

T.C.  
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**YAPAY ZEKA TEKNİĞİYLE FONKSİYONEL DERECELENDİRİLMİŞ  
TABAKALARDAKİ TEMAS PROBLEMİNİN ANALİZİ**

**Fatih KAYA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Anabilim Dalı. İnşaat Mühendisliği**

**DANIŞMAN**  
**Doç. Dr. Alper POLAT**

**TUNCELİ-2023**

T.C.  
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YAPAY ZEKA TEKNİĞİYLE FONKSİYONEL DERECELENDİRİLMİŞ  
TABAKALARDAKİ TEMAS PROBLEMİNİN ANALİZİ

Fatih KAYA  
(200150013)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Anabilim Dalı. İnşaat Mühendisliği

DANIŞMAN  
Doç. Dr. Alper POLAT

TUNCELİ-2023

T.C.  
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YAPAY ZEKA TEKNİĞİYLE FONKSİYONEL DERECELENDİRİLMİŞ  
TABAKALARDAKİ TEMAS PROBLEMİNİN ANALİZİ

Fatih KAYA  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 20/06/2023 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

İmza

Doç. Dr. Özal YILDIRIM  
(Fırat Üniversitesi)

BAŞKAN

İmza

Doç. Dr. Alper POLAT  
(Munzur Üniversitesi)

DANIŞMAN

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Berivan  
YILMAZER POLAT  
(Munzur Üniversitesi)

ÜYE

Bu tez, Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Doç. Dr. Murat KORUNUR  
Enstitü Müdürü

**NOT:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı "Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu"ndaki hükümlere tabidir.

20/06/2023

## ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

İmza  
Fatih KAYA

Danışman  
Doç. Dr. Alper POLAT

## TEŞEKKÜR

Tüm araştırmalarım boyunca bana yol gösteren, her daim destekleyen, bilgi ve birikimlerini her konuda paylaşan çok değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Alper POLAT'a teőekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın her aşamasında bilgi ve deneyimlerini esirgemedен paylaşan saygı değer hocalarım Sn. Doç. Dr. Özal YILDIRIM, Sn. Dr. Öğr. Üyesi Berivan YILMAZER POLAT ve Sn. Arş. Gör. Yusuf KAYA' ya teşekkür ederim.

Araştırmalarımın her aşamasında birlikte çalıştığım, çok değerli yol arkadaşlarım Müslüm ÇOLAK ve Taha POLAT'a teőekkürü bir borç bilirim.

Yaşantım boyunca her daim maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve arkadaşlarıma teőekkürlerimi sunarım.

**Fatih KAYA**  
**TUNCELİ - 2023**

## İÇİNDEKİLER

<b>ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ</b> .....	<b>I</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>II</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>III</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>IV</b>
<b>TABLolar LİSTESİ</b> .....	<b>VII</b>
<b>SEMBOLLER LİSTESİ</b> .....	<b>IX</b>
<b>KISALTMALAR LİSTESİ</b> .....	<b>X</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>XI</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XII</b>
<b>1. GENEL BİLGİLER</b> .....	<b>1</b>
1.1. Giriş.....	1
1.2. Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzemeler .....	1
1.3. Yapay Zeka Teknikleri.....	2
1.3.1. Uzman sistemler .....	2
1.3.2. Genetik algoritmalar (GA) .....	3
1.3.3. Bulanık mantık (Fuzzy logic).....	4
1.3.4. Destek vektör makineleri (DVM).....	4
1.3.5. Yapay sinir ağları (YSA).....	5
1.3.6. Derin öğrenme (Deep learning).....	6
1.4. Literatür Araştırması .....	7
1.4.1. Çalışmanın amacı ve kapsamı .....	13
<b>2. YAPILAN ÇALIŞMALAR</b> .....	<b>15</b>
2.1. Problemin Tanımı ve Sınır Şartları .....	15
2.2. Problemin Sonlu Elemanlar Metodu ile Çözümü.....	16
<b>3. BULGULAR VE İRDELEME</b> .....	<b>18</b>
3.1. Sürekli Temas Çözümleri.....	18
3.1.1. Bloklar altındaki temas gerilmelerinin incelenmesi.....	18
3.1.2. Fonksiyonel derecelendirilmiş tabakalar arasındaki ilk ayrılma yükleri ve uzaklıklarının incelenmesi.....	22
3.1.3. Derinlik boyunca gerilmelerin incelenmesi .....	30
3.2. Süreksiz Temas Çözümleri.....	40
3.3. Süreksiz Temas Probleminin Yapay Zeka Yöntemi ile Çözümü.....	46
3.3.1. Veri setinin incelenmesi .....	46
3.3.2. Lineer regresyon ile ayrılma başlangıç ve bitiş noktalarının tahminin yapılması. 54	
3.3.3. Polinom regresyon ile ayrılma başlangıç ve bitiş noktalarının tahminin yapılması..	
.....	60
3.3.4. Derin sinir ağı (DSA) ile ayrılma başlangıç ve bitiş noktalarının tahminin yapılması	
.....	66
<b>4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b> .....	<b>75</b>
<b>5. KAYNAKLAR</b> .....	<b>79</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Yapay sinir ağı örneği .....	6
Şekil 2.1.	Temas probleminin geometrisi ve yükleme durumu.....	15
Şekil 2.2.	Problemin serbest üçgen ağırlara bölme işlemi .....	16
Şekil 2.3.	ANSYS sonlu elemanlar modeli .....	17
Şekil 3.1.	1. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta_{h1}$ ) değişimine göre bloklar altındaki temas gerilme dağılımları ( $a/h=3$ , $(b-a)/h=1$ , $(c-b)/h=2$ , $(d-c)/h=1$ , $Q=2P$ , $\beta_{h2}=0.0001$ , $\gamma_{h1}=1.3863$ , $\gamma_{h2}=0.0001$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ , $y=2$ ) .....	20
Şekil 3.2.	2. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta_{h2}$ ) değişimine göre bloklar altındaki temas gerilme dağılımları ( $a/h=3$ , $(b-a)/h=1$ , $(c-b)/h=2$ , $(d-c)/h=1$ , $Q=2P$ , $\beta_{h1}=0.0001$ , $\gamma_{h1}=\gamma_{h2}=0.0001$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ , $y=2$ ) .....	20
Şekil 3.3.	1. blok genişliği ( $(b-a)/h$ ) değişimine göre bloklar altındaki temas gerilme dağılımları ( $a/h=3$ , $(c-b)/h=2$ , $(d-c)/h=1$ , $Q=2P$ , $\beta_{h1}=\beta_{h2}=1.3863$ , $\gamma_{h1}=\gamma_{h2}=1.3863$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ , $y=2$ ) .....	21
Şekil 3.4.	2. blok genişliği ( $(d-c)/h$ ) değişimine göre bloklar altındaki temas gerilme dağılımları ( $a/h=3$ , $(c-b)/h=2$ , $(d-c)/h=1$ , $Q=2P$ , $\beta_{h1}=\beta_{h2}=0.693148$ , $\gamma_{h1}=\gamma_{h2}=0.693148$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ , $y=2$ ) .....	21
Şekil 3.5.	Bloklar arasındaki mesafe ( $(c-b)/h$ ) değişimine göre bloklar altındaki temas gerilme dağılımları ( $a/h=3$ , $(c-b)/h=2$ , $(d-c)/h=1$ , $Q=2P$ , $\beta_{h1}=\beta_{h2}=1.3863$ , $\gamma_{h1}=\gamma_{h2}=1.3863$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ , $y=2$ ) .....	22
Şekil 3.6.	Bloklar arasındaki mesafe ( $(c-b)/h$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz $\sigma_{1y}(x,h)/P/h$ temas gerilmesi dağılımı ( $a/h=3$ , $(b-a)/h=1$ , $(d-c)/h=1$ , $Q=2P$ , $\beta_{h1}=\beta_{h2}=1.3863$ , $\gamma_{h1}=\gamma_{h2}=1.3863$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ , $y=1$ )..	26
Şekil 3.7.	1. blok genişliği ( $(b-a)/h$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz $\sigma_{1y}(x,h)/P/h$ temas gerilmesi dağılımı ( $a/h=3$ , $(c-b)/h=2$ , $(d-c)/h=1$ , $Q=2P$ , $\beta_{h1}=\beta_{h2}=1.3863$ , $\gamma_{h1}=\gamma_{h2}=1.3863$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ , $y=1$ ).....	27
Şekil 3.8.	2. blok genişliği ( $(d-c)/h$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz $\sigma_{1y}(x,h)/P/h$ temas gerilmesi dağılımı ( $a/h=3$ , $(b-a)/h=1$ , $(c-b)/h=2$ , $Q=2P$ , $\beta_{h1}=\beta_{h2}=1.3863$ , $\gamma_{h1}=\gamma_{h2}=1.3863$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ , $y=1$ ).....	27
Şekil 3.9.	1. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta_{h1}$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz $\sigma_{1y}(x,h)/P/h$ temas gerilmesi dağılımı ( $a/h=3$ , $(b-a)/h=1$ , $(c-b)/h=2$ , $(d-c)/h=1$ , $Q=2P$ , $\beta_{h2}=1.3863$ , $\gamma_{h1}=\gamma_{h2}=1.3863$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ , $y=1$ ) .....	28
Şekil 3.10.	2. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta_{h2}$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz $\sigma_{1y}(x,h)/P/h$ temas gerilmesi dağılımı ( $a/h=3$ , $(b-a)/h=1$ , $(c-b)/h=2$ , $(d-c)/h=1$ , $Q=2P$ , $\beta_{h1}=1.3863$ , $\gamma_{h1}=\gamma_{h2}=1.3863$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ , $y=1$ ) .....	28
Şekil 3.11.	1. tabaka yoğunluk parametresi ( $\gamma_{h1}$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz $\sigma_{1y}(x,h)/P/h$ temas gerilmesi dağılımı ( $a/h=3$ , $(b-a)/h=1$ , $(c-b)/h=2$ , $(d-c)/h=1$ , $Q=2P$ , $\beta_{h1}=\beta_{h2}=1.3863$ , $\gamma_{h2}=1.3863$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ , $y=1$ ) .....	29
Şekil 3.12.	Yük oranı değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz $\sigma_{1y}(x,h)/P/h$ temas gerilmesi dağılımı ( $a/h=3$ , $(b-a)/h=1$ , $(c-b)/h=2$ , $(d-c)/h=1$ , $\beta_{h1}=\beta_{h2}=0.693148$ , $\gamma_{h1}=0.693148$ , $\gamma_{h2}=2.0794$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ , $y=1$ ) ..	29
Şekil 3.13.	Sürekli temas durumu için temas gerilmesi dağılımının ANSYS gösterimi ( $a/h=3$ , $(b-a)/h=1$ , $(c-b)/h=2$ , $(d-c)/h=1$ , $Q=1.5P$ , $\beta_{h1}=\beta_{h2}=0.693148$ , $\gamma_{h1}=0.693148$ , $\gamma_{h2}=2.0794$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ , $y=1$ ) .....	30

- Şekil 3.14.** 1. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta_{h1}$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_x(3.5,y)/P/h$  temas gerilmesi dağılımının FD tabakaların derinliği boyunca analizi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta_{h2}=0.0001$ ,  $\gamma_{h1}=1.3863$ ,  $\gamma_{h2}=0.0001$   $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ )..... 31
- Şekil 3.15.** 1. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta_{h1}$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_y(3.5,y)/P/h$  temas gerilmesi dağılımının FD tabakaların derinliği boyunca analizi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta_{h2}=0.0001$ ,  $\gamma_{h1}=1.3863$ ,  $\gamma_{h2}=0.0001$   $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ )..... 31
- Şekil 3.16.** 1. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta_{h1}$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\tau_{xy}(3.5,y)/P/h$  temas gerilmesi dağılımının 1. FD tabaka derinliği boyunca analizi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta_{h2}=0.0001$ ,  $\gamma_{h1}=1.3863$ ,  $\gamma_{h2}=0.0001$   $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ )..... 32
- Şekil 3.17.** 2. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta_{h2}$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_x(3.5,y)/P/h$  temas gerilmesi dağılımının FD tabaka derinliği boyunca analizi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta_{h1}=1.3863$ ,  $\gamma_{h1}=1.3863$ ,  $\gamma_{h2}=2.0794$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ )..... 34
- Şekil 3.18.** 2. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta_{h2}$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_y(3.5,y)/P/h$  temas gerilmesi dağılımının 1. FD tabaka derinliği boyunca analizi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta_{h1}=0.0001$ ,  $\gamma_{h1}=\gamma_{h2}=0.0001$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ )..... 34
- Şekil 3.19.** 2. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta_{h2}$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_y(3.5,y)/P/h$  temas gerilmesi dağılımının 1. FD tabaka derinliği boyunca analizi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta_{h1}=1.3863$ ,  $\gamma_{h1}=1.3863$ ,  $\gamma_{h2}=2.0794$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ )..... 35
- Şekil 3.20.** 1. tabaka yoğunluk parametresi ( $\gamma_{h1}$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_x(3.5,y)/P/h$  temas gerilmesi dağılımının FD tabaka derinliği boyunca analizi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta_{h1}=\beta_{h2}=1.3863$ ,  $\gamma_{h2}=1.3863$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ) ..... 35
- Şekil 3.21.** 1. tabaka yoğunluk parametresi ( $\gamma_{h1}$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_y(3.5,y)/P/h$  temas gerilmesi dağılımının FD tabaka derinliği boyunca analizi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta_{h1}=\beta_{h2}=1.3863$ ,  $\gamma_{h2}=1.3863$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ) ..... 36
- Şekil 3.22.** 2. tabaka yoğunluk parametresi ( $\gamma_{h2}$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_x(6,y)/P/h$  temas gerilmesi dağılımının FD tabaka derinliği boyunca analizi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta_{h1}=\beta_{h2}=0.4055$ ,  $\gamma_{h1}=0.4055$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ) ..... 36
- Şekil 3.23.** 2. tabaka yoğunluk parametresi ( $\gamma_{h2}$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_y(6,y)/P/h$  temas gerilmesi dağılımının FD tabaka derinliği boyunca analizi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta_{h1}=\beta_{h2}=0.4055$ ,  $\gamma_{h1}=0.4055$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ) ..... 37
- Şekil 3.24.** Yük değişim oranına göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_x(6,y)/P/h$  temas gerilmesi dağılımının FD tabaka derinliği boyunca analizi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $\beta_{h1}=\beta_{h2}=0.693148$ ,  $\gamma_{h1}=0.693148$ ,  $\gamma_{h2}=2.0794$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ) ..... 37
- Şekil 3.25.** Yük değişim oranına göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_y(6,y)/P/h$  temas gerilmesi dağılımının FD tabaka derinliği boyunca analizi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $\beta_{h1}=\beta_{h2}=0.693148$ ,  $\gamma_{h1}=0.693148$ ,  $\gamma_{h2}=2.0794$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ) ..... 38

<b>Şekil 3.26.</b>	Yük değişim oranına göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz $\tau_{xy}(6,y)/P/h$ temas gerilmesi dağılımının FD tabaka derinliği boyunca analizi ( $a/h=3$ , $(b-a)/h=1$ , $(c-b)/h=2$ , $(d-c)/h=1$ , $\beta_{h1}=\beta_{h2}=0.693148$ , $\gamma_{h1}=0.693148$ , $\gamma_{h2}=2.0794$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ ) .....	38
<b>Şekil 3.27.</b>	Sürekli temas durumundaki $\sigma_x$ gerilme dağılımının ANSYS gösterimi ( $a/h=3$ , $(b-a)/h=1$ , $(c-b)/h=2$ , $(d-c)/h=1$ , $Q=2P$ , $\beta_{h1}=\beta_{h2}=0.693148$ , $\gamma_{h1}=0.693148$ , $\gamma_{h2}=2.0794$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ ) .....	39
<b>Şekil 3.28.</b>	Sürekli temas durumundaki $\sigma_y$ gerilme dağılımının ANSYS gösterimi ( $a/h=3$ , $(b-a)/h=1$ , $(c-b)/h=2$ , $(d-c)/h=1$ , $Q=2P$ , $\beta_{h1}=\beta_{h2}=0.693148$ , $\gamma_{h1}=0.693148$ , $\gamma_{h2}=2.0794$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ ) .....	39
<b>Şekil 3.29.</b>	1. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta_{h1}$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz $\sigma_{1y}(x,h)/P/h$ temas gerilmesi dağılımı ( $a/h=3$ , $(b-a)/h=1$ , $(c-b)/h=2$ , $(d-c)/h=1$ , $Q=2P$ , $\beta_{h2}=1.3863$ , $\gamma_{h1}=1.3863$ , $\gamma_{h2}=2.7726$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ , $y=1$ , $\lambda=100>\lambda_{cr}$ ) .....	42
<b>Şekil 3.30.</b>	2. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta_{h2}$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz $\sigma_{1y}(x,h)/P/h$ temas gerilmesi dağılımı ( $a/h=3$ , $(b-a)/h=1$ , $(c-b)/h=2$ , $(d-c)/h=1$ , $Q=2P$ , $\beta_{h1}=0.693148$ , $\gamma_{h1}=1.3863$ , $\gamma_{h2}=2.7726$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ , $y=1$ , $\lambda=100>\lambda_{cr}$ ) .....	43
<b>Şekil 3.31.</b>	1. tabaka yoğunluk parametresi ( $\gamma_{h1}$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz $\sigma_{1y}(x,h)/P/h$ temas gerilmesi dağılımı ( $a/h=3$ , $(b-a)/h=1$ , $(c-b)/h=2$ , $(d-c)/h=1$ , $Q=2P$ , $\beta_{h1}=0.4055$ , $\beta_{h2}=0.0001$ , $\gamma_{h2}=2.7726$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ , $y=1$ , $\lambda=50>\lambda_{cr}$ ) .....	43
<b>Şekil 3.32.</b>	Bloklar arasındaki mesafe ( $(c-b)/h$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz $\sigma_{1y}(x,h)/P/h$ temas gerilmesi dağılımı ( $a/h=3$ , $(b-a)/h=1$ , $(d-c)/h=1$ , $Q=2P$ , $\beta_{h1}=\beta_{h2}=1.3863$ , $\gamma_{h1}=\gamma_{h2}=1.3863$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ , $y=1$ , $\lambda=140>\lambda_{cr}$ ) .....	44
<b>Şekil 3.33.</b>	2. blok genişliği ( $(d-c)/h$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz $\sigma_{1y}(x,h)/P/h$ temas gerilmesi dağılımı ( $a/h=3$ , $(b-a)/h=1$ , $(c-b)/h=2$ , $Q=2P$ , $\beta_{h1}=\beta_{h2}=1.3863$ , $\gamma_{h1}=\gamma_{h2}=1.3863$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ , $y=1$ , $\lambda=95>\lambda_{cr}$ ) .....	45
<b>Şekil 3.34.</b>	Yük faktörünün ilk ayrılma yükünden büyük, küçük ve eşit olduğu durumlar için $\sigma_{1y}(x,h)/P/h$ temas gerilmesi dağılımı ( $a/h=3$ , $(b-a)/h=1$ , $(c-b)/h=2$ , $Q=2P$ , $\beta_{h1}=0.693148$ , $\beta_{h2}=1.3863$ , $\gamma_{h1}=\gamma_{h2}=1.3863$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ , $y=1$ ) .	45
<b>Şekil 3.35.</b>	Süreksiz temas durumunda oluşan temas gerilmesi dağılımının ANSYS gösterimi ( $a/h=3$ , $(b-a)/h=1$ , $(c-b)/h=2$ , $(d-c)/h=1$ , $Q=2P$ , $\beta_{h1}=\beta_{h2}=2.0794$ , $\gamma_{h1}=2.0794$ , $\gamma_{h2}=2.7726$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ , $y=1$ , $\lambda=300>\lambda_{cr}$ ) .....	46
<b>Şekil 3.36.</b>	Süreksiz temas çözümlerinden elde edilen veri setinin yapısı .....	47
<b>Şekil 3.37.</b>	Programda CSV formatındaki veri setinin görüntülenmesi .....	49
<b>Şekil 3.38.</b>	Veri setinin son durumu .....	50
<b>Şekil 3.39.</b>	Veri setinin istatistiksel özellikleri .....	51
<b>Şekil 3.40.</b>	Histogram grafiği ile veri dağılımının gösterilmesi .....	52
<b>Şekil 3.41.</b>	Korelasyon ısı haritası .....	53
<b>Şekil 3.42.</b>	Bağımlı değişken F lineer regresyon grafiği .....	59
<b>Şekil 3.43.</b>	Bağımlı değişken E lineer regresyon grafiği .....	59
<b>Şekil 3.44.</b>	Bağımlı değişken F için üçüncü dereceden polinom regresyon grafiği .....	63
<b>Şekil 3.46.</b>	Bağımlı değişken E için kayıp grafiği .....	71
<b>Şekil 3.47.</b>	Eğitim ve doğrulama kayıplarının program çıktısı .....	71
<b>Şekil 3.48.</b>	F bağımlı değişkenin test değerleri için gerçek ve tahmin grafiği .....	72
<b>Şekil 3.49.</b>	E bağımlı değişkenin test değerleri için gerçek ve tahmin grafiği .....	72

## TABLOLAR LİSTESİ

<b>Tablo 3.1.</b>	1. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta_{h1}$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki ilk ayrılma yükleri ve uzaklıklarının Kaya(2020) ile karşılaştırılması ( $a/h=3$ , $(b-a)/h=1$ , $(c-b)/h=2$ , $(d-c)/h=1$ , $Q=2P$ , $\beta_{h2}=0.0001$ , $\gamma_{h1}=1.3863$ , $\gamma_{h2}=0.0001$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ , $y=1$ ) .....	23
<b>Tablo 3.2.</b>	2. blok genişliği ( $(d-c)/h$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki ilk ayrılma yükleri ve uzaklıklarının Kaya(2020) ile karşılaştırılması ( $a/h=3$ , $(b-a)/h=1$ , $(c-b)/h=2$ , $Q=2P$ , $\beta_{h1}=-0.6931$ , $\gamma_{h1}=-0.6931$ , $\beta_{h2}=0.0001$ , $\gamma_{h2}=0.0001$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ , $y=1$ ) .....	23
<b>Tablo 3.3.</b>	1. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta_{h1}$ ) ve yoğunluk parametresi ( $\gamma_{h1}$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki ilk ayrılma yükleri ve uzaklıklarının incelenmesi ( $a/h=3$ , $(b-a)/h=1$ , $(c-b)/h=2$ , $(d-c)/h=1$ , $Q=2P$ , $\beta_{h2}=1.3863$ , $\gamma_{h2}=1.3863$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ , $y=1$ ) .....	24
<b>Tablo 3.4.</b>	2. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta_{h2}$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki ilk ayrılma yükleri ve uzaklıklarının incelenmesi ( $a/h=3$ , $(b-a)/h=1$ , $(c-b)/h=2$ , $(d-c)/h=1$ , $Q=2P$ , $\beta_{h1}=1.3863$ , $\gamma_{h1}=1.3863=\gamma_{h2}=1.3863$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ , $y=1$ ) .....	24
<b>Tablo 3.5.</b>	Bloklar arasındaki mesafe ( $(c-b)/h$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki ilk ayrılma yükleri ve uzaklıklarının incelenmesi ( $a/h=3$ , $(b-a)/h=1$ , $(d-c)/h=1$ , $Q=2P$ , $\beta_{h1}=\beta_{h2}=1.3863$ , $\gamma_{h1}=\gamma_{h2}=1.3863$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ , $y=1$ )..	25
<b>Tablo 3.6.</b>	Yük değişimine göre FD tabakalar arasındaki ilk ayrılma yükleri ve uzaklıklarının incelenmesi ( $a/h=3$ , $(b-a)/h=1$ , $(d-c)/h=1$ , $(c-b)/h=2$ , $\beta_{h1}=\beta_{h2}=0.693148$ , $\gamma_{h1}=0.693148$ , $\gamma_{h2}=2.0794$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ , $y=1$ )..	25
<b>Tablo 3.7.</b>	1. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta_{h1}$ ) değişimine göre ayrılma başlangıç ve bitiş mesafelerinin incelenmesi ( $a/h=3$ , $(b-a)/h=1$ , $(c-b)/h=2$ , $(d-c)/h=1$ , $Q=2P$ , $\beta_{h2}=1.3863$ , $\gamma_{h1}=1.3863$ , $\gamma_{h2}=2.7726$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ , $y=1$ ).....	41
<b>Tablo 3.8.</b>	2. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta_{h2}$ ) değişimine göre ayrılma başlangıç ve bitiş mesafelerinin incelenmesi ( $a/h=3$ , $(b-a)/h=1$ , $(c-b)/h=2$ , $(d-c)/h=1$ , $Q=2P$ , $\beta_{h1}=0.693148$ , $\gamma_{h1}=1.3863$ , $\gamma_{h2}=2.7726$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ , $y=1$ ).....	41
<b>Tablo 3.9.</b>	1. tabaka yoğunluk parametresi ( $\gamma_{h1}$ ) değişimine göre ayrılma başlangıç ve bitiş mesafelerinin incelenmesi ( $a/h=3$ , $(b-a)/h=1$ , $(c-b)/h=2$ , $(d-c)/h=1$ , $Q=2P$ , $\beta_{h1}=0.4055$ , $\beta_{h2}=0.0001$ , $\gamma_{h2}=2.7726$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ , $y=1$ ).....	41
<b>Tablo 3.10.</b>	Bloklar arasındaki mesafe ( $(c-b)/h$ ) değişimine göre ayrılma başlangıç ve bitiş mesafelerinin incelenmesi ( $a/h=3$ , $(b-a)/h=1$ , $(d-c)/h=1$ , $Q=2P$ , $\beta_{h1}=\beta_{h2}=1.3863$ , $\gamma_{h1}=\gamma_{h2}=1.3863$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ , $y=1$ ).....	41
<b>Tablo 3.11.</b>	2. blok genişliği ( $(d-c)/h$ ) değişimine göre ayrılma başlangıç ve bitiş mesafelerinin incelenmesi ( $a/h=3$ , $(b-a)/h=1$ , $(c-b)/h=2$ , $Q=2P$ , $\beta_{h1}=\beta_{h2}=0.693148$ , $\gamma_{h1}=0.693148$ , $\gamma_{h2}=2.7726$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ , $y=1$ ) .....	42
<b>Tablo 3.12.</b>	Lineer regresyon tahminlerinin ANSYS çözümleri ile karşılaştırılması ( $a/h=3$ , $(b-a)/h=1$ , $(c-b)/h=2$ , $(d-c)/h=1$ , $Q=2P$ , $\gamma_{h2}=2.7726$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ , $y=1$ ) .....	58
<b>Tablo 3.13.</b>	Polinom regresyon tahminlerinin ANSYS çözümleri ile karşılaştırılması ( $a/h=3$ , $(b-a)/h=1$ , $(c-b)/h=2$ , $(d-c)/h=1$ , $Q=2P$ , $\gamma_{h2}=2.7726$ , $\mu_0=1$ , $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ , $\kappa_1=\kappa_2=2$ , $y=1$ ) .....	65
<b>Tablo 3.14.</b>	Farklı polinom dereceleri için R2 skor değerinin gösterilmesi .....	66

**Tablo 3.15.** DSA algoritması tahminlerinin ANSYS çözümleri ile karşılaştırılması ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\gamma h_2=2.7726$ ,  $\mu_o=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ,  $y=1$ ) ..... 74



## SEMBOLLER LİSTESİ

$\sigma_x, \sigma_y$	: x,y doğrultularındaki normal gerilme bileşenleri
$\tau_{xy}$	: Kayma gerilmesi bileşeni
$\mu_1(y)$	: 1. FD tabakaya ait kayma modülü
$\mu_2(y)$	: 2. FD tabakaya ait kayma modülü
$\mu_{2t}$	: 2. FD tabakanın üst yüzeyine ait kayma modülü
$\mu_{1b}$	: 1. FD tabakanın alt yüzeyine ait kayma modülü
$\kappa_1$	: 1. FD tabakaya kolosov sabiti
$\kappa_2$	: 2. FD tabakaya kolosov sabiti
$\beta$	: Rijitlik parametresi
$\rho_1(y)$	: 1. FD tabakanın yoğunluğu
$\rho_2(y)$	: 2. FD tabakanın yoğunluğu
$\gamma$	: Yoğunluk değişim parametresi
$h$	: FD tabakaların yüksekliği
$p(x)$	: 1. blok altındaki temas gerilmesi fonksiyonu
$q(x)$	: 2. blok altındaki temas gerilmesi fonksiyonu
$a$	: 1. blok başlangıç noktasının y eksenine uzaklığı
$b$	: 1. blok bitiş noktasının y eksenine uzaklığı
$c$	: 2. blok başlangıç noktasının y eksenine uzaklığı
$d$	: 2. blok bitiş noktasının y eksenine uzaklığı
$E$	: Ayrılma başlangıç noktası
$F$	: Ayrılma bitiş noktası
$P$	: 1. blok üzerindeki tekil yük
$Q$	: 2. blok üzerindeki tekil yük
$\lambda_{cr}$	: Kritik yük faktörü (ilk ayrılma yükü)
$x_{cr}$	: İlk ayrılma uzaklığı

## KISALTMALAR LİSTESİ

SEM	: Sonlu Elemanlar Metodu
FDM	: Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzemeler
DSA	: Derin Sinir Ağları
DVM	: Destek Vektör Makineleri
YSA	: Yapay Sinir Ağları
ÇKA	: Çok Katmanlı Algılayıcı



## ÖZET

Bu çalışmada, iki rijit blok ile yüklü fonksiyonel derecelendirilmiş (FD) tabakalardaki temas problemi ağırlık etkisi dikkate alınarak incelenmiştir. Problemin çözümünde sonlu elemanlar (SEM) ve yapay zeka metodu kullanılmıştır. Birinci bölümde, temas problemleri ve yapay zeka yöntemleri ile ilgili önceden yapılmış araştırmalar özetlenmiş ve çalışmanın kapsamından bahsedilmiştir. İkinci bölümde sürekli ve süreksiz temas problemlerinin çözümü yapılmıştır. Sürekli temas durumunda, FD tabakalar arasındaki ilk ayrılma yükü ve uzaklıkları, tabakalar arası ve derinlik boyunca gerilmeler incelenmiştir. Süreksiz temas probleminde, ayrılma başlangıç ve bitiş noktaları bulunmuştur. FD malzemelerin özellikleri ANSYS paket programına bir makro yardımıyla tanımlanmıştır. Üçüncü bölümde süreksiz temas probleminde elde edilen ayrılma başlangıç ve bitiş noktaları verilerine uygun bir algoritma oluşturulmuştur. Algoritma Python programına aktarılmış ve süreksiz temas probleminin çözümü yapay zeka uygulaması ile yapılmıştır. Problemin yapay zeka çözümü için lineer regresyon, polinom regresyon ve Derin Sinir Ağı (DSA) kullanılmıştır. Sonuç olarak, farklı yapay zeka yöntemleri ile bilgisayarın öğrenmesi sağlanmış, böylece çok daha kısa bir sürede temas probleminin çözümü yapılmıştır. Yapay zeka çözümünden elde edilen veriler SEM çözümleri ile karşılaştırılmış olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Yapay zeka, Fonksiyonel derecelendirilmiş tabaka, Temas gerilmesi, Sürekli-süreksiz temas, Sonlu elemanlar yöntemi

## ABSTRACT

### **Analysis of The Contact Problem in Functionally Graded Layers with Artificial Intelligence Technique**

In this study, the contact problem in functionally graded (FG) layers loaded with two rigid blocks is investigated by considering the weight effect. Finite element (FEM) and artificial intelligence methods were used to solve the problem. In the first chapter, previous researches on contact problems and artificial intelligence methods are summarized and the scope of the study is mentioned. In the second chapter, continuous and discontinuous contact problems are solved. In the case of continuous contact, the initial separation load and distances between the FG layers, the stresses between the layers and along the depth were investigated. In the discontinuous contact problem, the separation start and end points are found. The properties of FG layers are defined with the help of a macro in the ANSYS package program. In the third chapter, an algorithm was created in accordance with the separation start and end points data obtained from the discontinuous contact problem. The algorithm was transferred to the Python program and the solution of the discontinuous contact problem was made with an artificial intelligence application. Linear regression, polynomial regression and Deep Neural Network (DNN) were used for the artificial intelligence solution of the problem. As a result, computer learning was provided with different artificial intelligence methods, so the contact problem was solved in a much shorter time. The data obtained from the artificial intelligence solution were compared with the FEM solutions and positive results were obtained.

**Keywords:** Artificial intelligence, Functionally graded layer, Contact stress, Continuous-discontinuous contact, Finite element method

## **1. GENEL BİLGİLER**

### **1.1. Giriş**

Temas problemleri birçok mühendislik alanında uygulama alanına sahiptir. Yapı elemanları, makine parçaları gibi birbirleriyle temas durumunda olan sistemler temas probleminin uygulama alanlarındandır. Bu sistemlerdeki oluşan temasın uzunluğu ve gerilme büyüklüğünün bilinmesi malzeme tasarım ve üretimi için önemlidir.

Bilim ve teknolojinin gelişimi analitik çözüm yöntemlerinin yanı sıra yeni sayısal analiz tekniklerinin ortaya çıkmasında önemli rol oynamaktadır. Bu gelişim ihtiyaç duyulan mühendislik yapılarında da değişikliğe yol açmaktadır. Yapılarda fiziksel ve kimyasal özellik bakımından iyileştirilmiş, termal direnç ve yüksek mukavemete sahip malzemeler kullanılmaktadır. Son yıllarda kullanılan fonksiyonel derecelendirilmiş malzeme (FDM) bu malzemelerden biridir. Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelerde rijitlik, yoğunluk, ısı direnç vb. parametreler malzemenin bir yüzeyinden diğer yüzeyine fonksiyonel olarak değişim göstermektedir. Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler uçak, otomobil ve uzay araçları gibi kompleks yapılara ihtiyaç duyulan alanlarda kullanılmaktadır.

Günümüzde bilgisayar sistemlerinin gelişimi mühendisliğe yeni bir boyut kazandırarak mühendislik problemlerinde yapay zeka tekniklerinin kullanılmasının önünü açmıştır. Yapay zeka tekniklerinin mühendislik problemlerinde kullanımının yaygınlaşmasıyla, uzun zaman gerektiren klasik çözüm yöntemleri yerini hem daha hızlı hem de daha gerçeğe yakın sonuçlar almamızı sağlayan yapay zekaya bırakacaktır. Tüm bu özellikler dikkate alındığında günlük hayatta ve mühendislik yapılarında sıklıkla karşılaştığımız temas problemleri yapay zeka teknolojisi ile incelenmelidir. Bu çalışmada iki rijit blok ile yüklü fonksiyonel derecelendirilmiş tabakalardaki temas problemi incelenmiştir. Problemin çözümünde sonlu elemanlar yöntemi ve yapay zeka uygulamasından yararlanılmıştır.

### **1.2. Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzemeler**

Mekanik özellikleri malzemenin bir bölgesinden diğer bölgesine düzenli ve sürekli olarak değişim gösterdiği heterojen yapılar, fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler (FDM) olarak isimlendirilir. Birçok malzemenin fazlarının yalnızca bir hacim içerisinde düzenli geçişi özel malzeme davranışlarını gösteren bu malzemeler, ilk kez 1984 yılında Japonya'da bir uzay

aracı projesinde kullanılmıştır. FD malzemeler son yirmi yılda önemi artmış, araştırma-geliştirme bölümleri için önemli bir teknoloji haline gelmiştir. Bu malzemeler, ısı değişimlerin fazla olduğu havacılık, uçak ve uzay sanayi başta olmak üzere mekanik, inşaat ve elektrik devre endüstrisi gibi birçok kullanım alanını içermektedir. Termal değişimlerin fazla olduğu böyle alanlarda kullanılan malzemeler, yüksek sıcaklık farklılıklarından dolayı meydana gelecek ısıl gerilmeleri azaltmak için seramik ve metal fazdan oluşturulur(Sueri,2015).

Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler, malzeme özelliklerinin malzemenin kalınlığı boyunca değişim gösterdiği malzemelerdir. FD malzemeler, malzeme ara yüzleri arasında, malzeme özelliklerinin süreksizliğinin yol açtığı çatlak oluşumu ve ilerlemesi, tabakalar arasında oluşan gerilmeler ve yüksek sıcaklık ortamlarında ortaya çıkan ısıl gerilme yoğunlaşmalarının yol açtığı sorunların giderilmesi için kullanılabilirler(Öktem, 2014).

### **1.3. Yapay Zeka Teknikleri**

Yapay zeka, bilgisayar, robot veya bir mekanizmanın insana benzer bir zeka göstermesi anlamına gelir. Günümüzde yapay zeka, bir bilgisayardan öğrenme, nesne algılama, karar verme, herhangi bir bilim dalındaki problemi çözme gibi insani yetenekleri taklit ederek böyle işlemleri gerçekleştirebilir.

#### **1.3.1. Uzman sistemler**

Uzman sistemler, insan uzmanlarının bilgi ve deneyimlerini kullanarak belirli bir alan veya konudaki karmaşık problemleri çözmek için tasarlanmış bilgisayar tabanlı sistemlerdir. Bu sistemler, uzmanların bilgi birikimlerini ve problem çözme yöntemlerini taklit etmek amacıyla yapay zeka ve bilgisayar bilimleri tekniklerini kullanır.

Uzman sistemleri, genellikle belirli bir uzmanlık alanında yoğun bilgi ve deneyim gerektiren sorunları ele alır. Örneğin, tıp, mühendislik, finans, hukuk gibi alanlarda uzman sistemler kullanılabilir. Bu sistemler, karmaşık sorunları analiz edebilir, teşhisler yapabilir, önerilerde bulunabilir ve çözüm stratejileri geliştirebilir.

