğun serbest titreşim frekansı
Ω_1	: Silindirik kabuğun serbest titreşim frekans parametresi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1 : Elastik zemine sahip olmayan tek tabakalı homojen ortotropik silindirik kabukların boyutsal olmayan lineer frekans parametre değerlerinin Prado ve diğ. (2010) sonuçlarıyla karşılaştırılması.	56
Çizelge 5.2 : Elastik zemin etkisi dikkate alınmadığında, bir tabakalı homojen ortotropik silindirik kabuk için lineer olmayan frekansın lineer frekansa oranının kıyaslanması.	57
Çizelge 5.3 : Homojen ortotropik plakların kayma deformasyon teorisine dayalı boyutsal olmayan lineer frekans parametre değerlerinin Thai ve Kim (2012) çalışması ile mukayesesi.	58
Çizelge 5.4 : Pasternak elastik zemini üzerindeki izotropik kare elastik plakların KDT'ye dayalı boyutsal olmayan frekans parametresinin Zhou ve diğ. (2004) ve Wang ve diğ. (2016) çalışmaları ile kıyaslanması.	59
Çizelge 5.5 : (0°) diziliimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-lin</i> malzemelerden oluşan bir tabakalı silindirik kabuğun BLOFP değerlerinin <i>A</i> boyutsuz genliğine bağlı çizelgesi.	61
Çizelge 5.6 : (0°/90°) diziliimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-lin</i> malzemelerden oluşan iki tabakalı silindirik kabuğun BLOFP değerlerinin <i>A</i> boyutsuz genliğine bağlı çizelgesi.	63
Çizelge 5.7 : (0°/90°/0°) diziliimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-lin</i> malzemelerden oluşan üç tabakalı silindirik kabuğun BLOFP değerlerinin <i>A</i> boyutsuz genliğine bağlı çizelgesi.	66
Çizelge 5.8 : (90°/0°/90°) diziliimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-lin</i> malzemelerden oluşan üç tabakalı silindirik kabuğun BLOFP değerlerinin <i>A</i> boyutsuz genliğine bağlı çizelgesi.	70
Çizelge 5.9 : (0°/90°/90°/0°) diziliimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-lin</i> malzemelerden oluşan dört tabakalı silindirik kabuğun BLOFP değerlerinin <i>A</i> boyutsuz genliğine bağlı çizelgesi.	73
Çizelge 5.10 : (90°/0°/0°/90°) diziliimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-lin</i> malzemelerden oluşan dört tabakalı silindirik kabuğun BLOFP değerlerinin <i>A</i> boyutsuz genliğine bağlı çizelgesi.	76
Çizelge 5.11 : (0°) diziliimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-lin</i> malzemelerden oluşan bir tabakalı silindirik kabuğun LOFOP değerlerinin <i>A</i> boyutsuz genliğine bağlı çizelgesi.	111
Çizelge 5.12 : (0°/90°) diziliimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-lin</i> malzemelerden oluşan iki tabakalı silindirik kabuğun LOFOP değerlerinin <i>A</i> boyutsuz genliğine bağlı çizelgesi.	113
Çizelge 5.13 : (0°/90°/0°) diziliimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-lin</i> malzemelerden oluşan üç tabakalı silindirik kabuğun LOFOP değerlerinin <i>A</i> boyutsuz genliğine bağlı çizelgesi.	116

Çizelge 5.14 : $(90^\circ/0^\circ/90^\circ)$ dizilimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-lin</i> malzemelerden oluşan üç tabakalı silindirik kabuğun LOFOP değerlerinin <i>A</i> boyutsuz genliğine bağlı çizelgesi.....	119
Çizelge 5.15 : $(0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ)$ dizilimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-lin</i> malzemelerden oluşan dört tabakalı silindirik kabuğun LOFOP değerlerinin <i>A</i> boyutsuz genliğine bağlı çizelgesi.....	122
Çizelge 5.16 : $(90^\circ/0^\circ/0^\circ/90^\circ)$ dizilimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-lin</i> malzemelerden oluşan dört tabakalı silindirik kabuğun LOFOP değerlerinin <i>A</i> boyutsuz genliğine bağlı çizelgesi.....	125



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : (a) N tabakalı ortotropik silindirik kabuğun geometrisi ve (b) en kesiti. .	19
Şekil 2.2 : Bir tabakalı ve çok tabakalı silindirik kabukların en kesitleri ve tabaka dizilişleri.	20
Şekil 2.3 : $\mu_1^{(k)} = +1$ için k 'nci tabakanın (a) Young modülü ve (b) kayma modülünün boyutsuz kalınlık koordinatına bağlı lineer dağılımı.	22
Şekil 2.4 : $\mu_1^{(k)} = -1$ için k 'nci tabakanın (a) Young modülü ve (b) kayma modülünün boyutsuz kalınlık koordinatına bağlı lineer dağılımı.	22
Şekil 2.5 : $\mu_1^{(k)} = +1$ için k 'nci tabakanın (a) Young modülü ve (b) kayma modülünün boyutsuz kalınlık koordinatına bağlı kuadratik dağılımı...	23
Şekil 2.6 : $\mu_1^{(k)} = -1$ için k 'nci tabakanın (a) Young modülü ve (b) kayma modülünün boyutsuz kalınlık koordinatına bağlı kuadratik dağılımı...	23
Şekil 2.7 : Lineer Winkler elastik zemin modeli.	24
Şekil 2.8 : Lineer olmayan Winkler elastik zemin modeli.	25
Şekil 2.9 : Paralel yaylar ve onları birleştiren kayma tabakası şeklinde modellenmiş lineer Pasternak zemin modeli.	25
Şekil 2.10 : Lineer olmayan Pasternak elastik zemin modeli.	26
Şekil 2.11 : Bir tabakalı heterojen ortotropik silindirik kabuğun lineer Winkler elastik zemini üzerindeki görseli.	26
Şekil 2.12 : Lineer Winkler elastik zemini üzerindeki ÇTHOSK görseli.	27
Şekil 2.13 : Bir tabakalı heterojen ortotropik silindirik kabuğun lineer olmayan Winkler elastik zemini üzerindeki görseli.	27
Şekil 2.14 : Lineer olmayan Winkler elastik zemini üzerindeki ÇTHOSK görseli...	28
Şekil 2.15 : Bir tabakalı heterojen ortotropik silindirik kabuğun lineer Pasternak elastik zemini üzerindeki görseli.	28
Şekil 2.16 : Lineer Pasternak elastik zemini üzerindeki ÇTHOSK görseli.	29
Şekil 2.17 : Bir tabakalı heterojen ortotropik silindirik kabuğun lineer olmayan Pasternak elastik zemini üzerindeki görseli.	29
Şekil 2.18 : Lineer olmayan Pasternak elastik zemini üzerindeki ÇTHOSK görseli.	30
Şekil 3.1 : ÇTHOSK'lerin (a) kuvvet ve (b) moment bileşenleri.	37
Şekil 5.1 : (0°) dizilimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre zeminsiz ve lineer zeminlerdeki BLOFP değerleri.	79
Şekil 5.2 : (0°) dizilimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre zeminsiz ve lineer zeminlerdeki BLOFP değerleri.	80
Şekil 5.3 : (0°) dizilimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre lineer olmayan zeminlerdeki BLOFP değerleri.	81
Şekil 5.4 : (0°) dizilimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre lineer olmayan zeminlerdeki BLOFP değerleri.	82

Şekil 5.5 : ($0^\circ/90^\circ$) diziliimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre zeminsiz ve lineer zeminlerdeki BLOFP değerleri.	84
Şekil 5.6 : ($0^\circ/90^\circ$) diziliimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre zeminsiz ve lineer zeminlerdeki BLOFP değerleri.	85
Şekil 5.7 : ($0^\circ/90^\circ$) diziliimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre lineer olmayan zeminlerdeki BLOFP değerleri.	86
Şekil 5.8 : ($0^\circ/90^\circ$) diziliimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre lineer olmayan zeminlerdeki BLOFP değerleri.	87
Şekil 5.9 : ($0^\circ/90^\circ/0^\circ$) diziliimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre zeminsiz ve lineer zeminlerdeki BLOFP değerleri.	89
Şekil 5.10 : ($0^\circ/90^\circ/0^\circ$) diziliimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre zeminsiz ve lineer zeminlerdeki BLOFP değerleri.	90
Şekil 5.11 : ($0^\circ/90^\circ/0^\circ$) diziliimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre lineer olmayan zeminlerdeki BLOFP değerleri.	91
Şekil 5.12 : ($0^\circ/90^\circ/0^\circ$) diziliimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre lineer olmayan zeminlerdeki BLOFP değerleri.	92
Şekil 5.13 : ($90^\circ/0^\circ/90^\circ$) diziliimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre zeminsiz ve lineer zeminlerdeki BLOFP değerleri.	95
Şekil 5.14 : ($90^\circ/0^\circ/90^\circ$) diziliimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre zeminsiz ve lineer zeminlerdeki BLOFP değerleri.	96
Şekil 5.15 : ($90^\circ/0^\circ/90^\circ$) diziliimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre lineer olmayan zeminlerdeki BLOFP değerleri.	97
Şekil 5.16 : ($90^\circ/0^\circ/90^\circ$) diziliimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre lineer olmayan zeminlerdeki BLOFP değerleri.	98
Şekil 5.17 : ($0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ$) diziliimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre zeminsiz ve lineer zeminlerdeki BLOFP değerleri.	100
Şekil 5.18 : ($0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ$) diziliimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre zeminsiz ve lineer zeminlerdeki BLOFP değerleri.	101
Şekil 5.19 : ($0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ$) diziliimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre lineer olmayan zeminlerdeki BLOFP değerleri.	103
Şekil 5.20 : ($0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ$) diziliimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre lineer olmayan zeminlerdeki BLOFP değerleri.	104

Şekil 5.21 : $(90^\circ/0^\circ/0^\circ/90^\circ)$ dizilimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre zeminsiz ve lineer zeminlerdeki BLOFP değerleri.	106
Şekil 5.22 : $(90^\circ/0^\circ/0^\circ/90^\circ)$ dizilimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre zeminsiz ve lineer zeminlerdeki BLOFP değerleri.	107
Şekil 5.23 : $(90^\circ/0^\circ/0^\circ/90^\circ)$ dizilimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre lineer olmayan zeminlerdeki BLOFP değerleri.	108
Şekil 5.24 : $(90^\circ/0^\circ/0^\circ/90^\circ)$ dizilimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre lineer olmayan zeminlerdeki BLOFP değerleri.	109
Şekil 5.25 : (0°) dizilimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre LOFOP değerleri.	128
Şekil 5.26 : (0°) dizilimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre LOFOP değerleri.	129
Şekil 5.27 : $(0^\circ/90^\circ)$ dizilimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre LOFOP değerleri.	131
Şekil 5.28 : $(0^\circ/90^\circ)$ dizilimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre LOFOP değerleri.	132
Şekil 5.29 : $(0^\circ/90^\circ/0^\circ)$ dizilimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre LOFOP değerleri.	135
Şekil 5.30 : $(0^\circ/90^\circ/0^\circ)$ dizilimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre LOFOP değerleri.	136
Şekil 5.31 : $(90^\circ/0^\circ/90^\circ)$ dizilimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre LOFOP değerleri.	139
Şekil 5.32 : $(90^\circ/0^\circ/90^\circ)$ dizilimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre LOFOP değerleri.	140
Şekil 5.33 : $(0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ)$ dizilimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre LOFOP değerleri.	142
Şekil 5.34 : $(0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ)$ dizilimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre LOFOP değerleri.	143
Şekil 5.35 : $(90^\circ/0^\circ/0^\circ/90^\circ)$ dizilimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre LOFOP değerleri.	146
Şekil 5.36 : $(90^\circ/0^\circ/0^\circ/90^\circ)$ dizilimli, <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre LOFOP değerleri.	147
Şekil 5.37 : Zeminsiz ortamdaki <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-lin</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin <i>L / R</i> değişimine bağlı BLOFP değerleri.	150
Şekil 5.38 : LO-Winkler zeminindeki <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-lin</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin <i>L / R</i> değişimine bağlı BLOFP değerleri.	151
Şekil 5.39 : LO-Pasternak zeminindeki <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-lin</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin <i>L / R</i> değişimine bağlı BLOFP değerleri.	151
Şekil 5.40 : Zeminsiz ortamdaki <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin <i>L / R</i> değişimine bağlı BLOFP değerleri.	152
Şekil 5.41 : LO-Winkler zeminindeki <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin <i>L / R</i> değişimine bağlı BLOFP değerleri.	153
Şekil 5.42 : LO-Pasternak zeminindeki <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-kuad</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin <i>L / R</i> değişimine bağlı BLOFP değerleri.	154
Şekil 5.43 : Zeminsiz ortamdaki <i>HOM</i> ve <i>HTO_i-lin</i> malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin <i>L / R</i> değişimine bağlı LOFOP değerleri.	155

Şekil 5.44 : LO-Winkler zeminindeki HOM ve HTO_i -lin malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin L / R değişimine bağlı LOFOP değerleri.	156
Şekil 5.45 : LO-Pasternak zeminindeki HOM ve HTO_i -lin malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin L / R değişimine bağlı LOFOP değerleri.	157
Şekil 5.46 : Zeminsiz ortamdaki HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin L / R değişimine bağlı LOFOP değerleri.	157
Şekil 5.47 : LO-Winkler zeminindeki HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin L / R değişimine bağlı LOFOP değerleri.	158
Şekil 5.48 : LO-Pasternak zeminindeki HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin L / R değişimine bağlı LOFOP değerleri.	159
Şekil 5.49 : Zeminsiz ortamdaki HOM ve HTO_i -lin malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin R / h değişimine bağlı BLOFP değerleri.	160
Şekil 5.50 : LO-Winkler zeminindeki HOM ve HTO_i -lin malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin R / h değişimine bağlı BLOFP değerleri.	161
Şekil 5.51 : LO-Pasternak zeminindeki HOM ve HTO_i -lin malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin R / h değişimine bağlı BLOFP değerleri.	162
Şekil 5.52 : Zeminsiz ortamdaki HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin R / h değişimine bağlı BLOFP değerleri.	162
Şekil 5.53 : LO-Winkler zeminindeki HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin R / h değişimine bağlı BLOFP değerleri.	164
Şekil 5.54 : LO-Pasternak zeminindeki HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin R / h değişimine bağlı BLOFP değerleri.	164
Şekil 5.55 : Zeminsiz ortamdaki HOM ve HTO_i -lin malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin R / h değişimine bağlı LOFOP değerleri.	165
Şekil 5.56 : LO-Winkler zeminindeki HOM ve HTO_i -lin malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin R / h değişimine bağlı LOFOP değerleri.	166
Şekil 5.57 : LO-Pasternak zeminindeki HOM ve HTO_i -lin malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin R / h değişimine bağlı LOFOP değerleri.	167
Şekil 5.58 : Zeminsiz ortamdaki HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin R / h değişimine bağlı LOFOP değerleri.	168
Şekil 5.59 : LO-Winkler zeminindeki HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin R / h değişimine bağlı LOFOP değerleri.	169
Şekil 5.60 : LO-Pasternak zeminindeki HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin R / h değişimine bağlı LOFOP değerleri.	169

LİNEER OLMAYAN ELASTİK ZEMİN ÜZERİNDE BULUNAN ÇOK TABAKALI HETEROJEN KOMPOZİT SİLİNDİRİK KABUKLARIN LİNEER OLMAYAN TİTREŞİM DAVRANIŞLARININ ANALİZİ

ÖZET

Tez çalışmasında, lineer olmayan elastik zemin üzerindeki heterojen tabakalardan oluşan çok tabakalı heterojen ortotropik silindirik kabukların (ÇTHOSK) lineer olmayan titreşimi genişletilmiş kayma deformasyon teorisi kullanılarak araştırılmıştır. ÇTHOSK'lerin matematiksel ve görsel modelleri oluşturulduktan sonra lineer olmayan elastik zemin modelleri üzerindeki tasarımları yapılmıştır. ÇTHOSK'leri oluşturan tabakalar arasındaki değme koşulu rijit bağlanma koşulu olup tüm silindirik kabuk için yer değiştirmelerin aynı olmasını ve tabakaların birbirine basıncının göz ardı edilmesini sağlamaktadır. Bu hipotez kabuk teorilerinde kabul edilen hipotezlerin tüm kabuk için sağlanması anlamına gelmektedir. Ayrıca, tabakalı silindirik kabuk deformasyona maruz kaldığında tabakaların kaymadığı, birbirinden kopmadığı ve deformasyon sonrası elastikliklerini koruduğu varsayılmaktadır. Temel bağıntıları oluşturmak için homojen anizotropik silindirik kabuklar teorisinin oluşumunda kullanılan temel varsayımlar çok tabakalı heterojen anizotropik elastik silindirik kabuklar için genelleştirilmiştir. Temel bağıntıların oluşturulmasında genişletilmiş kayma deformasyon teorisi, von Kármán tipi lineer olmama ve Donnell tipi kabuk teorisi kullanılmıştır. ÇTHOSK'lerin gerilme–yer değiştirme bağıntıları Hooke kuralı kapsamında formüle edilmiştir. Modifiye edilmiş Donnell tipi kabuk teorisi kapsamında, genişletilmiş kayma deformasyon teorisi varsayımları dikkate alınarak, ÇTHOSK'lerin kuvvet ve moment bileşenleri Airy gerilme fonksiyonu, dönme açıları ve çökme ile ifade edilmiştir. Kuvvet ve moment bağıntıları, genel temel denklemlere ikame edilerek genişletilmiş kayma deformasyon teorisi kapsamında, lineer olmayan elastik zemin üzerinde bulunan ÇTHOSK'ler için dört adet kısmi türevli diferansiyel denklem elde edilmiştir. Temel denklemler sistemine Galerkin yöntemi uygulanmış ve ikinci mertebeden zamana bağlı lineer olmayan adi diferansiyel denkleme dönüştürülmüştür. Elde edilen denklemi belirli başlangıç koşullarında çözmek için yarı-ters yöntem uygulanmış ve lineer olmayan elastik zemin üzerinde bulunan ÇTHOSK'lerin frekans-genlik bağıntısı için bulunan analitik ifade elde edilmiştir. Bu ifadeden, zemin etkisi olmadığında çok tabakalı homojen ve heterojen ortotropik silindirik kabukların frekans-genlik bağıntısı için ifadeler özel olarak elde edilmiştir. Mevcut çalışmanın doğruluğu, literatürde mevcut olan diğer çözümlerle karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Ayrıca, lineer olmayan elastik zemin, kayma deformasyon fonksiyonları, heterojen ortotropik profiller, tabaka sayısı, tabaka dizilişi ve kabuk özelliklerinin lineer olmayan frekans parametresine etkilerini incelemek için bazı yeni sonuçlar sunulmuştur. Sayısal hesaplar bilgisayar yazılım programı kullanılarak yapılmıştır.



ANALYSIS OF NONLINEAR VIBRATION BEHAVIOR OF MULTI-LAYERED HETEROGENEOUS COMPOSITE CYLINDRICAL SHELLS ON NONLINEAR ELASTIC FOUNDATION

SUMMARY

In the present dissertation, the nonlinear vibration behavior of multilayered heterogeneous orthotropic cylindrical shells resting on a nonlinear elastic foundation is investigated within the framework of an extended shear deformation theory.

The orthotropic material properties within the layers are assumed to vary continuously through the thickness, enabling an accurate representation of material heterogeneity. Accordingly, the Young's moduli, shear moduli, and mass density of the materials in the layers are defined as continuous functions of the dimensionless thickness coordinate ($\bar{z}$) and can be expressed in the following general form:

$$\begin{aligned} E_{11}^{(k)}(\bar{z}) &= \eta_1^{(k)}(\bar{z}) E_{011}^{(k)}, \quad E_{22}^{(k)}(\bar{z}) = \eta_1^{(k)}(\bar{z}) E_{022}^{(k)}, \quad G_{12}^{(k)}(\bar{z}) = \eta_1^{(k)}(\bar{z}) G_{012}^{(k)}, \\ G_{13}^{(k)}(\bar{z}) &= \eta_1^{(k)}(\bar{z}) G_{013}^{(k)}, \quad G_{23}^{(k)}(\bar{z}) = \eta_1^{(k)}(\bar{z}) G_{023}^{(k)}, \quad \rho^{(k)}(\bar{z}) = \eta_2^{(k)}(\bar{z}) \rho_0^{(k)}, \quad k = 1, 2, \dots, N \end{aligned}$$

where $E_{011}^{(k)}$, $E_{022}^{(k)}$, and $E_{11}^{(k)}(\bar{z})$, $E_{22}^{(k)}(\bar{z})$ denote the Young's moduli of the homogeneous and heterogeneous orthotropic materials constituting the k -th layer, respectively. Similarly, $G_{012}^{(k)}$, $G_{013}^{(k)}$, $G_{023}^{(k)}$, and $G_{12}^{(k)}(\bar{z})$, $G_{13}^{(k)}(\bar{z})$, $G_{23}^{(k)}(\bar{z})$ represent the shear moduli of homogeneous and heterogeneous orthotropic materials, respectively. Furthermore, $\rho_0^{(k)}$ and $\rho^{(k)}(\bar{z})$ denote the mass densities of the homogeneous and heterogeneous orthotropic materials forming the layers.

The thickness-wise material variation function $\eta_i^{(k)}(\bar{z})$ ($i=1,2$) is assumed to be a general continuous function and is represented in power-law form as

$$\eta_i^{(k)}(\bar{z}) = 1 + \mu_i^{(k)} \bar{z}^q, \quad (i=1,2)$$

where $q=1,2,3,\dots$ is the material gradient exponent and is taken as a positive integer.

The parameters $\mu_1^{(k)}$ and $\mu_2^{(k)}$ are the variation coefficients of the Young's/shear moduli and density, respectively, for the orthotropic materials within the layers, with $(\mu_1^{(k)}, \mu_2^{(k)}) \in [-1,1]$ in the reference configuration.

After constructing the mathematical and visual models of the multilayer heterogeneous orthotropic cylindrical shells, their configurations on nonlinear elastic foundation models are established.

The nonlinear Winkler–Pasternak type elastic foundation employed in this study simultaneously accounts for the local spring reaction and the shear interaction within the foundation through nonlinear stiffness terms. Compared to linear foundation models, this generalized nonlinear formulation captures amplitude-dependent stiffness variation and large displacement effects more realistically.

Consequently, it enables accurate prediction of the frequency–amplitude relationship, physically consistent modeling of soil–structure interaction, and more reliable determination of nonlinear frequency parameters.

The interlayer continuity condition is assumed to be perfectly bonded (rigid contact), implying identical displacements across the entire shell thickness and neglecting interlayer separation or slip. Furthermore, it is assumed that the layers neither slide nor delaminate under deformation and that elastic behavior is preserved throughout the loading process.

The fundamental assumptions used in the theory of homogeneous anisotropic cylindrical shells are generalized to multi-layer heterogeneous anisotropic elastic cylindrical shells.

The governing field equations are derived using von Kármán-type geometric nonlinearity, which accounts for moderate rotations and large deflections, together with Donnell-type shell kinematics. The formulation is established within a shear deformation theory framework, thereby extending beyond the classical thin shell assumption and incorporating transverse shear deformation effects.

This theoretical structure enables nonlinear representation of membrane–bending–shear coupling in moderately thick cylindrical shells, resulting in a more realistic and physically consistent dynamic model.

The stress–displacement relations of the multilayer heterogeneous orthotropic cylindrical shells are formulated based on Hooke’s law. Within the modified Donnell-type shell theory and the assumptions of extended shear deformation theory, the force and moment resultants are expressed in terms of the Airy stress function, rotations, and transverse displacement.

Substitution of these relations into the general equilibrium equations yields a system of four coupled nonlinear partial differential equations for multilayer heterogeneous orthotropic cylindrical shells resting on a nonlinear elastic foundation.

The Galerkin method is applied to the system of partial differential equations, reducing it to a second-order nonlinear ordinary differential equation in time. To obtain the analytical frequency–amplitude relation under specified initial conditions, the semi-inverse method is employed.

The principal advantage of the semi-inverse method lies in its ability to generate compact analytical expressions with low computational cost, while clearly revealing parameter effects even in strongly nonlinear systems. In the absence of foundation effects, special cases corresponding to homogeneous and heterogeneous multilayer orthotropic cylindrical shells are also derived.

The validity of the present formulation is verified through comparisons with existing solutions available in literature. Furthermore, new numerical results are presented to examine the influence of nonlinear elastic foundation parameters, shear deformation functions, heterogeneous orthotropic material profiles, number of layers, stacking sequence, and geometric shell parameters on the nonlinear frequency parameter. Numerical computations are performed using a dedicated computational program.

Comprehensive analyses demonstrate that the nonlinear frequency behavior of multilayer cylindrical shells cannot be evaluated solely based on material properties, but must be considered in conjunction with geometric ratios, foundation conditions, and heterogeneity profiles.

The results reveal that in long and slender multilayer shells, the effects of heterogeneity and stacking sequence become secondary, whereas in short and moderately thick shells, these parameters emerge as critical design variables.

One of the most significant contributions of this study is the quantitative identification of geometric regimes in which different heterogeneity profiles become either influential or negligible, thereby preventing unnecessary complexity in material design.

From an engineering perspective, the theoretical findings provide predictive capability for safe frequency ranges in soil-interactive cylindrical systems such as pipelines, pressure vessels, marine structures, and aerospace components, thereby reducing operational risks and maintenance costs.

Academically, the dissertation clarifies the applicability limits of classical shell theory and shear deformation theory in the context of heterogeneity and geometry, contributing methodological and conceptual advancements to literature.

Finally, the results offer a comprehensive design guideline for the development of intelligent, lightweight, and structurally reliable cylindrical shell systems through optimal selection of material gradation, stacking sequence, and geometric parameters.



1. GİRİŞ

Çok tabakalı heterojen ortotropik silindirik kabuklar (ÇTHOSK), yüksek rijitlik/ağırlık oranı, üstün mukavemet özellikleri ve yapısal dayanıklılık açısından sundukları avantajlar nedeniyle sivil altyapı sistemlerinden, uzay-havacılık ve denizcilik mühendisliğine kadar pek çok mühendislik alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür yapıların özellikle farklı çevresel ve sınır koşulları altında maruz kaldığı dinamik yüklemeler karşısındaki davranışlarının anlaşılması, güvenli ve optimize edilmiş tasarımlar geliştirmek için kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, ÇTHOSK'lerin lineer olmayan titreşim özelliklerinin hassas şekilde belirlenmesi, yapısal analiz çalışmalarının temel bir bileşenini oluşturmaktadır.

Günümüzde ileri malzeme teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde hem mekanik hem de termal olarak farklı özellikler gösterebilen heterojen ortotropik malzemelerin üretimi mümkün hale gelmiş ve bu malzemelerden imal edilen yapısal elemanların uygulama alanları önemli ölçüde genişlemiştir. Ancak bu gelişmelerin beraberinde getirdiği karmaşık malzeme davranışları, analitik ve sayısal modelleme süreçlerinde yeni zorlukları beraberinde getirmiştir. Özellikle malzeme anizotropisi, tabaka sayısındaki artış ve tabaka dizilişindeki varyasyonlar, silindirik kabukların mekanik tepkisini önemli ölçüde etkilemekte ve tek tabakalı izotropik kabuk modelleri ile yapılan analizler yetersiz kalmaktadır.

Buna ek olarak, yapısal elemanların bulunduğu elastik ortamın etkisi ve tabakaları oluşturan ortotropik malzemelerin sürekli olarak değişken özelliklere sahip olması, sistemin titreşim tepkisini daha da karmaşık hale getirmektedir. Özellikle diğer yapısal elemanlara kıyasla silindirik kabuklar, temel taşıyıcı sistem elemanı olarak kullanıldığından dolayı zeminle olan etkileşimleri çoğu durumda kaçınılmaz olmaktadır. Yapı mühendisliğinde elastik zemin üzerinde bulunan silindirik kabuklar oldukça yaygın şekilde kullanılmakta olup bu tür yapıların zeminle olan etkileşimini tanımlamak için çeşitli zemin modelleri geliştirilmiştir (Pasternak, 1954; Vlasov ve Leontiev, 1960; Gorbunov-Possadov ve diğ, 1984). Bu modeller arasında, lineer olmayan davranışları da kapsayabilen gelişmiş zemin modelleri, fiziksel gerçekliğe en

yakın temsili sağlayabilmektedir. Bu çalışma kapsamında da lineer olmayan bir zemin modeli dikkate alınmaktadır. Heterojen ortotropik malzemelerden oluşan ÇTHOSK'ler ile lineer olmayan elastik zemin arasındaki etkileşim dikkate alındığında, lineer olmayan titreşim probleminin matematiksel formülasyonu ve ilgili temel kısmi türevli diferansiyel denklemlerin türetilmesi oldukça karmaşık hale gelmektedir. Bu tez çalışması, tabakalarda heterojen ortotropik malzeme kullanımını, lineer olmayan ve fiziksel olarak daha gerçekçi bir zemin modelinin entegrasyonunu ve ÇTHOSK'lerin lineer olmayan titreşim karakteristiklerinin bütüncül bir yaklaşımla ele alınmasını dikkate alarak inşa edilmiştir. Dolayısıyla, bu tez çalışmasında heterojen ortotropik malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin lineer olmayan titreşim davranışının incelenmesi hem teorik hem de uygulamalı mühendislik açısından güncel ve önemli bir araştırma konusunu teşkil etmektedir.

1.1 Tezin Amacı

Günümüzde, heterojen ortotropik malzemelerin üretiminin kolaylığı değişik ortamlarda kullanılan ÇTHOSK'lerin farklı zemin türleri ile etkileşimini kolaylaştırmıştır. ÇTHOSK'lerin lineer olmayan titreşim problemlerinin formülasyonunda çok sayıda faktörün etkili olması, heterojenliğin, ortotropinin, geometrik lineer olmamanın, tabaka sayısı ve dizilişinin, enine kayma deformasyonlarının ve zemin etkilerinin bir arada dikkate alınmasını zorunlu kılmaktadır. Yapay olarak oluşturulmuş heterojen malzemelere ek olarak, üretim teknikleri ve çevredeki fiziksel alanlarla etkileşimler (örneğin; radyasyona, ısıya, neme, sömürücü etkilere vb. maruz kalma) malzemeyi heterojen hale getirir ve malzemenin fiziksel özellikleri noktadan noktaya sürekli olarak değişebilir.

Heterojen malzemeler, doğal olduğu gibi yapay olarak da oluşturulabilir. Malzeme yapısının homojenliği, üretim teknikleri, radyasyon ve nem etkisi, termik ve yüzeysel cilalamalar vb. etkenler sonucu bozulabilir ve malzeme heterojen malzemeye dönüşebilir. Ayrıca, yapısal eleman çok yüksek ısı etkisi altında ise onun belirli bir kısmının homojenliği de bozulabilir (Pan, 2003; Sofiyev ve Schnack, 2003; Ootao ve Tanigawa, 2007). Bunların yanı sıra, yeni teknolojik fırınlarda değişik yöntemlerle heterojen ortotropik malzemelerin bir alt grubunu oluşturan fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler (FDM) de üretilebilmektedir (Kieback ve diğ, 2003; Shen, 2009).

Tez çalışmasında, modifiye edilmiş Donnell tipi kabuk teorisi kapsamında lineer olmayan elastik zemin üzerindeki ÇTHOSK'lerin lineer olmayan titreşimi, genişletilmiş kayma deformasyon teorisi kullanılarak araştırılmıştır. Lineer olmayan elastik zemin üzerinde bulunan ÇTHOSK'lerin geometrik lineer olmayan denklemlerinin türetilmesi için von Kármán tipi geometrik lineer olmama kullanılmıştır. Türetilen kısmi türevli diferansiyel denklemler, basit mesnetli sınır koşulları altında Galerkin yöntemi uygulanarak lineer olmayan adi diferansiyel denkleme dönüştürülmüştür. Lineer olmayan elastik zemin üzerinde bulunan ÇTHOSK'lerin frekans-genlik bağıntısı, belirli başlangıç koşulları için yarı ters yöntem kullanılarak elde edilmiştir. Mevcut çalışmanın doğruluğu, literatürde mevcut olan diğer çözümlerle karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Ayrıca, lineer olmayan elastik zemin, kayma deformasyon fonksiyonları, heterojen ortotropik profiller, tabaka sayısı, tabaka dizilişi ve kabuk özelliklerinin lineer olmayan frekans parametresine etkilerini incelemek için bazı yeni sonuçlar sunulmuştur. Sayısal hesaplar bilgisayar yazılım programı kullanılarak yapılmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Günümüzde, modern teknolojinin çeşitli anizotropi ve heterojenliğe sahip yeni malzemeler oluşturma olanaklarının artması nedeniyle, kompozit malzemelerin mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılması mümkün olmuştur. Son zamanlarda, homojen olmayan anizotropik yapıların titreşim ve kararlılık problemlerinin çözümüne yönelik yeni yöntemlerin geliştirilmesi, uygulama alanlarının genişlemesine bağlı olarak büyük ölçüde artmıştır. Heterojen anizotropik yapı elemanlarının davranışını incelemek araştırmacılar için malzemelerin gerçek özelliklerini hesaba katan birçok önemli pratik problemi ortaya çıkarmaktadır. Materyallerin heterojenliği ve anizotropisinin, yapısal elemanların çeşitli problemlerinde matematiksel anlamda dikkate alınması önemli zorluklara yol açabileceği gibi yeni niteliksel ve niceliksel etkiler de vermektedir. Homojen olmayan cisimler mekaniğinin gelişimine önemli katkı sağlayan bazı çalışmaları vurgulamak gerekir. Olszak (1959) tarafından düzenlenen çalışmada, elastisite ve plastik davranışlarda malzeme homojensizliğinin teorik ve uygulamalı etkileri disiplinler arası bir yaklaşımla ele alınmıştır. Lomakin (1976), homojen olmayan cisimlerin elastisite teorisini sistematik olarak ele alarak değişken malzeme özelliklerine sahip

ortamların mekanik davranışlarını tanımlayan yönetici denklemleri ve çözüm yaklaşımlarını detaylı şekilde sunmuştur. Kolchin ve Favarion (1977), homojen olmayan cisimlerin elastisite teorisini geliştirerek malzeme özelliklerindeki mekânsal değişimlerin gerilme-gerinim dağılımları üzerindeki etkilerini incelemek için matematiksel modeller oluşturarak çözüm yöntemleri önermişlerdir. Grigorenko ve diğ. (1991) kitabında, heterojen cisimler için elastisite teorisi problemlerini ele alarak heterojen malzeme özelliklerinin oluşturduğu karmaşık gerilme-gerinim problemlerini teorik ve analitik yöntemlerle incelemiştir. Nesterenko (2001), heterojen malzemelerin dinamik davranışlarını deneysel ve teorik yaklaşımlarla inceleyerek darbe yükleri altındaki mekanik tepkileri kapsamlı bir şekilde analiz etmiştir. Torquato (2002), rastgele heterojen malzemelerin mikro yapısını ve bu yapının makroskobik mekanik, ısı ve fiziksel özellikler üzerindeki etkilerini istatistiksel ve matematiksel modeller oluşturarak incelemiş ve çok ölçekli malzeme davranışlarına dair kapsamlı bir kuramsal bakış açısı sunmuştur. Kieback ve diğ. (2003) tarafından yayımlanan bu makalede, FDM üretim yöntemleri, mikro yapısal özellikleri ve uygulama alanları kapsamlı şekilde ele alınmış ve toz metalürjisi temelli üretim tekniklerinin FDM üretimindeki etkinliği ve bu malzemelerin termomekanik performansı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Yukarıda bahsedilen teorilere dayanarak homojen olmayan anizotropik malzemelerin özelliklerini modellemek için çeşitli yaklaşımlar önerilmiş ve farklı homojen olmama fonksiyonları seçilerek bazı ortotropik yapısal elemanların davranışına heterojenlik ve ortotropinin etkileri incelenmiştir. Pan (2003), elastik özellikleri üstel fonksiyon şeklinde değişen anizotropik kompozit lamine yapıların gerilme-gerinim durumları için analitik çözümler elde ederek malzeme gradasyonunun mekanik davranış üzerindeki etkilerini yüksek doğrulukla değerlendirmiştir. Sofiyev ve Schnack (2003) çalışmasında, homojen olmayan ortotropik kompozitlerin farklı bir matematiksel modelini kullanarak dinamik dış basınca maruz kalan homojen olmayan ortotropik konik kabukların burkulma davranışını inceleyerek malzeme heterojenliğinin ve laminasyon diziliminin kritik burkulma basıncı üzerindeki etkilerini teorik ve sayısal yöntemlerle analiz etmiştir. Ootao ve Tanigawa (2007), ortotropik FDM dikdörtgen plakların geçici termal gerilmeleri için üç boyutlu analitik çözümler elde ederek sıcaklık dağılımının zamanla değişiminin ve malzeme gradasyonunun termomekanik gerilmeler üzerindeki etkilerini detaylı şekilde analiz etmiştir. Awrejcewicz ve Krysko

(2008), homojen olmayan malzemeden oluşan kabuklar teorisi geliştirmiş, malzeme özelliklerindeki değışimlerin yapısal kararlılık ve dinamik davranış üzerindeki etkilerini inceleyerek lineer olmama, kaotik salınımlar ve yapısal düzensizlikler dikkate alınarak kapsamlı teorik sonuçlar elde etmiştir. Sofiyev ve diğ. (2009), homojen olmayan malzeme özelliklerine sahip ortotropik konik kabukların titreşim ve stabilite davranışlarını hidrostatik basınç altında inceleyerek malzeme heterojenliğinin doğal frekanslar ve kritik basınç değerleri üzerindeki etkilerini teorik ve sayısal yöntemlerle incelemiştir. Bu çalışmalardan farklı olarak Shen (2009), yapay olarak üretilebilen izotropik FDM'lerden oluşan plak ve kabukların lineer olmayan davranışlarını inceleyerek malzeme gradasyonunun lineer ve lineer olmayan stabilite, titreşim ve termomekanik etkiler üzerindeki belirgin rolünü teorik ve nümerik analizlerle kapsamlı şekilde ortaya koymuştur. Bu monografilerde homojen olmayan elastisite teorisi üzerine yapılan çalışmaların kapsamlı bir incelemesi verilmiştir ve bu çalışmalar çok detaylı bibliyografya içermektedir.

Silindirik kabuklar; uçak ve roketler, gemi yapımı, inşaat, enerji ve diğ. alanlar dahil olmak üzere çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır ve kullanım sırasında dinamik yüklere maruz kalmaktadır. Bu tür elemanlar genellikle sonlu deformasyonlarda çalıştığından, lineer olmayan titreşim davranışlarının incelenmesi uzun bir geçmişe sahiptir ve ona olan ilgi hiçbir zaman kaybolmamıştır. 2018'den önce gerçekleştirilen değışik teoriler kapsamında homojen kabuk tipi yapıların lineer ve lineer olmayan titreşimlerinin teorik, sayısal ve deneysel çalışmalarının kapsamlı bir bibliyografyası temel kitaplarda yer almaktadır. Bu kitaplar içinde, Vol'mir (1972), lineer olmayan plak ve kabuk teorilerini kapsamlı şekilde ele aldığı bu eserinde, büyük yer değıştirmeler, geometrik lineer olmayanlıklar ve karmaşık yükleme koşulları altında yapıların dinamik davranışlarını analitik ve kuramsal yöntemlerle incelemiştir. Leissa (1973) kitabında, kabuk yapıların titreşim davranışlarını sistematik olarak ele alarak, çeşitli geometri ve sınır koşullarındaki kabuk sistemlerinin doğal frekanslarını ve titreşim modlarını kapsamlı teorik ve deneysel verilerle inceleyerek bu alanda temel bir başvuru kaynağı sunmuştur. Agamirov (1990), lineer olmayan kabuk teorisinin dinamik problemlerini ele alarak büyük yer değıştirme ve karmaşık yükleme koşulları altında kabuk yapıların davranışlarını matematiksel modeller ve analitik yöntemlerle detaylı biçimde incelemiştir. Amabili (2008), lineer olmayan titreşimler ve kabuk ile plakların stabilite analizlerini kapsamlı bir şekilde ele alarak farklı sınır koşulları ve

malzeme türleri altında yapısal davranışları hem teorik hem de deneysel yaklaşımlarla incelemiştir. Amabili (2018) ise kompozit, yumuşak ve biyolojik malzemelerden oluşan kabuk ve plakların lineer olmayan mekanik davranışlarını derinlemesine analiz ederek özellikle biyomekanik uygulamalar ve modern kompozit sistemler için geniş kapsamlı bir kuramsal temel sunmuştur. Eslami (2018) kitabı, çubuk, plak ve kabuk yapılar üzerindeki burkulma ve burkulma sonrasındaki lineer olmayan stabilite analizlerini içermektedir.

Kompozit çok tabakalı kabuklar, temel yapısal bileşenlerden biridir ve genellikle savunma sanayii, havacılık, turbo makine ve gemi inşa sanayileri gibi çeşitli mühendislik uygulamalarında kullanılır. Çok tabakalı kabukların geniş uygulama yelpazesi, araştırmacıları uzun yıllar boyunca farklı malzemelerden yapılmış ve çeşitli dinamik yüklere maruz kalan bu tür kabukların performansını incelemeye yöneltmiştir. Çok tabakalı kabuklarda, kendi kalınlıklarıyla ölçülebilen sapmaların oluşumu, lineer olmayan kabuk teorilerinin kullanılmasını gerektirir. Bunun yanı sıra klasik kabuk teorisi (KLT), ince homojen izotropik yapı elemanları için makul sonuçlar vermesine rağmen, nispeten kalın kompozit kabukların titreşim problemlerinde yeterince gerçekçi sonuçlar vermediği ortaya çıkmıştır. Bu faktör, araştırmacıları titreşim problemlerinde nispeten kalın yapı elemanları için klasik kabuk teorisi yerine kayma deformasyon teorilerini (KDT) kullanmaya sevk etmiştir. Klasik kabuk teorisindeki varsayımlara ek olarak, enine kayma deformasyonlarının etkisi dikkate alınarak çeşitli KDT'ler geliştirilmiştir.

Bu bağlamdaki temel çalışmalar, kompozit kabukların lineer ve lineer olmayan mekaniğini hem teorik hem de deneysel olarak ele alarak alana yön vermiştir. Bunlar içinde, Ambartsumyan (1974) kitabında, anizotropik kabuk yapıların genel teorisini geliştirerek malzeme yönelimlerinin ve elastik özelliklerin kabuk davranışına etkilerini kapsamlı diferansiyel denklemlerle incelemiş, özellikle mühendislik uygulamalarında karşılaşılan kompleks kabuk sistemlerinin analizine teorik bir temel sunmuştur. Reddy (2004) kitabında, lamine kompozit plak ve kabuk yapıların mekanik davranışlarını klasik, birinci mertebe ve yüksek mertebe kayma deformasyon teorileri kapsamında detaylı bir şekilde incelemiş, lineer ve lineer olmayan analizler için teorik temeller ile birlikte sayısal çözüm yöntemleri sunarak kompozit yapıların mühendislik analizine yönelik önemli bir kaynak oluşturmuştur. Qatu (2004) kitabında, lamine kabuk ve plakların serbest, zorlanmış ve sönümlü titreşim davranışlarını kapsamlı

biçimde ele alarak çeşitli geometri, sınır koşulları ve laminasyon dizilimleri altında titreşim analizi için teorik modeller ve sayısal çözümler sunmuştur. Bu kitaplar, kompozit yapıların statik ve dinamik analizleri alanında temel başvuru kaynaklarından biridir. Shen (2009) eserinde, FDM'lerden oluşturulan plak ve kabukların termomekanik yüklemeler altında geometrik lineer olmayan davranışlarını sistematik ve kapsamlı bir şekilde sunmuştur.

KDT'ler kapsamında, silindirik kabuk şekilli bir ve çok tabakalı yapı elemanlarının temel diferansiyel denklemlerinin türetilmesi ve çözümü önemli ölçüde karmaşık hale gelmesine rağmen, daha gerçekçi sonuçlar verdiği için geleneksel ve yeni nesil çok tabakalı kompozit yapı elemanlarının titreşim problemlerinin çözümüne yönelik çalışmalar daha çok bu teoriler kapsamındadır. KDT kapsamında, çok tabakalı kabukların geometrik olarak lineer olmayan dinamik davranışı üzerine çalışmalar 1960'ların başlarında ortaya çıkmaya başlamıştır. Çok tabakalı ortotropik kabuklar ile ilgili yukarıda adı geçen temel kaynaklarda çeşitli teori ve yöntemler kullanılarak homojen plak ve kabukların statik ve dinamik problemlerinin çözümü sunulmaktadır.

Birçok pratik uygulamada, çok tabakalı ve kompozit silindirik kabuklar, toprak veya diğer katılarla temas halinde olur. Bu tür durumlar, silindirik dökme katı depolama silolarında, yer üstü ve yer altı sıvı depolama tanklarında, yeraltı boru hatlarında ve katı yakıtlarla dolu balistik füzelerde ortaya çıkar. Kompozit silindirik kabukların titreşim davranışı üzerinde önemli ve beklenmedik etkilere sahip olabilen birçok faktör arasında (heterojenlik, lineer olmama, çok tabakalılık, başlangıç kusurları vb.) elastik zemin etkileri önemli yer almaktadır. Bu nedenle, elastik zemin üzerine oturan homojen ve heterojen kompozit silindirik kabukların lineer olmayan titreşim davranışını anlamaya ihtiyaç duyulmuştur. Bu kapsamda geliştirilen Winkler, Pasternak ve elastik yarı-uzay gibi modeller, farklı zemin-yapı etkileşimlerini tanımlamak üzere kullanılmıştır. Pasternak (1954), iki parametrelili model önerisiyle zemin kayma etkilerini de hesaba katarak daha gerçekçi bir yaklaşım sunarken, Vlasov ve Leontiev (1960) doğal zemin davranışını daha hassas biçimde temsil eden ancak hesaplamaları zorlaştıran yarı-sonsuz uzay modeline odaklanmıştır. Gorbunov-Possadov ve arkadaşları (1984) ise Sovyet mühendislik pratiğinde kullanılan yöntemleri sistematikleştirerek elastik zeminler üzerindeki yapıların tasarımında analitik çözümler sunmuştur. Bu çalışmalar, elastik zeminli kabuk yapıların titreşim ve stabilite analizine yönelik çağdaş modelleme yaklaşımlarının temelinin

oluşturmaktadır. Bu zemin türleri üzerinde bulunan homojen ve heterojen kabukların davranışını araştırmak için çeşitli yöntemler ve teoriler kullanılmaktadır. Yapı elemanının oturduğu elastik zeminler için bir ve iki parametrelili modeller tanıtılmıştır. Pasternak modeli veya iki parametrelili zemin modeli, elastik zeminlerin mekanik davranışını tanımlamak için yaygın olarak benimsenmiştir ve iyi bilinen Winkler modeli, bu modelin özel durumlarından biridir. Bu zemin modellerinin en gerçekçi olanlarından biri, lineer olmayan elastik zemin modelidir. Kabukların yer değiştirmesine etki eden söz konusu elastik zeminlerin reaksiyonu, yukarıda belirtilen modeller kullanıldığında, lineer ve lineer olmayan diferansiyel operatörler ile ifade edilmektedir.

Bu literatür taramasında, elastik zeminlerin etkisi dikkate alınarak hem analitik hem de sayısal olarak incelenen statik veya dinamik yükler altında çeşitli malzemelerden yapılmış farklı konfigürasyonlara sahip anizotropik ve izotropik kabukları kapsayan kaynakça sayısı çok olduğundan sadece heterojen plak ve kabukların lineer ve lineer olmayan titreşimleri üzerindeki elastik zemin etkilerinin analizinin yapıldığı yayınlar sunulmaktadır.

Lineer elastik zeminler üzerine oturan homojen ortotropik silindirik kabukların lineer statik ve dinamik davranışları üzerine ilk kapsamlı çalışma Bajenov (1975) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın ardından Paliwal ve diğ. (1995) çalışmasında, Pasternak elastik zemin üzerinde bulunan homojen ortotropik silindirik kabukların lineer olmayan titreşim probleminin çözümü sunulmuştur. Kurpa ve diğ. (2010) makalesinde, elastik zemin üzerinde bulunan homojen ortotropik sığ kabukların lineer olmayan eğilme davranışları incelenmiştir. Bu çalışmaların yanı sıra lineer elastik zeminler üzerinde bulunan heterojen izotropik ve ortotropik kabukların lineer ve lineer olmayan titreşimleri ile ilgili çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bunların içinde Sofiyev ve Kuruoglu (2011), farklı sınır koşullarına sahip ortotropik lamine silindirik kabukların Pasternak tipi elastik zemin üzerindeki doğal frekanslarını incelemiş, elastik zemin parametrelerinin titreşim frekansları üzerindeki etkilerini analiz etmiştir. Sofiyev ve diğ. (2012) makalesinde, iki parametrelili elastik zemin modeli kullanarak heterojen ortotropik kabukların burkulma davranışını araştırmış ve zemin rijitliğindeki değişimlerin kritik yük parametreleri üzerindeki etkilerini ortaya koymuştur. Najafov ve diğ. (2014) makalesinde, Pasternak elastik zemini üzerindeki üstel değişen elastik özelliklere sahip silindirik kabukların burkulma yüküne kayma

gerilmeleri ve zemin parametrelerinin etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Hacıyev ve diğ. (2019) çalışmasında, üç boyutlu uzaysal koordinatlara bağlı malzeme heterojenliğine sahip ortotropik dikdörtgen plakların, uzaysal olarak değişken viskoelastik zemin üzerindeki serbest titreşimleri için kapalı form çözümler elde edilmiş ve malzeme ile zemin homojen olmayanlığının boyutsuz frekanslar üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Babaei ve Eslami (2021) makalesinde, sıcaklık ve boyut bağımlı özellikler sergileyen gözenekli FDM kemerlerin elastik zemin üzerinde lineer olmayan titreşim davranışı, lokal olmayan gerinim gradyan teorisi kullanarak araştırılmış ve bazı zemin parametrelerinin doğal frekanslar üzerindeki etkileri detaylı şekilde analiz edilmiştir. Babaei (2022) çalışmasında, gözenekli FDM eğri nanotüplerin boyut etkilerini içeren doğal frekanslarının lineer olmayan analizi, lokal olmayan gerinim gradyan teorisine dayalı olarak gerçekleştirilmiş ve çeşitli parametre etkilerinin frekans üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Kumar ve diğ. (2022), değişken kalınlığa sahip heterojen dikdörtgen plakların Winkler–Pasternak–Kerr tipi elastik zemin üzerindeki titreşim davranışına zemin parametreleri, malzeme gradasyonu ve kalınlık değişiminin etkilerini nümerik analizlerle değerlendirmiştir. Quyen ve Duc (2022)’deki makalede, elastik zemin üzerine oturan nanokompozit çok tabakalı güneş panellerinin titreşim ve lineer olmayan dinamik davranışlarını inceleyerek malzeme özellikleri, tabaka sayısı ve elastik zemin parametrelerinin sistemin kararlılığı ve titreşim genliği üzerindeki etkilerini detaylı bir şekilde analiz etmiştir. Sun ve diğ. (2022) çalışmasında, elastik zemin üzerine oturtulmuş karbon nanotüple güçlendirilmiş fonksiyonel derecelendirilmiş kompozit silindirik kabukların lineer olmayan titreşim davranışını analiz etmiş ve zemin parametrelerinin titreşim karakteristikleri üzerindeki etkilerini ortaya koymuştur. Avey ve diğ. (2023), karbon nanotüp takviyeli tabakalara sahip lamine plakların iki parametrelili elastik zeminle etkileşimli lineer olmayan titreşim problemlerini matematiksel modelleyerek sayısal çözümler sunmuşlardır. Lohar ve diğ. (2023), eksenel yönde heterojen ve Pasternak zeminine gömülü kirişlerin statik deformasyon altındaki lineer olmayan serbest titreşim davranışına malzeme derecelendirmesi ve zemin parametrelerinin etkisini ortaya koymuştur. Dai ve diğ. (2023) makalesinde, yumuşayan elastik zemin üzerine yerleştirilmiş kompozit dairesel plakların termal şok etkisi altındaki lineer olmayan ardışık dinamik kararsızlıkları incelenmiştir. Hoang ve diğ. (2024) çalışmasında, içerisinde akışkan bulunan fonksiyonel derecelendirilmiş silindirik kabukların lineer olmayan dinamik özelliklerini, konuma göre değişen Winkler–Pasternak tipi elastik

zemin etkisi altında incelemiş ve zemin rijitliğindeki değişimin sistem kararlılığına olan etkilerini detaylı olarak ortaya koymuştur. Benzer şekilde Lugovyi ve diğ. (2024), üç tabakalı ve malzeme olarak heterojen silindirik kabukların elastik zemin üzerindeki zamana bağlı dinamik tepkisinin analizini gerçekleştirmiş ve zemin ile tabaka yapısındaki heterojenliğin yapı elemanı üzerindeki tepkisinin belirleyici rol oynadığını göstermiştir. Avey ve diğ. (2024), elastik zemin üzerine oturan üstel olarak derecelendirilmiş lamine plakların lineer olmayan titreşim probleminin çözümünde modifiye edilmiş Lindstedt–Poincaré yönteminin uygulanmasını sunmuşlardır. Yang ve diğ. (2025) çalışmasında, keyfi ortotropik özelliklere sahip Pasternak zemini üzerine oturan gözenekli FDM plakların titreşim problemi peridinamik diferansiyel operatör yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Mirzaei ve Ebadi (2025) çalışmasında, ani sıcaklık artışına maruz kalan ve elastik bir ortam üzerine yerleştirilmiş heterojen halkasal plakların büyük genlikli titreşim problemi ele alınmıştır. Çalışmada malzeme heterojenliği, sıcaklık dağılımı ve elastik zemin parametrelerinin sistemin lineer olmayan titreşim karakteristikleri üzerindeki etkileri analitik ve sayısal yöntemlerle kapsamlı biçimde değerlendirilmiştir.

Awrejcewicz ve diğ. (2025) çalışmasında, birinci mertebeden kayma deformasyon teorisi kapsamında, visko-Pasternak zemini üzerine oturan basit mesnetli dikdörtgen nanoplağın stabilite analizi üzerine yapılan çalışmanın formülasyonunda, lineer olmayan von Kármán gerinimleri ve yerel olmayan elastisite teorisi kullanılmıştır ve temel denklemlerin çözümünde Bubnov-Galerkin yöntemi kullanılmıştır. Karim ve diğ. (2025) Winkler-Pasternak elastik zemini üzerindeki fonksiyonel derecelendirilmiş gözenekli plakların mekanik davranışını incelemişlerdir. Teorik yöntem, trigonometrik bir fonksiyona dayalı kayma deformasyon formülasyonuna dayanmaktadır. Denge denklemleri, virtüel iş ilkesi kullanılarak oluşturulmuş ve daha sonra Navier yöntemi ile analitik olarak çözülmüştür. Sonuçlar, artan gözenekliliğin malzeme rijitliğini önemli ölçüde azalttığını, elastik zeminin ise özellikle ince plaklarda deformasyonları sınırlayarak bu zayıflamayı telafi etmeye yardımcı olduğunu göstermiştir.

Elastik zeminin davranışı, kural olarak lineer olmamasına rağmen, lineer olmayan elastik zemin üzerindeki plak ve kabukların davranışı hakkında çok az çalışma mevcuttur. Örneğin, lineer olmayan elastik zemin üzerinde oturan bazı homojen izotropik ve ortotropik yapı elemanlarının davranışını inceleyen ilk girişimlerden biri

Shen (1995) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, pertürbasyon tekniği kullanarak lineer olmayan elastik zemin üzerindeki ortotropik dikdörtgen plakların burkulma sonrası analizini gerçekleştirmiştir. Ardından, Luo ve Teng (1998) araştırmasında, lineer olmayan elastik zemin üzerinde sonlu eleman formülasyonu üzerinde dönel kabukların stabilite davranışını analiz etmişlerdir. Nie (2001) makalesinde, asimptotik yineleme yöntemini kullanarak sırasıyla lineer olmayan Winkler elastik zemini üzerindeki kusurlu sığ izotropik ve ortotropik küresel kabukların asimptotik burkulma davranışlarını analiz etmiştir. Malekzadeh ve Farid (2007) makalesinde, lineer olmayan elastik zemin üzerindeki kompozit plakların büyük deformasyon davranışını diferansiyel kareleme yöntemini kullanarak analiz etmişlerdir. Hsu (2010) makalesi, diferansiyel kareleme yöntemini kullanarak lineer olmayan elastik zemin üzerindeki ortotropik plakların titreşim tepkilerini sayısal olarak modellenmesine ilişkindir.

Son yıllarda lineer olmayan elastik zeminler üzerinde bulunan heterojen ortotropik kabukların titreşim davranışlarına ilişkin bazı çalışmalar yapılmıştır. Bu konuda ilk çalışmalardan biri Sofiyev (2016) makalesi olup lineer olmayan Winkler elastik zemini ile etkileşime giren fonksiyonel olarak derecelendirilmiş ortotropik silindirik kabukların büyük genlikli titreşimini incelemiştir. Sofiyev ve diğ. (2017) makalesinde, lineer olmayan elastik zemin üzerinde ortotropik kompozit silindirik kabukların KDT kapsamında lineer olmayan titreşim davranışı sunulmaktadır. Sofiyev ve Kuruoglu (2017), heterojen ortotropik silindirik kabukların lineer olmayan dinamik tepkisi üzerindeki enine kayma gerilmeleri ve lineer olmayan elastik zeminlerin birleşik etkilerini ele almıştır. Ahmadi (2019) çalışmasında, sönümleme ve lineer olmayan elastik zemin ile çevrili kusurlu spiral ile sertleştirilmiş fonksiyonel derecelendirilmiş silindirik kabukların lineer olmayan birincil rezonansını incelemiştir. Ahmadi ve Foroutan (2019), termal ortamda sönümleme ve elastik zemin üzerine oturan spiral takviyeli sertleştirilmiş çok tabakalı fonksiyonel derecelendirilmiş silindirik kabukların lineer olmayan titreşimini araştırmışlardır. Foroutan ve diğ. (2020) makalesinde, eksenel bir sıkıştırmaya tabi tutulan lineer olmayan elastik zemin ile çevrelenen kusurlu spiral ile sertleştirilmiş fonksiyonel derecelendirilmiş silindirik kabukların statik ve dinamik burkulma sonrası analizi rapor edilmiştir. Aris ve Ahmadi (2021), çoklu uyarımlar altında, termal çevrede konik formdaki kusurlu fonksiyonel derecelendirilmiş kabukların lineer olmayan viskoelastik zeminle etkileşimli kombinasyon rezonansını analiz etmiş ve titreşim davranışını detaylı şekilde

incelemişlerdir. Javani ve diğ. (2021) makalesinde, lineer olmayan elastik zemin üzerindeki fonksiyonel derecelendirilmiş grafen trombositleri ile güçlendirilmiş dairesel plağın geometrik olarak lineer olmayan serbest titreşim analizi gerçekleştirilmiştir. Long ve Tung (2021) çalışmasında, sınır ve kenar kısıtlamaları ile üç parametrelili lineer olmayan elastik zemin üzerinde bulunan gözenekli FDM küresel kabuklar ve dairesel plakların burkulma sonrası tepkilerini, klasik teori kapsamında analitik yöntemlerle incelemiştir. Foroutan ve Dai (2023) ise termal ortamda lineer olmayan burkulma sonrası davranışı ele almış, gelişmiş zaman entegrasyon yöntemleriyle çözüm doğruluğunu artırmıştır. Zhang ve diğ. (2023) çalışmasında, üç parametrelili lineer olmayan bir elastik zemin üzerine oturan yeni hibrit lamine nanokompozit silindirik kabuğun lineer olmayan titreşim davranışını Halpin-Tsai mikromekanik modeli kullanarak analitik olarak incelemişlerdir. Foroutan ve Dai (2024) çalışmasında, lineer olmayan elastik bir zemin içerisine gömülü eğik rijitleştirilmiş gözenekli FDM sığ kabukların lineer olmayan serbest ve zorlanmış titreşim davranışlarını incelemişlerdir. Tu ve diğ. (2024) çalışmasında, lineer olmayan elastik zemin üzerine oturan gözenekli FDM sığ küresel başlıkların ve dairesel plakların lineer olmayan burkulma ve burkulma sonrası problemini Ritz enerji yöntemi kullanarak çözmüşlerdir. Bui ve diğ. (2024) makalesinde, lineer olmayan viskoelastik zemin üzerine oturan FDM grafen takviyeli kompozit dairesel plakların ve sığ küresel kabukların lineer olmayan termomekanik dinamik burkulma ve titreşim davranışı incelenmiştir. Yu ve diğ. (2024) çalışmasında, üç parametrelili elastik zemin üzerine oturan anizotropik, eğik paralelkenar plakların üç boyutlu higro-termal-mekanik eğilme analizi, dalgacık yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Nem, sıcaklık ve mekanik yüklemelerin birlikte etkisiyle oluşan gerilme ve yer değiştirme dağılımları ile zemin rijitliklerinin yapısal davranış üzerindeki etkileri ayrıntılı analiz edilmiştir. Rezaee ve Jahangiri (2025) çalışmasında, lineer olmayan Pasternak zemini üzerine yerleştirilmiş gözenekli FDM plakların süpersonik akış altında sub-harmonik rezonans koşullarında gösterdiği kaotik dinamikleri incelenmiştir. Sobhy (2025) çalışmasında, negatif Poisson oranına sahip çekirdekle tasarlanmış asimetrik nanokompozit sandviç kirişlerin lineer olmayan davranış problemini lineer olmayan elastik zemin ve higrotermal koşullar altında çözmüştür. Dai ve Foroutan (2025) çalışmasında, lineer olmayan elastik zemin içinde gömülü, değişken kalınlıklı helezon takviyeli FDM silindirik panellerin sub-harmonik ve süper-harmonik rezonans davranışlarını araştırmış ve dinamik rezonans tepkileri üzerine gelişmiş matematiksel

modeller oluşturmuş ve nümerik analizler gerçekleştirmiştir. Chang ve diğ. (2025) çalışmasında, keyfi sınır koşulları altında, lineer olmayan Winkler elastik zeminiyle çevrili fonksiyonel derecelendirilmiş çift silindirik kabuklu yapının serbest titreşim analizini incelemişlerdir. Birinci dereceden kayma deformasyon teorisi ve Gegenbauer-Ritz yöntemi, yapının dinamik denklemlerini türetmek için birleştirilmiştir. Sonuç olarak, bu yapının doğal frekansı elde edilmiş ve bu çalışmadaki analiz yönteminin doğruluğu literatür ve sonlu elemanlar yöntemi tarafından doğrulanmıştır. Kumar ve Aimmanee (2025) çalışmasında, değişken elastik zeminler üzerine yerleştirilmiş, çok yönlü FDM piezoelektrik gözenekli sigmoid profilli dairesel plakların termo-elektriksel titreşim ve eğilme problemi ele alınmıştır. Tung ve Thinh (2025) çalışmasında, elastik kenar kısıtlamaları altında yüksek sıcaklık etkisindeki geometrik olarak kusurlu, gözenekli FDM kabuk panellerin üç parametrelili lineer olmayan zemin üzerindeki serbest titreşim davranışını, birinci mertebe KDT ve von Kármán-Donnell lineer olmayanlığı kapsamında ele alarak, frekansları dördüncü dereceden Runge-Kutta yöntemiyle sayısal olarak belirlemişlerdir.

Tüm bu çalışmalar doğrultusunda, lineer olmayan elastik zemin etkisinin, kabuk ve plak sistemlerinin lineer olmayan titreşim, burkulma ve dinamik kararlılık analizlerinde vazgeçilmez bir parametre olduğu ortaya konulmuştur.

Bu çalışmaların yanı sıra, literatürde lineer olmayan elastik zeminlerle etkileşime giren çok tabakalı yapı elemanlarının davranışına adanmış bazı çalışmalar da mevcuttur. Lineer olmayan elastik zeminle etkileşime giren çok tabakalı homojen ortotropik kabukların burkulma ötesi davranışını inceleyen ilk girişimlerden biri Shen ve Williams (1995) çalışmasıdır. Bu çalışmanın ardından Shen ve Williams (1997) çalışmasında, tek tip veya üniform olmayan parabolik sıcaklık yüklemesine maruz kalan ve yumuşatıcı lineer olmayan elastik bir zemin üzerine oturan, basit bir şekilde mesnetlenen, kompozit lamine levha için bir termal burkulma sonrası analizi sunulmaktadır. Chien ve Chen (2005) çalışmasında, enine kayma ve dönme atalet etkilerini dikkate alarak başlangıç gerilmeli lamine plakların lineer olmayan titreşimlerini Runge-Kutta yöntemi ile analiz etmiş, frekans tepkilerinin titreşim genliğine ve elastik zemin parametrelerine duyarlılığını vurgulamıştır. Pirbodaghi ve diğ. (2011), von Kármán geometrik lineer olmalarını içeren kompozit plaklar için homotopi perturbasyon yöntemini uygulayarak lineer olmayan serbest titreşime yönelik oldukça doğru sonuçlar elde etmişlerdir. Tornabene ve Reddy (2013),

genelleştirilmiş diferansiyel kareleme yöntemiyle çift eğrilikli FDM ve lamine kabukların lineer olmayan elastik zeminler altındaki davranışlarını analiz etmiş, özellikle diferansiyel geometri uygulamalarıyla yeni sayısal yaklaşımlar önermişlerdir. Li ve Qiao (2014), jeodezik olarak sertleştirilmiş anizotropik tabakalı silindirik kabuklar için parametrik rezonans ve lineer olmayan titreşim analizleri sunarak fiber takviyeli çok tabakalı kabuklarda zemin rijitliğinin ve geometri değişkenlerinin etkilerini ayrıntılı şekilde değerlendirmiştir. Tornabene ve diğ. (2017), yüksek dereceli yer değiştirme teorilerine dayalı olarak lineer olmayan elastik zemine oturan lamine kabukların yapısal davranışlarını genelleştirilmiş diferansiyel kareleme tekniğiyle modellemiş ve farklı laminasyon düzenlerinin etkilerini incelemiştir. Dong ve diğ. (2020), yüksek sıcaklık ve eksenel basınç altında, lineer olmayan elastik zemin üzerinde bulunan FDM sandviç plakların termomekanik burkulmasını incelemiş, eğik rijitleştiricilerin ve termal etkilerin sistem davranışı üzerindeki katkılarını analiz etmiştir. Ahmadi ve Foroutan (2020), gözenekli çekirdeğe sahip çok tabakalı FDM kabukların lineer olmayan termal burkulma davranışını analiz ederken, iki parametrelili kübik lineer olmayan zemin modelini dikkate alarak dördüncü mertebeden Runge-Kutta yöntemiyle ileri düzey bir çözüm sunmuştur. Foroutan ve diğ. (2022), optimum fiber açıları için metasezgisel algoritmalar kullanarak lineer olmayan elastik zemin üzerindeki çok tabakalı kompozit kabukların kritik burkulma yükünü maksimize eden konfigürasyonları belirlemiş ve lineer olmayan burkulma analizlerini gerçekleştirmiştir. Giang ve Phuong (2022), piezoelektrik FDM sandviç plakların lineer olmayan statik eğilme davranışlarını incelemiş; elektrik alanı, malzeme dağılımı ve zemin parametrelerinin etkilerini parametrik olarak sunmuştur. Quyen ve Duc (2022), güneş paneli yapısında kullanılan çok tabakalı nanokompozit sistemlerin dinamik tepkilerini, termomekanik yüklemeler ve elastik zemin etkisi altında analiz etmiş, bu tür yapıların enerji sistemleri uygulamalarına yönelik davranışlarını incelemiştir. Zhang ve diğ. (2023), üç parametrelili lineer olmayan zemine oturan hibrit lamine nanokompozit silindirik kabukların titreşim davranışını analitik olarak araştırmış, Hamilton prensibi ve geliştirilmiş Donnell kabuk teorisi ile yönlendirilmiş çok fazlı karbon takviyelerin etkilerini parametrik olarak sunmuştur. Chen ve diğ. (2024a) çalışmasında, lineer olmayan zeminler üzerine yerleştirilmiş sandviç bir plak ile üzerinde hareket eden bir osilatör arasındaki birleşik titreşim davranışı incelenmiş ve detaylı sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Ragb ve diğ. (2024) çalışmasında, lineer olmayan viskoelastik mesnetlere sahip lamine piezoelektrik tabakalı plakların

lineer olmayan titreşim davranışı, farklı diferansiyel kareleme yöntemi teknikleri kullanılarak analiz edilmiştir. Chen ve diğ. (2024b) makalesinde, lineer olmayan zemin üzerine oturan sandviç kirişlerin birleşik dinamik tepkisi, Galerkin yakınsama kriterine göre çözülmüş ve teorik modelleme ve nümerik simülasyonlarla etkiler ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Alimoradzadeh ve Akbaş (2025) hareketli yüke maruz kalan lineer olmayan viskoelastik zemin üzerindeki FDM tabakalarla kaplı lamine kompozit kirişlerin, lineer olmayan titreşimi üzerindeki sıcaklığın etkisini von Kármán lineer olmama yöntemi ve Galerkin yöntemi kullanarak incelemişlerdir.

Ayrıca tez çalışmasında, teori kısmında ve karşılaştırmalarda kullanılan bazı çalışmaların özetleri ve değerlendirmeleri ele alınmaktadır. He (2004) makalesinde, değişken katsayılı bazı lineer olmayan kısmi diferansiyel denklemler için uygun varyasyonel ilkeler formüle edilerek bu tür denklemlerin çözümüne yönelik analitik ve yarı-analitik yöntemlerin (örneğin; homotopi analiz yöntemi) uygulanabilirliğini artırmak amacıyla matematiksel bir kapsam sunulmuştur. Lakis ve diğ. (1998) eserinde, lamine ortotropik silindirik kabukların, lineer olmayan serbest titreşim davranışını yüksek mertebeden deformasyon teorileri ve enerji yöntemleri kullanarak araştırmış, farklı sınır koşulları, tabaka dizilimleri ve geometrik parametrelerin titreşim frekansları üzerindeki etkilerini kapsamlı sayısal sonuçlarla ortaya koymuştur. Shen ve Yang (2014) çalışmasında, piezoelektrik fiber takviyeli kompozit aktüatörlerle donatılmış anizotropik lamine silindirik kabukların geometrik lineer olmayan titreşim davranışını, klasik kabuk teorisi ve Hamilton ilkesi temelinde türetilen denklemler kullanarak incelemiş ve hem mekanik hem de elektriksel yüklemelerin frekans yanıtları üzerindeki etkilerini parametrik olarak göstermiştir. Thai ve Kim (2012) makalesinde, iki değişkenli geliştirilmiş plak teorisine dayalı olarak ortotropik plakların serbest titreşim analizi için Levy tipi analitik bir çözüm geliştirilmiştir. Önerilen teorinin, hem hesaplama etkinliğini artırdığı hem de klasik ve yüksek mertebeden teorilere kıyasla daha doğru sonuçlar verdiği sayısal örneklerle gösterilmiştir. Wang ve diğ. (2016) makalesinde, orta kalınlıktaki ortotropik dikdörtgen plakların elastik zemin üzerinde, genel sınır koşulları ve iç lineer mesnetler altında serbest titreşim analizine yönelik geliştirilmiş bir çözüm yöntemi sunmuş ve klasik plak teorilerine kıyasla daha doğru ve kapsamlı sonuçlar elde edildiğini göstermişlerdir. Zhou ve diğ. (2004) çalışmasında, Pasternak zemini üzerine oturan kalın dikdörtgen plakların üç boyutlu titreşim analizi gerçekleştirilmiş; üç boyutlu

elastisite teorisine dayalı olarak geliştirilen çözüm yöntemiyle, zemin rijitliğinin ve plak kalınlığının doğal frekanslar üzerindeki etkileri detaylı biçimde incelenmiştir.

Sonuç olarak, mevcut çalışmalar çok tabakalı yapıların lineer olmayan elastik zeminle etkileşimli titreşim, burkulma ve stabilite analizlerinde geniş bir yelpazeye yayılmış teorik, sayısal ve optimizasyon odaklı yaklaşımlar sunmaktadır. Bununla birlikte, özellikle heterojen, ortotropik çok tabakalı kabukların, güçlü lineer olmayan elastik zeminlerle etkileşim altında dinamik davranışlarının birleşik etkileri hâlâ derinlemesine araştırılmaya açıktır. Bu bağlamda, tez çalışmasının bu eksikliği hedefleyerek yeni matematiksel modelleme teknikleri ve analitik-nümerik çözümler geliştirmesi literatürde önemli bir özgünlük teşkil etmektedir.

1.3 Hipotez

Heterojen ortotropik malzemeler ve onlardan oluşan ÇTHOSK'lerin matematiksel ve görsel modelleri oluşturulduktan sonra lineer olmayan elastik zemin modelleri üzerindeki tasarımları yapılmıştır.

ÇTHOSK'lerin tabakaları arasındaki değme koşulu rijit bağlanma koşulu olup tüm silindirik kabuk için yer değiştirmelerin aynı olmasını ve tabakaların birbirine basıncının göz ardı edilmesini sağlar. Bu hipotez, kabuk teorilerinde kabul edilen hipotezlerin tüm kabuk için sağlanması anlamına gelir. Ayrıca, tabakalı silindirik kabuk deformasyona maruz kaldığında tabakaların kaymadığı, birbirinden kopmadığı ve deformasyon sonrası elastikliklerini koruduğu varsayılmaktadır (Reddy, 2004).

Temel bağıntıları oluşturmak için homojen anizotropik silindirik kabuklar teorisinin oluşumunda kullanılan temel varsayımlar çok tabakalı heterojen anizotropik elastik silindirik kabuklar için genelleştirilmektedir. Anizotropik elastik silindirik kabuklar teorisi aşağıdaki varsayımlara dayanmaktadır (Ambartsumyan, 1964):

a) Orta yüzeye normal olan u_z yer değiştirmesi z koordinatına bağlı değildir.

b) Tabakalardaki $\sigma_{xz}^{(k)}$ ve $\sigma_{yz}^{(k)}$ kayma gerilmeleri veya onlara karşılık gelen ε_{xz} ve ε_{yz} kayma deformasyonları tabakalı anizotropik silindirik kabuğu oluşturan tabakalarda verilen kurala göre değişmektedir.

Birinci hipotez klasik kabuk teorisindeki hipotezle çakışmaktadır. İkinci hipotez ise yeni olup tabakalardaki enine kayma deformasyonlarının etkisini dikkate almaya olanak sağlar.

Kayma deformasyonlu kabuk teorisinin a) ve b) hipotezleri dikkate alındığında, denklem 1.1 ve denklem 1.2 ifadelerinde verilen bağıntılar geçerli olur (Ambartsumyan, 1964).

$$\varepsilon_z = \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0, u_z = u_z(x, y) = w(x, y) \quad (1.1)$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xz}^{(k)} \\ \sigma_{yz}^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{d\varphi_1^{(k)}}{dz} \psi_1(x, y, t) \\ \frac{d\varphi_2^{(k)}}{dz} \psi_2(x, y, t) \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

Burada, ε_z , z eksen yönündeki normal deformasyon bileşeni, $\psi_i(x, y, t)$, ($i=1,2$) keyfi aranan fonksiyonlar olup x, y koordinatlarına ve t zamanına bağlıdır ve k tabaka sayısını göstermektedir.

KLT’de olduğu gibi, ÇTHOSK’lerin referans yüzeyine normal elemanındaki noktaların u_z yer değiştirmesi, referans yüzeyin uygun noktasının w yer değiştirmesine eşit olduğu (1.1) denkleminde görülmektedir.

