



Debriyaj Diski Yaprak Yay Büküm Radiuslarının Yay Tepki Kuvvetine Etkisinin İncelenmesi

Ömer Yıldız^{1*}, Caner Eş^{2*}

¹ Dönmez Debriyaj San. Ve Tic. A.Ş. , 0000-0001-7851-3840, o.yildiz@donmezdebriyaj.com.tr

¹ Dönmez Debriyaj San. Ve Tic. A.Ş. , 0000-0002-8982-7789, c.es@donmezdebriyaj.com.tr

* Sorumlu Yazar: o.yildiz@donmezdebriyaj.com.tr

(First received September 25, 2022 and in final form December 09, 2022)

Reference: Yıldız Ö., Eş C. Debriyaj Diski Yaprak Yay Büküm Radiuslarının Yay Tepki Kuvvetine Etkisinin İncelenmesi. Orclever Proceedings of Research and Development,1(1), 25-37.

Özet

Bu çalışmada motorlu araçların en önemli hareket aktarma sistemlerinden biri olan debriyajın alt parçalarından debriyaj diskı yaprak yayı incelenmiştir. Debriyajın çalışma performansını ve kullanıcıya konforlu bir vites geçişi sağlanmasını sağlayan en önemli parçalardan biri debriyaj diskı içerisinde perçinlerle montaj edilmiş yaprak yaydır. Yaprak yay üzerinde çok küçük derecelerde ve yüksekliklerde bükümler bulunur. Bu bükümler debriyaj diskının maruz kaldığı aksel kuvveti sönümler ve optimum zaman aralığında kavramanın gerçekleşmesini sağlar. Bu çalışmada yaprak yay üzerindeki bükümlerin radiuslarında değişikliğe gidilerek bu değişikliğin yaprak yay tepki kuvvetine etkisi incelenmiştir. Yapılan testler ve sonlu elemanlar analizlerinin ardından büküm radiuslarının büyümesi yayın baskı kuvvetine karşı gösterdiği tepki kuvvetini düşürecek yönde etkilemektedir. Baskı kuvvetinin yönüne zıt yönde olan bu kuvvetin düşmesi baskı kuvvetinin işlevsel kuvvetini arttırmakta ve daha fazla tork aktarımını sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Debriyaj, Yaprak Yay, Sonlu Elemanlar Analizi, Kavrama, Baskı Kuvveti

Abstract

In this study, the leaf spring in the clutch disc, one of the lower parts of the clutch, which is one of the most important motion transmission systems of motor vehicles, has been examined. One of the most important parts are ensure the working performance of the clutch and a comfortable gear shift to the user is the leaf spring, which is mounted with rivets inside the clutch disc. There are bends on the leaf spring at acute angles and heights. These bends absorb the axial force that the clutch disc is exposed to and enable the clutch to be realized in the optimum time interval. In this study, the radius of the bends on the leaf spring was changed and the effect of this change on the leaf spring reaction force was investigated. After the tests and



finite element analyzes, the enlargement of the bending radius reduces the reaction force of the clamp load against the compression force. The decrease of this force, which is opposite to the direction of the clamp load, increases the functional force of the clamp load and provides more torque transmission.