Uzman sistemleri, genellikle üç temel bileşenden oluşur:

1. Bilgi Tabanı: Uzmanların bilgi birikimini ve uzmanlık alanındaki kuralları içeren yapılandırılmış bir veritabanıdır. Bu bilgi tabanı, problemleri çözmek için gereken bilgileri depolar.

2. Çıkarım Motoru: Bilgi tabanındaki verileri analiz eder ve sorunlara çözüm üretmek için çıkarımlar yapar. Kuralları uygular, verileri işler ve sonuçlar üretir.

3. Kullanıcı Arayüzü: Kullanıcıların uzman sistemine sorular sormasını sağlayan bir arayüzdür. Kullanıcılar, uzman sistemine sorularıyla ilgili bilgi sağlar ve sistemden çıktı alır.

### 1.3.2. Genetik algoritmalar (GA)

Genetik algoritma, doğal seleksiyon ve genetik prensipleri taklit ederek optimizasyon ve arama problemlerini çözmek için kullanılan bir optimizasyon yöntemidir. Genetik algoritma, Charles Darwin'in evrim teorisinden esinlenerek, popülasyon tabanlı bir arama yaklaşımıdır. Genetik algoritma, bir problemin çözümünü temsil eden bir dizi genetik yapıyı kullanır. Bu genetik yapılar, genler veya kromozomlar olarak adlandırılan parçalardan oluşur. Genler, problemin niteliklerini temsil eder ve genetik bilgiyi taşır.

Genetik algoritma temel olarak aşağıdaki adımlardan oluşur:

1. Başlangıç Popülasyonu Oluşturma: İlk adımda, rastgele veya belirli bir yöntemle başlangıç popülasyonu oluşturulur. Her bir birey, genetik yapıları temsil eder ve bir çözüm adayıdır.

2. Uygunluk Değerinin Hesaplanması: Her birey için uygunluk fonksiyonu kullanılarak uygunluk değeri hesaplanır. Uygunluk değeri, bir bireyin ne kadar iyi veya kötü bir çözüm olduğunu gösterir. Bu değer, probleme özgü olarak belirlenir.

3. Seçim: Uygunluk değerlerine dayanarak, daha iyi uygunluk değerlerine sahip bireylerin seçilme olasılığı artırılır. Seçim işlemi, yüksek uygunluk değerine sahip bireyleri bir sonraki nesile aktarır.

4. Çaprazlama (Crossover): Seçilen bireyler arasında çaprazlama işlemi gerçekleştirilir. Çaprazlama, iki bireyin genetik bilgilerini birleştirerek yeni çözüm adayları üretir. Bu adım, çeşitliliği artırmaya ve iyileştirmeye yardımcı olur.

5. Mutasyon: Yeni oluşturulan bireylerde rastgele mutasyonlar gerçekleştirilir. Mutasyon, genetik bilgide küçük değişiklikler yaparak çeşitliliği artırır. Bu, olası yeni çözüm alanlarını keşfetmeye yardımcı olur.

6. Yeni Popülasyonun Oluşturulması: Seçim, çaprazlama ve mutasyon adımları sonucunda yeni bir popülasyon oluşturulur.

Bu adımlar, belirli bir iterasyon sayısı ve uygunluk eşiğine kadar tekrarlanır. İterasyonlar devam ettikçe, popülasyon içindeki çözümler genellikle daha iyi uygunluk

değerlerine sahip olacak şekilde gelişir. Bu şekilde genetik algoritma, optimize edilmek istenen bir hedef fonksiyonunu maksimize veya minimize etmek için kullanılabilir.

Genetik algoritmalar, karmaşık optimizasyon problemlerinde ve gerçek dünyadaki belirsizlik içeren problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılır. Örneğin, rota planlaması, üretim planlaması, veri madenciliği, makine öğrenmesi, yapay zeka ve genetik programlama gibi birçok alanda geniş bir uygulama alanı bulunmaktadır.

### **1.3.3. Bulanık mantık (Fuzzy logic)**

Bulanık mantık, belirsizlik ve kesin olmayan bilgilerle çalışan bir mantık yaklaşımıdır. Geleneksel mantık, kesinlikle doğru veya yanlış olarak kabul edilebilecek ifadeleri işlerken, bulanık mantık, belirli bir derecede doğru veya yanlış olduğu düşünülen ifadeleri değerlendirir. Bulanık mantık, gerçek dünyadaki belirsizliği ve belirsizlikle ilgili problemleri ele almak için kullanılır. Birçok durumda, kesin olmayan veya kesinlik derecesi belirsiz olan bilgilere dayalı kararlar vermek gerekebilir. Bu durumda, bulanık mantık, belirsizliği modelleyerek daha esnek ve gerçekçi sonuçlar üretebilir.

Bulanık mantık, "bulanık kümeler" ve "bulanık kural tabanı" kavramları üzerine kuruludur. Bulanık kümeler, geleneksel kümelere benzer şekilde elemanları gruplamak için kullanılır, ancak her bir elemanın bir üyelik derecesi vardır. Üyelik derecesi, bir elemanın o bulanık küme içindeki aidiyet derecesini temsil eder ve 0 ile 1 arasında bir değer alır.

Bulanık mantık, birçok uygulama alanında kullanılır. Örneğin, otomasyon sistemleri, araç trafiği kontrolü, karar destek sistemleri, robotik, yapay zeka ve yapay sinir ağları gibi alanlarda bulanık mantık yöntemleri başarıyla uygulanmaktadır. Bu yöntemler, gerçek dünyanın karmaşıklığını ve belirsizliğini daha iyi ele alabilmek için kullanışlı bir araç sağlar.

### **1.3.4. Destek vektör makineleri (DVM)**

Destek Vektör Makineleri (DVM), sınıflandırma ve regresyon problemleri için kullanılan bir makine öğrenmesi algoritmasıdır. DVM, verileri bir özellik uzayında temsil eder. Sınıflandırma veya regresyon hedefine en iyi uyum sağlayan bir hiper düzlemi bulmayı hedefler. Marjinal sınıflandırma prensibine dayanarak, sınıflar arasında en geniş marjı sağlamaya çalışır. DVM, doğrusal olarak ayrılabilir veri kümeleri için kullanılabileceği gibi, doğrusal olarak ayrılamayan veri kümeleri için de çekirdek fonksiyonları kullanılabilir.

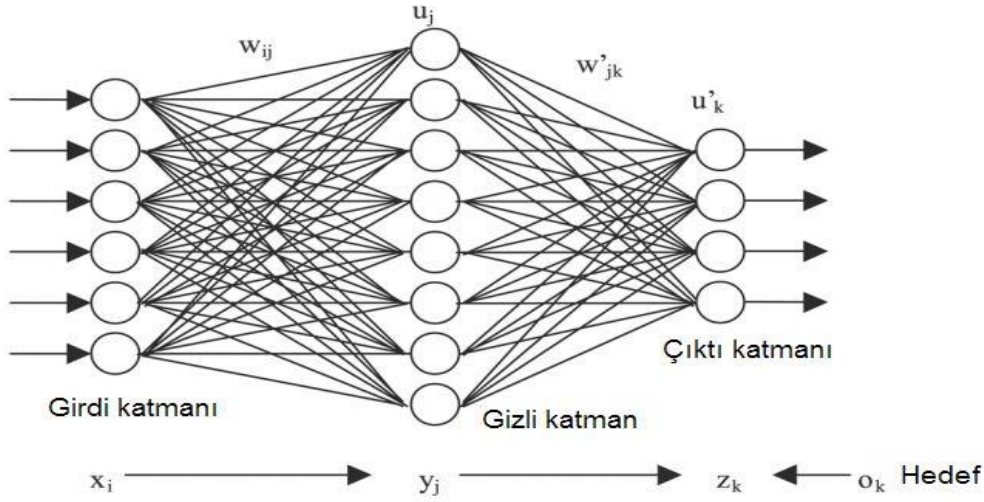
Çekirdek fonksiyonları, verileri daha yüksek boyutlu bir uzaya projekte ederek doğrusal olarak ayrılabilir hale getirir. DVM, eğitim veri setini kullanarak bir model eğitir ve bu modeli yeni veri noktalarını sınıflandırmak için kullanır. DVM'nin avantajları arasında yüksek boyutlu veri kümelerinde etkili çalışabilme, doğrusal olmayan ayrılabilirlik için çekirdek fonksiyonlarının kullanılabilmesi ve genelleştirme yeteneğinin yüksek olması bulunur. Bununla birlikte, DVM'nin büyük veri kümeleri üzerinde zaman ve hafıza gereksinimlerinin yüksek olması dezavantaj olabilir.

DVM, görüntü sınıflandırma, tıp, doğal dil işleme, finansal analiz, biyoinformatik gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

### **1.3.5. Yapay sinir ağları (YSA)**

Yapay sinir ağları (YSA), bilgisayar biliminde kullanılan ve insan beyninin çalışma prensiplerinden esinlenen bir yapay zeka modelidir. Yapay sinir ağları, bir dizi bağlantılı yapay nöron adı verilen matematiksel işlevlerden oluşan bir ağ yapısı kullanır. Yapay sinir ağları, verileri işleyerek desenleri tanımak, sınıflandırmak, tahmin yapmak veya kararlar vermek gibi görevleri yerine getirebilir. Bu ağlar, genellikle eğitim sürecinde veriye dayalı olarak öğrenirler ve bu öğrenme sonucunda belirli bir görevi yerine getirmek üzere ayarlanan ağırlıkları ve bağlantıları kullanırlar. Bir yapay sinir ağı, giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı olmak üzere temel bileşenlerden oluşur. Giriş katmanı, verileri gizli katmana iletir. Gizli katman, gelen verileri işleyerek özelliklerini çıkarır ve çıkış katmanı, sonuçları üretir.

Her yapay nöron, gelen verileri ağırlıklı olarak çarpar, toplar ve bir aktivasyon fonksiyonundan geçirir. Ağırlıklar, ağı öğrenme sürecinde ayarlanan parametrelerdir ve verilerin ağ üzerinde nasıl ilerleyeceğini belirler. Aktivasyon fonksiyonu, bir nöronun çıktısını belirleyen ve doğrusal olmayan özelliklerin modellenmesini sağlayan bir matematiksel işlevdir. Yapay sinir ağları, çeşitli alanlarda kullanılır. Örnek olarak, görüntü tanıma, doğal dil işleme, sınıflandırma, tahmin, kontrol sistemleri verilebilir. Şekil 1.1'de yapay sinir ağı örneği gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Yapay sinir ağı örneği (URL-1, 2015)

### 1.3.6. Derin öğrenme (Deep learning)

Derin öğrenme, makine öğreniminin özel bir durumudur ve yapay zeka kavramını içerir. Yapay zeka iki kategoriye ayrılır: dar kapsamlı yapay zeka ve genel yapay zeka. Genel amaçlı yapay zeka; görsel tanıma, konuşma tanıma, hareket, muhasebe ve akıl yürütme ve kendi kendine öğrenme süreçlerinin sürdürülmesi için insan sinir sisteminden biyolojik olarak esinlenilmiş ve matematiksel olarak tasarlanmış bir dizi yazılım ve donanım sistemidir. Dar yapay zeka ise, belirli sorunları çözmek ve verilerden öğrenmek için tasarlanmış sınırlı ölçekli bir yapay zeka sistemidir (Kızrak ve Bolat, 2018).

En önemli yapay zeka tekniklerinden biri derin öğrenmedir. Derin öğrenme aslında makine öğreniminin sadece bir alt kümesidir, ancak yetenekleri değişiklik gösterir. Makine öğrenimi algoritmaları yanlış tahminlerde bulunduğu mühendislerin devreye girmesi ve ayarlamalar yapması gerekir. Ancak derin öğrenme ile algoritmalar, bir tahminin doğru olup olmadığını bağımsız olarak belirleyebilir. Bu tekniklerde veri kümeleri, verileri genelleme yapmak için kullanan bir bilgisayara aktarılır (Aalami, 2020).

Derin öğrenme ile görüntü analizi, ses analizi, robotik, sürücüsüz arabalar, genetik analiz, kanser teşhisi, sanal gerçeklik gibi alanlarda kullanılmaktadır. Bu alanların birçoğunda kullanılmasının ana nedeni, problem çözmedeki yüksek doğruluğudur. Hatta konuşma ve görüntü tanıma gibi görevlerde insan yeteneklerini aşmaktadır (İnik ve Ülker, 2017).

#### 1.4. Literatür Araştırması

Hertz tarafından 1882 yılında yazılan ve birçok çalışmaya yön tayin eden "On contact of elastic solids" adlı çalışma ile temas mekaniğinin başladığı söylenebilir (Johnson, 1985). Hertz çalışmasında tam elastik iki cismi incelemiş, matematiksel olarak formülasyon çıkarmıştır. 1950'li yıllara kadar çalışılan temas problemlerinin inceleme yöntemlerini ve literatür çalışmalarını özetlemiştir (Galın, 1961).

Weitsman (1969), elastik yarı sonsuz düzlem ve tekil yük ile yüklenmiş plak arasındaki teması incelemiştir.

Chan ve Tuba (1971), elastik cisimlerin temas probleminin çözümü için geliştirilmiş bir sonlu eleman metodu bulmuşlardır. Bulunan sonlu elemanlar yöntemi elastik cisimler dışındaki başka problemlerin analizini de yapacak şekilde geliştirilmiştir.

Chen ve Engel (1972), çok katmanlı bir ortamdaki temas problemini elastisite teorisine göre incelemiştir. Karma sınır değer problemi, bilgisayarda hesaplamaya uygun genel bir yaklaşım tekniği olarak yeniden formüle edilmiştir.

Erdoğan ve Ratwani (1974), iki elastik çeyrek düzleme mesnetli elastik bir tabakanın sürtünmesiz temasını incelemiştir.

Geçit (1980), elastik yarı sonsuz düzlem üzerindeki sonsuz uzunluğa sahip tabakanın temasını incelemiştir. Problemin sürekli ve süreksiz temas durumları için çözümünü yapmıştır.

Çakıroğlu ve Erdöl (1989), elastisitesi farklı iki çubuğun birleşiminden oluşan, ve iki basit mesnete oturan bileşik tabakadaki teması incelemiştir. Problemin çözümünde elastisite teorisi ve integral dönüşüm tekniği kullanılmıştır.

Özşahin (2000), rijit iki düz blok üzerinde oturan bileşik tabakadaki sürekli ve süreksiz temas problemini incelemiştir. Bu bileşik tabaka farklı malzeme ve sabit yükseklik özelliklerine sahip homojen ile izotrop iki tabakadan oluşmakta ve üst yüzeyinden düzgün yayılı yük etki etmektedir. Problemin çözümünde elastisite teorisi kullanılmıştır.

Özşahin vd. (2004) iki elastik pançla bastırılan elastik tabakada temas mesafelerini yapay sinir ağı yöntemi ile belirlemeye çalışmışlardır. Temas problemi ilk olarak elastisite teorisine göre integral dönüşüm tekniği ile çözülmüş ve daha sonra sonuçlar sinir ağını eğitmek için kullanılmıştır. Farklı sinir ağı konfigürasyonlarının etkinliği de araştırılmıştır. Sonuçlar, yapay sinir ağının temas uzunluğunu yüksek doğrulukla tahmin ettiğini göstermiştir.

Güler ve Erdoğan (2006) fonksiyonel derecelendirilmiş iki adet deforme olabilen elastik tabakanın temasını incelemiştir. FD kaplamalardaki elastik modülün değişimi üsteldir. Temas alanının silindirelerin eğrilik yarıçaplarına kıyasla küçük olduğu varsayılmıştır. Temas

gerilmeleri, yüzey gerilmesinin düzlem içi bileşeni ve temas uzunluğu ile uygulanan yük ilişkisi ile ilgili sonuçlar elde edilmiştir.

Borgi vd. (2006) homojen tabaka ile FD tabaka arasındaki süreksiz teması incelemiştir. FD tabakaya ait temas gerilmeleri ve ayrılma uzaklıkları belirlenmiştir.

Persson (2006) rastgele pürüzlü yüzeyler için temas problemini incelemiştir. Çalışmada temas mekaniğinin temel teorileri gözden geçirilmiştir. Katı maddeler arasındaki elastik, elastoplastik ve yapışkan teması için gerilme olasılık dağılım fonksiyonunun sınır koşulları türetilmiştir. Camsı malzemelerin sıvılarının camsı geçiş sıcaklığının üzerinde soğutulmasıyla hazırlanan çok pürüzsüz polimer (PMMA) ve Pyrex cam yüzeyler için temas problemleri analiz edilmiştir. Donmuş kılcal damarlardan kaynaklanan yüzey pürüzlülüğünün katılar arasındaki temas üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Çömez (2009) rijit dairesel bir pançla bastırılan elastik tabaka ve yarım düzlemin sürtünmeli temas probleminin sürekli ve süreksiz temas durumlarını incelemiştir.

Elloumi vd. (2010) homojen olmayan izotropik derecelendirilmiş bir yarım düzlem ile normal yük ile yüklü keyfi şekilli rijit bir zımba arasındaki iki boyutlu doğrusal olmayan kısmi kayma teması problemini incelemiştir. Problemin çözümünde derecelendirilmiş yarım düzlem üstel olarak değişen bir kayma modülüne ve sabit bir Poisson oranına sahip olduğu kabul edilmiştir.

Kaman ve Cetişli (2011) FD malzeme kaplanmış silindirde çatlak problemini incelemiştir. Çalışmada ANYS kullanılarak çatlak boylarının değişimi için gerilme şiddet faktörleri araştırılmıştır.

Çakıroğlu E. (2011) iki elastik çeyrek düzleme oturan ve rijit bir panç ile bastırılan elastik tabaka probleminin çözümünü ve yapay sinir ağı uygulamasını yapmıştır. Bu çalışmada panç-tabaka temas mesafeleri ve tabaka-çeyrek düzlem temas mesafeleri ile bu mesafeler boyunca gerilme dağılımları incelenmiştir.

Adıyaman (2013) iki çeyrek düzlem üzerine oturan elastik bir tabakanın sürtünmesiz ve ayrılmalı temas problemini incelemiştir. Tabaka panç temas mesafesi ve tabaka çeyrek düzlem temas mesafesi belirlenmiş temas gerilmeleri hesaplanmıştır. Problem farklı yükleme, malzeme ve geometri durumları için incelenmiştir.

Özşahin ve Taşkın (2013) üç rijit blok ile yüklü, elastik yarım düzlem üzerindeki tabakanın temasını incelemiştir. Problemden ilk ayrılma yükleri ve uzunlukları hesaplanmış ve süreksiz temas durumu için ayrılma mesafeleri bulunmuştur.

Zhou ve Lee (2014) anizotropik malzemelerin yüzeyi üzerindeki hareketli bir zımbanın dinamik ve sürtünmeli temasını incelemiştir. Sayısal testlerle sürtünme katsayısı ve hareket

hızının düz veya silindirik hareketli bir zımba altında temas davranışlarına etki ettiği gösterilmiştir.

Borgi vd. (2014) elastik yarı sonsuz düzlem üzerine oturan fonksiyonel derecelendirilmiş tabakanın sürtünmeli süreksiz temasını incelemiştir. Problemden FD tabakanın rijitliği üstel fonksiyona bağlı olarak değişmektedir. Problemden farklı parametreler için tabakada oluşan temas gerilme grafikleri çizilmiş önceki çalışmalarla ile karşılaştırılmıştır.

Biabanaki vd. (2014) uygun olmayan ağlarda temas-darbe problemleri için bir çokgen sonlu elemanlar yöntemi geliştirmişlerdir. Problemin geometrisi ve arayüzleri, normal sonlu eleman ağı ile arayüzün kesiştiği noktada çokgen elemanlar üretmek için düzey küme yöntemine dayalı olarak arka plan örgüsünden bağımsız olarak modellenmiştir. Bu yeni yöntemin doğruluğunu araştırmak için çeşitli arayüzlere sahip büyük deformasyon temas-darbe problemlerinin birkaç örneği sayısal olarak çözülmüştür. Örnekler, çokgen-SEM ve standart-SEM teknikleri ile modellenmiştir.

Erdal (2015), çeşitli karışım oranları kullanarak yüksek performanslı betonun eksenel basınç dayanımının tahmini için makine öğrenme yöntemlerini incelemiştir. Bu çalışmada, hem destek vektör makineleri (DVM) hem de yapay sinir ağları (YSA) yöntemlerinin eğitim ve test aşamaları için rassal ayırma yöntemi kullanılmıştır.

Çömez (2015) rijit silindirik bir zımba ile yüklü fonksiyonel derecelendirilmiş tabaka için hareketli temas problemini incelemiştir. Bu çalışma FD tabakalarda hareketli temasın çözümü için yapılan ilk araştırmadır.

Öner vd. (2015) rijit dairesel blok ile yüklü, yarı sonsuz düzleme oturan iki elastik tabakanın sürekli temas probleminin analitik ve sonlu elemanlar yöntemi kullanarak çözümünü yapmışlardır.

Alinia ve Güler (2017) ortotropik malzemenin düz ve silindirik bloklar ile yükleme durumu için kısmi kaymalı temas problemini incelemişlerdir. Malzeme ortotropi parametresi ve sürtünme katsayısının temas gerilmeleri üzerindeki etkisini araştırmak için geniş bir parametrik çalışma yapmışlardır.

Jobin vd. (2017) homojen yarı düzlem üzerine oturan rijit zımba ile yüklü fonksiyonel derecelendirilmiş tabakadaki iki boyutlu kaymalı sürtünme temasının basitleştirilmiş analizini yapmışlardır. Çalışmada bulunan sonuçlar literatürdeki benzer çalışmalar ile karşılaştırılmış ve yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Vasiliev vd. (2017) bir rijit konik zımbanın, fonksiyonel olarak derecelendirilmiş enine izotropik bir kaplamaya sahip elastik enine izotropik bir yarı uzaya girintisi üzerine bir eksenel simetrik temas probleminin analitik olarak çözümünü yapmışlardır. Problemin çözümünde

integral dönüşüm teknikleri kullanılmıştır. Homojen ve fonksiyonel olarak derecelendirilmiş kaplamalara sahip gövdelerin elastik deformasyon aşamasındaki farklılıkları gösterilmiştir.

Ghaednia vd. (2017) elastik-plastik temas mekaniğinin geniş bir yelpazede incelemesini yapmışlardır. Bazı durumlar için yazarların bulgularıyla karşılaştırmalar yapılmıştır. Silindirik, küresel, sinüzoidal veya dalgalı gibi farklı geometriler için temas durumu incelenmiştir. Küresel temas için, yassı ve girinti temasları arasındaki farklar da gözden geçirilmiştir.

Yaylacı ve Terzi (2018) ANSYS ve ABAQUS yazılımları kullanarak rijit bir panç ile bir elastik yarım düzlem üzerine bağlanmış birbirine bağlı iki tabakanın ayrılmalı temas problemini çözmüşlerdir. Çalışmanın sonucunda elde edilen sayısal çözümler ile analitik çözümler kıyaslanmış çok yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Abanoz (2018) alt yüzeyinden rijit olarak mesnetli fonksiyonel derecelendirilmiş (FD) tabaka ile rijit bir panç arasındaki sürtünmesiz temas problemini elastisite teorisini temel alarak çözümünü yapmıştır.

Polat vd. (2018) elastik yarım düzleme oturan iki rijit blok ile yüklü homojen tabakadaki süreksiz temas probleminin sonlu elemanlar yöntemi ile analizini yapmışlardır. Kayma modülü oranları, blok uzaklıkları ve farklı yük faktörleri için problemin çözümü yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda analitik ve sonlu elemanlar metodu (SEM) çözümleri karşılaştırılmış uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Yılmaz vd. (2018) rijit bir panç ile yüklü iki kademeli katman için sürtünmeli temas problemini hem analitik hem de sayısal yöntem ile incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda analitik ve sayısal sonuçların uyum içinde olduğu tespit edilmiştir.

Kamensky vd. (2018) çalışmalarında katı cisimler arasındaki sürtünmesiz temasını bir potansiyel enerji terimi cinsinden formüle etmişlerdir. Ortaya çıkan kuvvetlerin sayısal entegrasyonunun hesaplama açısından Belytschko vd. tarafından incelenen "pinpall algoritmasına" benzer olduğu görülmüştür. Böylece hem potansiyel tabanlı bir formülasyonun teorik avantajlarına hem de pinpall temasının algoritmik basitliğine, hesaplama verimliliğine ve geometrik çok yönlülüğüne sahip sayısal bir yaklaşım elde edilmiştir. Yöntemin etkinliği sağ atriyoventriküler kalp kapağının simülasyonu ile gösterilmiştir.

Kaya vd. (2018) elastik yarı sonsuz düzlem üzerine oturan üç rijit düz blok ile yüklenmiş homojen tabakanın sürekli ve süreksiz temas problemini sonlu elemanlar yöntemi kullanarak çözümünü yapmışlardır. Çalışma sonucunda analitik çözüm sonuçları ile SEM çözümleri karşılaştırılmış çok yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Chen ve Yue (2019) fonksiyonel olarak derecelendirilmiş ince kaplamalar ile güçlendirilmiş iki elastik kürenin noktasal temas problemini incelemiştir. Dereceli kesme modülü ve poisson oranının temas üzerindeki etkileri gösterilmiştir.

Polat vd. (2019) iki rijit panç ile bastırılan fonksiyonel derecelendirilmiş tabakada sürtünmesiz temas probleminin çözümünü sonlu elemanlar metodu (SEM) ile yapmışlardır. Sonlu elemanlar çözümü için ANSYS paket programı kullanılmıştır. Programın doğruluğunu kontrol etmek için SEM çözümleri ile analitik çözümler karşılaştırılmış, yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Yaylı vd. (2019) elastik yarım düzlem üzerine oturan, yayılı yük ile yüklü FD tabakanın süreksiz temas problemini incelemiştir. Kütle kuvvetleri ihmal edilmiştir. Rijitlik parametresinin, temas mesafesi ve temas gerilme yayılışı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Kaya vd. (2020) homojen bir tabaka üzerine oturan iki rijit panç ile yüklü fonksiyonel derecelendirilmiş bir tabakada sürekli temas probleminin çözümünü yapmışlardır. Problemden FD tabakanın rijitliği ve yoğunluğu üstel bir fonksiyona bağlı olarak değişmektedir. Çalışmanın sonucunda analitik çözümler ve sonlu elemanlar metodu ile yapılan çözümler karşılaştırılmış ve çok yakın çözümler elde edilmiştir.

Öner ve Birinci (2020) homojen yarım sonsuz düzlem üzerine oturan rijit dikdörtgen blok ile yüklü fonksiyonel bir tabakada süreksiz temas probleminin çözümünü yapmışlardır. Problemden rijitlik parametresi, yoğunluk parametresi, yük faktörü ve blok genişliğinin değişimine göre ayrılma mesafeleri hesaplanmıştır.

Bingöl vd. (2020) binalardaki düzensiz taşıyıcı sistemlerini tespit etmek için yapay zekanın bir uygulaması olan derin öğrenme ve görüntü işleme tekniklerini kullanmışlardır. Taşıyıcı sistemin düzenli ya da düzensiz olduğuna dair bilgiyi verecek olan düzensizlik kontrol asistanını oluşturmaya çalışmışlardır.

Kaya (2020) rijit düzlem üzerine oturan ve iki rijit dikdörtgen blok ile yüklü homojen ve fonksiyonel derecelendirilmiş tabakalar arasındaki temas problemini incelemiştir. Problem sürekli ve süreksiz temas durumu için ayrı ayrı incelenmiştir. Analitik çözüm ve ANSYS sonlu elemanlar çözümü karşılaştırılmış sonuçların oldukça uyumlu olduğu görülmüştür.

Çömez vd. (2020) çalışmalarında elektriği ileten rijit düz zımba ile homojen tabaka arasındaki sürtünmesiz sürekli ve süreksiz temas problemini incelemiştir.

Çömez (2020) çalışmasında hem normal hem de teğetsel konsanstre yükleri ileten rijit silindirik bir panç ile yüklenmiş fonksiyonel derecelendirilmiş (FD) monoklinik tabakanın sürtünmeli temas problemini incelemiştir.

Balcı ve Dağ (2020) homojen tabaka üzerine oturan rijit hareketli bir panç ile yüklü fonksiyonel derecelendirilmiş tabakanın sürtünmeli temas probleminin analizini yapmışlardır. Dereceli kaplamanın kayma modülünün düzgün değişimi, üstel bir fonksiyonla tanımlanmış ve Poisson oranının değişiminin ihmal edilebilir olduğu varsayılmıştır. Çalışmanın sonucunda zımba hızının, sürtünme katsayısının, malzeme homojensizliğinin ve kaplama kalınlığının temas stres dağılımları ve stres yoğunluğu faktörleri üzerindeki etkileri gösterilmiştir.

Yang vd. (2020) çalışmalarında küresel ayırık elemanlar ve altı yüzlü sonlu elemanlar arasındaki etkileşimleri ele almak için TSC (lastik-kum teması) olarak adlandırılan etkili bir temas algılama algoritması geliştirmişlerdir. Algoritma küresel ve lokal arama algoritması olarak ikiye ayrılmaktadır. Küresel arama aşamasında, tanecikli arazide lastik hareketinin temas özelliklerine göre, potansiyel temas çiftleri hızlı bir şekilde belirlenir. Lokal arama aşamasında ise, temas noktası ve penetrasyon değeri hesaplanır. Son olarak 3B temas analizinde TSC algoritmasının kesinliğini ve etkinliğini doğrulamak için birkaç sayısal örnek sunulmuştur. Böylelikle algoritmanın avantajı gösterilmiştir.

Yaylacı vd. (2022) dairesel bir panç ile yüklenmiş fonksiyonel derecelendirilmiş tabakanın sürtünmesiz temas problemini incelemiştir. Problemin analizinde sonlu elemanlar metodu (SEM) ve çok katmanlı algılayıcı (ÇKA) kullanılmıştır. SEM ve ÇKA' dan elde edilen temas uzunlukları ve temas gerilmelerinin analitik yöntemden elde edilen sonuçlara yakın olduğu tespit edilmiştir.

Hu vd. (2022) rastgele pürüzlü yüzeylere sahip sürtünmeli elastik temas problemlerinin çözümü için izogeometrik analize dayalı bir yöntem sunmuşlardır. Elastik-rijit temas problemleri için bir sürtünmeli temas algoritması geliştirmişlerdir.

Polat ve Kaya (2022) çalışmalarında, rijit bir düzlem üzerine oturan ve iki rijit blok tarafından yüklenen iki fonksiyonel dereceli (FD) tabakada süreksiz temas problemi sonlu elemanlar metodu (SEM) kullanarak çözümünü yapmıştır. Problem katmanlarının üst yüzeylerinin metal, alt yüzeylerin seramik ve üst yüzeylerin seramik ve alt yüzeylerin metal olduğu durumlar için ayrı analizler yapılmıştır.

Bello vd. (2022) normal bir beton karışımı için gerekli suyu tahmin etmek için yapay sinir ağı geliştirmişlerdir. Önde gelen laboratuvarlardan elde edilen standart veri örnekleri kullanılmıştır. Verilerin %70'i eğitim, %15'i doğrulama, kalan %15 ise eğitimde kullanılmıştır. Geliştirilen DSA modeli ilgili istatistiksel ölçütlere tabi tutulmuş ve rastgele orman (random forest), gradyan artırma makineleri (gradient boosting machines) ve destek vektör makineleri (DVM) ile karşılaştırılmıştır. DSA modelin tarafından elde edilen performans endekslerinin

beton suyu tahmini için diğer modellere kıyasla en yüksek güvenilirliğe sahip olduğu görülmüştür.

Ban ve Mi (2023) homojen olmayan bir şekilde kaplanmış yarım düzlem ile rijit bir silindirik zımba arasındaki yapışkan nanotemas problemini çözmüştür. Yüzey malzemesi parametreleri, yapıştırıcı enerji yoğunluğu ve girinti boyutu ile ilgili olarak kapsamlı parametrik çalışmalar yürütülmüştür.

Yadav vd. (2023) traktör lastiklerinin sert zemin üzerindeki temas alanını tahmin etmek için bir yapay sinir ağı modeli geliştirmişlerdir. Modeli geliştirmek için dört farklı boyutlardaki traktör lastiğinin temas alanı hesaba alınmıştır. Lastiklerin değişen lastik yükü ve basıncı için 538 veri seti elde edilmiştir. Yapay sinir ağı ile Grafik Kullanıcı Arayüzü (GUI) birleşimi ile geliştirilen model ile herhangi bir şişirme basıncında ve yükünde gerçek değerlerden %2'lik bir sapmayla temas alanı tahmini yapılmıştır.

Polat (2023) iki elastik dairesel panç ile yüklü homojen ve izotropik tabakadaki temas problemini incelemiştir. Problemin çözümünde ANSYS paket programı ve DSA algoritması kullanılmıştır. Probleme uygun olarak oluşturulan DSA algoritması ile temas uzunluklarının tahmini yapılmıştır. ANSYS çözümleri ve DSA tahminleri karşılaştırılmış, yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Wan vd. (2023) kendi kendini iyileştiren betonun damar yapısının optimizasyonunu DSA ile gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada orta açıklıkta 6 yuvarlak gözenekli beton kirişleri etkili bir şekilde temsil etmek ve optimizasyon sürecine fayda sağlamak için bir girdi temsil yöntemi önerilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda DSA modelinin kendini iyileştiren beton için damar sistemini optimize etmede büyük bir potansiyele sahip olduğu anlaşılmıştır.

#### **1.4.1. Çalışmanın amacı ve kapsamı**

Bu çalışmada iki rijit dikdörtgen blok ile yüklü, rijit düzlem üzerine oturan fonksiyonel derecelendirilmiş tabakalardaki süreksiz temas probleminin yapay zeka tekniği ile analizi yapılmıştır. Problemin çözümünde, sonlu elemanlar yöntemi temeline dayanan ANSYS paket programı ve Python programı kullanılmıştır. Problemin homojen tabaka üzerine oturan FD tabaka için çözümünü Kaya (2020) sürekli ve süreksiz temas için analitik ve sonlu elemanlar metoduyla yapmıştır. Ancak çift FD tabaka durumu için sonlu elemanlar ve yapay zeka uygulamalarının birlikte ele alındığı temas probleminin çözümüne rastlanmamıştır. Problem üç bölümde ele alınmıştır.

Birinci bölüm fonksiyonel derecelendirilmiş (FD) tabakalar arasında ve tabaka ile dikdörtgen bloklar arasında herhangi bir süreksizliğin meydana gelmediği sürekli temas halidir. Bu bölümde, tabakalar altında ve rijit bloklar altındaki temas gerilmeleri, ilk ayrılma noktası ve ayrılmaya yol açabilecek kritik yük elde edilmiştir.

İkinci bölümde, tabakalar arasında oluşabilecek süreksiz temas durumu incelenmiştir. Sürekli temas durumunda elde edilen ilk ayrılma yükleri ( $\lambda_{cr}$ ) ve ilk ayrılma noktası ( $x_{cr}$ ) yardımıyla farklı yük ve parametre durumları için ayrılma bölgesinin başlangıç ve bitiş noktaları, tabakalar ve tabaka dikdörtgen bloklar arasındaki yüzeyler boyunca oluşan temas gerilmesi dağılımları ve deplasmanlar boyutsuz olarak elde edilmiştir.

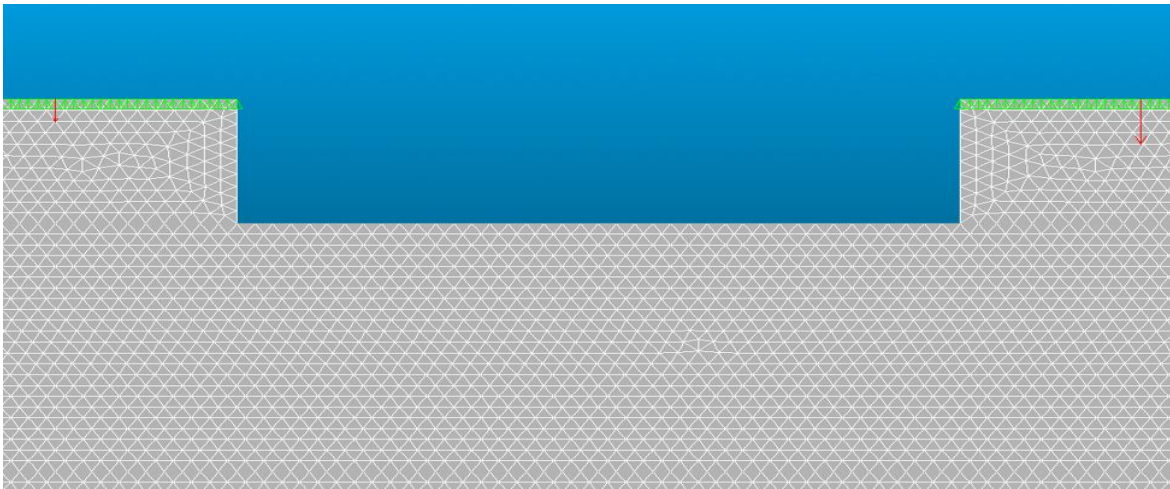
Son bölümde, süreksiz temas durumunda elde edilen farklı parametre ve yükleme durumları için ayrılma bölgesinin başlangıç ve bitiş noktalarını içeren veri seti oluşturulmuştur. Bu veri setine uygun bir algoritma geliştirilmiştir. Algoritma Python programına aktarılmış, ayrılma başlangıç ve bitiş noktalarının tahmini yapılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, iki rijit dikdörtgen blok ile yüklü fonksiyonel derecelendirilmiş tabakadaki temasın sürekli ve süreksiz durumlar için incelenip ilk ayrılma noktaları, ilk ayrılma yüklerini edilmesi, sürekli temastan elde edilen bu değerler yardımıyla deplasmanlar ve temas gerilmesi dağılımları sonlu elemanlar metodu prensibine dayanan ANSYS paket programı yardımıyla elde edilmesi ve süreksiz temas durumunda elde edilen verilere uygun bir algoritma oluşturulması ve bu algoritma yardımıyla ayrılma başlangıç ve bitiş noktalarının tahmin edilmesidir. ANSYS paket programında FD tabakaların tanımlanması ve mesh (ağlara bölme) işlemi programın standart menüleri ile yapılamadığı için programın LOGFILE dosyasına bir makro yazılım eklenmiştir. Eklenen bu yazılım ile farklı özelliklere sahip tabakaların ayrı ayrı tanımlanmasının önüne geçilmiş ve tek bir tabaka tanımı ile problemin çözümü yapılarak çözüm maliyeti azaltılmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda süreksiz temas probleminin sonlu elemanlar çözümü ve tahmin algoritmasından elde edilen verilerin karşılaştırılması hedeflenmektedir.