Ayrıca $\varphi_1^{(k)}(z)$ ve $\varphi_2^{(k)}(z)$ fonksiyonları k ’nci tabakalardaki $\sigma_{xz}^{(k)}$ ve $\sigma_{yz}^{(k)}$ enine kayma gerilmelerinin değişimini karakterize etmekte olup $\varphi_i^{(k)}\left(-h/2 + \frac{(k-1)h}{N}\right) = 0$ ve

$\varphi_i^{(k)}\left(-h/2 + \frac{kh}{N}\right) = 0$ koşullarını sağlamaktadır.

Temel bağıntıların oluşturulmasında genişletilmiş kayma deformasyon teorisi, von Kármán tipi lineer olmama ve Donnell tipi kabuk teorisi kullanılmıştır. ÇTHOSK’lerin gerilme–yer değiştirme bağıntıları Hooke kuralı kapsamında formüle edilmiştir. Modifiye edilmiş Donnell tipi kabuk teorisi kapsamında, genişletilmiş kayma deformasyon teorisi varsayımları dikkate alınarak, ÇTHOSK’lerin kuvvet ve moment bileşenleri Airy gerilme fonksiyonu, dönme açıları ve çökme ile ifade edilmiştir.

Kuvvet ve moment bağıntıları, genel temel denklemlere ikame edilerek, genişletilmiş kayma deformasyon teorisi kapsamında, lineer olmayan elastik zemin üzerinde bulunan ÇTHOSK'ler için dört adet kısmi türevli diferansiyel denklem elde edilmiştir.

Lineer olmayan zemine oturan ÇTHOSK'lerin kenarlarından basit mesnetli olduğu varsayılmıştır.

Temel denklemler sistemine Galerkin yöntemi uygulanarak ve ikinci mertebeden zamana bağlı lineer olmayan adi diferansiyel denkleme dönüştürülmüştür. Elde edilen denklemi belirli başlangıç koşullarında çözmek için yarı-ters yöntem uygulanmıştır ve lineer olmayan elastik zemin üzerinde bulunan ÇTHOSK'lerin frekans-genlik bağıntısı için bulunan analitik ifade elde edilmiştir.

Bu ifadeden zemin etkisi olmadığında, çok tabakalı homojen ve heterojen kompozit silindirik kabukların frekans-genlik bağıntısı için ifadeler özel olarak elde edilmektedir.

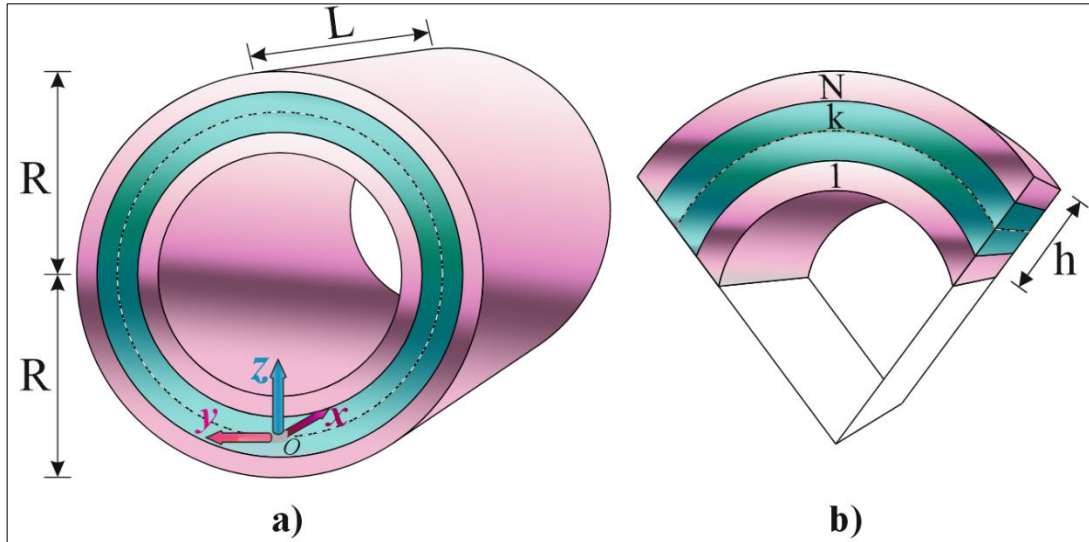
Ayrıca elde edilen bağıntılardan, klasik kabuk teorisi kapsamında lineer olmayan zeminin varlığında ve dikkate alınmadığında çok tabakalı homojen ve heterojen kompozit silindirik kabukların frekans-genlik bağıntısı için ifadeler özel olarak elde edilmektedir. Sayısal analizlerde, enine kayma deformasyonlarının, heterojen olmamanın, ortotropinin, tabaka sayısı ve dizilişinin, lineer olmayan elastik zemininin ve silindirik kabuğun geometrik karakteristiklerinin frekans-genlik bağıntısına etkileri incelenmekte ve tüm analizler özgün olmaktadır.

Şekil, grafik ve çizelgeler AutoCAD, MS Office ve Maple 13 bilgisayar programları kullanılarak oluşturulmuştur. Heterojen ortotropik tabakalardan oluşan ÇTHOSK'lerin ve onların en kesitlerinin çiziminde AutoCAD programı kullanılmıştır. Kuvvet fonksiyonları şeklinde değişen malzeme özelliklerine sahip olan tabakaların en kesit modelleri Maple 13 programı kullanılarak çizilmiştir. Ayrıca lineer olmayan titreşim frekansı ve genlik bağıntıları, lineer ve lineer olmayan zemin katsayıları, ÇTHOSK'lerin mekanik özellikleri, Maple 13 programı kullanılarak farklı heterojenlik çeşitleri, silindirik kabuk karakteristikleri için elde edilen nümerik değerler MS Office Excel programına aktararak grafikler çizilmiştir.

2. PROBLEMİN FORMÜLASYONU

2.1 Çok Tabakalı Heterojen Ortotropik Silindirik Kabukların ve Malzeme Özelliklerinin Matematiksel ve Görsel Modellenmesi

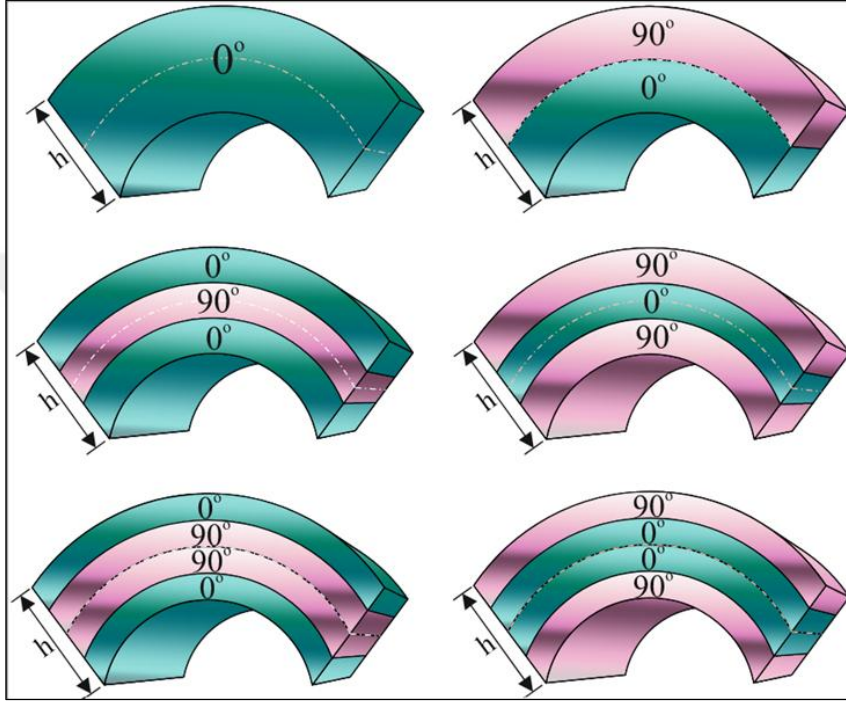
Şekil 2.1 (a)'da heterojen ortotropik tabakalardan oluşan bir silindirik kabuk gösterilmektedir. Şekil 2.1 (b)'de gösterildiği gibi N tabakadan oluşan silindirik kabuğun uzunluğu L , toplam kalınlığı h ve yarıçapı R ile gösterilmektedir. Tüm tabakaların kalınlığı aynı olup $\bar{h}$ ile gösterilir ve $\bar{h} = h/N$ 'dir. Tabakalar arasındaki değme koşulu rijit bağlanma koşulu olup tüm silindirik kabuk için yer değiştirmelerin aynı olmasını ve tabakaların birbirine basıncının göz ardı edilmesini sağlar. Bu varsayım kabuk teorisinde kabul edilen hipotezlerin tüm kabuk için sağlanması anlamına gelir. Ayrıca, silindirik kabuk deformasyona maruz kaldığında tabakaların kaymadığı, birbirlerinden kopmadığı ve deformasyon sonrası elastikliklerini koruduğu varsayılmaktadır (Reddy, 2004).



Şekil 2.1 : (a) N tabakalı ortotropik silindirik kabuğun geometrisi ve (b) en kesiti.

$Oxyz$ koordinat sisteminin orijini, tabakalı silindirik kabuğun sol ucunda bulunur. N çift olduğunda Ox ve Oy eksenleri orta tabakaların temas yüzeyinde, N tek olduğunda ise ortadaki tabakanın referans yüzeyinde bulunmaktadır. Koordinat eksenini Ox kabuk eksenini,

Oy eksenine çevresel doğrultuda yönelirken, Oz eksenine bu iki eksenin geçen referans yüzeyine dik doğrultuda olup pozitif yönü içeriye doğru eğrilik merkezine yönelmektedir. Eksenel ve çevresel doğrultuların ortotropik malzemenin ana eksenleri olduğu varsayılmaktadır. Sayısal analizlerde Şekil 2.2’de sunulan birden dörde kadar tabakalardan oluşan farklı dizilime sahip ÇTHOSK’ler kullanılmıştır. Burada bir tabakalı silindirik kabuk karşılaştırmalarda kullanılmak için dikkate alınmaktadır.



Şekil 2.2 : Bir tabakalı ve çok tabakalı silindirik kabukların en kesitleri ve tabaka dizilişleri.

Silindirik kabuğun tabakalarını oluşturan ortotropik malzemelerin Young modülleri, kayma modülleri ve yoğunluğu, boyutsuz $\bar{z} = z / h$ kalınlık koordinatının sürekli fonksiyonları olarak denklem 2.1’de verilen bağıntılar şeklinde yazılabilir:

$$\begin{aligned} E_{11}^{(k)}(\bar{z}) &= \eta_1^{(k)}(\bar{z}) E_{011}^{(k)}, \quad E_{22}^{(k)}(\bar{z}) = \eta_1^{(k)}(\bar{z}) E_{022}^{(k)}, \quad G_{12}^{(k)}(\bar{z}) = \eta_1^{(k)}(\bar{z}) G_{012}^{(k)}, \\ G_{13}^{(k)}(\bar{z}) &= \eta_1^{(k)}(\bar{z}) G_{013}^{(k)}, \quad G_{23}^{(k)}(\bar{z}) = \eta_1^{(k)}(\bar{z}) G_{023}^{(k)}, \quad \rho^{(k)}(\bar{z}) = \eta_2^{(k)}(\bar{z}) \rho_0^{(k)}, \quad k = 1, 2, \dots, N \end{aligned} \quad (2.1)$$

Burada, $E_{011}^{(k)}$, $E_{022}^{(k)}$ ve $E_{11}^{(k)}(\bar{z})$, $E_{22}^{(k)}(\bar{z})$, sırasıyla k ’nci tabakayı oluşturan homojen ve heterojen ortotropik malzemelerin Ox ve Oy eksenleri doğrultularındaki Young modülleridir. $G_{012}^{(k)}$, $G_{013}^{(k)}$, $G_{023}^{(k)}$ ve $G_{12}^{(k)}(\bar{z})$, $G_{13}^{(k)}(\bar{z})$, $G_{23}^{(k)}(\bar{z})$ sırasıyla k ’nci tabakayı oluşturan homojen ve heterojen ortotropik malzemelerin Oxy , Oxz ve Oyz yüzeylerindeki kayma modülleridir. Ayrıca $\rho_0^{(k)}$ ve $\rho^{(k)}(\bar{z})$ sırasıyla tabakaları

oluşturan homojen ve heterojen ortotropik malzemelerin yoğunluklarıdır. Burada, $\eta_i^{(k)}(\bar{z})$ ($i=1,2$) genel halde sürekli fonksiyon olup aşağıdaki gibi kuvvet fonksiyonu şeklinde denklem 2.2 ile ifade edilmektedir (Sofiyev ve Schnack, 2003):

$$\eta_i^{(k)}(\bar{z}) = 1 + \mu_i^{(k)} \bar{z}^q, (i=1,2) \quad (2.2)$$

Burada $q=1,2,3,\dots$ kuvvet üssü olup pozitif tam sayıdır, $\mu_1^{(k)}$ ($k=1,2,\dots,N$) tabakalardaki ortotropik malzemelerin Young ve kayma modüllerinin değişim katsayıları ve $\mu_2^{(k)}$ tabakalardaki ortotropik malzemelerin yoğunluğun değişim katsayısı olup $(\mu_1^{(k)}, \mu_2^{(k)}) \in [-1,1]$ 'dir. Young ve kayma modüllerinin değişim katsayısı tüm tabakalar için aynı olduğundan sonraki aşamalarda işlemlerin kolaylığı için $\mu_i^{(k)} = \mu_i$ ($i=1,2$) olarak dikkate alınacaktır. Vurgulamak gerekir ki $\mu_i^{(k)} = 0$ ($i=1,2$) homojen ortotropik malzemeyi tanımlar. Ayrıca, $\mu_i^{(k)} < 0$ tabakalardaki yumuşak heterojen ortotropik malzemeyi ve $\mu_i^{(k)} > 0$ tabakalardaki sert heterojen ortotropik malzemeyi tanımlar.

Silindirik kabuğun tabakalarını oluşturan heterojen cam epoksi ortotropik malzemesinin Young ve kayma modüllerinin kalınlık koordinatına bağlı dağılımı üç boyutlu modeller olarak sunulmuştur. Şekillerin çiziminde Maple 13 programı kullanılmıştır.

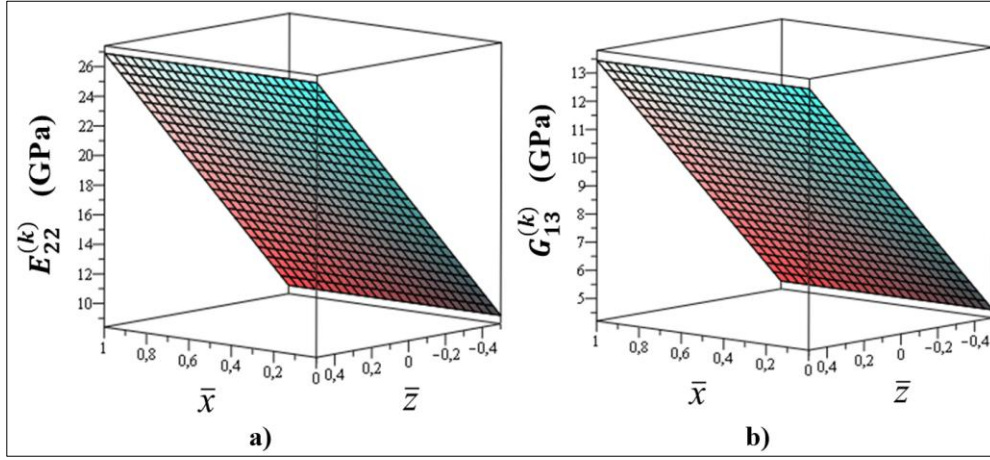
Tabakaları oluşturan homojen cam epoksi ortotropik malzemenin mekanik özellikleri şu şekilde tanımlanmaktadır (Reddy, 2004):

$$E_{011}^{(k)} = 53.78 \text{ GPa}, E_{022}^{(k)} = 17.93 \text{ GPa}, G_{012}^{(k)} = G_{013}^{(k)} = 8.96 \text{ GPa}, G_{023}^{(k)} = 3.45 \text{ GPa}, \\ \nu_{12}^{(k)} = 0.25, \rho_0^{(k)} = 1900 \text{ kg/m}^3.$$

Cam epoksinin Young ve kayma modülleri sırasıyla $E_{022}^{(k)} = 17.93 \text{ GPa}$ ve $G_{013}^{(k)} = 8.96 \text{ GPa}$ dikkate alınarak Şekil 2.3–2.6 çizimleri, $\bar{z} = z/h$ ve $\bar{x} = x/L$ 'ye bağlı olarak Maple 13 programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Cam epoksinin diğer doğrultulardaki Young modülü, kayma modülleri ve yoğunluğunun grafikleri benzer şekilde çizilebilir.

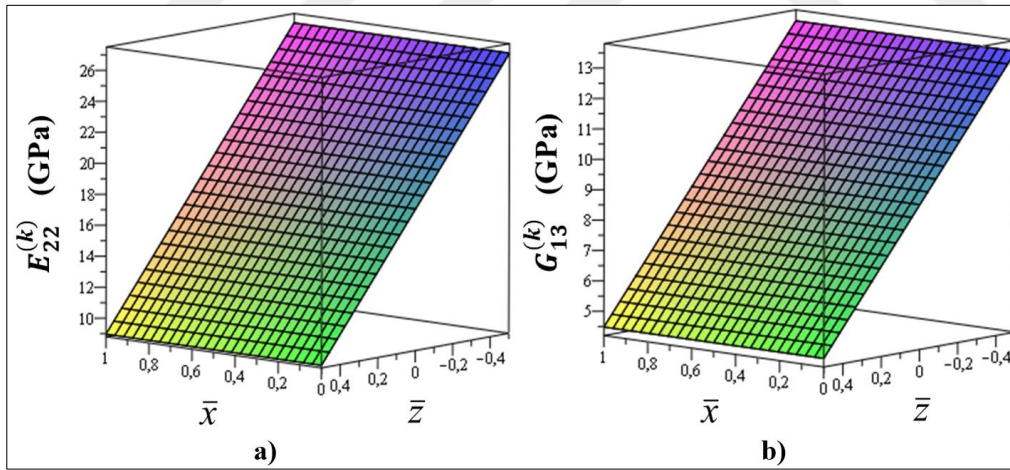
Şekil 2.3 (a) ve 2.3 (b)'de $\mu_1^{(k)} = +1$ olduğunda, ÇTHOSK'lerin k 'nci tabakasının Young modülü $E_{22}^{(k)} = (1 + \mu_1^{(k)} \bar{z}) E_{022}^{(k)}$ ve kayma modülü $G_{13}^{(k)} = (1 + \mu_1^{(k)} \bar{z}) G_{013}^{(k)}$ 'nin

boyutsuz kalınlık koordinatına bağılı lineer dağılımlarının üç boyutlu grafikleri sunulmuştur.



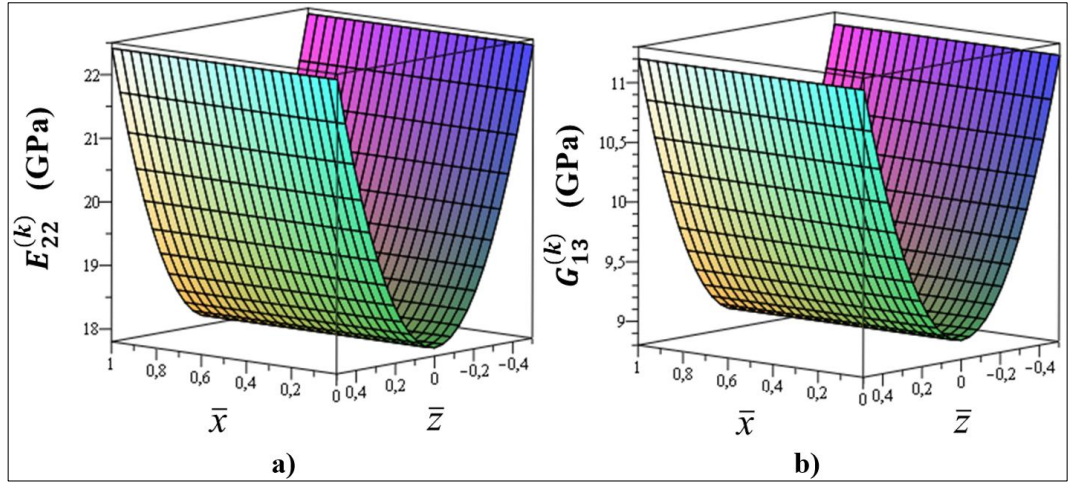
Şekil 2.3 : $\mu_1^{(k)} = +1$ için k 'nci tabakanın (a) Young modülü ve (b) kayma modülünün boyutsuz kalınlık koordinatına bağılı lineer dağılımı.

Şekil 2.4 (a) ve 2.4 (b)'de $\mu_1^{(k)} = -1$ için ÇTHOSK'lerin k 'nci tabakasının Young modülü $E_{22}^{(k)} = (1 + \mu_1^{(k)} \bar{z}) E_{022}^{(k)}$ ve kayma modülü $G_{13}^{(k)} = (1 + \mu_1^{(k)} \bar{z}) G_{013}^{(k)}$ 'nin boyutsuz kalınlık koordinatına bağılı lineer dağılımlarının üç boyutlu grafikleri sunulmuştur.



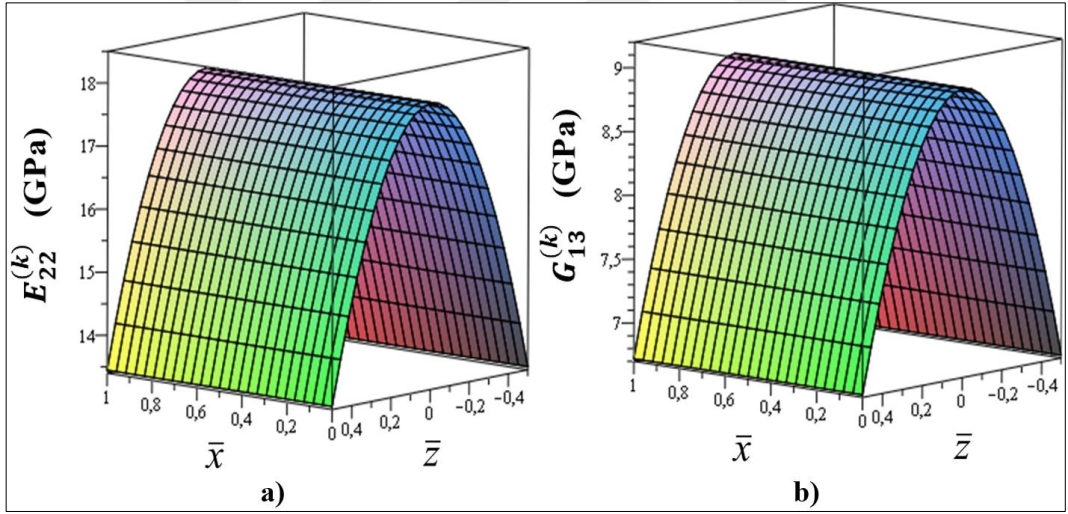
Şekil 2.4 : $\mu_1^{(k)} = -1$ için k 'nci tabakanın (a) Young modülü ve (b) kayma modülünün boyutsuz kalınlık koordinatına bağılı lineer dağılımı.

Şekil 2.5 (a) ve 2.5 (b)'de $\mu_1^{(k)} = +1$ için ÇTHOSK'lerin k 'nci tabakasının Young modülü $E_{22}^{(k)} = (1 + \mu_1^{(k)} \bar{z}^2) E_{022}^{(k)}$ ve kayma modülü $G_{13}^{(k)} = (1 + \mu_1^{(k)} \bar{z}^2) G_{013}^{(k)}$ 'nin boyutsuz kalınlık koordinatına bağılı kuadratik dağılımlarının üç boyutlu grafikleri sunulmuştur.



Şekil 2.5 : $\mu_1^{(k)} = +1$ için k 'nci tabakanın (a) Young modülü ve (b) kayma modülünün boyutsuz kalınlık koordinatına bağlı kuadratik dağılımı.

Şekil 2.6 (a) ve 2.6 (b)'de $\mu_1^{(k)} = -1$ için ÇTHOSK'lerin k 'nci tabakasının Young modülü $E_{22}^{(k)} = (1 + \mu_1^{(k)} \bar{z}^2) E_{022}^{(k)}$ ve kayma modülü $G_{13}^{(k)} = (1 + \mu_1^{(k)} \bar{z}^2) G_{013}^{(k)}$ 'nin boyutsuz kalınlık koordinatına bağlı kuadratik dağılımlarının üç boyutlu grafikleri sunulmuştur.



Şekil 2.6 : $\mu_1^{(k)} = -1$ için k 'nci tabakanın (a) Young modülü ve (b) kayma modülünün boyutsuz kalınlık koordinatına bağlı kuadratik dağılımı.

Benzer şekilde, tabakaları heterojen cam epoksi ve diğer heterojen malzemelerden oluşan silindirik kabukların tabakalarındaki Young modülleri, kayma modülleri ve yoğunluklarının dağılımı çizilebilir.

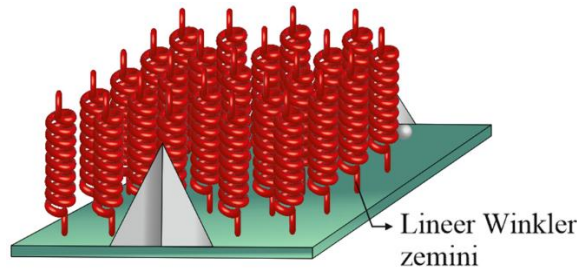
2.2 Elastik Zemin Modelleri

Birçok pratik uygulamada ÇTHOSK'ler, toprak veya diğer katılarla temas halinde olur. Bu tür durumlar, silindirik dökme katı depolama silolarında, yer üstü ve yer altı sıvı depolama tanklarında, yeraltı ve yerüstü boru hatlarında ve katı yakıtlarla dolu balistik füzelerde ortaya çıkar. ÇTHOSK'lerin titreşim davranışı üzerinde önemli ve beklenmedik etkilere sahip olabilen birçok faktör arasında (heterojenlik, lineer olmama, çok tabakalılık, başlangıç kusurları vb.) elastik zemin etkileri önemli yer almaktadır. Bu nedenle, elastik zemin üzerine oturan homojen ve heterojen tabakalı kompozit silindirik kabukların lineer olmayan titreşim davranışını anlamaya ihtiyaç duyulmuştur. Elastik zeminleri tanımlayan Winkler ve Pasternak modelleri, elastik yarı uzay modeli, lineer olmayan zemin modelleri ve bu gibi diğer yaklaşık modeller mevcuttur (Pasternak, 1954; Vlasov ve Leontiev, 1960; Gorbunov-Possadov ve diğ., 1984). Bu zemin modellerinden en az araştırılanı lineer olmayan Winkler zemin modeli olup bu model ile ilgili temel bilgileri aşağıda sunulmaktadır:

a) Lineer Winkler zemini birbirine paralel olarak dikey dizilmiş ve birbirine temas etmeyen düzgün yaylardan oluşur. Lineer Winkler zemininin matematiksel modeli denklem 2.3'te, görsel modeli ise Şekil 2.7'de verilmiştir.

$$P_1 = K_L w \quad (2.3)$$

Burada P_1 , lineer Winkler zemininin tepki kuvvetidir ve K_L (N/m^3), lineer Winkler zemininin rijitlik katsayısı veya yayların rijitlik katsayısıdır.

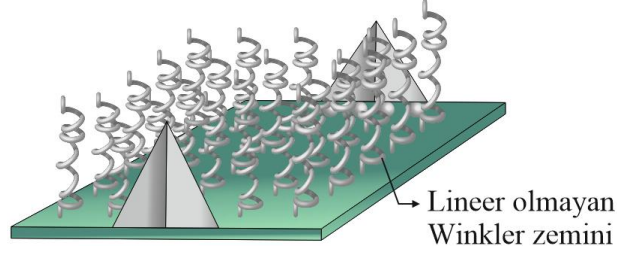


Şekil 2.7 : Lineer Winkler elastik zemin modeli.

b) Lineer olmayan Winkler zemini birbirilerine paralel olarak dikey dizilmiş ve birbirine temas etmeyen yaylardan oluşur ve matematiksel modeli denklem 2.4'te, görsel modeli ise Şekil 2.8'de verilmiştir.

$$P_2 = K_L w + K_{LO} w^3 \quad (2.4)$$

Burada P_2 , lineer olmayan Winkler zemininin tepki kuvvetidir ve K_{LO} (N/m⁵), yayların lineer olmayan davranışını karakterize eden rijitlik katsayısıdır, ayrıca $K_{LO} w^3$, sistemin kübik lineer olmayan özelliğini temsil eder.

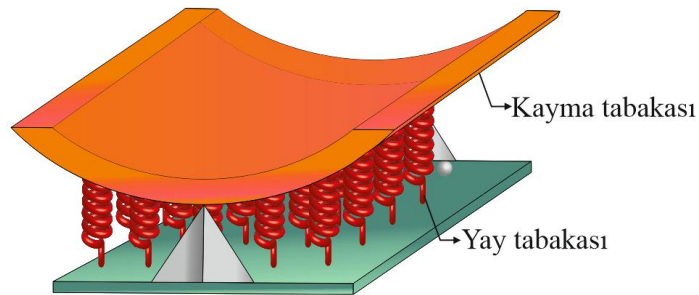


Şekil 2.8 : Lineer olmayan Winkler elastik zemin modeli.

c) Şekil 2.7'deki yayların üzerine kalınlığı dikkate alınmayacak kadar ince olan bir tabaka konulduğunda (buna kayma tabakası denilir) yaylar birleşmiş olur ve tabaka ile yaylardan oluşan sistem lineer Pasternak elastik zemini olarak adlandırılır (Şekil 2.9). Lineer Pasternak zemininin matematiksel modeli ise denklem 2.5'te verilmiştir.

$$P_3 = K_L w - K_p \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (2.5)$$

Burada P_3 , lineer Pasternak elastik zemininin birim alanda etkidiği kuvvettir, K_p (N/m²) ise kayma tabakasının rijitlik katsayısıdır. Özel halde $K_p = 0$ olduğunda lineer Pasternak zemini lineer Winkler zeminine dönüşür.

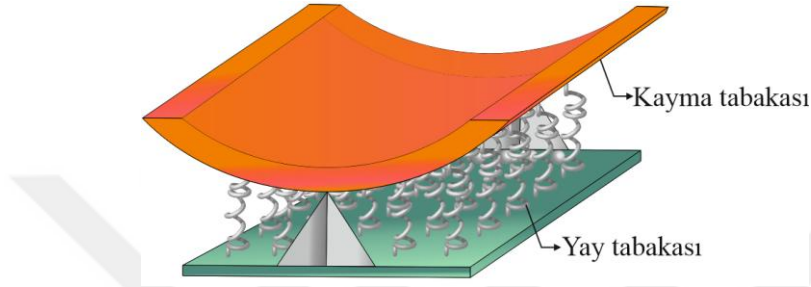


Şekil 2.9 : Paralel yaylar ve onları birleştiren kayma tabakası şeklinde modellenmiş lineer Pasternak zemin modeli.

d) Lineer olmayan Pasternak elastik zemininin matematiksel modeli denklem 2.6'da, görsel modeli ise Şekil 2.10'da verilmiştir.

$$P_4 = K_L w + K_{LO} w^3 - K_P \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (2.6)$$

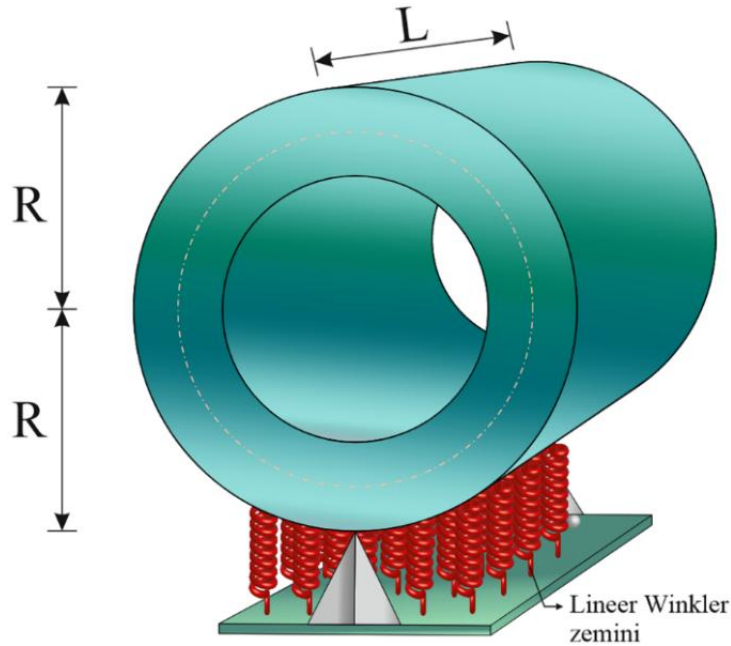
Burada P_4 , lineer olmayan Pasternak elastik zemininin birim alanda etkidiği kuvvettir. Özel halde $K_P = 0$ olduğunda lineer olmayan Pasternak zemini lineer olmayan Winkler zemine dönüşür. Daha basit halde $K_{LO} = K_P = 0$ olduğunda lineer olmayan Pasternak elastik zemini lineer Winkler zemine dönüşür.



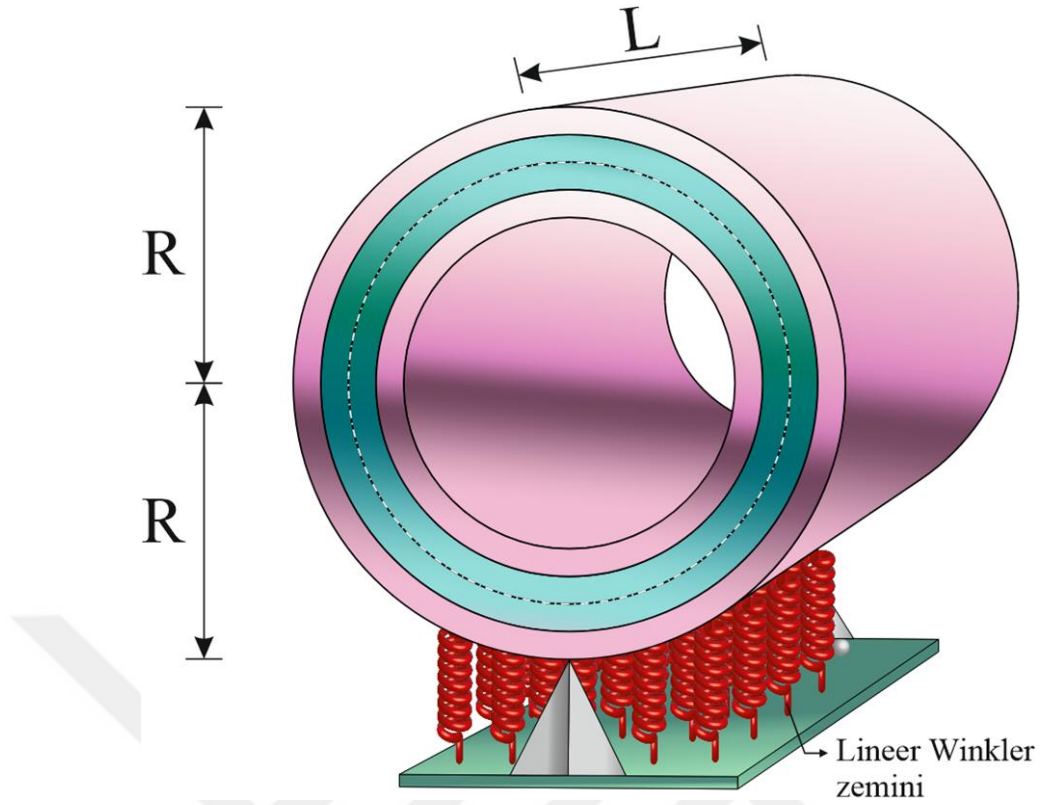
Şekil 2.10 : Lineer olmayan Pasternak elastik zemin modeli.

2.3 Kabuk-Zemin Etkileşiminin Modellenmesi

ÇTHOSK'lerin yukarıda modellenen elastik zeminler üzerinde olduğu varsayılarak oluşturulan modeller aşağıdaki şekillerde sunulmuştur. Şekil 2.11 ve Şekil 2.12'de bir ve ÇTHOSK'lerin lineer Winkler elastik zemini üzerinde gösterimi sunulmuştur.

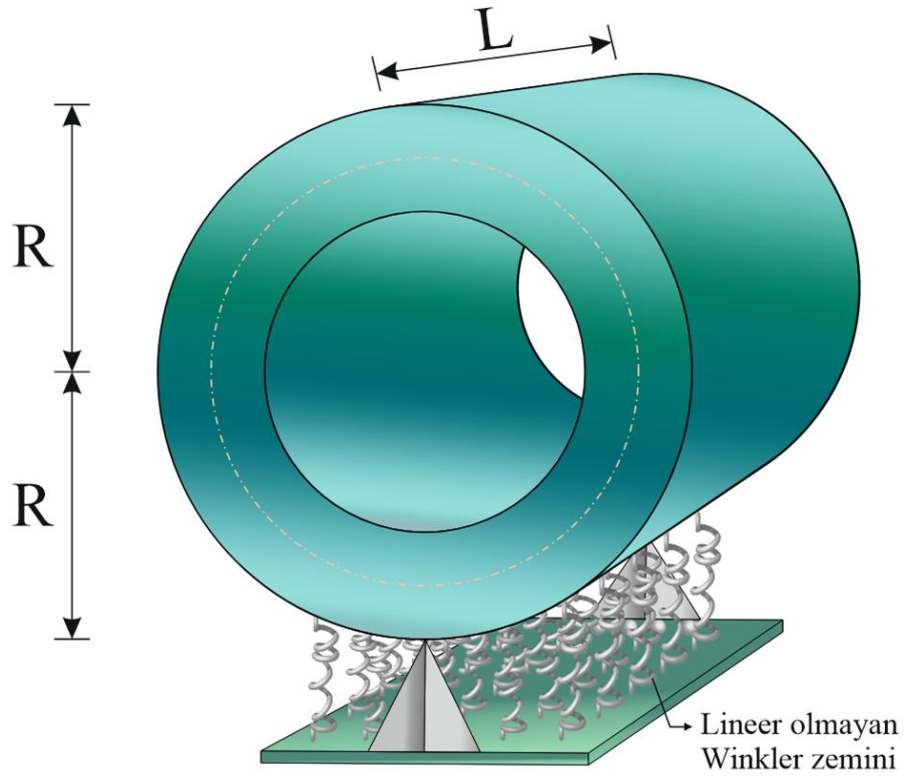


Şekil 2.11 : Bir tabakalı heterojen ortotropik silindirik kabuğun lineer Winkler elastik zemini üzerindeki görseli.

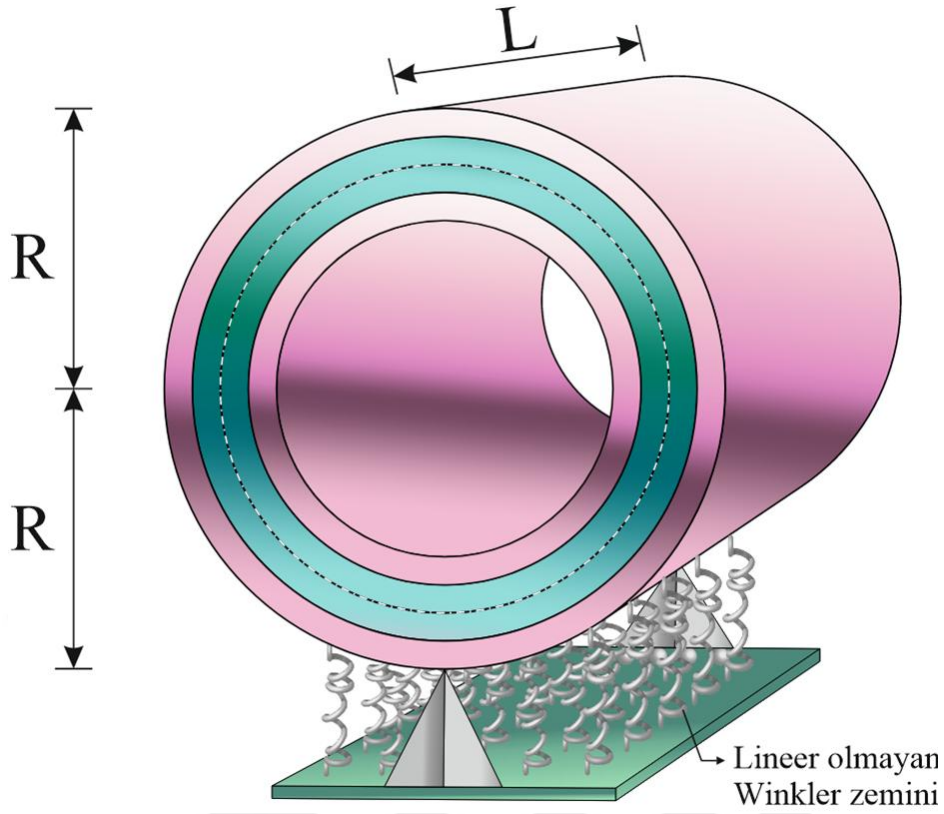


Şekil 2.12 : Lineer Winkler elastik zemini üzerindeki ÇTHOSK görseli.

Şekil 2.13 ve Şekil 2.14'te bir ve ÇTHOSK'lerin lineer olmayan Winkler elastik zemini üzerinde gösterimi sunulmuştur.

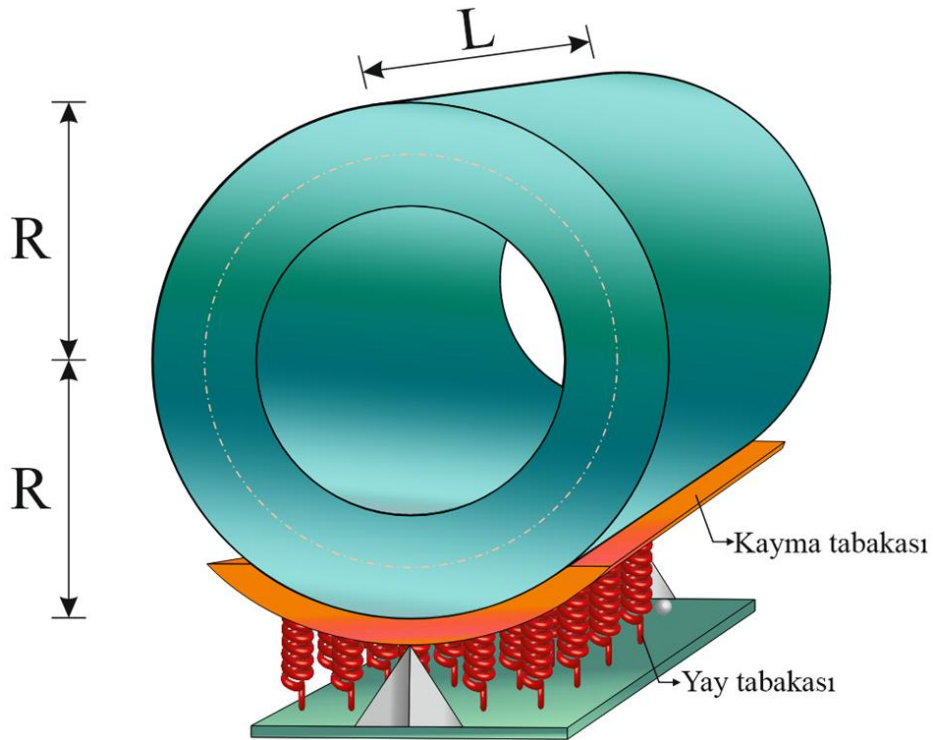


Şekil 2.13 : Bir tabakalı heterojen ortotropik silindirik kabuğun lineer olmayan Winkler elastik zemini üzerindeki görseli.

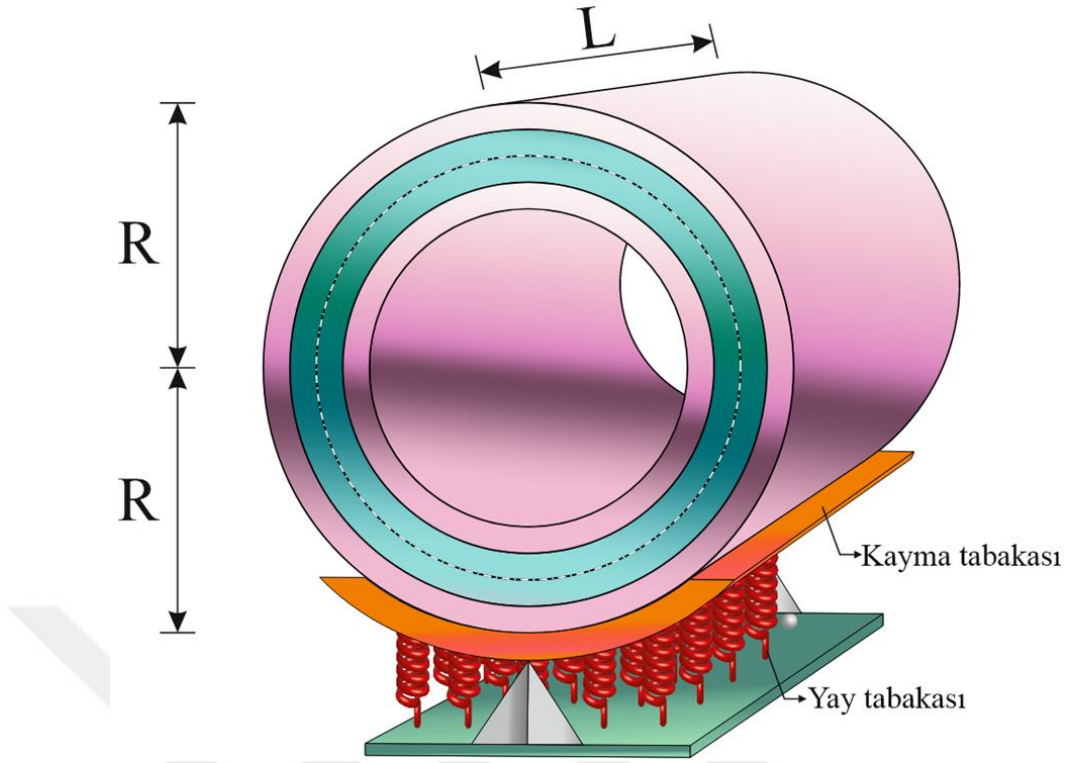


Şekil 2.14 : Lineer olmayan Winkler elastik zemini üzerindeki ÇTHOSK görseli.

Şekil 2.15 ve Şekil 2.16’da bir ve ÇTHOSK’lerin lineer Pasternak elastik zemini üzerinde gösterimi sunulmuştur.

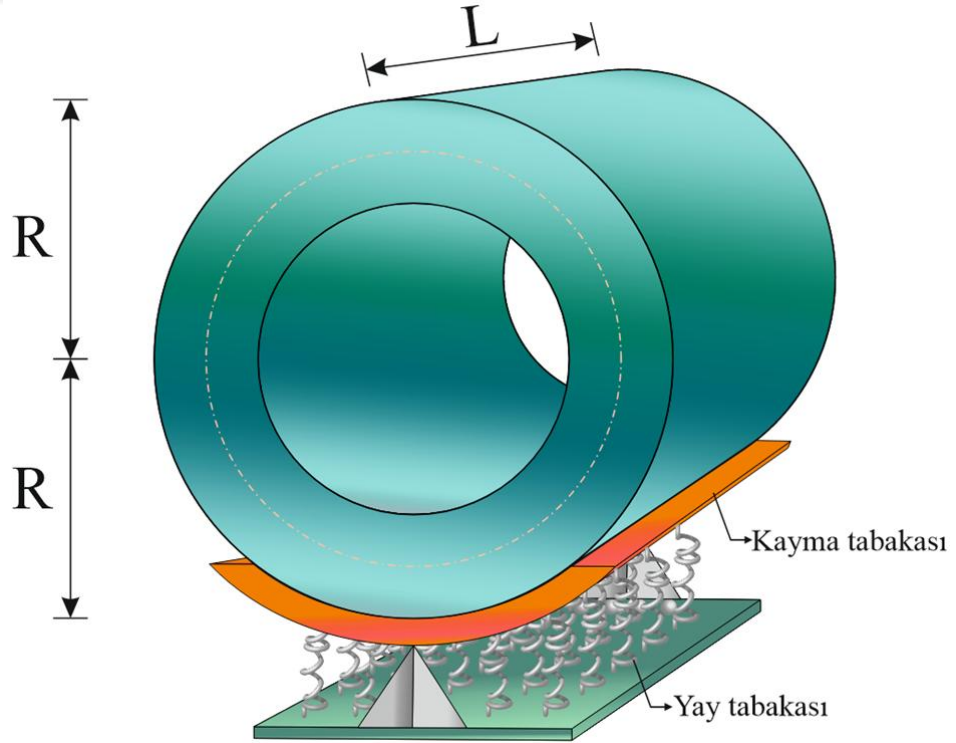


Şekil 2.15 : Bir tabakalı heterojen ortotropik silindirik kabağın lineer Pasternak elastik zemini üzerindeki görseli.

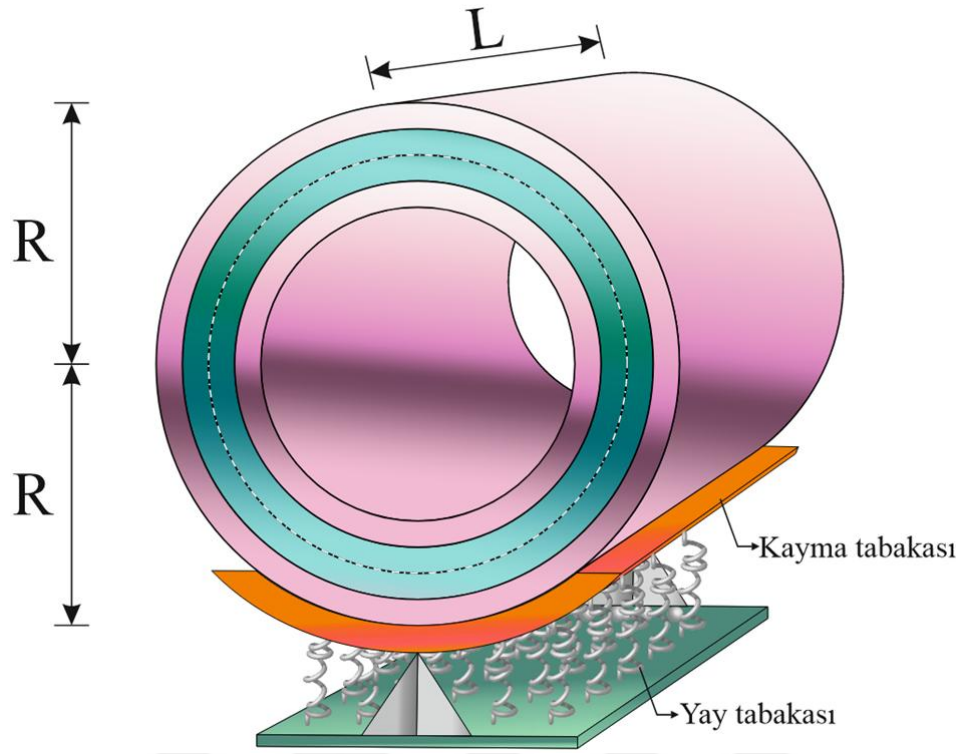


Şekil 2.16 : Lineer Pasternak elastik zemini üzerindeki ÇTHOSK görseli.

Şekil 2.17 ve Şekil 2.18’de bir ve ÇTHOSK’lerin lineer olmayan Pasternak elastik zemini üzerinde gösterimi sunulmuştur.



Şekil 2.17 : Bir tabakalı heterojen ortotropik silindirik kabuğun lineer olmayan Pasternak elastik zemini üzerindeki görseli.



Şekil 2.18 : Lineer olmayan Pasternak elastik zemini üzerindeki ÇTHOSK görseli.

3. MATERYAL METOT

3.1 Kayma Deformasyon Teorisi Kapsamında Çok Tabakalı Heterojen Ortotropik Silindirik Kabukların Lineer Olmayan Temel Bağıntılarının Oluşturulması

Şekil 2.1 (b)'de gösterildiği gibi N tabakadan oluşan silindirik kabuğun uzunluğu L , toplam kalınlığı h ve yarıçapı R ile gösterilmektedir. Tüm tabakaların kalınlığı aynı olup $\bar{h}$ ile gösterilir ve $\bar{h} = h / N$ 'dir. Tabakalar arasındaki değme koşulu rijit bağlanma koşulu olup tüm silindirik kabuk için yer değiştirmelerin aynı olmasını ve tabakaların birbirine basıncının göz ardı edilmesini sağlar.

Heterojen kompozit tabakalardan oluşan silindirik kabukların k 'nci tabakası için gerilme deformasyon bileşenleri arasındaki ilişki kayma deformasyon teorisi kapsamında genelleştirilmiş Hooke kuralı, denklem 3.1'de gösterildiği gibi ifade edilmektedir (Avey ve diğ., 2024):

$$\begin{pmatrix} \sigma_x^{(k)} \\ \sigma_y^{(k)} \\ \sigma_{xy}^{(k)} \\ \sigma_{xz}^{(k)} \\ \sigma_{yz}^{(k)} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11}^{(k)} & Y_{12}^{(k)} & 0 & 0 & 0 \\ Y_{21}^{(k)} & Y_{22}^{(k)} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Y_{66}^{(k)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Y_{55}^{(k)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Y_{44}^{(k)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Burada ε_x ve ε_y sırasıyla k 'nci tabakanın herhangi bir noktasındaki x ve y doğrultusundaki normal deformasyon bileşenleri, γ_{xy} , γ_{xz} ve γ_{yz} sırasıyla xy , xz ve yz yüzeylerindeki kayma deformasyon bileşenleri olup $Y_{ij}^{(k)}$ ise k 'nci tabakadaki heterojen ortotropik kompozit malzemenin elastik özelliklerini ifade eder ve denklem 3.2'deki gibi tanımlanır:

$$\begin{aligned}
Y_{11}^{(k)}(\bar{z}) &= \frac{E_{11}^{(k)}(\bar{z})}{1 - \nu_{12}^{(k)} \nu_{21}^{(k)}}, Y_{22}^{(k)}(\bar{z}) = \frac{E_{22}^{(k)}(\bar{z})}{1 - \nu_{12}^{(k)} \nu_{21}^{(k)}}, Y_{12}^{(k)}(\bar{z}) = \frac{\nu_{21}^{(k)} E_{11}^{(k)}(\bar{z})}{1 - \nu_{12}^{(k)} \nu_{21}^{(k)}}, \\
Y_{21}^{(k)}(\bar{z}) &= \frac{\nu_{12}^{(k)} E_{22}^{(k)}(\bar{z})}{1 - \nu_{12}^{(k)} \nu_{21}^{(k)}}, Y_{44}^{(k)}(\bar{z}) = G_{23}^{(k)}(\bar{z}), Y_{55}^{(k)}(\bar{z}) = G_{13}^{(k)}(\bar{z}), \\
Y_{66}^{(k)}(\bar{z}) &= G_{12}^{(k)}(\bar{z})
\end{aligned} \tag{3.2}$$

Denklem 3.2 ifadelerinde yer alan $\nu_{12}^{(k)}$ ve $\nu_{21}^{(k)}$ sabitleri, k 'nci tabakasını oluşturan ortotropik kompozit malzemenin Poisson oranları olup kalınlık koordinatından bağımsızdırlar.

Denklem 1.2 ifadeleri denklem 3.1 sisteminin son iki denkleminde yerine yazıldığında tabakaları heterojen ortotropik kompozit malzemelerden oluşan silindirik kabuğun γ_{xz} ve γ_{yz} enine kayma deformasyonları denklem 3.3'teki şekle dönüşür (Sofiyev ve Kuruoglu, 2014):

$$\begin{bmatrix} \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{d\varphi_1^{(k)}}{dz} a_{55}^{(k)}(\bar{z}) \psi_1(x, y, t) \\ \frac{d\varphi_2^{(k)}}{dz} a_{44}^{(k)}(\bar{z}) \psi_2(x, y, t) \end{bmatrix} \tag{3.3}$$

Burada denklem 3.4'te verilen şu tanımlar geçerlidir:

$$a_{44}^{(k)}(\bar{z}) = \frac{1}{G_{23}^{(k)}(\bar{z})}, a_{55}^{(k)}(\bar{z}) = \frac{1}{G_{13}^{(k)}(\bar{z})} \tag{3.4}$$

Kayma deformasyon teorisi varsayımlarına dayanarak, denklem 3.5'te verilen bağıntılar yazılabilir:

$$\frac{\partial u_x}{\partial z} = -\frac{\partial w}{\partial x} + \gamma_{xz}, \quad \frac{\partial u_y}{\partial z} = -\frac{\partial w}{\partial y} + \gamma_{yz} \tag{3.5}$$

Denklem 3.5 ifadeleri $(0, z)$ aralığında z değişkenine göre integrallendiğinde, silindirik kabuğun herhangi bir noktasının x ve y doğrultularındaki yer değiştirme bileşenleri için denklem 3.6'da verilen matris ifadeler elde edilmektedir:

$$\begin{bmatrix} u_x \\ u_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u - z \frac{\partial w}{\partial x} \\ v - z \frac{\partial w}{\partial y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} J_1^{(k)} \psi_1 \\ J_2^{(k)} \psi_2 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Denklem 3.6 ifadelerinde $z=0$ için $u_x = u(x, y)$ ve $u_y = v(x, y)$ olduğu göz önüne alınmış, ayrıca u ve v referans yüzeyin uygun noktasının x ve y doğrultularındaki yer değiştirmeleri olup denklem 3.7’de verilen şu tanımlar geçerlidir:

$$J_1^{(k)} = \int_0^{\bar{z}} a_{55}^{(k)}(\bar{z}) \frac{d\phi_1^{(k)}}{d\bar{z}} d\bar{z}, \quad J_2^{(k)} = \int_0^{\bar{z}} a_{44}^{(k)}(\bar{z}) \frac{d\phi_2^{(k)}}{d\bar{z}} d\bar{z} \quad (3.7)$$

Tabakalı silindirik kabuğun ε_x , ε_y , γ_{yz} , γ_{xz} , γ_{xy} deformasyon bileşenleri ile u_x, u_y, u_z yer değiştirme bileşenleri arasındaki bağıntı von Kármán tipi lineer olmama dikkate alındığında denklem 3.8’de verildiği gibi olduğu bilinmektedir (Soldatos ve Shu, 1999):

$$\begin{aligned} \varepsilon_x^0 &= \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2, \quad \varepsilon_y^0 = \frac{\partial u_y}{\partial y} - \frac{w}{R} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2, \quad \gamma_{xy}^0 = \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial y}, \\ \gamma_{yz} &= \frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y}, \quad \gamma_{xz} = \frac{\partial u_z}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial z}. \end{aligned} \quad (3.8)$$

Denklem 3.6 ifadelerindeki u_x ve u_y yer değiştirmelerinin ifadeleri denklem 3.8 bağıntısında ikame edildiğinde, denklem 3.9 ile verilen bağıntılar elde edilir (Sofiyev ve diğ., 2017):

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 \\ \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{w}{R} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial y} \end{bmatrix} - z \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ 2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{bmatrix} + J_1^{(k)} \begin{bmatrix} \frac{\partial \psi_1}{\partial x} \\ 0 \\ \frac{\partial \psi_1}{\partial y} \end{bmatrix} + J_2^{(k)} \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{\partial \psi_2}{\partial y} \\ \frac{\partial \psi_2}{\partial x} \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Denklem 3.9 bağıntısını denklem 3.10 biçimde yazalım:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{bmatrix} - z \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ 2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{bmatrix} + J_1^{(k)} \begin{bmatrix} \frac{\partial \psi_1}{\partial x} \\ 0 \\ \frac{\partial \psi_1}{\partial y} \end{bmatrix} + J_2^{(k)} \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{\partial \psi_2}{\partial y} \\ \frac{\partial \psi_2}{\partial x} \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

Burada ε_x^0 ve ε_y^0 tabakalı silindirik kabuğun referans yüzeyinin x ve y doğrultularındaki lineer olmayan deformasyon bileşenleri ve γ_{xy}^0 referans yüzeyindeki lineer olmayan kayma deformasyonudur ve denklem 3.11 ile verilen şu tanımlar geçerlidir:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 \\ \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{w}{R} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

Denklem 3.10 bağıntısı denklem 3.6 sisteminin ilk üç denkleminde ikame edildiğinde, denklem 3.12 şekline dönüşür:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x^{(k)} \\ \sigma_y^{(k)} \\ \gamma_{xy}^{(k)} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11}^{(k)}(\bar{z}) & Y_{12}^{(k)}(\bar{z}) & 0 \\ Y_{21}^{(k)}(\bar{z}) & Y_{22}^{(k)}(\bar{z}) & 0 \\ 0 & 0 & Y_{66}^{(k)}(\bar{z}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{bmatrix} - z \begin{bmatrix} Y_{11}^{(k)}(\bar{z}) & Y_{12}^{(k)}(\bar{z}) & 0 \\ Y_{21}^{(k)}(\bar{z}) & Y_{22}^{(k)}(\bar{z}) & 0 \\ 0 & 0 & Y_{66}^{(k)}(\bar{z}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ 2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

$$+ \begin{bmatrix} \bar{Y}_{11}^{(k)} & 0 & 0 \\ \bar{Y}_{21}^{(k)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \bar{Y}_{15}^{(k)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial \psi_1}{\partial x} \\ 0 \\ \frac{\partial \psi_1}{\partial y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{Y}_{12}^{(k)} & 0 & 0 \\ \bar{Y}_{22}^{(k)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \bar{Y}_{18}^{(k)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial \psi_2}{\partial y} \\ 0 \\ \frac{\partial \psi_2}{\partial x} \end{bmatrix}.$$

Burada, denklem 3.13 ile verilen şu tanımlar geçerlidir:

$$\begin{aligned}\bar{Y}_{11}^{(k)}(\bar{z}) &= J_1^{(k)} Y_{11}^{(k)}(\bar{z}), \quad \bar{Y}_{12}^{(k)}(\bar{z}) = J_2^{(k)} Y_{12}^{(k)}(\bar{z}), \quad \bar{Y}_{21}^{(k)}(\bar{z}) = J_1^{(k)} Y_{21}^{(k)}(\bar{z}), \\ \bar{Y}_{22}^{(k)}(\bar{z}) &= J_2^{(k)} Y_{22}^{(k)}(\bar{z}), \quad \bar{Y}_{15}^{(k)}(\bar{z}) = J_1^{(k)} Y_{66}^{(k)}(\bar{z}), \quad \bar{Y}_{18}^{(k)}(\bar{z}) = J_2^{(k)} Y_{66}^{(k)}(\bar{z}).\end{aligned}\quad (3.13)$$

3.2 Çok Tabakalı Heterojen Ortotropik Silindirik Kabukların Kuvvet ve Moment Bileşenlerinin Oluşturulması

Tabakalı yapı elemanlarının kuvvet ve moment bileşenleri için ifadeler aşağıdaki integrallerden bulunmaktadır (Ambartsumyan, 1974, Reddy, 2004; Amabili, 2008):

$$\begin{bmatrix} T_x, T_y, T_{xy} \end{bmatrix} = \sum_{k=1}^N \int_{-h/2+(k-1)h/N}^{-h/2+kh/N} \begin{bmatrix} \sigma_x^{(k)}, \sigma_y^{(k)}, \sigma_{xy}^{(k)} \end{bmatrix} dz \quad (3.14)$$

$$\begin{bmatrix} M_x, M_y, M_{xy} \end{bmatrix} = \sum_{k=1}^N \int_{-h/2+(k-1)h/N}^{-h/2+kh/N} z \begin{bmatrix} \sigma_x^{(k)}, \sigma_y^{(k)}, \sigma_{xy}^{(k)} \end{bmatrix} dz \quad (3.15)$$

$$\begin{bmatrix} Q_x, Q_y \end{bmatrix} = \sum_{k=1}^N \int_{-h/2+(k-1)h/N}^{-h/2+kh/N} \begin{bmatrix} \sigma_{xz}^{(k)}, \sigma_{yz}^{(k)} \end{bmatrix} dz \quad (3.16)$$

Burada, denklem 3.14'te verilen T_x ve T_y sırasıyla, N tabakalı kabuğun birim kesitinde x ve y doğrultularındaki normal kuvvet bileşenleri, T_{xy} burulma kuvveti, denklem 3.16'da verilen Q_x , Q_y enine kesme kuvvetleri, denklem 3.15'te verilen M_x , M_y sırasıyla x ve y eksenlerine göre eğilme momentleri ve $M_{xy} = M_{yx}$ burulma momentidir (Şekil 3.1). Denklem 3.12 ifadeleri denklem 3.14 ve denklem 3.15 bağıntılarında yerine yazıldığında, kuvvet ve moment bileşenleri için sırasıyla denklem 3.17 ve denklem 3.18'de verilen ifadeler elde edilir:

$$\begin{aligned}\begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_{xy} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} A_{11}^0 & A_{12}^0 & 0 \\ A_{21}^0 & A_{22}^0 & 0 \\ 0 & 0 & A_{66}^0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} A_{11}^1 & A_{12}^1 & 0 \\ A_{21}^1 & A_{22}^1 & 0 \\ 0 & 0 & 2A_{66}^1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} A_{15}^0 & 0 & 0 \\ A_{25}^0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & A_{35}^0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial \psi_1}{\partial x} \\ 0 \\ \frac{\partial \psi_1}{\partial y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A_{18}^0 & 0 & 0 \\ A_{28}^0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & A_{38}^0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial \psi_2}{\partial y} \\ 0 \\ \frac{\partial \psi_2}{\partial x} \end{bmatrix}\end{aligned}\quad (3.17)$$

$$\begin{aligned}
\begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} A_{11}^1 & A_{12}^1 & 0 \\ A_{21}^1 & A_{22}^1 & 0 \\ 0 & 0 & A_{66}^0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} A_{11}^2 & A_{12}^2 & 0 \\ A_{21}^2 & A_{22}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 2A_{66}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{bmatrix} \\
&+ \begin{bmatrix} A_{15}^1 & 0 & 0 \\ A_{25}^1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & A_{35}^1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial \psi_1}{\partial x} \\ 0 \\ \frac{\partial \psi_1}{\partial y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A_{18}^1 & 0 & 0 \\ A_{28}^1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & A_{38}^1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial \psi_2}{\partial y} \\ 0 \\ \frac{\partial \psi_2}{\partial x} \end{bmatrix}
\end{aligned} \quad (3.18)$$

Denklem 3.17 ve denklem 3.18 bağıntılarının içerdiği semboller denklem 3.19 ile tanımlanmaktadır:

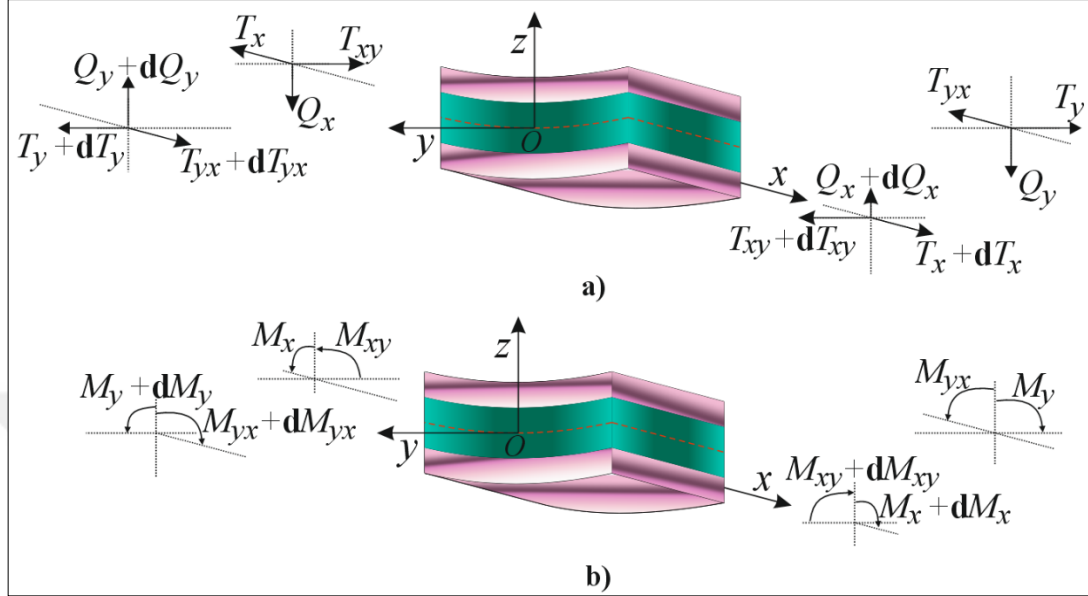
$$\begin{aligned}
A_{ij}^{k_1} &= \sum_{k=1}^N \int_{-h/2+(k-1)h/N}^{-h/2+kh/N} Y_{ij}^{(k)}(\bar{z}) z^{k_1} dz, \quad (i, j = 1, 2, 6), \quad k_1 = 0, 1, 2. \\
A_{j5}^{k_2} &= \sum_{k=1}^N \int_{-h/2+(k-1)h/N}^{-h/2+kh/N} z^{k_2} J_1^{(k)} Y_{1j}^{(k)}(\bar{z}) dz, \quad j = 1, 2, \\
A_{j8}^{k_2} &= \sum_{k=1}^N \int_{-h/2+(k-1)h/N}^{-h/2+kh/N} z^{k_2} J_2^{(k)} Y_{j2}^{(k)}(\bar{z}) dz, \quad j = 1, 2, \\
A_{35}^{k_2} &= \sum_{k=1}^N \int_{-h/2+(k-1)h/N}^{-h/2+kh/N} z^{k_2} J_1^{(k)} Y_{66}^{(k)}(\bar{z}) dz, \\
A_{38}^{k_2} &= \sum_{k=1}^N \int_{-h/2+(k-1)h/N}^{-h/2+kh/N} z^{k_2} J_2^{(k)} Y_{66}^{(k)}(\bar{z}) dz, \quad k_2 = 0, 1
\end{aligned} \quad (3.19)$$

Denklem 3.3 bağıntıları denklem 3.16 integraline ikame edildiğinde, kesme kuvvetleri için denklem 3.20'deki ifadeler elde edilir:

$$\begin{Bmatrix} Q_x \\ Q_y \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 \psi_1 \\ I_2 \psi_2 \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

Denklem 3.20'nin içerdği semboller, denklem 3.21 ile tanımlanmaktadır:

$$I_1 = \sum_{k=0}^N \int_{-h/2+(k-1)h/N}^{-h/2+kh/N} \frac{d\varphi_1^{(k)}}{dz} dz, \quad I_2 = \sum_{k=0}^N \int_{-h/2+(k-1)h/N}^{-h/2+kh/N} \frac{d\varphi_2^{(k)}}{dz} dz \quad (3.21)$$



Şekil 3.1 : ÇTHOSK'lerin (a) kuvvet ve (b) moment bileşenleri.

