

**TRAKTÖRLERDE KULLANILAN  
ELEKTRO-HİDROLİK KALDIRICILAR İÇİN  
ALTERNATİF ÇEKİ ALGILAYICI  
SİSTEM TASARIMI**

**Gökay UYMAZ**

**Yüksek Lisans Tezi  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman : Yrd. Doç. Dr. Bahar UYMAZ**

**2014**

**T.C.**

**NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TRAKTÖRLERDE KULLANILAN ELEKTRO-HİDROLİK  
KALDIRICILAR İÇİN ALTERNATİF ÇEKİ ALGILAYICI SİSTEM  
TASARIMI**

**Gökay UYMAZ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN: YRD. DOÇ. DR. Bahar UYMAZ**

**TEKİRDAĞ-2014**

**Her hakkı saklıdır**

Yrd. Doç. Dr. Bahar UYMAZ danışmanlığında, Gökay UYMAZ tarafından hazırlanan “Traktörlerde Kullanılan Elektro-Hidrolik Kaldırıcılar İçin Alternatif Çeki Algılayıcı Sistem Tasarımı” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Juri Başkanı : Yrd. Doç. Dr. Bahar UYMAZ

*İmza :*

Üye : Prof. Dr. Bahattin AKDEMİR

*İmza :*

Üye : Yrd. Doç. Dr. İ. Savaş Dalmış

*İmza :*

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof. Dr. Fatih KONUKCU

**Enstitü Müdürü**

# ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

## TRAKTÖRLERDE KULLANILAN ELEKTRO-HİDROLİK KALDIRICILAR İÇİN ALTERNATİF ÇEKİ ALGILAYICI SİSTEM TASARIMI

Gökay UYMAZ

Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr Bahar UYMAZ

Bu çalışmanın amacı, traktörlerde kullanılan elektro-hidrolik kaldırıcıların yük algılayıcı pimlerinin yerine alternatif daha basit bir tasarım yaparak fonksiyon kaybı olmaksızın aynı işlevin sağlanmasıdır. İlk olarak yük algılayıcı pimin çalışma esnasında montajlı olduğu reaksiyon mesnedine gelen kuvvetler ve reaksiyon mesnedinin bu kuvvetler karşısındaki davranışı incelenmiştir. İnceleme sonucunda alternatif tasarım olarak reaksiyon mesnedi üzerinde Ansys analiziyle tespit edilen uygun noktalara elektriksel strain-gauge uygulaması yapılmıştır. Yük algılayıcı pimplere göre çok daha basit ve düşük maliyetli olan yeni tasarım ile eskisi karşılaştırmalı olarak test edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Hidrolik kaldırıcı, güç kontrol, yük algılayıcı pim, strain-gage.

2014, 47 sayfa

## **ABSTRACT**

MSc. Thesis

### **DESIGN AN ALTERNATIVE DRAFT SENSING SYSTEM FOR ELECTRO-HYDRAULIC LIFTS WHICH USING IN TRACTORS**

Gökay UYMAZ

Namık Kemal University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Bahar UYMAZ

The aim of the study is to design an alternatif draft sensing system both simpler and has the same function instead of load sensing pins of electro-hydraulic lifts which using in tractors. Firstly, the forces acting on reaction support and as a result of the behaviour of reaction support are investigated while the load sensing pin is working. Then, as an alternative design the electric strain-gauges are applied on proper points on reaction support which are determined by using Ansys. The new design which is much simpler according to load sensing pin is tested by compare with the old design.

**Keywords :** Hydraulic lift, power control, load sensing pin, strain-gage.

**2014, 47 pages**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Hazırlanan bu çalışmada traktörlerde kullanılan elektro-hidrolik kaldırıcıların yük algılayıcı pimlerinin yerine strain-gage ile çalışan ve fonksiyon kaybı olmaksızın aynı işlevi gören ve daha basit alternatif bir tasarım yapılması hedeflenmiştir.

Yüksek lisans tezi danışmanlığımı üstlenerek gerek konu seçimi, gerekse çalışmalarımın yürütülmesi sırasında desteğini ve bilgisini esirgemeyen hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Bahar UYMAZ'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans yapmakta olduğum Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nın öğretim üyelerine de ders aldığım süre boyunca sağladıkları katkılardan dolayı teşekkür ederim.

En başından itibaren bu çalışmayı destekleyen ve her türlü yazılım ve test desteğini esirgemeyen şirketim Hema Endüstri' ye ve çok değerli çalışma arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

2014-Ocak

Gökay UYMAZ

# İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Hidrolik Kaldırıcıların Tarihsel Gelişimi.....	1
1.2. Sistemin Genel Yapısı ve Problemin Önemi.....	2
1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	6
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ VE BENZER TASARIM ÖRNEKLERİ.....</b>	<b>7</b>
2.1. Kaynak Özetleri.....	7
2.2. Benzer Tasarım Örnekleri.....	8
2.2.1 John Deere Tasarımı Yük Algılayıcı Sistem-1.....	8
2.2.2 John Deere Tasarımı Yük Algılayıcı Sistem-2.....	9
2.2.3 New Holland Yük Algılayıcı Sistem.....	10
2.2.4 Case Yük Algılayıcı Sistem.....	11
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>12</b>
3.1. Materyal.....	12
3.1.1 Elektro-hidrolik kaldırıcı.....	12
3.1.2. SEY tabanlı ANYS programı.....	12
3.1.3 Strain-gage uygulaması.....	13
3.1.3.1 Dörtte bir köprü.....	16
3.1.3.2 Yarım köprü.....	16
3.1.3.3 Tam köprü.....	18
3.1.4 Test düzeneği.....	18
3.2. Yöntem.....	19
3.2.1 ANSYS ile gerilme analizi.....	19
3.2.2 Elektriksel strain-gage.....	25
3.2.3 Test yöntemi.....	26
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>27</b>
4.1. ANSYS Sonuçları.....	27
4.1.1 Reaksiyon mesnedi üstten 2. deliğe 5 kN kuvvet uygulanmış analiz sonuçları.....	27
4.1.2 Reaksiyon mesnedi üstten 2. deliğe 15 kN kuvvet uygulanmış analiz sonuçları.....	28
4.1.3 Reaksiyon mesnedi üstten 2. deliğe 25 kN kuvvet uygulanmış analiz sonuçları.....	30
4.1.4 Reaksiyon mesnedi üstten 3. deliğe 5 kN kuvvet uygulanmış analiz sonuçları.....	31
4.1.5 Reaksiyon mesnedi üstten 3. deliğe 15 kN kuvvet uygulanmış analiz sonuçları.....	33
4.1.6 Reaksiyon mesnedi üstten 3. deliğe 25 kN kuvvet uygulanmış analiz sonuçları.....	34
4.1.7 Reaksiyon mesnedi üstten 2. ve 3. deliklere uygulanmış kuvvetlerin karşılaştırma sonuçları.....	36
4.2. Test Sonuçları.....	37
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>44</b>

5.1. Sonuç.....	44
5.2. Öneriler.....	45
<b>6. KAYNAKLAR.....</b>	<b>46</b>
ÖZGEÇMİŞ.....	47



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1. Arkasındaki ekipmanı taşıma pozisyonunda tutan bir traktör lift (1992).....	1
Şekil 1.2. Hidrolik kaldırıcılar şematik gösterim (Lift 1992) .....	2
Şekil 1.3. Elektro-hidrolik sistem şeması (Lift 1992) .....	2
Şekil 1.4. Çeki kuvvetini üst bağlantı noktasından hisseden kontrol mekanizması (Lift 1992).....	4
Şekil 1.5. Çeki kuvvetini alt bağlantı noktasından hisseden kontrol mekanizması (Lift 1992).....	4
Şekil 1.6. Yük algılayıcı pim uygulamaları.....	5
Şekil 2.1. J. Deere 245-HCU-210 model numaralı arka hidrolik kaldırıcı güç kontrol sistemi (Anonim 2006).....	8
Şekil 2.2. J. Deere firması US4271910 nolu patent başvurusuna ait şekiller (Schafer 1979).....	9
Şekil 2.3. New Holland firması EP0713637A1 nolu patent başvurusuna ait şekiller (Sedoni ve Cevolini 1994).....	10
Şekil 2.4. Case firması US5682954A nolu patent başvurusuna ait şekiller (Burn 1996).....	11
Şekil 3.1. Yük algılayıcı pim kullanılarak tasarlanmış olan elektro-hidrolik kaldırıcı.....	12
Şekil 3.2. Strain-gage yapısı.....	14
Şekil 3.3. Wheatstone köprüsü.....	15
Şekil 3.4. Dörtte bir Wheatstone köprüsü.....	16
Şekil 3.5. Yarım Wheatstone köprüsü.....	17
Şekil 3.6. Tam Wheatstone köprüsü.....	18
Şekil 3.7. Test düzeneği.....	19
Şekil 3.8. ANSYS programı ile analiz yapılacak 3D model genel görünüş.....	20
Şekil 3.9. Reaksiyon mesnedi mesh yapısı.....	20
Şekil 3.10. Reaksiyon mesnedi sabit destek bağlantı pimleri .....	21
Şekil 3.11. Reaksiyon mesnedi alt bağlantı pimi sürtünmesiz bağlantı.....	22
Şekil 3.12. Reaksiyon mesnedi 2. delik 5 kN kuvvet uygulama noktaları.....	22
Şekil 3.13. Reaksiyon mesnedi 2. delik 15 kN kuvvet uygulama noktaları.....	23
Şekil 3.14. Reaksiyon mesnedi 2. delik 25 kN kuvvet uygulama noktaları.....	23
Şekil 3.15. Reaksiyon mesnedi 3. Delik 5 kN kuvvet uygulama noktaları.....	24
Şekil 3.16. Reaksiyon mesnedi 3. delik 15 kN kuvvet uygulama noktaları.....	24
Şekil 3.17. Reaksiyon mesnedi 3. delik 25 kN kuvvet uygulama noktaları.....	25
Şekil 3.18. Elemanların 0°-90° doğrultularında yerleştirildiği dikdörtgen rozetlerin test düzeneğinde kullanımı.....	26
Şekil 4.1. Strain-gage uygulama noktasındaki gerilme, 2. delik 5 kN.....	27

Şekil 4.2. Strain-gage uygulama noktasındaki gerilme detayı, 2. delik 5 kN.....	28
Şekil 4.3. Strain-gage uygulama noktasındaki gerilme, 2. delik 15 kN.....	29
Şekil 4.4. Strain-gage uygulama noktasındaki gerilme detayı, 2. delik 15 kN.....	29
Şekil 4.5. Strain-gage uygulama noktasındaki gerilme, 2. delik 25 kN.....	30
Şekil 4.6. Strain-gage uygulama noktasındaki gerilme detayı, 2. delik 25 kN.....	31
Şekil 4.7. Strain-gage uygulama noktasındaki gerilme, 3. delik 5 kN.....	32
Şekil 4.8. Strain-gage uygulama noktasındaki gerilme detayı, 3. delik 5 kN.....	32
Şekil 4.9. Strain-gage uygulama noktasındaki gerilme, 3. delik 15 kN.....	33
Şekil 4.10. Strain-gage uygulama noktasındaki gerilme detayı, 3. delik 15 kN.....	34
Şekil 4.11. Strain-gage uygulama noktasındaki gerilme, 3. delik 25 kN.....	35
Şekil 4.12. Strain-gage uygulama noktasındaki gerilme detayı, 3. delik 15 kN.....	35
Şekil 4.13. 2. delikten yapılan yükleme değişimlerine karşılık strain-gage uygulama bölgesindeki gerilmelerin değişimi.....	36
Şekil 4.14. 3. delikten yapılan yükleme değişimlerine karşılık strain-gage uygulama bölgesindeki gerilmelerin değişimi.....	37
Şekil 4.15. Reaksiyon mesnedi üstten 2. delik bağlantısına uygulanan silindir kuvveti.....	38
Şekil 4.16. Reaksiyon mesnedi üstten 2. delik bağlantısına uygulanan silindir kuvveti tesiriyle yük algılayıcı pim'de (Load Pin) oluşan kuvvet.....	38
Şekil 4.17. Reaksiyon mesnedi üstten 2. delik bağlantısına uygulanan silindir kuvveti tesiriyle yapıştırılan strain-gage'de oluşan kuvvet.....	39
Şekil 4.18. Reaksiyon mesnedi üstten 2. delik bağlantısına uygulanan silindir kuvveti tesiriyle yük algılayıcı pim'de (Load Pin) oluşan kuvvet ile strain-gage'de oluşan kuvvetlerin karşılaştırılması.....	40

## ÇİZELGELER DİZİNİ

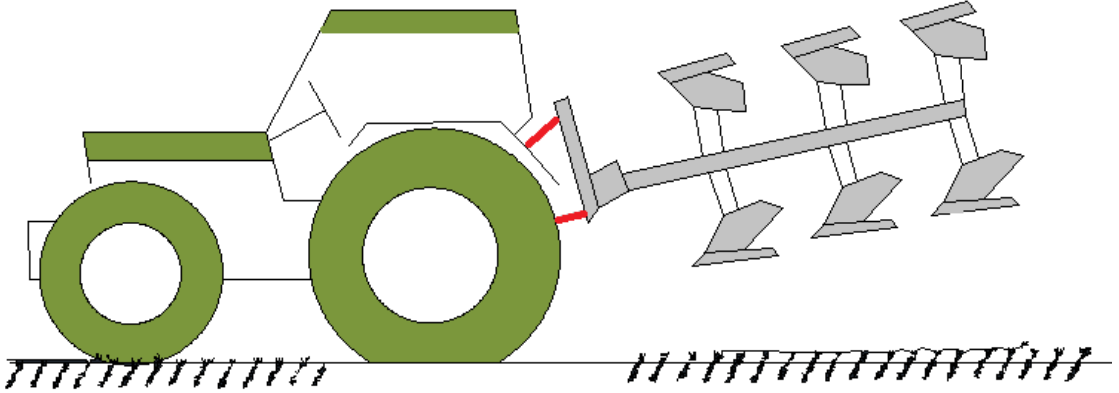
	Sayfa No
Çizelge 1.1. Mekanik, hidrolik ve elektriksel çeki kontrol yöntemleri (Renius 1985).....	6
Çizelge 4.1. Reaksiyon mesnedi üstten 2. delik bağlantısına uygulanan silindir kuvveti tesiriyle yük algılayıcı pim’de (Load Pin) oluşan kuvvet ile strain-gage’de oluşan kuvvetlerin karşılaştırma çizelgesi.....	41

## 1. GİRİŞ

Bu bölümde üzerinde çalışılan sistemle ilgili genel bilgilendirme yapılması hedeflenmiştir. 1. Kısımda hidrolik kaldırıcıların tarihsel gelişimi, 2. Kısımda sistemin genel yapısı ve problemin önemi, 3. Kısımda ise çalışmanın amacı ve kapsamı anlatılmıştır.

### 1.1. Hidrolik Kaldırıcıların Tarihsel Gelişimi

Tarım traktörlerinde bugün bildiğimiz anlamda hidrolik kaldırıcıların kullanılmasına yaygın olarak 1965 yılından itibaren başlanmıştır. Herry Ferguson ilk defa 1921 yılında 3 nokta askı sistemi için patent başvurusu yaptıktan 9 yıl sonra da hidrolik kaldırıcı fikrinin patentini almıştır (Lift 1992). 1933 yılında ilk defa seri olarak üretilmeye başlanan hidrolik kaldırıcı uygulanmış traktörler o günkü şartlarda hidrolik el pompası, dolayısı ile kas gücüyle çalıştırılırken, günümüz modern traktörlerine benzer içten yanmalı motor tahrikli hidrolik pompaların adapte edilmesi 30 yıl sonra gerçekleşmiştir (Şekil 1.1).

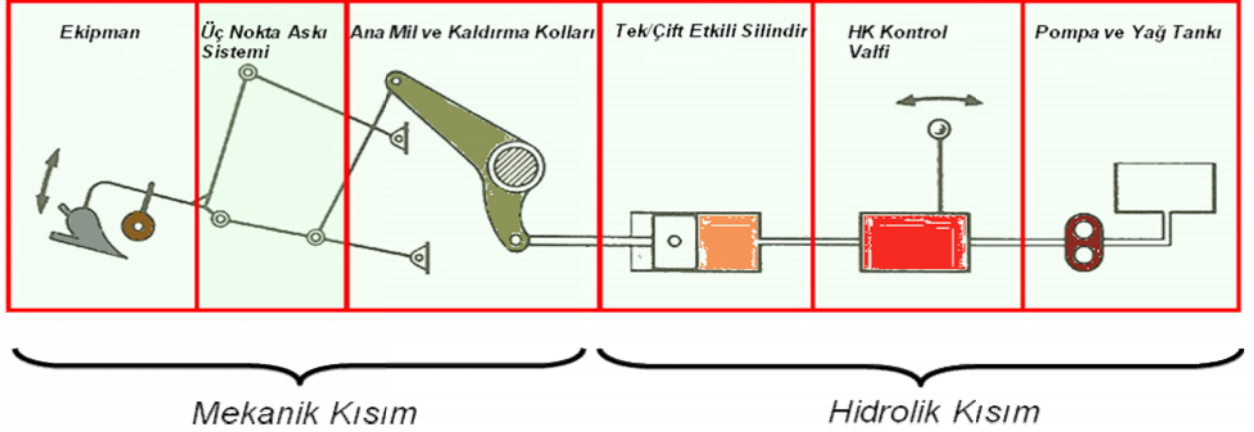


Şekil 1.1. Arkasındaki ekipmanı taşıma pozisyonunda tutan bir traktör (Lift 1992)

Bahsedilen gelişme aşamalarının sonunda tarım traktörlerinde kullanılan hidrolik kaldırıcılar; kaldırma, indirme, taşıma, otomatik derinlik kontrolü, yüzer pozisyon ve pozisyon kontrol fonksiyonlarını doğru bir şekilde yerine getirmeye başlamıştır (Şekil 1.1).