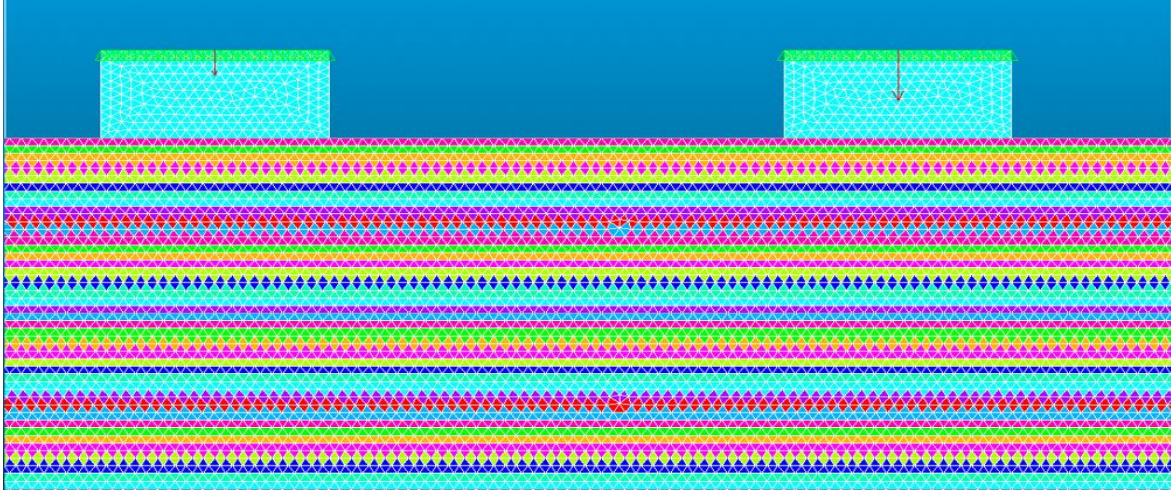


## 2.2. Problemin Sonlu Elemanlar Metodu ile Çözümü

Geçmişten günümüze gelişen teknoloji ile birlikte her alanda olduğu gibi mühendislik alanında da büyük değişimler meydana gelmiştir. Mühendislik problemlerinin modellenmesi ve analizinde klasik yöntemler yerini sonlu elemanlar yöntemine bırakmaya başlamıştır. Bu yöntem karmaşık geometriye sahip ve tek parça halinde çözülemeyen cisimlerin çok sayıda parçalara ayrılarak ayrı ayrı analizlerinin yapılmasına olanak sağlamıştır. Cisimlerin çok sayıda eşit parçalara ayrılmasına ağlara bölme (meshing) adı verilir. Sonlu elemanlar yöntemi temeline göre çözüm yapan çeşitli paket programlar vardır. Bu programlardan biri de ANSYS Mechanical APDL Product Launcher paket programıdır (ANSYS, 2019). Bu çalışmada, problemin modellenmesi ve analizinde ANSYS paket programı kullanılmıştır. İlk olarak ANSYS standart menüleri yardımıyla problemin geometrisi oluşturulmuştur. Daha sonra FD tabakalar ve pançlara ait malzeme özellikleri tanımlanmıştır. FD tabakaların kalınlığı boyunca rijitlik ve yoğunluk parametreleri değiştiğinden bu malzemenin özelliklerinin tanımlanması ANSYS standart menüleri ile yapılamamaktadır. Bu nedenle programa uygun özel bir makro yazılarak FD tabakanın malzeme özellikleri tanımlanmıştır ve meshing işlemi yapılmıştır. Bu makro yardımıyla tabakaların ayrı ayrı tanımlanmasının önüne geçilmiş ve problemin çözüm maliyeti ciddi oranda azaltılmıştır. İkinci aşama ise yükler ve deplasmanların tanımlanarak çözüm yapılmasıdır. Son aşama ise sonuçların değerlendirilmesidir. Şekil 2.2’de problemin serbest üçgen ağlara bölme işlemi, Şekil 2.3’te problemin ANSYS sonlu elemanlar modeli gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Problemin serbest üçgen ağlara bölme işlemi



**Şekil 2.3.** ANSYS sonlu elemanlar modeli



### 3. BULGULAR VE İRDELEME

#### 3.1. Sürekli Temas Çözümleri

Bu bölümde, iki rijit dikdörtgen blok ile yüklü fonksiyonel derecelendirilmiş tabakalardaki sürekli temas durumu incelenmiştir. Çalışmada  $\beta h_1$ ,  $\beta h_2$ ,  $(c-b)/h$ ,  $Q/P$ ,  $(b-a)/h$ ,  $(d-c)/h$ ,  $\gamma h_1$ ,  $\gamma h_2$  gibi boyutsuz büyüklüklere bağlı olarak aşağıdaki analizler yapılmıştır.

- Rijit bloklar altındaki temas gerilmeleri,
- FD tabakalarda derinlik boyunca oluşan gerilme dağılımları ( $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\tau_{xy}$ ),
- Tabakalar arasındaki normal gerilmeler ( $\sigma_{1y}$ ),
- Tabakalar arasındaki ilk ayrılma yükleri ( $\lambda_{cr}$ ) ve uzaklıkları ( $x_{cr}$ ) bulunmuş, bu problemin homojen tabaka çözümüyle karşılaştırılması Tablo 1' de sunulmuştur.
- Şekillerdeki (1) sembolü P dış yükü ile yüklü 1.blok altındaki, (2) sembolü 2.blok altındaki temas gerilmelerini ifade eder.

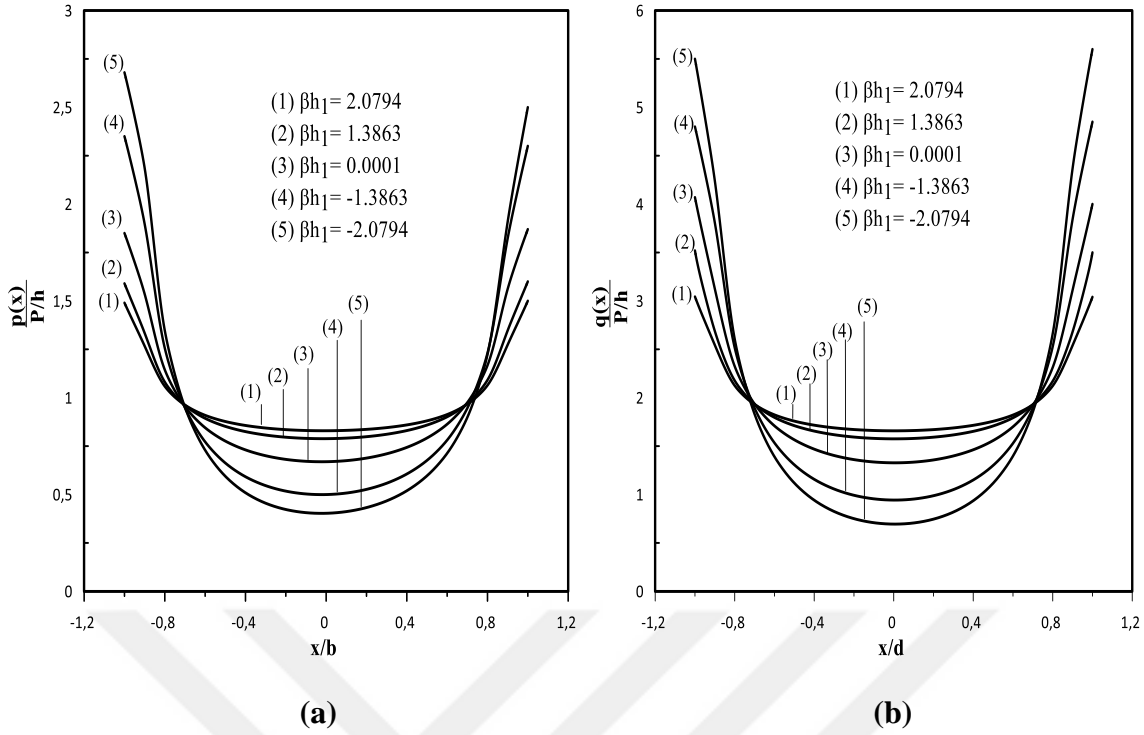
##### 3.1.1. Bloklar altındaki temas gerilmelerinin incelenmesi

Bu kısımda, rijit bloklar ile tabaka arasındaki meydana gelen temas gerilmeleri, farklı boyutsuz büyüklükler için incelenmiştir. Bu çalışmada rijitlik parametreleri  $\beta h_1$ ,  $\beta h_2$  yoğunluk parametreleri  $\gamma h_1$ ,  $\gamma h_2$  değerlerinin değişimi aşağıdaki gibidir.

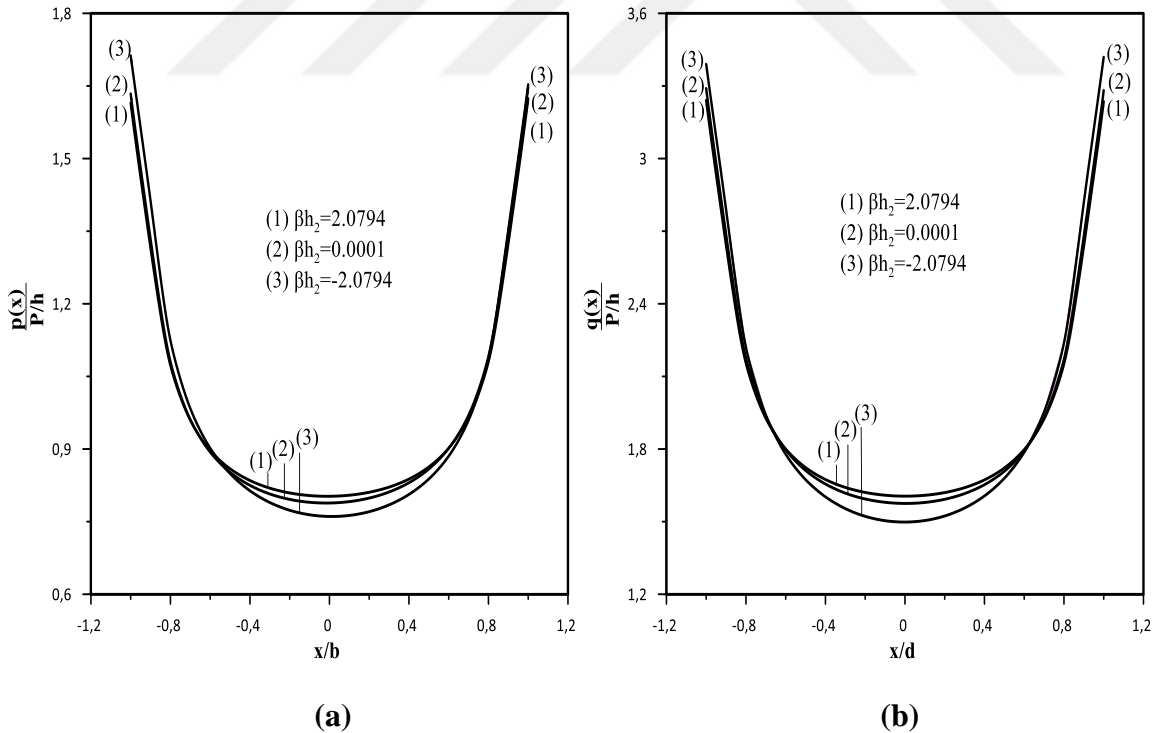
- $\beta h$  ve  $\gamma h$ 'ın pozitif değerlerinde, tabakaların alt yüzeylerindeki rijitlik ve yoğunluk üst yüzeylerinden fazladır.
- Tabakalarda  $\beta h$  ve  $\gamma h$ 'ın sifıra çok yakın değerlerinde homojen davranış görülür.
- $\beta h$  ve  $\gamma h$ 'ın negatif değerlerinde, tabakaların üst yüzeylerindeki rijitlik ve yoğunluk alt yüzeylerinden fazladır.

Şekil 3.1(a) ve şekil 3.1(b) birinci tabakaya ait rijitlik parametresi olan  $\beta h_1$  değişiminin bloklar altındaki temas gerilme dağılımlarına etkisini göstermektedir.  $\beta h_1$  değeri azaldıkça tabaka üst yüzeyinden alt yüzeyine doğru rijitlik azalmaktadır. Bu durumda şekil 3.1(a) ve şekil 3.1(b)'de görüldüğü gibi dikdörtgen blokların kenarlarında oluşan temas gerilme değerleri artmakta, blokların ortalarındaki gerilme değerlerinde ise azalış görülmektedir. Şekil 3.1 (b)'de dış yük değeri şekil 3.1 (a)'nın iki katıdır. Yük değerinin arttırılması blok altında meydana

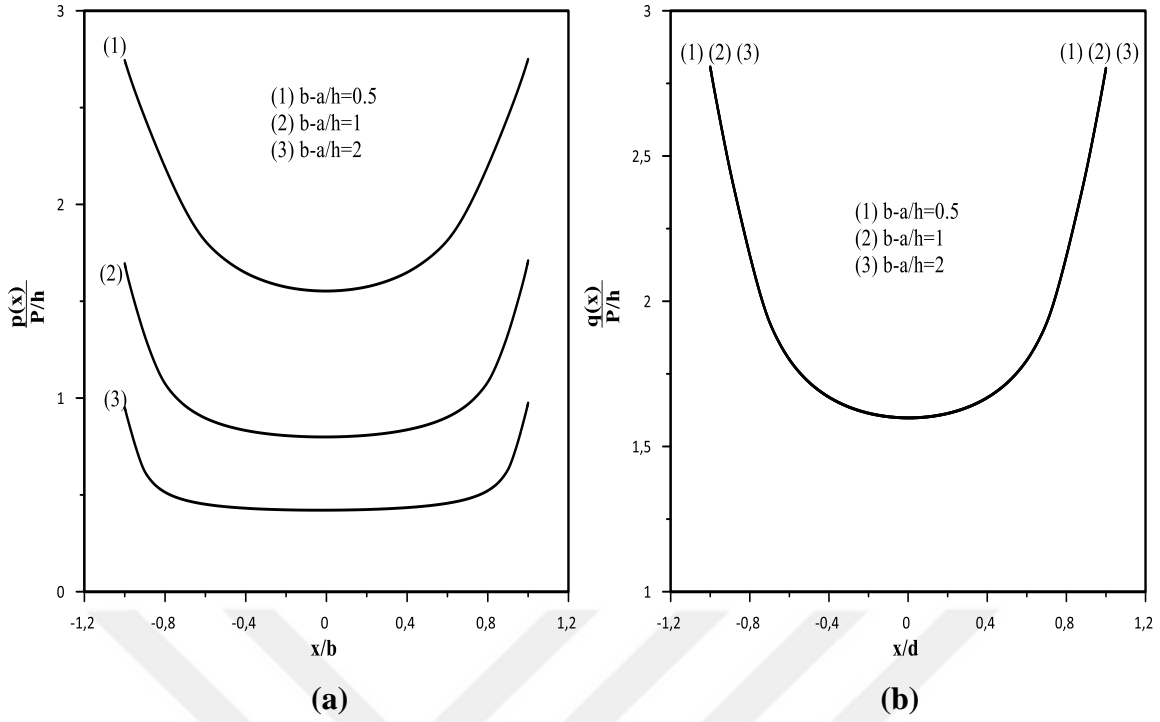
gelen temas gerilmelerinde artışa neden olmuştur. Şekil 3.2(a-b), ikinci tabakanın rijitlik parametresi  $\beta h_2$  değişiminin 1. ve 2. blok altında oluşan gerilme dağılımlarına etkisini göstermektedir. Şekil 3.2 (a-b)'de  $\beta h_2$  değeri azaldıkça, blok köşelerinde temas gerilme değerleri artmakta, blok ortasında ise azalmaktadır. Şekil 3.2(b) dış yük değeri iki kat fazladır, bu nedenle blok altı temas gerilmelerinde artış görülmektedir. Şekil 3.2(a-b) farklı blok genişlikleri  $((b-a)/h)$  için bloklar altındaki temas gerilme dağılımı incelenmiştir. Şekil 3.3(a)'da blok genişliği arttıkça temas gerilmesi büyük bir alana yayıldığı için gerilme değeri azalmaktadır. Ancak bu değişiminin 2. blok altında oluşan temas gerilmelerine kayda değer bir etkisi olmadığı görülmektedir. Şekil 3.4(a-b)'de 2. blok genişliği değişiminin blok altında meydana gelen temas gerilmelerine etkisi araştırılmıştır. Şekil 3.3(a-b)'de elde edilen verilere paralel olarak 2. Blok genişliği azaldıkça, temas küçük bir alanda meydana geldiği için gerilme değerlerinde artış görülürken, bu değişimin 1.blok altında oluşan temas gerilmelerine etkisi değişime neden olmayacak kadar az olduğu görülmektedir. Şekil 3.5(a-b)'de bloklar arasındaki mesafe  $((c-b)/h)$  değişimin blok altındaki temas gerilmelerine etkisi incelenmiştir. Şekil 3.5(a) ve Şekil 3.5(b)'de de görüldüğü üzere, bloklar arasındaki mesafe arttıkça, blokların birbirine yakın kenarlarında oluşan gerilme değerlerinde artış gözlemlenirken, uzak kenarlarda gerilme değerleri azalmıştır.



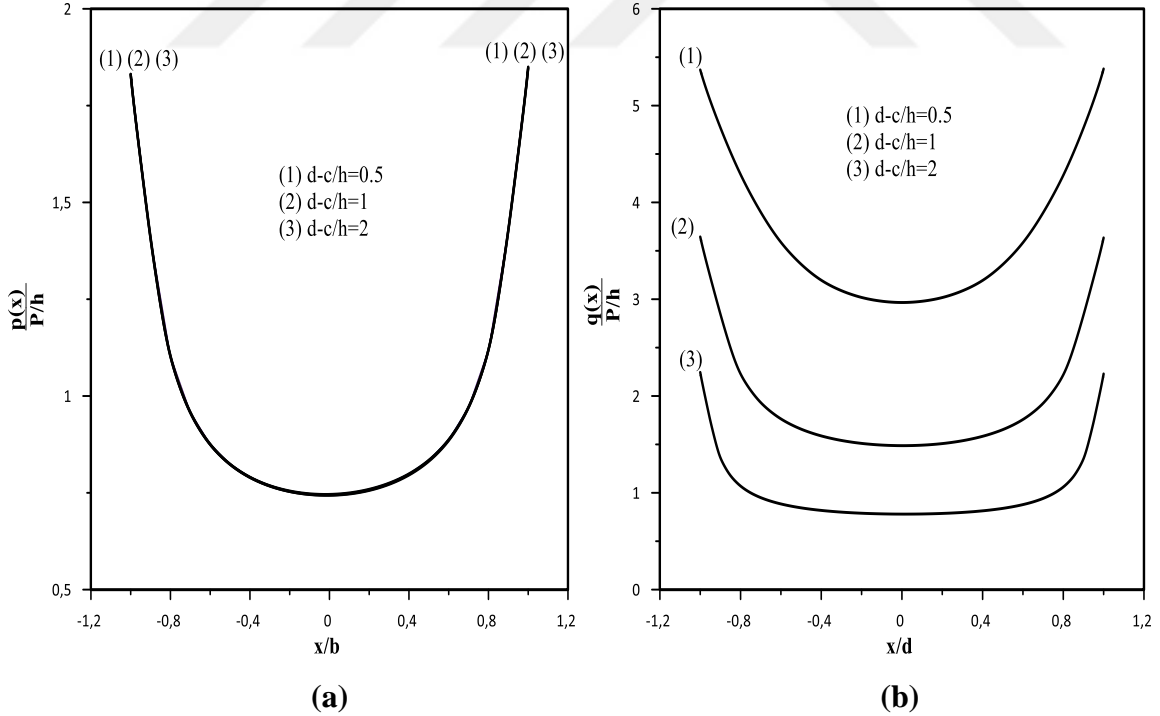
**Şekil 3.1.** 1. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta h_1$ ) değişimine göre bloklar altındaki temas gerilme dağılımları ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta h_2=0.0001$ ,  $\gamma h_1=1.3863$ ,  $\gamma h_2=0.0001$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ,  $y=2$ )



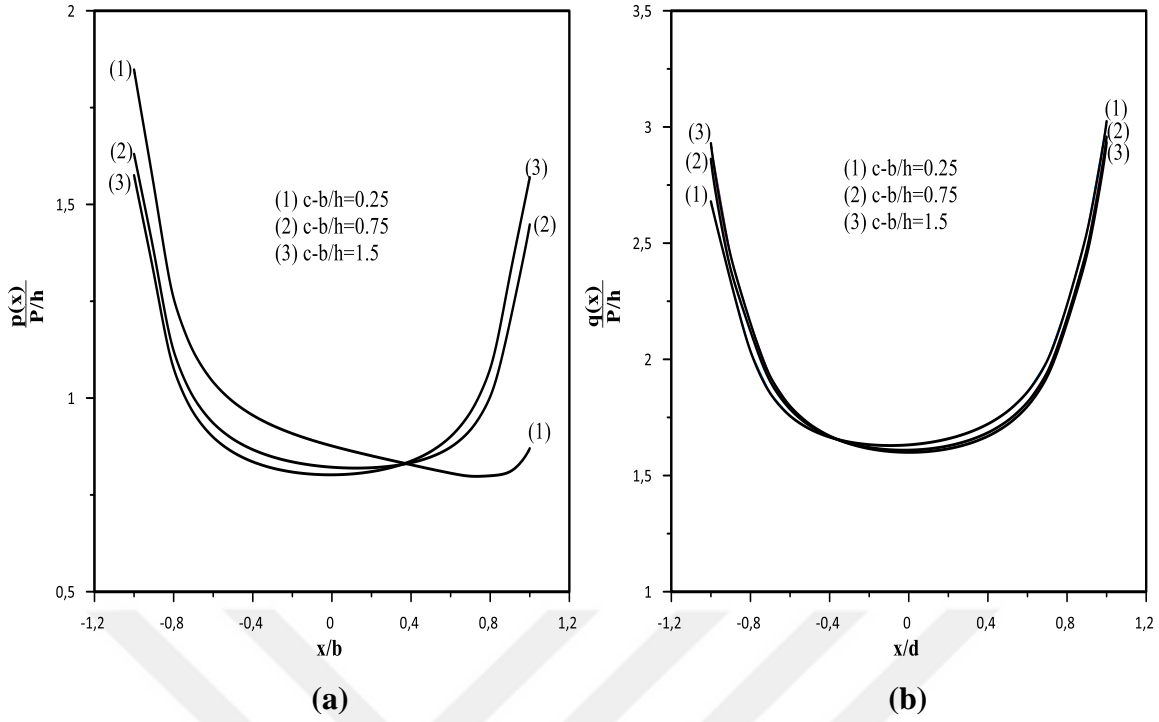
**Şekil 3.2.** 2. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta h_2$ ) değişimine göre bloklar altındaki temas gerilme dağılımları ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta h_1=0.0001$ ,  $\gamma h_1=\gamma h_2=0.0001$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ,  $y=2$ )



**Şekil 3.3.** 1. blok genişliği  $((b-a)/h)$  değişimine göre bloklar altındaki temas gerilme dağılımları ( $a/h=3$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta_{h1}=\beta_{h2}=1.3863$ ,  $\gamma_{h1}=\gamma_{h2}=1.3863$ ,  $\mu_o=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ,  $y=2$ )



**Şekil 3.4.** 2. blok genişliği  $((d-c)/h)$  değişimine göre bloklar altındaki temas gerilme dağılımları ( $a/h=3$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta_{h1}=\beta_{h2}=0.693148$ ,  $\gamma_{h1}=\gamma_{h2}=0.693148$ ,  $\mu_o=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ,  $y=2$ )



**Şekil 3.5.** Bloklar arasındaki mesafe ((c-b)/h) değişimine göre bloklar altındaki temas gerilme dağılımları (a/h=3, (c-b)/h=2, (d-c)/h=1, Q=2P,  $\beta h_1 = \beta h_2 = 1.3863$ ,  $\gamma h_1 = \gamma h_2 = 1.3863$ ,  $\mu_o = 1$ ,  $\mu_{21}/\mu_{1b} = 1$ ,  $\kappa_1 = \kappa_2 = 2$ , y=2)

### 3.1.2. Fonksiyonel derecelendirilmiş tabakalar arasındaki ilk ayrılma yükleri ve uzaklıklarının incelenmesi

İlk ayrılma yükü ve uzaklığının bilinmesi süreksiz temas çözümleri için önemlidir. Bu değerler bilinmediği takdirde deneme yanılma yoluyla rastgele yük değerleri için ayrılma mesafeleri hesaplanır ve bu da çözüm süresini oldukça arttırır. Örneğin bu çalışmada 1439x6 boyutlarında veri setiyle çalışılmıştır. Deneme yanılma ile bu değerleri bulmak uzun zaman alan bir çalışma gerektirir. Bu bölümde fonksiyonel tabakalar arasındaki ilk ayrılma yükleri ve uzaklıkları tablo ve grafiklerle gösterilmiştir. Tablo 3.1 ve 3.2’de sırasıyla FD tabakaya ait rijitlik parametresinin ve 2. blok genişliği (d-c)/h değişimine göre elde edilen ilk ayrılma yükleri ve uzaklıkları literatür ile karşılaştırılmıştır. Kaya(2020) çalışmasında, bu problemin homojen ve fonksiyonel derecelendirilmiş tabakaya göre çözümünü yapmıştır. Çalışmasında üstteki tabaka FD, alttaki tabaka ise homojendir. Bu çalışmada FD tabakanın homojen davranış göstermesi için  $\beta h_2 = 0.0001$  ve  $\gamma h_2 = 0.0001$  alınmıştır. Elde edilen veriler karşılaştırılmış ve yakın sonuçlar elde edilmiştir.

**Tablo 3.1.** 1. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta_{h1}$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki ilk ayrılma yükleri ve uzaklıklarının Kaya(2020) ile karşılaştırılması ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta_{h2}=0.0001$ ,  $\gamma_{h1}=1.3863$ ,  $\gamma_{h2}=0.0001$ ,  $\mu_o=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ,  $y=1$ )

$\beta_{h1}$	$x_{cr}/h$		Hata (%)	$\lambda_{cr}$		Hata (%)
	Bu çalışma	Kaya(2020)		Bu çalışma	Kaya(2020)	
1.0986	9.05	9.0111	0.432	104.2358	101.9368	2.255
0.6931	9.10	9.0793	0.228	94.3966	91.9492	2.662
0.0001	9.25	9.2188	0.338	82.1358	79.8485	2.865
-0.6931	9.40	9.3857	0.152	74.0853	72.0956	2.759

**Tablo 3.2.** 2. blok genişliği  $((d-c)/h)$  değişimine göre FD tabakalar arasındaki ilk ayrılma yükleri ve uzaklıklarının Kaya(2020) ile karşılaştırılması ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta_{h1}=-0.6931$ ,  $\gamma_{h1}=-0.6931$ ,  $\beta_{h2}=0.0001$ ,  $\gamma_{h2}=0.0001$ ,  $\mu_o=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ,  $y=1$ )

$(d-c)/h$	$x_{cr}/h$		Hata (%)	$\lambda_{cr}$		Hata (%)
	Bu çalışma	Kaya(2020)		Bu çalışma	Kaya(2020)	
0.5	9.05	9.0097	0.447	21.2196	21.3271	0.504
1	9.40	9.3858	0.151	23.7192	24.0068	1.198
2	10.30	10.3025	0.024	32.7921	33.5834	2.356

Tablo 3.3'te birinci tabakanın rijitlik parametresi ( $\beta_{h1}$ ) ve yoğunluk parametresinin ( $\gamma_{h1}$ ) farklı değerleri için FD tabakalar arasındaki ilk ayrılma yükleri ve uzaklıklarının değişimi gösterilmiştir. FD tabakanın yoğunluk parametresi sabit iken, rijitlik parametresi artırıldığında, ilk ayrılma mesafeleri ( $x_{cr}$ ) azalmış, ilk ayrılma yükleri ise artış göstermiştir. Rijitlik parametresinin sabit, yoğunluk parametresinin artış gösterdiği durumda ise ilk ayrılma mesafesinde değişim görülmezken, yoğunluk artışı rijitlik artışıyla paralel olarak ilk ayrılma yüklerinde artışa neden olduğu görülmektedir. Yoğunluk artışının rijitlik parametresine kıyasla ilk ayrılma yüklerine etkisi daha fazla olduğu tablo 3'te açıkça görülmektedir.

Tablo 3.4'te ikinci tabakanın rijitlik parametresi ( $\beta_{h2}$ ) değişimine göre tabakanın sol ve sağ kenarlarındaki ilk ayrılma yükü ve mesafeleri gösterilmektedir. İkinci tabakanın rijitliği artırıldığında tabakanın sol tarafında ilk ayrılma mesafesi ( $x_{crsol}$ ) bloktan uzaklaşırken, tabakanın sağındaki mesafe ( $x_{crsağ}$ ) bloğa yaklaşmaktadır. İlk ayrılma yükleri ise, tabakanın sağ kenarında  $\beta_{h2} = 2.0794$  değerinden,  $\beta_{h2} = -0.4055$  değerine kadar artış göstermiş, ancak bu değerden sonra azalışa geçmiştir. Tabakanın solunda ise  $\beta_{h2} = -2.0794$  değerinden  $\beta_{h2} = 0.4055$  değerine kadar gerilme değerleri artış göstermiş, bu değerden sonra azalışa geçmiştir.

Tabakanın solundaki en büyük ilk ayrılma yükü  $\beta_{h_2} = 0.4055$  değerinde elde edilirken, tabakanın sağında ise  $\beta_{h_2} = -0.4055$  değerinde elde edilmiştir.

Tablo 3.5'te dikdörtgen bloklar arasındaki farklı mesafe  $((c-b)/h)$  durumları için ilk ayrılma yükler ve mesafeleri incelenmiştir. Rijit bloklar arasındaki mesafe arttıkça, tabakanın solunda ilk ayrılma mesafesi azalırken, tabakanın sağında bu değerler artış göstermiştir. Bloklar arasındaki mesafe artışının ilk ayrılma yüklerinde artışa sebep olduğu görülmektedir.

Tablo 3.6'da farklı yükleme durumları için ilk ayrılma yükü ve uzaklıkları incelenmiştir. Yükteki artış tabakanın sağında oluşan ilk ayrılma yüklerinde azalmaya yol açarken, sol tarafta oluşan ayrılma yüklerinde artışa sebep olmuştur. Yük oranı değişiminin tabakanın solundaki ve sağındaki ilk ayrılma mesafelerine etkisi olmamıştır.

**Tablo 3.3.** 1. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta_{h_1}$ ) ve yoğunluk parametresi ( $\gamma_{h_1}$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki ilk ayrılma yükleri ve uzaklıklarının incelenmesi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta_{h_2}=1.3863$ ,  $\gamma_{h_2}=1.3863$ ,  $\mu_o=1$ ,  $\mu_{2l}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ,  $y=1$ )

	$\beta_{h_1}$									
	1.3863		0.693148		0.0001		-0.693148		-1.3863	
$\gamma_{h_1}$	$x_{cr}$	$\lambda_{cr}$	$x_{cr}$	$\lambda_{cr}$	$x_{cr}$	$\lambda_{cr}$	$x_{cr}$	$\lambda_{cr}$	$x_{cr}$	$\lambda_{cr}$
1.3863	8.75	108.5007	8.80	88.2248	8.95	75.3706	9.05	67.1407	9.20	62.0105
0.693148	8.75	71.2039	8.80	57.8738	8.95	49.4607	9.05	44.0973	9.20	40.7688
0.0001	8.75	48.5178	8.80	39.4322	8.95	33.7325	9.05	30.1051	9.20	27.8808
-0.693148	8.75	34.3831	8.80	27.9953	8.95	23.8969	9.05	21.4353	9.20	19.8797
-1.3863	8.75	25.2834	8.80	20.5884	8.95	17.5920	9.05	15.7372	9.20	14.5820

**Tablo 3.4.** 2. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta_{h_2}$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki ilk ayrılma yükleri ve uzaklıklarının incelenmesi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta_{h_1}=1.3863$ ,  $\gamma_{h_1}=1.3863=\gamma_{h_2}=1.3863$ ,  $\mu_o=1$ ,  $\mu_{2l}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ,  $y=1$ )

$\beta_{h_2}$	$x_{crsol}$	$\lambda_{crsol}$	$x_{crsağ}$	$\lambda_{crsağ}$
2,0794	1,3500	213,7858	8,6500	106,6889
1,3863	1,2500	217,5292	8,7500	108,5000
0.693148	1,1500	221,4257	8,8500	110,8775
0.4055	1,1000	222,0950	8,9000	111,8809
0.0001	0,9500	219,7249	9,0000	112,8507
-0,4055	0,8000	210,2632	9,1000	112,9899
-0,6931	0,6500	197,6590	9,2000	112,3807
-1,3863	0,2000	147,1419	9,4500	108,0318
-2,0794	0,1500	112,2773	9,7500	101,0495

**Tablo 3.5.** Bloklar arasındaki mesafe ((c-b)/h) değişimine göre FD tabakalar arasındaki ilk ayrılma yükleri ve uzaklıklarının incelenmesi (a/h=3, (b-a)/h=1, (d-c)/h=1, Q=2P,  $\beta_{h1} = \beta_{h2} = 1.3863$ ,  $\gamma_{h1} = \gamma_{h2} = 1.3863$ ,  $\mu_0 = 1$ ,  $\mu_{2l}/\mu_{1b} = 1$ ,  $\kappa_1 = \kappa_2 = 2$ , y=1)

(c-b)/h	$X_{crsol}$	$\lambda_{crsol}$	$X_{crsağ}$	$\lambda_{crsağ}$
0.25	1.4000	148.3875	6.9500	98.7721
0.75	1.3000	189.9915	7.5000	105.0352
1.00	1.3000	202.9220	7.7500	106.7398
1.50	1.2500	215.2262	8.2500	108.1858
3.00	1.2500	216.0773	9.7500	108.3002

**Tablo 3.6.** Yük değişimine göre FD tabakalar arasındaki ilk ayrılma yükleri ve uzaklıklarının incelenmesi (a/h=3, (b-a)/h=1, (d-c)/h=1, (c-b)/h=2,  $\beta_{h1} = \beta_{h2} = 0.693148$ ,  $\gamma_{h1} = 0.693148$ ,  $\gamma_{h2} = 2.0794$ ,  $\mu_0 = 1$ ,  $\mu_{2l}/\mu_{1b} = 1$ ,  $\kappa_1 = \kappa_2 = 2$ , y=1)

Q	$X_{crsol}$	$\lambda_{crsol}$	$X_{crsağ}$	$\lambda_{crsağ}$
1.5P	1.05	117.6664	8.95	80.0491
2P	1.05	118.2353	8.95	59.9632
3P	1.05	119.1958	8.95	39.9157

Şekil 3.6’da bloklar arasındaki farklı mesafe durumları için  $\sigma_{1y}(x, h)/P/h$  temas gerilmeleri gösterilmiştir. Bloklar arasındaki mesafe arttıkça, ilk ayrılma yükleri de artış göstermiştir. İlk ayrılma mesafelerinde ise minimal bir artış meydana gelmiştir.

Şekil 3.7 ve 3.8’de blokların farklı genişlik durumları için FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_{1y}(x, h)/P/h$  temas gerilmeleri incelenmiştir. Şekil 3.7’de 1. blok genişliğinin değiştiği durum gösterilmiştir. 1. bloğun genişliğinin artırılması, 1. bloğa yakın bölgede temas gerilmelerinde azalmaya yol açarken, 2. bloğa yakın bölgedeki temas gerilmelerine etki etmemiştir. 1. blok genişliğinin artırılması ilk ayrılma mesafelerinde artışa sebep olsa da ilk ayrılma yüklerinde herhangi bir değişim olmadığı görülmektedir. Şekil 3.8’de ise 2. blok genişliğinin farklı değerleri için tabakalar arasındaki temas gerilmeleri incelenmiştir. 2. blok genişliği arttırıldığında, 1. bloğa yakın bölgedeki temas gerilme değerleri değişmezken, ikinci blok altındaki temas gerilme değerleri azalmıştır. Blok genişliği arttıkça ilk ayrılma yükleri ve uzaklıklarında artış gözlemlenmiştir.

