

Taşıt Kavraması Çeyrek Modelinin Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Yapısal Davranışının Belirlenmesi

Mustafa Umut KARAÖĞLAN*¹, Gökçem ÇAPAR¹, Zeki Can KAYNAK¹, Nusret Sefa KURALAY¹

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 35397, İzmir

(Alınış / Received: 27.01.2017, Kabul / Accepted: 03.04.2017,
Online Yayınlanma / Published Online: 20.09.2017)

Anahtar Kelimeler
Taşıt Kavraması,
Diyafram Yay,
Çeyrek Model,
Sonlu Elemanlar
Analizi

Özet:Bu çalışma, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak bir kavramanın çözülmesi esnasında kavramada meydana gelen gerilme ve elastik deformasyonların hesaplanması, ayrılma yolu boyunca oluşan yay kuvvetlerinin ve kavrama ayrılma mesafesinin belirlenmesine odaklanmaktadır. Bu analizler için çeyrek kavrama modeli kullanılmıştır. Kavrama montajının katı modeli Solidworks 2016®programı ile oluşturulmuş, yapısal analizler ise Ansys Workbench 15® programı ile gerçekleştirilmiştir. Yapısal analizler, kavramada birinci, ikinci ve üçüncü adımları montaj durumunu, dördüncü adımı da diyafram yayın deformasyonunu simule etmek üzere dört adımdan meydana gelmektedir. Yay kuvvetleri hem basit yay modeli hem de çeyrek montaj modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Kurulan analiz modelinin doğruluğu, nümerik sonuçlar ile diyafram yaya ait deneysel sonuçlar karşılaştırılarak sağlanmıştır.

Determination of Structural Behavior of an Automotive Clutch Based on Quarter Model by Using Finite Element Method

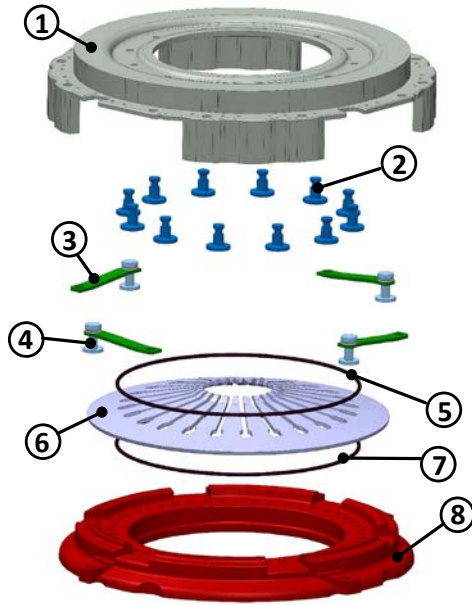
Keywords
Automotive
Clutch,
Diaphragm
Spring,
Quarter Model,
Finite Element
Analysis

Abstract: This study focus on calculating stress and elastic deformation distribution, determination the spring force with release travel and calculating releasing displacement on a clutch assembly during the releasing by using finite element method. Quarter clutch model is used for those analyses. Solid model of clutch assembly is performed by Solidworks 2016® and structural analysis is achieved by Ansys Workbench 15®. The structural analysis of the system is performed in four steps. The first three are related to the assembly operation. The last and fourth step includes the simulation for diaphragm spring deformation of the clutchSpring forces are calculated with both simple spring model and quarter assembly model. The model developed for the computer-aided analysis is validated by comparing the numerical results with the experimental ones.

*Sorumlu yazar: mustafa.karaoglan@deu.edu.tr

1. Giriş

Taşıt kavramaları, motor ve vites kutusu arasında bağlantıyı sağlayan çözülebilir tahrik iletim elemanlarıdır. Motordan gelen tahrik momentinin vites kutusuna iletimi, vites değişimi esnasında tahrik momentinin kesilmesi gibi gereksinimler kavrama vasıtasıyla yapılmaktadır [1]. Şekil 1'de hafif ticari bir araca ait kavrama katı modelinin montaj öncesi dağıtılmış görüntüsü yer almaktadır. Burada da görüldüğü gibi kuru sürtünmeli bir taşıt kavraması, kavrama kapağı (1), perçin (2), mesnet lamaları (3), mesnet laması tespit perçini (4), mesnet halkaları (5,7), diyafram yay (6) ve baskı plakasından (8) oluşmaktadır [16-19].



Şekil 1. Üç boyutlu kavrama katı modeli ve yapı elemanları

Kavrama sırasında, diyafram yay (6), kavrama kapağına (1) perçinler (2) ile sabitlenen mesnet halkaları (5,7) arasına ön gerilmiş halde bağlanarak volan ile baskı plakası arasında teması sağlamaktadır. Güç iletimi esnasında, diyafram yayın dış kenarı baskı plakasına basmaktadır. Kavrama pedalına basılmasıyla birlikte baskı rulmanının

diyafram yayı elastik şekil değişimine zorlamasıyla birlikte baskı plakası (8) ile kavrama ayrılarak çözülme gerçekleşir [2].

