DÖNER MİL KEÇELERİNDE KONTAK YÜKÜNÜN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE ELDE EDİLMESİ[1]

Mustafa Kubilay ERDOĞAN[1], Cihan DEMİR[2]

[1-2]Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul / Türkiye

Öz: Döner mil keçeleri makine elemanları sınıfına ait komponentlerdir ve endüstri, otomotiv, savunma, beyaz eşya gibi akışkan sızdırmazlığı istenen temel birçok uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır.Döner mil keçeleri tarafından sızdırmazlığın sağlanabilmesi için sistemdeki pek çok parametrenin uygun değer aralıklarında olması gerekir. Bu parametrelerin en kritik olanlarından bir tanesi kontak yükü ve basıncıdır. Bu çalışmada kontak parametreleri sonlu elemanlar yöntemi, deneysel çalışmalarla ve ampirik formüllerle elde edilmiştir. Kontak yükü (çapsal yük) keçe dudağının mil çevresine uyguladığı yük olarak tanımlanmaktadır. Çapsal yük Garter yayı ve kauçuk eleman tarafından uygulanan kuvvetler olmak üzere iki bileşenden oluşur. Kauçuk elemanın kuvvete etkisi de ikiye ayrılır; keçe iç çapı ile mil çapı farkından (sıkılık) ve mile geçince uzamasından dolayı oluşan yük. Bu yükü sonlu elemanlar yöntemiyle elde edebilmek için Ansys APDL programı kullanılmış ve bir matematiksel model oluşturulmuştur. Bu modelde kauçuk malzemenin nonlineer özellikleri, keçe dudağı ile mil arasındaki sıkılık ile kontak genişliği ve Garter yayının kauçuk eleman üzerindeki etkisi dikkate alınmıştır. Kauçuk malzeme için hiperelastik malzeme modellerinden olan iki terimli Mooney-Rivlin modeli kullanılmış ve tek eksenli çekme testinden elde edilen veriler ile eğri uydurarak katsayılar elde edilmiştir. Keçe dudağı ile mil arasındaki sıkılığı ifade etmek için kontak elemanlar (TARGE169,CONTA172) kullanılmıştır. Çapsal yük ayrıca deneysel olarak ve ampirik formüllerle de elde edilmiştir. Deneysel olarak elde edilen kontak yükü ile sonlu elemanlar analizi ve ampirik matematiksel denklemler ile elde edilen yükler arasında uyum gözlemlenmiştir. Elde edilen sonlu elemanlar modeli sıcaklık değişimi altında aşınma problemi için en uygun kesit elde edilmesinde kullanılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Döner Mil Keçesi, Kontak Yükü, Çapsal Yük, Nonlineer SEA, Mooney-Rivlin

GİRİŞ ve KURAMSAL ÇERÇEVE

Sızdırmazlık elemanların tarihi Archimedes'in su deplasmanı mekanizmalarında deri sızdırmazlık elemanları kullanımından, 15. Yüzyılda Leonardo Da Vinci'nin su pompasına benzer uygulamalarda sızdırmazlık elemanları kullanımına kadar dayanmaktadır. İlk sanayi uygulamalarından olan Danimarkalı makine mühendisi Niels A.Christensen tarafından üretilen elastomer elemanlarla gerçekleştirilmiştir. Geçmişten günümüze kadar

1 Yazar Notu: Bu çalışma Doç.Dr.Cihan DEMİR tarafından danışmanlığı yapılan Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği "Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yapılmakta olan Mustafa Kubilay ERDOĞAN'ın "DÖNER MİL KEÇELERİNİN DİNAMİK DAVRANIŞININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE ANALİZİ" Konu Başlıklı, Yüksek Lisans Tez çalışmasından türetilmiştir.

endüstri, otomotiv,savunma, beyaz eşya gibi akışkan sızdırmazlığı istenen temel birçok uygulamada yaygın olarak kullanılmıştır (AREVYAN, 2010).