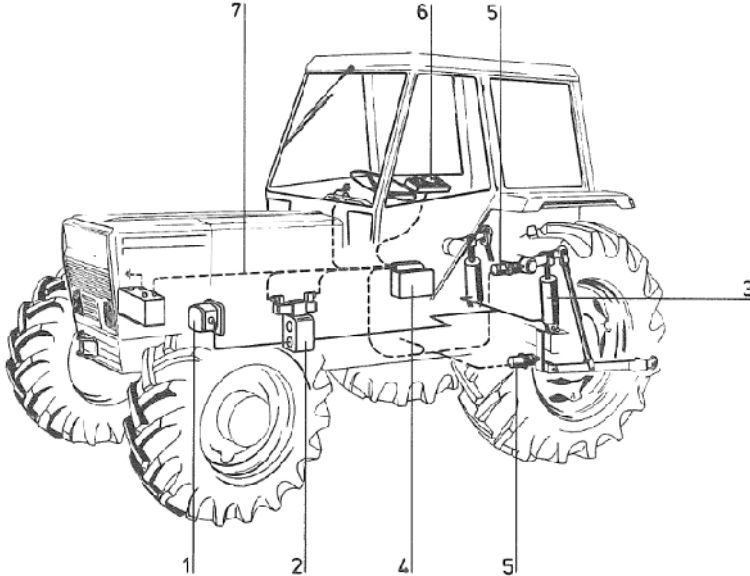
## 1.2. Sistemin Genel Yapısı ve Problemin Önemi

Yaygın olarak kullanılan hidrolik kaldırıcılar temelde hidrolik ve mekanik olmak üzere 2 kısımdan oluşurlar (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Hidrolik kaldırıcılar şematik gösterim (Lift 1992)

Son yıllarda gerek konfor gerekse hassas kontrol imkânlarını artırması nedeniyle 3. bir kısım olarak “elektronik”, hidrolik kaldırıcı ve traktör hidroligine dâhil olmuştur (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Elektro-hidrolik sistem şeması (Lift 1992)

(1: Hidrolik pompa, 2: Kontrol valfi, 3: Kaldırıcı silindiri, 4: Elektronik kutu, 5: Doğrusal mesafe sensörü (çeki kuvveti ve konum için), 6: Kontrol paneli, 7: Kablo demeti)

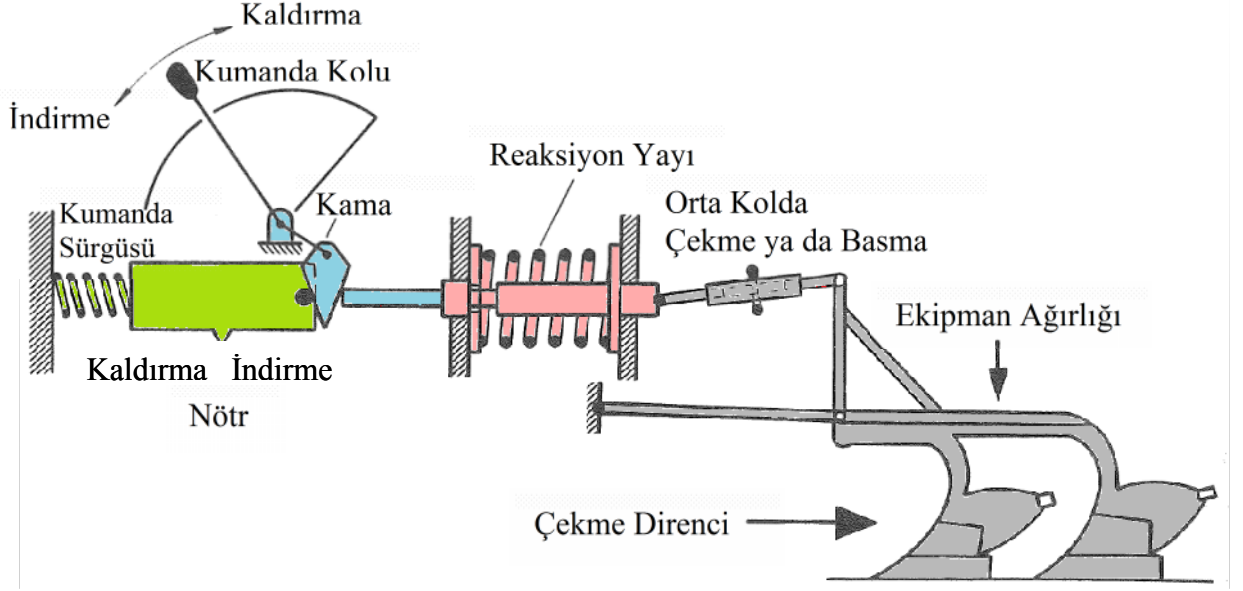
Hidrolik kaldırıncıların performansını belirleyen en önemli fonksiyon güç kontrol sistemidir. Tarlada traktördeki hidrolik kaldırıncıya bağlı bir sürüm ekipmanı ile iş yapılırken tarlanın homojen olmayan toprak koşulları (bölgesel çok sert ya da çok nemli ağır toprak) ve çeşitli engeller (taş, kök vb.) nedeniyle ekipmanın çok zor ilerlemesi veya takılı kalması söz konusu olabilir. Bu gibi durumların oluşması güç kontrol sistemi tarafından engellenir.

Güç kontrol sistemi ekipmanın zor çekildiğini hisseder ve kaldırıncı kollarının zorlama kuvveti ortadan kalkıncaya kadar yukarıya kalkarak ekipmanı kaldırmasına müsaade eder. Zorlama kuvveti ortadan kalktığı anda kollar tekrar eski pozisyonuna dönerek önceden ayarlanmış olan sürüm derinliğine iner. Güç kontrol sisteminin olmadığı ya da düzgün çalışmadığı durumlarda motor zorlanır, tekerlekler patinaj yapar ve bütün bağlı mekanik aksam zorlanır ve yorulur. Bu durum uzun vadede motor ve lastikler dahil olmak üzere ilgili bütün parçaların ömrünün kışalmasına kısa vadede de yakıt sarfiyatının artmasına ve elle müdahaleler nedeniyle operatörün yorulmasına neden olur.

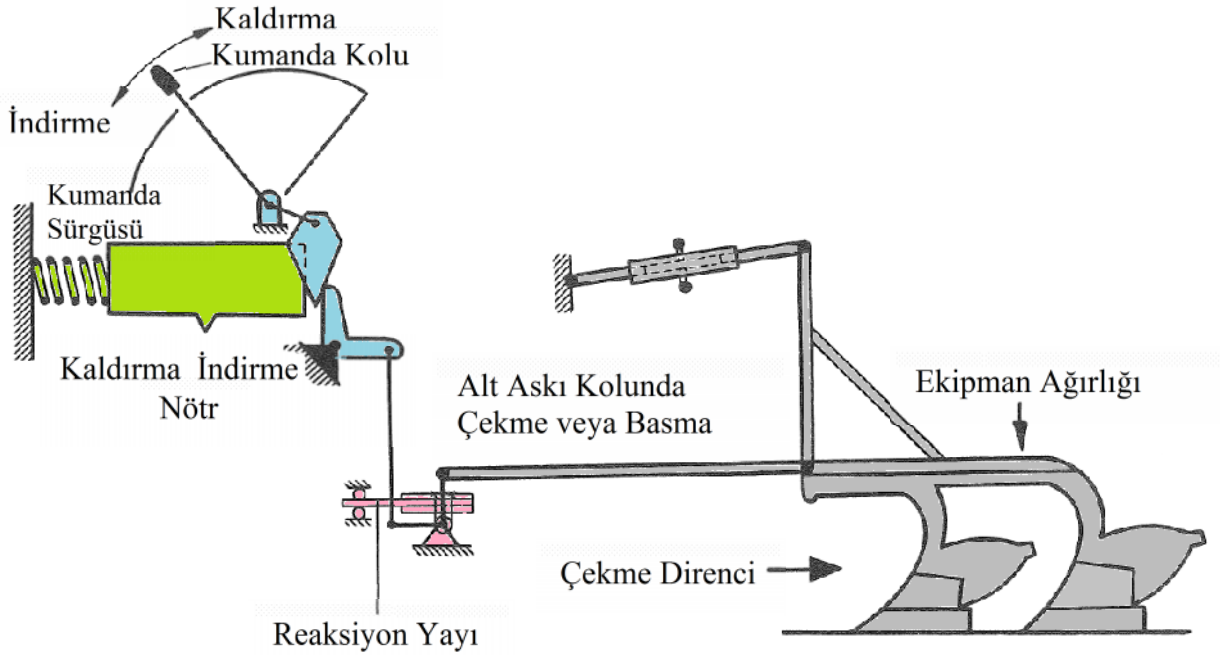
Güç kontrol sistemi tasarımı mekanik-hidrolik kaldırıncı ve elektro-hidrolik kaldırıncılarda prensip olarak aynı olsa da çeki kuvvetinin hissedilmesi için uygulanan yöntemler farklılık gösterir.

Mekanik-hidrolik ve elektro-hidrolik güç kontrol sistemi tasarımı temelde iki şekilde yapılır; birincisi çeki kuvvetinin üç nokta askı sisteminin üst bağlantı noktasından (orta kol bağlantı noktası) hissedilmesi (Şekil 1.4), ikincisi ise alt bağlantı noktasından (alt askı kolları bağlantı noktası) hissedilmesi (Şekil 1.5) şeklindedir.

Mekanik-hidrolik kaldırıncılarda topraktan gelen çeki kuvveti bir yay ya da benzeri şekilde esneyen bir mekanizmayı kuvvet büyüklüğüne bağlı şekilde iterek bağlı mekanizmalarla kontrol valfine kumanda sürgüsü üzerinden oransal olarak iletir.



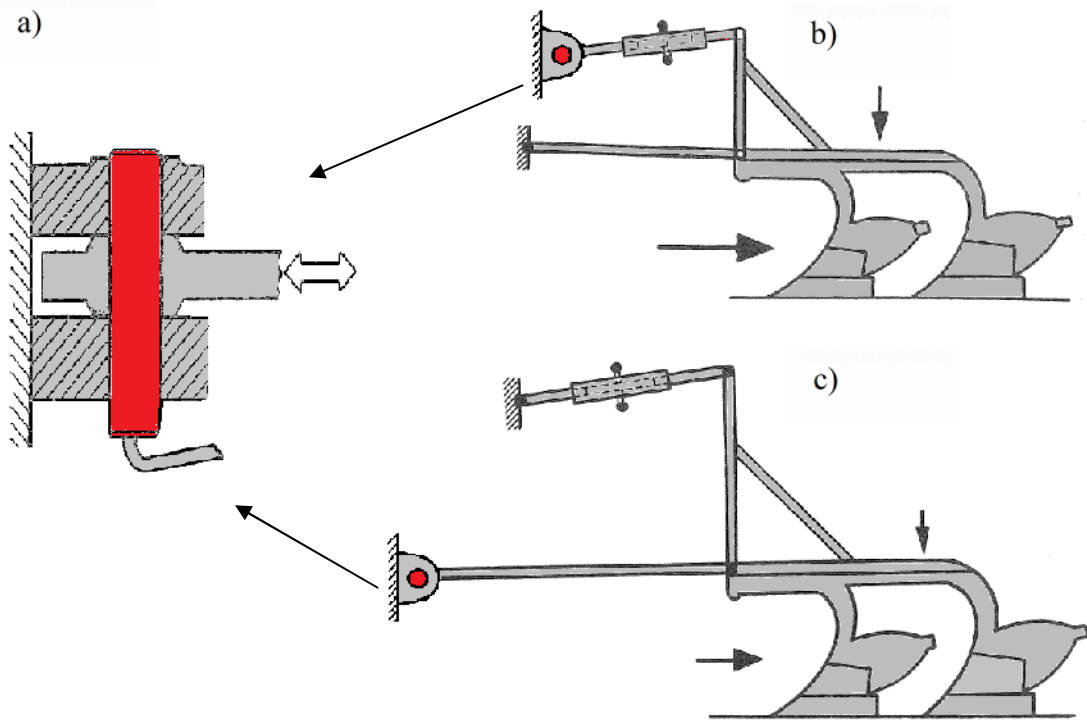
Şekil 1.4. Çeki kuvvetini üst bağlantı noktasından hisseden kontrol mekanizması (Lift 1992)



Şekil 1.5. Çeki kuvvetini alt bağlantı noktasından hisseden kontrol mekanizması (Lift 1992)

Elektro-hidrolik kaldırıcılarda ise topraktan gelen çeki kuvveti çoğunlukla yük algılayıcı bir pim (kuvvet sensörü - load pin) (Şekil 1.6 ) ya da mekanik-hidrolik kaldırıcı benzeri yaylı bir mekanizmanın hareketini ölçen bir sensör vasıtasıyla hissedilir ve elektriksel sinyal olarak elektronik kumanda ünitesinde (EKÜ) değerlendirildikten sonra oransal selenoidlerle kumanda edilen kontrol valfine ulaştırılır.

Yük algılayıcı pim, mekanik çeki kontrol sistemlerindeki gibi üst nokta askı koluna ya da alt nokta askı koluna bağlanabilir. Beygir gücü yüksek olan traktörlerde alt nokta askı kolu uygulamaları tercih edilmektedir.



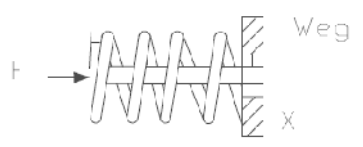
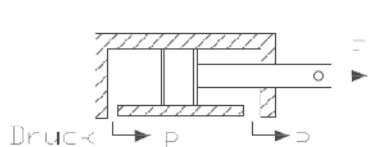
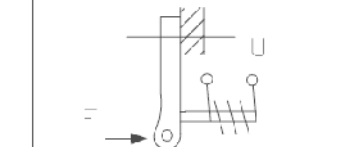
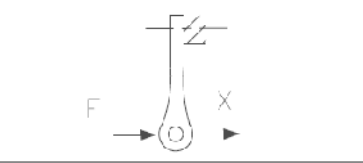
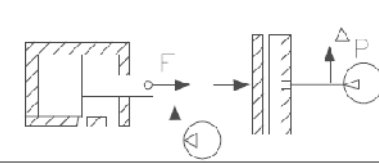
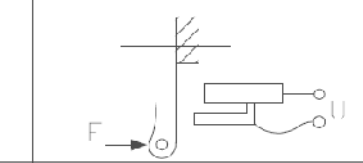
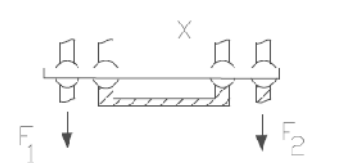
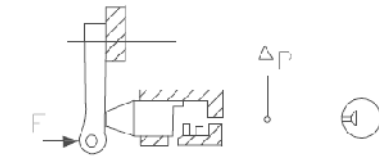
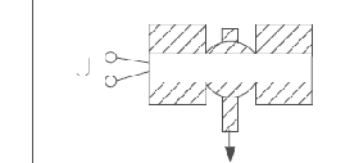
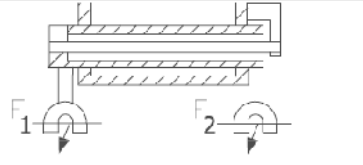
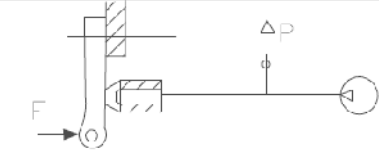
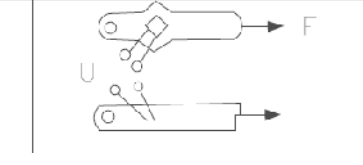
Şekil 1.6. Yük algılayıcı pim uygulamaları

(a: Yük algılayıcı pim, b: Elektro-hidrolik üst noktadan çeki kontrol mekanizması, c: Elektro-hidrolik alt noktadan çeki kontrol mekanizması)

Yukarıda bahsedilen güç kontrol sistemi tasarımlarında çeki kuvvetinin hissedilmesiyle ilgili uygulanan bazı yöntemler ve benzeri belli başlı diğer yöntemler Çizelge 1.1’de mekanik, hidrolik ve elektriksel karşılıklarıyla verilmiştir.



Çizelge 1.1. Mekanik, hidrolik ve elektriksel çeki kontrol yöntemleri (Renius 1985)

		
		
		
 MEKANİK	 HİDROLİK	 ELEKTRİK

Konuyla ilgili eskiden beri süregelen uygulamalardan verilen örnekler ve özet çizelgedeki uygulamalardan anlaşılacağı üzere güç kontrol sisteminde çeki algılama yöntemleri; mekanik olarak çok parçalı ve karmaşık, elektronik olarak ise görece daha basit mekanik uygulama imkanına rağmen kuvvet sensörleri, EKÜ vb. pahalı elektronik parçalar nedeniyle geliştirilmeye muhtaç bir problem olarak tespit edilmiştir.

### 1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada, traktörlerde kullanılan elektro-hidrolik kaldırıncıların yük algılayıcı pimlerinin yerine alternatif olarak daha basit bir tasarım yapılarak fonksiyon kaybı olmaksızın aynı işlevin sağlanması amaçlanmıştır.

Yük algılayıcı pimin çalışma esnasında montajlı olduğu reaksiyon mesnedine çeşitli senaryolar dahilinde gelen kuvvetler ve reaksiyon mesnedinin bağlı olduğu hidrolik kaldırıncı gövdesi ile birlikte bu kuvvetler karşısındaki davranışı Ansys programı kullanılarak incelenmiştir. İnceleme sonucunda tespit edilen uygun noktalara alternatif tasarım olarak elektriksel strain-gage uygulanmıştır. Yük algılayıcı pimplere göre çok daha basit olan yeni tasarım ile eskisi karşılaştırılmalı olarak test edilmiştir.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ VE BENZER TASARIM ÖRNEKLERİ

### 2.1. Kaynak Özetleri

Lift (1992) kitabında traktör hidroligi ile birlikte mekanik-hidrolik ve elektro-hidrolik kaldırcıları incelemiş ve çalışma prensiplerini detaylı olarak anlatmıştır. Elektro-hidrolik kaldırcı çeki algılama sistemlerinde kullanılan yük algılayıcı pimlerin mekanik-hidrolik uygulamaların aksine yük algılama noktasında bir yer değiştirmeye ihtiyaç duymaksızın çalışması ve bu nedenle mekanik-hidrolik kaldırcı çeki algılama sistemlerinde kullanılan yük algılama sistemlerine göre daha hassas olduğunu vurgulamıştır.

Renius (1985) kitabında traktör tasarımının temel ilkelerinden bahsetmiş ve bunun yanında mekanik-hidrolik ve elektro-hidrolik kaldırcıları çizelgeler halinde karşılaştırmıştır.

Hoffman (2011) kitabında deneysel gerilme analizini açıklamış, strain-gage ölçüm metotlarından bahsetmiş ve detaylı uygulama bilgileri vermiştir.

5325N, 5425N ve 5525N nolu traktörlerin operasyon ve testleri konulu J. Deere TM2198 Anonim (2006) teknik el kitabında arka hidrolik kaldırcı güç kontrol sisteminde kullanılan yarı mekanik ve sensörlü sistemlerin çalışma prensibinden bahsedilmektedir. Bu sistem elektro-hidrolik kaldırcılarda kullanılan yük algılayıcı pimlerin yerine geçen tipik bir uygulamadır.

Schafer (1979) US4271910 nolu patent başvurusunu J.Deere firmasının elektro-hidrolik kaldırcılarda kullanmak üzere tasarladığı alternatif bir yük algılama sistemi üzerine yapmıştır.

Sedoni ve Cevolini (1994) EP0713637A1 nolu patent başvurusunu New Holland firmasına ait yük algılayıcı pim tasarımı üzerine yapmıştır. Bu patent günümüzde kullanılan yük algılayıcı pimlerin elektro-hidrolik kaldırcı uygulamalarına tipik bir örnektir.

Burn (1996) US005682954A nolu patent başvurusunu Case firmasına ait yük algılayıcı pimin bağlandığı tutucu braket tasarımı üzerine yapmıştır.

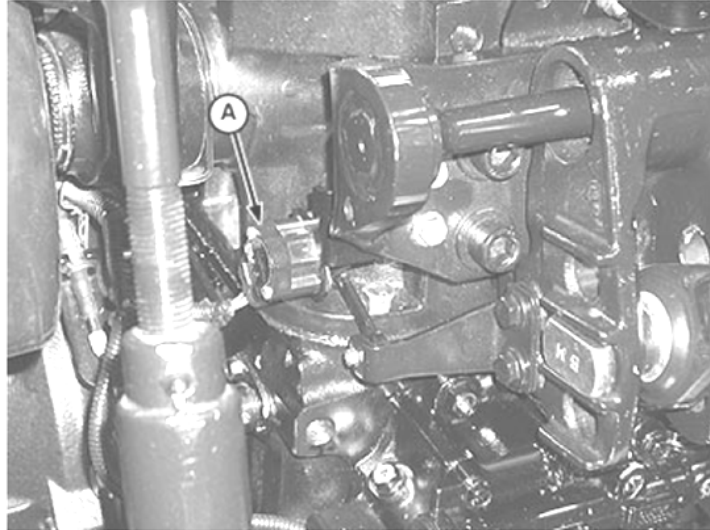
Askari ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada 3 nokta askı sistemine bağlanan ekipmanların maruz kaldıkları kuvvetleri ölçmek için ayarlanabilir bir dinamometre geliştirmişlerdir. Bu sistemde kuvvet sensörü olarak loadcell kullanılmıştır.

## 2.2. Benzer Tasarım Örnekleri

Bu kısımda elektro-hidrolik kaldırıclarda kullanılan bazı yük algılayıcı sistem uygulama örnekleri verilmiştir. Sistem tasarımları firmalarla özdeş olduğunda firma isimleri özellikle anılmıştır.