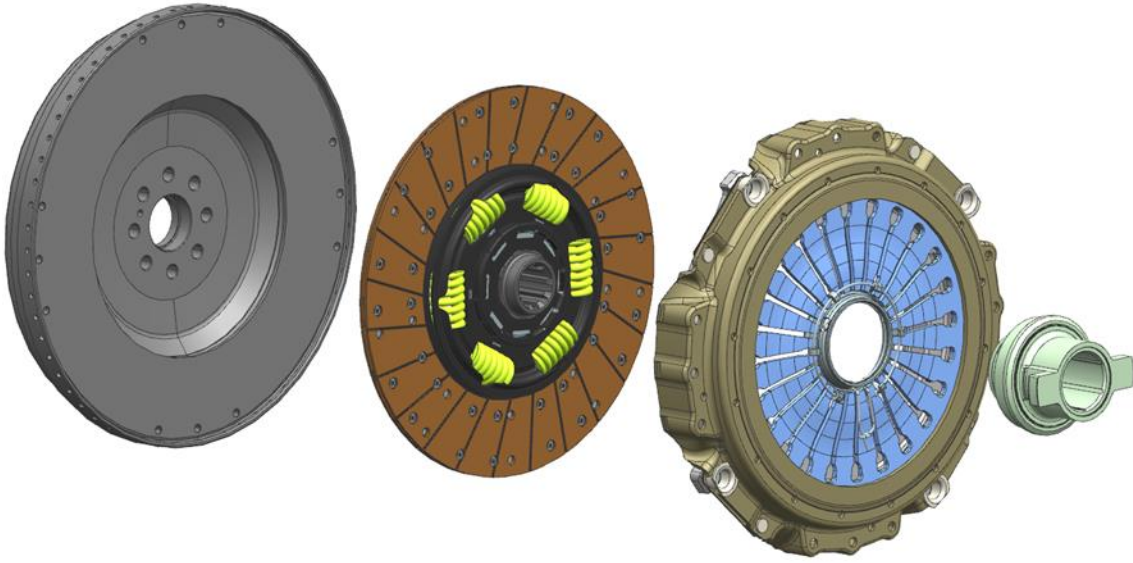
Keywords: Friction Clutch, Cushion Springs, Finite Element Analysis, Clutch, Clamp Load

1. Giriş

Günümüzde küçük hacimli içten yanmalı motorlar ve elektrik motorlu araçların yaygınlaşması ile değişen ve geliştirilmesi gereken birçok araç komponenti ortaya çıkmıştır. Bunların başında aktarma organları gelmektedir. Küçük hacimli motorlardan çıkan hareket enerjisini lastiklere kadar minimum kayıpla, elektrik araç motorlarından çıkan yüksek torkların da maksimum dayanımla iletilmesini sağlamak adına birtakım geliştirmeler yapılmaktadır. Hareket aktarma organları arasında başta gelen direkt olarak motor ile bağlantılı olan debriyaj sistemi ilk sırada gelir.

1.1. Debriyaj Sistemi

Debriyaj sistemi, burulma titreşimlerini sönümleyen burulma sönümleyici yaylar vasıtasıyla bir göbeğe bağlı debriyaj diski, bu diski kavrama esnasında sıkıştırmaya yarayan baskı ve baskıya hareket veren rulmandan oluşur. Araç motoru üzerindeki volan da debriyaj sistemi yardımcı elemanlarından. Debriyaj diskinde yaprak yaylar, ana sac ve debriyaj balataları perçinler ile bağlıdır. Diyafram yay kafese perçinle bağlı olup ayna ile olan ilişkisi mesnet ringleri ile gerçekleşir. Kafes direkt olarak volana bağlıdır, bu bağlantı civatalar ile gerçekleştirilir. Baskı plakası debriyaj diskini volan yardımı ile sıkıştırarak motordan gelen gücün şanzımana aktarılmasını sağlar. (F. Vasca, L. Iannelli., 2018) Rulmandan alınan itme ya da çekme kuvveti diyafram yay hareket eder ve baskı plasını debriyaj diskinden ayırır. Bu sırada vites geçişini sağlayan sürücü debriyaj pedalını bıraktığı durumda diyafram yay kendi konumuna döner ve baskı plakası diski sıkıştırır. Bütün parçaların volan ile aynı hızda döndüğü anda kavrama gerçekleşmiş demektir. Debriyaj diski arasındaki yaprak yaylar tam düz konuma geldiğinde sıkıştırma işlemi ve kavrama durumu tam ve istenilen şartlarda gerçekleşmiş sayılır. (R. Shaver. , 1997)