Diyafram yaylı kuru sürtünmeli kavramanın elemanlarında meydana gelen gerilme ve deformasyonların yüksek olmaması istenen durumdur. Sonlu elemanlar yöntemi ile kavramanın montaj modeli üzerinden yapısal analizleri yapılabileceği gibi kavrama elemanlarının ayrı ayrı incelenmesi de mümkündür.

Topaç vd., pedal kuvveti altında diyafram yayın şekil değişimi sonucu, kuvvet-sehim grafiğini sonlu elemanlar yöntemiyle nümerik olarak elde edip, teorik sonuçla kıyaslamışlar ve elastik şekil değişimini incelemişlerdir [2]. Abdullah vd., sonlu elemanlar modelinde baskı plakası, kavrama disk ve volan arasındaki, bağlantı ilişkilerini detaylı olarak tarif edip, kavrama disk yüzeyi üzerinde meydana gelen gerilme ve şekil değişimlerini belirlemişlerdir [3]. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak diyafram yay üzerinde meydana gelen gerilme ve şekil değişimini, inceleyen çalışmalara literatürde sıkça rastlanmaktadır [6-11]. Purohit vd., kavrama grubu üzerinde yaptıkları sonlu elemanlar analizinde (SEA) baskı plakası ve diyafram yay üzerindeki gerilme ve şekil değişimini araştırmışlardır [12]. Deshbhratar vd., kavrama üzerine gelen kuvvetleri hesaplayarak montaj katı modeli üzerinden kavrama yapı elemanlarının statik analizini yapmışlardır [14]. Danev vd., diyafram yayın dilimleri üzerinde preste basma işlemi uygulayarak konvansiyonel diyafram yay ile kabartmalı yay arasındaki kuvvet-sehim eğrisi farkını ortaya koymuş ve yayların sonlu elemanlar analizi ile şekil değişimlerini belirlemişlerdir [15]. Literatürde, kavramaların statik analizinin yanı sıra sonlu elemanlar

yöntemi ile yorulma [5] ve ısı [4,13] analizleri de yer almaktadır.

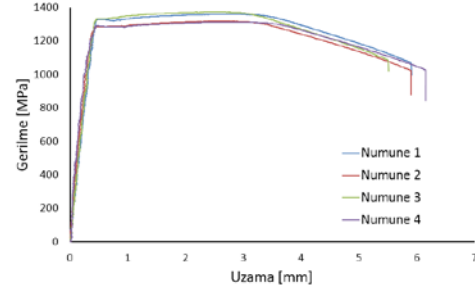
Bu çalışmada, üç boyutlu katı modeli oluşturulan kavrama grubunun sonlu elemanlar analizi, literatürde bu konuda yapılmış çalışmalardan farklı olarak ele alınmıştır. Temel fark kavrama grubunun ön germe ve montaj işlemlerinin analize dahil edilmesinden ileri gelmektedir. Bu yaklaşımla, kavramanın yapısal davranışına dair gerçekçi bir çözüm elde etmek amaçlanmaktadır.

2. Materyal ve Metot

Literatürde, kavrama tam modeli üzerinde yapılan statik analizler, yapı elemanlarının bağlantı ilişkileri açısından belirli kabuller çerçevesinde basitleştirilerek, sanki-statik (quasi-statik) olarak kuvvet girdisi altında gerçekleştirilmiştir. Sadece tek bir yapı elemanının incelendiği çalışmalarda ise, o yapı elemanının üzerine gelen tepki kuvveti ile (kavrama kapağı analizinde) veya etki noktasındaki şekil değiştirme miktarı ile (diyafram yay analizinde) analizler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmadaki analizlerde kavramanın tam modeli yerine çeyrek modeli kullanılmıştır. Kavramada dört adet mesnet laması bulunması sebebiyle kavrama grubu simetrik olarak en fazla dört parçaya bölünebilmektedir.

Kavramayı oluşturan parçalar, diyafram yay hariç yapı çeliği olarak tanımlanmıştır. Diyafram yay ise 50CrV4 alaşımlı çelik malzemeden üretilmiştir. 50CrV4 malzemeye ait dört adet numune çıkarılarak çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Numunelere ait çekme testi sonuçları Şekil 2'de gösterilmiştir. Sonlu elemanlar analizinde kullanılan bu sonuçlar, yapılan dört adet deneyden elde edilen ortalama değerlerdir. Ayrıca 50CrV4 yay çeliği malzemesinin çekme eğrisi sonuçlarından elde edilen ve akma mukavemetinin aşıldığı durumlar için

geçerli olan gerilme-birim şekil değişim eğrisi analiz programına girilmiştir.