Sızdırmazlık elemanları temelde statik ve dinamik olarak iki gruba ayrılabilir. Döner mil keçeleri dinamik sınıfta yer almaktadır. Dönen bir mil ile sabit bir yuva arasında sızdırmazlığı sağlamak için kullanılırlar. Döner mil keçeleri makinelerin ömürlerinde ve güç tüketimlerinde önemli bir rol oynarlar. Farklı uygulama alanlarında, farklı boyutlarda ve çeşitlerde geniş bir sızdırmazlık elemanlarının kullanımı mevcuttur. Buna örnek olarak otomotiv endüstrisinde kullanıldığı yere göre isimlendirilir. Tekerlek keçesi, pinyon keçesi, şanzıman keçesi, krank keçesi gibi (AKGÜL, 1986).

Bu çalışmada toz dudaklı, 40x62x10 sırasıyla mil çapı, yuva çapı ve yükseklik ölçülerinde döner mil keçesinin kontak yükü(Çapsal yük) farklı metotlarla elde edilmiştir. Kontak yükünün parametrelerinde bir tanesi de malzeme cinsidir ve bu çalışmada Akrilonitril bütadien kauçuk (NBR) malzemeli bir döner mil keçesi kullanılmıştır. Bu kauçuk endüstride sıkça kullanılır. Yağ ve yakıtlara karşı dayanıklı, sentetik bir kauçuktur. Nitril içeriği arttıkça petrol esaslı yağlara direnci artar. Sanayide kullanılan yağlara ve greslere karşı dayanıklıdır. Yağ keçesi, hidrolik ve pnömatik keçe ve o-ring gibi pek çok dinamik ve statik sızdırmazlık elemanının imalatında kullanılan başlıca elastomerdir. Uygun çalışma sıcaklığı -30°C ile +100°C arasıdır.[2]

Keçe ömrü kontak yükü ile doğrudan ilişkilidir. Bu yükün az olması titreşim, aşınma ve eksen kaçıklığı gibi negatif etkilerin olduğu durumlarda keçede kaçağa sebep olurken, yüksek olması yüksek sürtünme ve buna bağlı olarak yüksek aşınma ve ısınmaya sebep olacak ve bu etkenlere bağlı olarak yine keçede kaçağa sebep olacaktır. Bu yüzden kontak yükü optimize edilmesi gereken bir parametredir (JOSHİ, ROBERTS, & GHONEIM, 2017). Bu optimizasyonda keçe malzemesi (kauçuk türü), geometri, keçe dudağı ile mil arasında olan sıkılık ve garter yayının etkisi dikkate alınması gereken parametrelerdir.