### 2.2.1 John Deere tasarımı yük algılayıcı sistem-1

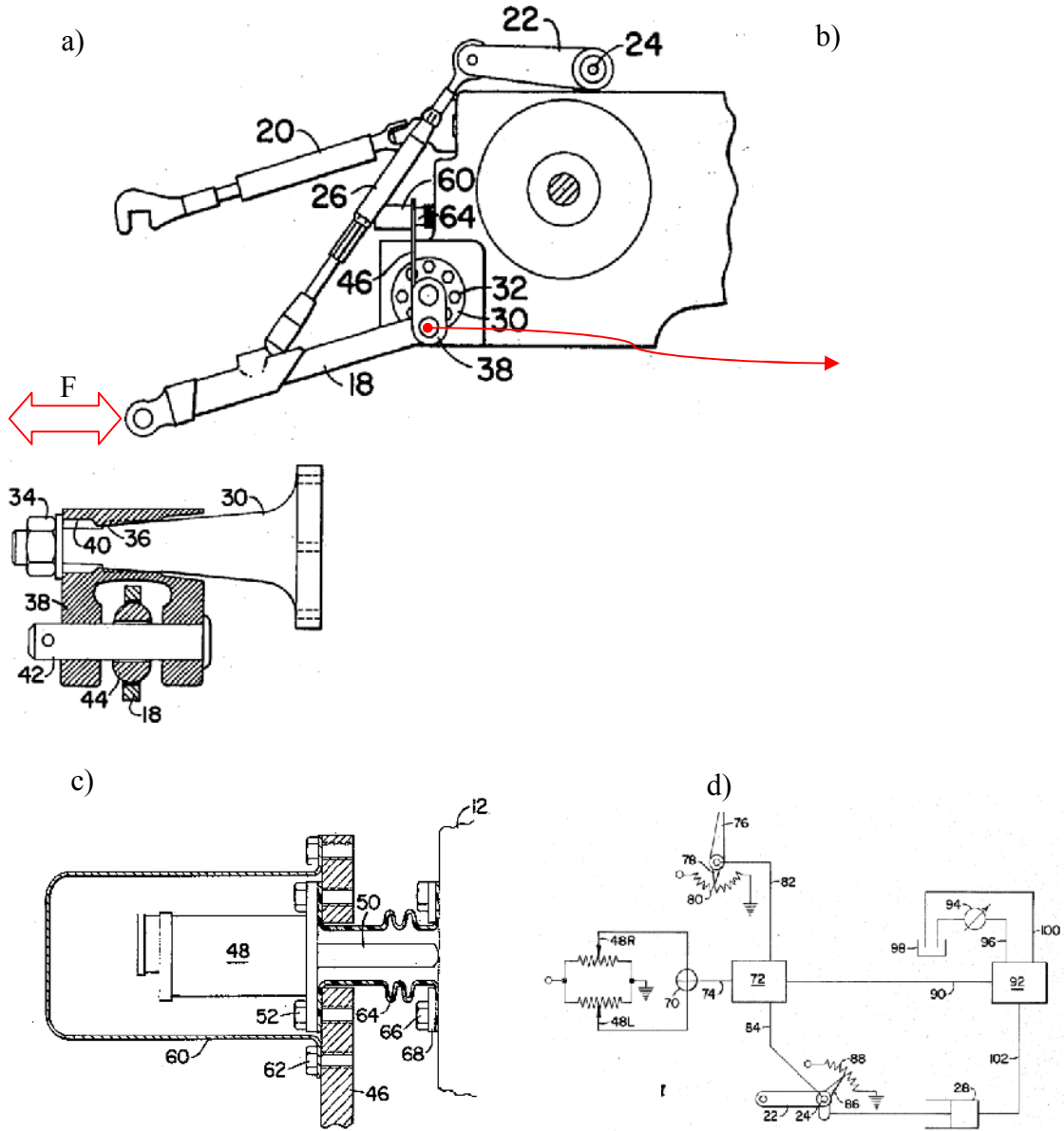
Bu tasarımda Kısım 1.2’de tarif edilen mekanik çeki algılama sisteminin hareketinin bir sensör yardımıyla elektriksel sinyale dönüştürülmesi ve güç kontrol sisteminin bu sinyale göre hareket etmesi prensibi kullanılmıştır. Hareket en sonunda dairesel hale dönüştürülmekte ve potansiyometre (Şekil 2.1, “A”) ile sürekli açı ölçümü yapılarak EKÜ’ye iletilmektedir. Maliyeti görece olarak yük algılama pimi kullanmaktan daha düşük olmasına rağmen sistem hassasiyeti daha azdır. Bunun yanında mekanik sistemin reaksiyon yayı dahil bütün alt parçalarını içermekte ve mekanik sistemin kompleks yapısının dezavantajlarını taşımaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. J. Deere 245-HCU-210 model numaralı arka hidrolik kaldırıcı güç kontrol sistemi (Anonim)

## 2.2.2 John Deere tasarımı yük algılayıcı sistem-2

Bu tasarımda yük algılayıcı sistem üç nokta askı sistemi alt askı kollarına gelen kuvveti ölçen bir yapıyla oluşturulmuştur (Şekil 2.2). Alt askı kollarına çekme ya da basma yönlü gelen kuvvet; kollarının bağlı olduğu pim vasıtasıyla dönmeye müsaade eden ve bu dönme hareketini bir mekanizma ile bir doğrusal yol ölçer sensöre ileterek elektriksel sinyale dönüştürmektedir. Elektriksel sinyal bir elektronik kontrol ünitesi vasıtasıyla operatörün daha önceden ayarladığı değerle sürekli karşılaştırılarak ve gerektiğinde hidrolik sistemi devreye sokarak silindir vasıtası ile kaldırma ve indirme fonksiyonlarını yönetmektedir.

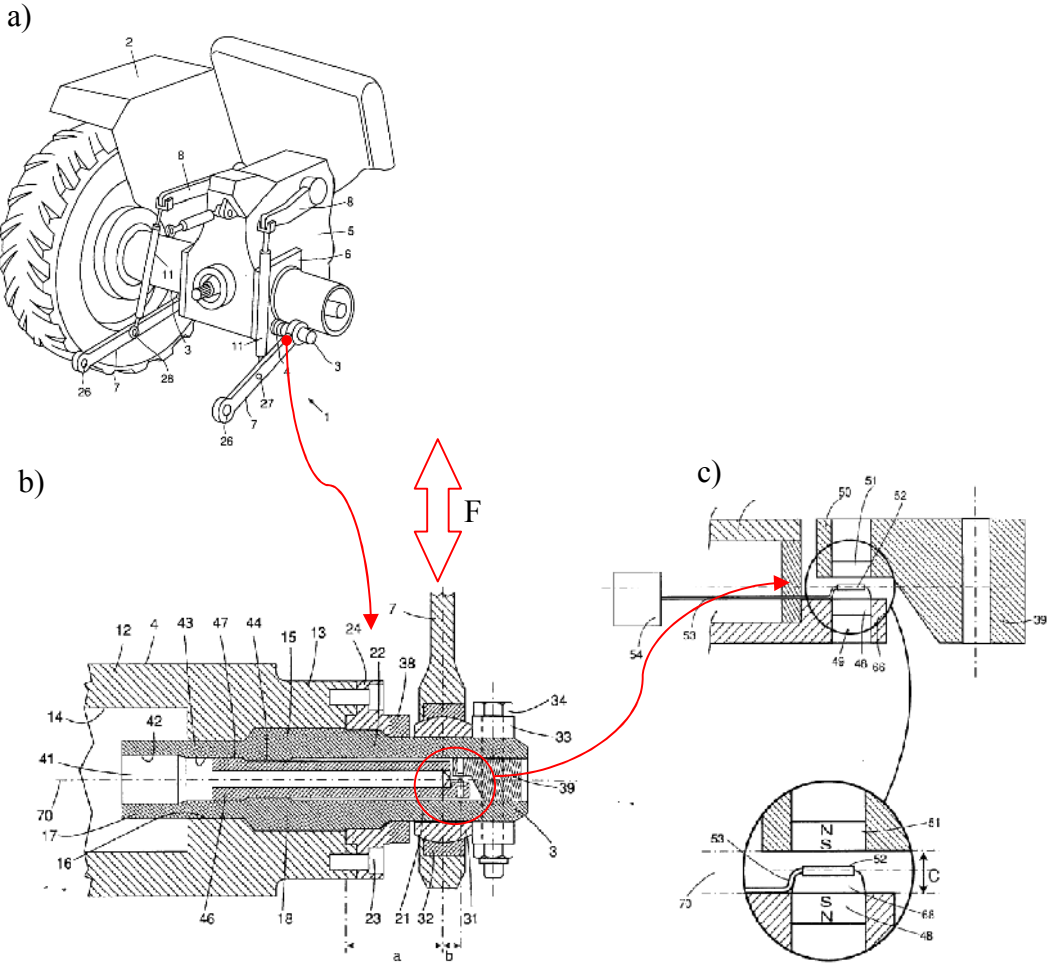


Şekil 2.2. J. Deere firması US4271910 nolu patent başvurusuna ait şekiller (Schafer 1979)

(a: Hidrolik kaldırıcı komple görünüm, b: Alt askı kolu pim bağlantı detayı, c: Yük algılayıcı sistem mesafe ölçme sensörü, d: Tüm sistem çalışma şeması)

### 2.2.3 New Holland yük algılayıcı sistem

Bu tasarımda da yük algılayıcı sistem Kısım 2.2.2'deki yapıya benzer şekilde alt askı kollarına gelen kuvveti ölçerek çalışmaktadır. Alt askı kollarının bağlı olduğu pim, yük algılayıcı pim şeklinde tasarlanmıştır ve kuvvetle orantılı değişen bir elektriksel sinyal oluşturmaktadır. Şekil 2.2'de de görüldüğü üzere alt askı kollarının direkt olarak bağlı olduğu pim iç içe geçmiş dış kovan ve sabit iç pimden oluşmaktadır. Dış kovan yüke bağlı olarak eğilebilmekte, bununla birlikte içeriye sabitlenmiş pim hareket etmemektedir. Hareketli dış kovan ve sabit iç pim arasına konumlandırılmış olan Hall etkisi sensörü (Hall Effect Sensor) pim maruz kaldığı kuvvetleri elektriksel sinyale çevirmektedir (Şekil 2.3).

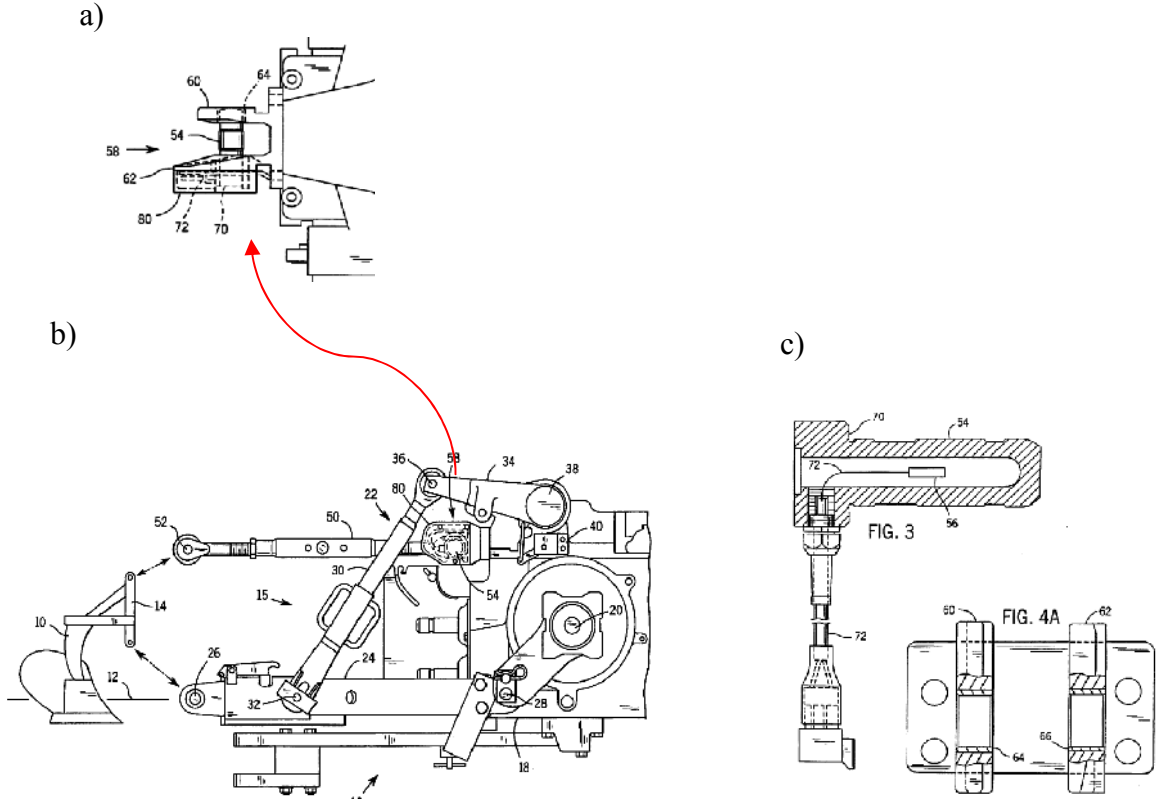


Şekil 2.3. New Holland firması EP0713637A1 nolu patent başvurusuna ait şekiller (Sedoni ve Cevolini 1994)

(a: Hidrolik kaldırıcı komple görünüm, b: Hall etkisi sensörü ile çalışan yük algılayıcı pim, c: Hall etkisi sensörü detayı)

## 2.2.4 Case Yük algılayıcı sistem

Bu tasarımda yük algılayıcı sistem üç nokta askı sistemi üst askı koluna (Orta Kol) gelen kuvveti ölçen bir yapıyla oluşturulmuştur. Üst askı kolu, içine strain-gauge adapte edilmiş bir yük algılayıcı pim ile traktörün arkasındaki özel bir braketle bağlıdır. Yük algılayıcı pimin bağlı olduğu braket pimin üst askı koluna gelen kuvvet nedeniyle bir miktar eğilmesine müsaade eder. Bu şekilde pimin içindeki strain-gage'e gelen kuvvetle orantılı bir elektriksel sinyal oluşturur ve bu sinyal hidrolik kaldırıcı güç kontrol sisteminin kontrol edilmesinde kullanılır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Case firması US5682954A nolu patent başvurusuna ait şekiller (Burn 1996)

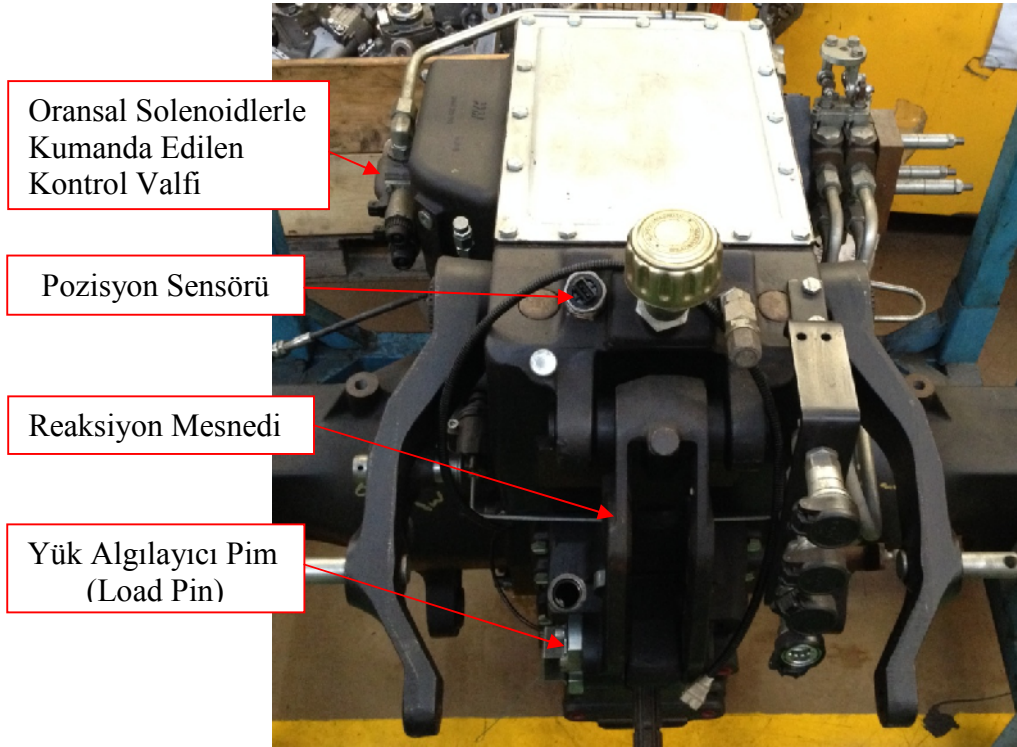
(a: Üst askı kolu özel bağlantı braketini ve pim montajı, b: Hidrolik kaldırıcı komple görünüm, c: Özel bağlantı braketini ve yük algılayıcı pim montaj edilmemiş haldeki görünüm)

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1 Elektro-hidrolik kaldırıcı

Bu çalışmada yararlanılan yük algılayıcı pim kullanılarak tasarlanmış bir elektro-hidrolik kaldırıcı Şekil 3.1’de verilmiştir. Hidrolik kaldırıcı, alt askı kolları ucunda 4400 kg kaldırma kapasitesine sahip ve testlerde bir traktöre montajlı durumda kullanılmaktadır. Çalışma esnasında reaksiyon mesnedine bağlanan orta kola gelen basma kuvveti yaklaşık 2500 kg ‘dır. Üzerinde yük algılayıcı pim dışında oransal selenoidlerle kumanda edilen bir kontrol valfi, pozisyon sensörü ve hidrolik kaldırıcının fonksiyonlarını yerine getirmek için gerekli diğer parçalar mevcuttur.



Şekil 3.1. Yük algılayıcı pim kullanılarak tasarlanmış olan elektro-hidrolik kaldırıcı

##### 3.1.2 SEY tabanlı ANSYS programı

Mühendislik uygulamalarında karşılaşılan problemler çoğu zaman doğrudan çözülemez. Problem, çözümü daha kolay olan alt problemlere ayrılarak daha anlaşılır

hale getirilmeye çalışılır. Oluşturulan alt problemler çözülüp birleştirilerek esas problemin çözümü yapılabilir. Problemin tam çözümü yerine kabul edilebilir seviyede bir yaklaşık çözümü tercih edilir. Öyle problemler vardır ki, bunlarda yaklaşık çözüm tek yol olarak benimsenir. Örneğin, gerilme analizi üzerine çalışan mühendisler gerilme problemini basit kiriş, plak, silindir gibi geometrisi bilinen benzer şekillerle sınırlarlar. Bu çözümler çoğu kez gerçek problemin yaklaşık çözümüdür.

Sonlu elemanlar yöntemi (SEY), bir nümerik teknik olup, özellikle katı cisim mekaniği, akışkanlar mekaniği, ısı transferi ve titreşim gibi problemlerin bilgisayar yardımıyla çözümünde kullanılan çok gelişmiş bir tekniktir. Bu yöntemde modeller sonsuz sayıda elemanlara bölünür. Bu elementler belli noktalardan birbirleriyle bağlanır, buna düğüm (node) denir. Katı modellerde her bir elemandaki yer değiştirmeler doğrudan düğüm noktalarındaki yer değiştirmelerle ilişkilidir.

Düğüm noktalarındaki yer değiştirmeler ise elemanların gerilmeleriyle ilişkilidir. SEY bu düğümlerdeki yer değiştirmeleri çözmeye çalışır. Böylece gerilme yaklaşık olarak uygulanan yüke eşit bulunur. Bu düğüm noktaları mutlaka belli noktalardan hareketsiz bir şekilde sabitlenmelidir.

SEY ve bilgisayarların sanayiye girmesiyle, günümüze kadar ancak pahalı deneysel yöntemlerle incelenebilen bir çok makine elemanının mukavemet analizini kısa bir sürede yapıp, optimum dizaynı gerçekleştirmek mümkün olabilmektedir. ANSYS analiz programı SEY ile problem çözümünde etkin olan bir programdır.