Denklem 3.17 bağıntılarından, ÇTHOSK'lerin referans yüzeyindeki deformasyon bileşenlerini çekildiğinde, denklem 3.22'deki matris elde edilir:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & 0 \\ B_{21} & B_{22} & 0 \\ 0 & 0 & B_{31} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_{xy} \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} B_{13} & B_{14} & 0 \\ B_{23} & B_{24} & 0 \\ 0 & 0 & B_{32} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

$$+ \begin{bmatrix} B_{15} & 0 & 0 \\ B_{25} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -B_{35} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial \psi_1}{\partial x} \\ 0 \\ \frac{\partial \psi_1}{\partial y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{18} & 0 & 0 \\ B_{28} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -B_{38} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial \psi_2}{\partial y} \\ 0 \\ \frac{\partial \psi_2}{\partial x} \end{bmatrix}$$

Denklem 3.22'nin içerdği semboller, denklem 3.23 ile tanımlanmaktadır:

$$\begin{aligned}
B_{11} &= \frac{A_{22}^0}{A_{11}^0 A_{22}^0 - A_{12}^0 A_{21}^0}, B_{12} = -\frac{A_{12}^0}{A_{11}^0 A_{22}^0 - A_{12}^0 A_{21}^0}, B_{13} = \frac{A_{12}^0 A_{21}^1 - A_{11}^1 A_{22}^0}{A_{11}^0 A_{22}^0 - A_{12}^0 A_{21}^0}, \\
B_{14} &= \frac{A_{12}^0 A_{22}^1 - A_{12}^1 A_{22}^0}{A_{11}^0 A_{22}^0 - A_{12}^0 A_{21}^0}, B_{15} = \frac{A_{25}^0 A_{12}^0 - A_{15}^0 A_{22}^0}{A_{11}^0 A_{22}^0 - A_{12}^0 A_{21}^0}, B_{18} = \frac{A_{28}^0 A_{12}^0 - A_{18}^0 A_{22}^0}{A_{11}^0 A_{22}^0 - A_{12}^0 A_{21}^0}, \\
B_{21} &= -\frac{A_{21}^0}{A_{11}^0 A_{22}^0 - A_{12}^0 A_{21}^0}, B_{22} = \frac{A_{11}^0}{A_{11}^0 A_{22}^0 - A_{12}^0 A_{21}^0}, B_{23} = \frac{A_{11}^1 A_{21}^0 - A_{21}^1 A_{11}^0}{A_{11}^0 A_{22}^0 - A_{12}^0 A_{21}^0}, \\
B_{24} &= \frac{A_{12}^1 A_{21}^0 - A_{22}^1 A_{11}^0}{A_{11}^0 A_{22}^0 - A_{12}^0 A_{21}^0}, B_{25} = \frac{A_{15}^0 A_{21}^0 - A_{25}^0 A_{11}^0}{A_{11}^0 A_{22}^0 - A_{12}^0 A_{21}^0}, B_{28} = \frac{A_{18}^0 A_{21}^0 - A_{28}^0 A_{11}^0}{A_{11}^0 A_{22}^0 - A_{12}^0 A_{21}^0}, \\
B_{31} &= \frac{1}{A_{66}^0}, B_{32} = -\frac{2A_{66}^1}{A_{66}^0}, B_{35} = \frac{A_{35}^0}{A_{66}^0}, B_{38} = \frac{A_{38}^0}{A_{66}^0}
\end{aligned} \tag{3.23}$$

Denklem 3.22 ifadeleri denklem 3.18 bağıntılarında yerine yazıldığında, kayma deformasyonları içeren ÇTHOSK'lerin moment bileşenleri denklem 3.24 şekline dönüşür:

$$\begin{aligned}
\begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} &= \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & 0 \\ C_{21} & C_{22} & 0 \\ 0 & 0 & C_{31} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_{xy} \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} C_{13} & C_{14} & 0 \\ C_{23} & C_{24} & 0 \\ 0 & 0 & C_{32} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{bmatrix} \\
&+ \begin{bmatrix} C_{15} & 0 & 0 \\ C_{25} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_{35} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial \psi_1}{\partial x} \\ 0 \\ \frac{\partial \psi_1}{\partial y} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{18} & 0 & 0 \\ C_{28} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_{38} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial \psi_2}{\partial y} \\ 0 \\ \frac{\partial \psi_2}{\partial x} \end{Bmatrix}
\end{aligned} \tag{3.24}$$

Buradaki semboller için denklem 3.25'teki tanımlar geçerlidir:

$$\begin{aligned}
C_{11} &= A_{11}^1 B_{11} + A_{12}^1 B_{21}, C_{12} = A_{11}^1 B_{12} + A_{12}^1 B_{11}, C_{13} = A_{11}^1 B_{13} + A_{12}^1 B_{23} + A_{11}^2 \\
C_{14} &= A_{11}^1 B_{14} + A_{12}^1 B_{24} + A_{12}^2, C_{15} = A_{11}^1 B_{15} + A_{12}^1 B_{25} + A_{15}^1, \\
C_{18} &= A_{11}^1 B_{18} + A_{12}^1 B_{28} + A_{18}^1, C_{21} = A_{21}^1 B_{11} + A_{22}^1 B_{21}, \\
C_{22} &= A_{21}^1 B_{12} + A_{22}^1 B_{22}, C_{23} = A_{21}^1 B_{13} + A_{22}^1 B_{23} + A_{21}^2, \\
C_{24} &= A_{21}^1 B_{14} + A_{22}^1 B_{24} + A_{22}^2, C_{25} = A_{21}^1 B_{15} + A_{22}^1 B_{25} + A_{25}^1, \\
C_{28} &= A_{21}^1 B_{18} + A_{22}^1 B_{28} + A_{28}^1, C_{31} = A_{66}^1 B_{31}, C_{32} = A_{66}^1 B_{32} + 2A_{66}^2, \\
C_{35} &= A_{35}^1 - A_{66}^1 B_{35}, C_{38} = A_{38}^1 - A_{66}^1 B_{38}
\end{aligned} \tag{3.25}$$

Kuvvet bileşenleri ve Φ Airy gerilme fonksiyonu arasındaki bağıntılar denklem 3.26 şeklinde ifade edilmektedir (Vol'mir, 1967):

$$(T_x, T_y, T_{xy}) = h \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2}, \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2}, -\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} \right) \tag{3.26}$$

Denklem 3.26 ifadeleri denklem 3.24'te ikame edildiğinde denklem 3.27 şekline dönüşür:

$$\begin{aligned}
\begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} &= \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & 0 \\ C_{21} & C_{22} & 0 \\ 0 & 0 & C_{31} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} \\ \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} \\ -\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} C_{13} & C_{14} & 0 \\ C_{23} & C_{24} & 0 \\ 0 & 0 & C_{32} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{Bmatrix} \\
&+ \begin{bmatrix} C_{15} & 0 & 0 \\ C_{25} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_{35} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial \psi_1}{\partial x} \\ 0 \\ \frac{\partial \psi_1}{\partial y} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{18} & 0 & 0 \\ C_{28} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_{38} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial \psi_2}{\partial y} \\ 0 \\ \frac{\partial \psi_2}{\partial x} \end{Bmatrix}
\end{aligned} \tag{3.27}$$

3.3 Kayma Deformasyon Teorisinde Lineer Olmayan Elastik Zemin Üzerinde Bulunan Çok Tabakalı Heterojen Ortotropik Silindirik Kabukların Lineer Olmayan Temel Denklemlerinin Türetilmesi

Lineer olmayan elastik zemin üzerinde bulunan ÇTHOSK'lerin eksenel ve dönel atalet etkilerini içeren kayma deformasyon teorisine dayalı lineer olmayan hareket ve uyumluluk denklemleri, denklem 3.28 şeklinde verilmiştir (Chien ve Chen, 2005; Reddy, 2004; Tornabene ve Reddy, 2013, Sofiyev ve Kuruoğlu, 2014):

$$\begin{aligned}
\frac{\partial M_x}{\partial x} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial y} - Q_x + \rho_1 h^3 \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial t^2} - \rho_2 h^2 \frac{\partial^2 \psi_1}{\partial t^2} &= 0 \\
\frac{\partial M_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial M_y}{\partial y} - Q_y + \rho_1 h^3 \frac{\partial^3 w}{\partial y \partial t^2} - \rho_3 h^2 \frac{\partial^2 \psi_2}{\partial t^2} &= 0 \\
\frac{\partial^2 \varepsilon_x^0}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y^0}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \gamma_{xy}^0}{\partial x \partial y} &= \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 - \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \frac{1}{R} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\
\frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} + \frac{T_y}{R} + T_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + 2T_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + T_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\
-K_L w - K_{LO} w^3 + K_P \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) &= \bar{\rho} \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}
\end{aligned} \tag{3.28}$$

Burada t zaman, $\bar{\rho}$ ve $\rho_i (i=1,2,3)$ ise normal ve dönel atalet momentlerinin katsayıları olup denklem 3.29'daki tanımlar geçerlidir:

$$\begin{aligned}
\bar{\rho} &= \sum_{k=1}^N \int_{-h/2+(k-1)h/N}^{-h/2+kh/N} \rho^{(k)}(\bar{z}) dz, \quad \rho_1 = \sum_{k=1}^N \int_{-h/2+(k-1)h/N}^{-h/2+kh/N} \rho^{(k)}(\bar{z}) z^2 dz, \\
\rho_2 &= \sum_{k=1}^N \int_{-h/2+(k-1)h/N}^{-h/2+kh/N} I_1^{(k)} \rho^{(k)}(\bar{z}) z dz, \quad \rho_3 = \sum_{k=1}^N \int_{-h/2+(k-1)h/N}^{-h/2+kh/N} I_2^{(k)} \rho^{(k)}(\bar{z}) z dz.
\end{aligned} \tag{3.29}$$

Denklem 3.22, denklem 3.26 ve denklem 3.27 ifadeleri, denklem 3.28 sistemine ikame edildiğinde, denklem 3.30-3.33'te verilen lineer olmayan diferansiyel denklemler seti elde edilir:

$$\begin{aligned}
h \left[(C_{11} - C_{31}) \frac{\partial^4 \Phi}{\partial x^2 \partial y^2} + C_{12} \frac{\partial^4 \Phi}{\partial x^4} \right] - C_{13} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} - (C_{14} + C_{32}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + C_{15} \frac{\partial^3 \psi_1}{\partial x^3} \\
+ C_{35} \frac{\partial^3 \psi_1}{\partial x \partial y^2} + (C_{18} + C_{38}) \frac{\partial^3 \psi_2}{\partial x^2 \partial y} - I_1 \frac{\partial \psi_1}{\partial x} + \rho_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial t^2} - \rho_2 \frac{\partial^3 \psi_1}{\partial x \partial t^2} &= 0
\end{aligned} \tag{3.30}$$

$$\begin{aligned}
& hC_{21} \frac{\partial^4 \Phi}{\partial y^4} + h(C_{22} - C_{31}) \frac{\partial^4 \Phi}{\partial x^2 \partial y^2} - (C_{32} + C_{23}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} - C_{24} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + (C_{25} + C_{35}) \frac{\partial^3 \psi_1}{\partial x \partial y^2} \\
& + C_{38} \frac{\partial^3 \psi_2}{\partial x^2 \partial y} + C_{28} \frac{\partial^3 \psi_2}{\partial y^3} - I_2 \frac{\partial \psi_2}{\partial y} + \rho_1 \frac{\partial^4 w}{\partial y^2 \partial t^2} - \rho_3 \frac{\partial^3 \psi_2}{\partial y \partial t^2} = 0
\end{aligned} \quad (3.31)$$

$$\begin{aligned}
& h \left[B_{11} \frac{\partial^4 \Phi}{\partial y^4} + (B_{12} + B_{21} + B_{31}) \frac{\partial^4 \Phi}{\partial x^2 \partial y^2} + B_{22} \frac{\partial^4 \Phi}{\partial x^4} \right] - B_{23} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} \\
& - (B_{24} + B_{13} - B_{32}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} - B_{14} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + \frac{1}{R} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + B_{25} \frac{\partial^3 \psi_1}{\partial x^3} + (B_{15} + B_{35}) \frac{\partial^3 \psi_1}{\partial x \partial y^2} \\
& + (B_{28} + B_{38}) \frac{\partial^3 \psi_2}{\partial x^2 \partial y} + B_{18} \frac{\partial^3 \psi_2}{\partial y^3} - \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 + \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0
\end{aligned} \quad (3.32)$$

$$\begin{aligned}
& I_1 \frac{\partial \psi_1}{\partial x} + I_2 \frac{\partial \psi_2}{\partial y} + h \left[\frac{1}{R} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - 2 \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right] \\
& - K_L w - K_{LO} w^3 + K_P \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) - \bar{\rho} \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0
\end{aligned} \quad (3.33)$$

Denklem 3.30-3.33 lineer olmayan kısmi türevli diferansiyel denklemleri, lineer olmayan elastik zemin üzerinde bulunan ÇTHOSK'lerin eksenel ve dönel atalet etkilerini içeren genişletilmiş kayma deformasyon teorisine dayalı lineer olmayan hareket ve deformasyon uyumluluğun kısmi türevli diferansiyel denklemleridir.



4. ÇÖZÜM PROSEDÜRÜ

Bu bölümde tez çalışmasının çözüm prosedürü olan lineer olmayan kısmi türevli diferansiyel denklemlerin lineer adi diferansiyel denklemlere dönüştürülmesi ve lineer olmayan zemin üzerinde bulunan ÇTHOSK'lerin lineer olmayan frekans ifadelerinin genliğe bağlı ifadesinin KDT'ye göre bulunmasına yer verilmiştir.

4.1 Linear Olmayan Kısmi Türevli Diferansiyel Denklemlerin Linear Adi

Diferansiyel Denklemlere Dönüştürülmesi

Basit mesnetli sınır koşullarına sahip lineer olmayan elastik zemin üzerinde bulunan ÇTHOSK'lerin denklemler sistemine denklem 4.1 ile verilen sınır koşulları eklenmiştir (Reddy, 2004; Amabili, 2018):

$$x = 0, x = L \text{ ise } w = 0, M_x = 0, \psi_2 = 0, \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} = 0 \quad (4.1)$$

Basit mesnetli sınır koşullarını sağlayan lineer olmayan elastik zemin üzerinde bulunan ÇTHOSK'lerin kayma deformasyon teorisine dayalı lineer olmayan hareket ve uyumlulukların kısmi türevli diferansiyel denklemleri 3.30-3.33 denklemler sisteminin çözümü denklem 4.2 ile aranır:

$$\begin{aligned} w &= \bar{w}(t) \sin(\lambda_1 x) \sin(\lambda_2 y), \psi_1 = \bar{\psi}_1(t) \cos(\lambda_1 x) \sin(\lambda_2 y), \\ \psi_2 &= \bar{\psi}_2(t) \sin(\lambda_1 x) \cos(\lambda_2 y) \end{aligned} \quad (4.2)$$

Burada $\bar{w}(t)$, $\bar{\psi}_1(t)$ ve $\bar{\psi}_2(t)$ zamana bağlı olan bilinmeyen fonksiyonlardır ve dalga sayılarına bağlı parametreler denklem 4.3'teki gibi tanımlanmaktadır:

$$\lambda_1 = \frac{m\pi}{L}, \lambda_2 = \frac{n}{R} \quad (4.3)$$

Burada m ana doğrultuda yarım dalga sayısı ve n dairesel doğrultuda dalga sayısıdır. Airy gerilme fonksiyonunun ifadesi, denklem 3.32 diferansiyel denkleminin özel

çözümünden elde edilir. Bunun için denklem 4.2 yaklaşım fonksiyonları denklem 3.32 diferansiyel denkleminde ikame edilir ve bu denklemin özel çözümünden Airy gerilme fonksiyonu için denklem 4.4'teki ifade bulunur (Avey ve diğ., 2024):

$$\Phi = \Gamma_1(t) \cos(2\lambda_1 x) + \Gamma_2(t) \cos(2\lambda_2 y) + \Gamma_3(t) \sin(\lambda_1 x) \sin(\lambda_2 y) \quad (4.4)$$

Buradaki semboller için denklem 4.5 ile verilen tanımlar geçerlidir.

$$\Gamma_1(t) = \frac{q_{14} \bar{w}^2(t)}{32\lambda_1^4 q_3}, \quad \Gamma_2(t) = \frac{q_{14} \bar{w}^2(t)}{32\lambda_2^4 q_1}, \quad \Gamma_3(t) = \frac{q_{11} \bar{w}(t) + q_{12} \bar{\psi}_1(t) + q_{13} \bar{\psi}_2(t)}{q_1 \lambda_2^4 + q_2 \lambda_1^2 \lambda_2^2 + q_3 \lambda_1^4},$$

$$q_1 = B_{11}h, \quad q_2 = (B_{12} + B_{21} + B_{31})h, \quad q_3 = B_{22}h, \quad (4.5)$$

$$q_{11} = \lambda_1^2 \left[B_{23} \lambda_1^2 + (B_{24} + B_{13} - B_{32}) \lambda_2^2 \right] + B_{14} \lambda_2^4 + \frac{\lambda_1^2}{R},$$

$$q_{12} = -\lambda_1 \left[B_{25} \lambda_1^2 + (B_{15} + B_{35}) \lambda_2^2 \right], \quad q_{13} = -(B_{28} + B_{38}) \lambda_1^2 \lambda_2 - B_{18} \lambda_2^3, \quad q_{14} = \lambda_1^2 \lambda_2^2$$

Denklem 3.30, 3.31 ve 3.33 diferansiyel denklemlerine Galerkin yöntemi uygulanırsa denklem 4.6-4.8 ifadeleri oluşur:

$$\int_0^L \int_0^{2\pi R} \left[h \left[(C_{11} - C_{31}) \frac{\partial^4 \Phi}{\partial x^2 \partial y^2} + C_{12} \frac{\partial^4 \Phi}{\partial x^4} \right] - C_{13} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} - (C_{14} + C_{32}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} \right. \\ \left. + C_{15} \frac{\partial^3 \psi_1}{\partial x^3} + C_{35} \frac{\partial^3 \psi_1}{\partial x \partial y^2} + (C_{18} + C_{38}) \frac{\partial^3 \psi_2}{\partial x^2 \partial y} - I_1 \frac{\partial \psi_1}{\partial x} \right. \\ \left. + \rho_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial t^2} - \rho_2 \frac{\partial^3 \psi_1}{\partial x \partial t^2} \right] \sin(\lambda_1 x) \sin(\lambda_2 y) dx dy = 0 \quad (4.6)$$

$$\int_0^L \int_0^{2\pi R} \left[h C_{21} \frac{\partial^4 \Phi}{\partial y^4} + h (C_{22} - C_{31}) \frac{\partial^4 \Phi}{\partial x^2 \partial y^2} - (C_{32} + C_{23}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} - \right. \\ \left. C_{24} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + (C_{25} + C_{35}) \frac{\partial^3 \psi_1}{\partial x \partial y^2} + C_{38} \frac{\partial^3 \psi_2}{\partial x^2 \partial y} + C_{28} \frac{\partial^3 \psi_2}{\partial y^3} - I_2 \frac{\partial \psi_2}{\partial y} \right. \\ \left. + \rho_1 \frac{\partial^4 w}{\partial y^2 \partial t^2} - \rho_3 \frac{\partial^3 \psi_2}{\partial y \partial t^2} \right] \sin(\lambda_1 x) \sin(\lambda_2 y) dx dy = 0 \quad (4.7)$$

$$\begin{aligned}
& \int_0^L \int_0^{2\pi R} \left\{ I_1 \frac{\partial \psi_1}{\partial x} + I_2 \frac{\partial \psi_2}{\partial y} + h \left[\frac{1}{R} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - 2 \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right. \right. \\
& \left. \left. + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right] - K_L w - K_{LO} w^3 + K_P \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \right. \\
& \left. - \bar{\rho} \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \right\} \sin(\lambda_1 x) \sin(\lambda_2 y) dx dy = 0
\end{aligned} \tag{4.8}$$

Denklem 4.2 ve denklem 4.4 ifadelerini denklem 4.6’da yerine yazıp integrallendiğinde denklem 4.9 cebirsel denkleme dönüşür.

$$P_{11} \bar{w} + P_{12} \bar{\psi}_1 + P_{13} \bar{\psi}_2 = 0 \tag{4.9}$$

Bu denklemde yer alan semboller, denklem 4.10’daki ifadeler ile tanımlanır:

$$\begin{aligned}
P_{11} &= \frac{(C_{11} - C_{31}) \lambda_2^2 \lambda_1^2 + C_{12} \lambda_1^4}{q_1 \lambda_2^4 + q_2 \lambda_2^2 \lambda_1^2 + q_3 \lambda_1^4} h q_{11} - C_{13} \lambda_1^4 - (C_{14} + C_{32}) \lambda_1^2 \lambda_2^2 \\
P_{12} &= \frac{(C_{11} - C_{31}) \lambda_2^2 \lambda_1^2 + C_{12} \lambda_1^4}{q_1 \lambda_2^4 + q_2 \lambda_2^2 \lambda_1^2 + q_3 \lambda_1^4} h q_{12} + C_{15} \lambda_1^3 + C_{35} \lambda_1 \lambda_2^2 + I_1 \lambda_1 \\
P_{13} &= \frac{(C_{11} - C_{31}) \lambda_2^2 \lambda_1^2 + C_{12} \lambda_1^4}{q_1 \lambda_2^4 + q_2 \lambda_2^2 \lambda_1^2 + q_3 \lambda_1^4} h q_{13} + (C_{18} + C_{38}) \lambda_1^2 \lambda_2
\end{aligned} \tag{4.10}$$

Denklem 4.2 ve denklem 4.4 ifadelerini denklem 4.7’de yerine yazıp integrallendiğinde, denklem 4.11 cebirsel ifadesine dönüşür.

$$P_{21} \bar{w} + P_{22} \bar{\psi}_1 + P_{23} \bar{\psi}_2 = 0 \tag{4.11}$$

Bu denklemde yer alan semboller, denklem 4.12’deki gibi tanımlanır:

$$\begin{aligned}
P_{21} &= \frac{C_{21} \lambda_2^4 + (C_{22} - C_{31}) \lambda_1^2 \lambda_2^2}{q_1 \lambda_2^4 + q_2 \lambda_2^2 \lambda_1^2 + q_3 \lambda_1^4} q_{11} h - (C_{32} + C_{23}) \lambda_1^2 \lambda_2^2 - C_{24} \lambda_2^4 \\
P_{22} &= \frac{C_{21} \lambda_2^4 + (C_{22} - C_{31}) \lambda_1^2 \lambda_2^2}{q_1 \lambda_2^4 + q_2 \lambda_2^2 \lambda_1^2 + q_3 \lambda_1^4} q_{12} h + (C_{25} + C_{35}) \lambda_1 \lambda_2^2 \\
P_{23} &= \frac{C_{21} \lambda_2^4 + (C_{22} - C_{31}) \lambda_1^2 \lambda_2^2}{q_1 \lambda_2^4 + q_2 \lambda_2^2 \lambda_1^2 + q_3 \lambda_1^4} q_{13} h + C_{28} \lambda_2^3 + C_{38} \lambda_1^2 \lambda_2 + I_2 \lambda_2
\end{aligned} \tag{4.12}$$

Denklem 4.2 ve denklem 4.4 ifadelerini denklem 4.8’de yerine yazıp integrallendiğinde, denklem 4.13 ile verilen adi lineer olmayan diferansiyel denkleminde dönüşür.

$$\bar{\rho} \frac{d^2 \bar{w}}{dt^2} + P_{31} \bar{w} + P_{32} \bar{w}^3 + P_{33} \bar{\psi}_1 + P_{34} \bar{\psi}_2 = 0 \quad (4.13)$$

Bu denklemde yer alan semboller, denklem 4.14 ifadeleri ile tanımlanır:

$$\begin{aligned} P_{31KDT}^{wp} &= \frac{\lambda_1^2}{R} \frac{1}{q_1 \lambda_2^4 + q_2 \lambda_2^2 \lambda_1^2 + q_3 \lambda_1^4} q_{11} h + K_L + K_P (\lambda_1^2 + \lambda_2^2) \\ P_{32} &= \frac{\lambda_1^2 \lambda_2^2 h q_{14}}{16} \left(\frac{1}{\lambda_2^4 q_1} + \frac{1}{\lambda_1^4 q_3} \right) + \frac{9}{16} K_{LO} \\ P_{33} &= \frac{\lambda_1^2}{R} \frac{1}{q_1 \lambda_2^4 + q_2 \lambda_2^2 \lambda_1^2 + q_3 \lambda_1^4} q_{12} h + I_1 \lambda_1 \\ P_{34} &= \frac{\lambda_1^2}{R} \frac{1}{q_1 \lambda_2^4 + q_2 \lambda_2^2 \lambda_1^2 + q_3 \lambda_1^4} q_{13} h + I_2 \lambda_2 \end{aligned} \quad (4.14)$$

Denklem 4.9, denklem 4.11 ve denklem 4.13 bir sistem şeklinde bir araya getirilirse denklem 4.15’teki ifadeler elde edilir:

$$\begin{aligned} P_{11} \bar{w} + P_{12} \bar{\psi}_1 + P_{13} \bar{\psi}_2 &= 0 \\ P_{21} \bar{w} + P_{22} \bar{\psi}_1 + P_{23} \bar{\psi}_2 &= 0 \end{aligned} \quad (4.15)$$

$$\bar{\rho} \frac{d^2 \bar{w}}{dt^2} + P_{31} \bar{w} + P_{32} \bar{w}^3 + P_{33} \bar{\psi}_1 + P_{34} \bar{\psi}_2 = 0$$

Burada $P_{ij} (i=1,2,3; j=1,2,...,4)$ parametreleri toplu bir şekilde, denklem 4.16’daki gibi tanımlanır:

$$\begin{aligned}
P_{11} &= \frac{(C_{11}-C_{31})\lambda_2^2\lambda_1^2 + C_{12}\lambda_1^4}{q_1\lambda_2^4 + q_2\lambda_2^2\lambda_1^2 + q_3\lambda_1^4} hq_{11} - C_{13}\lambda_1^4 - (C_{14} + C_{32})\lambda_1^2\lambda_2^2 \\
P_{12} &= \frac{(C_{11}-C_{31})\lambda_2^2\lambda_1^2 + C_{12}\lambda_1^4}{q_1\lambda_2^4 + q_2\lambda_2^2\lambda_1^2 + q_3\lambda_1^4} hq_{12} + C_{15}\lambda_1^3 + C_{35}\lambda_1\lambda_2^2 + I_1\lambda_1 \\
P_{13} &= \frac{(C_{11}-C_{31})\lambda_2^2\lambda_1^2 + C_{12}\lambda_1^4}{q_1\lambda_2^4 + q_2\lambda_2^2\lambda_1^2 + q_3\lambda_1^4} hq_{13} + (C_{18} + C_{38})\lambda_1^2\lambda_2 \\
P_{21} &= \frac{C_{21}\lambda_2^4 + (C_{22}-C_{31})\lambda_1^2\lambda_2^2}{q_1\lambda_2^4 + q_2\lambda_2^2\lambda_1^2 + q_3\lambda_1^4} q_{11}h - (C_{32} + C_{23})\lambda_1^2\lambda_2^2 - C_{24}\lambda_2^4 \\
P_{22} &= \frac{C_{21}\lambda_2^4 + (C_{22}-C_{31})\lambda_1^2\lambda_2^2}{q_1\lambda_2^4 + q_2\lambda_2^2\lambda_1^2 + q_3\lambda_1^4} q_{12}h + (C_{25} + C_{35})\lambda_1\lambda_2^2 \\
P_{23} &= \frac{C_{21}\lambda_2^4 + (C_{22}-C_{31})\lambda_1^2\lambda_2^2}{q_1\lambda_2^4 + q_2\lambda_2^2\lambda_1^2 + q_3\lambda_1^4} q_{13}h + C_{28}\lambda_2^3 + C_{38}\lambda_1^2\lambda_2 + I_2\lambda_2 \\
P_{31KDT}^{wp} &= \frac{\lambda_1^2}{R} \frac{1}{q_1\lambda_2^4 + q_2\lambda_2^2\lambda_1^2 + q_3\lambda_1^4} q_{11}h + K_L + K_P(\lambda_1^2 + \lambda_2^2) \\
P_{32} &= \frac{\lambda_1^2\lambda_2^2 h q_{14}}{16} \left(\frac{1}{\lambda_2^4 q_1} + \frac{1}{\lambda_1^4 q_3} \right) + \frac{9}{16} K_{LO} \\
P_{33} &= \frac{\lambda_1^2}{R} \frac{1}{q_1\lambda_2^4 + q_2\lambda_2^2\lambda_1^2 + q_3\lambda_1^4} q_{12}h + I_1\lambda_1 \\
P_{34} &= \frac{\lambda^2}{R} \frac{1}{q_1\lambda_2^4 + q_2\lambda_2^2\lambda_1^2 + q_3\lambda_1^4} q_{13}h + I_2\lambda_2
\end{aligned} \tag{4.16}$$

Denklem 4.15'teki $\bar{\psi}_1$ ve $\bar{\psi}_2$ bilinmeyen fonksiyonlar elimine edildiğinde, KDT'ye göre lineer olmayan elastik zemin üzerinde bulunan ÇTHOSK'lerin lineer olmayan hareket denklemi, denklem 4.17'deki gibi elde edilir:

$$\frac{d^2 \bar{w}(t)}{dt^2} + \left(\Omega_{KDT}^{Lwp} \right)^2 \bar{w}(t) + \alpha_{KDT}^{LO} \bar{w}^3(t) = 0 \tag{4.17}$$

Burada Ω_{KDT}^{Lwp} iki parametrelili elastik zemin üzerinde bulunan ÇTHOSK'lerin lineer titreşim frekansısıdır ve denklem 4.18 ifadesinden bulunur:

$$\Omega_{KDT}^{Lwp} = \sqrt{\frac{\bar{P}_{31KDT}^{wp}}{\bar{\rho}}}, \quad \alpha_{KDT}^{LO} = \frac{P_{32}}{\bar{\rho}} \tag{4.18}$$

Denklem 4.18'deki $\bar{P}_{31KDT}^{wp}$ parametresinin açıklaması, denklem 4.19'daki gibidir:

$$\bar{P}_{31KDT}^{wp} = P_{31KDT}^{wp} - \frac{P_{34}P_{21}}{P_{23}} + \left(P_{33} - \frac{P_{34}P_{22}}{P_{23}} \right) \frac{P_{11}P_{23} - P_{21}P_{13}}{P_{22}P_{13} - P_{23}P_{12}} \quad (4.19)$$

KDT'ye göre ÇTHOSK'lerin iki parametrelili elastik zemin üzerindeki boyutsuz lineer frekans parametresi denklem 4.20'de verilen şekilde hesaplanmaktadır:

$$\Omega_{1KDT}^{Lwp} = \Omega_{KDT}^{Lwp} R \sqrt{(1 - \nu_{12}^{(k)} \nu_{21}^{(k)}) \rho_0^{(k)} / E_{011}^{(k)}} \quad (4.20)$$

KLT'ye göre lineer olmayan iki parametrelili elastik zemin üzerindeki ÇTHOSK'lerin lineer olmayan hareket ve deformasyon uyumluluk denklemleri Φ ve w cinsinden denklem 4.21'deki gibi türetilmektedir:

$$\begin{aligned} & C_{12} h \frac{\partial^4 \Phi}{\partial x^4} + (C_{11} - 2C_{31} + C_{22}) h \frac{\partial^4 \Phi}{\partial x^2 \partial y^2} + C_{21} h \frac{\partial^4 \Phi}{\partial y^4} + \frac{h}{R} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} - C_{13} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} \\ & - (C_{14} + 2C_{32} + C_{23}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} - C_{24} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} - K_L w - K_{LO} w^3 + K_P \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \\ & + h \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - 2h \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + h \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \bar{\rho} \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0 \end{aligned} \quad (4.21)$$

$$\begin{aligned} & hB_{11} \frac{\partial^4 \Phi}{\partial y^4} + h(B_{12} + B_{21} + B_{31}) \frac{\partial^4 \Phi}{\partial x^2 \partial y^2} + hB_{22} \frac{\partial^4 \Phi}{\partial x^4} - B_{23} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} \\ & - (B_{24} + B_{13} - B_{32}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} - B_{14} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + \frac{1}{R} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \left(\frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \right)^2 + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \frac{\partial^2}{\partial y^2} = 0 \end{aligned}$$

Basit destekli sınır koşullarını sağlayan denklem 4.21 kümesinin ikinci denkleminin çözümü denklem 4.22'de şu şekilde aranır (Vol'mir, 1974):

$$w = \bar{w}(t) \sin(\lambda_1 x) \sin(\lambda_2 y) \quad (4.22)$$

Denklem 4.22 ifadesi denklem 4.21'in ikinci ifadesinde yerine yazılarak bazı matematiksel işlem sonucunda, Airy gerilme fonksiyonu için denklem 4.23 ifadesini elde ederiz:

$$\begin{aligned} \Phi = & \frac{\lambda_2^2}{32\lambda_1^2 q_3} \bar{w}^2(t) \cos(2\lambda_1 x) + \frac{\lambda_1^2}{32\lambda_2^2 q_1} \bar{w}^2(t) \cos(2\lambda_2 y) \\ & + \frac{B_{23}\lambda_1^4 + (B_{24} + B_{13} - B_{32})\lambda_1^2 \lambda_2^2 + B_{14}\lambda_2^4 + \frac{\lambda_1^2}{R}}{h[B_{11}\lambda_2^4 + (B_{12} + B_{21} + B_{31})\lambda_2^2 \lambda_1^2 + B_{22}\lambda_1^4]} \bar{w}(t) \sin(\lambda_1 x) \sin(\lambda_2 y) \end{aligned} \quad (4.23)$$

Denklem 4.22 ve denklem 4.23 bağıntıları denklem 4.21'in birinci ifadesinde yerine konulup elde edilen denkleme Galerkin yöntemi uygulanarak, lineer olmayan Winkler elastik zemini üzerine oturan ÇTHOSK'ler için KLT'ye göre denklem 4.24 ile verilen lineer olmayan diferansiyel denklem elde edilir:

$$\frac{d^2 \bar{w}(t)}{dt^2} + (\Omega_{KLT}^{Lwp})^2 \bar{w}(t) + \bar{\alpha}_{KLT}^{LO} \bar{w}^3(t) = 0 \quad (4.24)$$

Burada $\bar{\alpha}_{KLT}^{LO} = \frac{1}{16} \left(\frac{\lambda_2^4}{b_{22}} + \frac{\lambda_1^4}{b_{11}} \right) \frac{h^2}{\bar{\rho}} + \frac{9}{16} K_{LO}$ olup Ω_{KLT}^{Lwp} ise KLT'ye göre iki parametrelili lineer elastik zemin üzerindeki çok ÇTHOSK'lerin lineer frekansı olup denklem 4.25'teki şu ifadeden bulunur (birimi 1/sn):

$$\Omega_{KLT}^{Lwp} = \sqrt{\frac{P_{31KLT}^{wp}}{\bar{\rho}}} \quad (4.25)$$

Burada, denklem 4.26 ile verilen şu tanım geçerlidir:

$$\begin{aligned} P_{31KLT}^{wp} = & \frac{\left[\frac{\lambda_1^2}{R} - C_{21}\lambda_2^4 - (C_{11} - 2C_{31} + C_{22})\lambda_2^2 \lambda_1^2 - C_{12}\lambda_1^4 \right]}{B_{22}\lambda_1^4 + (B_{12} + B_{31} + B_{21})\lambda_2^2 \lambda_1^2 + B_{11}\lambda_2^4} \times \\ & \left[B_{23}\lambda_1^4 + (B_{13} - B_{32} + B_{24})\lambda_1^2 \lambda_2^2 + B_{14}\lambda_2^4 + \frac{\lambda_1^2}{R} \right] + C_{13}\lambda_1^4 \\ & + (C_{14} + 2C_{32} + C_{23})\lambda_1^2 \lambda_2^2 + C_{24}\lambda_2^4 + K_L + K_P(\lambda_1^2 + \lambda_2^2) \end{aligned} \quad (4.26)$$

KLT'ye göre iki parametrelili lineer elastik zeminler üzerindeki ÇTHOSK'lerin boyutsuz lineer frekans parametresi denklem 4.27'deki gibi tanımlanır:

$$\Omega_{1KLT}^{Lwp} = \Omega_{KLT}^{Lwp} R \sqrt{(1 - \nu_{12}^{(k)} \nu_{21}^{(k)}) \rho_0^{(k)} / E_{011}^{(k)}} \quad (4.27)$$

KDT ve KLT'ye göre lineer iki parametrelili elastik zemin üzerindeki çok tabakalı fonksiyonel derecelendirilmiş ortotropik silindirik kabuklar için boyutlu veya boyutsuz lineer frekans parametrelerinin minimum değerlerini bulmak için denklem 4.18, denklem 4.20, denklem 4.25 ve denklem 4.27 (m,n) dalga modu kullanarak minimize edilir. Burada eksenel dalga sayısı m 'nin bire eşit olduğu görülmektedir.

Denklem 4.18, denklem 4.20, denklem 4.25 ve denklem 4.27'de $\mu_i^{(k)} = 0$ göz önüne alındığında, sırasıyla KDT ve KLT'ye göre Pasternak tipi elastik zemin üzerindeki homojen ortotropik silindirik kabuklar için ifadeler elde edilebilir. Aynı denklemlerde, $K_L = K_p = 0$ göz önüne alınarak, sırasıyla KDT ve KLT'ye göre zeminsiz homojen ortotropik silindirik kabuklar için ifadeler elde edilebilir.

Bu denklemlerde, $\mu_i^{(k)} = 0$, $E_{011}^{(k)} = E_{022}^{(k)} = E_0^{(k)}$ ve $\nu_{12}^{(k)} = \nu_{21}^{(k)} = \nu^{(k)}$ göz önüne alınarak, sırasıyla KDT ve KLT'ye göre Pasternak tipi elastik zemin üzerindeki homojen izotropik silindirik kabuklar için ifadeler bulunabilir. Aynı denklemlerde, $K_L = K_p = 0$ göz önüne alınarak, sırasıyla KDT ve KLT'ye göre Pasternak tipi elastik zemin üzerindeki ÇTHOSK'lerin lineer frekansları için ifadeler zeminsiz homojen izotropik silindirik kabuklar için frekans ifadelerine dönüşür.

4.2 Lineer Olmayan Zemin Üzerinde Bulunan Heterojen Ortotropik Silindirik Kabukların Lineer Olmayan Frekans İfadelerinin Genliğe Bağlı İfadesinin KDT'ye Bağlı Bulunması

Denklem 4.17'yi çözmek için denklem 4.28'deki başlangıç koşulları kullanılmaktadır:

$$\bar{w}(0) = A \text{ ve } \frac{d\bar{w}(0)}{dt} = 0 \quad (4.28)$$

Burada $A = w_{\max} / h$, boyutsal olmayan genlik ve $w_{\max}$ ise w yer değiştirmesinin maksimum değeridir. Yarı ters yöntem kullanılarak denklem 4.17'nin sol tarafı için denklem 4.29'daki fonksiyonel oluşturulabilir (He, 2004):

$$J(\bar{w}) = \int_0^{T/4} \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{d\bar{w}(t)}{dt} \right]^2 + \left(\Omega_{LKDT}^{Lwp} \right)^2 \frac{\bar{w}^2(t)}{2} + Q_{LOw}^{LOw} \frac{\bar{w}^4(t)}{4} \right\} dt \quad (4.29)$$

Burada $T = 2\pi / \Omega$, lineer olmayan titreşimin periyodu olup, Ω lineer olmayan Winkler elastik zemini üzerindeki ÇTHOSK'lerin lineer olmayan serbest titreşim frekansıdır (birimi 1/sn). Bu bölümdeki indislerden Lw , lineer Winkler zeminini; Lwp , lineer Pasternak zemini; LOW , lineer olmayan Winkler zeminini; $LOWp$ ise lineer olmayan Pasternak zeminini ifade etmektedir.

Denklem 4.28'deki başlangıç koşullarını sağlayan yaklaşık çözüm denklem 4.30'da şu şekilde aranır:

$$\bar{w}(t) = A \cos \Omega t \quad (4.30)$$

Denklem 4.30 ifadesi denklem 4.29'a ikame edilerek ve ardından elde edilen denklemde $\tau = \Omega t$ dönüşümü gerçekleştirildiğinde, denklem 4.31 elde edilir:

$$J(A, \Omega) = \frac{1}{\Omega} \int_0^{\pi/2} \left[-\frac{1}{2} A^2 \Omega^2 \sin^2 \tau + \left(\Omega_{LKDT}^{Lwp} \right)^2 \frac{A^2}{2} \cos^2 \tau + \frac{Q_{LOKDT}^{LOW} A^4}{4} \cos^4 \tau \right] d\tau \quad (4.31)$$

Denklem 4.31 ifadesi integrallendikten sonra bazı işlemler sonrası denklem 4.32'ye dönüşür:

$$J(A, \Omega) = -\frac{\pi A^2 \Omega}{8} + \frac{\pi}{8\Omega} \left[\left(\Omega_{LKDT}^{Lwp} \right)^2 A^2 + \frac{3Q_{LOKDT}^{LOW} A^4}{8} \right] \quad (4.32)$$

Denklem 4.32'nin A 'ya göre kısmi türevinin sıfıra eşitlenmesi ile denklem 4.33'teki stasyoner koşul elde edilir (He, 2004):

$$\frac{dJ(A, \Omega)}{dA} = 0 \quad (4.33)$$

Denklem 4.32, denklem 4.33'te yerine yazılıp differansiyellendiğinde, denklem 4.34 şeklini alır:

$$-\frac{\pi A \Omega}{4} + \frac{\pi}{4\Omega} \left[\left(\Omega_{LKDT}^{Lwp} \right)^2 A + \frac{3Q_{LOKDT}^{LOW} A^3}{4} \right] = 0 \quad (4.34)$$

Denklem 4.34'ten, KDT'ye göre lineer olmayan elastik zeminler üzerinde bulunan ÇTHOSK'ler için lineer olmayan frekans-genlik ilişkisi denklem 4.35 şeklinde elde edilir:

$$\Omega_{LOKDT}^{LOwp} = \sqrt{\left(\Omega_{LKDT}^{Lwp}\right)^2 + \frac{3}{4} Q_{LOKDT}^{LOw} A^2} \quad (4.35)$$

KDT'ye göre, lineer olmayan elastik zeminler üzerinde bulunan ÇTHOSK'ler için boyutsuz lineer olmayan frekansın ifadesi denklem 4.36 ile tanımlanır:

$$\Omega_{1LOKDT}^{LOwp} = \Omega_{LOKDT}^{LOwp} R \sqrt{\frac{\left(1 - \nu_{12}^{(k)} \nu_{21}^{(k)}\right) \rho_0^{(k)}}{E_{011}^{(k)}}} \quad (4.36)$$

Denklem 4.35'ten, KDT'ye göre lineer elastik zeminler üzerinde bulunan ($K_{LO} = 0$) ÇTHOSK'ler için lineer olmayan frekans-genlik ilişkisi denklem 4.37 şeklinde elde edilir:

$$\Omega_{LOKDT}^{Lwp} = \sqrt{\left(\Omega_{LKDT}^{Lwp}\right)^2 + \frac{3}{4} Q_{LOKDT} A^2} \quad (4.37)$$

Burada, denklem 4.38 ile verilen şu tanımlar geçerlidir:

$$Q_{LOKDT} = \frac{P_{32}^{LO}}{\bar{\rho}}, \quad P_{32}^{LO} = \frac{\lambda_1^2 \lambda_2^2 h q_{14}}{16} \left(\frac{1}{\lambda_2^4 q_1} + \frac{1}{\lambda_1^4 q_3} \right) \quad (4.38)$$

KDT'ye göre, lineer elastik zeminler üzerinde bulunan ÇTHOSK'ler için boyutsuz lineer olmayan frekansın ifadesi denklem 4.39 şeklinde tanımlanır:

$$\Omega_{1LOKDT}^{Lwp} = \Omega_{LOKDT}^{Lwp} R \sqrt{\frac{\left(1 - \nu_{12}^{(k)} \nu_{21}^{(k)}\right) \rho_0^{(k)}}{E_{011}^{(k)}}} \quad (4.39)$$

Denklem 4.35'ten, KDT'ye göre, lineer olmayan elastik zeminler üzerinde bulunan ÇTHOSK'ler için lineer olmayan frekans oranı $\Omega_{LOKDT}^{LOwp} / \Omega_{LKDT}$ 'nın genliğe bağlı ifadesi kolayca denklem 4.40 şeklinde elde edilir:

$$\frac{\Omega_{LOKDT}^{LOwp}}{\Omega_{LKDT}} = \sqrt{\left(\frac{\Omega_{LKDT}^{Lwp}}{\Omega_{LKDT}}\right)^2 + \frac{3}{4} \frac{Q_{LOKDT}^{LOw}}{\Omega_{LKDT}} A^2} \quad (4.40)$$

Burada Ω_{LKDT} zeminsiz durumdaki ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre lineer frekansı olup denklem 4.41'deki gibi tanımlanır:

$$\Omega_{LKDT} = \sqrt{\frac{\bar{P}_{31KDT}}{\bar{\rho}}}, \quad \bar{P}_{31KDT} = P_{31KDT} - \frac{P_{34}P_{21}}{P_{23}} + \left(P_{33} - \frac{P_{34}P_{22}}{P_{23}} \right) \frac{P_{11}P_{23} - P_{21}P_{13}}{P_{22}P_{13} - P_{23}P_{12}},$$

$$P_{31KDT} = \frac{\lambda_1^2}{R} \frac{q_{11}h}{q_1\lambda_2^4 + q_2\lambda_2^2\lambda_1^2 + q_3\lambda_1^4}.$$
(4.41)

Denklem 4.37'den, KDT'ye göre lineer Pasternak elastik zeminleri üzerinde bulunan ÇTHOSK'lerin lineer olmayan frekans oranı $\Omega_{LOKDT}^{Lwp} / \Omega_{LKDT}$ 'nın genliğe bağlı ifadesi kolayca denklem 4.42'deki gibi elde edilir:

$$\frac{\Omega_{LOKDT}^{Lwp}}{\Omega_{LKDT}} = \sqrt{\left(\frac{\Omega_{LKDT}^{Lwp}}{\Omega_{LKDT}} \right)^2 + \frac{3}{4} \frac{Q_{LOKDT}}{\Omega_{LKDT}} A^2}$$
(4.42)

Burada kullanılan Q_{LOKDT} , 4.38'de tanımlanmaktadır.

KDT'ye göre, $K_p = 0$ olduğunda, Winkler lineer olmayan elastik zeminleri üzerinde bulunan ÇTHOSK'ler için lineer olmayan frekans oranı $\Omega_{LOKDT}^{LOW} / \Omega_{LKDT}$ kolayca denklem 4.43'teki gibi elde edilir:

$$\frac{\Omega_{LOKDT}^{LOW}}{\Omega_{LKDT}} = \sqrt{\left(\frac{\Omega_{LKDT}^{LOW}}{\Omega_{LKDT}} \right)^2 + \frac{3}{4} \frac{Q_{LOKDT}^{LOW}}{\Omega_{LKDT}} A^2}$$
(4.43)

Burada kullanılan sembollerin açıklamaları denklem 4.44'teki gibi sunulmaktadır:

$$\Omega_{LKDT}^{Lw} = \sqrt{\frac{\bar{P}_{31KDT}^w}{\bar{\rho}}}, \quad Q_{LOKDT}^{LOW} = \frac{P_{32}^{LOW}}{\bar{\rho}}, \quad P_{31KDT}^w = \frac{\lambda_1^2}{R} \frac{q_{11}h}{q_1\lambda_2^4 + q_2\lambda_2^2\lambda_1^2 + q_3\lambda_1^4} + K_L,$$

$$\bar{P}_{31KDT}^w = P_{31KDT}^w - \frac{P_{34}P_{21}}{P_{23}} + \left(P_{33} - \frac{P_{34}P_{22}}{P_{23}} \right) \frac{P_{11}P_{23} - P_{21}P_{13}}{P_{22}P_{13} - P_{23}P_{12}},$$

$$P_{32}^{LOW} = \frac{\lambda_1^2\lambda_2^2 h q_{14}}{16} \left(\frac{1}{\lambda_2^4 q_1} + \frac{1}{\lambda_1^4 q_3} \right) + \frac{9}{16} K_{LO}$$
(4.44)

KDT'ye göre, $K_p = 0$ olduğunda, Winkler lineer elastik zeminleri üzerinde bulunan ÇTHOSK'ler için lineer olmayan frekans oranı $\Omega_{LOKDT}^{Lw} / \Omega_{LKDT}$, kolayca denklem 4.45'teki gibi elde edilir:

$$\frac{\Omega_{LOKDT}^{Lw}}{\Omega_{LKDT}} = \sqrt{\left(\frac{\Omega_{LKDT}^{Lw}}{\Omega_{LKDT}}\right)^2 + \frac{3}{4} \frac{Q_{LOKDT}}{\Omega_{LKDT}} A^2} \quad (4.45)$$

Burada kullanılan sembollerin açıklamaları denklem 4.46'daki gibi sunulmaktadır:

$$\begin{aligned} \Omega_{LKDT}^{Lw} &= \sqrt{\frac{\bar{P}_{31KDT}^w}{\bar{\rho}}}, \quad Q_{LOKDT} = \frac{P_{32}^{LO}}{\bar{\rho}}, \\ P_{31KDT}^w &= \frac{\lambda_1^2}{R} \frac{q_1 h}{q_1 \lambda_2^4 + q_2 \lambda_2^2 \lambda_1^2 + q_3 \lambda_1^4} + K_L, \\ \bar{P}_{31KDT}^w &= P_{31KDT}^w - \frac{P_{34} P_{21}}{P_{23}} + \left(P_{33} - \frac{P_{34} P_{22}}{P_{23}} \right) \frac{P_{11} P_{23} - P_{21} P_{13}}{P_{22} P_{13} - P_{23} P_{12}} \end{aligned} \quad (4.46)$$

$K_L = K_P = 0$ olduğunda yani, elastik zeminler dikkate alınmadığında ÇTHOSK'ler için lineer olmayan frekans oranı $\Omega_{LOKDT} / \Omega_{LKDT}$ 'nin genliğe bağlı ifadesi, KDT'ye göre kolayca denklem 4.47'deki gibi elde edilir:

$$\frac{\Omega_{LOKDT}}{\Omega_{LKDT}} = \sqrt{1 + \frac{3}{4} \frac{Q_{LOKDT}}{\Omega_{LKDT}} A^2} \quad (4.47)$$

Temel bağıntılarda $\mu_i^{(k)} = 0$ göz önüne alındığında, denklem 4.35-4.37, denklem 4.39-4.40, denklem 4.42-4.43, denklem 4.45 ve denklem 4.47 ifadelerinden çok tabakalı homojen ortotropik silindirik kabukların boyutsuz lineer ve lineer olmayan frekans parametreleri için KDT'ye göre ifadeler özel olarak elde edilir.

Sonuç olarak, mevcut yöntem harmonik denge ve diğer standart pertürbasyon yöntemleriyle tam olarak aynı sonuçları vermektedir (Agamirov, 1990).

Lineer olmayan elastik zeminler üzerinde bulunan ÇTHOSK'ler için boyutsuz lineer olmayan frekans parametrelerinin minimum değerleri, boyutsal olmayan genlik olan A 'nın sabit değerleri için çevresel dalga sayısına (n) minimize edilerek elde edilir. Zeminsiz ve zeminli ortamlarda lineer ve lineer olmayan frekans parametrelerinin minimum değerleri eksenel dalga sayısı (m) bire eşit olduğunda elde edildiğini sayısal hesaplar göstermektedir.

5. NÜMERİK ANALİZ VE TARTIŞMALAR

Tez çalışmasının bu bölümü iki alt başlıktan oluşmaktadır. Birinci alt başlıkta, önceki bölümlerde elde edilen teorik formülasyonların ve metodolojinin doğruluğunu göstermek için karşılaştırma örnekleri sunulmuştur. Ardından teorik formülasyonlar kullanarak lineer olmayan elastik zeminlerin ve çeşitli heterojen ($HTO_{i=1,2,3,4}$) profilli tabakaların, tabaka dizilişi ve sayısının, ÇTHOSK'lerin lineer ve lineer olmayan (büyük genlikli) titreşim davranışları üzerindeki etkileri KDT ve KLT'ye göre detaylı olarak analiz edilerek çizelge ve grafikler şeklinde verilmiştir.

5.1 Karşılaştırma Örnekleri

Bu alt bölümde, zeminsiz ortam ile Winkler ve Pasternak tipi elastik zeminlerdeki ortotropik silindirik kabukların lineer ve lineer olmayan serbest titreşimlerine ilişkin karşılaştırmalı çalışmalar sunulmaktadır.

İlk örnekte, elastik zeminsiz homojen ortotropik bir tabakalı silindirik kabukların lineer boyutsal olmayan frekans parametrelerinin değerleri Prado ve diğ. (2010) tarafından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmak amacıyla değişik enine dalga sayıları için lineer boyutsal olmayan frekans parametresinin değerleri hesaplanarak Çizelge 5.1'de sunulmaktadır.

Prado ve diğ. (2010) çalışmasına benzer olarak, zemin etkisi dikkate alınmayan durum için bir tabakalı homojen elastik ortotropik silindirik kabukların boyutsal olmayan lineer frekans parametresi $\Omega_{LKDT} = \Omega_{LKDT} R \sqrt{(1 - \nu_{12}^{(k)} \nu_{21}^{(k)}) \rho_0^{(k)} / E_{011}^{(k)}}$ ifadesinden bulunur. Burada Ω_{LKDT} boyutsal lineer frekans olup denklem 4.41 ifadesinden bulunur. Silindirik kabuğu oluşturan ortotropik malzeme özellikleri şu şekildedir:

$$\eta_1^{(k)} = \eta_2^{(k)} = 1, E_{011}^{(k)} = 6.8599 \times 10^{10} \text{ Pa}, E_{022}^{(k)} = 2.0799 \times 10^{10} \text{ Pa}, G_{012}^{(k)} = 0.7958 \times 10^{10} \text{ Pa},$$

$$\nu_{12}^{(k)} = \nu_{21}^{(k)} = \nu_0^{(k)} = 0.131926, \rho_0^{(k)} = 7850 \text{ kg / m}^3, K_L = K_P = K_{LO} = 0 \text{ ve } k = 1.$$

Ayrıca silindirik kabuğun geometrik karakteristikleri $R/h=100$ ve $L/R=2$ olarak ele alınmaktadır. Ortotropik malzeme ve silindirik kabuk özellikleri Prado ve diğ. (2010) çalışmasından alınmıştır. Enine dalga sayılarının farklı değerleri için elde edilen boyutsal olmayan lineer frekans değerlerinin hemen hemen aynı olması, tez çalışmasının doğruluğunu kanıtlayan örneklerden biridir.

Çizelge 5.1 : Elastik zemine sahip olmayan tek tabakalı homojen ortotropik silindirik kabukların boyutsal olmayan lineer frekans parametre değerlerinin Prado ve diğ. (2010) sonuçlarıyla karşılaştırılması.

Ω_{LKDT}		
n	Prado ve diğ. (2010)	Tez çalışması
2	0.226	0.2263
3	0.147	0.1466
4	0.104	0.1043
5	0.084	0.0844
6	0.082	0.0817

Çizelge 5.2’de, elastik zeminin etkisi yok sayılarak bir tabakalı homojen ortotropik silindirik kabuklar için lineer olmayan frekans oranları, Nowinski (1963), Lakis ve diğ. (1998) ve Shen ve Yang (2014) çalışmalarında elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada aşağıda sunulan denklem 4.47’nin özel hali kullanılmaktadır:

$$\frac{\Omega_{LOKDT}}{\Omega_{LKDT}} = \sqrt{1 + \frac{3}{4} \frac{Q_{LOKDT}}{\Omega_{LKDT}} A^2}$$

Karşılaştırmada aşağıdaki mekanik özelliklere sahip bir tabakalı homojen izotropik malzeme kullanılmaktadır:

$$\eta_1^{(k)} = \eta_2^{(k)} = 1, E_{011}^{(k)} = 2 \times 10^{11} \text{ Pa}, E_{022}^{(k)} = G_{012}^{(k)} = 0.05 E_{011}^{(k)}, \nu_{12}^{(k)} = 0.2, \\ \rho_0^{(k)} = 7800 \text{ kg / m}^3, k = 1.$$

Geometrik veriler $L = 0.4\text{m}$, $R = 0.254\text{m}$, $h = 0.00254\text{m}$ ve dalga modu $(m, n) = (1, 4)$ olup Nowinski (1963) çalışmasından alınmıştır. Tez çalışmasının sonuçlarının Nowinski (1963), Lakis ve diğ. (1998) ve Shen ve Yang (2014) tarafından elde edilen sonuçlarla iyi bir uyum gösterdiği Çizelge 5.2’den görülebilir.

Çizelge 5.2 : Elastik zemin etkisi dikkate alınmadığında, bir tabakalı homojen ortotropik silindirik kabuk için lineer olmayan frekansın lineer frekansa oranının kıyaslanması.

$\Omega_{LOKDT} / \Omega_{LKDT}$				
A	Nowinski (1963)	Lakis ve diğ. (1998)	Shen ve Yang (2014)	Tez çalışması
0.5	1.0020	1.0021	1.0035	1.00185
1.0	1.0050	1.0561	1.0138	1.00738
1.5	1.0100	1.1200	1.0206	1.01652
2.0	1.0200	1.1795	1.0530	1.02916
2.5	1.0400	1.2800	1.0801	1.04515

Tez çalışmasında elde edilen, zemin etkisi dikkate alınmayan ortotropik plakların kayma deformasyon teorisine dayalı boyutsal olmayan lineer frekans parametresinin değerleri Thai ve Kim (2012) çalışmasındaki Levy tipi çözüm yöntemi ile elde edilen değerler ile kıyaslanması Çizelge 5.3'te sunulmaktadır. Zeminsiz durumdaki ÇTHOSK'ler için lineer frekans ifadesi (4.41)'de

$k = 1, R \rightarrow \infty, \lambda_1 = \frac{m\pi}{L}, \eta_1^{(k)} = \eta_2^{(k)} = 1$ yazıldığında, ortotropik plakların boyutsal

olmayan lineer frekans parametresi ifadesi KDT'ye göre elde edilebilir. Ayrıca, Thai ve Kim (2012) çalışmasında boyutsal olmayan lineer frekans parametresi için

$\bar{\Omega}_{LKDT} = \Omega_{LKDT} \left(\frac{L^2}{h} \right) \sqrt{\frac{\rho_0^{(k)}}{E_0^{(k)}}}$ ifadesi kullanıldığından tez çalışmasıyla karşılaştırma

yapılabilmesi için söz konusu ifade kullanılmıştır. Ortotropik malzemenin Young modülleri, Poisson oranı ve yoğunluğu;

$$E_{011}^{(k)} / E_{022}^{(k)} = 3, 10, 20, 30, 40, 50, G_{012}^{(k)} = G_{013}^{(k)} = 0.5 E_{022}^{(k)}, G_{023}^{(k)} = 0.2 E_{022}^{(k)}, \nu_{12}^{(k)} = 0.25, \rho_0^{(k)} = 1$$

olarak ele alınmakta ve silindirin geometrik parametreleri L/h ve L/b oranlarının değişimleri Çizelge 5.3'te sunulmaktadır. Burada $b = \pi R$ olarak ele alınmaktadır. Kayma deformasyon şekil fonksiyonları şu şekilde seçilmiş ve Reddy (2004)

çalışmasından alınmıştır: $\varphi_i^{(k)}(z) = z \left(\frac{1}{4} - \frac{5}{3} \frac{z^2}{h^2} \right)$. Çizelge 5.3 incelendiğinde, elde

edilen sonuçların Thai ve Kim (2012) çalışmasında boyutsal olmayan lineer frekans parametresi için elde edilen sonuçlarla neredeyse aynı olduğunu göstermektedir ve bu karşılaştırma tez çalışmasının metodolojisini doğrulayan başka bir örnektir.

Çizelge 5.3 : Homojen ortotropik plakların kayma deformasyon teorisine dayalı boyutsal olmayan lineer frekans parametre değerlerinin Thai ve Kim (2012) çalışması ile mukayesesi.

		$\bar{\Omega}_{1LKDT}$ Thai ve Kim (2012)					
L/b	L/h	$E_{011}^{(1)} / E_{022}^{(1)}$					
		3	10	20	30	40	50
0.5	20	5.4685	9.1141	12.4009	14.7974	16.7105	18.3073
	50	5.5126	9.3044	12.8804	15.6246	17.9239	19.9333
1.0	20	7.2194	10.2349	13.2676	15.5845	17.4839	19.1002
	50	7.3012	10.4530	13.7360	16.3474	18.5726	20.5377
2.0	20	14.9772	16.5030	18.4742	20.2036	21.7468	23.1427
	50	15.3796	17.0294	19.1992	21.1436	22.9151	24.5504
		$\bar{\Omega}_{1LKDT}$ Tez çalışması					
0.5	20	5.4639	9.0630	12.2432	14.5124	16.2887	17.7448
	50	5.5119	9.2957	12.8519	15.5700	17.8386	19.8136
1.0	20	7.2113	10.1763	13.0594	15.1856	16.8742	18.2698
	50	7.2999	10.4430	13.6982	16.2709	18.4496	20.3621
2.0	20	14.9231	16.4426	18.2813	19.7914	21.0621	22.1517
	50	15.3706	17.0195	19.1641	21.0635	22.7750	24.3383

Dördüncü örnekte, tez çalışmasında bulunan Pasternak tipi elastik zemin üzerindeki izotropik kare elastik plakların kayma deformasyon teorisine dayalı boyutsal olmayan frekans parametresinin değerleri, Chebyshev polinomları ve üç boyutlu teori kullanan Zhou ve diğ. (2004) ve Rayleigh-Ritz prosedürü ve enerji fonksiyonları kullanan Wang ve diğ. (2016) makalelerinde elde edilen bulgularla karşılaştırmak amacıyla Çizelge 5.4 oluşturulmuştur. Karşılaştırmada kullanılan veriler Wang ve diğ. (2016) makalesinden alınmış ve şu şekildedir: $b=100h$, $L/b=1$, $K_L=500D_0^{(1)}$ ve $K_p=10D_0^{(1)}$. Hesaplama işlemlerini gerçekleştirmek için denklem 4.25'te

$k=1$, $R \rightarrow \infty$, $\lambda_1 = \frac{m\pi}{L}$, $\eta_1^{(k)} = \eta_2^{(k)} = 1$ dikkate alınmıştır. Boyutsal olmayan frekans parametresi Zhou ve diğ. (2004) ve Wang ve diğ. (2016) makalelerinde olduğu gibi

$$\tilde{\Omega}_{1LKDT}^{Lwp} = \Omega_{LKDT}^{Lwp} \left(\frac{b}{\pi} \right)^2 \sqrt{\frac{\rho_0^{(1)} h}{D_0^{(1)}}} \text{ ifadesinden bulunmuştur. Burada } D_0^{(1)} = \frac{E_0^{(1)} h^3}{12[1 - (\nu_0^{(1)})^2]}$$

olup Wang ve diğ. (2016) makalesine benzer olarak tanımlanmıştır. Karşılaştırmada aşağıdaki mekanik özelliklere sahip bir tabakalı homojen izotropik malzeme kullanılmıştır:

$$\eta_1^{(k)} = \eta_2^{(k)} = 1, E_{011}^{(k)} = E_{022}^{(k)} = E_0^{(k)} = 2.1 \times 10^{11} \text{ Pa}, \nu_{12}^{(k)} = \nu_{21}^{(k)} = \nu_0^{(k)} = 0.3, \\ \rho_0^{(k)} = 7850 \text{ kg/m}^3, k = 1.$$

Çizelge 5.4'teki değerler tezdeki formülasyondan elde edilen bulgularla Zhou ve diğ. (2004) ve Wang ve diğ. (2016) bulguları arasında tutarlı bir uyum bulunduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.4 : Pasternak elastik zemini üzerindeki izotropik kare elastik plakların KDT'ye dayalı boyutsal olmayan frekans parametresinin Zhou ve diğ. (2004) ve Wang ve diğ. (2016) çalışmaları ile kıyaslanması.

Karşılaştırma Çalışmaları	Boyutsal olmayan frekans parametresi ve parantez içinde mod sayısı		
	$\tilde{\Omega}_{1LKDT}^{Lwp}(1,1)$	$\tilde{\Omega}_{1LKDT}^{Lwp}(1,2)$	$\tilde{\Omega}_{1LKDT}^{Lwp}(2,1)$
Zhou ve diğ. (2004)	3.3398	5.9287	5.9287
Wang ve diğ. (2016)	3.3400	5.9287	5.9287
Tez çalışması	3.3402	5.9302	5.9298

Bu karşılaştırmalar, tez çalışmasında uygulanan metodoloji ve elde edilen analitik sonuçların doğruluğunu ortaya koyduktan sonra özgün analizler yapılmıştır.

5.2 Özgün Analizler

Bu bölümde gerçekleştirilen tüm analizler özgün olup homojen ve heterojen tabakalardan oluşan bir tabakalı ve ÇTHOSK'ler için KDT etkisi, heterojenlik (HTO), zemin ve dizilim çeşitlerinin etkileri ile tabaka sayısının etkisi incelenmiştir. ÇTHOSK'lerin boyutsuz lineer olmayan frekans parametresi (BLOFP; Ω_{LO}) ve lineer olmayan frekans oranı parametresi (LOFOP; Ω_{LO}/Ω_L), A boyutsuz genlik parametresinin artışına bağlı olarak sunulmuştur.

Tüm çizelge ve şekillerde $\mu_1^{(k)} = \mu_2^{(k)} = 0$ olması homojen ortotropik malzemeyi ifade eder ve kısaltılması *HOM* ile gösterilmiştir. $\mu_1^{(k)} = 1, \mu_2^{(k)} = 0$ olduğunda, Young modüllerinin değiştiği ve yoğunluğun sabit kaldığı heterojen ortotropik malzemenin kısaltılması *HTO₁* ile, $\mu_1^{(k)} = 1, \mu_2^{(k)} = 1$ olduğunda, Young modüllerinin ve yoğunluğun değiştiği heterojen ortotropik malzemenin kısaltılması *HTO₂* ile gösterilmiştir. İlaveten $\mu_1^{(k)} = -1, \mu_2^{(k)} = 0$ olduğunda, Young modüllerinin negatif katsayıyla değiştiği ve yoğunluğun sabit kaldığı heterojen ortotropik malzemenin kısaltılması *HTO₃* ile,

$\mu_1^{(k)} = -1, \mu_2^{(k)} = -1$ olduğunda, Young modüllerinin ve yoğunluğun negatif katsayıyla değiştiği heterojen ortotropik malzemenin kısaltılması HTO_4 ile gösterilmiştir. Tabakalardaki heterojenliği tanımlayan fonksiyon lineer olduğunda yani denklem (2.2)'deki kuvvet üssü $q=1$ olduğunda heterojenlik çeşitleri $HTO_i\text{-}lin$ ($i=1,2,3,4$) şeklinde gösterilirken fonksiyon ikinci dereceden olduğunda yani denklem (2.2)'deki kuvvet üssü $q=2$ olduğunda $HTO_i\text{-}kuad$ ($i=1,2,3,4$) şeklinde gösterilmiştir. Şekil ve çizelgelerdeki KLT , klasik kabuk teorisini ifade ederken KDT ise kayma deformasyon teorisini ifade eder. Analizlerdeki değerlerin negatif işareti etkinin yönünü göstermektedir. Karşılaştırma yapılırken etkiler mutlak değer içinde kıyaslanmıştır.

Zemin katsayılarından K_L (N/m^3), lineer Winkler zeminini; K_{LO} (N/m^5), lineer olmayan Winkler zeminini; K_p (N/m^2) ise Pasternak zeminini ifade eder. Zeminsiz durumda, $K_L = K_{LO} = K_p = 0$; lineer olmayan Winkler zemini durumunda, $K_L = 4 \times 10^{10}, K_{LO} = 4 \times 10^{14}, K_p = 0$; lineer olmayan Pasternak zemini durumunda, $K_L = 4 \times 10^{10}, K_{LO} = 4 \times 10^{14}, K_p = 5 \times 10^6$; lineer Winkler zemini durumunda $K_L = 4 \times 10^{10}, K_p = 0$; lineer Pasternak zemini durumunda ise $K_L = 4 \times 10^{10}, K_p = 5 \times 10^6$ olarak alınmıştır. Çizelge ve şekillerde; lineer olmayan Winkler zemini, $LO\text{-}Winkler$; lineer olmayan Pasternak zemini, $LO\text{-}Pasternak$; lineer Winkler zemini, $Lin\text{-}Winkler$; lineer Pasternak zemini ise $Lin\text{-}Pasternak$ ile ifade edilmiştir.

Bu analizlerde A boyutsuz genlik parametresi 0 ile 1 arasında 0.2 adımlarla artarken silindirik kabuğun geometrik karakteristikleri $h = 0.01m$, $R/h = 20$, $L/R = 0.25$ alınmıştır. Analizlerde, ana doğrultudaki yarım dalga sayısı olan m ve dairesel doğrultudaki dalga sayısı olan n bire eşittir. Yapılan analizlerde 6 farklı dizilim çeşidi ve tabaka sayısına sahip silindirik kabuklar kullanılmıştır.

5.2.1 $HTO_i\text{-}lin$ için BLOFP analizleri

Bu başlıkta, HOM ve $HTO_i\text{-}lin$ ($i=1,2,3,4$) cam epoksi malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin klasik kabuk teorisi ve kayma deformasyon teorisi kapsamında, zeminsiz, lineer Winkler, lineer Pasternak, lineer olmayan Winkler zemini, lineer ve lineer olmayan Winkler zemini ile lineer olmayan Pasternak zemini üzerindeki BLOFP analizlerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.5'te verilen (0°) dizilimli ortotropik silindirik kabuğun BLOFP değerlerine KDT etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda ($-\%9.42$)'den ($-\%6.33$)'e, $HTO_{1,2,3,4}$ durumlarında ($-\%8.8$)'den ($-\%5.72$)'ye düşmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda ($-\%6.25$)'ten ($-\%4.53$)'e, $HTO_{1,2,3,4}$ durumlarında ($-\%5.67$)'den ($-\%4.05$)'e düşmektedir.

Çizelge 5.5 : (0°) dizilimli, HOM ve HTO_i -lin malzemelerden oluşan bir tabakalı silindirik kabuğun BLOFP değerlerinin A boyutsuz genliğine bağlı çizelgesi.

Ω_{1LO}, HTO_i -lin, (0°)								
Zeminsiz								
<i>HOM</i>					<i>HTO</i> _{1,2,3,4}			
<i>A</i>	<i>KLT</i>		<i>KDT</i>		<i>KLT</i>		<i>KDT</i>	
0	2.354		2.127		2.260		2.057	
0.2	2.378		2.154		2.285		2.084	
0.4	2.449		2.232		2.359		2.165	
0.6	2.562		2.355		2.476		2.292	
0.8	2.712		2.517		2.630		2.457	
1.0	2.892		2.709		2.815		2.654	
<i>Lin-Winkler</i>					<i>LO-Winkler</i>			
<i>HOM</i>			<i>HTO</i> _{1,2,3,4}		<i>HOM</i>		<i>HTO</i> _{1,2,3,4}	
<i>A</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>
0	2.907	2.729	2.833	2.673	2.908	2.727	2.832	2.672
0.2	2.930	2.747	2.855	2.693	2.936	2.757	2.861	2.703
0.4	2.987	2.809	2.915	2.758	3.018	2.844	2.945	2.792
0.6	3.082	2.913	3.009	2.859	3.149	2.983	3.079	2.933
0.8	3.207	3.043	3.138	2.996	3.324	3.166	3.257	3.119
1.0	3.359	3.207	3.294	3.160	3.534	3.386	3.472	3.342
<i>Lin-Pasternak</i>					<i>LO-Pasternak</i>			
0	3.147	2.982	3.076	2.931	3.147	2.980	3.077	2.931
0.2	3.166	3.002	3.097	2.952	3.173	3.008	3.103	2.958
0.4	3.222	3.056	3.149	3.009	3.249	3.088	3.181	3.040
0.6	3.305	3.149	3.238	3.102	3.371	3.217	3.306	3.170
0.8	3.424	3.272	3.361	3.229	3.535	3.388	3.473	3.344
1.0	3.569	3.426	3.508	3.380	3.734	3.594	3.675	3.553

Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda ($-\%5.18$)'den ($-\%4.01$)'e, $HTO_{1,2,3,4}$ durumlarında ($-\%4.65$)'ten ($-\%3.65$)'e düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda ($-\%6.1$)'den ($-\%4.19$)'a, $HTO_{1,2,3,4}$ durumlarında ($-\%5.52$)'den ($-\%3.74$)'e düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda ($-\%5.2$)'den ($-\%3.75$)'e, $HTO_{1,2,3,4}$ durumlarında ($-\%4.67$)'den ($-\%3.32$)'ye düşmektedir. BLOFP değerlerine zemin etkisi

incelendiğinde, Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %27.53'ten %18.38'e, *HTO*_{1,2,3,4} durumlarında %29.22'den %19.07'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %23.21'den %16.15'e, *HTO*_{1,2,3,4} durumlarında %24.95'ten %17'ye düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %39.37'den %26.47'ye, *HTO*_{1,2,3,4} durumlarında %41.65'ten %27.35'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %33.14'ten %23.41'e, *HTO*_{1,2,3,4} durumlarında %35.5'ten %24.62'ye düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %27.99'dan %24.99'a, *HTO*_{1,2,3,4} durumlarında %29.7'den %25.92'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %23.47'den %22.2'ye, *HTO*_{1,2,3,4} durumlarında %25.21'den %23.34'e düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %39.65'ten %32.67'ye, *HTO*_{1,2,3,4} durumlarında %41.94'ten %33.87'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %33.43'ten %29.11'e, *HTO*_{1,2,3,4} durumlarında %35.8'den %30.55'e düşmektedir. BLOFP değerlerine HTO etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO*_{1,2,3,4} durumlarında (-%3.25)'ten (-%2.03)'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HTO*_{1,2,3,4} durumlarında (-%3.91)'den (-%2.66)'ya düşmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO*_{1,2,3,4} durumlarında (-%1.97)'den (-%1.47)'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HTO*_{1,2,3,4} durumlarında (-%2.56)'dan (-%1.95)'e düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO*_{1,2,3,4} durumlarında (-%1.67)'den (-%1.34)'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HTO*_{1,2,3,4} durumlarında (-%2.2)'den (-%1.71)'e düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO*_{1,2,3,4} durumlarında (-%1.96)'dan (-%1.3)'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HTO*_{1,2,3,4} durumlarında (-%2.55)'ten (-%1.75)'e düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO*_{1,2,3,4} durumlarında (-%1.66)'dan (-%1.14)'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HTO*_{1,2,3,4} durumlarında (-%2.21)'den (-%1.58)'e düşmektedir.

Çizelge 5.6'da verilen (0°/90°) dizilimli ortotropik silindirik kabuğun BLOFP değerlerine KDT etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında

KDT etkisi, HOM durumunda (-%4.67)'den (-%3.02)'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%4.63)'ten (-%3.14)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%4.07)'den (-%2.44)'e düşmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında KDT etkisi, HOM durumda (-%2.47)'den (-%1.93)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.43)'ten (-%1.96)'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%2.05)'ten (-%1.55)'e düşmektedir.

Çizelge 5.6 : ($0^\circ/90^\circ$) dizilimli, HOM ve HTO_i -lin malzemelerden oluşan iki tabakalı silindirik kabuğun BLOFP değerlerinin A boyutsuz genliğine bağlı çizelgesi.

Ω_{ILO}, HTO_i -lin, ($0^\circ/90^\circ$)												
<i>Zeminsiz</i>												
<i>HOM</i>			<i>HTO_{1,2}</i>			<i>HTO_{3,4}</i>						
<i>A</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>
0	1.822	1.735	1.818	1.733	1.721	1.649						
0.2	1.843	1.757	1.837	1.752	1.746	1.675						
0.4	1.904	1.821	1.891	1.808	1.818	1.750						
0.6	2.001	1.922	1.976	1.898	1.932	1.868						
0.8	2.129	2.055	2.090	2.016	2.079	2.020						
1.0	2.282	2.213	2.227	2.157	2.254	2.199						
<i>Lin-Winkler</i>						<i>LO-Winkler</i>						
<i>HOM</i>			<i>HTO_{1,2}</i>		<i>HTO_{3,4}</i>		<i>HOM</i>		<i>HTO_{1,2}</i>		<i>HTO_{3,4}</i>	
<i>A</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>
0	2.496	2.433	2.494	2.432	2.424	2.373	2.496	2.433	2.494	2.432	2.424	2.373
0.2	2.511	2.449	2.507	2.446	2.441	2.391	2.521	2.459	2.517	2.456	2.451	2.401
0.4	2.557	2.496	2.547	2.486	2.494	2.445	2.595	2.534	2.585	2.525	2.532	2.484
0.6	2.630	2.571	2.612	2.553	2.578	2.531	2.712	2.655	2.694	2.637	2.662	2.616
0.8	2.729	2.672	2.699	2.642	2.691	2.646	2.868	2.813	2.839	2.785	2.831	2.788
1.0	2.851	2.796	2.807	2.752	2.830	2.786	3.055	3.004	3.014	2.963	3.034	2.994
<i>Lin-Pasternak</i>						<i>LO-Pasternak</i>						
<i>A</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>
0	2.771	2.714	2.769	2.713	2.706	2.660	2.771	2.714	2.769	2.713	2.706	2.660
0.2	2.785	2.729	2.781	2.725	2.721	2.677	2.793	2.737	2.790	2.734	2.730	2.686
0.4	2.826	2.770	2.817	2.762	2.768	2.724	2.860	2.805	2.851	2.797	2.804	2.760
0.6	2.892	2.838	2.875	2.822	2.845	2.802	2.967	2.915	2.951	2.899	2.921	2.879
0.8	2.983	2.931	2.955	2.903	2.948	2.907	3.110	3.060	3.084	3.034	3.077	3.037
1.0	3.095	3.045	3.055	3.004	3.075	3.035	3.284	3.237	3.246	3.199	3.265	3.228

Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında KDT etkisi, HOM durumda (-%2.01)'den (-%1.62)'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.01)'den (-%1.67)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%1.62)'den (-%1.3)'e düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında KDT etkisi, HOM durumda (-%2.46)'dan (-%1.67)'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.42)'den (-%1.69)'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%2.04)'ten (-%1.32)'ye düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında KDT etkisi, HOM durumda (-%2.01)'den (-%1.43)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.01)'den (-%1.45)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%1.61)'den (-%1.13)'e düşmektedir. BLOFP

değerlerine zemin etkisi incelendiğinde, Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %39.39'dan %26.34'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %39.61'den %27.58'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %42.75'ten %26.69'a düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %36.25'ten %24.93'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %36.47'den %26.04'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %39.81'den %25.55'e düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %55.32'den %37.6'ya, *HTO*_{1,2} durumlarında %55.54'ten %39.27'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında %59.82'den %38.02'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %51.11'den %35.63'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %51.39'dan %37.18'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %55.84'ten %36.42'ye düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %39.95'ten %35.74'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %40.18'den %37.37'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında %43.34'ten %36.15'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %36.79'dan %33.87'ye, *HTO*_{1,2} durumlarında %37.02'den %35.34'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %40.38'den %34.61'e düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %55.78'den %46.27'ye, *HTO*_{1,2} durumlarında %56.05'ten %48.31'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %60.36'dan %46.79'a düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %51.55'ten %43.91'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %51.88'den %45.76'ya ve *HTO*_{3,4} durumlarında %56.36'dan %44.85'e düşmektedir. BLOFP değerlerine HTO etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO*_{1,2} durumlarında (-%0.28)'den (-%2.53)'e yükselmektedir. *HTO*_{3,4} durumlarında (-%4.67)'den (-%0.63)'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HTO*_{1,2} durumlarında (-%0.33)'ten (-%2.41)'e yükselmektedir. *HTO*_{3,4} durumlarında (-%5.26)'dan (-%1.23)'e düşmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO*_{1,2} durumlarında (-%0.12)'den (-%1.57)'ye yükselmektedir. *HTO*_{3,4} durumlarında (-%2.37)'den (-%0.36)'ya düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HTO*_{1,2} durumlarında (-%0.16)'dan (-%1.54)'e yükselmektedir. *HTO*_{3,4} durumlarında (-%2.79)'dan (-%0.74)'e düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO*_{1,2} durumlarında (-%0.15)'ten (-%1.35)'e yükselmektedir. *HTO*_{3,4} durumlarında (-%1.91)'den (-%0.33)'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HTO*_{1,2} durumlarında (-%0.14)'ten (-%1.29)'a yükselmektedir. *HTO*_{3,4} durumlarında (-%2.3)'ten (-%0.65)'e düşmektedir. LO-Winkler zemininde,

$A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%0.12$)'den ($-\%1.36$)'ya yükselmektedir. $HTO_{3,4}$ durumlarında ($-\%2.36$)'dan ($-\%0.33$)'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%0.16$)'dan ($-\%1.34$)'e yükselmektedir. $HTO_{3,4}$ durumlarında ($-\%2.78$)'den ($-\%0.69$)'a düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%0.11$)'den ($-\%1.17$)'ye yükselmektedir. $HTO_{3,4}$ durumlarında ($-\%1.86$)'dan ($-\%0.28$)'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%0.11$)'den ($-\%1.16$)'ya yükselmektedir. $HTO_{3,4}$ durumlarında ($-\%2.26$)'dan ($-\%0.58$)'e düşmektedir. BLOFP değerlerine dizilim etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda ($-\%18.43$)'ten ($-\%18.31$)'e düşmektedir. $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%15.93$)'ten ($-\%18.73$)'e yükselmektedir. $HTO_{3,4}$ durumlarında ($-\%19.63$)'ten ($-\%17.14$)'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda ($-\%22.5$)'ten ($-\%21.09$)'a düşmektedir. $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%19.61$)'den ($-\%20.89$)'a yükselmektedir. $HTO_{3,4}$ durumlarında ($-\%23.59$)'dan ($-\%19.93$)'e düşmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda ($-\%10.85$)'ten ($-\%12.82$)'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%9.17$)'den ($-\%12.91$)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında ($-\%11.21$)'den ($-\%11.84$)'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda ($-\%14.3$)'ten ($-\%15.12$)'ye ve $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%12.19$)'dan ($-\%14.78$)'e yükselmektedir. $HTO_{3,4}$ durumlarında ($-\%14.5$)'ten ($-\%14.05$)'a düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda ($-\%9.09$)'dan ($-\%11.12$)'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%7.69$)'dan ($-\%11.12$)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında ($-\%9.32$)'den ($-\%10.21$)'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda ($-\%12.03$)'ten ($-\%13.28$)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%10.2$)'den ($-\%12.91$)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında ($-\%12.1$)'den ($-\%12.34$)'e yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda ($-\%10.81$)'den ($-\%11.28$)'e ve $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%9.14$)'ten ($-\%11.34$)'e yükselmektedir. $HTO_{3,4}$ durumlarında ($-\%11.17$)'den ($-\%10.41$)'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda ($-\%14.13$)'ten ($-\%13.55$)'e düşmektedir. $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%12.02$)'den ($-\%13.19$)'a yükselmektedir. $HTO_{3,4}$ durumlarında ($-\%14.33$)'ten ($-\%12.62$)'ye düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda ($-\%9.01$)'den ($-\%9.93$)'e ve $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%7.57$)'den ($-\%9.96$)'ya yükselmektedir. $HTO_{3,4}$ durumlarında ($-\%9.2$)'den ($-\%$

%9.1)'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda (-%11.9)'dan (-%12.1)'e ve *HTO*_{1,2} durumlarında (-%10.09)'dan (-%11.67)'ye yükselmektedir. *HTO*_{3,4} durumlarında (-%12.02)'den (-%11.16)'ya düşmektedir.