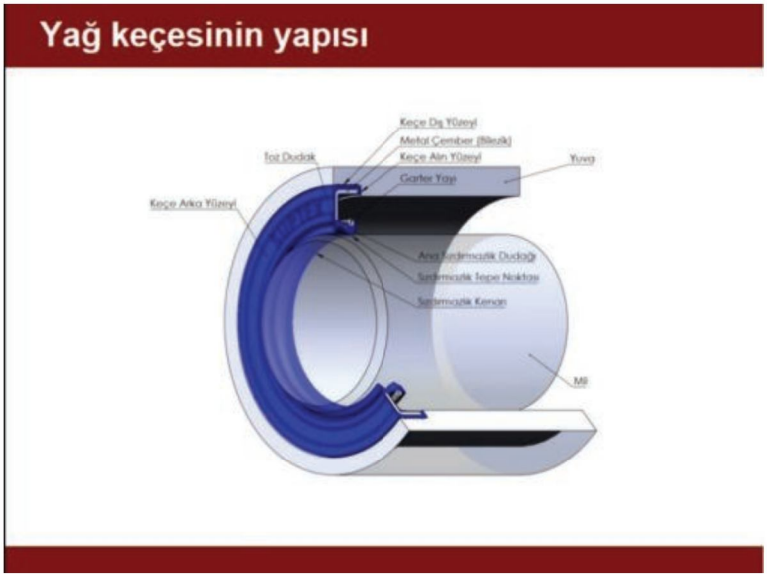
AMAÇ

Bu çalışmanın amacı, döner mil keçelerinin sızdırmazlığını sağlayabilmesi için kritik bir parametre olan kontak yükünün, sonlu elemanlar yöntemi, deneysel yöntem ve ampirik formüllerle elde edilmesidir. Sonlu elemanlar yöntemi analizinin en doğru sonucu vermesi için modelleme yaklaşımı, eleman ve temas tipleri, koşulları gerçeğe en yakın sonucu verecek şekilde oluşturulmuştur. Elde edilen bu model sayesinde aşınmaya maruz kalan bir keçenin kontak yükünün nasıl değiştiği ve sızdırmazlığı uzun süre sağlayabilmesi için en uygun keçe kesitinin nasıl olması gerektiği belirlenecektir.

KAPSAM

Bu çalışma Şekil 1'de 3 boyutlu olarak metal bilezik ve garter yayıyla beraber görülebileceği gibi, toz dudaklı 40x62x10 ölçülerinde bir döner mil keçesinin kontak yükünün sonlu elemanlar yöntemi, deneysel olarak ve ampirik formüllerle elde edilmesini kapsamaktadır.

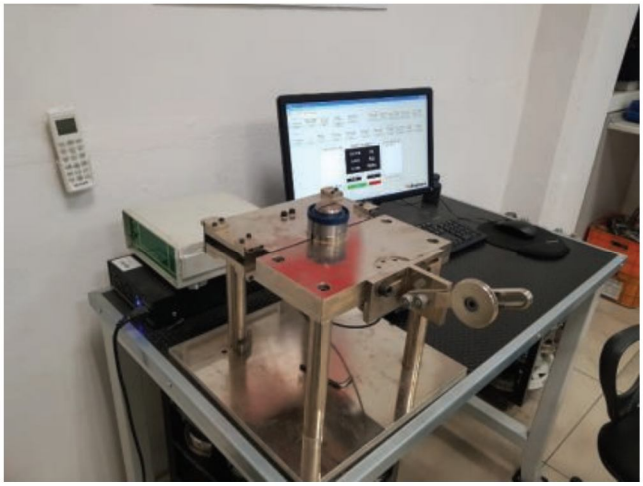
2 https://www.suptex.com/index.php?page=elastomerler&lang=



Şekil 1. Üç boyutlu döner mil keçesi ve bileşenleri

YÖNTEM

Çalışmada üç farklı yöntemle kontak yükü elde edilmiştir. Birinci yöntem olarak NBR malzemeden üretilmiş 10 numune Şekil 2'de görülen "Çapsal yük ölçüm cihazı" ile ölçülmüştür. Bu ölçümde keçeler önce garter yaysız olarak ve sonrasında yayı takılarak ölçülmüştür.



Şekil 2. Çapsal Yük Ölçüm Cihazı

İkinci yöntem olarak ampirik formüller yardımıyla kontak yükü bulunmuştur.Keçe kesitinin CAD modeli üzerinden ölçüler alınmış ve formüllerde yerine konulmuştur.

$$F_S = 2\pi\left[1 - \frac{R_r}{L}\right]F \quad \text{(Ib)} \tag{1}$$

$$F_B = \frac{\pi}{8}E_W D_1\left(D_S - D_L\right)\left(\frac{t}{L}\right)^3 C \quad \text{(Ib)} \tag{2}$$

$$F_R = 2\pi E_A A\left(\frac{D_S - D_L}{D_C}\right)\left(\frac{L_C}{L}\right)^2 C \quad \text{(Ib)} \tag{3}$$