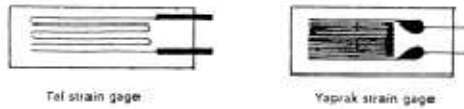
### **3.1.3 Strain-gage uygulaması**

Mühendislik uygulamalarında çoğunlukla, geometrik belirsizlikler dolayısı ile yük değerlerinin kesin tespitlerinin yapılamaması yüzünden mukavemet hesaplarının yürütülmesi çok zorlaşır veya imkansız hale gelir. Bu durumda, zorlanan cisimlerin dış yüzeylerinde belirli doğrultularda yapılacak birim uzama ölçümleriyle gerilmelerin elde edilmesine çalışılır. Birim uzama ölçümünde kullanılan en yaygın yöntem, bir iletkenin elektriksel direncinin uzamayla değişimine dayanan strain-gage (şekil değişikliği) tekniğidir. Bir iletkenin elektriksel direnci,



$$R = \frac{\rho \ell}{A} \quad (3.1)$$

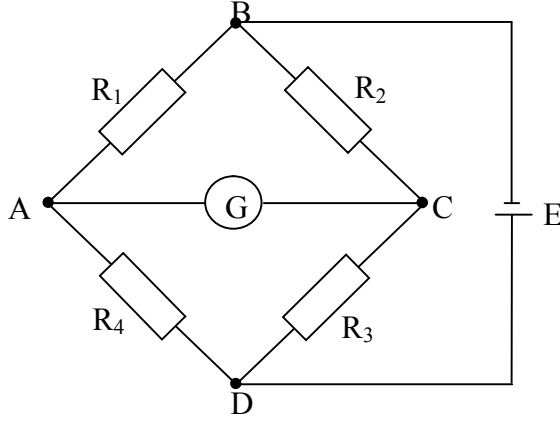
olarak tanımlıdır. Burada  $\rho$  tel malzemesinin öz direncini,  $\ell$  ilk uzunluğunu ve  $A$  dik kesit alanını gösterir. Strain-gage Şekil 3.2’de görüldüğü gibi düzenlenmiş ince uzun bir telden ibarettir ve bu tel iki kağıt parçası arasına yapıştırılmıştır. Bir makine veya yapı elemanının yüzeyinde verilen herhangi bir doğrultudaki normal birim şekil değiştirmelerin ölçümünde ve yüzeye uygulanan kuvvet, ağırlık, basınç v.b. fiziksel değişkenlerin ölçümünde kullanılan kolay ve hassas bir yöntemdir. Bunun için incelenen yüzey üzerinde şekil değişiminin ölçülebileceği uygun bir doğrultuda strain-gage telleri malzemeye yapıştırılır. Uygulanan kuvvetin etkisiyle malzeme uzadıkça, strain-gage’teki tellerin boyu uzar ve çapları küçülür. Bu durum telin elektriksel direncinin büyümesine neden olur, (Beer ve Johnston 2003). Uygun bir şekilde kalibre edilmiş strain-gage’den geçen bu elektrik akımını ölçerek uygulanan kuvvetin miktarı tespit edilebilir. Strain-gage sensörleri kuvvet, ağırlık, basınç vb. fiziksel değişkenlerin ölçümlerinde kullanılırlar. Bu ölçümler statik ve dinamik yükleme koşullarında yapılabilir.



Şekil 3.2. Strain-gage yapısı

Düzlem gerilme halinde bir noktada gerilme analizi asal gerilmelerin ve doğrultuların bulunmasını gerektirir ve bunun için o noktada en az üç doğrultuda birim uzamanın ( $\epsilon$ ) ölçülmesi gerekir. Bu amaçla nokta civarında değişik doğrultularda birim uzamaları ölçebilmek için kolaylık olması bakımından aynı elemanda birden çok strain-gage konularak yapılan elemanlara strain-gage rozeti veya kısaca rozet adı verilir. Strain-gage rozetlerinin kullanılmasının bir başka avantajı da birden çok doğrultuda yapıştırılacak strain-gage’lerde açılı hatasının ortadan kalkmasıdır. Rozetler 2,3 ve bazen 4 doğrultuda ölçme yapacak şekilde değişik geometrilere tasarlanır. Üç doğrultuda yapılan ölçümler asal gerilmeleri tanımlarken, 4. doğrultudaki ölçülen değer, genellikle ölçüm işleminin doğruluğunu kontrol etmek amacıyla kullanılır. Özel bir yükleme halinde asal doğrultular biliniyorsa ikili rozetler kullanılabilir. Rozet tipleri içinde en yaygın kullanılan rozet tipi dikdörtgen rozetlerdir. Elemanlar  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  ve  $90^\circ$  doğrultularındadır.

Strain-gage'lerle ölçme yapılırken Wheatstone köprü devresi ve potansiyometre devresi olmak üzere iki tip elektrik devresinden yararlanır. Bunlardan genellikle Wheatstone köprü devresi kullanılır, (Savcı ve Arpacı, 1999).



Şekil 3.3. Wheatstone köprüsü

Wheatstone köprü devresine A ve C noktalarındaki potansiyel farkı ( $\Delta E$ ) giriş voltajı ( $V$ ) ve dirençler ( $R$ ) cinsinden, ilgili formüller kullanılarak aşağıdaki formda bulunur.

$$\Delta E \cong \frac{1}{4} \left[ \frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right] V \quad (3.2)$$

Bu genel bağıntıda parantez içindeki terimler için

$$\frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon \quad (3.3)$$

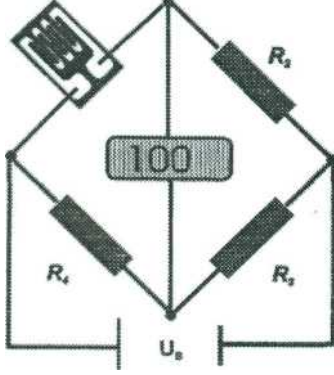
uygulanacak olursa

$$\frac{\Delta E}{V} \cong \frac{K}{4} [\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4] \quad (3.4)$$

bağıntısı bulunur. Bu bağıntı ölçüm sırasında en fazla kullanılan ve önemli olan bağıntıdır. Burada K, Gage Faktörü olarak bilinen bir malzeme katsayısıdır ve üretici firma tarafından verilir. Kullanılan strain-gage sayısına göre Wheatstone köprüsü değişik isimlerle tanımlanır.

### 3.1.3.1 Dörtte bir köprü

Bu durumda sadece bir tane strain-gage ile köprü tamamlanır.



Şekil 3.4. Dörtte bir Wheatstone köprüsü

Bu devrede,

$$\varepsilon_1 = \varepsilon \neq 0 \quad \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \varepsilon_4 = 0 \quad (3.5)$$

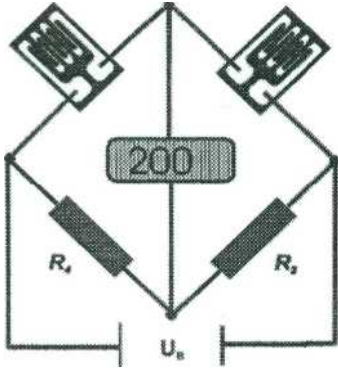
olur. Bu durumda ölçmede kullandığımız (3.4) nolu bağıntı

$$\frac{\Delta E}{V} \cong \frac{K}{4} \varepsilon \quad (3.6)$$

şeklini alır. Ancak dörtte bir köprü ölçmelerde sıcaklığın etkisini önleyemediği için sıcaklık etkisinin önemli olduğu uygulamalarda pek fazla kullanılmaz.

### 3.1.3.2 Yarım köprü

Bu devrede iki adet strain-gage Wheatstone köprüsünün iki komşu koluna bağlanır.



Şekil 3.5. Yarı Wheatstone köprüsü

Bu devrede,

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 \neq 0 \quad \varepsilon_3 = \varepsilon_4 = 0 \quad (3.7)$$

olur. Bu durumda ölçmede kullandığımız (3.4) nolu bağıntı

$$\frac{\Delta E}{V} \cong \frac{K}{4} [\varepsilon_1 - \varepsilon_2] \quad (3.8)$$

şeklini alır.

Pratikte yarı köprü uygulamalarında bazen iki aktif (şekil değiştiren cisim üzerine bağlanmış), bazen de bir aktif biri de pasif strain-gage'ler kullanılır. Pasif gage, ölçme yapılan cisim üzerine değil, aynı çevre şartlarında gerilmemiş bir malzemeye yapıştırılır. Bu durumda aktif gage hem gerilmenin ve hem de sıcaklığın etkisiyle direncini değiştirirken, pasif gage sadece sıcaklığın etkisiyle direnç değiştirir.

Bu uygulamanın dörtte bir köprüden farkı, sıcaklık etkilerinin kompanse edilebilmesidir. Böyle bir yarı köprüde,

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_F + \varepsilon_T, \quad \varepsilon_2 = \varepsilon_T, \quad \varepsilon_3 = \varepsilon_4 = 0 \quad (3.9)$$

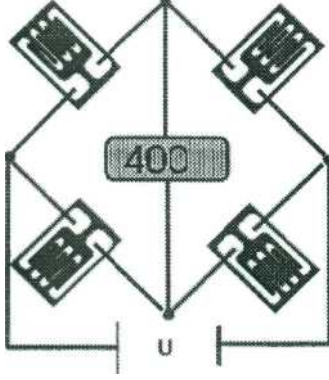
şeklindedir. Dolayısıyla (3.4) nolu bağıntı,

$$\frac{\Delta E}{V} \cong \frac{K}{4} [(\varepsilon_F + \varepsilon_T) - \varepsilon_T] = \frac{K}{4} \varepsilon_F \quad (3.10)$$

şekline dönüşür. Burada  $\varepsilon_F$ , kuvvet etkisiyle gerçekleşen uzamayı ve  $\varepsilon_T$ , sıcaklık etkisiyle gerçekleşen uzamayı göstermektedir.

### 3.1.3.3 Tam köprü

Tam köprü, Wheatstone köprüsünün dört koluna da strain-gage'lerin bağlanması halidir.



Şekil 3.6. Tam Wheatstone köprüsü

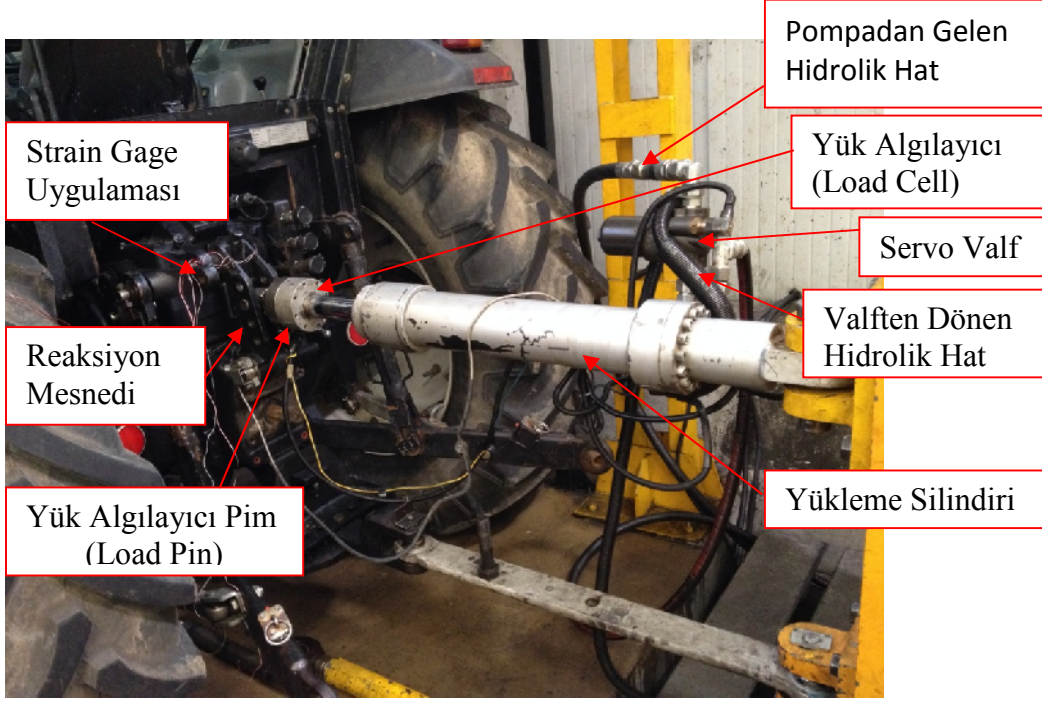
Böyle bir devrede,

$$\varepsilon_1 \neq \varepsilon_2 \neq \varepsilon_3 \neq \varepsilon_4 \neq 0 \quad (3.11)$$

şeklindedir. Böylece tam köprüde giriş-çıkış voltajları ile direnç değişimleri arasındaki bağıntı, (3.4) nolu denklemle verildiği haliyle genel formunu muhafaza eder. Ancak uygulamada strain-gage'lerin yapıştırıldığı noktalar o şekilde seçilmelidir ki, birim uzamalar arasında bilinen ilişkiler bulunsun. Bu durum, iki aktif gauge'li yarım köprü için de aynıdır.

### 3.1.4 Test düzeneği

Bu çalışmada kullanılan test düzeneği Şekil 3.7'de verilmiştir.



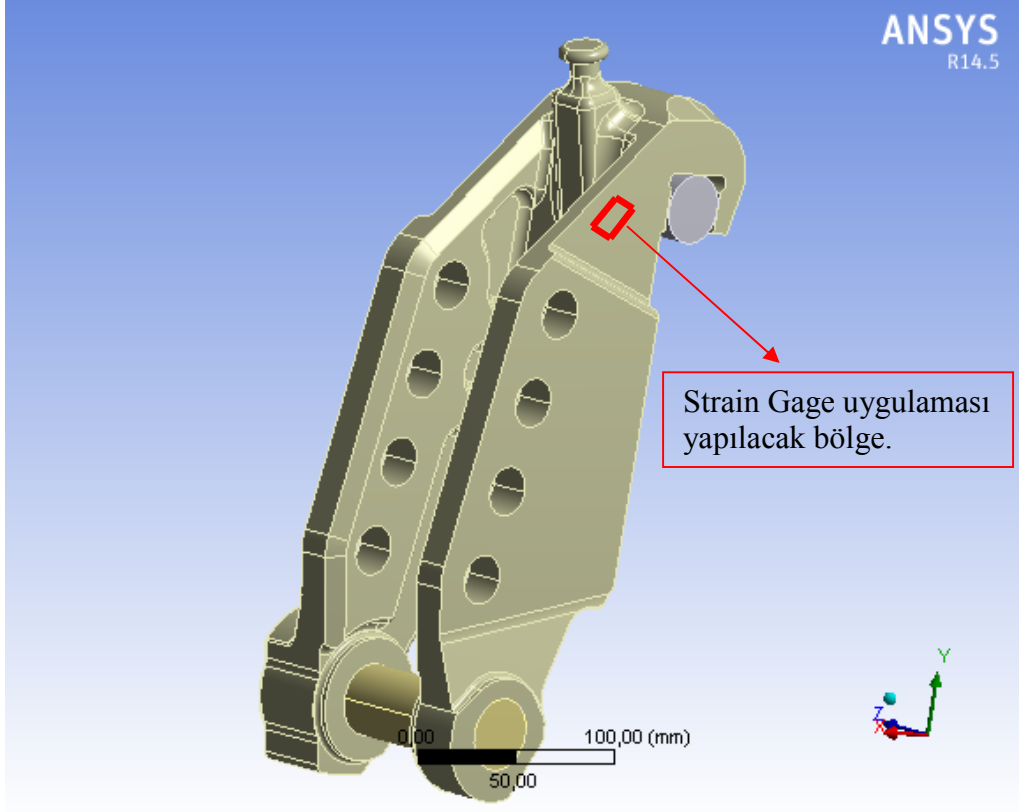
Şekil 3.7. Test düzeneği

## 3.2. Yöntem

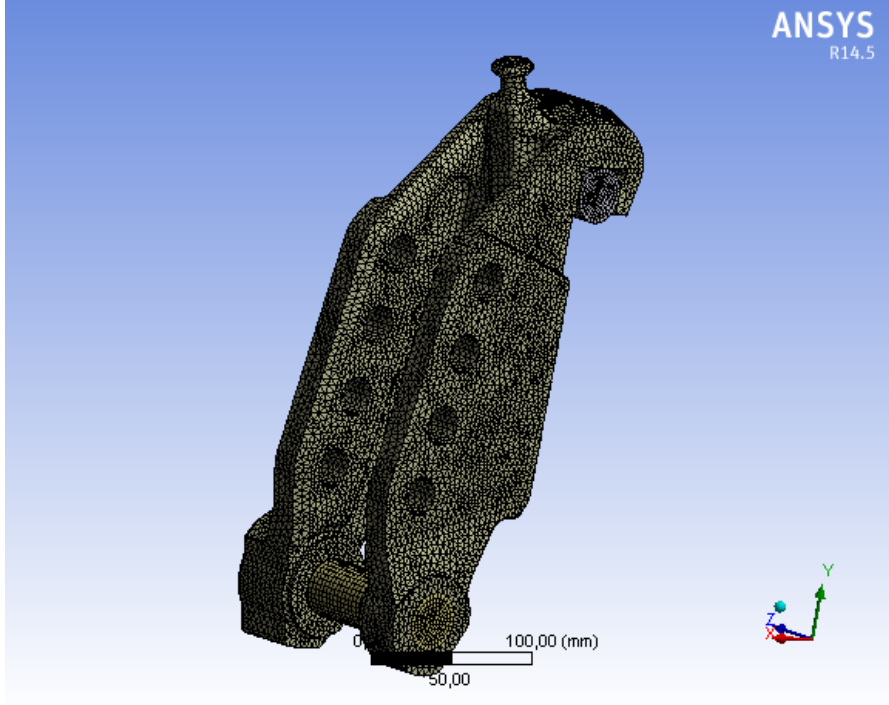
### 3.2.1 ANSYS ile gerilme analizi

Bu çalışmada yük algılayıcı pimin çalışma esnasında montajlı olduğu reaksiyon mesnedine çeşitli senaryolar dâhilinde gelen kuvvetler ve reaksiyon mesnedinin bağlı olduğu hidrolik kaldırıcı gövdesi ile birlikte bu kuvvetler karşısındaki davranışı SEY ile gerilme analizi yapabilen ANSYS (R 14.5) programı kullanılarak incelenmiştir.

ANSYS programı ile sonlu elemanlar analizi yapılacak olan reaksiyon mesnedinin 3D (üç boyutlu) model genel görünüşü Şekil 3.8' de verilmiştir. Reaksiyon mesnedinin ANSYS içinde oluşturulan mesh yapısı Şekil 3.9'da verilmiştir. Analizlerde malzeme olarak GGG50 (küresel grafitli dökme demir) tanımlanmıştır. Konstrüksiyon olarak strain-gage uygulamasına en elverişli bölgedeki gerilmelere bakılarak uygulanan kuvvet değişimleriyle orantılı bir gerilme değişiminin olup olmadığı, bununla birlikte bağlantı deliğinin değiştirilerek uygulanan kuvvet noktasına göre gerilmede orantılı bir değişim olup olmadığına bakılmıştır.