Çizelge 5.7'de verilen (0°/90°/0°) dizilimli ortotropik silindirik kabuğun BLOFP değerlerine KDT etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda (-%8.87)'den (-%6.4)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%8.1)'den (-%5.72)'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%8.1)'den (-%5.71)'e düşmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda (-%5.75)'ten (-%4.6)'ya, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%5.09)'dan (-%4.02)'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%5.1)'den (-%3.98)'e düşmektedir.

Çizelge 5.7 : (0°/90°/0°) dizilimli, *HOM* ve *HTO*_{*i*}-lin malzemelerden oluşan üç tabakalı silindirik kabuğun BLOFP değerlerinin A boyutsuz genliğine bağlı çizelgesi.

$\Omega_{LO}, HTO_{i-lin}, (0^\circ/90^\circ/0^\circ)$												
<i>Zeminsiz</i>												
<i>HOM</i>			<i>HTO_{1,2}</i>				<i>HTO_{3,4}</i>					
<i>A</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>		<i>KDT</i>		<i>KLT</i>		<i>KDT</i>		<i>KLT</i>	
0	2.373		2.159		2.265		2.078		2.252		2.066	
0.2	2.391		2.179		2.283		2.098		2.271		2.087	
0.4	2.446		2.239		2.341		2.161		2.329		2.150	
0.6	2.535		2.336		2.434		2.261		2.422		2.251	
0.8	2.655		2.465		2.558		2.394		2.547		2.384	
1.0	2.799		2.620		2.708		2.553		2.697		2.543	
<i>Lin-Winkler</i>							<i>LO-Winkler</i>					
<i>HOM</i>			<i>HTO_{1,2}</i>		<i>HTO_{3,4}</i>		<i>HOM</i>		<i>HTO_{1,2}</i>		<i>HTO_{3,4}</i>	
<i>A</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>
0	2.924	2.753	2.836	2.690	2.827	2.680	2.924	2.753	2.836	2.690	2.827	2.680
0.2	2.939	2.770	2.851	2.706	2.842	2.697	2.946	2.777	2.859	2.714	2.849	2.705
0.4	2.987	2.814	2.898	2.755	2.890	2.744	3.015	2.850	2.931	2.789	2.921	2.780
0.6	3.060	2.896	2.974	2.833	2.965	2.823	3.127	2.968	3.046	2.910	3.037	2.901
0.8	3.158	3.000	3.076	2.946	3.069	2.933	3.277	3.125	3.199	3.069	3.190	3.062
1.0	3.283	3.132	3.205	3.076	3.194	3.067	3.459	3.315	3.385	3.262	3.377	3.255
<i>Lin-Pasternak</i>							<i>LO-Pasternak</i>					
0	3.162	3.004	3.080	2.946	3.073	2.937	3.162	3.004	3.080	2.946	3.073	2.937
0.2	3.177	3.021	3.097	2.965	3.089	2.956	3.182	3.026	3.102	2.968	3.093	2.960
0.4	3.216	3.065	3.140	3.009	3.130	3.000	3.246	3.094	3.168	3.037	3.159	3.029
0.6	3.288	3.138	3.210	3.080	3.201	3.071	3.351	3.203	3.275	3.148	3.266	3.141
0.8	3.380	3.233	3.303	3.179	3.294	3.169	3.491	3.349	3.418	3.297	3.410	3.290
1.0	3.493	3.355	3.422	3.303	3.417	3.298	3.663	3.527	3.593	3.478	3.585	3.471

Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda (-%4.91)'den (-%3.95)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%4.26)'dan (-%3.48)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%4.31)'den (-%3.48)'e düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda (-%5.74)'ten (-%4.16)'ya, *HTO*_{1,2}

durumlarında (-%5.07)'den (-%3.63)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%5.05)'ten (-%3.61)'e düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda (-%4.9)'dan (-%3.71)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%4.32)'den (-%3.2)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%4.3)'ten (-%3.18)'e düşmektedir. Görüldüğü gibi A parametresi arttığında zeminli ve zeminsiz durumlarda homojen ve tüm heterojen çeşitleri için ($0^\circ/90^\circ/0^\circ$) dizilimli silindirik kabukların BLOFP değerleri artmaktadır. BLOFP değerlerine KDT etkileri boyutsuz genlik A arttığında önemli derecede azalmaktadır. Tüm A 'lar için HTO_{i-lin} ($i=1,2,3,4$) profillerin tüm çeşitleri, homojen duruma kıyasla BLOFP'ye KDT etkisini azaltmaktadır. BLOFP değerlerine zemin etkisi incelendiğinde, Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %27.12'den %19.54'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %28.98'den %20.49'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %29.23'ten %20.61'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %22.92'den %17.29'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında %24.88'den %18.35'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %25.14'ten %18.43'e düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %38.64'ten %28.05'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %41.33'ten %29.38'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %41.64'ten %29.69'a düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %32.87'den %24.79'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında %35.65'ten %26.37'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %36.02'den %26.7'ye düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %27.44'ten %26.53'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %29.36'dan %27.77'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %29.61'den %28'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %23.21'den %23.58'e yükselmektedir. $HTO_{1,2}$ durumlarında %25.23'ten %25'e, $HTO_{3,4}$ durumlarında %25.45'ten %25.21'e düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %38.87'den %34.62'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %41.47'den %36.23'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %41.83'ten %36.49'a düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %33.08'den %30.87'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %35.87'den %32.68'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %36.2'den %32.93'e düşmektedir. KDT ve KLT kapsamında ($0^\circ/90^\circ/0^\circ$) dizilimli homojen ve dört çeşit heterojenlik içeren ortotropik silindirik kabukların BLOFP değerlerine zemin çeşitlerinin etkileri boyutsuz genlik A arttığında önemli derecede belirginleşmektedir. Tüm A değerleri için HTO_{i-lin} ($i=1,2,3,4$) profillerin tüm çeşitleri, homojen duruma kıyasla BLOFP'ye zemin etkilerini zayıflatırken LO-Winkler zemininde artırmaktadır.

$A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%2.27$)'den ($-\%1.6$)'ya, $HTO_{3,4}$ durumlarında ($-\%2.59$)'dan ($-\%1.81$)'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%2.95$)'ten ($-\%2.14$)'e, $HTO_{3,4}$ durumlarında ($-\%3.29$)'dan ($-\%2.37$)'ye düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%1.92$)'den ($-\%1.39$)'a, $HTO_{3,4}$ durumlarında ($-\%2.18$)'den ($-\%1.59$)'a düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%2.51$)'den ($-\%1.91$)'e, $HTO_{3,4}$ durumlarında ($-\%2.8$)'den ($-\%2.13$)'e düşmektedir. Her iki teori kapsamında, homojen durumla kıyaslandığında, ($0^\circ/90^\circ/0^\circ$) dizilimli homojen ve dört çeşit heterojenlik içeren ortotropik silindirik kabukların BLOFP değerlerine HTO etkileri boyutsuz genlik A arttığında zayıfladığı görülmektedir. Tüm A değerleri için HTO_i -lin ($i=1,2,3,4$) profillerin tüm çeşitlerinin, homojen duruma kıyasla BLOFP'ye etkilerini zemin çeşitlerinin varlığı zayıflattığı görülmektedir. BLOFP değerlerine dizilim etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda $\%1.16$ 'dan ($-\%3.29$)'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında $\%0.67$ 'den ($-\%3.81$)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında $\%0.14$ 'ten ($-\%4.18$)'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda $\%0.55$ 'ten ($-\%3.22$)'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%0.09$)'dan ($-\%3.8$)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında ($-\%0.61$)'den ($-\%4.19$)'a yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda $\%0.84$ 'ten ($-\%2.34$)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında $\%0.48$ 'den ($-\%2.66$)'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında $\%0.15$ 'ten ($-\%2.94$)'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda $\%0.31$ 'den ($-\%2.26$)'ya, $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%0.14$)'ten ($-\%2.7$)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumunda ($-\%0.46$)'dan ($-\%3$)'e yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda $\%0.63$ 'ten ($-\%2.07$)'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında $\%0.44$ 'ten ($-\%2.28$)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında $\%0.14$ 'ten ($-\%2.43$)'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda $\%0.35$ 'ten ($-\%2.13$)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında $\%0$ 'dan ($-\%2.45$)'e ve $HTO_{3,4}$ durumunda ($-\%0.25$)'ten ($-\%2.59$)'a yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda $\%0.73$ 'ten ($-\%2.1$)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında $\%0.41$ 'den ($-\%2.39$)'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında $\%0.07$ 'den ($-\%2.6$)'ya yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda $\%0.34$ 'ten ($-\%2.12$)'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%0.07$)'den ($-\%2.51$)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında ($-\%0.42$)'den ($-\%2.74$)'e yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM

durumda %0.6'dan (-%1.86)'ya, $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.34'ten (-%2.11)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.07'den (-%2.31)'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %0.28'den (-%1.9)'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.03)'ten (-%2.23)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%0.32)'den (-%2.45)'e yükselmektedir. KDT ve KLT kapsamında, zeminsiz ve zeminli durumlarda (0°) bir tabakalı kabuklara kıyasla ($0^\circ/90^\circ/0^\circ$) diziliimli homojen ve dört çeşit heterojenlik içeren ortotropik silindirik kabukların BLOFP değerlerine dizilim etkisi boyutsuz genlik A arttığında önce azalmakta ve minimum değerini alarak belirginleşmektedir. Ayrıca A 'nın küçük değerlerinde bir tabakalı kabukların BLOFP değerleri ($0^\circ/90^\circ/0^\circ$) diziliimli kabukların BLOFP değerlerinden küçük iken A 'nın artışı ile minimum değer alıp artmaktadır.

Çizelge 5.8'de verilen ($90^\circ/0^\circ/90^\circ$) diziliimli ortotropik silindirik kabuğun BLOFP değerlerine KDT etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda (-%2.93)'ten (-%1.9)'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.69)'dan (-%1.69)'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%2.77)'den (-%1.72)'ye düşmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda (-%1.35)'ten (-%1.05)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%1.28)'den (-%0.91)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%1.36)'dan (-%0.98)'e düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda (-%1.13)'ten (-%0.96)'ya, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.99)'dan (-%0.76)'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%1.06)'dan (-%0.82)'ye düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda (-%1.39)'dan (-%0.94)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%1.28)'den (-%0.87)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%1.27)'den (-%0.87)'ye düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda (-%1.09)'dan (-%0.8)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.99)'dan (-%0.71)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%1.02)'den (-%0.74)'e düşmektedir. BLOFP değerlerine zemin etkisi incelendiğinde, Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %46.64'ten %31.33'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %48.55'ten %32.21'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %47.31'den %31.67'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %44.3'ten %30.2'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %46.43'ten %31.17'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %45.19'dan %30.68'e düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %64.97'den %44.31'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %67.59'dan %45.53'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında

%66.07'den %44.77'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %61.97'den %42.93'e, *HTO_{1,2}* durumlarında %64.71'den %44.17'ye ve *HTO_{3,4}* durumlarında %63.19'dan %43.46'ya düşmektedir.

Çizelge 5.8 : (90°/0°/90°) dizilimli, *HOM* ve *HTO_i-lin* malzemelerden oluşan üç tabakalı silindirik kabuğun BLOFP değerlerinin *A* boyutsuz genliğine bağlı çizelgesi.

$\Omega_{ILO}, HTO_i\text{-lin}, (90^\circ/0^\circ/90^\circ)$												
<i>Zeminsiz</i>												
<i>HOM</i>			<i>HTO_{1,2}</i>				<i>HTO_{3,4}</i>					
<i>A</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>
0	1.622	1.574	1.580	1.536	1.603	1.558						
0.2	1.641	1.593	1.598	1.555	1.622	1.577						
0.4	1.699	1.652	1.657	1.615	1.679	1.637						
0.6	1.789	1.745	1.750	1.710	1.771	1.730						
0.8	1.908	1.867	1.871	1.834	1.891	1.853						
1.0	2.050	2.011	2.015	1.981	2.034	1.999						
<i>Lin-Winkler</i>						<i>LO-Winkler</i>						
<i>HOM</i>			<i>HTO_{1,2}</i>		<i>HTO_{3,4}</i>		<i>HOM</i>		<i>HTO_{1,2}</i>		<i>HTO_{3,4}</i>	
<i>A</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>
0	2.355	2.321	2.325	2.295	2.342	2.310	2.355	2.321	2.325	2.295	2.342	2.310
0.2	2.368	2.336	2.340	2.310	2.355	2.323	2.378	2.345	2.349	2.319	2.364	2.334
0.4	2.411	2.375	2.377	2.349	2.396	2.364	2.448	2.416	2.419	2.391	2.435	2.406
0.6	2.474	2.442	2.446	2.414	2.461	2.433	2.560	2.529	2.533	2.505	2.547	2.519
0.8	2.561	2.531	2.533	2.509	2.550	2.522	2.708	2.679	2.682	2.656	2.696	2.669
1.0	2.669	2.641	2.643	2.619	2.658	2.632	2.886	2.859	2.862	2.837	2.875	2.850
<i>Lin-Pasternak</i>						<i>LO-Pasternak</i>						
<i>A</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>
0	2.645	2.615	2.619	2.593	2.632	2.606	2.645	2.615	2.619	2.593	2.632	2.606
0.2	2.658	2.628	2.632	2.606	2.647	2.619	2.665	2.636	2.639	2.613	2.653	2.626
0.4	2.693	2.665	2.667	2.641	2.682	2.654	2.728	2.699	2.702	2.676	2.716	2.689
0.6	2.751	2.723	2.725	2.703	2.740	2.714	2.829	2.801	2.804	2.779	2.817	2.792
0.8	2.831	2.801	2.805	2.781	2.816	2.794	2.963	2.937	2.940	2.916	2.952	2.928
1.0	2.930	2.902	2.905	2.883	2.918	2.894	3.127	3.102	3.105	3.083	3.117	3.094

LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %47.21'den %42.17'ye, *HTO_{1,2}* durumlarında %49.13'ten %43.21'e ve *HTO_{3,4}* durumlarında %48'den %42.57'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %44.91'den %40.78'e, *HTO_{1,2}* durumlarında %47'den %42.03'e ve *HTO_{3,4}* durumlarında %45.75'ten %41.35'e düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %65.47'den %54.25'e, *HTO_{1,2}* durumlarında %68.04'ten %55.63'e ve *HTO_{3,4}* durumlarında %66.52'den %54.78'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %62.4'ten %52.54'e, *HTO_{1,2}* durumlarında %65.14'ten %54.09'a ve *HTO_{3,4}* durumlarında %63.56'dan %53.24'e düşmektedir. BLOFP değerlerine HTO etkisi

incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%2.39$)'dan ($-\%1.49$)'a, $HTO_{3,4}$ durumlarında ($-\%1$)'den ($-\%0.6$)'ya düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%2.62$)'den ($-\%1.71$)'e, $HTO_{3,4}$ durumlarında ($-\%1.16$)'dan ($-\%0.78$)'e düşmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%1.11$)'den ($-\%0.83$)'e, $HTO_{3,4}$ durumlarında ($-\%0.56$)'dan ($-\%0.34$)'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%1.18$)'den ($-\%0.97$)'ye, $HTO_{3,4}$ durumlarında ($-\%0.55$)'ten ($-\%0.41$)'e düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%0.84$)'ten ($-\%0.65$)'e, $HTO_{3,4}$ durumlarında ($-\%0.34$)'ten ($-\%0.28$)'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%0.98$)'den ($-\%0.85$)'e, $HTO_{3,4}$ durumlarında ($-\%0.42$)'den ($-\%0.40$)'a düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%1.11$)'den ($-\%0.77$)'ye, $HTO_{3,4}$ durumlarında ($-\%0.47$)'den ($-\%0.31$)'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%1.22$)'den ($-\%0.83$)'e, $HTO_{3,4}$ durumlarında ($-\%0.59$)'dan ($-\%0.38$)'e düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%0.87$)'den ($-\%0.61$)'e, $HTO_{3,4}$ durumlarında ($-\%0.38$)'den ($-\%0.26$)'ya düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%0.98$)'den ($-\%0.7$)'ye, $HTO_{3,4}$ durumlarında ($-\%0.45$)'ten ($-\%0.32$)'ye düşmektedir. BLOFP değerlerine dizilim etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda ($-\%26.04$)'ten ($-\%25.77$)'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%25.4$)'ten ($-\%25.3$)'e düşmektedir. $HTO_{3,4}$ durumlarında ($-\%24.33$)'ten ($-\%24.68$)'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda ($-\%30.99$)'dan ($-\%29.11$)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%30.07$)'den ($-\%28.42$)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında ($-\%29.02$)'den ($-\%27.74$)'e düşmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda ($-\%14.96$)'dan ($-\%17.65$)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%14.22$)'den ($-\%17.12$)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında ($-\%13.74$)'ten ($-\%16.71$)'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda ($-\%19.18$)'den ($-\%20.54$)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%18.04$)'ten ($-\%19.76$)'ya ve $HTO_{3,4}$ durumunda ($-\%17.51$)'den ($-\%19.3$)'e yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda ($-\%12.46$)'dan ($-\%15.29$)'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında ($-\%11.72$)'den ($-\%14.7$)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında ($-\%11.28$)'den ($-\%14.38$)'e

yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda (-%16.05)'ten (-%17.9)'a, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%15.01)'den (-%17.19)'a ve *HTO*_{3,4} durumunda (-%14.5)'ten (-%16.82)'ye yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda (-%14.94)'ten (-%15.56)'ya, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%14.21)'den (-%15.11)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%13.65)'ten (-%14.72)'ye yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda (-%19.01)'den (-%18.34)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%17.9)'dan (-%17.57)'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%17.37)'den (-%17.19)'a düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda (-%12.37)'den (-%13.69)'a, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%11.66)'dan (-%13.23)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%11.22)'den (-%12.92)'ye yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda (-%16.01)'den (-%16.26)'ya, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%14.95)'ten (-%15.51)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%14.5)'ten (-%15.18)'e yükselmektedir.

Çizelge 5.9'da verilen (0°/90°/90°/0°) dizilimli ortotropik silindirik kabuğun BLOFP değerlerine KDT etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda (-%8.14)'ten (-%6.06)'ya, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%7.34)'ten (-%5.36)'ya ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%7.35)'ten (-%5.32)'ye düşmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda (-%5.2)'den (-%4.25)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%4.62)'den (-%3.75)'e ve *HTO*_{3,4} durumunda (-%4.57)'den (-%3.7)'ye düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda (-%4.39)'dan (-%3.74)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%3.82)'den (-%3.26)'ya ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%3.84)'ten (-%3.24)'e düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda (-%5.22)'den (-%3.84)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%4.54)'ten (-%3.3)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%4.52)'den (-%3.28)'e düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda (-%4.42)'den (-%3.4)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%3.85)'ten (-%2.9)'a ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%3.83)'ten (-%2.88)'e düşmektedir. BLOFP değerlerine zemin etkisi incelendiğinde, Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %27.66'dan %20.65'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %29.6'dan %21.57'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında %30.1'den %21.82'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %23.7'den

%18.37'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %25.91'den %19.53'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %26.3'ten %19.7'ye düşmektedir.

Çizelge 5.9 : $(0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ)$ dizilimli, HOM ve HTO_i -lin malzemelerden oluşan dört tabakalı silindirik kabuğun BLOFP değerlerinin A boyutsuz genliğine bağlı çizelgesi.

Ω_{1LO}, HTO_i -lin, (0°/90°/90°/0°)												
Zeminsiz												
HOM			HTO _{1,2}				HTO _{3,4}					
A	KLT		KDT		KLT		KDT		KLT		KDT	
0	2.331		2.139		2.219		2.053		2.200		2.037	
0.2	2.346		2.155		2.235		2.071		2.217		2.054	
0.4	2.395		2.208		2.286		2.126		2.268		2.110	
0.6	2.473		2.292		2.368		2.214		2.351		2.198	
0.8	2.578		2.405		2.477		2.330		2.461		2.315	
1.0	2.706		2.542		2.611		2.471		2.595		2.457	
Lin-Winkler							LO-Winkler					
HOM			HTO _{1,2}		HTO _{3,4}		HOM		HTO _{1,2}		HTO _{3,4}	
A	KLT	KDT	KLT	KDT	KLT	KDT	KLT	KDT	KLT	KDT	KLT	KDT
0	2.889	2.736	2.799	2.671	2.784	2.658	2.889	2.736	2.799	2.671	2.784	2.656
0.2	2.902	2.751	2.814	2.684	2.801	2.673	2.910	2.758	2.821	2.693	2.807	2.680
0.4	2.943	2.794	2.855	2.725	2.842	2.714	2.974	2.826	2.887	2.762	2.873	2.749
0.6	3.008	2.859	2.922	2.796	2.911	2.783	3.077	2.934	2.993	2.873	2.980	2.861
0.8	3.091	2.950	3.011	2.889	2.996	2.877	3.215	3.079	3.135	3.020	3.122	3.009
1.0	3.203	3.067	3.121	3.004	3.108	2.993	3.384	3.254	3.308	3.199	3.296	3.188
Lin-Pasternak							LO-Pasternak					
0	3.129	2.989	3.047	2.930	3.034	2.916	3.129	2.989	3.047	2.930	3.034	2.916
0.2	3.140	3.002	3.060	2.943	3.047	2.930	3.148	3.009	3.067	2.949	3.054	2.937
0.4	3.177	3.039	3.097	2.980	3.086	2.969	3.208	3.071	3.128	3.013	3.115	3.001
0.6	3.238	3.102	3.160	3.045	3.149	3.030	3.304	3.171	3.226	3.115	3.213	3.103
0.8	3.322	3.188	3.242	3.130	3.229	3.121	3.433	3.305	3.358	3.251	3.346	3.240
1.0	3.422	3.294	3.344	3.235	3.333	3.225	3.592	3.470	3.520	3.418	3.509	3.408

Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %39.3'ten %29.58'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %42.11'den %30.92'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %42.65'ten %31.26'ya düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %33.84'ten %26.46'ya, $HTO_{1,2}$ durumlarında %36.91'den %28.07'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %37.44'ten %28.44'e düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %27.98'den %28.01'e yükselmektedir. $HTO_{1,2}$ durumlarında %30.03'ten %29.46'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %30.48'den %29.75'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %24.04'ten %25.06'ya, $HTO_{1,2}$ durumlarında %26.22'den %26.69'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %26.61'den %27.01'e yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %39.63'ten %36.51'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %42.39'dan %38.32'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %42.99'dan %38.71'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu

etkiler; *HOM* durumda %34.19'dan %32.74'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %37.23'ten %34.81'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %37.75'ten %35.22'ye düşmektedir. BLOFP değerlerine HTO etkisi incelendiğinde, zeminde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO*_{1,2} durumlarında (-%3.9)'dan (-%2.79)'a, *HTO*_{3,4} durumlarında (-%4.69)'dan (-%3.34)'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HTO*_{1,2} durumlarında (-%4.73)'ten (-%3.51)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%5.5)'ten (-%4.1)'e düşmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO*_{1,2} durumlarında (-%2.44)'ten (-%2.05)'e ve *HTO*_{3,4} durumunda (-%2.9)'dan (-%2.41)'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HTO*_{1,2} durumlarında (-%3.03)'ten (-%2.56)'ya, *HTO*_{3,4} durumunda (-%3.5)'ten (-%3)'e düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO*_{1,2} durumlarında (-%1.97)'den (-%1.79)'a, *HTO*_{3,4} durumlarında (-%2.4)'ten (-%2.09)'a düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HTO*_{1,2} durumlarında (-%2.55)'ten (-%2.28)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%2.96)'dan (-%2.6)'ya düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO*_{1,2} durumlarında (-%2.36)'dan (-%1.69)'a ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%2.83)'ten (-%2.03)'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HTO*_{1,2} durumlarında (-%3.06)'dan (-%2.25)'e, *HTO*_{3,4} durumlarında (-%3.54)'ten (-%2.6)'ya düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO*_{1,2} durumlarında (-%1.99)'dan (-%1.5)'e, *HTO*_{3,4} durumlarında (-%2.39)'dan (-%1.79)'a düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HTO*_{1,2} durumlarında (-%2.57)'den (-%2)'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%2.99)'dan (-%2.31)'e düşmektedir. BLOFP değerlerine dizilim etkisi incelendiğinde, zeminde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %0.05'ten (-%6.16)'ya, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%0.62)'den (-%6.9)'a ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%1.44)'ten (-%7.42)'ye yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda (-%1.35)'ten (-%6.43)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%2.19)'dan (-%7.25)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%2.98)'den (-%7.82)'ye yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %0.15'ten (-%4.37)'ye, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%0.33)'ten (-%4.94)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%0.8)'den (-%5.28)'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda (-%0.96)'dan (-%4.64)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%1.44)'ten (-%5.25)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%1.9)'dan (-%5.65)'e yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM*

durumda %0'dan (-%3.85)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.3)'ten (-%4.29)'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%0.75)'ten (-%4.59)'a yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda (-%0.82)'den (-%4.12)'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%1.19)'dan (-%4.68)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%1.6)'dan (-%4.99)'a yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %0.04'ten (-%3.9)'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.37)'den (-%4.28)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%0.85)'ten (-%4.61)'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda (-%0.89)'dan (-%4.24)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%1.4)'ten (-%4.72)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%1.89)'dan (-%5.07)'ye yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %0.03'ten (-%3.45)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.3)'ten (-%3.8)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%0.71)'den (-%4.08)'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda (-%0.79)'dan (-%3.8)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%1.16)'dan (-%4.22)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%1.58)'den (-%4.52)'ye yükselmektedir.

Çizelge 5.10'da verilen ($90^\circ/0^\circ/0^\circ/90^\circ$) dizilimli ortotropik silindirik kabuğun BLOFP değerlerine KDT etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda (-%3.64)'ten (-%2.3)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%3.44)'ten (-%2.06)'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%3.45)'ten (-%2.09)'a düşmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda (-%1.82)'den (-%1.41)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%1.64)'ten (-%1.17)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%1.7)'den (-%1.2)'ye düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda (-%1.45)'ten (-%1.23)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%1.24)'ten (-%1)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%1.3)'ten (-%1.05)'e düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda (-%1.82)'den (-%1.21)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%1.63)'ten (-%1.09)'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%1.66)'dan (-%1.11)'e düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda (-%1.44)'ten (-%1.03)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%1.31)'den (-%0.91)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%1.34)'ten (-%0.94)'e düşmektedir. BLOFP değerlerine zemin etkisi incelendiğinde, Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %44.25'ten %28.51'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %46.32'den %29.32'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %45.1'den %28.78'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %41.58'den

%27.35'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %43.64'ten %28.15'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %42.48'den %27.62'ye düşmektedir.

Çizelge 5.10 : ($90^\circ/0^\circ/0^\circ/90^\circ$) dizilimli, HOM ve HTO_i -lin malzemelerden oluşan dört tabakalı silindirik kabuğun BLOFP değerlerinin A boyutsuz genliğine bağlı çizelgesi.

Ω_{1LO}, HTO_i -lin, (90°/0°/0°/90°)												
Zeminsiz												
HOM			HTO _{1,2}				HTO _{3,4}					
A	KLT		KDT		KLT		KDT		KLT		KDT	
0	1.683		1.620		1.637		1.579		1.661		1.601	
0.2	1.705		1.643		1.659		1.602		1.683		1.625	
0.4	1.771		1.711		1.727		1.672		1.750		1.694	
0.6	1.875		1.818		1.833		1.781		1.855		1.802	
0.8	2.011		1.958		1.972		1.923		1.992		1.943	
1.0	2.172		2.122		2.135		2.091		2.154		2.109	
Lin-Winkler							LO-Winkler					
HOM			HTO _{1,2}		HTO _{3,4}		HOM		HTO _{1,2}		HTO _{3,4}	
A	KLT	KDT	KLT	KDT	KLT	KDT	KLT	KDT	KLT	KDT	KLT	KDT
0	2.398	2.353	2.364	2.325	2.381	2.340	2.398	2.353	2.364	2.325	2.381	2.340
0.2	2.414	2.370	2.383	2.344	2.398	2.358	2.423	2.379	2.390	2.351	2.407	2.367
0.4	2.461	2.418	2.429	2.392	2.446	2.405	2.499	2.457	2.468	2.430	2.484	2.445
0.6	2.537	2.496	2.507	2.468	2.522	2.485	2.621	2.580	2.591	2.555	2.606	2.569
0.8	2.639	2.597	2.611	2.574	2.624	2.585	2.781	2.743	2.753	2.719	2.768	2.733
1.0	2.766	2.727	2.736	2.704	2.749	2.716	2.974	2.938	2.947	2.915	2.961	2.928
Lin-Pasternak							LO-Pasternak					
0	2.682	2.643	2.652	2.617	2.667	2.632	2.682	2.643	2.652	2.617	2.667	2.632
0.2	2.695	2.656	2.667	2.634	2.682	2.647	2.705	2.666	2.676	2.641	2.691	2.655
0.4	2.738	2.701	2.712	2.677	2.725	2.690	2.773	2.735	2.745	2.711	2.760	2.725
0.6	2.805	2.770	2.779	2.747	2.794	2.760	2.884	2.847	2.857	2.824	2.871	2.837
0.8	2.902	2.864	2.876	2.844	2.889	2.855	3.031	2.996	3.005	2.974	3.018	2.986
1.0	3.017	2.980	2.989	2.959	3.002	2.972	3.209	3.176	3.184	3.155	3.197	3.167

Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %61.66'dan %40.43'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %64.42'den %41.51'e ve $HTO_{3,4}$ durumunda %62.89'dan %40.9'a düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %58.06'dan %38.9'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında %60.76'dan %40'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %59.36'dan %39.37'ye düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %44.8'den %38.45'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %46.75'ten %39.41'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %45.66'dan %38.83'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %42.11'den %36.92'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %44.06'dan %38.03'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %43.02'den %37.47'ye düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %62.26'dan %49.67'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %64.86'dan %50.88'e ve $HTO_{3,4}$

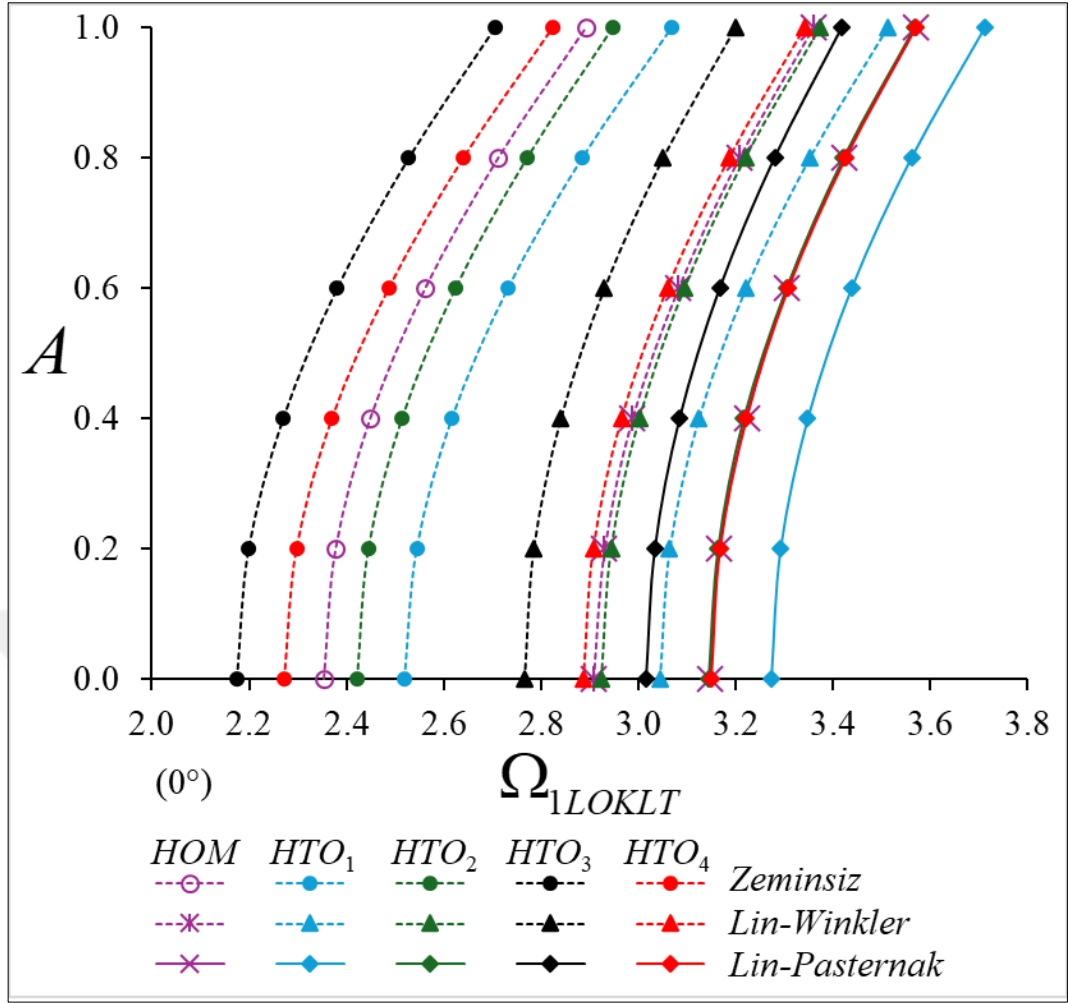
durumlarında %63.38'den %50.17'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %58.65'ten %47.74'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %61.3'ten %49.13'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %59.89'dan %48.42'ye düşmektedir. BLOFP değerlerine HTO etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO*_{1,2} durumlarında (-%2.5)'ten (-%1.46)'ya ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%1.1)'den (-%0.61)'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HTO*_{1,2} durumlarında (-%2.7)'den (-%1.7)'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%1.29)'dan (-%0.83)'e düşmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO*_{1,2} durumlarında (-%1.1)'den (-%0.84)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%0.55)'ten (-%0.4)'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HTO*_{1,2} durumlarında (-%1.28)'den (-%1.08)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%0.66)'dan (-%0.61)'e düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO*_{1,2} durumlarında (-%0.83)'ten (-%0.7)'ye, *HTO*_{3,4} durumlarında (-%0.34)'ten (-%0.3)'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HTO*_{1,2} durumlarında (-%1.04)'ten (-%0.93)'e düşmektedir. *HTO*_{3,4} durumlarında (-%0.48)'den (-%0.5)'e yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO*_{1,2} durumlarında (-%1.18)'den (-%0.78)'e, *HTO*_{3,4} durumlarında (-%0.5)'ten (-%0.34)'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HTO*_{1,2} durumlarında (-%1.36)'dan (-%0.91)'e, *HTO*_{3,4} durumlarında (-%0.66)'dan (-%0.44)'e düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO*_{1,2} durumlarında (-%0.94)'ten (-%0.66)'ya, *HTO*_{3,4} durumlarında (-%0.41)'den (-%0.28)'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HTO*_{1,2} durumlarında (-%1.07)'den (-%0.78)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%0.52)'den (-%0.37)'ye düşmektedir. BLOFP değerlerine dizilim etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda (-%23.72)'den (-%21.67)'ye, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%23.13)'ten (-%21.21)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%22.02)'den (-%20.54)'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda (-%28.3)'ten (-%24.9)'a, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%27.4)'ten (-%24.16)'ya ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%26.35)'ten (-%23.48)'e düşmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda (-%13.72)'den (-%14.97)'ye, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%12.96)'dan (-%14.43)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%12.45)'ten (-%14.05)'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda (-%17.6)'dan (-%17.7)'ye, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%16.53)'ten (-%16.94)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%16)'dan (-%16.5)'e yükselmektedir. Lin-

Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda (-%11.53)'ten (-%13.02)'ye, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%10.77)'den (-%12.46)'ya ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%10.33)'ten (-%12.1)'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda (-%14.88)'den (-%15.47)'ye, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%13.88)'den (-%14.79)'a ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%13.35)'ten (-%14.42)'ye yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda (-%13.71)'den (-%13.23)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%13.02)'den (-%12.78)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%12.5)'ten (-%12.3)'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda (-%17.47)'den (-%15.85)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%16.46)'dan (-%15.12)'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%15.87)'den (-%14.72)'ye düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda (-%11.37)'den (-%11.63)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%10.72)'den (-%11.2)'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%10.24)'ten (-%10.86)'ya yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda (-%14.75)'ten (-%14.06)'ya, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%13.76)'dan (-%13.36)'ya ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%13.28)'den (-%13.01)'e düşmektedir.

5.2.2 *HTO*_i-kuad için BLOFP analizleri

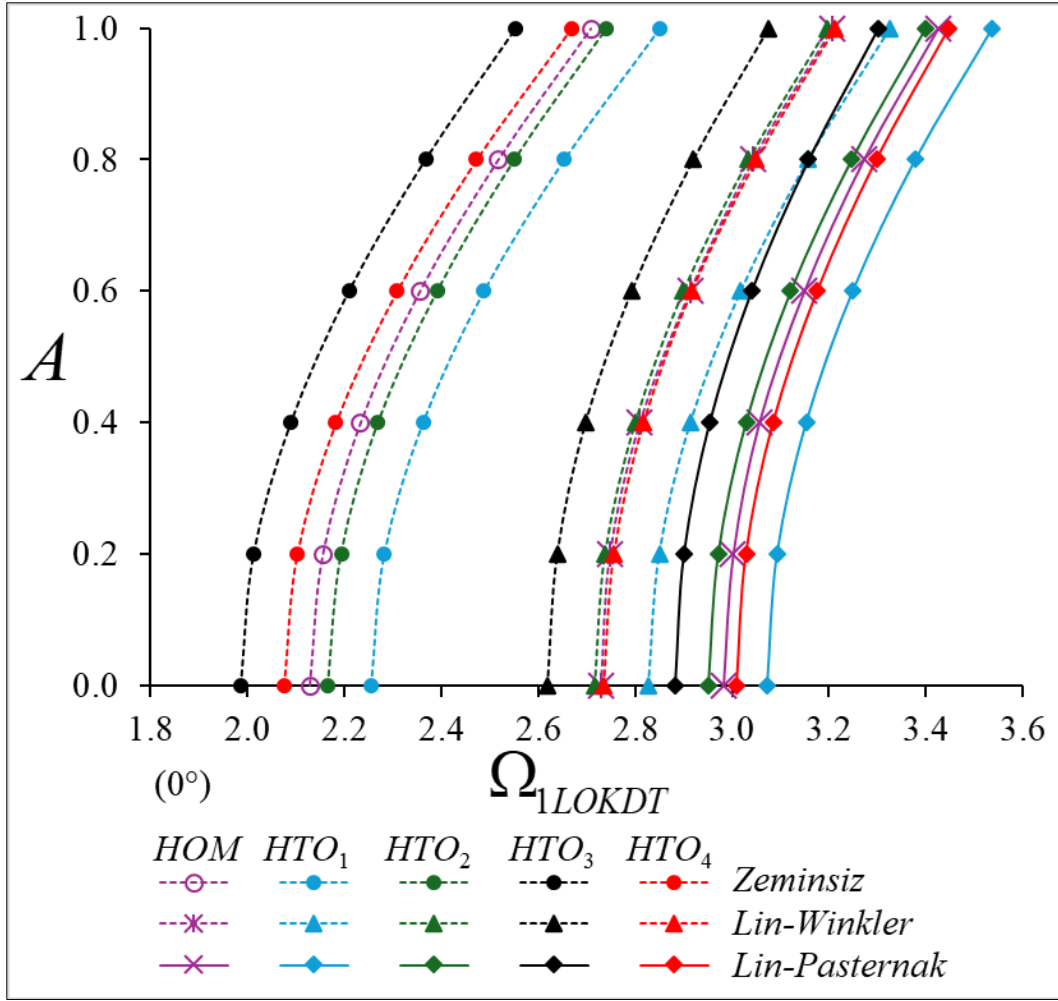
Bu başlıkta, *HOM* ve *HTO*_i-kuad ($i=1,2,3,4$) cam epoksi malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin klasik kabuk teorisi ve kayma deformasyon teorisi kapsamında, zeminsiz, lineer Winkler, lineer Pasternak, lineer olmayan Winkler zemini, lineer ve lineer olmayan Winkler zemini ile lineer olmayan Pasternak zemini üzerindeki BLOFP analizlerine yer verilmiştir.

(0°) dizilimli ortotropik silindirik kabuğun BLOFP değerlerine KDT etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda (-%9.42)'den (-%6.33)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%10.33)'ten (-%7.01)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%8.5)'ten (-%5.58)'e düşmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda (-%6.25)'ten (-%4.53)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%6.98)'den (-%5.3)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%5.21)'den (-%3.94)'e düşmektedir. Şekil 5.1'de, (0°) dizilimli, *HOM* ve *HTO*_i-kuad malzemelerden oluşan silindirik kabukların KLT'ye göre zeminsiz ve lineer zeminlerdeki BLOFP değerleri verilmiştir. Şekil 5.2'de ise bu değerler KDT'ye göre verilmiştir.



Şekil 5.1 : (0°) diziliimli, *HOM* ve *HTO_i-kuad* malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre zeminsiz ve linear zeminlerdeki BLOFP değerleri.

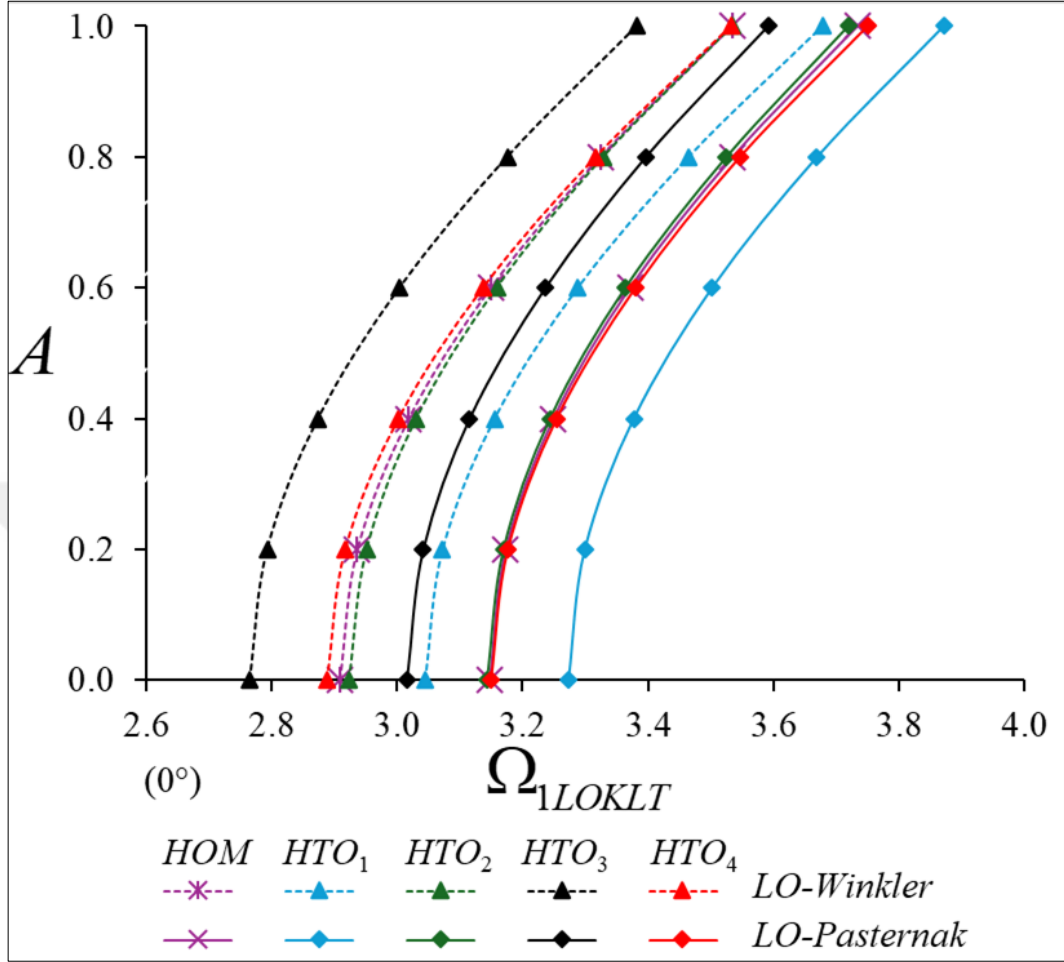
Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda (-%5.18)'den (-%4.01)'e, *HTO_{1,2}* durumlarında (-%6.04)'ten (-%4.71)'e ve *HTO_{3,4}* durumlarında (-%4.39)'dan (-%3.42)'ye düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda (-%6.1)'den (-%4.19)'a, *HTO_{1,2}* durumlarında (-%6.97)'den (-%4.81)'e ve *HTO_{3,4}* durumlarında (-%5.19)'dan (-%3.52)'ye düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda (-%5.2)'den (-%3.75)'e, *HTO_{1,2}* durumlarında (-%6)'dan (-%4.34)'e ve *HTO_{3,4}* durumlarında (-%4.37)'den (-%3.12)'ye düşmektedir. BLOFP değerlerine zemin etkisi incelendiğinde, Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %27.53'ten %18.38'e, *HTO_{1,2}* durumlarında %24.89'dan %16.62'ye ve *HTO_{3,4}* durumlarında %31.16'dan %20.36'ya düşmektedir.



Şekil 5.2 : (0°) dizilimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre zeminsiz ve lineer zeminlerdeki BLOFP değerleri.

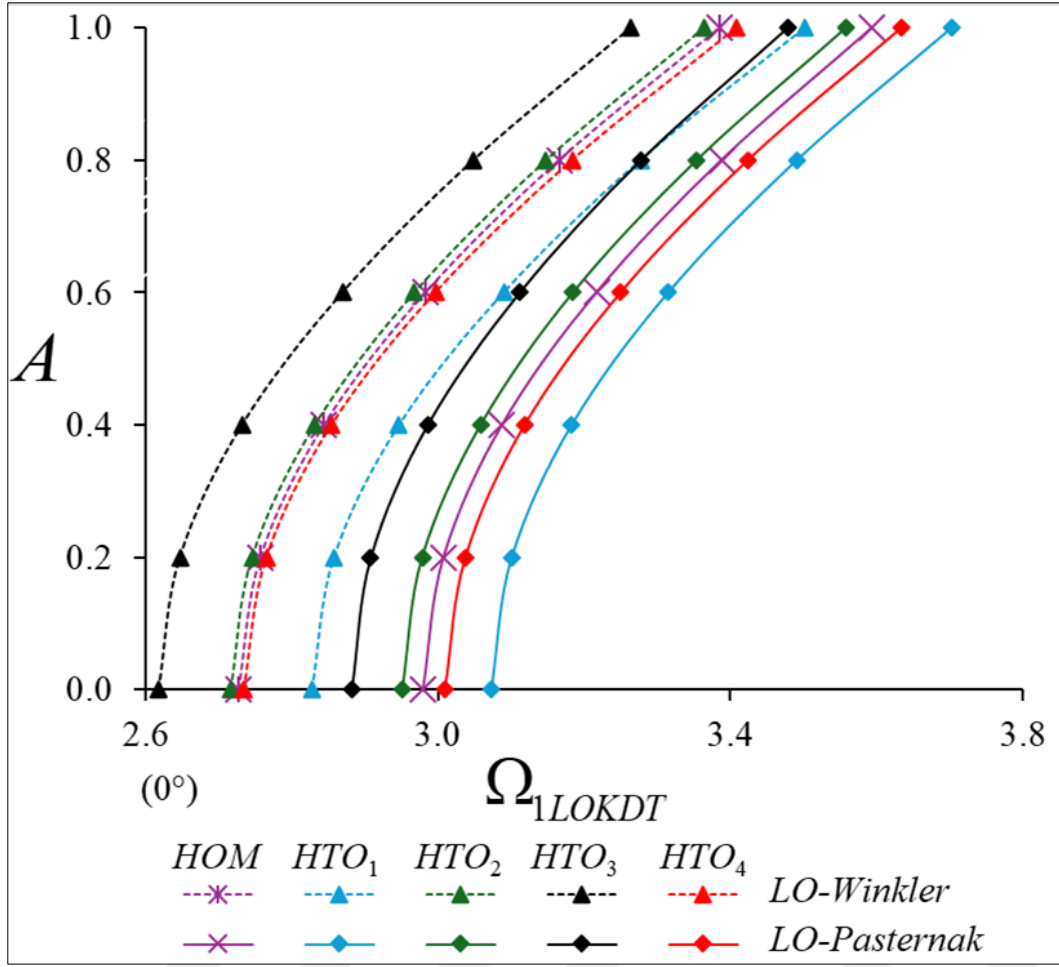
KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %23.21'den %16.15'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %20.39'dan %14.51'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %26.6'dan %18.3'e düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %39.37'den %26.47'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %35.54'ten %24.02'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %44.14'ten %29.29'a düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %33.14'ten %23.41'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %29.35'ten %21.03'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %37.93'ten %26.4'e düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %27.99'dan %24.99'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında %25.24'ten %22.79'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %31.61'den %27.8'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %23.47'den %22.2'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %20.71'den %19.95'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %27.01'den %25.06'ya düşmektedir. Şekil 5.3'te, (0°) dizilimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan

silindirik kabukların KLT'ye göre lineer olmayan zeminlerdeki BLOFP değerleri verilmiştir. Şekil 5.4'te ise bu değerler KDT'ye göre verilmiştir.



Şekil 5.3 : (0°) diziliimli, *HOM* ve *HTO_i*-kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre lineer olmayan zeminlerdeki BLOFP değerleri.

LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %39.65'ten %32.67'ye, *HTO_{1,2}* durumlarında %35.89'dan %29.84'e ve *HTO_{3,4}* durumlarında %44.53'ten %36.22'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %33.43'ten %29.11'e, *HTO_{1,2}* durumunda %29.63'ten %26.21'e ve *HTO_{3,4}* durumunda %38.29'dan %32.75'e düşmektedir. BLOFP değerlerine HTO etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO₁* durumunda %5.94'ten %5.28'e, *HTO₂* durumunda %1.81'den %1.14'e, *HTO₃* durumunda (-%6.59)'dan (-%5.72)'ye ve *HTO₄* durumunda (-%2.41)'den (-%1.51)'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HTO₁* durumunda %7.02'den %6.05'e, *HTO₂* durumunda %2.82'den %1.9'a, *HTO₃* durumunda (-%7.53)'ten (-%6.47)'ye ve *HTO₄* durumunda (-%3.41)'den (-%2.32)'ye düşmektedir.



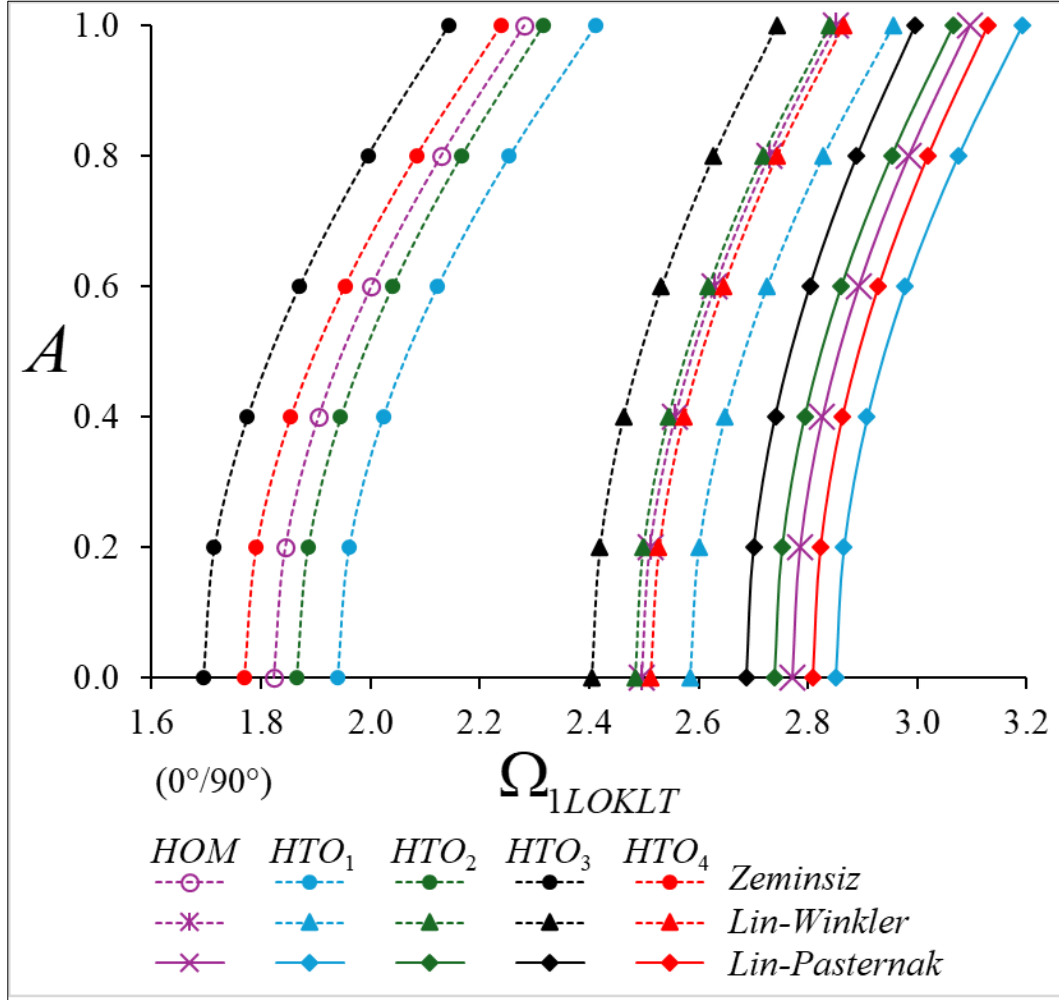
Şekil 5.4 : (0°) dizilimli, *HOM* ve *HTO_i-kuad* malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre lineer olmayan zeminlerdeki BLOFP değerleri.

Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO₁* durumunda %3.75'ten %3.71'e düşmektedir. *HTO₂* durumunda (-%0.33)'ten (-%0.37)'ye ve *HTO₃* durumunda (-%3.93)'ten (-%4.15)'e yükselmektedir. *HTO₄* durumunda %0.33'ten %0.12'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HTO₁* durumunda %4.6'dan %4.5'e, *HTO₂* durumunda %0.5'ten %0.4'e, *HTO₃* durumunda (-%4.98)'den (-%4.73)'e ve *HTO₄* durumunda (-%0.75)'ten (-%0.51)'e düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO₁* durumunda %3.03'ten %3.24'e yükselmektedir. *HTO₂* durumunda (-%1)'den (-%0.82)'ye düşmektedir. *HTO₃* durumunda (-%3.4)'ten (-%3.62)'ye yükselmektedir. *HTO₄* durumunda %0.9'dan %0.64'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HTO₁* durumunda %3.98'den %4.01'e yükselmektedir. *HTO₂* durumunda (-%0.1)'den (-%0.06)'ya düşmektedir. *HTO₃* durumunda (-%4.1)'den (-%4.2)'ye ve *HTO₄* durumunda %0.03'ten %0.06'ya yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO₁* durumunda %3.66'dan

%3.43'e düşmektedir. HTO_2 durumunda (-%0.4)'ten (-%0.65)'e yükselmektedir. HTO_3 durumunda (-%3.95)'ten (-%3.6)'ya düşmektedir. HTO_4 durumunda %0.33'ten %0.68'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HTO_1 durumunda %4.63'ten %4.1'e, HTO_2 durumunda %0.54'ten %0.03'e, HTO_3 durumunda (-%4.87)'den (-%4.27)'ye ve HTO_4 durumunda (-%0.65)'ten (-%0.03)'e düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; HTO_1 durumunda %3.1'den %3.03'e düşmektedir. HTO_2 durumunda (-%0.9)'dan (-%1)'e yükselmektedir. HTO_3 durumunda (-%3.32)'den (-%3.2)'ye düşmektedir. HTO_4 durumunda %1'den %1.11'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HTO_1 durumunda %3.97'den %3.67'ye düşmektedir. HTO_2 durumunda (-%0.09)'dan (-%0.4)'e yükselmektedir. HTO_3 durumunda (-%4.16)'dan (-%3.83)'e düşmektedir. HTO_4 durumunda %0.09'dan %0.46'ya yükselmektedir.

(0°/90°) dizilimli ortotropik silindirik kabuğun BLOFP değerlerine KDT etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında KDT etkisi, HOM durumda (-%4.67)'den (-%3.02)'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%5.15)'ten (-%3.4)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%4.15)'ten (-%2.61)'e düşmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında KDT etkisi, HOM durumda (-%2.47)'den (-%1.93)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.88)'den (-%2.25)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%2.07)'den (-%1.6)'ya düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında KDT etkisi, HOM durumda (-%2.01)'den (-%1.62)'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.4)'ten (-%1.91)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%1.67)'den (-%1.34)'e düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında KDT etkisi, HOM durumda (-%2.46)'dan (-%1.67)'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.87)'den (-%1.97)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%2.05)'ten (-%1.4)'e düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında KDT etkisi, HOM durumda (-%2.01)'den (-%1.43)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.35)'ten (-%1.72)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%1.65)'ten (-%1.19)'a düşmektedir. BLOFP değerlerine zemin etkisi incelendiğinde, Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %39.39'dan %26.34'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %35.68'den %24.04'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %44.19'dan %29.26'ya düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %36.25'ten %24.93'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %32.52'den %22.6'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %41.13'ten %27.94'e düşmektedir. Şekil 5.5'te, (0°/90°) dizilimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan silindirik kabukların KLT'ye göre

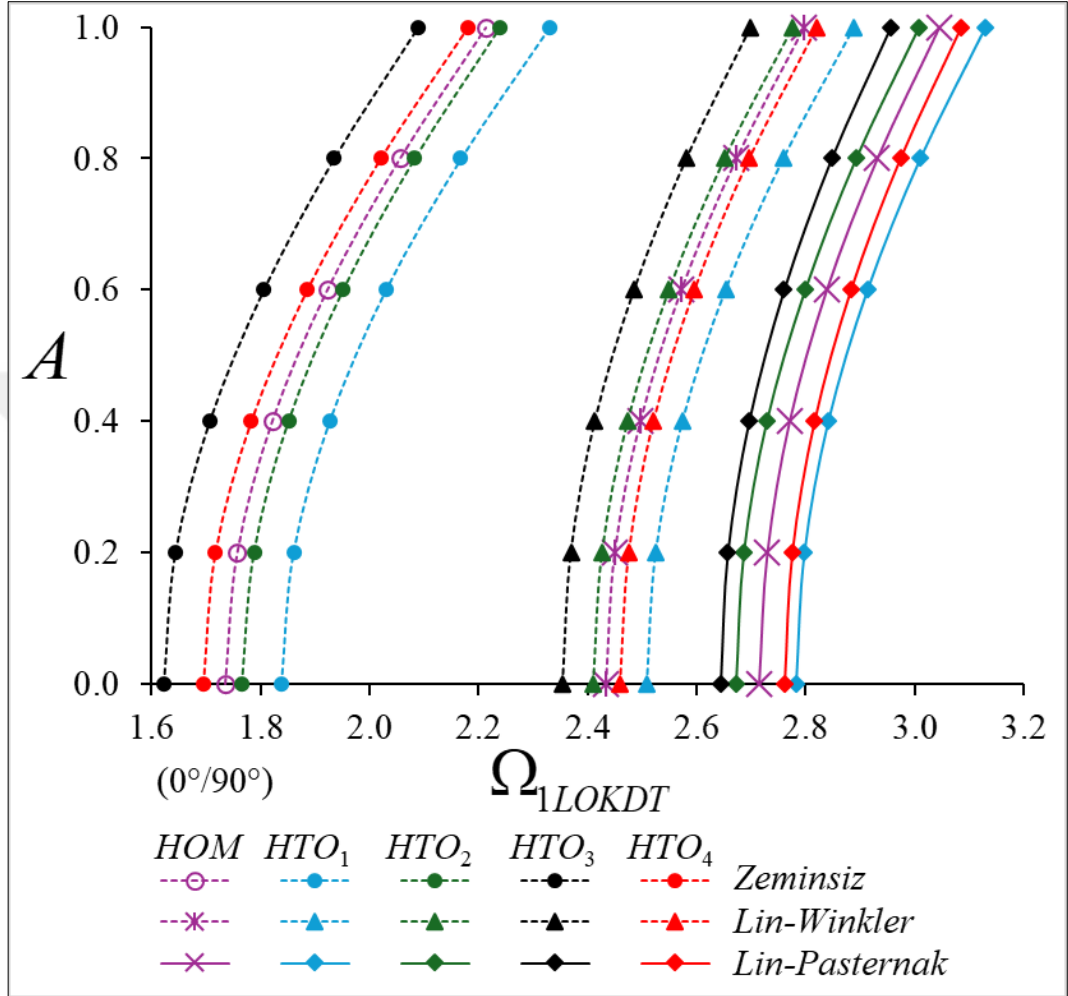
zemsiz ve lineer zeminlerdeki BLOFP değerleri verilmiştir. şekil 5.6'da ise bu değerler KDT'ye göre verilmiştir.



şekil 5.5 : (0°/90°) diziliimli, *HOM* ve *HTO_i-kuad* malzemelerden oluşan řTHOSK'lerin KLT'ye göre zemsiz ve lineer zeminlerdeki BLOFP değerleri.

Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %55.32'den %37.6'ya, *HTO_{1,2}* durumlarında %50.3'ten %34.39'a ve *HTO_{3,4}* durumlarında %61.72'den %41.52'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %51.11'den %35.63'e, *HTO_{1,2}* durumlarında %46.02'den %32.35'e ve *HTO_{3,4}* durumlarında %57.58'den %39.69'a düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %39.95'ten %35.74'e, *HTO_{1,2}* durumlarında %36.22'den %32.72'ye ve *HTO_{3,4}* durumlarında %44.86'dan %39.51'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %36.79'dan %33.87'ye, *HTO_{1,2}* durumlarında %33.03'ten %30.78'e ve *HTO_{3,4}* durumlarında %41.72'den %37.78'e düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %55.78'den

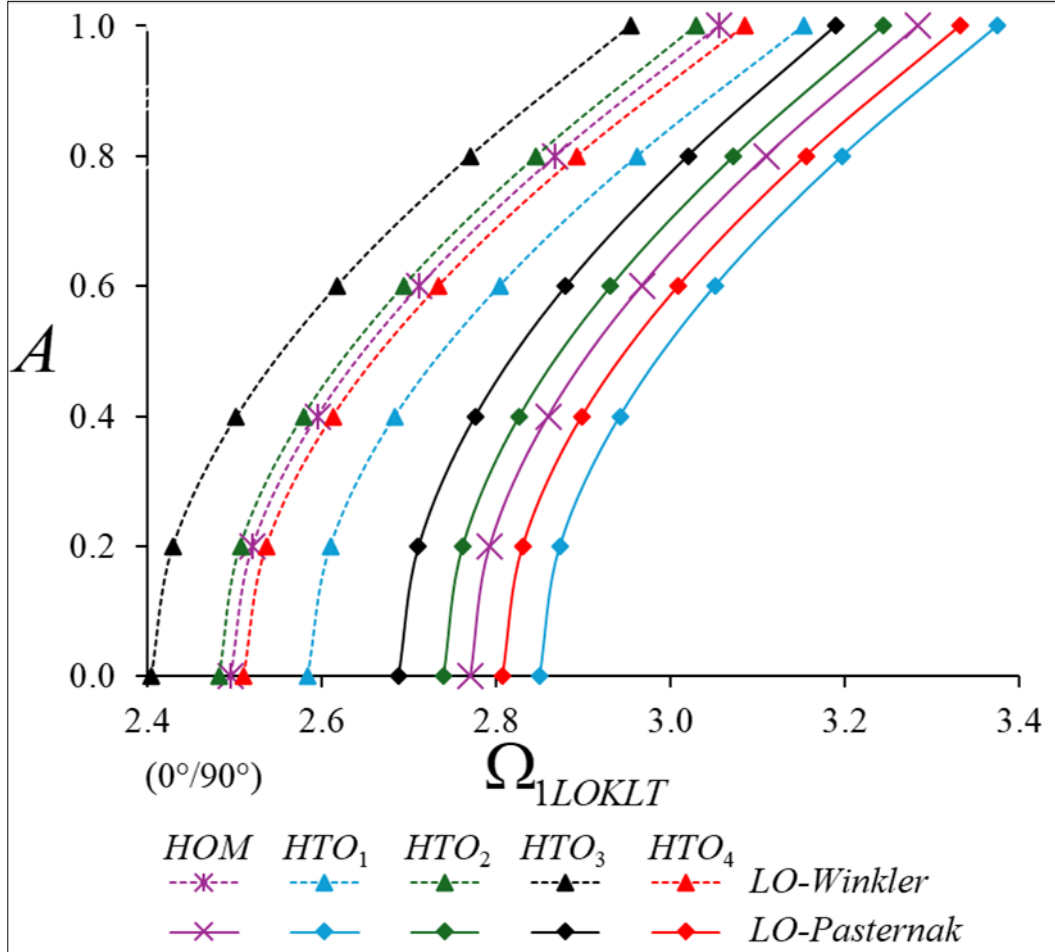
%46.27'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %50.78'den %42.42'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %62.26'dan %50.96'ya düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %51.55'ten %43.91'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %46.43'ten %39.98'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %58.17'den %48.79'a düşmektedir.



Şekil 5.6 : $(0^\circ/90^\circ)$ dizilimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre zeminsiz ve lineer zeminlerdeki BLOFP değerleri.

BLOFP değerlerine HTO etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında HTO etkisi, KDT'ye göre; HTO_1 durumunda %5.92'den %5.24'e, HTO_2 durumunda %1.76'dan %1.13'e, HTO_3 durumunda (-%6.49)'dan (-%5.65)'e ve HTO_4 durumunda (-%2.33)'ten (-%1.45)'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HTO_1 durumunda %6.46'dan %5.65'e, HTO_2 durumunda %2.28'den %1.49'a, HTO_3 durumunda (-%7)'den (-%6.05)'e ve HTO_4 durumunda (-%2.82)'den (-%1.84)'e düşmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında HTO etkisi, KDT'ye göre; HTO_1 durumunda %3.1'den %3.33'e yükselmektedir. HTO_2 durumunda (-%0.94)'ten (-%0.72)'ye düşmektedir. HTO_3 durumunda (-%3.27)'den (-%3.47)'ye

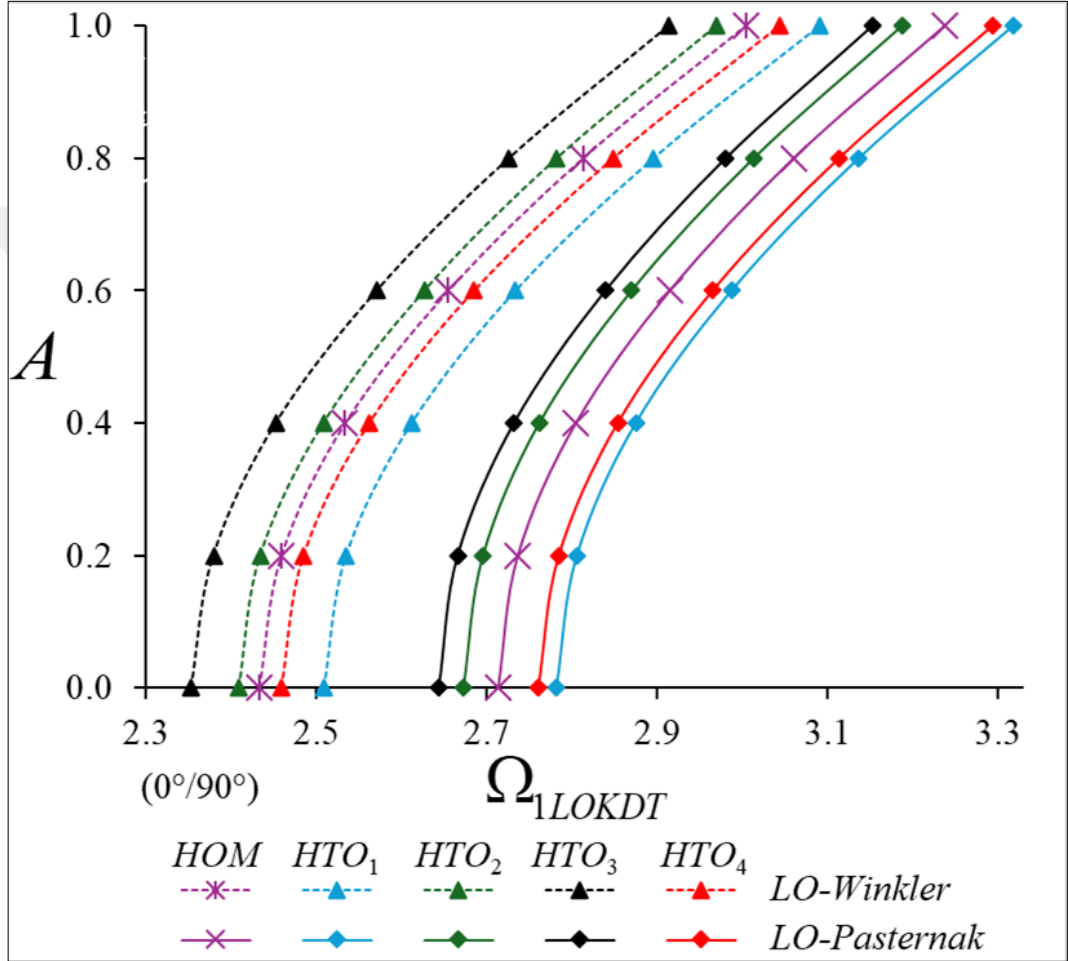
yükselmektedir. HTO_4 durumunda %1.06'dan %0.82'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HTO_1 durumunda %3.54'ten %3.68'e yükselmektedir. HTO_2 durumunda (-%0.52)'den (-%0.39)'a düşmektedir. HTO_3 durumunda (-%3.66)'dan (-%3.79)'a yükselmektedir. HTO_4 durumunda %0.64'ten %0.49'a düşmektedir. Şekil 5.7'de, $(0^\circ/90^\circ)$ diziliimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan silindirik kabukların KLT'ye göre lineer olmayan zeminlerdeki BLOFP değerleri verilmiştir. Şekil 5.8'de ise bu değerler KDT'ye göre verilmiştir.



Şekil 5.7 : $(0^\circ/90^\circ)$ diziliimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan $\check{C}THOSK$ 'lerin KLT'ye göre lineer olmayan zeminlerdeki BLOFP değerleri.

Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında HTO etkisi, KDT'ye göre; HTO_1 durumunda %2.49'dan %2.79'a yükselmektedir. HTO_2 durumunda (-%1.54)'ten (-%1.25)'e düşmektedir. HTO_3 durumunda (-%2.64)'ten (-%2.96)'ya yükselmektedir. HTO_4 durumunda %1.69'dan %1.35'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HTO_1 durumunda %2.87'den %3.1'e yükselmektedir. HTO_2 durumunda (-%1.15)'ten (-%0.94)'e düşmektedir. HTO_3 durumunda (-%3.02)'den (-%3.23)'e yükselmektedir. HTO_4 durumunda %1.33'ten %1.07'ye düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$

'den 1'e arttığında HTO etkisi, KDT'ye göre; HTO_1 durumunda %3.09'dan %2.9'a düşmektedir. HTO_2 durumunda (-%0.98)'den (-%1.17)'ye yükselmektedir. HTO_3 durumunda (-%3.21)'den (-%3.03)'e düşmektedir. HTO_4 durumunda %1.06'dan %1.3'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HTO_1 durumunda %3.53'ten %3.21'e düşmektedir. HTO_2 durumunda (-%0.56)'dan (-%0.85)'e yükselmektedir. HTO_3 durumunda (-%3.65)'ten (-%3.31)'e düşmektedir. HTO_4 durumunda %0.63'ten %0.98'e yükselmektedir.