$$F_T = F_S + F_B + F_R \quad \text{(Ib)} \tag{4}$$

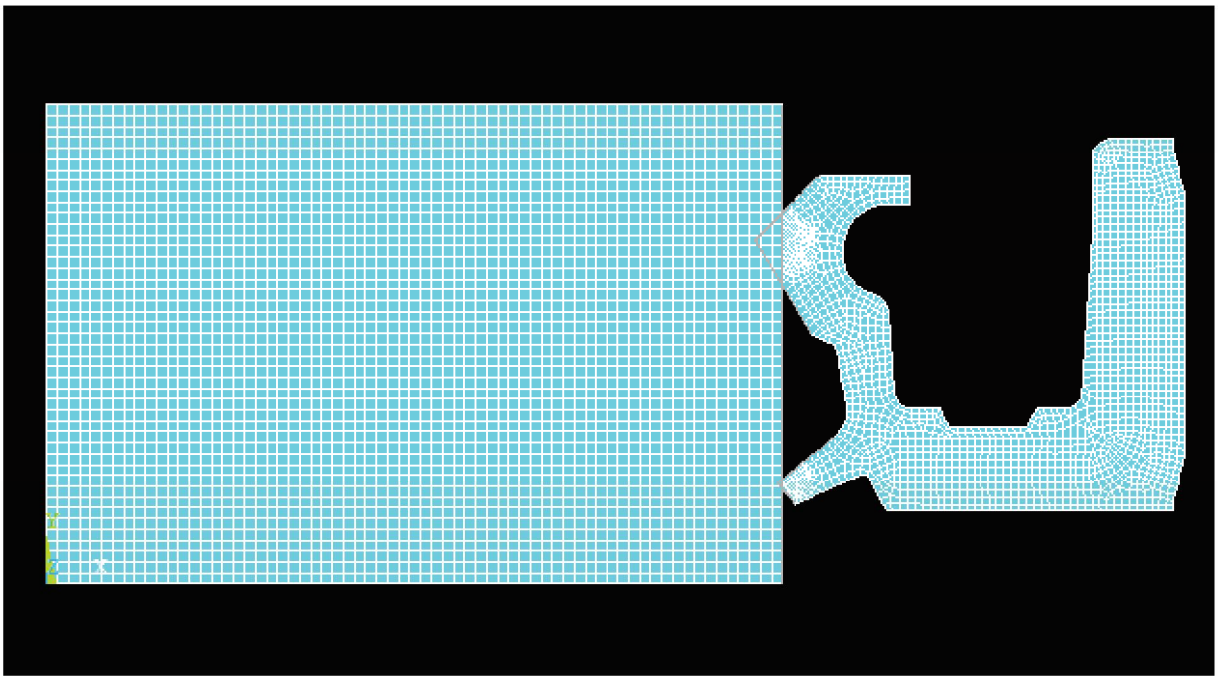
Burada; A keçe dudağının kesit alanı; C elastomerin baskı faktörü (yaklaşık 0.85); D1,D2 sırasıyla eksek noktanın çapı ve keçe taban çapı; Dc kesitin ağırlık merkezinin çapı; DL dudak iç çapı; DS mil çapı; EA,EW %5 birim şekil değiştirmede elastomer modül değeri; F,FS,FB,FR,FT sırasıyla yay gerilimi, yayın sağladığı kuvvet, sıkılıktan oluşan kuvvet, dudak ötelenmesinden oluşan kuvvet, toplam kuvvet; H kontak noktası ile taban arasındaki mesafe;LC,L ağırlık merkezi ile esnek nokta arasındaki mesafe, dudak kontak noktası ile esnek nokta arasındaki mesafe; Rr dudak offset değeri; t esnek noktanın kalınlığıdır. (HORVE, 1996)

Üçüncü yöntem olarak Ansys APDL programı yardımıyla sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Bu analizde keçe malzemesini (kauçuk) modele aktarabilmek için Şekil 3'de görülen tek eksenli çekme cihazından faydalanılmıştır ve gerilme-birim şekil değiştirme grafiği elde edilmiştir. Değerler Ansys programına girilip, eğri uyumlatılarak iki parametreli Mooney-Rivlin katsayıları elde edilmiştir. Keçenin sacı ve mil için çelik malzeme özellikleri girilmiştir.