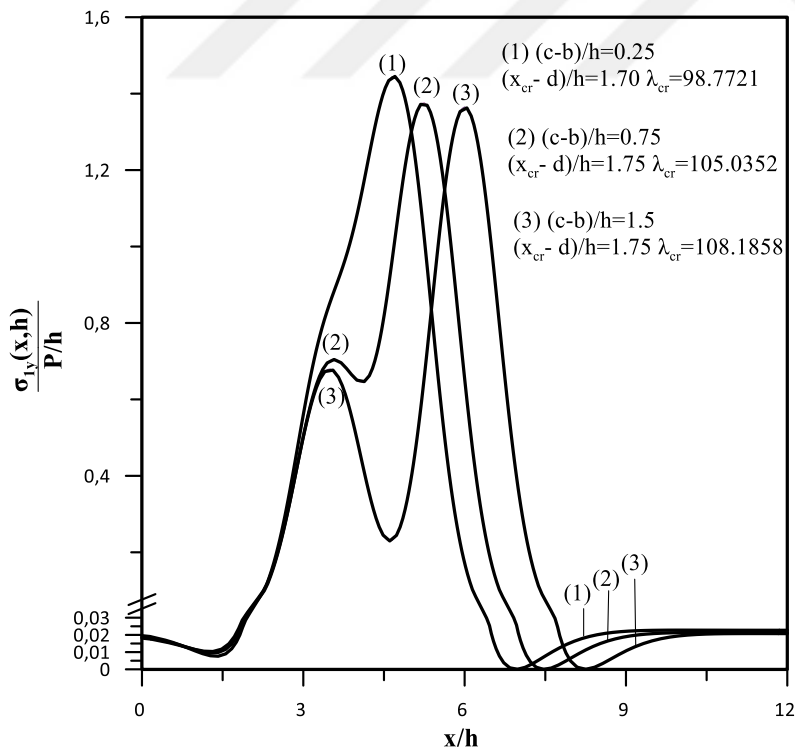
Şekil 3.9 ve 3.10’da tabakaların rijitlik parametreleri ( $\beta_{h1} - \beta_{h2}$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_{1y}(x, h)/P/h$  temas gerilme dağılımı gösterilmiştir. Şekil 3.9’da 1. tabaka rijitlik parametresi değişimi incelenmiştir. Rijitlik parametresinin pozitif değerlerinin artışı, tabaka üst yüzeyinden alt yüzeyine doğru rijitliğin arttığını göstermektedir. Negatif değerlerde ise tabakanın üst yüzeyindeki rijitlik alt yüzeyine kıyasla daha fazladır.

Rijitlik parametresi arttıkça ilk ayrılma yükleri artmakta, ancak ilk ayrılma bloğa yakın bir bölgede oluşmaktadır. Şekil 3.10’da 2. tabaka rijitlik parametresi değişimi gösterilmiştir. Rijitlik parametresi arttıkça ilk ayrılma mesafelerinde artış görülürken, ilk ayrılma yükleri  $\beta h_2 = 0.0001$  değerine kadar artış göstermiş, daha sonra tekrardan azalışa geçmiştir.

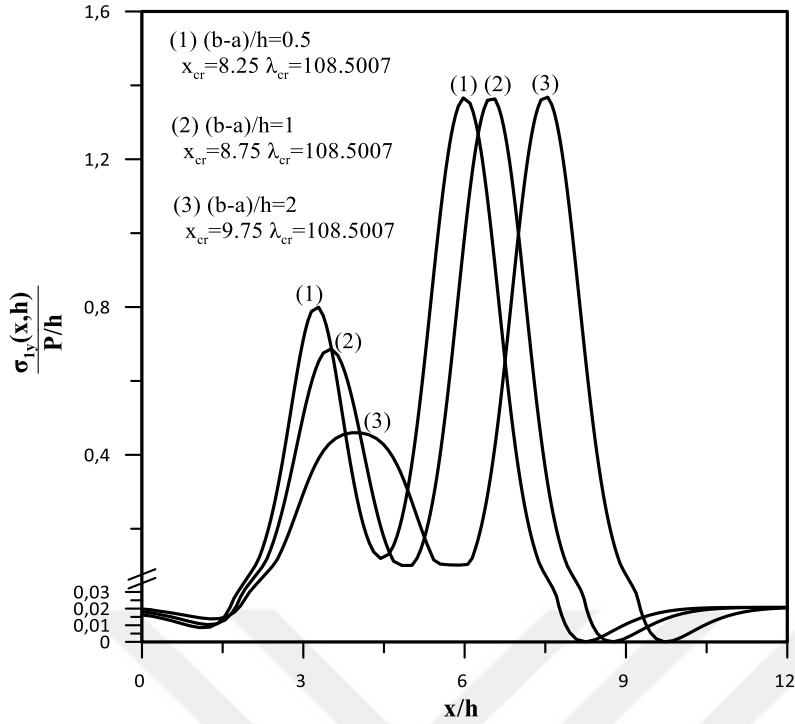
Şekil 3.11’de 1. tabaka yoğunluk parametresinin ( $\gamma h_1$ ) farklı değerleri için FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_{1y}(x, h)/P/h$  temas gerilmeleri gösterilmiştir. FD tabakanın yoğunluktaki artış veya azalış tabakanın ilk ayrılma mesafesinde bir değişime neden olmazken, tabakanın yoğunluğu arttıkça ilk ayrılma yüklerinde artış meydana gelmiştir. Tabaka yoğunluğu arttıkça tabakalar arasındaki ayrılma olasılığı azalmaktadır.

Şekil 3.12’de yük değişim oranının ( $Q=P$ ) farklı durumları için FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_{1y}(x, h)/P/h$  temas gerilmeleri gösterilmiştir. Yük değerindeki artış ilk ayrılma uzaklıklarında herhangi bir değişikliğe yol açmazken, ilk ayrılma yükü yük değeri arttıkça azalma göstermiştir. Diğer bir söylemle yük oranı arttıkça tabakalar arasındaki ayrılmanın meydana gelme ihtimalide de artmaktadır.

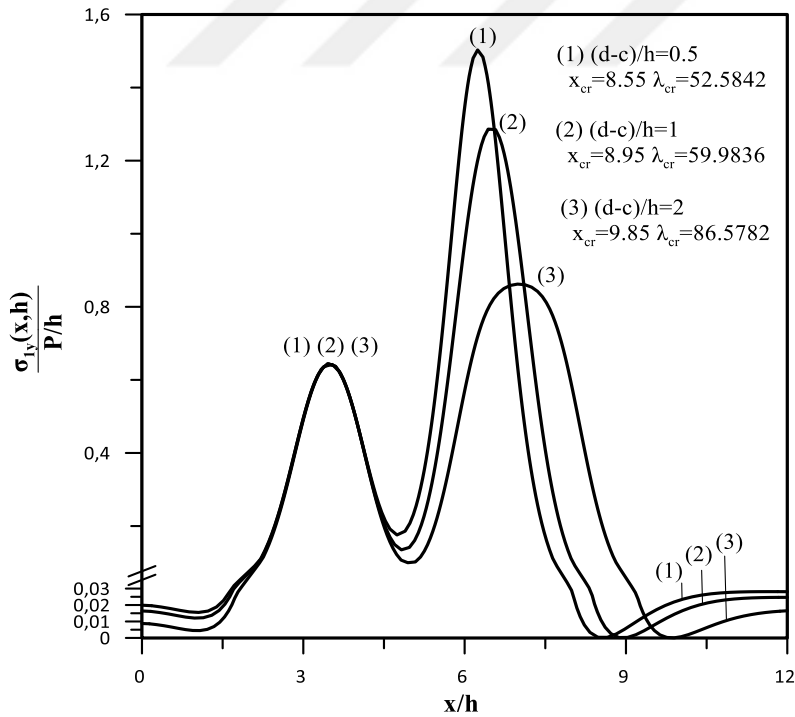
Şekil 3.13’de boyutsuz temas gerilmesi dağılımlarının ANSYS gösterimi yapılmıştır.



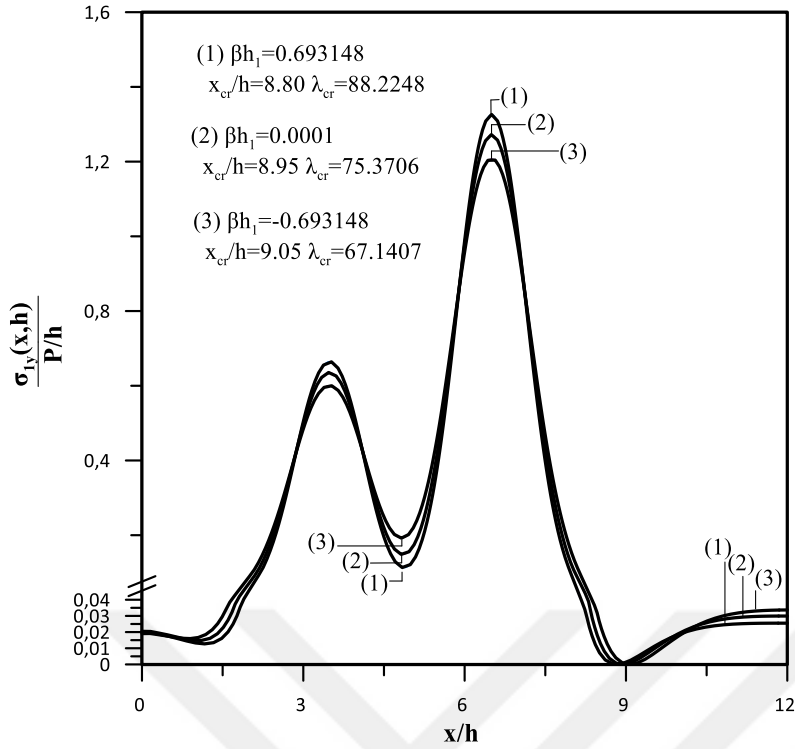
**Şekil 3.6.** Bloklar arasındaki mesafe ((c-b)/h) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_{1y}(x, h)/P/h$  temas gerilmesi dağılımı ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta h_1 = \beta h_2 = 1.3863$ ,  $\gamma h_1 = \gamma h_2 = 1.3863$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_2/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ,  $y=1$ )



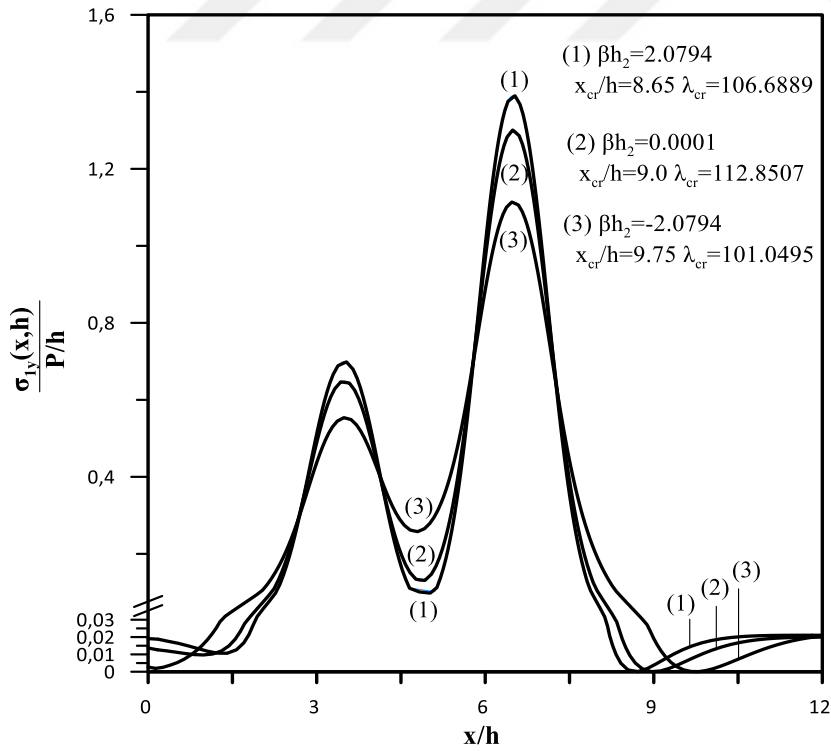
**Şekil 3.7.** 1. blok genişliği ((b-a)/h) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_{1y}(x,h)/P/h$  temas gerilmesi dağılımı ( $a/h=3$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta h_1=\beta h_2=1.3863$ ,  $\gamma h_1=\gamma h_2=1.3863$ ,  $\mu_o=1$ ,  $\mu_{2l}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ,  $y=1$ )



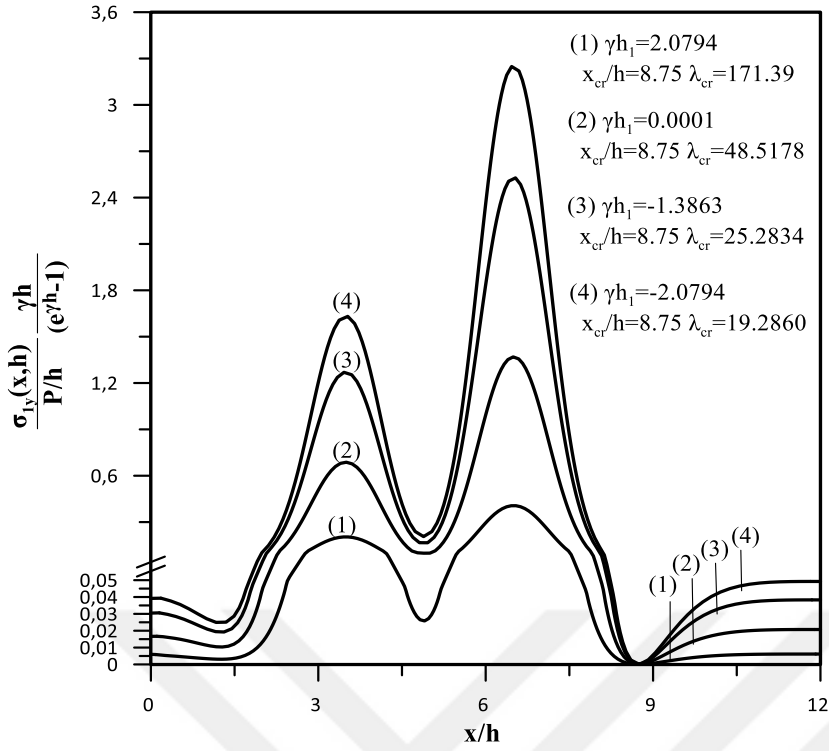
**Şekil 3.8.** 2. blok genişliği ((d-c)/h) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_{1y}(x,h)/P/h$  temas gerilmesi dağılımı ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta h_1=\beta h_2=1.3863$ ,  $\gamma h_1=\gamma h_2=1.3863$ ,  $\mu_o=1$ ,  $\mu_{2l}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ,  $y=1$ )



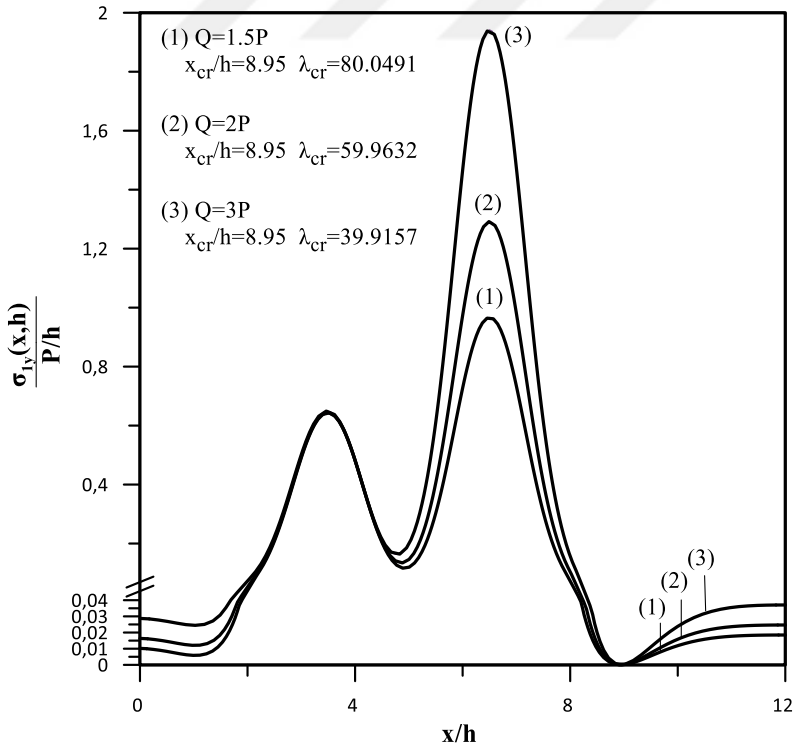
**Şekil 3.9.** 1. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta h_1$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_{1y}(x,h)/P/h$  temas gerilmesi dağılımı ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta h_2=1.3863$ ,  $\gamma h_1=\gamma h_2=1.3863$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{21}/\mu_{12}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ,  $y=1$ )



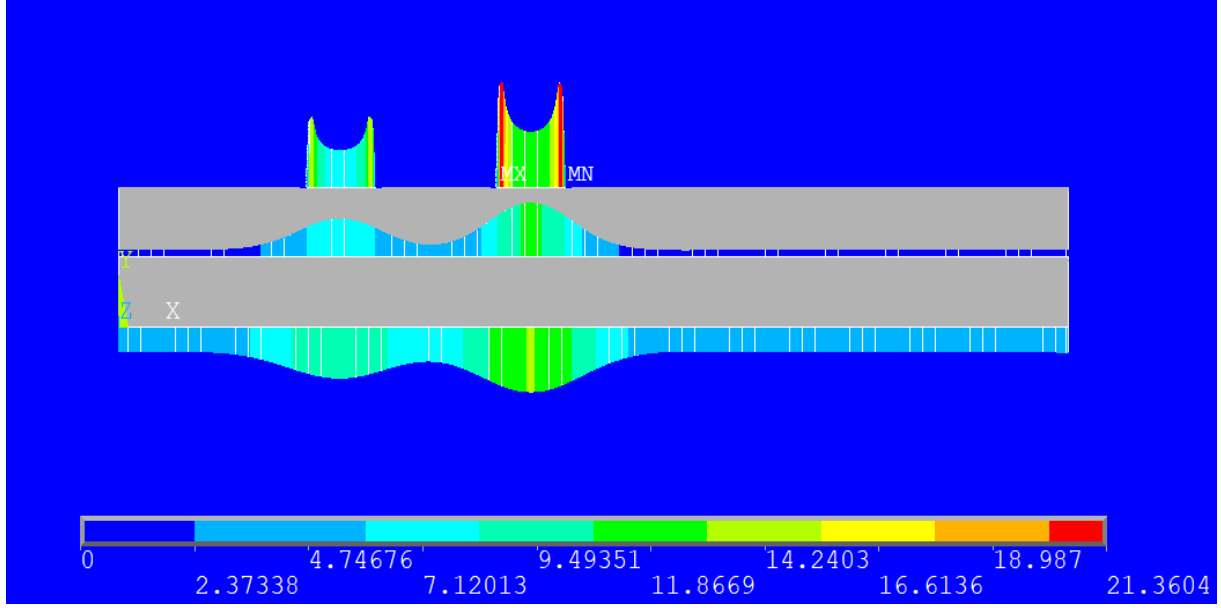
**Şekil 3.10.** 2. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta h_2$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_{1y}(x,h)/P/h$  temas gerilmesi dağılımı ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta h_1=1.3863$ ,  $\gamma h_1=\gamma h_2=1.3863$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{21}/\mu_{12}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ,  $y=1$ )



**Şekil 3.11.** 1. tabaka yoğunluk parametresi ( $\gamma h_1$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_{1y}(x,h)/P/h$  temas gerilmesi dağılımı ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta h_1 = \beta h_2 = 1.3863$ ,  $\gamma h_2 = 1.3863$ ,  $\mu_0 = 1$ ,  $\mu_2/\mu_{1b} = 1$ ,  $\kappa_1 = \kappa_2 = 2$ ,  $y=1$ )



**Şekil 3.12.** Yük oranı değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_{1y}(x,h)/P/h$  temas gerilmesi dağılımı ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $\beta h_1 = \beta h_2 = 0.693148$ ,  $\gamma h_1 = 0.693148$ ,  $\gamma h_2 = 2.0794$ ,  $\mu_0 = 1$ ,  $\mu_2/\mu_{1b} = 1$ ,  $\kappa_1 = \kappa_2 = 2$ ,  $y=1$ )



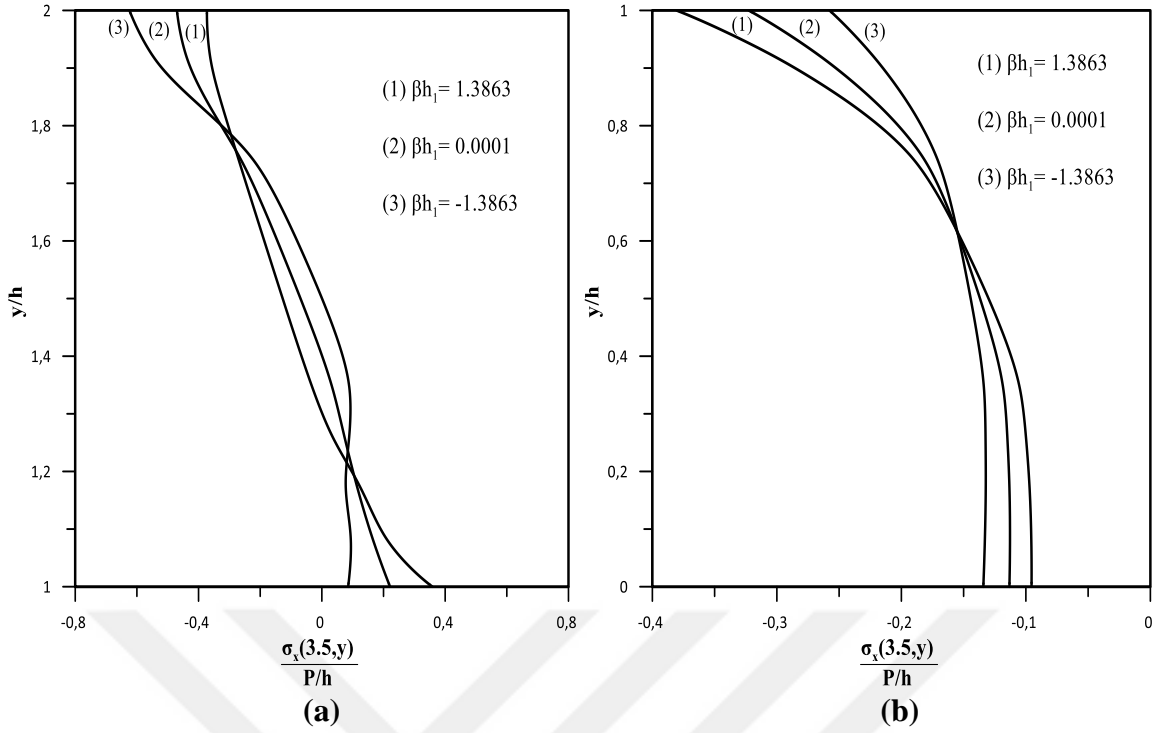
**Şekil 3.13.** Sürekli temas durumu için temas gerilmesi dağılımının ANSYS gösterimi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=1.5P$ ,  $\beta h_1= \beta h_2=0.693148$ ,  $\gamma h_1=0.693148$ ,  $\gamma h_2=2.0794$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ,  $y=1$ )

### 3.1.3. Derinlik boyunca gerilmelerin incelenmesi

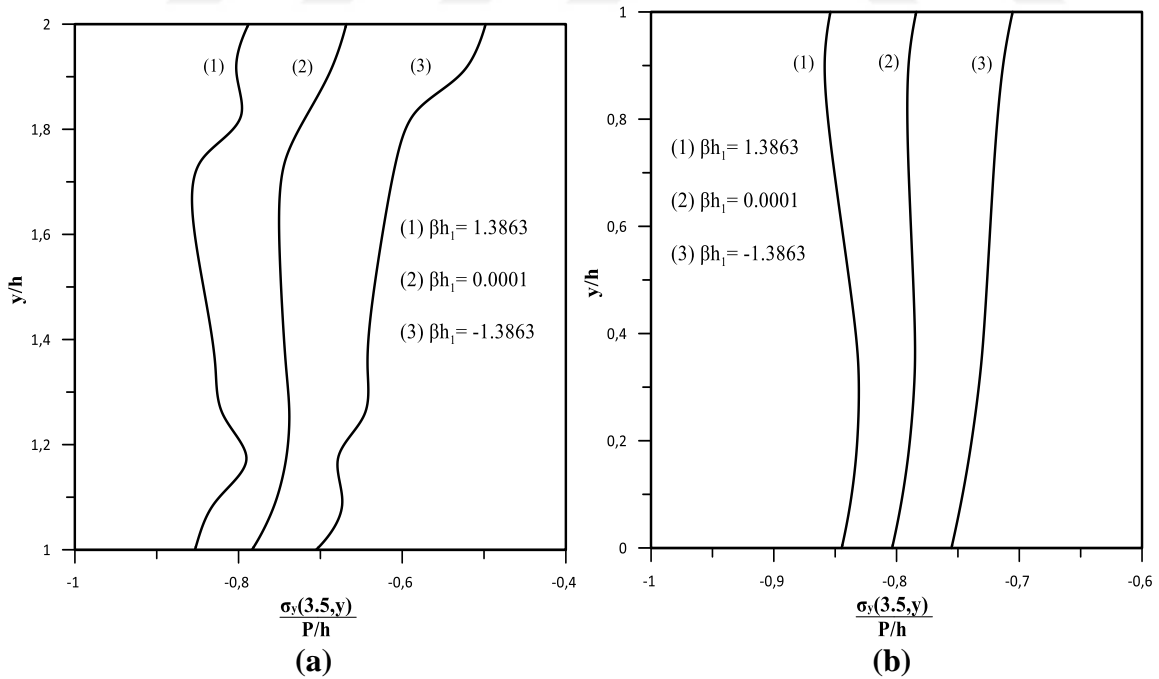
Bu kısımda, FD tabakaların derinlikleri boyunca oluşan  $\sigma_y$ ,  $\sigma_x$  ve  $\tau_{xy}$  gerilmeleri incelenmiştir. Farklı boyutsuz büyüklükler için tabakalarda oluşan gerilme dağılımları incelenmiş ve grafiklerle gösterilmiştir. Şekillerin altında bulunan (a) ifadesi 1 numaralı tabakayı, (b) ifadesi ise 2 numaralı tabakayı ifade etmektedir.

Şekil 3.14-3.15'te 1.tabaka rijitlik parametresi  $\beta h_1$  değişimine göre FD tabaka derinlik boyunca oluşan  $\sigma_x, \sigma_y$  gerilme dağılımı gösterilmiştir. Şekil 3.14(a)'da  $\beta h_1$  değeri arttıkça tabaka üst yüzeyine yakın bölgede basınç gerilmelerinde azalma görülürken, tabaka alt yüzeyine doğru çekme gerilmelerinde artış meydana gelmiştir. Şekil 3.14(b)'de 1. tabakanın rijitliği arttıkça, 2. tabaka üst yüzeyinde oluşan basınç gerilmeleri de artış göstermiştir. Ancak tabaka alt yüzeyinde en büyük basınç gerilmesi  $\beta h_1=-1.3863$  değerinde oluşmuştur. Şekil 3.15'te 1. tabakadaki rijitlik artışına paralel olarak meydana gelen  $\sigma_y$  gerilmelerinde artış görülmüştür.

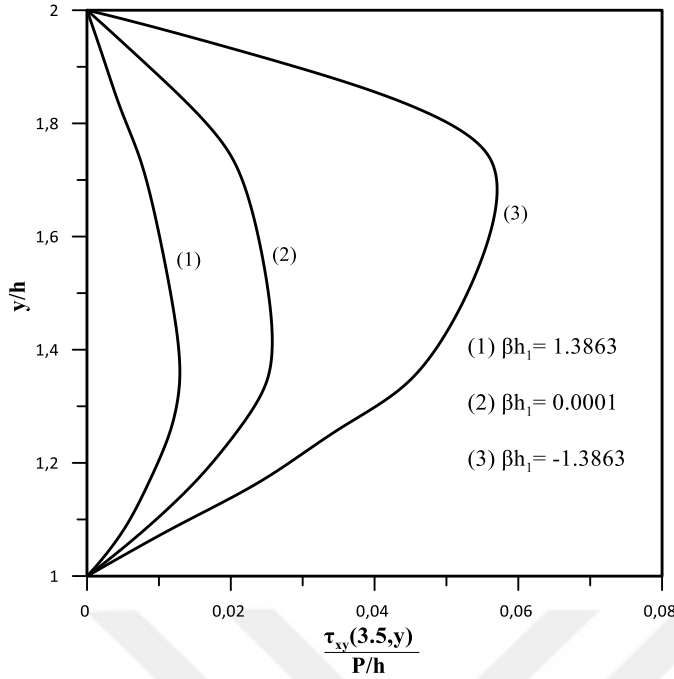
Şekil 3.16'da 1.tabaka rijitlik parametresi  $\beta h_1$  değişimine göre FD tabaka derinlik boyunca oluşan  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımı gösterilmiştir. Rijitlik parametresi arttıkça 1. tabaka derinliği boyunca oluşan  $\tau_{xy}$  gerilmelerinde azalma görülmüştür. En büyük gerilme değeri en küçük rijitlik parametresinde oluşmuştur.



**Şekil 3.14.** 1. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta_{h1}$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_x(3.5,y)/P/h$  temas gerilmesi dağılımının FD tabakaların derinliği boyunca analizi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta_{h2}=0.0001$ ,  $\gamma_{h1}=1.3863$ ,  $\gamma_{h2}=0.0001$   $\mu_o=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ )



**Şekil 3.15.** 1. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta_{h1}$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_y(3.5,y)/P/h$  temas gerilmesi dağılımının FD tabakaların derinliği boyunca analizi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta_{h2}=0.0001$ ,  $\gamma_{h1}=1.3863$ ,  $\gamma_{h2}=0.0001$   $\mu_o=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ )



**Şekil 3.16.** 1. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta h_1$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\tau_{xy}(3.5,y)/P/h$  temas gerilmesi dağılımının 1. FD tabaka derinliği boyunca analizi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta h_2=0.0001$ ,  $\gamma h_1=1.3863$ ,  $\gamma h_2=0.0001$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ )

Şekil 3.17’de 2.tabaka rijitlik parametresi  $\beta h_2$  değişimine göre FD tabakalarda derinlik boyunca oluşan  $\sigma_x$  gerilme dağılımı incelenmiştir. Şekil 3.17(a)’da 2. tabaka rijitliği arttıkça 1.tabaka üst yüzeyine yakın bölgede oluşan basınç gerilmeleri ve tabaka alt yüzeyine yakın bölgede oluşan çekme gerilmeleri azalmıştır.  $y=1.35$  değeri grafiğin dönüm noktasıdır. Bu noktada tüm parametrelerdeki basınç gerilme değerleri sıfıra yaklaşmış, bu noktadan sonra basınç gerilmeleri yerini çekme gerilmelerine bırakmıştır. Şekil 3.17(b)’de 2. tabaka rijitliği azaldıkça tabaka alt ve üst yüzeyine yakın bölgede oluşan basınç gerilmelerinde artış görülürken, tabakanın orta kısmında en büyük basınç gerilmeleri en büyük rijitlik parametresinde oluşmuştur.

Şekil 3.18’de 2. tabaka rijitlik parametresi  $\beta h_2$  değişimine göre FD tabakalarda derinlik boyunca oluşan  $\sigma_y$  gerilme dağılımı gösterilmiştir. 2. tabaka rijitliği arttıkça tabaka derinliği boyunca oluşan basınç gerilme değerleri de artış göstermiştir.

Şekil 3.19’da 2.tabaka rijitlik parametresi  $\beta h_2$  değişimine göre FD tabakalarda derinlik boyunca oluşan  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımı incelenmiştir. Alt tabakanın rijitliği arttıkça üst ve alt tabakada oluşan çekme gerilmeleri artış göstermiştir.

Şekil 3.20-3.21’de 1.tabaka yoğunluk parametresi  $\gamma h_1$  değişimine göre FD tabaka derinlik boyunca oluşan  $\sigma_x$  ve  $\sigma_y$  gerilme dağılımı gösterilmiştir. Şekil 31(a)’da tabaka üst

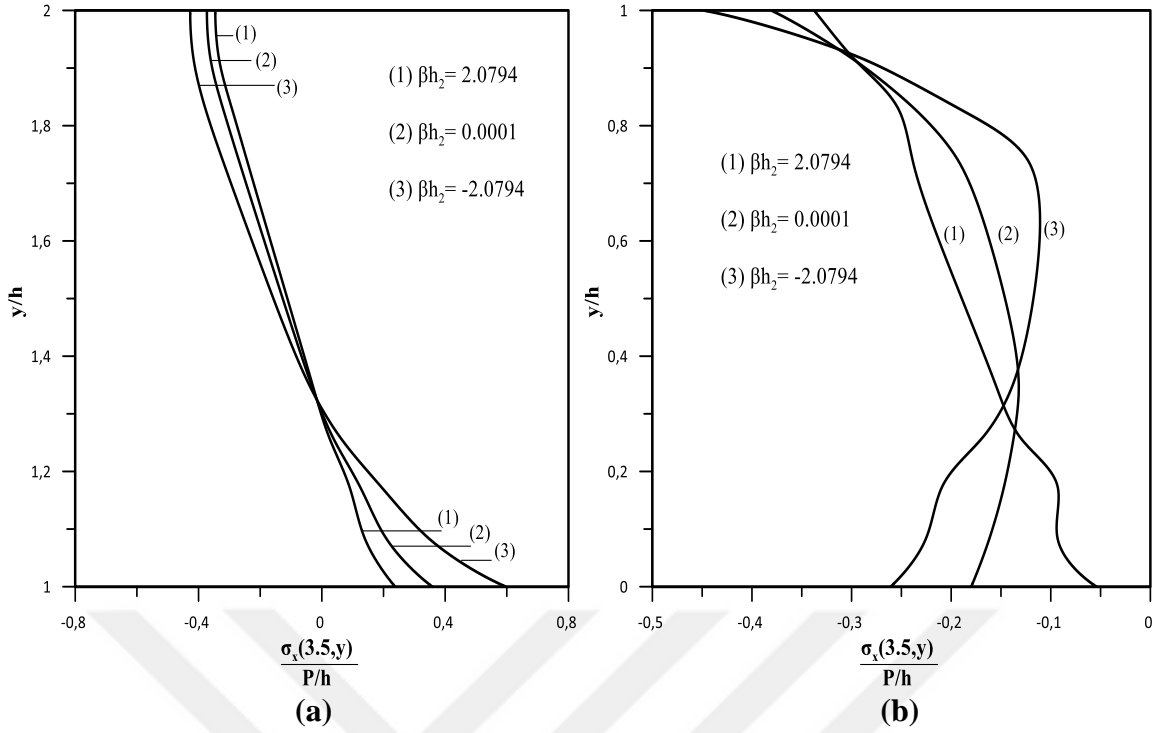
yüzeyine yakın bölgede basınç gerilmeleri, tabaka alt yüzeyine doğru ise çekme gerilmeleri oluşmuştur. 1. tabakanın yoğunluğunun artması tabaka üst yüzeyine yakın bölgede oluşan basınç gerilmelerine fazla bir etki oluşturmazken, tabaka alt yüzeyine doğru oluşan çekme gerilmelerinde azalmaya yol açmıştır. Şekil 3.20(b)'de 1. tabakanın yoğunluğu arttıkça tabaka derinliği boyunca oluşan basınç gerilmeleri de artış göstermiştir. En büyük basınç gerilmesinin en büyük yoğunluk parametresinde olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 3.21(a-b)'de 1. tabakadaki yoğunluk artışı hem üst tabaka hem de alt tabakada oluşan basınç gerilmelerinde artışa neden olmuştur. Şekil 3.21(a)'da yoğunluk parametresinin pozitif değerleri için yoğunluk tabakaların üst yüzeyinden alt yüzeyine doğru artış gösterdiğinden en büyük basınç gerilmeleri de tabakanın alt yüzeyinde meydana gelmiştir.

Şekil 3.22-3.23'te 2.tabaka yoğunluk parametresi  $\gamma h_2$  değişimine göre 2. FD tabaka derinlik boyunca oluşan  $\sigma_x$  ve  $\sigma_y$  gerilme dağılımı gösterilmiştir. 2. tabakanın yoğunluğu arttıkça tabaka derinliği boyunca oluşan basınç gerilmeleri de artış göstermiştir.

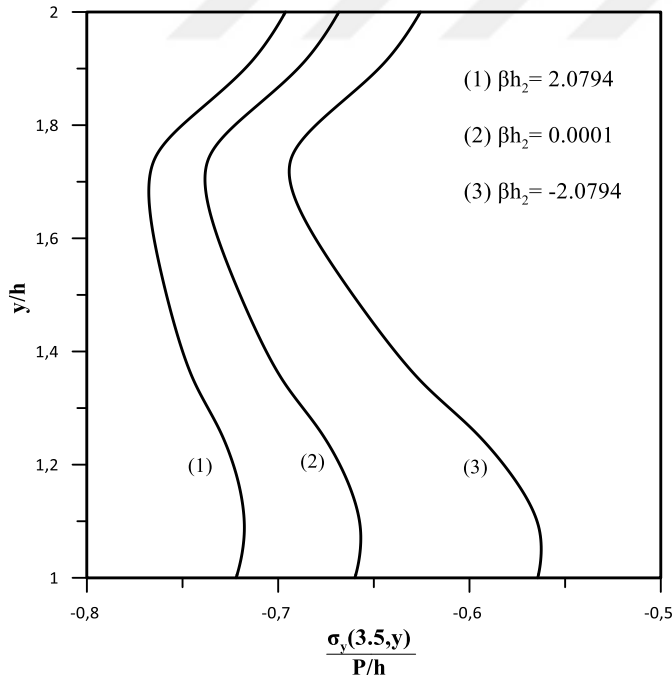
Şekil 3.24'te yük değişim oranına göre FD tabaka derinlik boyunca  $\sigma_x$  gerilme dağılımı incelenmiştir. Şekil 3.24(a)'da  $y=1.26$  değerinde gerilme değerleri sıfıra yaklaşmış, grafik için dönüm noktası olmuştur. Bu noktanın üzerindeki bölgede basınç gerilmeleri oluşmuş, altındaki bölgede ise çekme gerilmeleri oluşmuştur. Dış yük arttıkça tabakanın alt ve üst kısmında meydana gelen basınç-çekme gerilmeleri de artış göstermiştir. Şekil 3.24(b)'de yük arttıkça tabaka alt ve üst yüzeyinde oluşan basınç gerilme değerlerinde artış meydana gelmiştir.