Şekil 2. 50CrV4 malzemesi çekme testi sonuçları

Malzemelere ait elastisite modülü (E), poisson oranı (ν), akma sınırı (S_y), çekme dayanımı (S_{ut}) ve kopma uzaması (ϵ_{max}) Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo1. Kavramada kullanılan malzemeler ve özellikleri

Malzeme	Sembol	Değer	Birim
	E	200	GPa
	ν	0.3	-
	S_y	250	MPa
	S_{ut}	460	MPa
	ϵ_{max}	25	%
	E	227.5	GPa
	ν	0.3	-
	S_y	1340	MPa
	S_{ut}	1370	MPa
	ϵ_{max}	8.42	%

Kavrama çeyrek modeli, mesnet laması modelin tam ortasında kalacak şekilde alınmıştır. Çeyrek dilimin alındığı kesit yüzeyleri kavrama kapağı, baskı plakası, mesnet halkaları, diyafram yay ve baskı rulmanını temsilen oluşturulan katı model üzerinde yer almaktadır. Bu yüzeyler sonlu elemanlar analizinde sürtünmesiz mesnet (frictionless support) olarak tanımlanmıştır [20]. Kavrama kapağının dış çevresinde yer alan civata deliklerinin iç yüzeyi ve kavrama kapağının volan ile temas eden dış yüzeyleri sabit mesnet (fixed support) olarak kabul edilmiştir.

Kavrama modelinde yer alan parçalar arası temas ilişkileri genel olarak, sürtünmesiz ve sürtünmeli temas olarak iki farklı tipte tanımlanmıştır. Sadece kavramanın hareketinden dolayı lineer olmayan temas yüzeyini azaltarak analizi basitleştirmek adına kavrama kapağı ve perçin arasındaki temas ilişkisi yapışık (bonded) olarak kabul edilmiştir. Analiz süresini kısaltmak adına küçük temas yüzeylerinin olduğu bazı bölgelerde sürtünmesiz bağlantı ilişkisi kabul edilmiştir. Kavrama kapağı ile mesnet halkası arası, mesnet halkaları ile perçinler arası, diyafram yay ile mesnet halkaları arası, diyafram yay ile baskı plakası arası ve mesnet lamaları ile mesnet laması tespit perçini arasındaki temas yüzeyleri sürtünmesiz temasın kabul edildiği bölgelerdir. Baskı plakası ile mesnet lamaları ve mesnet laması tespit perçini arasında, mesnet laması rondelası ile mesnet laması ve tespit perçini arasında sürtünmeli yüzey bağlantısı tanımlanmıştır. Ayrıca üç adet ince cidarlı plakadan müteşekkil mesnet lamasındaki plakaların arasında sürtünmeli bağlantı mevcuttur. Sürtünmeli temas yüzeylerinde metal metale sürtünme katsayısı 0.15 olarak kabul edilmiştir.

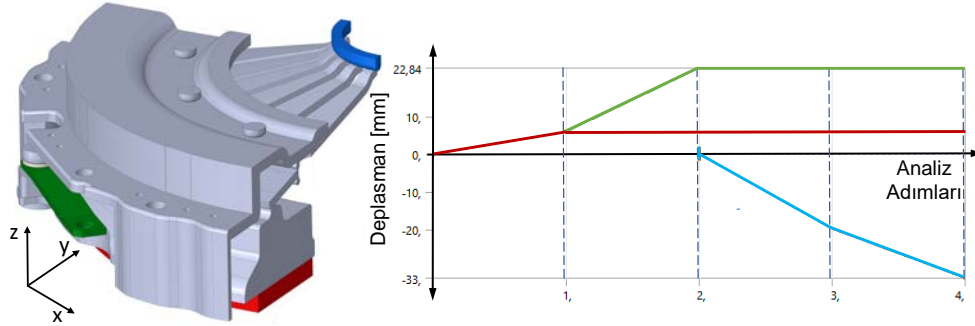
Kavrama grubu çeyrek katı modelinin görünümü ile dört adımlı olarak gerçekleştirilen analize ait deplasman girdileri Şekil 3'te gösterilmiştir. Analizin ilk iki adımı, kavramanın montaj öncesi durumundan işletme durumuna kadar pres altında yapılan ön germe işlemlerinin modellenmesini ifade etmektedir.