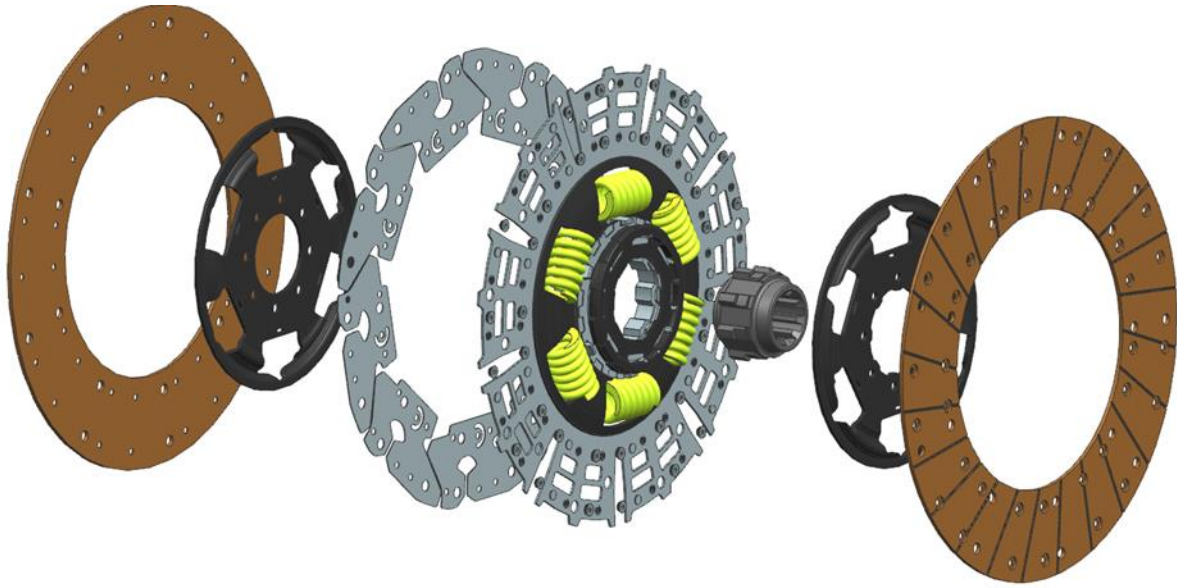


Şekil 1. Debriyaj Sistemi

1.2. Debriyaj Diski

Kuru sürtünmeli debriyaj sistemlerinde sürtünmeli bağlantıda görev alan en önemli sistem elemanı debriyaj diskidir. Baskı plakası tarafından aksel yönünde kuvvete maruz kalan disk volan ve baskı plakası arasında sıkıştırılırken motordan çıkan torku disk göbeği aracılığıyla prizdirek miline aktarır ve şanzımana hareket geçişi sağlanır. Debriyaj diskisi temel elemanları şu şekildedir:

- Ana sac
- Balatalar
- Kapaklar
- Göbek
- Damper yayları (Helezon)
- Yaprak yaylar



