

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAREKET ELDESİ İÇİN KULLANILAN LAMİNE KİRİŞLERİN MEKANİK
TASARIM VE ANALİZİ**

HASAN LAFCI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MAKİNE TEORİSİ VE KONTROL PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. CİHAN DEMİR**

İSTANBUL, 2018

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HAREKET ELDESİ İÇİN KULLANILAN LAMİNE KİRİŞLERİN MEKANİK
TASARIM VE ANALİZİ**

Hasan LAFCI tarafından hazırlanan tez çalışması 18.06.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Cihan DEMİR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Cihan DEMİR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Celaletdin ERGUN
İstanbul Üniversitesi

Doç. Dr. Semih SEZER
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Artan sanayi ve teknoloji gereksinimlerine paralel olarak gelişen malzeme bilimi sayesinde , günümüzde özel kullanım amaçları için üretilmiş birbirinden farklı çok katmanlı kiriş tasarımları mevcuttur.Bu çalışma, hareket eldesi üretmek ve bu hareketi tutma eylemine dönüştürebilen çok katmanlı bir kirişin tasarım ve analizlerini içermektedir. Söz konusu parçanın öncelikli olarak bilgisayar destekli tasarım ortamında katı modeli oluşturulup sonrasında bilgisayar destekli analiz ortamında analizi yapılmıştır. Tasarım parametrelerinin sisteme olan etkileri detaylı bir şekilde incelenerek bu alanda kaynak teşkil edebilecek sonuçlara ulaşılmıştır.Tezin son kısmında çalışma ile ilgili öneriler ve sonuçlar paylaşılmıştır.Çalışmanın oluşturulması sırasında yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Cihan DEMİR , Ford Otosan yöneticilerine ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Haziran, 2018

Hasan LAFCI

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	7
1.3 Hipotez	7
1.4 Konveksiyonel Çok Katmanlı Kirişler	9
1.5 Çok Katmanlı Malzemeler ve Robotik Alanda Kullanılması.....	10
BÖLÜM 2	
ROBOTİK.....	12
2.1 Robotik Tarihi	12
2.1.1 Robotik Alanın Kronolojisi	15
2.2 Robotiğin Yeni Bir Dalı - Yumuşak Robotik.....	17
BÖLÜM 3	
SAYISAL YÖNTEMLER	19
3.1 Sonlu Elemanlar.....	19
3.2 Hiperelastik Malzeme Özellikleri.....	20
3.3 Tasarım Akış Planı.....	22
BÖLÜM 4	
MODELLEME	23
4.1 Yumuşak Robotik Tasarımlar	23
4.2 Yumuşak Tutucular	24

4.3	Modellenecek Parça ve Özellikleri	26
4.4	Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması.....	29
4.4.1	Bigisayar Destekli Tasarım Modelin Oluşturulması	30
4.4.2	3D Modelin Oluşturulması	32
4.4.2.1	Malzeme Oluşturulması ve Özelliklerin Girilmesi	32
4.4.2.2	Kesit Oluşturma ve Atama.....	32
4.4.2.3	Montaj Oluşturma	33
4.4.2.4	Adım Oluşturulması	33
4.4.2.5	Parçalar Arasında Etkileşim Oluşturulması.....	34
4.4.3	2D Oluşturulması.....	38
BÖLÜM 5		
	İSTATİKSEL YÖNTEMLER.....	43
5.1	Deney Nedir.....	43
5.2	Deneyisel Test Tasarımı DOE Tanımı	43
5.3	Deney Tasarımı Tarihçesi.....	45
5.4	Faktoriyel Tanımı	46
5.4.1	Bir Faktörün etkisi.....	47
5.4.2	Etkileşim Etkisi.....	48
5.4.3	2K Tasarımı.....	48
5.5	Etken Parametrelerin Seçilmesi	50
5.6	İstatiksel İşlemler.....	52
BÖLÜM 6		
	ÖNCÜL SONUÇLAR VE GRAFİKLER.....	54
6.1	Öncül Sonuçlar	54
6.2	DOE için CAE Sonuçları	55
6.3	DOE Sonuçları.....	58
BÖLÜM 7		
	NİHAİ MODELLEME	67
7.1	3D Çalışmalar.....	67
7.1.1	Tek 3D Kol Modeli Analizi	73
7.1.2	Açılı 3D Tek Kol Modeli Analizi	76
7.1.3	Açılı 3 Kol 3D Modeli Analizi.....	78
7.1.4	Kol Tasarımı Sonuçlarının Karşılaştırılması	80
7.2	2D Çalışmaları.....	82
BÖLÜM 8		
	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	87
	KAYNAKÇA.....	89
	ÖZGEÇMİŞ	92

SİMGE LİSTESİ

b	Modellenen Parça Dış Genişliği
e	Young Modulu
f	Kuvvet
a	Modellenen Parça Dış Yüksekliği
ı	Genişlik
p	Basınç
x	x Eksen doğrultusu
y	y Eksen doğrultusu
z	z Eksen doğrultusu
δ	Yerdeğiştirme
Δ	Fark
YA+	A Yüksek Faktörü İçin Çıktı Değeri

KISALTMA LİSTESİ

BCs	Sınır Şartları
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım
CAE	Bilgisayar Destekli Mühendislik
CG	Ağırlık Merkezi
DOE	DeneySEL Test Tasarımı
FEA	Sonlu Elemanlar Analizi
FEs	Sonlu Elemanlar
HMI	İnsan Makine Etkileşimi
İmp	İmparatorluğu
Reg	Regresyon
RF	Reaksiyon Kuvveti
RSS	Robotik Bilimi ve Sistemleri

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1. 1 Katmanlarında potansiyel fark oluşturulan çok katmanlı kiriş	5
Şekil 1. 2 Piezoelektrik motorlar & yerdeğiştirmeleri formülleri	6
Şekil 1. 3 Elektriksel gerilim uygulanan ankastre kirişin “C” formu alması	8
Şekil 1. 4 Sıcaklık farkından burulan n katmanlı kirişin.....	8
Şekil 1. 5 Tek katmanlı eğilmiş konsol kiriş örneğı	9
Şekil 1. 6 İki katmanlı kompozit bir kiriş örneğı.....	10
Şekil 1. 7 Dokunmayı algılayabilen çok katmanlı kiriş örneğı.....	11
Şekil 2. 1 Leonardo robotu (Leonardo da Vinci – İtalya)	13
Şekil 2. 2 El-Cezeri'den: sürekli çalan flüt için terazili araç.....	14
Şekil 2. 3 Mars’a gönderilen robot (Merak)	16
Şekil 2. 4 Honda’nın insansı robotu asimo	17
Şekil 2. 5 Dört ayaklı yürüme yeteneğı olan bir yumuşak robot	18
Şekil 3. 1 Hiperelastik malzeme gerinim – gerilme grafiğı	21
Şekil 4. 1 Gerçek bir balığın hareketlerini taklit edebilen yumuşak robot	24
Şekil 4. 2 Bir yumurtayı kırmamadan tutabilen yumuşak tutucu.....	25
Şekil 4. 3 Delta robot kolu ucuna monte edilmiş yumuşak tutucu	25
Şekil 4. 4 Yumuşak cisimleri zarar vermeden kavrayabilen robot kol.....	26
Şekil 4. 5 Hava ile aktive edilen iki katmanlı yumuşak tutucu.....	26
Şekil 4. 6 Modellenecek olan parçanın katı modeli.....	27
Şekil 4. 7 Yumuşak tutucu ve hedef cisim gösterimi	27
Şekil 4. 8 2D Parçanın çok katmanlı kirişe olan benzerliğı.....	28
Şekil 4. 9 Sıcaklık farkı ile tahrik edilen çok katmanlı bir sistem	28
Şekil 4. 10 Bir ahtapotun kolu gibi sarılmış yumuşak tasarım	29
Şekil 4. 11 Abaqus kullanıcı arayüzü	31
Şekil 4. 12 Katı modelin cad ortamındaki kesiti	31
Şekil 4. 13 CAE ortamında oluşturulan katı modeli.....	32
Şekil 4. 14 Parçaların montaj ortamında toplanması.....	33
Şekil 4. 15 Adım ayarların yapılması.....	33
Şekil 4. 16 Etkileşim ayarları yapılan sistem.....	34
Şekil 4. 17 Hava odacıklarının arasındaki etkileşim yüzeyleri	34
Şekil 4. 18 Etkileşim atanan yüzeylerin gösterimi	35
Şekil 4. 19 Yük ve sınır şartların uygulandığı model	35

Şekil 4. 20	Kesiti alınmış sistemde basınç ve yer çekimi'nin vektörel gösterimi.....	36
Şekil 4. 21	Parça üzerine ağ atılması	37
Şekil 4. 22	İş oluşturma ekranı	37
Şekil 4. 23	Çözümü yapılan iş'in ilerleme durumu	38
Şekil 4. 24	2D Çizim ortamında geometrinin çizilmesi	39
Şekil 4. 25	Çizilen çizim için 2d parçanın yaratılması.....	39
Şekil 4. 26	2D Parça üzerinde sınır şartların oluşturulması	40
Şekil 4. 27	Ağ Kalitesini için parçanın belirlenen kısımlarından bölünmesi	40
Şekil 4. 28	Bölünen parçaya istenen şekilde tohum atılması	41
Şekil 4. 29	Ağ atılan parçanın son hali	41
Şekil 4. 30	Hedef cisim ve tutucu kolun 2d modeli	42
Şekil 5. 1	Bir proses yada sistemin şeması	44
Şekil 5. 2	Yumuşak tutucu sistemi için örnek bir proses şeması	45
Şekil 5. 3	İki faktörlü iki seviyeli bir deneyin sonuç grafiği	46
Şekil 5. 4	İki Faktörlü Kesişmeyen Bir Sistem	47
Şekil 5. 5	Parça üzerindeki dış yüksekliği ve dış genişliği.....	50
Şekil 5. 6	Parça üzerindeki koniklik.....	51
Şekil 5. 7	Minitab arayüzü	53
Şekil 6. 1	İş çıktılarının sonuç alanına alınmış hali	54
Şekil 6. 2	Yer değiştirme sonucu.....	55
Şekil 6. 3	Hava odacıkları gerilim dağılımı	55
Şekil 6. 4	Tüm faktörlerin gösterildiği küp grafikleri	56
Şekil 6. 5	DOE pareto grafiği.....	59
Şekil 6. 6	Sistemin ana etki grafiği	59
Şekil 6. 7	Sistemin etkileşim grafiği	60
Şekil 6. 8	Tüm faktörler için oluşturulan kontur grafiği.....	61
Şekil 6. 9	Dış yüksekliği ve dış genişliği için oluşturulan kontur grafiği	62
Şekil 6.10	2D parça doe sonuçları.....	63
Şekil 6. 11	Basınç – dış yüksekliği reaksiyon kuvveti grafiği.....	64
Şekil 6. 12	Basınç – dış genişliği değişimi grafiksel gösterimi.....	65
Şekil 7. 1	Seçilen tasarımın ağ atılmış hali	67
Şekil 7. 2	Analiz sonucu	68
Şekil 7. 3	Serbest ucun yer değiştirme grafiği	68
Şekil 7. 4	Parça üzerindeki gerilim dağılımı	69
Şekil 7. 5	Hava odacıkları yan duvar gerilmeleri.....	69
Şekil 7. 6	Hava odacıklarının itiş sonucunu oluşturan reaksiyon kuvvetleri.....	71
Şekil 7. 7	Temas yüzeyi formu	71
Şekil 7. 8	Tek kollu tutucunun hedef cisim üzerinde oluşturduğu rf.....	74
Şekil 7. 9	Tek kollu sistemin hedef cisim üzerindeki rf'in değişimi	75
Şekil 7. 10	Hedef cisim ile 3 kollu tasarım arasındaki yüzeysel açıklık.....	79
Şekil 7. 11	Tek ve üç kolların hedef cisim üzerindeki reaksiyon kuvveti.....	81
Şekil 7. 12	Üçlü ve tekli kol tasarımlarının zamana bağlı rf değerleri	82
Şekil 7. 13	Deforme olmuş hedef cisim	84

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Eco-0030 silikon mazleme özellikleri.....	21
Çizelge 3.2 CAE modelleme adımları.....	29
Çizelge 5.1 2 Seviyeli 2 faktörlü bir sistemin deney tasarımı	49
Çizelge 5.2 Tablo 3 Yüksek – düşük değerleri girilmiş parametreler	51
Çizelge 5.3 Yüksek - düşük değerleri girilmiş parametreler	51
Çizelge 6.1 DOE kombinasyonu düzeninde çözdürülen cae sonuçları	56
Çizelge 6.2 DOE için kullanılan cae sonuçlarının karşılaştırılması.....	57
Çizelge 6.3 2D Parça için doe tablosu	62
Çizelge 6.4 Basınç – dış yüksekliği reaksiyon kuvveti değişimi tablosu.....	63
Çizelge 6.5 Basınç – dış genişliği reaksiyon kuvveti değişimi tablosu	64
Çizelge 6.6 Regresyon denklemi ile cae sonuçlarının karşılaştırılması.....	65
Çizelge 7.1 Sadece tutucunun bulunduğu model yer değiştirme	70
Çizelge 7.2 Zamana bağlı hava odacıklarının şekil değişimi	72
Çizelge 7.3 Zamana bağlı hava odacıklarının temas basınçlarındaki değişim	73
Çizelge 7.4 Tek kollu sistem ile hedef cisim arasındaki yüzey açıklığı.....	74
Çizelge 7.5 Tek kollu tutucu ile hedef cisim arasında oluşan basınç noktaları	76
Çizelge 7.6 Tek kollu sistemin oluşturduğu reaksiyon kuvveti.....	77
Çizelge 7.7 Zamana bağlı 3 kollu tasarımın hedef cismi sarması	78
Çizelge 7.8 Üç kollu sistem ile hedef cisim arasında zamana bağlı kontak açıklığı	79
Çizelge 7.9 Hedef cisim ve tutucu kolun 2d modeli analiz sonucu	82
Çizelge 7.10 Farklı rijitlik değerlerine sahip hedef cismin tutulması sonuçları	84

HAREKET ELDESİ İÇİN KULLANILAN ÇOK KATMANLI KİRİŞLERİN MEKANİK TASARIM VE ANALİZİ

Hasan LAFCI

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Cihan DEMİR

Çok katmanlı kirişler, sağladığı özel avantajlardan dolayı son yıllarda robotik alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Çok katmanlı kirişler dar ve kısıtlı paket alanlarında özel hareketlerin eldesine ihtiyaç duyulduğunda, tasarımcıların ve mühendislerin vazgeçilmez sistemleridir. Bu hareket, parçanın yerdeğiştirmesi yada bir cisme tutunması gibi farklı amaçlar için kullanılabilir. Bu alanda yapılan çalışmalar genellikle robotiğin alt dalı olan yumuşak robotik başlığı altında toplanmaktadır. Yumuşak robotik günümüzde hem robotik hem de mühendislik için yeni bir terimdir. Yumuşak robotik hareket eldesi için çok katmanlı kirişlerin temel prensibini kullanabilmektedir. Kullanıldığı malzemeler geleneksel çok katmanlı kirişlerin aksine, silikon , kauçuk yada kumaş gibi yumuşak malzemelerdir. Bu çalışmada mühendislik yazılımları ile çok katmanlı havalı bir tutucunun tasarımı ve analizi 2 boyutlu , 3 boyutlu ve çoklu yumuşak tutucu için gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sistemdeki hava basıncı, geometrik değişkenler vs. gibi etkenlerin harekete olan etkilerini görmek için DOE (deneysel tasarım çalışmaları) yapıp sonuçlar ve grafikler tezin son bölümünde paylaşılmıştır. Tez sonuçlarına göre tasarımcılar kendi sistemlerini optimize edebilirler.

Anahtar Kelimeler: Yumuşak tutucular, Çok katmanlı kirişler, DOE

ABSTRACT

DESIGN AND ANALYSIS OF MULTILAYER BEAMS WHICH ARE USED FOR MOTION

Hasan LAFCI

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Cihan DEMİR

Multilayer beams are widely used in robotic area due to some advantages. To create a special motion in limited spaces , multilayers are essential for both designers and engineers. This motion can be used to moving the system or other purposes. Nowadays, the soft grip is a new term for robotic and mechanical engineering fields. It uses the same theory of multilayer beams to create a displacement. Unlike conventional multilayers beams, it uses soft material such as silicon, rubber or fabric because of some advantages. In this study , a pneumatic soft gripper have been designed and analysed with engineering softwares in terms of 2D, 3D for singular and multi- gripper. Also a design of experiment (DOE) have been performed to see effect of each factor such as air Basınç, geometrical variables etc. Results and graphs of study have been shared at the final stage. According the results of DOE, designers can optimise their systems.

Keywords: Soft grip , Multilayer beam , DOE

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

GİRİŞ

Çok katmanlı kirişler sağladığı avantajlar bakımından son yıllarda araştırmacılar için yeni bir çalışma alanı olmuştur. Özellikle yumuşak robotik alanında kullanılan bu tip kirişler çok özel ihtiyaçlara cevap verebilme yeteneğine sahiptirler[1].Yumuşak robotik, dünyada son yıllarda gelişmeye başlayan bir yeni mühendislik alanı olmasından dolayı ülkemizde ve diğer ülkelerde yapılmış çalışmalar sınırlı sayıdadır.Bu anlamda tezde yapılan deneysel test tasarımı çalışması ülkemizde öncü niteliğindedir.

1.1 Literatür Özeti

Connolly vd. [2] yaptıkları çalışmada fiber sargıların yumuşak eyleyiciler üzerindeki etkilerini incelemişlerdir.Yapılan çalışmadaki hipoteze göre, eyleyici üzerine sarılan ipliklerin sadece sarılma açıları değiştirilerek, yumuşak kolların eksenel uzatılması, radyal genişletilmesi ve bükülmesi gibi geniş bir hareket yelpazesine ulaşmak mümkün olabilir. Yapılan çalışmada farklı açılardaki sargılar ile hareketin ne yönde değiştiği ve yerdeğiştirme gibi çıktıları incelenmiştir. Ayrıca farklı tasarımdaki yapıların solucan şeklinde bir robot haline dönüştürülerek, bir delik içerisinden farklı engelleri aşarak verilen bir görevi yapabileceği savunulmuştur.Tüm çalışmanın sonucu olarak ,sarıma açısı ve hareket arasındaki ilişkinin anlaşılması yumuşak yapıdaki endoskopların geliştirilmesine, boru hatlarını inceleyebilen cihazların üretilmesine ve montaj hattı robotlarının hızla geliştirilmesine yardımcı olacak çıktılar barındırmaktadır.

Gorissen vd. [3] yaptıkları çalışmada, basınçlı bir akışkan (gaz veya sıvı) ile çalışan,EIA (Elastic Inflatable Actuators) olarak isimlendirilip şişirebilenen, belirli bir tür yumuşak robotik eyleyicileri incelenmişlerdir. Yaptıkları çalışmada bu tip eyleyicilerin avantajı

olarak, Pascal'ın prensibinden dolayı, büyük strok, çok az sürtünme ve dağılı kuvvet üretimi olduğunu belirtmişlerdir. Dikkat çektikleri bir diğer konu da bu tip eyleyicilerin, elektrostatik, piezoelektrik aktüatörler, elektroaktif polimerler ve elektromanyetik motorların aksine, yüksek elektrik veya manyetik alanlara veya şekil hafızalı alaşımların ve termal aktüatörlerin aksine, yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duymamalarıdır. Daha ileri uygulamalar için de biyolojik uygunluğu olan akışkanlar basınçlandırılarak bu tip yapılarda kullanılabileceğini söylemişlerdir.

Wang vd. [4] yaptıkları çalışmada, ön gerilmeli bir yumuşak tutucunun 3D yazıcı ile üretilmesini anlatmaktadır. Üretilen yumuşak tutucu, tutunma işlemi sırasında yüksek temas alanları yaratabilirken , ilk durumdaki tutucu ağız açıklığı herhangi bir vakum, indirme işlemi gerektirmemektedir. 3D yazıcıda üretilen bu yumuşak tutucu hava odacıklarının bulunduğu ve bu odacıkların altını kapatan iki parçadan oluşmaktadır. Hava odacıklarına verilen basınçlı hava sayesinde parça bükülüp “C” şeklini almakta ve tutma işlemi gerçekleşmektedir. Sonrasında basınçlı havanın ortamdan uzaklaştırılması ile birlikte parça ilk haline geri dönmektedir. Üretilen parça test edilirken aynı zamanda tasarımı doğrulamak için sonlu elemanlar analizi de yapılmıştır. Yapılan çalışmada gerçek değerler ile sonlu elemanlar analizi sonuçları örtüşmektedir. Üretilen yumuşak tutucuların 4 tanesi bir araya getirilerek robotik bir tutucu kafa oluşturularak, çeşitli ağırlıklarda ve ölçülerdeli gıda ürünlerini taşımak için kullanılmıştır. Farklı ölçülerdeki hedef cisimleri tutmak ve taşımak için farklı ağız açıklığı olan iki tasarım kullanılmıştır. Tüm çalışmanın sonucu olarak ön gerilmeli yumuşak tutucuların çeşitli geometrilerdeki cisimleri tutup taşımada kullanılabilmektedir.

Zhao vd. [5] yaptıkları çalışmada, yumuşak robotiklerin gelecekteki uygulamaları için, yüksek kuvvetleri uygulayabilen karmaşık yapıların seri üretimi farklı bir kalıplama tekniği kullanarak üretmişlerdir. Yapılan çalışmada, rotasyonel döküm, yumuşak eyleyiciler için yeni bir üretim yöntemi olarak uyarlanmıştır. Hem kalıp tasarımı hem de pnömatik kanal ağları üretmek için elastomerik öncülerin malzeme özellikleri için kriterler anlatılmıştır. Uçta 25N'luk bir kuvvet oluşturabilen bir kübik yumuşak eyleyiciler, daha önce rapor edilen benzer eyleyicilere göre yaklaşık on katlık bir artış sunmuştur. Ek olarak, bu imalat tekniği, kullanıcının parmak uçlarında uygulayabileceği

kuvveti arttırmak için giyilebilir bir yardımcı cihaz imal etmek için kullanılabileceği söylenmiştir.

Yun vd. [6] yaptıkları çalışmada Exo-Glove dedikleri giyilebilir ve ayarlanabilir yumuşak malzemeli bir eldiveni incelemişlerdir. Yardımcı eldivenlerin ayarlanabilir olması bu tip tasarımlar için önemli bir konudur. Pnömatik yumuşak robotlar genellikle gömülü aktüatörlere sahip tek bir yapıdan oluşur ve monte edildiğinde düzeneklerin bağlandığı bölge, büyük stres konsantrasyonuna maruz kalır ve hatalar görülebilir. Bu problemin üstesinden gelmek için Yun ve arkadaşları ,yumuşak eyleyicileri ve rijit bağlantıları bir araya getiren yeni bir eyleyici modülü geliştirdiler. Bu tipteki eldivenler genelde hantal ve kişiye özgü ayar yapılması zor olan modüllerken,Yun ve arkadaşlarının geliştirdiği eldiven kişinin el yapısına göre ayarlanabilmekte ve bu sayede kullanıcılara maksimum konfor sunulurken minimum maliyetin ortaya çıkmasına olanak sağlamıştır.

Polygerinos vd. [7] yaptıkları çalışma, fonksiyonel kavrama sorunları olan bireyler için el rehabilitasyonunu güçlendirmek üzere tasarlanmış portatif, yardımcı, yumuşak bir robotik eldiven sunulmaktadır. Bu eldiven, basıçlı akışkan altında, bükülme, burulma ve eksenel olarak uzayan, elyaf takviyeli kalıplanmış elastomerik odalardan oluşan yumuşak eyleyicileri kullanır. Bu yumuşak eyleyiciler,herbir parmak için harekete yardımcı olmaları için ayrı ayrı mekanik olarak programlanmışlardır.Basınçlandırıldıklarında önemli olabilecek kuvvetler ortaya çıkarırkek, herhangi bir basınç olmadığı durumda yumuşak olarak davranıp herhangi bir direnç göstermemektedirler.Yapılan eldiveni kullanmak için, akışkan basıncını ölçen ve düzenleyebilen kapalı devre bir kontrol sistem geliştirilmiştir.Çalışma içerisinde yumuşak eldivenin yetenekleri test edilerek , mevcut cihazlara göre daha fazla bir kaldırma potansiyelinin olduğu görüldü.

Kumar [8] yaptığı çalışmada ,dördüncü sanayi devriminin gelişiyile birlikte, akıllı üretim ve endüstri 4.0'ın gerçekleştirilmesiyle, teknolojiadaki hızlı gelişmelerin, nasıl yaşadığımızın dışında, mal ve hizmet üretimini de etkileyeceğini söylemiştir. Dijital teknolojilerde, inovasyona geçiş sürecine ayak uydurmak için, üretim süreçleri ve materyallerindeki ilerlemeler bir birine eş zamanlı devam etmesi gerektiğini belirtmiştir. Makalesinde, şu anda mevcut olan yöntem ve materyal teknolojilerini gözden geçirirken , yeni nesil akıllı üretim teknikleri için kritik nesnelerin İnterneti (IoT), siber-fiziksel

sistemler (CPS), insan- robot etkileşimi, artırılmış ve sanal gerçeklik gibi başlıkları da incelemiştir

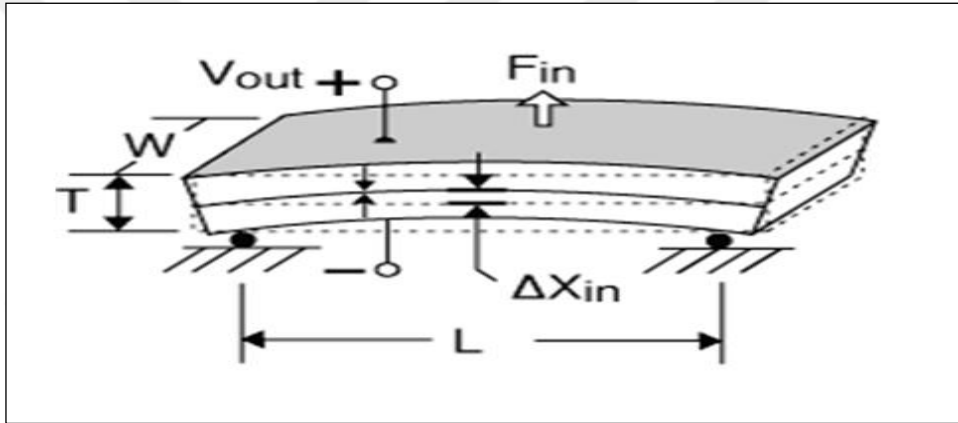
Hyunki vd. [9] yaptıkları çalışmada, yumuşak giyilebilir robotların, sert yapıdaki alternatiflerine göre kompakt ve hafif olduğundan bahsetmektedirler. Çalışma içerisinde, Exo-Glove adı verilen yumuşak takılabilir bir el robotu, yumuşak bir tendon yönlendirme sistemi ve uyarılma mekanizması incelenmiştir. İncelenen sistem, başka türlerde yumuşak giyilebilir robotları geliştirmek için kullanılabilir. Sistemin eldiven kısmı kompakt ve 194 g ağırlığındadır. Sağlıklı bir denek kullanılarak yapılan sonuçlar, günlük yaşam aktivitelerinin yürütülmesi için yeterli performansı, yani 20 N'lik bir sıkıştırma kuvveti, 40 N'lik bir sarma kavrama kuvveti ve maksimum kavranan nesne boyutu 76 mm'dir. Omurilik hasarı nedeniyle ellerin felç geçirmesinden muzdarip biri, çeşitli şekillerdeki nesneleri kavramak için eldiveni kullanabilmiştir.

Beyaz [10] yaptığı çalışmada ,Arduino temelli Kuvvet Dirençli Sensör (FRS) ve görüntü analizi teknikleri kullanarak, elma hasadı sırasında ürün üzerindeki renk değişimini ve oksidasyon alanının hesaplanmasını incelemiştir . Mondial Gala, Mitch Gala, Jonagold gibi elma çeşitleri, darbe ölçümü için hazırlanan FRS destekli ,elmanın hasat edilmesi sırasında darbe kuvvetinin belirlenmesi için kullanılan eldiven ile test edilip. Darbe testinden sonra her örnekteki oksidasyon alanları bir web kamerası ve Labview platformu kullanılarak değerlendirilmiştir. Oksidasyon alanları, tüm bu prosedürlerden sonra LabView yazılımı kullanılarak hassas bir şekilde ölçülmüştür. Yapılan çalışmanın sonucu olarak , darbe çürümesinin üzerinde, etki kuvvetine ve elma çeşitliliğine bağlı bir etkinin görüldüğünü göstermiştir.

Hyunki vd. [11] yaptıkları çalışmada, özgün bir rehabilitasyon eyleyicisini incelemiştirler.İncelenen yumuşak eyleyici, eksenel uzayabilen ve eğilebilen yapay kas olarak değerlendirilmektedir.Bu tip yumuşak eyleciler McKibben tipi yapay kasların, bir tarafının uzaması engellenerek elde edilmiştir. Çalışma içerisinde oluşturulmaya çalışılan yeni matematiksel model, oluşturulan eyleyicinin vereceği kuvvet değerini sistemin girişi olan basınçlı havanın bir fonksiyonu olarak verebilmektedir. İlk model oluşturulduktan sonra tasarımı geliştirmek için daha fazla denemeler yapılmıştır.Oluşturulan son model yetişkin herhangi bir insanın eline herhangi bir mekanik ayar yada kalibrasyon

yapılmadan uygulanabilmektedir. Kas sinyali olarak bilinen EMG sinyalleri eldiven kullanılmadan önce ve sonra bazı cisimleri tutma esnasında toplamıştır. Ardından eldiven ile aynı işlem tekrarlanıp bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Buna göre kullanılan eldiven kas eforunun azaltılmasında yardımcı bir rol üstlenmiştir.

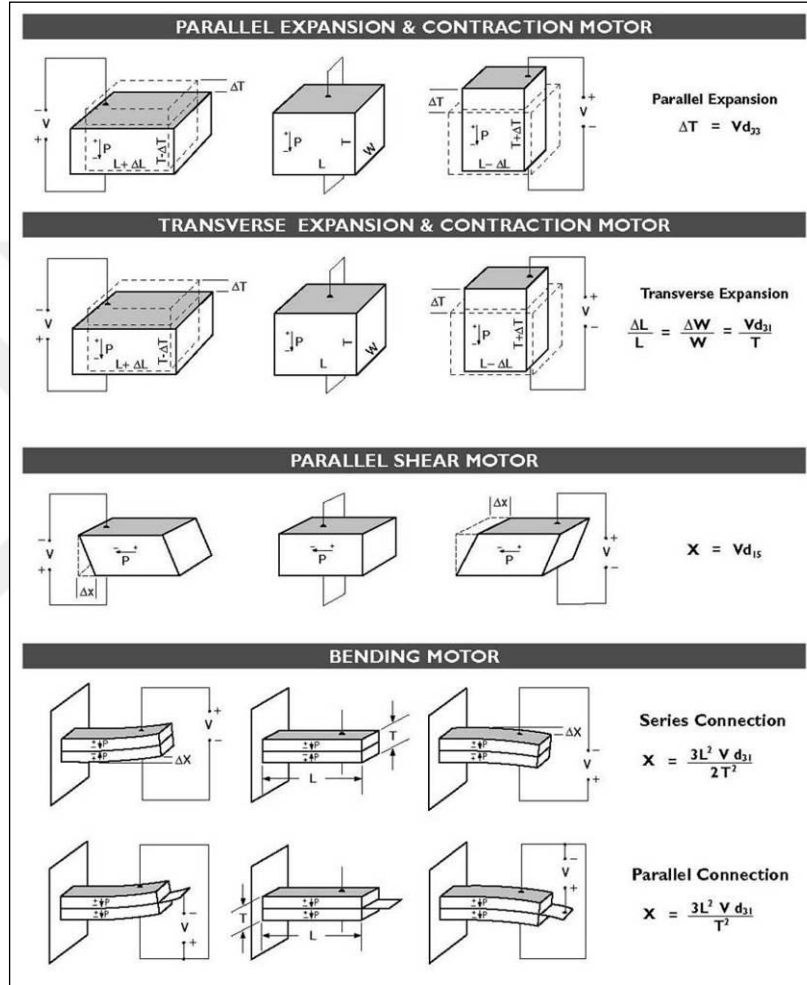
Devi vd. [12] yaptıkları çalışmada, asimetrik körüklü esnek pnömatik eyleyici (ABFPA) tasarımını incelemişlerdir. Söz konusu eyleyici tek bir iç hava odacığına sahip olup benzeri diğer eyleyicilere göre daha basit geometriye sahip ve üretimi daha kolaydır. Ayrıca tek hava odacıklı eyleyici için farklı tasarımlar da incelenmiştir. Çalışma sonunda eyleyicinin bükülme hareketi üzerinde ,şekil ve eksantrikliğın önemli bir rol oynadığı görülmüştür. Öneri olarak , uygun malzeme ve ABFPA kullanılarak kullanışlı bir yapay elin üretilebileceği söylenmiştir.



Şekil 1. 1 Katmanlarında potansiyel fark oluşturulan çok katmanlı kiriş[13]

Konveksiyonel tip çok katmanlı kirişlere örnek olarak Piezoelektrik malzemeler gösterilebilir (Şekil1.1). Piezoelektrik özelliği, (özellikle kristaller ve belirli kristaller; kemik gibi) bazı malzemelere uygulanan mekanik basınç sonucunda, malzemenin elektrik alan ya da elektrik potansiyel[14] değiştirme yeteneğidir. Bu etki, malzemenin içindeki polarizasyon yoğunluğundaki değişimle doğrudan alakalıdır(Şekil 1.2). Eğer malzeme kısa devre değilse, uygulanan gerilim malzemede bir voltaj meydana getirir. Piezo kelimesi, Yunanca'dan türetilmiştir; "sıkıştırmak, basınç uygulamak" anlamlarına gelmektedir. Piezoelektrik malzemeler terslenebilirler; yani "direk piezoelektrik etki" sergileyen (gerilim uygulandığında elektrik potansiyel üreten) malzemeler, ters piezoelektrik etki (uygulanan elektrik alan sonucunda gerilim-gerinim üretimi) de gösterirler. Örneğin, kurşun zirkonat titanat kristalleri, orijinal boyutundan %0,1 oranına

kadar şekil değiştirebilirler. Bu etkinin “sesin oluşturulması ve algılanması”, “yüksek voltajlar oluşturulması”, “elektronik frekans yaratılması”, “mikrobalans”, ve “optik çevrimcilerin aşırı ince odaklanması” gibi kullanışlı uygulamaları vardır. Aynı zamanda atomik çözünme sonucunda bilimsel birçok tekniğin (taramalı prop mikroskoplar olan STM, AFM, MTA, SNOM gibi) temelini oluşturmakla birlikte, günlük kullanımda ateşleyici olarak çakmıklarda ve barbekülerde kullanılmaktadır [15].