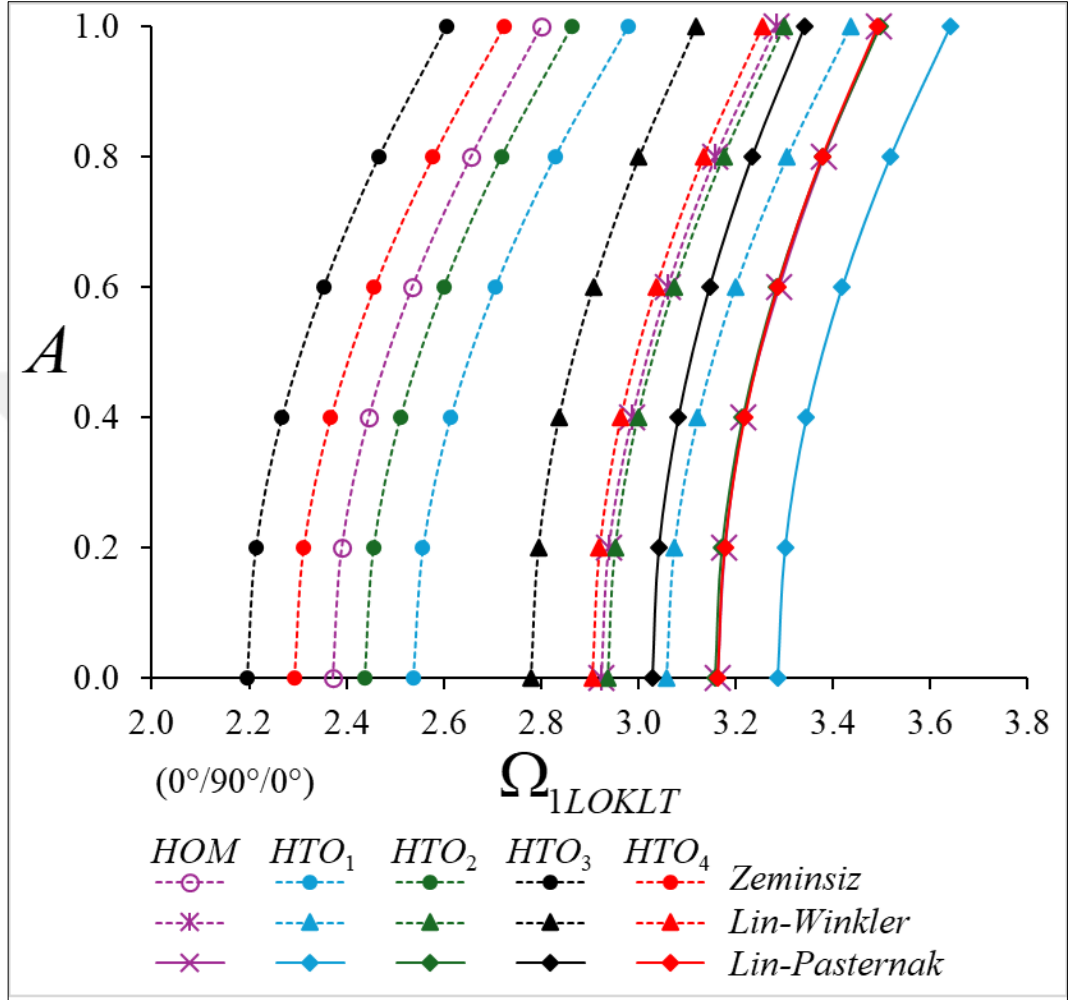
Şekil 5.8 : $(0^\circ/90^\circ)$ dizilimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre lineer olmayan zeminlerdeki BLOFP değerleri.

LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında HTO etkisi, KDT'ye göre; HTO_1 durumunda %2.55'ten %2.45'e düşmektedir. HTO_2 durumunda (-%1.5)'ten (-%1.55)'e ve HTO_3 durumunda (-%2.59)'dan (-%2.65)'e yükselmektedir. HTO_4 durumunda %1.75'ten %1.7'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HTO_1 durumunda %2.86'dan %2.77'ye düşmektedir. HTO_2 durumunda (-%1.15)'ten (-%1.25)'e yükselmektedir. HTO_3 durumunda (-%2.94)'ten (-%2.86)'ya düşmektedir. HTO_4 durumunda %1.36'dan %1.46'ya yükselmektedir. BLOFP değerlerine dizilim

etkisi incelendiğinde, zeminde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda (-%18.43)'ten (-%18.31)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%18.45)'ten (-%18.34)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%18.34)'ten (-%18.25)'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda (-%22.5)'ten (-%21.09)'a, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%22.91)'den (-%21.39)'a ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%22.06)'dan (-%20.74)'e düşmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda (-%10.85)'ten (-%12.82)'ye, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%11.4)'ten (-%13.14)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%10.23)'ten (-%12.2)'ye yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda (-%14.3)'ten (-%15.12)'ye, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%15.14)'ten (-%15.83)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%13.11)'den (-%14.28)'e yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda (-%9.09)'dan (-%11.12)'ye, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%9.57)'den (-%11.51)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%8.38)'den (-%10.51)'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda (-%12.03)'ten (-%13.28)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%12.97)'den (-%14.04)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%10.95)'ten (-%12.4)'e yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda (-%10.81)'den (-%11.28)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%11.3)'ten (-%11.74)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%10.12)'den (-%10.75)'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda (-%14.13)'ten (-%13.55)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%15.04)'ten (-%14.3)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%13.03)'ten (-%12.68)'e düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda (-%9.01)'den (-%9.93)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%9.51)'den (-%10.42)'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%8.32)'den (-%9.4)'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda (-%11.98)'den (-%12.05)'e yükselmektedir. *HTO*_{1,2} durumlarında (-%12.91)'den (-%12.81)'e düşmektedir. *HTO*_{3,4} durumlarında (-%10.85)'ten (-%11.17)'ye yükselmektedir.

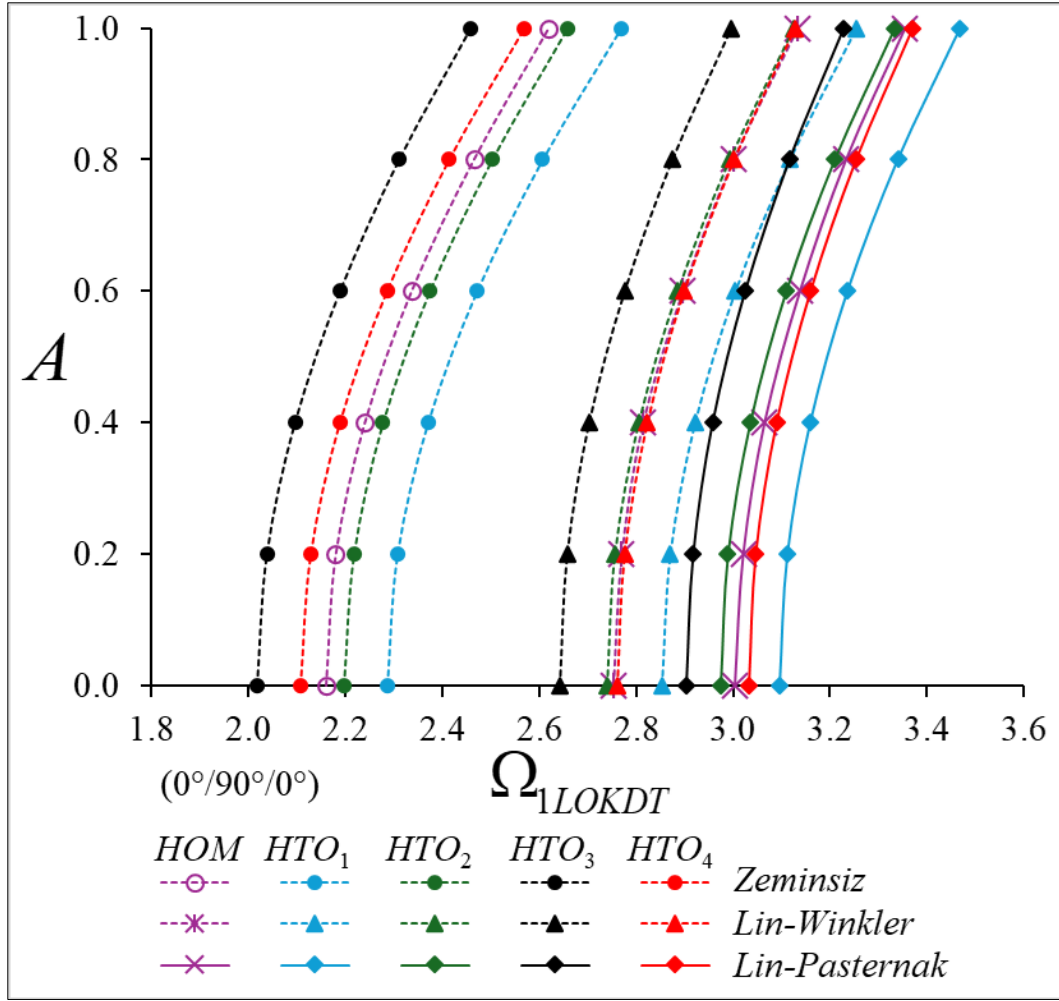
(0°/90°/0°) dizilimli ortotropik silindirik kabuğun BLOFP değerlerine KDT etkisi incelendiğinde, zeminde, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda (-%8.87)'den (-%6.4)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%9.75)'ten (-%7.15)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%7.9)'dan (-%5.65)'e düşmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda (-%5.75)'ten (-%4.6)'ya, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%6.64)'ten (-%5.3)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%4.9)'dan (-

%3.91)'e düşmektedir. Şekil 5.9'da, $(0^\circ/90^\circ/0^\circ)$ dizilimli, *HOM* ve *HTO_i-kuad* malzemelerden oluşan silindirik kabukların KLT'ye göre zeminsiz ve lineer zeminlerdeki BLOFP değerleri verilmiştir. Şekil 5.10'da ise bu değerler KDT'ye göre verilmiştir.



Şekil 5.9 : $(0^\circ/90^\circ/0^\circ)$ dizilimli, *HOM* ve *HTO_i-kuad* malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre zeminsiz ve lineer zeminlerdeki BLOFP değerleri.

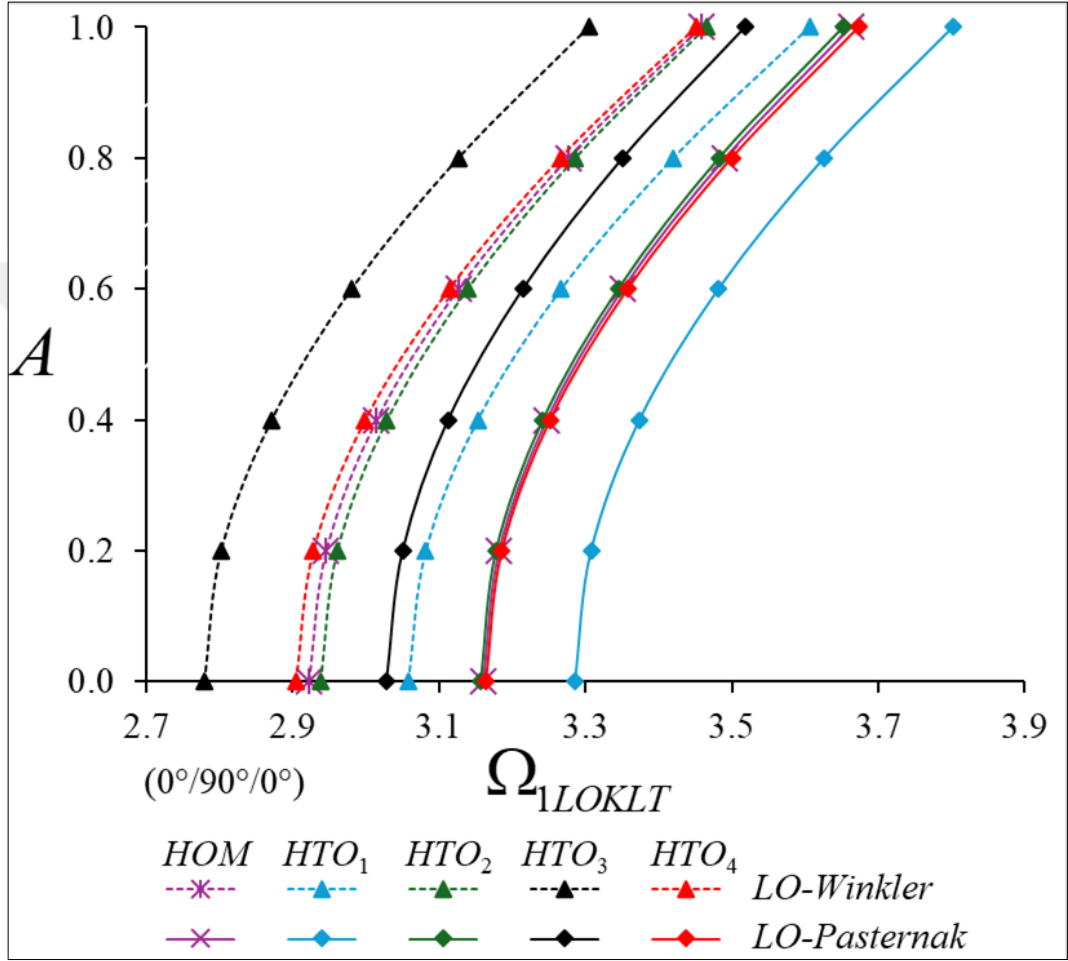
Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda (-%4.91)'den (-%3.95)'e, *HTO_{1,2}* durumlarında (-%5.73)'ten (-%4.7)'ye ve *HTO_{3,4}* durumlarında (-%4.08)'den (-%3.38)'e düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda (-%5.74)'ten (-%4.16)'ya, *HTO_{1,2}* durumlarında (-%6.62)'den (-%4.8)'e ve *HTO_{3,4}* durumlarında (-%4.85)'ten (-%3.48)'e düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda (-%4.9)'dan (-%3.71)'e, *HTO_{1,2}* durumlarında (-%5.7)'den (-%4.3)'e ve *HTO_{3,4}* durumlarında (-%4.1)'den (-%3.07)'ye düşmektedir.



Şekil 5.10 : $(0^\circ/90^\circ/0^\circ)$ dizilimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre zeminsiz ve lineer zeminlerdeki BLOFP değerleri.

BLOFP değerlerine zemin etkisi incelendiğinde, Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %27.12'den %19.54'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %24.4'ten %17.52'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %30.4'ten %21.8'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %22.92'den %17.29'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında %20.22'den %15.27'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %26.3'ten %19.56'ya düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %38.64'ten %28.05'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %34.8'den %25.35'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %43.1'den %31.2'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %32.87'den %24.79'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında %29.1'den %22.15'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %37.5'ten %28.15'e düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %27.44'ten %26.53'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %24.75'ten %24.02'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %30.86'dan

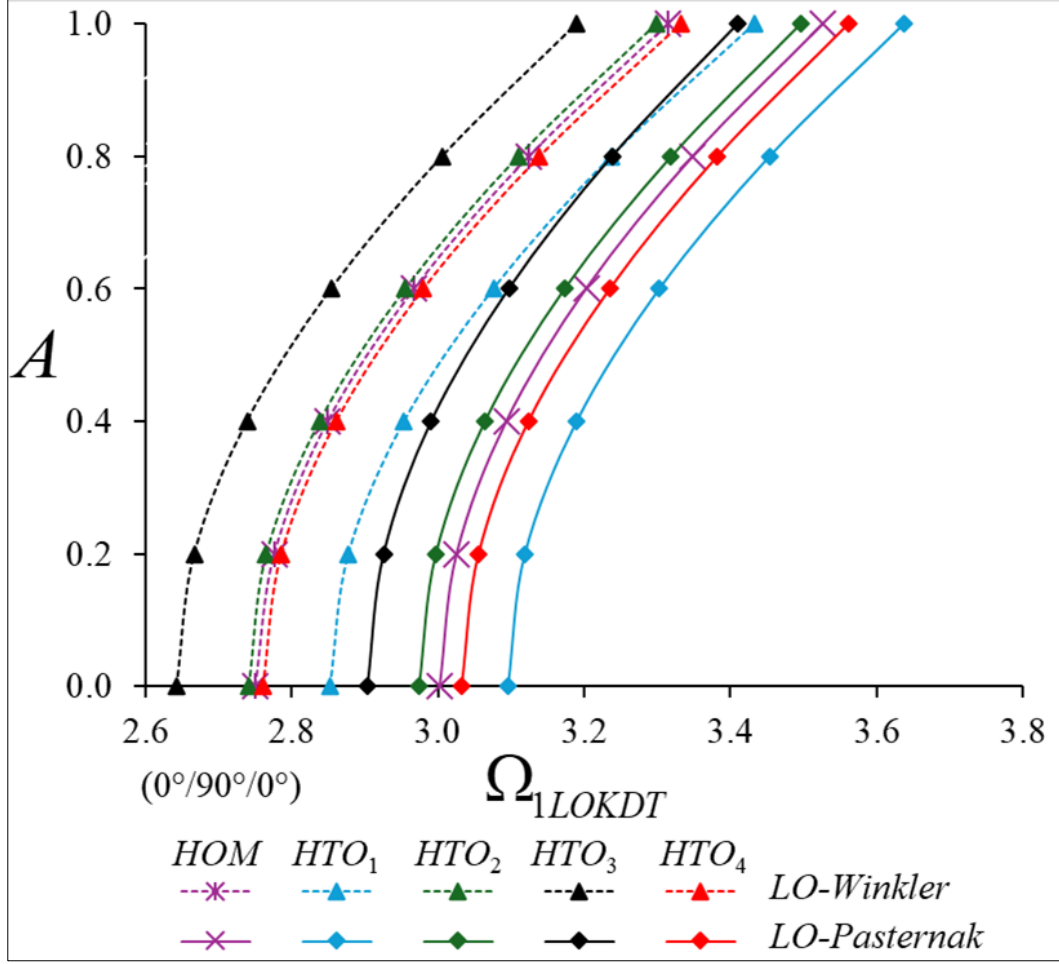
%29.7'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %23.21'den %23.58'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %20.53'ten %21.01'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %26.66'dan %26.77'ye yükselmektedir. Şekil 5.11'de, (0°/90°/0°) dizilimli, *HOM* ve *HTO*_{*i*}-kuad malzemelerden oluşan silindirik kabukların KLT'ye göre lineer olmayan zeminlerdeki BLOFP değerleri verilmiştir. Şekil 5.12'de ise bu değerler KDT'ye göre verilmiştir.



Şekil 5.11 : (0°/90°/0°) dizilimli, *HOM* ve *HTO*_{*i*}-kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre lineer olmayan zeminlerdeki BLOFP değerleri.

LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %38.87'den %34.62'ye, *HTO*_{1,2} durumlarında %35.2'den %31.43'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %43.57'den %38.67'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %33.08'den %30.87'ye, *HTO*_{1,2} durumlarında %29.4'ten %27.58'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %37.87'den %34.94'e düşmektedir. BLOFP değerlerine HTO etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO*₁ durumunda %5.87'den %5.65'e, *HTO*₂ durumunda %1.74'ten %1.49'a, *HTO*₃ durumunda (-%6.47)'den (-%6.15)'e ve *HTO*₄ durumunda (-

%2.29)'dan (-%1.95)'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HTO_1 durumunda %6.94'ten %6.47'ye, HTO_2 durumunda %2.72'den %2.29'a, HTO_3 durumunda (-%7.44)'ten (-%6.86)'ya ve HTO_4 durumunda (-%3.35)'ten (-%2.72)'ye düşmektedir.



Şekil 5.12 : $(0^\circ/90^\circ/0^\circ)$ dizilimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre lineer olmayan zeminlerdeki BLOFP değerleri.

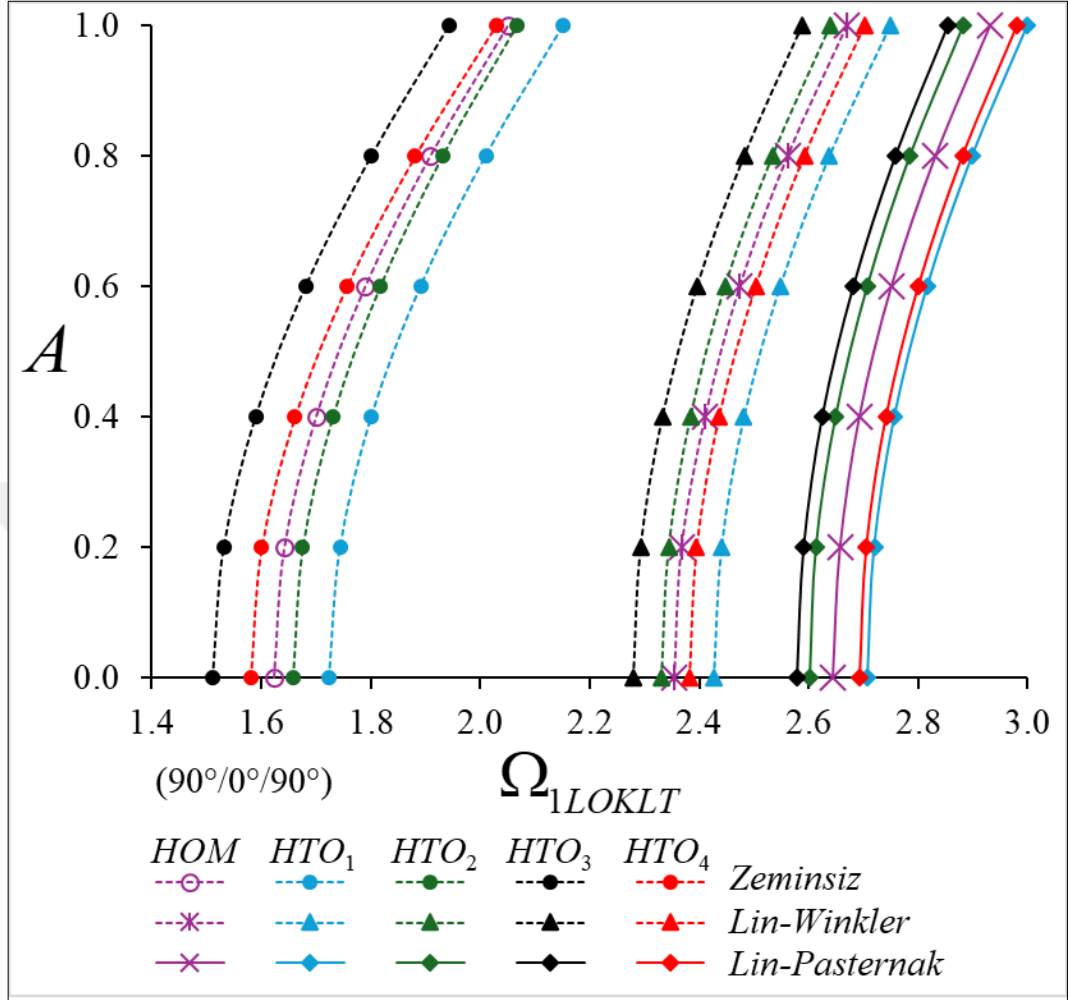
Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; HTO_1 durumunda %3.61'den %3.86'ya yükselmektedir. HTO_2 durumunda (-%0.47)'den (-%0.22)'ye düşmektedir. HTO_3 durumunda (-%4.04)'ten (-%4.37)'ye yükselmektedir. HTO_4 durumunda %0.22'den (-%0.13)'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HTO_1 durumunda %4.59'dan %4.63'e, HTO_2 durumunda %0.48'den %0.52'ye, HTO_3 durumunda (-%4.9)'dan (-%5.06)'ya ve HTO_4 durumunda (-%0.68)'den (-%0.82)'ye yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; HTO_1 durumunda %3.01'den %3.4'e yükselmektedir. HTO_2 durumunda (-%1.06)'dan (-%0.66)'ya düşmektedir. HTO_3 durumunda (-%3.41)'den (-%3.79)'a yükselmektedir. HTO_4 durumunda %0.86'dan %0.48'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HTO_1 durumunda %3.9'dan

%4.21'e yükselmektedir. HTO_2 durumunda (-%0.19)'dan %0.11'e düşmektedir. HTO_3 durumunda (-%4.25)'ten (-%4.35)'e ve HTO_4 durumunda %0.03'ten (-%0.09)'a yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; HTO_1 durumunda %3.64'ten %3.56'ya düşmektedir. HTO_2 durumunda (-%0.43)'ten (-%0.48)'e yükselmektedir. HTO_3 durumunda (-%3.96)'dan (-%3.77)'ye düşmektedir. HTO_4 durumunda %0.32'den %0.51'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HTO_1 durumunda %4.62'den %4.25'e, HTO_2 durumunda %0.51'den %0.17'ye, HTO_3 durumunda (-%4.85)'ten (-%4.45)'e ve HTO_4 durumunda (-%0.61)'den (-%0.2)'ye düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; HTO_1 durumunda %3.07'den %3.15'e yükselmektedir. HTO_2 durumunda (-%0.96)'dan (-%0.88)'e düşmektedir. HTO_3 durumunda (-%3.3)'ten (-%3.35)'e yükselmektedir. HTO_4 durumunda %0.1'den %0.96'ya düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HTO_1 durumunda %3.96'dan %3.79'a düşmektedir. HTO_2 durumunda (-%0.13)'ten (-%0.27)'ye yükselmektedir. HTO_3 durumunda (-%4.12)'den (-%3.96)'ya düşmektedir. HTO_4 durumunda %0.13'ten %0.3'e yükselmektedir. BLOFP değerlerine dizilim etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %1.16'dan (-%3.29)'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında %1.1'den (-%2.95)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %1.29'dan (-%3.72)'ye yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %0.55'ten (-%3.22)'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.47'den (-%2.84)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.64'ten (-%3.62)'ye yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %0.84'ten (-%2.34)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.7'den (-%2.19)'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.72'den (-%2.57)'ye yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %0.31'den (-%2.26)'ya, $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.33'ten (-%2.19)'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.4'ten (-%2.59)'a yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %0.63'ten (-%2.07)'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.61'den (-%1.92)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.62'den (-%2.24)'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %0.35'ten (-%2.13)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.27'den (-%1.94)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.3'ten (-%2.28)'e yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %0.73'ten (-%2.1)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.7'den (-%1.97)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.72'den (-%2.27)'ye yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda

%0.34'ten (-%2.12)'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.33'ten (-%1.98)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.36'dan (-%2.31)'e yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %0.6'dan (-%1.86)'ya, $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.6'dan (-%1.76)'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.6'dan (-%2)'ye yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %0.28'den (-%1.9)'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.27'den (-%1.78)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.33'ten (-%2.03)'e yükselmektedir.

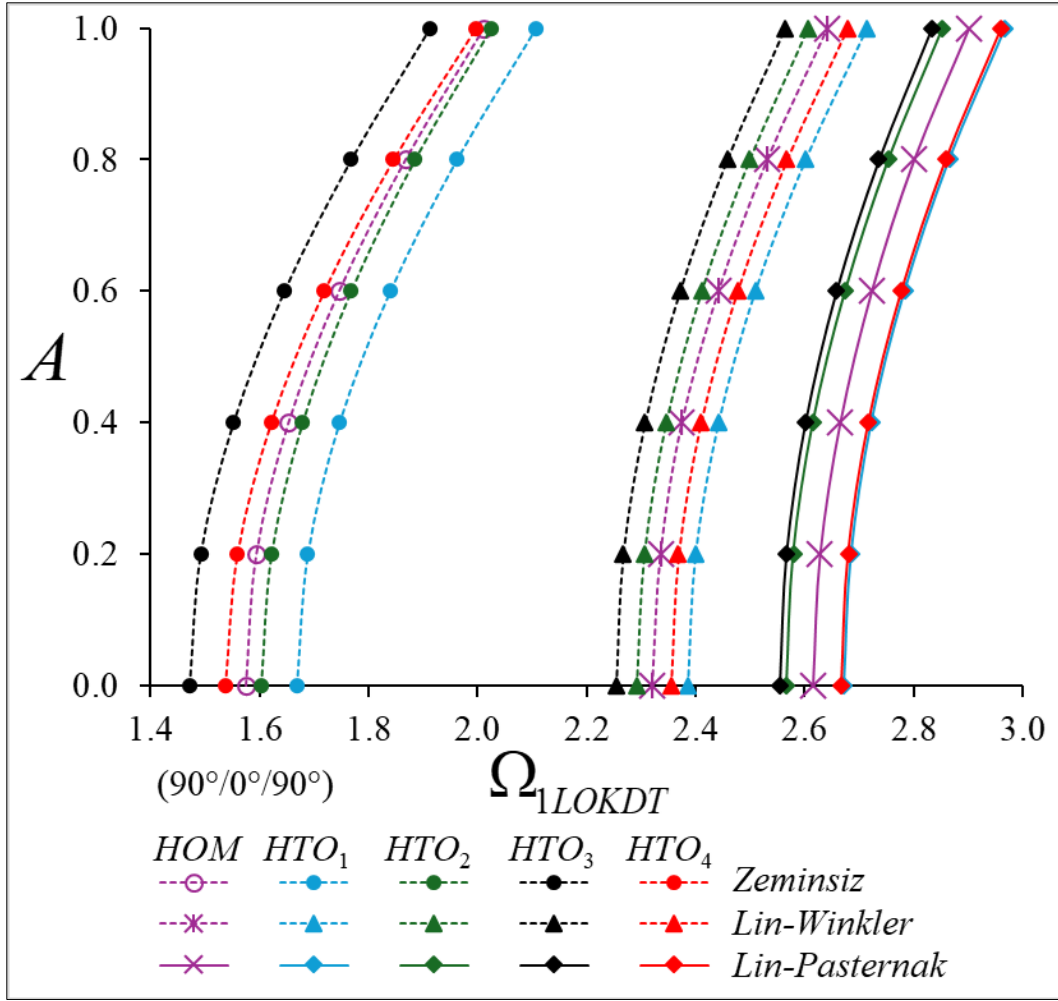
(90°/0°/90°) dizilimli ortotropik silindirik kabuğun BLOFP değerlerine KDT etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda (-%2.93)'ten (-%1.9)'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%3.21)'den (-%2.14)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%2.6)'dan (-%1.65)'e düşmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda (-%1.35)'ten (-%1.05)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%1.64)'ten (-%1.27)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%1.13)'ten (-%0.93)'e düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda (-%1.13)'ten (-%0.96)'ya, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%1.29)'dan (-%1.07)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%0.93)'ten (-%0.74)'e düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda (-%1.39)'dan (-%0.94)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%1.6)'dan (-%1.1)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%1.15)'ten (-%0.78)'e düşmektedir. Şekil 5.13'te, (90°/0°/90°) dizilimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan silindirik kabukların KLT'ye göre zeminsiz ve lineer zeminlerdeki BLOFP değerleri verilmiştir. Şekil 5.14'te ise bu değerler KDT'ye göre verilmiştir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda (-%1.09)'dan (-%0.77)'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%1.3)'ten (-%0.94)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%0.9)'dan (-%0.65)'e düşmektedir. BLOFP değerlerine zemin etkisi incelendiğinde, Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %46.64'ten %31.33'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %42.2'den %28.8'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %51.9'dan %34.17'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %44.3'ten %30.2'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %39.9'dan %27.7'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %49.7'den %33.2'ye düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %64.97'den %44.31'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %59.1'den %40.9'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %71.9'dan %48.25'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM

durumda %61.97'den %42.93'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %56'dan %39.4'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %69.06'dan %46.9'a düşmektedir.



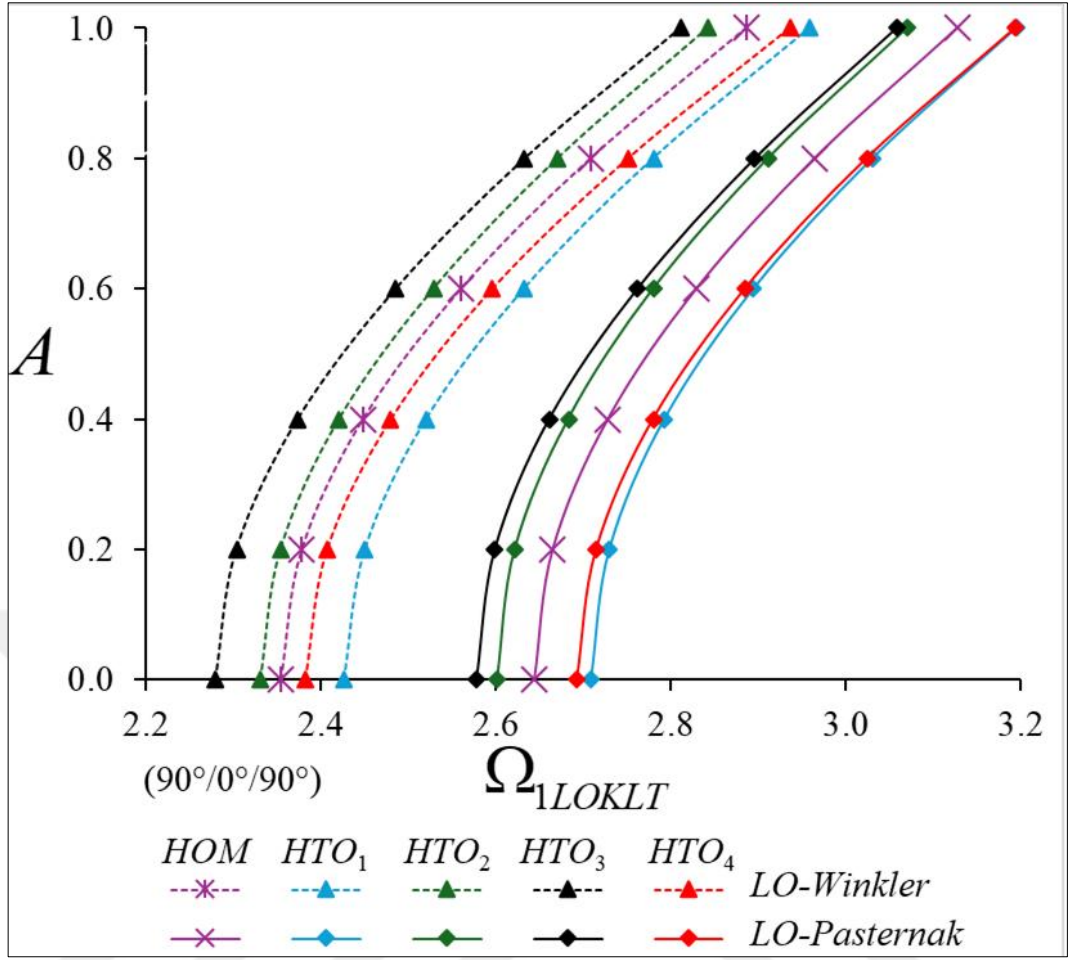
Şekil 5.13 : $(90^\circ/0^\circ/90^\circ)$ dizilimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre zeminsiz ve lineer zeminlerdeki BLOFP değerleri.

LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %47.21'den %42.17'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %42.8'den %38.94'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %52.6'dan %45.94'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %44.91'den %40.78'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %40.5'ten %37.5'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %50.4'ten %44.7'ye düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %65.47'den %54.3'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %59.65'ten %50.25'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %72.6'dan %58.97'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %62.4'ten %52.54'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %56.5'ten %48.5'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %69.65'ten %57.4'e düşmektedir.



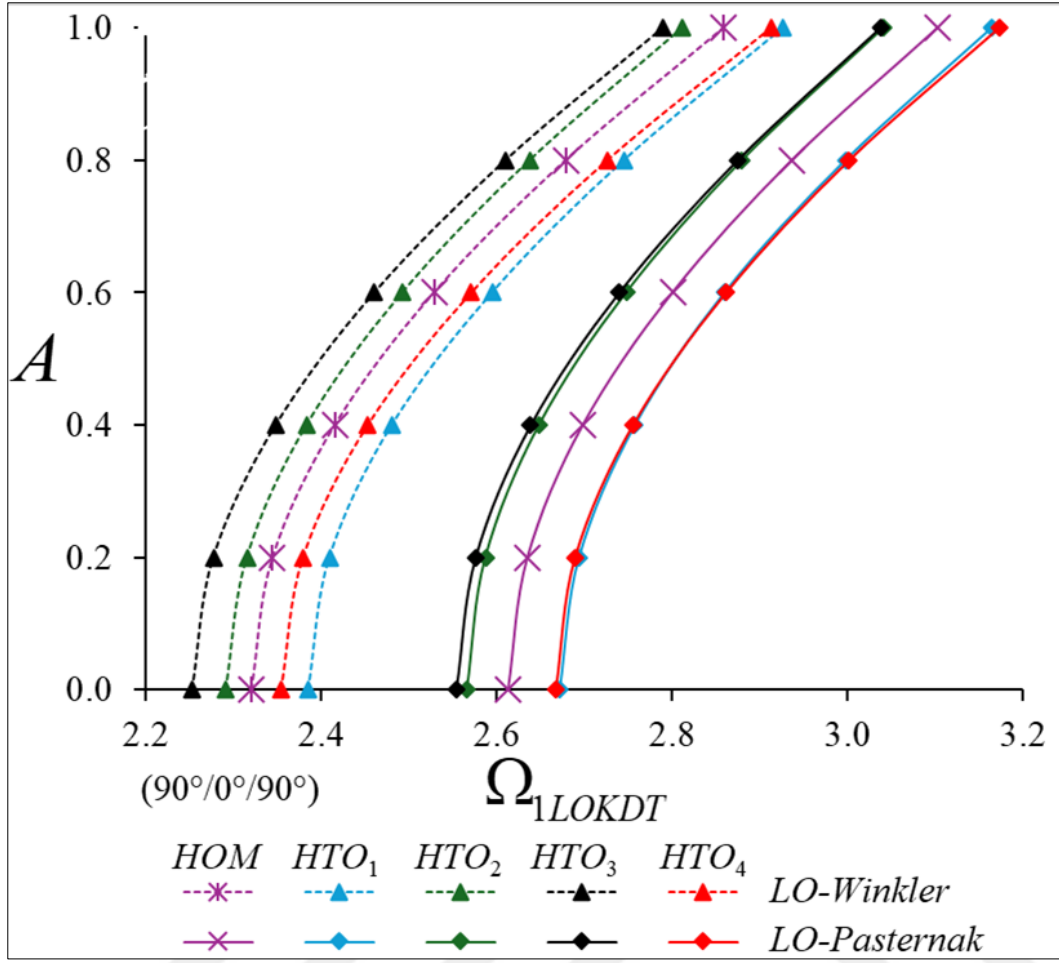
Şekil 5.14 : $(90^\circ/0^\circ/90^\circ)$ diziliimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre zeminsiz ve lineer zeminlerdeki BLOFP değerleri.

BLOFP değerlerine HTO etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; HTO_1 durumunda %5.96'dan %4.72'ye, HTO_2 durumunda %1.76'dan %0.65'e, HTO_3 durumunda (-%6.34)'ten (-%4.97)'ye ve HTO_4 durumunda (-%2.13)'ten (-%0.75)'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HTO_1 durumunda %6.28'den %4.98'e, HTO_2 durumunda %2.07'den %0.83'e, HTO_3 durumunda (-%6.64)'ten (-%5.22)'ye ve HTO_4 durumunda (-%2.5)'ten (-%1.02)'ye düşmektedir. Şekil 5.15'te, $(90^\circ/0^\circ/90^\circ)$ diziliimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan silindirik kabukların KLT'ye göre lineer olmayan zeminlerdeki BLOFP değerleri verilmiştir. Şekil 5.16'da ise bu değerler KDT'ye göre verilmiştir.



Şekil 5.15 : $(90^\circ/0^\circ/90^\circ)$ dizilimli, *HOM* ve *HTO_i*-kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre lineer olmayan zeminlerdeki BLOFP değerleri.

Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO₁* durumunda %2.75'ten %2.7'ye düşmektedir. *HTO₂* durumunda (-%1.28)'den (-%1.35)'e yükselmektedir. *HTO₃* durumunda (-%2.95)'ten (-%2.9)'a düşmektedir. *HTO₄* durumunda %1.35'ten %1.4'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HTO₁* durumunda %3.05'ten %2.96'ya düşmektedir. *HTO₂* durumunda (-%1.01)'den (-%1.1)'e yükselmektedir. *HTO₃* durumunda (-%3.17)'den (-%3.03)'e düşmektedir. *HTO₄* durumunda %1.14'ten %1.27'ye yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO₁* durumunda %2.17'den %2.27'ye yükselmektedir. *HTO₂* durumunda (-%1.86)'dan (-%1.72)'ye düşmektedir. *HTO₃* durumunda (-%2.35)'ten (-%2.4)'e yükselmektedir. *HTO₄* durumunda %2'den %1.95'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HTO₁* durumunda %2.3'ten %2.4'e yükselmektedir. *HTO₂* durumunda (-%1.7)'den (-%1.6)'ya düşmektedir. *HTO₃* durumunda (-%2.55)'ten (-%2.6)'ya yükselmektedir. *HTO₄* durumunda %1.8'den %1.74'e düşmektedir.



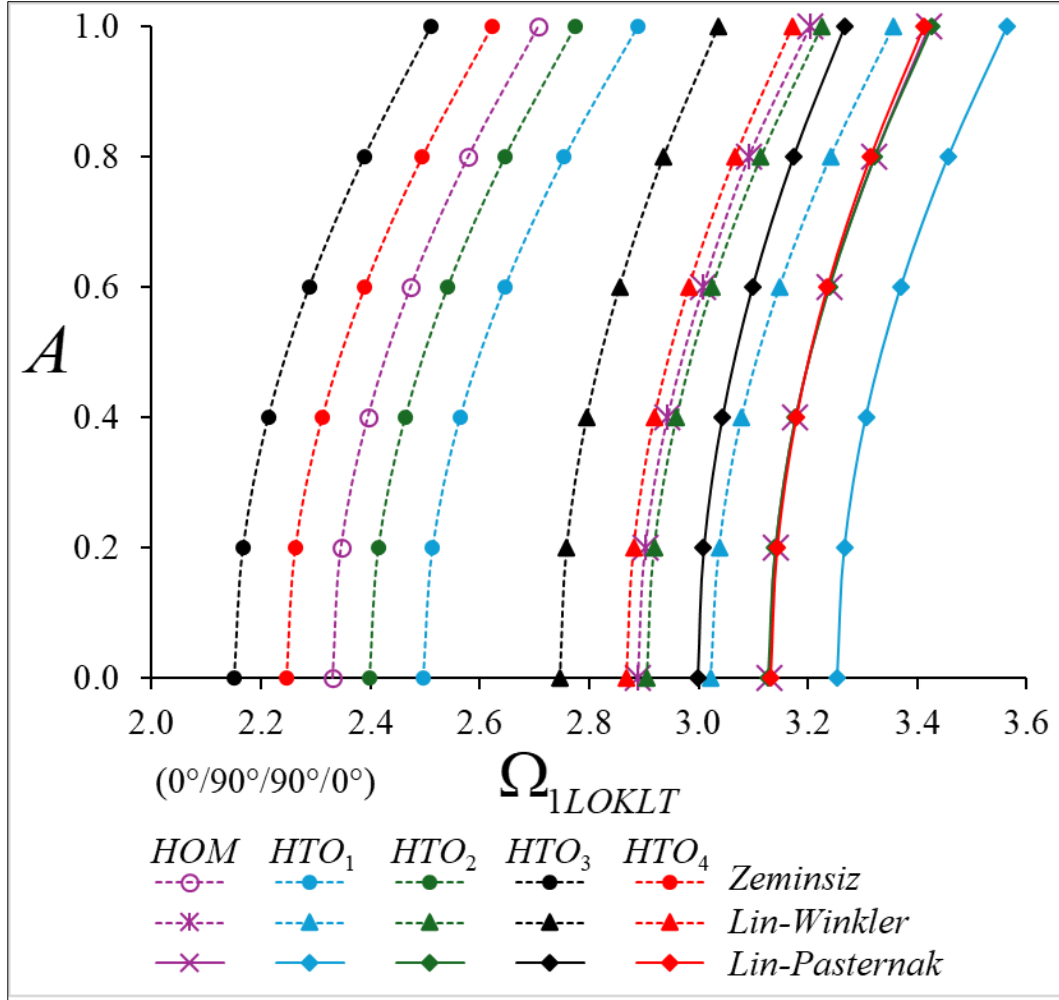
Şekil 5.16 : $(90^\circ/0^\circ/90^\circ)$ dizilimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre lineer olmayan zeminlerdeki BLOFP değerleri.

LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; HTO_1 durumunda %2.77'den %2.34'e düşmektedir. HTO_2 durumunda (-%1.24)'ten (-%1.64)'e yükselmektedir. HTO_3 durumunda (-%2.86)'dan (-%2.45)'e düşmektedir. HTO_4 durumunda %1.45'ten %1.89'a yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HTO_1 durumunda %3.03'ten %2.53'e düşmektedir. HTO_2 durumunda (-%1.01)'den (-%1.49)'a yükselmektedir. HTO_3 durumunda (-%3.11)'den (-%2.6)'ya düşmektedir. HTO_4 durumunda %1.22'den %1.73'e yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; HTO_1 durumunda %2.2'den %2'ye düşmektedir. HTO_2 durumunda (-%1.82)'den (-%2)'ye yükselmektedir. HTO_3 durumunda (-%2.28)'den (-%2.09)'a düşmektedir. HTO_4 durumunda %2.05'ten %2.26'ya yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HTO_1 durumunda %2.4'ten %2.17'ye düşmektedir. HTO_2 durumunda (-%1.61)'den (-%1.82)'ye yükselmektedir. HTO_3 durumunda (-%2.48)'den (-%2.21)'e düşmektedir. HTO_4 durumunda %1.88'den %2.14'e yükselmektedir. BLOFP değerlerine dizilim

etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda (-%26.04)'ten (-%25.77)'ye düşmektedir. *HTO*_{1,2} durumlarında (-%26.05)'ten (-%26.15)'e ve yükselmektedir. *HTO*_{3,4} durumlarında (-%25.85)'ten (-%25.18)'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda (-%30.99)'dan (-%29.11)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%31.5)'ten (-%29.9)'a ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%30.33)'ten (-%28.17)'ye düşmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda (-%14.96)'dan (-%17.65)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%15.79)'dan (-%18.43)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%14.1)'den (-%16.6)'ya yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda (-%19.18)'den (-%20.54)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%20.37)'den (-%21.75)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%17.64)'ten (-%19.13)'e yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda (-%12.46)'dan (-%15.29)'a, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%13.2)'den (-%16.1)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%11.52)'den (-%14.2)'ye yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda (-%16.05)'ten (-%17.9)'a, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%17.38)'den (-%19.18)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%14.6)'dan (-%16.53)'e yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda (-%14.94)'ten (-%15.56)'ya, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%15.68)'den (-%16.45)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%13.97)'den (-%14.55)'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda (-%19.01)'den (-%18.34)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%20.25)'ten (-%19.57)'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%17.51)'den (-%16.91)'e düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda (-%12.37)'den (-%13.66)'ya, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%13.12)'den (-%14.53)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%11.42)'den (-%12.68)'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda (-%16.01)'den (-%16.26)'ya, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%17.28)'den (-%17.46)'ya ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%14.53)'ten (-%14.84)'e yükselmektedir.

(0°/90°/90°/0°) dizilimli ortotropik silindirik kabuğun BLOFP değerlerine KDT etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda (-%8.14)'ten (-%6.06)'ya, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%9)'dan (-%6.75)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%7.1)'den (-%5.3)'e düşmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda (-%5.2)'den (-%4.25)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%6.1)'den (-%5)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%4.35)'ten (-

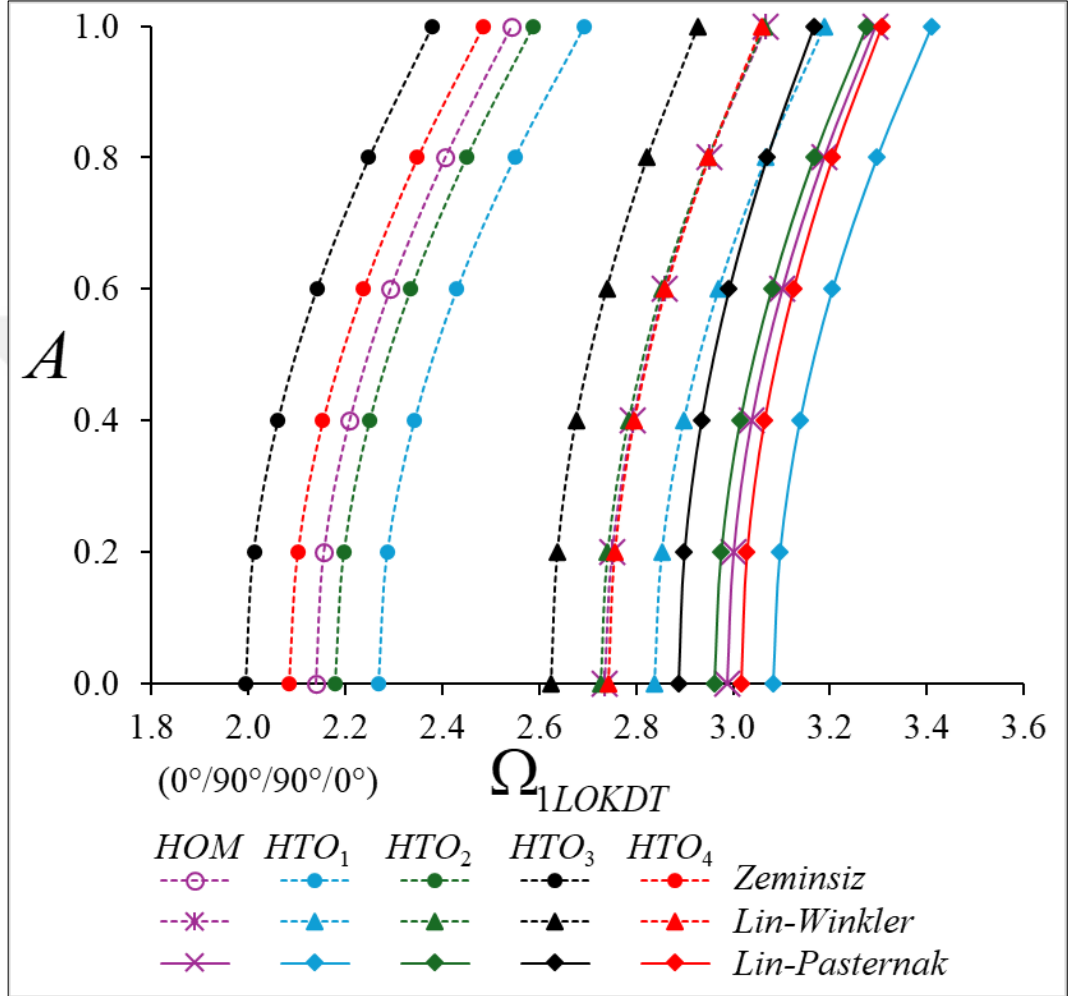
%3.6)'ya düşmektedir. Şekil 5.17'de, $(0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ)$ dizilimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan silindirik kabukların KLT'ye göre zeminsiz ve lineer zeminlerdeki BLOFP değerleri verilmiştir. Şekil 5.18'de ise bu değerler KDT'ye göre verilmiştir.



Şekil 5.17 : $(0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ)$ dizilimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre zeminsiz ve lineer zeminlerdeki BLOFP değerleri.

Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda (-%4.39)'dan (-%3.74)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%5.23)'ten (-%4.38)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%3.66)'dan (-%3.09)'a düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda (-%5.22)'den (-%3.84)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%6.05)'ten (-%4.47)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%4.34)'ten (-%3.19)'a düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda (-%4.42)'den (-%3.4)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%5.2)'den (-%4)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%3.61)'den (-%2.79)'a düşmektedir. BLOFP değerlerine zemin etkisi incelendiğinde, Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den

1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %27.66'dan %20.65'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %24.8'den %18.42'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında %31.18'den %23.13'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %23.7'den %18.37'ye, *HTO*_{1,2} durumlarında %20.89'dan %16.2'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında %27.27'den %20.95'e düşmektedir.

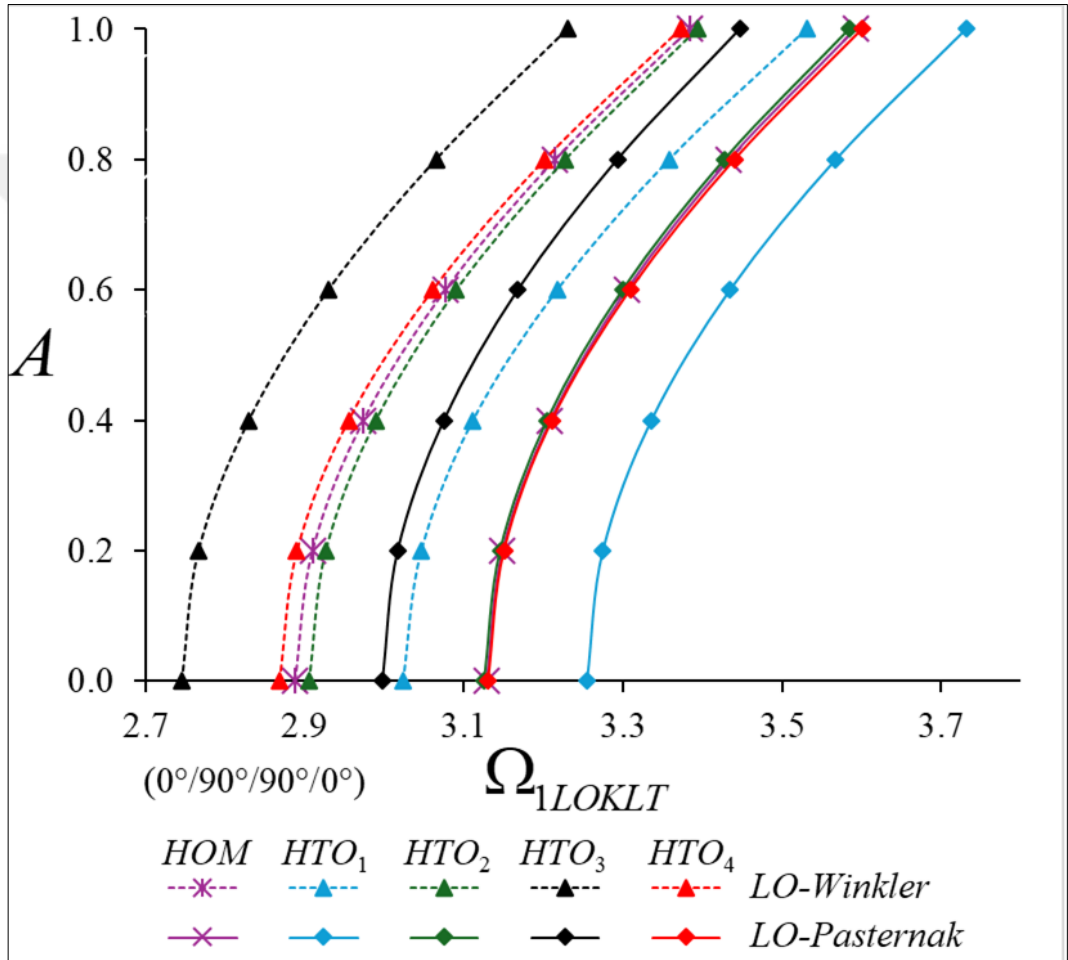


Şekil 5.18 : (0°/90°/90°/0°) dizilimli, *HOM* ve *HTO*_{*i*}-kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre zeminsiz ve lineer zeminlerdeki BLOFP değerleri.

Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %39.3'ten %29.58'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %35.43'ten %26.59'a ve *HTO*_{3,4} durumlarında %44.16'dan %33.14'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %33.84'ten %26.46'ya, *HTO*_{1,2} durumlarında %30'dan %23.44'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %38.86'dan %30.11'e düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %27.9'dan %28.01'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %25.2'den %25.25'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %31.63'ten %31.5'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM*

durumda %24.04'ten %25.06'ya, $HTO_{1,2}$ durumlarında %21.21'den %22.26'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %27.7'den %28.6'ya yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %39.63'ten %36.51'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %35.78'den %33.01'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %44.6'dan %40.9'a düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %34.19'dan %32.74'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %30.28'den %29.19'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %39.22'den %37.28'e düşmektedir. BLOFP değerlerine HTO etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; HTO_1 durumunda %6.08'den %5.94'e, HTO_2 durumunda %1.95'ten %1.77'ye, HTO_3 durumunda (-%6.68)'den (-%6.45)'e ve HTO_4 durumunda (-%2.51)'den (-%2.28)'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HTO_1 durumunda %7.12'den %6.73'e, HTO_2 durumunda %2.9'dan %2.55'e, HTO_3 durumunda (-%7.63)'ten (-%7.21)'e ve HTO_4 durumunda (-%3.54)'ten (-%3.07)'ye düşmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; HTO_1 durumunda %3.71'den %3.98'e yükselmektedir. HTO_2 durumunda (-%0.36)'dan (-%0.1)'e düşmektedir. HTO_3 durumunda (-%4.11)'den (-%4.53)'e ve HTO_4 durumunda %0.15'ten (-%0.29)'a yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HTO_1 durumunda %4.69'dan %4.78'e, HTO_2 durumunda %0.55'ten %0.66'ya, HTO_3 durumunda (-%4.96)'dan (-%5.18)'e ve HTO_4 durumunda (-%0.72)'den (-%0.97)'ye yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; HTO_1 durumunda %3.13'ten %3.49'a yükselmektedir. HTO_2 durumunda (-%0.9)'dan (-%0.58)'e düşmektedir. HTO_3 durumunda (-%3.43)'ten (-%3.89)'a yükselmektedir. HTO_4 durumunda %0.87'den %0.39'a düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HTO_1 durumunda %4.04'ten %4.18'e, HTO_2 durumunda (-%0.03)'ten %0.1'e, HTO_3 durumunda (-%4.17)'den (-%4.53)'e ve HTO_4 durumunda %0.1'den (-%0.29)'a yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; HTO_1 durumunda %3.77'den %3.66'ya düşmektedir. HTO_2 durumunda (-%0.3)'ten (-%0.4)'e yükselmektedir. HTO_3 durumunda (-%4.02)'den (-%3.9)'a düşmektedir. HTO_4 durumunda %0.25'ten %0.37'ye yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HTO_1 durumunda %4.67'den %4.34'e, HTO_2 durumunda %0.55'ten %0.27'ye, HTO_3 durumunda (-%4.91)'den (-%4.55)'e ve HTO_4 durumunda (-%0.69)'dan (-%0.33)'e düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; HTO_1 durumunda %3.16'dan %3.23'e yükselmektedir. HTO_2 durumunda (-%0.9)'dan (-

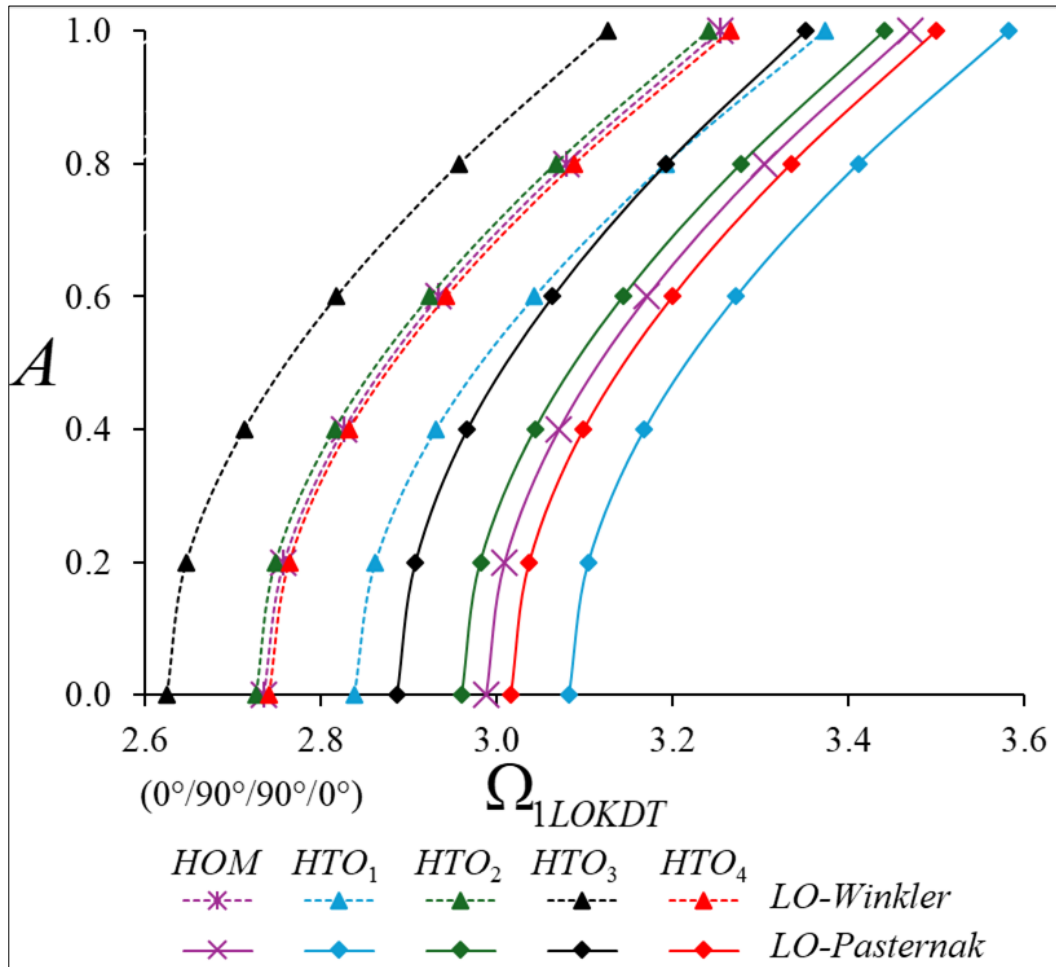
%0.84)'e düşmektedir. HTO_3 durumunda (-%3.36)'dan (-%3.43)'e yükselmektedir. HTO_4 durumunda %0.93'ten %0.86'ya düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HTO_1 durumunda %4'ten %3.87'ye düşmektedir. HTO_2 durumunda (-%0.06)'dan (-%0.19)'a yükselmektedir. HTO_3 durumunda (-%4.16)'dan (-%4.04)'e düşmektedir. HTO_4 durumunda %0.1'den %0.22'ye yükselmektedir. Şekil 5.19'da, $(0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ)$ dizilimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan silindirik kabukların KLT'ye göre lineer olmayan zeminlerdeki BLOFP değerleri verilmiştir. Şekil 5.20'de ise bu değerler KDT'ye göre verilmiştir.



Şekil 5.19 : $(0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ)$ dizilimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre lineer olmayan zeminlerdeki BLOFP değerleri.

BLOFP değerlerine dizilim etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %0.05'ten (-%6.16)'ya, $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.18'den (-%5.58)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%0.05)'ten (-%6.89)'a yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda (-%1.35)'ten (-%6.43)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%1.26)'dan (-%5.84)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%1.46)'dan (-%7.17)'ye yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında

dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %0.15'ten (-%4.37)'ye, *HTO*_{1,2} durumlarında %0.11'den (-%4.12)'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%0.04)'ten (-%4.75)'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda (-%0.96)'dan (-%4.64)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%0.85)'ten (-%4.44)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%0.93)'ten (-%5.09)'a yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %0'dan (-%3.85)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %0.1'den (-%3.62)'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%0.03)'ten (-%4.12)'ye yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda (-%0.82)'den (-%4.12)'ye, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%0.76)'dan (-%3.96)'ya ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%0.79)'dan (-%4.45)'e yükselmektedir.



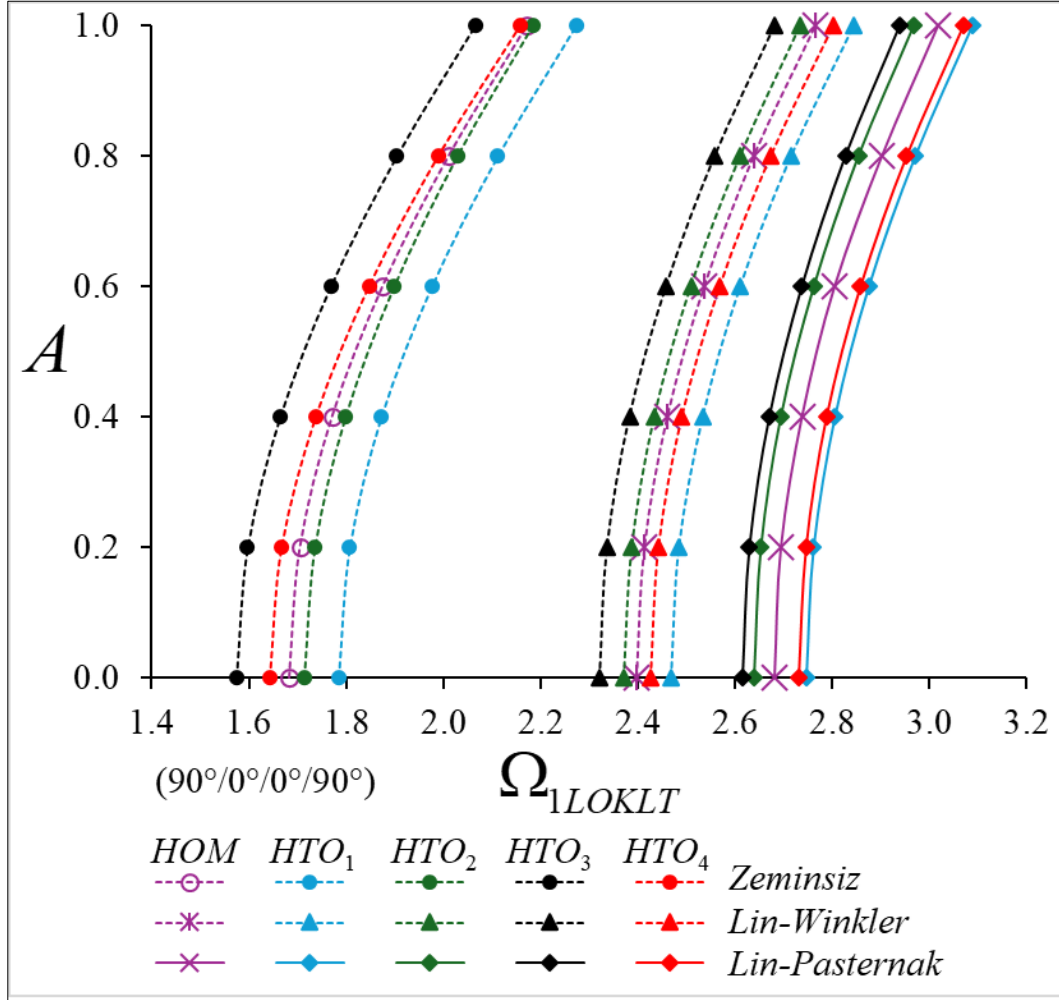
Şekil 5.20 : $(0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ)$ dizilimli, *HOM* ve *HTO*_{*i*}-kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre lineer olmayan zeminlerdeki BLOFP değerleri.

LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %0.04'ten (-%3.9)'a, *HTO*_{1,2} durumlarında %0.14'ten (-%3.68)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%0.04)'ten (-%4.2)'ye yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda (-%0.89)'dan (-%4.24)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%0.85)'ten (-

%4.02)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%0.93)'ten (-%4.52)'ye yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %0.03'ten (-%3.45)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.1'den (-%3.27)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0'dan (-%3.68)'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda (-%0.79)'dan (-%3.8)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.76)'dan (-%3.62)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%0.79)'dan (-%4.01)'e yükselmektedir.

($90^\circ/0^\circ/0^\circ/90^\circ$) dizilimli ortotropik silindirik kabuğun BLOFP değerlerine KDT etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda (-%3.64)'ten (-%2.3)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%3.98)'den (-%2.51)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%3.32)'den (-%2.03)'e düşmektedir. Şekil 5.21'de, ($90^\circ/0^\circ/0^\circ/90^\circ$) dizilimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan silindirik kabukların KLT'ye göre lineer zeminlerdeki BLOFP değerleri verilmiştir. Şekil 5.22'de ise bu değerler KDT'ye göre verilmiştir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda (-%1.82)'den (-%1.41)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.05)'ten (-%1.62)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%1.54)'ten (-%1.2)'ye düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda (-%1.45)'ten (-%1.23)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%1.7)'den (-%1.36)'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%1.26)'dan (-%0.99)'a düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda (-%1.82)'den (-%1.21)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.04)'ten (-%1.41)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%1.53)'ten (-%1.04)'e düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda (-%1.44)'ten (-%1.03)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%1.66)'dan (-%1.19)'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%1.21)'den (-%0.86)'ya düşmektedir. BLOFP değerlerine zemin etkisi incelendiğinde, Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %44.25'ten %28.51'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %40.29'dan %26.31'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %49.03'ten %30.99'a düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %41.58'den %27.35'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %37.52'den %25.16'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %46.34'ten %29.83'e düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %61.66'dan %40.43'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %56.43'ten %37.5'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %68.13'ten %43.85'e düşmektedir.

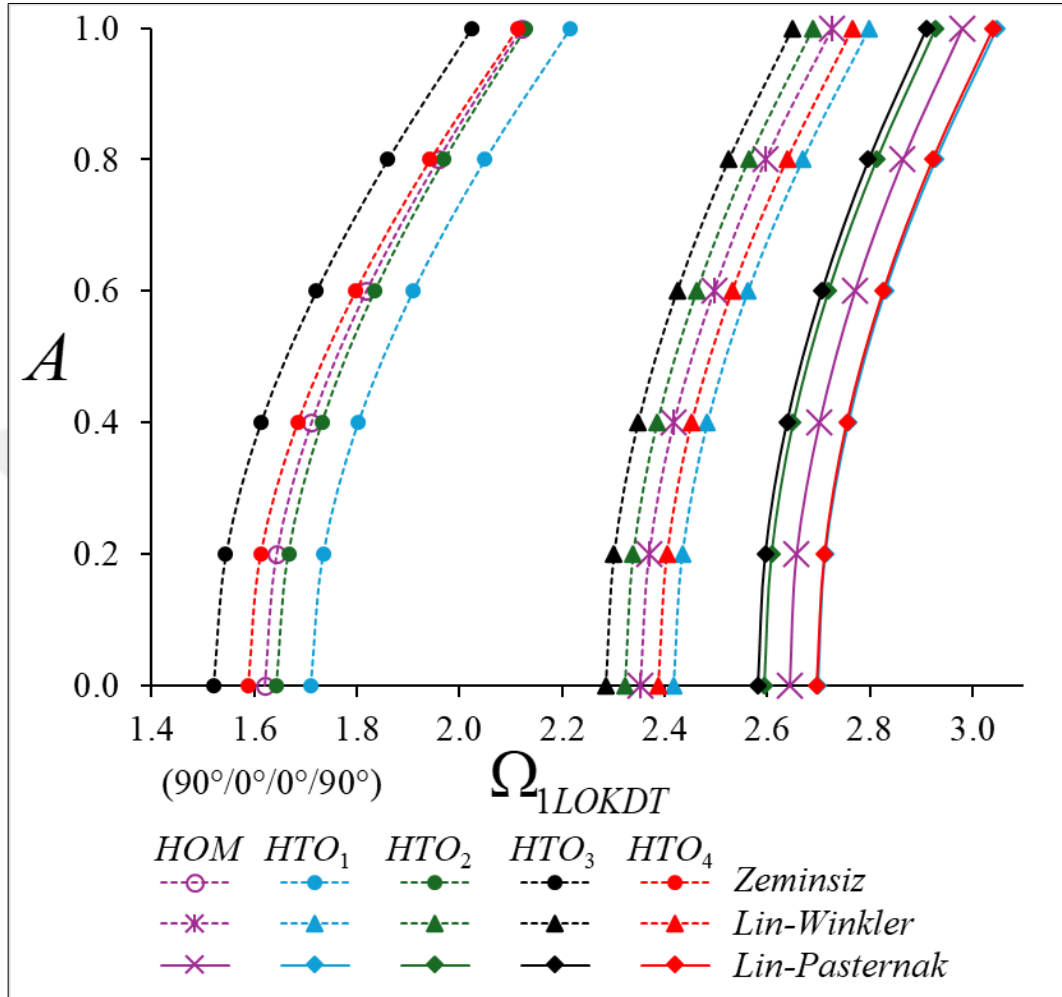
KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %58.06'dan %38.9'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında %52.79'dan %35.9'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %64.62'den %42.32'ye düşmektedir.



Şekil 5.21 : (90°/0°/0°/90°) dizilimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre zeminiz ve lineer zeminlerdeki BLOFP değerleri.

LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %44.8'den %38.45'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %40.86'dan %35.65'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %49.74'ten %41.72'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %42.11'den %36.92'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %38.07'den %34.14'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %47.03'ten %40.29'a düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %62.26'dan %49.67'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %57'den %46.16'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %68.78'den %53.78'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %58.65'ten %47.74'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %53.29'dan %44.21'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %65.18'den %51.96'ya düşmektedir. BLOFP değerlerine HTO etkisi incelendiğinde, zeminiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi,

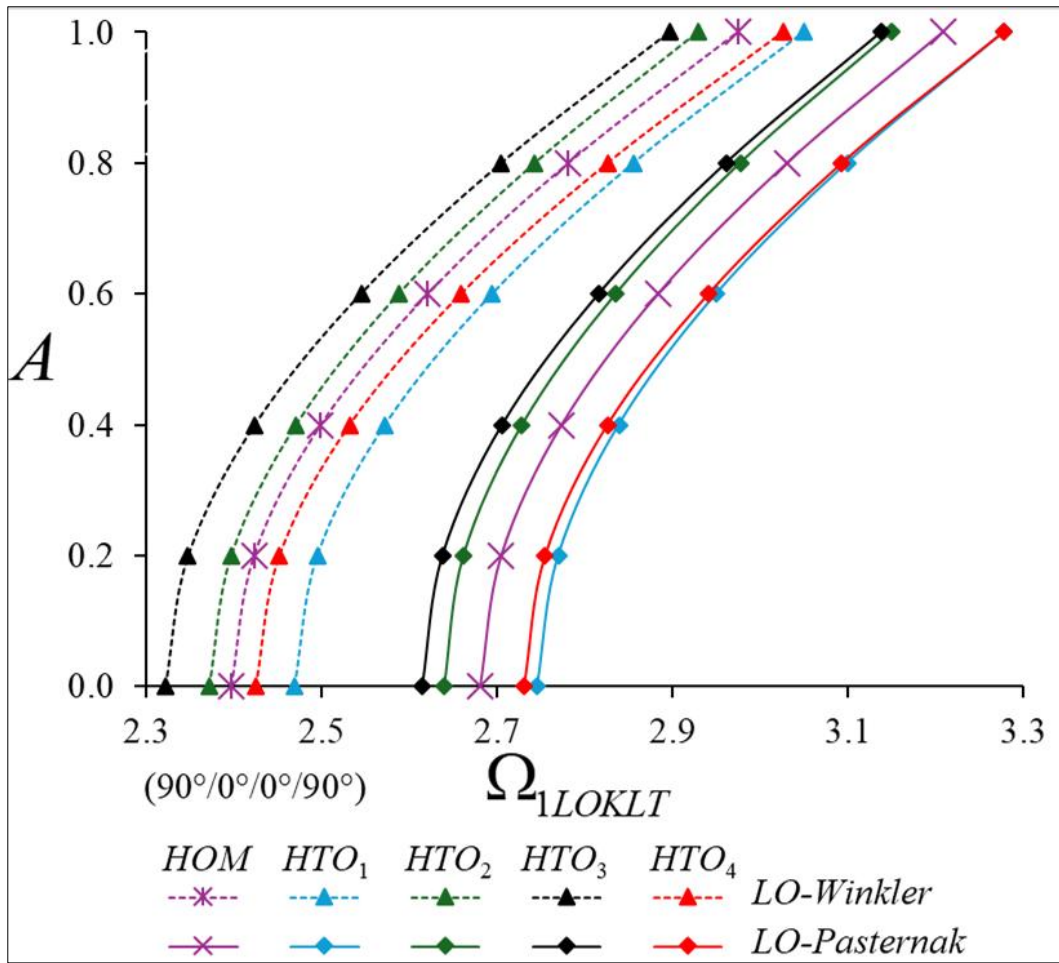
KDT'ye göre; HTO_1 durumunda %5.6'dan %4.43'e, HTO_2 durumunda %1.46'dan %0.33'e, HTO_3 durumunda (-%6.03)'ten (-%4.67)'ye ve HTO_4 durumunda (-%1.89)'dan (-%0.42)'ye düşmektedir.