İlk adımda preste baskı plakası 6 mm kadar kavrama kapağına doğru z yönünde basılarak diyafram yaya ön germe işlemi uygulanmaktadır. Mesnet laması bağlantı gözlerinden birisinin, baskı plakasına irtibatlı olması

dolayısıyla ilk adımda kavrama kapağına doğru baskı plakasıyla aynı miktarda basılmaktadır. İkinci adımda mesnet lamasının diğer tarafından 22.84 mm kavrama kapağına doğru verilen deplasman girdisi ile kavrama montajı tamamlanmaktadır.

Ön germe işleminin tamamlanmasıyla birlikte üçüncü ve dördüncü adımda, debriyaj basılmanın ardından meydana gelecek olan işletme durumu modellenmiştir. İlk iki adımda uygulanan ön germe işlemi ile birlikte konumu değişen diyafram yay ve baskı rulmanı arasındaki mesafe, üçüncü adımda baskı rulmanının diyafram yaya doğru 20 mm hareketi ile bu adım sonunda her iki elemanın teması tekrar sağlanmıştır. Yapılan kavrama analizinde baskı rulmanını rijit katı model temsil etmektedir. Son adımda kavrama pedalına basılmasının ardından baskı rulmanının hareketi diyafram yaya uygulanmıştır. Ön gerilmiş haldeki diyafram yaya dördüncü adımda 13 mm deplasman uygulanmıştır. Şekil 3'te gösterilen grafikte deplasman girdileri için pozitif ifadeler, kavramanın şekildeki konumuna göre z yönünü, negatif ifadeler ise -z yönünü ifade etmektedir.

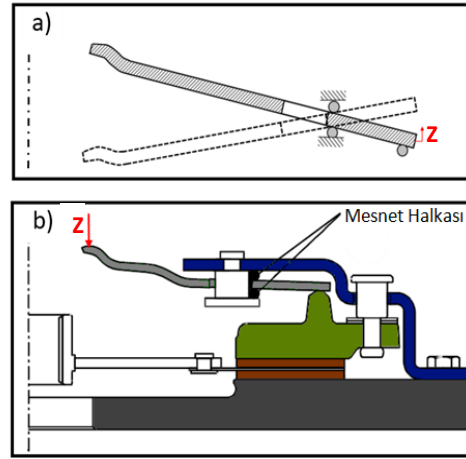
Çeyrek montaj modelinde, ortalama eleman kalitesi 0.706 olan toplam 110709 eleman ve 219130 düğümden oluşan çözüm ağı kullanılmıştır. Diyafram yay ve mesnet halkalarının temas yüzeylerinde 1.8 mm eleman boyutu kullanılarak yüzey hassasiyet artırılmıştır. Diyafram yay ve mesnet laması gibi ince cidarlı parçalarda ise sırasıyla 2.5 ve 2.8 mm çözüm ağı elemanı kullanılmıştır. Oluşturulan kavrama çözüm ağı modelinde, her düğümünde üç serbestlik derecesine sahip on düğümlü Solid92 tetrahedral katı elemanı kullanılmıştır.



Şekil 3. Kavrama çeyrek modeli ve analiz deplasman girdileri

Yapılan sonlu elemanlar analizi sonucunda öncelikle kavramada kullanılan diyafram yayın karakteristiği belirlenmiştir. Buradaki amaç, montaj modeli üzerinden yay karakteristiğinin belirlenerek, elde edilen sonuçları deneysel verilerle kıyaslamak ve sistemin doğrulanmasını sağlamaktır. Taşıt kavramalarında kullanılan yayın karakteristiği ifadesi, diyafram yayın şekil değişimi sonucu mesnet halkasında sebep olduğu tepki kuvvetinin, maksimum yay deformasyona veya diğer bir ifade ile baskı rulmanının hareket mesafesine göre değişimini göstermektedir. Şekil 4b'de diyafram yay karakteristiğinin, kavrama montajının analizi ile elde edilmesi şematik olarak gösterilmiştir.

Diyafram yayın kuvvet karakteristiği, montaj modelinin analizi yoluyla elde edilebilmesinin yanı sıra sadece diyafram yayı analiz etme yoluyla [2,7,10] da belirlenebilmektedir. Bu metotta, montaj analizinden farklı olarak diyafram yaya, baskı plakası ile arasında bulunan temas yüzeyinden deplasman girdisi verilerek mesnet halkasından reaksiyon kuvveti elde etmek suretiyle kuvvet karakteristiği belirlenmektedir. Şekil 4a'da şematik olarak analiz yöntemi gösterilmiştir. Burada baskı plakası temas yüzeyini oluşturmak için silindirik bir halka tanımlanarak yay deplasmanı bu halka üzerinden verilmiştir.



