



**SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE BİR DİNAMİK  
SIZDIRMAZLIK ELEMANININ SİMÜLASYONU VE  
DENEYSEL DOĞRULAMASI**

**smail SARAÇ**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE BERNOULLI NAMAK SIZDIRMAZLIK  
ELEMANININ SİMÜLASYONU VE DENEYSEL DOĞRULAMASI**

**smail SARAÇ**

Prof. Dr. Murat YAZICI

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA 6 2019

## TEZ ONAYI

İsmail SARAÇ tarafından hazırlanan “SONLU ELEMENLAR YÖNTEMİ İLE BİR DİNAMİK SIZDIRMAZLIK ELEMENİNİN SİMÜLASYONU VE DENEYSEL DOĞRULAMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Murat YAZICI

**Başkan** : Prof. Dr. Murat YAZICI  
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fak,  
Otomotiv Mühendisliği Bölümü

İmza

**Üye** : Doç.Dr. Adem ONAT  
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi,  
Adapazarı Meslek Yüksek Okulu,  
Makine ve Metal Tek. Bölümü

İmza

**Üye** : Dr.Öğr.Üyesi Erol SOLMAZ  
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fak,  
Otomotiv Mühendisliği Bölümü

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN  
Enstitü Müdürü

.././.....

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

16/07/2019

  
İsmail SARAÇ

## ÖZET

Yüksek Lisans

### SONLU ELEMANLAR YÖNTEM İLE B R D NAM K SIZDIRMAZLIK ELEMANININ S MÜLASYONU VE DENEYSEL DO RULAMASI

**smail SARAÇ**

Bursa Uluda Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı,

**Dan, man:** Prof. Dr. Murat YAZICI

Günümüzde hayatın her noktasında ya da kolaylaştıran makine elemanlarından birisi de dinamik sızdırmazlık elemanlarıdır. Dinamik sızdırmazlık elemanları, en yaygın olanlar arasında dudaklı keçeler olarak da bilinen döner (radyal) mil keçeleri başta olmak üzere çekmektedir. Döner mil keçeleri, genel olarak elastomerler veya düşük sürtünme katsayılı, polytetrafloroetilen (PTFE) gibi malzemelerden üretilmekte olup havacılık, otomotiv ve endüstriyel ekipmanlar gibi çok geniş bir ürün yelpazesinde döner millerde sızdırmazlık elemanı olarak kullanılmaktadır. Bu fonksiyon döner mil keçesinin dudaklı yüzeyi ile mil arasında çalınma esnasında sürekli temasın sağlanması ile gerçekleştirilmektedir. Keçenin performans ve davranış, açıldıkça keçenin mil üzerindeki temas basıncı, miktarı, kritik bir faktördür. Ancak, çalınma esnasında üzerine gelecek yüksek basınç altında temas basıncının tespit edilmesi oldukça güç olmaktadır. Tasarım aşamasında keçenin montaj esnasında ve çalınma esnasındaki deformasyonları, temas basıncı seviyesinin gerçekçi bir simülasyon ile tespit edilebilmesi büyük önem arz etmektedir.

Bu tez çalışmada yukarıda bahsedilen Döner mil keçelerinin çeşitli hallerini deneysel süreçler başlangıcından tasarım aşamasına kadar inceleyebilmek için Sonlu Elemanlar ve Analiz Simülasyonları kapsayan çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen döner mil keçelerinde kullanılan elastomer malzeme davranışları, dikkate alınarak en uygun hiperelastik malzeme modelinin Mooney-Rivlin olduğu görülmüştür. Bu çalışmada ifade edildiği gibi yapılan malzeme testleri sonucunda görülen davranışlar göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda mekanik testler ve malzeme karakterizasyon testleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Döner mil sızdırmazlık elemanı (Keçe) için çalışmalar göz önüne alınarak, deneysel analizler yapılmıştır. Bu sayede tasarlanacak olan keçenin, tasarım doğrultusunda gerçekleştirilerek, imalat ve performans testleri süreçlerine ihtiyaç kalmaksızın, en az deneme ve yanılma süreci gerektiren bir keçe geliştirmek için çalışmalar ortaya konmuştur. Çalışma sonucu SKT A. Ar-Ge laboratuvarlarında imal edilen ve deneyleri gerçekleştirilen keçenin simülasyonu deneysel sonuç ile %95 oranında uyumlu çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Döner mil keçesi, Sonlu Elemanlar Analizi, Kauçuk, Sürtünme, Tasarım, Prototip imalat, Tasarım Doğrulama, Hiperelastik malzeme karakterizasyonu, Mooney-Rivlin Malzeme Modeli, Sızdırmazlık Testleri **2019, ii + 69 sayfa.**

## ABSTRACT

MSc Thesis

### SIMULATION OF A DYNAMIC SEAL BY FINITE ELEMENT METHOD AND EXPERIMENTAL VALIDATION

**smail SARAÇ**

Bursa Uluda University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Automotive Engineering

**Supervisor:** Prof. Dr. Murat YAZICI

Nowadays, dynamic sealing elements are one of the machine elements that make life easier at every point of life. Rotary (radial) shaft seals, also known as lip seals, are the most common of dynamic sealing elements. Rotary shaft seals are generally made of materials such as elastomers or low-friction coefficient polytetrafluoroethylene (PTFE) and are used as sealing elements in a wide range of products such as aerospace, automotive and industrial equipment. This function is achieved by ensuring continuous contact between the surface of the rotating shaft seal called the lip and the shaft during operation. The amount of contact pressure on the shaft of the seal is a critical factor for the performance and wear behavior of the seal. However, it is very difficult to determine the contact pressure below the high oil pressure that will come upon it during operation. During the design phase, it is of great importance that the determination of deformation during assembly and operation by a realistic simulation with the contact pressure level.

In this thesis, finite element analysis simulations have been carried out in order to examine various aspects of the above mentioned rotary shaft seals before the experimental processes are started. Considering the elastomer material behavior used in rotary shaft seals that used in this study, Mooney-Rivlin was the most suitable hyperelastic material model. This inference was made by taking into account the behaviors seen as a result of material tests. Accordingly, mechanical tests and material characterization tests were performed. In addition, thermal analyzes were made by considering the working conditions of the rotary shaft seal. In this way, the design verification of the seal has been realized and a seal development study that requires minimum trial and- error process has been demonstrated without the need for manufacturing and performance testing processes. Study results showed simulation of seal which was produced and tested in SKT A. R & D laboratories, was 95% compatible with experimental result.

**Key words:** Rotary shaft seal, Finite Element Analysis, Rubber Friction, Design, Prototype Manufacturing, Design Verification, Hyperelastic material characterization, Mooney-Rivlin Material Model, Tightness Tests **2019, ii + 69 pages.**

## TE EKKÜR

Yüksek lisans e itimim boyunca deste ini esirgemeyen dan, man hocam Say,n Prof. Dr. Murat Yaz,c,øya, gerek e itim hayat,m gerekse i hayat,ndaki çal, malar,mdaki desteklerinden ötürü SKT A. . ad,na Genel Müdürümüz Say,n A. Kaan TÜRKEKEL ve Ar-Ge Direktörümüz Say,n E. Timuçin BIYIKCIøya, engin malzeme bilgisini benden esirgemeyen SKT A. . Malzeme Ar-Ge Müdürümüz Say,n Ebru YILMAZøa te ekkürü bir borç bilirim.

Maddi ve manevi desteklerinden dolayı, aileme çok te ekkür ederim.

smail SARAÇ



## Ç İNDEK İLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TE EK KÜR .....	iii
Ç İNDEK İLER .....	iv
S İMGELER ve KISALTMALAR D İZ İN .....	vi
EK İLLER TABLOSU .....	vii
Ç İZELGE TABLOSU .....	ix
1. G İR .....	1
1.1. Dudaklı, Döner Mil Keçeleri .....	2
1.1.1. Keçe Tipleri .....	4
1.1.2. Keçe Dizaynı, n, n Temelleri .....	8
1.1.3. Dinamik Keçelerde S, zd, rmazlı, k Mekanizması, .....	10
1.1.4. Dudak Kanatç, klar, (T, rt, l) .....	15
1.1.5. Keçenin Performans Limitleri .....	16
2. SONLU ELEMANLAR YÖNTEM .....	21
2.1. Elemanlar Sonlu Yönteminin Tarihçesi .....	21
2.2. Sonlu Elemanlar, n Uygulama Alanları, .....	22
2.3. Sonlu Elemanlar Yönteminde Kullanılan Eleman Çe itleri .....	25
2.4. Sonlu Elemanlar Yöntemi Nonlineer Malzeme Modelleri .....	27
2.4.1. Mooney-Rivlin Modeli .....	27
2.4.2. Neo ó Hooken Modeli .....	28
2.4.3. Ogden Modeli .....	28
2.4.4. Yeoh Modeli .....	29
2.5. Katsayılar, n Elde Edilmesi .....	29
2.5.1. Katsayılar, n Elde Edilmesi için Gerekli Deneyler .....	30
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	35
3.1. Yaylı Keçelerin Sonlu Eleman Analizi .....	35
3.1.1. Yaylı Keçe Bile enlerinin Geometrik Modellerinin Olu turulması, .....	35
3.1.1.1. Yaylı Keçenin Elastomer K, sm, n, n Geometrik Olarak Olu turulması, .....	37
3.1.1.2. Yaylı Keçe Bilezi ine Ait Geometrinin Olu turulması, .....	37
3.1.1.3. Yaylı Keçe için Mil Geometrisinin Olu turulması, .....	37
3.1.2. Yaylı Keçe için Malzeme Tan, mlanması, ve İlgili Kesitlere Atanması, .....	38
3.1.2.1. Elastomer Malzemenin Tan, mlanması, .....	38
3.1.2.2. Çelik Malzemenin Tan, mlanması, .....	39
3.1.2.3. Tan, mlanan Malzemelerin İlgili Kesitlere Atanması, .....	40
3.1.3. Montaj Tan, mlanması, .....	41
3.1.4. Step (Ad, m) Tan, mlanması, .....	42
3.1.5. S, n, r artları, n, n Tan, mlanması, .....	42
3.1.5.1. S, caklı, k Tan, mlanması, .....	42
3.1.5.2. Keçenin Yuvada Durma Pozisyonunun Tan, mlanması, .....	43
3.1.5.3. Milin Keçeye Montaj artı, n, n Tan, mlanması, .....	44
3.1.5.4. Mile Dönme artı, n, n Tan, mlanması, .....	44
3.1.6. Etkile imlerin Tan, mlanması, .....	45
3.1.6.1. Tie (Ba lama) Etkile iminin Tan, mlanması, .....	45



3.1.6.2 Sürtünme Etkileiminin Tanımlanması, .....	45
3.1.7 A Yapısal Oluşturulması, .....	47
3.1.8. in (Job) Oluşturulması, .....	47
3.1.9. Sonuçların Alınması, .....	48
3.2. Yayıncı Keçelerin Sonlu Eleman Analizi .....	49
3.2.1. Yayıncı Keçe Bileşenlerinin Geometrik Modellerinin Oluşturulması, .....	49
3.2.1.1. Keçenin Elastomer Kısımının Geometrik Olarak Oluşturulması, .....	50
3.2.1.2. Keçenin Bilezik Kısımının Geometrik Olarak Oluşturulması, .....	50
3.2.1.3. Mil Geometrisinin Oluşturulması, .....	51
3.2.2. Yayıncı Keçe için Malzeme Tanımlanması, ve İlgili Kesitlere Atanması, .....	52
3.2.2.1. Elastomer Malzemenin Tanımlanması, .....	52
3.2.2.2. Çelik Malzemenin Tanımlanması, .....	53
3.2.3. Tanımlanan Malzemelerin İlgili Kesitlere Atanması, .....	54
3.2.4. Montaj Tanımlanması, .....	54
3.2.5. Step (Adım) Tanımlanması, .....	55
3.2.5.1. Keçenin Yuvada Durma Pozisyonunun Tanımlanması, .....	56
3.2.5.2. Milin Keçeye Montajı Artırılması, .....	56
3.2.5.3. Tie (Bağlama) Etkileiminin Tanımlanması, .....	57
3.2.5.4. Sürtünme Etkileiminin Tanımlanması, .....	58
3.2.5.5. A Yapısal Oluşturulması, .....	59
3.2.6. in (Job) Oluşturulması, .....	59
3.2.7. Sonuçların Alınması, .....	60
4. SONUÇ .....	61
KAYNAKLAR .....	64
EKLER .....	65
EK 1 Tek eksen çekme deneyi raporu .....	65
EK 2 Tek eksen basma deneyi raporu .....	65
EK 3 Çift eksen çekme deneyi raporu .....	65
EK 4 Safi Kayma deneyi raporu .....	65
EK 5 Triboloji deneyi sonuç görseli .....	70
ÖZGEÇMİŞ .....	71

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
W	Gerinim enerjisi fonksiyonu
$I_i$	Eksenel doğrultuda birim ekleme
A, S	Alan
T	Zaman
	Poisson oran,
	Germe oran,
	Gerilme
Cij	Modül Tensörü Bileşenleri
C10, C01	Mooney-Rivlin Katsayılar,
C	Sönüm Katsayısı,
E	Elastisite Modülü

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
FKM	Floroelastomer
HNBR	Hidrojen nitril kauçuk
NBR	Nitril kauçuk
PTFE	Politetrafloroetilen
CAE	Bilgisayar destekli mühendislik

## EK LLER TABLOSU

ekil 1. 1. Keçe Terimleri .....	2
ekil 1. 2. Keçeye Etkiyen Parametreler.....	3
ekil 1. 3. Keçe Dizayn Parametrelerinin Geometrik Gösterimi .....	8
ekil 1. 4. Yayg,n Kullan,lan Keçe Tipleri.....	10
ekil 1. 5. Keçe Duda ,n,n Bas,nç Da ,l,m,.....	11
ekil 1. 6. Mil ve Keçe aras,nda Olu an Gerilme .....	12
ekil 1. 7. Hidrodinamik Etki.....	13
ekil 1. 8. Düzgün Olmayan (solda) ve Düzgün Olan (sa da) ki Farkl, Dudak Yüzey Görünümü.....	14
ekil 1. 9. Farkl, Yönlerdeki T,rt,l ekilleri .....	16
ekil 1. 10. Mil Çap,na Ba l, Dudakta Olu an S,cakl,k Da ,l,mlar,.....	17
ekil 1. 11. Mil Dönü H,z,na Ba l, Tavsiye Edilen Elastomer Grafi i.....	18
ekil 1. 12. Keçe Elastomerlerinin Performans S,n,rlar,.....	19
ekil 1. 13. Mil Çaplar, ve Dönü H,zlar,na Ba l, Olarak Salg, Limitleri.....	19
ekil 1. 14. Ya Viskozitesine Ba l, Olarak Tüketilen Enerji Miktarlar, .....	20
ekil 2. 1. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Diz Kapa , Analizif í í í í í í í í í .	22
ekil 2. 2. Bir Boyutlu Sonlu Eleman.....	26
ekil 2. 3. Üçgen Tipi Sonlu Eleman Örne i.....	26
ekil 2. 4. ki Boyutlu De i ik Dörtgen Geometri Biçimli Sonlu Elemanlar .....	26
ekil 2. 5. Tek Eksenli Çekme Deneyi Görseli .....	31
ekil 2. 6. Tek Eksen Basma Deneyi Görseli.....	32
ekil 2. 7. Çift Eksen Çekme Deneyi Görseli .....	33
ekil 2. 8. Safi Kayma Numune Boyutlar,.....	34
ekil 2. 9. Safi Kayma Deneyi Görseli .....	34
ekil 2. 10. Yo unluk çin A ,rl,k Ölçümü .....	35
ekil 3. 1. Elastomer K,sm,na Ait ki Boyutlu Profil Çizimií í í í í í í í í í ..	36
ekil 3. 2. Elastomer K,sm,na Ait Üç Boyutlu Model .....	36
ekil 3. 3. Bilezik K,sm,na Ait ki Boyutlu Profil Çizimi .....	37
ekil 3. 4. Bilezik K,sm,na Ait Üç Boyutlu Model.....	37
ekil 3. 5. Mile Ait ki Boyutlu Profil Çizimi.....	38

ekil 3. 6. Elastomer Malzemenin Tanımlanması, .....	39
ekil 3. 7. Çelik Malzeme Tanımlanması, .....	40
ekil 3. 8. Elastomer Kesitin Atanması, .....	40
ekil 3. 9. Çelik Kesitin Atanması, .....	41
ekil 3. 10. Montaj Görüntüsü .....	41
ekil 3. 11. Analiz Adımı Tanımlanması, .....	42
ekil 3. 12. Sıcaklık Tanımlanması, .....	43
ekil 3. 13. Sınırlar Tanımlanması, .....	43
ekil 3. 14. Milin Keçeye Montajı Tanımlanması, .....	44
ekil 3. 15. Milin Dönme Anı Tanımlanması, .....	44
ekil 3. 16. Temas ve Birleşme Anı Tanımlanması, .....	45
ekil 3. 17. Yağlı Sürtünme Deneyi Cihazı ve Yapısı, .....	46
ekil 3. 18. Yüzeyler Arasındaki Etkileşim Tanımlanması, .....	46
ekil 3. 19. Modelin A Yapısının Oluşturulması, .....	47
ekil 3. 20. Analizin Kurulmaya Bağlanması, .....	48
ekil 3. 21. Sıcaklık Sonucu .....	48
ekil 3. 22. Gerilme Sonuçları, .....	49
ekil 3. 23. Elastomer Kesit .....	50
ekil 3. 24. Bilezik Kesiti .....	51
ekil 3. 25. Bilezik Kesiti .....	52
ekil 3. 26. Elastomer Malzeme Tanımlanması, .....	53
ekil 3. 27. Çelik Malzeme Tanımlanması, .....	54
ekil 3. 28. Montaj Görüntüsü .....	55
ekil 3. 29. Adım Tanımlanması, .....	55
ekil 3. 30. Sınırlar Tanımlanması, .....	56
ekil 3. 31. Milin Keçeye Montajı Tanımlanması, .....	57
ekil 3. 32. Temas ve Birleşme Anı Tanımlanması, .....	57
ekil 3. 33. Yüzeyler Arasındaki Etkileşim Tanımlanması, .....	58
ekil 3. 34. Modelin A Yapısının Oluşturulması, .....	59
ekil 3. 35. Montaj Sonucu .....	60
ekil 4. 1. Döner Mil Keçesi Test Raporu	62
ekil 4. 2. Montaj Analiz Karşılaştırılması, .....	63

## Ç ZELGE TABLOSU

Çizelge 1. 1. Keçe Tipleri.....	4
Çizelge 2. 1. Sonlu Elemanlar Metodunun Uygulama Örnekleri (Aydo an 2013)í .í .	23
Çizelge 2. 2. Sonlu Elemanlar Metodunun Uygulama Örnekleri (Aydo an 2013)í ....	24

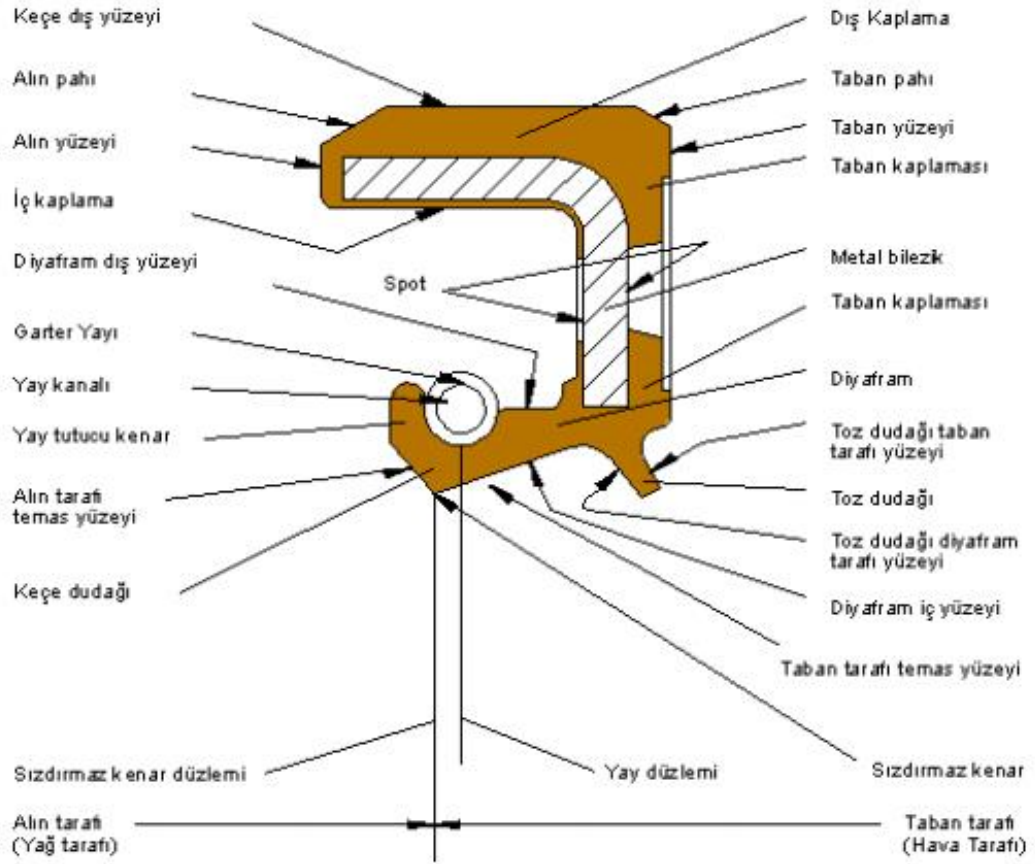


## 1. G R

Otomotiv, beyaz e ya ve makinalar gibi endüstriyel ekipmanlar dönen veya hareket eden birçok parça içermektedirler. Bu parçalar mekanik yükleri kayma veya dönme hareketleri ile birbirlerine aktarırlar. Söz konusu hareketlerin sağlıklı şekilde aktarılması, ve sürekliliğinin sağlanması, makine elemanları, disiplini altında sızdırmazlık ve aşınma gibi başlıklarda incelenmektedir.

Sızdırmazlık, sağlayan en önemli makine elemanlarından biri de döner mil keçeleridir (rotary shaft seal). Döner mil keçeleri otomobil, beyaz e ya, hava araçları, kompresörler, tribünler gibi bir geniş uygulama alanına sahiptir. Her bir uygulama kendine has geometri, aşınma, maliyet ve güvenilirlik gibi özelliklere sahiptir. Bu özellikler dikkate alındığında keçeler, kendi kullanım amaçlarına göre ve üreticisinin önerilerine göre çeşitlilik gösterecektir.

Keçelere ait fonksiyonel ve karakteristik bölümler ekil 1.1'de verilmektedir.



ekil 1. 1. Keçe Terimleri (Türkel 2016)

### 1.1. Dudaklı, Döner Mil Keçeleri

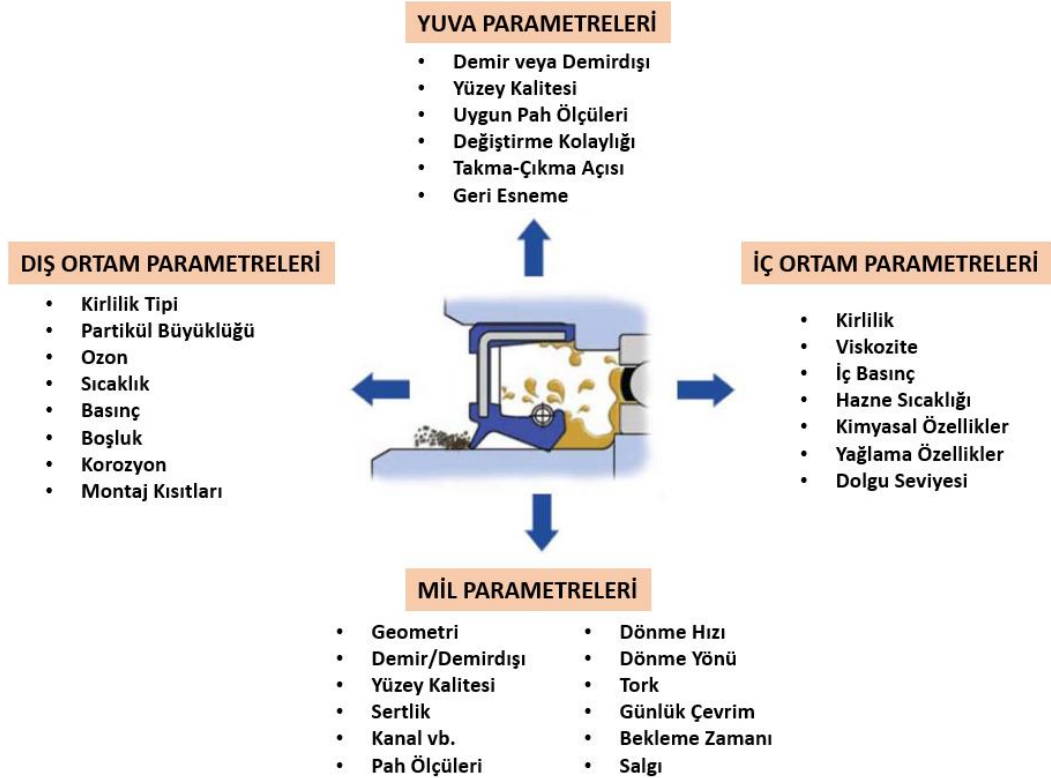
Dudak yapılı keçeler genellikle döner millerin olduğu yerlerde sızdırmazlık elemanı olarak kullanılmaktadır. 1930'lerde hayvan derilerinden üretilmeye başlanan keçeler zamanla yerini sentetik kauçuklara bırakmıştır. Günümüzde keçelerle ilgili yapılan çalışmalar o kadar ileri seviyelere gelmiştir ki artık bu keçelerin özellikleri ve davranışları matematiksel olarak hesaplanabilir ve öngörülebilir hale gelmiştir.

Bugün dünyada yaygın kullanılan alan bulunan dudaklı döner mil keçeleri 4 ana grupta incelenebilir:

1. Elastomerik Dudaklı Keçe: döner millerde akışkanların içeriye veya dışarıya çıkmasını önlemek amacıyla kullanılır

2. PTFE / Plastik Keçe: Elastomer keçelere alternatif olarak özellikle yağlı ortamlarda, yağsız ortamlarda ve yüksek basınçlı ortamlarda ve yüksek direnç ile kimyasal dayanım gereken yerlerde kullanılırlar.
3. Düşük Sürtünmeli Keçeler: Elastomerik veya PTFE keçelerin daha ileri ve özel uygulamalarında, kapsamaktadır.
4. Yatak/Rulman Keçeleri: Dudaklı keçelerden türetilmekle birlikte genellikle düşük yükler fakat ağır, kirli ortamlarda kullanılırlar.

Keçeler sağlamaz, sağlamayan yegâne parçalar olmayıp sağlamazlık sisteminin birer parçasıdır. Bu yüzden sağlamazlık, ele alınırken keçeleri tek başlarına dikkate almak yeterli gelmeyecektir. Keçelerin yan sıra takılacak yuva ve mil özellikleri de son derece önem arz etmektedir. Öyle ki, milin üretildiği malzeme dahi keçe dudağı üzerindeki yağ transferi ve dağılımı açısından önem arz edebilmektedir. Bu ve benzer detayların kenarları özetlendiği illüstrasyon ekil 1.2'de verilmiştir.