Şekil 5.22 : (90°/0°/0°/90°) dizilimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre zeminsiz ve lineer zeminlerdeki BLOFP değerleri.

KLT'ye göre ise bu etkiler; HTO_1 durumunda %5.98'den %4.65'e, HTO_2 durumunda %1.82'den %0.55'e, HTO_3 durumunda (-%6.33)'ten (-%4.93)'e ve HTO_4 durumunda (-%2.17)'den (-%0.69)'a düşmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; HTO_1 durumunda %2.7'den %2.6'ya düşmektedir. HTO_2 durumunda (-%1.3)'ten (-%1.4)'e yükselmektedir. HTO_3 durumunda (-%2.91)'den (-%2.82)'ye düşmektedir. HTO_4 durumunda %1.43'ten %1.5'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HTO_1 durumunda %2.94'ten %2.86'ya düşmektedir. HTO_2 durumunda (-%1.08)'den (-%1.19)'a yükselmektedir. HTO_3 durumunda (-%3.19)'dan (-%3.07)'ye düşmektedir. HTO_4 durumunda %1.12'den %1.27'ye yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e

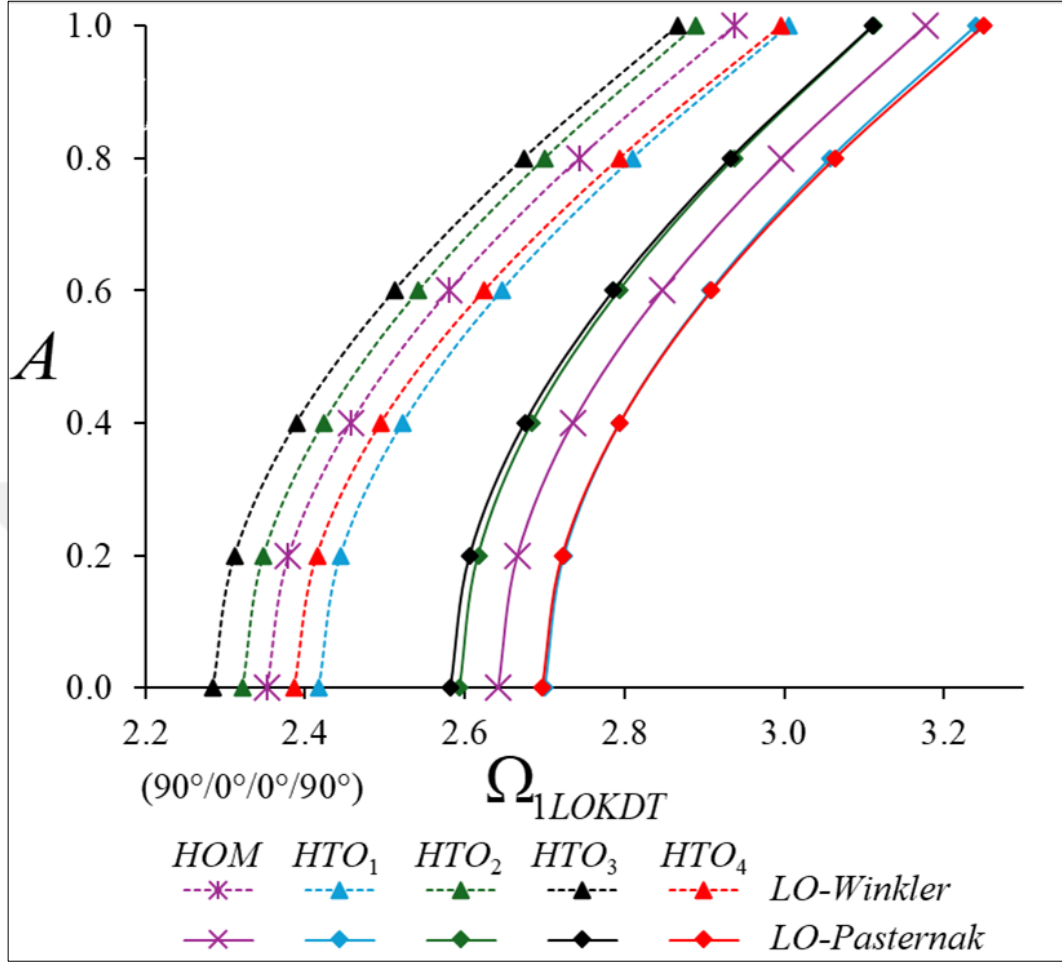
çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; HTO_1 durumunda %2.18'den %2.25'e yükselmektedir. HTO_2 durumunda (-%1.81)'den (-%1.74)'e düşmektedir. HTO_3 durumunda (-%2.26)'dan (-%2.35)'e yükselmektedir. HTO_4 durumunda %2.11'den %2.01'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HTO_1 durumunda %2.45'ten %2.39'a, HTO_2 durumunda (-%1.56)'dan (-%1.62)'ye ve HTO_3 durumunda (-%2.45)'ten (-%2.59)'a yükselmektedir. HTO_4 durumunda %1.89'dan %1.76'ya düşmektedir. Şekil 5.23'te, $(90^\circ/0^\circ/0^\circ/90^\circ)$ dizilimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan silindirik kabukların KLT'ye göre lineer olmayan zeminlerdeki BLOFP değerleri verilmiştir. Şekil 5.24'te ise bu değerler KDT'ye göre verilmiştir.



Şekil 5.23 : $(90^\circ/0^\circ/0^\circ/90^\circ)$ dizilimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre lineer olmayan zeminlerdeki BLOFP değerleri.

LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; HTO_1 durumunda %2.73'ten %2.31'e düşmektedir. HTO_2 durumunda (-%1.3)'ten (-%1.67)'ye yükselmektedir. HTO_3 durumunda (-%2.82)'den (-%2.42)'ye düşmektedir. HTO_4 durumunda %1.51'den %1.94'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HTO_1 durumunda %2.97'den %2.52'ye düşmektedir. HTO_2 durumunda (-%1.07)'den

(-%1.51)'e yükselmektedir. HTO_3 durumunda (-%3.1)'den (-%2.59)'a düşmektedir. HTO_4 durumunda %1.2'den %1.75'e yükselmektedir.



Şekil 5.24 : $(90^\circ/0^\circ/0^\circ/90^\circ)$ dizilimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre lineer olmayan zeminlerdeki BLOFP değerleri.

LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; HTO_1 durumunda %2.18'den %1.98'e düşmektedir. HTO_2 durumunda (-%1.84)'ten (-%2.02)'ye yükselmektedir. HTO_3 durumunda (-%2.25)'ten (-%2.05)'e düşmektedir. HTO_4 durumunda %2.1'den %2.3'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HTO_1 durumunda %2.4'ten %2.15'e düşmektedir. HTO_2 durumunda (-%1.63)'ten (-%1.84)'e yükselmektedir. HTO_3 durumunda (-%2.48)'den (-%2.21)'e düşmektedir. HTO_4 durumunda %1.85'ten %2.12'ye yükselmektedir. BLOFP değerlerine dizilim etkisi incelendiğinde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında zeminde, dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda (-%23.72)'den (-%21.67)'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%23.97)'den (-%22.3)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%23.26)'dan (-%20.79)'a düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda (-%28.3)'ten (-%24.9)'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%29)'dan (-%25.89)'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%27.38)'den

(-%23.66)'ya düşmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda (-%13.72)'den (-%14.97)'ye, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%14.6)'dan (-%15.84)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%12.81)'den (-%13.79)'a yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda (-%17.6)'dan (-%17.7)'ye, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%18.9)'dan (-%19)'a ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%16.06)'dan (-%16.22)'ye yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda (-%11.53)'ten (-%13.02)'ye, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%12.25)'ten (-%13.85)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%10.48)'den (-%11.87)'ye yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda (-%14.88)'den (-%15.47)'ye, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%16.13)'ten (-%16.78)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%13.32)'den (-%14.04)'e yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda (-%13.71)'den (-%13.23)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%14.49)'dan (-%14.16)'ya ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%12.69)'dan (-%12.16)'ya düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda (-%17.47)'den (-%15.85)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%18.78)'den (-%17.12)'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%15.93)'ten (-%14.37)'ye düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda (-%11.37)'den (-%11.63)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%12.16)'dan (-%12.53)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%10.39)'dan (-%10.58)'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda (-%14.75)'ten (-%14.06)'ya, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%16.04)'ten (-%15.32)'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%13.25)'ten (-%12.61)'e düşmektedir.

5.2.3 *HTO_i-lin* için LOFOP analizleri

Bu başlıkta, *HOM* ve *HTO_i-lin* ($i=1,2,3,4$) cam epoksi malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin klasik kabuk teorisi ve kayma deformasyon teorisi kapsamında, zeminsiz, lineer Winkler, lineer Pasternak, lineer olmayan Winkler zemini, lineer ve lineer olmayan Winkler zemini ile lineer olmayan Pasternak zemini üzerindeki LOFOP analizlerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.11'de verilen (0°) dizilimli ortotropik silindirik kabuğun LOFOP değerlerine KDT etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda %0.2'den %3.75'e ve *HTO*_{1,2,3,4} durumlarında %0.3'ten %3.69'a yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında,

KDT etkisi, *HOM* durumda %3.78'den %5.68'e ve *HTO*_{1,2,3,4} durumlarında %3.72'den %5.49'a yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda %4.99'dan %6.27'ye ve *HTO*_{1,2,3,4} durumlarında %4.82'den %5.93'e yükselmektedir.

Çizelge 5.11 : (0°) dizilimli, *HOM* ve *HTO*_{*i*}-lin malzemelerden oluşan bir tabakalı silindirik kabuğun LOFOP değerlerinin A boyutsuz genliğine bağlı çizelgesi.

Ω_{LO}/Ω_L , <i>HTO</i> _{<i>i</i>} -lin, (0°)								
<i>Zeminsiz</i>								
<i>HOM</i>					<i>HTO</i> _{1,2,3,4}			
<i>A</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>
0.2	1.011		1.013		1.012		1.015	
0.4	1.041		1.049		1.044		1.053	
0.6	1.089		1.108		1.096		1.114	
0.8	1.152		1.184		1.164		1.195	
1.0	1.228		1.274		1.245		1.291	
<i>Lin-Winkler</i>					<i>LO-Winkler</i>			
<i>HOM</i>			<i>HTO</i> _{1,2,3,4}		<i>HOM</i>		<i>HTO</i> _{1,2,3,4}	
<i>A</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>
0.2	1.244	1.291	1.262	1.309	1.247	1.296	1.266	1.314
0.4	1.268	1.320	1.289	1.341	1.282	1.338	1.303	1.357
0.6	1.309	1.369	1.330	1.390	1.338	1.404	1.363	1.426
0.8	1.362	1.430	1.387	1.456	1.414	1.489	1.443	1.517
1.0	1.426	1.507	1.456	1.536	1.502	1.593	1.537	1.625
<i>Lin-Pasternak</i>					<i>LO-Pasternak</i>			
0.2	1.344	1.411	1.369	1.435	1.346	1.414	1.373	1.439
0.4	1.368	1.436	1.392	1.463	1.380	1.453	1.407	1.479
0.6	1.403	1.480	1.431	1.508	1.431	1.511	1.462	1.542
0.8	1.454	1.538	1.486	1.570	1.501	1.593	1.537	1.626
1.0	1.515	1.610	1.551	1.643	1.586	1.691	1.627	1.729

LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda %3.93'ten %6.06'ya ve *HTO*_{1,2,3,4} durumlarında %3.79'dan %5.73'e yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda %5.05'ten %6.62'ye ve *HTO*_{1,2,3,4} durumlarında %4.81'den %6.27'ye yükselmektedir. LOFOP değerlerine zemin etkisi incelendiğinde, Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %27.44'ten %18.29'a ve *HTO*_{1,2,3,4} durumlarında %28.97'den %18.98'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %23.05'ten %16.12'ye ve *HTO*_{1,2,3,4} durumlarında %24.7'den %16.95'e düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %39.29'dan %26.37'ye ve *HTO*_{1,2,3,4} durumlarında %41.38'den %27.27'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %32.94'ten %23.37'ye ve *HTO*_{1,2,3,4} durumlarında %35.28'den %24.58'e

düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %27.94'ten %25.04'e ve $HTO_{1,2,3,4}$ durumlarında %29.46'dan %25.87'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %23.34'ten %22.31'e ve $HTO_{1,2,3,4}$ durumlarında %25.1'den %23.45'e düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %39.59'dan %32.73'e ve $HTO_{1,2,3,4}$ durumlarında %41.77'den %33.93'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %33.14'ten %29.15'e ve $HTO_{1,2,3,4}$ durumlarında %35.67'den %30.68'e düşmektedir. LOFOP değerlerine HTO etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2,3,4}$ durumlarında %0.2'den %1.33'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2,3,4}$ durumlarında %0.1'den %1.38'e yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2,3,4}$ durumlarında %1.39'dan %1.92'ye yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2,3,4}$ durumlarında %1.50'den %2.15'e yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2,3,4}$ durumlarında %1.7'den %2.05'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2,3,4}$ durumlarında %1.86'dan %2.38'e yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2,3,4}$ durumlarında %1.39'dan %2.01'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2,3,4}$ durumlarında %1.52'den %2.33'e yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2,3,4}$ durumlarında %1.77'den %2.25'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2,3,4}$ durumlarında %2.01'den %2.59'a yükselmektedir.

Çizelge 5.12'de verilen ($0^\circ/90^\circ$) dizilimli ortotropik silindirik kabuğun LOFOP değerlerine KDT etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında KDT etkisi, HOM durumda %0.12'den %1.83'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.1'den %1.66'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.13'ten %1.82'ye yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında KDT etkisi, HOM durumda %2.41'den %2.99'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında %2.38'den %2.9'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %2.21'den %2.76'ya yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında KDT etkisi, HOM durumda %2.9'dan %3.3'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %2.86'dan %3.22'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %2.63'ten %3'e yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında KDT etkisi, HOM durumda %2.43'ten %3.25'e, $HTO_{1,2}$

durumlarında %2.4'ten %3.17'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %2.23'ten %2.96'ya yükselmektedir.

Çizelge 5.12 : ($0^\circ/90^\circ$) dizilimli, HOM ve HTO_i -lin malzemelerden oluşan iki tabakalı silindirik kabuğun LOFOP değerlerinin A boyutsuz genliğine bağlı çizelgesi.

$\Omega_{LO}/\Omega_L, HTO_i$ -lin, ($0^\circ/90^\circ$)												
Zeminsiz												
HOM			HTO _{1,2}				HTO _{3,4}					
<i>A</i>	<i>KLT</i>		<i>KDT</i>		<i>KLT</i>		<i>KDT</i>		<i>KLT</i>		<i>KDT</i>	
0.2	1.011		1.013		1.010		1.011		1.014		1.016	
0.4	1.045		1.050		1.040		1.044		1.056		1.061	
0.6	1.098		1.108		1.087		1.095		1.122		1.133	
0.8	1.169		1.184		1.149		1.163		1.208		1.225	
1.0	1.252		1.275		1.225		1.245		1.310		1.333	
Lin-Winkler							LO-Winkler					
HOM			HTO _{1,2}		HTO _{3,4}		HOM		HTO _{1,2}		HTO _{3,4}	
<i>A</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>
0.2	1.379	1.412	1.379	1.411	1.419	1.450	1.384	1.417	1.384	1.417	1.424	1.456
0.4	1.403	1.438	1.401	1.435	1.449	1.482	1.424	1.461	1.422	1.457	1.472	1.506
0.6	1.444	1.482	1.436	1.473	1.498	1.534	1.489	1.530	1.482	1.522	1.546	1.586
0.8	1.498	1.540	1.484	1.525	1.564	1.604	1.574	1.622	1.561	1.607	1.645	1.690
1.0	1.565	1.612	1.544	1.588	1.644	1.689	1.677	1.731	1.658	1.710	1.763	1.815
Lin-Pasternak							LO-Pasternak					
0.2	1.528	1.573	1.529	1.573	1.581	1.623	1.533	1.578	1.534	1.578	1.587	1.628
0.4	1.551	1.597	1.549	1.594	1.609	1.652	1.570	1.617	1.568	1.614	1.629	1.674
0.6	1.588	1.636	1.581	1.628	1.653	1.699	1.629	1.680	1.622	1.673	1.697	1.746
0.8	1.637	1.689	1.625	1.675	1.713	1.762	1.707	1.764	1.696	1.751	1.788	1.841
1.0	1.699	1.755	1.680	1.734	1.787	1.840	1.803	1.865	1.785	1.846	1.897	1.957

LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında KDT etkisi, HOM durumda %2.91'den %3.49'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında %2.87'den %3.42'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %2.64'ten %3.15'e yükselmektedir. LOFOP değerlerine zemin etkisi incelendiğinde, Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %39.41'den %26.38'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %39.59'dan %27.58'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %42.75'ten %26.7'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %36.29'dan %24.95'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %36.49'dan %26.05'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %39.83'ten %25.54'e düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %55.3'ten %37.59'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında %55.55'ten %39.25'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %59.78'den %38.02'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %51.11'den %35.63'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %51.38'den %37.14'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %55.88'den %36.43'e düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM

durumda %39.98'den %35.75'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %40.16'dan %37.34'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %43.36'dan %36.14'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %36.82'den %33.88'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %37.03'ten %35.34'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %40.41'den %34.62'ye düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %55.82'den %46.27'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %56.07'den %48.27'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %60.33'ten %46.76'ya düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %51.59'dan %43.92'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %51.86'dan %45.75'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %56.4'ten %44.86'ya düşmektedir. LOFOP değerlerine HTO etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.15)'ten (-%2.37)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.3'ten %4.55'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.14)'ten (-%2.22)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.29'dan %4.56'ya yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.02)'den (-%1.45)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %2.71'den %4.82'ye yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında %0'dan (-%1.36)'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %2.9'dan %5.05'e yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında %0'dan (-%1.2)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.19'dan %4.88'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.04'ten (-%1.13)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.46'dan %5.18'e yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.02)'den (-%1.23)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %2.73'ten %4.85'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.01'den (-%1.15)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %2.92'den %5.14'e yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.01'den (-%1.04)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.21'den %4.9'a yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.04'ten (-%0.97)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.47'den %5.25'e yükselmektedir. LOFOP değerlerine dizilim etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda (-%0.03)'ten %0.11'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.38)'den (-%3.56)'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.07'den %3.29'a yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %0.05'ten %1.99'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.19)'dan (-%1.63)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.24'ten

%5.19'a yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %9.35'ten %6.95'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %7.83'ten %3.42'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında %10.76'dan %9.99'a düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %10.82'den %9.75'e ve *HTO*_{1,2} durumlarında %9.25'ten %6.03'e düşmektedir. *HTO*_{3,4} durumlarında %12.31'den %12.84'e yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %11.46'dan %8.99'a, *HTO*_{1,2} durumlarında %9.6'dan %5.52'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında %13.1'den %12.02'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %13.72'den %12.13'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %11.69'dan %8.29'a ve *HTO*_{3,4} durumlarında %15.51'den %15.13'e düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %9.37'den %8.68'e ve *HTO*_{1,2} durumlarında %7.86'dan %5.23'e düşmektedir. *HTO*_{3,4} durumlarında %10.82'den %11.71'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %10.98'den %11.64'e yükselmektedir. *HTO*_{1,2} durumlarında %9.33'ten %7.84'e düşmektedir. *HTO*_{3,4} durumlarında %12.51'den %14.71'e yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %11.59'dan %10.32'ye ve *HTO*_{1,2} durumlarında %9.66'dan %6.77'ye düşmektedir. *HTO*_{3,4} durumlarında %13.1'den %13.2'ye yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %13.91'den %13.65'e ve *HTO*_{1,2} durumlarında %11.72'den %9.71'e düşmektedir. *HTO*_{3,4} durumlarında %15.55'ten %16.6'ya yükselmektedir.

Çizelge 5.13'te verilen ($0^\circ/90^\circ/0^\circ$) dizilimli ortotropik silindirik kabuğun LOFOP değerlerine KDT etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda %0.5'ten %2.88'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %0.4'ten %2.85'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %0.3'ten %2.84'e yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda %3.55'ten %4.92'ye, *HTO*_{1,2} durumlarında %3.42'den %4.59'a ve *HTO*_{3,4} durumlarında %3.41'den %4.72'ye yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda %4.48'den %5.57'ye, *HTO*_{1,2} durumlarında %4.39'dan %5.23'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %4.3'ten %5.21'e yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda %3.63'ten %5.28'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %3.49'dan %5.22'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında %3.4'ten %5.13'e yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde,

$A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumunda %4.4'ten %5.76'ya, $HTO_{1,2}$ durumlarında %4.38'den %5.55'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %4.22'den %5.59'a yükselmektedir. LOFOP değerlerine zemin etkisi incelendiğinde, Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumunda %26.9'dan %19.42'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %28.66'dan %20.42'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %28.95'ten %20.54'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumunda %23.16'dan %17.1'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %24.9'dan %18.41'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %25.07'den %18.36'ya düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumunda %38.38'den %27.9'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında %41.01'den %29.37'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %41.4'ten %29.55'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumunda %33.1'den %24.64'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %35.62'den %26.44'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %35.98'den %26.63'e düşmektedir.

Çizelge 5.13 : ($0^\circ/90^\circ/0^\circ$) dizilimli, HOM ve HTO_i -lin malzemelerden oluşan üç tabakalı silindirik kabuğun LOFOP değerlerinin A boyutsuz genliğine bağlı çizelgesi.

Ω_{LO}/Ω_L , HTO_i -lin, (0°/90°/0°)												
Zeminsiz												
HOM			HTO _{1,2}				HTO _{3,4}					
A	KLT		KDT		KLT		KDT		KLT		KDT	
0.2	1.006		1.011		1.008		1.012		1.009		1.012	
0.4	1.032		1.038		1.034		1.041		1.035		1.043	
0.6	1.069		1.083		1.076		1.090		1.076		1.090	
0.8	1.119		1.143		1.129		1.153		1.131		1.155	
1.0	1.181		1.215		1.195		1.229		1.198		1.232	
Lin-Winkler							LO-Winkler					
HOM			HTO _{1,2}		HTO _{3,4}		HOM		HTO _{1,2}		HTO _{3,4}	
A	KLT	KDT	KLT	KDT	KLT	KDT	KLT	KDT	KLT	KDT	KLT	KDT
0.2	1.239	1.283	1.259	1.302	1.262	1.305	1.241	1.286	1.262	1.306	1.266	1.309
0.4	1.259	1.303	1.279	1.326	1.283	1.328	1.271	1.322	1.294	1.342	1.298	1.347
0.6	1.290	1.341	1.313	1.363	1.317	1.366	1.319	1.375	1.345	1.401	1.349	1.405
0.8	1.331	1.390	1.358	1.418	1.363	1.420	1.383	1.449	1.413	1.480	1.418	1.484
1.0	1.383	1.451	1.415	1.480	1.418	1.485	1.459	1.536	1.494	1.572	1.500	1.577
Lin-Pasternak							LO-Pasternak					
0.2	1.339	1.399	1.367	1.427	1.372	1.431	1.342	1.401	1.369	1.429	1.373	1.431
0.4	1.355	1.420	1.386	1.448	1.390	1.452	1.369	1.433	1.399	1.462	1.404	1.467
0.6	1.386	1.453	1.417	1.482	1.421	1.486	1.413	1.485	1.446	1.516	1.451	1.521
0.8	1.424	1.497	1.458	1.530	1.463	1.534	1.470	1.552	1.510	1.589	1.516	1.594
1.0	1.472	1.554	1.511	1.590	1.517	1.596	1.545	1.634	1.587	1.675	1.593	1.682

LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumunda %27.2'den %26.42'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %29.05'ten %27.91'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %29.35'ten %28'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler;

HOM durumda %23.36'dan %23.54'e yükselmektedir. *HTO*_{1,2} durumlarında %25.2'den %25'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %25.5'ten %25.21'e düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %38.58'den %34.49'a, *HTO*_{1,2} durumlarında %41.21'den %36.29'a ve *HTO*_{3,4} durumlarında %41.4'ten %36.53'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %33.4'ten %30.82'ye, *HTO*_{1,2} durumlarında %35.81'den %32.8'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %36.08'den %32.97'ye düşmektedir. LOFOP değerlerine HTO etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO*_{1,2} durumlarında %0.1'den %1.15'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %0.1'den %1.4'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HTO*_{1,2} durumlarında %0.2'den %1.19'a ve *HTO*_{3,4} durumlarında %0.3'ten %1.44'e yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO*_{1,2} durumlarında %1.48'den %2'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında %1.71'den %2.34'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HTO*_{1,2} durumlarında %1.61'den %2.31'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %1.86'dan %2.53'e yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO*_{1,2} durumlarında %2'den %2.32'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında %2.29'dan %2.7'ye yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HTO*_{1,2} durumlarında %2.09'dan %2.65'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %2.46'dan %3.06'ya yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO*_{1,2} durumlarında %1.56'dan %2.34'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %1.79'dan %2.67'ye yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HTO*_{1,2} durumlarında %1.69'dan %2.4'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %2.01'den %2.81'e yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO*_{1,2} durumlarında %2'den %2.51'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %2.14'ten %2.94'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HTO*_{1,2} durumlarında %2.01'den %2.72'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında %2.31'den %3.11'e yükselmektedir. LOFOP değerlerine dizilim etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda (-%0.2)'den (-%4.63)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%0.3)'ten (-%4.8)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%0.3)'ten (-%4.57)'ye yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda (-%0.49)'dan (-%3.83)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%0.4)'ten (-%4.02)'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%0.3)'ten (-%3.78)'e yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda (-%0.62)'den (-%3.72)'ye ,

$HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.53)'ten (-%3.65)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%0.31)'den (-%3.32)'ye yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda (-%0.4)'ten (-%3.02)'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.24)'ten (-%2.82)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%0.08)'den (-%2.68)'e yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda (-%0.85)'ten (-%3.48)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.56)'dan (-%3.23)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%0.28)'den (-%2.86)'ya yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda (-%0.37)'den (-%2.84)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.15)'ten (-%2.58)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.22'den (-%2.26)'ya yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda (-%0.77)'den (-%3.58)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.61)'den (-%3.26)'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%0.38)'den (-%2.95)'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda (-%0.48)'den (-%2.86)'ya, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.32)'den (-%2.8)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0'dan (-%2.41)'e yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda (-%0.92)'den (-%3.37)'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.69)'dan (-%3.12)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%0.56)'dan (-%2.72)'ye yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda (-%0.3)'ten (-%2.59)'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.29)'dan (-%2.46)'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0'dan (-%2.09)'a yükselmektedir.

Çizelge 5.14'te verilen ($90^\circ/0^\circ/90^\circ$) dizilimli ortotropik silindirik kabuğun LOFOP değerlerine KDT etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda %0.1'den %1.19'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.1'den %1.1'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.1'den %1.02'ye yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda %1.64'ten %2.01'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %1.55'ten %1.91'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %1.5'ten %1.87'ye yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda %1.89'dan %2.1'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %1.86'dan %2.07'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %1.82'den %2.09'a yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda %1.64'ten %2.13'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %1.61'den %1.93'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %1.56'dan %1.95'e yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda %1.89'dan %2.12'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %1.92'den %2.14'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %1.88'den %2'ye

yükselmektedir. LOFOP değerlerine zemin etkisi incelendiğinde, Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ ’den 1’e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT’ye göre; *HOM* durumda %46.5’ten %31.2’ye, *HTO*_{1,2} durumlarında %48.32’den %32.07’ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında %47.19’dan %31.54’e düşmektedir. KLT’ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %44.27’den %30.14’e, *HTO*_{1,2} durumlarında %46.2’den %31.01’e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %45.16’dan %30.45’e düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ ’den 1’e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT’ye göre; *HOM* durumda %64.86’dan %44.18’e, *HTO*_{1,2} durumlarında %67.36’dan %45.39’a ve *HTO*_{3,4} durumlarında %65.94’ten %44.7’ye düşmektedir. KLT’ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %61.96’dan %42.88’e, *HTO*_{1,2} durumlarında %64.46’dan %44.01’e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %63.14’ten %43.19’a düşmektedir.

Çizelge 5.14 : (90°/0°/90°) dizilimli, *HOM* ve *HTO*_{*i*}-*lin* malzemelerden oluşan üç tabakalı silindirik kabuğun LOFOP değerlerinin A boyutsuz genliğine bağlı çizelgesi.

$\Omega_{LO}/\Omega_L, HTO_i\text{-}lin, (90^\circ/0^\circ/90^\circ)$												
<i>Zeminsiz</i>												
<i>HOM</i>			<i>HTO_{1,2}</i>				<i>HTO_{3,4}</i>					
<i>A</i>	<i>KLT</i>		<i>KDT</i>		<i>KLT</i>		<i>KDT</i>		<i>KLT</i>		<i>KDT</i>	
0.2	1.012		1.013		1.013		1.014		1.012		1.013	
0.4	1.047		1.051		1.049		1.051		1.048		1.051	
0.6	1.104		1.110		1.109		1.115		1.105		1.111	
0.8	1.176		1.186		1.185		1.196		1.180		1.190	
1.0	1.264		1.279		1.277		1.291		1.271		1.284	
<i>Lin-Winkler</i>							<i>LO-Winkler</i>					
<i>HOM</i>			<i>HTO_{1,2}</i>		<i>HTO_{3,4}</i>		<i>HOM</i>		<i>HTO_{1,2}</i>		<i>HTO_{3,4}</i>	
<i>A</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>	<i>KLT</i>	<i>KDT</i>
0.2	1.460	1.484	1.481	1.504	1.469	1.491	1.467	1.491	1.487	1.511	1.476	1.499
0.4	1.486	1.509	1.504	1.529	1.495	1.517	1.509	1.536	1.532	1.557	1.520	1.546
0.6	1.525	1.551	1.548	1.572	1.535	1.562	1.578	1.607	1.603	1.633	1.591	1.617
0.8	1.579	1.608	1.603	1.633	1.591	1.619	1.672	1.703	1.699	1.729	1.681	1.713
1.0	1.645	1.678	1.673	1.705	1.658	1.689	1.780	1.818	1.813	1.848	1.794	1.829
<i>Lin-Pasternak</i>							<i>LO-Pasternak</i>					
0.2	1.639	1.670	1.666	1.697	1.651	1.681	1.642	1.673	1.669	1.701	1.653	1.684
0.4	1.660	1.693	1.688	1.719	1.673	1.703	1.682	1.716	1.711	1.743	1.695	1.727
0.6	1.696	1.730	1.725	1.760	1.709	1.742	1.744	1.780	1.774	1.811	1.757	1.792
0.8	1.745	1.780	1.775	1.811	1.757	1.793	1.829	1.867	1.861	1.898	1.842	1.881
1.0	1.806	1.844	1.839	1.877	1.820	1.858	1.930	1.971	1.966	2.008	1.946	1.985

LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ ’den 1’e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT’ye göre; *HOM* durumda %47.19’dan %42.14’e, *HTO*_{1,2} durumlarında %49.01’den %43.14’e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %47.98’den %42.45’e düşmektedir. KLT’ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %44.96’dan %40.82’ye, *HTO*_{1,2} durumlarında %46.79’dan %41.97’ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında %45.85’ten %41.15’e düşmektedir. LO-Pasternak zemininde,

$A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %65.15'ten %54.1'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %67.75'ten %55.54'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %66.24'ten %54.6'ya düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %62.25'ten %52.69'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında %64.76'dan %53.95'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %63.34'ten %53.11'e düşmektedir. LOFOP değerlerine HTO etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.1'den %0.94'e, $HTO_{3,4}$ durumlarında %0'dan %0.39'a yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.1'den %1.03'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0'dan %0.55'e yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında %1.35'ten %1.61'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.47'den %0.66'ya yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında %1.44'ten %1.7'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.62'den %0.79'a yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında %1.62'den %1.79'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.66'dan %0.76'ya yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında %1.65'ten %1.83'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.73'ten %0.78'e yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında %1.34'ten %1.65'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.54'ten %0.61'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında %1.36'dan %1.85'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.61'den %0.79'a yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında %1.67'den %1.88'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.66'dan %0.71'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında %1.64'ten %1.87'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.67'den %0.83'e yükselmektedir. LOFOP değerlerine dizilim etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %0'dan %0.39'a yükselmektedir. $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.1)'den %0'a düşmektedir. $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%0.2)'den (-%0.54)'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %0.1'den %2.93'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.1'den %2.57'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0'dan %2.09'a yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %14.95'ten %11.35'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %14.9'dan %11'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %13.9'dan %9.96'ya düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %17.36'dan %15.36'ya, $HTO_{1,2}$ durumlarında %17.35'ten %14.9'a ve

$HTO_{3,4}$ durumlarında %16.31'den %13.8'e düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %18.36'dan %14.53'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %18.26'dan %14.24'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %17.14'ten %13.09'a düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %21.95'ten %19.21'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %21.69'dan %18.57'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %20.6'dan %17.27'ye düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %15.05'ten %14.12'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %14.99'dan %13.72'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %14.08'den %12.55'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %17.64'ten %18.51'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %17.46'dan %17.96'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %16.59'dan %16.72'ye yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %18.32'den %16.56'ya, $HTO_{1,2}$ durumlarında %18.21'den %16.14'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %17.03'ten %14.81'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %21.99'dan %21.69'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında %21.56'dan %20.84'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %20.39'dan %19.61'e düşmektedir.

Çizelge 5.15'te verilen ($0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ$) dizilimli ortotropik silindirik kabuğun LOFOP değerlerine KDT etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda %0.1'den %2.32'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.1'den %2.29'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.2'den %2.37'ye yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda %3.29'dan %4.37'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %3.08'den %4.05'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.06'dan %4'e yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda %4.16'dan %4.9'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında %3.99'dan %4.58'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.83'ten %4.49'a yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda %3.37'den %4.75'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %3.23'ten %4.36'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.14'ten %4.54'e yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda %4.29'dan %5.25'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %3.83'ten %4.98'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.82'den %4.95'e yükselmektedir. LOFOP değerlerine zemin etkisi incelendiğinde, Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %27.58'den %20.61'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %29.53'ten %21.41'e ve

$HTO_{3,4}$ durumlarında %30'dan %21.61'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %23.63'ten %18.24'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %25.79'dan %19.35'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %26.4'ten %19.7'ye düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %39.19'dan %29.52'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %42.12'den %30.79'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %42.52'den %31.04'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %33.76'dan %26.33'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %36.81'den %27.93'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %37.54'ten %28.39'a düşmektedir.

Çizelge 5.15 : ($0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ$) dizilimli, HOM ve HTO_i -lin malzemelerden oluşan dört tabakalı silindirik kabuğun LOFOP değerlerinin A boyutsuz genliğine bağlı çizelgesi.

$\Omega_{LO}/\Omega_L, HTO_i$ -lin, ($0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ$)												
Zeminsiz												
HOM			$HTO_{1,2}$				$HTO_{3,4}$					
A	KLT	KDT	KLT	KDT	KLT	KDT	KLT	KDT	KLT	KDT	KLT	KDT
0.2	1.007	1.008	1.008	1.009	1.007	1.009	1.007	1.009	1.007	1.009	1.007	1.009
0.4	1.028	1.034	1.030	1.037	1.031	1.036	1.031	1.036	1.031	1.036	1.031	1.036
0.6	1.063	1.072	1.068	1.078	1.069	1.079	1.069	1.079	1.069	1.079	1.069	1.079
0.8	1.106	1.124	1.117	1.134	1.119	1.137	1.119	1.137	1.119	1.137	1.119	1.137
1.0	1.162	1.189	1.178	1.205	1.180	1.208	1.180	1.208	1.180	1.208	1.180	1.208
Lin-Winkler						LO-Winkler						
HOM			$HTO_{1,2}$		$HTO_{3,4}$		HOM		$HTO_{1,2}$		$HTO_{3,4}$	
A	KLT	KDT	KLT	KDT	KLT	KDT	KLT	KDT	KLT	KDT	KLT	KDT
0.2	1.245	1.286	1.268	1.307	1.273	1.312	1.247	1.289	1.271	1.312	1.275	1.315
0.4	1.263	1.306	1.287	1.327	1.292	1.332	1.276	1.322	1.302	1.346	1.306	1.350
0.6	1.290	1.337	1.317	1.362	1.323	1.366	1.320	1.371	1.350	1.400	1.355	1.405
0.8	1.326	1.379	1.357	1.407	1.362	1.412	1.381	1.439	1.414	1.472	1.421	1.476
1.0	1.374	1.434	1.406	1.463	1.413	1.469	1.453	1.522	1.492	1.557	1.497	1.565
Lin-Pasternak						LO-Pasternak						
0.2	1.347	1.403	1.379	1.434	1.385	1.438	1.351	1.409	1.383	1.436	1.388	1.441
0.4	1.363	1.421	1.396	1.452	1.403	1.458	1.376	1.436	1.411	1.468	1.416	1.474
0.6	1.389	1.450	1.424	1.483	1.431	1.487	1.417	1.485	1.455	1.518	1.462	1.523
0.8	1.425	1.490	1.461	1.525	1.468	1.532	1.471	1.546	1.514	1.585	1.522	1.592
1.0	1.468	1.540	1.507	1.576	1.515	1.583	1.542	1.623	1.587	1.666	1.595	1.674

LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %27.88'den %28.01'e yükselmektedir. $HTO_{1,2}$ durumlarında %30.03'ten %29.21'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %30.33'ten %29.55'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %23.83'ten %25.04'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %26.09'dan %26.66'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %26.61'den %26.86'ya yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında,

zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %39.78'den %36.5'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %42.32'den %38.26'ya ve *HTO*_{3,4} durumlarında %42.81'den %38.58'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %34.16'dan %32.7'ye, *HTO*_{1,2} durumlarında %37.2'den %34.72'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında %37.84'ten %35.17'ye düşmektedir. LOFOP değerlerine HTO etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO*_{1,2} durumlarında %0.1'den %1.35'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %0.1'den %1.6'ya yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HTO*_{1,2} durumlarında %0.1'den %1.38'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %0'dan %1.55'e yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO*_{1,2} durumlarında %1.63'ten %2.02'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında %2'den %2.44'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HTO*_{1,2} durumlarında %1.85'ten %2.33'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %2.2'den %2.8'e yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO*_{1,2} durumlarında %2.21'den %2.34'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %2.49'dan %2.79'a yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HTO*_{1,2} durumlarında %2.38'den %2.66'ya ve *HTO*_{3,4} durumlarında %2.82'den %3.2'ye yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO*_{1,2} durumlarında %1.78'den %2.3'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %2.02'den %2.83'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HTO*_{1,2} durumlarında %1.92'den %2.68'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %2.25'ten %3.03'e yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; *HTO*_{1,2} durumlarında %1.92'den %2.65'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %2.27'den %3.14'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HTO*_{1,2} durumlarında %2.37'den %2.92'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında %2.74'ten %3.44'e yükselmektedir. LOFOP değerlerine dizilim etkisi incelendiğinde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında zeminsiz durumda, dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda (-%0.49)'dan (-%6.67)'ye, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%0.59)'dan (-%6.66)'ya ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%0.59)'dan (-%6.43)'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda (-%0.4)'ten (-%5.37)'ye, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%0.4)'ten (-%5.38)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%0.49)'dan (-%5.22)'ye yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda (-%0.39)'dan (-%4.84)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%0.15)'ten (-%4.75)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %0.2'den (-%4.36)'ya yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %0.08'den (-%3.65)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %0.48'den (-%3.43)'e ve *HTO*_{3,4} durumunda

%0.7'den (-%3.05)'e yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda (-%0.57)'den (-%4.35)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%0.07)'den (-%4.08)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %0.21'den (-%3.65)'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %0.22'den (-%3.1)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %0.73'ten (-%2.84)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %1.17'den (-%2.38)'e yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda (-%0.54)'ten (-%4.46)'ya, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%0.15)'ten (-%4.18)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %0.08'den (-%3.69)'a yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %0'dan (-%3.26)'ya, *HTO*_{1,2} durumlarında %0.39'dan (-%2.93)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %0.71'den (-%2.6)'ya yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda (-%0.35)'ten (-%4.02)'ye, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%0.21)'den (-%3.64)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %0.14'ten (-%3.18)'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %0.37'den (-%2.77)'ye, *HTO*_{1,2} durumlarında %0.73'ten (-%2.46)'ya ve *HTO*_{3,4} durumlarında %1.09'dan (-%1.97)'ye yükselmektedir.

Çizelge 5.16'da verilen (90°/0°/0°/90°) dizilimli ortotropik silindirik kabuğun LOFOP değerlerine KDT etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda %0.1'den %1.55'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %0'dan %1.53'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %0.3'ten %1.54'e yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda %2.02'den %2.43'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %1.92'den %2.45'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %1.94'ten %2.45'e yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda %2.44'ten %2.62'ye, *HTO*_{1,2} durumlarında %2.39'dan %2.63'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %2.3'ten %2.66'ya yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda %2.01'den %2.66'ya, *HTO*_{1,2} durumlarında %1.99'dan %2.61'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %1.93'ten %2.58'e yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda %2.36'dan %2.94'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %2.32'den %2.77'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında %2.41'den %2.86'ya yükselmektedir. LOFOP değerlerine zemin etkisi incelendiğinde, Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %44.14'ten %28.38'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %46.21'den %29.21'e ve

$HTO_{3,4}$ durumlarında %44.88'den %28.7'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %41.42'den %27.27'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %43.45'ten %28.05'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %42.55'ten %27.6'ya düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A=0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %61.58'den %40.35'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %64.33'ten %41.43'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %62.6'dan %40.85'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %57.89'dan %38.88'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %60.49'dan %39.92'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %59.43'ten %39.32'ye düşmektedir.

Çizelge 5.16 : $(90^\circ/0^\circ/0^\circ/90^\circ)$ dizilimli, HOM ve HTO_i -lin malzemelerden oluşan dört tabakalı silindirik kabuğun LOFOP değerlerinin A boyutsuz genliğine bağlı çizelgesi.

Ω_{LO}/Ω_L , HTO -lin, $(90^\circ/0^\circ/0^\circ/90^\circ)$												
Zeminsiz												
HOM			$HTO_{1,2}$				$HTO_{3,4}$					
A	KLT	KDT	KLT	KDT	KLT	KDT	KLT	KDT	KLT	KDT	KLT	KDT
0.2	1.014	1.015	1.015	1.015	1.013	1.016						
0.4	1.053	1.057	1.056	1.060	1.052	1.059						
0.6	1.114	1.123	1.121	1.129	1.117	1.126						
0.8	1.195	1.209	1.205	1.220	1.199	1.213						
1.0	1.291	1.311	1.305	1.325	1.297	1.317						
Lin-Winkler							LO-Winkler					
HOM			$HTO_{1,2}$		$HTO_{3,4}$		HOM		$HTO_{1,2}$		$HTO_{3,4}$	
A	KLT	KDT	KLT	KDT	KLT	KDT	KLT	KDT	KLT	KDT	KLT	KDT
0.2	1.434	1.463	1.456	1.484	1.444	1.472	1.440	1.469	1.460	1.489	1.450	1.478
0.4	1.462	1.493	1.484	1.515	1.473	1.501	1.487	1.517	1.508	1.540	1.496	1.528
0.6	1.507	1.541	1.531	1.563	1.518	1.551	1.559	1.593	1.584	1.619	1.569	1.603
0.8	1.568	1.603	1.595	1.630	1.580	1.614	1.654	1.694	1.683	1.723	1.666	1.706
1.0	1.643	1.683	1.671	1.712	1.655	1.695	1.767	1.814	1.802	1.849	1.784	1.830
Lin-Pasternak							LO-Pasternak					
0.2	1.601	1.640	1.629	1.668	1.615	1.652	1.607	1.645	1.635	1.673	1.620	1.659
0.4	1.627	1.667	1.657	1.695	1.641	1.679	1.649	1.690	1.678	1.719	1.662	1.703
0.6	1.667	1.710	1.698	1.740	1.682	1.723	1.713	1.757	1.746	1.788	1.729	1.771
0.8	1.724	1.768	1.757	1.801	1.739	1.782	1.800	1.849	1.836	1.885	1.818	1.866
1.0	1.793	1.840	1.826	1.874	1.807	1.855	1.906	1.962	1.946	2.000	1.924	1.979

LO-Winkler zemininde, $A=0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %44.73'ten %38.37'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %46.7'den %39.55'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %45.47'den %38.95'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %42.01'den %36.87'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %43.84'ten %38.08'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %43.14'ten %37.55'e düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A=0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda

%62.07'den %49.66'ya, $HTO_{1,2}$ durumlarında %64.83'ten %50.94'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %63.29'dan %50.27'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %58.48'den %47.64'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %61.08'den %49.12'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %59.92'den %48.34'e düşmektedir. LOFOP değerlerine HTO etkisi incelendiğinde, zeminiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında %0'dan %1.07'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.1'den %0.46'ya yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.1'den %1.08'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%0.1)'den %0.46'ya yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında %1.44'ten %1.72'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.62'den %0.75'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında %1.53'ten %1.7'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.7'den %0.75'e yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında %1.71'den %1.85'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.75'ten %0.82'ye yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında %1.75'ten %1.84'e yükselmektedir. $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.87'den %0.78'e düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında %1.36'dan %1.93'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.61'den %0.88'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında %1.39'dan %1.98'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.69'dan %0.96'ya yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında %1.7'den %1.94'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.85'ten %0.87'ye yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında %1.74'ten %2.1'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.81'den %0.94'e yükselmektedir. LOFOP değerlerine dizilim etkisi incelendiğinde, zeminiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %0.2'den %2.9'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında %0'dan %2.63'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.1'den %2.01'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %0.3'ten %5.13'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.3'ten %4.82'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.1'den %4.18'e yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %13.32'den %11.68'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %13.37'den %11.46'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %12.45'ten %10.4'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %15.27'den %15.22'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %15.37'den %14.77'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %14.33'ten %13.59'a düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde,

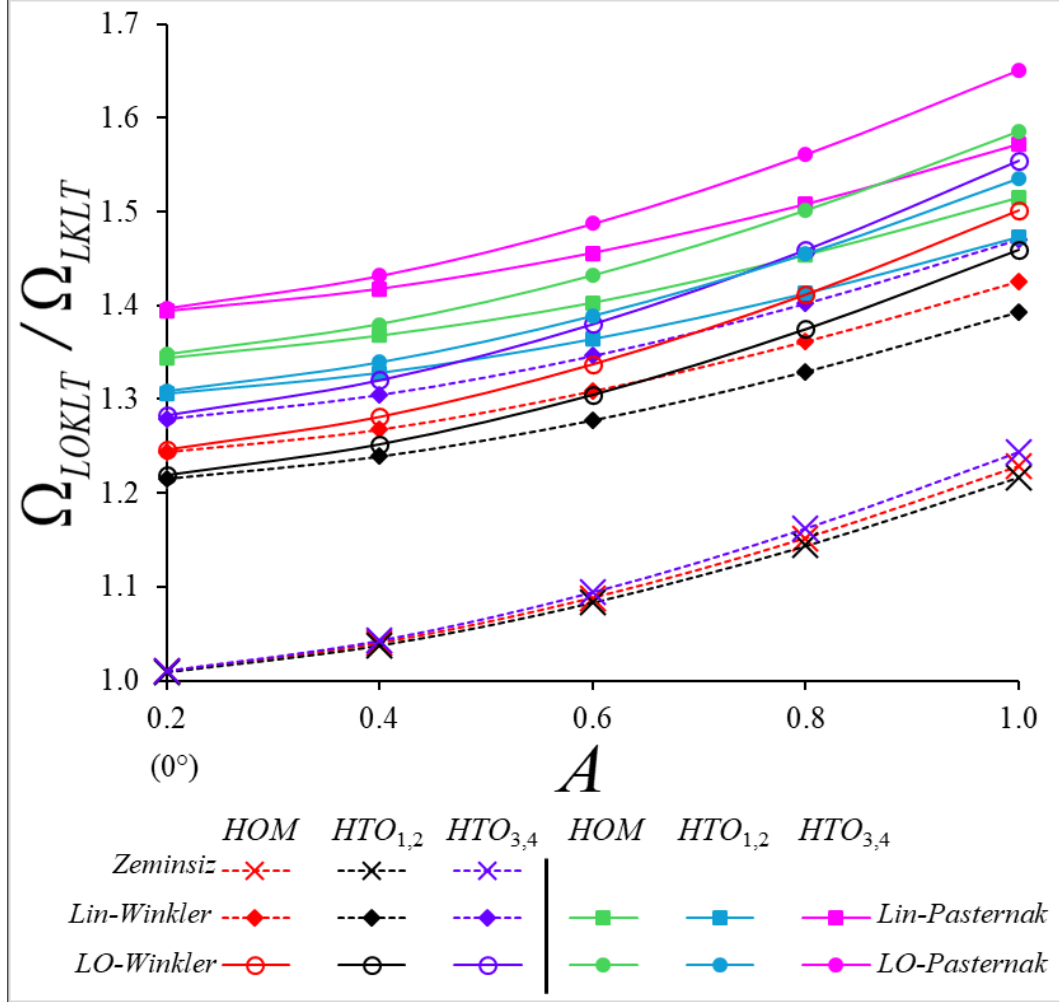
$A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %16.23'ten %14.29'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında %16.24'ten %14.06'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %15.1'den %12.9'a düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %19.12'den %18.35'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %18.99'dan %17.73'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %17.97'den %16.43'e düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %13.35'ten %13.87'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %13.32'den %13.78'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %12.48'den %12.62'ye yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %15.48'den %17.64'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %15.32'den %17.24'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %14.53'ten %16.07'ye yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %16.34'ten %16.03'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %16.26'dan %15.67'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %15.29'dan %14.46'ya düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %19.39'dan %20.18'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %19.08'den %19.61'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %17.99'dan %18.25'e yükselmektedir.

5.2.4 HTO_i -kuad için LOFOP analizleri

Bu başlıkta, *HOM* ve HTO_i -kuad ($i=1,2,3,4$) cam epoksi malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin klasik kabuk teorisi ve kayma deformasyon teorisi kapsamında, zeminsiz, lineer Winkler, lineer Pasternak, lineer olmayan Winkler zemini, lineer ve lineer olmayan Winkler zemini ile lineer olmayan Pasternak zemini üzerindeki LOFOP analizlerine yer verilmiştir.

(0°) dizilimli ortotropik silindirik kabuğun LOFOP değerlerine KDT etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda %0.23'ten %3.68'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.24'ten %3.93'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.22'den %3.42'ye yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda %3.78'den %5.68'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %3.95'ten %5.85'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.81'den %5.21'e yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda %4.99'dan %6.27'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %5.03'ten %6.49'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %4.73'ten %5.76'ya yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda %3.94'ten %6.05'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %3.99'dan %6.38'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.85'ten

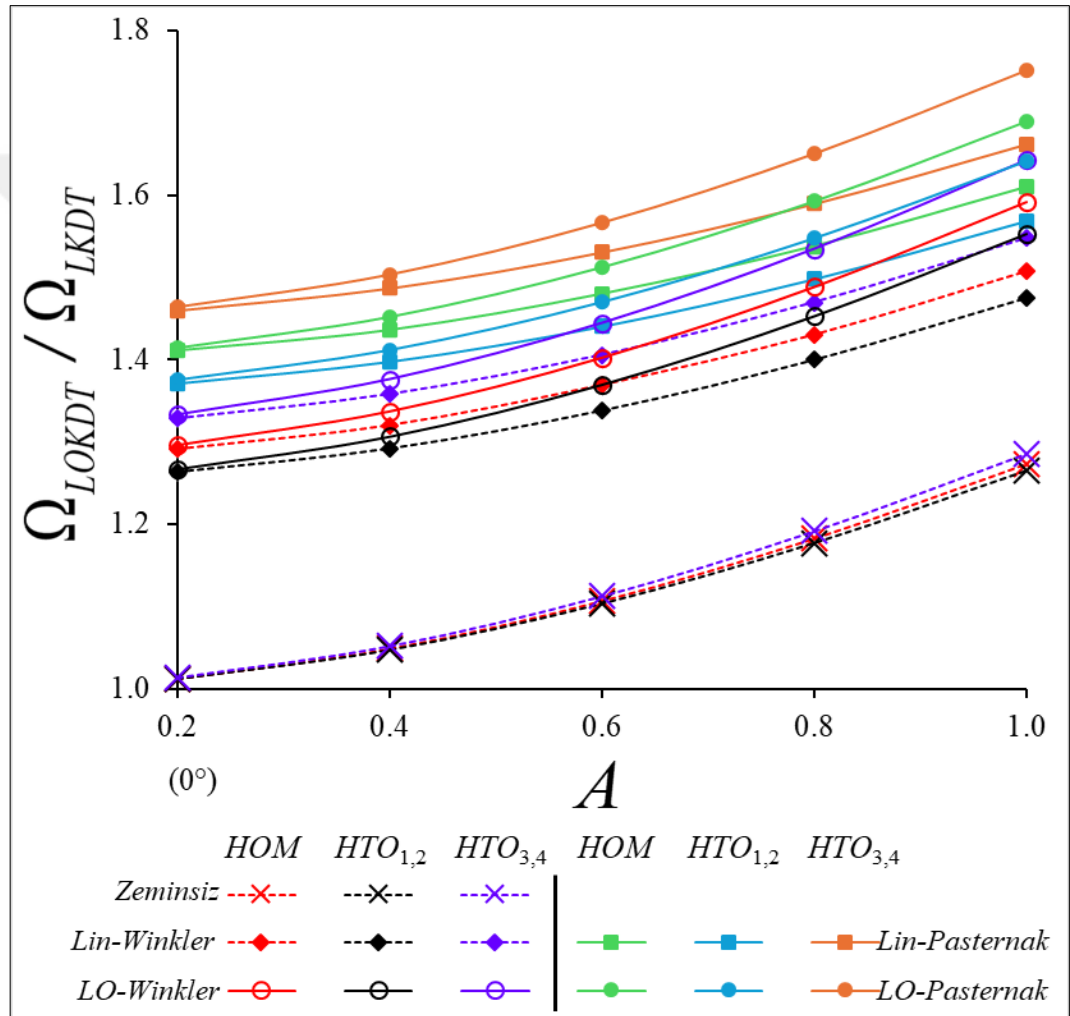
%5.67'ye yükselmektedir. Şekil 5.25'te, (0°) dizimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan silindirik kabukların KLT'ye göre LOFOP değerleri verilmiştir. Şekil 5.26'da ise bu değerler KDT'ye göre verilmiştir.



Şekil 5.25 : (0°) dizimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre LOFOP değerleri.

LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda %4.94'ten %6.55'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %5.06'dan %6.92'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %4.76'dan %6.11'e yükselmektedir. LOFOP değerlerine zemin etkisi incelendiğinde, Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %27.5'ten %18.33'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %24.86'dan %16.6'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %31.11'den %20.35'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %23.14'ten %16.1'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %20.4'ten %14.48'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %26.57'den %18.3'e düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %39.35'ten %26.42'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %35.52'den %24.01'e ve

$HTO_{3,4}$ durumlarında %44.08'den %29.26'ya düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %33.04'ten %23.34'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %29.34'ten %21.02'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %37.87'den %26.4'e düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %28'den %24.99'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında %25.24'ten %22.77'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %31.57'den %27.77'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %23.43'ten %22.2'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %20.72'den %19.94'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %26.97'den %25.06'ya düşmektedir.



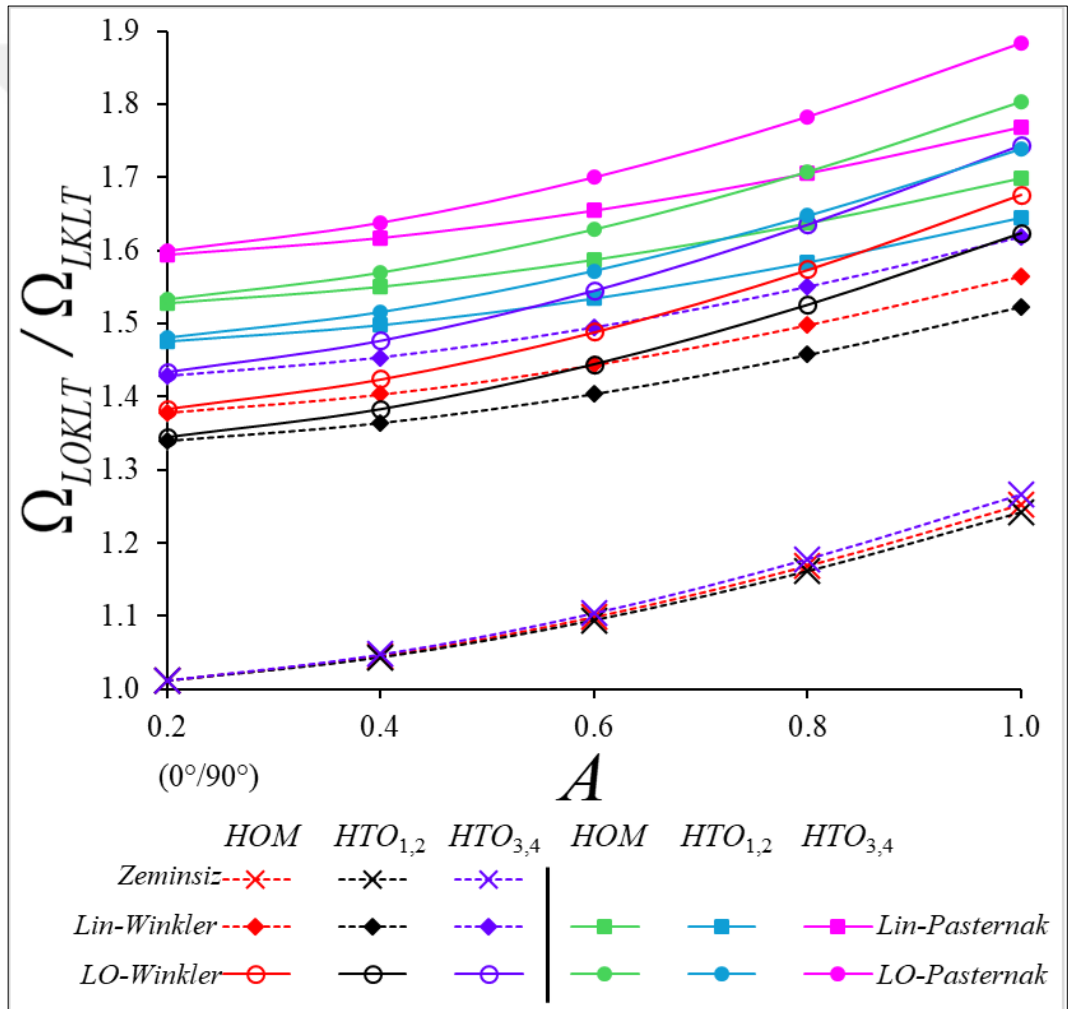
Şekil 5.26 : (0°) dizilimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre LOFOP değerleri.

LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %39.65'ten %32.67'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %35.87'den %29.84'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %44.5'ten %36.21'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %33.38'den %29.11'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %29.63'ten %26.2'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %38.24'ten %32.76'ya düşmektedir. LOFOP değerlerine HTO

etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.04)'ten (-%0.69)'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.06'dan %0.97'ye yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.06)'dan (-%0.92)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.07'den %1.22'ye yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.10)'den (-%2.15)'e yükselmektedir. $HTO_{3,4}$ durumlarında %2.89'dan %2.69'a düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.28)'den (-%2.3)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %2.86'dan %3.14'e yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.79)'dan (-%2.58)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.46'dan %3.23'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.85)'ten (-%2.75)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.7'den %3.75'e yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.1)'den (-%2.46)'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %2.86'dan %3.21'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.25)'ten (-%2.76)'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %2.95'ten %3.58'e yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.75)'ten (-%2.81)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.54'ten %3.65'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.86)'dan (-%3.15)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.72'den %4.08'e yükselmektedir.

(0°/90°) dizilimli ortotropik silindirik kabuğun LOFOP değerlerine KDT etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında KDT etkisi, HOM durumda %0.12'den %1.83'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.12'den %1.96'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.11'den %1.67'ye yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında KDT etkisi, HOM durumda %2.41'den %2.99'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında %2.49'dan %3.19'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %2.29'dan %2.76'ya yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında KDT etkisi, HOM durumda %2.9'dan %3.3'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %3.04'ten %3.53'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %2.72'den %3.04'e yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında KDT etkisi, HOM durumda %2.43'ten %3.25'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %2.52'den %3.47'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %2.3'ten %2.99'a yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında KDT etkisi,

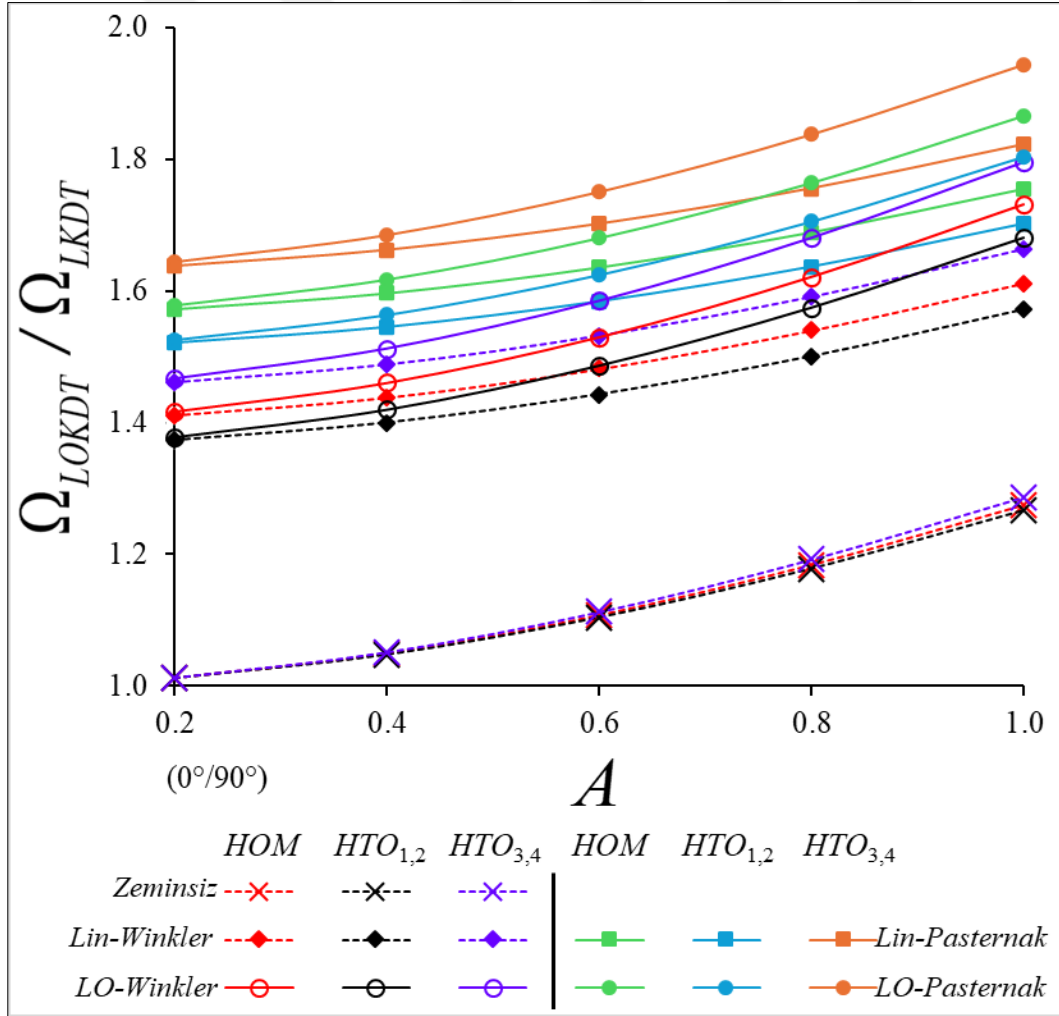
HOM durumunda %2.91'den %3.49'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında %3.05'ten %3.74'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %2.73'ten %3.2'ye yükselmektedir. LOFOP değerlerine zemin etkisi incelendiğinde, Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %39.41'den %26.38'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %35.67'den %24.06'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %44.15'ten %29.26'ya düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %36.29'dan %24.95'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %32.53'ten %22.59'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %41.08'den %27.89'a düşmektedir. Şekil 5.27'de, $(0^\circ/90^\circ)$ dizilimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan silindirik kabukların KLT'ye göre LOFOP değerleri verilmiştir. Şekil 5.28'de ise bu değerler KDT'ye göre verilmiştir.



Şekil 5.27 : $(0^\circ/90^\circ)$ dizilimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre LOFOP değerleri.

Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %55.3'ten %37.59'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında %50.27'den %34.39'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %61.66'dan %41.53'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler;

HOM durumda %51.11'den %35.63'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %46.02'den %32.36'ya ve *HTO*_{3,4} durumlarında %57.56'dan %39.66'ya düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %39.98'den %35.75'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %36.19'dan %32.69'a ve *HTO*_{3,4} durumlarında %44.78'den %39.52'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %36.82'den %33.88'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %33.01'den %30.76'ya ve *HTO*_{3,4} durumlarında %41.67'den %37.74'e düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %55.82'den %46.27'ye, *HTO*_{1,2} durumlarında %50.74'ten %42.42'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında %62.22'den %50.99'a düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %51.59'dan %43.92'ye, *HTO*_{1,2} durumlarında %46.45'ten %39.98'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %58.08'den %48.76'ya düşmektedir.

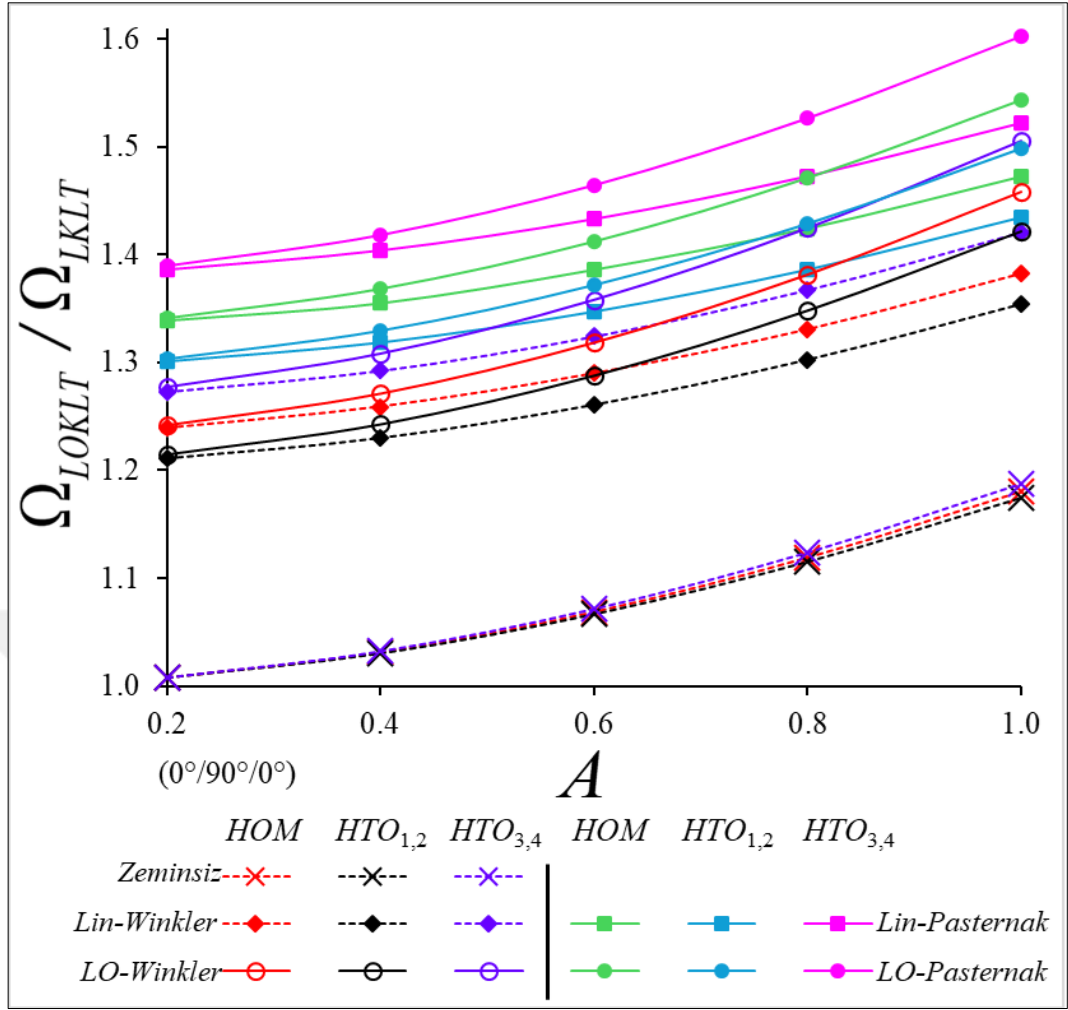


Şekil 5.28 : (0°/90°) dizilimli, *HOM* ve *HTO*_i-kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre LOFOP değerleri.

LOFOP değerlerine HTO etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında $(- \%0.04)$ 'ten $(- \%0.68)$ 'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında $\%0.06$ 'dan $\%0.93$ 'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında $(- \%0.05)$ 'ten $(- \%0.82)$ 'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında $\%0.07$ 'den $\%1.08$ 'e yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında $(- \%2.72)$ 'den $(- \%2.51)$ 'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında $\%3.47$ 'den $\%3.22$ 'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında $(- \%2.81)$ 'den $(- \%2.69)$ 'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında $\%3.59$ 'dan $\%3.45$ 'e düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında $(- \%3.29)$ 'dan $(- \%2.99)$ 'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında $\%4.16$ 'dan $\%3.82$ 'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında $(- \%3.42)$ 'den $(- \%3.2)$ 'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında $\%4.34$ 'ten $\%4.08$ 'e düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında $(- \%2.75)$ 'ten $(- \%2.92)$ 'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında $\%3.5$ 'ten $\%3.73$ 'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında $(- \%2.83)$ 'ten $(- \%3.13)$ 'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında $\%3.62$ 'den $\%3.99$ 'a yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında $(- \%3.3)$ 'ten $(- \%3.2)$ 'ye düşmektedir. $HTO_{3,4}$ durumlarında $\%4.15$ 'ten $\%4.2$ 'ye yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında $(- \%3.44)$ 'ten $(- \%3.53)$ 'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında $\%4.36$ 'dan $\%4.47$ 'ye yükselmektedir. LOFOP değerlerine dizilim etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda $\%0.01$ 'den $\%0.14$ 'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında $\%0.01$ 'den $\%0.15$ 'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında $\%0.01$ 'den $\%0.15$ 'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda $\%0.12$ 'den $\%1.97$ 'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında $\%0.12$ 'den $\%2.08$ 'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında $\%0.11$ 'den $\%1.83$ 'e yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda $\%9.35$ 'ten $\%6.95$ 'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında $\%8.66$ 'dan $\%6.55$ 'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında $\%9.96$ 'dan $\%7.51$ 'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda $\%10.82$ 'den $\%9.75$ 'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında $\%10.21$ 'den $\%9.31$ 'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında $\%11.6$ 'dan $\%10.08$ 'e düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda $\%11.46$ 'dan $\%8.99$ 'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında $\%10.89$ 'dan $\%8.53$ 'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında $\%12.21$ 'den $\%9.61$ 'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda $\%13.72$ 'den $\%12.13$ 'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında $\%13.03$ 'ten $\%11.64$ 'e ve

$HTO_{3,4}$ durumlarında %14.41'den %12.51'e düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %9.37'den %8.76'ya, $HTO_{1,2}$ durumlarında %8.76'dan %8.24'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %10.05'ten %9.31'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %10.98'den %11.71'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %10.32'den %11.29'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %11.71'den %12.15'e yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %11.59'dan %10.4'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %10.95'ten %9.85'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %12.27'den %10.97'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %13.79'dan %13.66'ya düşmektedir. $HTO_{1,2}$ durumlarında %13.12'den %13.22'ye yükselmektedir. $HTO_{3,4}$ durumlarında %14.49'dan %14.1'e düşmektedir.

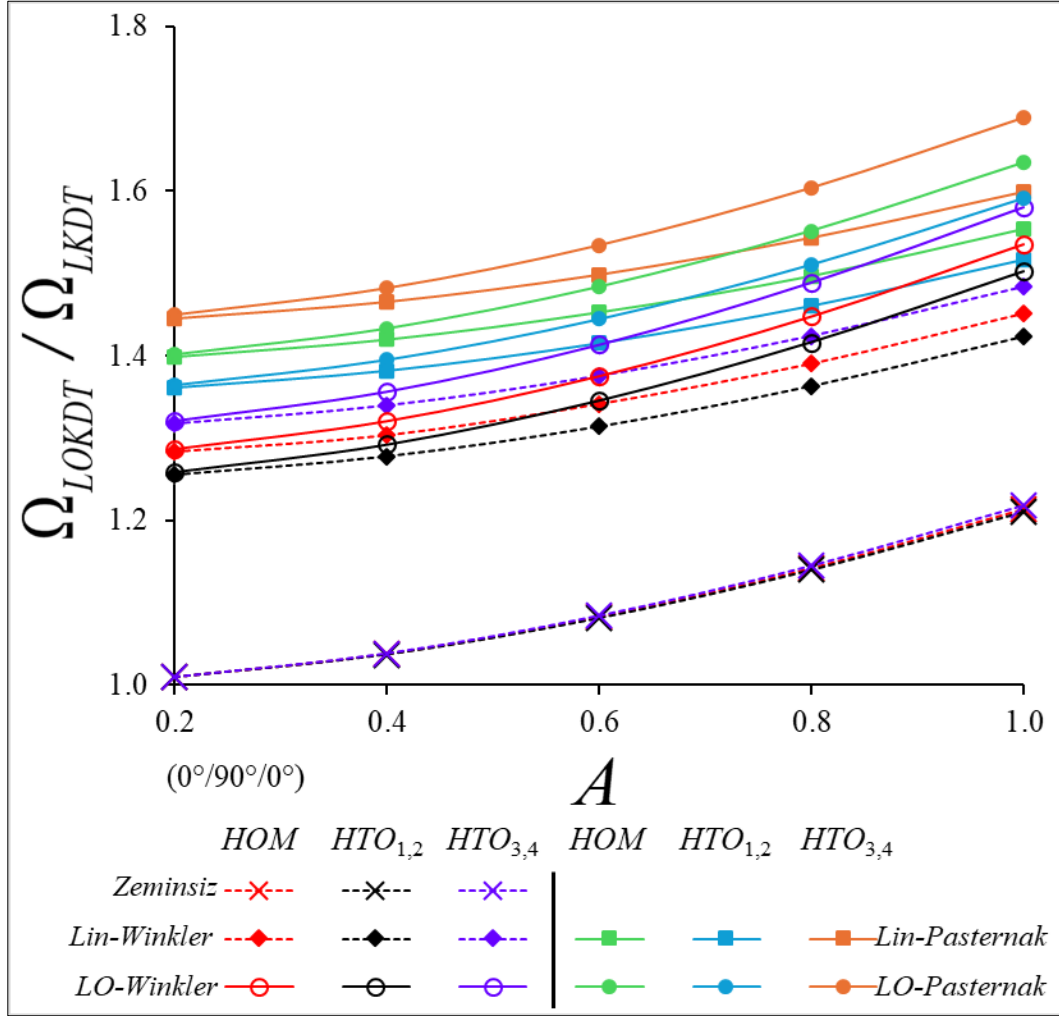
($0^\circ/90^\circ/0^\circ$) dizilimli ortotropik silindirik kabuğun LOFOP değerlerine KDT etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda %0.16'dan %2.86'ya, $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.17'den %3.11'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.15'ten %2.6'ya yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda %3.55'ten %4.92'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %3.63'ten %5.13'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.44'ten %4.49'a yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda %4.48'den %5.57'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %4.64'ten %5.79'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %4.28'den %5.06'ya yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda %3.59'dan %5.35'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %3.67'den %5.68'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.47'den %4.96'ya yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda %4.52'den %5.85'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %4.67'den %6.23'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %4.31'den %5.41'e yükselmektedir. LOFOP değerlerine zemin etkisi incelendiğinde, Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %27.09'dan %19.54'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %24.38'den %17.53'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %30.42'den %21.77'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %22.93'ten %17.2'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %20.23'ten %15.27'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %26.28'den %19.56'ya düşmektedir. Şekil 5.29'da, ($0^\circ/90^\circ/0^\circ$) dizilimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan silindirik kabukların KLT'ye göre LOFOP değerleri verilmiştir. Şekil 5.30'da ise bu değerler KDT'ye göre verilmiştir.