Şekil 4. Diyafram yay kuvvet karakteristiğinin sadece yay kullanılarak (a) ve montaj üzerinden (b) elde edilmesi

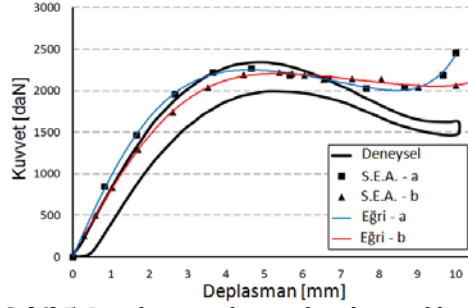
3. Bulgular

Öncelikle kurulan kavrama modeli ve yapılan analizlerin doğruluğunu sağlamak için analiz sonunda elde edilen diyafram yay kuvveti karakteristiği, üretici firmada bulunan diyafram yay test cihazı ile elde edilmiş deneysel karakteristik ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen yay karakteristiği sonuçları Şekil 4'te gösterilen iki farklı tip analiz sonucunda belirlenmiştir.

İki farklı metot ile hesaplanan diyafram yay karakteristikleri ile deneysel olarak bulunan yay eğrisi Şekil 5'te gösterilmiştir. Basitleştirilmiş yöntemle göre montaj analizinden elde edilen

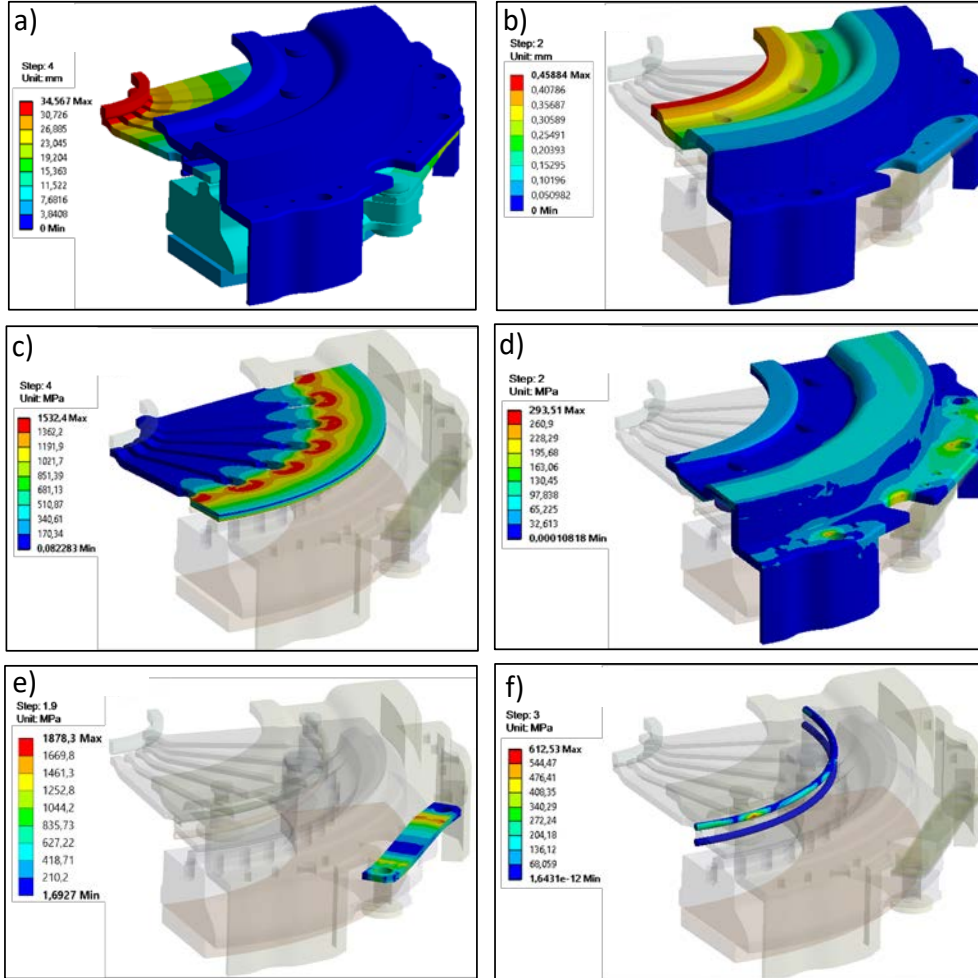
Mustafa Umut KARAOĞLAN vd. /Taşıt kavraması çeyrek modelinin sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapısal davranışının belirlenmesi

sonuçlar deneysel eğri ile yüksek oranda paralellik göstermektedir.