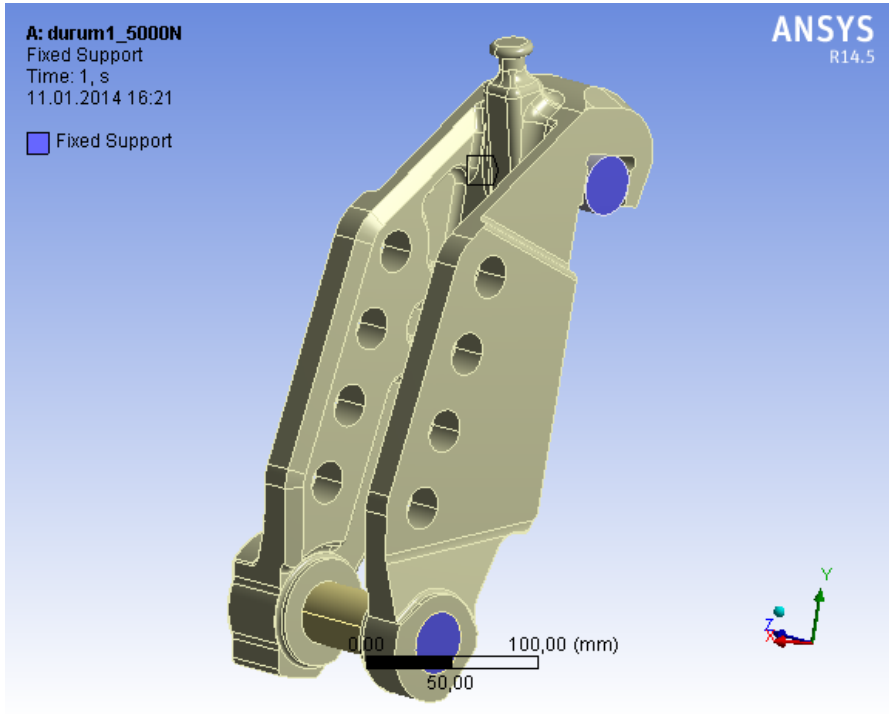


Şekil 3.8. ANSYS programı ile analiz yapılacak 3D model genel görünüşü



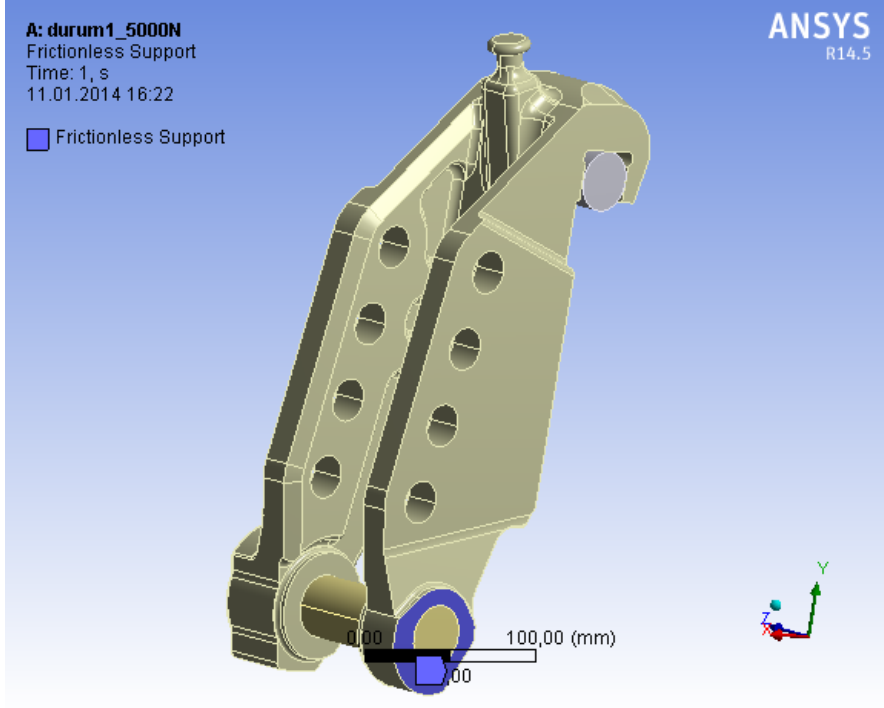
Şekil 3.9. Reaksiyon mesnedi mesh yapısı

Materyal olarak kullanılan hidrolik kaldırıcı da reaksiyon mesnedini hidrolik kaldırıcı gövdesine bağlayan pimler sabit olduğundan (Şekil 3.10) analizlerde reaksiyon mesnedinin bağlandığı 2 adet pim “Sabit Destek” (Fixed Support) olarak tanımlanmıştır. Bu pimler ile reaksiyon mesnedi arasındaki sürtünme ihmal edilerek sürtünmesiz olarak tanımlanmıştır (Şekil 3.11). Hidrolik kaldırıcı reaksiyon mesnedinin (Şekil 3.1) çalışma esnasında maruz kaldığı kuvvetler Kısım 3.1.1’de tanımlanmıştır. Buna göre analizlerde reaksiyon mesnedi üstten ikinci deliğe 5kN (Şekil 3.12), 15 kN (Şekil 3.13) ve 25 kN (Şekil 3.14) yüklemeleri yapılmıştır. Kuvvet uygulama noktasının değişiminin strain-gage uygulama noktasında oluşacak gerilmeleri nasıl etkilediğini belirlemek için de üstten 2. deliğe uygulanan kuvvetler üstten 3. deliğe de uygulanmıştır. Bu şekilde 3. deliğe 5kN (Şekil 3.15), 15 kN (Şekil 3.16) ve 25 kN (Şekil 3.17) yüklemeleri yapılmıştır. Kuvvet yüklemelerinin tamamı analizlerde yatak yükü (bearing load) olarak tanımlanmıştır.

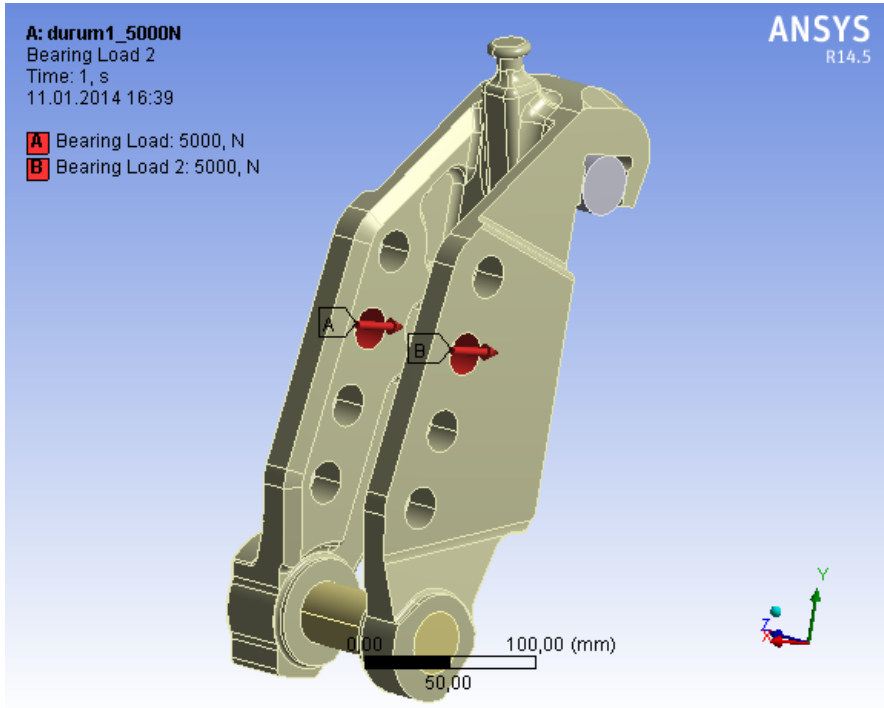


Şekil 3.10. Reaksiyon mesnedi sabit destek bağlantı pimleri

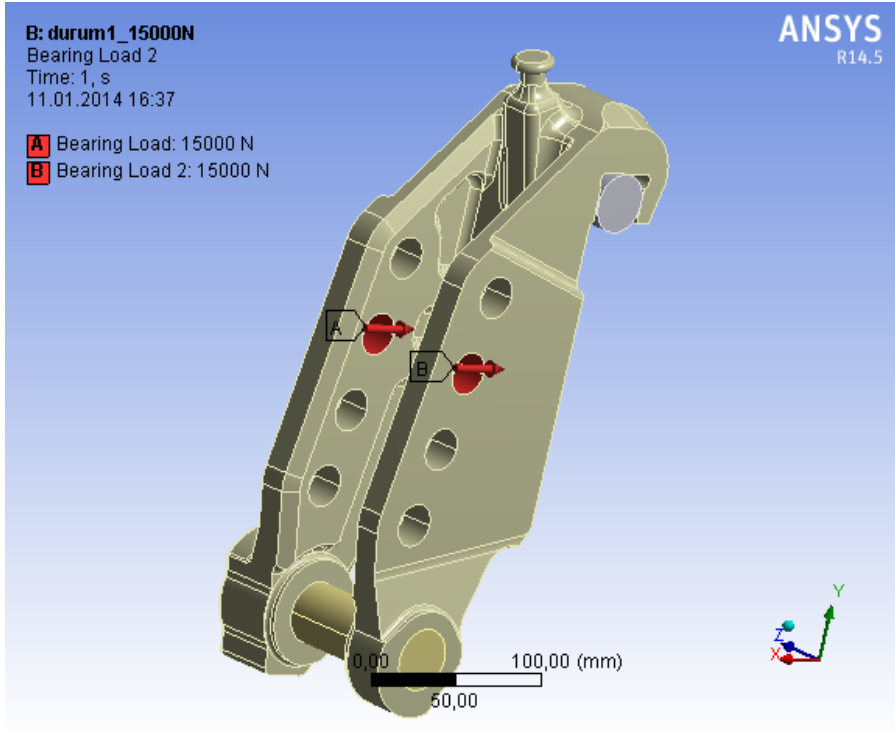




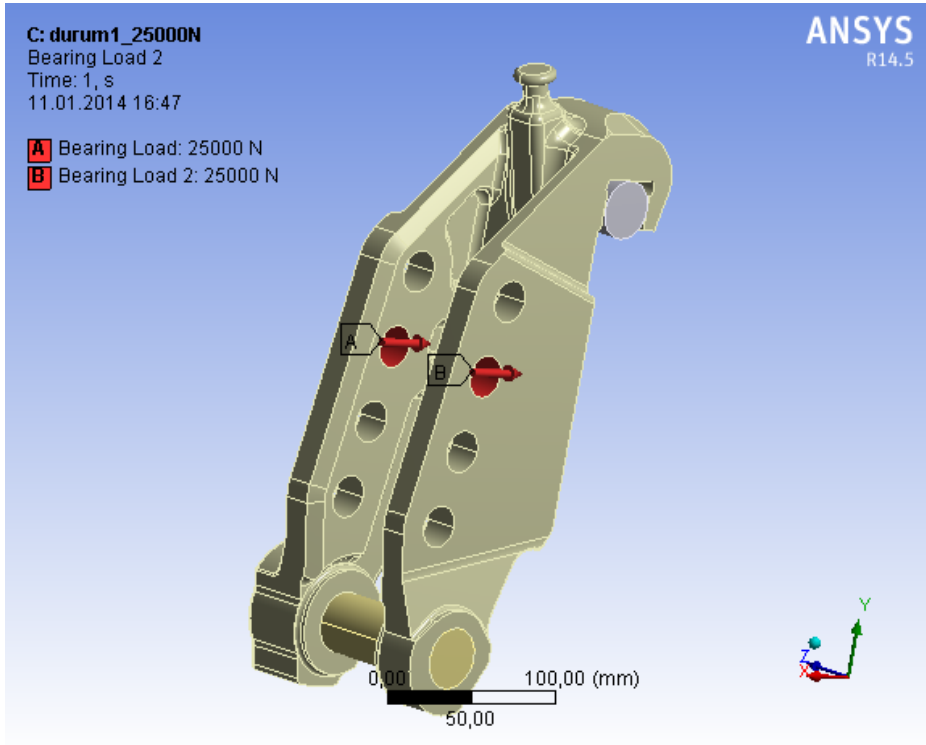
Şekil 3.11. Reaksiyon mesnedi alt bağlantı pimi sürtünmesiz bağlantı



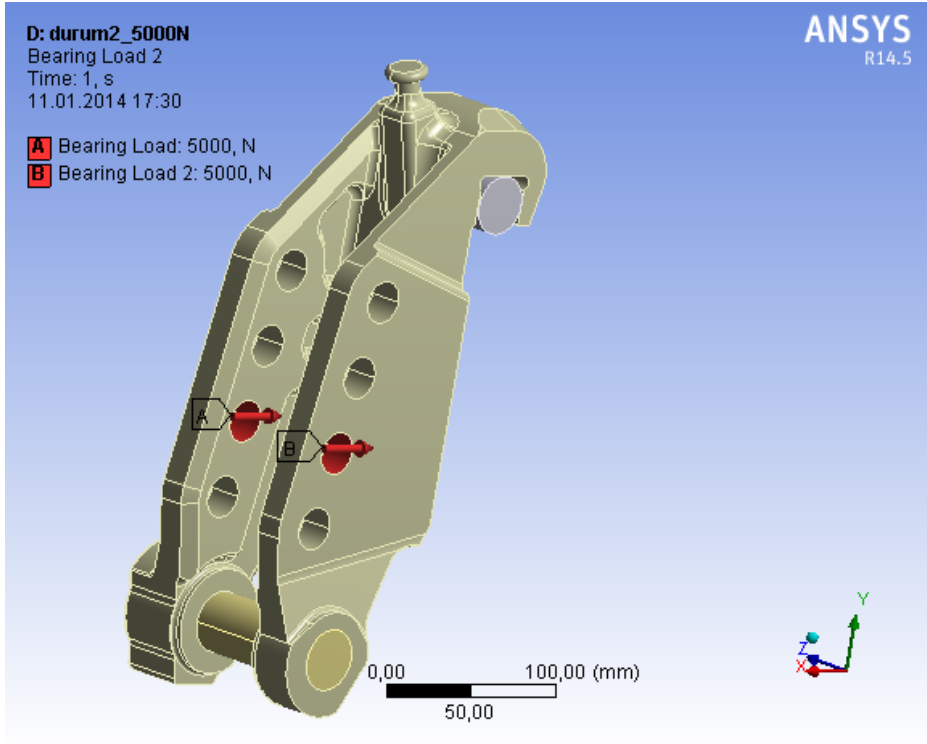
Şekil 3.12. Reaksiyon mesnedi 2. delik 5 kN kuvvet uygulama noktaları



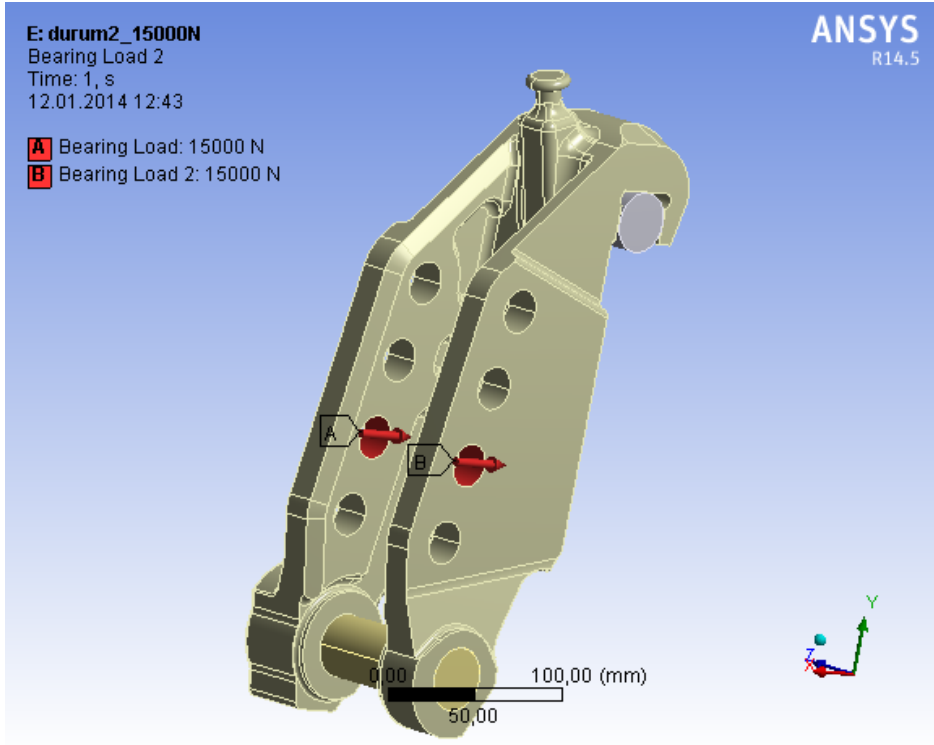
Şekil 3.13. Reaksiyon mesnedi 2. delik 15 kN kuvvet uygulama noktaları



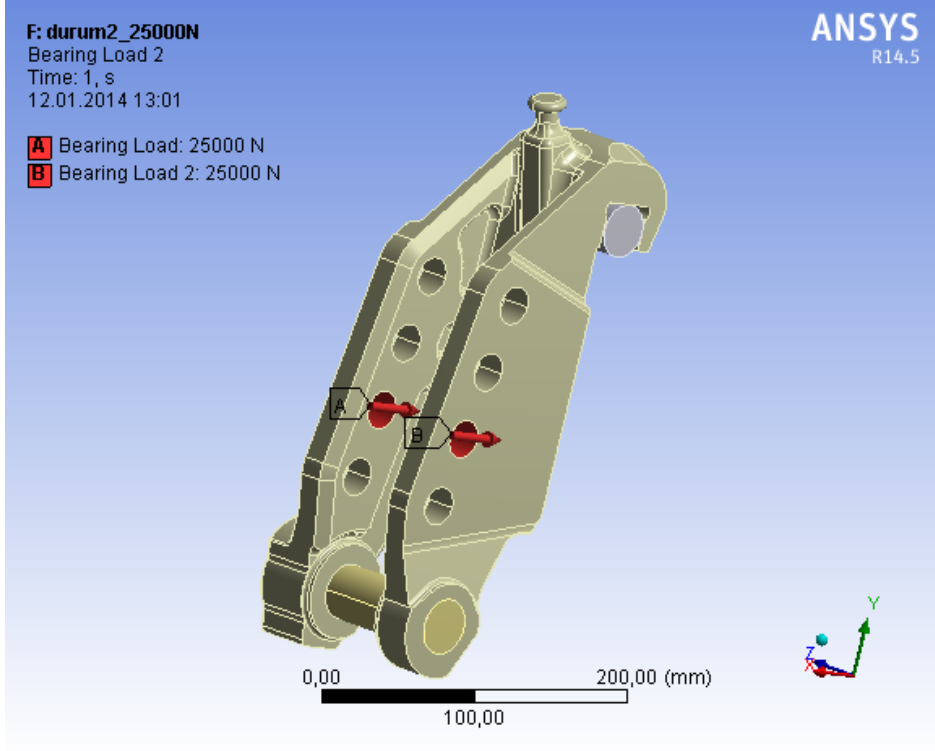
Şekil 3.14. Reaksiyon mesnedi 2. delik 25 kN kuvvet uygulama noktaları



Şekil 3.15. Reaksiyon mesnedi 3. Delik 5 kN kuvvet uygulama noktaları



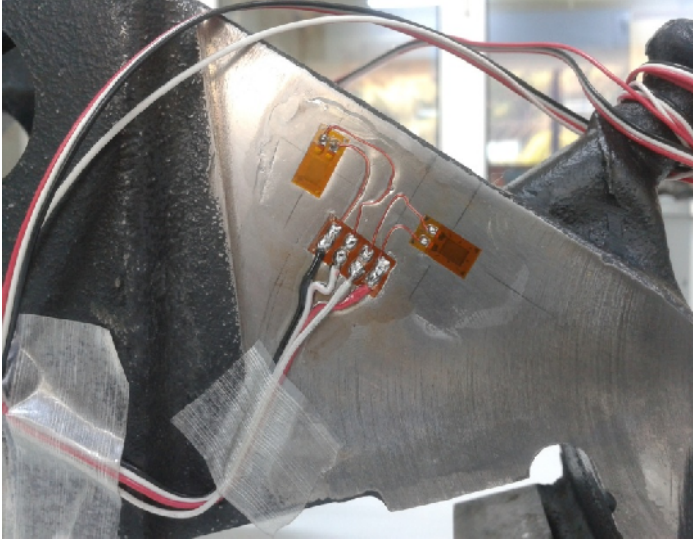
Şekil 3.16. Reaksiyon mesnedi 3. delik 15 kN kuvvet uygulama noktaları



Şekil 3.17. Reaksiyon mesnedi 3. delik 25 kN kuvvet uygulama noktaları

### 3.2.2 Elektriksel strain-gage

Bu çalışmada ölçümler oda sıcaklığında yapıldığı için sıcaklığın etkisi ihmal edilerek Şekil 3.4 ile verilen dörtte bir Wheatstone köprüsü kullanılmıştır. Çalışmada dinamik yükleme koşullarında tel strain-gage'in zamanla değişmesi durumu için ölçüm yapılmıştır. Dikdörtgen rozet tipi kullanılmış ve elemanlar  $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$  doğrultularında yerleştirilmiştir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Elemanların 0°-90° doğrultularında yerleştirildiği dikdörtgen rozetlerin test düzeneğinde kullanımı

### 3.2.3 Test Yöntemi

Raksiyon mesnedine yapılan strain-gage uygulaması (Şekil 3.18) sonrası Şekil 3.7'ye uygun şekilde kurulan test düzeneğinde Kısım 3.1.1'de tanımlanan ve reaksiyon mesnedine orta kol vasıtası ile gelen en fazla 25 kN basma yükü yükleme silindiri vasıtasıyla uygulanmıştır. Sadece en yüksek basma yükü değil bununla birlikte değişik toprak koşullarında oluşabilecek daha düşük yükleri de test edebilmek için 0'dan 25 kN'a kadar zamana bağlı kuvvet uygulanması planlanmıştır. Ancak 22 kN üzeri uygulamalarda sistem stabil olmaktan uzaklaştığı için yükleme silindiri ile uygulanan yükleme kuvveti 22 kN ile sınırlandırılmıştır. Yükleme kuverinin (silindir kuvveti) 0'dan 22 kN'a kadar 15 saniyede ulaşılması hedeflenmiştir. Bu süre ölçüm ekipmanlarının sağlıklı veri kaydı yapabileceği makul bir değerdir.