Şekil 1. 2 Piezoelektrik motorlar & yerdeğiştirmeleri formülleri [16]

Literatürde piezoelektrik malzemeler kullanılarak gürültünün sönümlenmesi yada bir parça üzerine gelen darbe şiddetinin ölçülmesinin örnekleri mevcuttur. Kullanılan malzemelere bakıldığında mekanik anlamda rijid malzemeler kullanılmaktadır. Bunun sonucu olarak da gözlemlenen uzama yada yerdeğiştirmeler küçük ölçekte sınırlanmaktadır. Kullanılabilecek malzeme rijitliğinin değişmesi son yıllarda yeni bir alan olarak karşımıza çıkan yumuşak robotik alanını oluşturdu[1].

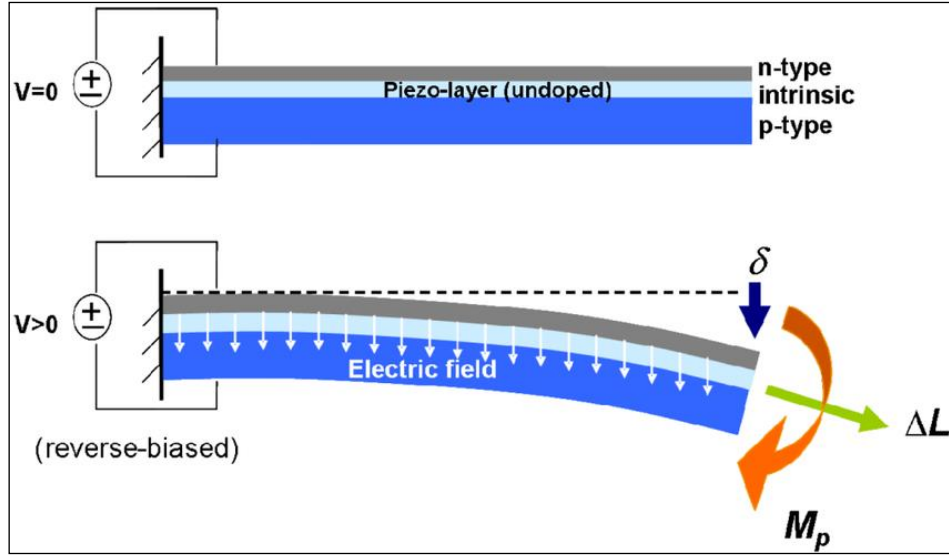
1.2 Tezin Amacı

Tezin genel amacı araştırmacılara ışık tutacak yeni bir çalışma alanı yaratmak ve farklı ihtiyaçlara cevap verebilecek robotik sistemlerin kurulmasının önünü açmak için çok katmanlı kirişlerin davranışlarının farklı bir açıdan incelenmesidir. Literatür çalışmalarına bakıldığında, bu tezde yapılan çalışmanın farkı, bir cisim ile etkileşim halinde olan çok katmanlı bir yumuşak tutucunun, cisim üzerinde yarattığı reaksiyon kuvvetinin DOE ile çeşitli parametreler altında araştırılması ve bunun yanında tek kollu ve üç kollu sistemlerin araştırılması ve sonuçların karşılaştırılması olmuştur. Çalışmanın bir diğer özelliği de söz konusu parçanın 3D ve 2D modellerini de bünyesinde barındırıyor olmasıdır.

1.3 Hipotez

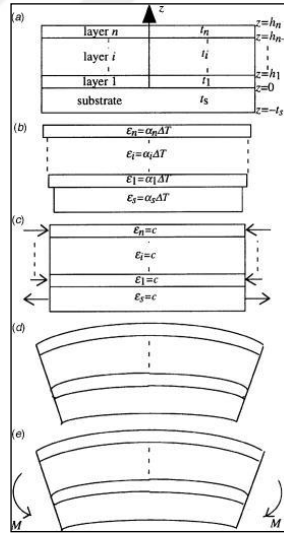
Bu tezde savunulan hipoteze göre, geometrisinden dolayı, farklı rijitlik değerlerindeki katmanlara sahip bir kiriş, herhangi bir rotasyonel yada lineer motor yardımı olmadan hareket eldesi için kullanılabilir ve bu hareket ile bir cisim sarılarak tutulabilir. Bu anlamda katmanlar arasında basınçlı hava uygulanarak sistemden rotasyonel ve lineer yönde hareketler elde edilebilir. Bunu yaparken de sistem parametreleri sistem çıktıları üzerinde farklı etkinlik değerlerine sahiptir. Tutucu üzerindeki odacıkların geometrik özellikle ,sistem basıncı ve koniklik gibi değerler, hedef cisimdeki sarılmayı ve cisim üzerinde oluşturulacak reaksiyon kuvvetini etkileyen parametrelerdir.

Örneğin şekil 1.3'deki gösterildiği gibi birden çok katmandan oluşan piezoelektrik bir kirişin katmanları arasına belirli bir miktar elektriksel gerilim uygulanarak sisteme "C" formu verdirilerek, sistem istenirse tırtıl hareketi yaparak yerdeğiştirebilir , bir cisme kuvvet uygulayabilir yada bir cismin etrafına sarılarak iki cisim arasında bağlantı – etkileşim sağlayabilir.



Şekil 1. 3 Elektriksel gerilim uygulanan ankastre kirişin “C” formu alması [17]

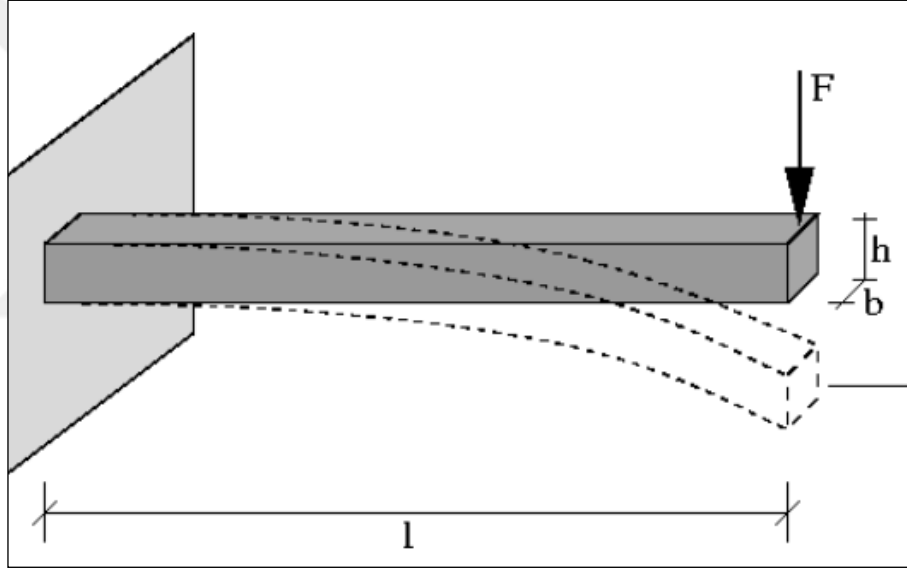
Katmanlar arasında oluşturulacak olan uzama farkı piezomalzemelerde olduğu gibi elektrik dışında farklı fiziksel etkilerle de sağlanabilir. Örneğin Şekil 1.4’de görülen sistemde farklı malzemeler kullanılarak oluşturulan katmanların sıcaklık değişimine verecekleri uzama miktarları gözönüne alınarak sistemin burulması bir diğer değişle hareket etmesi sağlanabilir



Şekil 1. 4 Sıcaklık farkından burulan n katmanlı kirişin [18]

1.4 Konveksiyonel Çok Katmanlı Kirişler

Kirişler mimarlık, inşaat mühendisliği ve makine mühendisliği alanlarında kullanılan ortak bir eleman olup, kirişlerin eğilmesi durumu ise malzeme mekaniği ve yapısal mekanik alanlarının çok geniş bir kısmını oluşturan önemli bir husustur (Şekil 1.5). Lisans seviyesinin altındaki çoğu çalışma bu kirişlerdeki küçük yer değişimli eğilmeleri ele almaktadır. Bu durumda problemi çözmek için kullanılan diferansiyel denklem lineer olmakta ve problem basit bir şekilde çözülebilmektedir. Küçük yer değişimlerin olduğu problemlerde analitik sonuçlar oluşmaz. Fakat büyük yer değişimlerin olduğu durumlarda ise lineer olmayan bir diferansiyel denklemin çözümüne ihtiyaç vardır. Bu tip problemlerde geometrik non-lineerlik denilen durum oluşmaktadır [19].



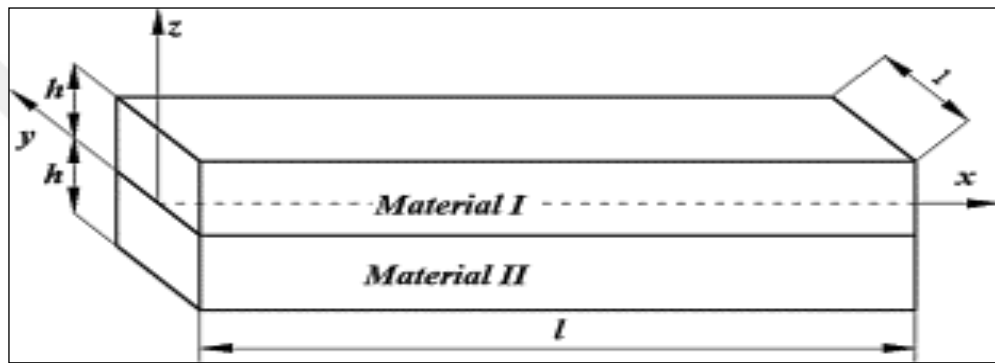
Şekil 1. 5 Tek katmanlı eğilmiş konsol kiriş örneği [20]

Kiriş kalınlığının uzunluğuna göre çok küçük kaldığı durumlarda dış etkilere maruz kalan kirişte elastiklik teorisine göre büyük ve lineer olmayan yer değişim oluşumu görülecektir [19].

Taşıyıcı sistemlerde değişik yüklemeler altında oluşan büyük yer değiştirmeler, iyi bilinen bir konu olup, bununla ilgili yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Konunun önemi nedeniyle bu alanda yapılan çalışmalar günümüzde de sürmektedir. Değişik mühendislik alanlarında karşılaşılan bir çok durumda, yapılan doğrusallaştırmalar ile elde edilen sonuçlar yeteri derecede yaklaşık olabilmektedir. Oysa ki elastik eğri için iyi bilinen eğrilik

ifadesi doğrusal olmadığı gibi gerçek malzeme de doğrusal gerilme-şekil değiştirme ilişkisine sahip değildir. Bu gerçek göz önüne alındığında yer değiştirmeler, genellikle analitik yöntemlerle belirlenemez, daha ziyade yaklaşık ve sayısal yöntemler kullanmak gerekir. Üniform ve üniform olmayan, tekil ve yayılı yüklü doğrusal elastik konsol kirişlerdeki büyük yer değiştirmeler, bir çok çalışmada incelenmiştir [21].

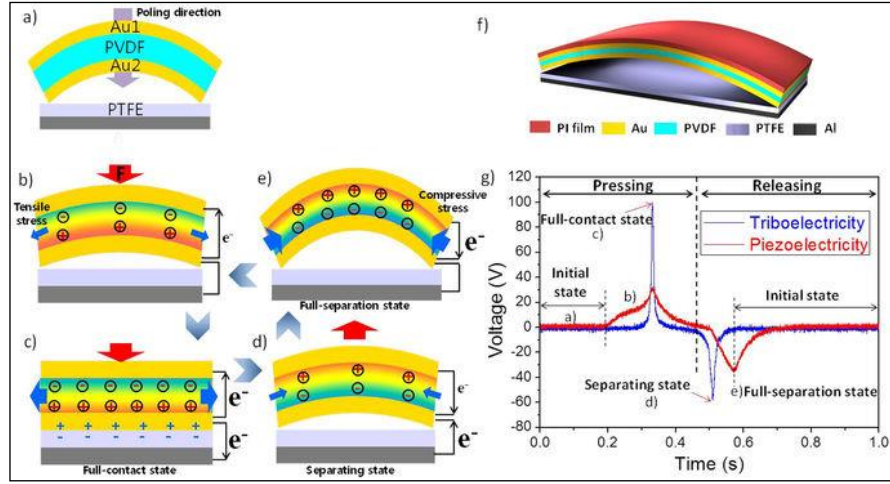
Uzun zamandan beri kompozit malzemeler de bir çok alanda yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır (Şekil 1.6). Daha az malzeme ve daha az maliyetle uygun kompozit malzeme kullanılarak istenilen mukavemet ve elastikliğin sağlanabilmesi mümkün olmaktadır [21].



Şekil 1. 6 İki katmanlı kompozit bir kiriş örneği [22]

1.5 Çok Katmanlı Malzemeler ve Robotik Alanda Kullanılması

Geleneksel kullanımları dışında çok katmanlı kirişlerin elektronik ve robotik alanlarda da kullanımları mevcuttur. Hassas sensör teknolojileri gibi alanlarda ihtiyaç olabilecek algılama ve tepki verme özellikleri göz önüne alındığında, çok katmanlı elektronik bir komponent tüm bunlara cevap verebilir. Örneğin dokunmayı algılayabilmesi için günümüz elektronik sistemlerinde kullanılan piezoelektrik yada triboelektrik tip tasarımlar mevcuttur (Şekil 1.7).



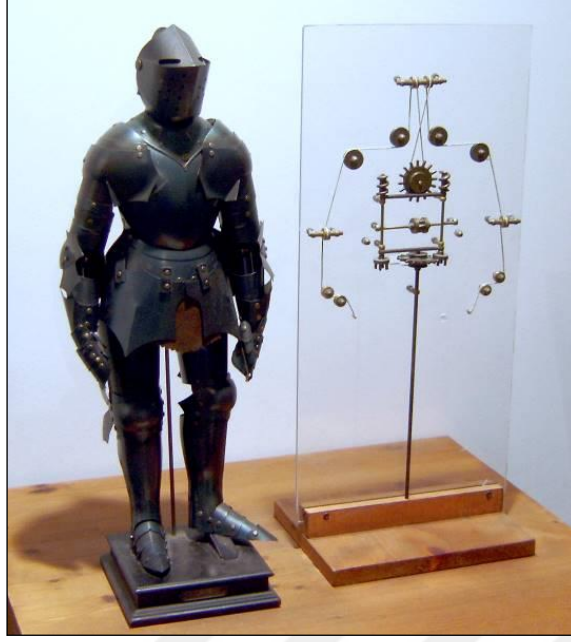
Şekil 1. 7 Dokunmayı algılayabilen çok katmanlı kiriş örneği [23]

Tez içerisinde robotik alanda kullanılması planlanan komponentin detaylarına geçmeden önce bu alanda ne tip gelişmelerin yaşandığını incelemekte faydalı olacaktır. Her teknoloji alanı gibi robotik alanda da geçmişten günümüze bu alanı oluşturan elementlerin yaşadığı gelişmeler sonucu değişimler gözlemlenmiştir.

Pek çoğu temelde insan ihtiyacından çıkan inovatif fikirler gerek malzeme gerek diğer faktörlerin etkisi ile tarih boyunca çeşitli evreleri adım adım geçmek zorunda kalarak hayata geçmiştir. Bu anlamda bir sonraki bölümde robotik tarihinin günümüze gelene kadar kabaca nasıl değiştiği gözden geçirilecektir.

2.1 Robotik Tarihi

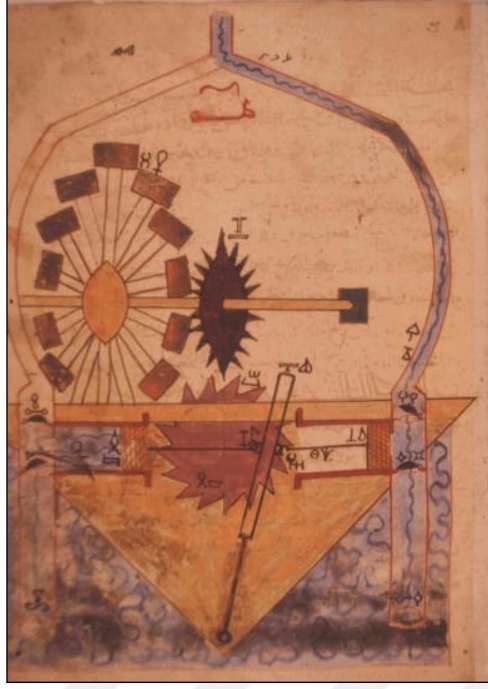
İnsana benzeyen ancak bazı yönleriyle de insandan çok farklı olan varlıklar fikri geçmişe dayanan eski bir düşüncedir. Bu fikrin, ortaya çıkışından beri insandan daha aşağı olan bu varlıkların insanoğluna hizmet için varolduğu varsayımıyla birlikte gelişmiştir. Bu sebeple İnsan benzeri robotik tasarımlardan tarih boyunca karşımıza çıkmaktadır (Şekil 2.1). Eski Yunan mitlerinde tanrı Hephaestos altından iki dişi hizmetli yaratır. Bir diğer eski efsane de ortaçağ Yahudilerinin “Golem”’idir. Toprakta yaratılan Golem Yahudi halkını tehlikelerden korumak için görevli bir hizmetkârdır. Ağızına veya alnına yerleştirilen komutlara uyar ve komutlar yerinden çıkartıldığında durur. Yine ortaçağ inanışlarına göre güçlü büyücüler “homunculus” adı verilen ufak insancıklar yaratırlar. Bu yaratıklar sahiplerine sadakat ile hizmet ederler.



Şekil 2. 1 Leonardo robotu (Leonardo da Vinci – İtalya) [24]

İnsanlık, tarihin başlangıcından bugüne günlük yaşamda kullanmak için yeni aletler icat etti yada mevcut aletlerini işine yarayacak şekilde geliştirdi. Çünkü bu araçlarla bazı yeni şeyleri yapmak mümkün veya daha kolay oluyordu. Ancak insanoğlunun aklında bu işleri kendi yapmak yerine, onun için yapacak birilerini bulup mevcut durumundan daha rahat yaşamak vardı. Eski çağlarda güçlü olanlar kendi işlerini yaptırmak için güçsüzleri köle olarak kullandılar. Zeki olanlar ise çok daha öncelerden robot benzeri tasarımları hayal edebilmişlerdi. Örneğin ilk Yunan filozoflarından Aristo “Eğer tüm araçlar emredildiğinde veya kendi kendilerine çalışabilselerdi işçilere veya kölelere ihtiyaç kalmazdı” sözleriyle robotlar hakkındaki düşüncelerin tohumlarını ekmiştir.

13. yüzyılda yaşayan ve batı literatüründe pek bilinmeyen, sibernetiğin kurucusu olarak görülen Ebu'l İz El Cezari'nin otomatik aletleri dışında, robotların modern tanımını düşündüğümüzde , robotik biliminde 20. yüzyılın ortalarına kadar önemli bir gelişme olmadı (Şekil 2.2).



Şekil 2. 2 El-Cezeri'den: sürekli çalan flüt için terazili araç [25]

Robotik mevcut teknolojinin yetersizliği dolayısıyla genellikle teori ve hayali tasarımlardan öteye geçemedi. "Robot" kelimesi Çek oyun yazarı Karel Kapek tarafından Çek dilinde hizmet eden anlamına gelen "robota" dan türetilmiştir. Sanayi devrimiyle eş zamanlı olarak gerçekleşen makineleşme sonucu teknoloji büyük bir ivmeyle gelişme gösterdi. Robotların günümüzdeki anlamda hayatımıza dahil olması bir yüzyıl daha zaman aldı (Şekil 2.3).

20. yüzyılla beraber Robotik iş dünyasına da girmeye baladı. Önceleri sadece karnına bastırılması sonucu ağlayan oyuncak bebeklerden ibaret olan bu sektör robot benzeri tasarımların sıcak metalleri taşımak için kullanılmasıyla endüstriye giriş yaptı. Sonradan gelişerek birçok farklı işte kullanılmaya başlandı. Programlanabilen robotlar, çok farklı işleri yapabilenleri derken şimdilerde robotları uzay araştırmalarında bir yardımcı olarak kullanılmaktayız [26].

Robotların yavaş olarak başlayan ancak aniden hızlanan tarihi gelişimlerini kronolojik olarak görmek hoş olacaktır. Bu kapsamda bir sonraki bölümde daha detaylı bilgiler bulunmaktadır.

2.1.1 Robotik Alanın Kronolojisi

Robotik tarihindeki önemli gelişmeler aşağıdaki gibidir :

- 800 - M.Ö. Homeros İlyada adlı eserinde hareketli uçayaklılardan bahseder.
- 350 - M.Ö. Aristo insanların isteklerini anlayıp itaat eden mekanizmalar öngörür.
- 1350 - Mekanik bir horoz Fransa'daki Strazburg Katedrali'nin tepesine yerleştirilir.
- 1801 - Jopsepf-Marie Jacquard delikli kartlarla kontrol edilen otomatik dokuma tezgahını icat eder.
- 1890 - Nikola tesla,Edison için kısa bir süre çalıştıktan sonra uzaktan kumanda ile kontrol edilebilen birçok araç tasarlar.
- 1921 - 'Robot' sözcüğü ilk kez Çekoslovak oyun yazarı Capek tarafından kullanılır.
- 1938 - Willard Pollard ve Harold Roselund spreyl boya yapan otomatik bir makine için eklemeleri olan bir kol icat ederler.
- 1939 - Westinghouse ,şirketi, New York Dünya Fuar'ında sergilenmek üzere mekanik bir insan ve köpek tasarlarlar.
- 1942 - Isaac Asimov "Runaround" adlı kitabında Robotların 'Üç Kanunu'nu ortaya koyar.

Bu kurallar:

1. Bir robot bir insana zarar veremez veya pasif kalarak zarar görmesine izin veremez.
 2. Bir robot kendisine insanlar tarafından verilen emirlere 1. Kural ile çelişmediği sürece itaat etmek zorundadır.
 3. Bir robot 1. ve 2. Kurallar ile çelişmediği sürece kendi varlığını korumak zorundadır.
- 1946 - George C. Devol fabrikalardaki makinaları kontrol eden genel amaçlı bir cihazın patentini alır.
 - 1947 - Alan M. Turing'in zeki makinalar hakkındaki makalesi yayınlanır.
 - 1950 - Asimov'un "I, Robot" adlı kitabı yayınlanır.

- 1951 - Raymond Goertz radyoaktif maddelerle ilgili çalışmalarda kullanılmak üzere uzaktan kumandalı bir kol tasarlar.
- 1951 - "The Day the Earth Stood Still" filminde "Gort" üstün zekaya sahip bir robottur.
- 1970 - Stanford Araştırma Enstitüsü'nde Unimate Kolu'nun geliştirilmiş hali olan 'Stanford Kolu' tasarlanır.
- 1971 - Cincinnati Milacron firması bilgisayar kontrollü robotunu piyasaya
- 1984 - Transition Research şirketi hastaneler için servis robotları geliştirmek üzere kurulur.
- 1994 - Dante II, Carnegie Mellon Üniversitesi'nde geliştirilen yürüyen robot Alaska'da aktif bir volkana keşif gezisi yapar ve volkanik gaz örnekleri toplar.



Şekil 2. 3 Mars'a gönderilen robot (Merak)[27]

- 1996 - Honda, P-2 (prototype 2), yürüyen insansı robot dünyaya tanıtılır (Şekil 2.4).
- 1997 - İlk yıllık robotlar arası futbol turnuvası "Robocup" Japonya'da düzenlenir.



Şekil 2. 4 Honda'nın insansı robotu asimo [28]

- 1997 - NASA'nın Pathfinder uzay aracı Mars'a iner ve "Sojourner" robotu Mars yüzeyinde keşif gezisi yapar.
- 2000 - RoboCup 2000'de üç insansı robot ilk defa karşılaşılır: Batı Avustralya Üniversitesi'nden Johnny Walker, Japonya Aoyama Gakuin Üniversitesi'nden Mk-2 ve Pino

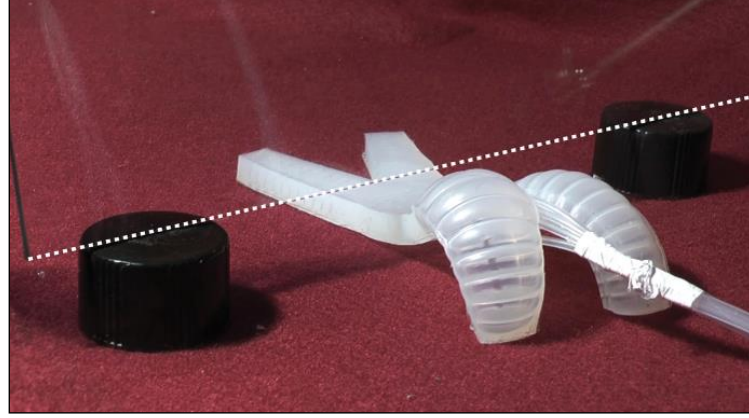
Görüldüğü üzere tıpkı tepeden aşağı yuvarlanırken büyüyen bir kar topu gibi, robotik alandaki gelişmeler de tarih boyunca artarak devam etmiştir. İnsana benzeyen ve insanın işlerini yapan bir fikrin temelleri atılırken, elbetteki herhangi hassas bir cismi , örneğin bir yumurtanın kırılmadan taşınması gibi ileri derecede bir ihtiyacı karşılaması yada böyle bir yetenek sergilmesi beklentinin çok ilerisinde olurdu. Bu sebeple bu tip beklentiler gelişen teknolojiye paralel bir şekilde günümüz modern dünyasının çözülmeyi bekleyen problemleri olmuştur.

2.2 Robotiğin Yeni Bir Dalı - Yumuşak Robotik

Yumuşak robotik , robotiğin bir alt çalışma alanı olarak tanımlanabilir.Klasik rijit malzemeler dışında yumuşak robotik alanı daha çok silikon , plastik , kumaş , kauçuk gibi yumuşak ve yüksek şekil değiştirme yeteneğine sahip malzemeleri tasarımlarında barındırır.

Tekerleklerin, elektrik motorlarının ve sağlam iskeletlerin yokluğunda yumuşak robotların hareketleri genellikle yumuşak organizmalardan etkilenir[29]. Örneğin herhangi bir elektrik motoru kullanmadan büyük şekil değiştirmelere izin veren tasarımı

sayesinde sadece basınçlı hava ve doğadaki omurgasız hayvanların hareketlerini taklit ederek , bir soft robot hareket edebilir ve bir engelin altından geçebilir (Şekil 2.5).



Şekil 2. 5 Dört ayaklı yürüme yeteneği olan bir yumuşak robot [30]

Yumuşak robotlar, çevreyle aktif bir şekilde etkileşim kurabilir ayrıca morfolojik özellikleri ve yapısal uyumlarından yararlanarak "büyük" deformasyonları rahatlıkla yaşayabilir. Örneğin üzerine büyük bir baskı kuvveti geldiğinde kırılmak yerine buna büyük şekil değiştirmeler ile karşı durabilir.

SAYISAL YÖNTEMLER

3.1 Sonlu Elemanlar

Sonlu Elemanlar Yöntemi ya da Sonlu Elemanlar Metodu, kısmi diferansiyel denklemlerle ifade edilen veya fonksiyonel minimizasyonu olarak formüle edilebilen problemleri çözmek için kullanılan bir sayısal yöntemdir. İlgilenilen bölge sonlu elemanlar (*Finite Element*) topluluğu olarak gösterilmektedir. Sonlu elemanlardaki yaklaşık fonksiyonlar, araştırılan fiziksel alanın nodal değer terimlerinde belirlenmektedir. Sürekli fiziksel problem, bilinmeyen nodal değerli kesikli sonlu eleman problemine dönüştürülmektedir. Bu yöntemin uygulanması için basit yaklaşım fonksiyonları oluşturulmalıdır. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle, katı mekaniği, sıvı mekaniği, akustik, elektromanyetizma, biyomekanik, ısı transferi gibi alanlardaki problemler çözülebilir.

Abaqus FEA (eskiden ABAQUS), 1978'de piyasaya sürülen sonlu elemanlar analizi ve bilgisayar destekli mühendislik yazılım paketidir. Bu yazılımın adı ve logosu abaküs hesaplama aracına dayanmaktadır. Abaqus ürün paketi beş ana yazılım ürünü içerir:

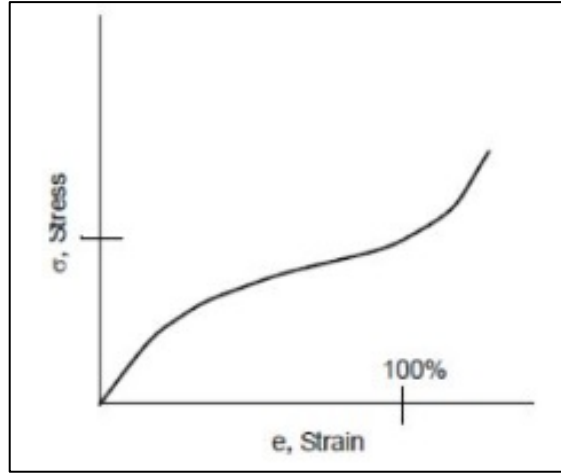
1. Abaqus / CAE veya "Complete Abaqus Environment" (Bilgisayar Destekli Mühendislikte açık bir köklü bir backronym). Mekanik bileşenlerin ve montajların modellenmesi ve analizi (ön işleme) ve sonlu elemanlar analiz sonucunun görselleştirilmesi için kullanılan bir yazılım uygulamasıdır. Abaqus / CAE'nin yalnızca post-processing modülü dahil olmak üzere bir alt kümesi bağımsız olarak Abaqus / Viewer ürününde başlatılabilir.

2. Abaqus / Standard, örtük entegrasyon şemasını (geleneksel) kullanan genel amaçlı bir Sonlu Elemanlar analizörü.
3. Abaqus / Explicit, geçici yükler altında birçok karmaşık kondağa sahip yüksek doğrusal olmayan sistemleri çözmek için açık entegrasyon şemasını kullanan özel amaçlı bir Sonlu Elemanlar analizörü.
4. Abaqus / CAE'de ön işleme ve postprocessing için kapsamlı destek ile ileri hesaplamalı akış dinamikleri yetenekleri sağlayan Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yazılımı uygulaması olan Abaqus / CFD.
5. Abaqus / Elektromanyetik, ileri hesaplamalı elektromanyetik problemleri çözen Hesaplamalı bir elektromanyetik yazılım uygulaması

3.2 Hiperelastik Malzeme Özellikleri

Yumuşak robotlar çoğunlukla elastomerik polimerlerden üretilmektedir. Uygun tasarım sayesinde basit bir elastomer yapı, sert makinelerde çok bileşenli mekanik bir yapının karmaşıklığı olmaksızın eklem [31], yataklama [32] ve tahrik [33] gibi çok işlevli olmasını sağlayabilir.

Elastomerler malzemeler, doğrusal olmaya elastik gerinim - gerilim özelliği gösteren polimer yapılardır. Bu terim çoğunlukla kauçuk davranışı gösteren malzemeler için kullanılmaktadır. Yumuşak tutucularda da hiperelastik malzemeler sıklıkla kullanılmaktadır. Bu malzemeler küçük yükler altında özelliğini koruyup elastik şekil değişikliklerine uğrayabilirler. Ancak bu malzemelere uygulanan yük ile şekil değişiklikliği doğru orantılı değildir. Bununla birlikte şekil değiştirme ve gerilmeyi de doğrudan gösteren bir oran yoktur. Bunu tanımlayabilmek için şekil değiştirme-enerji fonksiyonu gerekir. Bu sebeple pek çok araştırmacı bu fonksiyonu farklı olarak tanımlamıştır. Bu malzemeler klasik anlamda elastiklerdir. Bunun sebebi aşağıdaki (Şekil 3.1) gerilim-gerinim eğrisinde de görülebileceği üzere; kuvvetin ortadan kalkması (unloading) durumunda parça üzerinde herhangi kalıcı deformasyon oluşmamaktadır. Pratikte malzeme davranışı ,yaklaşık olarak, sıkıştırılmaz kabul edilir.



Şekil 3. 1 Hiperelastik malzeme gerinim – gerilme grafiği [34]

Hiper - elastik malzemeler;

- İzotropik ve doğrusal olmayan(Non-Linear) davranış göstermektedirler.
- Büyük gerinme(Strain) değerleri yanında anlık elastik davranış sergileyen, kauçuk, katı yakıt ve diğer elastomerik malzemeler yapılar için de kullanılırlar.

Çizelge 3.1’de yumuşak robotların üretiminde yaygın olarak kullanılan bir malzemenin kimyasal ve fiziksel özellikleri görülmektedir.

Çizelge 3.1 Eco-0030 silikon malzeme özellikleri [34]

Özellik	Minimum değer	Maksimum değer	Birim
Atomik Hacim	0,0035	0,0055	m ³ /kmol
Özkütle	1,1	2,3	Mg/m ³
Basma Dayanımı	10	30	MPa
Süneklik	0,8	5,3	-
Elastik Limit	2,4	5,5	MPa
Possion Oranı	0,47	0,49	-
Kesme Modülü	0,0003	0,02	GPa
Çekme Dayanımı	2,4	5,52	MPa
Özgül Isı	1050	1300	J/Kg.K
İletkenlik Katsayısı	0,2	2,55	W/m.K

3.3 Tasarım Akış Planı

Yapılan çalışma için izlenen tasarım akışı genel hatları ile şu şekildedir. Başlama noktasından sonra ilk olarak model üzerinde değiştirilebilecek/ayarlanabilecek seçeneklerin belirlenmesi adımı gelmektedir. Bu aşamada çalışılacak sistem üzerinde dört farklı büyüklük seçilmiş olup bunlar diş yüksekliği, diş genişliği, koniklik ve basınç seviyesidir. Hangi parametrenin seçilen seviyeleri arasında sistem çıktısına ne kadarlık bir etkisi olduğunu yapılacak olan ilk modellemenin çıktılarına göre DOE adımı belirlenecektir. DOE sonuçlarına göre eldeki sistem için maksimum çıktıyı verecek parametreler ile son modelleme aşamasına geçilecektir. Bu aşamadan sonra sonra iki boyutlu yada 3 boyutlu analizler ve istenen senaryolar tasarımcılara bırakılmaktadır. Tüm çevrim en baştan sona istenen parametrelerin istenen seviyeleri için tekrar tekrar kullanılabilir.