**ekil 1. 2.** Keçeye Etkiyen Parametreler (Türkel 2016)

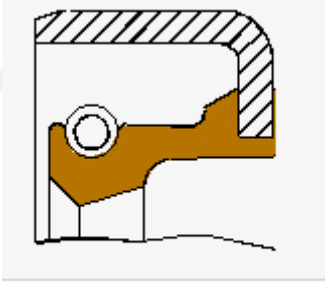
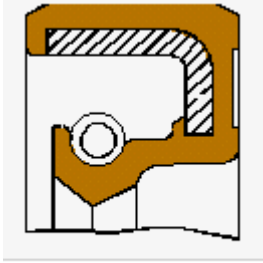


Dudaklı, standart keçeler belirli bir akışkan, kan veya sıvı ortamda 0,3 ó 0,5 bar gibi düşük basınç altında çalışabilecek şekilde tasarlanmaktadır. Artan basınç, dudaklarda şekil bozulmasına ve dolayısıyla temas yüzeyinin artarak temas bölgesindeki sıcaklık ve aşınmanın artmasına yol açar. Bu tür yüksek basınç uygulamalarında olduğu durumlarda özel basınç keçeleri kullanılmalıdır.

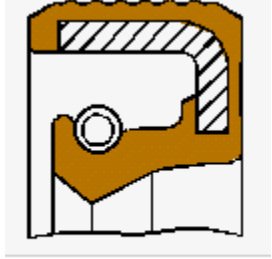
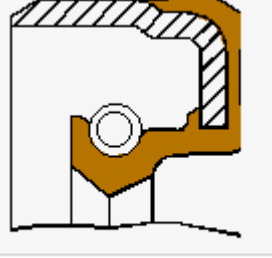
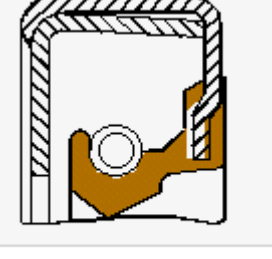
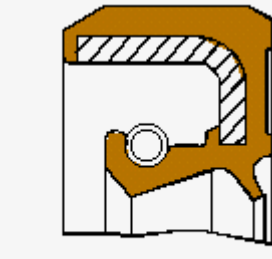
### 1.1.1. Keçe Tipleri

Kullanım yerleri, şartlar, ve ölçülerine göre keçeler birbirlerinden farklı fiziksel, kimyasal özelliklere ve şekillere sahiptir. Keçe seçiminde ve sıvanılmasında bu özellikler kullanılır. Keçeler ancak ölçülerine, keçe tiplerine ve malzeme çeşitlerine göre tanımlanır ve sıvanılır ( <http://www.skt.com.tr/kece-kodlama-ve-genel-tip-tanimi> ).

**Çizelge 1. 1.** Keçe Tipleri

 <p style="text-align: center;"><b>L1</b></p>	<p>L1 tipi keçelerin d, , metaldir. Yuvalarına sıkı geçişler. Özellikle pahalı malzemelerden üretilen keçeler bu tiptedir. Malzemelerinin ısıl genleşme katsayıları yüksek ve parçaları yuvalardaki kullanım alanları sınırlıdır (Örneğin alüminyum). Özellikle kabarmıyan, gözenekli yuvalarda bir dolgu maddesine gereksinim duyarlar ( <a href="http://www.skt.com.tr/kece-kodlama-ve-genel-tip-tanimi">http://www.skt.com.tr/kece-kodlama-ve-genel-tip-tanimi</a> ).</p>
 <p style="text-align: center;"><b>L3</b></p>	<p>L3 tipi keçelerin d, , kauçuk kaplıdır. Bu tip döner mil keçelerinin d, çapları düz bir kauçuk tabakası ile kaplanmıştır. Isıl genleşme katsayıları yüksek, parçaları yüzey pürüzlülüğü yüksek ve eksenden kaçık yuvalarda da kullanılabilirler ( <a href="http://www.skt.com.tr/kece-kodlama-ve-genel-tip-tanimi">http://www.skt.com.tr/kece-kodlama-ve-genel-tip-tanimi</a> ).</p>


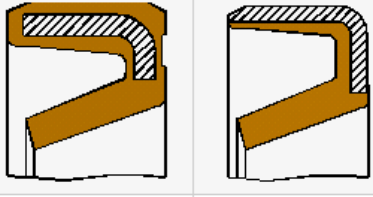
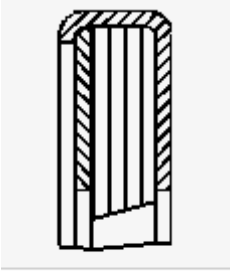
**Çizelge 1. 1 Keçe Tipleri (devam)**

 <p>L3T</p>	<p>L3T tipi keçelerin d, , kauçuk kaplıdır. Bu tip döner mil keçelerinin d, çaplar, keçenin montaj sırasında geri kaçmasını önlemek için t,rt,ll, bir kauçuk tabakası ile kaplanmıştır. Isıl genleşme katsayıları, yüksek parçaları, yüzey pürüzlülüğü yüksek ve eksenden kaçık yuvalarda da kullanılabilirler (<a href="http://www.skt.com.tr/kece-kodlama-ve-genel-tip-tanimi">http://www.skt.com.tr/kece-kodlama-ve-genel-tip-tanimi</a>).</p>
 <p>L13</p>	<p>L13 tipi keçeler L1 ve L3 tipi keçelerin kombinasyonundan meydana gelir. Sac kesim merkezlenmeyi ve sıkılaşma, sa larken, kauçuk bölüm sağlamaz, sa lar. Isıl genleşmelerden daha az etkilenirler (<a href="http://www.skt.com.tr/kece-kodlama-ve-genel-tip-tanimi">http://www.skt.com.tr/kece-kodlama-ve-genel-tip-tanimi</a>).</p>
 <p>SL</p>	<p>SL tipi keçeler L1 tipi keçelerin özelliklerini kapsamlarında, yan,nda, büyük çaplarda çakma kolaylaşır, sa larlar. Montaj hatalarına karşı, daha dayanıklıdır (<a href="http://www.skt.com.tr/kece-kodlama-ve-genel-tip-tanimi">http://www.skt.com.tr/kece-kodlama-ve-genel-tip-tanimi</a>).</p>
 <p>L3LL (ÇİFT TOZ DUDAKLI)</p>	<p>Çift toz dudaklı döner mil keçeleri kirlenme olasılığı, fazla olan ortamlarda kullanılmaktadır (<a href="http://www.skt.com.tr/kece-kodlama-ve-genel-tip-tanimi">http://www.skt.com.tr/kece-kodlama-ve-genel-tip-tanimi</a>).</p>

**Çizelge 1.1. Keçe Tipleri (devam)**

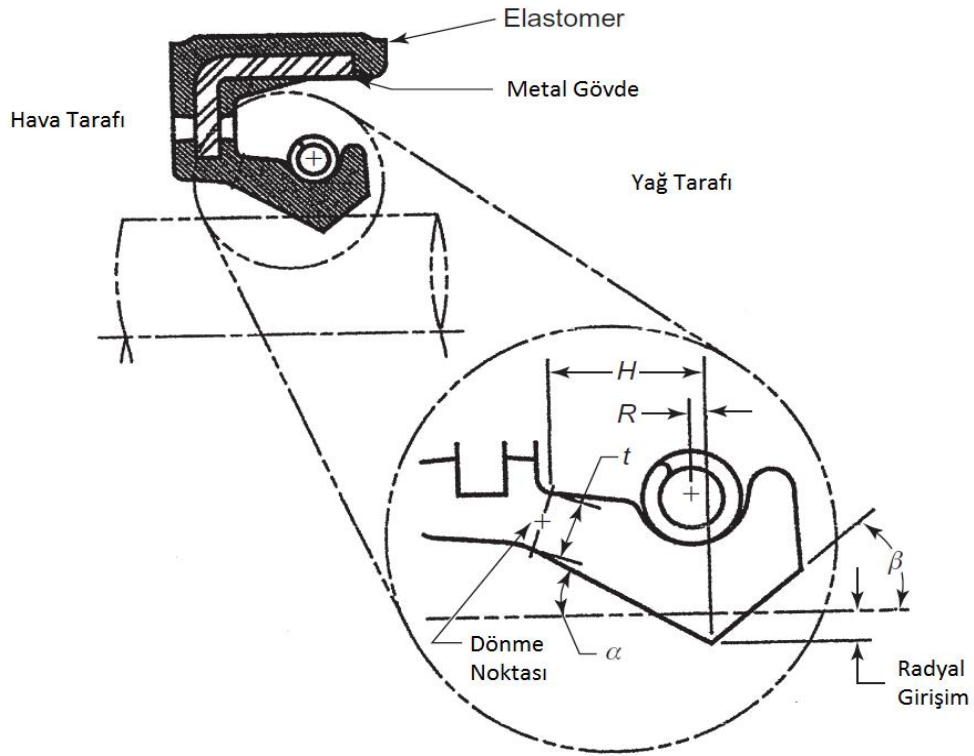
 <p><b>L3L (TOZ DUDAKLI)</b></p>	<p>Toz dudaklı, döner mil keçeleri tozlu ve kirli ortamlarda görev yapmak için tasarlanmıştır. Kir ve tozların ya da diğer maddelerin keçeye ulaşarak sızdırmaya neden olmasını önlemek için bu keçelere toz dudakları eklenmiştir. Krank millerinde ve dişli kutularında tekli toz dudakları kullanılırken, toz ve çamurla doğrudan temas olan keçelerde özel tip toz dudakları kullanılmaktadır. Yüksek devirde çalışan döner mil keçelerinin bazıları, toz dudakları, mil çapından daha büyüktür ve bu standart kullanımda keçeye yeterli koruma sağlar. Yüksek devir nedeni ile toz dudaklarının aşınması önlenmiş olur. Genel makine donanımlarında ve tarım makinelerinde ise mil geçiş toz dudakları tipleri kullanılmaktadır.</p> <p>(<a href="http://www.skt.com.tr/kece-kodlama-ve-genel-tip-tanimi">http://www.skt.com.tr/kece-kodlama-ve-genel-tip-tanimi</a>).</p>
 <p><b>R (EKSENEL TOZ DUDAKLI)</b></p>	<p>Ayrıca, kirli ortamlarda güvenli işletmek için R tipi aksiyonel toz dudaklı keçeler geliştirilmiştir. Burada aksiyonel istikametinde toz dudakları, bir kanalın içine girer. Bu kanal genellikle dönen bir fırıncı, diskin üzerindedir. Toz ve kirler önce bu diskin vasıtasıyla geriye fırlatılır. Buna rağmen içeri kaçan kirler, bu aksiyonel dudak tarafından tutulurlar. Zamanla bu dudakların ucundan aşınmaya başlayan maddeler tekrar dönen diske çarparak geriye fırlatılırlar. Bütün bu engellere rağmen keçeye ulaşabilecek yabancı maddeler ise tek veya çift toz dudakları tarafından tutulurlar ( <a href="http://www.skt.com.tr/kece-kodlama-ve-genel-tip-tanimi">http://www.skt.com.tr/kece-kodlama-ve-genel-tip-tanimi</a> ).</p>

**Çizelge 1. 1. Keçe Tipleri (devam)**

 <p style="text-align: center;"><b>L3B</b></p>	<p>Standart ya keçeleri genellikle 0,5 bar basınca kadar görev yaparlar. Yüksek basınçlarda görev yapabilmeleri için özel önlemler alınması gerekir. Bunlardan biri standart keçelere destek halkası uygulayarak, basınca dayanıklılıklarını yükseltmesidir. Ayrıca yüksek basınca dayanabilen özel profilli basınç keçeleri kullanılmaktadır. Fakat bu kecenin çalıtı ortamı, kecenin profili, malzemesi, mil çapı ve devir sayısı ile sınırlıdır ( <a href="http://www.skt.com.tr/kece-kodlama-ve-genel-tip-tanimi">http://www.skt.com.tr/kece-kodlama-ve-genel-tip-tanimi</a> ).</p>
 <p style="text-align: center;"><b>L2</b>      <b>L5</b></p>	<p>L2 ve L5 keçeler genellikle gres ya karışımını kullanılarak yağsız keçelerdir. Diğer bir kullanım alanı ise yağ buharına karşı koruma ve mil kazıyıcıdır ( <a href="http://www.skt.com.tr/kece-kodlama-ve-genel-tip-tanimi">http://www.skt.com.tr/kece-kodlama-ve-genel-tip-tanimi</a> ).</p>
 <p style="text-align: center;"><b>D1</b></p>	<p>Bu tip deri keçelerin tasarımı oldukça eskidir. Zamanla devre dışı kalmaktadırlar. Yalnızca diğer etkenlere karşı kauçuk tabanlı keçelere göre daha az hassas olmaları ve montaj kolaylıkları nedeniyle hala kullanılmaktadırlar ( <a href="http://www.skt.com.tr/kece-kodlama-ve-genel-tip-tanimi">http://www.skt.com.tr/kece-kodlama-ve-genel-tip-tanimi</a> ).</p>

### 1.1.2. Keçe Dizayn,n,n Temelleri

Geleneksel bir döner mil keçesine ait kesit görünümü ekil 1.1'de görülmektedir. ekil 1.1'de gösterilen keçe ayrıntılar, uygulama alanlarına göre farklı, gösterse de dizayn konsepti hemen hemen aynıdır. Keçe dudaklar, mil üzerinde keskin köşelere kontaksız olarak tasarlanmaktadır. Bu dudak geometrisini oluşturan açılardan yağ tarafındaki (lubricant side) iç ortam açısı, hava tarafındaki (air side) dış ortam açısından daha büyüktür. Serbest haldeki tipik bir keçede yağ tarafındaki açı, 40-45° civarında iken dış ortama bakan açı, 25-30° mertebelerindedir. Fakat keçeler mil üzerine takılı, takılmaz bu açılar yaklaşık olarak 10° civarlarında değişmektedirler. Ayrıca farklı açılardan dolayı keçe üzerindeki garter yayının ve yayın pozisyonu da temas yüzeyinde asimetrik stres dağılımına sebep olmaktadır. Keçe dizayn parametrelerine ait geometrik gösterim ekil 1.3'de verilmiştir.



ekil 1. 3. Keçe Dizayn Parametrelerinin Geometrik Gösterimi (Flitney 2014)

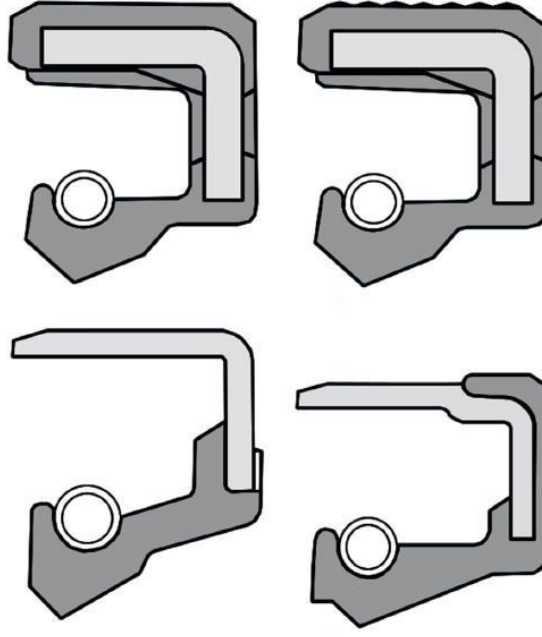
Burada  $R$ , garter yay, merkezinin  $H$  ile ifade edilen dudak uzunluğunun yaklaşık %10'u kadar olan kaçıklık, ifade eder. Bu kaçıklık, keçenin hava tarafında olacak şekilde

tasarlanmaktadır. Yay pozisyonu yani R kaç,kl, ,, olu an yükün duda a do rudan gelmesini ve asimetrik stres da ,l,m,n, sa lamada önemli bir role sahiptir. Ayr,ca bu kaç,kl,k, dudakta olu mas, muhtemel a ,r, deformasyonun da önüne geçmeyi sa lar. E er R kaç,kl, ,, keçenin hava taraf,na de il de ya taraf,na do ru olacak ekilde pozisyonlan,rsa, elastomer dudakta yatma ve dolay,s,yla s,z,nt, problemine yol açacaktır.

Keçedeki tüm geometrik ayr,nt,lar keçenin uygulanaca , bölgeye göre göre de i iklik gösterecektir. Keçenin esnekli i ise **H**, **t** ve **dönme noktas**, sayesinde olu turulur. Standart bir keçede **t** ile gösterilen et kal,nl, , **H** ile gösterilen dudak uzunlu unun %50'sinden daha azdır. Örne in, salg,s, nispeten fazla olan bir döner mil uygulamas,nda keçede daha fazla esneklik sa lamak için dudak uzunlu u artt,r,labilir. Bunun aksine, örne in yüksek bas,nçl, ortamda çal,acak bir keçe için ise dudak et kal,nl, , **t** artt,r,labilir ya da dudak uzunlu u **H** azalt,labilir. Fakat elbette ki bu de i im keçenin mil kaynakl, salg, yetene ini dü ürecektir.

Keçeler genellikle L kesitli metal bileziklerin kal,planmas,yla üretilmektedirler. Bu kal,plar sayesinde hem hassas ve özel dudak formlar, hem de yuvaya montajlanacak d, çap ölçüleri olu turulmaktadır. L biçimli metal bilezi in d, yüzeyi k,smen veya tamamen kauçuk kaplanarak tak,laca , yuva aras,nda giri im sa lanmaktadır. Bu ekilde d, , kauçuk kapl, keçeler genellikle yuva toleranslar,n,n iyi bir ekilde kontrol edilemedi i, standart d, , durumlarda tercih edilirler.

D, yüzeyinde kauçuk bulunmayan metal bilezikli keçeler ise daha az elastomer kullan,ld, , için ekonomik olmas,na ra men uygulama bölgelerindeki yuvalarda daha hassas ölçü ve imalat kalitesi gerektirmektedir. Ayr,ca bu tip keçeler a ,r, s,caklar,n oldu u uygulamalarda çok dikkatli kullan,lmal,, hatta plastik ve çelik d, , metallerden imal edilen yatak veya yuvalarda kullan,lmamal,d,rlar. Yayg,n kullan,lan keçe tiplerine ait örnekler ekil 1.4'te görülmektedir.



ekil 1. 4. Yaygın Kullanılan Keçe Tipleri (Flitney 2014)

### 1.1.3. Dinamik Keçelerde Sızdırmazlık Mekanizması,

Elastomer dudaklı keçelerin dinamik sızdırmazlık mekanizması, 50 yıldır ara tırma konusu olmuştur. Döner mil ile keçe dudakları arasındaki sürekli yağ filmi ya da tabakasının varlığı, ilk olarak 1957 yılında tespit edilmiştir. Tespit edilen bu çalışmanın doğrulanması, amacıyla günümüze kadar tecrübi ve nümerik analizler gibi birçok modern geliştirme çalışmaları, gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmalar neticesinde keçelerin sızdırmazlık mekanizmalarıyla ilgili en çok kabul gören iki mekanizma geliştirilmiştir. Her iki mekanizma da önce doğru pompalama olarak bilinen, keçe ile mil arasındaki temas yüzeyinde bulunan çok küçük yağ kütlesinin tekrar geriye doğru sürekli pompalanması, sağlayan mekanizmalardır. Bunlar hem yağ filmi için yük desteğini sağlayan hem de içe doğru pompalamayı, sağlayan mikro mekanizma ve pompalama mekanizması, sağlayan makro mekanizma olarak tanımlanmaktadır.

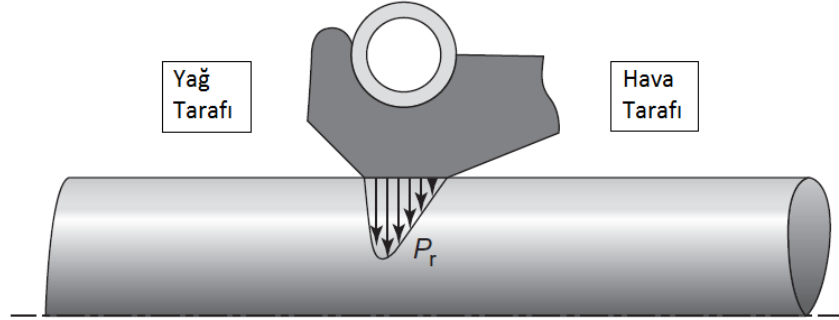
Mikro mekanizma konusunda son 30 yıldır yapılan kayda değer ara tırma ve analizlerin çoğu özetlenmiştir (Salant 1992). Buna göre, pompalama mekanizmasının temeli 2 önemli keçe özelliğine dayanır:

1. Keçe asimetrik geometrisi
2. Keçenin montaj sonrası, temas yüzeyindeki dudak yüzeyi dokusu / yapısı,

Keçenin performans, önemli ölçüde bu iki kritere bağlıdır.

Bir keçenin dudak, üretim esnasında ya keskin köşeli olacak şekilde tasarlanırsa ya da kalıptan keskin köşeli olarak çakılır. Bu keskin köşeli döner mil ile temas eden keçe bölümünü oluşturur. Döner milin ilk birkaç saat çalışmasıyla birlikte sızdırmaz dudak, keskin köşeli olarak, mil üzerine temas eden 0,2 - 0,3 mm genişliğinde sızdırmazlık yüzeyi ya da temas yüzeyi oluşturur. Bu genişlik yüzlerce veya binlerce saat çalışması sonunda 0,5 mm'leri aşabilmektedir.

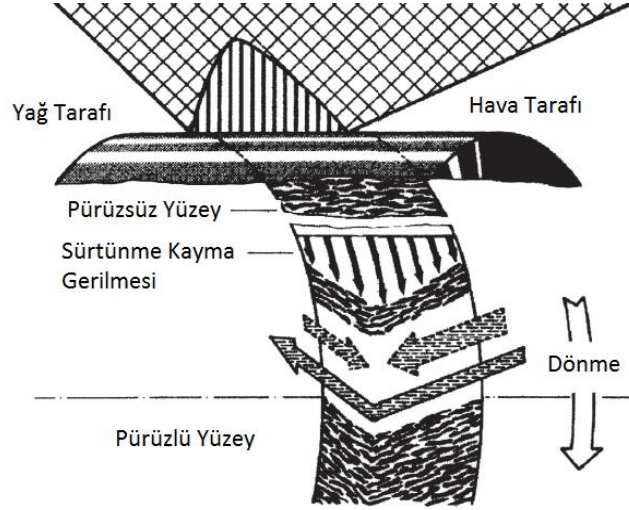
Keçe dudak geometrisi keçeye ait temas gerilim profilini belirler. Bu profilde dudak bölgesinde gerilme bölgesel yükselirken, dudak kenarlarına doğru azalır ve sıfıra ulaşır. Bu durum Şekil 1.5'te gösterilmiştir. Dudak, geometrisine ve Garter yayının pozisyonuna bağlı olarak dudak ve mil arasındaki temas yüzeyinde oluşan filmin genişliği ya da tarafına göre hava tarafında daha geniştir.



**Şekil 1. 5.** Keçe Dudaklarının Basınç Dağılımı, (Flitney 2014)

Mil döndürüldüğünde, kauçunun sürtünmeye karşı direncinden dolayı, maksimum etki dudak tepe noktasında olmak üzere, keçe dudakları eğilecektir. Bu durumda keçe dudakları, belirli pürüzlere veya mikro bozukluklara maruz kalacaktır.

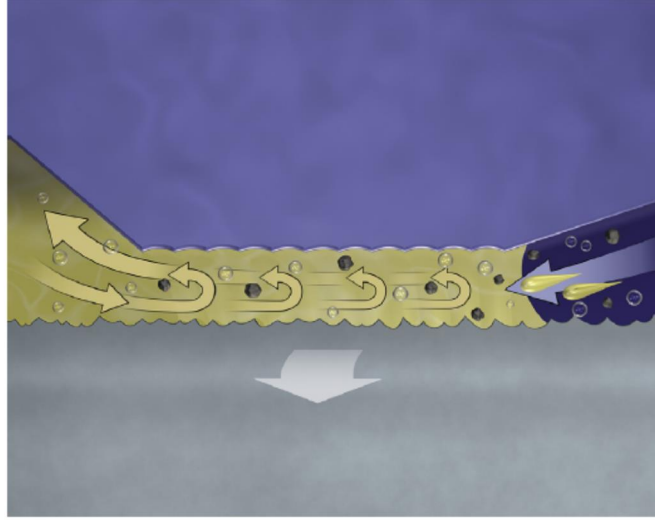




**ekil 1. 6.** Mil ve Keçe aras,nda Olu an Gerilme (Flitney 2014)

Dönmenin etkisiyle bu pürüzler ya da bozukluklar deformasyona uğrayarak bir açıyla mil eksenine doğru yönelirler. Bu durum ekil 1.6'da gösterilmiştir.

Bu açıyla, pürüzler mikro hidrodinamik etkileri meydana getirerek hem kauçuk dudakları yukarı, kalkmasına hem de aynı zamanda yağın dudaklara doğru pompalanmasını sağlar. Bu hareket, dudakların ucundaki yağ filmi sayesinde dudakların her iki tarafında da meydana gelir. Ancak hava tarafındaki pürüzlülük alan, yağ tarafına göre daha geniştir. Bu nedenle içe doğru pompalama etkisi daha güçlü olmaktadır. Bu yüzden keçe, yağlayıcı film tabakasını yağ tarafına doğru geri itme eğiliminde olacaktır. Hidrodinamik etkileşim ekil 1.7'de görülmektedir.



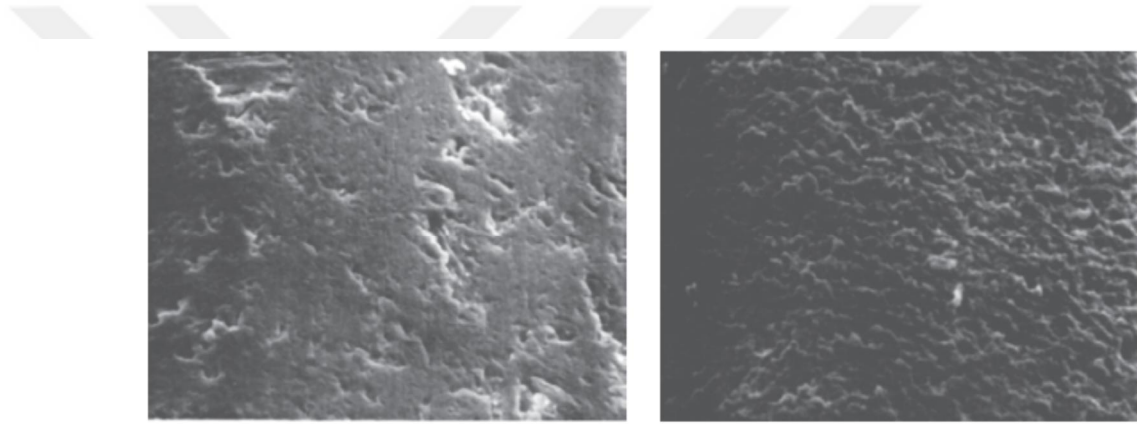
**ekil 1. 7.** Hidrodinamik Etki (<https://www.machinedesign.com/mechanical/3-factors-affecting-your-seals-life-span>)

Yeni bir keçe kullan, m, na ba land, , nda pürüzlük veya yüzey bozukluklar, rastgele bir da , l, ma sahip oldu undan keçe her yönde benzer s, zd, rmazl, k karakteristi ine sahip olacakt, r. Fakat belirli bir zaman geçtikten sonra mil durduruldu unda kauçu un gerilim gev eme özelli i geri dönme yetene ini azaltacakt, r. Bu yüzden bozukluklar yönlenme e iliminde olacakt, rlar. Bunun sonucu olarak, ters yönlü dönü lere göre normal yönlü dönü lerde keçe daha ekin hale gelecektir.