Model keçenin geometrik özelliklerinin uygun olmasından dolayı aksisimetrik eleman (PLANE183) kullanılarak oluşturulmuştur. Keçe dudağı ile mil arasındaki sıkılık(penetrasyon) Şekil 4'de görülebileceği gibi dikkate alınmıştır.



Şekil 3. Tek eksenli çekme cihazı



Şekil 4. Keçe dudağı ile mil arasındaki sıkılık(Penetrasyon)

Herhangi bir kuvvet uygulamadan sadece yer çekimi aktif edilerek kontak basınçları bulunmuş ve keçe dudağının çevresel olarak mile basma mesafesi ölçülüp, basınç ile çarpılarak kontak kuvveti bulunmuştur. Keçe

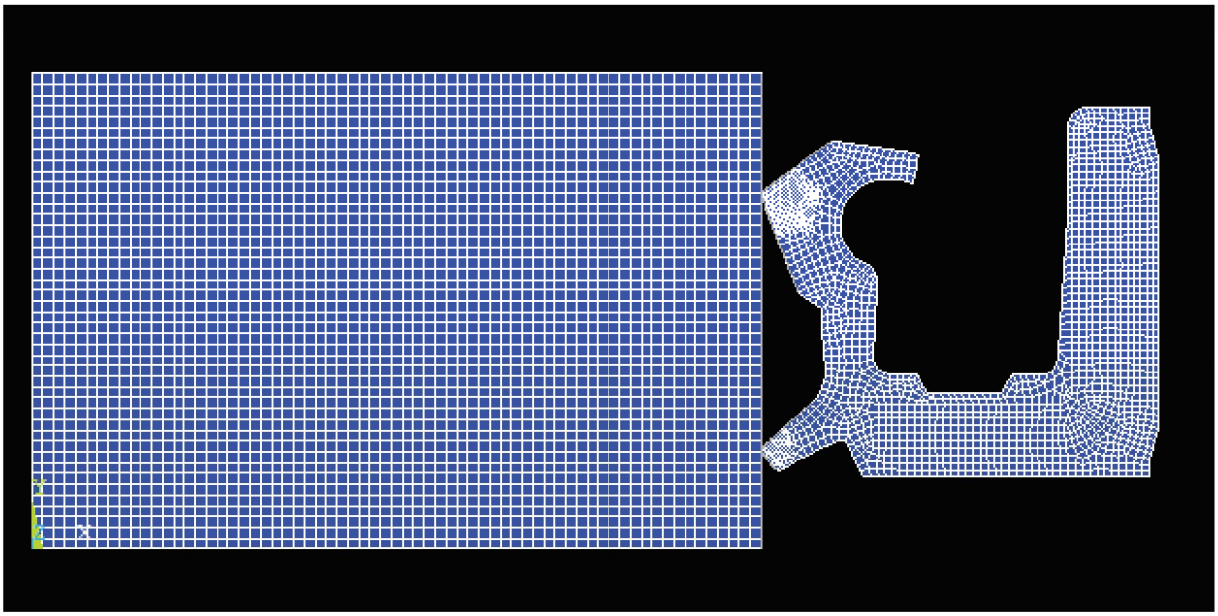
dudağı mil arasına yüzey-yüzey kontak elemanlar (TARGE169,CONTA172) oluşturulmuştur. Modelde yüksek deformasyonlar, nonlineer malzeme ve kontak şartları mevcut olduğu için nonlineer yüksek deformasyon seçeneği aktif edilmiştir. Keçe yuvaya çakılıp sonrasında içinden mil geçirildiği için modelde keçenin dış yüzeyi ve milin iç yüzeyi sabitlenmiştir. Kontak ayarları olarak, ilk penetrasyona karşı nasıl davranacağı seçeneği rampa olarak seçilmiştir. Bu sayede yüksek deformasyonlara sebep olmadan analiz sonuçlanmıştır.