4.1 Yumuşak Robotik Tasarımlar

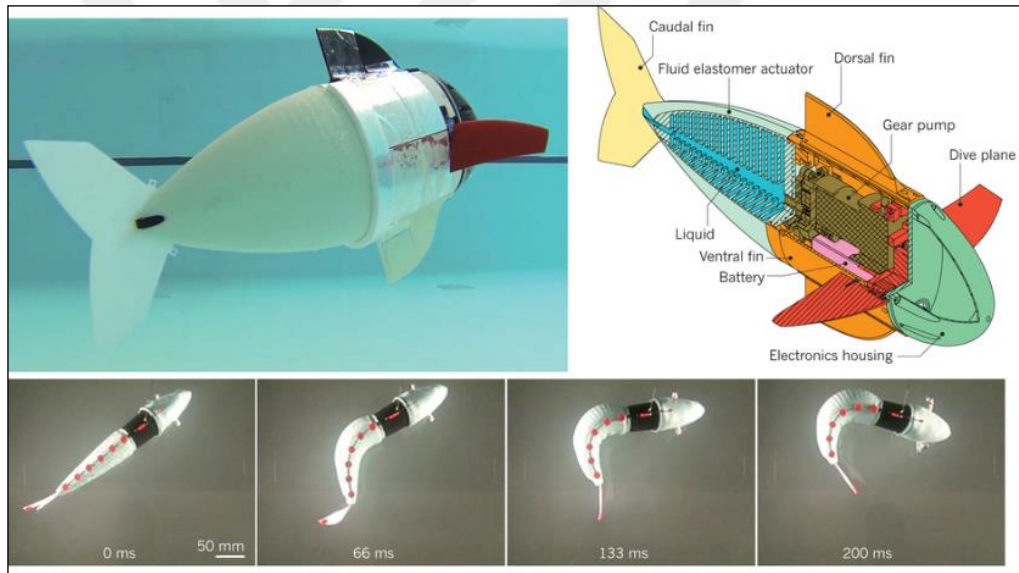
Yumuşak robotik alanda çoğu zaman biyolojik alandan esinlenmeler, tasarımları oluşturmaktır. Bu tasarımların klasik katı robotlara kıyasla sağladığı özel avantajları vardır. Örneğin belirsiz şekilli nesneleri kavramak yada bozuk arazilerde yol alıp dinamik görevleri icra edebilmek soft robotların tasarımcılara sağladığı avantajlardan bazılarıdır. Bu tip doğadan esinlenmeler taşıyan tasarımların genel adı bio-mimetic olarak literatürde geçmektedir.

Bunun dışında HMI gibi güvenlik yada hassasiyet gerektiren konularda da soft robotik tasarımcıların ihtiyaçlarına cevap verebilmektedir. Örneğin eli olmayan biri için robotik bir el yapılmak istendiğinde yumuşak robotik dışındaki tasarımlarda sert malzemeler kullanıldığı için insanın doğal el yapısına benzer bir tasarımın ortaya çıkması neredeyse imkansızdır. Aynı tasarımının yumuşak robotik malzemeler kullanılarak yapılması durumunda ise insan vücuduna daha benzer bir parçanın ortaya çıkacağına şüphe yoktur.

Bu teknoloji yada yöntem, bir insanın eksik uzuvlarının yeniden onarımı için kullanılabileceği gibi, insan vücuduna zarar vermeyecek şekilde fizik tedavi aletleri yapıp tıp alanında da insanlığın hizmetine sunulabilir. Bu sayede hem daha konforlu hem de daha kısa sürede tamamlanabilecek bir iyileşme yakalanmış olur.

Sivil kullanım alanları dışında, yumuşak robotik tasarımları askeri alanlarda da yeni ufuklar açma potansiyeline sahiptir. Modern dünyamızda kullanılan başlıca askeri araçlardan olan denizaltılar düşman sularında radarlara yakalanmadan görev icra edebilmek için çeşitli radar aldatma yöntemleri kullanırlar. Geleneksel tasarımlarda tüm dış yapı metalik malzemeden yapıldığı için gelen radar sinyallerini geri yansıtarak denizaltının yerini ifşa ettirebilmektedir. Bu problemin çözümü için çeşitli radar soğurucu malzemeler geliştirilse de tüm yapının yumuşak malzemeden yapılmış bir tasarımı kadar iyi sonuç vermesi beklenemez.

Örneğin şekil 4.1’de gösterildiği şekilde tasarlanmış ve dış yüzeyi metalik olmayan bir soft tasarım mevcut denizaltılardan çok daha düşük radar izine sahip olacaktır. Bunun yanında sistemin elektrik motorları dışında basınçlı hava ile hareket ettirilmesi gürültü konusunda da iyileşmenin görülmesini sağlayacaktır.



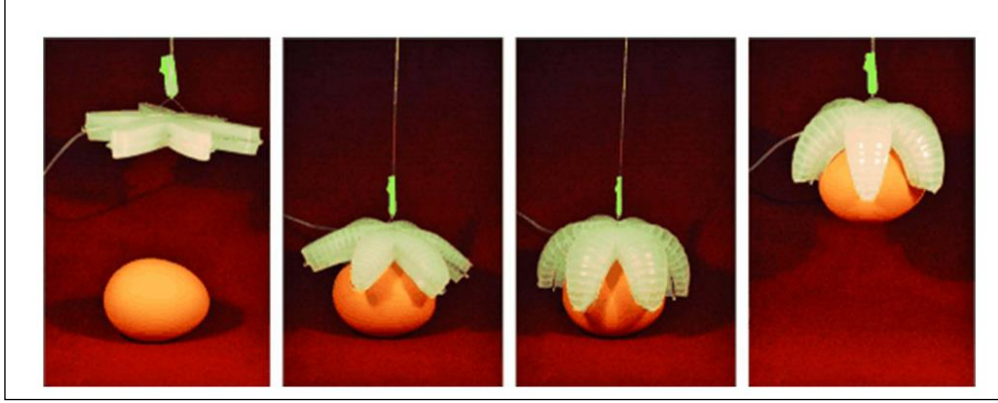
Şekil 4. 1 Gerçek bir balığın hareketlerini taklit edebilen yumuşak robot [35]

Soft robotiğin getirdiği avantajlar olduğu gibi dezavantajları da vardır. Klasik robotlarda kullanılan malzeler dışında yumuşak malzemelerin kullanımı, sistemin modellenmesi, kontrolü ve analizi konusunda non-lineerliklerden dolayı farklı zorluklar çıkarmaktadır.

4.2 Yumuşak Tutucular

Yumuşak tutma herhangi bir nesne yada hedef bölgenin zarar verilmeden tutulması yada temas kurulması için kullanılan yumuşak robotiğin bir dalı olarak

tanımlanabilir.Yumuşak robotik alanda kullanılan yumuşak malzemelerin yüksek esneme ve düşük yüzey sertliklerinden dolayı şekil 4.2’ deki gibi pişmemiş bir yumurta kırılmadan taşınabilmektedir.



Şekil 4. 2 Bir yumurtayı kırmamadan tutabilen yumuşak tutucu [36]

Yumuşak robot ve tutucuların akademik alanda örnekleri olduğu gibi endüstride de çeşitli alanda klasik robotlarla birlikte kullanıldığı örnekler de mevcuttur.Örneğin şekil 4.3’de gösterilen, bant üzerindeki yumuşak cisimler bir delta robot kolu ucuna monte edilmiş , yumuşak tutucu ile toplanabilmektedir.



Şekil 4. 3 Delta robot kolu ucuna monte edilmiş yumuşak tutucu [37]

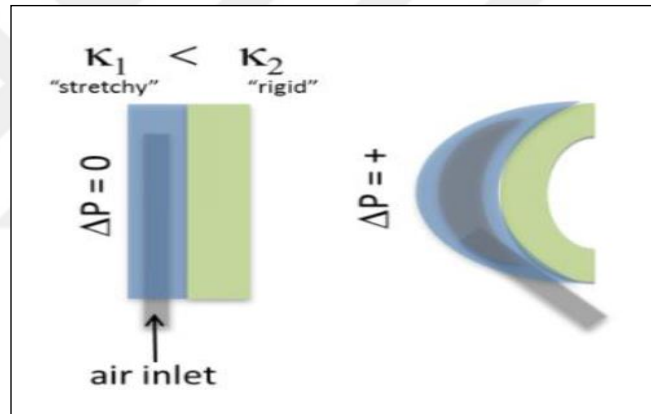
Uyumlu materyallerin kullanılması tutucuların çeşitli geometriyle meyve gibi nesneleri manipüle etmelerini sağlar(Şekil 4.4). Endüstri ve akademik alandan farklı olarak yumuşak tutucular engelli insanların kullanımı için de düşünülebilir.



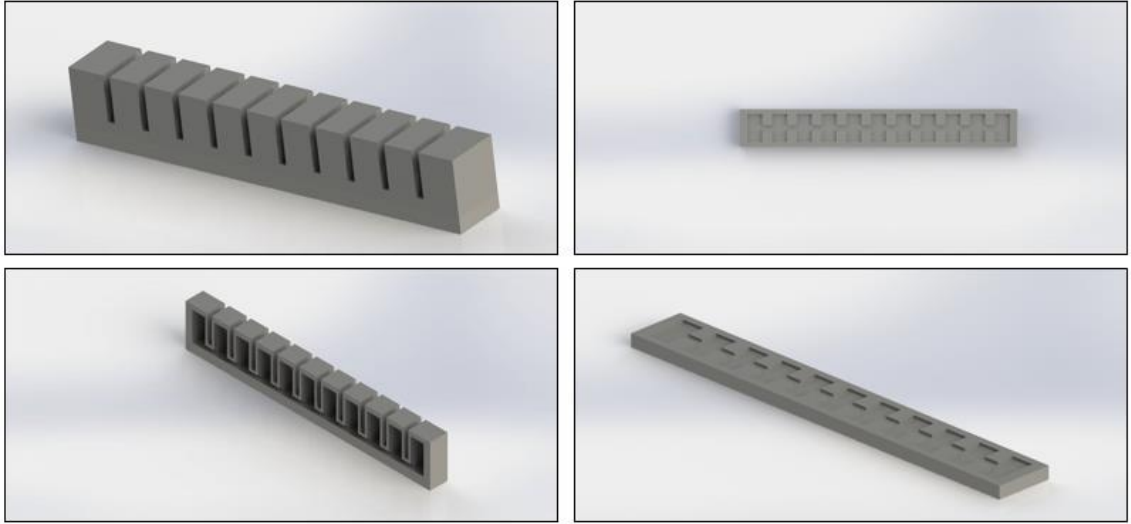
Şekil 4. 4 Yumuşak cisimleri zarar vermeden kavraya bilen robot kol[38]

4.3 Modellenecek Parça ve Özellikleri

Tez içerisinde modellenecek olan parça yumuşak tutucu özellikli olup basınçlı hava kullanılarak belirlenen hedef objenin sarılması hedeflenmiştir. (Şekil 4.5)



Şekil 4. 5 Hava ile aktive edilen iki katmanlı yumuşak tutucu[39]

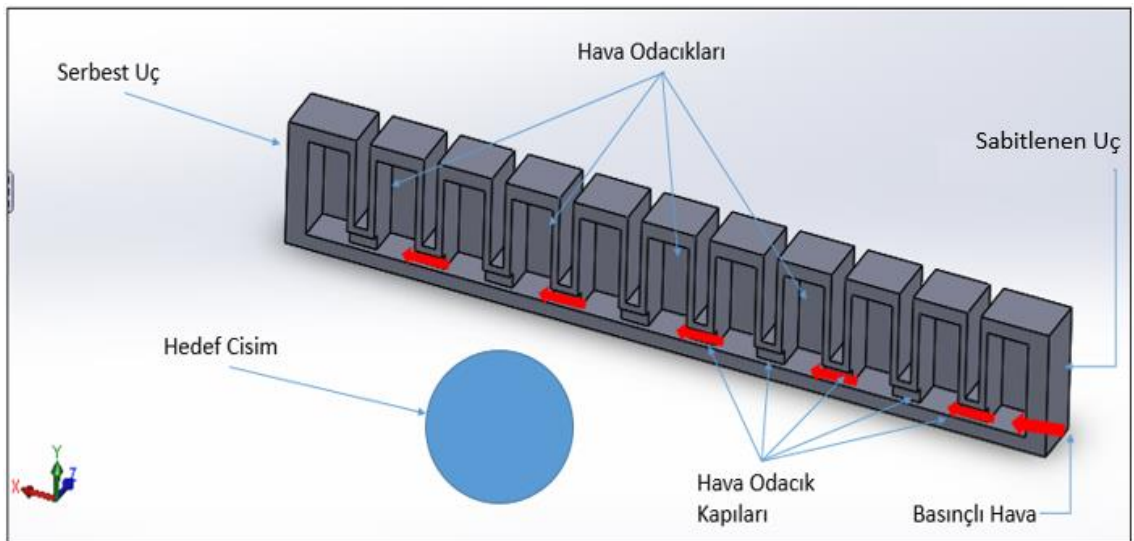


Şekil 4. 6 Modellenecek olan parçanın katı modeli

Şekil 4.6’da görüldüğü gibi 11 adet hava odacığının bulunduğu katmanın bir tarafından verilecek olan basınçlı havanın, odalar arasındaki tünellerden bir diğerine geçerek tüm katmana yayılması planlanmaktadır.

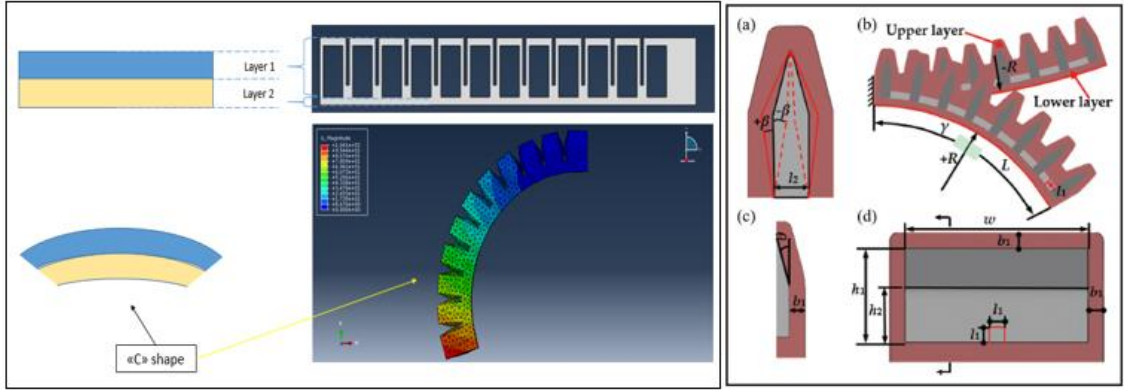
İkinci aşama olarak, hava odacıklarının şişerek birbirlerini itmesi ve alt katmanı burulmaya zorlayarak sistemin “c” şekli alıp hedef cisme tutunması/sarılması planlanmaktadır.

Tüm bunların sonucu olarak sistemdeki reaksiyon kuvvetlerinin değişimi ve bu değişimlere belirlenen hangi parametrelerin ne derece etkileri olduğu bulunmaya çalışılacaktır.



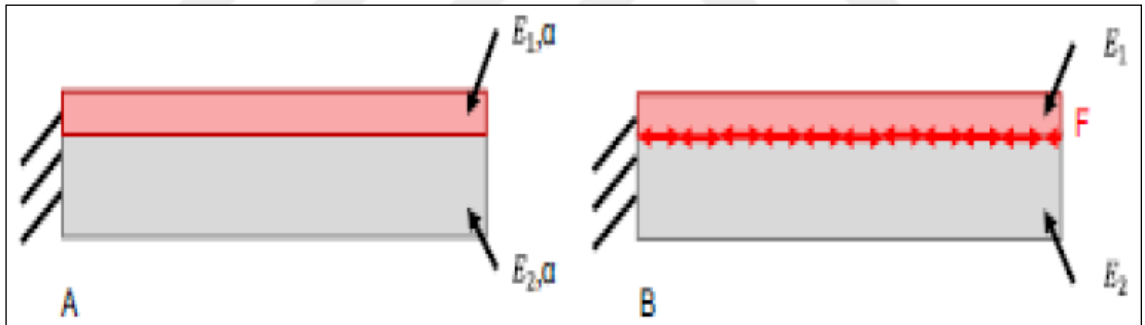
Şekil 4. 7 Yumuşak tutucu ve hedef cisim gösterimi

Sistemin herhangi bir cisme tutunması için basınçlı hava yeterlidir (Şekil 4.7).



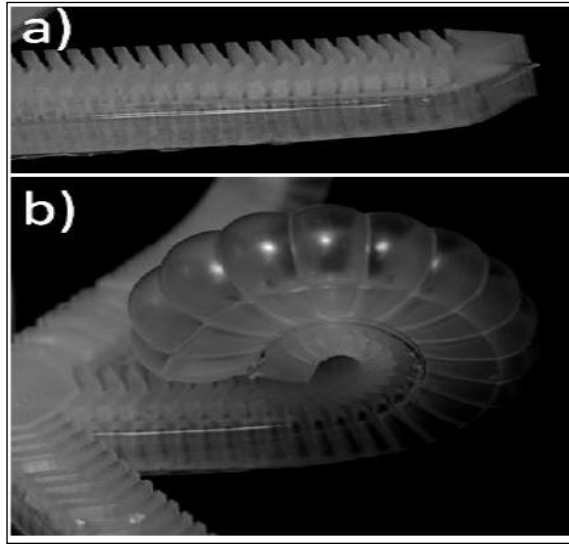
Şekil 4. 8 2D Parçanın çok katmanlı kirişe olan benzerliği [40]

Hava odacıklarının bulunduğu katman aksenal olarak uzamaya çalışırken alt katmanda herhangi bir odacık olmamasından dolayı daha rijit bir katman olarak üst katmana göre uzaması neredeyse olmayacaktır. Dolayısıyla da sistemin burulması beklenmektedir. Bu bölgelerde oluşan reaksiyon kuvvetleri ve gerilmeler tezin ilerleyen kısımlarında daha detaylı olarak gösterilmiştir. (Şekil 4.8)



Şekil 4. 9 Sıcaklık farkı ile tahrik edilen çok katmanlı bir sistem [41]

Benzer şekilde farklı katman yapılarına sahip kirişler basınçlı havanın yanı sıra (Şekil 4.10) farklı şekillerde de burulmaya zorlanabilir. Örneğin, iki katman arasına yerleştirilmiş elektrik teli genleşme farkı yaratıp katmanları harekete geçirebilir (Şekil 4.9).



Şekil 4. 10 Bir ahtapotun kolu gibi sarılmış yumuşak tasarım [39]

4.4 Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması

Birçok bilgisayar CAE paket programında olduğu gibi Abaqus içerisinde de çeşitli sonlu elemanlar analizleri yapılırken izlenmesi gereken yollar vardır.

Analizi yapılacak olan parçanın çizelge 3.2’de gösterildiği sıralamada modeli oluşturularak CAE analizi yapılmıştır.

Çizelge 3.2 CAE Modelleme Adımları

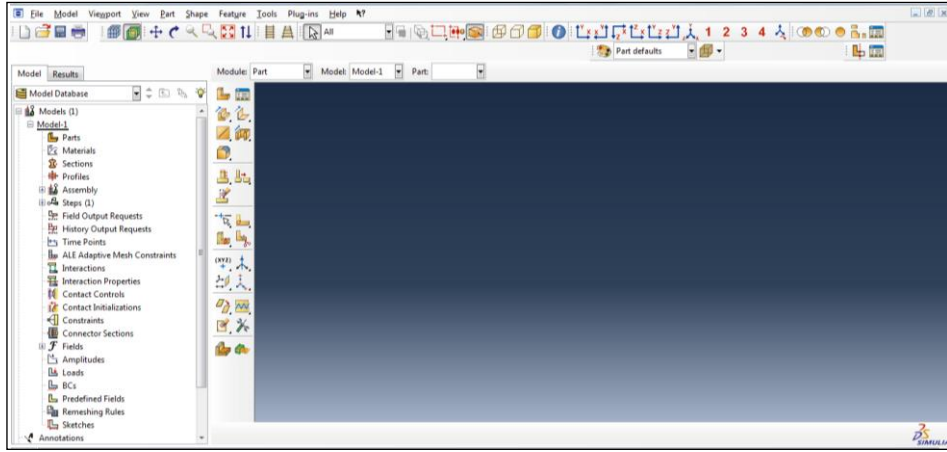
No	İşlem Adı	Açıklaması
1	Geometrinin Oluşturulması	Analizi Yapılacak Parçanın katı Modelinin Oluşturulması
2	Malzeme Oluşturma ve Atama	Kullanılacak Olan Malzemenin Mekanik Özelliklerinin Sisteme Girilmesi
3	Kesit Oluşturma ve Atama	Analizi Yapılacak Olan Parçanın Kesit Özelliklerinin Belirlenmesi ve Parçanın İlgili Kısımlarına Atanması
4	Etkileşim Oluşturma	Parçanın Varsa Diğer Parçalar ve Kendi İçindeki Temas Özelliklerinin Belirlenmesi

Çizelge 3.2 CAE Modelleme adımları(devamı)

5	Montaj Oluşturma	Analizi Yapılacak Olan Parçaların Birbirleriyle Olan İlişkilerin Belirlenmesi
6	Adım Oluşturma	Analizi Sırasında Kullanılacak Olan Sınır Şartı ve Yüklerin Hangi Sıralamada Yapılacağını Belirlemesi
7	Yük Oluşturma ve Atama	Parça Üzerine Etkiyen İç ve Dış Kuvvetlerin Belirtilemesi
8	Sınır Koşulları Oluşturma ve Atama	Parçanın Serbestlik Derecesine Uygun Sınır Koşullarının Girilmesi
9	Ağ Oluşturma ve Atama	Parça Geometrisine Uygun Ağ Atanması
10	İş Oluşturma ve Çözdürme	Çözümü Yapılacak Olan Analiz İçin İşlemci Ayarlarının Yapılması
11	Sonuçlar ve Grafiklerin Eldesi	Çözümü Tamamlanmış İş Sonuçlarının Görüntülenmesi

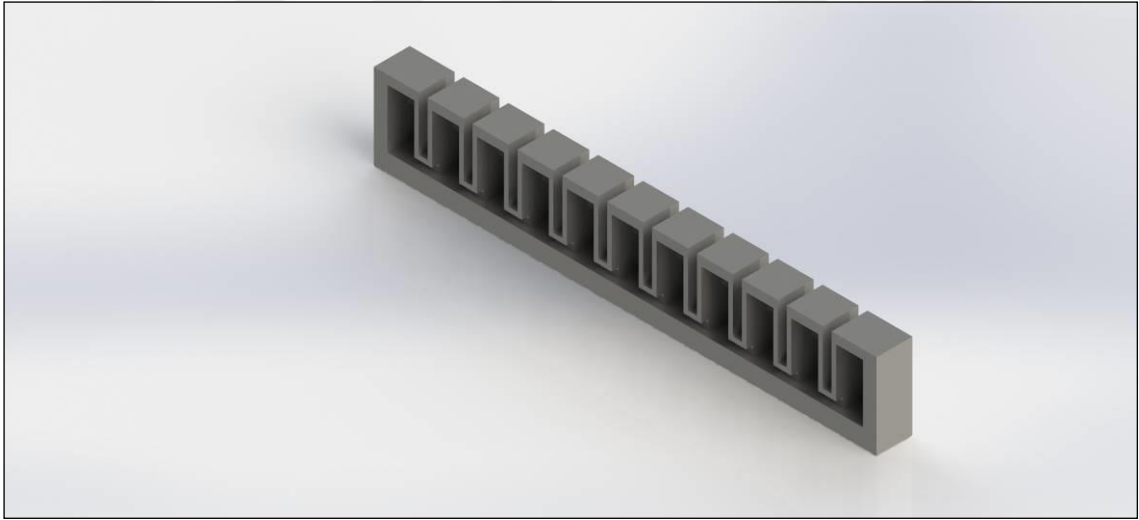
4.4.1 Bigisayar Destekli Tasarım Modelin Oluşturulması

Abaqus içerisine analizlerin ve diğer tüm işlemlerin yapılacağı kullanıcı arayüzü Şekil 4.11 'da görülmektedir. Gerekli olan tüm işlemler ekranın sol tarafında bulunan ürün/işlem ağacı üzerinden yapılabilmektedir.



Şekil 4. 11 Abaqus kullanıcı arayüzü

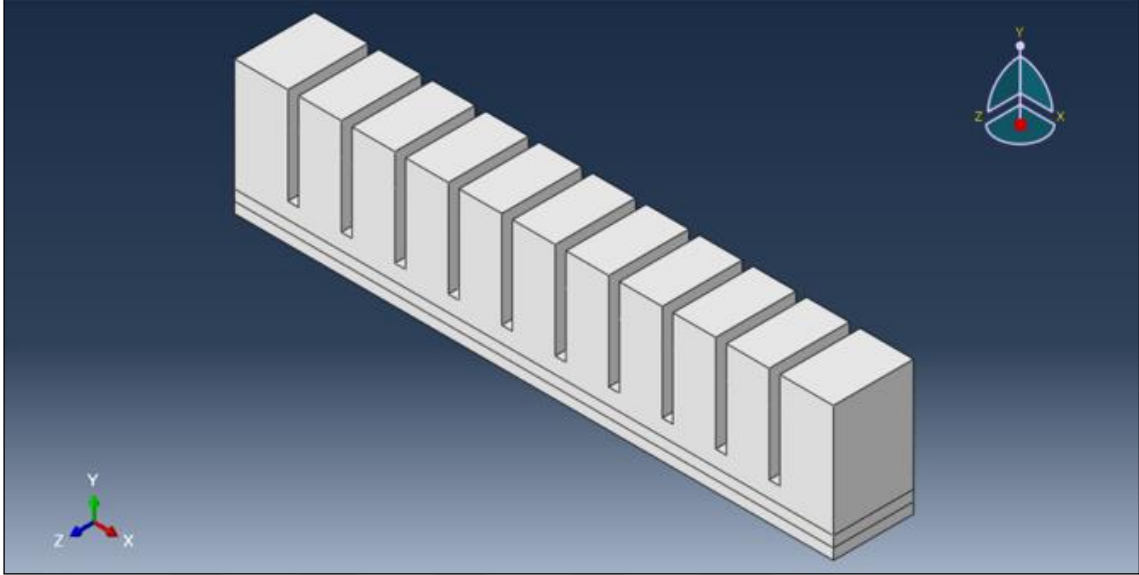
CAD programında modellenen tutucu kol Şekil 4.12’ de kesiti alınarak gösterilmiştir. Sistem içerisine basınçlı hava gönderilerek , tüm kolun bükülüp “C” formunu alması planlanmaktadır. Hava odacığı olarak isimlendirilen kısımlar arasında havanın geçişine izin veren kanalcıklar mevcuttur. Bu şekilde hava sistemin sadece tek bir noktasından girerek tüm odacıklara yayılabilmektedir. Hava odacıklarının birbirleriyle olan ilişkileri kesit alınan görsellerde açık olarak görülmektedir. Program içerisinde bu bölgelere hava basıncını simüle edecek şekilde basınç kuvvetleri uygulanacaktır.



Şekil 4. 12 Katı modelin cad ortamındaki kesiti

Her CAE programı analiz için 3D yada 2D olsun bir geometriye ihtiyaç duymaktadır. Yapılacak olan analiz tipine ve kullanıcının tercihinə göre geometri farklı özelliklere sahip olabilir. Katı modeli oluşturulmuş sistemin, CAE analizinin yapılabilmesi için , paket program içerisine alınması gösterilmiştir.

Program içerisinde geometri topolojisi olarak 3 farklı seçenek sunulmaktadır. Bunlar “Katı” , “Kabuk” ve “Kablo”. Analiz içerisinde kullanılacak olan geometrinin burada bulunan seçeneklere uygun olarak belirtilmesi gereklidir.



Şekil 4. 13 CAE ortamında oluşturulan katı modeli

Katı modelin (Şekil 4.13) CAE ortamında getirilmesinin ardından mazleme özelliklerinin, sınır koşullarının ve diğer ayarların yapılmasına başlanabilir. CAE ortamına alınan modelden daha sonraki aşamalarda bir hata alınmaması için genel olarak incelenerek kontrol edilmesi bu aşamadaki en önemli adımlardan biridir.

4.4.2 3D Modelin Oluşturulması

4.4.2.1 Malzeme Oluşturulması ve Özelliklerin Girilmesi

CAE modelinin gerçeğe en yakın sonuçları verebilmesi için, kullanılan malzemenin ve çözüm yönteminin modele en uygun şekilde seçilerek programa girilmesi gerekmektedir. Yapılacak olan analiz türü “Statik” olarak seçildiği için malzeme özelliği olarak özkütle ve hiperelastik özelliklerinin girilmesi gereklidir.

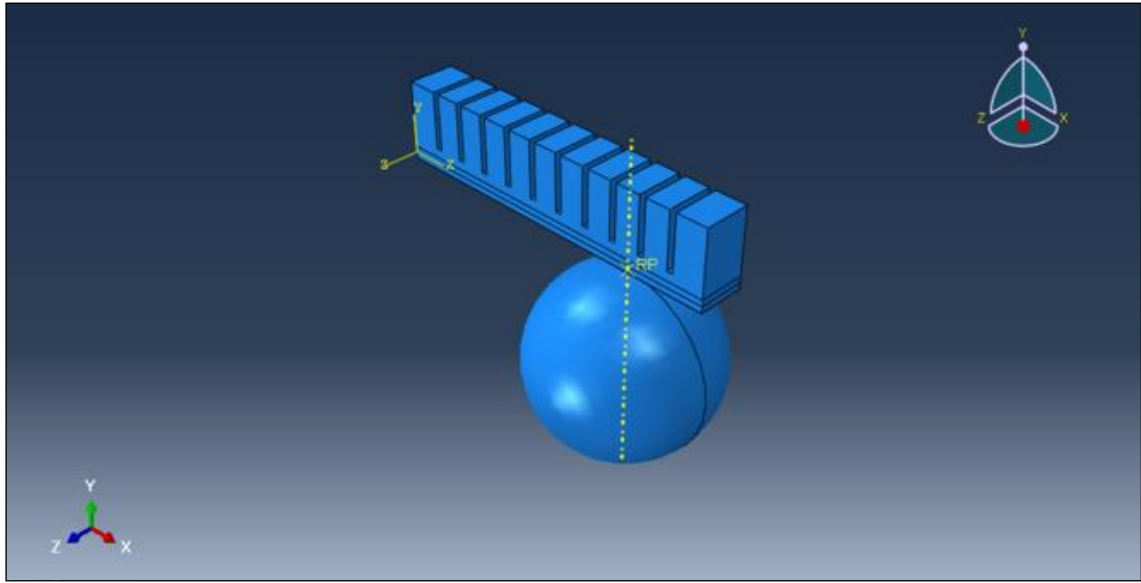
4.4.2.2 Kesit Oluşturma ve Atama

Analiz işlemi sırasında tamamlanması gereken bir diğer adım da kesit oluşturulması ve modele atanması. Kullanılan model için kategori kısmından “Katı” cins kısmından ise “

Homojen” seçeneği analizi yapılacak model için en doğru seçimdir.Özellikleri belirlenen kesitler, parçanın istenen kısımlarına uygun şekilde ekrandan seçilip, uygulanmıştır.

4.4.2.3 Montaj Oluşturma

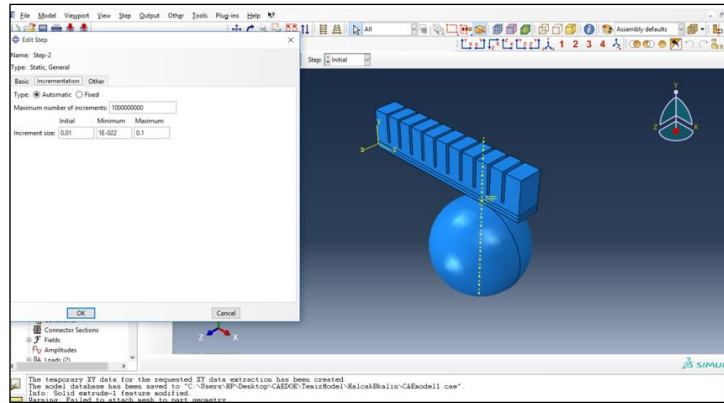
Kesitlerin oluşturulmasının ardından parça Montaj ortamına aktarılarak analize devam edilmektedir.Hali hazırda analizi yalacak olan tüm parçalar benzer şekilde assembly ortamına aktarılarak aralarındaki ilişkiler ve bağlantılar yapılabilir(Şekil 4.14).



Şekil 4. 14 Parçaların montaj ortamında toplanması

4.4.2.4 Adım Oluşturulması

Çözüm yapılacak olan sistem için yapılması gereken bir diğer adım step adı verilen çözüm aşamalarının ayarlanması(Şekil 4.15).