Şekil 3.25-3.26'da yük değişim oranına göre FD tabaka derinlik boyunca  $\sigma_y$  ve  $\tau_{xy}$  gerilme dağılımı gösterilmiştir. Blok üzerindeki dış yük arttıkça tabakaların derinliği boyunca oluşan basınç gerilmeleri de artış göstermiştir.

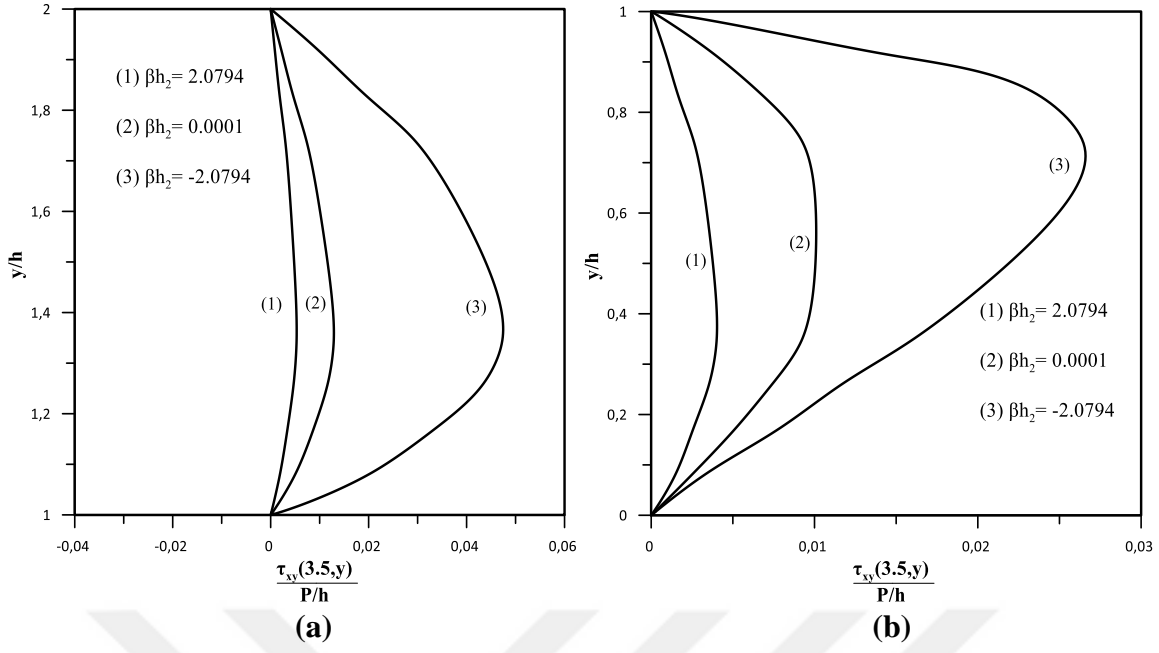
Şekil 3.27-3.28'de ANSYS sürekli temas çözümünden elde edilen  $\sigma_x$  ve  $\sigma_y$  gerilme dağılımlarının gösterimi yapılmıştır.



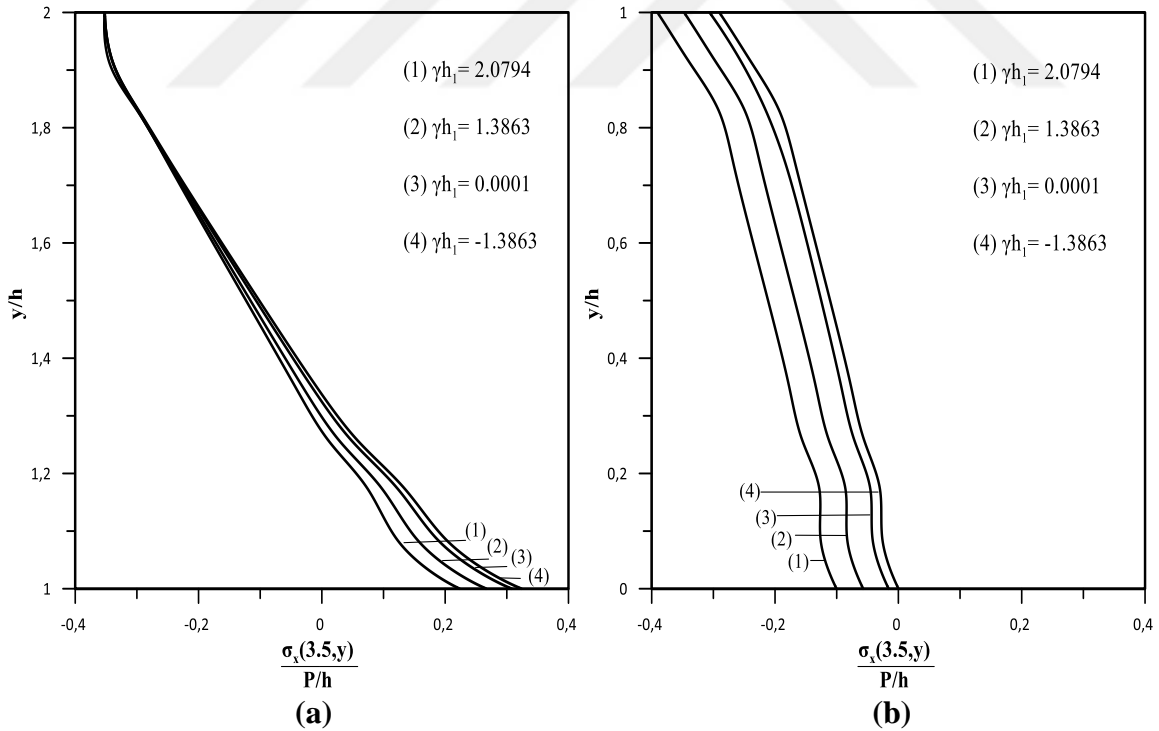
**Şekil 3.17.** 2. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta h_2$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_x(3.5,y)/P/h$  temas gerilmesi dağılımının FD tabaka derinliği boyunca analizi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta h_1=1.3863$ ,  $\gamma h_1=1.3863$ ,  $\gamma h_2=2.0794$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ )



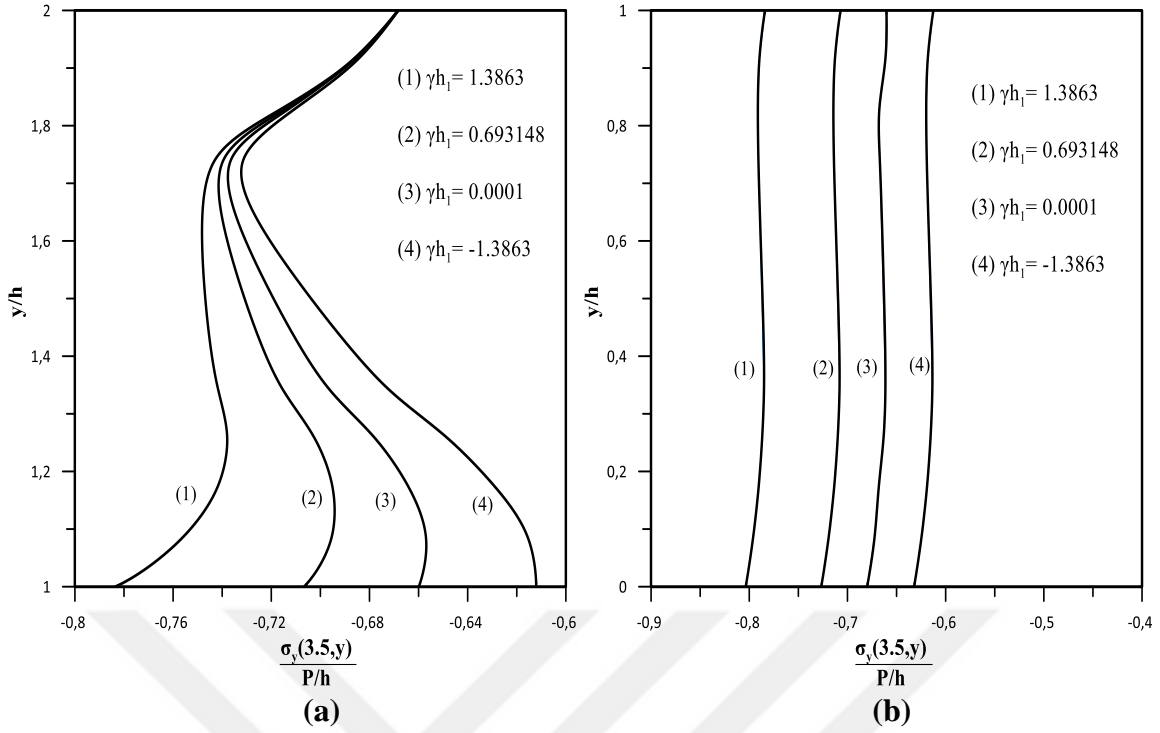
**Şekil 3.18.** 2. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta h_2$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_y(3.5,y)/P/h$  temas gerilmesi dağılımının 1. FD tabaka derinliği boyunca analizi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta h_1=0.0001$ ,  $\gamma h_1=\gamma h_2=0.0001$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ )



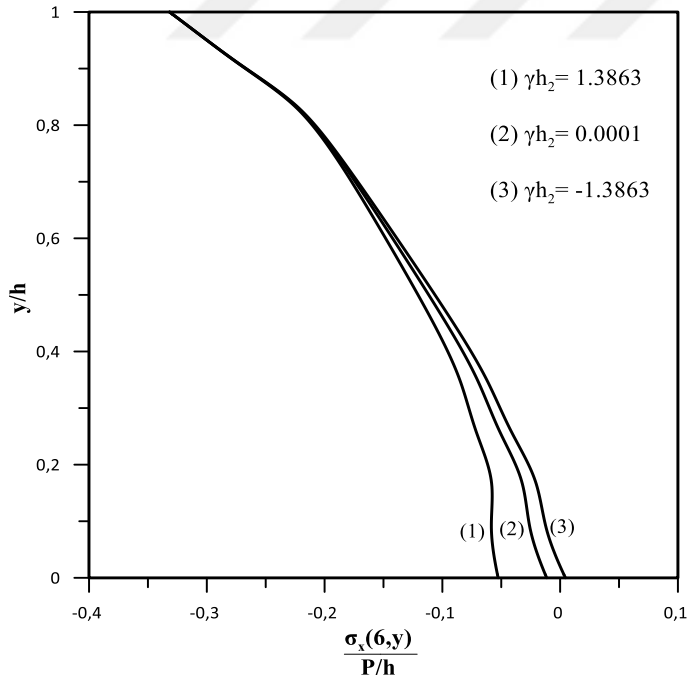
**Şekil 3.19.** 2. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta h_2$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\tau_{xy}(3.5,y)/P/h$  temas gerilmesi dağılımının 1. FD tabaka derinliği boyunca analizi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta h_1=1.3863$ ,  $\gamma h_1=1.3863$ ,  $\gamma h_2=2.0794$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ )



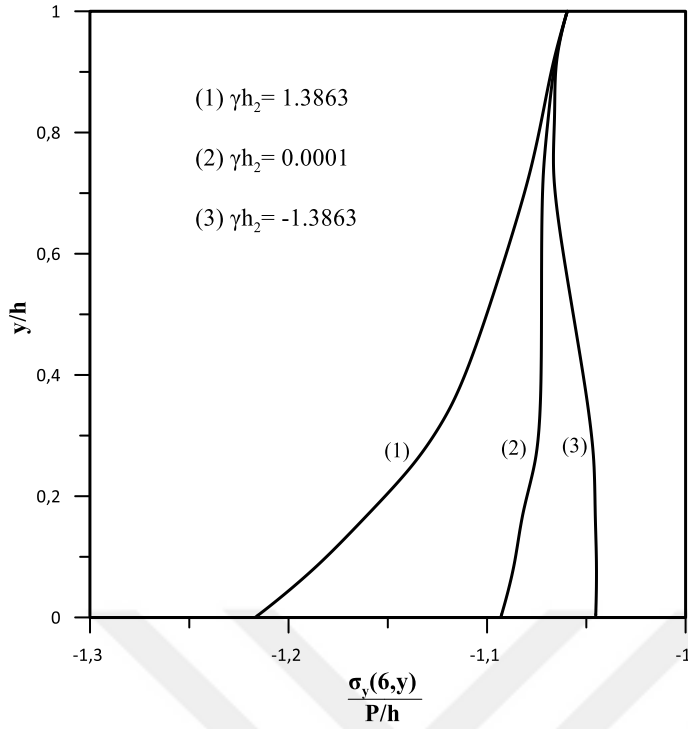
**Şekil 3.20.** 1. tabaka yoğunluk parametresi ( $\gamma h_1$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_x(3.5,y)/P/h$  temas gerilmesi dağılımının FD tabaka derinliği boyunca analizi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta h_1=\beta h_2=1.3863$ ,  $\gamma h_2=1.3863$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ )



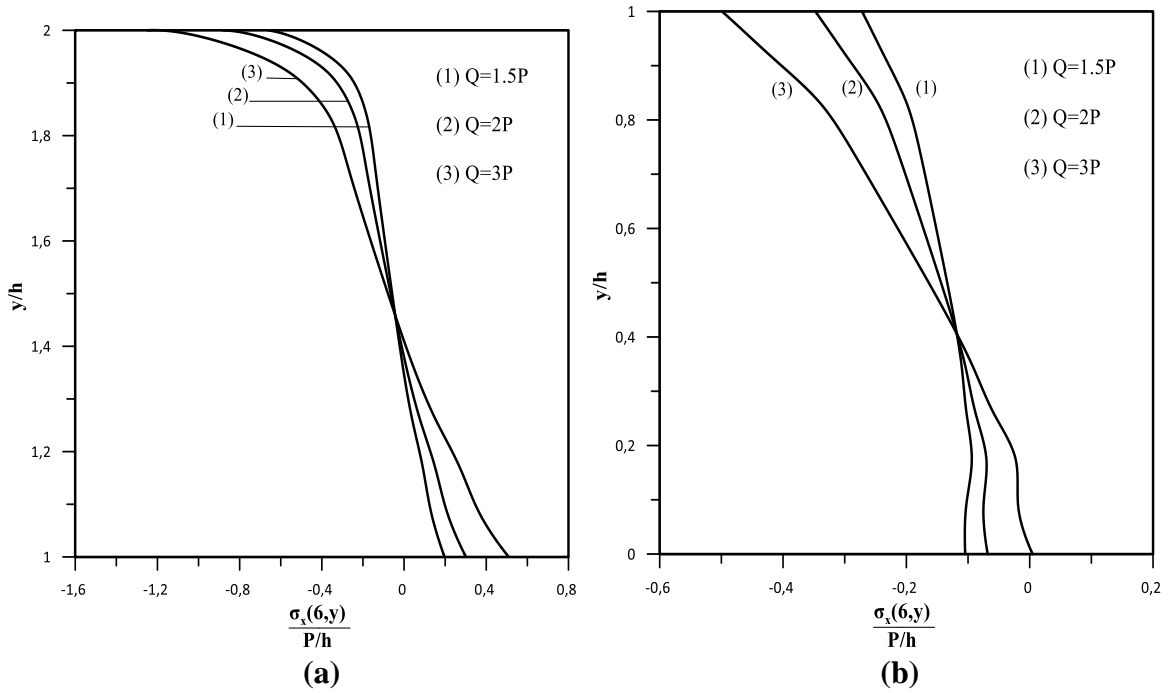
**Şekil 3.21.** 1. tabaka yoğunluk parametresi ( $\gamma_{h1}$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_y(3.5,y)/P/h$  temas gerilmesi dağılımının FD tabaka derinliği boyunca analizi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta_{h1}=\beta_{h2}=1.3863$ ,  $\gamma_{h2}=1.3863$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ )



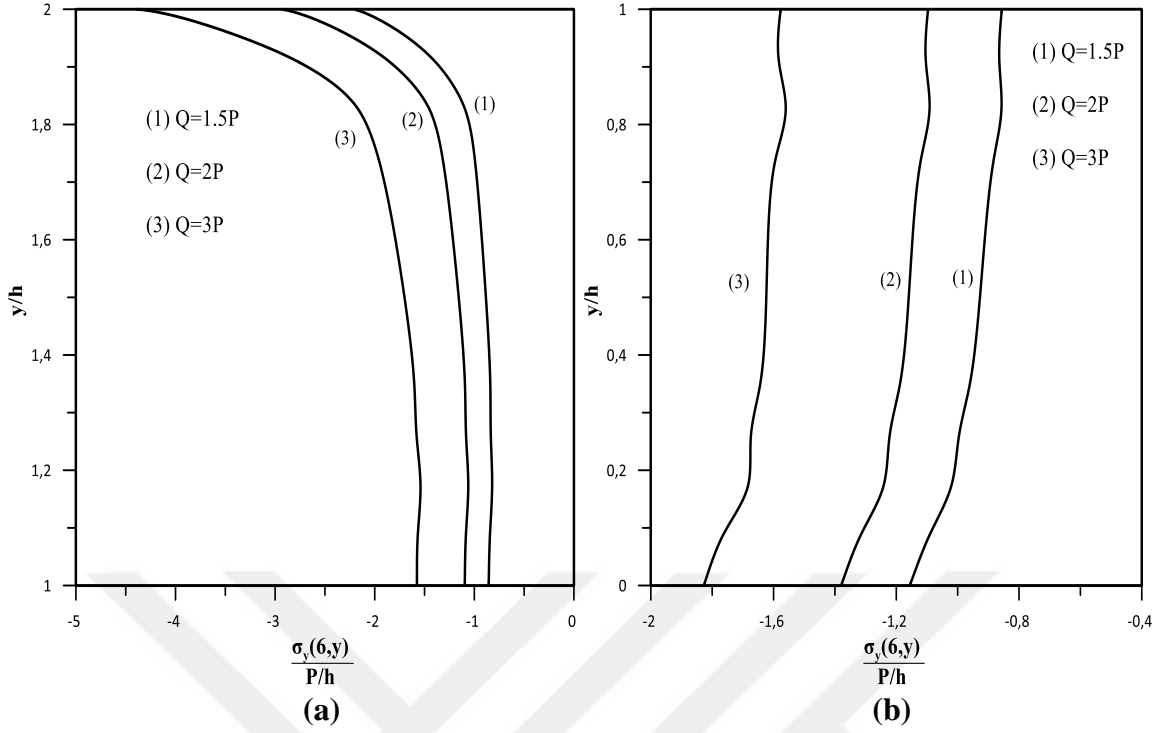
**Şekil 3.22.** 2. tabaka yoğunluk parametresi ( $\gamma_{h2}$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_x(6,y)/P/h$  temas gerilmesi dağılımının FD tabaka derinliği boyunca analizi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta_{h1}=\beta_{h2}=0.4055$ ,  $\gamma_{h1}=0.4055$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ )



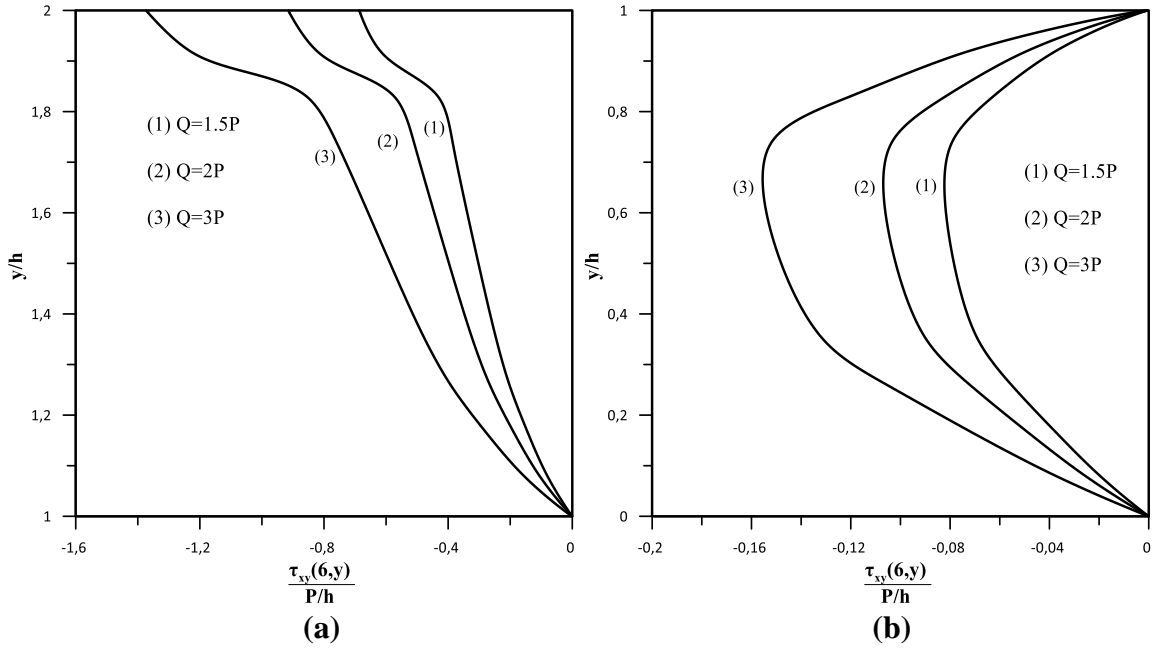
**Şekil 3.23.** 2. tabaka yoğunluk parametresi ( $\gamma h_2$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_y(6,y)/P/h$  temas gerilmesi dağılımının FD tabaka derinliği boyunca analizi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta_{h_1} = \beta_{h_2}=0.4055$ ,  $\gamma_{h_1}=0.4055$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ )



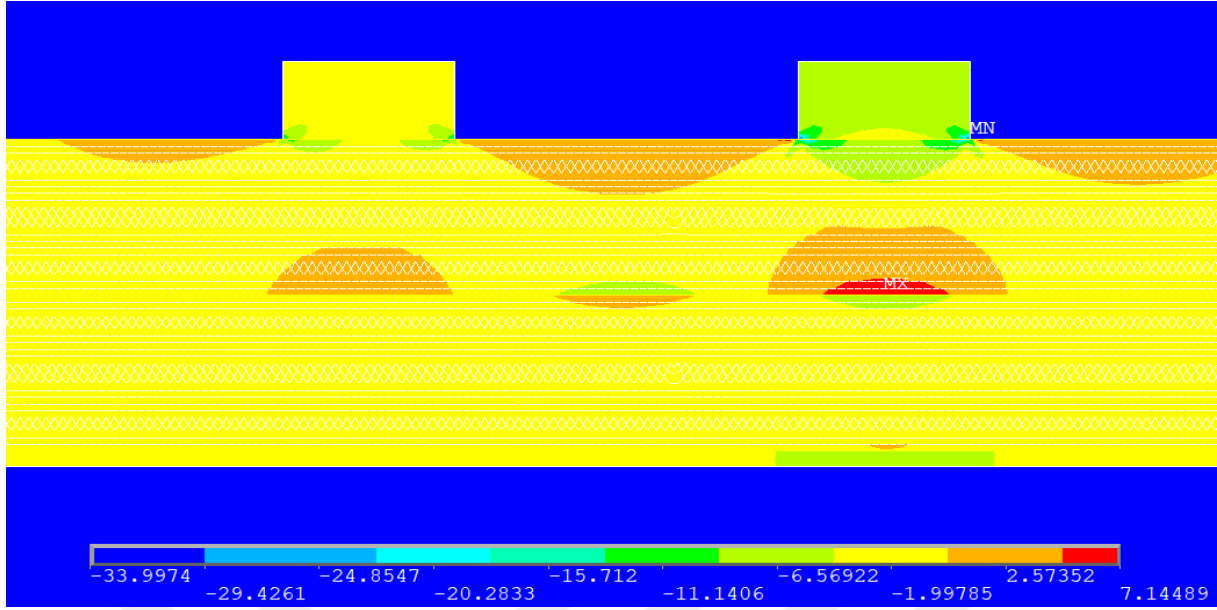
**Şekil 3.24.** Yük değişim oranına göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_x(6,y)/P/h$  temas gerilmesi dağılımının FD tabaka derinliği boyunca analizi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $\beta_{h_1} = \beta_{h_2}=0.693148$ ,  $\gamma_{h_1}=0.693148$ ,  $\gamma_{h_2}=2.0794$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ )



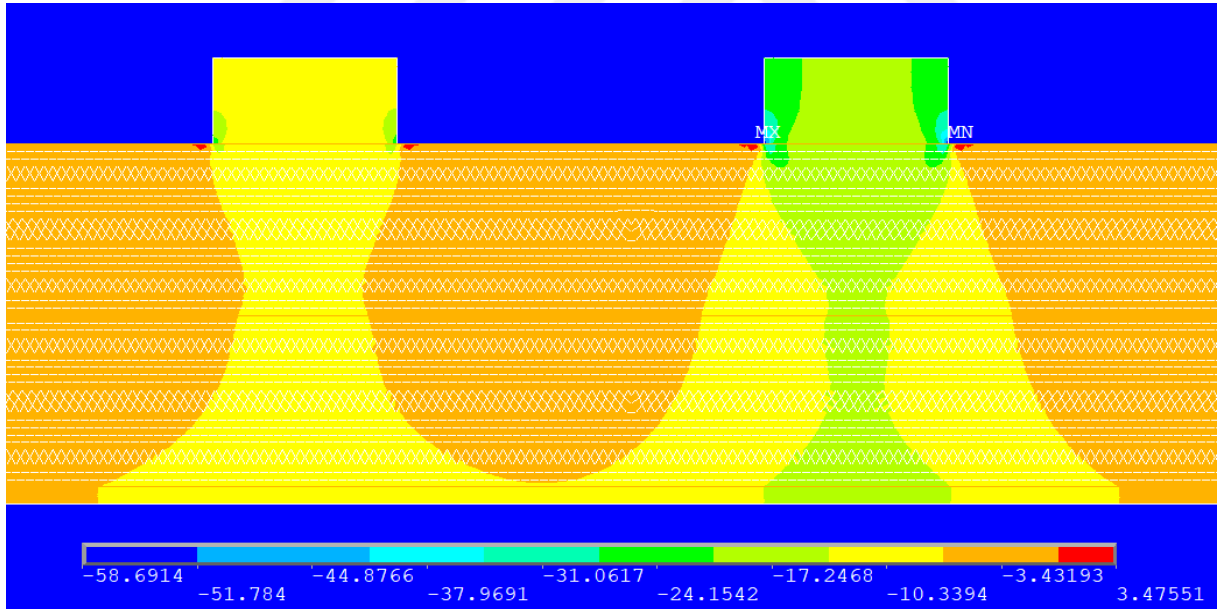
**Şekil 3.25.** Yük değişim oranına göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_y(6,y)/P/h$  temas gerilmesi dağılımının FD tabaka derinliği boyunca analizi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $\beta h_1 = \beta h_2 = 0.693148$ ,  $\gamma h_1 = 0.693148$ ,  $\gamma h_2 = 2.0794$ ,  $\mu_o=1$ ,  $\mu_{2i}/\mu_{1i}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ )



**Şekil 3.26.** Yük değişim oranına göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\tau_{xy}(6,y)/P/h$  temas gerilmesi dağılımının FD tabaka derinliği boyunca analizi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $\beta h_1 = \beta h_2 = 0.693148$ ,  $\gamma h_1 = 0.693148$ ,  $\gamma h_2 = 2.0794$ ,  $\mu_o=1$ ,  $\mu_{2i}/\mu_{1i}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ )



**Şekil 3.27.** Sürekli temas durumundaki  $\sigma_x$  gerilme dağılımının ANSYS gösterimi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta_{h1}=\beta_{h2}=0.693148$ ,  $\gamma_{h1}=0.693148$ ,  $\gamma_{h2}=2.0794$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ )



**Şekil 3.28.** Sürekli temas durumundaki  $\sigma_y$  gerilme dağılımının ANSYS gösterimi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta_{h1}=\beta_{h2}=0.693148$ ,  $\gamma_{h1}=0.693148$ ,  $\gamma_{h2}=2.0794$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ )

### 3.2. Süreksiz Temas Çözümleri

Bu kısımda, FD tabakalar arasında oluşan ayrılma başlangıç ve bitiş mesafeleri hesaplanmıştır. FD tabakalara ağırlık etki ettiği için, ayrılma sınırlı bir bölgede meydana gelmektedir. Sürekli bir ayrılma söz konusu değildir. Bu süreksiz temas durumu yük faktörünün kritik yükten büyük olduğu durumlarda ( $\lambda > \lambda_{cr}$ ) oluşmaktadır.

Tablo 3.7’de 1. tabaka farklı rijitlik parametresi ve yükleme durumları için ayrılma başlangıç ve bitiş noktaları verilmiştir. Yük arttıkça tüm rijitlik değerlerinde daha büyük ayrılma mesafeleri elde edilmiştir. Aynı yük faktörleri için rijitlik parametreleri incelendiğinde, tabakanın üst yüzeyinden alt yüzeyine doğru rijitlik arttıkça, ayrılma uzunluğunun (F-E) azaldığı açık bir şekilde görülebilir. Tablo 3.8’de 2. tabaka rijitlik parametresi ve yük değişimi için ayrılma bölgesi incelenmiştir. Yük değeri arttıkça ayrılma bölgesinin uzunluğu artarken, 2. tabakada tabaka üst yüzeyinden alt yüzeyine doğru rijitlik azaldıkça ayrılma 2. dikdörtgen bloktan daha uzak bir bölgede meydana gelmiştir. Ancak rijitlik azaldıkça, diğer bir deyişle tabakanın üst yüzey rijitliğinin alt yüzeyinden fazla olduğu durumda, ayrılma mesafelerinde  $\lambda=100$ ,  $\lambda=105$  değeri için ayrılma bölgesinin uzunluğu azalırken, diğer yükleme durumlarında, rijitlik parametresi değişiminin ayrılma bölgesi uzunluklarına fazla bir etkisi olmamıştır. Tablo 3.9’da 1. tabaka yoğunluk parametresi ve yük faktörünün değişimine göre ayrılma mesafeleri incelenmiştir. Yük arttıkça ayrılma bölgesinin uzunluğu artarken, yoğunluk tabaka üst yüzeyinden alt yüzeyine doğru arttıkça ayrılma bölgesinin uzunluğu azalmıştır. Tablo 3.10’da dikdörtgen bloklar arasındaki mesafe ve yük faktörünün farklı değerleri için ayrılma bölgeleri incelenmiştir. Yük arttıkça tabakalar arasında meydana gelen ayrılma mesafesi de artmıştır. Blok arasındaki mesafe azaldıkça, blokların birbiriyle etkileşimi arttığından ayrılma bölgesinin uzunluğu artmıştır. Tablo 3.11’de farklı 2. blok genişliği ve yükleme durumları için ayrılma mesafeleri incelenmiştir. Yük arttıkça diğer parametre değişim tablolarına paralel olarak ayrılma uzunluğu artarken, 2. blok genişliği arttıkça ayrılma bölgelerinin uzunluğu azalmıştır.

**Tablo 3.7.** 1. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta h_1$ ) değişimine göre ayrılma başlangıç ve bitiş mesafelerinin incelenmesi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta h_2=1.3863$ ,  $\gamma h_1=1.3863$ ,  $\gamma h_2=2.7726$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ,  $y=1$ )

$\lambda$	$\beta h_1$									
	0.4055		0.2877		0.0001		-0.2877		-0.4055	
	E/h	F/h	E/h	F/h	E/h	F/h	E/h	F/h	E/h	F/h
85	8.70	9.10	8.65	9.20	8.60	9.35	8.60	9.55	8.60	9.60
90	8.60	9.25	8.55	9.30	8.55	9.50	8.55	9.65	8.55	9.70
95	8.50	9.35	8.50	9.40	8.50	9.60	8.50	9.75	8.50	9.80
100	8.45	9.45	8.45	9.50	8.45	9.70	8.45	9.85	8.45	9.90

**Tablo 3.8.** 2. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta h_2$ ) değişimine göre ayrılma başlangıç ve bitiş mesafelerinin incelenmesi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta h_1=0.693148$ ,  $\gamma h_1=1.3863$ ,  $\gamma h_2=2.7726$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ,  $y=1$ )

$\lambda$	$\beta h_2$									
	0.693148		0.4055		0.0001		-0.4055		-0.693148	
	E/h	F/h	E/h	F/h	E/h	F/h	F/h	F/h	E/h	F/h
100	8.65	9.30	8.7	9.35	8.85	9.40	9	9.50	9.10	9.60
105	8.60	9.45	8.65	9.5	8.75	9.55	8.90	9.65	9	9.75
110	8.55	9.55	8.6	9.60	8.70	9.65	8.80	9.80	8.90	9.90
115	8.50	9.60	8.55	9.65	8.65	9.75	8.75	9.90	8.85	10
120	8.45	9.70	8.5	9.75	8.60	9.85	8.70	10	8.80	10.10

**Tablo 3.9.** 1. tabaka yoğunluk parametresi ( $\gamma h_1$ ) değişimine göre ayrılma başlangıç ve bitiş mesafelerinin incelenmesi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta h_1=0.4055$ ,  $\beta h_2=0.0001$ ,  $\gamma h_2=2.7726$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ,  $y=1$ )

$\lambda$	$\gamma h_1=0.1$		$\gamma h_1=0.0001$		$\gamma h_1=-0.1$	
	E/h	F/h	E/h	F/h	E/h	F/h
45	8.85	9.55	8.80	9.65	8.70	9.80
50	8.70	9.80	8.65	9.90	8.60	10
55	8.65	10	8.60	10.10	8.55	10.20
60	8.55	10.15	8.55	10.25	8.50	10.35

**Tablo 3.10.** Bloklar arasındaki mesafe ( $(c-b)/h$ ) değişimine göre ayrılma başlangıç ve bitiş mesafelerinin incelenmesi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta h_1=\beta h_2=1.3863$ ,  $\gamma h_1=\gamma h_2=1.3863$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ,  $y=1$ )

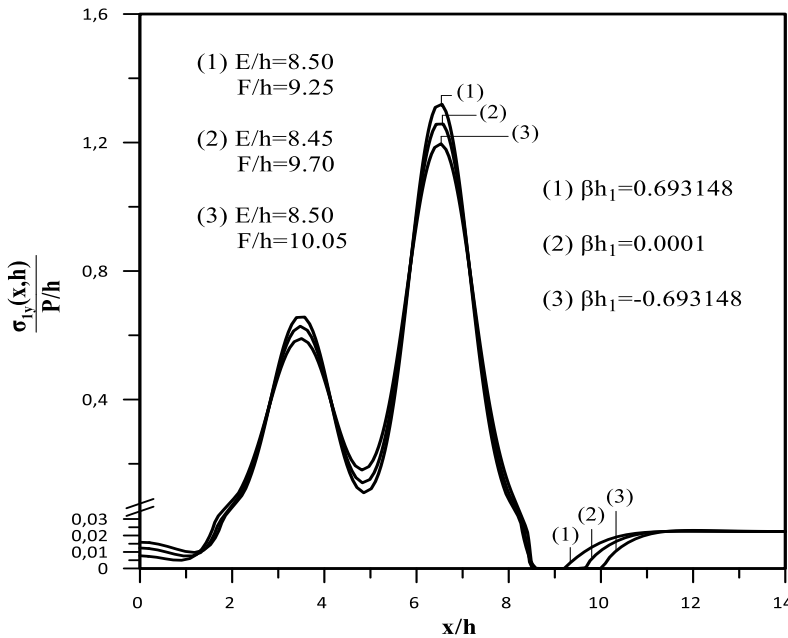
$\lambda$	$(c-b)/h=0.25$		$(c-b)/h=0.75$		$(c-b)/h=1.5$	
	E/h	F/h	E/h	F/h	E/h	F/h
120	6.60	7.50	7.15	7.90	7.95	8.60
125	6.55	7.55	7.15	8	7.90	8.70
130	6.55	7.65	7.10	8.05	7.90	8.75
135	6.55	7.70	7.10	8.10	7.85	8.85
140	6.50	7.75	7.05	8.20	7.85	8.90

**Tablo 3.11.** 2. blok genişliği ((d-c)/h) değişimine göre ayrılma başlangıç ve bitiş mesafelerinin incelenmesi (a/h=3, (b-a)/h=1, (c-b)/h=2, Q=2P,  $\beta h_1=\beta h_2=0.693148$ ,  $\gamma h_1=0.693148$ ,  $\gamma h_2=2.7726$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2l}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ , y=1)

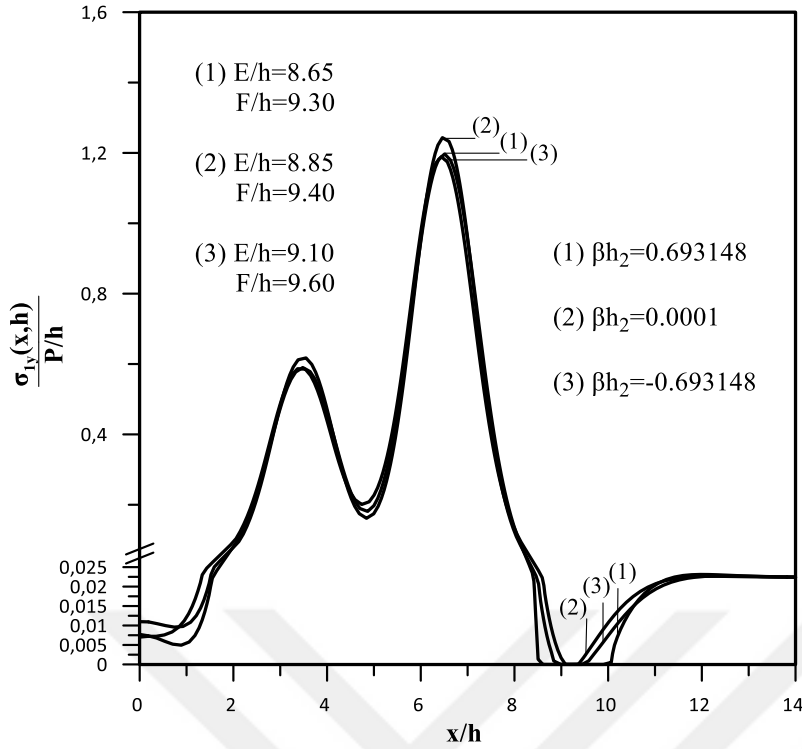
$\lambda$	(d-c)/h=0.5		(d-c)/h=1		(d-c)/h=2	
	E/h	F/h	E/h	F/h	E/h	F/h
90	7.95	9.80	8.40	9.95	9.65	10.10
95	7.90	9.90	8.35	10.05	9.55	10.25
100	7.90	10	8.35	10.15	9.50	10.35
105	7.90	10.10	8.30	10.20	9.45	10.45
110	7.85	10.15	8.30	10.30	9.40	10.55

Şekil 3.29 ve 3.30’da tabakaların rijitlik parametreleri ( $\beta h_1$ - $\beta h_2$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_{1y}(x,h)/P/h$  temas gerilme dağılımı gösterilmiştir. Şekil 3.29’da 1. tabakanın rijitliği arttıkça, ayrılma bölgesinin uzunluğu azalış göstermiştir. Şekil 3.30 incelendiğinde tablo 3.8 ile benzer olduğu görülmektedir. 2. tabakanın rijitliği tabaka derinliği boyunca arttıkça ayrılma bölgesi 2. bloğa yaklaşmakta ve bu ayrılmanın uzunluğu artmaktadır.