Şekil 5.29 : $(0^\circ/90^\circ/0^\circ)$ diziliimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre LOFOP değerleri.

Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %38.58'den %28.02'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %34.86'dan %25.32'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %43.15'ten %31.24'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %32.85'ten %24.74'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %29.1'den %22.14'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %37.47'den %28.17'ye düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %27.42'den %26.53'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %24.75'ten %24.04'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %30.87'den %29.69'a düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %23.21'den %23.55'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %20.54'ten %21.02'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %26.67'den %26.77'ye yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %38.86'dan %34.63'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %35.2'den %31.45'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %43.56'dan %38.63'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM

durumda %33.07'den %30.82'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %29.39'dan %27.6'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %37.84'ten %34.93'e düşmektedir.



Şekil 5.30 : (0°/90°/0°) dizilimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre LOFOP değerleri.

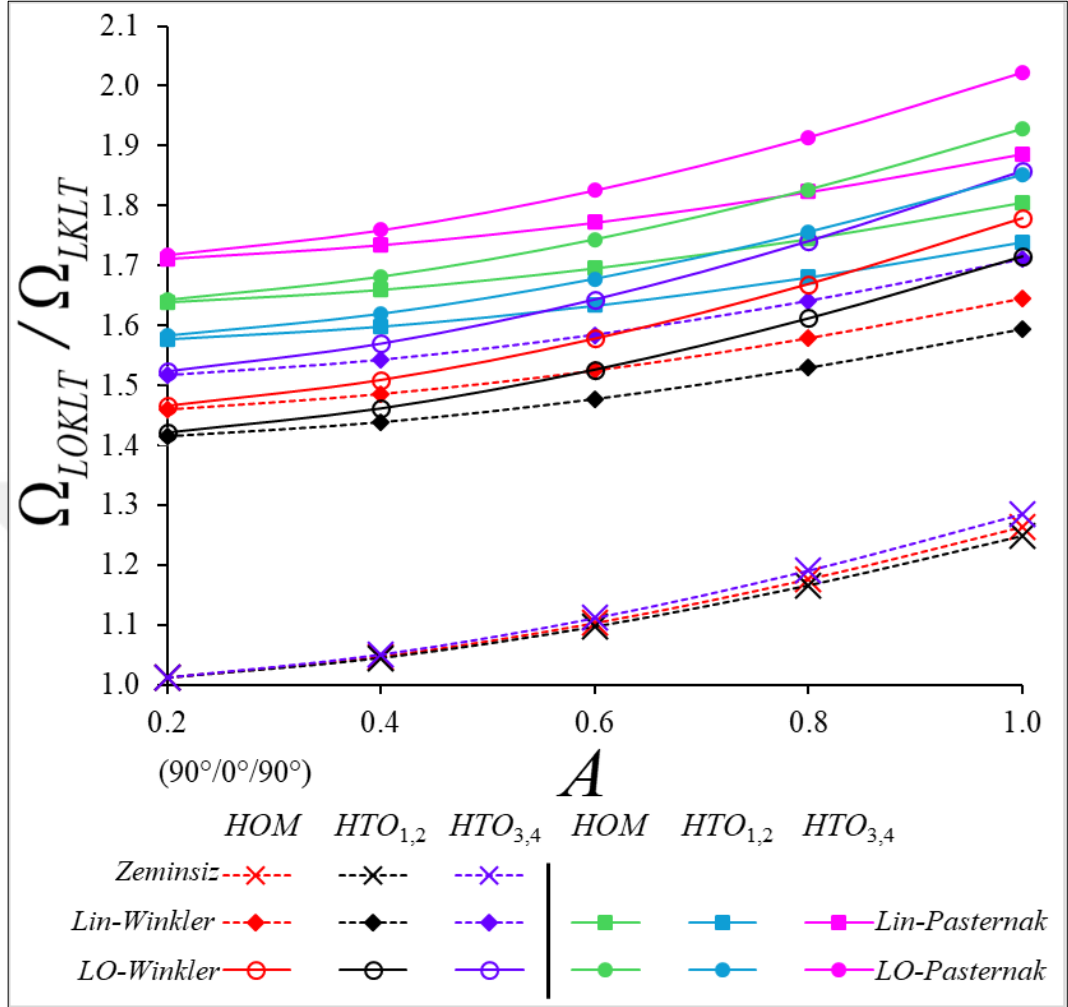
LOFOP değerlerine HTO etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.02)'den (-%0.24)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.02'den %0.38'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.03)'ten (-%0.48)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.03'ten %0.64'e yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.14)'ten (-%1.92)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %2.65'ten %2.26'ya düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.22)'den (-%2.12)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %2.76'dan %2.68'e düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.7)'den (-%2.35)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.32'den %2.9'a düşmektedir. KLT'ye göre ise

bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.85)'ten (-%2.56)'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.52'den %3.41'e düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.11)'den (-%2.21)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %2.73'ten %2.89'a yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.19)'dan (-%2.52)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %2.85'ten %3.27'ye yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.7)'den (-%2.6)'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.4'ten %3.3'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.79)'dan (-%2.94)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.61'den %3.8'e yükselmektedir. LOFOP değerlerine dizilim etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda (-%0.3)'ten (-%4.69)'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.27)'den (-%4.26)'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%0.34)'ten (-%5.24)'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda (-%0.23)'ten (-%3.93)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.21)'den (-%3.51)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%0.27)'den (-%4.47)'ye yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda (-%0.62)'den (-%3.72)'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.65)'ten (-%3.5)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%0.86)'dan (-%4.12)'ye yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda (-%0.4)'ten (-%3.02)'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.35)'ten (-%2.84)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%0.5)'ten (-%3.46)'ya yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda (-%0.85)'ten (-%3.48)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.76)'dan (-%3.25)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%0.98)'den (-%3.79)'a yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda (-%0.37)'den (-%2.84)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.39)'dan (-%2.61)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%0.56)'dan (-%3.14)'e yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda (-%0.74)'ten (-%3.52)'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.66)'dan (-%3.27)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%0.87)'den (-%3.81)'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda (-%0.41)'den (-%2.87)'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.35)'ten (-%2.63)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%0.5)'ten (-%3.17)'ye yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda (-%0.86)'dan (-%3.29)'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.76)'dan (-%3.07)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%0.99)'dan (-%3.55)'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu

etkiler; *HOM* durumda (-%0.46)'dan (-%2.65)'e, *HTO*_{1,2} durumlarında (-%0.39)'dan (-%2.44)'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında (-%0.56)'dan (-%2.91)'e yükselmektedir.

(90°/0°/90°) dizilimli ortotropik silindirik kabuğun LOFOP değerlerine KDT etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda %0.08'den %1.15'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %0.08'den %1.22'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında %0.07'den %1.08'e yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda %1.64'ten %2.01'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %1.72'den %2.08'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %1.56'dan %1.81'e yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda %1.89'dan %2.1'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %2.05'ten %2.29'a ve *HTO*_{3,4} durumlarında %1.82'den %1.98'e yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda %1.66'dan %2.12'ye, *HTO*_{1,2} durumlarında %1.73'ten %2.26'ya ve *HTO*_{3,4} durumlarında %1.57'den %1.96'ya yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda %1.95'ten %2.26'ya, *HTO*_{1,2} durumlarında %2.06'dan %2.42'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında %1.83'ten %2.08'e yükselmektedir. LOFOP değerlerine zemin etkisi incelendiğinde, Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %46.52'den %31.25'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %42.21'den %28.79'a ve *HTO*_{3,4} durumlarında %51.9'dan %34.18'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %44.26'dan %30.15'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %39.91'den %27.71'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %49.67'den %33.21'e düşmektedir. Şekil 5.31'de, (90°/0°/90°) dizilimli, *HOM* ve *HTO*_{i-kuad} malzemelerden oluşan silindirik kabukların KLT'ye göre LOFOP değerleri verilmiştir. Şekil 5.32'de ise bu değerler KDT'ye göre verilmiştir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %64.89'dan %44.24'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %59.06'dan %40.89'a ve *HTO*_{3,4} durumlarında %71.95'ten %48.22'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %61.95'ten %42.89'a, *HTO*_{1,2} durumlarında %55.98'den %39.42'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında %68.99'dan %46.91'e düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %47.17'den %42.11'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %42.81'den %38.92'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında %52.62'den %45.94'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM*

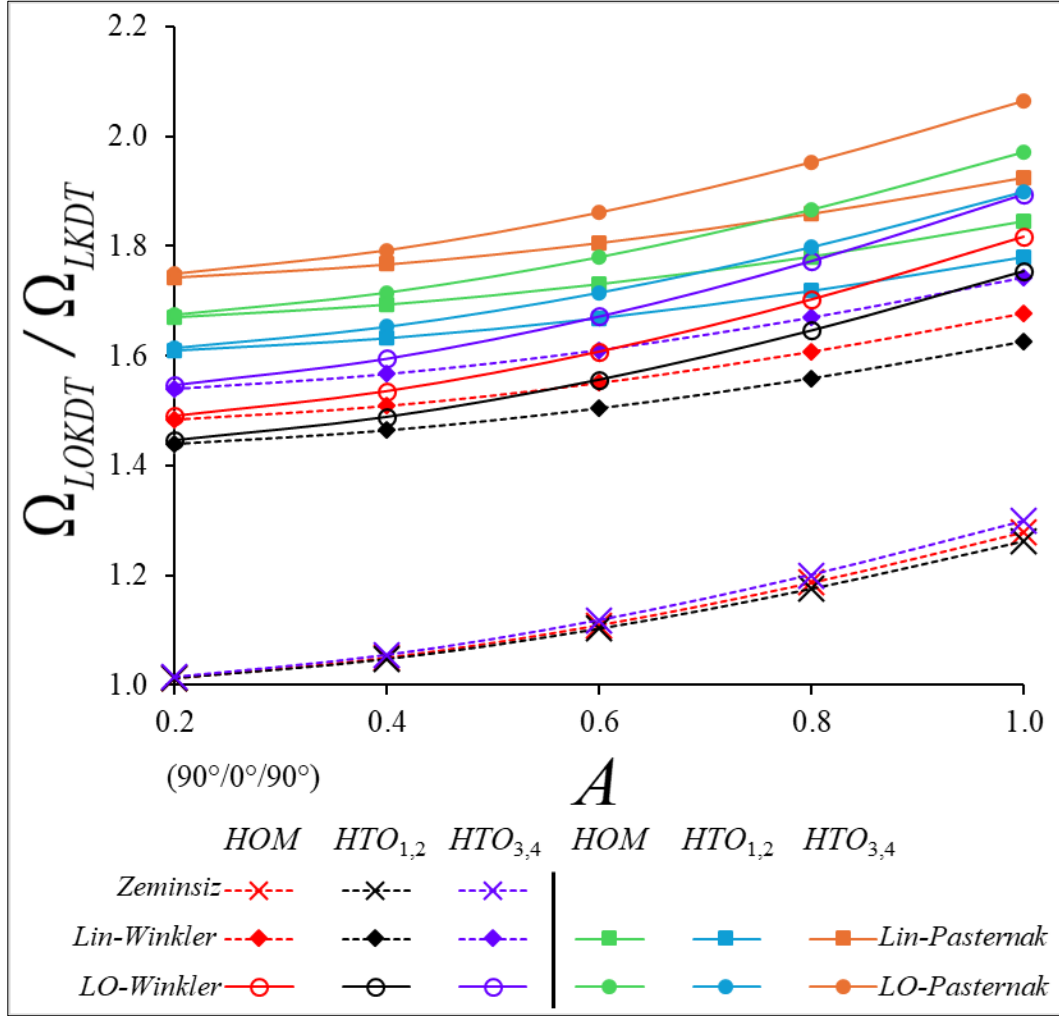
durumda %44.88'den %40.77'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %40.48'den %37.51'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %50.37'den %44.68'e düşmektedir.



Şekil 5.31 : (90°/0°/90°) dizilimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre LOFOP değerleri.

LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumunda %65.39'dan %54.23'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %59.6'dan %50.23'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %72.59'dan %58.98'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumunda %62.34'ten %52.55'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %56.49'dan %48.47'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %69.61'den %57.42'ye düşmektedir. LOFOP değerlerine HTO etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.08)'den (-%1.2)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.1'den %1.55'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.08)'den (-%1.27)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.11'den %1.62'ye yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%3)'ten (-%3.1)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında

%3.75'ten %3.85'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%3.05)'ten (-%3.15)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.86'dan %4.01'e yükselmektedir.



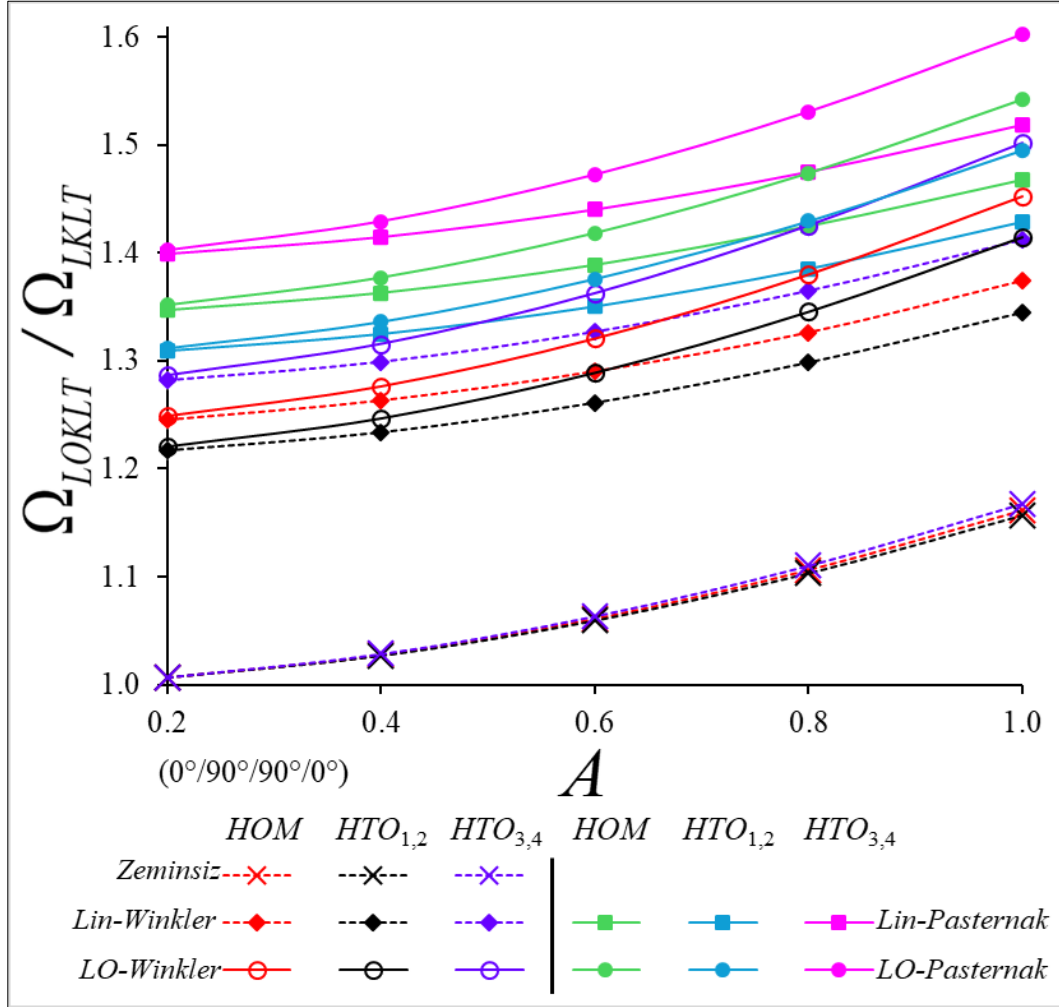
Şekil 5.32 : (90°/0°/90°) dizilimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre LOFOP değerleri.

Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%3.61)'den (-%3.49)'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %4.4'ten %4.3'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%3.76)'dan (-%3.67)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %4.45'ten %4.5'e yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%3.04)'ten (-%3.43)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.81'den %4.28'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%3.11)'den (-%3.56)'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.9'dan %4.44'e yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%3.58)'den (-%3.76)'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %4.46'dan %4.68'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%3.68)'den (-

%3.91)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %4.59'dan %4.87'ye yükselmektedir. LOFOP değerlerine dizilim etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %0.02'den %0.39'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.01)'den (-%0.14)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.06'dan %0.97'ye yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %0.18'den %2.9'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.15'ten %2.54'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.21'den %3.31'e yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %14.95'ten %11.35'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %13.88'den %10.3'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %15.93'ten %12.57'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %17.36'dan %15.36'ya, $HTO_{1,2}$ durumlarında %16.38'den %14.38'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %18.5'ten %16.32'ye düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %18.36'dan %14.53'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %17.35'ten %13.46'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %19.42'den %15.78'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %21.95'ten %19.21'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %20.78'den %18.12'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %22.83'ten %20.07'ye düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %15.01'den %14.14'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %14.02'den %13'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %16.08'den %15.32'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %17.58'den %18.53'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %16.55'ten %17.56'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %18.67'den %19.52'ye yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %18.46'dan %16.69'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında %17.45'ten %15.55'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %19.51'den %17.84'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %21.93'ten %21.58'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %20.91'den %20.63'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %22.95'ten %22.5'e düşmektedir.

($0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ$) dizilimli ortotropik silindirik kabuğun LOFOP değerlerine KDT etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda %0.13'ten %2.38'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.14'ten %2.62'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.12'den %2.13'e yükselmektedir. Şekil 5.33'te, ($0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ$) dizilimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan silindirik kabukların KLT'ye

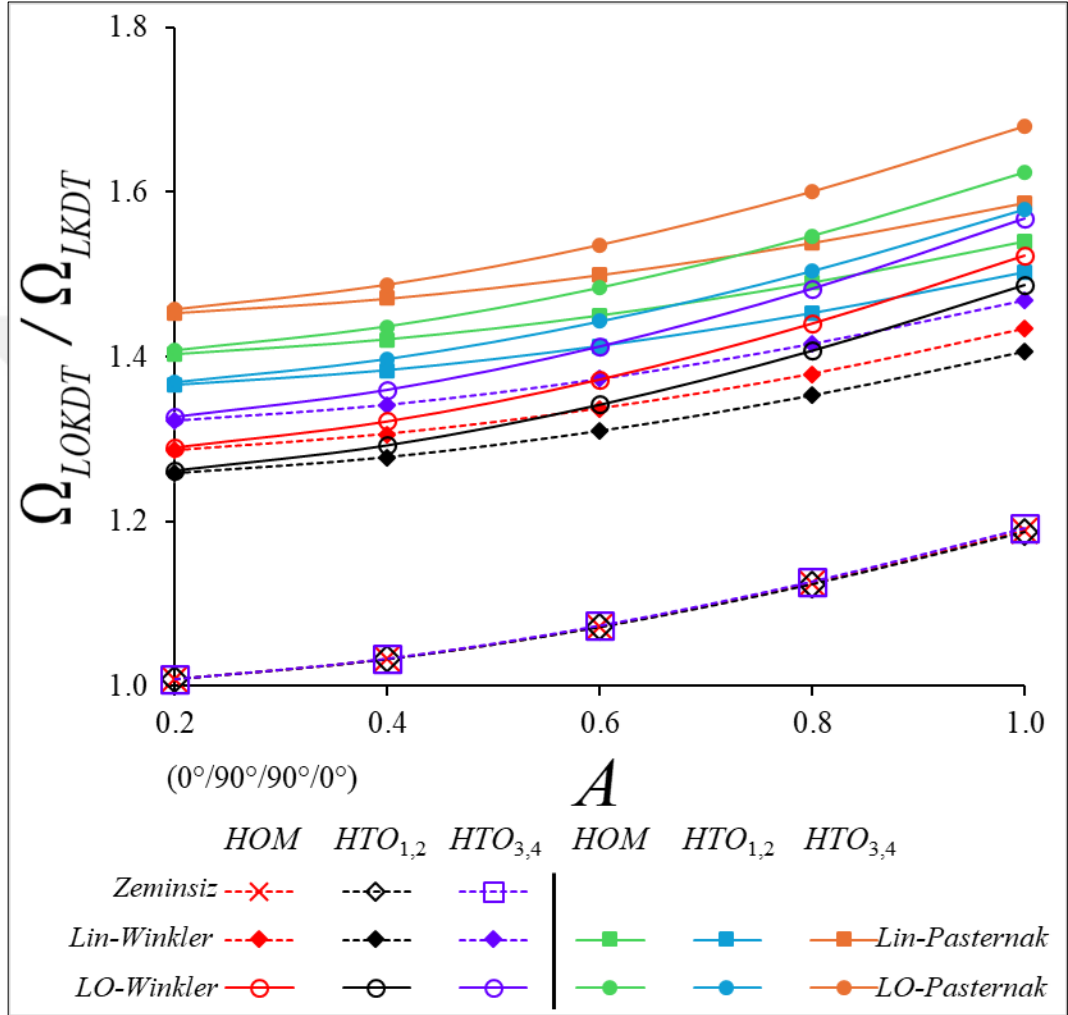
göre LOFOP değerleri verilmiştir. Şekil 5.34'te ise bu değerler KDT'ye göre verilmiştir.



Şekil 5.33 : (0°/90°/90°/0°) dizilimli, HOM ve HTO_i-kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre LOFOP değerleri.

Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda %3.29'dan %4.37'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %3.38'den %4.61'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.15'ten %3.98'e yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda %4.16'dan %4.9'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında %4.31'den %5.24'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.91'den %4.51'e yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda %3.32'den %4.81'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %3.41'den %5.14'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.18'den %4.43'e yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda %4.16'dan %5.29'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında %4.33'ten %5.67'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.93'ten %4.85'e yükselmektedir. LOFOP değerlerine zemin etkisi incelendiğinde, Lin-

Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %27.53'ten %20.58'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %24.78'den %18.43'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %31.13'ten %23.14'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %23.63'ten %18.28'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %20.88'den %16.18'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %27.29'dan %20.94'e düşmektedir.



Şekil 5.34 : (0°/90°/90°/0°) dizilimli, *HOM* ve *HTO*_i-kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre LOFOP değerleri.

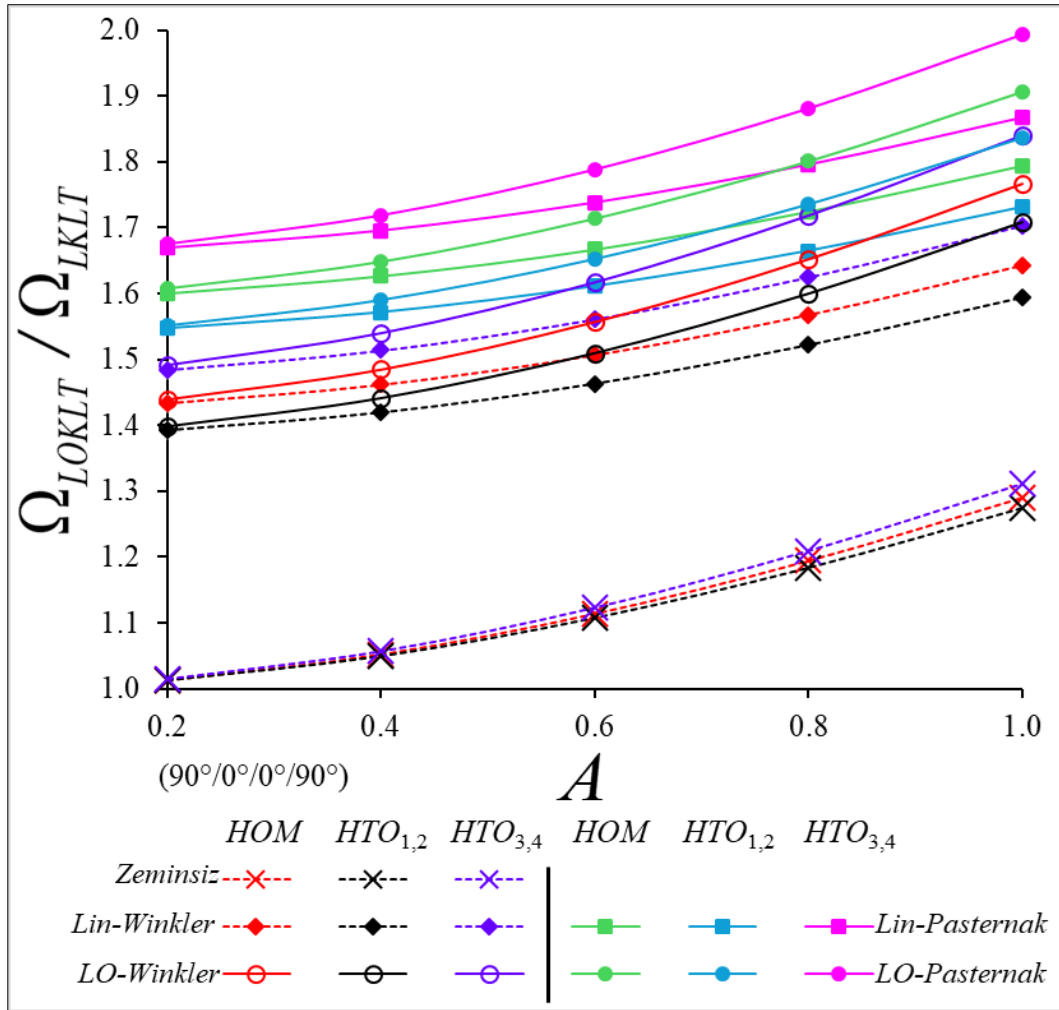
Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %39.14'ten %29.49'a, *HTO*_{1,2} durumlarında %35.41'den %26.58'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %44.12'den %33.13'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %33.76'dan %26.38'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %30.01'den %23.42'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında %38.86'dan %30.09'a düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %27.9'dan %28'e ve *HTO*_{1,2} durumlarında %25'ten %25.5'e yükselmektedir. *HTO*_{3,4} durumlarında %31.6'dan %31.5'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM*

durumda %24.01'den %25.03'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %21.2'den %22.25'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %27.7'den %28.61'e yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %39.59'dan %36.48'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %35.76'dan %33'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %44.54'ten %40.93'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %34.19'dan %32.71'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %30.31'den %29.16'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %39.23'ten %37.26'ya düşmektedir. LOFOP değerlerine HTO etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.01)'den (-%0.14)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.01'den %0.24'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.02)'den (-%0.37)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.03'ten %0.5'e yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.16)'dan (-%1.92)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %2.84'ten %2.37'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.24)'ten (-%2.14)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %2.98'den %2.75'e düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.68)'den (-%2.38)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.59'dan %3.06'ya düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.82)'den (-%2.7)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.84'ten %3.45'e düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.1)'den (-%2.28)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %2.86'dan %3'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.29)'dan (-%2.59)'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3'ten %3.38'e yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.75)'ten (-%2.69)'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.56'dan %3.51'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.91)'den (-%3.03)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.79'dan %3.94'e yükselmektedir. LOFOP değerlerine dizilim etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda (-%0.41)'den (-%6.62)'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.38)'den (-%6.1)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%0.46)'dan (-%7.28)'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda (-%0.32)'den (-%5.43)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.28)'den (-%4.9)'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%0.37)'den (-%6.11)'e yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda (-%0.39)'dan (-%4.84)'e,

$HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.44)'ten (-%4.63)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%0.44)'ten (-%5.14)'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %0.08'den (-%3.65)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.11'den (-%3.49)'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.2'den (-%4.01)'e yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda (-%0.57)'den (-%4.35)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.46)'dan (-%4.15)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%0.44)'ten (-%4.51)'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %0.22'den (-%3.1)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.23'ten (-%3.02)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.34'ten (-%3.37)'ye yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda (-%0.45)'ten (-%4.37)'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.44)'ten (-%4.2)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%0.44)'ten (-%4.57)'ye yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %0.15'ten (-%3.24)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.12'den (-%3.07)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.2'den (-%3.44)'e yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda (-%0.45)'ten (-%3.94)'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.46)'dan (-%3.82)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında (-%0.44)'ten (-%4.07)'ye yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %0.28'den (-%2.79)'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.23'ten (-%2.67)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.35'ten (-%2.92)'ye yükselmektedir.

(90°/0°/0°/90°) dizilimli ortotropik silindirik kabuğun LOFOP değerlerine KDT etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda %0.11'den %1.57'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.11'den %1.64'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.1'den %1.49'a yükselmektedir. Şekil 5.35'te, (90°/0°/0°/90°) dizilimli, HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan silindirik kabukların KLT'ye göre LOFOP değerleri verilmiştir. Şekil 5.36'da ise bu değerler KDT'ye göre verilmiştir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda %2.02'den %2.43'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %2.09'dan %2.6'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %1.96'dan %2.35'e yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda %2.44'ten %2.62'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %2.51'den %2.86'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %2.3'ten %2.56'ya yükselmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, HOM durumda %2.05'ten %2.68'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %2.1'den %2.82'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %1.98'den %2.52'ye yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde,

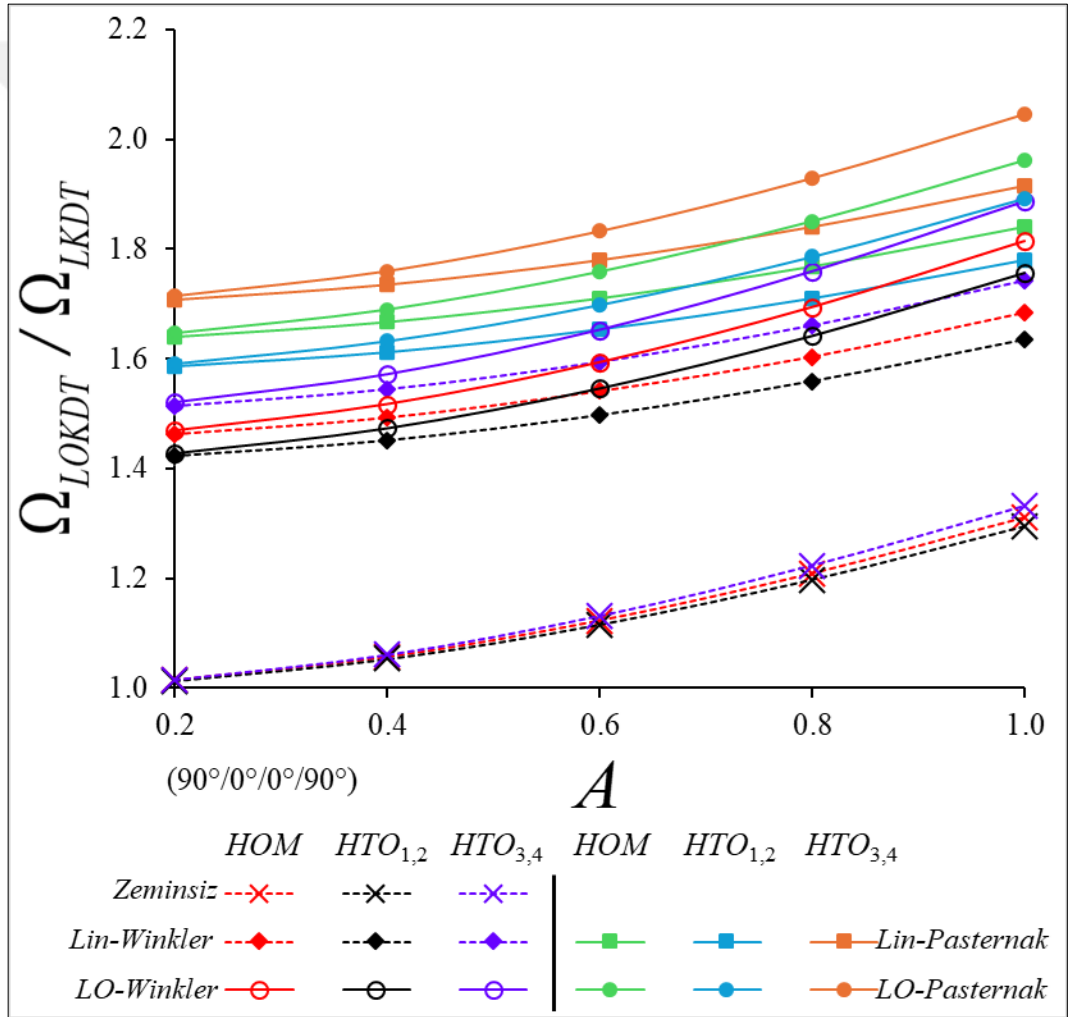
$A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, KDT etkisi, *HOM* durumda %2.42'den %2.86'ya, *HTO*_{1,2} durumlarında %2.52'den %3.02'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında %2.31'den %2.68'e yükselmektedir. LOFOP değerlerine zemin etkisi incelendiğinde, Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %44.21'den %28.39'a, *HTO*_{1,2} durumlarında %40.26'dan %26.31'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %49.05'ten %30.94'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %41.5'ten %27.31'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %37.54'ten %25.13'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %46.33'ten %29.85'e düşmektedir.



Şekil 5.35 : (90°/0°/0°/90°) diziliimli, *HOM* ve *HTO*_i-kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KLT'ye göre LOFOP değerleri.

Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %61.66'dan %40.37'ye, *HTO*_{1,2} durumlarında %56.45'ten %37.5'e ve *HTO*_{3,4} durumlarında %68.18'den %43.82'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %57.98'den %38.93'e, *HTO*_{1,2} durumlarında %52.79'dan %35.87'ye ve *HTO*_{3,4} durumlarında %64.56'dan %42.33'e düşmektedir. LO-Winkler zemininde,

$A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %44.82'den %38.42'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %40.84'ten %35.65'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %49.74'ten %41.7'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %42.06'dan %36.93'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %38.09'dan %34.1'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %46.99'dan %40.28'e düşmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, zemin etkisi, KDT'ye göre; *HOM* durumda %62.27'den %49.61'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %56.98'den %46.14'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %68.79'dan %53.71'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; *HOM* durumda %58.6'dan %47.74'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %53.29'dan %44.19'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %65.14'ten %51.94'e düşmektedir.



Şekil 5.36 : $(90^\circ/0^\circ/0^\circ/90^\circ)$ diziliimli, *HOM* ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin KDT'ye göre LOFOP değerleri.

LOFOP değerlerine HTO etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1 'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.08)'den (-%1.22)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.11'den %1.54'e yükselmektedir. KLT'ye göre

ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%0.08)'den (-%1.28)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.11'den %1.62'ye yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.8)'den (-%2.85)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.47'den %3.56'ya yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.88)'den (-%2.98)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.53'ten %3.65'e yükselmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%3.3)'ten (-%3.24)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %4.15'ten %4.05'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%3.36)'dan (-%3.46)'ya yükselmektedir. $HTO_{3,4}$ durumlarında %4.28'den %4.11'e düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.83)'ten (-%3.19)'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.51'den %3.95'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%2.88)'den (-%3.32)'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %3.58'den %4.11'e yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e çıkarıldığında, HTO etkisi, KDT'ye göre; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%3.34)'ten (-%3.51)'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %4.13'ten %4.33'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; $HTO_{1,2}$ durumlarında (-%3.43)'ten (-%3.66)'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %4.24'ten %4.51'e yükselmektedir. LOFOP değerlerine dizilim etkisi incelendiğinde, zeminsiz durumda, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %0.19'dan %2.93'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.15'ten %2.38'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.24'ten %3.52'ye yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %0.31'den %5.07'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %0.29'dan %4.68'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %0.35'ten %5.49'a yükselmektedir. Lin-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %13.32'den %11.68'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %12.51'den %10.9'a ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %13.96'dan %12.63'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %15.3'ten %15.22'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %14.56'dan %14.42'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %16.02'den %15.78'e düşmektedir. Lin-Pasternak zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %16.23'ten %14.29'a, $HTO_{1,2}$ durumlarında %15.62'den %13.51'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %17'den %15.18'e düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %19.12'den %18.35'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %18.47'den %17.52'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %19.77'den %18.79'a düşmektedir. LO-Winkler zemininde, $A = 0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %13.36'dan %13.98'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında

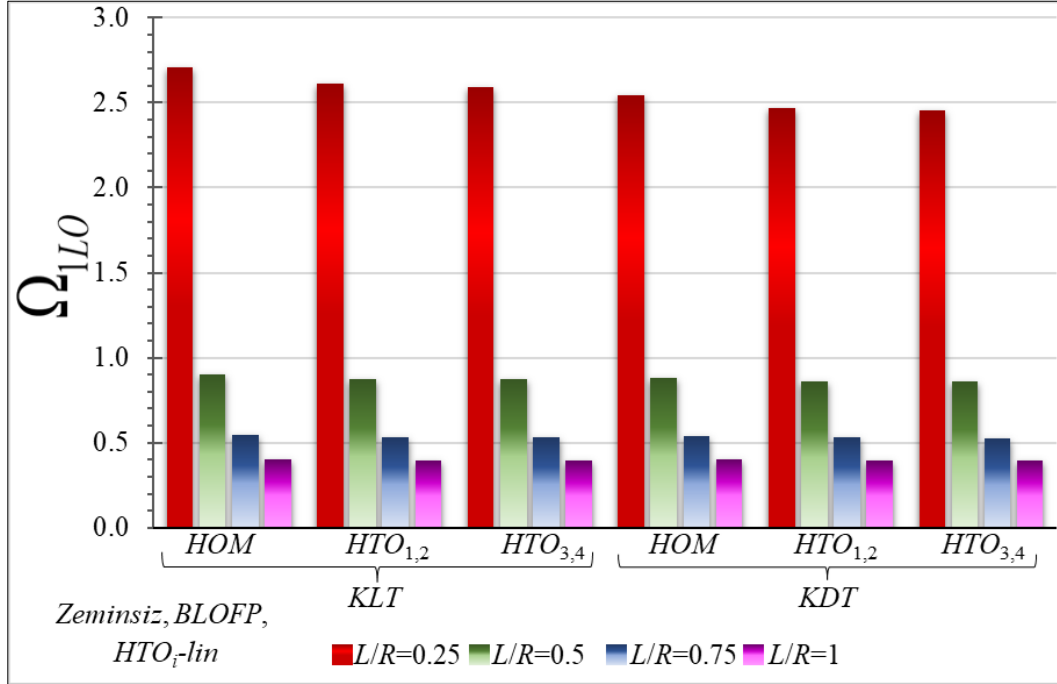
%12.63'ten %13.12'ye ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %14.08'den %14.81'e yükselmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %15.46'dan %17.73'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %14.72'den %17.04'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %16.17'den %18.33'e yükselmektedir. LO-Pasternak zemininde, $A=0.2$ 'den 1'e arttığında dizilim etkisi, KDT'ye göre; HOM durumda %16.43'ten %16.07'ye, $HTO_{1,2}$ durumlarında %15.71'den %15.24'e ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %17.08'den %16.82'ye düşmektedir. KLT'ye göre ise bu etkiler; HOM durumda %19.28'den %20.23'e, $HTO_{1,2}$ durumlarında %18.58'den %19.6'ya ve $HTO_{3,4}$ durumlarında %19.88'den %20.73'e yükselmektedir.

5.2.5 Silindirik kabuk boyut parametrelerinin karşılaştırmalı analizleri

Bu başlıkta, HOM , HTO_i -lin ve HTO_i -kuad ($i=1,2,3,4$) cam epoksi malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin değişen boyut parametrelerine göre BLOFP ve LOFOP analizleri klasik kabuk teorisi ve kayma deformasyon teorisi kapsamında sunulmuştur. Boyutsuz genlik parametresi $A=1$ ve $h=0.01m$ alınmıştır. Burada, yarıçapın kalınlığa oranı olan $R/h=20$ 'de sabit tutularak uzunluğun yarıçapa oranı olan L/R parametresi sırasıyla 0.25, 0.5, 0.75 ve 1 değerlerini almıştır. $L/R=0.25$ 'te sabit tutularak R/h parametresi sırasıyla 15, 20, 25 ve 30 değerlerini almıştır. Bu bölümdeki analizler için ($0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ$) dizilimine sahip dört tabakalı silindirik kabuk seçilmiştir. Analizlerde aynı etki gösterilen heterojenlik durumları HTO alt indisinde virgül ile ayrılarak gösterilmiştir. Buradaki analizler, karşılaştırmaların daha iyi anlaşılabilmesi için sütun grafikleri şeklinde verilmiştir.

HOM ve HTO_i -lin ($i=1,2,3,4$) malzemeleri için L/R parametresinin değişiminin BLOFP analizleri incelendiğinde, Şekil 5.37'de verilen zeminsiz durumda; $L/R=0.5$ olduğunda $L/R=0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %65 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %66 düşüş olmuştur. $L/R=0.75$ olduğunda $L/R=0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %78 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %79 düşüş olmuştur. $L/R=1$ olduğunda $L/R=0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %84 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %84-85 düşüş olmuştur. Lin-Winkler zemininde; $L/R=0.5$ olduğunda $L/R=0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve

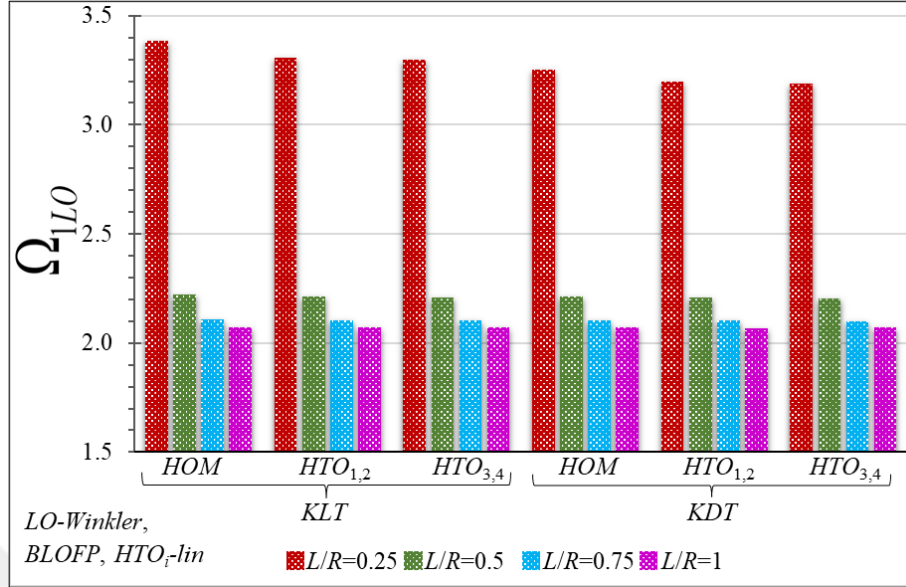
$HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %36-37 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %38-39 düşüş olmuştur.



Şekil 5.37 : Zeminsiz ortamdaki HOM ve HTO_i -lin malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin L / R değişimine bağlı BLOFP değerleri.

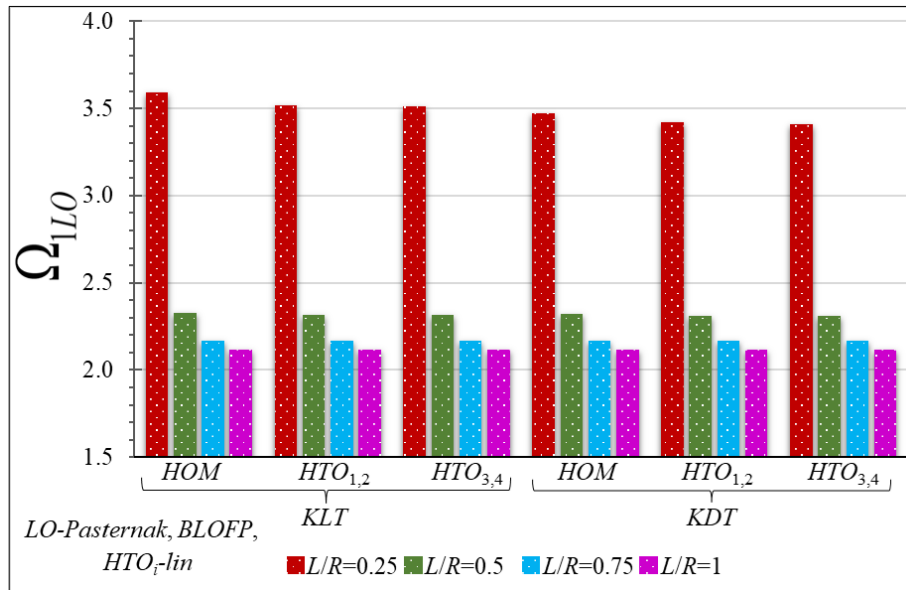
$L / R = 0.75$ olduğunda $L / R = 0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %40-41 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %42-44 düşüş olmuştur. $L / R = 1$ olduğunda $L / R = 0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %41-42 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %43-45 düşüş olmuştur. Lin-Pasternak zemininde; $L / R = 0.5$ olduğunda $L / R = 0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %37-38 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %38-40 düşüş olmuştur. $L / R = 0.75$ olduğunda $L / R = 0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %42-43 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %44-45 düşüş olmuştur. $L / R = 1$ olduğunda $L / R = 0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %44-45 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %45-47 düşüş olmuştur. Şekil 5.38'de verilen LO-Winkler zemininde; $L / R = 0.5$ olduğunda $L / R = 0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %30-31 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %32-34 düşüş olmuştur. $L / R = 0.75$ olduğunda $L / R = 0.25$ 'e

göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %34-35 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %36-37 düşüş olmuştur.



Şekil 5.38 : LO-Winkler zeminindeki HOM ve HTO_i -lin malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin L / R değişimine bağlı BLOFP değerleri.

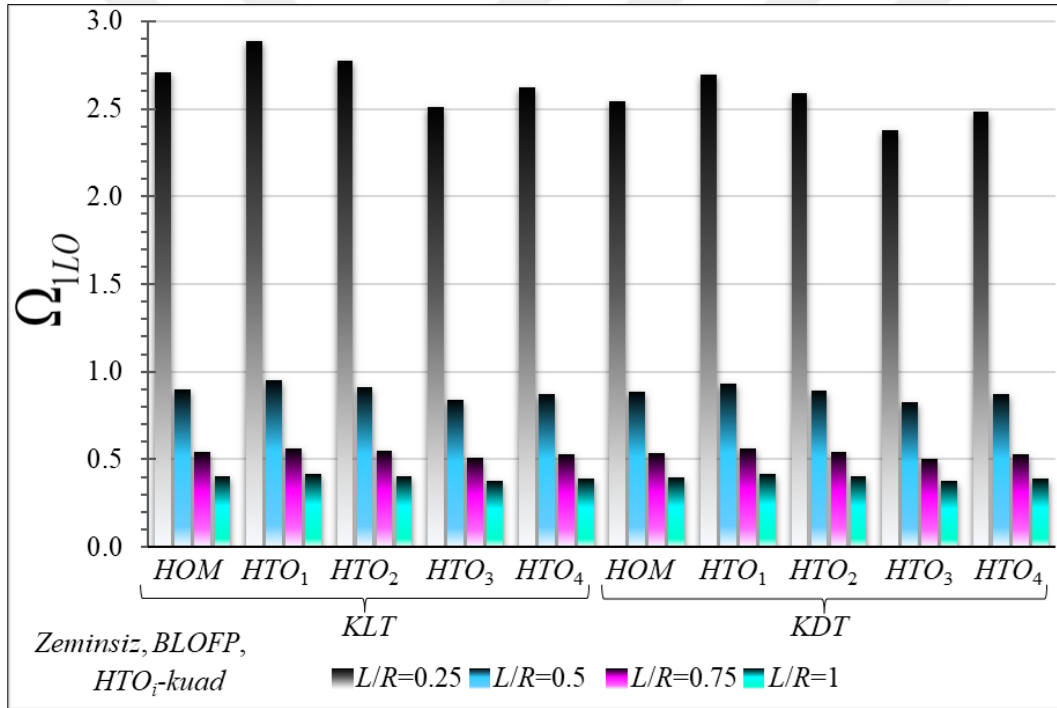
$L / R=1$ olduğunda $L / R=0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %35-36 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %37-38 düşüş olmuştur. Şekil 5.39'dan görüleceği üzere LO-Pasternak zemininde; $L / R=0.5$ olduğunda $L / R=0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %32-33 düşüş olmuştur.



Şekil 5.39 : LO-Pasternak zeminindeki HOM ve HTO_i -lin malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin L / R değişimine bağlı BLOFP değerleri.

KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %34-35 düşüş olmuştur. $L/R = 0.75$ olduğunda $L/R = 0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %36-37 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %38-39 düşüş olmuştur. $L/R = 1$ olduğunda $L/R = 0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %37-38 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %39-41 düşüş olmuştur.

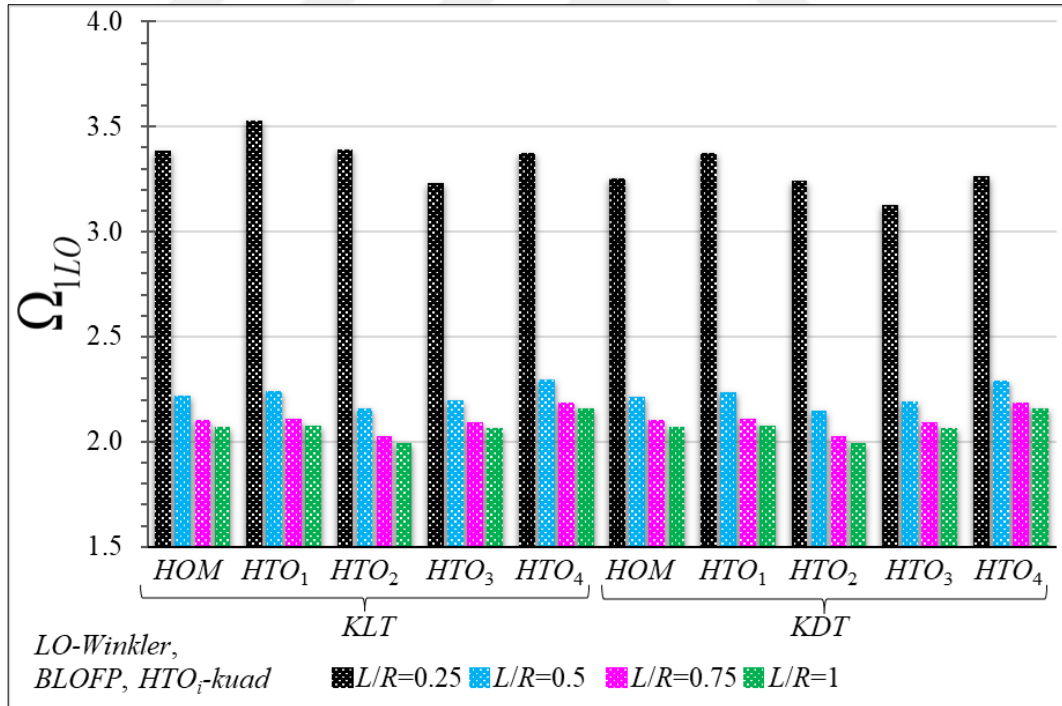
HOM ve HTO_i -kuad ($i=1,2,3,4$) malzemeleri için L/R parametresinin değişiminin BLOFP analizleri incelendiğinde, Şekil 5.40'da verilen değerlerden anlaşılabacağı üzere, zeminiz durumda; $L/R = 0.5$ olduğunda $L/R = 0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %65 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %66-67 düşüş olmuştur.



Şekil 5.40 : Zeminiz ortamdaki HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin L/R değişimine bağlı BLOFP değerleri.

$L/R = 0.75$ olduğunda $L/R = 0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %78-79 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %79-80 düşüş olmuştur. $L/R = 1$ olduğunda $L/R = 0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %84 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %84-85 düşüş olmuştur. Lin-Winkler zemininde; $L/R = 0.5$ olduğunda $L/R = 0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %35-38 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %37-41

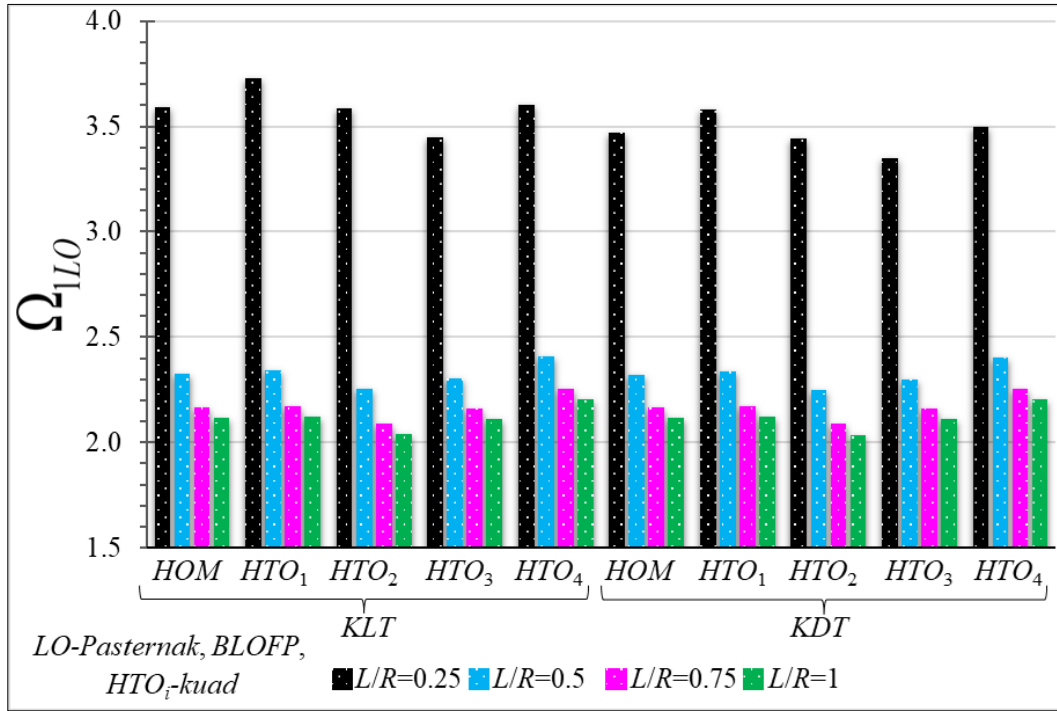
düşüş olmuştur. $L/R = 0.75$ olduğunda $L/R = 0.25$ ’e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %39-43 düşüş olmuştur. KLT’ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %41-46 düşüş olmuştur. $L/R = 1$ olduğunda $L/R = 0.25$ ’e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %40-44 düşüş olmuştur. KLT’ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %42-47 düşüş olmuştur. Lin-Pasternak zemininde; $L/R = 0.5$ olduğunda $L/R = 0.25$ ’e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %36-39 düşüş olmuştur. KLT’ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %38-41 düşüş olmuştur. $L/R = 0.75$ olduğunda $L/R = 0.25$ ’e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %41-45 düşüş olmuştur. KLT’ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %43-47 düşüş olmuştur. $L/R = 1$ olduğunda $L/R = 0.25$ ’e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %43-46 düşüş olmuştur. KLT’ye göre ise bu değerlerde sırasıyla %44-49 düşüş olmuştur. Şekil 5.41’de verilen LO-Winkler zemininde; $L/R = 0.5$ olduğunda $L/R = 0.25$ ’e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %29-33 düşüş olmuştur.



Şekil 5.41 : LO-Winkler zeminindeki HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK’lerin L/R değişimine bağlı BLOFP değerleri.

KLT’ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %31-36 düşüş olmuştur. $L/R = 0.75$ olduğunda $L/R = 0.25$ ’e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %33-37 düşüş olmuştur.

KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %35-40 düşüş olmuştur. $L/R = 1$ olduğunda $L/R = 0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %33-38 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %36-41 düşüş olmuştur. Şekil 5.42'den görüleceği üzere LO-Pasternak zemininde; $L/R = 0.5$ olduğunda $L/R = 0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %31-34 düşüş olmuştur.

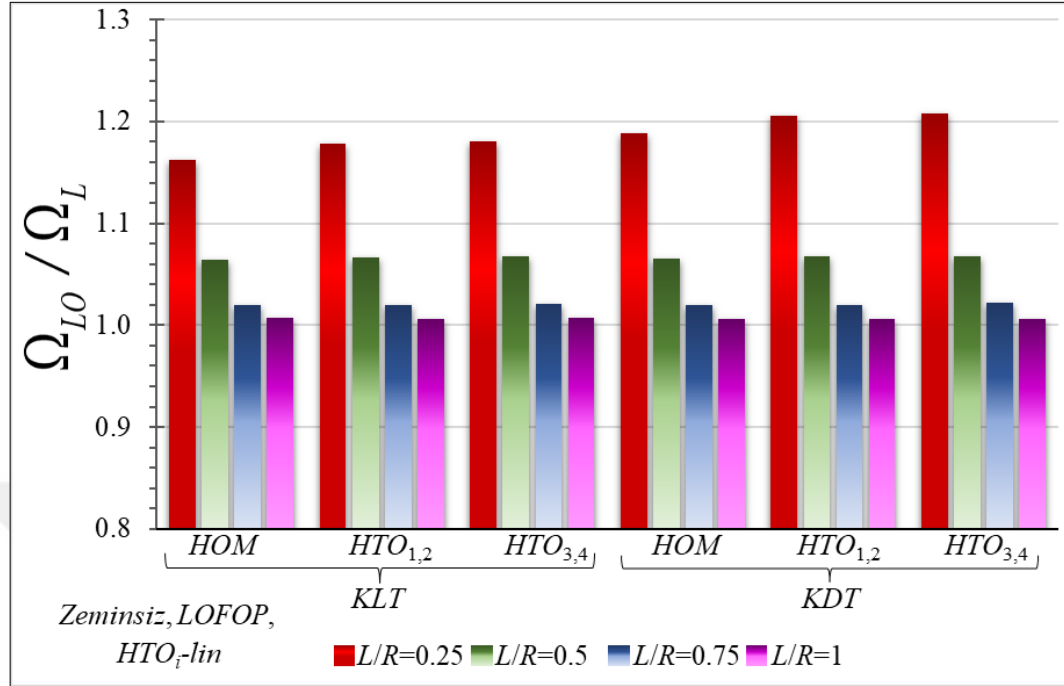


Şekil 5.42 : LO-Pasternak zeminindeki HOM ve HTO_{i-kuad} malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin L/R değişimine bağlı BLOFP değerleri.

KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %33-37 düşüş olmuştur. $L/R = 0.75$ olduğunda $L/R = 0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %35-39 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %37-41 düşüş olmuştur. $L/R = 1$ olduğunda $L/R = 0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %37-40 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %38-43 düşüş olmuştur.

HOM ve HTO_{i-lin} ($i=1,2,3,4$) malzemeleri için L/R parametresinin değişiminin LOFOP analizleri incelendiğinde, Şekil 5.43'te verilen zeminsiz durumda; $L/R = 0.5$ olduğunda $L/R = 0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %10-11 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde sırasıyla %8-9 düşüş olmuştur.

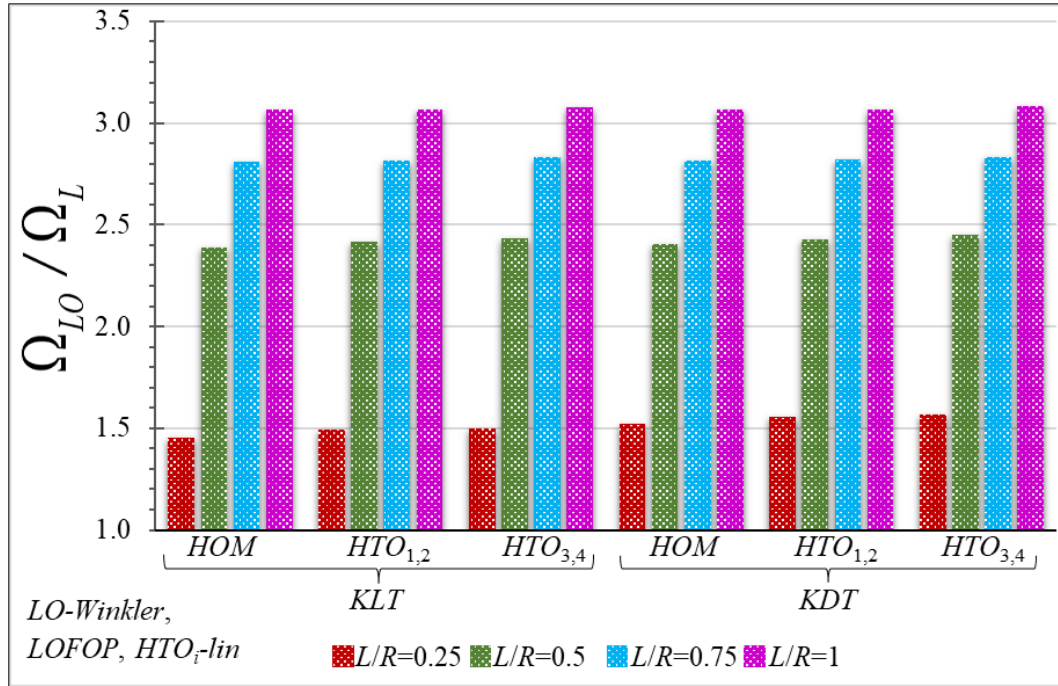
$L/R=0.75$ olduğunda $L/R=0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %14-15 düşüş olmuştur.



Şekil 5.43 : Zeminsiz ortamdaki HOM ve HTO_i-lin malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin L/R değişimine bağlı LOFOP değerleri.

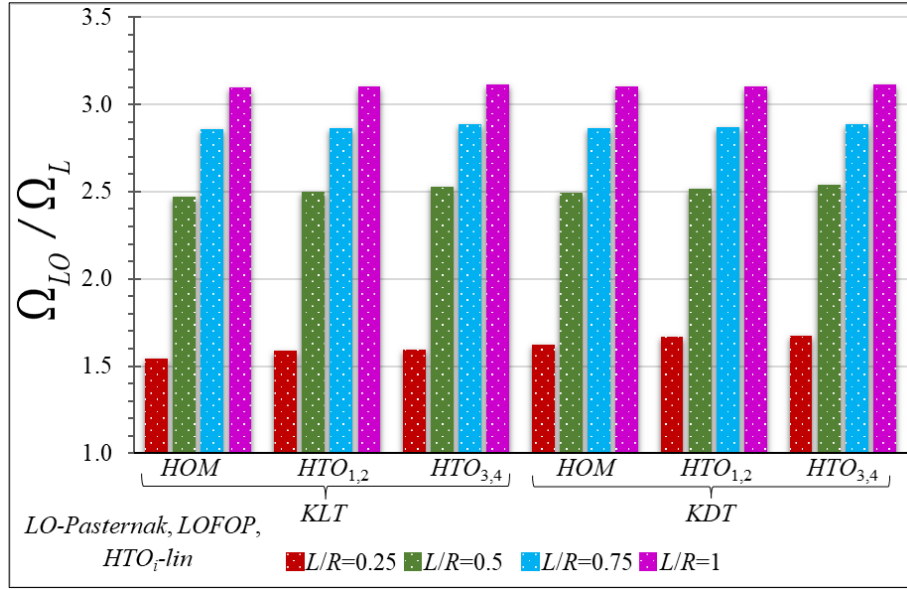
KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %12-13 düşüş olmuştur. $L/R=1$ olduğunda $L/R=0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %15-16 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %13-14 düşüş olmuştur. Lin-Winkler zemininde; $L/R=0.5$ olduğunda $L/R=0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %45-46 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %50-51 artış olmuştur. $L/R=0.75$ olduğunda $L/R=0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %66-69 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %72-76 artış olmuştur. $L/R=1$ olduğunda $L/R=0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %80-83 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %87-91 artış olmuştur. Lin-Pasternak zemininde; $L/R=0.5$ olduğunda $L/R=0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %41-43 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %46-48 artış olmuştur. $L/R=0.75$ olduğunda $L/R=0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %58-61 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %65-69 artış olmuştur. $L/R=1$ olduğunda $L/R=0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$

değerlerinde yaklaşık %69-73 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %76-82 artış olmuştur. Şekil 5.44'te gösterilen LO-Winkler zemininde; $L/R = 0.5$ olduğunda $L/R = 0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %56-58 artış olmuştur.



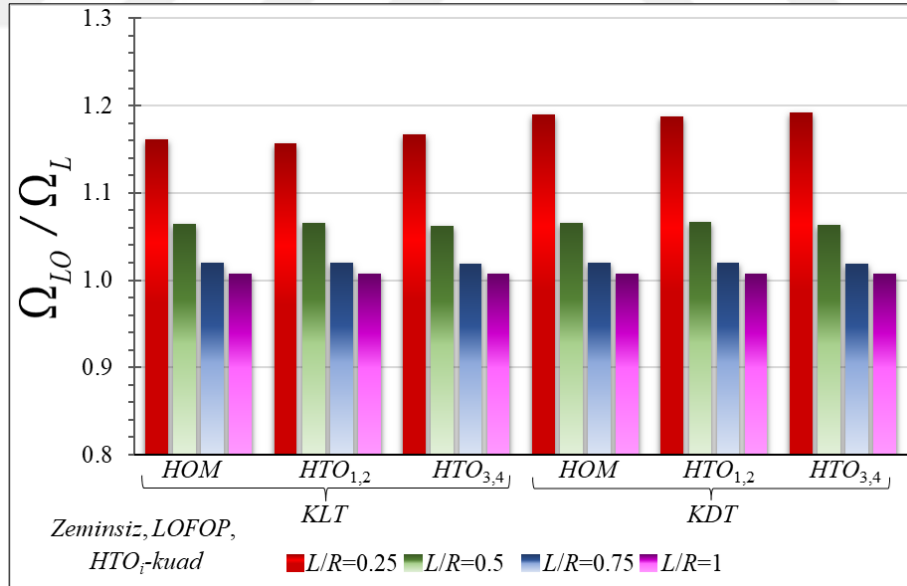
Şekil 5.44 : LO-Winkler zeminindeki HOM ve HTO_{i-lin} malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin L/R değişimine bağlı LOFOP değerleri.

KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %62-64 artış olmuştur. $L/R = 0.75$ olduğunda $L/R = 0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %81-84 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %88-93 artış olmuştur. $L/R = 1$ olduğunda $L/R = 0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %96-101 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %105-111 artış olmuştur. Şekil 5.45'te verilen LO-Pasternak zemininde; $L/R = 0.5$ olduğunda $L/R = 0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %51-53 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %57-60 artış olmuştur. $L/R = 0.75$ olduğunda $L/R = 0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %72-76 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %80-85 artış olmuştur. $L/R = 1$ olduğunda $L/R = 0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %85-91 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %95-101 artış olmuştur.



Şekil 5.45 : LO-Pasternak zeminindeki *HOM* ve *HTO_i-lin* malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin L / R değişimine bağlı LOFOP değerleri.

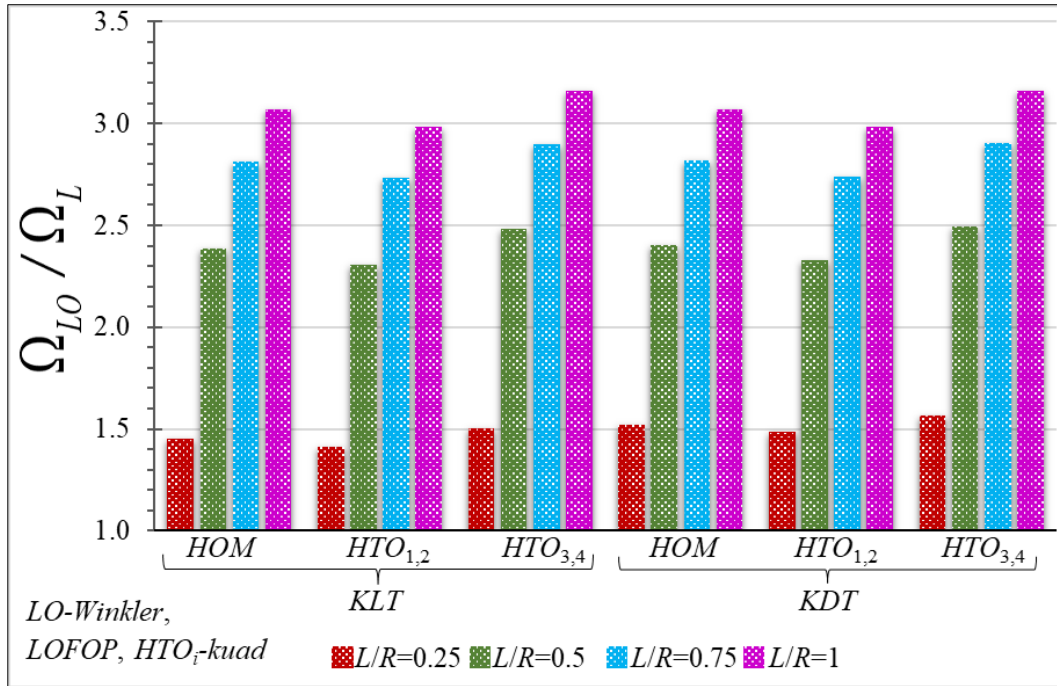
HOM ve *HTO_i-kuad* ($i=1,2,3,4$) malzemeleri için L / R parametresinin değişiminin LOFOP analizleri incelendiğinde, Şekil 5.46'da gösterilen zeminsiz durumda; $L / R = 0.5$ olduğunda $L / R = 0.25$ 'e göre KDT kapsamında *HOM* ve *HTO_{1,2,3,4}* değerlerinde yaklaşık %10 düşüş olmuştur.



Şekil 5.46 : Zeminsiz ortamdaki *HOM* ve *HTO_i-kuad* malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin L / R değişimine bağlı LOFOP değerleri.

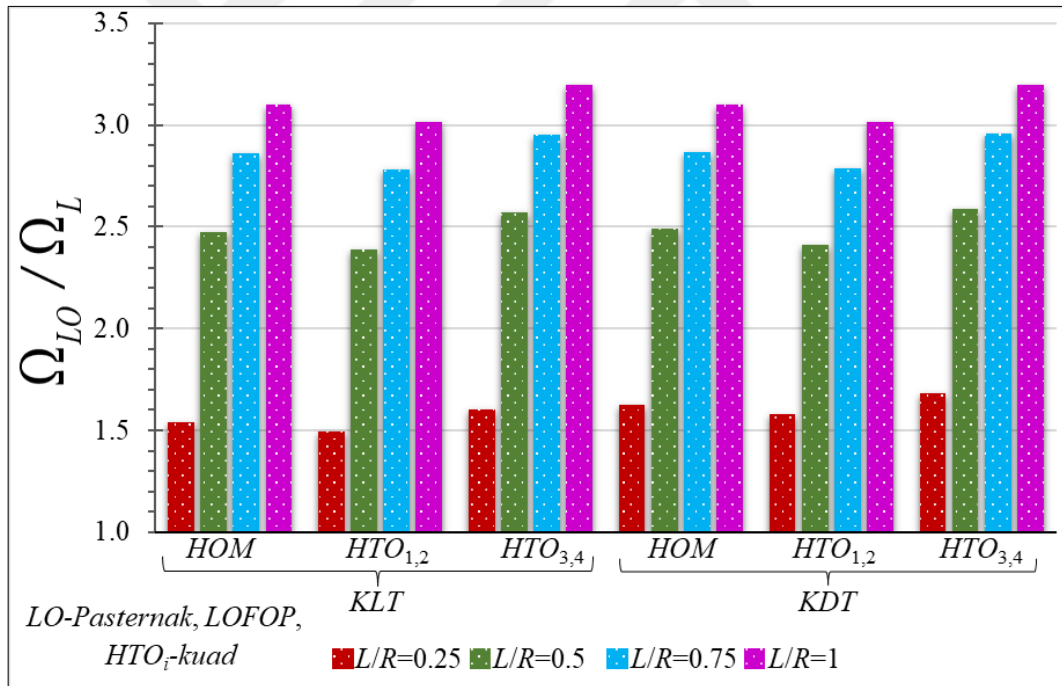
KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %7-9 düşüş olmuştur. $L / R = 0.75$ olduğunda $L / R = 0.25$ 'e göre KDT kapsamında *HOM* ve *HTO_{1,2,3,4}* değerlerinde yaklaşık %14 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %11-12 düşüş olmuştur.

$L/R=1$ olduğunda $L/R=0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %15 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %12-13 düşüş olmuştur. Lin-Winkler zemininde; $L/R=0.5$ olduğunda $L/R=0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %45-48 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %50-53 artış olmuştur. $L/R=0.75$ olduğunda $L/R=0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %68-70 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %75-77 artış olmuştur. $L/R=1$ olduğunda $L/R=0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %82-84 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %90-92 artış olmuştur. Lin-Pasternak zemininde; $L/R=0.5$ olduğunda $L/R=0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %41-43 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %48-49 artış olmuştur. $L/R=0.75$ olduğunda $L/R=0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %61 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %68-69 artış olmuştur. $L/R=1$ olduğunda $L/R=0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %73 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %81-82 artış olmuştur. Şekil 5.47'de verilen LO-Winkler zemininde; $L/R=0.5$ olduğunda $L/R=0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %56-59 artış olmuştur.



Şekil 5.47 : LO-Winkler zeminindeki HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin L/R değişimine bağlı LOFOP değerleri.