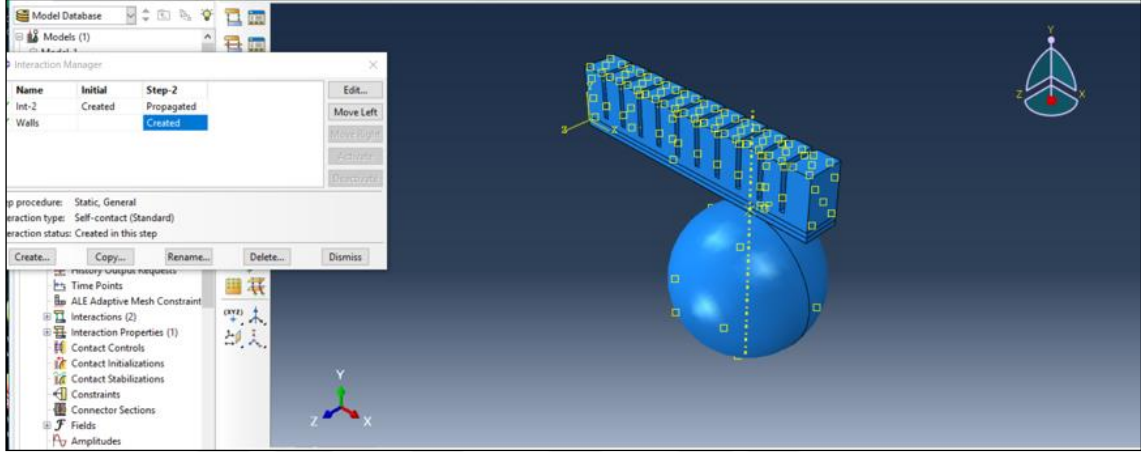


Şekil 4. 15 Adım ayarlarının yapılması

4.4.2.5 Parçalar Arasında Etkileşim Oluşturulması

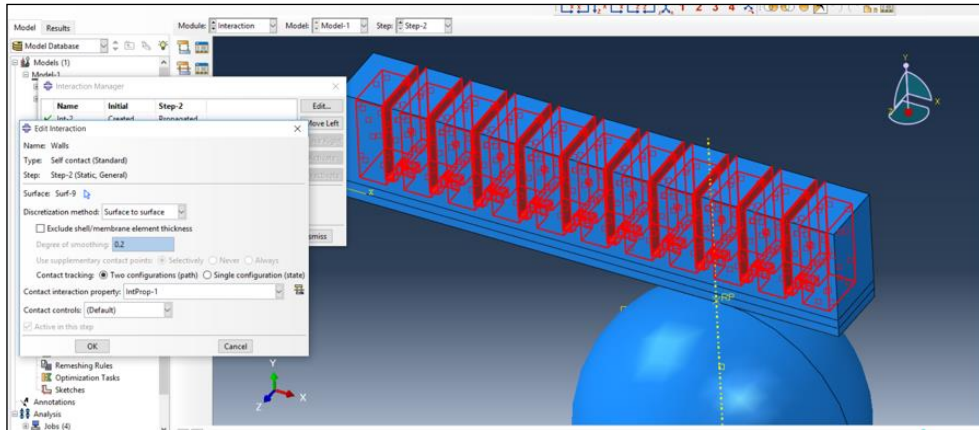
Montaj ortamına getirilen parçalar eğer birbirleri ile doğrudan temas halindeyseler, temas bölgeleri ve temasın türü için de bazı ayarlamaların yapılması gereklidir.

Bu analiz özelinde parça kendi içerisinde temaslar içerdiği için temas eden yada edecek yüzeylerin belirlenmesi gereklidir(Şekil 4.16).



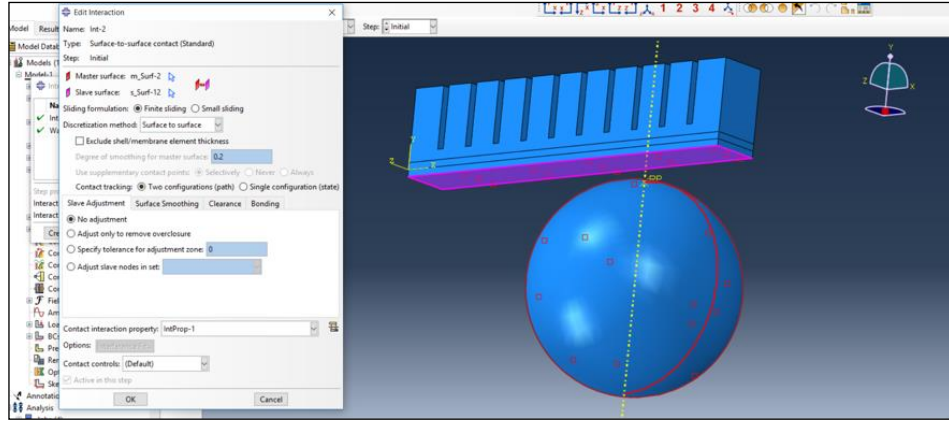
Şekil 4. 16 Etkileşim ayarları yapılan sistem

Yukarıda hava odacıklarının birbirlerine temas edecekleri kabulüne göre , ilgili bölgeler için “kontak” tip kesişim seçilmiştir.



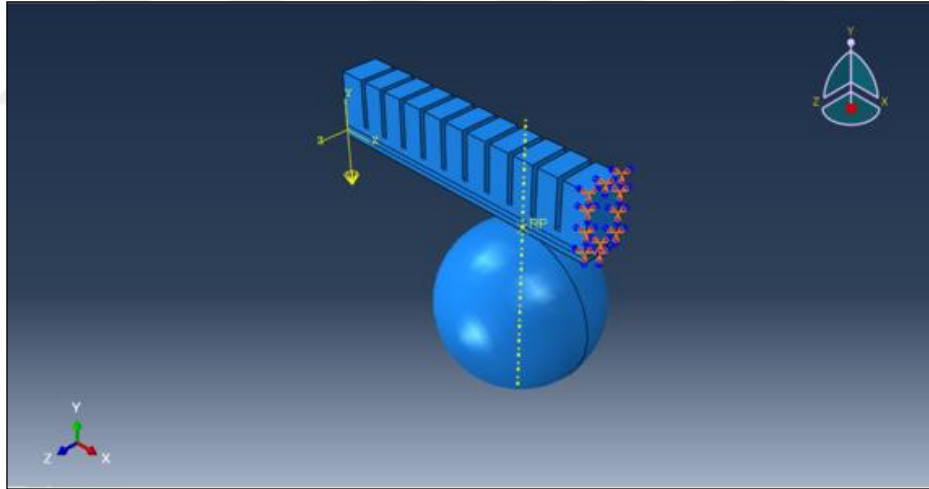
Şekil 4. 17 Hava odacıklarının arasındaki etkileşim yüzeyleri

Bir sonraki aşamada ise temas edeceği düşünülen yüzeyler işaretlenmiştir. Temas tipi olarak “Teğetsel Davranış” seçilerek bir sonraki adıma geçilmiştir. Bölgelerin sorunsuz olarak girilmesinden sonra parçamız üzerinde aşağıda görüldüğü üzere etkileşim bölgelerini gösteren sarı kutucuklar belirmektedir(Şekil 4.17 ,Şekil 4.18)



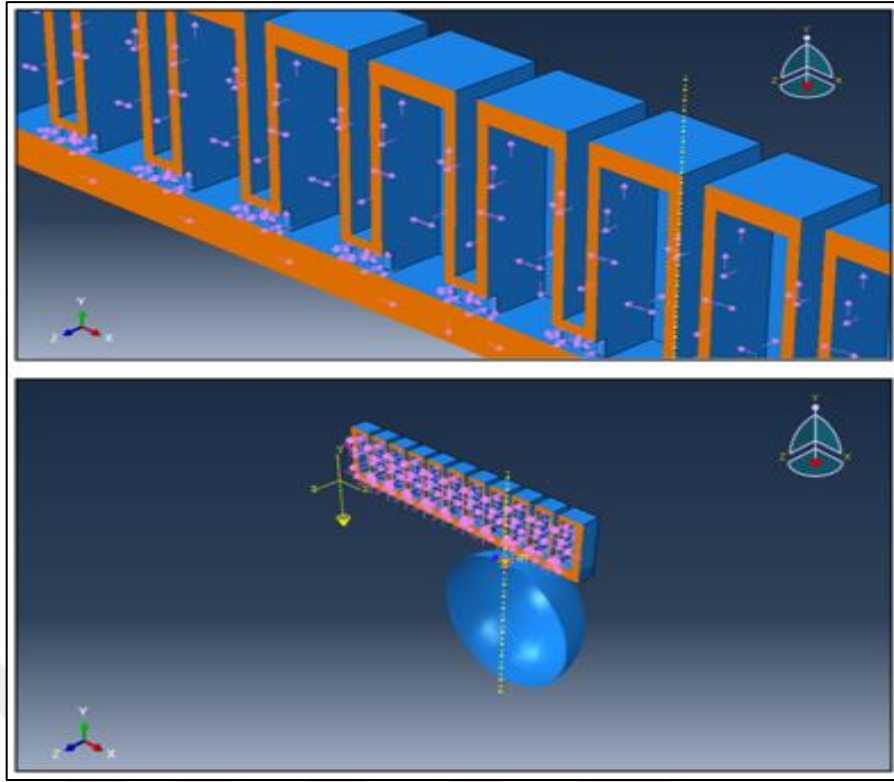
Şekil 4. 18 Etkileşim atanan yüzeylerin gösterimi

Analizi yapılacak parçanın basınç altında nasıl davranacağını görmek için kolun bir yüzeyi ankastre mesnet ile bağlanmış diğer tarafına herhangi bir sınır şartı girilmemiştir. Bunun yanında -y yönüne yer çekimi de sisteme girilmiştir. Hedef cisim ise tam merkezinden geçen eksen üzerindeki referans noktası(RP)'ndan sıfır serbestlik derecesi ile sabitlenmiştir(Şekil 4.19).



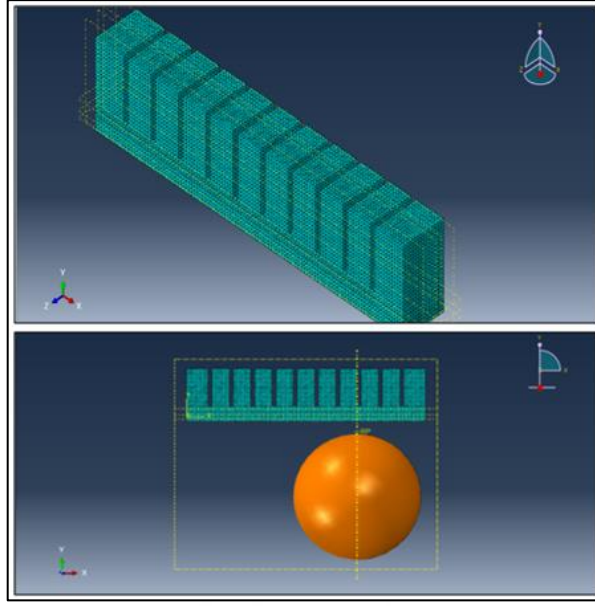
Şekil 4. 19 Yük ve sınır şartların uygulandığı model

Hava odacıklarının iç kısımlarına basınçlı havanın etkisini oluşturmak için kuvvet olarak “Basınç” tip yük uygulanmış, yük vektörlerinin görülebilmesi için montaj ortamı ve parça özelinde Z eksene dik olacak düzlemde kesit alınmıştır (Şekil 4.20)



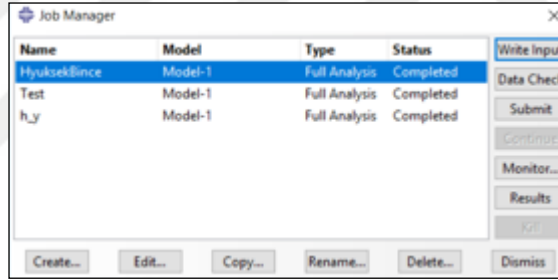
Şekil 4. 20 Kesiti alınmış sistemde basınç ve yer çekimi'nin vektörel gösterimi

Bir sonraki aşamada parça üzerinde mesh oluşturma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ağ boyutu 1 mm olarak belirlenip Tetrahedral “C3D10H” tip ağ kullanılmıştır. Ağ atılmış parça aşağıdaki gibi görünmektedir(Şekil 4.21). Ağ boyutlarının küçültülmesi yada bir başka deyişle daha sık ağ atılması analizin çözüm hassasiyetini arttırmaktadır. Ancak unutulmamalıdır ki, ağ boyutlarının küçültülmesi yada gereksiz bölgelerde sık ağ atılması analiz sürelerini uzatmakta yada kullanılan çözüm bilgisayarının kapasitesine çözüm işlemi iptal edilerek analiz sonlandırılabilir. Bu kapsamda parçanın geometrisinin 2d'ye olan uygunluğuna göre iki boyutlu analizler de kullanılabilir.



Şekil 4. 21 Parça üzerine ağ atılması

Program içerisinde sonuçlar öncesindeki son adım olan “iş” kısmından yapılacak olan analiz için bir iş oluşturulup çözüm işlemine başlanmıştır(Şekil 4.22).



Şekil 4. 22 İş oluşturma ekranı

Oluşturulan işlerin çözümü esnasında sistemin çözüm durumunu incelenebileceği “İzleme” kısmı şekil 4.23’de gösterilmiştir(Şekil 4.23).

HyuksekBince Monitor

Job: HyuksekBince Status: Completed

Step	Increment	Att	Severe Discon Iter	Equil Iter	Total Iter	Total Time/Freq	Step Time/LPF	Time/LPF Inc
1	9	1	0	6	6	0.0854297	0.0854297	0.0284766
1	10	1	0	6	6	0.113906	0.113906	0.0284766
1	11	1	7	4	11	0.142383	0.142383	0.0284766
1	12	1	5	5	10	0.170859	0.170859	0.0284766
1	13	1	0	3	3	0.199336	0.199336	0.0284766
1	14	1	1	2	3	0.227812	0.227812	0.0284766
1	15	1	1	2	3	0.270527	0.270527	0.0427148
1	16	1	2	3	5	0.3346	0.3346	0.0640723
1	17	1	1	5	6	0.430708	0.430708	0.0961084
1	18	1	2	4	6	0.526816	0.526816	0.0961084
1	19	1	2	4	6	0.622925	0.622925	0.0961084
1	20	1	2	4	6	0.722925	0.722925	0.1
1	21	1	1	5	6	0.822925	0.822925	0.1
1	22	1	4	3	7	0.922925	0.922925	0.1
1	23	1	3	2	5	1	1	0.0770752

Log Errors Warnings Output Data File Message File Status File

Submitted: Mon Feb 05 21:00:11 2018

Search Text

Text to find: ☐ Match case

Şekil 4. 23 Çözümü yapılan iş'in ilerleme durumu

3D Üç kollu tasarım için tutucu kollardan sadece bir tanesi yeterlidir. Program içerisinde montaj kısmında, hedef cisim etrafında 360 derecede 3 adet olacak şekilde, Y eksen etrafında "sırala" komutu ile çoğaltılan kollar üç kollu simetrik bir yapı oluşturur.

4.4.3 2D Oluşturulması

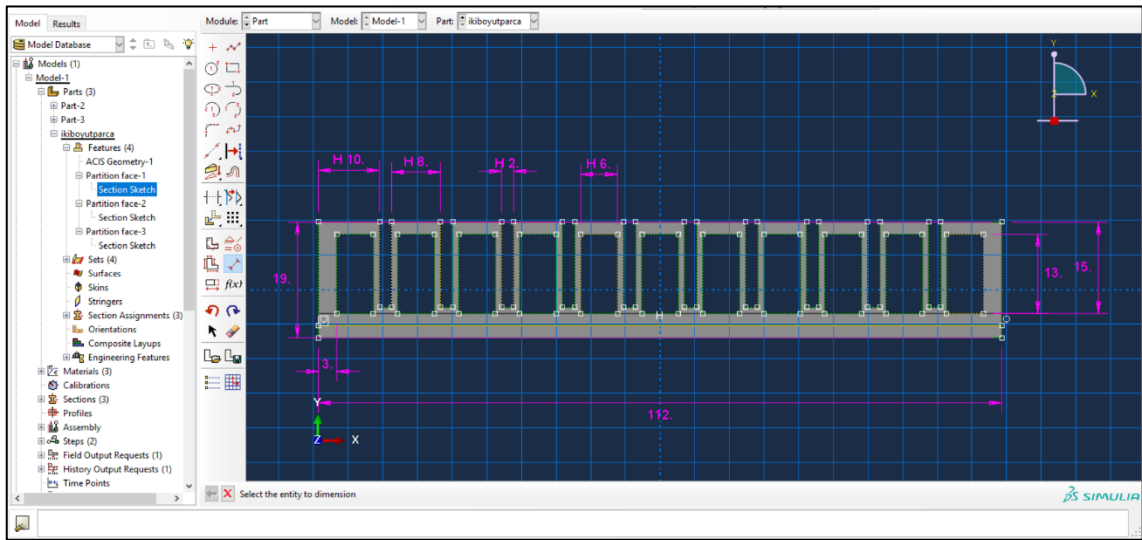
Bu kısımda önceki modelleme ve analiz kısımlarından farklı bir yol izlenip iki boyutlu modelleme ve analiz ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Günümüzde bir çok tasarımın CAE analizi, getirdiği bazı avantajlar bakımında 3D yerine 2D ortamda yapılmaktadır.

Tez içerisinde 3 boyutlu modellenerek analizi yapılan parça, 2 boyuta indirgenerek CAE analizi yapılabilir geometridedir. Bunun için parça kesiti Abaqus içerisinde 2D olarak modellenip, sınır şartları ve yük değerlerinin uygun şekilde girilmesi yeterlidir.

Parçayı 2D'ye indirgeme esnasında gerçek parçadan sapmalar yaşanacağı için , 3D modelden sapmalı sonuçlar elde edilebilir. Bunun sebebi modelin kesit alınan düzlemde tamamem ekstrüzyon edilmemiş bir parça olmamasıdır. Eğer hava odacıklarımızın içleri ve hava odacıklarının arasındaki geçiş kapıları da tamamen dolu olsaydı, indirgeme maksimum verimde gerçekleşebilirdi. Bu durum göze alındığında maksimum indirgeme verimine ulaşabilmek için 2D modelin olabildiğince 3D modeli yansıtır olmalı gerekmektedir. Bunun yanında 2D modelin getireceği süre ve işlemci kazancı da tüm bu çalışmalar sırasında unutulmamalıdır. Örneğin aşağıdaki ölçülerde oluşturulmuş bir

parçanın ağ modelinin oluşturulabilmesinde , aynı ölçülerdeki 3D modeli için yaklaşık 190bin eleman kullanılması gerekirken, aynı ağ kalitesinde 2D modelde bu sayı %96'lık bir düşüşle yaklaşık 8bin elemana düşmektedir.

Öncelikli olarak “parça modelleme” bölümünden oluşturulmak istenen parçanın çizimi için için yeni bir çizim oluşturulması gerekmektedir (Şekil 4.24). Burada parça kesiti manuel olarak çizilmelidir. Manuel işlemin yanı sıra herhangi bir CAD programında 2D modeller de Abaus içerisine 3D modeller gibi yüklenebilir.



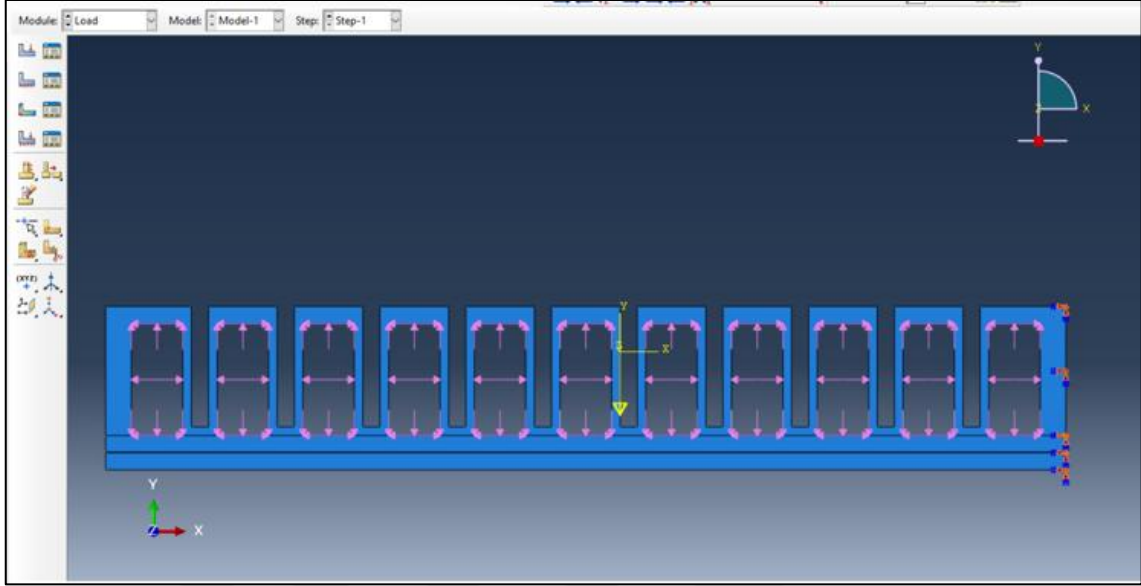
Şekil 4. 24 2D Çizim ortamında geometrinin çizilmesi

Oluşturulan skecth'ten sonra “ Özellikler” kısmından “Yarat” edildiğinde 2D model Abaqus parça kısmında oluşacaktır(Şekil 4.25).



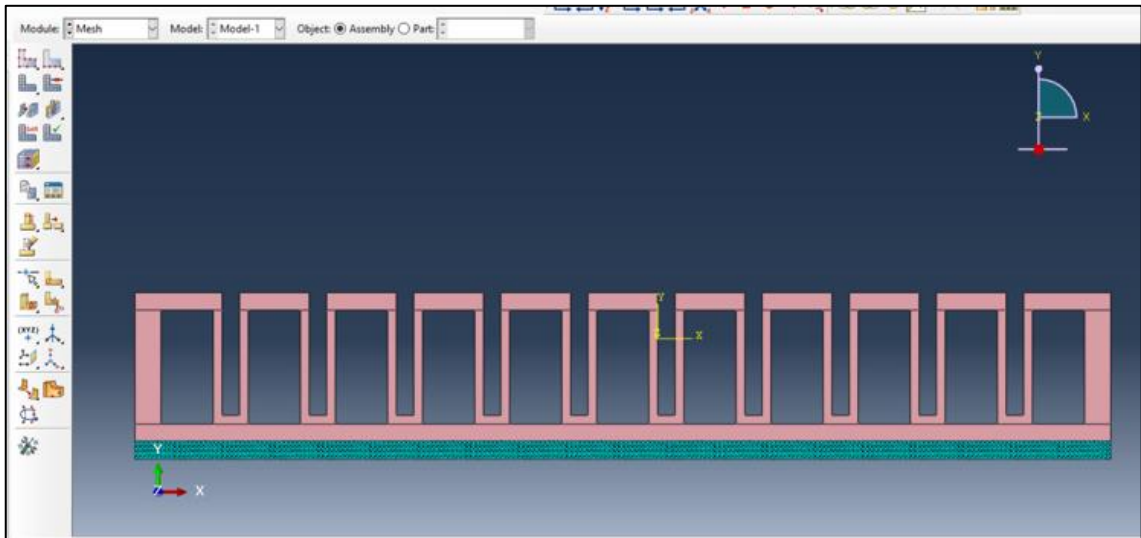
Şekil 4. 25 Çizilen çizim için 2d parçanın yaratılması

Sonrasında parçaya uygun BCs ve yüklerin girilmesi gereklidir. 3D modeldekine benzer olarak parçanın sol ucu serbest bırakılıp, sağ ucu ankastre olarak sabitlendikten sonra hava odacıklarının kenarlarına basıncı simule etmesi için yükler girilmiştir (Şekil 4.26).



Şekil 4. 26 2D Parça üzerinde sınır şartların oluşturulması

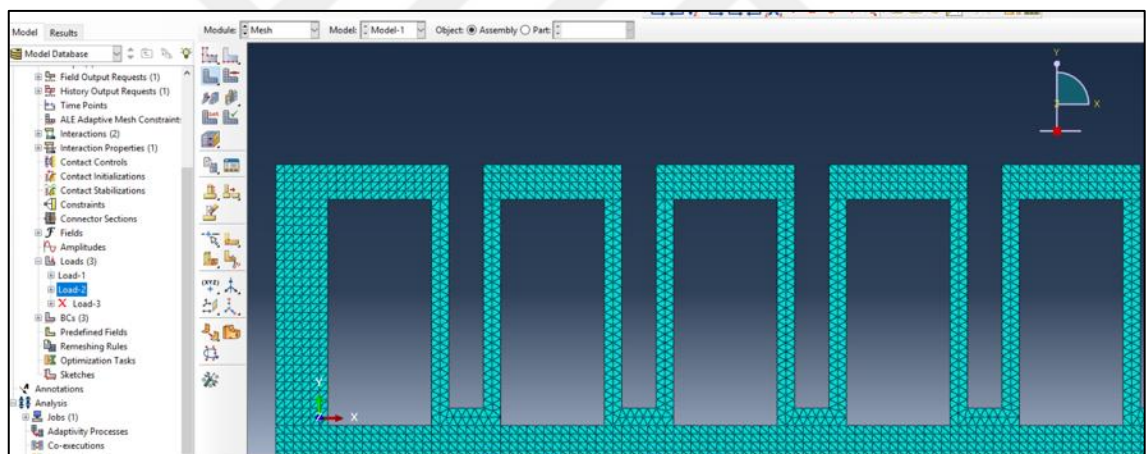
Abaqus içerisinde daha önceki bölümlerde bahsedilen “tohum” özelliği ile parçanın istenen herhangi bir kenarına istenen özelliklerde ağ atılabilir. Daha düzgün ve homejen bir mesh modeli için parça “ağ” menüsündeki fonksiyonlar yardımı ile belirli kısımlarından bölünmüştür(Şekil 4.27).



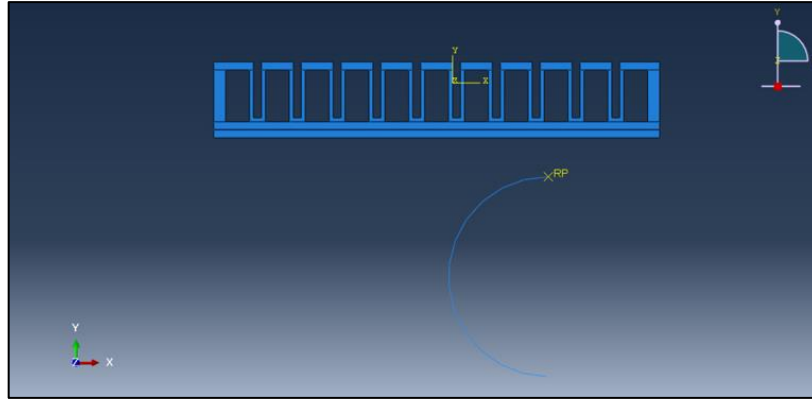
Şekil 4. 27 Ağ Kalitesini için parçanın belirlenen kısımlarından bölünmesi

The screenshot displays the 'Global Seeds' dialog box in the software interface. The 'Sizing Controls' section is active, showing 'Approximate global size' set to 10. The 'Curvature control' checkbox is checked, and the 'Minimum size control' is set to 'By fraction of global size' with a value of 0.05. The main view shows a 2D model of a bridge structure with a red mesh overlay.

Son durumda uygun şekilde bölünen ve “tohum” işlemi yapılan parçanın final ağı Şekil 4.29'deki gibidir.



3D modeldeki gibi hedef bir obje için analitik rijit özellikte ikinci bir parça oluşturulup , her iki parça da “Montaj” ortamına alınıp 3D model gibi aralarındaki kontak ilişkiler tanımlanmış ve ardından iş oluşturularak çözüm işlemine geçilmiştir. Hedef obje 2D ortamda bir yay şeklinde çizgisel olarak oluşturulup önceki modeldeki gibi ankastre olarak “RP” ile sabitlenmiştir(Şekil 4.30).



Şekil 4. 30 Hedef cisim ve tutucu kolun 2d modeli

İSTATİKSEL YÖNTEMLER

5.1 Deney Nedir

Bir sistemi yada bir süreci anlamak ve tanımlamak için deneyler araştırmacılar tarafından kullanılır. Deney aynı zamanda testtir. Bir proses yada sistemin girdilerinde değişiklik yaparak sistem çıktıların gözlemlenmesi ve bu çıktıların analiz edilmesidir. Burada y seçilen sistem çıktısı olup x'ler sistem çıktısına etki eden faktörlerdir.

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (5.1)$$

5.2 Deneysel Test Tasarımı DOE Tanımı

DOE tasarımı ,sürecin incelenen kalite karakteristiğine etki eden kontrol edilebilir değişkenlerin değerlerini sistematik olarak değiştirerek süreç performansını etkileyecek değişken değerlerini belirlemede kullanılan bir tekniktir.

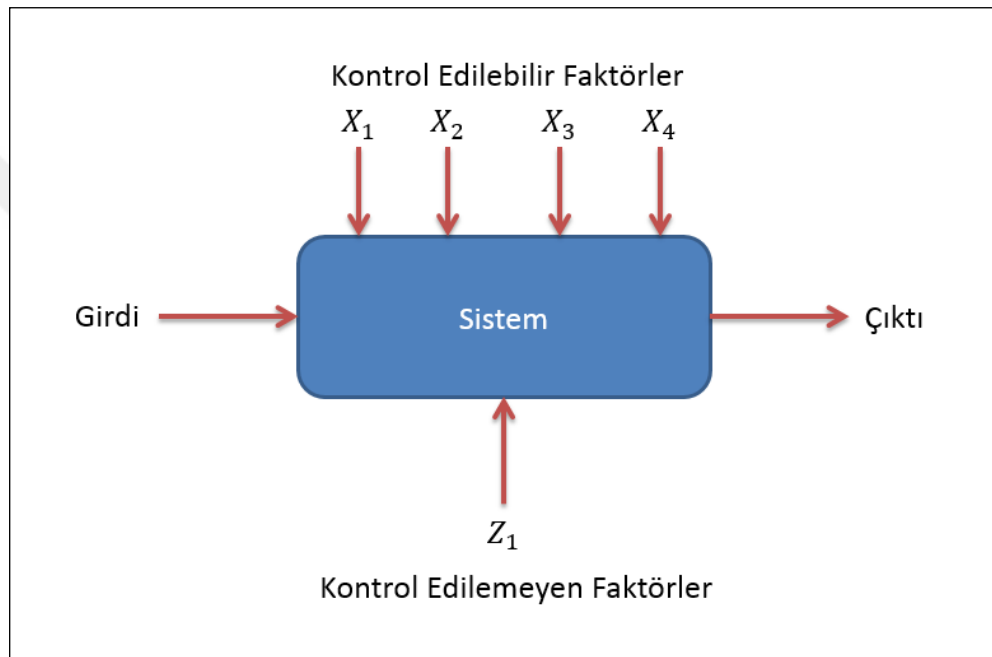
DOE tasarımı , bir süreçteki girdi değişkenleri üzerinde istenilen değişikliklerin yapılmasıyla cevap değişkeni üzerindeki değişkenliğin gözlenmesi ,elde edilmesi ve yorumlanması olarak tanımlanabilir.

Deney Tasarımı tasarımcılara herhangi bir sistem içerisindeki faktörlerin sistemi hangi ölçütlerde etkilediğini bulmaya yarayan sonuçlar sunan istatistiksel bir hesaplama metodudur(Şekil 5.1). Bunun yanı sıra sistem faktörlerinin birbirleriyle olan etkileşimlerini de DOE tekniği ile incelemek mümkündür. Kısaca söylemek gerekirse bir sistemin belirlenen bir alandaki hassas yada zayıf yönlerinin bu teknik ile belirlemek

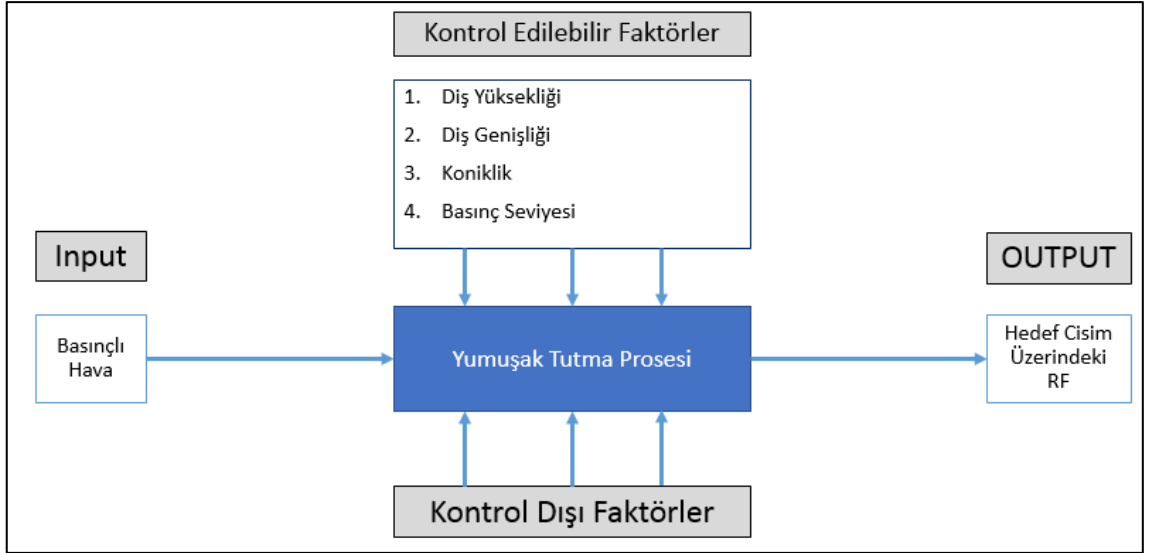
mümkündür. Bunun sonucu olarak faktörlerin etkileri daha tasarım aşamasında bilindiği için çok daha robust sistemlerin daha üretim aşamasında gelinmeden düşük maliyet kurulmasının önü açık hale gelmektedir.

DOE kavramı aşağıdaki şekilde de tanımlanabilmektedir ;

- Bir deney, test veya testler serisidir.
- Ürün tasarımı & geliştirme
- Sürecin yapısını tanıma & optimize etme,
- Deneyler, mühendislik çalışmalarında yaygın olarak kullanılır,



Şekil 5. 1 Bir proses yada sistemin şeması [42]



Şekil 5. 2 Yumuşak tutucu sistemi için örnek bir proses şeması

Şekil 5.1’de örnek olarak gösterilen kontrol edilebilir faktörler , sistem girişi olan hava basıncının sistem çıkışı olan reaksiyon kuvvetine etkili oldukları kabulü yapılabilir. Burada belirtilen kontrol edilebilir faktörlerin seçimi tasarımcıların yapacağı kabullerle sınırlı tutulmuştur.

5.3 Deney Tasarımı Tarihçesi

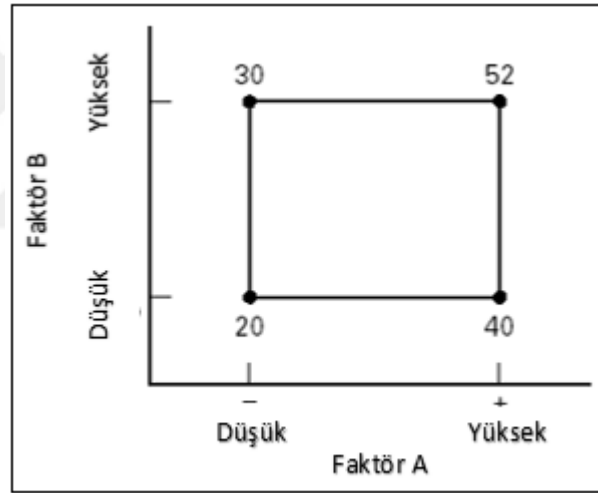
DOE çalışmalarının ilk örnekleri 20. Yüzyılın ilk çeyreğinin sonlarına doğru kullanılmaya başlanıp, çeşitli sektörlerde ürün ve kalite standartlarının arttırılmasına katkı sağlamıştır.