Ölçüm işlemi; silindir kuvveti, load pin kuvveti ve elektriksel değerleri load pin kuvvetine göre kalibre edilerek okunan strain-gage kuvvetinin eş zamanlı olarak kaydedilmesi suretiyle yapılmıştır.

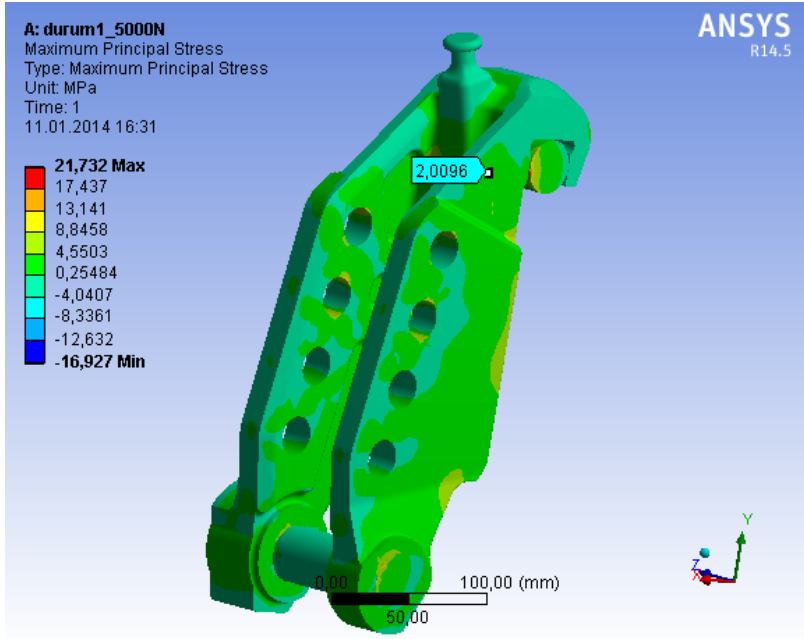
Aynı silindir (yükleme) kuvvetine karşılık strain-gage ve load pin kuvvetleri arasında korelasyon olup olmadığı araştırılmıştır.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

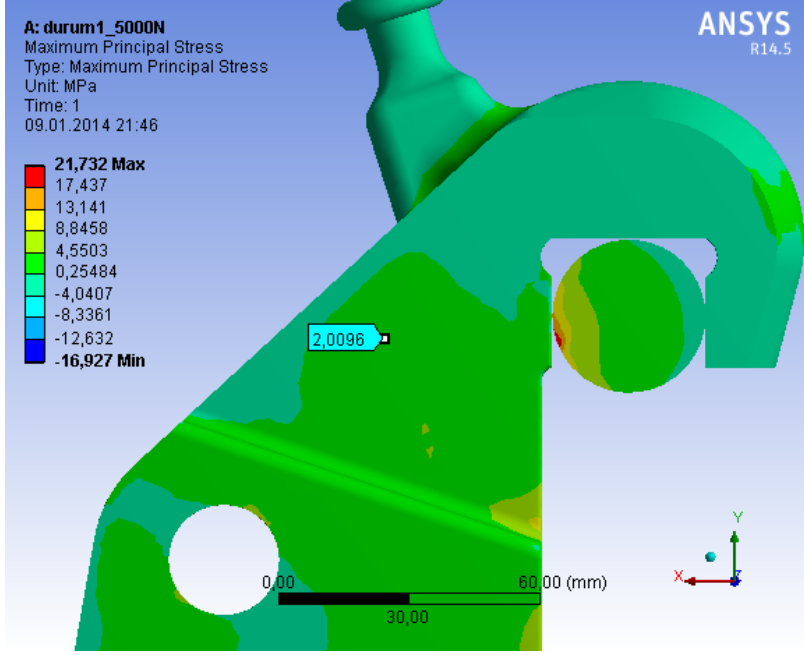
### 4.1. ANSYS Sonuçları

#### 4.1.1 Reaksiyon mesnedi üstten 2. deliğe 5 kN kuvvet uygulanmış analiz sonuçları

Kısım 3.2.1’de tanımlandığı şekilde analiz edilmek üzere hazırlanan 3D model (üç boyutlu model) üstten ikinci deliğe 5 kN kuvvet uygulanarak (Şekil 3.12) analiz edilmiştir. Analiz sonucunda strain-gage uygulaması yapılacak bölgedeki gerilme değeri 2,0096 MPa olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.1). Strain-gage uygulaması yapılacak bölge Şekil 4.2’de detay görünüş olarak verilmiştir.



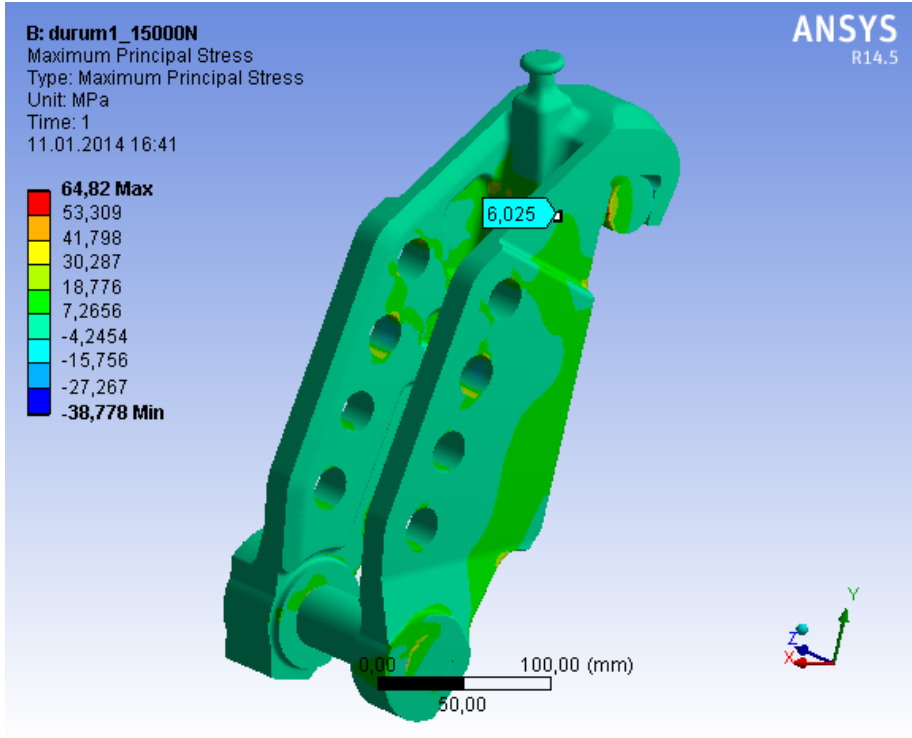
Şekil 4.1. Strain-gage uygulama noktasındaki gerilme, 2. delik 5 kN



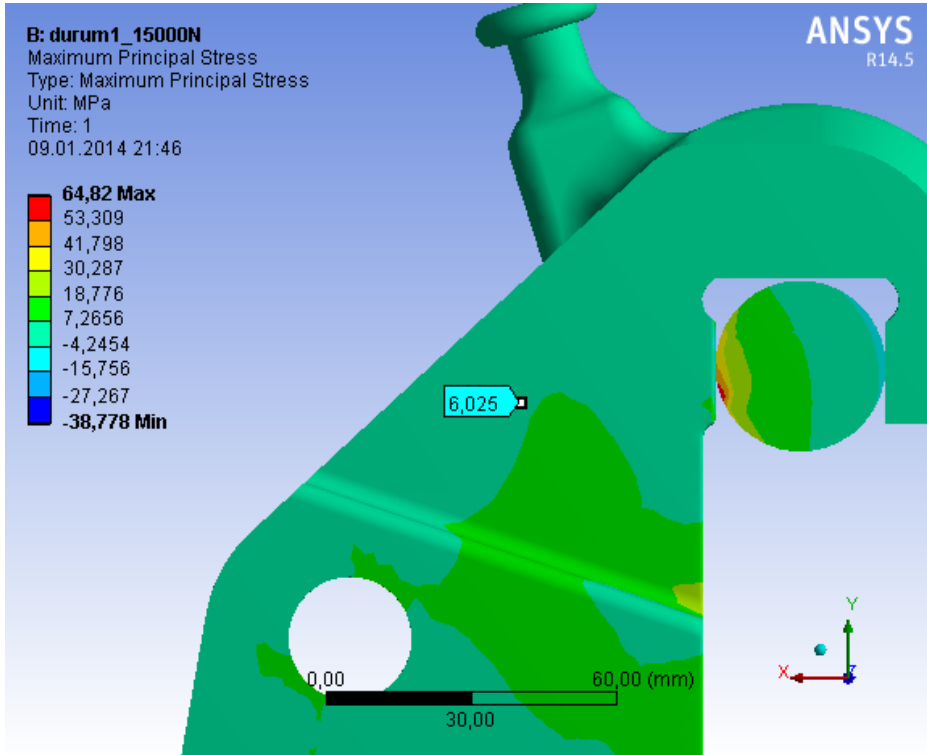
Şekil 4.2. Strain-gage uygulama noktasındaki gerilme detayı, 2. delik 5 kN

#### 4.1.2 Reaksiyon mesnedi üstten 2. deliğe 15 kN kuvvet uygulanmış analiz sonuçları

Kısım 3.2.1’de tanımlandığı şekilde analiz edilmek üzere hazırlanan 3D model üstten ikinci deliğe 15 kN kuvvet uygulanarak (Şekil 3.13) analiz edilmiştir. Analiz sonucunda strain-gage uygulaması yapılacak bölgedeki gerilme değeri 6,025 MPa olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.3). Strain-gage uygulaması yapılacak bölge Şekil 4.4’de detay görünüş olarak verilmiştir.



Şekil 4.3. Strain-gage uygulama noktasındaki gerilme, 2. delik 15 kN

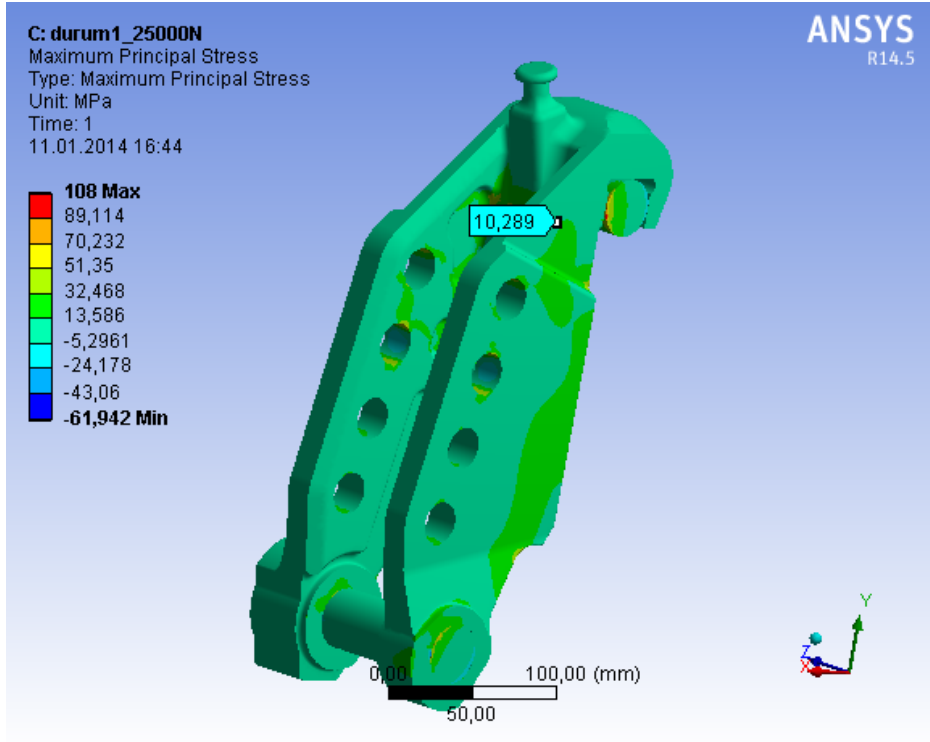


Şekil 4.4. Strain-gage uygulama noktasındaki gerilme detayı, 2. delik 15 kN

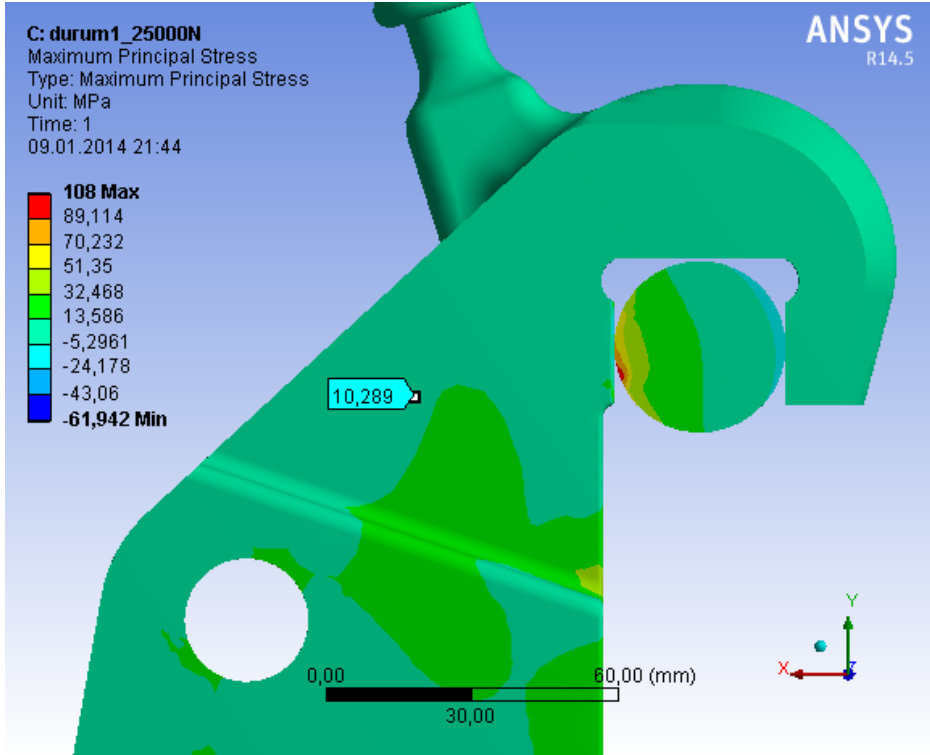


#### 4.1.3 Reaksiyon mesnedi üstten 2. deliğe 25 kN kuvvet uygulanmış analiz sonuçları

Kısım 3.2.1’de tanımlandığı şekilde analiz edilmek üzere hazırlanan 3D model üstten ikinci deliğe 25 kN kuvvet uygulanarak (Şekil 3.14) analiz edilmiştir. Analiz sonucunda strain-gage uygulaması yapılacak bölgedeki gerilme değeri 10,289 MPa olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.5). Strain-gage uygulaması yapılacak bölge Şekil 4.6’da detay görünüş olarak verilmiştir.



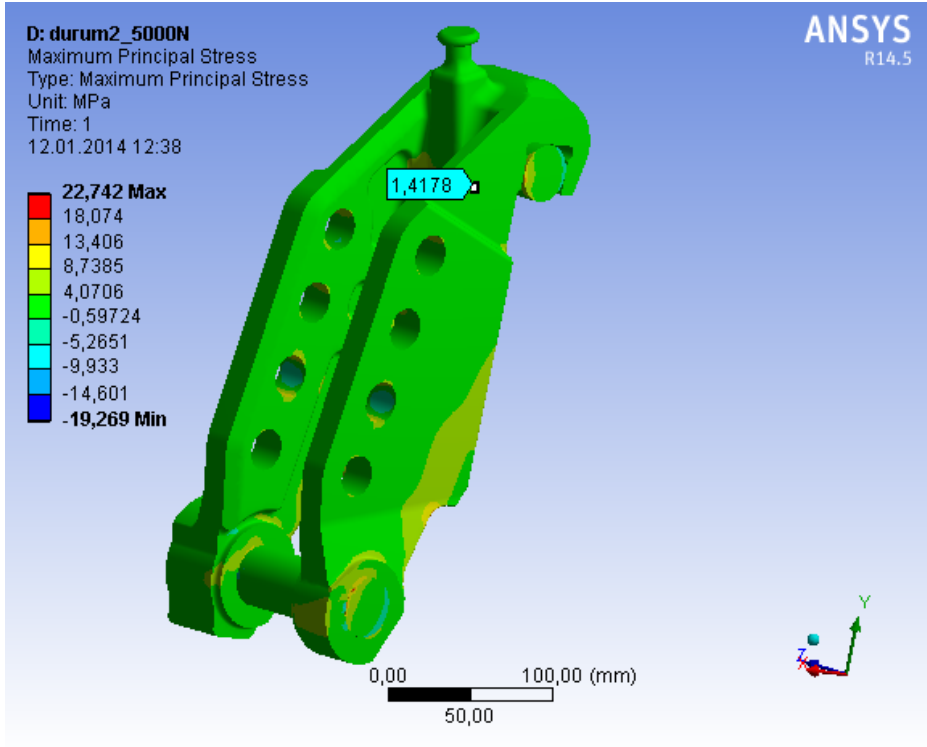
Şekil 4.5. Strain-gage uygulama noktasındaki gerilme, 2. delik 25 kN



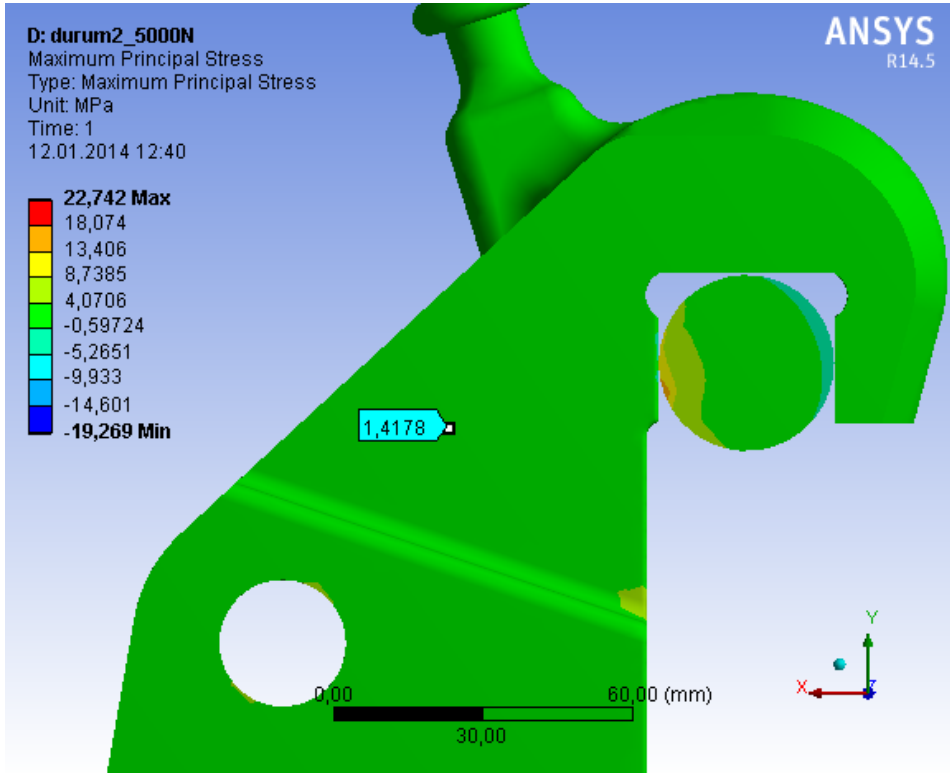
Şekil 4.6. Strain-gage uygulama noktasındaki gerilme detayı, 2. delik 25 kN

#### 4.1.4 Reaksiyon mesnedi üstten 3. deliğe 5 kN kuvvet uygulanmış analiz sonuçları

Kısım 3.2.1’de tanımlandığı şekilde analiz edilmek üzere hazırlanan 3D model üstten üçüncü deliğe 5 kN kuvvet uygulanarak (şekil 3.15) analiz edilmiştir. Analiz sonucunda strain-gage uygulaması yapılacak bölgedeki gerilme değeri 1,4178 MPa olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.7). Strain-gage uygulaması yapılacak bölge detay olarak Şekil 4.8’de detay görünüşü olarak verilmiştir.