Şekil 5. Diyafram yay kuvvet karakteristikleri

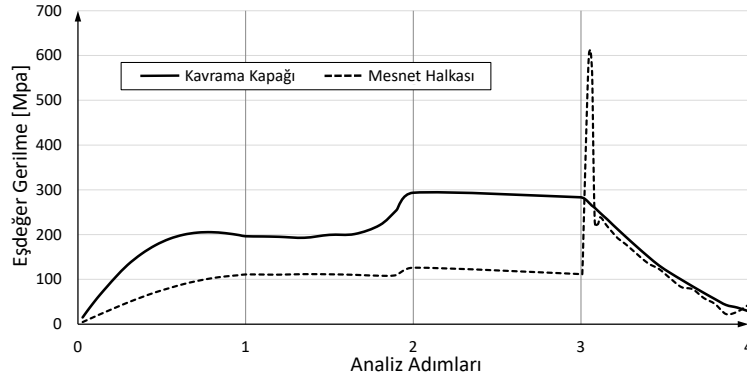
Çeyrek kavrama modelinin dört adımda gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizi sonucunda elde edilen genel deformasyon dağılımı, kavrama kapağı deformasyonu ve analiz süresince maksimum gerilmenin elde edildiği anlardaki gerilme değer ve dağılımları Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre diyafram yayın ilk durumdan kavrama pedalına basılarak kavrama çözümlenmesinin gerçekleştiği son duruma kadar 34.567 mm şekil değişimine (Şekil 6a) maruz kaldığı görülmektedir.



Şekil 6. Kavrama çeyrek modeli sonlu elemanlar analizi tam model (a) ve kavrama kapağı (b) şekil değişimi sonucu ile maksimum diyafram yay (c), kavrama kapağı (d), mesnet laması (e) ve mesnet halkaları (f) gerilme dağılımı

Kavrama kapağında meydana gelen 0.45 mm maksimum deformasyon (Şekil 6b) ve 293.51 MPa maksimum gerilme değeri (Şekil 6d), analizin ikinci adımında yani mesnet lamasının kavrama kapağına montajı sonucu meydana gelmektedir. Diyafram yayda oluşan maksimum gerilme değeri 1532.4 MPa ile (Şekil 6c) analizin son adımı diyafram yayın çözülmesi sonunda oluşmaktadır. Mesnet lamaları ise kavramayla olan bağlantısının tamamlanmasından hemen önce maksimum gerilme değerine (Şekil 6e) ulaşmıştır. Mesnet halkalarında meydana gelen maksimum gerilme ise 612.53 MPa olarak, son analiz adımının başlarında yani diyafram yayın çözülme durumu için deforme olmaya başladığı ilk anlarda (Şekil 6f) oluşmaktadır. Kavrama kapağı, mesnet halkası, diyafram yay ve mesnet lamasında

yapılan sonlu elemanlar analizi süresince meydana gelen maksimum eşdeğer gerilme değerleri Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir. Kavrama kapağında diyafram yayın ön germe işlemi sırasında 200 MPa değerlerine ulaşan gerilmeler, mesnet lamasının kavrama kapağına bağlanmasının akabinde 300 MPa değerine kadar artış göstermiştir. Kavramanın çözülmesi sırasında kavrama kapağında meydana gelen gerilmeler azalarak 40 MPa civarına ulaşmıştır. Mesnet halkasında ise kavrama montajı sırasında 100 MPa değerlerinde seyreden gerilmeler, çözme durumuna geçişte diyafram yay deformasyonunun başlamasının ardından artış göstermektedir. Bu süreçteki ortalama gerilme 250 MPa civarında olmaktadır.

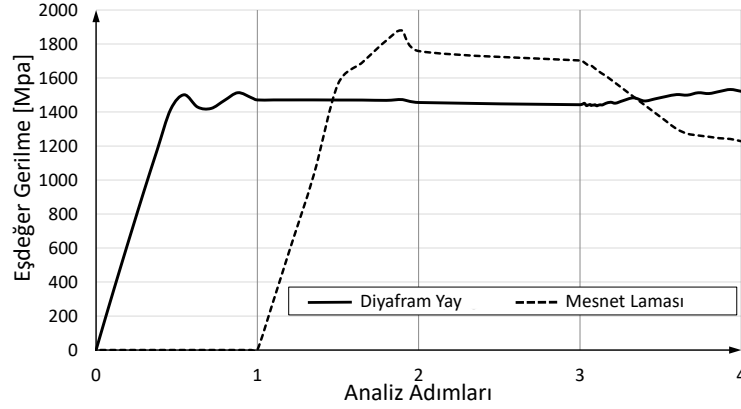


Şekil 7. Kavrama kapağı ve mesnet halkasında analiz süresince oluşan maksimum gerilmeler

Diyafram yayda, yayın ön gerilmesi sırasında 1500 MPa seviyelerine ulaşan gerilme değerleri, son adımda yaya uygulanan kavrama çözülme deplasmanında yaklaşık 50 MPa daha artış göstermiştir. Mesnet laması ise kavramaya bağlanması sırasındaki presleme işleminde maksimum seviyesine ulaşmıştır. Kavramanın

çalışması sırasında ise gerilme değeri düşmektedir.