- Tarım uygulamaları , 1918 – 1940
 - R. A. Fisher
- İlk endüstriyel uygulamalar, 1951 –1970
 - Box & Wilson, (cevap yüzeyleri)
 - Kimya endüstrisi uygulamaları
- 1970 – 1990
 - Farklı sektör uygulamaları
 - Taguchi ve gürbüz (sağlam) parametre tasarımı, sağlam süreçler.
- 1990’lardan günümüze
 - Robust süreçler için cevap yüzeyi uygulamaları vb.

5.4 Faktöriyel Tanımı

Bir sürece etki ettiği düşünülen kontrol edilebilen yada kontrol edilemeyen değişkenler olarak tanımlanabilir. Bu faktöriyellerin sistem girdisi olabilecek her farklı değeri de faktöriyel seviyesi olarak tanımlanır. Örneğin talaşlı imalat tezgahındaki bir işlemin çıktısı olarak yüzey pürüzlülüğünü kabul edecek olursak, faktör olarak işleme hızı, ilerleme hızı, işlenen parçanın yüzey sertliği vs. seçilebilir. Seviye olarak da işleme hızı, hızlı-yavaş, işlenen parçanın yüzey sertliği, sert-yumuşak vs. seçilebilir. Bir faktöriyel deney tasarımı, faktör seviyelerinin tüm olası kombinasyonlarında denemeler (testler) uygulanır (Şekil 5.3).

R. A. Fisher'in geliştirdiği çok faktöriyelli deney tasarımları (çok etkenli deneyler, tam eşlendirmeli deney/ factorial design) faktörlerin birbirleriyle etkileşimleri durumunda kullanılan deney tasarımı yöntemlerindendir [43].



Şekil 5. 3 İki faktörlü iki seviyeli bir deneyin sonuç grafiği

Bu tasarımlarda faktörler ve düzeylerine ilişkin tüm olası kombinasyonların tam denemesi ve tekrarı yapılır. Böylece, a sayıda düzeye sahip A faktörü ve b sayıda düzeye sahip B faktörünün $a \times b$ olası kombinasyonlarının tümü ile çalışma yapılır [44]. Faktöriyel deneylerin uygulanmasındaki bir dezavantaj, faktör ya da düzey sayısındaki artış Süreç Çıktı y Girdi ile birlikte işlem kombinasyonundaki sayının da hızlı artış göstermesidir. Örnek olarak üç faktörlü bir $2 \times 3 \times 5$ faktöriyel tasarımı $2 \times 3 \times 5 = 30$ deneme gerektirirken, $2 \times 2 \times 2$ faktöriyel tasarımı da $2^3 = 8$ deneme gerektirir. Bu durumda çözüm sağlamanın bir yolu kesirli deney uygulamak diğer yolu da faktör sayısını makul bir sayıda tutarak her

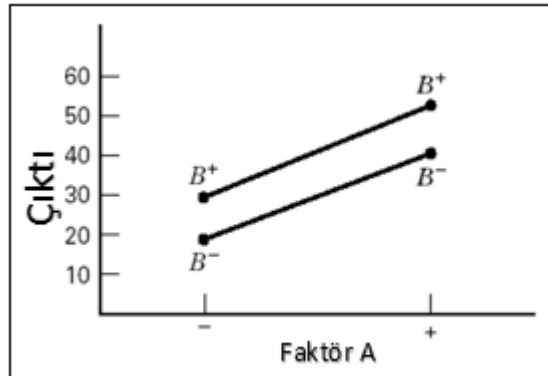
faktörü iki düzeyle sınırlamaktır. Genel ifadesiyle 2k tasarımlar kalite geliştirmede gereken deneysel gereksinimlerin büyük bölümünü karşılarlarken gerekli deneme sayısını da makul düzeyde tutmaktadır. Bundenle bu çalışmada 23 faktöriyel tasarımın kullanılması uygun görülmüştür [45],[46].

5.4.1.1 Bir faktörün etkisi

Bir faktörün etkisi, faktör düzeylerindeki bir değişikliğin yanıt üzerindeki meydana getirdiği değişimdir. Bu durum genellikle ana etki olarak tanımlanır (Montgomery,2001a: 170). Faktör etkilerinin analiz edilmesi için de deneysel (ampirik) matematik model geliştirilmiştir. Bu yöntem ortalama analizi olarak adlandırılmaktadır [57].

$$Etki = \frac{\sum Y_+}{n_+} - \frac{\sum Y_-}{n_-} \quad (5.2)$$

Sistem yada proseslere etki eden faktörler, proses yada sistem çıktısı üzerinde farklı etki seviyelerine sahip olabilirler. Bu etkiler yalnız başına her bir faktör için yada birkaç farklı faktörün değişimine bağlı olarak değişkenlikler gösterebilir .Dolayısıyla incelenen sistemler içersindeki faktörel etkiler yalnız başlarına değerlendirilmelerinin yanı sıra , farklı kombinasyonlardaki etkilerinin de incelenmesi gereklidir. Sistem içerisinde bir faktörün etkisi , faktör seviyesi küçükten büyüğe getirildiğinde, cevaptaki ortalama değişim olarak tanımlanabilir(Şekl 5.4).



Şekil 5. 4 İki Faktörlü Kesişmeyen Bir Sistem

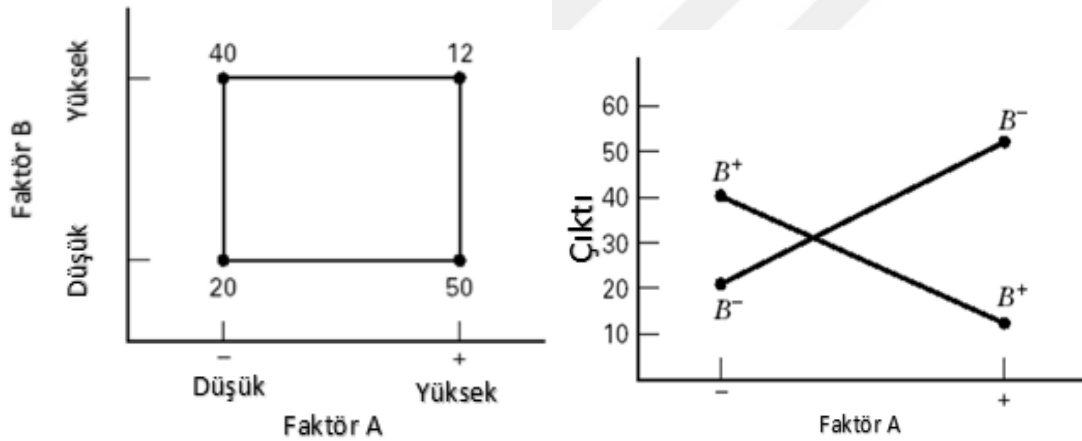
$$A = \bar{y}_{A^+} - \bar{y}_{A^-} = \frac{40+52}{2} - \frac{20+30}{2} = 21$$

$$B = \bar{y}_{B^+} - \bar{y}_{B^-} = \frac{30+52}{2} - \frac{20+40}{2} = 11$$

$$AB = \frac{52+20}{2} - \frac{30+40}{2} = -1$$

5.4.1.2 Etkileşim Etkisi

Faktörlerin sistem çıktısına olan etkilerinin n'li kombinasyonu da yapılan DOE çalışmasında dikkate alınmıştır. Aşağıda örnek olarak iki faktörün ikili etkileşiminin hesaplanması gösterilmiştir



$$A = \bar{y}_{A^+} - \bar{y}_{A^-} = \frac{50+12}{2} - \frac{20+40}{2} = 1$$

$$B = \bar{y}_{B^+} - \bar{y}_{B^-} = \frac{40+12}{2} - \frac{20+50}{2} = -9$$

$$AB = \frac{12+20}{2} - \frac{40+50}{2} = -29$$

5.4.1.3 2^k Tasarımı

En sık kullanılan deneysel tasarımlar olan iki ve üç seviyede tam ve kesikli faktöriyel tasarımlar üretim şirketlerinde geniş ölçüde kabul edilir. Faktöriyel tasarımlar bir yanıt üzerinde faktörlerin (veya süreç/tasarım parametrelerinin) ortak etkisinin uygulanması için bir araştırmacıya olanak tanır. Bir faktöriyel tasarım tam veya kesikli faktöriyelden biri olabilir [48].

Faktöriyel tasarımın belli özel türleri geliştirme ve iyileştirme sürecinde çok kullanışlıdır. Bunlardan biri k faktöriyeliyle birlikte her biri iki düzeyde bir faktöriyel tasarımdır. Bu tasarımlar çokça basitleştirilmiş analize sahiptir ve ayrıca diğer birçok yararlı tasarımların temel formudur [49].

“-” ve “+” sırasıyla bir faktörün düşük ve yüksek seviyelerine karşılık gelir. “-” ve “+” yerine “-1” ve “+1” kullanılabilir. Geometrik olarak, dört deneme bir karenin köşeleridir. Kalitatif veya kantitatif (Niteliksel yada Niceliksel (Sayısal yada Sözel)) olabilir.

Çizelge 5.1 2 Seviyeli 2 faktörlü bir sistemin deney tasarımı

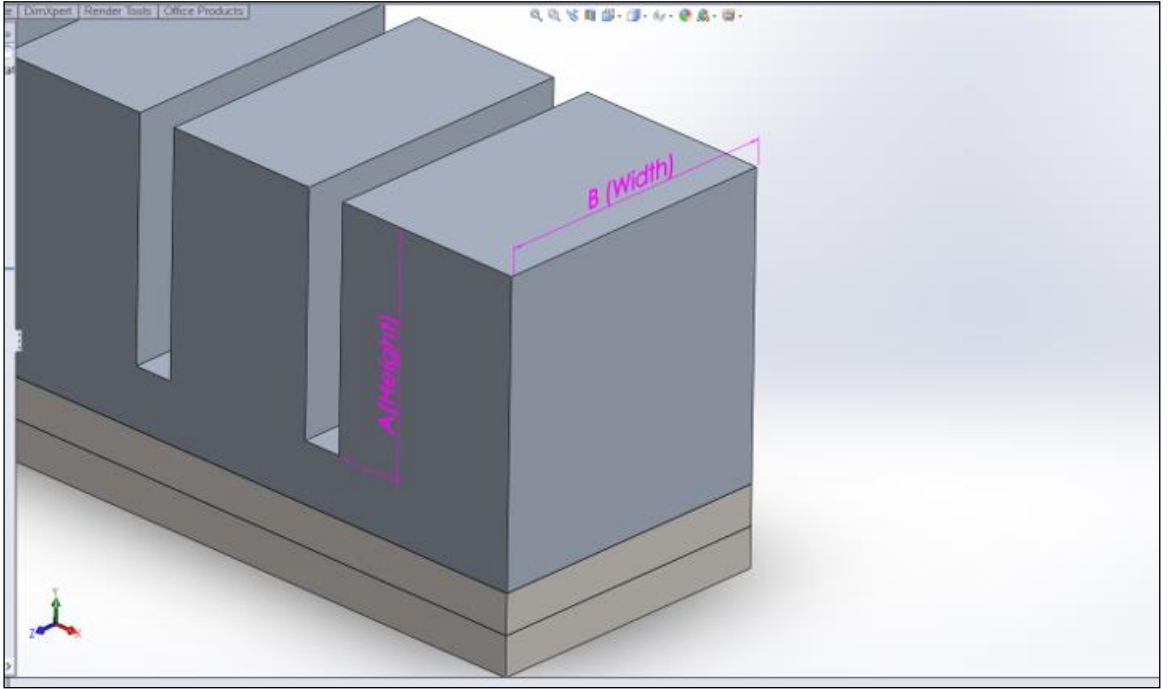
2^2	
X_1	X_2
-	-
+	-
-	+
+	+

Faktöriyel deneylerde ana etkinin tahmini için faktörleri A ve B olarak adlandırılan bir örnek dikkate alındığında deneydeki A ve B faktörüne ilişkin düzeyler “Düşük” ve “Yüksek” olarak adlandırılmakta ve “-” ve “+” olarak ifade edilmektedir. A ve B faktörünün A yüksek (+), A düşük (-), B yüksek (+), B düşük (-) düzeylerine ilişkin değerler Çizelge 5.1’de gösterilmektedir. Bu tabloda yer alan değerler ilgili faktör ve düzeylerine karşı elde edilen yanıt değerlerine karşılık gelmektedir. Örneğin “20” değeri A faktörünün düşük (-) düzeyi ile B faktörünün düşük (-) düzeyinin kullanımıyla elde edilen yanıt değerini göstermektedir.

5.5 Etken Parametrelerin Seçilmesi

Tez içinde incelenen ve analizi yapılan parça için 4 adet iki seviyeli faktör belirlenmiştir. Bunlar ;

1. Diş Yüksekliği A (Şekil 5.5)
2. Diş Genişliği B (Şekil 5.5)
3. Koniklik (Şekil 5.6)
4. Basınç



Şekil 5. 5 Parça üzerindeki diş yüksekliği ve diş genişliği

Diş yüksekliği ve diş genişliği olarak bahsedilen tanımlar, tutucu üzerindeki hava odacıklarının yüksekliği ve genişliğidir(Şekil 5.5). Bu iki parametreden başka, bu dişlerin taban yüzeyleri ile aralarındaki açisal ilişki de koniklik olarak şekil 5.6’da gösterilmiştir.Koniklik parametresi olarak sabit uçtan serbest uca doğru gidildikçe diş yükseliğinde her bir diş için 0.5mm’lik bir düşüş yapılmıştır.



Şekil 5. 6 Parça üzerindeki koniklik

Etken parametrelerin seçiminden sonra DOE tablosu 'deki gibi oluşturulmuştur. 4 farklı faktörün 2 seviyeli olarak inceleneceği bu sistem için gösterildiği her bir satır için o satırdaki faktörlerin seviyelerine göre ayrı ayrı sonlu elemanlar analizi yapılmalıdır.

Çizelge 5.2 Tezde analizi yapılan sistemin doe tasarımı

DOE No	Diş Yüksekliği (mm)	Diş Genişliği (mm)	Koniklik (derece)	Basınç (kPa)	Reaksiyon Kuvveti (N)
1	+	+	-	+	?
2	+	+	+	+	?
3	-	+	-	+	?
4	-	+	+	+	?
5	+	-	+	+	?
6	-	-	-	+	?
7	+	-	-	+	?
8	-	-	+	+	?
9	+	+	-	-	?
10	+	+	+	-	?
11	-	+	-	-	?
12	-	+	+	-	?
13	+	-	+	-	?
14	-	-	-	-	?
15	+	-	-	-	?
16	-	-	+	-	?

Sınır seviyeleri olarak, diş yüksekliği için (12 – 18)mm ,diş genişliği (10 – 15)mm ,koniklik (0 – 2.73)derece ve basınç(20-25)kPa değerleri seçilmiştir(Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3).

Çizelge 5.3 Yüksek – düşük değerleri girilmiş parametreler

DOE No	Diş Yüksekliği (mm)	Diş Genişliği (mm)	Koniklik (degree)	Basınç (kPa)	Ağırlık (g)	Reaksiyon Kuvveti (N)
1	18	15	0	25	25,7	?
2	18	15	2,73	25	22,3	?

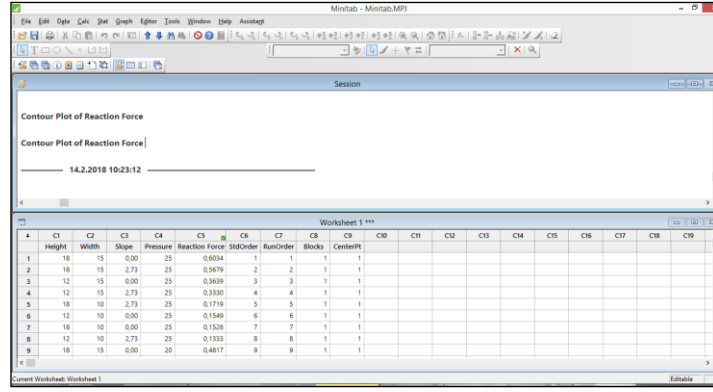
Çizelge 5.3 Yüksek – düşük değerleri girilmiş parametreler (devamı)

3	12	15	0	25	21,3	?
4	12	15	2,73	25	19,4	?
5	18	10	2,73	25	17,5	?
6	12	10	0	25	15,4	?
7	18	10	0	25	18,9	?
8	12	10	2,73	25	13,9	?
9	18	15	0	20	25,7	?
10	18	15	2,73	20	22,3	?
11	12	15	0	20	21,3	?
12	12	15	2,73	20	19,4	?
13	18	10	2,73	20	17,5	?
14	12	10	0	20	15,4	?
15	18	10	0	20	18,9	?
16	12	10	2,73	20	13,9	?

Herbir değişimin etkisinin incelenebilmesi için belirtilen herbir farklı denemenin çözümü yapılarak sistem çıktısı olan reaksiyon kuvvetlerinin bulunması gerekmektedir. Bunun için Abaqus içerisinde 16 farklı CAE analizi yapılarak DOE tablosundaki RF kısımları doldurulmalıdır.

5.6 İstatiksel İşlemler

Tüm istatiksel işlemler için endüstride yaygın olarak kullanılan Minitab isimli paket program kullanılmıştır. Minitab, Microsoft® Windows® işletim sisteminde kullanılan ve kolon bazlı çalışan bir istatistiksel yazılımdır. Temel olarak Oturum penceresi, Çalışma sayfaları, Grafik pencereleri gibi alt bileşenlerden oluşmaktadır (Şekil 5.7). Başta olmak üzere Endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Minitab'ın oldukça dolu bir kaynakçası mevcuttur. Minitab fonksiyonlarına ulaşmanın yanında da, istatistik bilimiyle ilgili pek çok bilgiye de ulaşabilirsiniz.

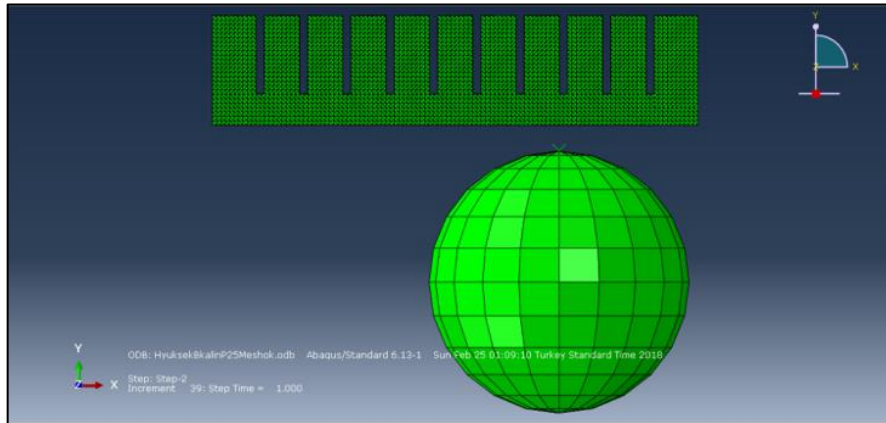


Şekil 5. 7 Minitab Arayüzü

ÖNCÜL SONUÇLAR VE GRAFİKLER**6.1 Öncül Sonuçlar**

Analizin başarılı bir şekilde tamamlanmasının ardından ilk sonuçlar aşağıdaki gibidir. Sistem içerisine verilen basınçlı hava, hava odacıklarının duvarlarını içeriden dışarıya doğru iterek diğer odaların duvar yüzeylerine temas etmeleri sağlanmıştır.

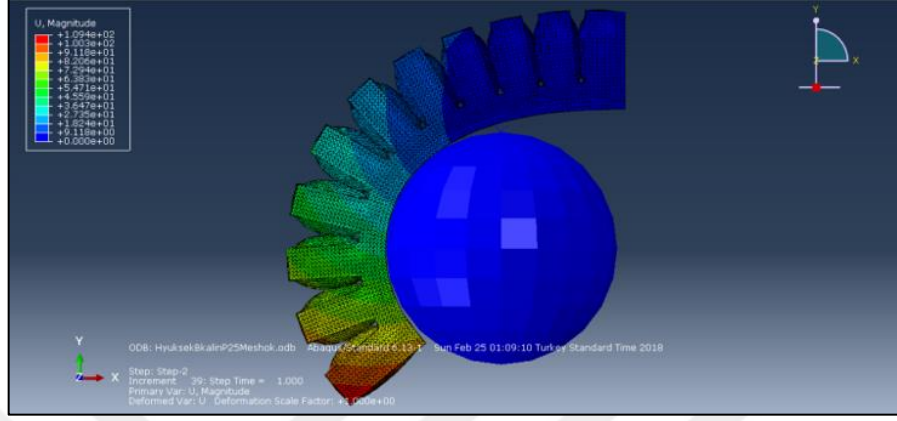
Parçanın bir tarafı sabit diğer tarafı serbest olduğu için tüm parça z eksen etrafında C formu alarak şekil değiştirmiştir.



Şekil 6. 1 İş çıktılarının sonuç alanına alınmış hali

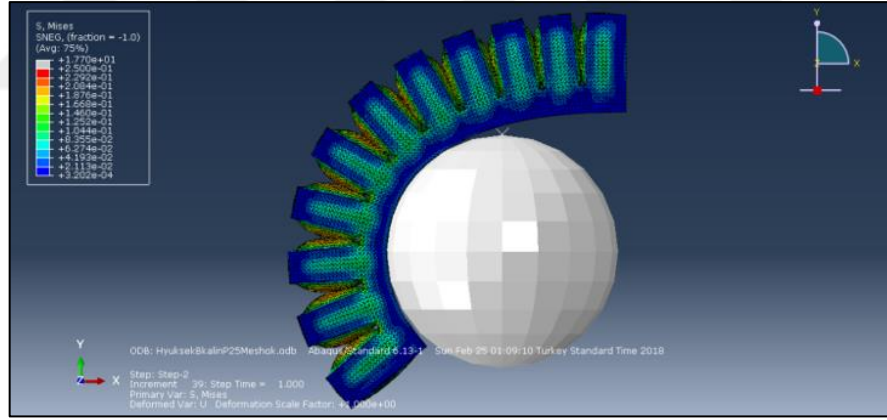
Hedef cisim olarak analitik rijit cisim kullanılmıştır(Şekil 6.1). Analitik rijit kullanılmasının sebebi, tutulmak istenen parça içerisindeki deformasyonlar,gerilmeler vs.'den ziyade , tutucu parçanın bir cisme ne kadarlık bir kaldırma kuvveti oluşturabileceği, ne kadarlık bir sarılma yapacağı ve sarılma esnasında kontak noktadaki değişimleri daha net gözlemleyebilmek içindir. Hedef cismin geometrisi için çeşitli şekiller kullanılabilir. Tez

içerisinde küre şeklinde bir cisim kullanılmıştır. Küre şekli yuvarlak meyvalar, yumurtalar vs. gibi endüstriyel objeleri simule etmek için kullanılabilir(Şekil 6.2). Ayrıca tutunma yüzeyleri küresel olduğu için tutucular için kavraması zor bir obje olarak da tasarım sınırları zorlanmıştır.



Şekil 6. 2 Yer değiştirme sonucu

Toplam yerdeğiştirme sonucuna göre , en fazla yerdeğiştiren kısım parçanın serbest ucu olmuştur.



Şekil 6. 3 Hava odacıkları gerilim dağılımı

Gerilim sonuçlarına baktığımızda ise , hava odalarının dış çeper bölgelerindeki gerilmeler şekil 6.3’de görülmektedir.

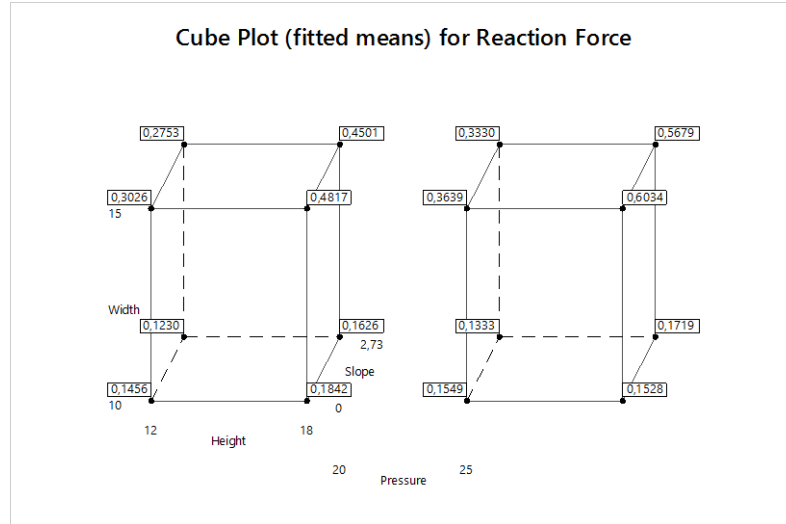
6.2 DOE için CAE Sonuçları

Belirtilen DOE şartları için toplamda 16 adet CAE iş dosyası ayrı ayrı koşturularak hedef cisim üzerinde belirlenen noktadaki RF’ler CAE ortamında hesaplanıp çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1 DOE kombinasyonu düzeninde çözdürülen cae analizlerinin sonuçları

DOE No	Diş Yüksekliği (mm)	Diş Genişliği (mm)	Koniklik (degree)	Basınç (kPa)	Ağırlık (g)	Reaksiyon Kuvveti (N)
1	18	15	0	25	25,7	0,6034
2	18	15	2,73	25	22,3	0,5679
3	12	15	0	25	21,3	0,3639
4	12	15	2,73	25	19,4	0,3330
5	18	10	2,73	25	17,5	0,1719
6	12	10	0	25	15,4	0,1549
7	18	10	0	25	18,9	0,1528
8	12	10	2,73	25	13,9	0,1333
9	18	15	0	20	25,7	0,4817
10	18	15	2,73	20	22,3	0,4501
11	12	15	0	20	21,3	0,3026
12	12	15	2,73	20	19,4	0,2753
13	18	10	2,73	20	17,5	0,1626
14	12	10	0	20	15,4	0,1456
15	18	10	0	20	18,9	0,1842
16	12	10	2,73	20	13,9	0,123

Yukarıdaki tabloda (çizelge 6.1) sonuçlar üzerinde, belirlenen tasarım faktörlerinin etkilerini görebilmek çok kolay değildir. Bu etkilerin yangi yönde nasıl değiştiği ile ilgili öncelikli olarak cube plot (Şekil 6.4) oluşturulmuş ve sistemdeki parametreleri RF üzerindeki etkileri hakkında genel bir değerlendirme yapılabilmektedir.



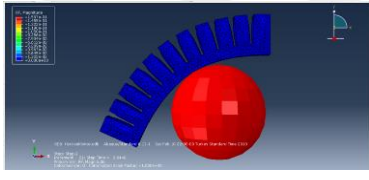
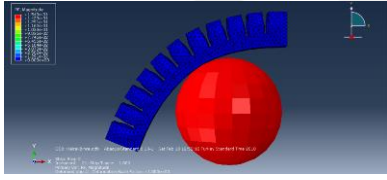
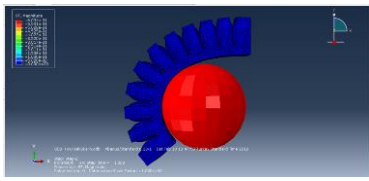
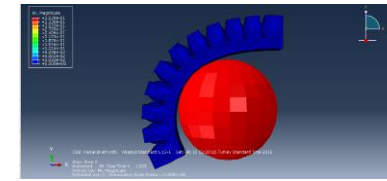
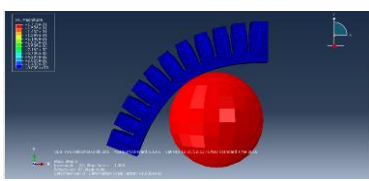
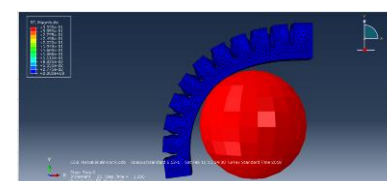
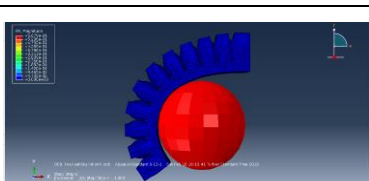
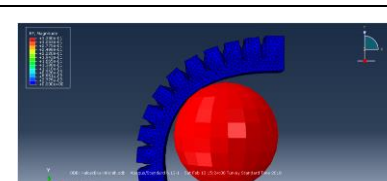
Şekil 6. 4 Tüm faktörlerin gösterildiği küp grafikleri

Oluşturulan küp grafik (Şekil 6.4) sonuçları incelendiğinde toplam 16 adet sonuç öncelikli olarak iki farklı küp sınıfında gösterilmiştir. Bu iki sınıf basınç seviyelerine göre

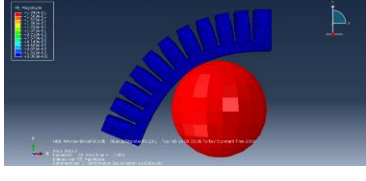
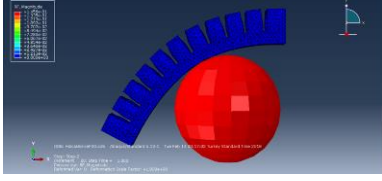
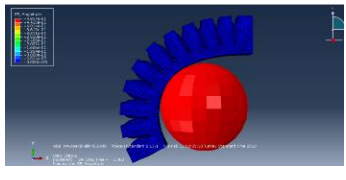
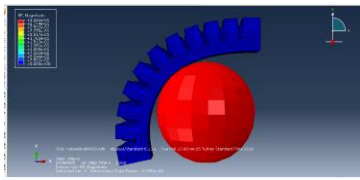
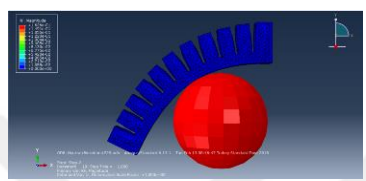
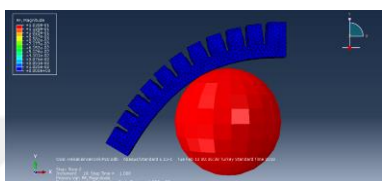
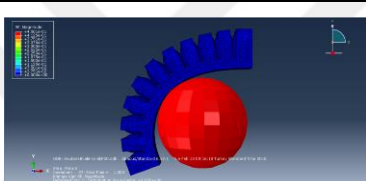
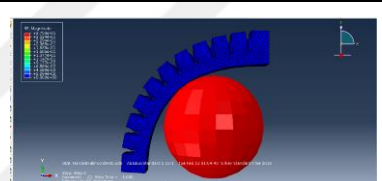
yüksek basınç ve düşük basınç olarak ayrılmıştır. Küpler yüksek basınçlı ve alçak basınçlı olarak isimlendirilebilir. Sonrasında küpleri kendi içlerinde ele aldığımızda tavan ve taban arası diş genişliği(B) , sayfa düzlemine dik bakıldığında ön ve arka yüzeyler konikliğe ve geriye kalan iki yüzeyi de diş yüksekliği(H) değişimlerine göre sınıflandırığımızda yukarıdaki gibi bir sonuç elde edilmektedir(Şekil 6.4).

Genel değerlendirme yapmak için farklı iki küpün aynı noktalarında bulunan değerleri karşılaştırıp basınca göre değişimini yada herbir basınç sınıfında karşılıklı yüzeylerde bulunan değerlerin hangi faktörün değişiminden nasıl etkilendiklerine bakılarak o faktörün RF üzerindeki etkisini hakkında yorum yapılabilir. Örneğin sistem basıncındaki artışında RF üzerindeki etkisine baktığımızda sol taraftaki küpün köşe noktaları ile sağ taraftaki küpün köşe noktalarının arasında bir düzenli bir artış görülebilmektedir. Sonuç olarak sistem basıncı arttıkça oluşan RF de artmaktadır gibi bir çıkarım yapılabilir.

Çizelge 6.2 DOE için kullanılan cae sonuçlarının karşılaştırılması

Basınç	Koniklik	Diş Yüksekliği			
		Uzun	Kısa		
Yüksek Seviye Basınç	Düz – Koniklik Yok			İnce Diş	Diş Genişliği
				Kalın Diş	
	Açılı – Koniklik Var			İnce	Diş Genişliği
				Kalın Diş	

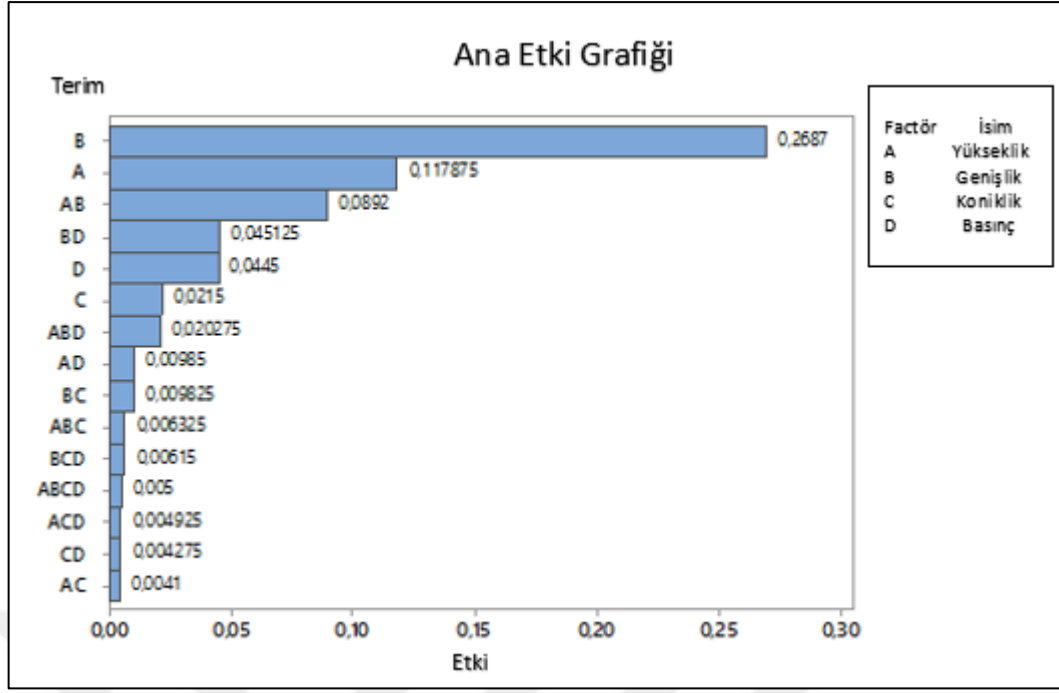
Çizelge 6.2 DOE için kullanılan cae sonuçlarının karşılaştırılması(devamı)

Alçak Seviye Basınç	Düz – Koniklik Yok			İnce	Dış Genişliği
				Kalın Dış	
	Açılı – Koniklik Var			İnce	Dış Genişliği
				Kalın Dış	

DOE için yapılan 16 adet farklı CAE analizinin sonuçları çizelge 6.2'deki formatta paylaşılmıştır. Şekil 6.4'de gösterilen küp grafiğe ek olarak bu tablodan tutucunun parça üzerine hangi parametreden ne şekilde etkilenecek, ne kadar sarıldığı hakkında da yorum yapılabilir. Örneğin yine basınç faktörü üzerinden gidecek olursak, basınç artışı ile cisim üzerindeki sarılmanın arttığı görülebilmektedir.