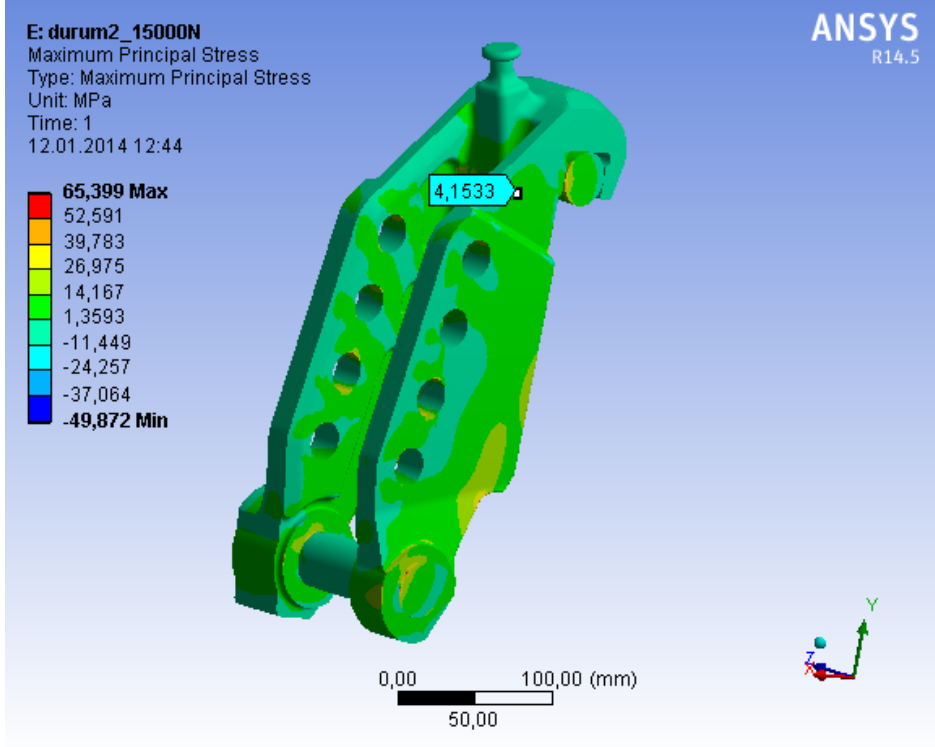
Şekil 4.7. Strain-gage uygulama noktasındaki gerilme, 3. delik 5 kN



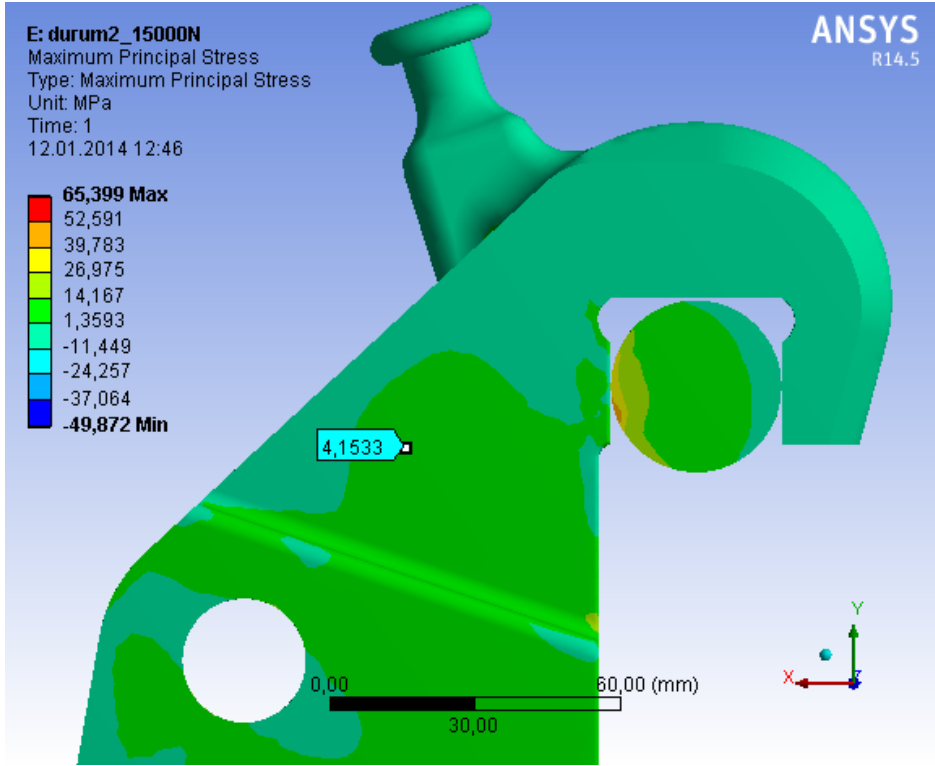
Şekil 4.8. Strain-gage uygulama noktasındaki gerilme detayı, 3. delik 5 kN.

#### 4.1.5 Reaksiyon mesnedi üstten 3. deliğe 15 kN kuvvet uygulanmış analiz sonuçları

Kısım 3.2.1’de tanımlandığı şekilde analiz edilmek üzere hazırlanan 3D model üstten üçüncü deliğe 15 kN kuvvet uygulanarak (Şekil 3.16) analiz edilmiştir. Analiz sonucunda strain-gage uygulaması yapılacak bölgedeki gerilme değeri 4,1533 MPa olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.9). Strain-gage uygulaması yapılacak bölge detay olarak Şekil 4.10’da detay görünüş olarak verilmiştir.



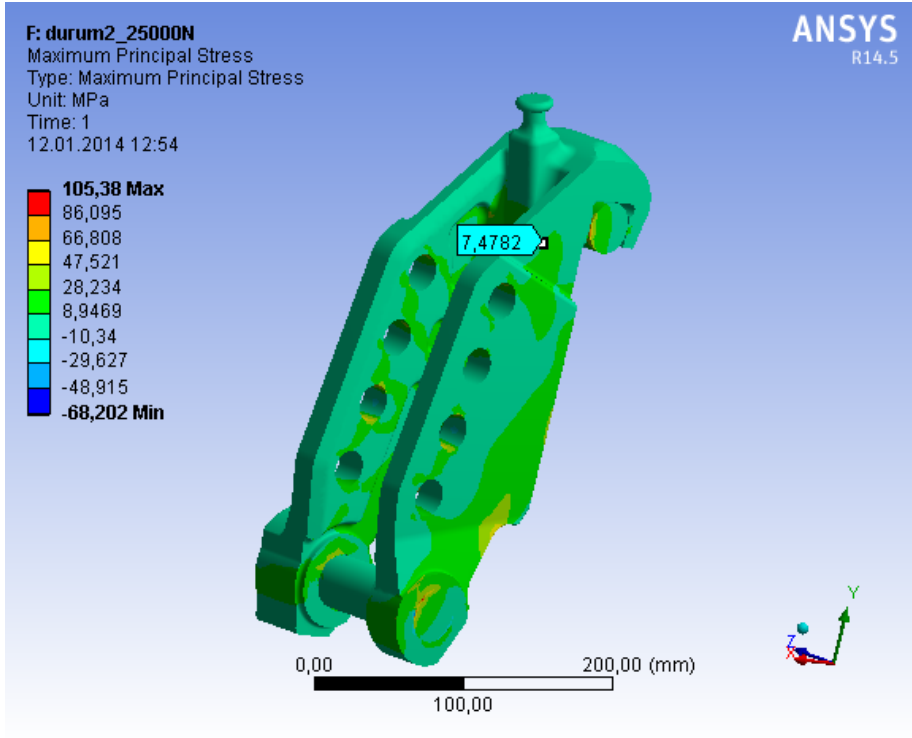
Şekil 4.9. Strain-gage uygulama noktasındaki gerilme, 3. delik 15 kN



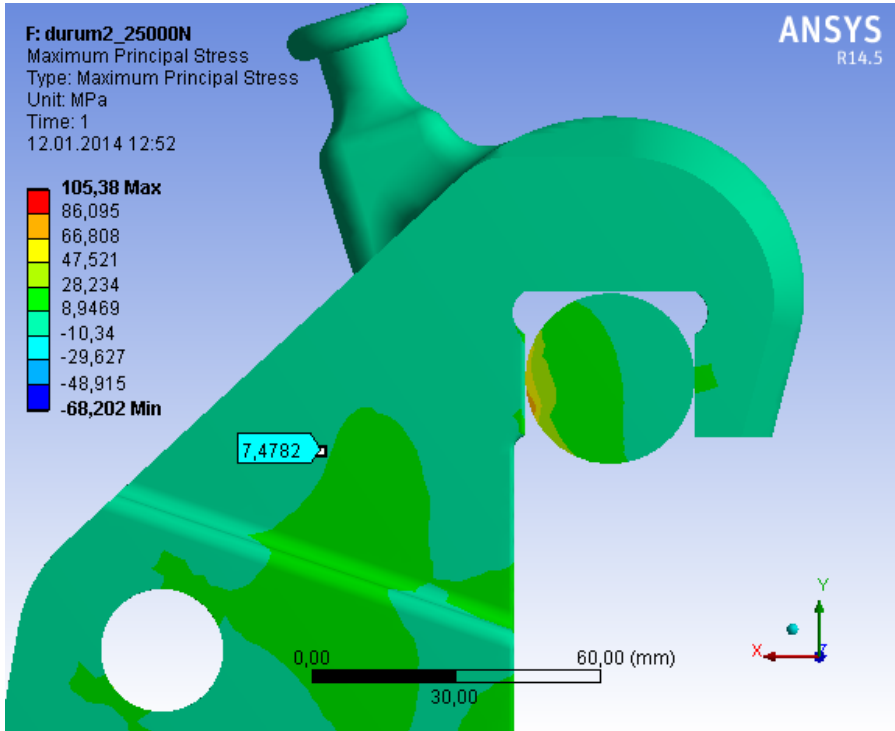
Şekil 4.10. Strain-gage uygulama noktasındaki gerilme detayı, 3. delik 15 kN

#### 4.1.6 Reaksiyon mesnedi üstten 3. deliğe 25 kN kuvvet uygulanmış analiz sonuçları

Kısım 3.2.1’de tanımlandığı şekilde analiz edilmek üzere hazırlanan 3D model üstten üçüncü deliğe 25 kN kuvvet uygulanarak (Şekil 3.17) analiz edilmiştir. Analiz sonucunda strain-gage uygulaması yapılacak bölgedeki gerilme değeri 7,4782 MPa olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.11). Strain-gage uygulaması yapılacak bölge detay olarak Şekil 4.12’de detay görünüş olarak verilmiştir.



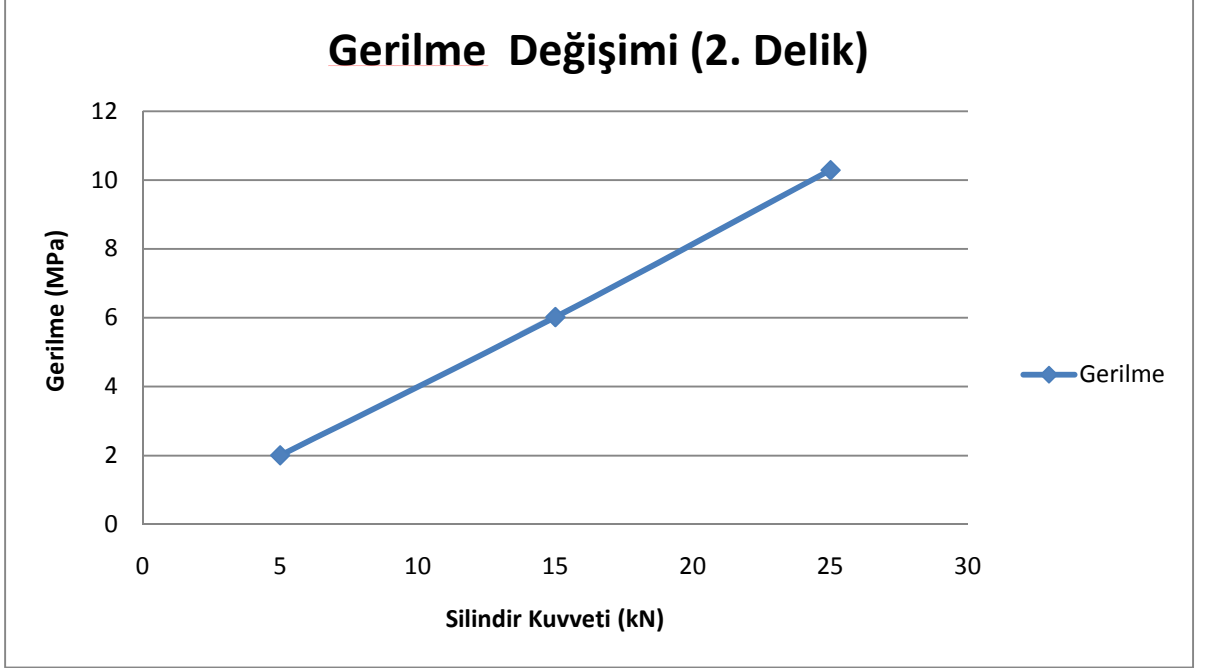
Şekil 4.11. Strain-gage uygulama noktasındaki gerilme, 3. delik 25 kN



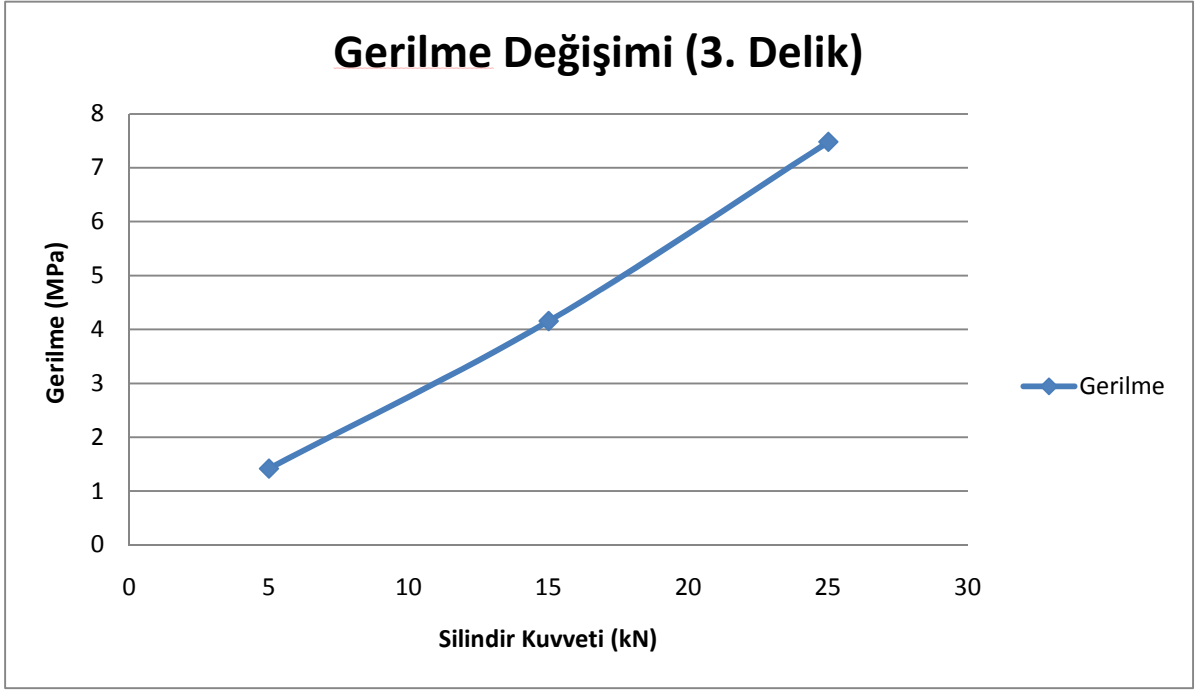
Şekil 4.12. Strain-gage uygulama noktasındaki gerilme detayı, 3. delik 25 kN

#### 4.1.7 Reaksiyon mesnedi üstten 2. ve 3. deliklere uygulanmış kuvvetlere karşılık oluşan gerilmelerin karşılaştırma sonuçları

Reaksiyon mesnedi üzerindeki üstten 2. delik ve üstten 3. delikten yapılan yüklemelere karşılık strain-gage uygulaması yapılacak bölgelerdeki gerilmelerin değişimi 2. delik için Şekil 4.13.'te, 3. delik için Şekil 4.14.'te verilmiştir.



Şekil 4.13. 2. delikten yapılan yükleme değişimlerine karşılık strain-gage uygulama bölgesindeki gerilmelerin değişimi



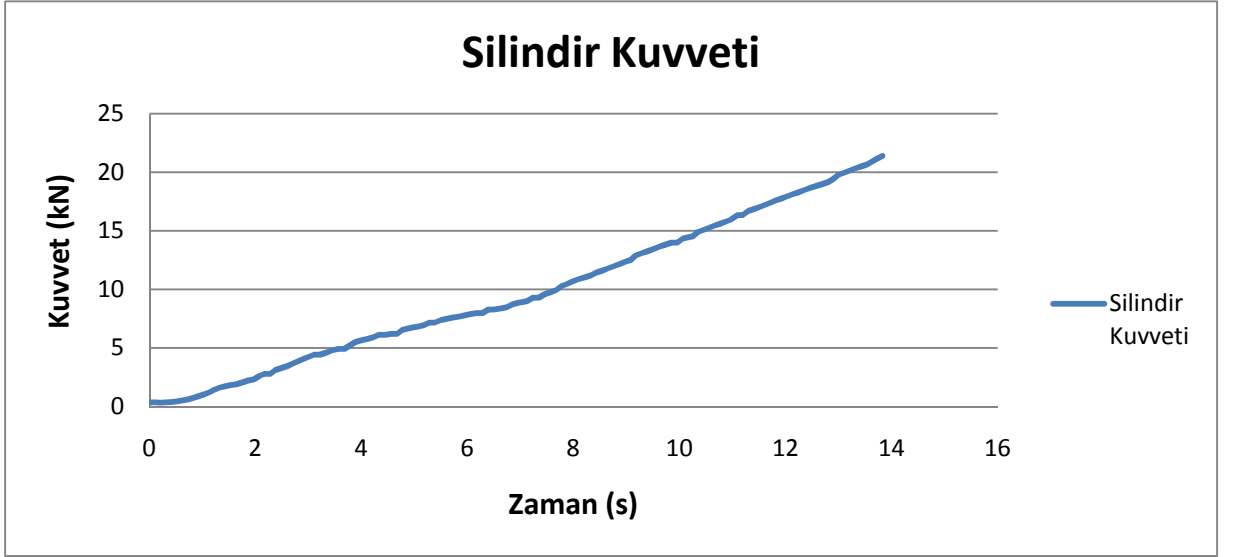
Şekil 4.14. 3. delikten yapılan yükleme değişimlerine karşılık strain-gage uygulama bölgesindeki gerilmelerin değişimi

#### 4.2. Test Sonuçları

Kısım 3.1.4’de tanıtılan test düzeneğinde, silindir kuvveti ile reaksiyon mesnedinin üstten 2. deliğine yük uygulanmış ve bu yük zamana bağlı olarak arttırılmıştır. Eş zamanlı olarak buna karşı oluşan, yük algılayıcı pim (load pin) ve strain-gage kuvvetleri zamana bağlı olarak ölçülerek test sonuçları aşağıda verilmiştir.