Pompalama hareketi mikro ölçekli yüzey pürüzlülü ü ya da bozuklu u ile sa lanmaktad, r. Bu yüzden mil yüzeyinin kusursuzlu u son derece kritik bir parametredir. Yüzey kalitesi hem duda , n mile iyi bir ekilde oturmas, hem de uygun ya filminin olu mas, na katk, s, sa lamas, için oldukça önemlidir. Makinelerin i leme kabiliyeti de keçelerdeki pompalama mekanizmas, n, etkileyen bir di er faktördür. Geleneksel silindirik ta lama ve di er yüzey bitirme i lemlerinin ortaya ç, kard, , ey asl, nda ÷ mikro ölçekli yivö aç, lm, bir mildir ve bu mil keçe duda , n, n alt, nda adeta mikro di leri olan bir pompa gibi çal, , r. Fakat bu davran, milin dönme yönüne göre de i ir ve bunun sonucunda keçe ya s, zd, rmazl, k sa lar ya da kaçā a sebep olur. Normal bir elastomer dudakl, keçede bu durumu yani mikro yivler kaynakl, k, lavuzlamay, ortadan kald, rmak için dudaklar, n mil üzerine batacak ekilde dizayn edilmesi gerekir. Böylece milin ya transferine olumlu veya olumsuz bir katk, s, n, n önüne geçilmi olur. Fakat özellikle mil dönme yönlerinin kontrollü olarak sa land, , araç motorlar, gibi

yapılarda kullanılan millerin yüzey yapılarındaki mikro yivler ile faydalı bir etki oluşturmak da mümkündür. Tersine, eğer mil üzerindeki mikro yivler ya da diğeri bir ifadeyle mikro yiv açılar, yeterince küçük ise ki bu değer yaklaşık  $0 \pm 0,05$  derecedir, milin mikro yivlere bağlı pompalama oranı, keçenininkinden daha düşük olacaktır, çünkü sızdırmazlık yine bağlı bir şekilde sağlanmayacaktır.

Mikro pompalama mekanizması, keçenin yapışmasını sağlayan temel mekanizma olarak kabul edilmektedir. Ayrıca bu mekanizma, keçenin dudak yapısının mil üzerine konumlandırılmasına niteliğiyle de doğrudan ilgilidir. Bu yüzden kauçuk dudakların düzgün bir yapıya sahip olması kritiktir. Şekil 1.8'de düzgün olmayan ve düzgün olan iki farklı dudak görüntüsü verilmiştir.



**Şekil 1. 8.** Düzgün Olmayan (solda) ve Düzgün Olan (sağda) iki Farklı Dudak Yüzey Görünümü (Horve 1996)

Keçelerin mil üzerine doğru bir şekilde montajlanması için mil yüzey yapısının oldukça önemlidir. Normal bir keçe için milin sahip olması gereken yüzey pürüzlülüğü  $Ra 0,25 \pm 0,80 \mu m$  dir. Eğer yüzey aşırı pürüzsüz veya parlatılmış bir yüzey ise keçenin mil yüzeyine oturması, özellikle viskoz yağların varlığı durumunda düzgün olmayacaktır. Çeri doğru pompalama prensibinin ikinci mekanizması, yukarıda anlatılan mikro yiv pompalama mekanizmasından tamamıyla ayrılarak doğrudan keçenin geometrisine ve montajına bağlıdır. Milin dönüşü esnasında meydana gelen ve dairesellikten sapmalara sebep olan dinamik salgımlar, keçeyi ve sızdırmazlık sistemini rahatsız ederek, bozucu etkilere sebep olmaktadır. Bu bozucu etkiler, keçe dudaklarında radyal yöndeki ufak deplasmanlar olarak ortaya çıkmaktadır. Bu ufak deplasmanlar ise dudakların eksenî yönünde ufak hareketlere dönüşür. Böylece dudak geometrisi bir pompa gibi davranarak,

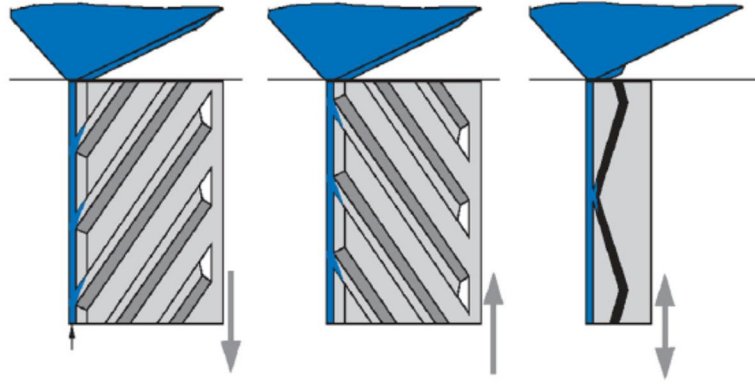
dudak altındaki d, a do ru geçmeye çal, an ak, kan,, genellikle ya , tekrar ya taraf,na do ru gönderilmesini sa lar. Bu etkiye katkı sa layan ilave bir de i ken de keçenin yerine montaj yetene idir. Keçe yuvası, imalat ve di er kanyaklı, birçok de i kenin kombinasyonu sebebiyle keçenin mile dik olmas, gereken dudaklar, hafifçe ideal kontak alan,ında, ,na kalabilmektedir. Böylece, milin dönmesiyle birlikte dudaklar mil üzerinde ideal çizginin d, ,nda dalgal, bir alan süpürür. Dalgal, hareket ise dudaklar, n eksenel yönde ötelenmesine sebep olaca ,ndan, dudaklar mili siliyormu etkisi yapmaktadır. te bu etki, makro pompalama mekanizması,na destek olu turur. Ayr,ca bu dalgal, süpürme ise belirli s,n,rlar içinde kalmak ko ulu ile temas yüzey alan, n, geni letece inden, dönme boyunca dudak bölgesindeki ,s, da ,l,m,n, n daha iyi yap, lmas,na ve s, caklı, ,n dü ürülmesine de katkı, da bulunur. Unutulmamalı, ki tüm bu ideal d, , olu umlar (kaç, kl, k, dalgalanma, imalat kaliteleri vb.) çok küçük ölçeklerde olmas,na ra men keçenin fonksiyonelli ini etkilemede oldukça önemlidir.

#### **1.1.4. Dudak Kanatç,kları, (T,rt,l)**

Günümüzde keçelerin büyük bir ço unlu u bir önceki bölümde aç, kland, , gibi dudak geometrisi ve pompalama prensibiyle çal, ,rken baz, keçelerde ise durum farklı, d, r. Bu keçeler dudak yap, lar, n, n hava taraf,na bakan yüzeylerinde çevresi boyunca olu turulmuş özel geometriler ihtiva ederler. Bu geometriler küçük ç, k, nt, veya kabart, eklindedirler ve bunlara pompalama kanatç, , hidrodinamik destekler veya s, zd, rmazlı, k destekleri gibi isimlerle rastlayabiliriz (Horve 1996).

Normal bir keçede yukarı, da say, lanlar gibi her ey yerinde olmas,na ra men bu tarz ilave yap, lara ihtiyaç duyulmas, n, n nedeni: Bu yap, lar özellikle, keçenin çal, ma esnas,nda olu abilecek kritik fazlardaki potansiyel s, z, nt, tehdidinin üstesinden gelmesi amacıyla daha etkin bir pompalama sa larlar. Ayr,ca keçenin performans parametrelerinin uzat, lmas, amacıyla dudaklar, n a , nma durumunda, yüksek h, zlarda veya milin salg, l, hareketlerinde keçenin s, zd, rmazlı, a devam etmesini sa lar.

Günümüz keçelerindeki kanatç,kları, n büyük ço unlu u keçelerin hava taraf,nda ve vulkanizasyon kal, b, nda olu turulan çizgi eklindeki ufak yükseltilerdir. T,rt,l örnekleri ekil 1.9'da görülmektedir.



**ekil 1. 9.** Farklı Yönlerdeki T,rt,l ekilleri (Flitney 2014)

Millerin dönü yönleri belli oldu u için keçeler üzerinde bulunan kanatç,k tiplerinin büyük ço unlu u ayn, yönde olacak ekilde tasarlanmaktadır. Bunun yan, s,ra, her iki yönde dönü hareketinin oldu u araç transmisyonu gibi uygulamalarda, milin dönü yönü kanatç,klara ters yönde olsa dahi kanatç,klar hava taraf,nda kald, , için ya taraf,ndaki ak, kan,n s,z,nt, yapmas,na sebep olmazlar. Transmisyon gibi iki yönlü dönü lerin söz konusu oldu u durumlar için ayr,ca, ekil 1.9'da gösterildi i gibi iki yönlü (bidirectional) kanatç,k uygulamalar, da mevcuttur.

Avantajlar,n,n yan, s,ra bahsedilen yard,mc, kanatç,klar,n kullan,m,yla ilgili baz, kayg,lar da mevcuttur. Bunlardan en önemlisi, bula ,k ya da kirlenmi ak, kan, s,z,d,rmazl, ,n sa land, , dudak bölgesine sürükleyerek sistemi ve hatta keçeyi bozucu etkiye zorlamas,d,r.

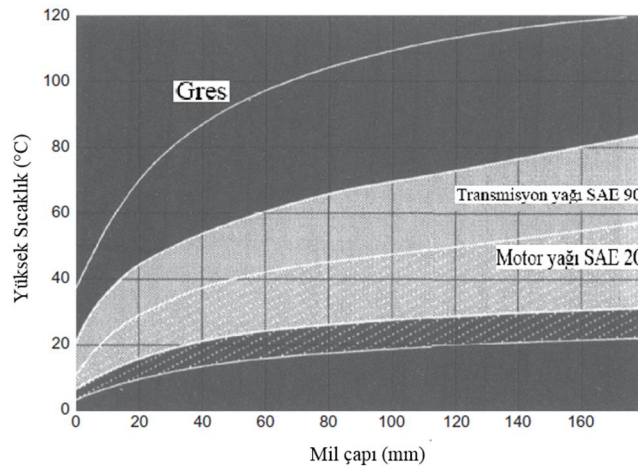
### 1.1.5. Keçenin Performans Limitleri

Bir keçenin mümkün olan performans parametreleri sadece keçe tasar,m kombinasyonlar,, esneklik, radyal yük gibi etkenlere ba l, de il ayn, zamanda keçe malzemeleri, milve yuva gibi faktörlere de ba l,d,r. Bu yüzden elde edilecek her bir parametre yol gösterici bir unsur ta ,maktadır.

Bu faktörlerden en bask,n, dudak ucundaki ,s, olu umudur. Keçeler aft üzerinde sürekli ekilde çal, t, ,ndan sürtünmeye ba l, aç, a ç,kan ,s,n,n transferi, keçenin performans,ndaki anahtar s,n,rlardan biridir. Bu problemin boyutu tipik bir keçenin 50-60 mm'dik bir mil üzerinde çal, mas, sonucu yakla ,k 100 W-ı,k bir gücün tüketilmesi ile

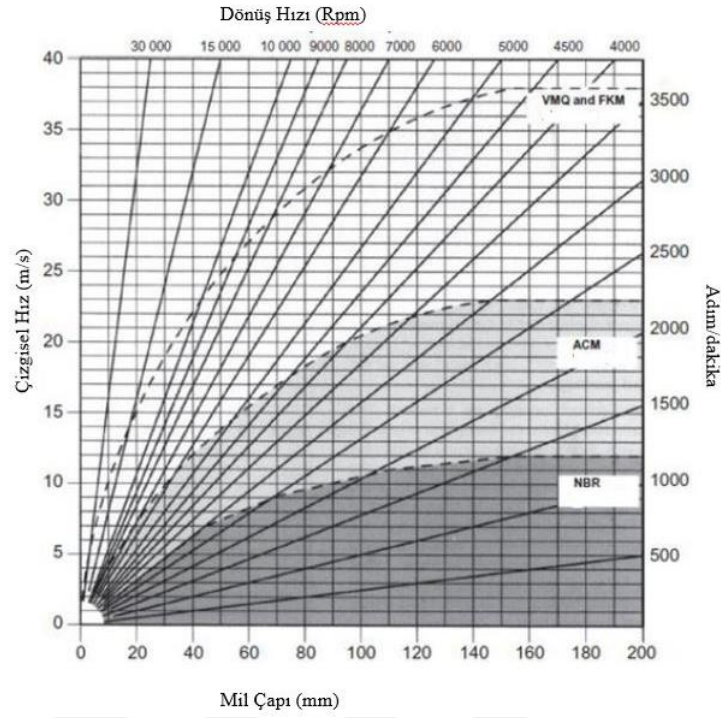
açıklanabilir. Bu güç, keçe-mil teması sebebiyle tüketilir. Bölgesel sıcaklık etkisi ise elektrikli bir sistemden fazladır. Bunun anlamı ise dudak altındaki yağlayıcı film tabakasının gövdede bulunan diğer yağlara göre daha çok ısınmasıdır.

Mil çapına bağlı keçe dudaklarında oluşan sıcaklık değişimleri ekil 1.10'da verilmiştir. Bu grafik, gövdedeki yağlara göre dudaklarda oluşan sıcaklığın 40 °C daha fazla olması nedeniyle, yağın, yol açabileceği potansiyel problemler sebebiyle keçe malzemesi seçimine yol göstermektedir. Hatta bu sıcaklık farkı, transmisyon gibi daha viskoz yağların kullanıldığı uygulamalarda veya gres kullanılan ortamlarda 40 °C'den daha fazla da olabilmektedir. Birçok tipik motor ve transmisyonun gövde için yağları 100 °C civarlarında olduğundan keçe malzemesi seçimi oldukça kritiktir. Bu yüzden malzeme seçimi keçenin performans limitlerine doğrudan etki eder. Motor yağları, SAE 20



**ekil 1. 10.** Mil Çapına Bağlı, Dudakta Oluşan Sıcaklık Değişimleri, (Flitney 2014)

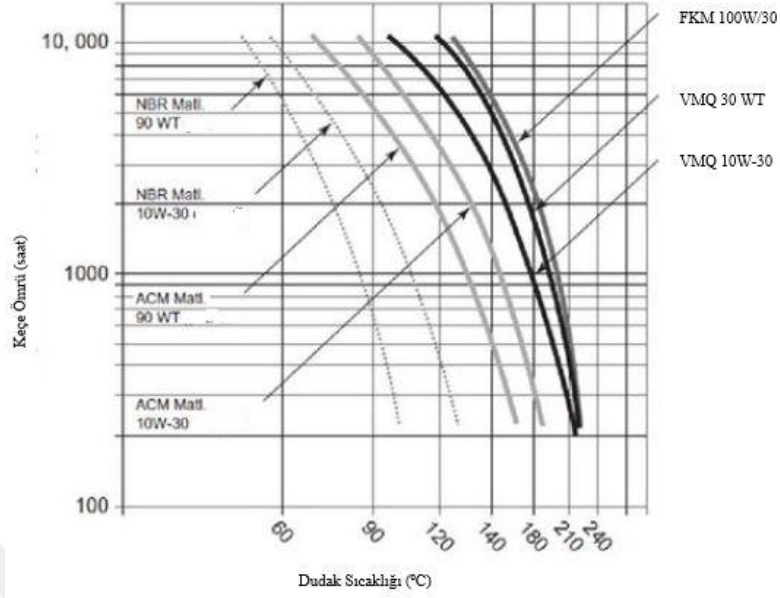
Mil çizgisel hızı, doğrudan üretilen hızı etkilemektedir. Ayrıca keçe kauçuk özellikleri de hız, üretimi ve yağlamayı etkileyen bir diğer faktördür. ekil 1.11'de farklı malzemelere bağlı olarak tavsiye edilen mil yüzey hızları ve/veya devir sayıları gösterilmiştir.



**ekil 1. 11.** Mil Dönü H,z,na Ba l, Tavsiye Edilen Elastomer Grafi i (Flitney 2014)

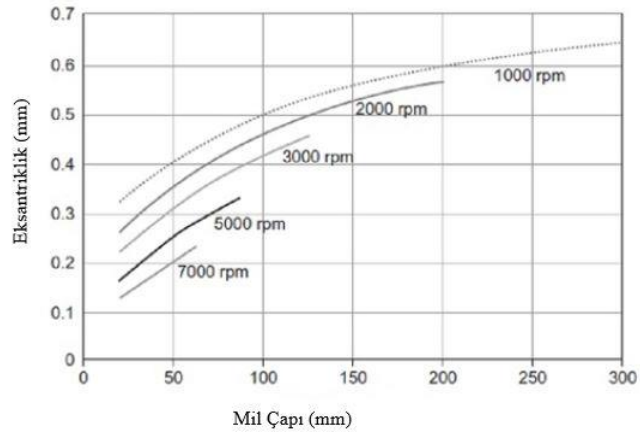
Yüksek s,cakl, a dayan,kl, elastomerler genellikle yüksek mil h,zlar, için de uygundurlar. Dört farklı malzemeye ait uygunluk s,n,rlar, mil yüzey h,z,na ve s,cakl, a ba l, olarak ekil 1.12øde gösterilmi tir. Burada keçeler için gösterilen h,z limitleri bas,nç etkisinden ba ,ms,zd,r. H,z limitleri bas,nç alt,ndaki keçelerde daha s,n,rl,d,r. Burada önerilen performans limitleri hem sektör tecrübelerine hem de özellikle otomotiv endüstrisinin isteklerine uygun olarak belirlenmi tir. Yukar,da belirtilen limitler d, ,nda da keçeleri kullanmak mümkündür fakat ömürlerinin daha k,sa olaca , da a ikâd,r.





**ekil 1. 12.** Keçe Elastomerlerinin Performans S,n,rlar, (Flitney 2014)

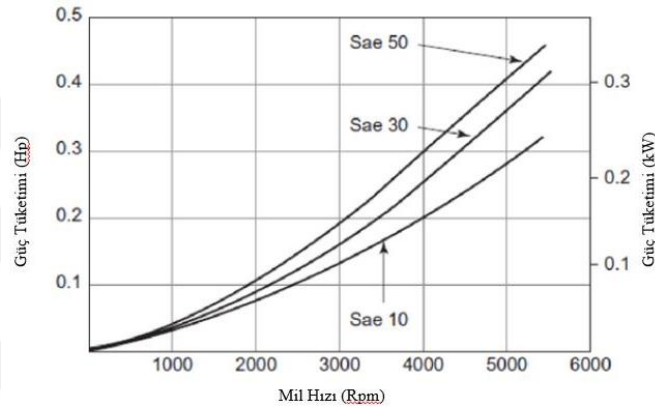
Uygulamada kullanılan döner mil e er kayda de er bir salg,ya sahipse, bu durumda kauçuk dudaklar,n döner mili sarmalamaya devam etmesi için keçenin dinamik olarak daha esnek bir yapıya sahip olmas, gerekmektedir. Keçeye özgü s,zd,rmazlık kabiliyeti dudak ve malzeme ve hatta s,caklık a göre de i ecektir. Belirli çaplar için döner millere ait genel olarak kabul edilen salg, limitleri ekil 1.13de gösterilmiştir.



**ekil 1. 13.** Mil Çaplar, ve Dönü H,zlar,na Ba l, Olarak Salg, Limitleri (Flitney 2014)



Ortamdaki yaşın viskozitesi dudak ile mil arasında oluşan sürtünmeyi doğrudan etkiler. Hâlihazırda literatürde bulunan verilerin çoğu genellikle motorlarda kullanılan yağlar, c, lara aittir. Bu yağlara ait viskozite özellikleri ise 100 °C'de genellikle 5-10 cP (yada 0,05-0,1 Pa.s) aralığındadır. Transmisyon yağları, c, lar, gibi daha yüksek viskoziteye sahip yağlar ise daha yüksek kayma gerilmelerine sahip olduklarından dudak ve mil arasında daha yüksek sürtünme ortaya çıkarırlar. Buna bağlı olarak da döner milin tüketeceği enerji artacaktır. Şekil 1.14'teki örnekte iki yağın sahip olduğu farklı viskozitelere bağlı olarak döner millerin tükettiği güçler gösterilmiştir.



**Şekil 1. 14.** Yaşın Viskozitesine Bağlı Olarak Tüketilen Enerji Miktarları, (Flitney 2014)

Sızdırmazlıkta yüksek viskozite problemlere sebep olabildiği gibi düşük viskozite de sızdırmazlık mekanizması için sorun teşkil edebilmektedir. Örneğin 2 veya 3 cP'dik viskoziteye sahip olan, döner mil ve dudak arasında çok ince yağ tabakası oluşturularak sızdırmazlık sağlanabilir. Bu durum, ortamda daha yüksek sürtünme oluşmasına ve daha yüksek aşınmaya sebep olacaktır. Bu sebeple su bazlı veya su gibi düşük viskoziteli yağlar, c, lar, n kullanılmamalıdır, uygulamalarda yağın düşük viskoziteli oluşmasının sürtünme ve aşınma üzerinde yapacağı etkileri keçe tasarımı, nda dikkat alınması gerekmektedir. Düşük viskoziteli yağların kullanılmadığı uygulamalar için özellikle PTFE dudaklı keçelerin kullanılması tavsiye edilir. E her söz konusu uygulamada yine de elastomer dudaklar kullanılıyorsa, muhtemeldir ki bu elastomer malzeme, sızdırmazlık yağlama özellikleri dikkate alınarak geliştirilmiştir.

## 2. SONLU ELEMANLAR YÖNTEM

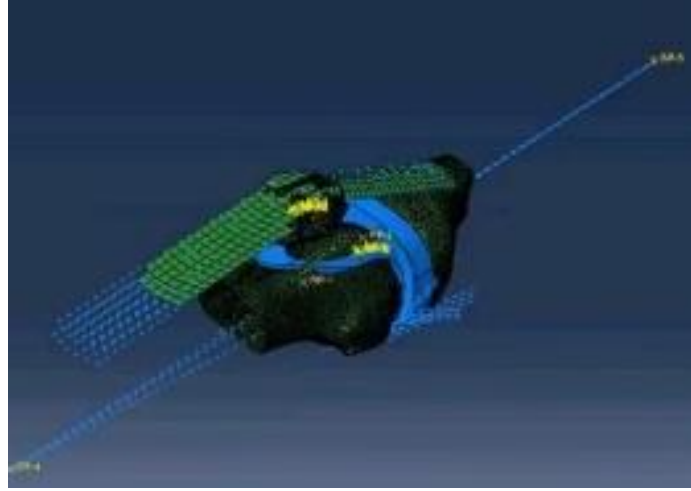
Sonlu Elemanlar Yöntemi, çe itli mühendislik problemlerine kabul edilebilir bir yakla ,mla çözüm arayan bir say,sal çözüm yöntemidir. Son k,rk y,lda bilgisayarlar,n h,zl, geli imine paralel olarak geli en say,sal hesap yöntemleri içinde çok önemli bir yer tutmaktadır (Aydo an 2013).

Bu yöntem her ne kadar orijinal olarak yap, sistemleri için geli tirilmi olsa da, ak, kanlar mekani i, zemin mekani i, uçak mühendisli i, nükleer mühendislik, kaya mekani i, elektromanyetik alanlar ve termal analiz gibi birçok mühendislik ve fizik problemlerinin çözümünde kullan,lmaktadır (Aydo an 2013).

### 2.1. Elemanlar Sonlu Yönteminin Tarihçesi

Sonlu elemanlar yöntemi "tümevar,m" genel prensibine dayanmaktadır. Sonlu eleman; iki veya üç boyutlu yap,lar,n bir parças, veya bir bölgesidir. Sonlu elemanlar metodunun ilk ve en yayg,n kullan,m alan, ögerilme analiziö dir. Metodun geli mesiyle ,s, analizi, ak, kan analizi, Elektrik analiz vb. alanlarda da kullan,lmaya ba lanm, t,r.

Sonlu elemanlar yöntemi, ilk olarak 1950 y,l,nda uzay mühendisli inde kullan,lmaya ba lanm, t,r. Boeing, Bell Aerospace ve Rolls Royce firmalar, ilk kullan,c,lar, aras,nda yer almaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi hakk,nda genel bilgileri ve ana fikrini olu turan ilk makale 1956 y,l,nda Turner ve arkadaş lar, taraf,ndan yay,nlanm, t,r. Teknolojinin ilerlemesine paralel olarak 1970øerde olgunla an yöntem günümüzde makine, elektrik, uçak, in aat, hidrodinamik, atom gibi çe itli mühendislik alanlar,n,n yan, s,ra, t,pta ortopedi, kalp ve damar cerrahisi, estetik cerrahi dallar,nda da kullan,lmaktadır. ekil 2.1øde ortopedi cerrahisinde sonlu elemanlar metodunun kullan,m,na örnek gösterilmi tir (Güler ve en 2015).



**ekil 2. 1.** Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Diz Kapa , Analizi (Güler ve en 2015)

Ledley ve Huang'ın 1968 y, l, nda yapt, klar, çal, malar, di hekimli i alan, nda yap, lm, ilk sonlu elemanlar gerilme analizi çal, mas, d, r. Çal, malar, nda bir di in matematiksel modeli olu turulmu olup bu di e çe itli yönlerden kuvvetler uygulanm, t, r. Yap, lan çal, ma sonucunda bu kuvvetlerin di i destekleyen kemik dokusunda meydana getirdikleri gerilmeler de erlendirilmi tir. Son 20 y, ld, r da implant, tedavi ve protez alanlar, nda da sonlu elemanlar çal, malar, yap, lmaya ba lanm, t, r (Güler ve en 2015). 1965 y, l, nda Zienkiewicz ve Cheung sonlu elemanlar metodu ile Poisson denkleminin çözümünü bulmu tur. 1970 y, l, nda Doctors sonlu elemanlar metodunu potansiyel ak, a uygulam, t, r (Güler ve en 2015).

Günümüzde geli en teknolojiyle birlikte sonlu elemanlar yöntemiyle problem çözümüne yönelik ticari paket programlar geli tirilmi tir (Abaqus, Ansys, Marc' ).

## **2.2. Sonlu Elemanlar, n Uygulama Alanlar,**

Sonlu elemanlar metodu, yap, sal mekanik problemlerinin yan, s, ra, , s, iletimi, ak, kanlar mekani i, elektrik ve manyetik alanlar ile ilgili mühendislik problemlerinin çözümü için de kullan, lmaktad, r. Metodun bu kadar çok uygulama alan, bulmas, n, n nedenlerinden birisi, de i ik mühendislik problemlerinin aras, ndaki benzerliklerdir. Sonlu elemanlar metodu'nun baz, uygulama alanlar, Çizelge 2.1' de, baz, uygulama örnekleri ise Çizelge 2.2' de verilmi tir.