6.3 DOE Sonuçları

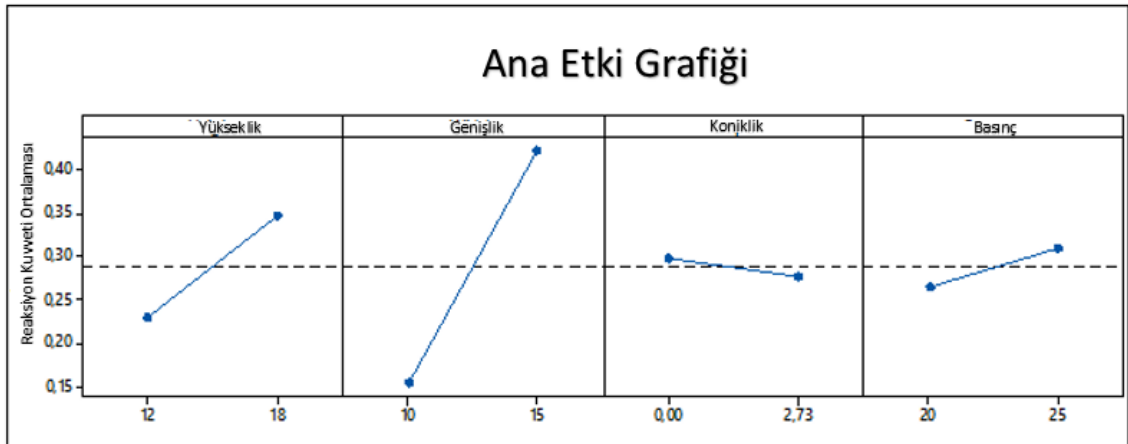
Toplanan CAE verileri Minitab programında işlenerek 4. bölümde verilen etki formülüne göre DOE analizi koşturulmuştur.Yapılan DOE analizleri sonucu , aşağıdaki bulgular tespit edilmiştir.



Şekil 6. 5 DOE pareto grafiği

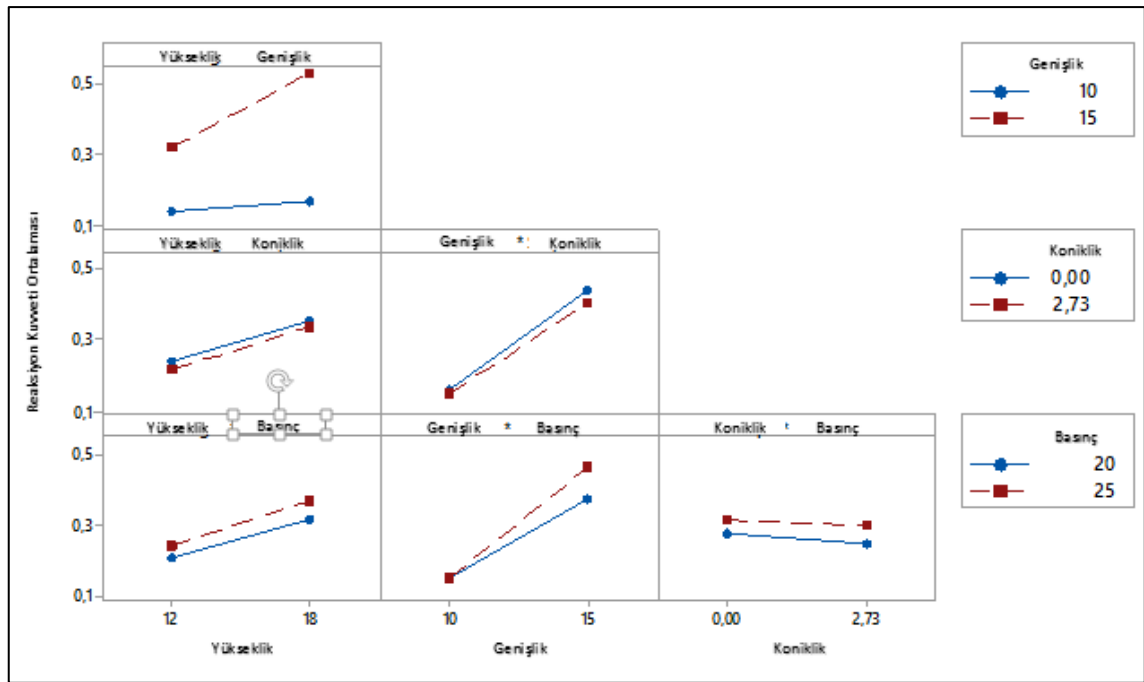
Yapılan DOE çalışması neticesinde sistem çıktısı olarak belirlenen RF'ler için şekil 6.5'deki sonuçlara göre, en etkili faktör B "diş genişliği", ikinci olarak A "diş yüksekliği", üçüncü olarak AB "diş yüksekliği-diş genişliği etkileşimi" sonuçları elde edilmiştir.

Faktörlerdeki artışın RF üzerindeki etkileri incelediğinde iki farklı grubun olduğu şekil 6.6'da görülmektedir. Seviyelerdeki artışa paralel olarak diş genişliği(B), diş yüksekliği(H) ve basınç (P) için RF üzerinde ortak olarak bir artış görülürken, parça konikliği arttıkça RF değerinin azaldığı görülmüştür. Dolayısıyla daha konik bir tutucunun, kütle olarak daha hafif olmasına rağmen hedef cisim üzerinde daha az RF yaratacağı sonucuna ulaşılabilir.



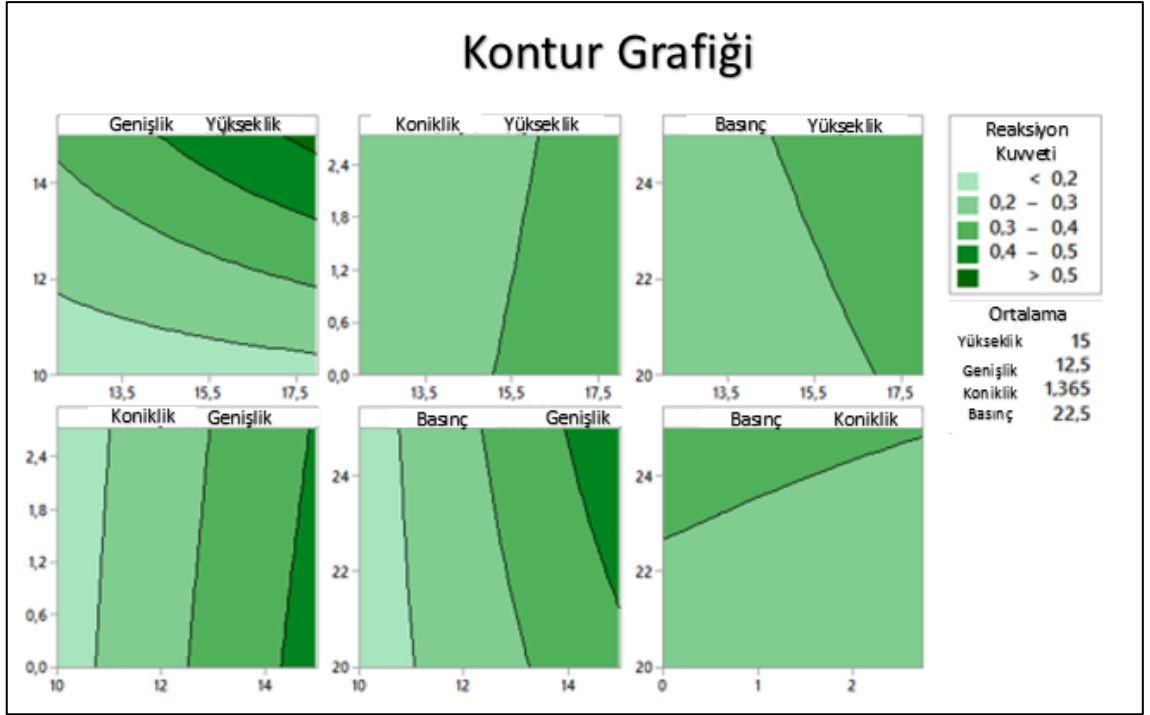
Şekil 6. 6 Sistemin ana etki grafiği

Belirlenen faktörlerin sistem çıktısındaki etkileri sadece ayrı olarak değerlendirilmemelidir. Herbir faktörün etkisi seviye artışına paralel bir etki gösterse bile faktörel kesişimler farklı etki gösterebilir. Örneğin iki farklı faktördeki seviye artışına karşılık ikisi için de sistem çıktısı üzerinde bir artış görülse de ikisinin aynı anda yüksek seviyede bulundukları tasarımlardaki çıktıların da buna benzer yüksek çıktı vermesi beklenmemelidir. Toplam 4 adet faktörün kesişimlerine bakıldığında. Bu durumu da incelemek için kesişim grafiği (şekil 6.7) oluşturulmuştur. Grafiğe bakıldığında kesişimlerin paralel bir yol izledikleri tespit edilmiştir.



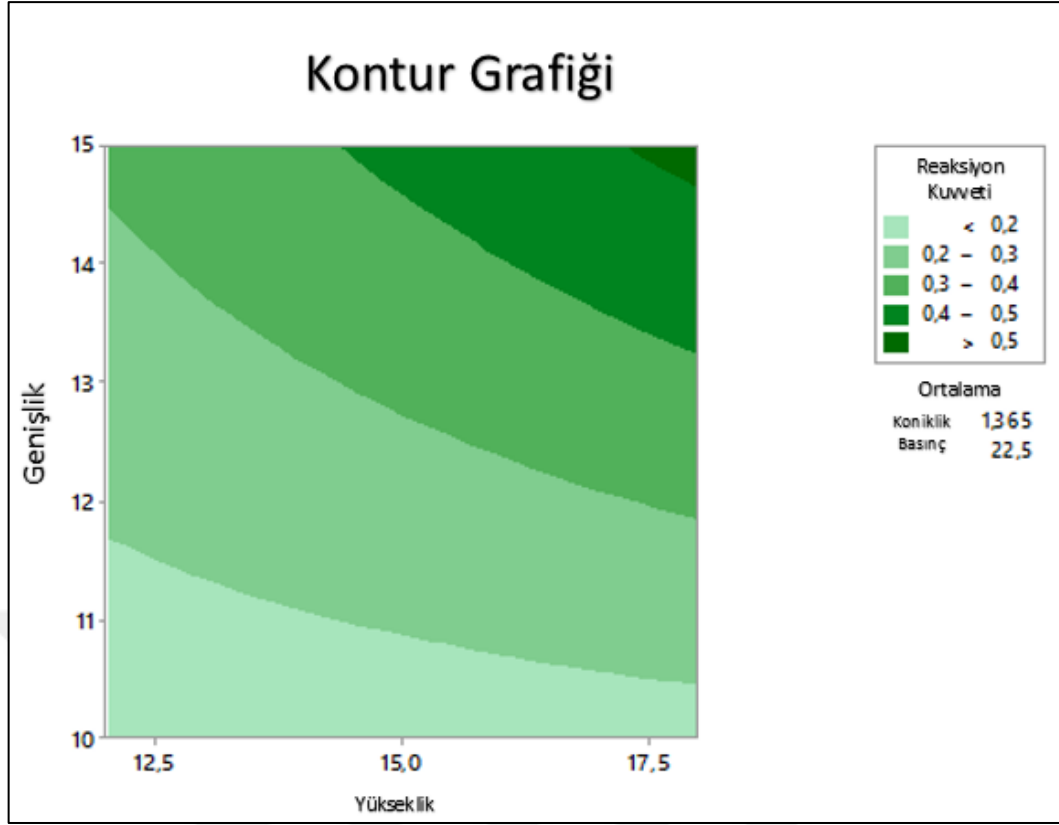
Şekil 6. 7 Sistemin etkileşim grafiği

Herbir kesişimdeki etkiler contour grafiğinde çok daha net bir şekilde görülmektedir (Şekil 6.8).



Şekil 6. 8 Tüm faktörler için oluşturulan kontur grafiği

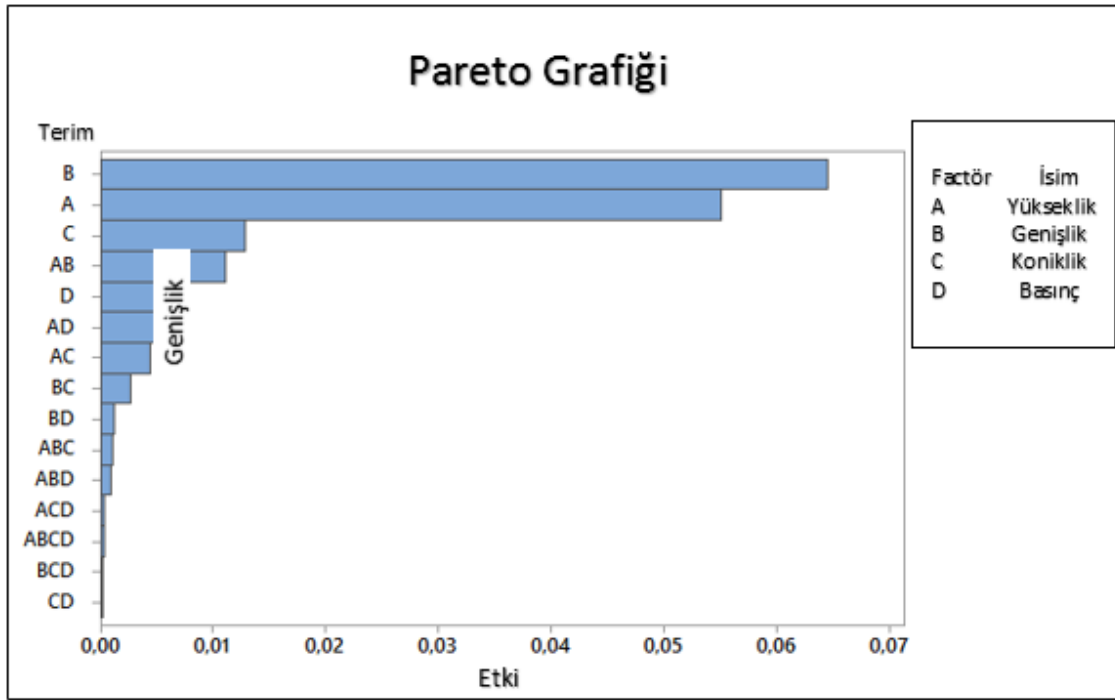
En etkili iki faktör olarak bulunan dış yüksekliği ve dış genişliği özelinde RF'ler incelenmek istediğinde ,her ikisindeki pozitif artışlar sonucu RF'lerde de pozitif artışlar gözlemlenmiştir.Bu kapsamda daha detaylı bir inceleme yapmak için oluşturulan contour grafiği (Şekil 6.9) bize A ve B 'nin değişimlerine bağlı olarak RF'in hangi seviyede olduğunu göstermektedir.



Şekil 6. 9 Diş yüksekliği ve diş genişliği için oluşturulan kontur grafiği

Çizelge 6.3 2d parça için doe tablosu

DOE No	Diş Yüksekliği (mm)	Diş Genişliği (mm)	Koniklik (degree)	Basınç (kPa)	Reaksiyon Kuvveti (N)
1	18	15	0	25	0,24
2	18	15	2,73	25	0,2299
3	12	15	0	25	0,1727
4	12	15	2,73	25	0,152
5	18	10	2,73	25	0,1533
6	12	10	0	25	0,1151
7	18	10	0	25	0,1612
8	12	10	2,73	25	0,1018
9	18	15	0	20	0,2247
10	18	15	2,73	20	0,2146
11	12	15	0	20	0,1702
12	12	15	2,73	20	0,1494
13	18	10	2,73	20	0,1431
14	12	10	0	20	0,1135
15	18	10	0	20	0,149
16	12	10	2,73	20	0,0996



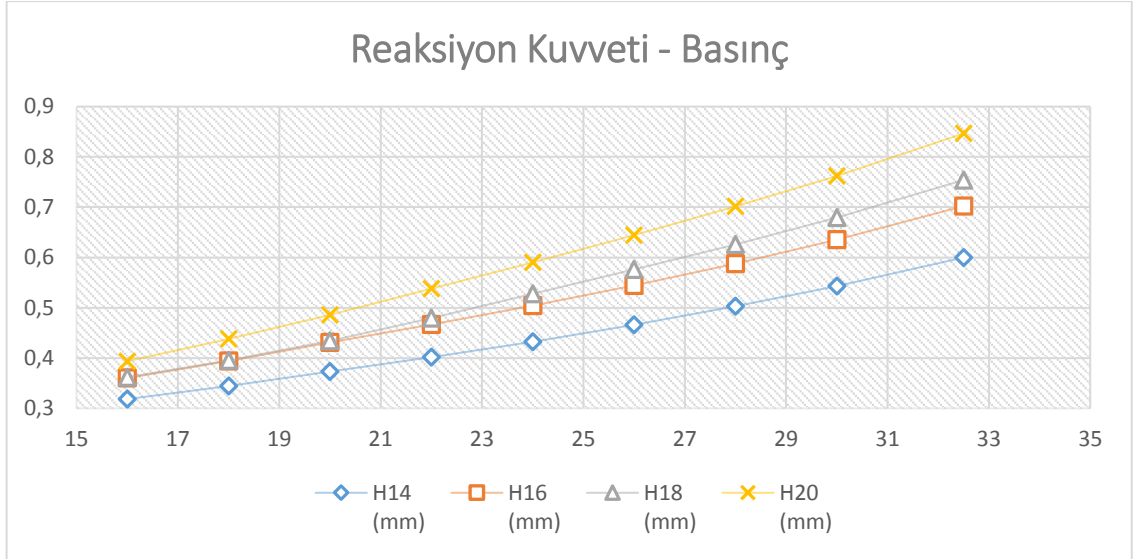
Şekil 6.10 2D Parça doe sonuçları

Diş yüksekliği (H) ve diş genişliği(B)'nin daha da detaylı farklı basınç değerleri için analizi yapılan tasarımların RF çıktıları çizelge 6.3 , çizelge 6.4 ve çizelge 6.5'de ayrı ayrı sayısal olarak verilir ayrıca Şekil 6.11 ve Şekil 6.12'de de görsel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 6.4 Basınç – diş yüksekliği reaksiyon kuvveti değişimi

<i>P</i> (kPa)	<i>H14</i> (mm)	<i>H16</i> (mm)	<i>H18</i> (mm)	<i>H20</i> (mm)
16	0,3184	0,3602	0,362	0,3938
18	0,3445	0,394	0,3952	0,4382
20	0,373	0,4308	0,434	0,4857
22	0,4017	0,4667	0,4795	0,5383
24	0,4325	0,504	0,5275	0,5901
26	0,466	0,5444	0,5759	0,6443
28	0,503	0,5876	0,6256	0,7014
30	0,5433	0,6354	0,6796	0,762
32,5	0,5999	0,7022	0,754	0,8465

Diş genişliğinin sabit olarak 15mm ve konikliğin 0° derece olduğu bir tasarım için, diş yüksekliği (14-20) mm arasında , basınç ise (16-32,5) kPa arasında arttırılarak analizleri yapılmıştır.Buna göre basınç seviye arttıkça diş yüksekliği farklı olan tasarımların yarattığı RF kuvvetleri arasındaki fark giderek açılmaktadır(Şekil 6.10).

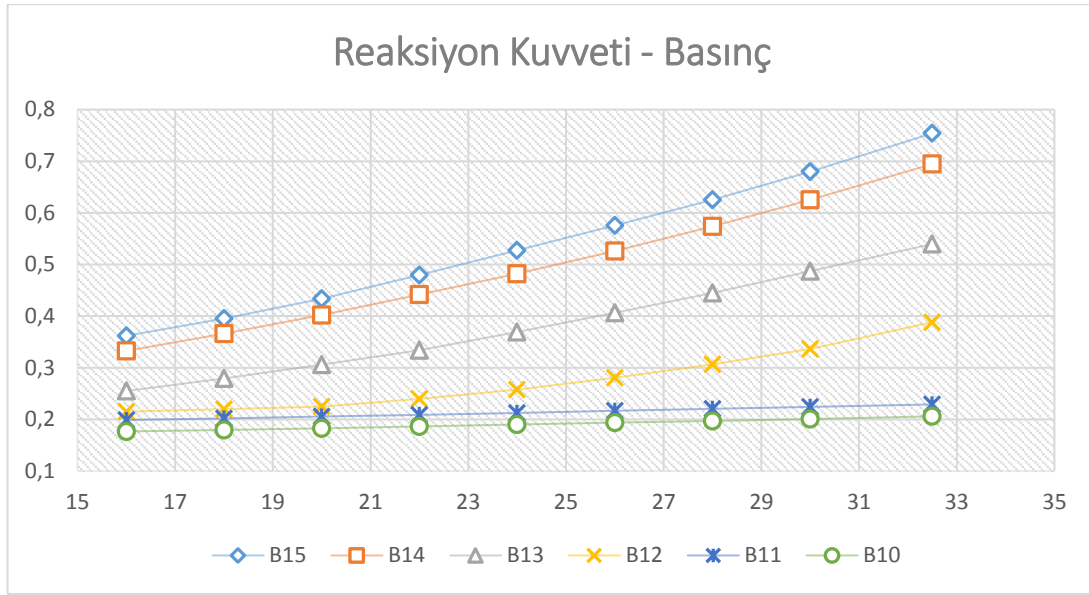


Şekil 6. 10 Basınç – dış yüksekliği reaksiyon kuvveti grafiği

Çizelge 6.5 Basınç – dış genişliği reaksiyon kuvveti değişimi tablosu

<i>P</i> <i>kPa</i>	<i>B15</i> <i>(mm)</i>	<i>B14</i> <i>(mm)</i>	<i>B13</i> <i>(mm)</i>	<i>B12</i> <i>(mm)</i>	<i>B11</i> <i>(mm)</i>	<i>B10</i> <i>(mm)</i>
16	0,362	0,3327	0,2551	0,2152	0,1989	0,1767
18	0,3952	0,3664	0,2796	0,2199	0,2021	0,1798
20	0,434	0,4019	0,3063	0,2248	0,2055	0,183
22	0,4795	0,4419	0,3342	0,2398	0,209	0,1864
24	0,5275	0,4823	0,3692	0,258	0,2127	0,19
26	0,5759	0,5259	0,4063	0,2807	0,2165	0,1938
28	0,6256	0,5741	0,4449	0,3064	0,2206	0,1972
30	0,6796	0,6255	0,4872	0,3367	0,2244	0,2009
32,5	0,754	0,6946	0,5397	0,3882	0,2291	0,206

Dış yüksekliğinin sabit olarak 18mm ve konikliğin 0° derece olduğu bir tasarım içinse, dış genişliği (10-15) mm arasında , basınç ise (16-32,5) kPa arasında arttırılarak analizleri yapılmıştır.Buna göre basınç seviye arttıkça dış genişliği farklı olan tasarımların yarattığı RF kuvvetleri arasındaki fark giderek açılmaktadır(Şekil 6.12).



Şekil 6.12 Basınç – dış genişliği değişimi grafiksel gösterimi

Minitab içerisinde oluşturulan sistem modelinin, yapılan DOE analizinin çıktısına ek olarak regresyon formülü de program tarafından hesaplanmaktadır. Burada, belirlediğimiz dört adet faktörün sistem çıktısı olarak seçilen RF üzerine olan etkileri formülize edilmiştir.

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_px_p \quad (6.1)$$

$$\begin{aligned} \text{Reaction Force} = & -1,248 + (0,1215 A + 0,09536 B + 0,3225 \text{Koniklik} + 0,07822 P) - \\ & (0,008797 A*B - 0,02852 A*\text{Koniklik} - 0,008097 A*P - 0,02166 B*\text{Koniklik} - 0,006008 B* \\ & P - 0,01679 \text{Koniklik}*P) + (0,001889 A*B*\text{Koniklik} + 0,000674 A*B*P \\ & + 0,001462 A*\text{Koniklik}*P + 0,001105 B*\text{Koniklik}*P) - (0,000098 A*B*\text{Koniklik}*P) \end{aligned}$$

Araştırmaya ek olarak, bulunan regresyon formülü ile CAE sonuçları arasında ne kadarlık bir fark olduğunu bulmak için aşağıdaki gibi bir karşılaştırma da yapılmış olup min %2 max %9 ve ortalama %4,98'lik bir sapma değeri olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 6.6).

Çizelge 6.6 Regresyon denklemi ile cae sonuçlarının karşılaştırılması

Dış yüksekliği (mm)	Dış Genişliği (mm)	Koniklik (derece)	Basınç (kPa)	RF (N)	Reg. RF (N)	Hata
18	15	0	25	0,6034	0,61756	2%
18	15	2,73	25	0,5679	0,577415	2%
12	15	0	25	0,3639	0,37834	4%

Çizelge 6.6 Regresyon denklemi ile cae sonuçlarının karşılaştırılması(devamı)

12	15	2,73	25	0,333	0,344502	3%
18	10	2,73	25	0,1719	0,183261	6%
12	10	0	25	0,1549	0,16936	9%
18	10	0	25	0,1528	0,16699	8%
12	10	2,73	25	0,1333	0,145991	9%
18	15	0	20	0,4817	0,49289	2%
18	15	2,73	20	0,4501	0,457646	2%
12	15	0	20	0,3026	0,31406	4%
12	15	2,73	20	0,2753	0,284467	3%
18	10	2,73	20	0,1626	0,171614	5%
12	10	0	20	0,1456	0,15708	7%
18	10	0	20	0,1842	0,19542	6%
12	10	2,73	20	0,123	0,133111	8%

Ortalama Hata : 4,98 %

Bu bölümde yapılan çalışmaları özetlemek gerekirse, öncelikli olarak DOE için 4 farklı faktör seçilip herbirinin 2 farklı seviyesini olduğu, 16 adet farklı tasarımın analizi yapılmış.Ardından buradan çıkan sonuçların değerlendirilmesi ve yorumlanması kısmına geçilmiştir.

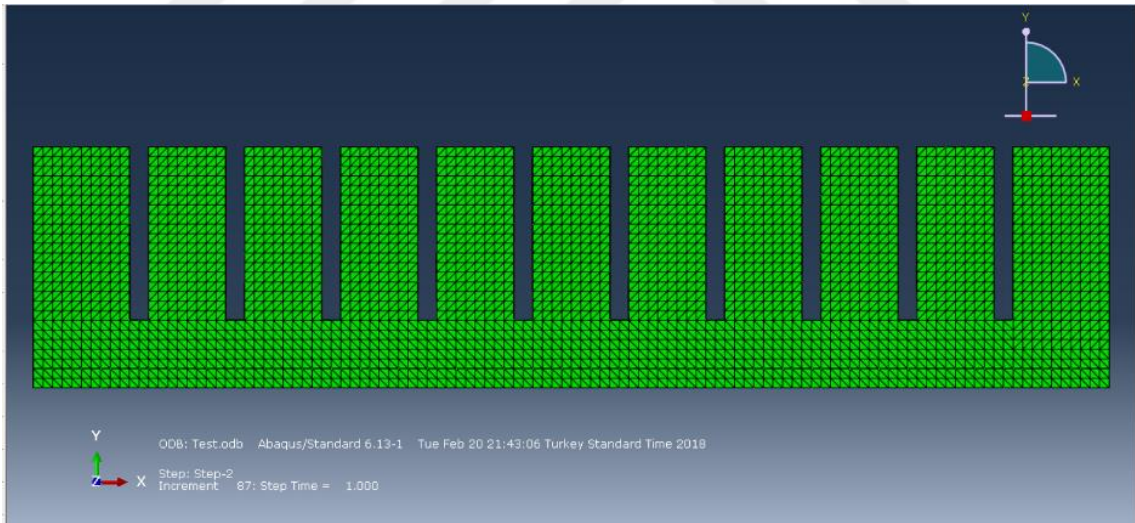
Küp grafiği ve kontor grafikleri oluşturularak çeşitli bulgular tespit edilmiş ,faktörlerin ayrı ayrı ve kesişimlerinin etkileri de gösterilmiştir.Sonrasında daha detaylı olarak seçilen en büyük etkiye sahip iki faktörde farklı incelemeler yapılmıştır. Ayrıca regresyon formülü ile analiz sonuçları karşılaştırılarak sapma seviyesi ortalama olarak bulunmuştur.

Bu bölümde genel olarak hangi tip bir tutucunun daha yüksek bir RF yaratabileceği sorusunu cevabı için çalışılarak, seçilen faktörler detaylı olarak analiz edilmiş ve en iyi tasarım bulunmaya çalışılmıştır. Tezin ilerleyen kısmında seçilen tasarım ile ilgili olarak farklı senaryolar için farklı analizler yapılmıştır.

NIHAİ MODELLEME

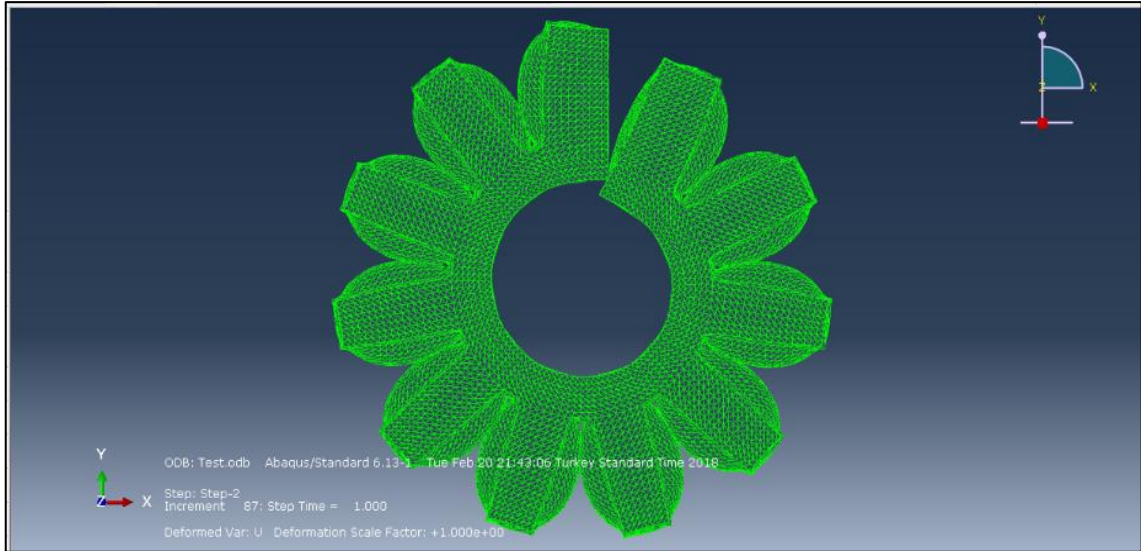
7.1 3D Çalışmalar

Bölüm 5 boyunca yapılan araştırma sonucu bulunan en iyi tasarım aşağıdaki gibidir(Şekil7.1). Buna göre diş boyu 18 mm, diş genişliği 15mm ,koniklik 0 ° derece ve yüksek basınçlı bir tutucu ile araştırmaya devam edilmiştir.



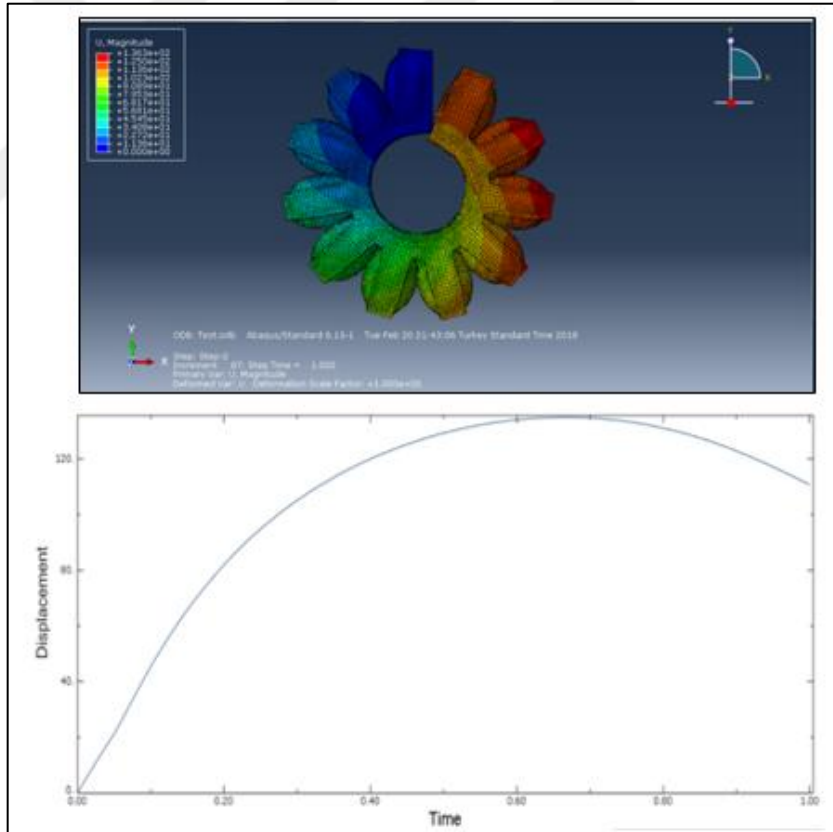
Şekil 7. 1 Seçilen tasarımın ağ atılmış hali

Mesh atıldıktan sonra parça ayrıca, serbest durumda nasıl bir hareket sergileyeceğinin anlaşılması için de, oluşturulan bir Job ile analiz edilerek, tutmak istediğimiz herhangi bir hedef cisim olmadan da incelenmiştir.