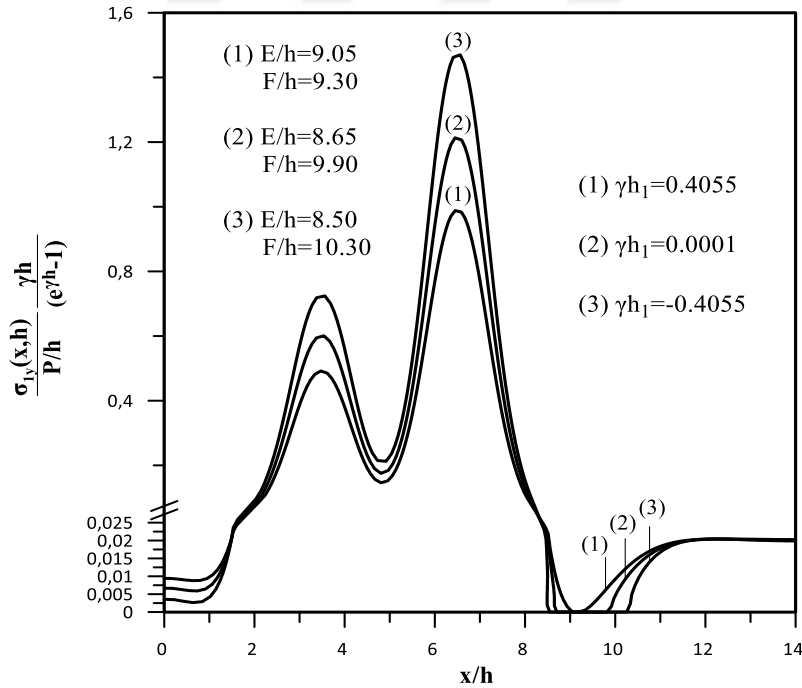
Şekil 3.31’de 1. tabaka yoğunluk parametresi ( $\gamma h_1$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_{1y}(x,h)/P/h$  temas gerilme dağılımı gösterilmiştir. Tabakanın yoğunluğu derinlik boyunca arttıkça, ayrılma bölgesi 2. bloktan uzaklaşmakta ve meydana gelen ayrılmanın uzunluğu azalmaktadır.



**Şekil 3.29.** 1. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta h_1$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_{1y}(x,h)/P/h$  temas gerilmesi dağılımı (a/h=3, (b-a)/h=1, (c-b)/h=2, (d-c)/h=1, Q=2P,  $\beta h_2=1.3863$ ,  $\gamma h_1=1.3863$ ,  $\gamma h_2=2.7726$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2l}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ , y=1,  $\lambda=100>\lambda_{cr}$ )



**Şekil 3.30.** 2. tabaka rijitlik parametresi ( $\beta h_2$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_{1y}(x,h)/P/h$  temas gerilmesi dağılımı ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta h_1=0.693148$ ,  $\gamma h_1=1.3863$ ,  $\gamma h_2=2.7726$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ,  $y=1$ ,  $\lambda=100 > \lambda_{cr}$ )



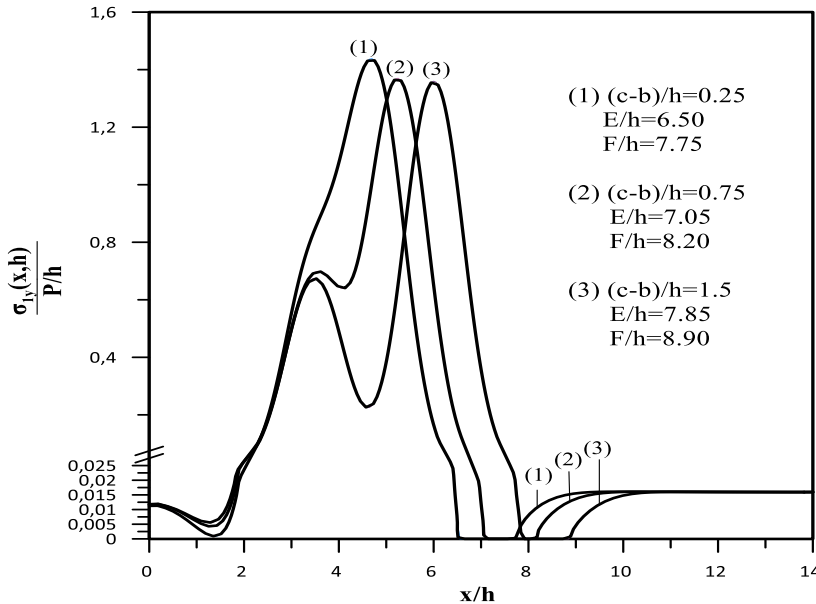
**Şekil 3.31.** 1. tabaka yoğunluk parametresi ( $\gamma h_1$ ) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_{1y}(x,h)/P/h$  temas gerilmesi dağılımı ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta h_1=0.4055$ ,  $\beta h_2=0.0001$ ,  $\gamma h_2=2.7726$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ,  $y=1$ ,  $\lambda=50 > \lambda_{cr}$ )

Şekil 3.32’de bloklar arasındaki farklı mesafe durumları için  $\sigma_{1y}(x, h)/P/h$  temas gerilme dağılımı gösterilmiştir. Bloklar arasındaki mesafe arttıkça, ayrılma bölgesinin uzunluğu (f-e) azalmıştır. Ayrılma uzunluğundaki azalmanın sebebi, dikdörtgen bloklar birbirinden uzaklaştıkça birbirleriyle olan etkileşimlerinin azalmasıdır.

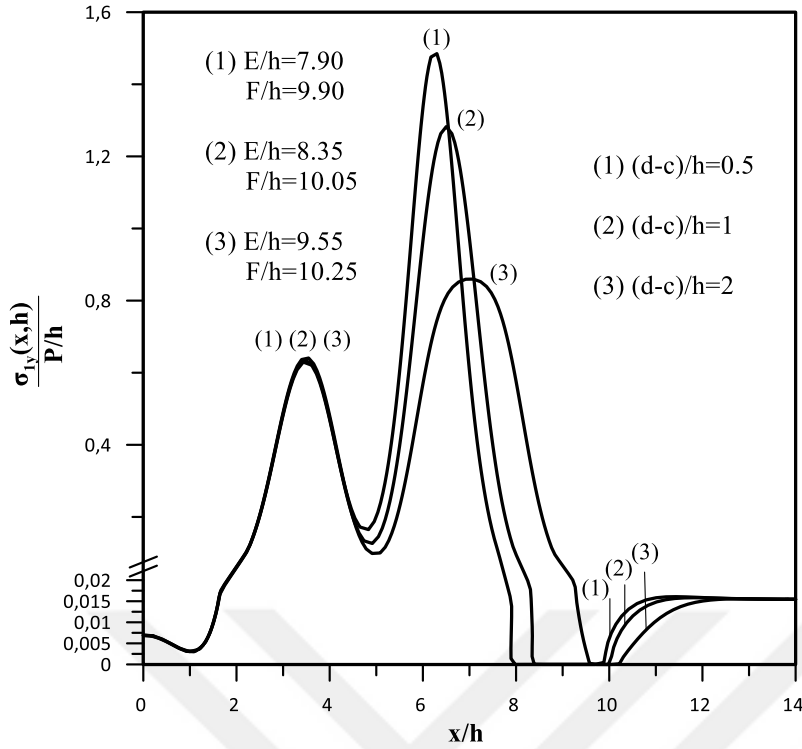
Şekil 3.33’te 2. blok genişliğinin değişimine göre  $\sigma_{1y}(x, h)/P/h$  temas gerilme dağılımı incelenmiştir. Bloğun genişliği arttıkça ayrılma bölgesinin uzunluğu azalmıştır. Grafığe dikkat edilirse panç genişliği arttıkça gerilme daha geniş bir alana yayılmış ve en küçük gerilme en büyük blok genişliğinde meydana gelmiştir.

Şekil 3.34’te yük değerinin kritik yükten küçük, eşit ve büyük olduğu durumlar için  $\sigma_{1y}(x, h)/P/h$  temas gerilme dağılımları ayrı ayrı incelenmiştir. Yük değerinin kritik yükten küçük olduğu durumda ( $\lambda < \lambda_{cr}$ ) tabakalar arasında herhangi bir ayrılma meydana gelmemektedir. Yük değerinin kritik yüke eşit olduğu durumda ( $\lambda = \lambda_{cr}$ ) sürekli temas durumlarında bulunan ilk ayrılma mesafesinde gerilme 0 olup bu noktadan sonra gerilmeler tekrar artışa geçmiştir. Son durumda ise yük değerinin kritik yükten büyük olduğu durum ( $\lambda > \lambda_{cr}$ ) incelenmiştir. Kritik yükten büyük bir yük ile tabakalar yüklendiği için tabakalar arasında ayrılma bölgesi oluşmuştur.

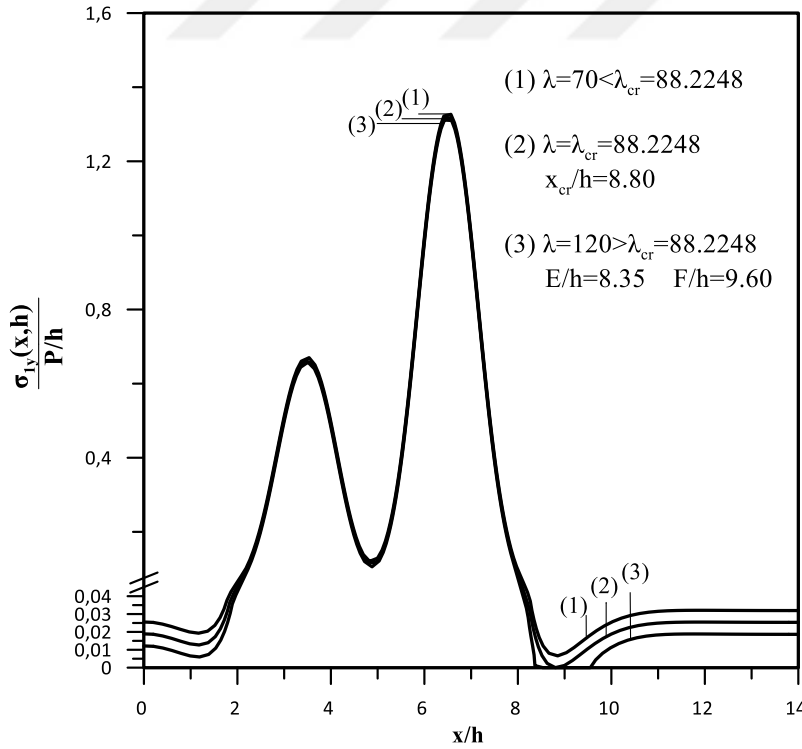
Şekil 3.35’te süreksiz temas durumunda oluşan temas gerilmesi dağılımının ANSYS gösterimi yapılmıştır.



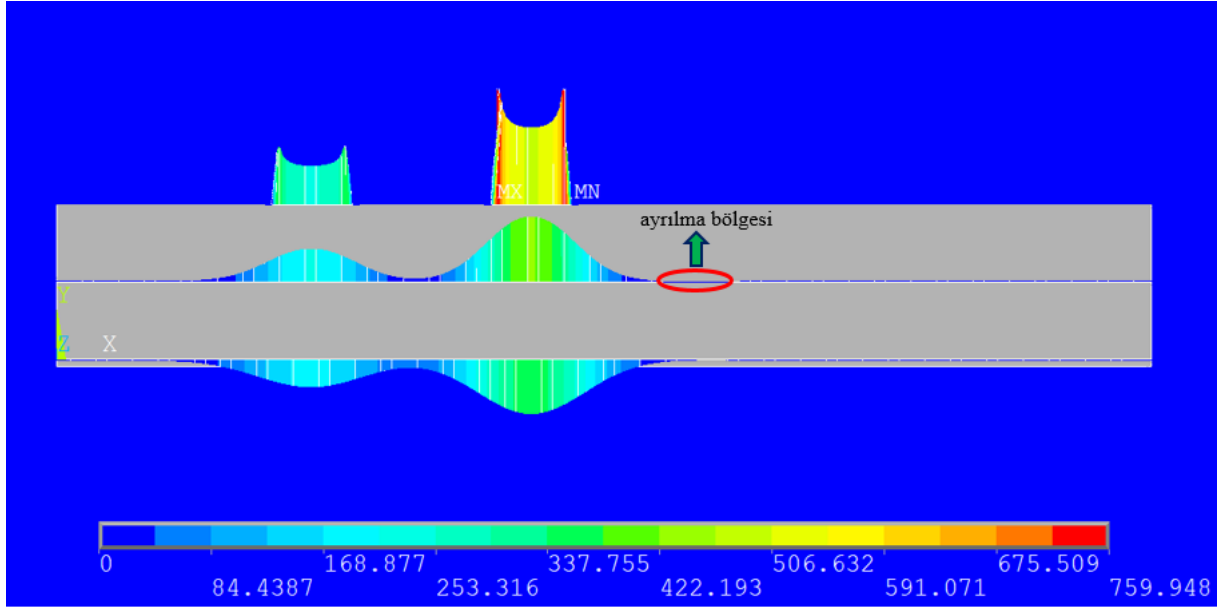
**Şekil 3.32.** Bloklar arasındaki mesafe ((c-b)/h) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_{1y}(x, h)/P/h$  temas gerilmesi dağılımı ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta h_1 = \beta h_2 = 1.3863$ ,  $\gamma h_1 = \gamma h_2 = 1.3863$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ,  $y=1$ ,  $\lambda=140 > \lambda_{cr}$ )



**Şekil 3.33.** 2. blok genişliği ((d-c)/h) değişimine göre FD tabakalar arasındaki boyutsuz  $\sigma_{1y}(x,h)/P/h$  temas gerilmesi dağılımı ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta h_1=\beta h_2=1.3863$ ,  $\gamma h_1=\gamma h_2=1.3863$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ,  $y=1$ ,  $\lambda=95>\lambda_{cr}$ )



**Şekil 3.34.** Yük faktörünün ilk ayrılma yükünden büyük, küçük ve eşit olduğu durumlar için  $\sigma_{1y}(x,h)/P/h$  temas gerilmesi dağılımı ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta h_1=0.693148$ ,  $\beta h_2=1.3863$ ,  $\gamma h_1=\gamma h_2=1.3863$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ,  $y=1$ )



**Şekil 3.35.** Süreksiz temas durumunda oluşan temas gerilmesi dağılımının ANSYS gösterimi ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\beta_{h1}=\beta_{h2}=2.0794$ ,  $\gamma_{h1}=2.0794$ ,  $\gamma_{h2}=2.7726$ ,  $\mu_0=1$ ,  $\mu_{2t}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ,  $y=1$ ,  $\lambda=300>\lambda_{cr}$ )

### 3.3. Süreksiz Temas Probleminin Yapay Zeka Yöntemi ile Çözümü

Bu kısımda süreksiz temas çözümünden elde edilen veri seti Python programına aktarılmış ve probleme uygun bir algoritma yardımıyla süreksiz temas probleminde meydana gelen ayrılmanın başlangıç (E) ve bitiş noktalarının (F) tahmini yapılmıştır. Probleme uygun algoritma seçimi, bir problemi en etkili ve verimli şekilde çözmek için önemlidir. Birçok farklı algoritma mevcut olduğundan, her problem için en uygun olanını seçmek, problemi çözmenin hızını ve doğruluğunu artırabilir. Bu nedenle problemin yapay zeka çözümünde lineer regresyon, polinom regresyon ve Derin Sinir Ağı (DSA) algoritmalarının probleme uygunluğu ayrı ayrı incelenmiştir.

#### 3.3.1. Veri setinin incelenmesi

Bir problem için uygun algoritmanın seçilmesi, veri setinin incelenmesiyle başlar. Veri setinin analizi, problemi anlamak ve uygun bir çözüm yolu belirlemek için gereklidir. Veri seti incelenmeden yazılan bir algoritma, problemi doğru ve verimli bir şekilde çözemeyebilir. Veri setinin incelenmesi, verilerin niteliğini, boyutunu, dağılımını, özelliklerini ve eksik verileri

belirlemeyi içerir. Bu analiz, verilerin işlenmesi ve doğru bir şekilde yorumlanması için gerekli olan bilgileri sağlar. Ayrıca, veri seti incelenerek, veri setindeki anlamlı desenler, eğilimler ve ilişkiler de ortaya çıkabilir. Veri setinin analizi, algoritmanın performansını etkileyen faktörleri belirlemek için de kullanılabilir. Örneğin, bir veri seti büyükse, bazı algoritmaların daha hızlı ve verimli olması beklenirken, küçük veri setleri için daha farklı bir algoritma seçilebilir. Ayrıca, veri setindeki eksik veriler, veri ön işleme teknikleri kullanılarak tamamlanabilir. Veri setinin incelenmesi ayrıca, problemi daha iyi anlamak ve uygun bir yaklaşım geliştirmek için de önemlidir. Veri seti incelenerek, problemle ilgili önemli bilgiler ve ayrıntılar keşfedilebilir. Örneğin, bir sınıflandırma probleminde, farklı sınıfların verileri arasındaki farklılıklar incelenebilir ve daha sonra bu farklılıkların dikkate alınması için bir sınıflandırma algoritması seçilebilir. Şekil 3.36’da süreksiz temas probleminden elde edilen verinin bir bölümü gösterilmiştir.

$\beta h1$	$\beta h2$	$\gamma h1$	P	F	E
0,000100	0,000100	0,000100	40	9,65	8,9
0,000100	0,000100	0,000100	50	10,15	8,65
0,000100	0,000100	0,000100	60	10,55	8,55
0,693148	0,000100	0,000100	50	9,7	8,7
0,693148	0,000100	0,000100	60	10,1	8,55
0,693148	0,000100	0,000100	70	10,35	8,45
1,386300	0,000100	0,000100	60	9,6	8,6
1,386300	0,000100	0,000100	70	9,9	8,45
1,386300	0,000100	0,000100	80	10,15	8,4
1,386300	0,000100	0,000100	90	10,35	8,35
1,791760	0,000100	0,000100	60	9,2	8,75
1,791760	0,000100	0,000100	70	9,55	8,55
1,791760	0,000100	0,000100	80	9,8	8,45
1,791760	0,000100	0,000100	100	10,2	8,35
2,079400	0,000100	0,000100	70	9,3	8,6
2,079400	0,000100	0,000100	80	9,6	8,5
2,079400	0,000100	0,000100	90	9,8	8,4
2,079400	0,000100	0,000100	110	10,15	8,3
-0,693148	0,000100	0,000100	35	9,7	9,15
-0,693148	0,000100	0,000100	40	10,1	8,9
-0,693148	0,000100	0,000100	45	10,35	8,8
-1,386300	0,000100	0,000100	33	9,95	9,3
-1,386300	0,000100	0,000100	35	10,15	9,15

**Şekil 3.36.** Süreksiz temas çözümlerinden elde edilen veri setinin yapısı

Şekil 3.36'da gösterilen veri seti .xlsx formatındadır. Veriler Python ortamına aktarılırken CSV (Comma Separated Values) dosyasına dönüştürülür. Çünkü CSV dosyaları kolayca okunabilen ve daha hızlı işlenebilen metin tabanlı dosyalardır. CSV dosyaları, Excel dosyalarına kıyasla daha küçüktür ve daha az bellek kullanırlar. Ayrıca, CSV dosyaları, verileri farklı platformlar ve programlar arasında kolayca paylaşmaya olanak tanır. Excel dosyaları özellikle büyük boyutlu veri setleri için daha yavaş çalışabilir ve ayrıca farklı sürümleri arasında uyumsuzluk sorunlarına neden olabilir.

Öncelikle Python ortamında veri analizi yapılırken, birçok kütüphane sunar. Veri setine uygun algoritma oluşturulurken en sık kullanılan kütüphaneler aşağıda verilmiştir:

1. NumPy: NumPy, bilimsel hesaplama için kullanılan bir kütüphanedir. NumPy, yüksek performanslı çok boyutlu diziler ve matrisler üzerinde işlem yapmak için tasarlanmıştır.

2. Pandas: Pandas, veri analizi için kullanılan bir kütüphanedir. Pandas, verileri veri çerçeveleri ve seri objeleri olarak temsil eder ve bu veriler üzerinde işlem yapmak için birçok fonksiyon sunar.

3. Matplotlib: Matplotlib, grafik çizmek için kullanılan bir kütüphanedir. Matplotlib, çizgi grafikleri, dağılım grafikleri, bar grafikleri, pasta grafikleri ve daha birçok grafik türü için fonksiyonlar sunar.

4. Seaborn: Seaborn, Matplotlib kütüphanesinin üstüne kurulmuş bir kütüphanedir ve daha yüksek düzeyde bir arayüz sunar. Seaborn, özellikle istatistiksel grafikler oluşturmak için kullanılır.

5. Scikit-learn: Scikit-learn, makine öğrenimi için kullanılan bir kütüphanedir. Scikit-learn, sınıflandırma, regresyon, kümeleme ve boyut indirgeme gibi birçok algoritma için fonksiyonlar sunar.

6. TensorFlow: TensorFlow, derin öğrenme için kullanılan bir kütüphanedir. TensorFlow, yapay sinir ağları oluşturmak ve eğitmek için kullanılır.

7. Keras: Keras, TensorFlow, Theano ve CNTK gibi diğer derin öğrenme kütüphaneleri ile uyumlu olan bir yüksek seviye bir API(Uygulama Programlama Arayüzü)'dir. Keras, daha hızlı bir şekilde yapay sinir ağları oluşturmak ve eğitmek için kullanılır.

8. Statsmodels: Statsmodels, istatistiksel analiz için kullanılan bir kütüphanedir. Statsmodels, regresyon, zaman serisi analizi, hipotez testleri ve daha birçok istatistiksel analiz için fonksiyonlar sunar.

Bu kütüphaneler, veri analizi, grafik çizimi, makine öğrenimi ve istatistiksel analiz gibi birçok veri bilimi görevi için gereklidir. Aşağıdaki kod yardımıyla veri seti Python ortamında

CSV dosyasından okunur ve görüntülenir. Şekil 3.37’de verinin Python ortamındaki görüntüsü gösterilmiştir.

```
#Verileri Okuma
veriler = pd.read_csv("veriler.csv")
#Verileri Görüntüleme
veriler.head(1440)
```

	$\beta$ h1	$\beta$ h2	yh1	P	F	E	Unnamed: 6	Unnamed: 7	Unnamed: 8	Unnamed: 9	Unnamed: 10	Unnamed: 11
0	0.000100	0.0001	0.0001	40.0	9.65	8.90	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
1	0.000100	0.0001	0.0001	50.0	10.15	8.65	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
2	0.000100	0.0001	0.0001	60.0	10.55	8.55	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
3	0.693148	0.0001	0.0001	50.0	9.70	8.70	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
4	0.693148	0.0001	0.0001	60.0	10.10	8.55	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1435	-1.386300	-2.0794	-1.3863	20.0	11.15	10.10	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
1436	-1.791760	-2.0794	-1.3863	20.0	11.35	10.25	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
1437	-2.079400	-2.0794	-1.3863	20.0	11.50	10.35	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
1438	-2.079400	-2.0794	-1.3863	25.0	12.25	9.90	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
1439	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN

1440 rows x 12 columns

### Şekil 3.37. Programda CSV formatındaki veri setinin görüntülenmesi

Veriler CSV dosyasına dönüştürülürken, kaynak veri setindeki eksik veya boş değerler (NaN - Not a Number) genellikle CSV dosyasında bir boşluk veya bir kelime yerine “NaN” veya “N/A” gibi bir değer olarak gösterilir. NaN (Not a Number) değerleri, eksik veya bilinmeyen veri değerlerini temsil etmektedir. NaN değerleri, veri analizi ve makine öğrenmesi modellemesi için bir sorun teşkil eder. Bu değerler, model eğitiminde yanıltıcı sonuçlara yol açabilir ve sonuçta tahmin gücünü azaltabilir. Bu nedenle, NaN değerlerin veri setinden kaldırılması veya bu değerlerin geçerli bir değerle doldurulması önerilir. Veri setinden NaN değerlerin kaldırılması, modelin daha doğru ve güvenilir sonuçlar üretmesine yardımcı olur.

Pandas kütüphanesi içinde ‘drop()’ ve ‘dropna()’ fonksiyonları NaN değerleri kaldırmak için kullanılabilir. ‘drop()’ fonksiyonu, belirtilen satır veya sütunu silerken, ‘dropna()’ fonksiyonu NaN değerleri içeren satırları veya sütunları siler. ‘drop()’ fonksiyonu, “axis” parametresine 0 değeri verilerek satır silme işlemi yapar, 1 değeri verilerek sütun silme işlemi

yapar. Ayrıca "inplace" parametresi True olarak ayarlanarak veri setinde değişiklikler kalıcı hale getirilebilir.

```
#Sütunların silinmesi
```

```
veriler.drop(columns=["Unnamed: 6","Unnamed: 7","Unnamed: 8","Unnamed: 9","Unnamed: 10","Unnamed: 11"],axis=1,inplace=True)
```

```
#NaN satırın silinmesi
```

```
veriler.dropna(how="all",axis=0,inplace=True)
```

Yukarıdaki örnekte, 'dropna()' fonksiyonu 'axis=0' olarak ayarlanarak, NaN değerleri içeren tüm satırların silinmesi sağlanır. 'how' parametresi 'all' olarak ayarlanarak, bir satırda NaN değerinin bulunması durumunda satırın silinmesi sağlanır. 'inplace' parametresi varsayılan olarak True olarak ayarlanarak satırın kalıcı olarak silinmesi sağlanır. 'print(veriler)' ile aşağıdaki gibi veri setinin son durumu kontrol edilebilir. Şekil 3.38'de veri setinin durumu gösterilmiştir.

```
#Veri setinin ekrana yazdırılması
```

```
print(veriler)
```

```
      βh1      βh2      γh1      P      F      E
0      0.000100  0.0001  0.0001  40.0   9.65   8.90
1      0.000100  0.0001  0.0001  50.0  10.15   8.65
2      0.000100  0.0001  0.0001  60.0  10.55   8.55
3      0.693148  0.0001  0.0001  50.0   9.70   8.70
4      0.693148  0.0001  0.0001  60.0  10.10   8.55
...      ...      ...      ...      ...      ...      ...
1434  2.079400 -2.0794 -1.3863  30.0  10.05   9.25
1435 -1.386300 -2.0794 -1.3863  20.0  11.15  10.10
1436 -1.791760 -2.0794 -1.3863  20.0  11.35  10.25
1437 -2.079400 -2.0794 -1.3863  20.0  11.50  10.35
1438 -2.079400 -2.0794 -1.3863  25.0  12.25   9.90
```

```
[1439 rows x 6 columns]
```

**Şekil 3.38.** Veri setinin son durumu

Veriler işlenebilir duruma getirildikten sonra, verilerin dağılımlarını ve istatistiklerini inceleyebiliriz. Pandas veri çerçevesinin (DataFrame) temel istatistik bilgilerini hesaplamak ve bilgileri sütunlar halinde göstermek için 'describe()' fonksiyonu kullanılır. Bu fonksiyon veri setinin aşağıdaki istatistiksel özelliklerini hesaplar:

- count: her sütundaki verilerin sayısı

- mean: her sütundaki verilerin ortalaması
- std: her sütundaki verilerin standart sapması
- min: her sütundaki en küçük değer
- 25%: Alt çeyrek anlamına gelir. Verilerin en küçük %25'ini ifade eder.
- 50%: Verileri küçükten büyüğe sıraladığımızda ortada kalan değeri (medyan) ifade eder.
- 75%: Verilerin en büyük %25'ini ifade eder. Üst çeyrek anlamına gelir.
- max: her sütundaki en büyük değer

Bu bilgilerin sütunlar halinde gösterilmesi, her sütunun istatistiksel özelliklerini kolayca okumamızı sağlar. Şekil 3.39'da veri setinin istatistiksel özellikleri gösterilmiştir.

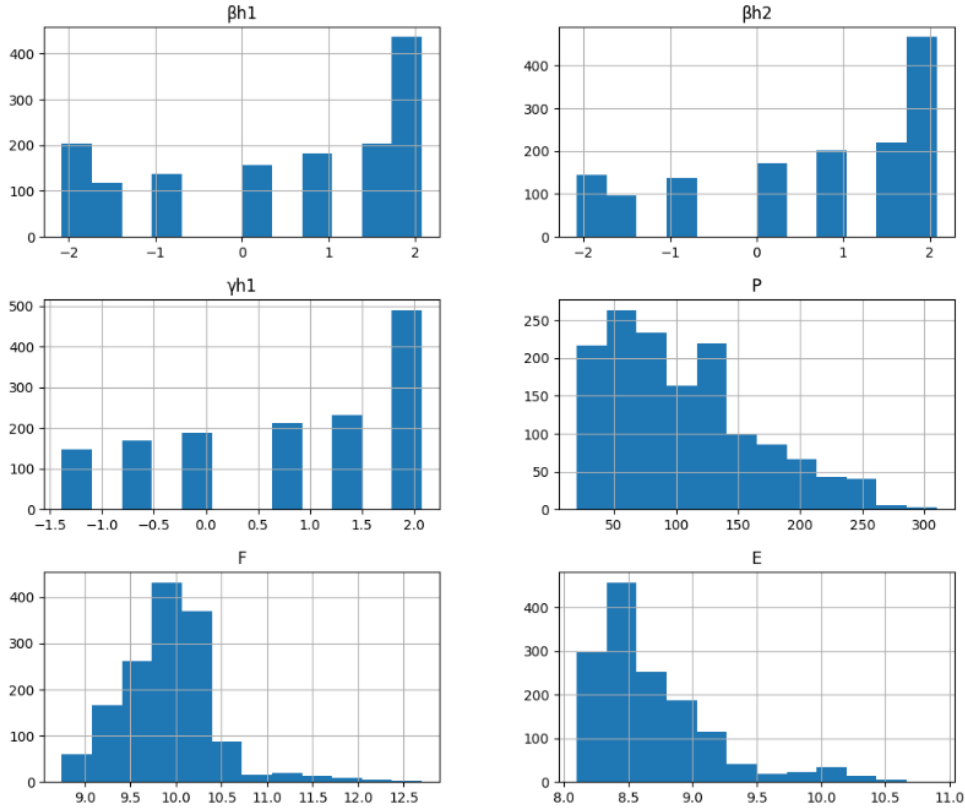
```
#Veri setinin istatistiksel özelliklerinin gösterilmesi
veriler.describe().T
```

	count	mean	std	min	25%	50%	75%	max
<b>βh1</b>	1439.0	0.419160	1.427021	-2.0794	-0.693148	0.693148	1.79176	2.0794
<b>βh2</b>	1439.0	0.585052	1.337834	-2.0794	-0.693148	0.693148	1.79176	2.0794
<b>yh1</b>	1439.0	0.759870	1.153619	-1.3863	0.000100	1.386300	1.79176	2.0794
<b>P</b>	1439.0	104.931202	59.803597	20.0000	55.000000	95.000000	140.00000	310.0000
<b>F</b>	1439.0	9.912856	0.517091	8.7500	9.600000	9.900000	10.20000	12.7000
<b>E</b>	1439.0	8.680021	0.460255	8.1000	8.350000	8.550000	8.85000	10.9000

**Şekil 3.39.** Veri setinin istatistiksel özellikleri

Veri setindeki verilerin dağılımını görselleştirmek için histogram grafiği kullanılabilir. Grafiklerin x eksenini, değişkenin değer aralığını, y eksenini ise bu değer aralığındaki verilerin frekansını gösterir. Aşağıdaki kod yardımıyla histogram grafiği çizilebilir. “bins” parametresi, veri aralığını belirleyen aralık sayısını belirtirken “figsize” parametresi grafiğin boyutlarını belirtir. Şekil 3.40'da veri setindeki parametrelerin dağılımını gösteren histogram grafiği gösterilmiştir.

```
#Histogram grafiğinin çizilmesi
veriler.hist(bins=12, figsize=(12,10), grid=True)
```



**Şekil 3.40.** Histogram grafiği ile veri dağılımının gösterilmesi

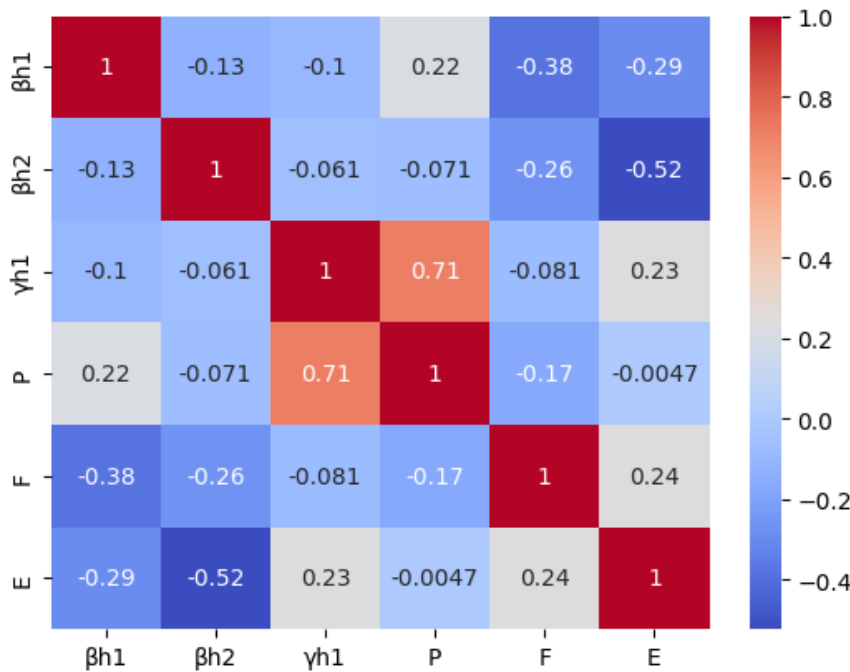
Verilerin birbirleriyle olan ilişkilerini hakkında bilgi sahibi olmak, probleme uygun algoritma modelinin oluşturulması için önemlidir. Bu ilişkilerin öğrenilmesi için korelasyon matrisi kullanılabilir. Korelasyon matrisi, veri setindeki her bir özellik arasındaki ilişkiyi gösteren bir matristir. Satır ve sütunları aynı özellikleri temsil ederken, her bir hücrede iki özellik arasındaki korelasyon katsayısı yer alır. Bu katsayılar, özellikler arasındaki doğrusal ilişkinin şiddetini ve yönünü gösterir. Korelasyon matrisi, veri setindeki değişkenlerin birbirleriyle ilişkisini anlamak ve değişkenlerin birbirleriyle nasıl ilişkili olduğunu görselleştirmek için kullanılır. Aşağıdaki kod yardımıyla korelasyon matrisi hesaplanır ve ısı haritası oluşturulur.

```
import seaborn as sns
import matplotlib.pyplot as plt

# Korelasyon matrisini hesapla
corr_matrix = df.corr(method='kendall')
```

```
# Isı haritasını çizdir
sns.heatmap(corr_matrix, annot=True, cmap='coolwarm')
plt.show()
```

Korelasyon ısı haritası, verilerdeki değişkenler arasındaki korelasyonu görselleştirmek için kullanılan bir grafikdir. Bu grafikte, verilerdeki değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları renk skalası kullanılarak gösterilir. Genellikle koyu renkler yüksek korelasyonu, açık renkler ise düşük korelasyonu gösterir. Korelasyon ısı haritaları, verilerdeki değişkenler arasındaki ilişkileri anlamak, değişkenlerin önem sırasını belirlemek ve verilerin modelleme için uygunluğunu değerlendirmek için kullanılır. Ancak korelasyon ısı haritaları her zaman doğru sonuç vermeyebilir. İki değişken arasındaki korelasyon sadece doğrusal ilişkileri gösterirken, non-parametrik ilişkileri gösteremez. Ayrıca, korelasyon katsayısı bir ilişki hakkında kesin bir bilgi vermez, sadece ilişkinin yönü ve gücü hakkında fikir verir. Dolayısıyla, her zaman diğer yöntemler ve analizlerle birlikte kullanılması gereken bir araçtır. Şekil 3.41'de probleme ait veri setinin korelasyon ısı haritası gösterilmiştir.