**Çizelge 2. 1.** Sonlu Elemanlar Metodunun Uygulama Örnekleri (Aydoğan 2013)

Uygulama Alanlar,	Denge Problemleri	Özdeğer Problemleri	Gerilme Problemleri
Yapı Mühendisliği	Çerçevesiz, levhalar, duvarlar, köprülerin, kirişlerin ve öngerilmeli beton elemanların statik analizi	Doğal frekanslar, Stabilite analizi	Gerilme dalgaları, yığılma, Yapıların periyodik olmayan yüklere cevabı,
Uçak Mühendisliği	Gövdenin, kanatların, kanatçıkların statik analizi, Roketlerin, füzelerin statik analizi	Doğal frekanslar, Stabilite analizi	Yapıların geliştirelme yüklerine cevabı, Yapıların periyodik olmayan yüklere cevabı,
Isı İletimi	Sürekli rejim için katmanlar ve akışkanlarda ısı transferi, ısıtma ve soğutma sistemleri		Roket motorlarında, içten yanmalı motorlarda, türbin kanatlarında ve binalarda ısı transferi,
Jeomekanik	Hafriyatların, istinat duvarlarının, yer altı boşluklarının, kaya ve toprak yapılarının etkileşiminin analizi. Toprakta, tepelerde, barajlarda ve makine temellerinde gerilme analizi	Baraj gövdesi ile göletin ve toprak ile yapıların etkileşiminin incelenmesi, doğal frekansların bulunması,	Zamana bağlı toprak ve yapı etkileşimi problemleri, toprak ve kayalarda sismik problemleri
Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği	Hidrolik yapıların ve barajların analizi, potansiyel, serbest yüzey, sınırlı tabakalar ve viskoz akışkanlar ile transonik aerodinamik problemlerin çözümü	Su havuzları, göllerin, limanların doğal periyotları, bulunması, sınırlı rijit ve esnek kaplardaki hareketleri	Kararsız ve dalga yığılması analizi, gözenekli yapılarda sismik gaz dinamiği

**Çizelge 2.1.** Sonlu Elemanlar Metodunun Uygulama Örnekleri (Aydoğan 2013) (devam)

Nükleer Mühendislik	Nükleer basınçlı, kaplar, n ve yapılar, n analizi, reaktör parçalarında sürekli rejim için sıcaklık da, l, m,	Yapı, lar, n do al frekanslar, , yapı, lar, n stabilite analizi	Reaktör parçalarında kararlı, z sıcaklık da, l, m, , reaktör yapı, lar, n, n, s, l ve viskoelastik analizi
Biyomedikal Mühendisliği	Kemiklerde, di lerde, gözlerde vs. gerilme analizi, do al yapı, lar ve protezler için yük taşıma kapasitesi analizi, kalp kapakçıkları, n, n mekaniği		Kafatası, n, n darbe analizi, anatomik yapı, lar, n dinamiği
Mekanik Tasarım	Basınçlı, kaplar, n, pistonlar, n, kompozit malzemenin, di lilerin vs. gerilme analizi, gerilme konsantrasyonu problemleri	Makine elemanları, n, n, takım tezgahları, n, n, di lilerin vs. do al frekanslar, ve stabilite problemleri	Dinamik yük altında çatlak ve kırılma mekaniği problemleri

**Çizelge 2. 2.** Sonlu Elemanlar Metodunun Uygulama Örnekleri (Aydoğan 2013)

Hidrolik	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Yeraltı suları, n, ta, ryan geçirimli katmanlar, n analizi</li> <li>➤ Göllerde su dolaşımı, n, n analizi ve termal analiz</li> <li>➤ Nehirlerde ve denizlerde gelgit sonucu oluşan yayılma ve dağılım, n analizi</li> </ul>
Toprak Mekaniği	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Yamaçlar, kazılar ve setler için gerilme analizi</li> <li>➤ Temellerin yük taşıma ve oturma analizi</li> </ul>
Hidroelastisite	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Sıvı, lar, n elastik kaplardaki hareketleri</li> <li>➤ Baraj gövdesi ile göletin etkileşiminin analizi</li> </ul>
Biyomekanik	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Alyuvarlar, n ve plazma, n kılcal damarlardaki hareketlerinin incelenmesi</li> <li>➤ Eklemlerde yayılma analizi</li> <li>➤ Kalbin ve kemiklerin gerilme analizi</li> </ul>

**Çizelge 2.2.** Sonlu Elemanlar Metodunun Uygulama Örnekleri (Aydoğan 2013)  
(devam)

Temas Problemleri	➤ Elastik çarpma, n analizi
Nükleer Mühendislik	➤ Beton reaktör gövdelerinin analizi ➤ Çok gruplu nötron yayılımı, problemlerinin çözümü
Korozyon	➤ Yerel korozyon hücrelerinin analizi
Kompozit Malzemeler	➤ Katmanlı, ahap sistemlerin analizi ➤ Sandviç kabuklar, n analizi ➤ Tabakalı, levhalar, n analizi
Mekanizma	➤ Mekanizmalar, n deplasman ve gerilme analizi ➤ Dişlilerin gerilme analizi
Otomotiv	➤ Araç gövdelerinin analizi
Kırılma Mekaniği	➤ Gerilme yoğunluğu faktörlerinin bulunması, ➤ Çatlak ilerlemesinin analizi
Aeroelastisite	➤ Kaldırma özelliğine sahip yüzeylerde yük dağılımı, ayrılma ve kanat hareketlerinin analizi
Takım Tezgahları,	➤ Torna tezgahı, freze tezgahı, radyal matkap vb. aletin yapısal analizi
Metal Bıçımlandırma	➤ Soğuk ve sıcak haddeleme, ekstrüzyon, derin çekme vb. işlemlerin analizleri
Döküm	➤ Katılaşma, n analizi

### 2.3. Sonlu Elemanlar Yönteminde Kullanılan Eleman Çeşitleri

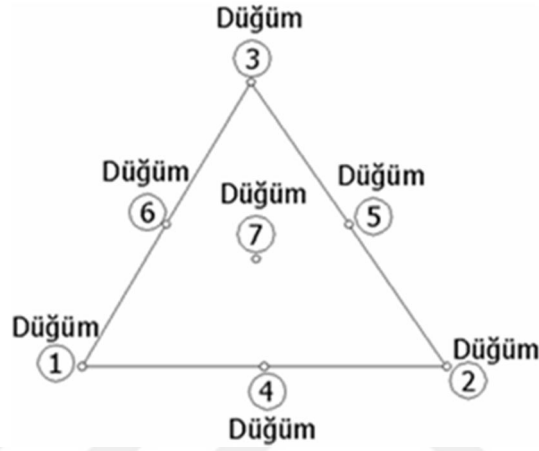
Sonlu elemanlar yönteminde doğru sonuçlar alınabilmesi için ilk adım parçanın en uygun şekilde sonlu elemanlara bölünmesidir. Sonlu elemanlara bölme işleminde sürekli ortamın boyutuna ve parçanın geometrisine en uygun elemanın ekli seçilmelidir. Eleman tipleri, tek boyutlu, iki boyutlu, üç boyutlu ve dönelemler olmak üzere dört şekilde incelenebilir.

Ortam geometrisi, malzeme özellikleri, yükleri ve yerleşimleri bir başlangıçta, uzay koordinatı, cinsinden ifade edilebiliyorsa, şekil 2.2'de örneği verilen bir boyutlu sonlu elemanlar tercih edilir.



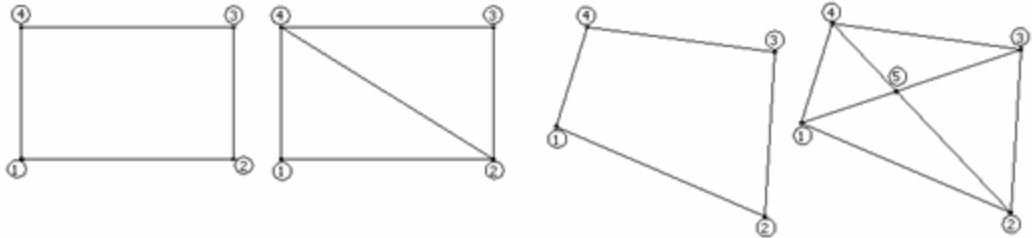
ekil 2. 2. Bir Boyutlu Sonlu Eleman

ki boyutlu elemanlar, düzlem problemlerinin çözümünde kullanılırlar. Temel eleman, ekil 2.3'de görülen üçgen tipi sonlu elemandır.



ekil 2. 3. Üçgen Tipi Sonlu Eleman Örneği

Üçgen elemanların birleşmesiyle meydana gelen dörtgen elemanlar, geometriye uyum sağlarlar, sürece oldukça kullanılırlar. ekil 2.4'te çeşitli dörtgen eleman tipleri görülmektedir.



ekil 2. 4. İki Boyutlu Dörtgen Geometri Biçimli Sonlu Elemanlar

Diğer bir eleman tipi ise üç boyutlu elemanlardır. Bu grupta temel eleman üçgen piramittir. Bunun dışında, dikdörtgenler prizması, veya daha genel olarak alt, yüzeyli elemanlar, üç boyutlu problemlerin çözümünde kullanılan eleman tipleridir.

Eksenel simetrik özellik gösteren problemlerin çözümünde ise dönel elemanlar kullanılır. Bu elemanlar bir veya iki boyutlu elemanların simetri eksenini etrafında bir tam dönme yapmasıyla oluşurlar. Gerçekte üç boyutlu olan bu elemanlar, aksenal simetrik problemleri iki boyutlu problem gibi çözümlenebilir, sağladığı için çok kullanılırlar.

#### 2.4. Sonlu Elemanlar Yöntemi Nonlineer Malzeme Modelleri

Hiperelastik malzemeler küçük yükler altında özelliklerini koruyarak elastik büyük ekilde deformasyonlarına uğurlarlar. Bir hiperelastik malzemeye uygulanan yük ve elde edilen ekilde deformasyon oranıdır. Benzer ekilde gerilme ve ekilde deformasyon arasındaki ilişkiyi tanımlayacak bir oran yoktur. Bu ilişkileri tanımlamak için ekilde deformasyon enerjisi fonksiyonu gereklidir. Yapılan çalışmalar, malzemelerde deformasyon enerjisi fonksiyonunu farklı ekilde tanımlanmışlardır. Bu fonksiyonlardan en çok kullanılanlar, çalınmış, zamanla değişenlerdir.

##### 2.4.1. Mooney-Rivlin Modeli

İlk çalışması Mooney tarafından 1940 yılında gerçekleştirilmiştir. Mooney çalışması, özel ve genel durum olmak üzere iki kısma ayrılmıştır. Özel durumda malzemeyi sıkıştırma, izotrop ve kayma gerilmesini kayma ekilde deformasyonu ile orantılı kabullerini yaparak bu kabulleri sağlayan malzemeleri de hiperelastik malzeme olarak adlandırmıştır. Mooney - Rivlin malzeme modelinin uygulamaları, çoğunlukla tek eksenli çekme deneyi ile sağlanmıştır. Diğer deformasyon çeşitleri ile deneysel veriler elde edilmek istenildiğinde ciddi uyumsuzluklar görülmektedir (Anonim 2018).

Mooney-Rivlin modelinin sonsuz serisindeki gösterimi 2.1 numaralı denklemde verilmiştir.

$$W = \frac{1}{2} \sum_{i,j} C_{ij} I_{ij} - 3 \frac{1}{2} (I_1 - 3)^2 \quad 2.1$$



A a ,da 2.2 numaral, denklemde Mooney ó Rivlin modelinin iki parametrelili hali görölmektedir.

$$W = \frac{1}{2} \mu (I_1 - 3) + \frac{1}{2} \lambda (I_2 - 3) \quad 2.2$$

#### 2.4.2. Neo ó Hooken Modeli

ekil de i tirme enerjisi fonksiyonunu bu ekilde ilk defa Treloar kullanm, t,r. Treloar, yapm, oldu u çal, mada Neo-Hooken malzeme modelini farklı, deformasyonlarda deneysel ve teorik verileri karşıla t,r,lm, t,r. Tek eksenli çekme deneyinde % 40 ekil de i imi, basit kaymada %90 ekil de i imi ve e iki eksenli çekme deneyinde %200 ekil de i imine kadar deneysel verilerle teorik veriler uyumaktadır. Tek eksenli basma deneyinde teorik ve deneysel sonuçlar oldukça yakın sonuçlar vermektedir. Buradan bu modelin küçük ekil de i tirme bölgesinde yeterli fakat büyük ekil de i tirme bölgesinde yetersiz olduğu görülmüştür (Anonim 2018).

Mooney Rivlin modelinin tek terimli hali bize Neo- Hooken modelini vermektedir.

$$W = \frac{1}{2} \mu (I_1 - 3) \quad 2.3$$

#### 2.4.3. Ogden Modeli

Ogden modeli deneysel verilere en iyi uydurma yaklaşım, kullanılmaktadır. Herhangi bir gerilme durumu istenilen derecede hassasiyet ile temsil edilebilmektedir. Ogden malzeme modeli üç terime kadar açılır ise tek eksenli, e-iki eksenli ve basit kayma deneylerinin sonuçlar, yeterli oranda temsil edilebilmektedir (Anonim 2018).

Ogden modeli kat, gibi sık, t,r, lamaz kauçuklar için kullanılır. Bu model için enerji, temel uzamalar, n fonksiyonudur.

$$W(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_i}{2} (\lambda_i^2 - 1) \quad 2.4$$

#### 2.4.4. Yeoh Modeli

Birçok ara t,rmac, deney numunesi olarak vulkanize edilmi fakat katkı maddesi içermeyen kauçuk malzeme kullanm, t,r. Yeoh, bu durumun aksine çal, malar,nda vulkanize edilmi ve katkı maddesi içeren malzemeyi test numunesi olarak kullanm, ve bu malzeme için ekil de i tirme enerjisi fonksiyonunu elde etmeye çal, m, t,r. Deneysel çal, malar,n, daha kolay ve standartla t,r,lm, olan tek eksenli çekme deneyi üzerinde gerçekleştirilmiştir. ki eksenli çekme deneyinin zor olmas, ve standart olarak uygulanmas, nedeniyle kullanmam, t,r (Anonim 2018).

Bu ekil de i tirme enerji fonksiyonunun en büyük faydas, sonlu elemanlar paket programlar,ndan birço unda üçüncü dereceden deformasyon modelinin bulunmas,d,r. Yeoh çal, malar,n, vulkanize edilmi , kauçu a karbon siyah, kat,lm, ve kat,lmam, numuneler için yapm, t,r. Her ikisinde de kayma modülünün, Neo-Hookean ve Mooney-Rivlin malzeme modelinin aksine, deformasyonla de i ti ini belirtmiştir. Yeoh önermi oldu u malzeme modelinde tek eksenli çekme deneyinden elde edilen verilerin farklı deformasyonlardaki gerilme- ekil de i tirme davran, ,n, yeterli ölçüde tanımlad, ,n, bu nedenle diğer deneylerin özellikle de iki eksenli çekme deneyine gerek kalmadan malzemenin davran, ,n, tek eksenli çekme deneyi ile belirlenebilece ini belirtmiştir.

Yeoh malzeme modeline göre ekil de i tirme enerjisi fonksiyonu 2.5 numaralı denklemden görülmektedir.

$$W(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = \sum_{i=1}^3 \frac{c_i}{2i} (\lambda_i - 3)^2 (\lambda_i - 3)^2 (\lambda_i - 3)^2 \quad 2.5$$

#### 2.5. Katsayıların Elde Edilmesi

Kauçuk bir malzemenin mekanik davran, , malzemeye uygun bir ekil de i tirme enerjisi modelinin seçimi ile tanımlanmaktadır. Seçilen hiperelastik malzeme modeli ve test verileri ile ekil de i tirme enerjisi fonksiyonunda yer alan katsayılar elde edilir.

Sonlu elemanlar analizleri paket programlar,nda bir hiperelastik malzemenin tanımlanabilmesi için iki yöntem bulunmaktadır. İlk yöntem olarak malzeme test sonuçları, sonlu elemanlar paket programlar,na girilir. Test verilerine en iyi uyum gösteren

hiperelastik bir malzeme modeli seçilir ve katsayılar hesaplanır. İkinci yöntem olarak da daha önce elde edilmiş hiperelastik malzeme katsayıları, direkt olarak programa girilebilir.

### 2.5.1. Katsayıların Elde Edilmesi için Gerekli Deneyler

#### A. Tek Eksen Çekme Deneyi

Basitliği ve deney uygulama kolaylığı, sebebiyle günümüzde tüm laboratuvarlarda tek eksenli çekme deney test cihazları bulunmaktadır. Ayrıca metallere mekanik özelliklerini saptamada yalnızca tek eksenli çekme deneyinin kalite kontrol açısından uygun olması, tek eksenli çekme test cihazları, laboratuvarları, sabit bir deney ekipmanı haline getirmiştir. Lakin kauçuk türü materyallerin mekanik özelliklerini saptamada tek bir çekme deneyinin yeterli olmadığı, vurgulamak isterim.

Basit çekme deneyinin temelleri, 17. yüzyılın sonlarına dayanmaktadır. 17. yüzyılın sonlarında Robert Hooke bu deformasyon ile metallere için gerilme ile ekleme arasında lineer bir ilişkinin olduğunu ifade etmiştir. Kauçuk türü malzemelerde ise bilinen ilk basit çekme deneyi Gough tarafından, 1805 yılında yapılmıştır. Bu deformasyon türünün kolaylığı, ve çok eskilere dayanması, nedeniyle artık günümüzde numune boyutları, ve deney prosedürü açısından standartlaştırılmıştır. Kauçuk türü malzemelerin basit çekme deneyi için, ASTM D 412, DIN 53 504 ve ISO 37 no.lu standartlara müracaat edilebilir.

Genel olarak bu tahrik sisteminde kullanılan tek eksenli çekme deformasyonunda kauçuk türü malzemeler için üç farklı formda numune kullanılmaktadır.

1. Dumbbell Numune
2. Halka Numune
3. Dikdörtgen Numune

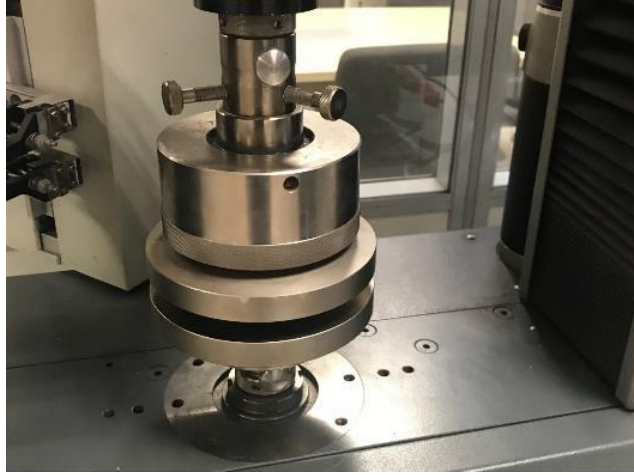


**ekil 2. 5. Tek Eksenli Çekme Deneyi Görseli**

Ayn, malzemedan 3 tane deney yap,lm, t,r. EK 1øde 1 tane örnek deney raporu payla ,lm, t,r.

### **B. Tek Eksenli Basma Deneyi**

Kauçuk türü malzemelerin non-lineer davran, göstermeleri nedeniyle mekanik özelliklerini ifade eden malzeme sabitlerinin hem çekme hem de basma bölgesini kapsayacak ekilde belirlenmelidir. Bu nedenle de kauçuk türü malzemeler için basma deneyleri yap,lmal,d,r. Literatürde yap,lan tek eksenli basma deneyi basit basma deneyidir. Esasen basit basma deneyleri, deformasyon aç,s,ndan, uygulamas, kolayd,r. Silindirik formdaki numune metal plakalar aras,na konur. Tek eksenli çekme makinas,nda metal plakalara eksenel kuvvet uygulanmas,yla numune deforme edilir.



**ekil 2. 6. Tek Eksen Basma Deneyi Görseli**

Aynı malzemeden 3 tane deney yap,lm, t,r. EK 2'de 1 tane örnek deney raporu payla ,lm, t,r.

### **C. Çift Eksenli Çekme Deneyi**

Kauçuk mekani inde uygulanan ikinci bir iki eksenli çekme deneyi ise iki eksenli e - çekme deneyidir. Kauçuk türü malzemelerin mekanik özelliklerini ifade eden malzeme sabitlerinin sadece tek eksenli çekme deneyinde belirlenemeyece i daha önceki k,s,mlarda vurgulanm, t,. Bu nedenle basma bölgesindeki davran, nda bilinerek malzeme sabitlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Tek eksenli basma deneylerinde numunenin deformasyonu s,ras,nda safi homojen ekil de i imi olmal, ve deformasyon s,ras,nda numunede kayma gerilmeleri olu mamal,d,r. Bu nedenle de numune iki plaka aras,nda sürtünmesiz olarak s,k, t,r,labilmelidir. Bu durumun gerçekleştirilmesi ise pratikte oldukça zordur ve numune ile s,k, t,r,ma plakalar, aras,ndaki küçük sürtünme katsay,lar,nda bile gerilme- ekil de i tirme diyagramlar,nda oldukça farklı sonuçlar elde edilmektedir.

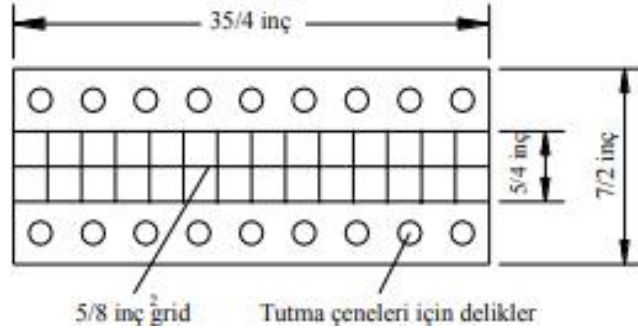


**ekil 2. 7. Çift Eksen Çekme Deneyi Görseli**

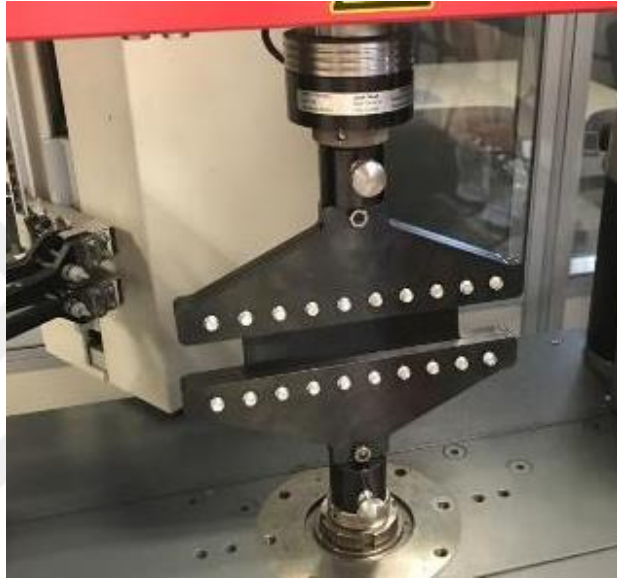
Aynı malzemeden 3 tane deney yapılmıştır. EK 3'de 1 tane örnek deney raporu paylaşılmıştır.

#### **D. Safi Kayma Deneyi**

Chen ve Durelli, kauçuk türü malzemelerin gerilme-ekil deformasyonuna ilişkin bağımlılıkların doğrusal gerilme-doğrusal ekil deformasyonuna ilişkin tanımlanmasından elde etmek için yaptıkları deneylerden bir tanesi de safi kayma deneyidir. Deneylerinde kullandıkları numune boyutları, ekil 2.8'de görülmekte olup numunenin deformasyonu, ağırlıklı olarak sureti ile sağlanmıştır. Deformasyon miktarları, numune üzerine çizilen çizgilerin analizi vasıtasıyla yapılmıştır. Ölçümler ise 0,00004 inç hassasiyetine sahip hareket edebilen mikroskop vasıtasıyla yapılmıştır.



**ekil 2. 8.** Safi Kayma Numune Boyutlar,



**ekil 2. 9.** Safi Kayma Deneyi Görseli

Aynı malzemeden 3 tane deney yapılmıştır. EK 4'de 1 tane örnek deney raporu paylaşılmıştır.

### **E. Yoğunluk Ölçümü Deneyi**

Herhangi bir maddenin özelliği olan yoğunluk birim hacimde bulunan madde miktarı olarak tanımlanır ve aşağıdaki gibi ölçülür.



ekil 2. 10. Yo unluk in A ,rl,k lümü

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Yayl, Keçelerin Sonlu Eleman Analizi

Garter yay,na sahip döner mil keçelerinin sonlu eleman analizi ilk örnek olarak seçilmi tir.

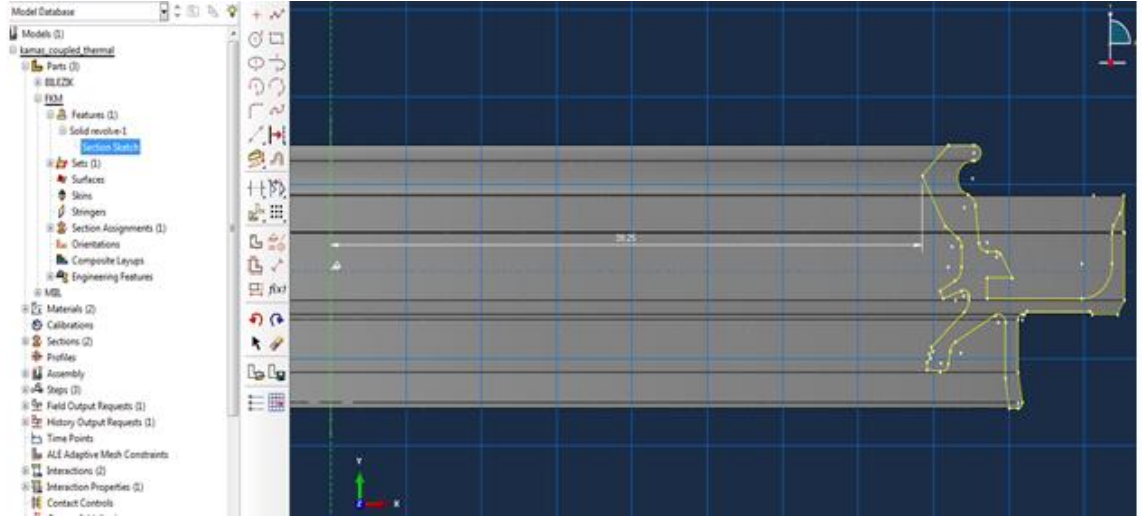
##### 3.1.1. Yayl, Keçe Bile enlerinin Geometrik Modellerinin Olu turulmas,

Döner mil keçeleri daha önceki bölümlerde anlat,ld, , keçe bilezi i, elastomer ve Garter yay,ndan olu maktad,r. Sonlu elemanlar yaz,l,mlar,ndan biri olan Abaqus CAE program,nda yay tan,mıanmas, yer ald, , için yay ayr,ca geometrik olarak modellenmeyecektir.

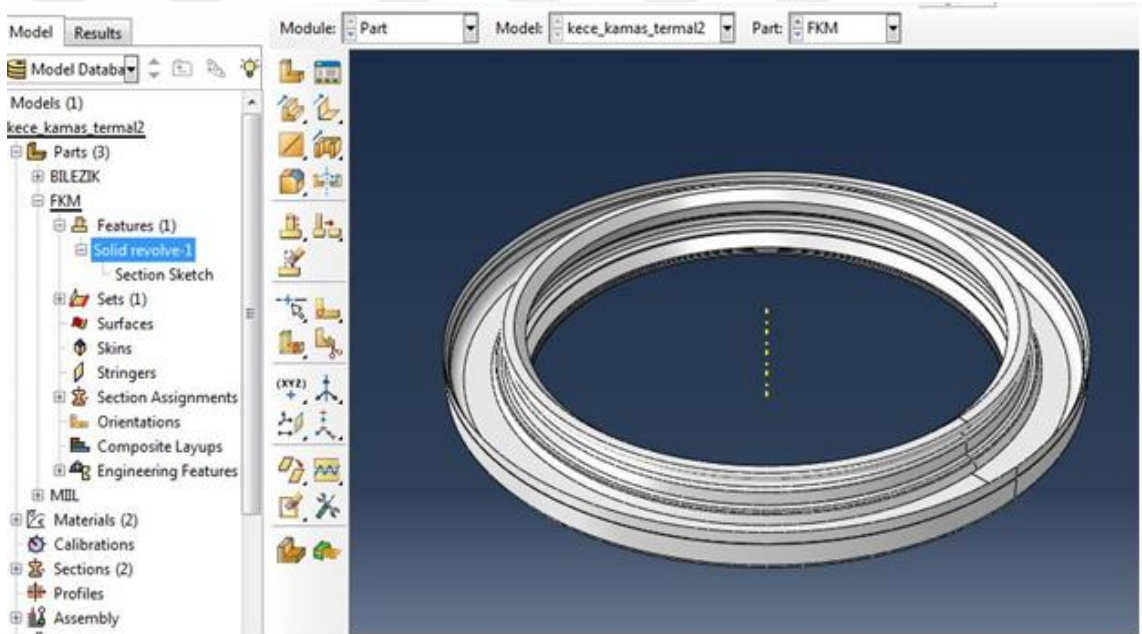
##### 3.1.1.1. Yayl, Keçenin Elastomer K,sm,n,n Geometrik Olarak Olu turulmas,

Analiz al, mas, yapaca ,m,z referans keçe için iki boyutlu profil çizimi yap,l,r. Bu izim daha sonra 360 ° döndürülerek elastomer k,s,m olu turulur.