Analiz sonucunda, kavrama kapak perçini, mesnet laması tespit perçini ve mesnet laması rondelası gibi elemanlarda oluşan gerilme değerleri kayda değer büyüklüklere ulaşmamıştır.



Şekil 8. Diyafram yay ve mesnet lamasında analiz süresince oluşan maksimum gerilmeler

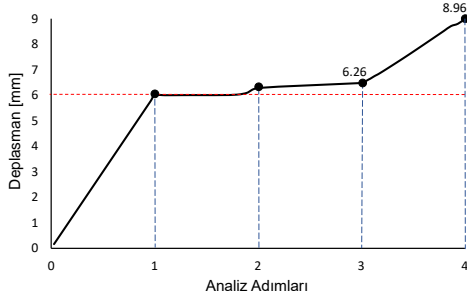
4. Tartışma ve Sonuç

Yapılan sonlu elemanlar analizi ile kuru sürtünmeli taşıt kavramalarının yapı elemanlarında, kavramanın montajı ve çalışma sırasında meydana gelen gerilme ve şekil değişimleri elde edilerek kavramanın yapısal davranışı simule edilmiştir. Analiz yönteminin doğruluğu, diyafram yay tepki kuvvetlerinin deneysel ve nümerik olarak kıyaslanması ile sağlanmıştır. Özellikle diyafram yayın 7 mm'ye kadar olan deformasyonunda, yani kavrama grubunun ön germe işlemleri esnasında deneysel ve nümerik sonuçlar çok yakındır. İşletme durumunda ise (7 mm diyafram yay deplasmanı sonrası) tepki kuvvetleri arasında farklar meydana gelmektedir. Bunun sebebi, analiz yönteminde belirlenen sınır şartlarından dolayı, diyafram yayın işletme durumunda yanıl yönde yer değiştirmesinin fazla olması ile mesnet halkalarının kavrama perçini arasında hareketinin kısıtlanması sonucu özellikle işletme durumunda tepki kuvvetinin artışına sebep olmasındır.

Kavramanın montajı esnasında uygulanan ön germe işlemleri sırasında diyafram yay ve mesnet laması üzerinde akma gerilmesini aşan gerilme değerleri görülmüştür. Ön germe işlemleri sırasında mesnet laması ve diyafram

yayda plastik şekil değişimleri meydana gelmektedir. Bu durum kavramanın çalışmasını etkilemediği için herhangi bir sorun teşkil etmemektedir. Analizin son adımı olan ve kavramanın işletme durumunu temsil eden analiz sonuçlarında, mesnet laması, mesnet halkası ve kavrama kapağında, gerilme ve şekil değişimleri azalmaktadır.

İlk analiz adımında baskı plakasının z yönünde (Şekil 3) 6 mm kavrama kapağına doğru preste basılarak diyafram yaya ön germe işlemi uygulanmasından analizin son durumuna kadar baskı plakasının z yönünde şekil değişimi grafiği Şekil 9'da gösterilmiştir. Mesnet laması vasıtası ile baskı plakasının kavrama kapağına montajı sırasında da (ikinci analiz adımı) 0.26 mm kadar aynı yönde deplasman oluşmaktadır. Kavramanın çözülmesinin başlama anına kadar, montaj öncesi durumuna göre baskı plakasının, 6.26 mm'lik hareketi söz konusudur. Kavrama çözülmesinin tam olarak gerçekleştiği durumda, sonlu elemanlar analizinin son noktasında baskı plakasındaki toplam yer değiştirme 8.96 mm olmaktadır. Üçüncü ve dördüncü adımlar arasındaki toplam deplasman farkı olan 2.7 mm, baskı plakası ile kavrama diski arasındaki açıklığı ifade etmektedir.



Şekil 9. Analiz süresince baskı plakasının deplasman değişimi

Kurulan kavrama modeli ve analiz yöntemi sonucunda kavrama yapı elemanlarının yapısal analizleri gerçekleştirilerek kavramanın montaj ve çalışma davranışı incelenmiştir. Analiz yönteminin doğruluğu, diyafram yay karakteristiğinin, analiz ve deneysel sonucunun tutarlılık göstermesi ile sağlanmıştır.

Teşekkür

Çalışmaya katkılarından dolayı yazarlar, Dönmez Debriyaj A.Ş. firmasına ve değerli çalışanları Müh. Koray ÇANAKKALE ve Müh. Serdar AKBULUT'a teşekkür eder.