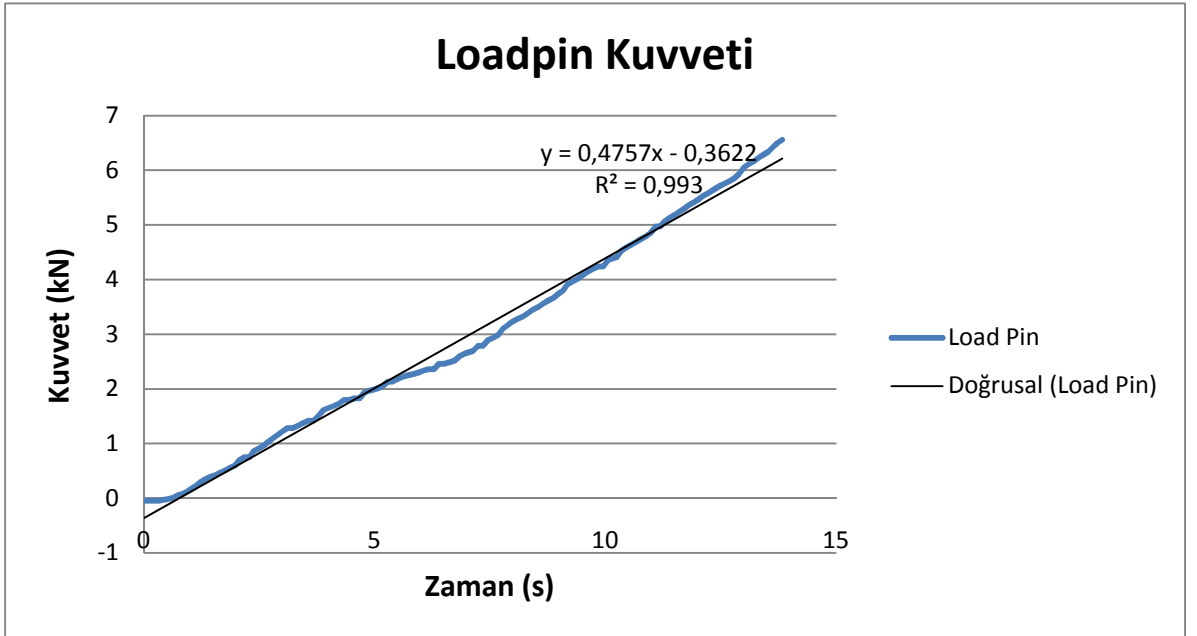
Şekil 4.15’de reaksiyon mesnedi üstten 2. delik bağlantısına uygulanan silindir kuvvetinin zamana bağlı artışı verilmiştir.





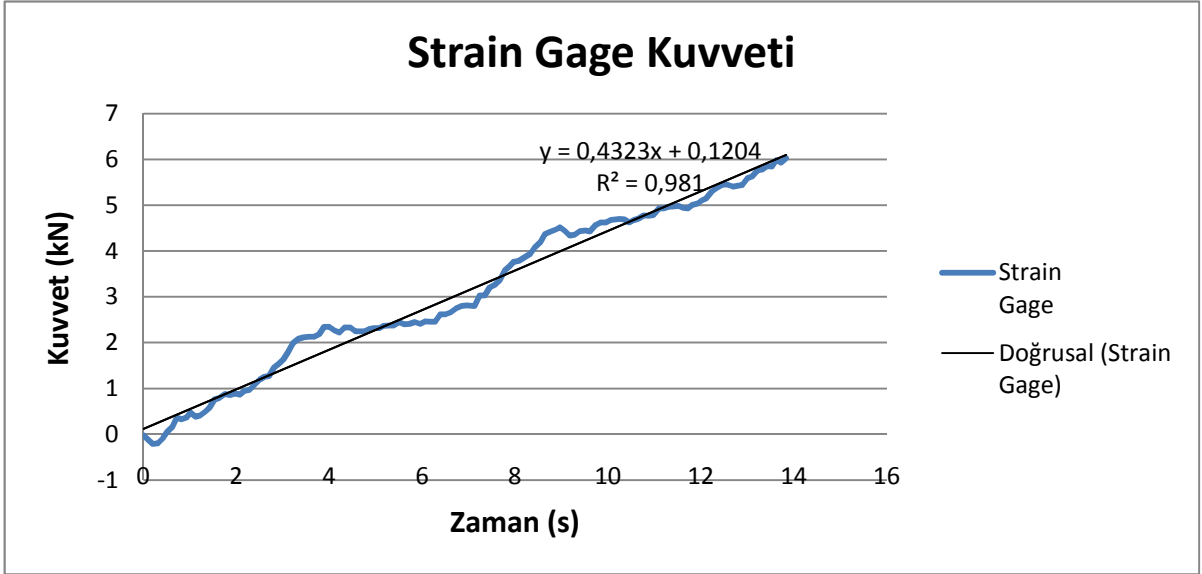
Şekil 4.15. Reaksiyon mesnedi üstten 2. delik bağlantısına uygulanan silindir kuvveti

Şekil 4.16.'da reaksiyon mesnedi üstten 2. delik bağlantısına uygulanan silindir kuvvetine karşılık yük algılayıcı pimde (load pin) oluşan kuvvetlerin zamana bağlı değişimi verilmiştir.



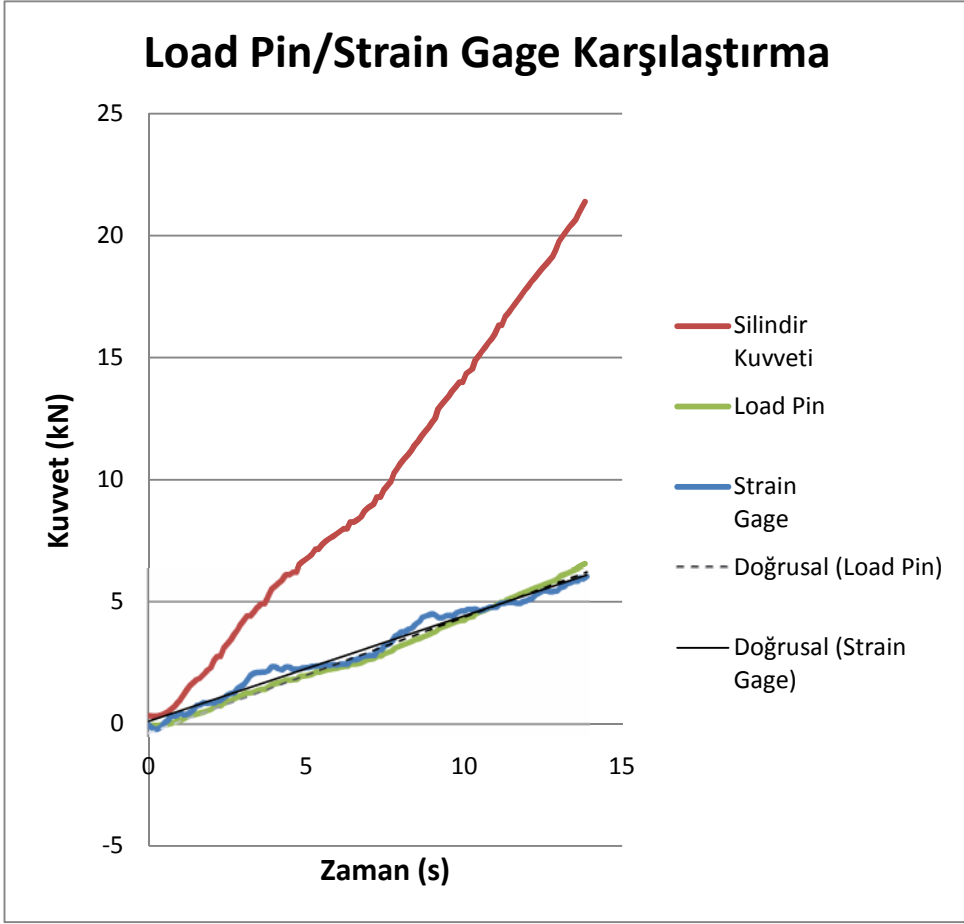
Şekil 4.16. Reaksiyon mesnedi üstten 2. delik bağlantısına uygulanan silindir kuvveti tesiriyle yük algılayıcı pim'de (load pin) oluşan kuvvet

Şekil 4.17.'de reaksiyon mesnedi üstten 2. delik bağlantısına uygulanan silindir kuvvetine karşılık strain gage' de oluşan kuvvetlerin zamana bağlı değişimi verilmiştir.



Şekil 4.17. Reaksiyon mesnedi üstten 2. delik bağlantısına uygulanan silindir kuvveti tesiriyle uygulanan strain-gage’de oluşan kuvvet

Şekil 4.18.’de reaksiyon mesnedi üstten 2. delik bağlantısına uygulanan silindir kuvvetine karşılık strain gage ve yük algılayıcı pim’de (load pin) oluşan kuvvetlerin zamana bağlı değişimi verilmiştir.



Şekil 4.18. Reaksiyon mesnedi üstten 2. delik bağlantısına uygulanan silindir kuvveti tesiriyle yük algılayıcı pim’de (Load Pin) oluşan kuvvet ile strain-gage’de oluşan kuvvetlerin karşılaştırma grafiği

Strain gage’den okunan kuvvet değerleri ile load pin’den okunan kuvvet değerleri arasında korelasyon analizi yapılmıştır. 129 adet veri için korelasyon katsayısı 0,98655 olarak bulunmuştur. Korelasyon katsayısı veri miktarı ile birlikte değerlendirilerek aralarında korelasyon olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca aynı sayıda veri için load pin ve strain gage ile ayrı ayrı silindir kuvveti arasında korelasyon araştırılmış; silindir kuvveti ile load pin arasında 0,99998, silindir kuvveti ile strain gage arasında 0,98655 korelasyon katsayıları hesaplanarak kuvvetli korelasyon teyit edilmiştir.

Reaksiyon mesnedi üstten 2. delik bağlantısına uygulanan silindir kuvveti tesiriyle yük algılayıcı pim’de (Load Pin) ile strain-gage’de oluşan kuvvetlerin karşılaştırma tablosu Çizelge 4.1. ‘de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Reaksiyon mesnedi üstten 2. delik bağlantısına uygulanan silindir kuvveti tesiriyle yük algılayıcı pim’de (Load Pin) oluşan kuvvet ile strain-gage’de oluşan kuvvetlerin karşılaştırma çizelgesi

Zaman (s)	Silindir Kuvveti (kN)	Load Pin Kuvveti (kN)	Strain Gage Kuvveti (kN)
0	0,344535	-0,046810201	-0,021904027
0,109375	0,337085	-0,046267257	-0,129577852
0,203125	0,334236	-0,047309851	-0,212948993
0,3125	0,341778	-0,047603286	-0,195568456
0,421875	0,386921	-0,028225765	-0,083210067
0,515625	0,438893	-0,018071403	0,064642617
0,625	0,508906	0,004107502	0,159888591
0,71875	0,604624	0,044460653	0,361011074
0,828125	0,726224	0,076839614	0,324998322
0,921875	0,864781	0,119054579	0,36383557
1,015625	1,010427	0,165479239	0,473237248
1,125	1,203468	0,220454509	0,380607383
1,21875	1,413575	0,287866879	0,407828523
1,328125	1,595105	0,345080033	0,492561409
1,421875	1,701813	0,386854175	0,576007718
1,53125	1,819532	0,418542953	0,759747315
1,625	1,876997	0,45882972	0,790036007
1,75	2,032764	0,50340823	0,881406376
1,859375	2,200088	0,557780665	0,855940268
1,96875	2,311036	0,600145235	0,889277181
2,078125	2,608907	0,702130957	0,862124832
2,171875	2,774987	0,749070186	0,947531879
2,28125	2,774987	0,749070186	0,967531879
2,375	3,106864	0,861394283	1,060943624
2,5	3,291799	0,915808883	1,191221477
2,609375	3,461708	0,970355336	1,25856443
2,703125	3,658963	1,036148446	1,268655369
2,8125	3,863785	1,105058076	1,457628188
2,90625	4,061875	1,167617947	1,533730872
3,015625	4,24708	1,230221182	1,629822483
3,109375	4,423612	1,280986405	1,789450671
3,21875	4,423612	1,280986405	1,989450671
3,328125	4,59023	1,324932705	2,081772483
3,4375	4,760622	1,373369594	2,117872819
3,5625	4,919697	1,420152506	2,126874497
3,671875	4,919697	1,420152506	2,126874497
3,78125	5,221556	1,513569947	2,181898322
3,890625	5,523617	1,613826605	2,345551007
4	5,645576	1,652467959	2,346434899
4,109375	5,764598	1,687870537	2,269674497

4,21875	5,88177	1,728420438	2,216987584
4,328125	6,099117	1,795204354	2,334801342
4,453125	6,099117	1,795204354	2,334801342
4,5625	6,202906	1,829043136	2,249189597
4,671875	6,202906	1,829043136	2,249189597
4,765625	6,524486	1,929288241	2,248346644
4,859375	6,62685	1,963152747	2,299342617
4,96875	6,730844	1,985889009	2,31502047
5,078125	6,836017	2,01306345	2,319623826
5,171875	6,934301	2,05220408	2,36885302
5,28125	7,146565	2,130370046	2,371302685
5,375	7,146565	2,130370046	2,371302685
5,5	7,361154	2,185273754	2,446958054
5,609375	7,470508	2,220776466	2,400935235
5,71875	7,578283	2,247165852	2,407640604
5,84375	7,676179	2,270417014	2,446857718
5,953125	7,776437	2,301673933	2,410467114
6,0625	7,879897	2,33897548	2,461736577
6,171875	7,982313	2,360617382	2,454494966
6,28125	7,982313	2,360617382	2,454494966
6,390625	8,26417	2,459719933	2,621280201
6,5	8,26417	2,459719933	2,621280201
6,609375	8,361338	2,485037151	2,660026174
6,734375	8,468461	2,516638536	2,75165302
6,84375	8,716391	2,602461769	2,798145638
6,953125	8,852789	2,64709593	2,81252047
7,125	8,993884	2,692016224	2,802560403
7,234375	9,291051	2,786573989	3,032571477
7,34375	9,291051	2,786573989	3,032571477
7,453125	9,587322	2,890539787	3,20772349
7,5625	9,753302	2,935159814	3,25839396
7,671875	9,928875	2,98940503	3,365959396
7,78125	10,278842	3,104894924	3,580717114
7,875	10,463609	3,160478561	3,665424832
7,96875	10,64452	3,219564179	3,760572483
8,078125	10,839801	3,271693841	3,784840604
8,21875	11,01842	3,329227984	3,877710403
8,328125	11,201818	3,393082541	3,936754027
8,421875	11,401599	3,450823335	4,080748993
8,546875	11,591206	3,50134632	4,199210403
8,640625	11,778838	3,557388021	4,368416107
8,75	11,963529	3,612881101	4,42167047
8,875	12,147772	3,668284961	4,469777517
8,96875	12,331846	3,733780838	4,51452953
9,078125	12,51435	3,794261115	4,435251342
9,171875	12,886791	3,912355739	4,337946644

9,28125	13,072697	3,96244158	4,355944966
9,390625	13,251272	4,009313788	4,436401678
9,515625	13,43195	4,08043829	4,447661409
9,609375	13,618185	4,139137491	4,425061745
9,734375	13,806507	4,196582582	4,565637919
9,84375	13,988684	4,242807028	4,622838255
9,953125	13,988684	4,242807028	4,622838255
10,0625	14,347454	4,360464092	4,679571477
10,25	14,528182	4,414527343	4,698857383
10,34375	14,888787	4,527236795	4,695899664
10,453125	15,069537	4,588273053	4,620948322
10,546875	15,245488	4,634493279	4,671247651
10,65625	15,429052	4,684202856	4,708632886
10,765625	15,601727	4,74594133	4,777147651
10,875	15,777454	4,792907385	4,77218255
10,96875	15,957348	4,850480696	4,781309732
11,09375	16,324716	4,973838248	4,929829195
11,1875	16,324716	4,973838248	4,929829195
11,296875	16,676647	5,077543146	4,966681208
11,40625	16,852118	5,139929142	4,974441611
11,515625	17,030127	5,196555755	4,982537584
11,609375	17,207481	5,247425676	4,944878859
11,71875	17,391474	5,30726884	4,930775168
11,8125	17,574891	5,366337132	5,008166443
11,921875	17,753034	5,415063704	5,032598658
12,015625	17,917678	5,472439577	5,105914094
12,109375	18,088517	5,526530312	5,14763557
12,234375	18,269334	5,584454143	5,298310403
12,34375	18,455448	5,643972804	5,374242282
12,46875	18,645687	5,708129028	5,452388926
12,578125	18,809124	5,757625453	5,447631879
12,6875	18,97072	5,806008457	5,403722483
12,796875	19,143542	5,858029064	5,425801007
12,890625	19,389888	5,933471418	5,442147987
13	19,763157	6,055742136	5,583672483
13,09375	19,93757	6,105305355	5,620604362
13,21875	20,162486	6,169238181	5,758368792
13,328125	20,358411	6,237024826	5,782630537
13,421875	20,478391	6,283999079	5,85430604
13,53125	20,654752	6,341740612	5,842398993
13,625	20,89943	6,425596203	5,987162416
13,71875	21,125299	6,491559953	5,930172148
13,828125	21,385095	6,557791635	6,028374161

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuç

Bu çalışmada, traktörlerde kullanılan elektro-hidrolik kaldırıncıların yük algılayıcı pimlerinin (kuvvet sensörü) yerine alternatif olarak daha basit bir tasarım yapılarak fonksiyon kaybı olmaksızın aynı işlev sağlanmıştır.

Yük algılayıcı pimin çalışma esnasında montajlı olduğu reaksiyon mesnedine çeşitli senaryolar dahilinde gelen kuvvetler ve reaksiyon mesnedinin bağlı olduğu hidrolik kaldırıcı gövdesi ile birlikte bu kuvvetler karşısındaki davranışı ANSYS programı kullanılarak incelenmiştir. İnceleme sonucunda strain-gage uygulamasına konstrüksiyon olarak en uygun bölgedeki gerilmelerin uygulama kuvvetine göre oransal olarak değiştiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte kuvvetin uygulama noktası da değiştirilerek benzer şekilde strain-gage uygulama noktasındaki gerilme değişimlerinin oransal değişimi doğrulanmıştır.

Strain-gage uygulaması sonrası sistem test düzeneğinde test edilerek sonuçlar incelenmiştir. Silindir kuvveti ANSYS analizlerindeki benzer şekilde üstten 2. delikten uygulanarak strain-gage' ten elektriksel değerler alınmıştır. Bu değerler sistem üzerinde eş zamanlı ölçülen ve değer alınan yük algılayıcı pim ile kalibre edilerek karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak sistemin orijinal yük algılayıcısı olan yük algılayıcı pim ile benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Mevcut reaksiyon mesnedi üzerinde hem uygulama kuvvetine karşılık doğrusal cevap verebilecek hem de pratikte konstrüksiyon olarak strain-gage uygulaması yapılabilecek bölgelerin kısıtlı olması nedeniyle uygulama bölgesi olarak düşük gerilmelerin olduğu bir bölge seçilmek zorunda kalınmıştır. Bu da ölçüm hassasiyetini bir miktar düşürmüştür. Bu nedenle strain-gage' den elde edilen kuvvet eğrisinin orijinal yük algılayıcı pimdence elde edilen kuvvet eğrisine göre bölgesel küçük sapmaları vardır. Buna rağmen traktör üzerindeki çalışma şartlarında kabul edilebilir toleranslar içinde olduğu değerlendirilmiştir.

Yük algılayıcı pimplere göre çok daha basit ve düşük maliyetli olan yeni tasarımın pratik olarak uygulanabilir ve fonksiyon olarak kabul edilebilir olduğu doğrulanmıştır.

## 5.2 Öneriler

Bu çalışma referans alınarak yeni bir mesnet dökümü tasarlanıp yüksek gerilmelerin olduğu bir uygulama bölgesi oluşturularak çok daha hassas bir kuvvet ölçüm sistemi tasarlanabilir.



## KAYNAKLAR

Anonim (2006). J.Deere TM2198 Teknik Servis Katalođu, Basım yer, Litho, USA.

Askari M, Komarizade MH, Nikbakht AM, Nobakht N, Teimourlou RF (2011). A novel three-point hitch dynamometer to measure the draft requirement of mounted implements. Res.Agr.Eng., 57(4):128-136.

Burn S (1996). US005682954A Nolu Patent Başvurusu.

Beer F, Johnston ER (2003). Cisimlerin Mukavemeti, Beta Basım Yayım, İstanbul.

Hoffmann K (2011). Practical Hints for the Installation of Strain Gages, HBM Publication, Almanya.

Lift H (1992). Hydraulik in der Landtechnik, Grundlagen, Anwendungen, Fehlersuche, Würzburg, Almanya.

Renius K (1985). Traktoren, Technik und ihre Anwendung, Münih, Almanya.

Savcı M, Arpacı A (1999). Mukavemet-Teorik ve Çözümlü Problemler, 2. Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Schafer R (1979). US4271910 Nolu Patent Başvurusu.

Sedoni C, Cevolini A (1994). EP0713637A1 Nolu Patent Başvurusu.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Coesfeld/Almanya 1975 yılında doğdu. Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden 1997 yılında mezun oldu. Halen Hema Endüstri A.Ş. hidrolik ürünler tasarım müdürü olarak görev yapmakta. Evli ve 1 çocuk babası.