BULGULAR

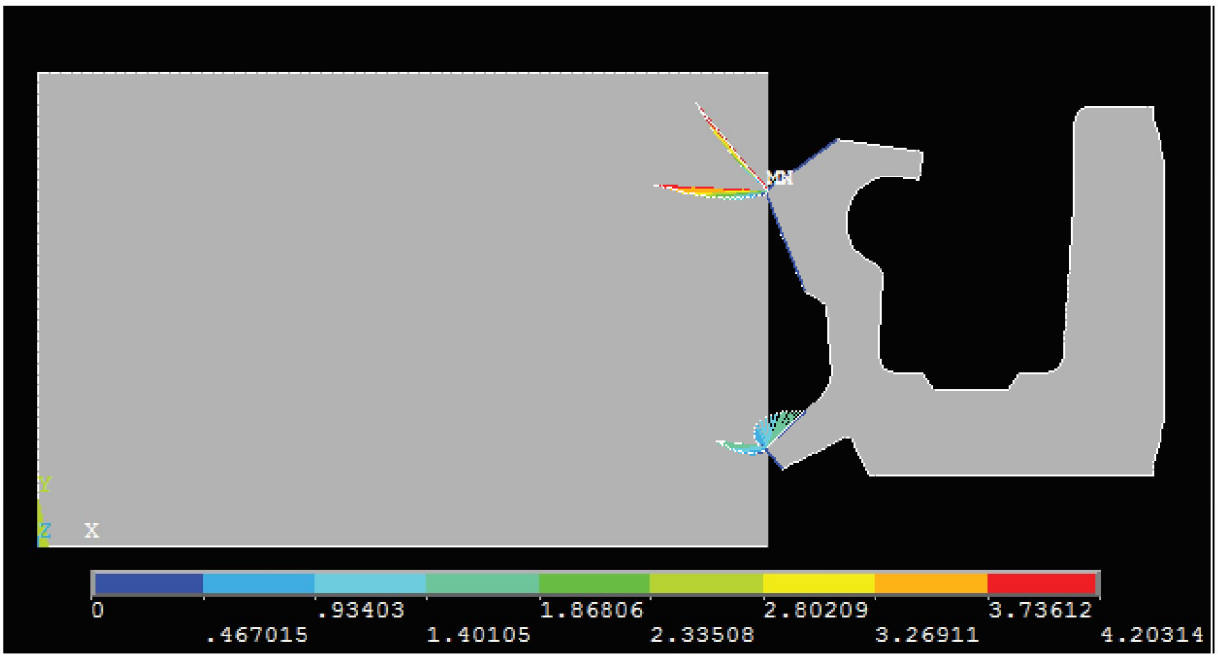
Analiz statik olarak 1 saniye zaman diliminde gerçekleştirilmiştir. Şekil 5'de keçenin mile geçtikten sonraki hali gözükmektedir. Dudak mile geçince gerçekte olduğu gibi dışa doğru açılmış ve dudağın mil yüzeyi ile arasındaki açı artmıştır. Şekil 6'de ise kontak basınçları (Mpa) gözükmektedir. Kontak bölgesinin mesafesi ile basınç ortalaması dikkate alınarak kontak kuvveti elde edilmiştir. Çizelge 1'de üç yönteminde değerleri verilmiştir.

Parametreler	Sonlu Elemanlar Yöntemi(N)	Deneysel(N)	Ampirik Formül(N)
Yaysız Kontak Yükü	19,3	20,5	21,2
Yaylı Kontak Yükü	28,5	31,6	33,8