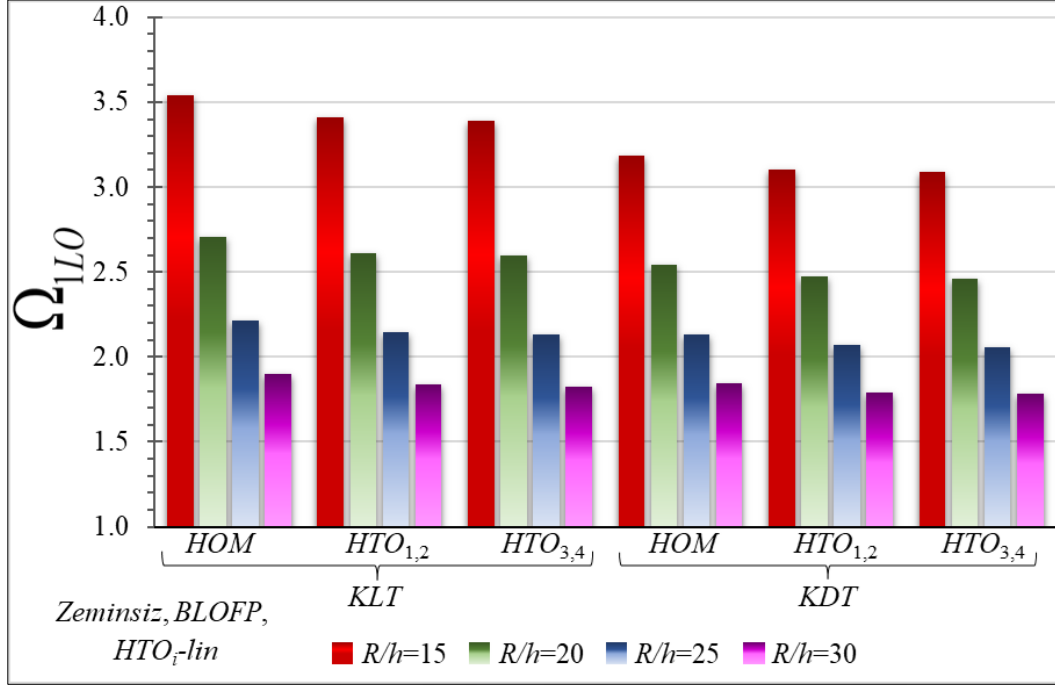
KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %63-65 artış olmuştur. $L/R=0.75$ olduğunda $L/R=0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %84-85 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %93 artış olmuştur. $L/R=1$ olduğunda $L/R=0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %100-101 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %110-111 artış olmuştur. Şekil 5.48'den görüleceği üzere LO-Pasternak zemininde; $L/R=0.5$ olduğunda $L/R=0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %52-53 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %59-60 artış olmuştur. $L/R=0.75$ olduğunda $L/R=0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %75-76 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %84-86 artış olmuştur. $L/R=1$ olduğunda $L/R=0.25$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %90-91 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %99-101 artış olmuştur.



Şekil 5.48 : LO-Pasternak zeminindeki HOM ve HTO_i -kuad malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin L/R değişimine bağlı LOFOP değerleri.

HOM ve HTO_i -lin ($i=1,2,3,4$) malzemeleri için R/h parametresinin değişiminin BLOFP analizleri incelendiğinde, Şekil 5.49'da verilen zeminsiz durumda; $R/h=20$ olduğunda $R/h=15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %20 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %23 düşüş

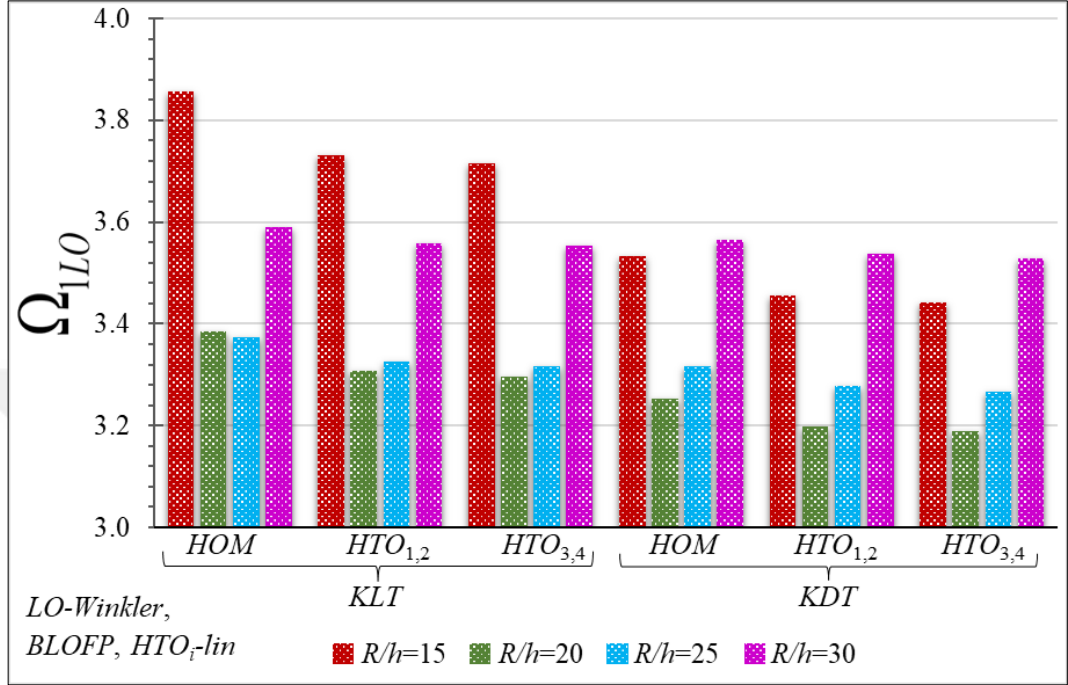
olmuştur. $R/h = 25$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %33 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %37 düşüş olmuştur. $R/h = 30$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %42 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %46 düşüş olmuştur.



Şekil 5.49 : Zeminsiz ortamdaki HOM ve HTO_i -lin malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin R/h değişimine bağlı BLOFP değerleri.

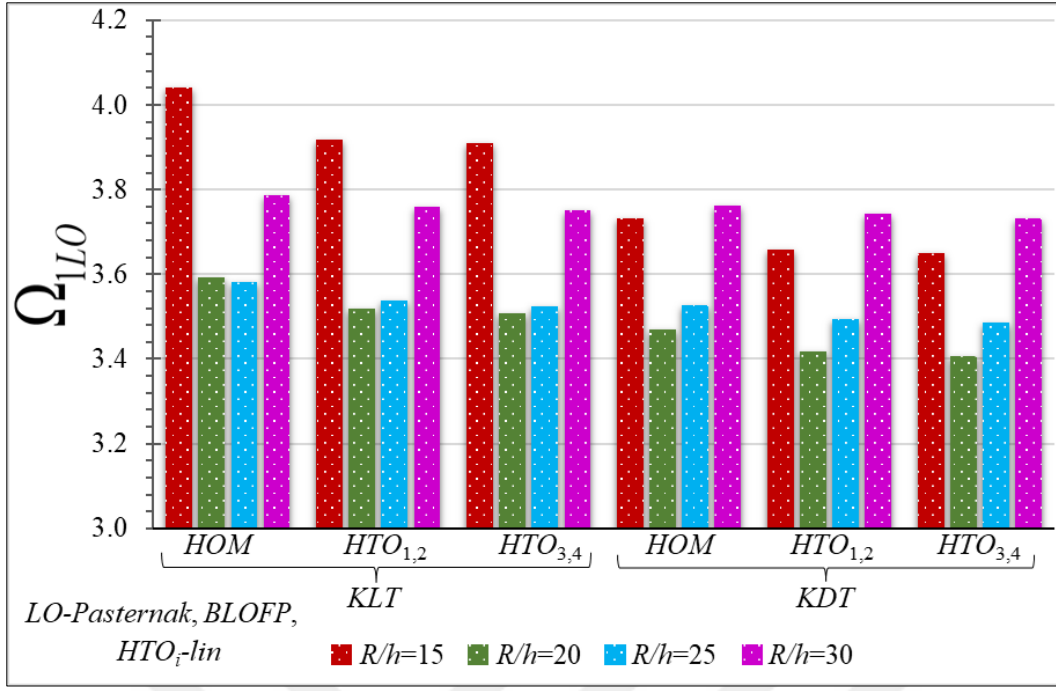
Lin-Winkler zemininde; $R/h = 20$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %10 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %14-15 düşüş olmuştur. $R/h = 25$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %11-12 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %16-18 düşüş olmuştur. $R/h = 30$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %6-8 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %13-15 düşüş olmuştur. Lin-Pasternak zemininde; $R/h = 20$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %9 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %12-13 düşüş olmuştur. $R/h = 25$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %9-10 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %14-16 düşüş olmuştur. $R/h = 30$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$

değerlerinde yaklaşık %5-7 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %11-13 düşüş olmuştur. Şekil 5.50'de verilen LO-Winkler zemininde; $R/h = 20$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %7 düşüş olmuştur.



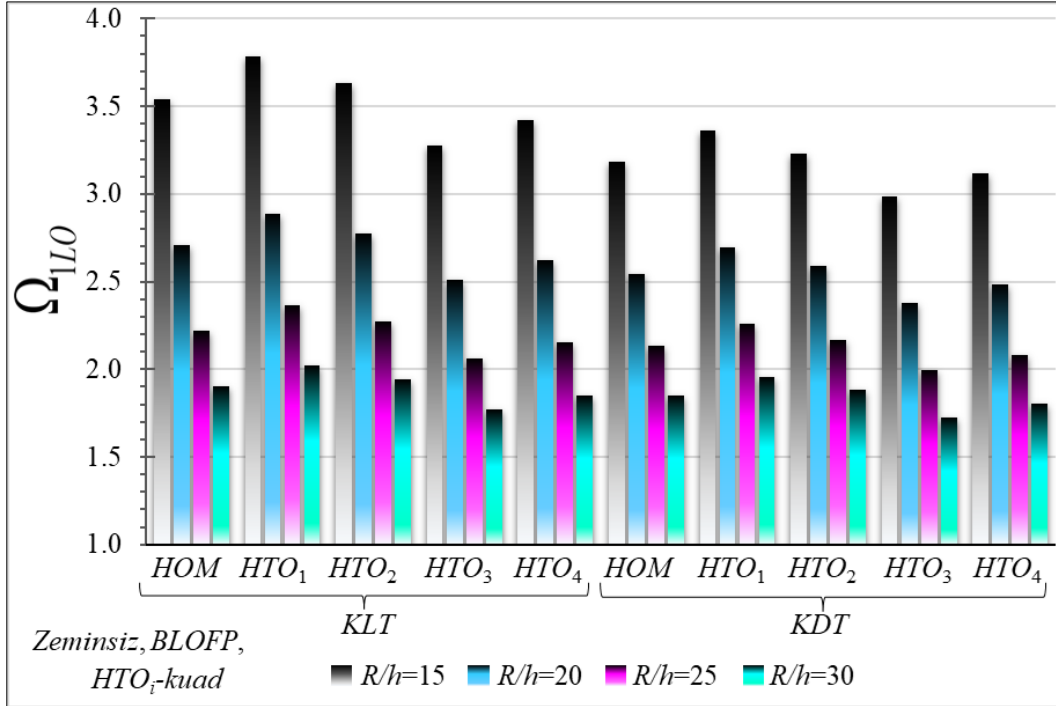
Şekil 5.50 : LO-Winkler zeminindeki HOM ve HTO_i -lin malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin R/h değişimine bağlı BLOFP değerleri.

KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %11-12 düşüş olmuştur. $R/h = 25$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %5-6 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %10-12 düşüş olmuştur. $R/h = 30$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %1-2 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %4-6 düşüş olmuştur. Şekil 5.51'den anlaşılacağı üzere LO-Pasternak zemininde; $R/h = 20$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %6-7 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde sırasıyla %10-11 düşüş olmuştur. $R/h = 25$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %4-5 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %9-11 düşüş olmuştur. $R/h = 30$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %1-2 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %4-6 düşüş olmuştur.



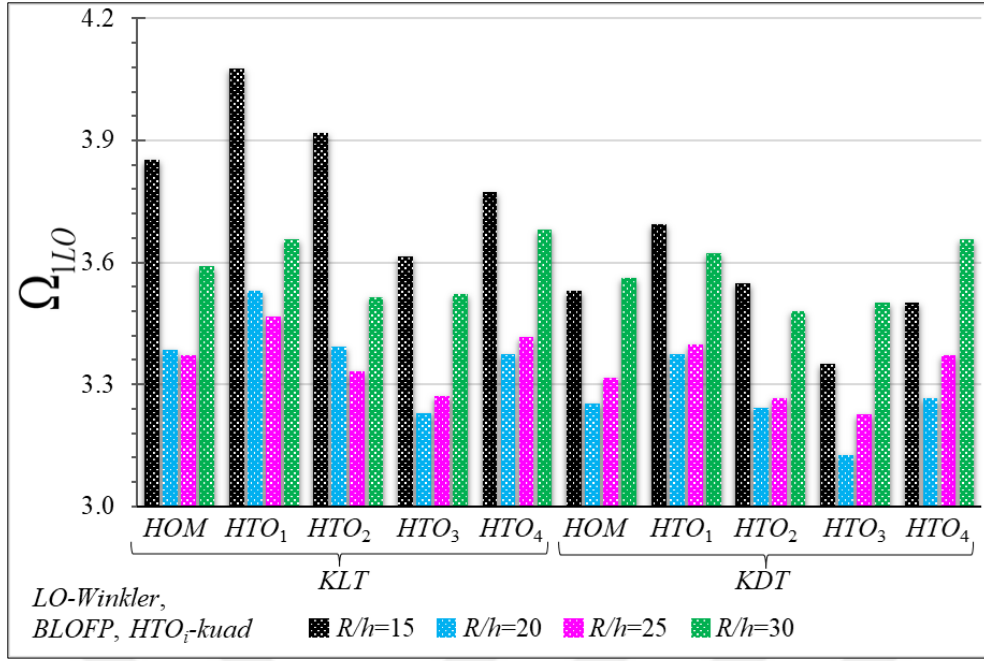
Şekil 5.51 : LO-Pasternak zeminindeki *HOM* ve *HTO_i-lin* malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin R/h değişimine bağlı BLOFP değerleri.

HOM ve *HTO_i-kuad* ($i=1,2,3,4$) malzemeleri için R/h parametresinin değişiminin BLOFP analizleri incelendiğinde, Şekil 5.52'de verilen zeminsiz durumda; $R/h = 20$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında *HOM* ve *HTO_{1,2,3,4}* değerlerinde yaklaşık %19-20 düşüş olmuştur.



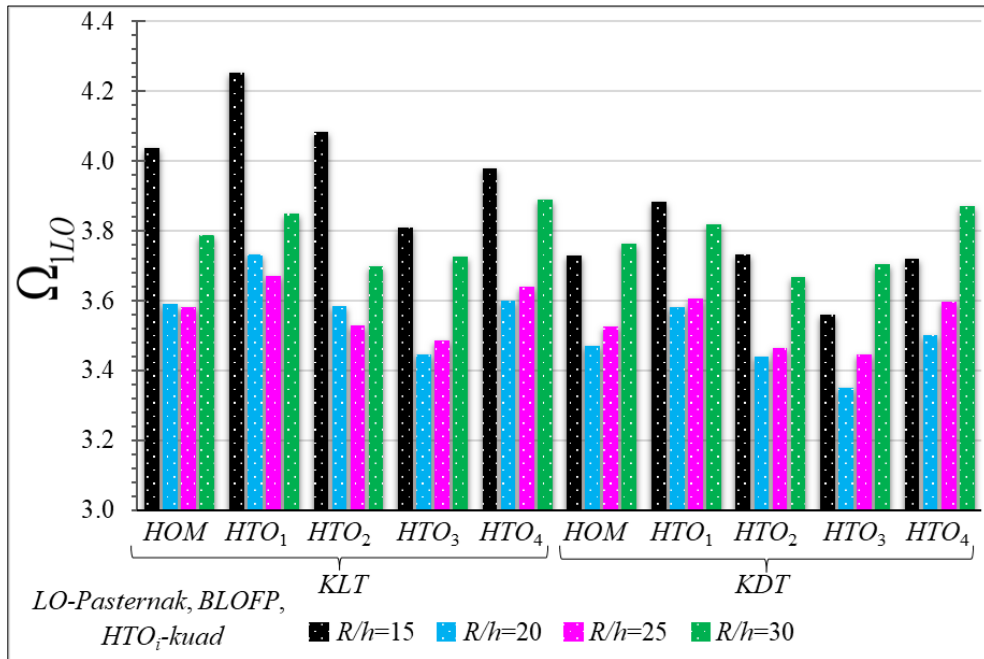
Şekil 5.52 : Zeminsiz ortamdaki *HOM* ve *HTO_i-kuad* malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin R/h değişimine bağlı BLOFP değerleri.

KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %23 düşüş olmuştur. $R/h = 25$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %32-33 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %37 düşüş olmuştur. $R/h = 30$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %41-42 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %46 düşüş olmuştur. Lin-Winkler zemininde; $R/h = 20$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %9-11 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %13-15 düşüş olmuştur. $R/h = 25$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %10-13 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %15-20 düşüş olmuştur. $R/h = 30$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %5-10 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %12-18 düşüş olmuştur. Lin-Pasternak zemininde; $R/h = 20$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %8-10 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %12-14 düşüş olmuştur. $R/h = 25$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %8-12 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %13-18 düşüş olmuştur. $R/h = 30$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %4-9 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %10-16 düşüş olmuştur. Şekil 5.53'te verilen değerlerden anlaşılacağı üzere LO-Winkler zemininde; $R/h = 20$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %6-8 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %10-13 düşüş olmuştur. $R/h = 25$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %3-8 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %9-15 düşüş olmuştur. $R/h = 30$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %1-4 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %3-10 düşüş olmuştur. Şekil 5.54'te verilen LO-Pasternak zemininde; $R/h = 20$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %6-7 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %9-12 düşüş olmuştur.



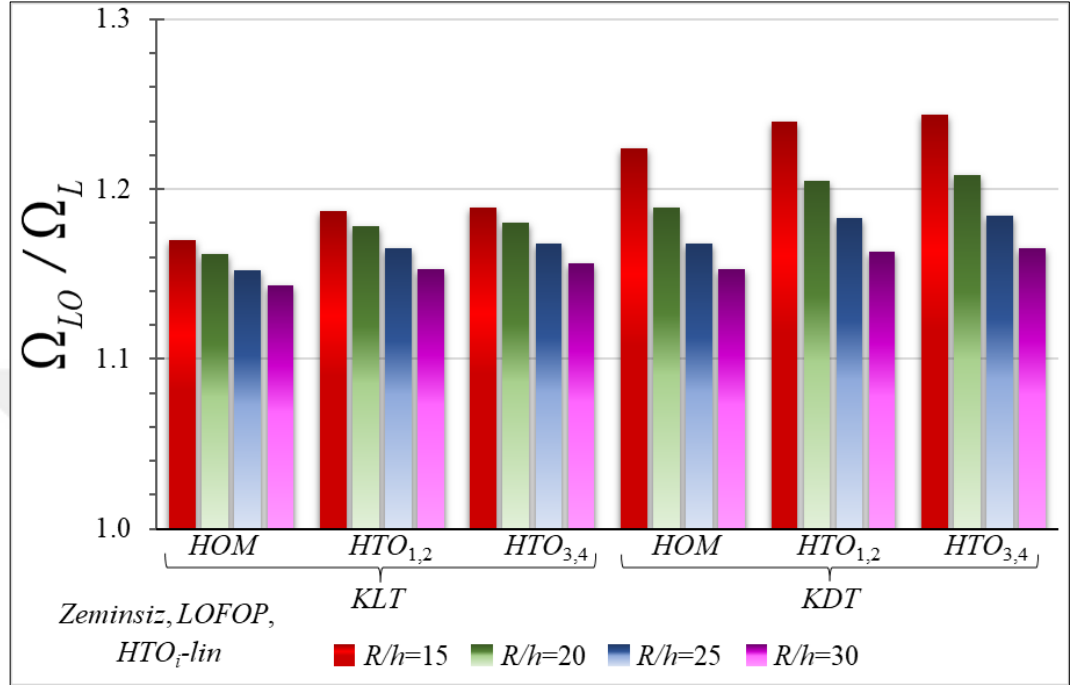
Şekil 5.53 : LO-Winkler zeminindeki *HOM* ve *HTO_i-kuad* malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin R/h değişimine bağlı BLOFP değerleri.

$R/h = 25$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında *HOM* ve *HTO_{1,2,3,4}* değerlerinde yaklaşık %3-7 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %8-13 düşüş olmuştur. $R/h = 30$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında *HOM* ve *HTO_{1,2,3,4}* değerlerinde yaklaşık %1-4 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %2-9 düşüş olmuştur.



Şekil 5.54 : LO-Pasternak zeminindeki *HOM* ve *HTO_i-kuad* malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin R/h değişimine bağlı BLOFP değerleri.

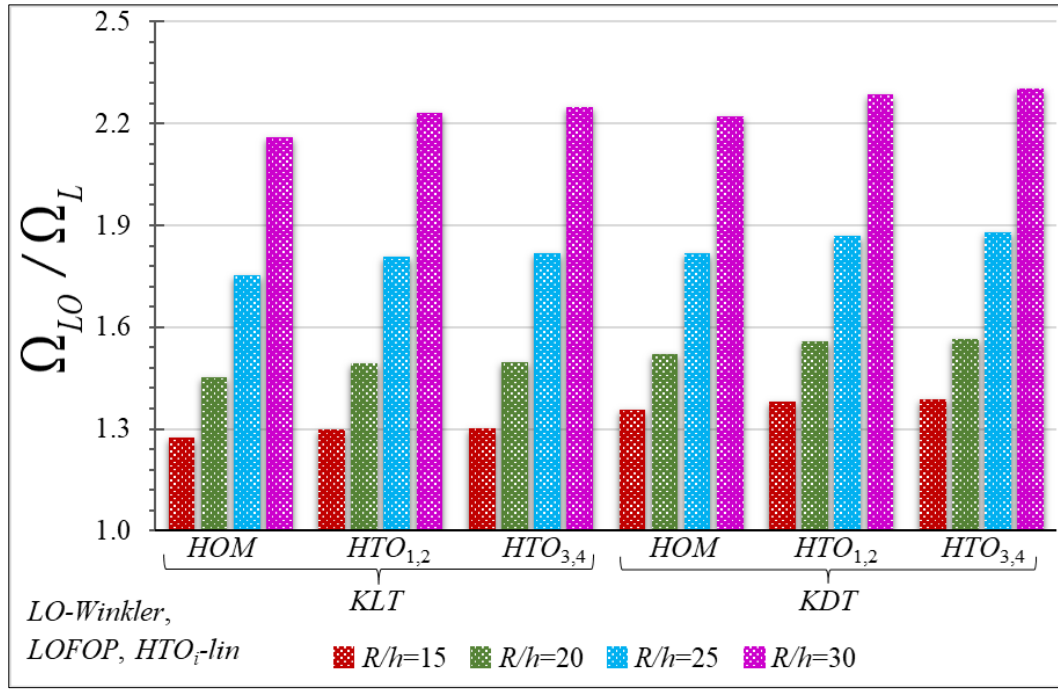
HOM ve HTO_{i-lin} ($i=1,2,3,4$) malzemeleri için R/h parametresinin değişiminin LOFOP analizleri incelendiğinde, Şekil 5.55'te verilen zeminiz durumda; $R/h = 20$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %3 düşüş olmuştur.



Şekil 5.55 : Zeminiz ortamdaki HOM ve HTO_{i-lin} malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin R/h değişimine bağlı LOFOP değerleri.

KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %1 düşüş olmuştur. $R/h = 25$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %4-5 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %1.5-2 düşüş olmuştur. $R/h = 30$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %6-6.5 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %2.5-3 düşüş olmuştur. Lin-Winkler zemininde; $R/h = 20$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %8-9 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %10-11 artış olmuştur. $R/h = 25$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %25-26 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %28-30 artış olmuştur. $R/h = 30$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %49-51 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %54-56 artış olmuştur. Lin-Pasternak zemininde; $R/h = 20$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %10 artış olmuştur.

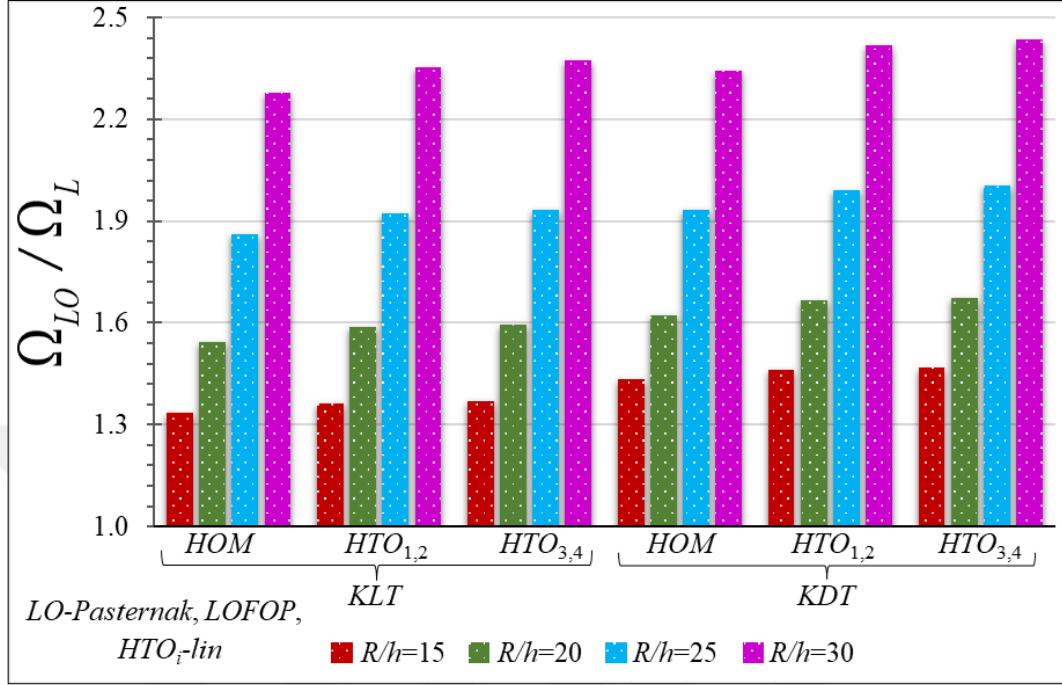
KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %12-13 artış olmuştur. $R/h = 25$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %27-28 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %31-32 artış olmuştur. $R/h = 30$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık sırasıyla %50-52 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %56-59 artış olmuştur. Şekil 5.56'da verilen LO-Winkler zemininde; $R/h = 20$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %12 artış olmuştur.



Şekil 5.56 : LO-Winkler zeminindeki HOM ve HTO_i -lin malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin R/h değişimine bağlı LOFOP değerleri.

KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %14-15 artış olmuştur. $R/h = 25$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %33-35 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %37-39 artış olmuştur. $R/h = 30$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %63-66 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %69-72 artış olmuştur. Şekil 5.57'de verilen LO-Pasternak zemininde; $R/h = 20$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %13 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %15-16 artış olmuştur. $R/h = 25$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %34-36 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde

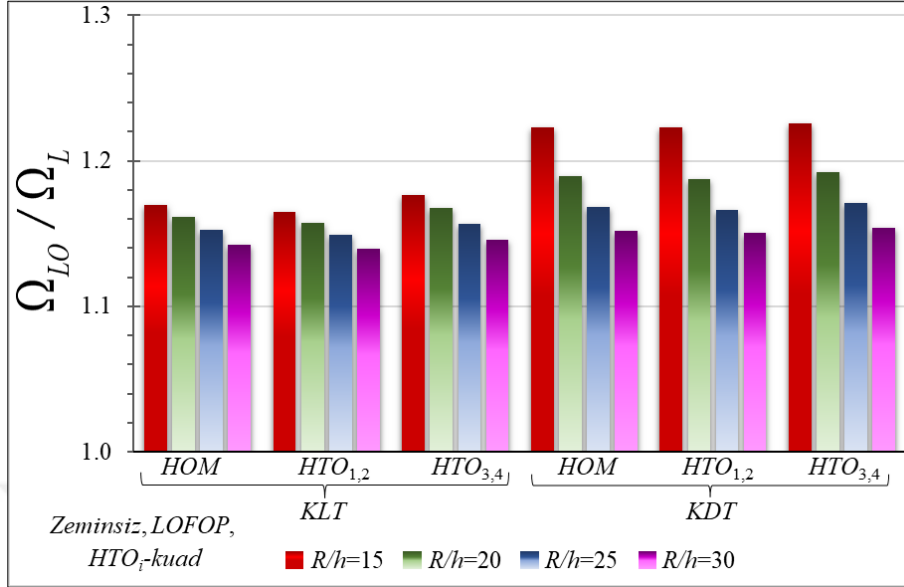
yaklaşık %39-41 artış olmuştur. $R/h=30$ olduğunda $R/h=15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %63-65 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %70-73 artış olmuştur.



Şekil 5.57 : LO-Pasternak zeminindeki HOM ve HTO_i -lin malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin R/h değişimine bağlı LOFOP değerleri.

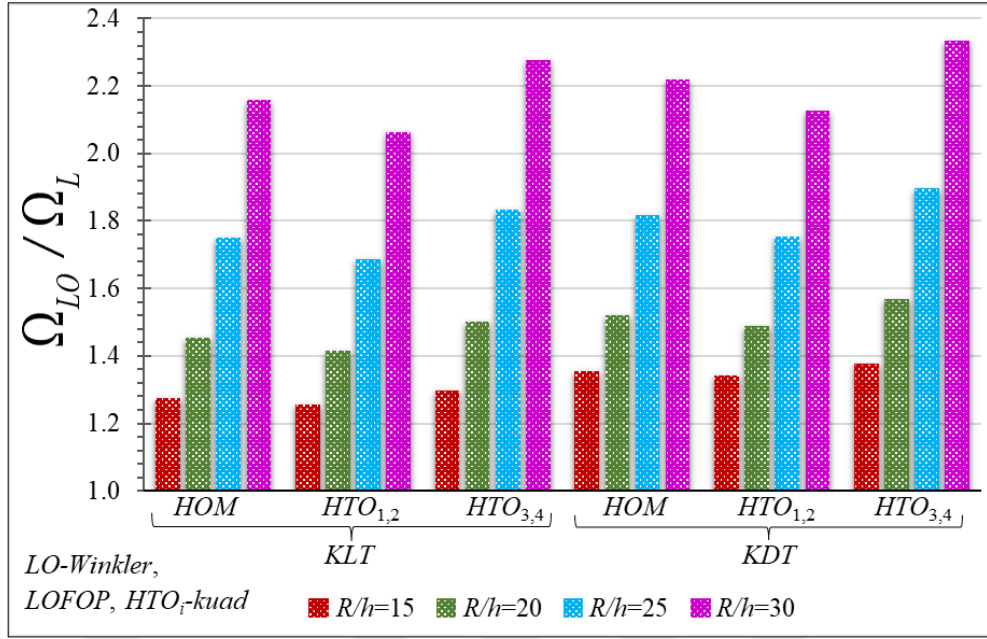
HOM ve HTO_i -kuad ($i=1,2,3,4$) malzemeleri için R/h parametresinin değişiminin LOFOP analizleri incelendiğinde, Şekil 5.58'de verilen zeminsiz durumda; $R/h=20$ olduğunda $R/h=15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %3 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %1 düşüş olmuştur. $R/h=25$ olduğunda $R/h=15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %4.5 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %1.5 düşüş olmuştur. $R/h=30$ olduğunda $R/h=15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %6 düşüş olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %2.5 düşüş olmuştur. Lin-Winkler zemininde; $R/h=20$ olduğunda $R/h=15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %7-10 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %9-11 artış olmuştur. $R/h=25$ olduğunda $R/h=15$ 'e göre KDT kapsamında HOM ve $HTO_{1,2,3,4}$ değerlerinde yaklaşık %23-28 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %26-31 artış olmuştur. $R/h=30$ olduğunda $R/h=15$ 'e göre KDT kapsamında HOM , $HTO_{1,2}$ ve $HTO_{3,4}$ değerlerinde sırasıyla %49.17, %44.67 ve

%54.43 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde sırasıyla %54.1, %49.65 ve %59.3 artış olmuştur.



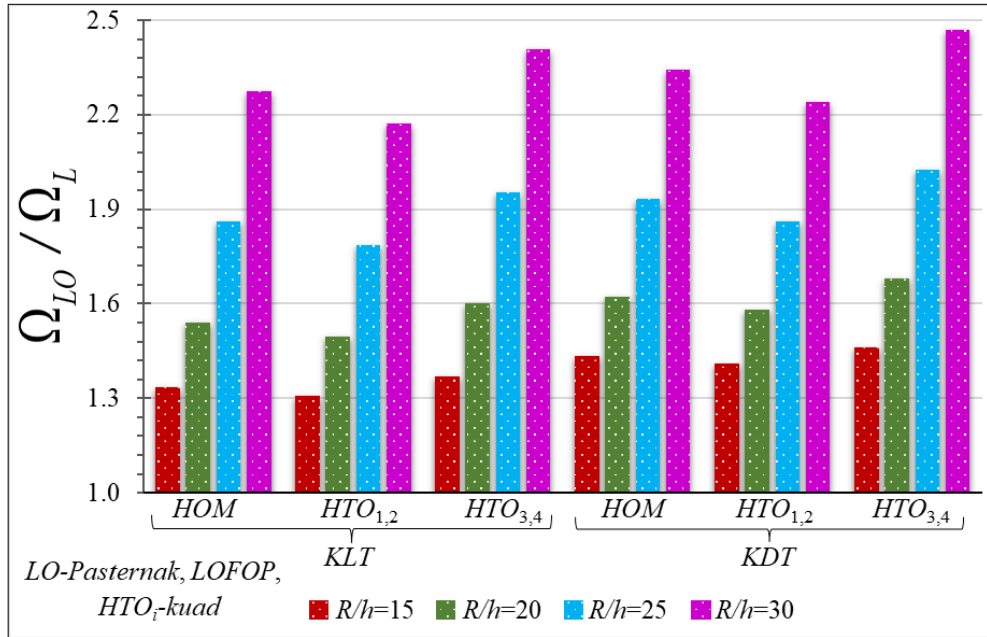
Şekil 5.58 : Zeminsiz ortamdaki *HOM* ve *HTO_i-kuad* malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin R/h değişimine bağlı LOFOP değerleri.

Lin-Pasternak zemininde; $R/h = 20$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında *HOM* ve *HTO_{1,2,3,4}* değerlerinde yaklaşık %8-11 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %11-13 artış olmuştur. $R/h = 25$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında *HOM* ve *HTO_{1,2,3,4}* değerlerinde yaklaşık %25-30 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %29-34 artış olmuştur. $R/h = 30$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında *HOM*, *HTO_{1,2}* ve *HTO_{3,4}* değerlerinde sırasıyla %50.46, %46.42 ve %55.37 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde sırasıyla %56.89, %52.71 ve %61.57 artış olmuştur. Şekil 5.59'da verilen LO-Winkler zemininde; $R/h = 20$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında *HOM* ve *HTO_{1,2,3,4}* değerlerinde yaklaşık %11-13 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %12-15 artış olmuştur. $R/h = 25$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında *HOM* ve *HTO_{1,2,3,4}* değerlerinde yaklaşık %31-37 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %35-41 artış olmuştur. $R/h = 30$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında *HOM*, *HTO_{1,2}* ve *HTO_{3,4}* değerlerinde sırasıyla %63.64, %58.43 ve %69.71 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde sırasıyla %69.47, %64.26 ve %75.56 artış olmuştur. Şekil 5.60'da verilen LO-Pasternak zemininde; $R/h = 20$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında *HOM* ve *HTO_{1,2,3,4}* değerlerinde yaklaşık %12-15 artış olmuştur.



Şekil 5.59 : LO-Winkler zeminindeki *HOM* ve *HTO_i-kuad* malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin R/h değişimine bağlı LOFOP değerleri.

KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %14-17 artış olmuştur. $R/h = 25$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında *HOM* ve *HTO_{1,2,3,4}* değerlerinde yaklaşık %32-38 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde yaklaşık %36-42 artış olmuştur. $R/h = 30$ olduğunda $R/h = 15$ 'e göre KDT kapsamında *HOM*, *HTO_{1,2}* ve *HTO_{3,4}* değerlerinde sırasıyla %63.45, %58.72 ve %68.87 artış olmuştur. KLT'ye göre ise bu değerlerde sırasıyla %70.6, %65.86 ve %76 artış olmuştur.



Şekil 5.60 : LO-Pasternak zeminindeki *HOM* ve *HTO_i-kuad* malzemelerden oluşan ÇTHOSK'lerin R/h değişimine bağlı LOFOP değerleri.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında, lineer olmayan elastik zemin üzerindeki ÇTHOSK'lerin lineer olmayan titreşim davranışı, genişletilmiş kayma deformasyon teorisi kullanılarak incelenmiştir. ÇTHOSK'lerin matematiksel ve görsel modelleri oluşturulduktan sonra onların lineer olmayan elastik zemin modelleri üzerindeki tasarımı yapılmıştır. Temel bağıntıları oluşturmak için homojen anizotropik silindirik kabuklar teorisinin oluşumunda kullanılan temel varsayımlar çok tabakalı heterojen anizotropik elastik silindirik kabuklar için genelleştirilmiştir. Temel bağıntıların oluşturulmasında genişletilmiş kayma deformasyon teorisi, von Kármán tipi lineer olmama ve Donnell tipi kabuk teorisi kullanılmıştır. ÇTHOSK'lerin gerilme–yer değiştirme bağıntıları Hooke kuralı kapsamında formüle edilmiştir. Modifiye edilmiş Donnell tipi kabuk teorisi kapsamında, genişletilmiş kayma deformasyon teorisi varsayımları dikkate alınarak, ÇTHOSK'lerin kuvvet ve moment bileşenleri Airy gerilme fonksiyonu, dönme açıları ve çökme ile ifade edilmiştir. Kuvvet ve moment bağıntıları, genel temel denklemlere ikame edilerek, genişletilmiş kayma deformasyon teorisi kapsamında, lineer olmayan elastik zemin üzerinde bulunan ÇTHOSK'ler için dört adet kısmi türevli diferansiyel denklem elde edilmiştir. Lineer olmayan zemin üzerindeki ÇTHOSK'lerin kenarlarından basit mesnetli olduğu varsayılmıştır. Temel denklemler sistemine Galerkin yöntemi uygulanmış ve ikinci mertebeden zamana bağlı lineer olmayan adi diferansiyel denkleme dönüştürülmüştür. Elde edilen denklemi belirli başlangıç koşullarında çözmek için yarı-ters yöntem uygulanmış ve lineer olmayan elastik zemin üzerinde bulunan ÇTHOSK'lerin frekans-genlik bağıntısı için bulunan analitik ifade elde edilmiştir. Bu ifadeden, zemin etkisi olmadığında, çok tabakalı homojen ve heterojen kompozit silindirik kabukların frekans-genlik bağıntısı için ifadeler özel olarak elde edilmiştir. Mevcut çalışmanın doğruluğu, literatürde mevcut olan diğer çözümlerle karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Tez çalışmasında yeni ve özgün sayısal sonuçlar sunulmuştur. Sayısal hesaplar bilgisayar yazılım programı kullanılarak yapılmıştır.

Analizlerin sonucunda aşağıdaki genel değerlendirmeler yapılmıştır:

- a) Boyutsuz genlik arttıkça, zeminli ve zeminsiz durumlarda homojen, HTO_i -lin ve HTO_i -kuad profilli silindirik kabukların BLOFP değerleri artmakta iken, kayma deformasyonların etkisi sistematik olarak azalmakta ve yüksek genliklerde klasik kabuk teorisi (KLT) sonuçlarına yakınsama eğilimi gözlenmektedir.
- b) Lineer Winkler ve Pasternak zeminleri BLOFP değerlerini belirgin biçimde artırmakta iken, genlik arttıkça zemin etkisi zayıflamaktadır.
- c) Lineer olmayan Winkler ve Pasternak zeminlerinde zemin etkisi genlik artışıyla güçlenerek yüksek genliklerde BLOFP davranışını domine etmektedir.
- d) HTO_i -lin malzeme profilleri, tüm dizilimler ve zemin çeşitleri için homojen duruma kıyasla BLOFP üzerindeki KDT ve zemin etkilerini zayıflatmaktadır.
- e) HTO_i -kuad malzeme profilleri, homojen duruma kıyasla BLOFP üzerinde hem artırıcı hem de azaltıcı yönde etki gösterebilmekte, ancak genel olarak genlik arttıkça HTO etkisinin büyüklüğü azalmaktadır.
- f) Tabaka dizilimi, BLOFP üzerinde belirleyici bir rol oynamakta; çok tabakalı, çapraz ve simetrik dizilimler kayma deformasyonların ve zemin etkisini azaltırken, genlik arttıkça dizilim etkisi önce azalmakta ve bir minimum değer alıp yeniden belirginleşmektedir.
- g) Genel olarak düşük genlik bölgelerinde malzeme heterojenliği ve tabaka dizilimi etkileri baskınken, yüksek genliklerde BLOFP davranışı zemin türü tarafından, özellikle lineer olmayan zemin tarafından domine edilmektedir.
- h) Boyutsuz genlik arttıkça, tüm dizilimler, zemin tipleri ve HOM , HTO_i -lin ve HTO_i -kuad malzeme durumları için LOFOP değerleri artmakta ve bu artışla birlikte kayma deformasyonlarının LOFOP üzerindeki etkisi güçlenmektedir.
- i) Lineer Winkler ve Pasternak zeminleri LOFOP değerlerini özellikle düşük genliklerde belirgin biçimde artırmakla birlikte, genlik arttıkça bu zeminlerin göreceli etkisi hem KDT hem de KLT çerçevesinde azalmaktadır.
- j) Lineer olmayan Winkler ve Pasternak zeminlerinde zemin etkisi genlik artışıyla belirgin biçimde güçlenmekte ve yüksek genlik bölgelerinde LOFOP davranışı lineer olmayan zemin tarafından yönlendirilmektedir.

k) HTO_i -lin malzeme profillerinin LOFOP üzerindeki etkisi, zeminsiz ve zeminli durumlarda genlik artışıyla belirginleşmekte iken, genel olarak zemin etkisine kıyasla daha sınırlı düzeyde kalmaktadır.

l) HTO_i -kuad malzeme profillerinin LOFOP üzerindeki etkisi, zeminsiz ve zeminli tüm durumlarda $HTO_{1,2}$ profillerinde azaltıcı, $HTO_{3,4}$ profillerinde ise artırıcı yönde ortaya çıkmasına rağmen genlik arttıkça heterojenlik etkisinin büyüklüğü sınırlı kalmaktadır.

m) Tabaka dizilimi LOFOP üzerinde kritik bir rol oynamakta; $0^\circ/90^\circ$, $0^\circ/90^\circ/0^\circ$, $90^\circ/0^\circ/90^\circ$ ve $0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ$ gibi çapraz ve simetrik dizilimler genel olarak LOFOP değerlerini düşürücü yönde etki ederken, dizilim etkisi genlik ve zemin tipine bağlı olarak güçlenebilmektedir.

n) Genel olarak düşük genliklerde LOFOP davranışı malzeme heterojenliği ve tabaka dizilimi tarafından domine edilirken, yüksek genliklerde frekans oranı özellikle lineer olmayan zemin tarafından belirlenmektedir.

o) L / R oranının artması, HOM , HTO_i -lin ve HTO_i -kuad malzemeler için tüm zemin koşullarında BLOFP değerlerinde çok belirgin bir azalmaya yol açmakta ve bu azalma zeminsiz durumda en yüksek seviyeye ulaşmaktadır.

p) L / R parametresine bağlı BLOFP düşüşü, KDT ve KLT kapsamında birbirine çok yakın oranlarda gerçekleşmekte, bu durum geometrik incelmenin teoriden bağımsız baskın bir etki olduğunu göstermektedir.

q) Lineer ve lineer olmayan zeminlerde L / R artışının BLOFP üzerindeki azaltıcı etkisi zeminsiz duruma kıyasla daha sınırlı kalırken, lineer olmayan Winkler ve Pasternak zeminlerinde yeniden güçlenmektedir.

r) LOFOP açısından L / R oranının artışı, zeminsiz durumda frekans oranını düşürürken, zeminli durumlarda özellikle lineer ve lineer olmayan zeminlerde LOFOP değerlerinin güçlü biçimde artmasına sağlar.

s) R / h oranının artması, tüm malzeme türleri ve zemin koşulları için BLOFP değerlerini azaltırken zeminsiz ve lineer olmayan zeminlerde daha belirgin hale gelmektedir.

t) BLOFP analizlerinde R / h artışına bağlı azalma, KLT kapsamında KDT'ye kıyasla daha yüksek oranlarda gerçekleşmekte olup, kalınlık etkisinin kayma deformasyonlarıyla doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir.

- u) LOFOP analizlerinde R/h oranının artışı, zeminsiz durumda küçük düşüşlere yol açarken, zeminli durumlarda, özellikle lineer olmayan Winkler ve Pasternak zeminlerinde, LOFOP değerlerini çok güçlü biçimde artırmaktadır.
- v) Genel olarak, L/R oranı BLOFP üzerinde baskın ve azaltıcı bir geometrik parametre iken, R/h oranı özellikle zeminli sistemlerde LOFOP davranışını belirleyen kritik bir boyut parametresi olarak öne çıkmaktadır.
- w) R/h arttıkça tabaka diziliminin BLOFP üzerindeki etkisi belirgin biçimde zayıflamakta, özellikle çapraz ve simetrik dizilimlerde dizilim kaynaklı farklar küçülerek geometrik incelme etkisi baskın hale gelmektedir.
- x) R/h arttıkça tabaka diziliminin LOFOP üzerindeki etkisi zeminli durumlarda güçlenmekte, özellikle lineer olmayan zeminler altında çapraz ve simetrik dizilimlerin frekans oranını daha duyarlı ve belirgin olmaktadır.
- y) L/R arttıkça tabaka diziliminin BLOFP üzerindeki etkisi azalmakta, özellikle uzun ve ince silindirik kabuklarda çapraz ve simetrik dizilimler arasındaki BLOFP farkları küçülmektedir.
- z) L/R arttıkça tabaka diziliminin LOFOP üzerindeki etkisi zeminli durumlarda daha belirgin hale gelmekte, özellikle lineer olmayan zeminler altında çapraz ve simetrik dizilimlerin frekans oranına etkisi artmaktadır.
- aa) L/R arttıkça, BLOFP üzerindeki $HTO_i\text{-lin}$ ve $HTO_i\text{-kuad}$ etkisi düzenli zayıflarken, uzun silindirik kabuklarda burkulma sonrası frekans davranışı homojen kabuk limitine yaklaşmaktadır.
- bb) L/R oranının artması, heterojenlik kaynaklı LOFOP farklarını azaltırken, L/R oranının büyük değerlerinde frekans oranı davranışının heterojenlikten ziyade küresel geometri ve zemin etkileri tarafından belirlendiği görülmektedir.
- cc) R/h arttıkça, BLOFP üzerindeki $HTO_i\text{-lin}$ ve $HTO_i\text{-kuad}$ etkisi belirgin biçimde azalmakta ve ince kabuklarda BLOFP davranışı büyük ölçüde homojen kabuk limitine yaklaşmaktadır.
- dd) R/h 'ın artması, heterojenlik kaynaklı LOFOP farklılıklarını zayıflatırken, zeminli sistemlerde frekans oranı davranışının heterojenlikten ziyade zemin rijitliği ve geometrik incelme tarafından domine edildiğini göstermektedir.

Gerçekleştirilen kapsamlı analizler ve yorumlar, çok tabakalı silindirik kabukların lineer olmayan frekans davranışlarının yalnızca malzeme özellikleriyle değil, geometrik oranlar (R/h ve L/R), zemin koşulları ve heterojenlik profilleriyle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini açık biçimde ortaya koymaktadır. Tez çalışmasında elde edilen sonuçlar, uzun ve ince çok tabakalı kabuklarda heterojenlik ve tabaka dizilimi etkilerinin ikincil hale geldiğini, buna karşılık kısa ve kalın tabakalı kabuklarda bu etkilerin kritik tasarım parametreleri olduğunu göstererek tasarımcıya net bir parametre öncelik haritası sunmaktadır. Çalışmanın en önemli avantajlarından biri, HTO_i -lin ve HTO_i -kuad gibi farklı heterojenlik profillerinin hangi geometrik aralıklarda anlamlı veya ihmal edilebilir olduğunun nicel olarak belirlenmesi, dolayısıyla gereksiz karmaşık malzeme tasarımlarının önüne geçilmesidir. Tez çalışmasında elde edilen teorik bulgular ve analizler, boru hatları, basınçlı kaplar, deniz ve uzay araçları gibi zeminle etkileşimli silindirik sistemlerde, güvenli frekans aralıklarının önceden öngörülebilmesini sağlayarak operasyonel riskleri ve bakım maliyetlerini azaltma potansiyeli taşımaktadır. Akademik yönü ile tez çalışması klasik kabuk teorisi ile kayma deformasyon teorisinin geçerlilik sınırlarını, heterojenlik ve geometri bağlamında netleştirerek literatüre metodolojik ve kavramsal bir katma değer sunmaktadır. Gelecek tasarımlar açısından tezden elde edilen sonuçlar, optimum malzeme gradyanı, tabaka dizilimi ve geometrik oranların birlikte seçilmesine olanak tanıyan akıllı, hafif ve güvenli silindirik kabuk sistemlerinin geliştirilmesi için sağlam bir tasarım rehberi niteliği taşımaktadır.



KAYNAKLAR

- Agamirov, V.L.** (1990). *Dynamic Problems of Nonlinear Shells Theory*. Science Edition, Nauka, Moscow.
- Ahmadi, H.** (2019). Nonlinear primary resonance of imperfect spiral stiffened functionally graded cylindrical shells surrounded by damping and nonlinear elastic foundation, *Engineering with Computers*, 35(4), 1491-1505. <https://doi.org/10.1007/s00366-018-0679-2>.
- Ahmadi, H. ve Foroutan, K.** (2019). Nonlinear vibration of stiffened multilayer FG cylindrical shells with spiral stiffeners rested on damping and elastic foundation in thermal environment, *Thin-Walled Structures*, 145, 106388. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2019.106388>.
- Ahmadi, H. ve Foroutan, K.** (2020). Nonlinear static and dynamic thermal buckling analysis of imperfect multilayer FG cylindrical shells with an FG porous core resting on nonlinear elastic foundation, *Journal of Thermal Stresses*, 43(5), 629–649. <https://doi.org/10.1080/01495739.2020.1727802>.
- Alimoradzadeh, M. ve Akbaş, Ş.D.** (2025). The influence of temperature on nonlinear vibration of laminated composite beams covered by FGM layers embedded on nonlinear viscoelastic foundation subjected to moving load, *Structures*, 73, 108352. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2025.108352>.
- Amabili, M.** (2008). *Nonlinear Vibrations and Stability of Shells and Plates*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511619694>.
- Amabili, M.** (2018). *Nonlinear Mechanics of Shells and Plates in Composite, Soft and Biological Materials*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781316422892>.
- Ambartsumyan, S.A.** (1964). *Theory of Anisotropic Plates; Strength, Stability, Vibration*. Technomic published by Stamford.
- Ambartsumyan, S.A.** (1974). *General Theory of Anisotropic Shells*. Nauka, Moscow.
- Aris, H. ve Ahmadi, H.** (2021). Combination resonance analysis of imperfect functionally graded conical shell resting on nonlinear viscoelastic foundation in thermal environment under multi-excitation, *Journal of Vibration and Control*, 28(15-16), 2121-2144. <https://doi.org/10.1177/10775463211006527>.
- Avey, M., Kadioglu, F., Ahmetolan, S. ve Fantuzzi, N.** (2023). Mathematical modeling and solution of nonlinear vibration problem of laminated

plates with CNT originating layers interacting with two-parameter elastic foundation, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 45, 185. <https://doi.org/10.1007/s40430-023-04016-0>.

Avey, M., Tornabene, F., Aslanova, N.M. ve Sofiyev, A.H. (2024). The application of the modified Lindstedt–Poincaré method to solve the nonlinear vibration problem of exponentially graded laminated plates on elastic foundations, *Mathematics*, 12(5), 749. <https://doi.org/10.3390/math12050749>.

Awrejcewicz, J. ve Krysko, V.A. (2008). *Theory of Non-homogeneous Shells*. In: *Chaos in Structural Mechanics*, Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-77676-5_2.

Awrejcewicz, J., Kudra, G. ve Mazur, O. (2025). Stability and bifurcation analysis of simply supported rectangular nanoplate embedded on visco-Pasternak foundation based on first-order shear deformation theory, *Composite Structures*, 354, 118728. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2024.118728>.

Babaei, H. (2022). Nonlinear analysis of size-dependent frequencies in porous FG curved nanotubes based on nonlocal strain gradient theory, *Engineering with Computers*, 38 (Suppl 3), 1717-1734. <https://doi.org/10.1007/s00366-021-01317-7>.

Babaei, H. ve Eslami, M.R. (2021). Study on nonlinear vibrations of temperature- and size-dependent FG porous arches on elastic foundation using nonlocal strain gradient theory, *European Physical Journal Plus*, 136(24). <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-020-00959-8>.

Bajenov, V.A. (1975). *The Bending of the Cylindrical Shells in an Elastic Medium*. Visha Shkola, Kiev.

Bui, T.T., Vu, M.D., Pham, N.N., Cao, V.D. ve Vu, H.N. (2024). Nonlinear thermo-mechanical dynamic buckling and vibration of FG-GPLRC circular plates and shallow spherical shells resting on the nonlinear viscoelastic foundation, *Archive of Applied Mechanics*, 94, 3715-3729. <https://doi.org/10.1007/s00419-024-02691-6>.

Chang, Y., Wang, Y., Wang, P., Xu, D., Sun, Q. ve Gu, Y. (2025). Free vibration analysis of FG-GOPRPC double cylindrical shells coupled structure surrounded by the non-uniform elastic foundation under arbitrary boundary conditions, *Archive of Applied Mechanics*, 95, 127. <https://doi.org/10.1007/s00419-025-02836-1>.

Chen, HY., Ding, H. ve Chen, LQ. (2024a). Coupling Vibration of a Moving Oscillator with a Sandwich Plate on Nonlinear Foundations, *Journal of Vibration Engineering & Technologies*, 12(7), 7611-7620. <https://doi.org/10.1007/s42417-024-01315-1>.

Chen, HY., Li, W. ve Shi, HT. (2024b). Coupled response of sandwich beams on the nonlinear foundation under Galerkin truncation convergence criterion, *International Journal of Dynamics and Control*, 12(7), 2144-2154. <https://doi.org/10.1007/s40435-023-01380-6>.

- Chien, RD. ve Chen, CS.** (2005). Nonlinear vibration of laminated plates on a nonlinear elastic foundation, *Composite Structures*, 70(1), 90-99. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2004.08.015>.
- Dai, L. ve Foroutan, K.** (2025). Sub-harmonic and super-harmonic resonances of spiral stiffened FG cylindrical panels of variable thickness embedded within a nonlinear elastic foundation, *Journal of Vibration and Control*, 31(3-4), 412-430. <https://doi.org/10.1177/10775463231226344>.
- Dai, Z., Tang, H., Wu, S., Habibi, M., Moradi, Z. ve Ali, H.E.** (2023). Nonlinear consecutive dynamic instabilities of thermally shocked composite circular plates on the softening elastic foundation, *Thin-Walled Structures*, 186, 110645. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2023.110645>.
- Dong D.T., Nam V.H., Trung N.T., Phuong N.T. ve Hung V.T.** (2020). Nonlinear thermomechanical buckling of sandwich FGM oblique stiffened plates with nonlinear effect of elastic foundation, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 35(10), 1441-1467. <https://doi.org/10.1177/0892705720935957>.
- Eslami, M.R.** (2018). *Buckling and Postbuckling of Beams, Plates, and Shells. Structural Integrity 1*. Springer International Publishing, Cham, Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-62368-9>.
- Foroutan, K. ve Dai, L.** (2023). Static and dynamic thermal post-buckling analysis of imperfect sigmoid FG cylindrical shells resting on a non-uniform elastic foundation, *European Journal of Mechanics-A/Solids*, 97, 104770. <https://doi.org/10.1016/j.euromechsol.2022.104770>.
- Foroutan, K. ve Dai, L.** (2024). Nonlinear free and forced vibrations of oblique stiffened porous FG shallow shells embedded in a nonlinear elastic foundation, *Structural Engineering and Mechanics*, 89(1), 33–46. <https://doi.org/10.12989/sem.2024.89.1.033>.
- Foroutan, K., Shaterzadeh, A. ve Ahmadi, H.** (2020). Static and dynamic postbuckling analysis of imperfect SSFG cylindrical shells surrounded by nonlinear elastic foundation subjected to an axial compression, *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 29(12), 1769–1781. <https://doi.org/10.1080/15376494.2020.1838674>.
- Foroutan, K., Varedi-Koulaei, S.M., Duc, N.D. ve Ahmadi, H.** (2022). Non-linear static and dynamic buckling analysis of laminated composite cylindrical shell embedded in non-linear elastic foundation using the swarm-based metaheuristic algorithms, *European Journal of Mechanics-A/Solids*, 91, 104420. <https://doi.org/10.1016/j.euromechsol.2021.104420>.
- Giang, N.T. ve Phuong, D.L.** (2022). New finite modelling of the nonlinear static bending analysis of piezoelectric FG sandwich plates resting on nonlinear elastic foundations, *Comptes Rendus. Mécanique*, 350, 99-119. <https://doi.org/10.5802/crmeca.106>.

- Gorbunov-Possadov, M.I., Malikova, T.A. ve Solomin, V.I.** (1984). *Design of Structures on Elastic Foundation*. Gos. Izd. Lit. po Stroitu i Arkh. (Strojizdat), Moscow.
- Grigorenko, Ya.M., Vasilenko, A.T. ve Pankratova, N.D.** (1991). *Elasticity Theory Problems for Heterogeneous Bodies* [in Russian]. Naukova Dumka, Kiev.
- Haciyev, V.C., Sofiyev, A.H. ve Kuruoglu, N.** (2019). On the free vibration of orthotropic and inhomogeneous with spatial coordinates plates resting on the inhomogeneous viscoelastic foundation, *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 26(10), 886-897. <https://doi.org/10.1080/15376494.2018.1430271>.
- He, J.H.** (2004). Variational principles for some nonlinear partial differential equations with variable coefficients, *Chaos, Solitons & Fractals*, 19(4), 847-851. [https://doi.org/10.1016/S0960-0779\(03\)00265-0](https://doi.org/10.1016/S0960-0779(03)00265-0).
- Hoang, V.N.V., Thanh, P.T. ve Toledo, L.** (2024). Impact of non-homogeneous Winkler–Pasternak foundation on nonlinear dynamic characteristics of fluid-conveying functionally graded cylindrical shells, *Ocean Engineering*, 307, 118123. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.118123>.
- Hsu, M.H.** (2010). Vibration analysis of orthotropic rectangular plates on elastic foundations, *Composite Structures*, 92(4), 844-852. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2009.09.015>.
- Javani, M., Kiani, Y. ve Eslami, M.R.** (2021). Geometrically nonlinear free vibration of FG-GPLRC circular plate on the nonlinear elastic foundation, *Composite Structures*, 261, 113515. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.113515>.
- Karim, F., Khalid, A. ve Laila, M.** (2025). Analysis of the mechanical behavior of functional gradient porous plates on an elastic foundation, *Scientific African*, e02823. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2025.e02823>.
- Kieback, B.A., Neubrand, A. ve Riedel, H.** (2003). Processing techniques for functionally graded materials, *Materials Science and Engineering: A*, 362(1–2), 81-106. [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(03\)00578-1](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(03)00578-1).
- Kolchin, A.S. ve Favarion, E.A.** (1977). *Theory of Elasticity of Inhomogeneous Bodies*. USSR, Chisinau, 146.
- Kumar, P. ve Aimanee, S.** (2025). Thermoelectrical vibration and bending analysis of multidirectional functionally graded circular piezoelectric porous sigmoid plate resting on variable elastic foundations, *International Journal of Mechanics and Materials in Design*. <https://doi.org/10.1007/s10999-025-09779-z>.
- Kumar, V., Singh, S.J., Saran, V.H. ve Harsha, S.P.** (2022). Vibration analysis of the rectangular FG materials plate with variable thickness on Winkler-Pasternak-Kerr elastic foundation, *Materials Today: Proceedings*, 62, Part 1, 184-190. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.615>.
- Kurpa, L.V., Lyubitskaya, E.I. ve Morachkovskaya, I.O.** (2010). The R-function method used to solve nonlinear bending problems for orthotropic

- shallow shells on an elastic foundation, *International Applied Mechanics*, 46(6), 660-668. <https://doi.org/10.1007/s10778-010-0353-x>.
- Lakis, A.A., Selmane, A. ve Toledano, A.** (1998). Non-linear free vibration analysis of laminated orthotropic cylindrical shells, *International Journal of Mechanical Sciences*, 40(1), 27-49. [https://doi.org/10.1016/S0020-7403\(97\)00029-5](https://doi.org/10.1016/S0020-7403(97)00029-5).
- Leissa, A.W.** (1973). *Vibration of shells; Scientific and Technical Information Office, National Aeronautics and Space Administration*. Washington, DC, USA.
- Li, Z.M. ve Qiao, P.** (2014). Nonlinear vibration analysis of geodesically-stiffened laminated composite cylindrical shells in an elastic medium, *Composite Structures*, 111, 473-487. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2014.01.022>.
- Lohar, H., Dutta, G. ve Mitra, A.** (2023). Nonlinear free vibration of statically deformed axially functionally graded beam embedded on Pasternak foundation, *Materials Today: Proceedings*, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.352>.
- Lomakin, V.A.** (1976). *Theory of Elasticity of Inhomogeneous Bodies*. Moscow University, Moscow.
- Long, V.T. ve Tung, H.V.** (2021). Postbuckling responses of porous FGM spherical caps and circular plates including edge constraints and nonlinear three parameter elastic foundations, *Mechanics Based Design of Structures and Machines*, 51(8), 4214-4236. <https://doi.org/10.1080/15397734.2021.1956327>.
- Lugovyi, P.Z., Sirenko, V.M., Kotenko, K.E. ve Lugovyi, M.P.** (2024). Dynamics of Three-Layer Inhomogeneous Cylindrical Shells on Elastic Foundation Under Nonstationary Loadings, *International Applied Mechanics*, 60, 279-290. <https://doi.org/10.1007/s10778-024-01281-x>.
- Luo, Y.F. ve Teng, J.G.** (1998). Stability analysis of shells of revolution on nonlinear elastic foundations, *Computers & Structures*, 69(4), 499-511. [https://doi.org/10.1016/S0045-7949\(98\)00121-7](https://doi.org/10.1016/S0045-7949(98)00121-7).
- Malekzadeh, P. ve Farid, M.** (2007). A DQ large deformation analysis of composite plates on nonlinear elastic foundations, *Composite Structures*, 79(2), 251-260. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2006.01.004>.
- Mirzaei, M. ve Ebadi, S.** (2025). Large Amplitude Oscillations in Suddenly Heated Heterogeneous Annular Plates Resting on an Elastic Medium, *Journal of Vibration Engineering & Technologies*, 13, 14. <https://doi.org/10.1007/s42417-024-01705-5>.
- Najafov, A.M., Sofiyev, A.H., Hui, D., Karaca, Z., Kalpakci, V. ve Ozelik, M.** (2014). Stability of EG cylindrical shells with shear stresses on a Pasternak foundation, *Steel and Composite Structures*, 17(4), 453-470. <https://doi.org/10.12989/scs.2014.17.4.453>.

- Nesterenko, V.F.** (2001). *Dynamics of Heterogeneous Materials*. Springer-Verlag, New York.
- Nie, G.H.** (2001). Asymptotic buckling analysis of imperfect shallow spherical shells on non-linear elastic foundation, *International Journal of Mechanical Sciences*, 43(2), 543-555. [https://doi.org/10.1016/S0020-7403\(99\)00118-6](https://doi.org/10.1016/S0020-7403(99)00118-6).
- Nowinski, J.L.** (1963). Nonlinear transverse vibrations of orthotropic cylindrical shells, *AIAA Journal*, 1(3), 617-620. <https://doi.org/10.2514/3.1604>.
- Olszak, W.** (1959). (Ed.), *Non-Homogeneity in Elasticity and Plasticity. Symposium, Warsaw, September 2-9, 1958*. Pergamon Press.
- Ootao, Y. ve Tanigawa, Y.** (2007). Three-dimensional solution for transient thermal stresses of an orthotropic functionally graded rectangular plate, *Composite Structures*, 80(1), 10-20. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2006.02.028>.
- Paliwal, D.N., Kanagasabapathy, H. ve Gupta, K.M.** (1995). The large deflection of an orthotropic cylindrical shell on a Pasternak foundation, *Composite Structures*, 31(1), 31-37. [https://doi.org/10.1016/0263-8223\(94\)00068-9](https://doi.org/10.1016/0263-8223(94)00068-9).
- Pan, E.** (2003). Exact solution for functionally graded anisotropic elastic composite laminates, *Journal of Composite Materials*, 37, 1903-1920. <https://doi.org/10.1177/002199803035565>.
- Pasternak, P.L.** (1954). *On a New Method of an Elastic Foundation by Means of Two Foundation Constants*. Gosstroyizdat, Moscow.
- Pirbodaghi, T., Fesanghary, M. ve Ahmadian, M.T.** (2011). Non-linear vibration analysis of laminated composite plates resting on non-linear elastic foundations, *Journal of the Franklin Institute*, 348(2), 353-368. <https://doi.org/10.1016/j.jfranklin.2010.12.002>.
- Prado, Z. del, Gonçalves, P.B. ve Païdoussis, M.P.** (2010). Non-linear vibrations and instabilities of orthotropic cylindrical shells with internal flowing fluid, *International Journal of Mechanical Sciences*, 52(11), 1437-1457. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2010.03.016>.
- Qatu, M.S.** (2004). *Vibration of Laminated Shells and Plates*. Elsevier, Oxford.
- Quyen, N.V. ve Duc, N.D.** (2022). Vibration and nonlinear dynamic response of nanocomposite multi-layer solar panel resting on elastic foundations, *Thin-Walled Structures*, 177, 109412. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2022.109412>.
- Ragb, O., Elkhalek, M.A., Matbuly, M.S., Salah, M., Eltaher, M. ve Osman, T.** (2024). Nonlinear vibration of laminated piezoelectric layered plates with nonlinear viscoelastic support using different DQM techniques, *Steel and Composite Structures*, 53(1), 1-27. <https://doi.org/10.12989/scs.2024.53.1.001>.
- Reddy, J.N.** (2004). *Mechanics of Laminated Composite Plates and Shells: Theory and Analysis*. CRC Press, New York.

- Rezaee, M. ve Jahangiri, R.** (2025). Chaotic dynamics of supersonic fluttering porous FG-plate on a nonlinear Pasternak foundations under sub-harmonic resonance, *Mechanics Based Design of Structures and Machines*, 1–39. <https://doi.org/10.1080/15397734.2025.2507793>.
- Shen, HS.** (1995). Postbuckling analysis of orthotropic rectangular plates on nonlinear elastic foundations, *Engineering Structures*, 17(6), 407-412. [https://doi.org/10.1016/0141-0296\(95\)00043-7](https://doi.org/10.1016/0141-0296(95)00043-7).
- Shen, HS.** (2009). *Functionally Graded Materials: Nonlinear Analysis of Plates and Shells*. CRC Press, Florida.
- Shen, HS. ve Williams, F.W.** (1995). Postbuckling analysis of imperfect composite laminated plates on non-linear elastic foundations, *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 30(5), 651-659. [https://doi.org/10.1016/0020-7462\(95\)00034-L](https://doi.org/10.1016/0020-7462(95)00034-L).
- Shen, HS. ve Williams, F.W.** (1997). Thermal postbuckling analysis of imperfect laminated plates on softening non-linear elastic foundations, *Composites Science and Technology*, 57(7), 719-728. [https://doi.org/10.1016/S0266-3538\(97\)00027-4](https://doi.org/10.1016/S0266-3538(97)00027-4).
- Shen, HS. ve Yang, DQ.** (2014). Nonlinear vibration of anisotropic laminated cylindrical shells with piezoelectric fiber reinforced composite actuators, *Ocean Engineering*, 80, 36-49. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2014.01.016>.
- Sobhy, M.** (2025). A comprehensive nonlinear analysis of asymmetric nanocomposite sandwich beams with a negative Poisson's ratio core on nonlinear elastic foundation under hygrothermal conditions, *ZAMM Journal of Applied Mathematics & Mechanics / Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik*, 105(5), 1–26. <https://doi.org/10.1002/zamm.70045>.
- Soldatos, K.P. ve Shu, X.** (1999). On the stress analysis of cross-ply laminated plates and shallow shell panels, *Composite Structures*, 46(4), 333-344. [https://doi.org/10.1016/S0263-8223\(99\)00061-6](https://doi.org/10.1016/S0263-8223(99)00061-6).
- Sofiyev, A.H.** (2016). Large amplitude vibration of FGM orthotropic cylindrical shells interacting with the nonlinear Winkler elastic foundation, *Composites Part B: Engineering*, 98, 141-150. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.05.018>.
- Sofiyev, A.H. ve Kuruoglu, N.** (2011). Natural frequency of laminated orthotropic shells with different boundary conditions and resting on the Pasternak type elastic foundation, *Composites Part B: Engineering*, 42(6), 1562-1570. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2011.04.015>.
- Sofiyev, A.H. ve Kuruoglu, N.** (2014). Combined influences of shear deformation, rotary inertia and heterogeneity on the frequencies of cross-ply laminated orthotropic cylindrical shells, *Composites Part B: Engineering*, 66, 500-510. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.06.015>.
- Sofiyev, A.H. ve Kuruoglu, N.** (2017). Combined effects of transverse shear stresses and nonlinear elastic foundations on the nonlinear dynamic response of

- heterogeneous orthotropic cylindrical shells, *Composite Structures*, 166, 153-162. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.01.058>.
- Sofiyev, A.H. ve Schnack, E.** (2003). The buckling of cross-ply laminated non-homogeneous orthotropic composite conical thin shells under a dynamic external pressure, *Acta Mechanica*, 162(1), 29-40. <https://doi.org/10.1007/s00707-002-1001-2>.
- Sofiyev, A.H., Karaca, Z. ve Zerín, Z.** (2017). Non-linear vibration of composite orthotropic cylindrical shells on the non-linear elastic foundations within the shear deformation theory, *Composite Structures*, 159, 53-62. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.09.048>.
- Sofiyev, A.H., Omurtag, M.H. ve 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(3-5), 963-983. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2008.06.033>.
- Sofiyev, A.H., Schnack, E., Hacıyev, V.C. ve Kuruoğlu, N.** (2012). Effect of the two-parameter elastic foundation on the critical parameters of nonhomogeneous orthotropic shells, *International Journal of Structural Stability and Dynamics*, 12(05), 1250041. <https://doi.org/10.1142/S0219455412500411>.
- Sun, S., Guo, C., Feng, W. ve Cao, D.** (2022). Nonlinear vibration analysis of CNT-reinforced functionally graded composite cylindrical shells resting on elastic foundations, *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 143, 104037. <https://doi.org/10.1016/j.ijnonlinmec.2022.104037>.
- Thai, HT. ve Kim, SE.** (2012). Levy-type solution for free vibration analysis of orthotropic plates based on two variable refined plate theory, *Applied Mathematical Modelling*, 36(8), 3870-3882. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2011.11.003>.
- Tornabene, F. ve Reddy, J.N.** (2013). FGM and laminated doubly-curved and degenerate shells resting on nonlinear elastic foundations: a GDQ solution for static analysis with a posteriori stress and strain recovery, *Journal of Indian Institute of Science*, 93(4), 635-688.
- Tornabene, F., Fantuzzi, N., Baccocchi, M. ve Reddy, J.N.** (2017). A posteriori stress and strain recovery procedure for the static analysis of laminated shells resting on nonlinear elastic foundation, *Composites Part B: Engineering*, 126, 162-191. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.06.012>.
- Torquato, S.** (2002). *Random Heterogeneous Materials: Microstructure and Macroscopic Properties*. Springer-Verlag, New York.
- Tu, B.T., Dong, D.T., Duc, V.M. ve Nam, V.H.** (2024). Nonlinear buckling and postbuckling response of porous fgm shallow spherical caps and circular plates with nonlinear elastic foundation effects using the ritz energy method, *Mechanics of Composite Materials*, 60(3), 417-432. <https://doi.org/10.1007/s11029-024-10200-7>.
- Tung, H.V. ve Thinh, N.V.** (2025). Nonlinear free vibration of geometrically imperfect porous FGM shell panels on nonlinear foundations including

- elastic edge restraints and elevated temperatures, *Acta Mechanica*, 236, 1091–1115. <https://doi.org/10.1007/s00707-024-04207-3>.
- Vlasov, V.Z. ve Leontiev, N.N.** (1960). *Beams, Plates and Shells on Elastic Foundations* [in Russian]. Fizmatgiz Publishers, Moscow.
- Vol'mir, A.S.** (1967). *Stability of Elastic Systems*. Nauka, Moscow.
- Vol'mir, A.S.** (1972). *Nonlinear Dynamics of Plates and Shells* [in Russian]. Nauka, Moscow.
- Wang, Q., Shi, D. ve Shi, X.** (2016). A modified solution for the free vibration analysis of moderately thick orthotropic rectangular plates with general boundary conditions, internal line supports and resting on elastic foundation, *Meccanica*, 51, 1985–2017. <https://doi.org/10.1007/s11012-015-0345-3>.
- Yang, Y., Wang, X., Zhao, H., Wang, C., Cheng, C. ve Das, R.** (2025). Influence of Porosity on Vibration of Porous FG Plates Resting on an Arbitrarily Orthotropic Winkler-Pasternak Foundation by PDDO, *Acta Mechanica Solida Sinica*, 38, 142–151. <https://doi.org/10.1007/s10338-024-00539-8>.
- Yu, Q., Xiao, J.F. ve Xu, H.** (2024). Three-dimensional hygro-thermo-mechanical bending analysis of anisotropic skewed parallelogram plates on a tri-parameter foundation using a wavelet method, *Thin-Walled Structures*, 201, 112006. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2024.112006>.
- Zhang, P., Meng, Z., Wei, H. ve Liu, N.** (2023). An analytical investigation on the nonlinear vibration behavior of a new hybrid laminated nanocomposite cylindrical shell resting on the three-parameter nonlinear substrate, *Journal of Vibration Engineering & Technologies*, 12, 77–96. <https://doi.org/10.1007/s42417-022-00829-w>.
- Zhou, D., Cheung, Y.K., Lo, S.H. ve Au, F.T.K.** (2004). Three-dimensional vibration analysis of rectangular thick plates on Pasternak foundation, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 59(10), 1313–1334. <https://doi.org/10.1002/nme.915>.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Tarkan Vergül

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü.
- **Yüksek Lisans** : 2020, Düzce Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İnşaat Mühendisliği Programı.

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2019-devam ediyor, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Araştırma Görevlisi.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Vergül, T., Avey, A.** (2025). Nonlinear Vibration Behavior of Multilayered Exponentially Graded Izotropic Cylindrical Shells on Nonlinear Elastic Foundations. *International Congress on New Trends in Mechanics*, September 02-05, Baku, Azerbaijan.
- **Sofiyev, A.H., Vergül, T., Kadioğlu, F.** (2025). Nonlinear Vibration of Multilayer Nonhomogeneous Moderately-Thick Cylindrical Shells on Three-Parameter Nonlinear Foundations, *Journal of Applied and Computational Mechanics* (in press). <https://doi.org/10.22055/jacm.2025.48952.5620>.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Sofiyev, A., Vergül, T., Khalilov, I.** (2024). Vibration Behaviour of Shear Deformable Laminated Plates Composed of Non-Homogeneous Layers, *Journal of Computational Applied Mechanics*, 55(2), 201-208. <https://doi.org/10.22059/jcamech.2024.373173.985>.
- **Sofiyev, A., Kaya, Ü., Vergül, T., Hasanov, Y.** (2023). Karbon Nanotüp Desenli Polimer Plakların Stabilitésinin Kayma Deformasyon Teorisi Çerçevesinde Araştırılması. 23. *Ulusal Mekanik Kongresi*, 4-8 Eylül, Konya, Türkiye.
- **Sofiyev, A.H., Kadioglu, F., Khalilov, I.A., Sedighi, H.M., Vergül, T., Yenialp, R.** (2022). On the Torsional Buckling Moment of Cylindrical Shells Consisting of Functionally Graded Materials Resting on the Pasternak-Type Soil, *SOCAR Proceedings*, (1), 16-22. <https://doi.org/10.5510/ogp2022si100695>.