Şekil 7. 2 Analiz sonucu

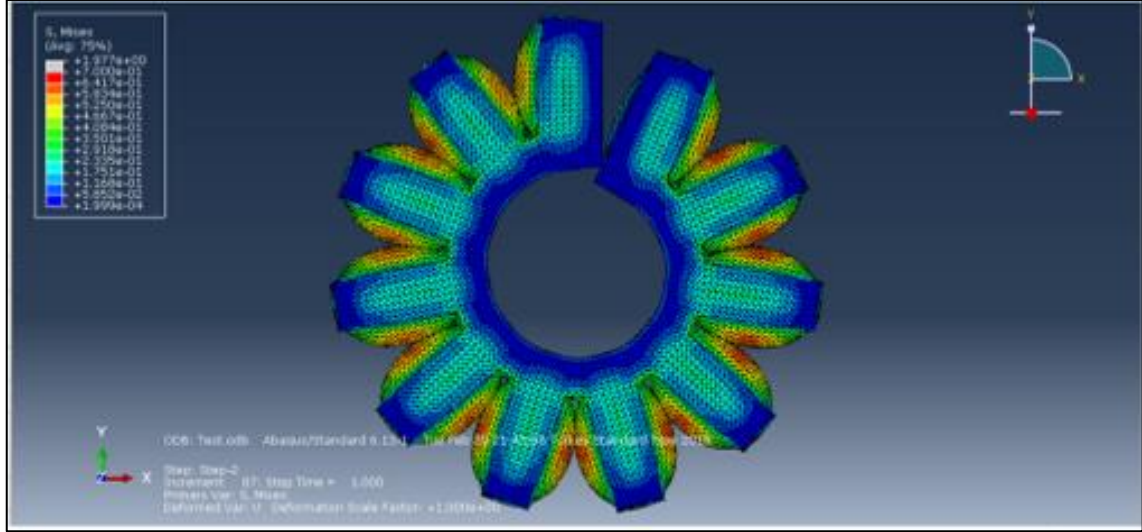
Yapılan tekil analiz sonucu ,hareketli uç analiz sonunda yaklaşık 335°'lik bir sarılma hareketi yaparak sabit ucun bulunduğu kısma kadar gelmiştir(Şekil 7.2).



Şekil 7. 3 Serbest ucun yer değıştirme grafiğı

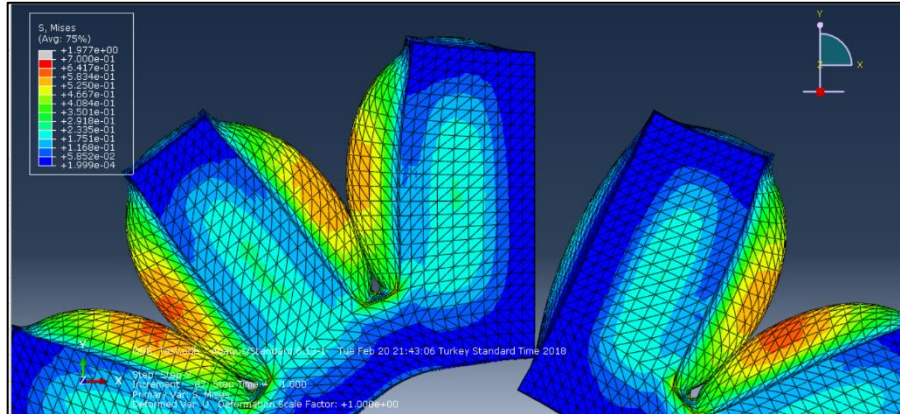
Yerdeğıştirme sonuçlarının parça üzerinde gösterimi şekil 7.3'de görülmektedir.Parçanın serbest ucu neredeyse tam tur attığı için,toplamda en çok yer değıştiren kısım bu

kısımdır. Ancak program parça üstündeki elemanların uzaydaki ilk ve analiz bitimindeki konumlarının farklarına baktığı için maksimum yer değıştirme uç noktadan farklı bir bölgede çıkmaktadır.



Şekil 7. 4 Parça üzerindeki gerilim dağılımı

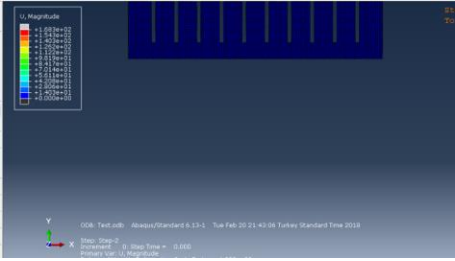
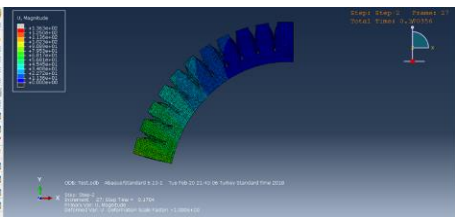
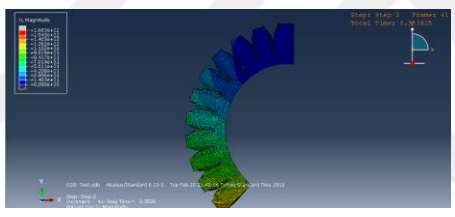
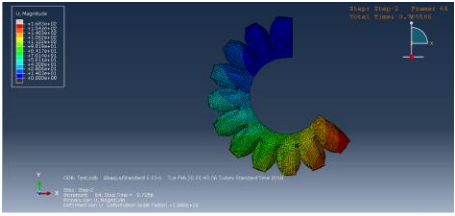
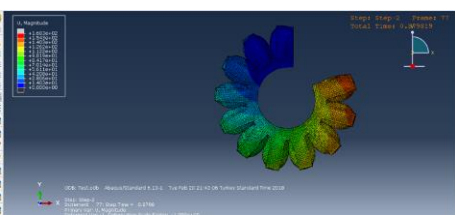
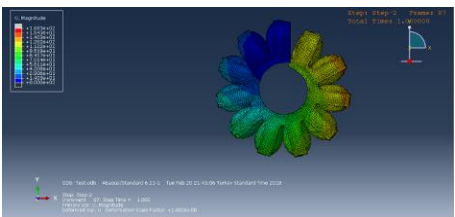
Yapılan analiz sonucuna göre, parça üzerinde oluşan gerilmeler hava odacıklarının birbirleri ile temas ettikleri bölgelerde yoğunlaşmaktadır(Şekil 7.4). Bu bölgelerde meydana gelen gerilme seviyeleri benzer tüm bölgelere neredeyse eşit seviyede bulunmuştur. Ayrıca zamana bağlı yerdeğıştirme gösterilmiştir(Çizelge 7.1).



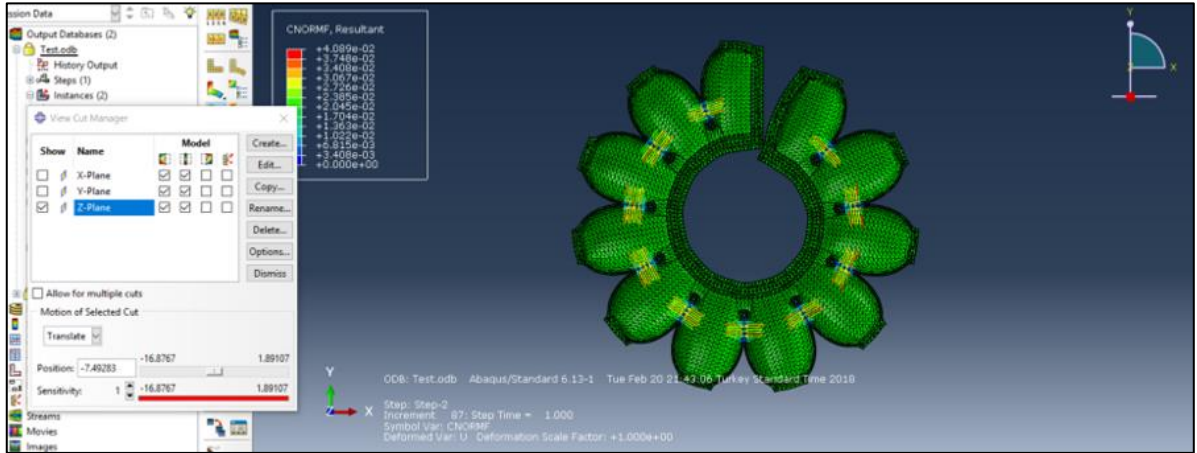
Şekil 7. 5 Hava odacıkları yan duvar gerilmeleri

Hava odacıklarının temas yüzeylerinde görülen gerilme bölgelerinin yanısıra, parçanın her iki yanında bu odacıkların yan yüzeylerinde de belirli bir miktar gerilme tespit edilmiştir (Şekil 7.5).

Çizelge 7.1 Sadece tutucunun bulunduğu model yer değiştirme

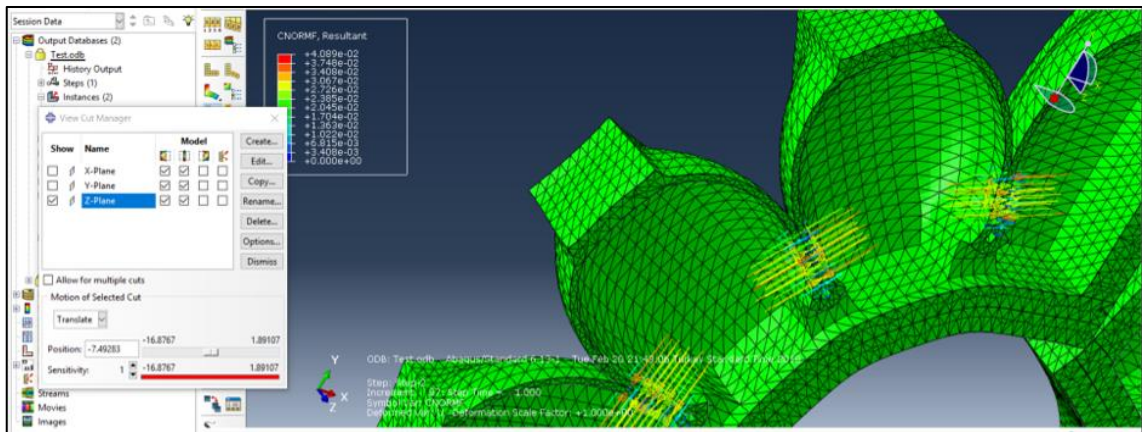
Süre [Saniye]	Sonuç (Yer Değiştirme [mm])	Sarılma Açısı [Derece]
t=0 s		0 °
t=0.17 s		74 °
t=0.35 s		134 °
t=0.70 s		230 °
t=0.87 s		290 °
t=0.1 s		335 °

Hava odacıklarının birbirlerini itmesi sonucu temas yüzeylerinde oluşan kuvvet vektörleri şekil 7.6’da görünmektedir.



Şekil 7. 6 Hava odacıklarının itiş sonucu oluşan reaksiyon kuvvetleri

Kesit alınıp daha detaylı incelendiğinde, yüzeylerin bütünüyle değil belirli bir oranda temas ettikleri görülmektedir. Ayrıca temas yüzeylerinde temasa bağlı deformasyon görülüp, küresel yüzeyler düzlemsel hale gelmiştir. Parça üzerinde kullanıma bağlı olarak bu bölgelerdeki sürtünme ve şekil değişimi zamanla kalıcı deformasyon ve aşınmalara sebep olacaktır. Dolayısıyla bir tasarımcı olarak bu bölgelerdeki et kalınlığının istenen ölçütte kalınlaştırılması yada kaymayı kolaylaştırıcı yüzey kaplaması yapmak alınacak önlemlerden bazıları olarak söylenebilir.

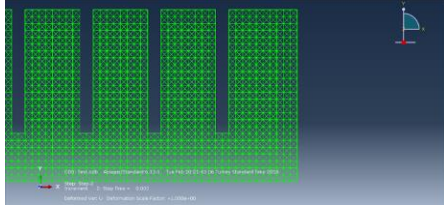
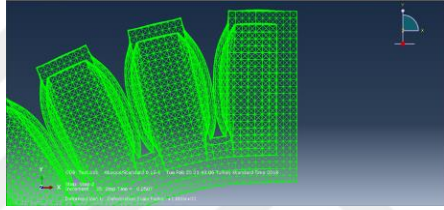
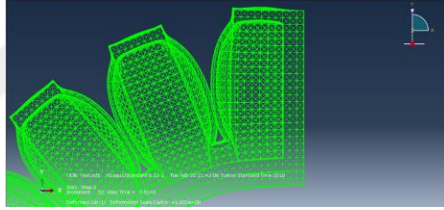
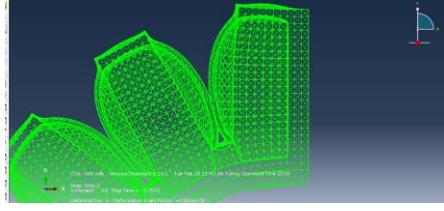
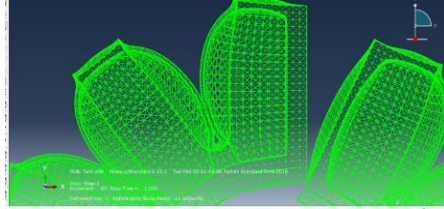


Şekil 7. 7 Temas yüzeyi formu

Hava odacıklarının dış kısımlarına paralel olarak iç çeperlerinde de benzer bir form oluşmaktadır. Zamana bağlı bu değişim çizelge 7.2’de görülebilmektedir. Analizin son step’inde serbest ucun dış bölgesindeki deformasyonda net olarak görülmektedir.

Temas yüzeyleri birleri üzerinde y ekseninde kayma ve z ekseninde dönme hareketini birlikte yapmaktadır.

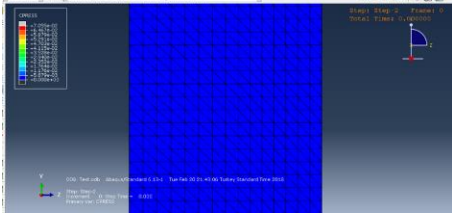
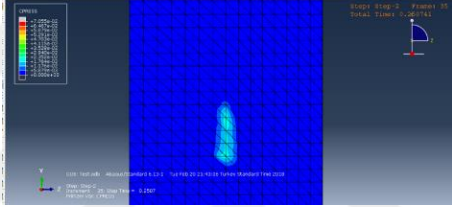
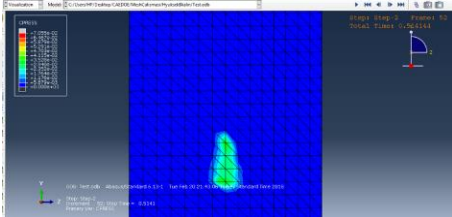
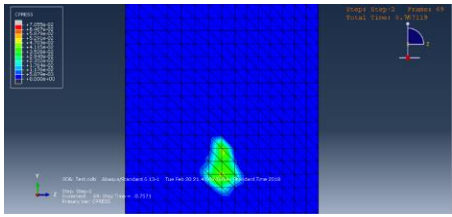
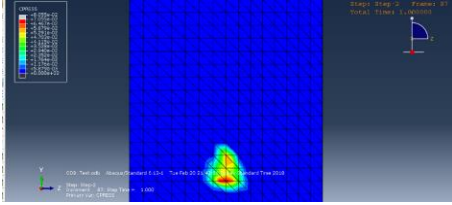
Çizelge 7.2 Zamana bağlı hava odacıklarının şekil değişimi

Süre [Saniye]	Sonuç (Yer Değiştirme [mm])
t=0 s	
t=0.25 s	
t=0.50 s	
t=0.75 s	
t=1 s	

Hava odacıklarının temas yüzeylerinde bir önceki sayfada bahsedilen, y eksen boyunca görülen hareketin detayı çizelge 7.3’de gösterilmiştir. Yaklaşık t=0.25’de başlayan ilk temas zamanla gerilimini arttırarak aşağı yönde yaklaşık 3 mm’lik bir kayma gözlemlenmiştir. Temasın çizgisel bir tipte meydana gelmesinin sebebi , şişen yüzeylerin

küresel bir yapıya yakın formlarından kaynaklanmaktadır. Bu sonuç gerilim birikmelerine sebep olsa da parçanın “C” formu alması bu sayede mümkün olmaktadır.

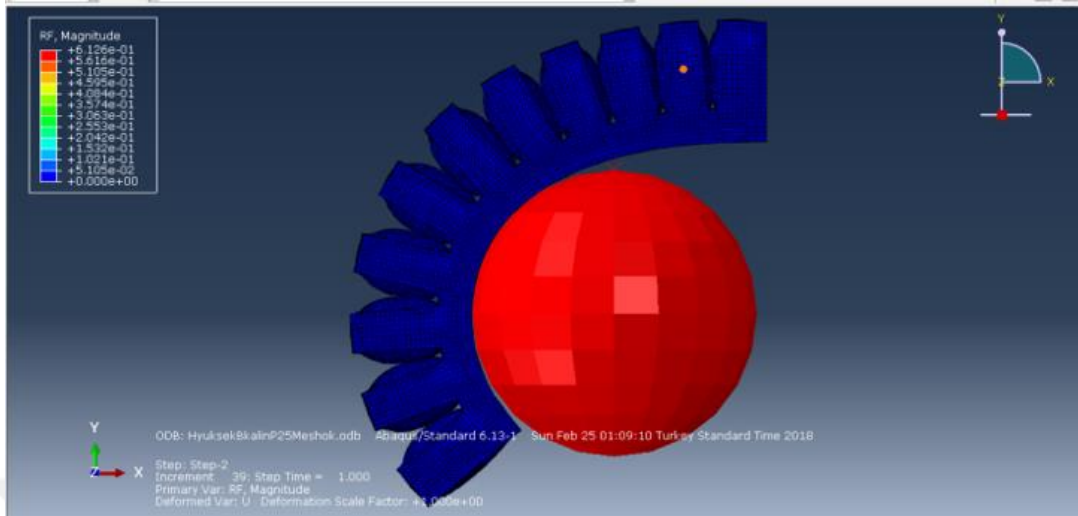
Çizelge 7.3 Zamana bağlı hava odacıklarının temas basınçlarındaki değişim

Süre [Saniye]	Sonuç [N/mm ²]
t=0 s	
t=0.25 s	
t=0.50 s	
t=0.75 s	
t=1 s	

7.1.1 Tek 3D Kol Modeli Analizi

Beşinci bölümde seçilen tasarım bu bölümde bir cisme kuvvet uygulama senaryosu ile analiz edilmeye çalışılmıştır. Önceki bölümlerde olduğu gibi bir ucu ankastre mesnet ile

bağlı diğer ucu serbest bırakılan tutucu, sabit bir parçaya sarılıp ona tutunma yada onu kaldırma fonksiyonu için kullanılabilir.



Şekil 7. 8 Tek kollu tutucunun hedef cisim üzerinde oluşturduğu rf

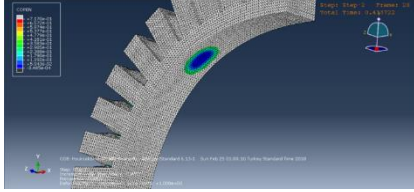
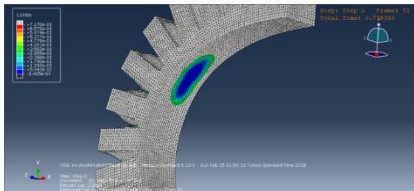
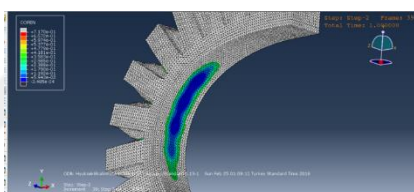
Şekil 7.8’de yumuşak tutucunun, hedef cisim üzerinde oluşturduğu reaksiyon kuvveti görülmektedir. Burada tutucunun ağırlığı ve şekil değişiminden kaynaklanan kuvvetler birleşerek cisim üzerinde bir kuvvet oluşturmaktadır. Buradaki örnek, bir daldan zarar vermeden meyva toplayan bir tutucu kol için düşünülebilir.

Hedef cisim ile tutucu arasındaki açıklık ilişkisinin detayı çizelge 7.4’de görülebilir. Burada zamana bağlı olarak parçanın sarılmaya başlandığını ve analiz sonunda yaklaşık olarak 105 ° derecelik bir sarılma açısına ulaşmaktadır.

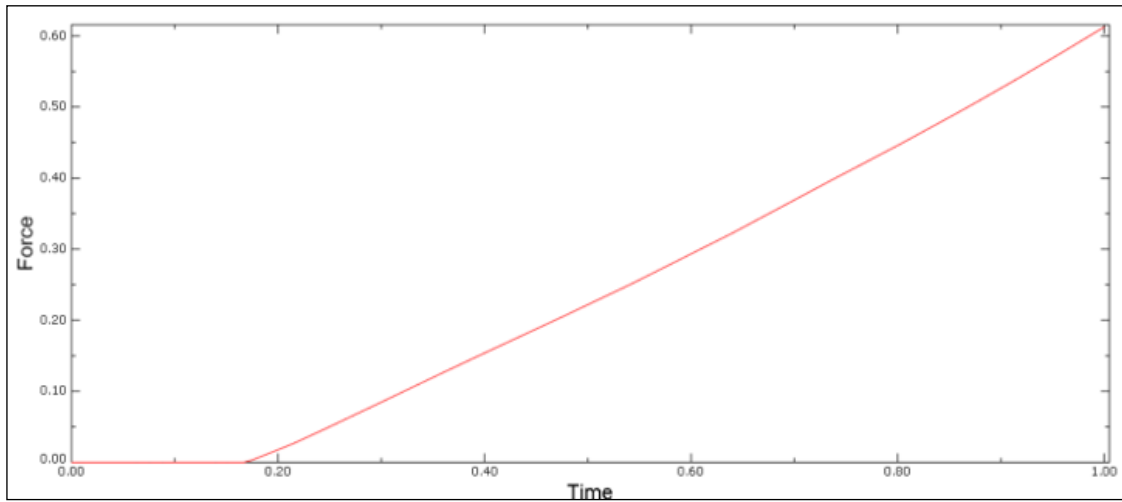
Çizelge 7.4 Zamana Bağlı Tek Kollu Sistem İle Hedef Cisim Arasındaki Yüzey Açıklığı

Süre [Saniye]	Sonuç (Kontak Açıklık [mm])
t=0.17 s	

Çizelge 7.4 Zamana bağlı tek kollu sistem ile hedef cisim arasındaki yüzey açıklığı(devamı)

t=0.43 s	
t=0.73 s	
t=1 s	

Tek kollu tasarım ile hedef cisim üzerinde oluşan tepki kuvvet değeri Şekil 7.9’da gösterilmiştir. Tutucu öncelikle herhangi bir temas olmadan tek başına hareketine başlayıp yaklaşık $t=0.18s$ ’de hedef cisim ile ilk kontakt kurulmuştur. Sonrasında yükselen bir RF grafiği analiz sonuna kadar devam etmiştir.

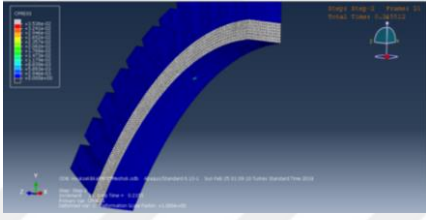
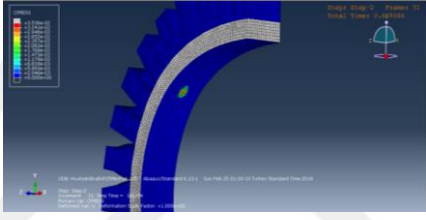
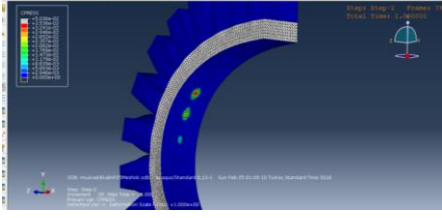


Şekil 7. 9 Tek kollu sistemin hedef cisim üzerindeki rf’in değişimi

Hedef cisim ile tutucu arasında oluşan yüzeysel basınç noktaları çizelge 7.5’de gösterildiği şekildedir. Burada noktaların zamana bağlı olarak sabit uçtan serbest uca

doğru kaydıkları tespit edilmiştir. Bunun sebebi parçaların ilk olarak en yakın kısımlarından birleşmelerinin ardından, tutucu kolun “C” formu alarak parçayı sarmasından kaynaklanmaktadır(Çizelge 7.5).

Çizelge 7.5 Zamana bağlı tek kollu tutucu ile hedef cisim arasında oluşan basınç noktaları

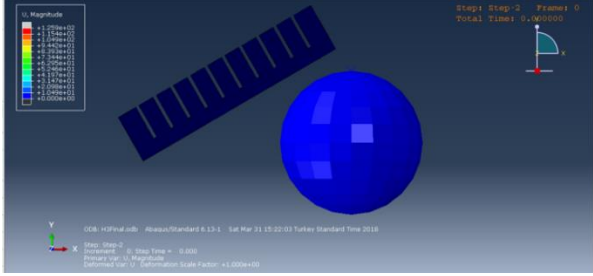
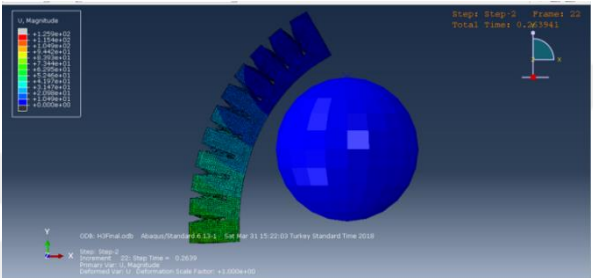
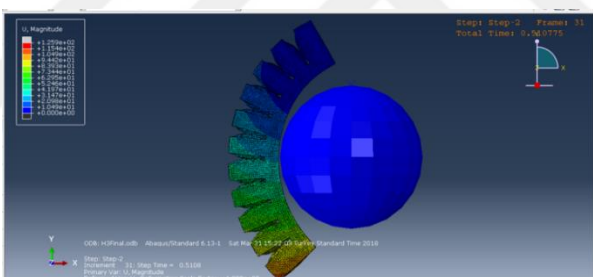
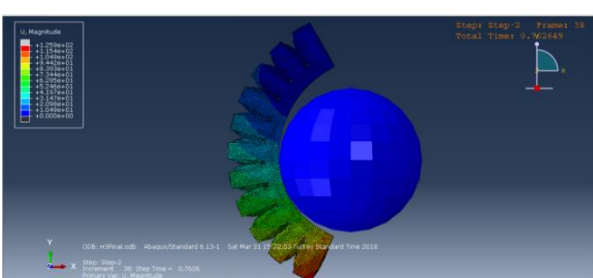
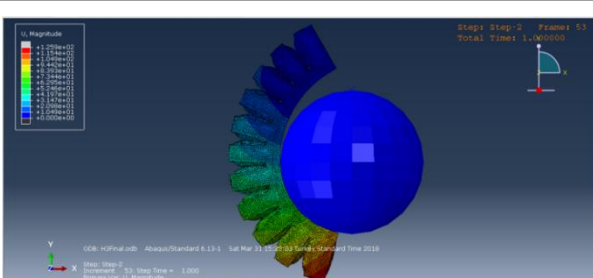
Süre [Saniye]	Sonuç (Kontak Basınç [N/mm ²])
t=0.22 s	
t=0.63 s	
t=1 s	

7.1.2 Açılı 3D Tek Kol Modeli Analizi

Bu bölümde bir önceki bölümden farklı olarak , tutucu parçanın y eksen ile arasında 30°'lik bir açı ve belirli bir açıklık olacak şekilde tasarımı analiz edilmiştir. Bu aradaki amaç y eksen etrafındaki tutucu kol sayısına bağlı olarak parça üzerinde oluşacak olan kaldırma kuvvetinin modellenenbilmesidir.

Öncelikli olarak tek bir tutucu koldan oluşan sistemin analizi yapıp ilerleyen kısımda tutucu kol sayısı daha fazla olan bir tasarımın analizi de yapılmıştır.

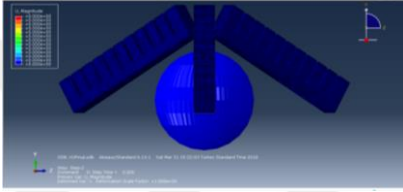
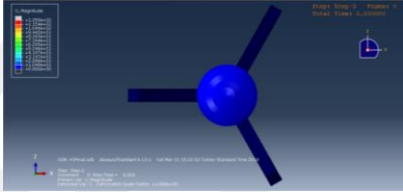
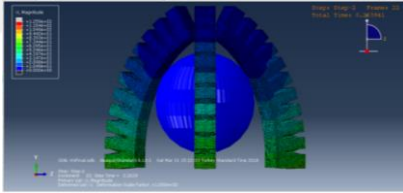
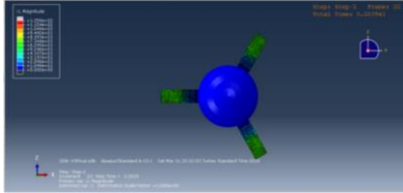
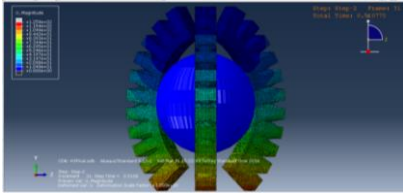
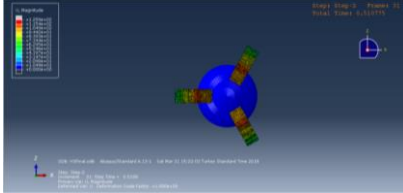
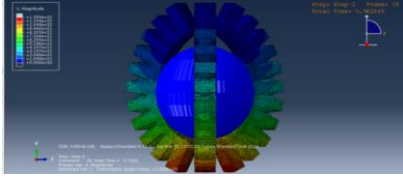
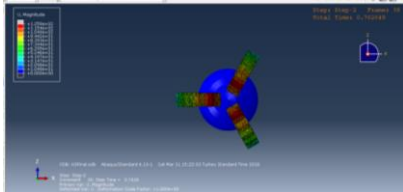
Çizelge 7.6 Tek Kollu sistemin hedef cisim üzerinde oluşturduğu reaksiyon kuvveti

Süre [Saniye]	Sonuç [Yerdeğiştirme [mm]]	Sarılma Açısı [Derece]
t=0 s		0
t=0.26 s		61
t=0.54 s		100
t=0.76 s		122
t=1 s		130

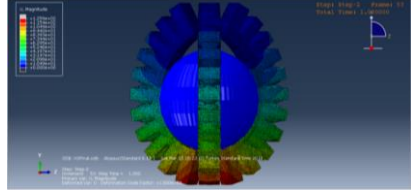
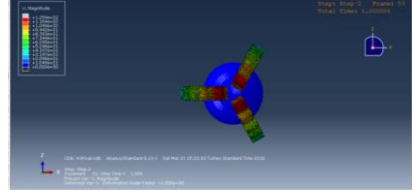
7.1.3 Açılı 3 Kol 3D Modeli Analizi

Bir önceki bölümde incelenen tek kollu tasarımın daha farklı bir versiyonu olan 3 kollu tasarım bu bölümde incelenmiştir. Gerçek kullanım şartlarında daha fazla işe yarayabilecek olan 3 kollu tasarımın tek kolluya nazaran en büyük artısı, cismi çeşitli yönlerden sıkıştırarak cismin daha yüksek bir oranda sarılmasını sağlamasıdır. Çizelge 7.7’de iki farklı açıdan zamana bağlı olarak cismin sarılması gösterilmiştir.

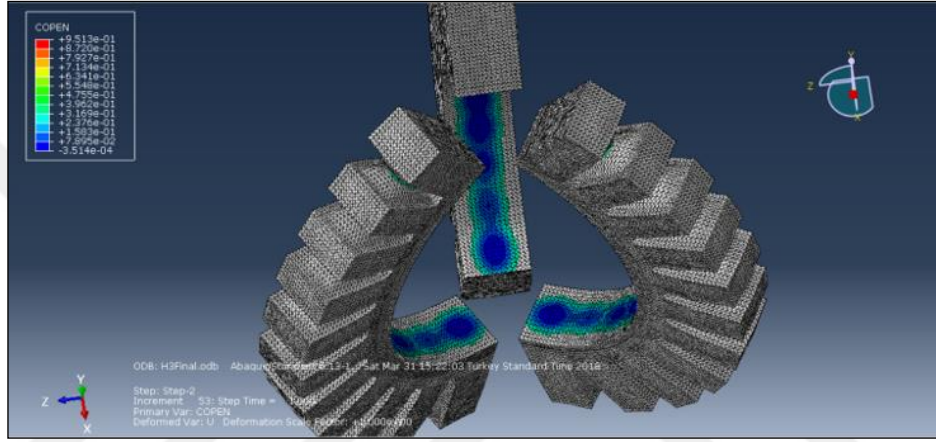
Çizelge 7.7 Zamana bağlı 3 kollu tasarımın hedef cismi sarması

Süre [Saniye]	Sonuç (Yer Değiştirme [mm] - XY)	Sonuç (Yer Değiştirme [mm] - ZX)
t=0 s		
t=0.26 s		
t=0.54 s		
t=0.76 s		

Çizelge 7.7 Zamana bağlı 3 kollu tasarımın hedef cismi sarması(devamı)

t=1 s		
-------	---	--

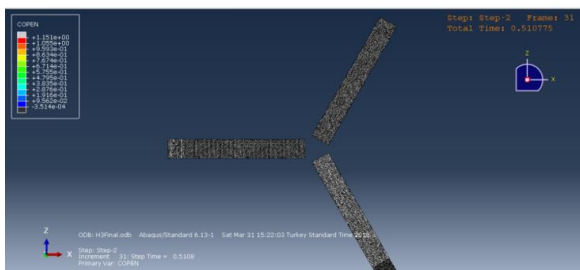
Şekil 7.10 'da tek kollu sistem için gösterilen hedef cisim tutucu arasındaki yüzeyel açıklık ilişkisi 3 kollu tasarım için de gösterilmiştir.



Şekil 7. 10 Hedef cisim ile 3 kollu tasarım arasındaki yüzeyel açıklık

Tıp tek kollu tasarımda olduğu gibi kontak yüzeyi 3 kollu tasarımda da ilk olarak sabit uç tarafından başlayıp serbest uca doğru kaymıştır(Çizelge 7.8).