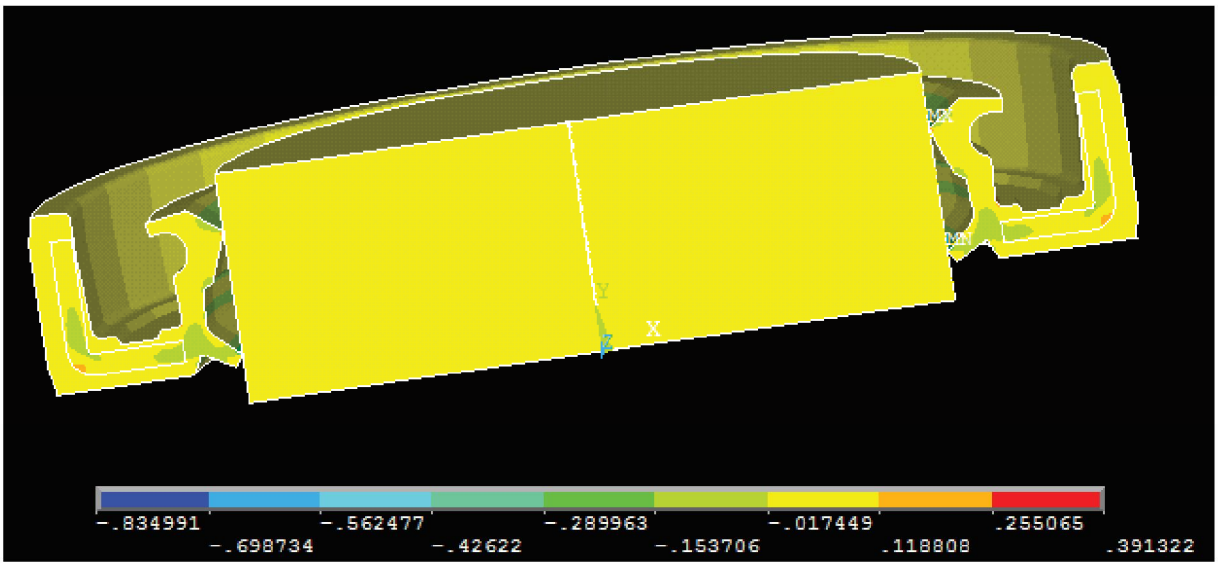
Çizelge 1. Yöntemlerin karşılaştırılması



Şekil 5. Keçe dudağının mile geçtikten sonraki hali



Şekil 6. Kontak basıncı (Mpa)



Şekil 7. XY düzlemi kayma gerilmesi

SONUÇ

Sonlu elemanlar yöntemi analizinin en doğru sonucu vermesi için modelleme yaklaşımı, eleman ve temas tipleri, koşulları gerçeğe en yakın sonucu verecek şekilde oluşturulmuştur. Çizelge 1 de ki sonuçlardan görü-

leceği üzere iki boyutlu model tatmin edici sonuçlar vermiştir. Modelleme yaklaşımında üç boyutlu yaklaşım yerine axisimetrik yaklaşımın kullanılması doğrusal olmayan malzeme ve doğrusal olmayan temas durumları göz önüne alındığında çözüm süresinde önemli bir avantaj sağlayacağı görülmüştür. Elde edilen bu model sayesinde aşınmaya maruz kalan bir keçenin kontak yükünün nasıl değiştiği ve sızdırmazlığı uzun süre sağlayabilmesi için en uygun keçe kesitinin nasıl olması gerektiği belirlenecektir.

KAYNAKÇA

Akgül, H., (1986). Sızdırmazlık elemanları. Bursa: Makine mühendisleri odası yayın no:120.

Arevyan, A., (2010). Sızdırmaz elemanlar. AKDER içinde, Hidrolik devre elemanları ve uygulama teknikleri (s. 99). İstanbul: Makine mühendisleri odası.

Elastomerler, NBR. (2019, 04 20). www.suptex.com: https://www.suptex.com adresinden alındı

Horve, L., (1996). Shaft seals for dynamic applications. Illinois: Marcel Dekker, Inc.

Joshi, R. S., et al., (2017). Nonlinear finite element analysis of radial lip seals. ASME International mechanical engineering congress and exposition (s. 1). Florida: IMECE.

İNTERNET KAYNAKLARI

https://www.suptex.com/index.php?page=elastomerler&lang= (E.T. 21.04.2019)