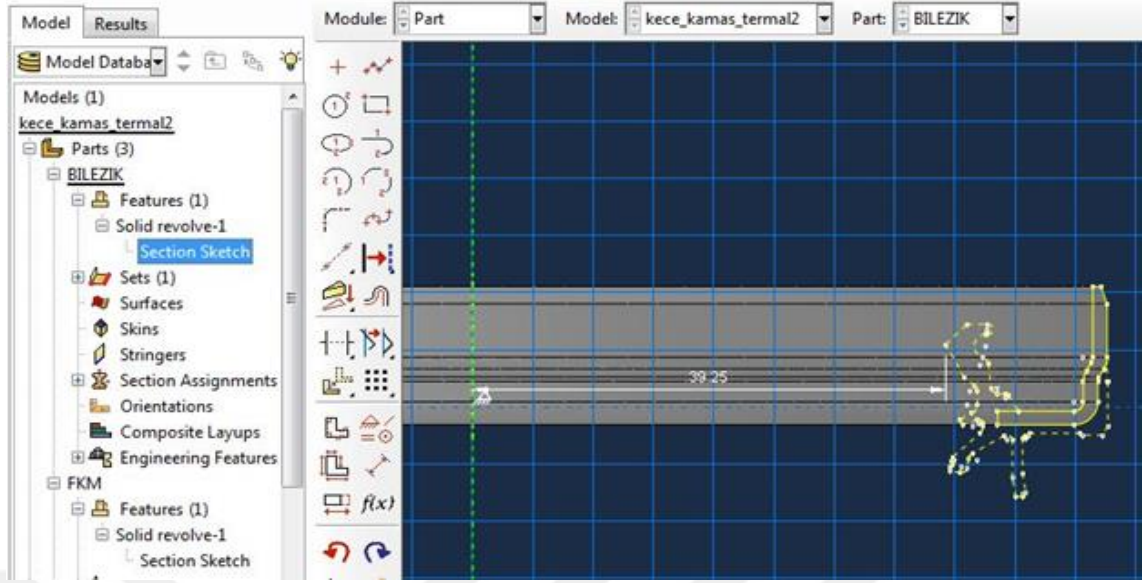
ekil 3. 1. Elastomer K,s,m,na Ait ki Boyutlu Profil Çizimi



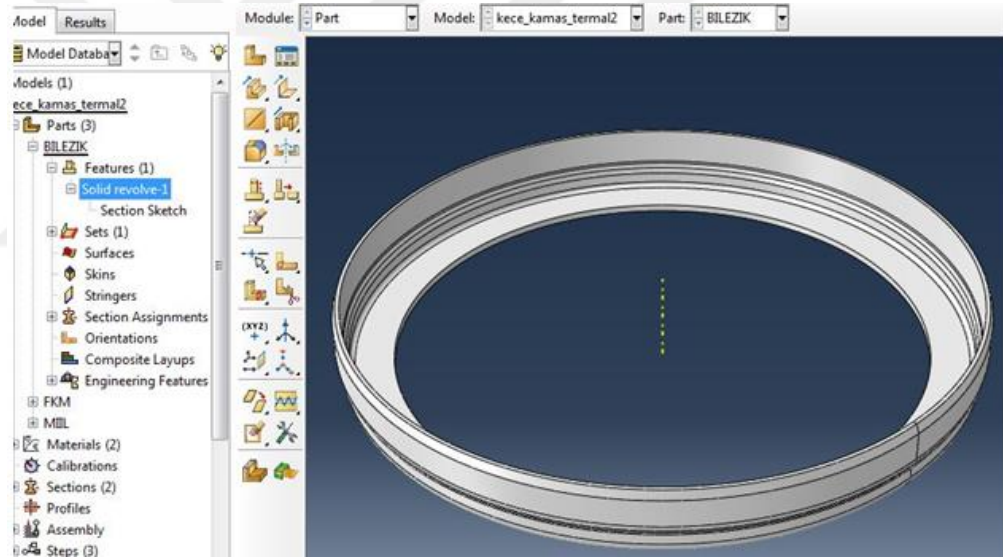
ekil 3. 2. Elastomer K,s,m,na Ait Üç Boyutlu Model

### 3.1.1.2. Yaylı, Keçe Bilezi ine Ait Geometrinin Olu turulmas,

Elastomer kesitin olu turulmas,na benzer ekilde keçe bilezi inin iki boyutlu profili olu turulur ve 360 ° döndürülerek üç boyutlu profil olu turulur.



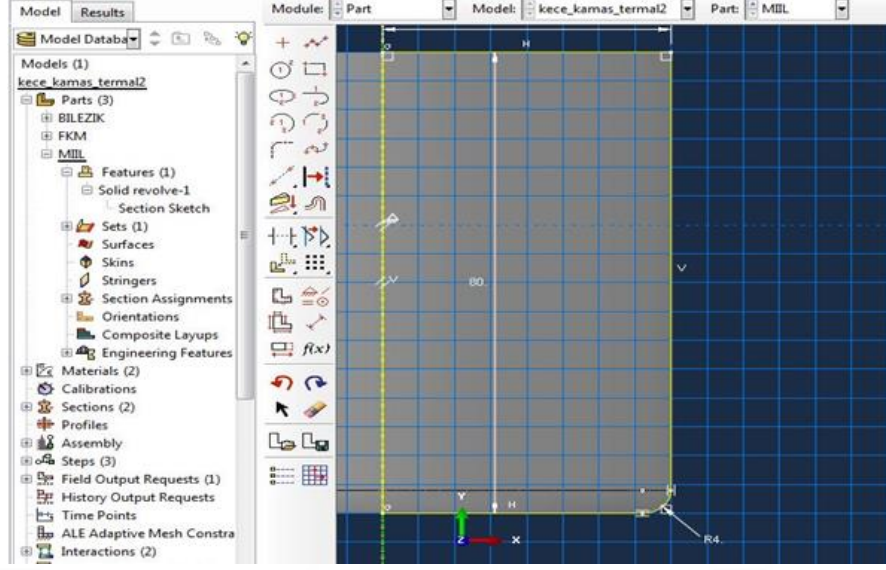
ekil 3. 3. Bilezik K,sm,na Ait ki Boyutlu Profil Çizimi



ekil 3. 4. Bilezik K,sm,na Ait Üç Boyutlu Model

### 3.1.1.3. Yaylı, Keçe için Mil Geometrisinin Olu turulmas,

Keçenin dudak pozisyonu, mile montaj olduktan sonra normal konuma gelece i için analiz çal, mas,nda keçe mile montaj edilecektir. Bu sebeple montaj milinin de tasarlanmas, gerekmektedir. Keçe bilezi i ve elastomerine benzer ekinda tasarlanm, t,r.

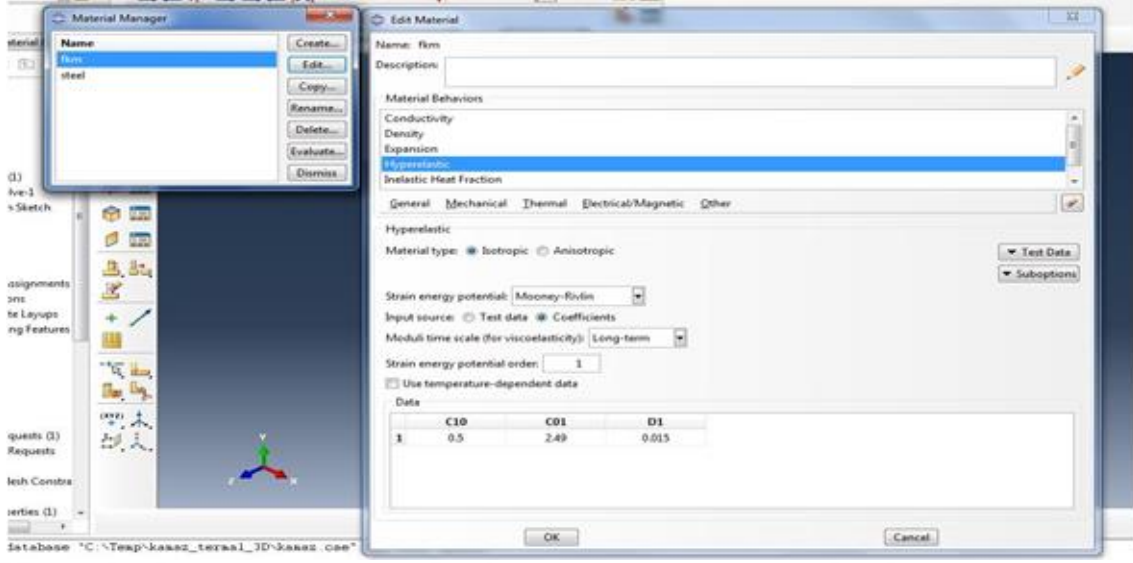


ekil 3. 5. Mile Ait ki Boyutlu Profil Çizimi

### 3.1.2 Yaylı, Keçe için Malzeme Tanımlanması, ve İlgili Kesitlere Atanması,

#### 3.1.2.1. Elastomer Malzemenin Tanımlanması,

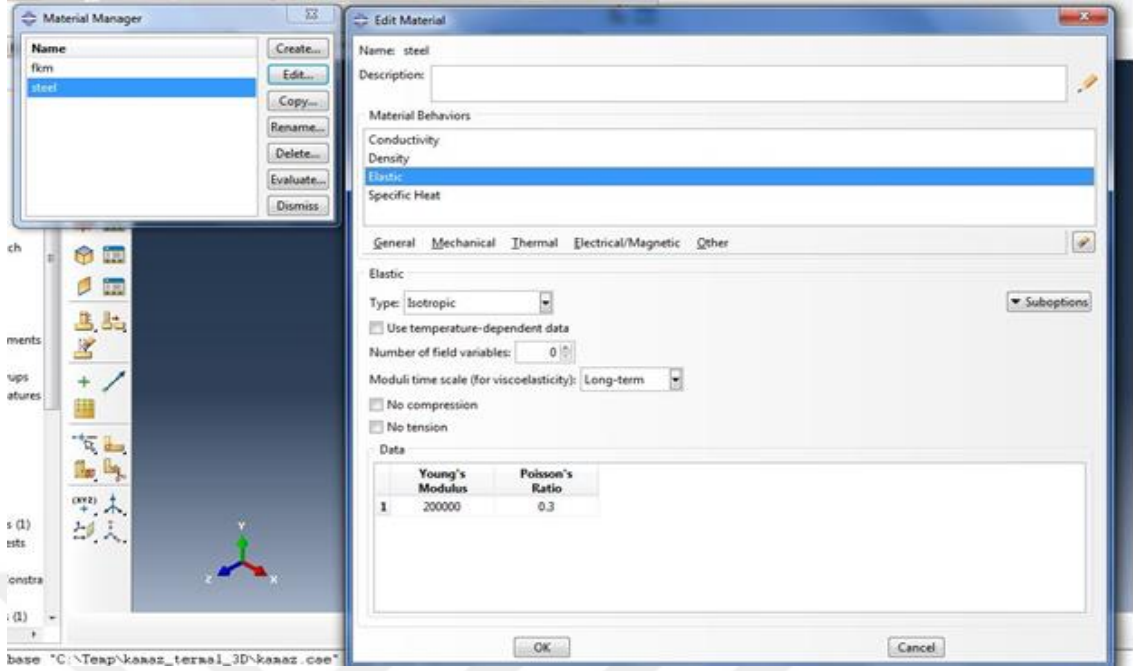
Genellikle literatürde elastomer malzeme için Mooney ó Rivlin malzeme modeli kullanılmaktadır. Mooney-Rivlin %200'e kadar uzamalarda kullanılır. Bu amaçla Matlab programında fit etme kodları oluşturulmuş ve Ek-1 de kodlar paylaşılmıştır. FKM malzeme için  $C10=0,5$  ,  $C01=2,49$  ve  $D1=0,015$  olarak hesaplanmıştır.



ekil 3. 6. Elastomer Malzemenin Tan,mlanmas,

### 3.1.2.2. Çelik Malzemenin Tan,mlanmas,

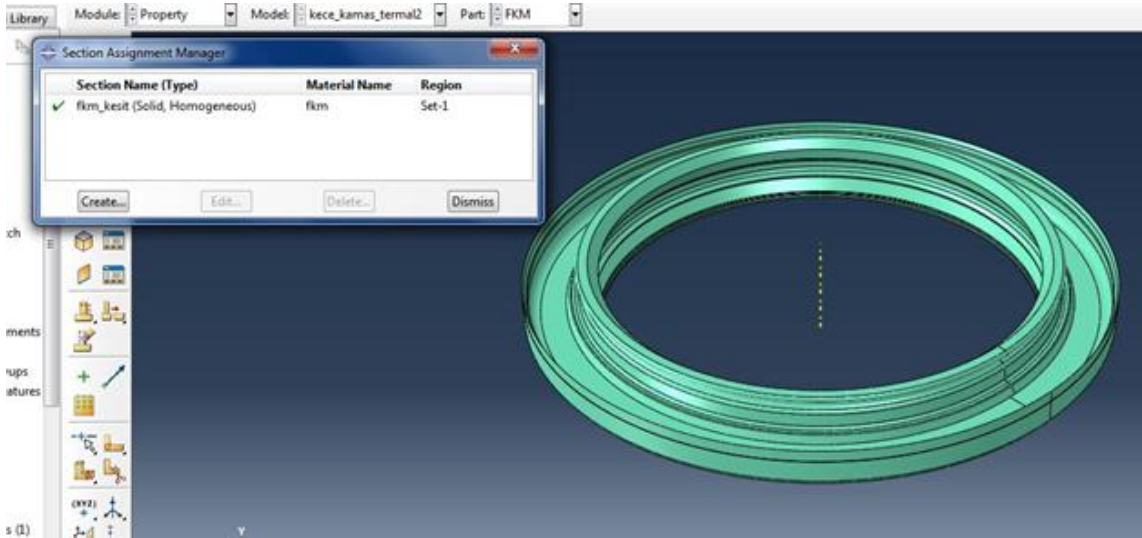
Çelik malzeme firmam,z bünyesindeki spesifikasyonlara göre Abaqus program,na tan,mlanm, t,r. Abaqus program, birim sistemini ay,rt etmedi i bilindi i için çelik verileri de elastomer verileri gibi MPa cinsinden tan,mlanm, t,r.



ekil 3. 7. Çelik Malzeme Tanımlanması,

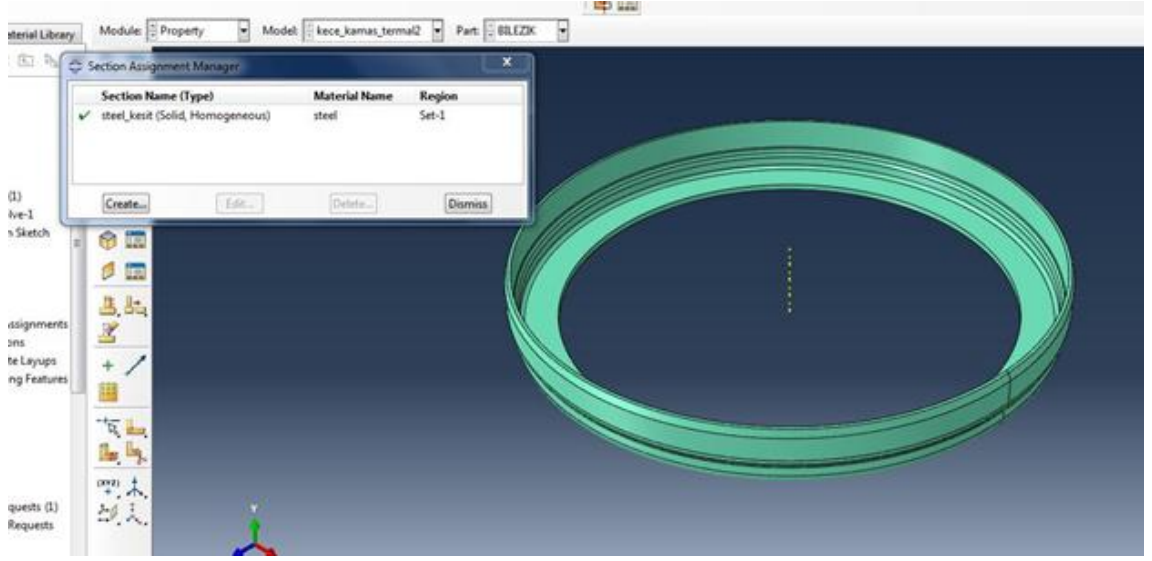
### 3.1.2.3 Tanımlanan Malzemelerin İlgili Kesitlere Atanması,

Bilindiği üzere Abaqus programında tanımlanan malzemelerin ilgili kesitlere de atanması gerekmektedir. Bu kapsamda çelik ve elastomer kesitlere malzeme atanması yapılmıştır.



ekil 3. 8. Elastomer Kesitin Atanması,

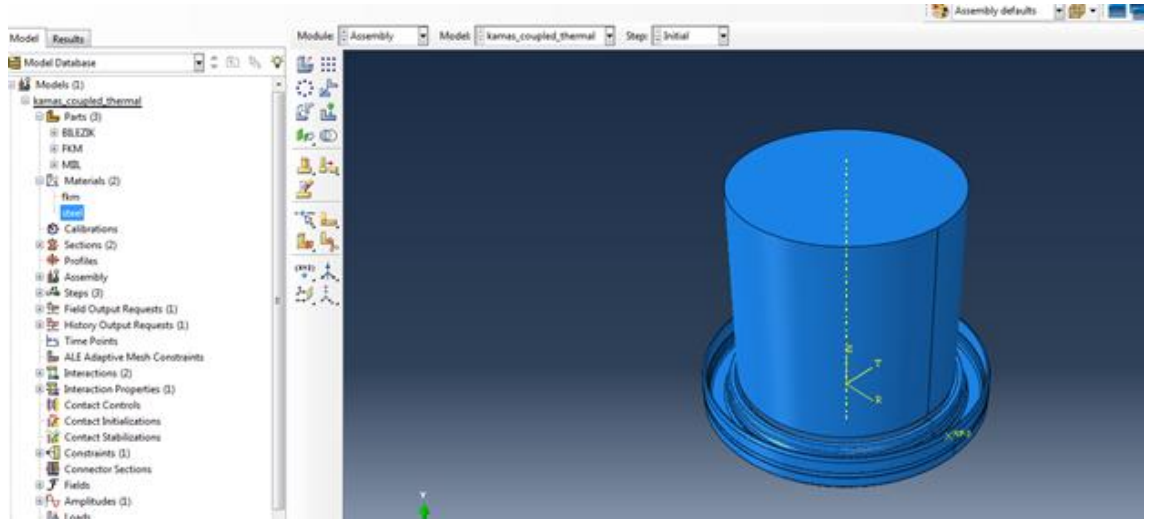




ekil 3. 9. Çelik Kesitin Atanması,

### 3.1.3 Montaj Tanımlanması,

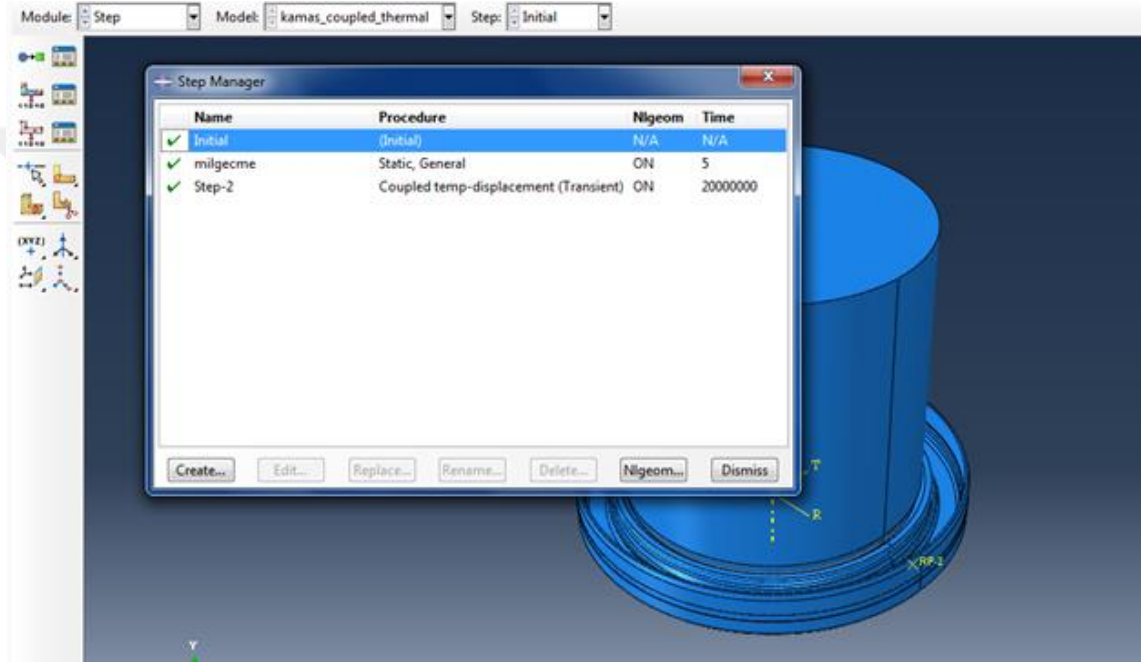
Keçe bileziği, keçe elastomeri ve mil sırasıyla Abaqus programından çağrılarak tanımlanmıştır. Bunlara ilave olarak Garter yay, Abaqus programında yer alan mühendislik elemanları, içinden tanımlanmıştır.



ekil 3. 10. Montaj Görüntüsü

### 3.1.4 Step (Ad,m) Tan,mlanmas,

Bu tez çal, mam,z da keçe analizini üç ad,mdan olu turduk. Ad,mlardan birincisi ba lang,ç ad,m,d,r. Bu ad,mda sadece keçeye etki edecek s,cakl,klar tan,mlanm, t,r. Ad,mlardan ikincisi keçenin mile montaj,n, simüle eden do rusal geçme ad,m,d,r. Üçüncü ad,m ise dönme hareketinin sürtünme kuvvetinin etkisiyle s,cakl, , simüle etti i ad,md,r.

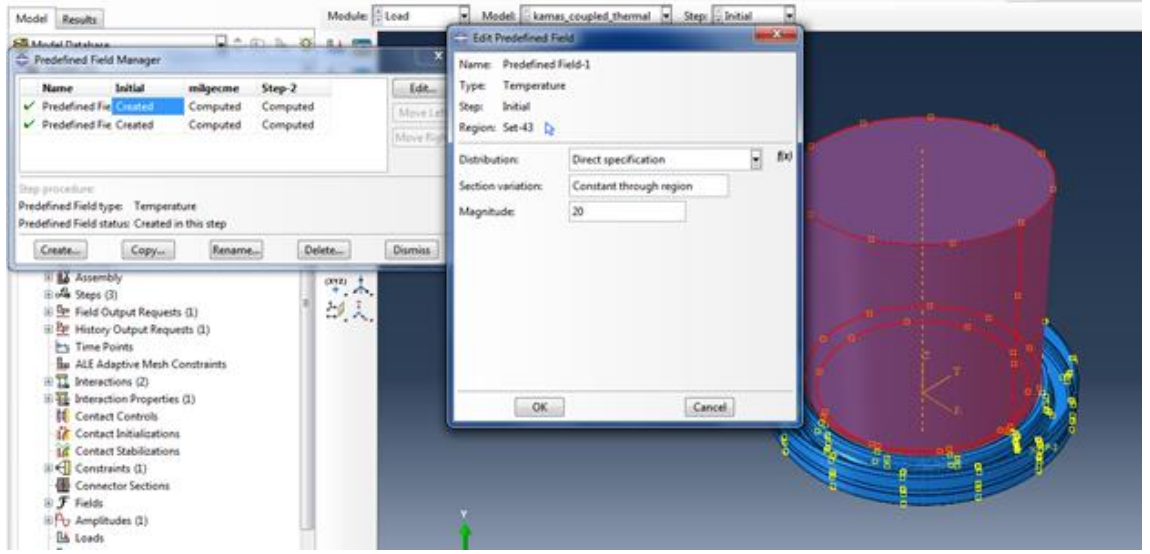


ekil 3. 11. Analiz Ad,m Tan,mlanmas,

### 3.1.5. S,n,r artlar,n,n Tan,mlanmas,

#### 3.1.5.1 S,cakl,k Tan,mlanmas,

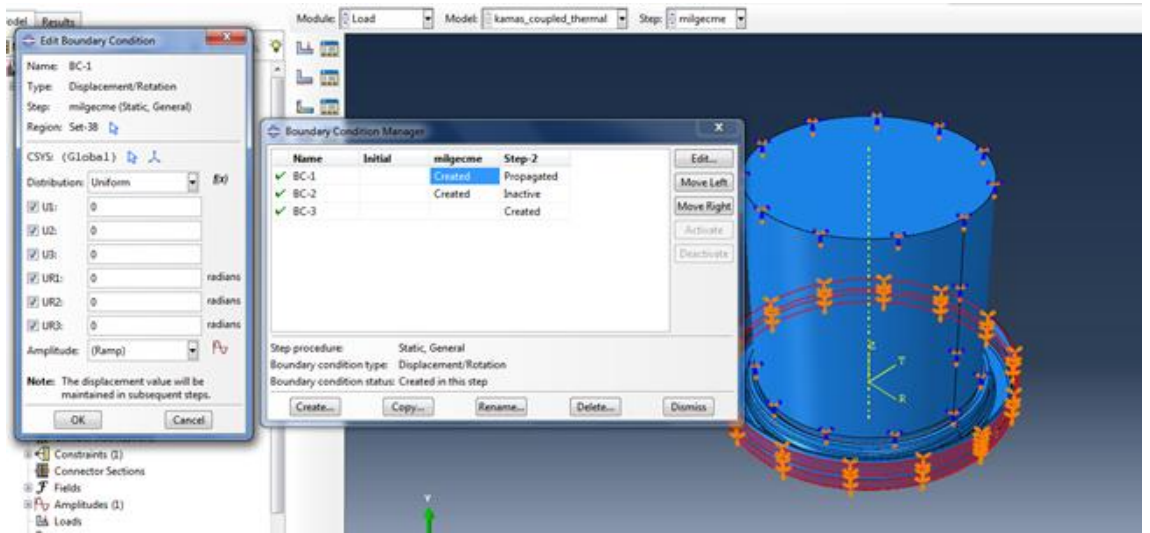
Ba lang,ç ad,m,nda s,cakl, ,n keçe ve mil üzerinde 20°C oldu u kabul edilmi tir. Bu kapsamda s,cakl,k Abaqus program,na 20°C olarak ekil 3.12ödeki gibi girilmi tir.



ekil 3. 12. S,caql,k Tan,mlanmas,

### 3.1.5.2. Keçenin Yuvada Durma Pozisyonunun Tan,mlanmas,

Keçelerin s,k,l,klar,na uygun yuvalara çak,lmas,yla birlikte sabit kalmas, sa lanmaktad,r. Bu çal, mam,zda keçenin yuvaya çak,lmas, simüle edilmeyip sabitlenecektir.