Kaynakça

- [1] Kuralay, N.S. 2008. Motorlu Taşıtlar; Temel ve Tasarım Esasları, Yapı Elemanları, Cilt 1; Tahrik ve Sürüş Sistemleri. İzmir: TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Yayın No: MMO/2008/484; 315s.
- [2] Topaç, M.M., Hamurişçi, Y., Kuralay, N.S. 2009. Taşıt Kavraması Kapağında Pedal Kuvveti Altında Oluşan Elastik Şekil Değişiminin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Belirlenmesi, Mühendis ve Makina, Cilt: 50, Sayı: 590.
- [3] Abdullah, O.I., Schlattmann, J. 2013. Contact Analysis of a Dry Friction Clutch System, International

Scholarly Research Notices, Cilt: 13. DOI:10.1155/2013/495918.

- [4] Pisaturo, M., Senatore, A. 2016. Simulation of Engagement Control in Automotive Dry-Clutch and Temperature Field Analysis Through Finite Element Model, Applied Thermal Engineering, Cilt: 93, s. 958-966. DOI: 10.1016/2015.10.068.
- [5] Shin, J.C., Lee, S., Ryu, J.H. 1999. Correlation of Microstructure and Fatigue Properties of Two High-Strength Spring Steels, International Journal of Fatigue, Cilt: 21, s. 571-579.
- [6] Jin, W. 2012. Solid Modeling and Finite Element Analysis of Diaphragm Spring Clutch, Advanced Materials Research, Cilt:452-453, s. 258-263. DOI: 10.4028/452-453.258.
- [7] Nam, W.H., Lee, C.Y., Chai, Y.S., Kwon, J.D. 2000. Finite Element Analysis and Optimal Design of Automobile Clutch Diaphragm Spring. FISITA World Automotive Congress, 12-15 Temmuz, Seul.
- [8] Shukla, S., Elisala, A., Rao, G.V.R.S. 2016. Design Optimization of Diaphragm Spring with Various Load Condition, Global Journal for Research Analysis, Cilt: 5, s. 184-187.
- [9] Rupnar, A., Babar, A., Karale, A., Gundawar, S. 2016. Design and Analysis of Diaphragm Spring of a Single Plate Dry Clutch, International Journal of Science Technology & Engineering, Cilt: 2, Sayı: 12, s. 26-30. ISSN: 2349-784X.
- [10] Ozansoy, O., Tevruz., T., Mugan, A. 2015. Multiobjective Pareto Optimal Design of a Clutch System, International Journal of Engineering Technologies, Cilt: 1, Sayı:1, s. 26-43.

- [11] Li-jun, Z., Tao, Liu., Bao-yu, S. 2008. Optimum Design of Automobile Diaphragm Spring Clutch. IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, 3-5 Eylül, Harbin.
- [12] Purohit, R., Khitoliya, P., Koli, D.K. 2014. Design and Finite Element Analysis of an Automotive Clutch Assembly, Procedia Materials Science, Cilt: 6, s. 490-502.
- [13] Vitnor, S., Kavade, M. 2016. Finite Element Analysis of Friction Plate of Diaphragm Spring Clutch for TD-3250 Vehicle, International Journal of Science and Research, Cilt: 5, Sayı:4, s. 1771-1775. ISSN: 2319-7064.
- [14] Deshbhratar, V.J., Kakde, N.U. 2013. Design and Structural Analysis of Single Plate Friction Clutch, International Journal of Research & Technology, Cilt: 2, Sayı: 10, s. 3726-3732. ISSN: 2278-0181.
- [15] Danev, D., Kjosevski, M., Simeonov, S. 2014. Increasing Stiffness of Diaphragm-Spring Fingers as a Part of System Approach Improvement of Friction Clutch Function, International Journal of Automobile Engineering Research and Development, Cilt: 4, Sayı: 1, s. 11-22. ISSN: 2277-4785.
- [16] Heisler, H. 2002. Advanced Vehicle Technology. 2nd edition. Butterworth-Heinemann, 654s.
- [17] Naunheimer, H., Bertsche, B., Ryborz, J., Novak, W. 2011. Automotive Transmissions Fundamentals, Selection, Design, and Application, 2nd edition, Springer, 715s.
- [18] Orthwein, W.C. 2004. Clutches and Brakes Design and Selection, 2nd edition, Marcel Dekker, Inc, 330s.
- [19] Garrett, T.K., Newton, K., Steeds, W. 2001, The Motor Vehicle, 13th edition, Butterworth-Heinemann, 1214s.
- [20] Gyan, M.T., Htun, H.M., Win, H.H., 2014. Design and Structural Analysis of Single Plate Clutch, International Journal of Scientific Engineering and Technology Research, Cilt: 3, Sayı: 10, s. 2238-2241. ISSN: 2319-8885.