Şekil 3.41. Korelasyon ısı haritası

### 3.3.2. Lineer regresyon ile ayrılma başlangıç ve bitiş noktalarının tahminin yapılması

Regresyon, bir bağımsız değişkenin (veya değişkenlerin) bir veya daha fazla bağımlı değişken üzerindeki etkisini modellemek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Bağımsız değişkenler, bir veya daha fazla sayısal veya kategorik değişken olabilir. Bağımlı değişken genellikle sayısal bir değişken olur. Regresyon modelleri, veriler arasındaki ilişkileri inceleyebilir, trendleri belirleyebilir, gelecekteki tahminler yapabilir ve korelasyonu ölçebilir. Regresyon, istatistiksel analizler, makine öğrenimi, ekonometri ve diğer birçok alanda kullanılır.

Lineer regresyon, bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasındaki ilişkiyi modellemek için kullanılan bir yöntemdir. Bağımsız değişkenlerin değerleri kullanılarak, bağımlı değişkenin tahmin edilmesi amaçlanır.

Problemimizdeki  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\gamma_1$  ve P değerleri bağımsız değişkenlerimizi oluşturur. Tahmin etmek istediğimiz F ve E değerleri ise bağımlı değişkenlerimizdir. 2. tabakanın yoğunluk parametresi  $\gamma_2$  ayrılma başlangıç (E) ve bitiş (F) noktalarını etkilemediği için veri setinde dikkate alınmamıştır. Çözümler  $Q=2P$  için yapılmıştır. Verilerin %35'i test, %65'i ise eğitimde kullanılmıştır.

Lineer regresyon modelinde kullanılan algoritma aşağıda verilmiştir:

```
from sklearn.model_selection import train_test_split
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from sklearn.linear_model import LinearRegression
from sklearn.model_selection import train_test_split

#Verilerin okunması
veriler = pd.read_csv("veriler.csv")

#NaN değerlerin silinmesi
veriler.drop(columns=["Unnamed: 6","Unnamed: 7","Unnamed: 8","Unnamed: 9","Unnamed: 10","Unnamed: 11"],axis=1,inplace=True)
```

```

veriler.dropna(how="all",axis=0,inplace=True)

#Verilerin atanması
X = veriler.iloc[:, 0:4].values
F = veriler.iloc[:, 4].values
E = veriler.iloc[:, 5].values

# Verileri train ve test olarak ayır
X_train, X_test, F_train, F_test, E_train, E_test = train_test_split(X, F, E,
test_size=0.35, random_state=42)

#Modelin eğitilmesi
regressor_F = LinearRegression()
regressor_F.fit(X_train, F_train)

regressor_E = LinearRegression()
regressor_E.fit(X_train, E_train)

#Tahminlerin yapılması
F_tahmin = regressor_F.predict(X_test)
E_tahmin = regressor_E.predict(X_test)

```

Bu kod bloğunda öncelikle, “pandas” kütüphanesi kullanılarak bir CSV dosyası okunmakta ve okunan veriler bir “DataFrame” veri yapısında saklanmaktadır. DataFrame yapısı, pandas kütüphanesi tarafından sağlanan bir veri yapısıdır. DataFrame, farklı tiplerdeki sütunlara sahip 2 boyutlu bir veri tablosunu temsil eder. DataFrame, bir dizi diziden veya NumPy dizilerinden oluşturulabilir. DataFrame yapısı, veri manipülasyonu ve veri analizi için birçok yöntem ve fonksiyon sağlar. Özellikle büyük veri setlerinde sorgulama ve işleme yapmak için oldukça kullanışlıdır.

“drop” metodu kullanılarak gereksiz sütunlar siliniyor ve “dropna” metodu ile de veri setindeki boş hücreler temizlenir.

Daha sonra "iloc" metodu kullanılarak veri setindeki belirli sütunlardaki veriler “X”, “F” ve “E” değişkenlerine atanıyor. X bağımsız değişkenleri, F ve E ise veri setimizdeki bağımlı değişkenleri ifade etmektedir.

Sonrasında “train\_test\_split” metodu ile veriler eğitim ve test verisi olarak bölünür. Burada "test\_size" parametresi ile test verisi oranı belirlenir ve “random\_state” parametresi ile rastgele bölme işlemi için bir seed değeri girilir. Seed değeri, makine öğrenmesi veya veri analizi gibi uygulamalarda, rastgele sayılar kullanılarak yapılan işlemlerin tekrarlanabilir olması için kullanılan bir başlangıç değeri veya başlangıç noktasıdır. Rastgele sayılar, model eğitimi veya testi gibi birçok işlemde kullanılır. Ancak, her seferinde farklı rastgele sayılar üretilirse, sonuçlar değişebilir. Bu nedenle, her çalıştırma için aynı rastgele sayıların kullanılmasını sağlamak için bir seed değeri belirlenebilir. Bu şekilde, işlemler tekrarlandığında aynı rastgele sayılar kullanılacağından sonuçlar tekrarlanabilir olacaktır.

Daha sonra “LinearRegression” sınıfından iki farklı nesne oluşturulur. Bu nesnelere “fit” metodu ile eğitim verilerine uyumlu hale getirilir. Son olarak, eğitilen modeller kullanılarak test verileri üzerinde tahminler yapılır ve sonuçlar “F\_tahmin” ve “E\_tahmin” değişkenlerinde saklanır.

Lineer regresyon modelinin bizim veri setimize uygun olup olmadığı anlamak için ise R2 skor değeri hesaplanabilir. R2 skor, regresyon modellerinin performansını ölçmek için kullanılan bir ölçüttür. Bağımlı değişkenin (hedef değişkenin) varyasyonunun, bağımsız değişkenlerin (özelliklerin) ne kadarını açıklayabildiğini gösterir. Bu, modelin ne kadar iyi bir uyum sağladığını belirler. 0 ile 1 arasında bir değer alır ve ne kadar yüksek olursa, modelin o kadar iyi uyum sağladığına işaret eder. Modelin başarı oranını ölçtüğü için oldukça önemlidir. Ayrıca, modelin aşırı öğrenme veya aşırı uyuma eğilimli olup olmadığını kontrol etmek için de kullanılabilir. R2 skor hesaplamak için kullanılan kod aşağıdaki gibidir:

```
from sklearn.metrics import r2_score
#R2 score değerinin hesaplanması
F_r2_score = r2_score(F_test, F_tahmin)
E_r2_score = r2_score(E_test, E_tahmin)

print("F R2 score:", F_r2_score)
print("E R2 score:", E_r2_score)
```

```
F R2 score: 0.75360057254511
```

```
E R2 score: 0.8446250644580755
```

F R2 skor değeri 0.75'tir, bu da F bağımlı değişkenindeki değişkenliğin yaklaşık %75'inin model tarafından açıklandığını gösterir. Benzer şekilde, E R2 skor değeri 0.84'tür, bu

da E bağımlı değişkenindeki değişkenliğin yaklaşık %84'ünün model tarafından açıklandığını gösterir. Dışarıdan rastgele girilen  $\beta_{h1}$ ,  $\beta_{h2}$ ,  $\gamma_{h1}$  ve P bağımsız değişkenlerine karşılık F ve E bağımlı değişkenlerinin tahmin edilmesi için aşağıdaki kod kullanılmıştır.

```
X_yeni = [[1, 1, -1, 50]]
```

```
F_tahmin = regressor_F.predict(X_yeni)
```

```
E_tahmin = regressor_E.predict(X_yeni)
```

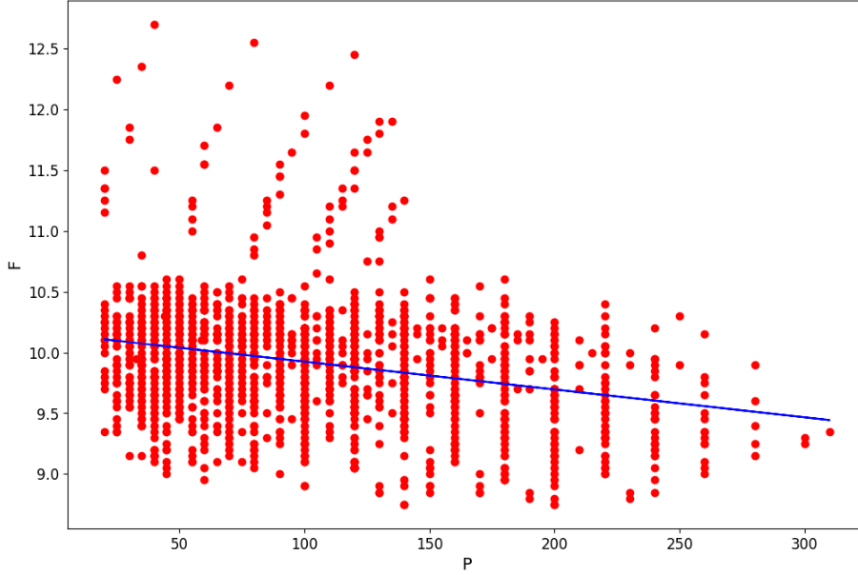
```
print("F tahmin:", F_tahmin)
```

Tablo 3.12'de lineer regresyonla rastgele bağımsız değişkenler için yapılan F ve E tahmin değerlerinin ANSYS çözümünden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda lineer regresyon ve ANSYS çözümünden elde edilen değerlerin yakın olduğu görülmüştür.

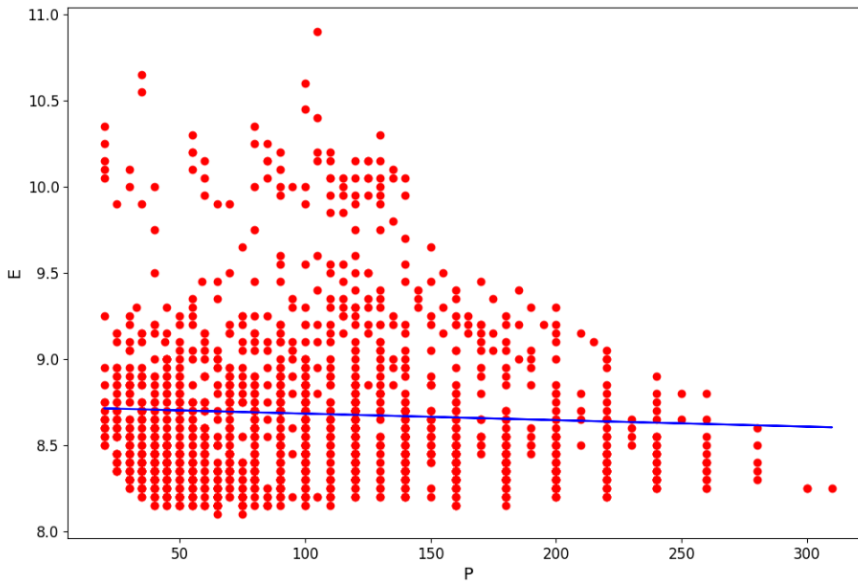
**Tablo 3.12.** Lineer regresyon tahminlerinin ANSYS çözümleri ile karşılaştırılması ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\gamma h_2=2.7726$ ,  $\mu_o=1$ ,  $\mu_{2i}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ,  $y=1$ )

Bağımsız Değişkenler				ANSYS		Lineer Regresyon		Hata(%)	
$\beta h_1$	$\beta h_2$	$\gamma h_1$	P	F	E	F	E	F	E
1	1	-0.5	50	9.75	8.35	9.7672	8.4201	0.176	0.838
0.5	0.5	0.5	70	9.85	8.5	9.8108	8.7028	0.398	2.3859
1.0986	1.0986	1.0986	100	9.35	8.45	9.4135	8.4820	0.679	0.379
-1.0986	-1.0986	1.0986	80	10.85	9.30	10.5825	9.4038	2.465	1.116
0.4055	0.2877	1.79176	180	9.90	8.55	9.8719	8.8019	0.303	2.946
1.79176	1.79176	1.79176	250	9.55	8.20	9.5882	8.0705	0.399	1.579
-0.2877	0.0001	0.2877	60	10.40	8.65	10.2233	8.9372	1.699	3.3202
0.0001	2	2	150	9.65	8.40	9.5408	8.4197	1.132	0.235
1.3863	1.0986	0.8	130	9.90	8.25	9.5850	8.3699	3.182	1.453
0.693148	-1	-0.7	30	10.35	8.85	10.3562	8.9926	0.060	1.61116

Şekil 3.42-3.43'te lineer regresyon grafikleri gösterilmiştir. Lineer regresyon grafiği, bağımsız bir değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkisini görselleştiren bir grafik türüdür. Grafiklerin x eksenini bağımsız değişken P, y eksenini ise bağımlı değişkenler ayrılma başlangıç noktası (E) ve ayrılma bitiş noktası (F) oluşturur.



Şekil 3.42. Bağımlı değişken F lineer regresyon grafiği



Şekil 3.43. Bağımlı değişken E lineer regresyon grafiği

### 3.3.3. Polinom regresyon ile ayrılma başlangıç ve bitiş noktalarının tahminin yapılması

Polinom regresyonu, bağımlı değişkenle bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi modellemek için polinom fonksiyonlarını kullanan bir regresyon yöntemidir. Doğrusal regresyonun genişletilmiş bir versiyonudur. Doğrusal regresyon, bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasındaki doğrusal bir ilişkiyi modellemek için kullanılırken, polinom regresyonu, bağımlı değişkenin bağımsız değişkenlere karşı daha karmaşık bir şekilde bağlı olduğu durumları ele alır.

Polinom fonksiyonları, bağımsız değişkenlerin kuvvetlerinin ve bu kuvvetlerin kombinasyonlarının toplamından oluşur. Örneğin, birinci dereceden bir polinom, doğrusal bir denklemi ifade ederken, ikinci dereceden bir polinom, kare terimlerini de içeren bir denklemi ifade eder.

Polinom regresyonu, verilerin eğilimini daha esnek bir şekilde yakalayabilir. Doğrusal regresyon modellerinin yetersiz olduğu durumlarda, polinom regresyonu daha uygun olabilir. Örneğin, verilerin eğrisel bir ilişkiye sahip olduğu durumlarda, polinom regresyonu verilere daha iyi uyarlanabilir.

Polinom regresyonunda, polinom derecesi modelin esnekliğini belirler. Daha yüksek dereceli polinomlar, verilere daha fazla uyarlanma eğilimindedir, ancak aşırı uyum (overfitting) riskini de artırabilir. Polinom derecesinin seçimi, modelin verilere uyumunu ve genelleme yeteneğini dengelemek için dikkatlice yapılmalıdır.

Polinom regresyonu, polinom derecesini belirledikten sonra, polinom katsayılarını ve sabit terimi tahmin etmek için en küçük kareler yöntemini kullanır. Model eğitildikten sonra, polinom fonksiyonu kullanılarak yeni bağımsız değişken değerlerine karşılık gelen bağımlı değişken tahminleri yapılabilir.

Polinom regresyon modeli için oluşturulan algoritma aşağıda gösterilmiştir. Verilerin %25'i test, %75'i ise eğitimde kullanılmıştır.

```
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from sklearn.preprocessing import PolynomialFeatures
from sklearn.linear_model import LinearRegression
from sklearn.model_selection import train_test_split
```

```
# Verileri okuma
veriler = pd.read_csv("veriseti.csv")
veriler.drop(columns=["Unnamed: 6","Unnamed: 7","Unnamed: 8","Unnamed: 9","Unnamed:
10","Unnamed: 11"],axis=1,inplace=True)
veriler.dropna(how="all",axis=0,inplace=True)

X = veriler.iloc[:, 0:4].values
F = veriler.iloc[:, 4].values
E = veriler.iloc[:, 5].values

# Verileri train ve test olarak ayırma
X_train, X_test, F_train, F_test, E_train, E_test = train_test_split(X, F, E, test_size=0.25,
random_state=40)

# Polinom derecesi
derece = 4

# Polinom özelliklerini genişletme
poly_reg = PolynomialFeatures(degree=derece)
X_train_poly = poly_reg.fit_transform(X_train)

# Modeli eğitme
regressor_F = LinearRegression()
regressor_F.fit(X_train_poly, F_train)

regressor_E = LinearRegression()
regressor_E.fit(X_train_poly, E_train)

# Tahminleri yapma
X_test_poly = poly_reg.fit_transform(X_test)

F_tahmin = regressor_F.predict(X_test_poly)
E_tahmin = regressor_E.predict(X_test_poly)
```

Yukarıdaki polinom regresyona ait kod bloğu lineer regresyon ile benzer şekilde çalışır. Lineer regresyondan farkı 'PolynomialFeatures' sınıfı kullanarak bağımsız değişkenler ve bağımlı değişkenler arasındaki ilişkiyi öğrenmesidir. Böylelikle değişkenler arasında doğrusal olmayan ilişkilerin öğrenmesi de sağlanacaktır. Sonuç olarak daha doğru tahminler elde etmeye yardımcı olacaktır. Aşağıdaki kod yardımıyla polinom regresyon modeline ait R2 skor değeri hesaplanabilir:

```
from sklearn.metrics import r2_score

# Gerçek değerler ve tahmin edilen değerleri kullanarak r2_score değerini hesaplama
F_r2score = r2_score(F_test, F_tahmin)
E_r2score = r2_score(E_test, E_tahmin)

print("F test r2_score:", F_r2score)
print("E test r2_score:", E_r2score)

F test r2_score: 0.9931399983511443
E test r2_score: 0.9866754673143636
```

Önceki lineer regresyon modelinde F ve E hedef değişkenleri için R2 skorları sırasıyla 0.75 ve 0.844 olarak hesaplanmıştı. Ancak, polinom regresyon modelinde F ve E hedef değişkenleri için R2 skorları çok daha yüksek değerler olarak elde edilmiştir. F hedef değişkeni için 0.9931, E hedef değişkeni için ise 0.9867 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, polinom regresyon modelinin verilere daha iyi uyum sağladığı ve F ve E hedef değişkenlerini daha iyi açıkladığı görülmektedir, bu da daha doğru tahminler yapabileceğini gösterir. Dışarıdan sırasıyla rastgele girilen  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\gamma_1$  ve P bağımsız değişkenlerine karşılık F ve E bağımlı değişkenlerinin tahmin edilmesi için aşağıdaki kod kullanılmıştır.

```
from sklearn.metrics import r2_score

Tahminleri yap
X_yeni = [[0.693148, 0.693148, 0.693148, 100]]
X_yeni_poly = poly_reg.fit_transform(X_yeni)

F_tahmin = regressor_F.predict(X_yeni_poly)
```

```
E_tahmin = regressor_E.predict(X_yeni_poly)
```

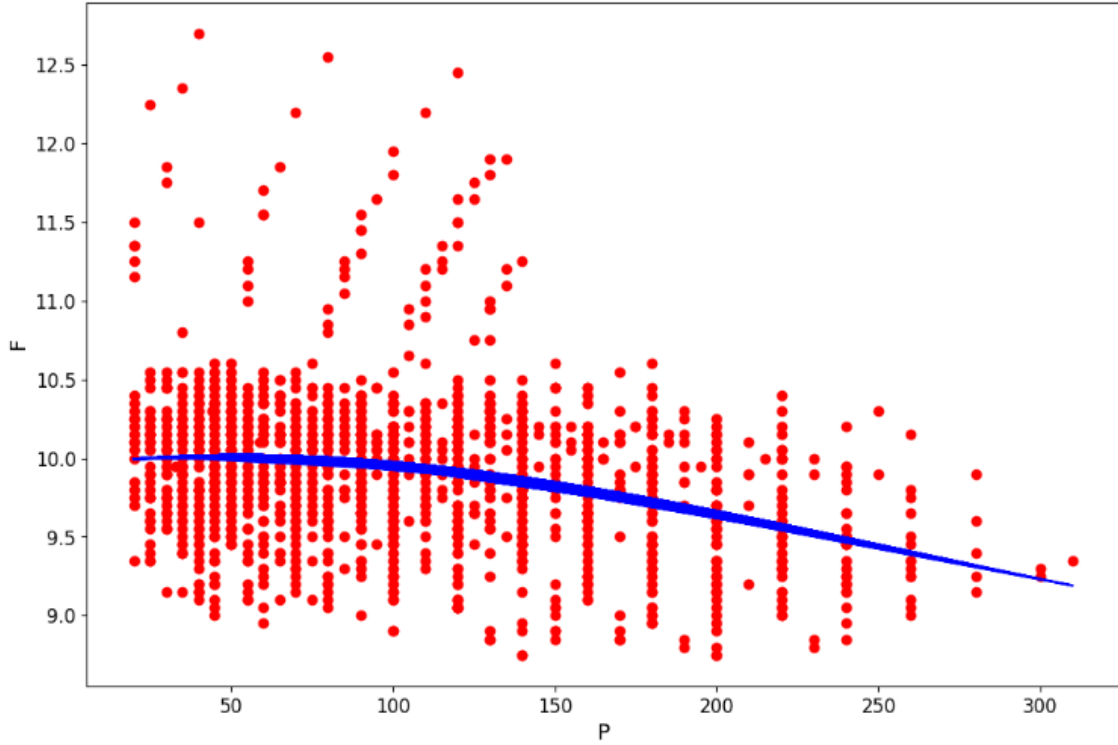
```
print("F tahmin:", F_tahmin)
```

```
print("E tahmin:", E_tahmin)
```

```
F tahmin: [10.14609688]
```

```
E tahmin: [8.31820462]
```

Şekil 3.44'te 3. dereceden polinom regresyon grafiği gösterilmiştir. Grafiğin x eksenini bağımsız değişken P, y eksenini ise bağımlı değişken ayrılma bitiş noktası (F) oluşturur.



**Şekil 3.44.** Bağımlı değişken F için üçüncü dereceden polinom regresyon grafiği

Tablo 3.13'te polinom regresyonla rastgele bağımsız değişkenler için yapılan F ve e tahmin değerlerinin ANSYS çözümünden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda polinom regresyon ve ANSYS çözümünden elde edilen değerler arasında çok küçük farklar çıkmaktadır.

Tablo 3.14'te polinom derecesi değişimine bağlı olarak R2 skor değerleri gösterilmiştir. Polinom derecesi arttıkça, genellikle R2 skoru yükselir. Ancak yüksek polinom dereceleri aşırı

uyum (overfitting) problemine yol açabilir. 4. dereceden sonraki azalmaya aşırı uyum probleminin sebep olduğu söylenilebilir.



**Tablo 3.13.** Polinom regresyon tahminlerinin ANSYS çözümleri ile karşılaştırılması ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\gamma h_2=2.7726$ ,  $\mu_o=1$ ,  $\mu_{21}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ,  $y=1$ )

Bağımsız Değişkenler				ANSYS		Polinom Regresyon		Hata(%)	
$\beta h_1$	$\beta h_2$	$\gamma h_1$	P	F	E	F	E	F	E
1.0986	0.0001	0.693148	100	10.05	8.45	10.067	8.444	0.169	0.070
-1.0986	0.0001	0.693148	50	9.90	9.20	9.921	9.165	0.212	0.380
0.4055	0.693148	1.3863	120	9.90	8.45	9.897	8.435	0.030	0.178
0.4055	1.3863	-0.693148	45	10.05	8.25	10.061	8.273	0.109	0.279
-1	1.79176	-1.3863	25	10.30	8.40	10.286	8.442	0.136	0.499
2.0794	0.693148	1.0986	150	9.40	8.40	9.384	8.405	0.170	0.059
-2.0794	1.5	1.3863	80	10.30	8.80	10.278	8.802	0.214	0.023
0.2877	0.0001	0.0001	70	10.65	8.45	10.688	8.428	0.357	0.260
1.3863	-1.0986	-0.4055	50	10.10	8.80	10.074	8.849	0.257	0.557
1	1	-1.3863	45	10.25	8.20	10.295	8.183	0.439	0.207

**Tablo 3.14.** Farklı polinom dereceleri için R2 skor değerinin gsterilmesi

Polinom Derecesi	R2 skor	
	F	E
1	0.7577	0.8423
2	0.9617	0.9773
3	0.9872	0.9846
4	0.9931	0.9867
6	0.9547	0.9437
7	0.9439	0.8838

### 3.3.4. Derin sinir ağı (DSA) ile ayrılma başlangıç ve bitiş noktalarının tahminin yapılması

Derin sinir ağları (DSA), makine öğrenmesi ve yapay zeka alanında kullanılan bir tür yapay sinir ağı modelidir. Derin sinir ağları, insan beyninin sinir hücrelerinden ilham alır ve karmaşık veri yapılarını anlamak, sınıflandırmak veya tahmin yapmak için kullanılır. Derin sinir ağları, birbirine bağlı çok katmanlardan oluşur. Bu katmanlar, veriye göre ayarlanabilen ağırlık ve bias değerleri içeren bir dizi yapay sinir hücresi veya nöronlar içerir. Her katmandaki nöronlar, girdileri işler, bir aktivasyon fonksiyonu uygular ve sonuçlarını bir sonraki katmana ileterek bilgiyi işlerler.

Derin sinir ağlarının en yaygın kullanılan tipi “geri yayılım” (backpropagation) olarak bilinen bir öğrenme algoritması ile eğitilir. Eğitim sürecinde, ağ, girdi verilerini işleyerek çıktı üretir ve ardından bu çıktıyı hedef çıktı ile karşılaştırarak bir hata hesaplar. Ardından, hata geriye doğru katmanlara doğru yayılır ve her katmandaki ağırlık değerleri, hatayı azaltmaya yönelik olarak güncellenir.

Derin sinir ağlarında bulunan katmanlar:

**Giriş Katmanı:** Verilerin sisteme girdi olarak verildiği katmandır. Bu katmanda her bir giriş verisi, nöronlara aktarılır ve işleme süreci başlar.

**Gizli Katmanlar:** Bir veya daha fazla gizli katman, girdi katmanından sonra gelir. Her gizli katman, genellikle birbirine bağlı nöronlardan oluşur ve bir önceki katmandan aldığı verileri işler. Her nöron, girişleriyle ağırlıklarını çarpar ve bir aktivasyon fonksiyonuna sokar. Bu, katmanların daha karmaşık özellikleri öğrenmesini sağlar.

**Çıkış Katmanı:** En son katmandır ve genellikle bir sınıflandırma veya tahmin problemine yönelik sonuçları üretir. Her çıkış nöronu, gizli katmanlardan aldığı verileri işler ve sonuçları üretir. Örneğin, bir görüntüyü sınıflandırmak için her nöron, giriş verilerindeki farklı özelliklere dayanarak farklı sınıflara ait olasılıkları hesaplayabilir.

Eğitim veri seti üzerinde tekrarlanan bir süreç olan “ileri besleme” (forward propagation) ve “geri yayılım” (backpropagation) adı verilen iki ana adımı içeren bir süreçle derin sinir ağları eğitilir. İleri besleme sürecinde, veri girişi ağı takip eder. Her bir katman, nöronlarda bulunan ağırlıkları kullanarak giriş verilerini işler ve çıktıları üretir. İlk başta, ağırlıklar rastgele atanır, ancak eğitim sürecinde bu ağırlıklar güncellenerek daha iyi sonuçlar elde edilir. Çıktılar elde edildikten sonra, geri yayılım adımına geçilir.

Geri yayılım, ağın ürettiği çıktılarla hedef çıktılar arasındaki farkı hesaplar ve hatayı belirler. Bu hata, her bir nöronun katkısını hesaplamak için geriye doğru katmanlara doğru yayılır. Hatanın geri yayılmasıyla birlikte ağıdaki ağırlık değerleri güncellenir. Geri yayılım, hata azaltma amacıyla bir optimizasyon algoritması kullanır. Genellikle en yaygın kullanılan optimizasyon algoritması “gradyan inişi” (gradient descent) olarak bilinir. Bu algoritma, hata fonksiyonunu küçültmek için ağırlık değerlerini düzenler.

Eğitim süreci, belirli bir sayıda döngü veya “epok” boyunca tekrarlanır. Her epok, veri seti ağırlıklı olarak ileri beslemeye ve geri yayılmaya tabi tutularak ağın performansını iyileştirir. Ağ, veri seti üzerindeki hataları azaltarak daha iyi sonuçlar üretmeyi öğrenir.

Derin sinir ağları, büyük ve karmaşık veri setleriyle eğitildiğinde, özellikle görüntü tanıma, doğal dil işleme, ses tanıma ve öneri sistemleri gibi alanlarda olağanüstü başarılar elde edebilir. Derin sinir ağları, daha yüksek seviyede soyutlamaları öğrenerek veri içindeki örüntüleri keşfedebilir ve özellikle derinlikleri nedeniyle daha karmaşık problemleri çözebilirler.

Sürekli temas probleminde meydana gelen ayrılma mesafelerinin tahmini için kullanılan DSA modeli için kullanılan kod bloğu aşağıda gösterilmiştir.

```
# Eğitim ve test kümelerinin oluşturulması (F için)
```

```
X_train, X_test, F_train, F_test = train_test_split(X, F, test_size=0.3, random_state=42)
```

```
model1 = keras.Sequential([  
    layers.Dense(units=64, input_dim=4, activation='relu'),  
    layers.Dense(units=128, activation='relu'),  
    layers.Dense(units=256, activation='relu'),
```

```
layers.Dense(units=512, activation='relu'),  
layers.Dense(units=1024, activation='relu'),  
layers.Dense(units=1, activation='linear')  
])
```

```
model1.compile(optimizer='adam', loss='mean_squared_error')
```

```
model1.fit(X_train, F_train, epochs=300, batch_size=128, validation_data=(X_test,  
F_test))
```

Bu kod parçası, bir regresyon problemi için derin bir sinir ağı modeli oluşturur ve eğitim işlemini gerçekleştirir. Veri setinin %30'u test, %70'i ise modelin eğitimi için kullanılmıştır. Model, verileri 4 boyutlu girdilerle ( $\beta_{h1}$ ,  $\beta_{h2}$ ,  $\gamma_{h1}$ , P) alır ve 1 boyutlu çıktı (F) üretir. "relu" aktivasyon fonksiyonu ve ortalama kare hata kaybı (mean squared error) kullanarak eğitilir. "Adam" optimizasyon algoritması, gradyan inişi yöntemini adaptif olarak ayarlayarak modelin parametrelerini günceller.

Eğitim süreci boyunca, model, eğitim verileri üzerindeki hata miktarını azaltmayı hedefler. Belirli bir sayıda epok boyunca veriler üzerinde tekrarlanarak ağırlıklar ve bias değerleri güncellenir. Bu, modelin eğitim verilerine uyum sağlamasını ve genelleştirme yeteneğini artırmasını sağlar.

Ayrıca, doğrulama veri seti (X\_test ve F\_test) kullanılarak modelin performansı izlenir. Her epok sonunda doğrulama verisi üzerindeki hata miktarı değerlendirilir ve modelin genelleme yeteneği gözlemlenir. Böylece, aşırı öğrenmeyi önlemek ve optimal modeli seçmek için doğrulama verisi kullanılır.

Bu kod parçası, derin sinir ağı modelinin oluşturulması, derleme işlemi ve eğitim işlemi adımlarını içerir. Modelin karmaşıklığı arttıkça ve daha fazla gizli katman kullanıldıkça, daha karmaşık özellikleri öğrenme potansiyeli artar, ancak aynı zamanda modelin eğitim süresi ve hesaplama maliyeti de artabilir. Ayrılma başlangıç noktası (E) içinde benzer kod bloğu kullanıldığı için tekrardan gösterimi yapılmamıştır.

DSA kodunda kullanılan değişkenlerin açıklamaları:

- 'model1': Oluşturulan derin sinir ağı modelinin referansını tutan değişken.
- 'layers.Dense': Keras'ta yoğun (dense) katmanları oluşturmak için kullanılan sınıf.
- 'units': Bir katmandaki nöron sayısını belirten parametre.

- ‘input\_dim’: Giriş katmanının girdi boyutunu belirten parametre. Bu durumda, giriş boyutu 4’tür.
- ‘activation’: Aktivasyon fonksiyonunu belirten parametre. Bu örnekte, “relu” (Rectified Linear Unit) aktivasyon fonksiyonu kullanılır.
- ‘optimizer’: Optimizasyon algoritmasını belirten parametre. Bu örnekte, “adam” optimizasyon algoritması kullanılır. Adam, adaptif moment tahmini yaparak gradyan inişini gerçekleştirir.
- ‘loss’: Kayıp (hata) fonksiyonunu belirten parametre. Bu örnekte, “mean\_squared\_error” (ortalama karesel hata) kullanılır.
- ‘fit’: Modeli eğitmek için kullanılan fonksiyon. İlk parametre olarak eğitim verilerini alır.
- ‘epochs’: Eğitim döngüsünün toplam epok sayısını belirten parametre.
- ‘batch\_size’: Bir adımda işlenen örnek sayısını belirten parametre. Bu durumda, her adımda 128 örnek işlenir.
- ‘validation\_data’: Doğrulama verilerini belirten parametre. Eğitim sırasında modelin performansını izlemek için kullanılır.

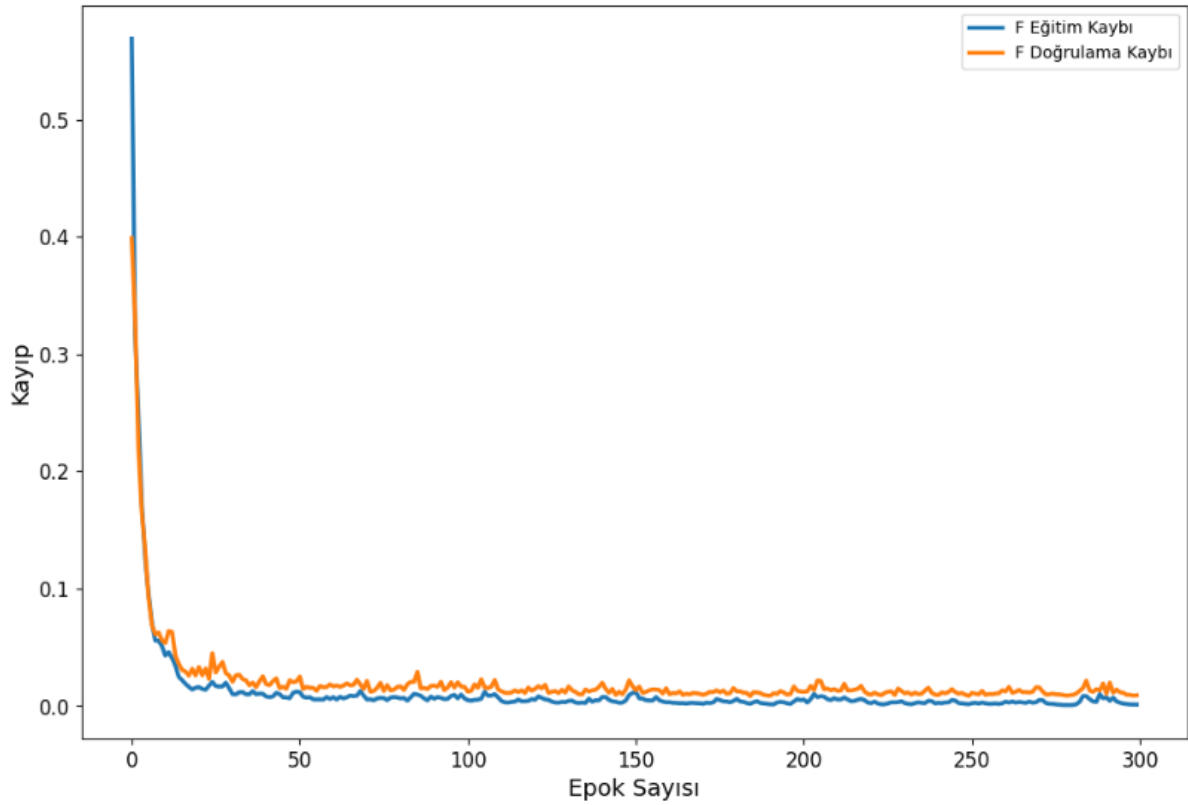
Şekil 3.45-3.46’da eğitim kaybı ve doğrulama kaybını gösteren grafikler gösterilmiştir. Derin Sinir Ağı (DSA) eğitimi sırasında kayıp grafiği, eğitim sürecindeki kaybın (hata) değişimini zamanla gösteren bir grafikdir. Kayıp grafiği, eğitim sürecinin ilerlemesini izlemek ve modelin performansını değerlendirmek için kullanılır. Düşey eksen (y) kaybı temsil eder. Kayıp, modelin tahminlerinin gerçek değerlerden ne kadar uzak olduğunu ölçer. Daha düşük bir kayıp, daha iyi bir model performansını gösterir. Yatay eksen (x) genellikle eğitim adımlarını (epoklar veya iterasyonlar) temsil eder. Her adım, modelin eğitim veri seti üzerinde bir geçişini temsil eder.