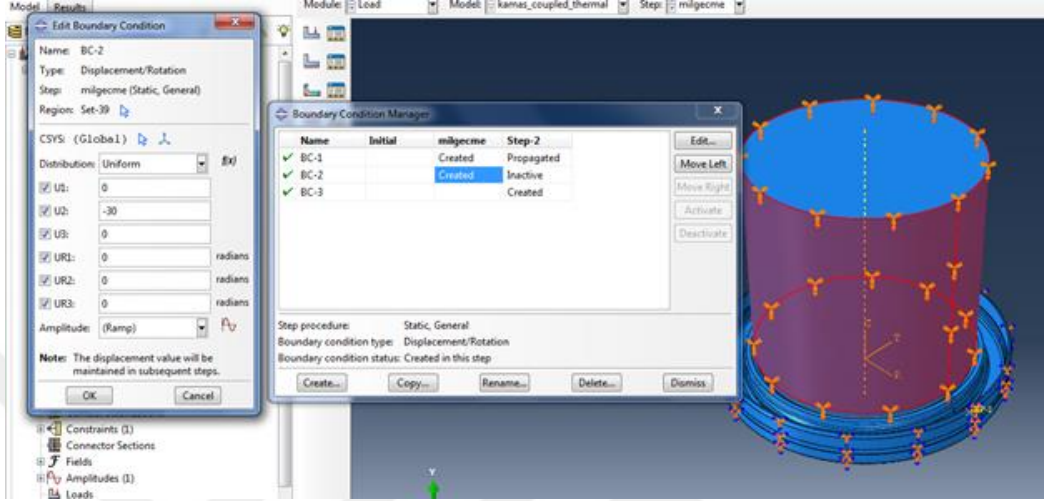


ekil 3. 13. S,n,r artlar,n,n Tan,mlanmas,



### 3.1.5.3. Milin Keçeye Montaj art,n,n Tan,mlanmas,

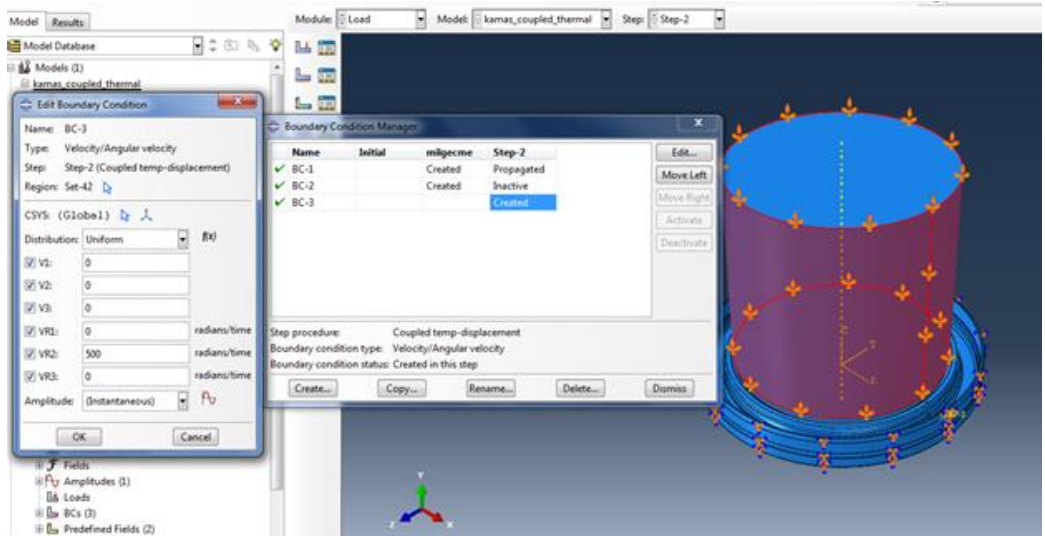
Montaj a mas,nda ça r,lan mile ó Y do rultusunda 30 mm yer de i tirme tan,mlan,r. 30 mm yer de i tiren mil keç e du da ,n, uygun pozisyona getirir.



ekil 3. 14. Milin Keçeye Montaj art,n,n Tan,mlanmas,

### 3.1.5.4. Mile Dönme art,n,n Tan,mlanmas,

Üçüncü ad,mda keçeye 5m/s çizgisel h,zla dönme art, tan,mlanm, t,r. Bu arta ait görüntüyü ekil 3.15te bulabilirsiniz

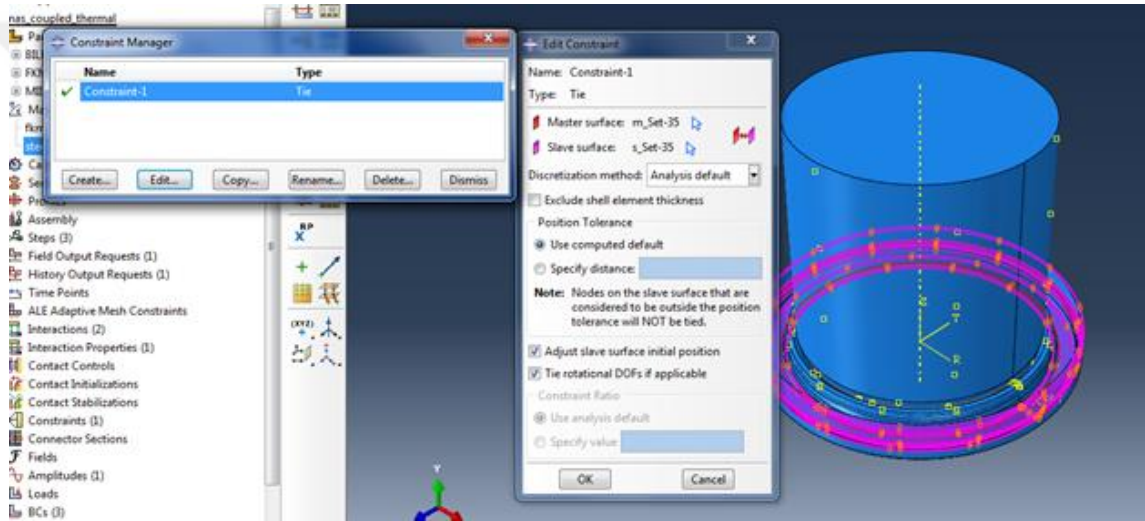


ekil 3. 15. Milin Dönme art, Tan,mlanmas,

### 3.1.6 Etkile imlerin Tan,mlanmas,

#### 3.1.6.1 Tie (Ba lama) Etkile iminin Tan,mlanmas,

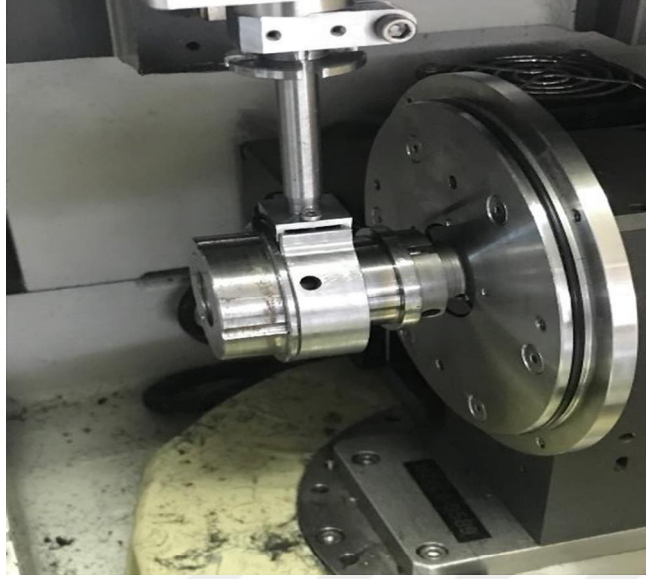
Önceki bölümlerden hat,rlanaca , gibi keçenin en önemli elemanlar,ndan iki tanesi keçe bilezi i ve keçe elastomeridir. Keçeler vulkanize esnas,nda yap, t,r,c, uygulanm, bilezik ve elastomerle kal,p içerisinde birle tirilirler. Abaqus sonlu elemanlar yaz,l,m, bu etkile imi öTieö ba lant, olarak ele alm, t,r. Ba lama etkile imi tan,m, ekil 3.16da verilmi tir.



ekil 3. 16. Temas ve Birle me art, Tan,mlanmas,

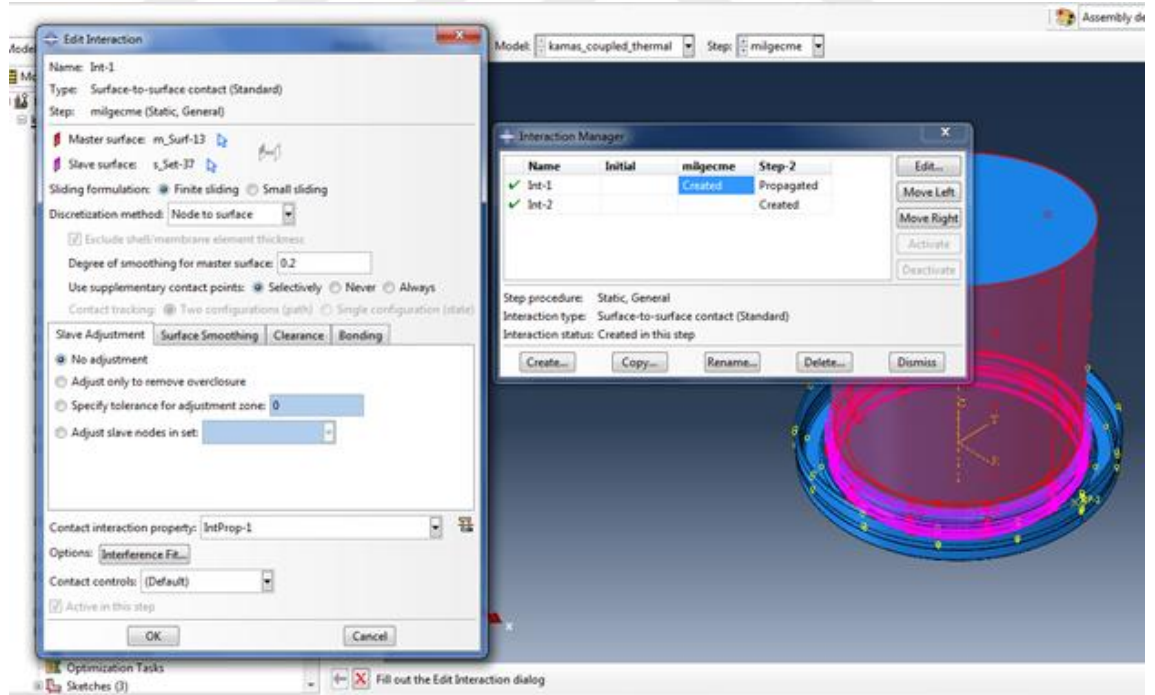
#### 3.1.6.2 Sürtünme Etkile iminin Tan,mlanmas,

Döner mil keçelerinin dudaklar,ndaki s,cakl,k art, ,n,n en önemli sebebi keçe duda , ve mil aras,ndaki sürtünme olay,d,r. Bu etkile imin tan,mlanmas, termal bir analiz için olmazsa olmaz olayd,r. Elastomerin triboloji cihaz, yap,lm, ya l, sürtünme katsay,s, yakla ,k olarak 0,05 civar,ndad,r. Deney düzene i ekil 3.17de gösterilmektedir.



ekil 3. 17. Ya 1, Sürtünme Deneyi Cihaz, ve Yap,1, ,

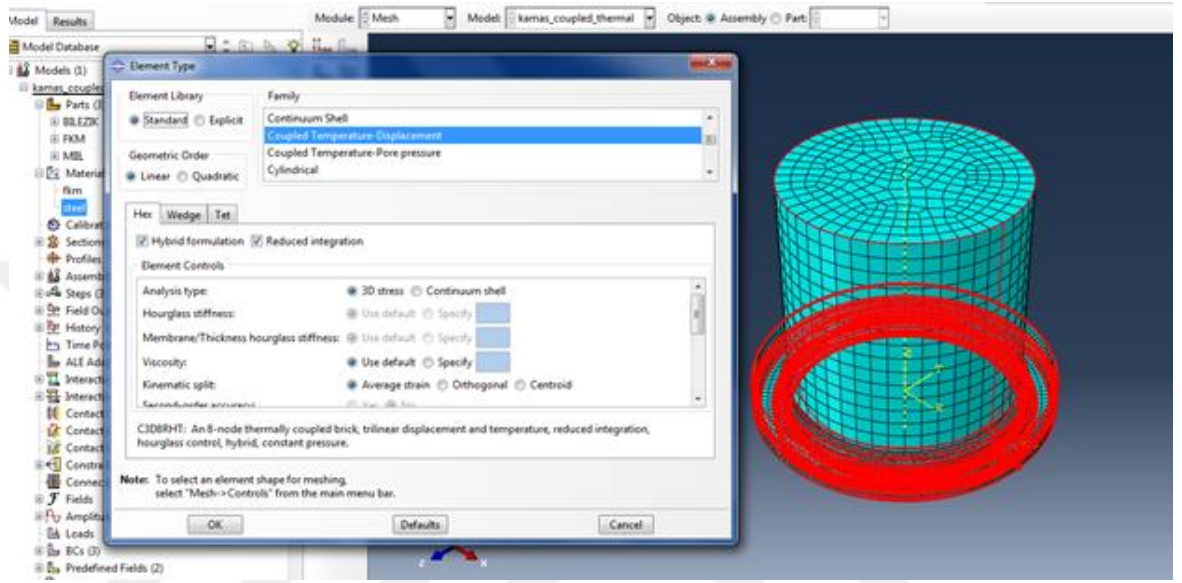
Keçe duda ,-mil ili kisi, Abaqus Program, içerisinde yer alan öSurface to Surfaceö etkile imiyle tan,mlanmaktadır ve ekil 3.18de gösterilmektedir.



ekil 3. 18. Yüzeyler Aras, Etkile im Tan,mlanmas,

### 3.1.7 A Yap,s,n,n Olu turulmas,

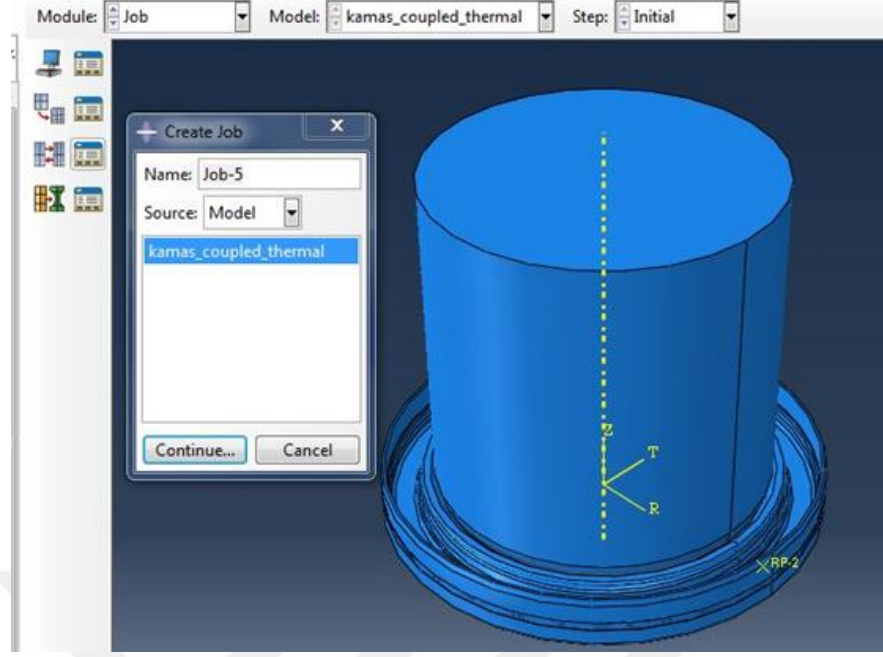
Çal, mam,zda termal bir analiz yapaca ,m,z için ÷Coupled Temperature ó Displacementö tipinde elemanlar seçilmi tir. ekil 3.19da a yap,s,na ve eleman seçimine ait görüntüyü bulabilirsiniz.



ekil 3. 19. Modelin A Yap,s,n,n Olu turulmas,

### 3.1.8 in (Job) Olu turulmas,

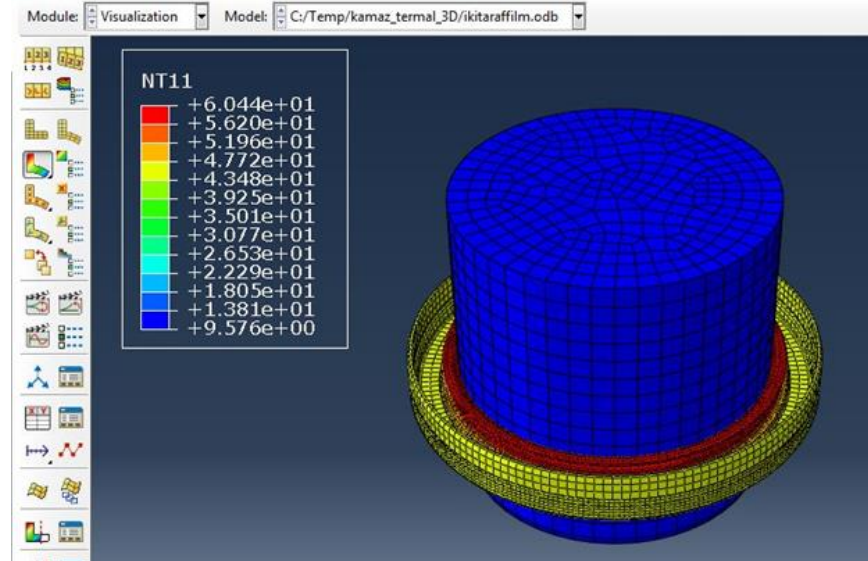
Analiz programlar,n,n büyük bir ço unlu unda a yap,s, olu turulduktan i tan,mlan,r. Tan,mlanan i onaylanarak analiz çal, mas, ba lat,l,r, bu durum ekil 3.20de gösterilmektedir.



ekil 3. 20. Analizin Ko turulmaya Ba lat,Imas,

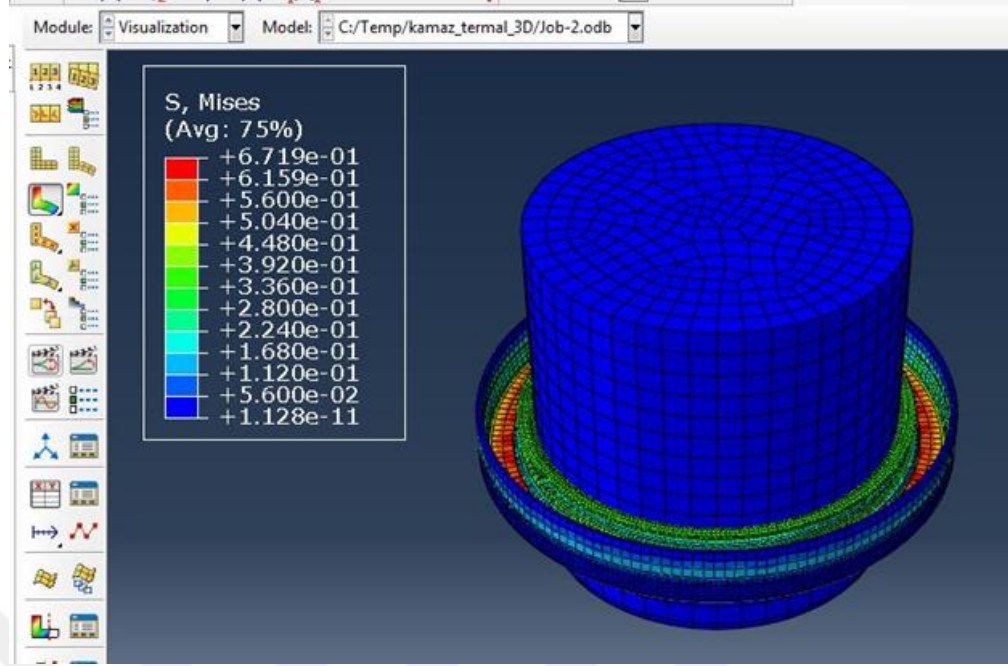
### 3.1.9. Sonuçlar,n Al,nmas,

Olu turulan i in onaylanmas,ndan belirli bir süre sonra analiz al, mas, tamamlan,r. Tamamlanan analiz al, mas, sonras, ilgili sonuç sekmesine t,klayarak sonuçlar görüntülenir. S,cakl,k ve gerilme analiz sonuçlar, s,ras,yla ekil 3.21 ve ekil 3.22de verilmi tir.



ekil 3. 21. S,cakl,k Sonucu





ekil 3. 22. Gerilme Sonuçlar,

### 3.2. Yays,z Keçelerin Sonlu Eleman Analizi

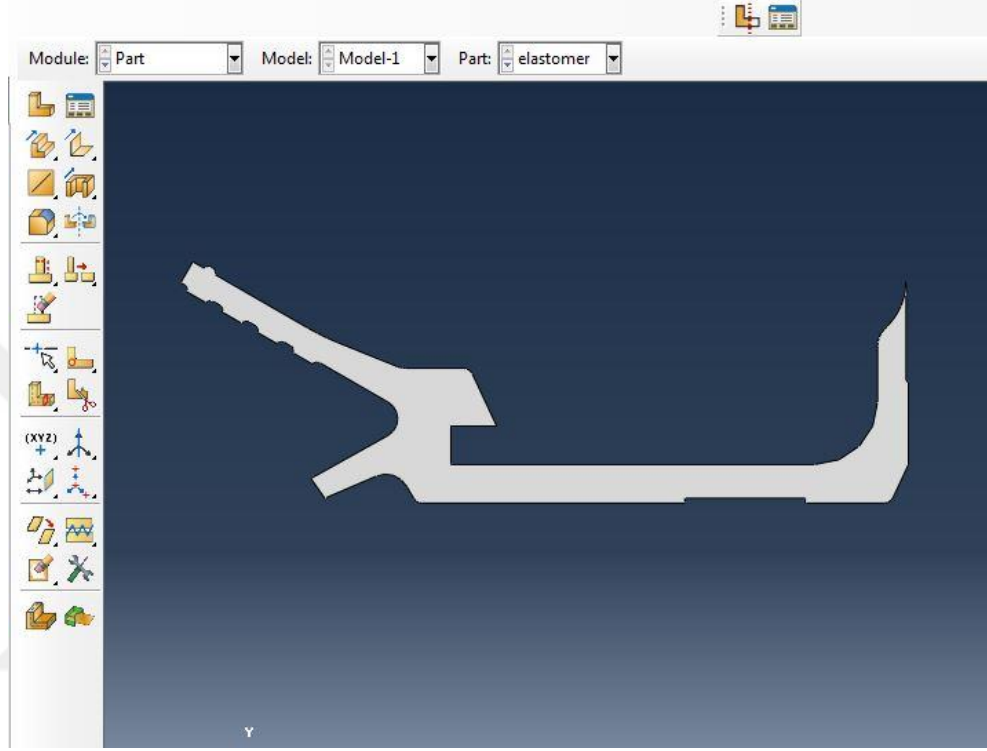
Garter yay,na sahip olmayan elastomer dudaklı, döner mil keçelerinin sonlu eleman analizi ikinci örnek olarak seçilmi tir.

#### 3.2.1. Yays,z Keçe Bile enlerinin Geometrik Modellerinin Olu turulmas,

Döner mil keçeleri daha önceki bölümlerde anlat,ld, , keçe bilezi i ve elastomerden olu maktadır. Yer almad, , için yay ayrıca geometrik olarak modellenmeyecektir.

### 3.2.1.1. Keçenin Elastomer Kesim Geometrik Olarak Oluşturulması,

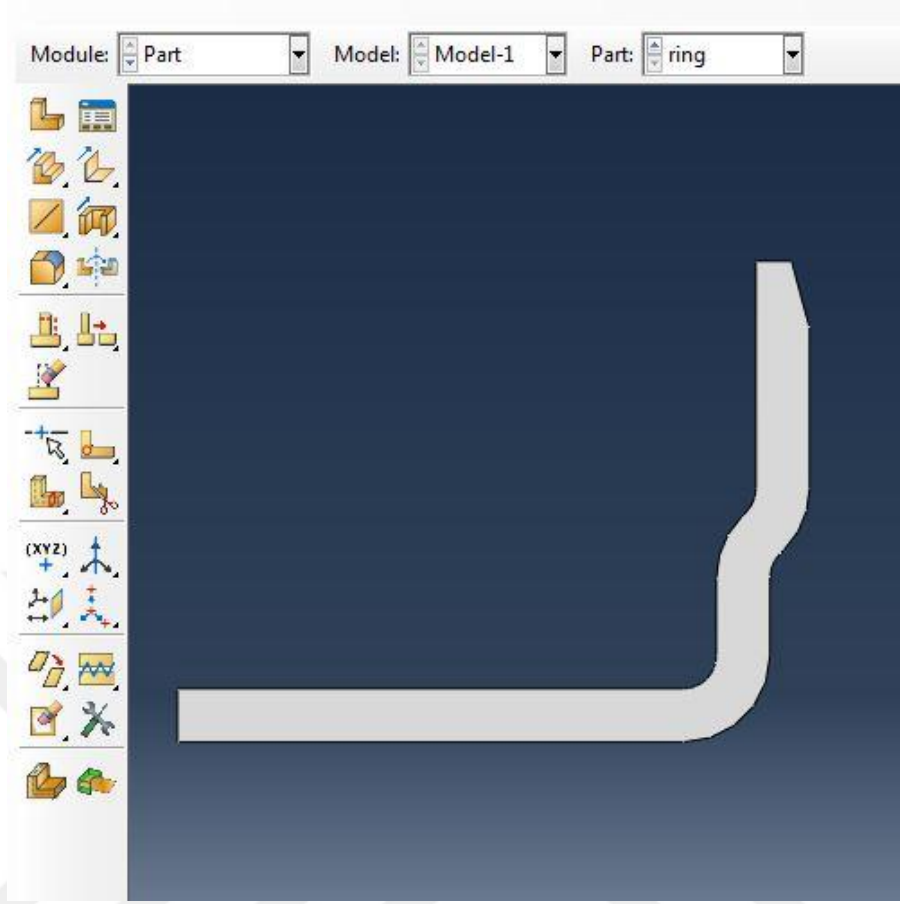
Analiz için, mas, yapacak, m, z referans keçe için iki boyutlu aksiyel simetrik profil çizimini yapılıyor.



ekil 3. 23. Elastomer Kesit

### 3.2.1.2. Keçenin Bilezik Kesim Geometrik Olarak Oluşturulması,

Elastomer kesitin oluşturulması, na benzer şekilde keçe bileziğinin iki boyutlu profili oluşturulur.