Çizelge 7.8 Üç kollu sistem ile hedef cisim arasında zamana bağlı kontak açıklığı

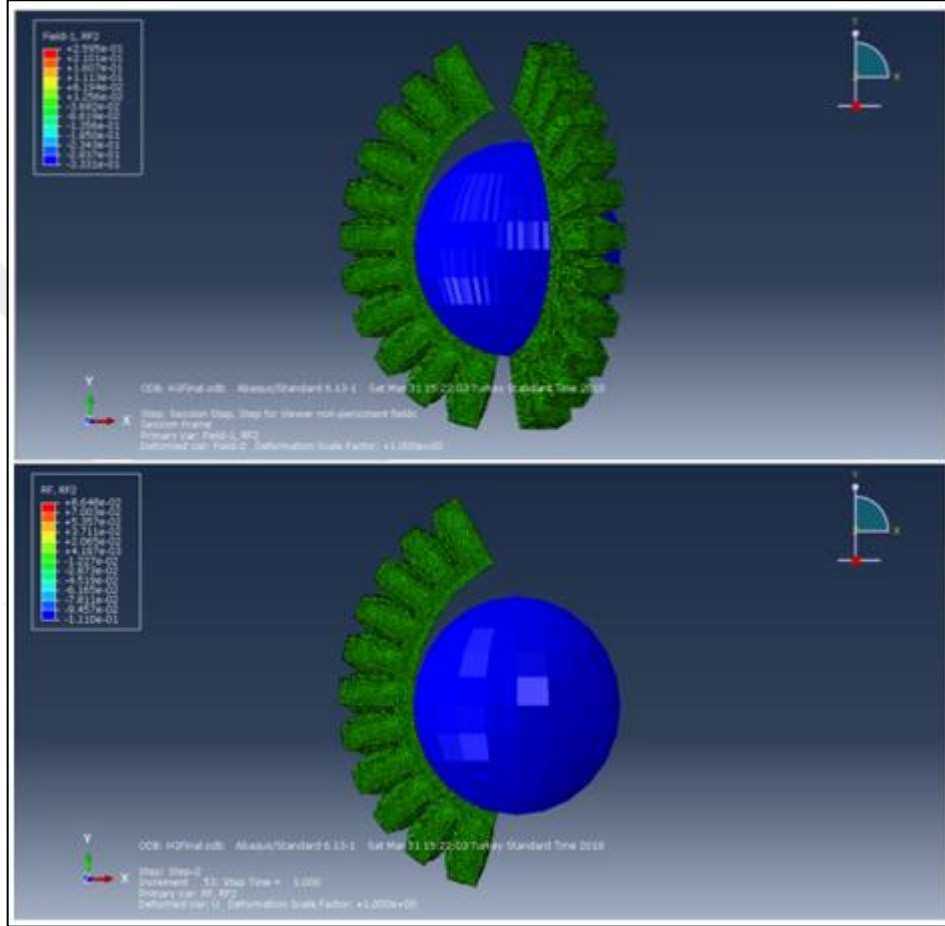
Süre [Saniye]	Sonuç (Kontak Açıklığı [mm])
t=0 s	

Çizelge 7.8 Üç kollu sistem ile hedef cisim arasında zamana bağlı
kontakt açıklığı(devamı)

t=0.54 s	
t=0.64 s	
t=0.76 s	
t=0.86 s	
t=1 s	

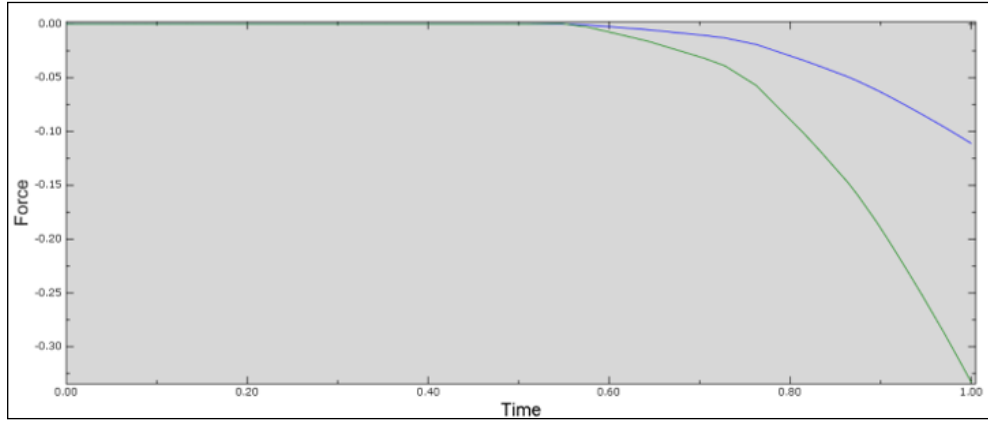
7.1.4 Kol Tasarımı Sonuçlarının Karşılaştırılması

Farklı tasarımlar için yapılan analiz sonuçlarına bakıldığında , RF değerleri Şekil 7.11 ve şekil 7.12’de gösterildiği gibidir. 3 kollu tasarım hedef cisim üzerinde tek kollu tasarıma göre 3 kat daha fazla RF yaratmıştır.



Şekil 7. 11 Tek ve Üç Kolların Hedef Cisim Üzerindeki Reaksiyon Kuvveti

Her iki sistem için zamana bağlı çizdirilen RF grafiği şekil 7.12’de gösterildiği gibidir. Burada 3 kollu tasarımın tek kollu tasarıma göre daha büyük bir RF yarattığı sonucuna ulaşılsa da 3 kollu tasarıma bu hareketi yaptırabilmek için tek kolluya göre 3 kat fazla hacimde basınçlı hava verilmesi gerektiği de unutulmamalıdır.



Şekil 7. 12 Üçlü ve Tekli Kol Tasarımlarının Zamana Bağlı RF Değerleri

7.2 2D Çalışmaları

Tüm modelleme işlemlerinden sonra çözdürülen job'ın sonuçları çizelge 7.9'daki gibi gösterilmiştir. Tıpkı 3D modelde olduğu gibi 2D model de hedef cisim üzerine doğru önce yaklaşmış, ardında ilk olarak temas gerçekleşmiş ve ardında cisim üzerine sarılmaya başlamıştır.

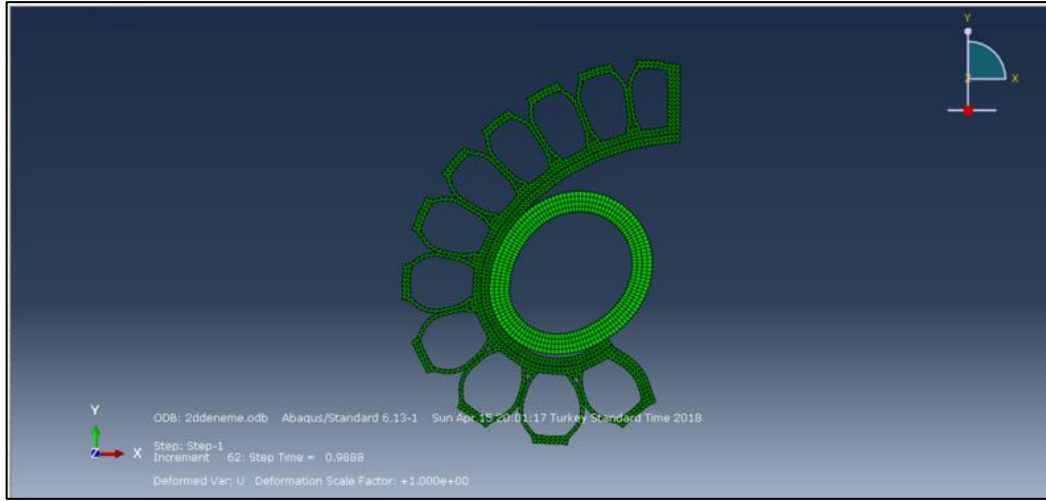
Çizelge 7.9 Hedef cisim ve tutucu kolun 2D modeli analiz sonucu

Süre	Sonuç
t=0 s	
t=0.26 s	

Çizelge 7.9 Hedef cisim ve tutucu kolun 2D modeli analiz sonucu(devamı)

t=0.53 s	
t=0.72 s	
t=1 s	

3D ve 2D model içersinde, hedef cisim üzerindeki tutucu tarafından oluşturulan maksimum reaksiyon kuvveti incelendiği için, hedef cisim deforme olmayan rijit olarak modellenmişti. Eğer istenirse aynı model içerisinde, hedef cisme de deforme olma özelliği ve malzeme tanımlandığında, sıkıştırmanın ileri analizi olan, tutulan cisimdeki deformasyon ve diğer etkiler de incelenebilir.(Şekil 7.13)



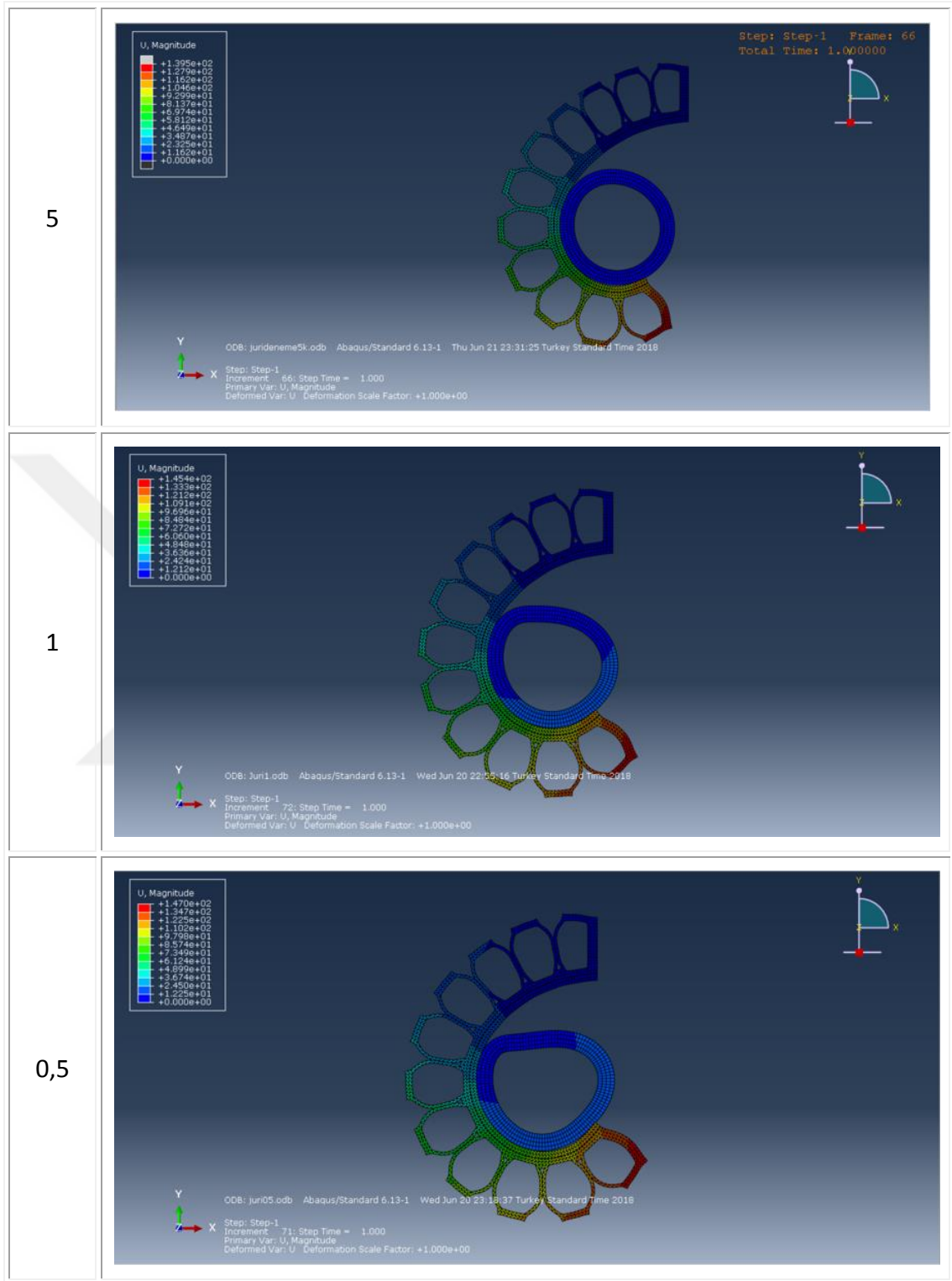
Şekil 7. 13 Deforme olmuş hedef cisim

Yumuşak tutucu ile tutulan hedef cisim arasındaki rijitlik farkı, farklı deformasyonlara sebep olmaktadır. Bu değişim aşağıdaki şekilde görülebilir(çizelge 7.10).

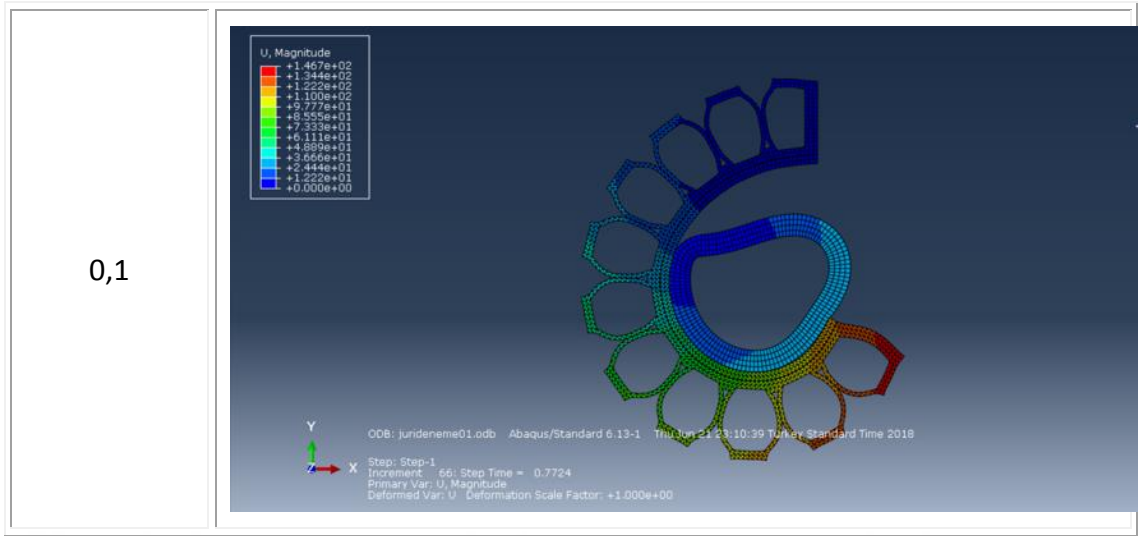
Çizelge 7.10 Farklı rijitlik değerlerine sahip hedef cismin tutulması sonuçları

$C_{1HC}/C_{1Tutucu}$	Yer Değiştirme
10	

Çizelge 7.10 Farklı rijitlik değerlerine sahip hedef cismin tutulması sonuçları(devamı)



Çizelge 7.10 Farklı rijitlik değerlerine sahip hedef cismin tutulması sonuçları(devamı)



SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez içerisinde modellenip analizi yapılan parça ile ilgili, araştırma sonucu bulgular ve tespitler aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

Farklı rijitlik değerlerine sahip katmanlı yapıdaki bir giriş, gerekli tasarımsal özellikleri bünyesinde barındırıyorsa, eğer istenirse herhangi bir rotasyonel yada lineer motor yardımı olmadan uzayda farklı şekiller alarak bu şekli hareket etmek için, bir cisme tutunmak için yada bir cisim üzerinde kuvvet oluşturmak için kullanılabilir. Bu sayede yapılması geleneksel yöntemlerle çok zor olabilecek pek çok hareket yapılabilir(Şekil6.2).

Tezin ilk kısımlarında, öncelikle belirlenen, hedef parça üzerinde maksimum reaksiyon kuvveti çıktısı için, en iyi sonucu verecek tasarımın ne olacağının belirlenmesi için, DOE analizi yapılarak, sistem çıktısı üzerinde etkisi olduğu düşünülen faktörlerin bu çıktı üzerindeki etkileri hem tekil hem de tümünün kombinasyonunda aranıp, maksimum farklı kombinasyonaki tasarım denenmiştir. Bu anlamada sistem üzerinde belirlenen 4 adet DOE faktörü olan sistem basıncı (P), dış yüksekliği(A) , dış genişliği(B) ve koniklik için 2 seviyeli, 16 farklı tasarımın analizi ayrı ayrı yapıp bulunan sonuçlar grafikler ile gösterilmiştir. Buna göre belirlenen 4 adet faktörün RF üzerindeki etkileri büyükten küçüğe dış genişliği(B), dış yüksekliği(A), sistem basıncı(P), ve koniklik olarak, en az etkiye sahip olanın etkisi 1 birim olarak kabul edildiğinde , sistem basıncı (P) 2 birim , 5,5 birim, dış yüksekliği(A) ve dış genişliği(B)'nin 13 birim etkiye sahip olduğu bulunmuştur(Şekil 6.5).

Verilen yüzey grafiklerinden faktörlerin çeşitli tüm kombinasyonlarının RF üzerindeki etkileri okunabilir. Bunun tersi olarak da sınırlandırılan bir RF yüzeyi için grafik üzerinden tersten okuma yaparak faktörlerin alabileceği minimum ve maksimum değer aralıkları belirlenebilir. Bu şekilde örneğin aynı RF değerini veren iki tasarım karşılaştırıldığında seçim aşaması içine kütle bilgileri de dahil edilerek bir karar alınması sağlanabilir (Çizelge 6.1).

Tezin ikinci aşaması olarak nitelendirilebilecek kısımda ise DOE sonuçları arasından en iyi reaksiyon kuvveti performansını verebilen yüksek dış yüksekliği, yüksek dış genişliği , yüksek basınç ve düşük açılı koniklikliğe sahip tasarım nihai tasarım olarak farklı senaryolarda analiz edilmiştir (Şekil 7.1).

Buna göre sistem öncelikli olarak herhangi bir hedef cisim olmadan tek parçanın bulunduğu bir assembly ortamında 25kPa basınca maruz bırakılarak serbest haldeki hareketi detaylı olarak incelenmiştir. Buna göre parçadaki maksimum yer değiştirmeyi beklediği üzere serbest uçtaki noktalar göstermiş yaklaşık olarak 168 mm'dir. Bu noktalardan b sabitlenen yüzeye doğru takip eden noktalar da bu benzer karakterde yer değiştirme göstermişlerdir. Bu analiz sonucuna bakarak sistemin boyu ile sardığı dönme açısı arasında bir bağıntı bulma için ayrıca da bir çalışma bu çalışmayı baz alarak yapılabilir (Şekil 7.3).

Hava odacıklarının bulunduğu katman detaylı olarak incelendiğinde şu bulgularla karşılaşmıştır. Hava odacıkları şişerek baştaki düzlemsel şekilleri değişip düzgün olmayan yarım küreye benzer bir şekil almıştır. Analizin başlaması ile birlikte Y ekseninde negatif yönde harekete başlayan parçadaki hava odacıklarının, serbest uçtan sabit uca doğru bir öncelik sıralaması sergileyerek birbirlerine temas ettikleri görülmüştür. Bunun sebebi parçanın serbest ucundan başlayarak sabit uca doğru gidildikçe parça ağırlığının etkisi ile oluşan döndürme momentinin giderek artması ile hava odacıklarının arasındaki mesafeyi ilk temas edenlere nazaran daha çabuk olarak açmasıdır. Bu sebeple ilk kontak serbest uca en yakın hava odacıklarının duvarlarında olmuştur (Şekil 7.6, Şekil 7.7).

Bunun yanında hava odacıklarının birbirlerine temas ettikleri yüzeylerin merkezleri de hareket boyunca sabit kalmayıp temas yüzeylerinde -y yönünde 2mm'lik bir kayma gözlemlenmiştir (Çizelge 7.3).

En yüksek RF değerini sağlayan tasarım için ikinci senaryoda ise , hedef cisim ile olan ilişkileri incelenmiştir. Tezin başında kurulan hipotez bu aşamada tekrar doğrulanarak bir cisim etrafına sarılma fonksiyonu gerçekleşmiştir. Burada cisim üzerinde oluşan reaksiyon kuvveti zamana bağlı olarak, cisim üzerinde $t = 0,2s$ 'de oluşmaya başlayıp analiz süresince lineer bir yükseliş izleyip 0,6 N değerine kadar ulaşmıştır. Ayrıca cisim ile parça arasında oluşan temas yüzeyinin de zamana bağlı olarak bir miktar yer değiştirdiği gözlemlenmiştir (Şekil 7.9). Bulunan sonlu elemanlar modeli sonucu ile gerçek değerler karşılaştırılmak istendiğinde, Polygerinos'un 2013 yılında yaptığı ölçümler kullanılabılır [45]. Aynı tip tutucu için paylaşılan grafikte 25kPa ile uç noktada 0,45N'luk bir kuvvet oluşturulabilmektedir.

Tüm bu aşamalarda sonra tezin son kısmı olarak nitelendirilebilecek kısımda ise, hedef cisim ile parça arasında Y eksen oluşan kaldırma kuvvetleri incelenmiştir. Parça daha önceki konumundan farklı ve endüstrideki robot tutucuların tasarımlarına benzer 30 derecelik bir açı ile tekrar konumlandırılarak daha yüksek kaldırma kuvvetlerinin yakalanması hedeflenmiştir (Çizelge 7.6).

Bunun sonucu tek kollu bir tasarım ile 0,11 Newton değerinde bir kaldırma kuvveti cisim üzerinde oluşmuştur. Burada cisme etkiyen kaldırma kuvveti ,tutucunun +y yönünde zamana bağlı olarak sarma işlemi bittikten sonra arttırılması ile yükseltilebilir (Şekil 7.11).

Tek kollu tutucunun yanı sıra aynı cisme daha yüksek bir kaldırma kuvveti uygulamak ve daha iyi kavrayabilmek için aynı tasarım y eksen etrafında 360°'de 3 adet olacak şekilde yani 120°'lik açılar ile dizilmiştir. Bunun sonucunda kaldırma kuvveti 0,33 Newton değerine ulaşmıştır. 3 koldan oluşan tasarım ile endüstride kullanılan robot kol tutucular simule edilmiştir. Yada örneğin bir insan elini simule etmek için belirli aralıklar ve açılarda ergonomiye en uygun dizilim ile el gibi çalışabilecek bir sistemin de benzer şekilde yapılabilir (Şekil 7.11).

Tez içerisinde hem 2D hem de 3D model tek tutucular için, CAE analizleri ayrı ayrı yapılarak sonuçlar tablolarda gösterilmiştir. 2D modelleme bölümünde de bahsedildiği gibi, iki model arasında boyularından dolayı (2D – 3D), çözümlerinde farklı sonuçlar alınmıştır. 2D modellemede özellikle hava odacıklarının Z eksene dik X eksene paralel olan duvar kısımları 2D model'e indirgenememektedir. Ancak her iki modelde de aynı

faktörler için DOE analizleri yapıldığında , etken parametrelerin benzer karakteristik sergiledikleri görülmüştür (Çizelge 6.5, Şekil 6.10).

Tezin son kısmında ise 3D modelden farklı olarak sistemin 2D hedef cisim deformasyonlu modeli oluşturulmuş ve önceki kısımlardan farklı olarak , hedef cisme şekil değişikli deformasyon yaptırılmıştır (Şekil 7.13 ve Çizelge 7.10).

Sonuç olarak tezin başında belirtilen hipotez, yapılan detaylı çalışma ve analizler sonucu doğrulanmıştır.Farklı rijitlik değerlerine sahip katmanlı bir kiriş herhangi bir rotasyonel yada lineer motor yardımı olmadan hareket eldesi için kullanılabilmiş, ayrıca çalışma içerisinde tasarım parametrelerinin bu hareket arasındaki ilişkiler bulunarak ortaya konmuştur.Çalışmanın bu alanda yapılacak olan diğer araştırmalara ışık tutması umulmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Ilievski, F., Aaron D., Robert F., Xin C. ve George M., (2011). "Soft Robotics for Chemists", *Angewandte Chemie International Edition*, 8:1890 -1895.
- [2] Connolly, F., Polygerinos, P., Walsh, C.J. ve Bertoldi, K., (2015). "Mechanical Programming of Soft Actuators by Varying Fiber Angle", *Soft Robotics*, 2:26-38.
- [3] Gorrisen, B., Reynaerts, D., Konishi, S., Yoshida, K., Kim, J. ve Volder, M., (2017). "Elastic Inflatable Actuators for Soft Robotic Applications", *Adv. Material*, 29: 43 – 48.
- [4] Wang, Z., Torigoe, Y. ve Hiari, S., (2017). "A Prestressed Soft Gripper: Design, Modeling, Fabrication, and Tests for Food Handling", *IEEE Robotics and Automation Letters*, 2:4-12.
- [5] Zhao, H., Li, Y., Elsamadisi, A. ve Shepherd, R., (2015). "Scalable Manufacturing of High Force Wearable Soft Actuators", *Extreme Mechanical*, 3: 89-104.
- [6] Yun, S., Kang, B. ve Cho, K., (2017). "Exo-Glove PM: An Easily Customizable Modularized Pneumatic Assistive Glove", *IEEE Robotics and Automation Letters*, 5:1725 – 1732.
- [7] Polygerinos, P., Wang, Z., Galloway, K. ve Wood, R., (2015). "Softrobotic glove for combined assistance and at-home rehabilitation", *Robotics and Autonomous Systems (RAS) Special Issue on Wearable Robotics*, 73:135-143.
- [8] Kumar, A., (2018). "Methods and Materials for Smart Manufacturing: Additive Manufacturing, Internet of Things, Flexible Sensors and Soft Robotics", 15:122-125.
- [9] In, B., Kang, B., Sin, M. ve Cho, K., (2010). "Exo-Glove: A Soft Wearable Robot for the Hand with a Soft Tendon Routing System", *NRF*, 13470 :1-8.
- [10] Beyaz, A., (2017). "Harvest glove and LabView based mechanical damage determination on apples", *Sciencedirect*, 228:49-55.
- [11] Al-Faham, H., Davis, S. ve Nefti-Meziani, S., (2017). "The design and mathematical modelling of novel extensor bending pneumatic artificial muscles (EBPAMs) for soft exoskeletons", *Robotics and Autonomous Systems*, 99:63-74.

- [12] Devi, M., Udupa, G. ve Sreedharan, P., (2017). "A novel underactuated multi-fingered soft robotic hand for prosthetic application", Sciencedirect, 35:165 - 185.
- [13] Holler, F., Douglas, A. ve Crouch, R., (2007). "Principles of Instrumental Analysis" Cengage Learning. , 4:313 – 318
- [14] Wikipedi Free Encyclopedia , Piezoelectricty, <https://en.wikipedia.org/wiki/Piezoelectricity> ,04 Temmuz 2018.
- [15] Piezo Systems, A Division of Mide Technology, <http://www.piezo.com/tech2intropiezotrans21.jpg> , 8 August 2015.
- [16] Michael, C., Huang, Y., Kan, B., Zhou, Ye. ve Pesla, B., (2006). "Demonstration of Piezoelectric Actuated GaAs- Based MEMS Tunable VCSEL", IEEE Photonics Tech. Lett. , 18 :10
- [17] Hsueh, C., Lee, S. ve Chuang, T., (2003). "An Alternative Method of Solving Multilayer Bending Problems", J. Appl. Mech. 70 :151 – 154.
- [18] Analiz Simulasyon, Farklı Eleman Tiplerinin Yapısal Analiz Sonuçlarına Etkileri, <http://analizsimulasyon.com/2015/02/03/farkli-eleman-tiplerinin-yapisal-analiz-sonuclarina-etkileri/> , 3 Şubat 2015.
- [19] Belendez, T. ve Belendez, D., (2003). " Numerical and experitmental analysis of a cantilever beam a laboratory project to intruduce geometric", Elche , 4:4 – 14
- [20] Ars Els-Cdn,İmages <http://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1631072114001648-gr001.gif> , 8 Agust 2015.
- [21] Eren, İ., (2009). " İki malzemeli konsol kirişlerdeki büyük yer değiştirmelerin incelenmesi", Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2: 109 – 114
- [22] J., Woo, K., Min, G., Hi, B., Seung ve J., Seok, (2012). "High Output Piezo/Triboelectric Hybrid Generator", Nature, 6:6231 – 6235
- [23] Wikipedi Free Encyclopedia, Leonardo Robotu, https://en.wikipedia.org/wiki/Leonardo%27s_robot , 1 March 2015.
- [24] Moment Expo, Anadolunun Dahi Mühendisi, <http://www.moment-expo.com/anadolunun-dahi-muhendisi> , 1 Kasım 2008.
- [25] Moment Expo, Geçmişten Günümüze Robot Tarihi, <http://www.moment-expo.com/m-oden-gunumuze-robot-tarihi> , 1 Nisan 2010.
- [26] National Aerospace Administration, Curiosity , https://www.nasa.gov/mission_pages/msl/index.html , 4 August 2017.
- [27] Robot Center, Robotic Solution Provider , Asimo , <https://www.robotcenter.co.uk/products/asimo> , 8 July 2018.
- [28] Yang, Z., Zhu, L., Li, B., Sun, S., Chen, Y., Y. ve Yan, Y., (2016). " Mechanical design and analysis of a crawling locomotion enabled by a laminated beam",Sciencedirect, 8: 88 – 95.

- [29] Harvard University ,Soft Robot Survives Fire and Ice , <https://www.seas.harvard.edu/news/2014/09/soft-robot-survives-fire-and-ice> , 11 September 2014.
- [30] Daniela, R., Michael, T., (2015). "Design And Fabrication of soft robots", Nature, 521:467 – 475
- [31] Nierzwicki ,W. ve Majewska, Z., (1979). "Swelling properties of urethane elastomers and their bearing on microphase separation", J. Appl. Polym. Sci., 24:1089 – 1099.
- [32] Li, B., Chen, H.L., Qiang, J.H., Hu, S.L., Zhu, Z.C. ve Wang, Y.Q., (2011). "Effect of mechanical pre-stretch on the stabilization of dielectric elastomer actuation", J.Phys. D Appl. Phys., 44: 773 – 780.
- [33] ST Mühendislik, Hiper-Elastik Malzeme Modelleri Uygulama ve Kullanımı, <http://blog.s-t.com.tr/2015/02/09/hiperelastik-malzeme-modelleri-uygulamalar-ve-kullanimi/>, 2 September 2015.
- [34] Wikipedia , Minitab, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Minitab>, 1 May 2014.
- [35] Packaging World, Machinery, <https://www.packworld.com/article/machinery/feedinginsertingcollatingplacing/pick-and-place/soft-robotics-robotic-grippers> , September 2016.
- [36] Tedford, J., (2009). "Developments in Robot Grippers for soft fruit packing in New Zea-Land",Robotica 1990, 8: 279-283.
- [37] Robotic Bussiness Review,Eugene, D., "Soft Robotic Raises for Flexible Finger",https://www.roboticsbusinessreview.com/manufacturing/soft_robotics_raises_5m_for_flexible_fingers/, December 17 , 2015.
- [38] Mosadegh, B., (2013). "Pneumatic Networks For Soft Robotic that Actuate Rapidly", Advance Functional Materials, 24:2163 – 2170.
- [39] Hao, Y., Wang, T., Ren, Z., Gong, Z., Wang, H., Yang, X., Guan, S ve Wen, L., (2017). "Modeling and Experiments of a Soft Robotic Gripper in Amphibious Enviroments", International Journal of Adv. Robotic Systems, 14:3 -11
- [40] Victoria, A.W., Santiago G.N., Anna, G., Akkus, O., Hillel J. C. ve Roger D. Q, (2016). "Simualiton Muscular thin film using thermal contraction capabilities in finite element analysis tool", Journal of the mech. Behavior of Biomedical Mat. 63:326 – 336.
- [41] Victorai A. Webster, Santiago G. Nieto, Anna Grosberg, Ozan Akkus, Hillel J. Chiel ve Roger D. Quinn, (2016). "Simulating muscular thin films using thermal contraction capabilities in finite element analysis tools", Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials , 63: 326 – 336.
- [42] Ilievski, F., Aaron, D., Speher, F., Chen, X. ve George, M., (2011). "Soft Robotics for Chemists", Angewandte Chemie International Edition, 8:1890 -1895.
- [43] Ramesh,K., Tock, R.W., Narayan, R.S. ve Vallabhan, C., (1995). "Property evaluation of silicone elastomers used in tension – adhesion joints" , J.Mater. Sci. Lett. 14:964 – 967.

- [44] Smooth-On INC ,Products ,Ecoflex 00 30 , <https://www.smooth-on.com/products/ecoflex-00-30/> , 1 May 2015.
- [45] Polygerinos, P., (2013). “Towards a soft pneumatic glove for hand rehabilitation”, Intelligent Robots and Systems IROS, 1512 – 1517.
- [46] İzgiz, S., (2001). “ Deney tasarımı ve taguchi metodu ürün ve proseslerin optimizasyonu”, Federal Mogul, 355.
- [47] Miller, I., Freund, J., ve Johnson, R., (1990).” Probability and Statistics for engineers”, Fourth Edition, Prentice – Hall International, Inc., 432.
- [48] Baray, A., ve Sarı, T., (2006), “ Kalite Geliştirme Deney Tasarımı Yöntemi ve Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama”,İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi, 2:37 – 62.
- [49] Box, E.P, William, G., ve Hunter, J., (1978). “ Statistics for Experimenters an Introduction to Design”, Data Analysis and Model Buildingi, John Wiley & Sons.
- [50] Fowlkes, W., Creveling, C., (1995). “ Engineering Methods For Robust Production Design Using Taguchi Methods in Technology and Product Development, Addison –Wesley Publishing Company.
- [51] Antony, J., (1998). “Teaching Experimental Design Techniques to Industrial Engineers”, Int. J. Eng. Ed., 5: 335 – 343.
- [52] Montgomery, C., (1999). “Experimental Design for Product and Process Design Development”, The Statistician, 2: 159 – 177.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Hasan LAFCI
Doğum Tarihi ve Yeri : 15.05.1991 Bandırma
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : hlafci@ford.com.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Makine Teorisi ve Kontrol	Yıldız Teknik Üniversitesi	2018
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2014
Lise	Fen Bilimleri	Karacabey Anadolu Lisesi	2009

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2015 – Halen	Ford Motor Company	Ür & Ge Kalite Müh.
2014 – 2015	Sutas	Satın Alma

2013 – 2013	Aselsan	Universite Stajyeri
2013 – 2013	Sutas	Universite Stajyeri
2012 – 2012	Matay	Universite Stajyeri
2011 – 2011	Dairy Queen	Work & Travel Programme