Başlangıçta kayıp genellikle yüksek olabilir. Model, eğitimin başında verilere uyum sağlamaya başlar ve kayıp azalır. Kayıp grafiği genellikle eğitim ve doğrulama kayıplarını gösterir. Eğitim kaybı, modelin eğitim veri seti üzerindeki performansını gösterirken, doğrulama kaybı modelin genelleme yeteneğini gösterir. İyi bir model, eğitim ve doğrulama kayıplarını azaltırken, aşırı uyum (overfitting) durumunda eğitim kaybı düşerken doğrulama kaybı artar. İdeal bir durumda, eğitim kaybı ve doğrulama kaybı paralel bir şekilde azalır. Ancak, aşırı uyum yaşıyorsa, eğitim kaybı daha hızlı düşerken doğrulama kaybı artabilir. Kayıp grafiği, modelin eğitim sürecinin nasıl ilerlediğini, hiperparametrelerin (epoch sayısı,

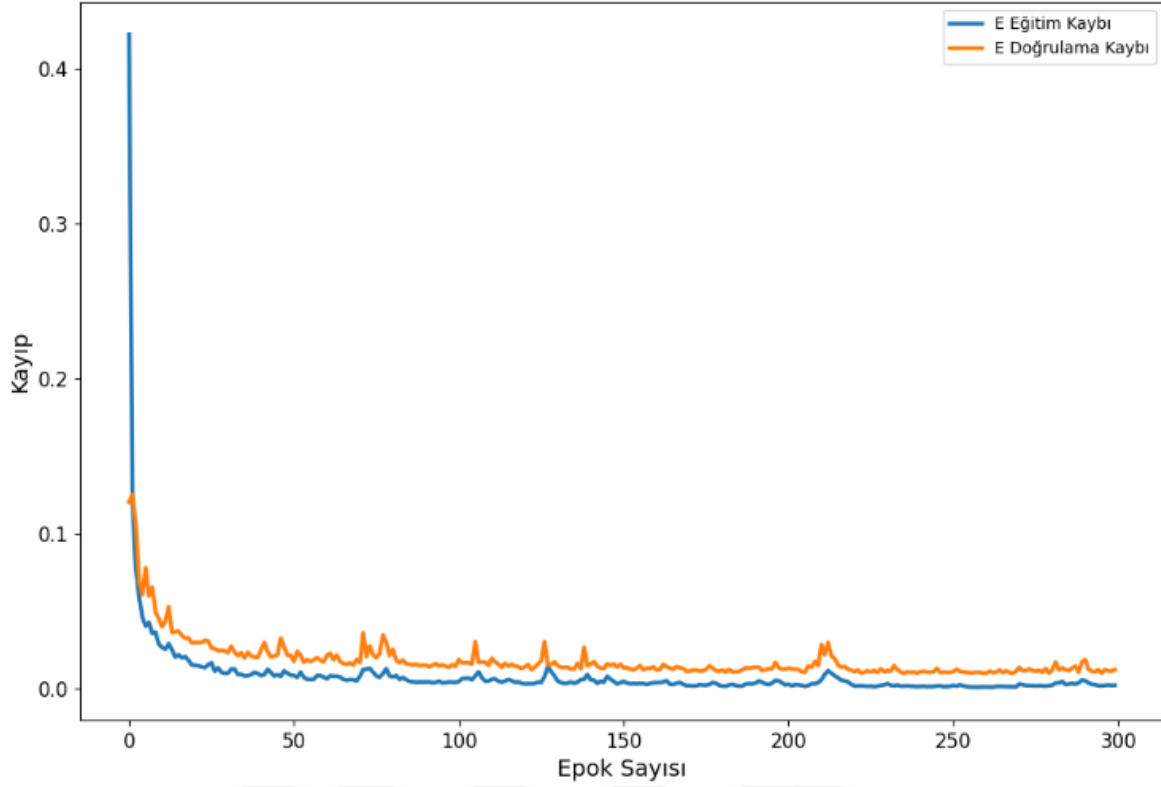
batch size, optimizasyon algoritması vb.) etkisini ve modelin genelleme yeteneğini değerlendirmek için kullanılır.

Şekil 3.47’de ise DSA modelinin eğitimi sırasında yapılan eğitim epoklarını ve her bir epokta hesaplanan kayıp (loss) değerlerinin 10 epokluk kısım için programdaki çıktısı gösterilmiştir.

Şekil 3.48-3.49’da bağımlı değişken F ve E test verilerinin gerçek ve tahmin edilen değerlerini gösteren grafikler gösterilmiştir. Grafiklerde gerçek ve tahmin değerlerinin yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 3.45. Bağımlı değişken F için kayıp grafiği



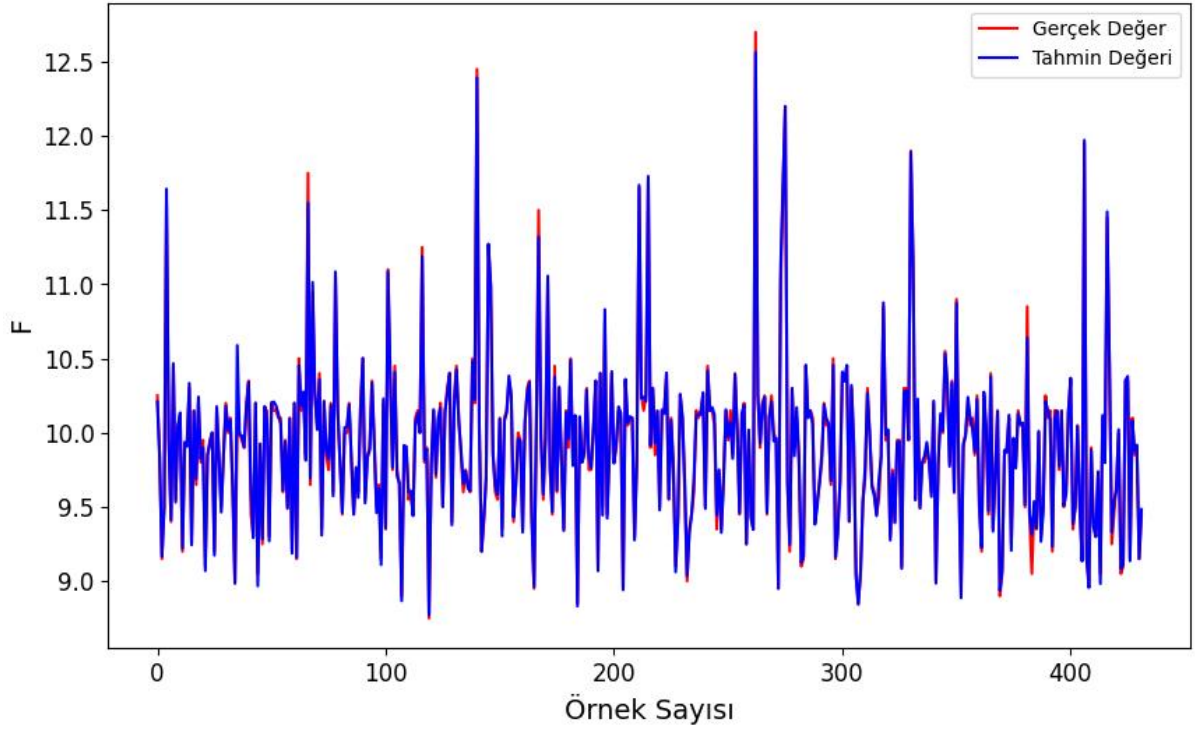
Şekil 3.46. Bağımlı değişken E için kayıp grafiği

```

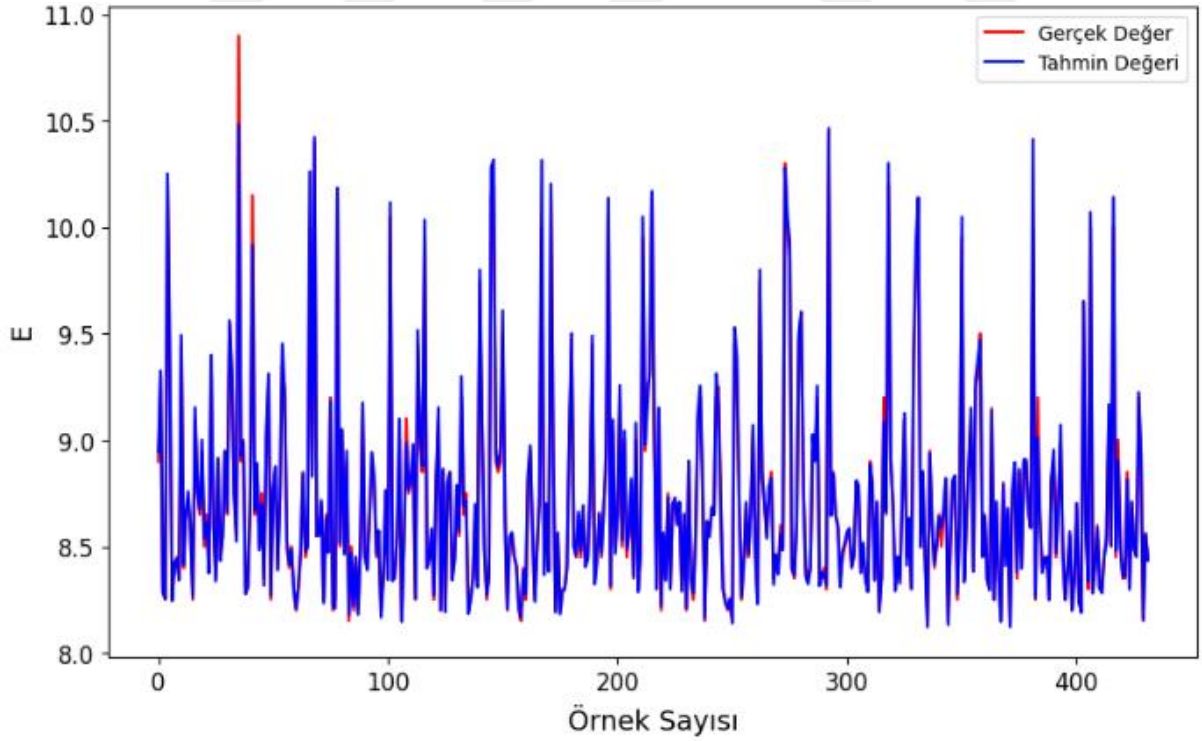
Epoch 1/300
8/8 [=====] - 1s 42ms/step - loss: 0.5552 - val_loss: 0.3910
Epoch 2/300
8/8 [=====] - 0s 20ms/step - loss: 0.3044 - val_loss: 0.3358
Epoch 3/300
8/8 [=====] - 0s 19ms/step - loss: 0.2532 - val_loss: 0.2540
Epoch 4/300
8/8 [=====] - 0s 20ms/step - loss: 0.2066 - val_loss: 0.2153
Epoch 5/300
8/8 [=====] - 0s 26ms/step - loss: 0.1504 - val_loss: 0.1475
Epoch 6/300
8/8 [=====] - 0s 20ms/step - loss: 0.1158 - val_loss: 0.1143
Epoch 7/300
8/8 [=====] - 0s 20ms/step - loss: 0.0864 - val_loss: 0.0913
Epoch 8/300
8/8 [=====] - 0s 20ms/step - loss: 0.0721 - val_loss: 0.0808
Epoch 9/300
8/8 [=====] - 0s 19ms/step - loss: 0.0652 - val_loss: 0.0648
Epoch 10/300
8/8 [=====] - 0s 19ms/step - loss: 0.0617 - val_loss: 0.0594

```

Şekil 3.47. Eğitim ve doğrulama kayıplarının program çıktısı



Şekil 3.48. F bağımlı değişkenin test değerleri için gerçek ve tahmin grafiği



Şekil 3.49. E bağımlı değişkenin test değerleri için gerçek ve tahmin grafiği

Tablo 3.14'te DSA algoritması ile rastgele bağımsız değişkenler için yapılan F ve E tahmin değerlerinin ANSYS çözümlerinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda DSA ve ANSYS çözümlerinin oldukça uyumlu olduğu görölmüştür.



**Tablo 3.15.** DSA algoritması tahminlerinin ANSYS çözümleri ile karşılaştırılması ( $a/h=3$ ,  $(b-a)/h=1$ ,  $(c-b)/h=2$ ,  $(d-c)/h=1$ ,  $Q=2P$ ,  $\gamma h_2=2.7726$ ,  $\mu_o=1$ ,  $\mu_{2i}/\mu_{1b}=1$ ,  $\kappa_1=\kappa_2=2$ ,  $y=1$ )

Bağımsız Değişkenler				ANSYS		DSA		Hata(%)	
$\beta h_1$	$\beta h_2$	$\gamma h_1$	P	F	E	F	E	F	E
1	0.2877	0.693148	100	10	8.40	10.0043	8.3998	0.043	0.002
-1	0.0001	0.693148	50	9.85	9.20	9.8926	9.1884	0.432	0.116
0.693148	1	1.3863	120	10.05	8.30	10.0980	8.3104	0.478	0.125
0.2877	1.0986	-0.4055	50	10.15	8.35	10.1153	8.3355	0.342	0.174
-1.0986	1.79176	-1.0986	25	10.15	8.50	10.0704	8.5164	0.794	0.193
1.79176	1.3863	1.0986	140	9.40	8.30	9.3787	8.3077	0.227	0.093
-1.79176	1.3863	1.3863	80	10.15	8.80	10.1489	8.7983	0.011	0.019
0.4055	0.0001	0.4055	75	10.30	8.55	10.2770	8.5126	0.223	0.437
1.25	-1	-0.25	45	9.70	9.05	9.6758	9.0573	0.249	0.081
2	2	2	320	9.50	8.20	9.4811	8.2154	0.199	0.188

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada iki rijit dikdörtgen blok ile yüklü fonksiyonel derecelendirilmiş tabakalardaki süreksiz temas probleminin yapay zeka yöntemleri ile çözümü yapılmıştır. Fonksiyonel derecelendirilmiş tabakanın rijitliği ve yoğunluğu tabakaların derinliği boyunca logaritmik bir fonksiyona bağlı olarak değişmektedir. Problemin çözümü üç kısımdan oluşmaktadır. İlk kısım tabakalar arasındaki sürekli temas probleminin incelenmesidir. Sürekli temas problemi farklı yük, bloklar arası mesafe, blok genişliği, rijitlik ve yoğunluk değerleri için yük faktörünün kritik yükten küçük veya eşit olduğu durumlarda incelenmiştir. Sürekli temas çözümlerinde çeşitli boyutsuz büyükler için ilk ayrılma yükü ve ilk ayrılma mesafesi değerleri elde edilmiştir. İkinci kısımda ise yük değerinin kritik yükten büyük olduğu süreksiz temas durumu incelenmiştir. Süreksiz temas probleminde, sürekli temas probleminde elde edilen ilk ayrılma yükleri yardımıyla kritik yükten büyük yüklenme durumları için tabakalar arasındaki ayrılma mesafeleri incelenmiştir. Son kısımda ise süreksiz temas probleminde farklı boyutsuz büyükler için elde edilen ayrılma başlangıç noktası (E) ve ayrılma bitiş noktası (F) değerlerinin yapay zeka yöntemleri olan lineer regresyon, polinom regresyon ve Derin Sinir Ağları (DSA) ile ayrı ayrı incelenmiştir. Bu üç kısımda yapılan çözümlerden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Tabakaların alt yüzey rijitlikleri ( $\beta_{h_1}$ -  $\beta_{h_2}$ ) arttıkça, blokların altındaki temas gerilmeleri artarken, blokların köşelerinde oluşan temas gerilme değerleri azalış göstermiştir.
- Yük arttıkça bloklar altındaki temas gerilmeleri de artmıştır.
- 1. ve 2. blok genişlikleri  $((b-a)/h)$  ve  $((d-c)/h)$  arttığında, temas yüzeyi arttığı için bloklar altında oluşan temas gerilmeleri azalmıştır.
- Bloklar arası mesafe arttıkça, blokların uzak köşelerinde gerilme değerleri azalırken, blokların yakın köşelerinde oluşan gerilme değerlerinde artış meydana gelmiştir.
- Tabakalar arasında oluşan ilk ayrılma yükü ve ilk ayrılma noktasının hesaplanması için  $\sigma_{1y}(x, h)/P/h$ 'ın farklı parametreleri için çeşitli analizler yapılmıştır. Bloklar arası mesafe arttıkça, ilk ayrılma mesafesinde kayda değer bir değişim görülmezken, tabakalar arasındaki ilk ayrılma yükleri artmıştır. 1. blok genişliği  $((b-a)/h)$  değişimi ilk ayrılma yükünü etkilemezken, ilk ayrılma mesafesi blok

genişliğindeki artışa paralel olarak artmıştır. 2. blok genişliği  $((d-c)/h)$  arttığında ise ilk ayrılma mesafesi ve ilk ayrılma yüklerinde artış meydana gelmiştir.

- 1. tabakanın rijitliği  $(\beta h_1)$  tabaka üst yüzeyinden alt yüzeyine doğru arttıkça ilk ayrılma yüklerinde artış görülürken, ilk ayrılma mesafesi azalarak 2. bloğa yaklaşmıştır. 2. tabakanın rijitliği  $(\beta h_2)$  arttıkça ilk ayrılma mesafeleri azalırken, ilk ayrılma yükleri bir optimum parametreye kadar artış göstermiş daha sonra ise azalışa geçmiştir. 1. tabakanın yoğunluğu  $(\gamma h_1)$  arttıkça, ilk ayrılma mesafelerinde bir değişim görülmezken, tabakanın alt yüzeyindeki yoğunluk artışı ilk ayrılma yüklerinin de artmasına sebep olmuştur. 2. tabakanın yoğunluğundaki  $(\gamma h_2)$  değişim tabakalar arasındaki ilk ayrılma mesafesi ve ilk ayrılma yükünde herhangi bir değişime neden olmamıştır. Yük faktörü  $(Q=P)$  arttıkça ilk ayrılma mesafesinde bir değişim olmazken, ilk ayrılma yüklerinde azalma meydana gelmiştir.
- FD tabakaların derinliği boyunca  $\sigma_x(x, h)/P/h$  boyutsuz gerilme dağılımı incelendiğinde, 1. tabakanın rijitliği  $(\beta h_1)$  arttıkça tabakanın üst yüzeyinde oluşan basınç gerilmeleri azalırken, tabaka alt yüzeyinde çekme gerilmeleri artmıştır. 1. tabakadaki rijitlik artışı 2. tabaka üst yüzeyinde oluşan basınç gerilmelerinde artışa yol açmıştır. 2. tabaka rijitliği  $(\beta h_2)$  arttıkça 1. tabaka üst yüzeyinde oluşan basınç gerilmeleri ve tabaka alt yüzeyinde oluşan çekme gerilmeleri azalmıştır. 2. tabaka rijitliği arttıkça, 2. tabaka üst ve alt yüzeyine yakın bölgedeki basınç gerilmeleri de azalış göstermiştir. 1. tabakanın yoğunluğundaki  $(\gamma h_1)$  artış, 1. tabaka alt yüzeyinde oluşan çekme gerilmeleri ve 2. tabakada meydana gelen basınç gerilmelerinde artışa sebep olmuştur. 2. tabakanın yoğunluğu  $(\gamma h_2)$  arttıkça 2. tabaka derinliği boyunca oluşan temas gerilmeleri de artmıştır. Yük faktörü  $(Q=P)$  arttıkça 1. tabaka üst yüzeyinde oluşan basınç gerilmeleri ve tabaka alt yüzeyinde oluşan çekme gerilmelerinde artış görülmüştür. 2. tabaka üst yüzeyinde oluşan basınç gerilmeleri de artmıştır.
- FD tabakaların derinliği boyunca  $\sigma_y(x, h)/P/h$  boyutsuz gerilme dağılımı incelendiğinde, 1. tabakanın rijitliği  $(\beta h_1)$  arttıkça tabakaların derinliği boyunca oluşan gerilmelerde artış göstermiştir. 2. tabakanın rijitliği  $(\beta h_2)$  arttıkça 2. tabaka derinliği boyunca meydana gelen gerilmeler de artmıştır. FD tabakalardaki yoğunluk artışı, tabakaların derinliği boyunca oluşan temas gerilmelerinde artışa yol açmıştır.

- FD tabakaların derinliği boyunca  $\tau_{xy}(x, h)/P/h$  boyutsuz gerilme dağılımı incelendiğinde, 1. ve 2. tabaka rijitliği azaldıkça tabakaların orta bölgelerinde oluşan temas gerilmeleri artmıştır. Rijitlik değişimi için çizilen grafiklerde FD tabakaların alt ve üst yüzeyinde kayma gerilmeleri sıfırdır. Dış yük değeri arttıkça paralel olarak temas gerilmeleri de artmıştır.
- 1. tabakanın rijitliğindeki artış ayrılma uzunluğunun azalmasına sebep olmuştur. 2. tabakanın üst yüzeyinden alt yüzeyine doğru rijitlik azaldıkça ayrılma 2. bloktan uzak bir bölgede meydana gelmiştir. 2. tabaka rijitliğinin değişim ayrılma bölgesinin konumunda değişime neden olurken, ayrılma uzunluğuna kayda değer bir etkisi olmamıştır. 1. tabakanın yoğunluğu üst yüzeyinden alt yüzeyine doğru arttıkça ayrılma bölgesinin uzunluğu azalmıştır. 2. blok genişliği  $((d-c)/h)$  arttıkça temas yüzeyi arttığı için gerilme büyük bir bölgeye yayıldığından, ayrılma bölgesinin uzunluğu azalmıştır. Yük faktörü arttıkça ayrılma bölgesinin uzunluğu da artış göstermiştir.
- Süreksiz temas çözümünden elde edilen 1439 satırlık veri seti yapay zeka çözümünde kullanılmıştır. Lineer regresyon, polinom regresyon ve DSA (Derin Sinir Ağı) algoritması ile ayrılma başlangıç (E) ve bitiş noktalarının (F) tahmini yapılmıştır. Rastgele parametreler için tahminler yapılmış ve ANSYS sonlu elemanlar çözümleri ile karşılaştırılmıştır. DSA algoritması ve polinom regresyon ile lineer regresyona kıyasla daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bunun nedeni veriler arasında doğrusal olmayan ilişkilerin bulunmasıdır. Lineer regresyon doğrusal bir çözüm yapmaktadır. Doğrusal olmayan veriler için DSA gibi daha kapsamlı bir algoritma ile çözümler yapılması gerekir. DSA algoritması ve polinom regresyonda %1'den daha düşük hata payı ile tahminler yapılmıştır. Bu sonuç tahminlerin doğruya ne kadar yakın olduğunu göstermektedir. Bu çalışmanın sonucunda, analitik veya sonlu elemanlar yöntemiyle çözümü uzun zaman alan bir temas probleminin algoritmalar yardımıyla çok kısa bir süre içerisinde çözümünün yapılabileceği gösterilmiştir.

Öneriler;

- Dikdörtgen bloklar yerine farklı panç geometrileri için temas problemi incelenebilir.
- Homojen tabaka veya elastik yarım düzlem için problemin yapay zeka çözümleri yapılabilir.

- Sürekli temas durumunda incelenen ilk ayrılma uzaklığı ( $x_{cr}$ ) ve kritik yük faktörü ( $\lambda_{cr}$ ) tahmini için uygun bir algoritma geliştirilebilir.



## 5. KAYNAKLAR

- Aalami, N.**, 2020. Derin öğrenme yöntemlerini kullanarak görüntülerin analizi: *Eskişehir Türk Dünyası Uygulama ve Araştırma Merkezi Bilişim Dergisi* , 1 (1) , 17-20, <https://dergipark.org.tr/en/pub/estudambilisim/issue/45482/566828>.
- Abanoz, M.**, 2018. Rijit bir panç aracılığıyla yüklenmiş ve rijit temele bağlanmış fonksiyonel derecelendirilmiş tabakanın temas problemi. Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, *Yüksek Lisans Tezi*, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi.
- Adıyaman, G.**, 2013. İki çeyrek düzlem üzerine oturan elastik bir tabakanın sürtünmesiz ve ayrılmalı temas problemi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, <http://acikerisim.ktu.edu.tr/jspui/handle/123456789/989>.
- Alinia, Y., Güler, M.A.**, 2017. On the fully coupled partial slip contact problem of orthotropic materials loaded by flat and cylindrical indenters. *Mechanics of Materials*, 114, 119-133, doi.org/10.1016/j.mechmat.2017.08.005.
- Balcı, M.N., Dağ, S.**, 2020. Moving contact problems involving a rigid punch and a functionally graded coating. *Applied Mathematical Modelling*, 81, 855-886. doi.org/10.1016/j.apm.2020.01.004. ISSN 0307-904X.
- Ban, Y., Mi, C.**, 2023. On the adhesive nanocontact of a graded coating. *European Journal of Mechanics-A/Solids*, 97, 104840. doi.org/10.1016/j.euromechsol.2022.104840.
- Bello, S.A., Oyedele, L., Olaitan, K.O., et al.**, 2022. A deep learning approach to concrete water-cement ratio prediction. *Results in Materials*, 15, 100300, ISSN 2590-048X, doi.org/10.1016/j.rinma.2022.100300.
- Biabanaki, S.O.R., Khoei, A.R., Wriggers, P.**, 2014. Polygonal finite element methods for contact-impact problems on non-conformal meshes. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 269, 198-221. doi.org/10.1016/j.cma.2013.10.025.
- Bingöl, K., Er Akan, A., Örmecioğlu, H., Er, A.**, 2020. Depreme dayanıklı mimari tasarımda yapay zeka uygulamaları: Derin öğrenme ve görüntü işleme yöntemi ile düzensiz taşıyıcı sistem tespiti. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* , 35 (4) , 2197-2210, doi: 10.17341/gazimmfd.647981.
- Chan, S.K. ve Tuba, I.S.**, 1971. A finite element method for contact problems of solid bodies-part 1. theory and validation. *International Journal of Mechanical Science*, 13, 519-530.
- Chen, W.T., Engel, P.A.**, 1972. Impact and contact stress analysis in multilayer media. *International Journal of Solids And Structures*, 8(11), 1257-1281, ISSN 0020-7683, doi.org/10.1016/0020-7683(72)90079-0.

- Chen, X.W., Yue, Z.Q.**, 2019. Contact mechanics of two elastic spheres reinforced by functionally graded materials (FGM) thin coatings. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 109, 57-69, doi.org/10.1016/j.enganabound.2019.09.009.
- Çakıroğlu, E.**, 2011. İki elastik çeyrek düzleme oturan ve rijit bir panç ile bastırılan elastik tabaka probleminin çözümü ve yapay sınır ağı uygulaması. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, *Doktora Tezi* 11(2), 10–14. <http://acikerisim.ktu.edu.tr/jspui/handle/123456789/708>
- Çakıroğlu, F.L. ve Erdöl, R.**, 1989. Elastik zemine oturan bileşik şeritte sürekli temas problemi. *6. Ulusal Mekanik Kongresi*, Bursa, Bildiriler Kitabı I: 243-248.
- Çömez, İ.**, 2009. Rijit dairesel bir pançla bastırılan elastik tabaka ve yarım düzlemin sürtünmeli değme problemi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, *Doktora Tezi*, <https://acikerisim.ktu.edu.tr/jspui/handle/123456789/692>
- Çömez, İ.**, 2015. Contact problem for a functionally graded layer indented by a moving punch. *International Journal of Mechanical Sciences*, 100, 339-344, doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2015.07.006.
- Çömez, İ.**, 2020. Contact mechanics of the functionally graded monoclinic layer. *European Journal of Mechanics - A/Solids*, 83 104018. ISSN 0997-7538. doi.org/10.1016/j.euromechsol.2020.104018.
- Çömez, İ., Güler, M.A., El-Borgi, S.**, 2020. Continuous and discontinuous contact problems of a homogeneous piezoelectric layer pressed by a conducting rigid flat punch. *Acta Mech*, 231, 957–976. doi.org/10.1007/s00707-019-02551-3.
- El-Borgi, S., Usman, S., Guler, M.A.**, 2014. A frictional receding contact plane problem between a functionally graded layer and a homogeneous substrate. *International Journal of Solids and Structures*, 51(25–26) 4462–4476, ISSN 0020-7683, doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2014.09.017.
- El-Borgi, S., Abdelmoula, R. ve Keer L.**, 2006. A receding contact problem between a functionally graded layer and a homogeneous substrate. *International Journal of Solids and Structures*, 43, 658-674, doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2005.04.017.
- Elloumi, R., Kallel-Kamoun, I. , El-Borgi, S.**, 2010. A fully coupled partial slip contact problem in a graded half-plane. *Mechanics of Materials*, 42(4), 417-428, ISSN 0167-6636, doi.org/10.1016/j.mechmat.2010.01.002.
- Erdal, Hamit.**, 2015. Makine öğrenmesi yöntemlerinin inşaat sektörüne katkısı: basınç dayanımı tahminlemesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(3), 109-114. doi.org/10.5505/pajes.2014.26121.
- Erdoğan, F. ve Ratwani, M.**, 1974. The contact problem for an elastic layer supported by two elastic quarter planes. *ASME Journal of Applied Mechanics*, 41, 673-677.
- Galın, L.A.**, 1961. Contact problems in the theory of elasticity. *North Carolina State College Translation Series*, Raleigh, North Carolina.

- Geçit, M.R.**, 1980. A tensionless contact without friction between an elastic layer and an elastic foundation. *International Journal of Solids and Structures*, 16, 387-396.
- Ghaednia, H., Wang, X., Saha, S., Xu, Y., Sharma, A., and Jackson, R. L.**, 2017. A review of elastic–plastic contact mechanics. *ASME. Appl. Mech. Rev.*, 69(6), doi.org/10.1115/1.4038187.
- Guler, M.A., Erdogan, F.**, 2006. Contact mechanics of two deformable elastic solids with graded coatings. *Mechanics of Materials*, 38(7), 633-647, ISSN 0167-6636, doi.org/10.1016/j.mechmat.2005.11.006.
- Hu, H., Batou, A., Ouyang, H.**, 2022. An isogeometric analysis based method for frictional elastic contact problems with randomly rough surfaces. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 394. doi.org/10.1016/j.cma.2022.114865.
- İnik, Ö , Ülker, E.**, 2017. Derin öğrenme ve görüntü analizinde kullanılan derin öğrenme modelleri. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 6(3), 85-104. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gbad/issue/31228/330663>
- Jobin, K.J., Abhilash, M.N., Murthy, H.**, 2017. A simplified analysis of 2D sliding frictional contact between rigid indenters and fgm coated substrates. *Tribology International*, 108, 174-185. doi.org/10.1016/j.triboint.2016.09.021.
- Johnson, K.L.**, 1985. Contact Mechanics, First Edition, *Cambridge University Press*, Cambridge.
- Kaman, M.O. ve Çetişli, F.**, 2011. Fonksiyonel derecelendirilmiş malzeme ile kaplı silindirde çatlak problemi. *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, Elazığ.
- Kamensky, D., Xu, F., Lee, C.H., Yan, J., Bazilevs, Y., Hsu, M.C.**, 2018. A contact formulation based on a volumetric potential: Application to isogeometric simulations of atrioventricular valves. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 330, 522-546. doi.org/10.1016/j.cma.2017.11.007.
- Kaya Y., Polat, A., Özşahin, T.Ş.**, 2020. Analytical and finite element solutions of continuous contact problem in functionally graded layer. *The European Physical Journal Plus*, 135(1), 1-21. doi.org/10.1140/epjp/s13360-020-00138-9.
- Kaya, Yusuf.**, 2020. Rijit düzlem üzerine oturan ve iki rijit düz blok aracılığıyla yüklenmiş biri fonksiyonel derecelendirilmiş iki tabakanın temas problemi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, *Doktora Tezi*, <http://acikerisim.ktu.edu.tr/jspui/handle/123456789/3007>.
- Kaya,Y., Polat, A., Özşahin, T.Ş.**, 2018. Comparison of fem solution with analytical solution of continuous and discontinuous contact problem. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 36(4), 977-992.
- Kızrak, M. Ayyüce, Bolat, Bülent.**, 2018. Derin öğrenme ile kalabalık analizi üzerine detaylı bir araştırma. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*. 11(3), 263 - 286. doi.org/10.17671/gazibtd.419205.

- Öktem, A. S.**, 2014. Fonksiyonel derecelendirilmiş (FD) ileri kompozit plakların statik analizi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29(1), 111–120. doi.org/10.17341/gummfd.09467.
- Öner, E. , Yaylacı, M. ve Birinci, A.**, 2015. Analytical solution of a contact problem and comparison with the results from FEM. *Structural Engineering and Mechanics*, 54 (4), 607-622, doi.org/10.12989/sem.2015.54.4.607.
- Öner, E., Birinci, A.**, 2020. Investigation of the solution for discontinuous contact problem between a functionally graded (FG) layer and homogeneous half-space. *Archive of Applied Mechanics*, 90(12), 2799–2819. doi.org/10.1007/s00419-020-01750-y.
- Özşahin T. Ş., Birinci A. ve Çakıroğlu A. O.**, 2004. Prediction of contact lengths between an elastic layer and two elastic circular punches with neural networks. *Structural Engineering and Mechanics*, 18 , 441-459, doi.org/10.12989/sem.2004.18.4.441.
- Özşahin, T. Ş. ve Taşkın, O.**, 2013. Contact problem for an elastic layer on an elastic half plane loaded by means of three rigid flat punches. *Mathematical Problems in Engineering*, doi.org/10.1155/2013/137427.
- Özşahin, T.Ş.**, 2000. Rijit iki düz blok üzerine oturan bileşik tabakada sürekli ve süreksiz temas problemi. *Doktora Tezi*, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Persson, B.N.J.**, 2006. Contact mechanics for randomly rough surfaces, *Surface Science Reports*, 61(4), 201-227, ISSN 0167-5729, doi.org/10.1016/j.surfrep.2006.04.001.
- Polat, A.**, 2023. Estimation of contact lengths using deep neural network. *Gümüşhane University Journal of Science*, 13(2), 458-470, doi: 10.17714/gumusfenbil.1122225.
- Polat, A., Kaya, Y.**, 2022. Analysis of discontinuous contact problem in two functionally graded layers resting on a rigid plane by using finite element method. *Computers and Concrete*, 29, 247-253, doi.org/10.12989/cac.2022.29.4.247.
- Polat, A. , Kaya, Y., Bora, P., Özşahin, T.Ş.**, 2018. Analysis of the discontinuous contact problem of a homogeneous layer by using finite element method. *Conference: International Conference on Innovative Engineering Applications*.
- Polat, A., Kaya, Y., Bendine, K., Özşahin, T.Ş.**, 2019. Frictionless contact problem for a functionally graded layer loaded through two rigid punches using finite element method. *Journal of Mechanics*, 35(5), 591–600. doi.org/10.1017/jmech.2018.55.
- Sueri, S.**, 2015. Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeden (fdm) yapılmış kabukların farklı sınır koşulları altındaki dinamik davranışlarının sonlu elemanlar analizi kullanarak hesaplanması. Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi.
- URL-1**, 2015. <https://www.extremetech.com/extreme/215170-artificial-neural-networks-are-changing-the-world-what-are-they>.

- Vasiliev, A.S., Volkov, S.S., Belov, A.A., Litvinchuk, S.Yu., Aizikovich, S.M.,** 2017. Indentation of a hard transversely isotropic functionally graded coating by a conical indenter. *International Journal of Engineering Science*, 112, 63-75, ISSN 0020-7225, doi.org/10.1016/j.ijengsci.2016.12.002.
- Wan Z., Chang Z., Xu Y., Šavija, B.,** 2023. Optimization of vascular structure of self-healing concrete using deep neural network (DNN). *Construction and Building Materials*, 364, 129955, doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129955.
- Weitsman, Y.,** 1969. On the unbonded contact between plates and an elastic half space, *ASME Journal of Applied Mechanics*, 36, 198-202.
- Yadav R., Raheman H.,** 2023. Development of an artificial neural network model with graphical user interface for predicting contact area of bias-ply tractor tyres on firm surface. *Journal of Terramechanics*, 107, 2023, 1-11, ISSN 0022-4898. doi.org/10.1016/j.jterra.2023.01.004.
- Yang, P., Zang, M., Zeng, H.,** 2020. An efficient 3D DEM-FEM contact detection algorithm for tire-sand interaction. *Powder Technology*, 360, 1102-1116, ISSN 0032-5910, doi.org/10.1016/j.powtec.2019.10.069.
- Yaylacı, M., Abanoz, M., Yaylacı, E.U. et al.,** 2022. Evaluation of the contact problem of functionally graded layer resting on rigid foundation pressed via rigid punch by analytical and numerical (FEM and MLP) methods. *Arch Appl Mech*, 92, 1953–1971. doi.org/10.1007/s00419-022-02159-5.
- Yaylacı, M., Terzi, C.,** 2018. Temas problemlerinde sonlu elemanlar yönteminin doğruluğunun incelenmesi. *Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi*, 6(3), 511–519. doi.org/10.21923/jesd.407121
- Yaylı, M., Yaylacı, M., Birinci, A.,** 2019. Yarım düzlem üzerine oturan fonksiyonel derecelendirilmiş tabakanın değme mekaniği. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(3), 639–646. doi.org/10.21923/jesd.53361.
- Yılmaz, K.B., Çömez, İ., Yıldırım, B., Güler, M.A., El-Borgi, S.,** 2018. Frictional receding contact problem for a graded bilayer system indented by a rigid punch. *International Journal of Mechanical Sciences*, 141, 127-142, ISSN 0020-7403, doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2018.03.041.
- Zhou, Y.T., Lee, K.Y.,** 2014. Dynamic behavior of a moving frictional punch over the surface of anisotropic materials. *Applied Mathematical Modelling*, 38 (9–10), 2311-2327. doi.org/10.1016/j.apm.2013.10.038. ISSN 0307-904X.