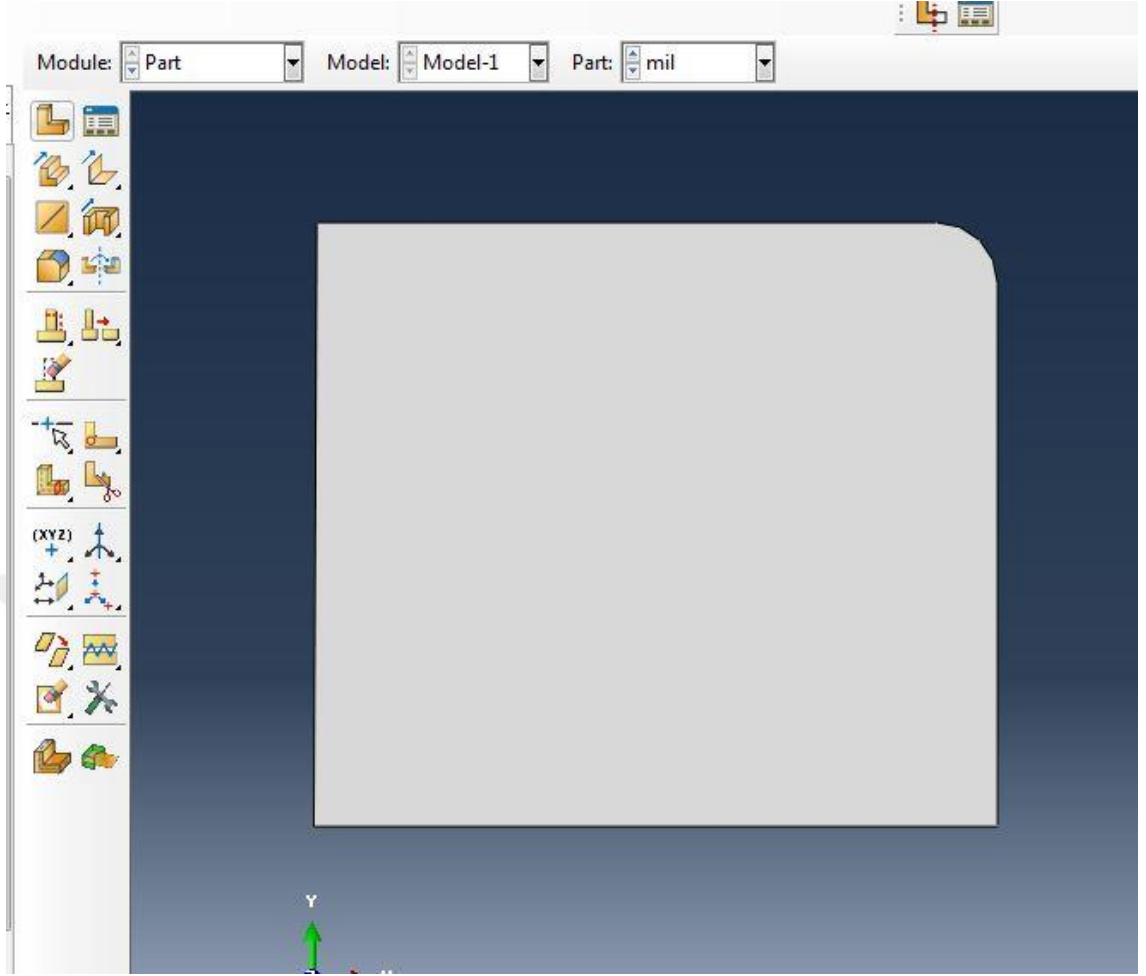


ekil 3. 24. Bilezik Kesiti

### 3.2.1.3. Mil Geometrisinin Olu turulmas,

Keçenin dudak pozisyonu, mile montaj olduktan sonra normal konuma gelece i için analiz çal, mas,nda keçe mile montaj edilecektir. Bu sebeple montaj milinin de tasarlanmas, gerekmektedir. Keçe bilezi i ve elastomerine benzer ekilde tasarlanm, t,r.



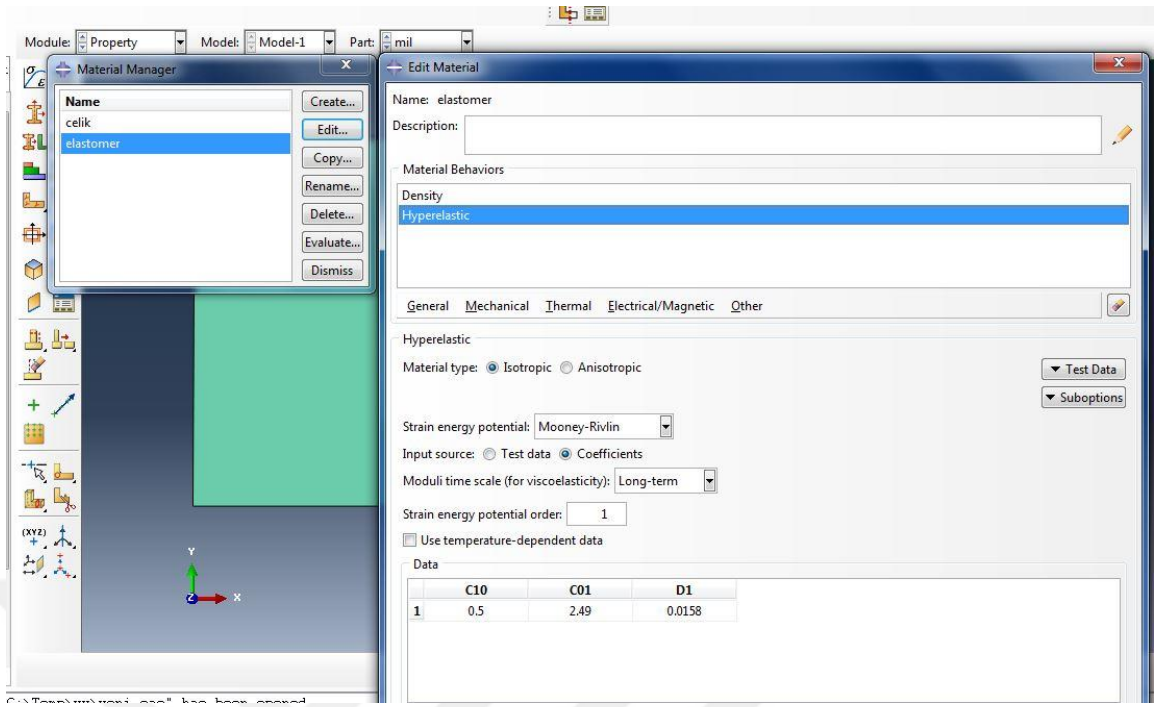


ekil 3. 25 Mil Geometrisi

### 3.2.2. Yays,z Keçe için Malzeme Tan,mılanmas, ve İlgili Kesitlere Atanmas,

#### 3.2.2.1. Elastomer Malzemenin Tan,mılanmas,

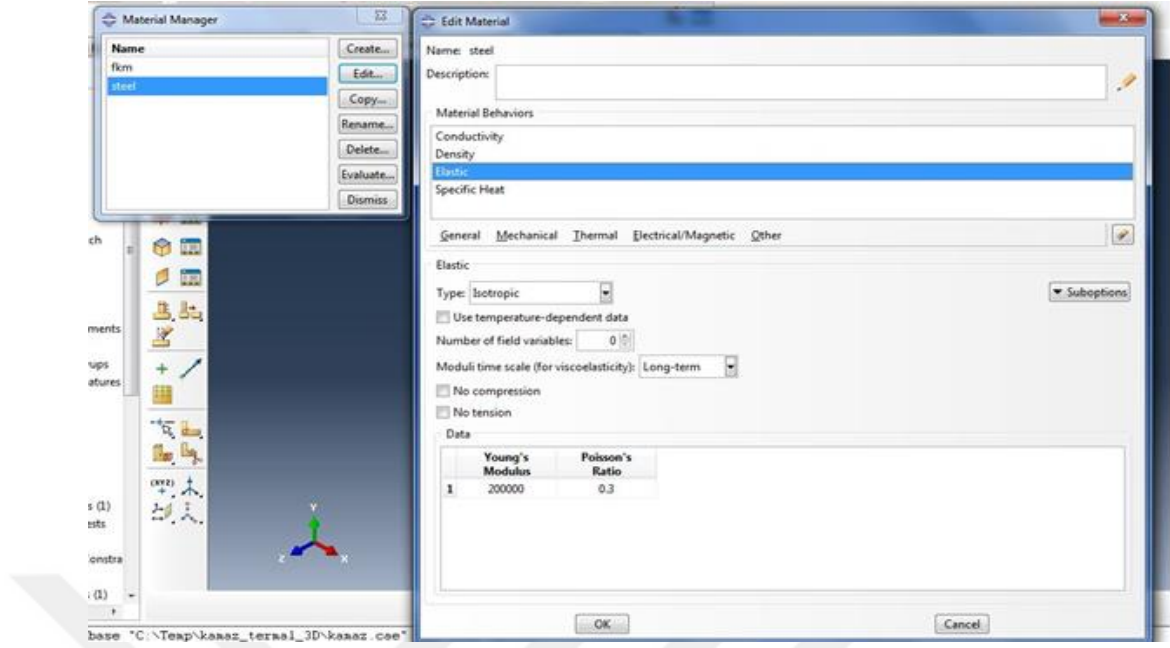
Genellikle literatürde elastomer malzeme için Mooney ó Rivlin malzeme modeli kullan,lmaktadır. Mooney-Rivlin %200ø kadar uzamalarda kullan,lır. Bu amaçla Matlab program,nda fit etme kodlar, olu turulmu ve ek-1 de kodlar, payla ,lm, t,r. FKM malzeme için  $C10=0,5$  ,  $C01=2,49$  ve  $D1=0,015$  olarak hesaplanm, t,r.



ekil 3. 26. Elastomer Malzeme Tan,mlanmas,

### 3.2.2.2. Çelik Malzemenin Tan,mlanmas,

Çelik malzeme firmam,z bünyesindeki spesifikasyonlara göre Abaqus program,na tan,mlanm, t,r. Abaqus program, birim sistemini ay,rt etmedi i bilindi i için çelik verileri de elastomer verileri gibi MPa cinsinden tan,mlanm, t,r.



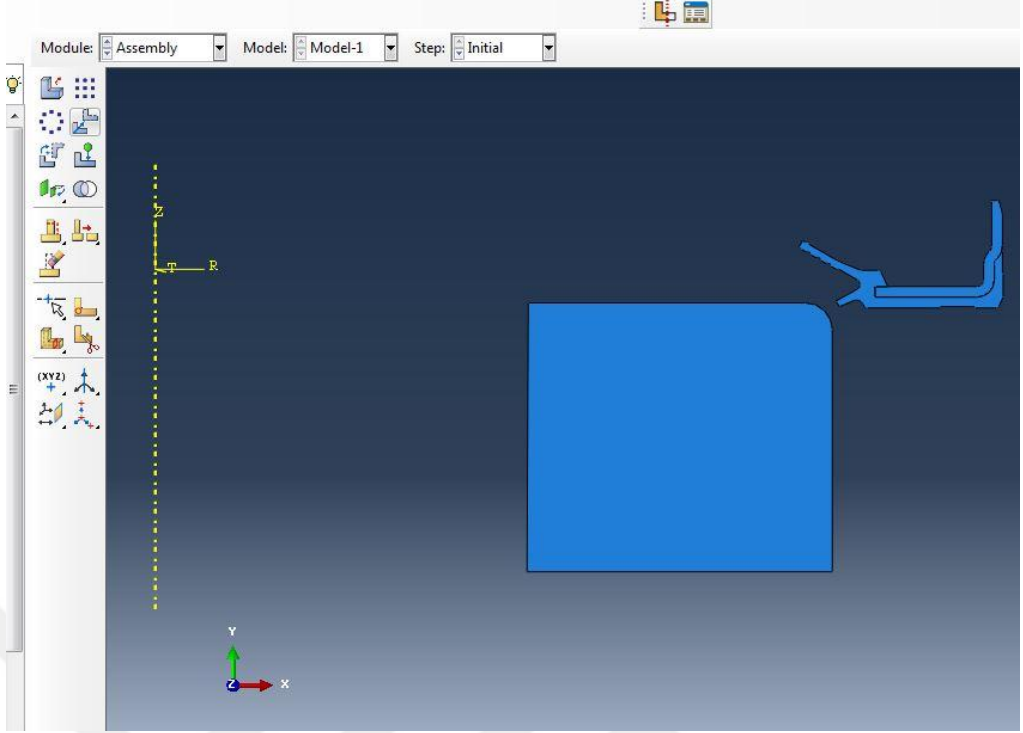
ekil 3. 27. Çelik Malzeme Tanımlanması,

### 3.2.3. Tanımlanan Malzemelerin İlgili Kesitlere Atanması,

Bilindiği üzere Abaqus programında tanımlanan malzemelerin ilgili kesitlere de atanması gerekmektedir. Bu kapsamda çelik ve elastomer kesitlere malzeme atanması, önceki analizde benzer şekilde yapılmıştır.

### 3.2.4. Montaj Tanımlanması,

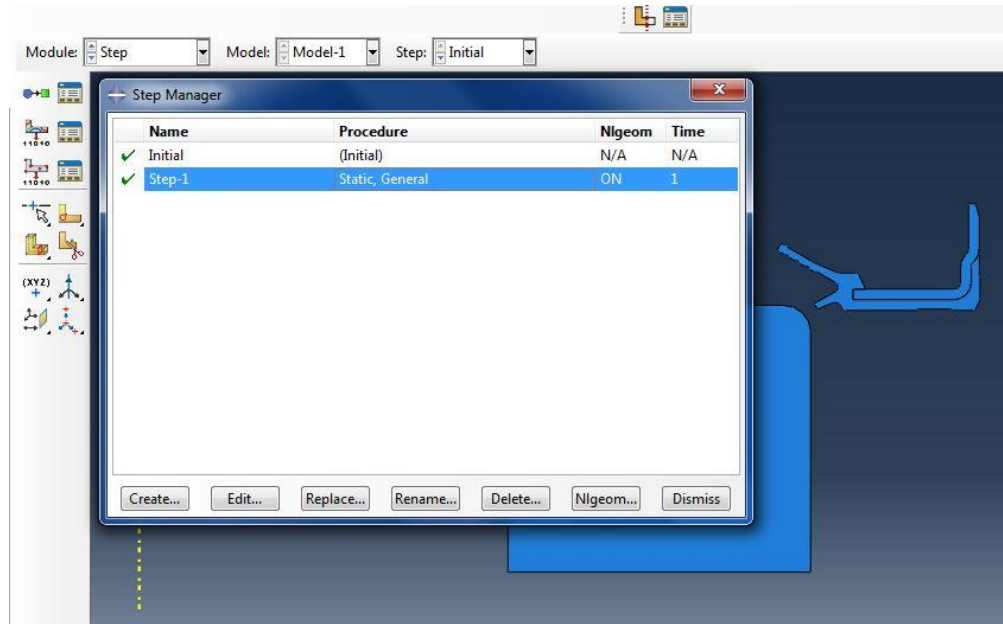
Keçe bileziği, keçe elastomeri ve mil sırasıyla Abaqus programından çağrılmıştır.



ekil 3. 28. Montaj Görüntüsü

### 3.2.5. Step (Ad,m) Tan,mılanmas,

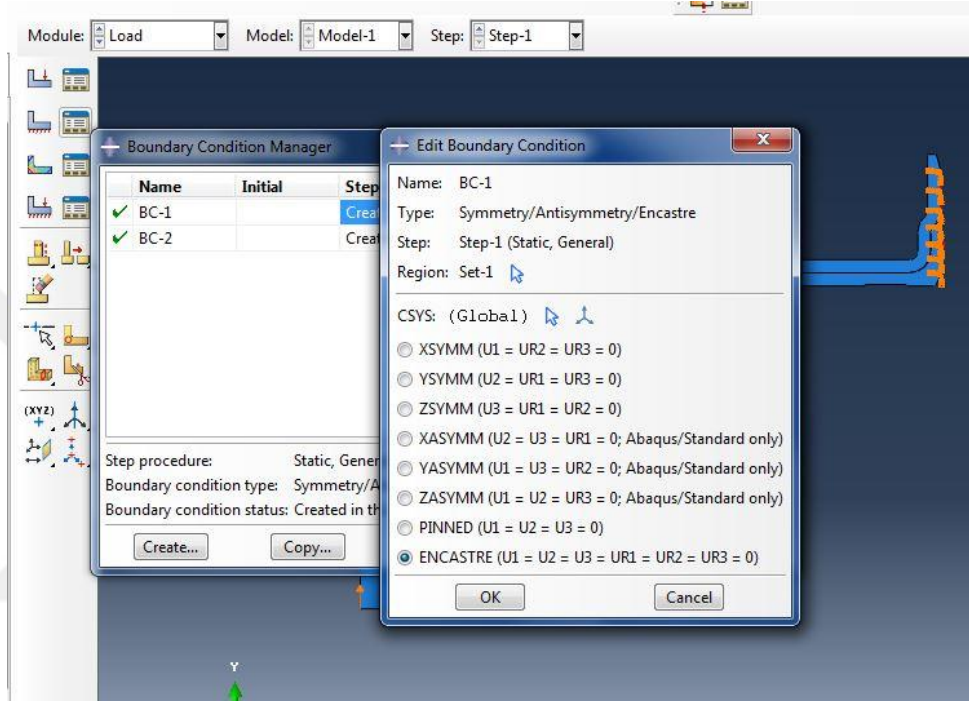
Bu çal, mam,z da keçe analizini tek ad,mdan olu turduk. Keçe montaj,n,n simüle edildi i bir analizdir.



ekil 3. 29. Ad,m Tan,mılanmas,

### 3.2.5.1. Keçenin Yuvada Durma Pozisyonunun Tanımlanması,

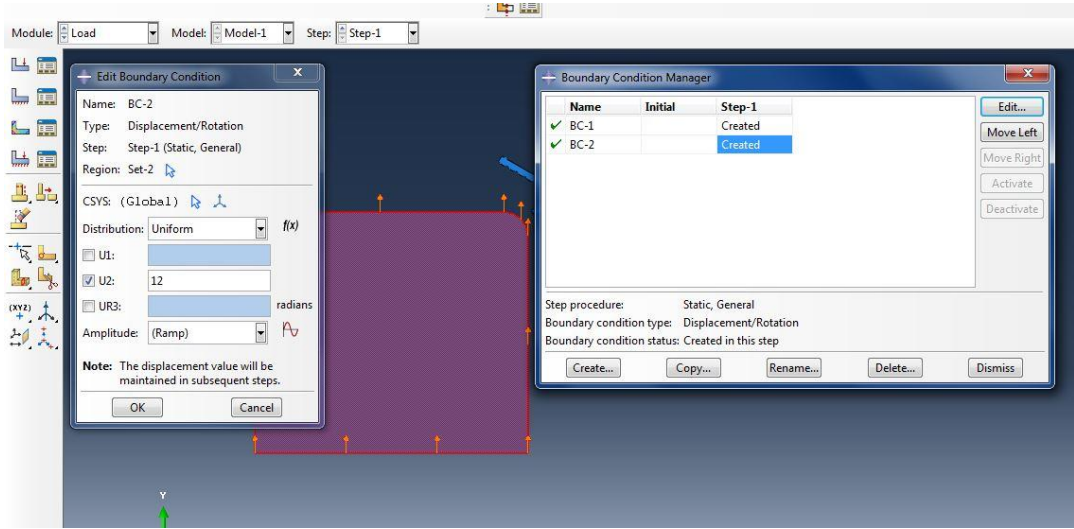
Keçelerin s, k, l, klar, na uygun yuvalara çak, lmas, yla birlikte sabit kalmas, sa lanmaktadır. Bu çal, mam, zda keçenin yuvaya çak, lmas, simüle edilmeyip sabitlenecektir.



ekil 3.30. S, n, r artlar, n, n Tanımlanması,

### 3.2.5.2. Milin Keçeye Montajı Tanımlanması,

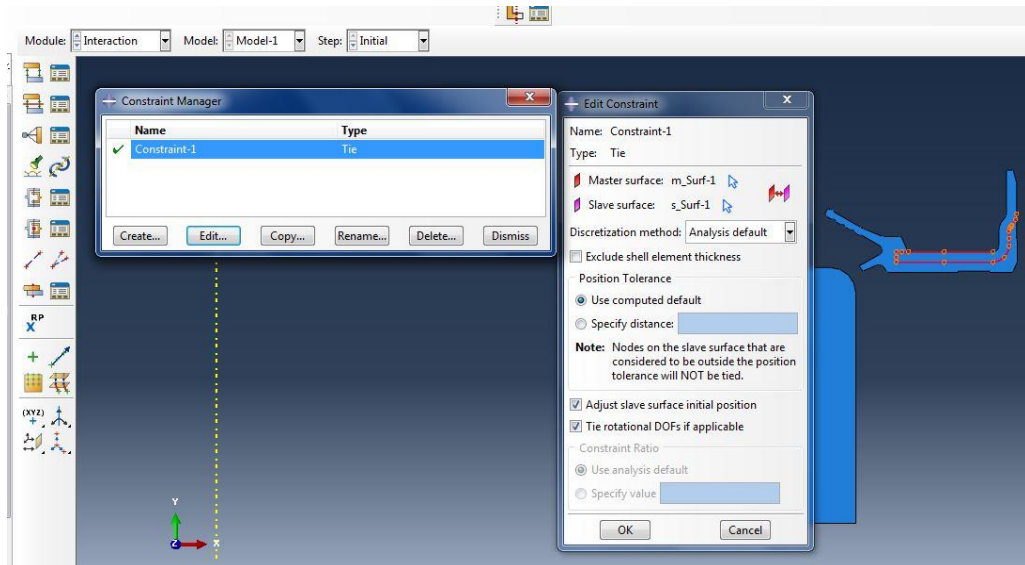
Montaj amaç, nda çak, rlan mile ó Y do rultusunda 12 mm yer de i tirme tanımlan, r. 12mm yer de i tiren mil keçe duda , n, uygun pozisyona getirir.



ekil 3.31. Milin Keçeye Montaj art,n,n Tan,mlanmas,

### 3.2.5.3. Tie (Ba lama) Etkile iminin Tan,mlanmas,

Önceki bölümlerden hat,rlanaca , gibi keçenin en önemli elemanlar,ndan iki tanesi keçे bilezi i ve keçе elastomeridir. Keçeler vulkanize esnas,nda yap, t,r,c, uygulanm, bilezik ve elastomerle kal,p içerisinde birle tirilirler. Abaqus sonlu elemanlar yaz,ı,m, bu etkile imi öTieö ba lant, olarak ele alm, t,r.

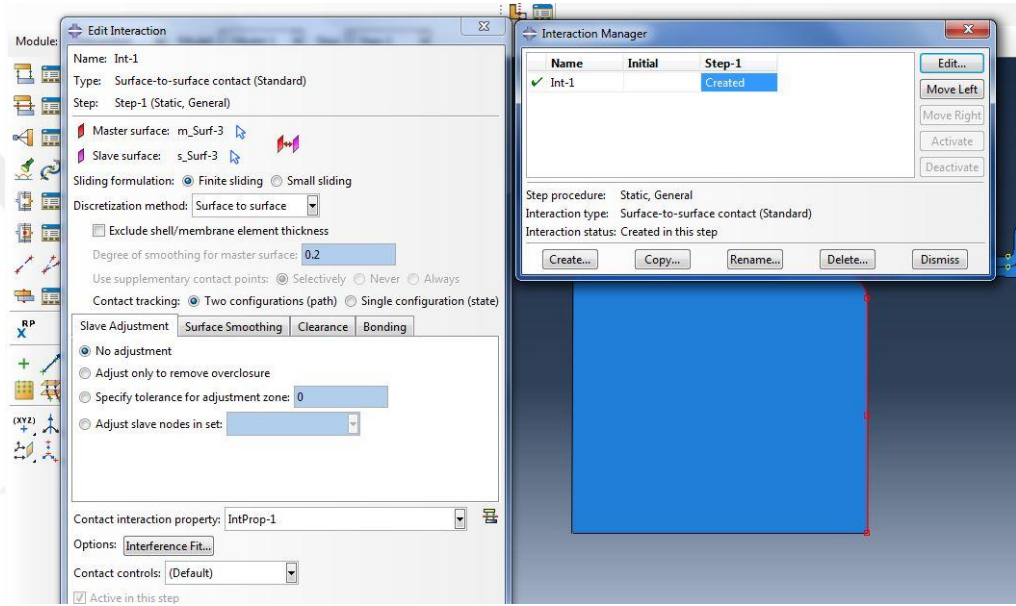


ekil 3. 32. Temas ve Birle me art, Tan,mlanmas,

### 3.2.5.4. Sürtünme Etkileiminin Tanımlanması,

Döner mil keçelerinin dudaklarındaki sıcaklık artışı, en önemli sebebi keçe dudağı ve mil arasındaki sürtünme olayıdır. Bu etkileimin tanımlanması, termal bir analiz için olmazsa olmaz olaydır. Elastomerin triboloji cihazı yapılmış ya da sürtünme katsayısı yaklaşık olarak 0,05 civarındadır.

Keçe dudağı-mil ilişkisi, Abaqus Programı içerisinde yer alan "Surface to Surface" etkileimiyle tanımlanmaktadır.

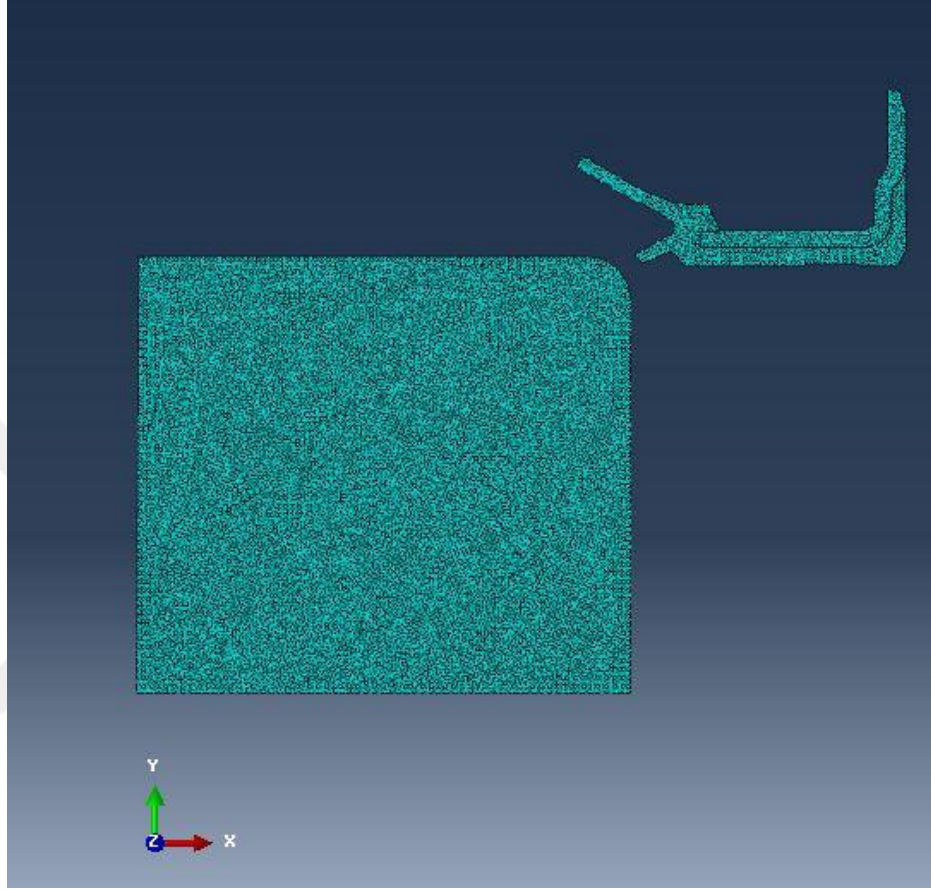


ekil 3.33. Yüzeyler Arasındaki Etkileimin Tanımlanması,



### 3.2.5.5. A Yap,s,n,n Olu turulmas,

A yap,s,nda 2 boyutlu aksenal simetrik (dönel ), hibrit elemanlar kullan,lm, t,r. Bu elemanlara ekil 3.19øda bulunmaktad,r.



ekil 3. 27. Modelin A Yap,s,n,n Olu turulmas,

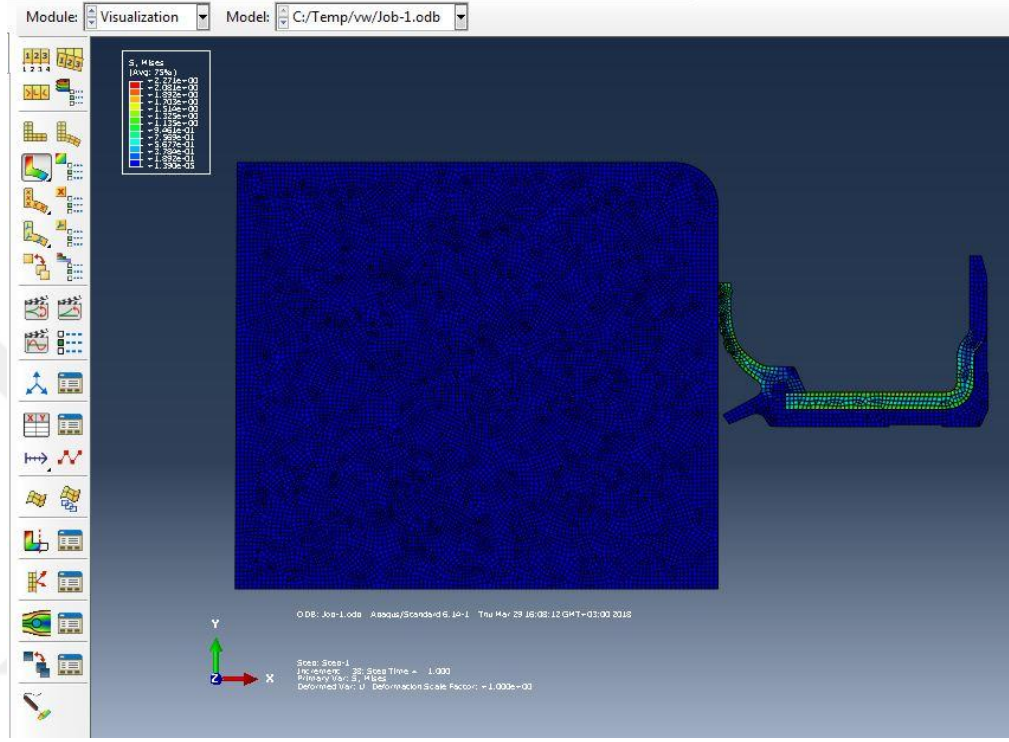
### 3.2.6. in (Job) Olu turulmas,

Analiz programlar,n,n büyük bir ço unlu unda a yap,s, olu turulduktan i tan,mlan,r. Tan,mlanan i onaylanarak analiz çal, mas, ba lat,l,r.



### 3.2.7. Sonuçlar, n Al, nmas,

Olu turulan i in onaylanmas, ndan belirli bir süre sonra analiz al, mas, tamamlan,r. Tamamlanan analiz al, mas, sonras, ilgili sonuç sekmesine t,klayarak sonuçlar görüntülenir.



ekil 3. 28. Montaj Sonucu

#### 4. SONUÇ

Çal, mam,z kapsam,nda döner mil keçesinin sonlu elemanlar modeli olu turularak termal ve gerilme analizi yap,lm, t,r. ekil 3.21 deki gerilme cinsinden sonuç ekran,n, inceledi imiz de en yüksek gerilmenin keçe bilezi i üzerinde oldu u görülmektedir. Keçe bilezi i üzerinde yakla ,k olarak 0,6 MPa gerilme ile kar ,la ,lm, t,r. Keçe bilezi i üzerindeki gerilme bilezi in akma gerilmesi olan 210 MPa dan çok dü üktür.

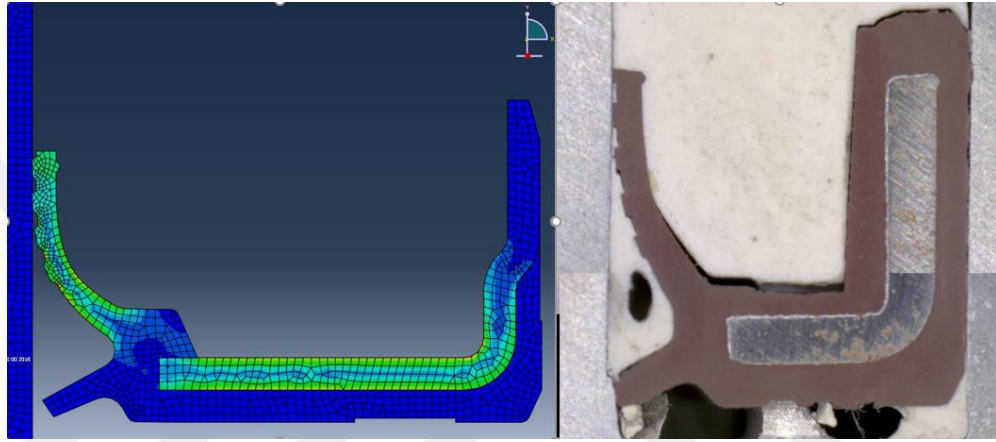
Bilindi i üzere sonlu eleman analizleri gerçek deneylerle desteklenmeye muhtaç,t,r. Sonlu elemanlar modeli olu turulan keçemiz, keçe ömür test cihaz,na ba lanarak test edilmi tir. Test esnas,nda s,cakl,k 66°C civar,ndad,r. Keçe test raporunu ekil 4.1 de görülmektedir.

SKT NO		TİPİ	GÖZ NO	MÜŞTERİ	MÜŞTERİ NO	KULLANIM YERİ	ELASTOMER		
410458-V		L13	1	KAMAZ		DÖNER MİL KEÇESİ	KFD-415		
GERÇEKLEŞEN TEST SÜRESİ (GÜN / SAAT)		BAŞLAMA TARİHİ		BİTİŞ TARİHİ	TEST MAK. NO	TEST NEDENİ	PARÇA LOT NO		
2 / 48		28.05.2018		30.05.2018	132302 \ 10	DEVREYE ALMA	3		
TESTİN YAPILIŞ SEBEBİ									
YENİ TEST ŞARTLARINDA 2 GÜNLÜK TEST OLARAK ÇAUŞTIRILDI. YAY EKLEME ÇAPI 83 mm. 3 NOLU TEST									
MİL		YUVA			TEST SIVISI				
Mil Çapı (mm)	80	Yuva Çapı (mm)	105		Marka	MOBİL			
Malzeme	12.842	Yuva Derinliği (mm)	13,00 / 18,5		Tip / Standart	85W / 90			
Sertlik (HRC)	61 HRC	Malzeme	14.140		Viskozite 40°C / 100°C	153 / 15,3 (mm/s)			
Salgı	0,07	Mile Göre Kaçıklık	0,05		Max Çalışma Sıcaklığı (°C)	216			
Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)	0,28	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)	0,43		Min Çalışma Sıcaklığı (°C)	-36			
Yüzey Pürüzlülüğü (Rz)	2,02	Yüzey Pürüzlülüğü (Rz)							
Yay Malzemesi	EN 10270-1			Yay Ölçüsü	0,40 x 2,05 x 83,00 (Ek Ø)				
TEST PROGRAMI									
Adm No	Adm Zamanı (Dak.)	Sıcaklık (°C) ± 1 °C		Devir (rpm)	Mil Dönüş Yönü		Hava Hattı		
					Sağ	Sol	Açık	Kapalı	
1	48	20		500	✓				
2	12	20		0					
3									
4									
Adm Süreleri Toplamı (Dakika)		60	Toplam Çevrim Sayısı	48	Hedeflenen Toplam Çalışma		2880	48 / 2	
TEST ÖNCESİVE SONRASI ÖZELLİKLER									
ÖZELLİKLER		ÖNCE	SONRA	ÖZELLİKLER			SONRASI		
Yaysız İç Çap (mm)		78,54	79,2	Sürtünme Yüzey Genişliği (mm)			0,21		
Yaylı İç Çap (mm)		78,15	78,38	Dudakta Çatlama (Var / Yok)			YOK		
2. Yaysız İç Çap (mm)				Dudak Sertliği (IRHD)					
2. Yaylı İç Çap (mm)				Dudakta Sertleşme (Var / Yok)			YOK		
Toz Dudak İç Çap (mm)				Sızan Yağ Miktarı			0,00 Gr.		
Kauçuk Dış Çap (mm)		105,31	105,11	Yuvadan Sızma			0,0 Gr.		
Metal Dış Çap (mm)		105,21	105,07	Çapta Daimi Kalıcılık - Yaysız (%)			0,83%		
Ovallik		0,01/0,01	0,02/0,03	Çapta Daimi Kalıcılık - Yaylı (%)			0,29%		
Dudağın Dış Çapa Göre Kaçıklığı		0,11	0,32	Dudakta Karbonlaşma (Var / Yok)			VAR		
%10 Uzamada Yay Yüğü (g)		433	404	Yayda Bozulma (Var / Yok)			VAR		
Çapsal Yük - Yaysız (N)		13,4	6,2	Dış Çap Deformasyon (Var / Yok)			YOK		
% Çapsal Yük Kaybı - Yaysız			54%	Dudakta Deformasyon (Var / Yok)			YOK		
Çapsal Yük - Yaylı (N)		27,3	21,1	Milde Aşınma (Var / Yok)			YOK		
% Çapsal Yük Kaybı - Yaylı			23%	Mil Yüzeyinde Deformasyon (Var / Yok)			YOK		
Konkavlık Ölçüsü (mm)		0,02		Mil Yüzeyinde Çalışma İzi (mm)					
Mil Salgısı		0,07		Parçada Gres Var mı (Var / Yok)			VAR		
DUDAK SICAKLIĞI BİLGİLERİ									
Gün	Adm No	Dakika	Devir (Rpm)	Sıcaklık (°C)	Gün	Adm No	Dakika	Devir (Rpm)	Sıcaklık (°C)
1	48	33	500	66,1					
2	48	11	500	65,8					
İLAVE BULGU VE DEĞERLENDİRMELER									

ekil 4. 1. Döner Mil Keçesi Test Raporu

ekil 3.21'deki sıcaklık sonuç ekranına bakıldığında keçe dudağında yaklaşık olarak 60°C sıcaklık olduğu görülmektedir. Test raporu ve sonlu elemanlar analizi arasında yaklaşık olarak %5 dolaylarında fark vardır.

Yaygın keçe ile yapılan montaj analizi ile araldit kalıplama (Montaj konumundaki iken araldit malzemesi ile dondurularak kesit alınarak keçe görüntüsü elde edilme yöntemi) ile elde edilen keçenin gerçek montaj halindeki durumu bire bir benzerlik göstermiştir. ekil 4.2 de detaylı olarak görülmektedir.



**ekil 4. 2.** Montaj Analiz Karşılaştırılması,

Sonuç olarak sonlu elemanlar analizi yapılmış keçe ile üretilmiş keçe arasında büyük bir uyum görülmüştür. Keçe prototipin üretilmesi ve bu prototipin testleri ile elde edilen bilgilerle tasarımdeki değişikliklerinin bir döngü halinde gerçekleştirilmesi ile doğrudan ürüne ulaşılması, çok uzun süreler ve yüksek maliyetler almaktadır. Bu tez çalışmasında bu deneme-yanılma döngüsüne gerek kalmadan simülasyonlar ile yapılan iyileştirmeler sonucunda doğrudan ürüne daha kısa sürede ve çok daha düşük maliyetler ile ulaşılabilirliği görülmüştür.

## KAYNAKLAR

**Anonim, 2018.** Abaqus Script 2018, Dassault Systemes, Fransa

**Anonim, 2016.** Keçe al, ma prensibi. <https://www.machinedesign.com/mechanical/3-factors-affecting-your-seals-life-span> (Eri im tarihi:18.11.2018)

**Aydo an, M., 2013.** Yap, Sistemlerinde Sonlu Elemanlar, T Ders Notu

**Flitney, R. 2014.** Seals and Sealing Handbook, Elsevier, Oxford, ngiltere, 648 pp.

**Güler, M.S., en, S. 2015.** Sonlu Elemanlar Yöntemi Hakk,nda Genel Bilgiler. *Ordu Üniversitesi Bil. Tek. Dergisi*, 56-66

**Horve, Les. 1996.** Shaft Seals For Dynamic Applications, Marcel Decker, NewYork, ABD, P:107.

**Salant, R.F. 1992.** On the sealing mechanism of lip seals containing micro-undulations, 13th Int. Conf. Fluid Sealing, Cranfield, ngiltere

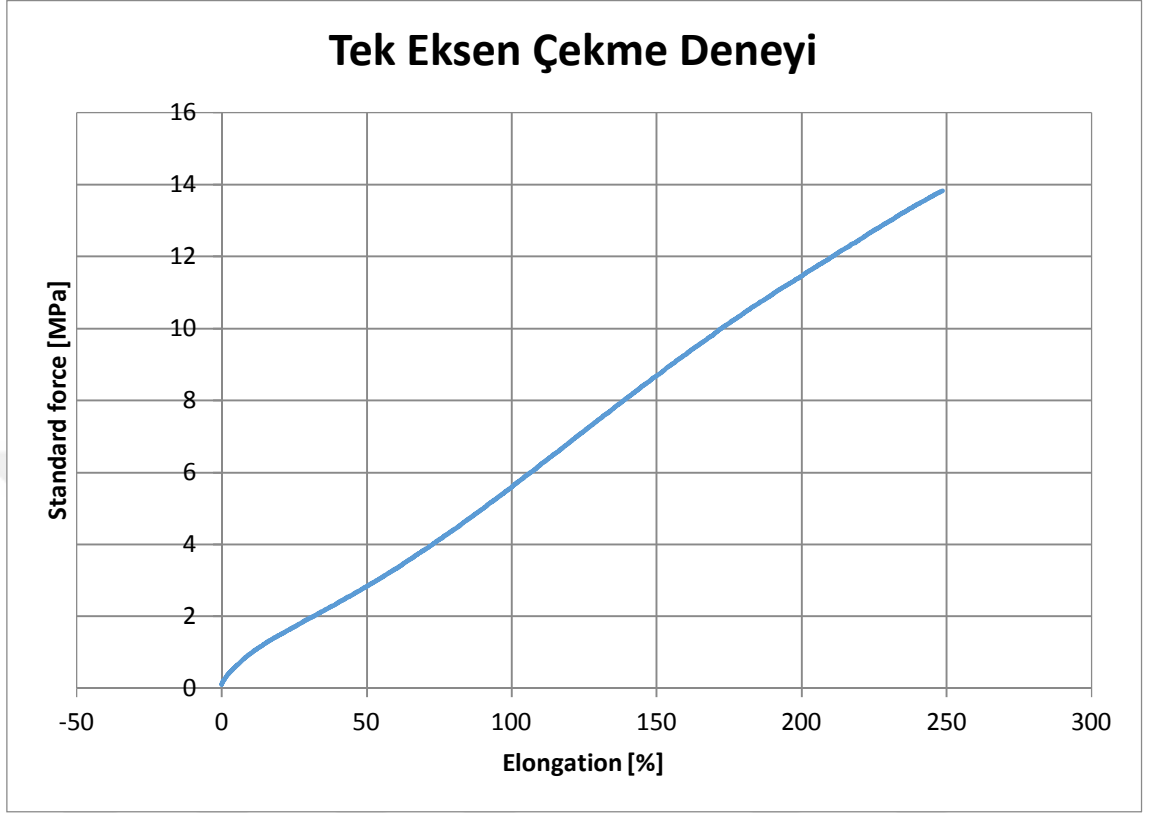
**Türkel, A.K. 2016.** Keçe Tipleri. <http://www.skt.com.tr/kece-kodlama-ve-genel-tip-tanimi> (Eri im tarihi:29.12.2018)

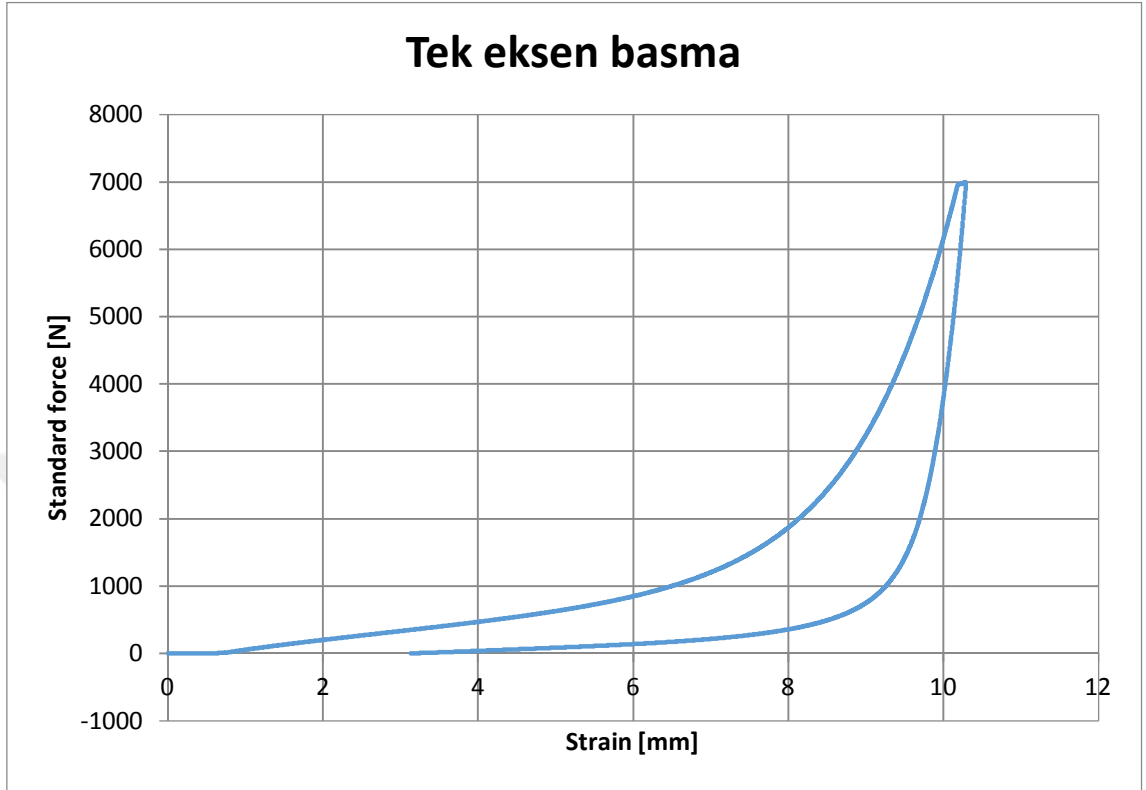
**Türkel, A.K. 2016.** SKT Sealing Handbook, SKT, Bursa, Türkiye, 104 s.

## **EKLER**

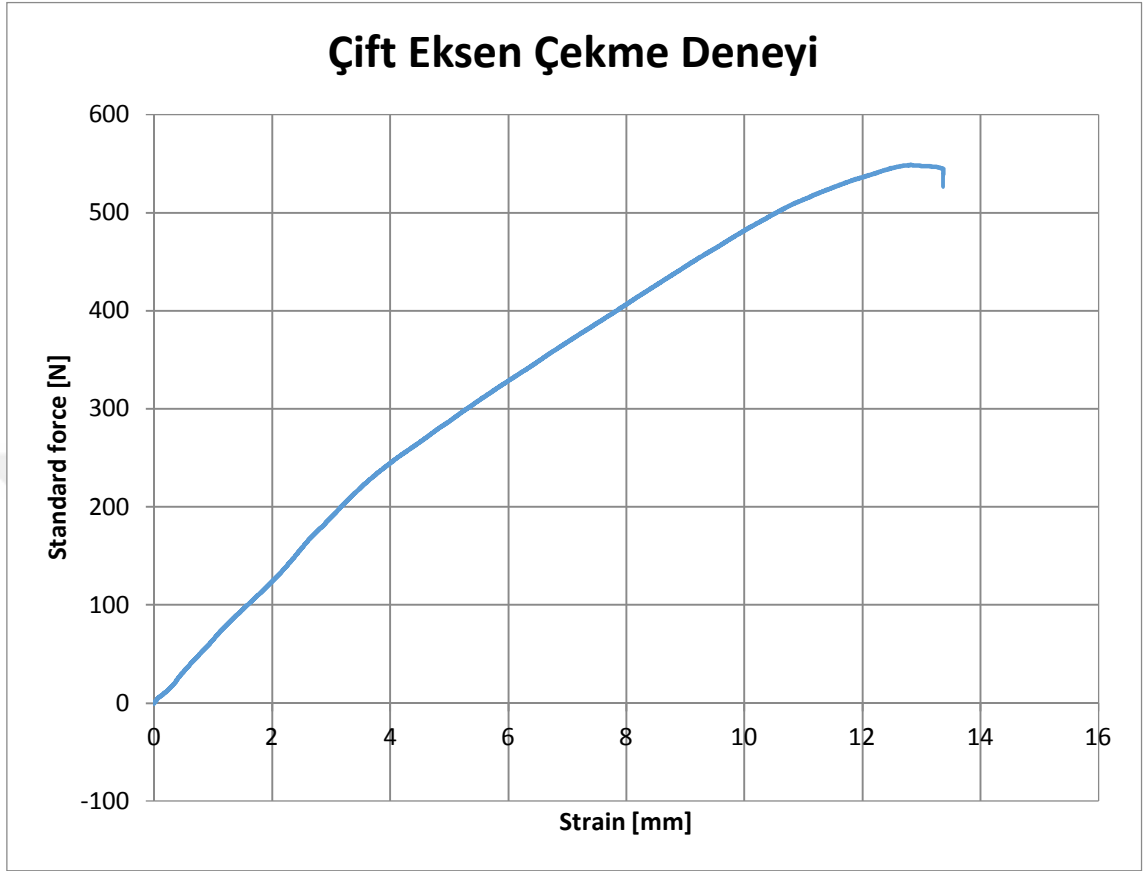
- EK 1** Tek eksen çekme deneyi raporu  
**EK 2** Tek eksen basma deneyi raporu  
**EK 3** Çift eksen çekme deneyi raporu  
**EK 4** Safi Kayma deneyi raporu  
**EK 5** Triboloji deneyi sonuç görseli

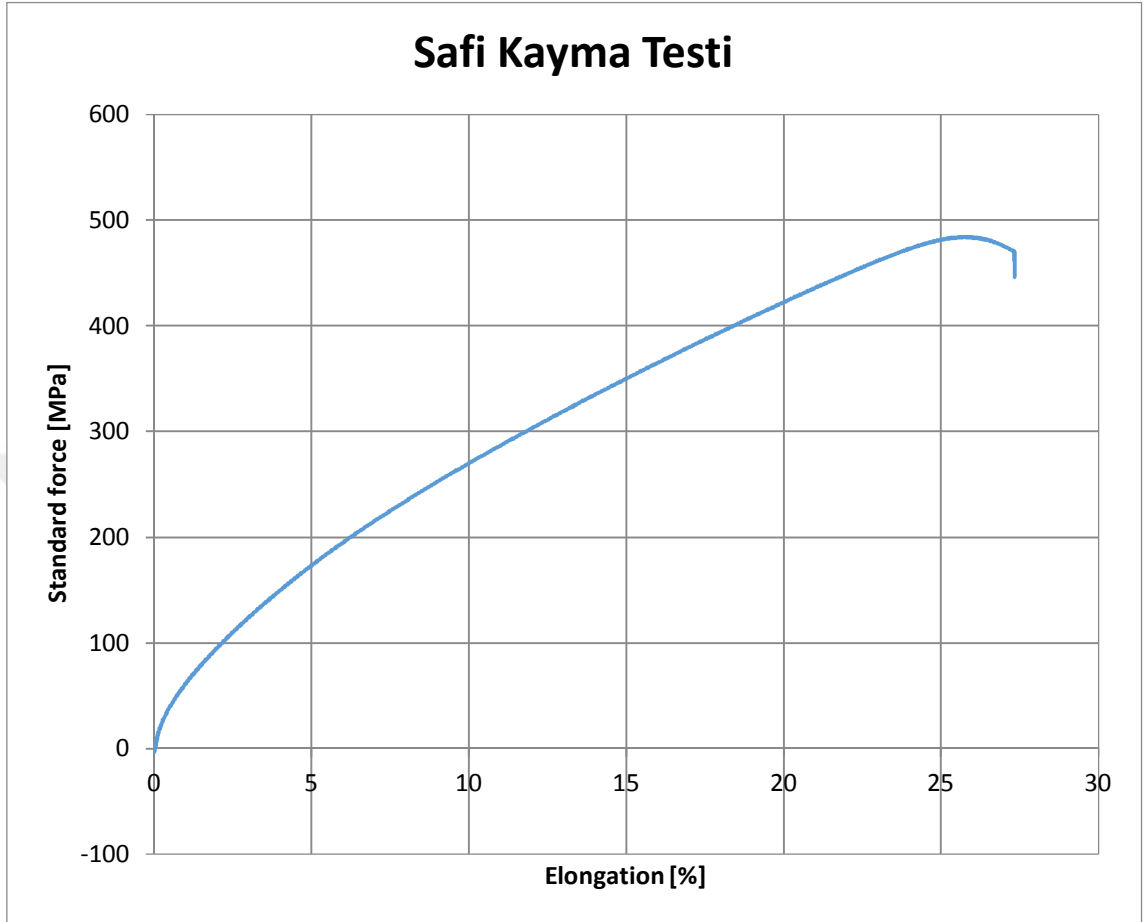




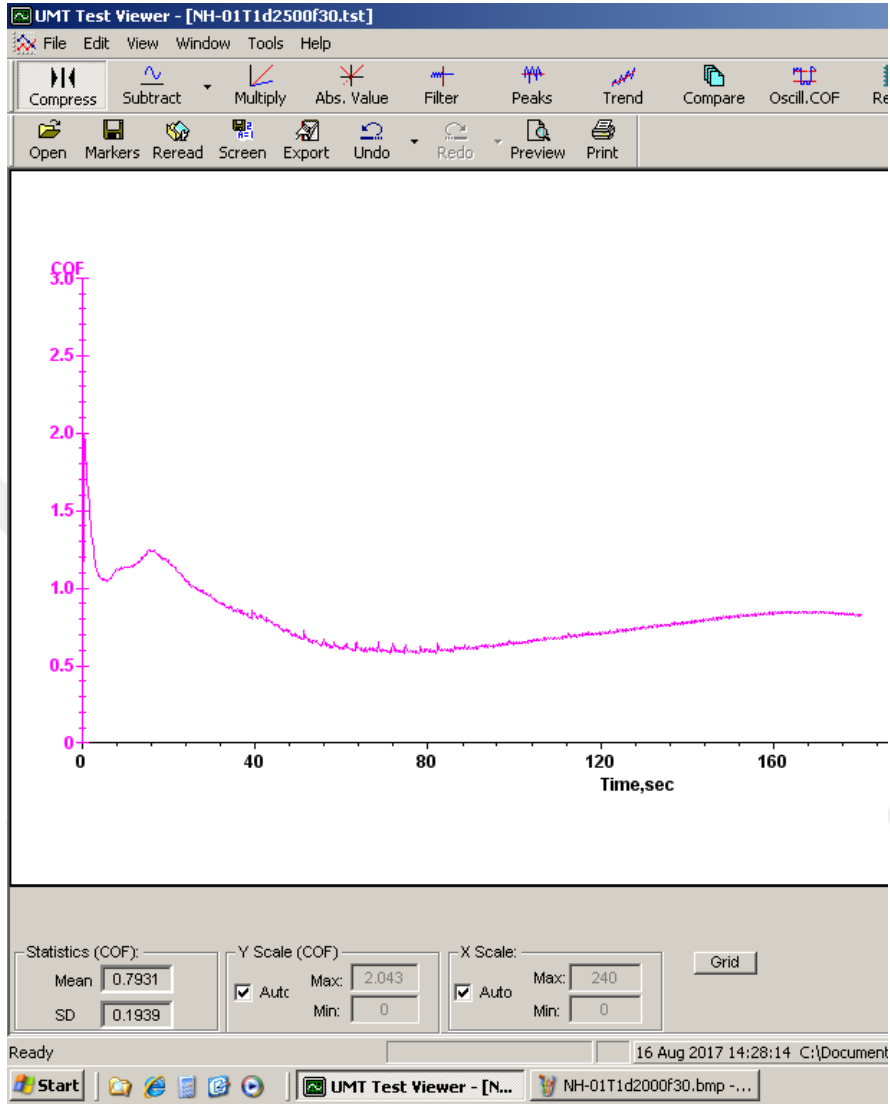








## EK 5 Triboloji deneyi sonuç görseli



## ÖZGEÇM

Ad, Soyad, : smail SARAÇ

Do um Yeri ve Tarihi :Kütahya1988

Yabancı, Dili : İngilizce, Almanca

E itim Durumu (Kurum ve Y,l)

Lise : Bursa K,z lisesi 2007

Lisans : Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisli i

2013

Çalış t, , Kurum/Kurumlar ve Y,l

❖ SKT A. . A ustos 2014-Halen

İletim (e-posta) :

[ismailsarac88@gmail.com](mailto:ismailsarac88@gmail.com)

[ismailsarac@skt.com.tr](mailto:ismailsarac@skt.com.tr)