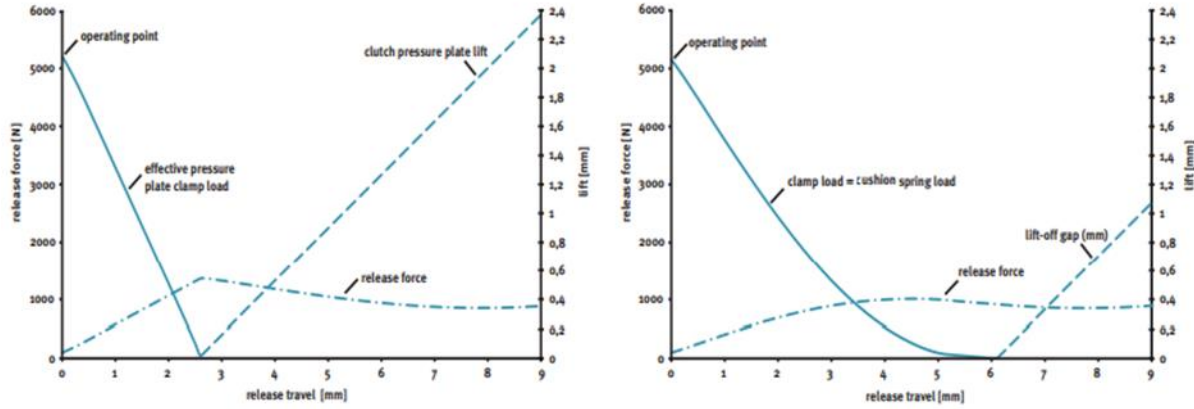
Şekil 2. Debriyaj Diski

1.2.1. Yaprak Yay

Debriyaj diskinin maruz kaldığı eksenel yöndeki baskı kuvvetinin sönümlenmesinde aktif rol alan bir parçadır. Yaprak yay, debriyaj balataları arasına yerleştirilmiş ince dalgalı bir çeliktir ve istenen angajman düzgünlüğünü sağlamak için farklı radyal sertliklerle tasarlanmıştır.

GÖREVİ: kuru sürtünmeli debriyaj sistemlerinde kavramayı sağlamak adına debriyaj diskine yüksek baskı kuvvetleri uygulanmaktadır. Debriyaj disk, kavrama esnasında volan ve baskı plakası arasında sıkıştırılır iken rijit olması durumu hareket geçişinin sert olmasına yol açar. Bu durum sürücüye konforsuz bir geçiş sağlarken makine elemanlarının ömrünü olumsuz anlamda etkilemektedir. Bu geçişin daha akıcı bir şekilde gerçekleşmesi adına belirli açılar ve büküm yükseklikleri ile disk üzerinde bir esneklik sağlanır.

Yaprak yayların avantajlarından biri yumuşak bir kavrama geçişi ve debriyaj balatasının daha az aşınmasıdır. Sistemde yaprak yay bulunmadığı durumda baskı kuvveti ayrılma sırasında doğrusal ve nispeten keskin bir ayırma yapar. Yaprak yaylı ve yaprak yaysız debriyaj kuvvet diyagramları aşağıdaki grafikte verilmiştir.



Şekil 3. Yaprak Yaylı ve Yaprak Yaysız Kuvvet Diyagramları (LuK Clutch Course An introduction to clutch technology for passenger cars)

Bununla birlikte, sağdaki grafikte, baskı kuvvetinin düştüğü eğrinin ayırma hareketinin yaprak yaysız sisteme göre 2 kat büyük olduğu görülüyor.

Öte yandan kavramanın optimum zaman aralığında gerçekleşmesi adına rulman mesafesi belirlenir iken debriyaj diskinin serbest disk kalınlığı önemli bir parametredir. Yaprak yay bulunmayan rijit yapıda disklerde bu ölçü kolaylıkla ölçülebilirken montaj operasyonunda perçinlerin yaprak yayın büküm yüksekliklerine etkisinin tam olarak öngörülememesi rulman mesafesinin belirlenmesinde özenle yapılacak kalınlık ölçümü gerektirmektedir. Her yay sisteminde olduğu gibi aktarılan enerjide bir kayıp olması kaçınılmazdır. Bu çalışmada motordan çıkan torkun minimum kayıpla şanzımana aktarılması adına debriyaj diskinde bulunan yaprak yay parçasının tasarımında optimizasyon çalışması yapılmıştır.

2. Amaç, Kapsam ve Yöntemler

2.1. Amaç

Günümüzde enerji sistemlerinin yanısıra çalışan her mekanik sistemden yüksek seviyede verim almak mekanik mühendislerinin temel amacı olmaktadır. Mekanik parçalar birbirleri ile çalışırken giriş ve çıkış enerjileri arasında her zaman bir kayıp olacaktır. Debriyaj sisteminde birlikte çalışan çok fazla parça olmasının yanında bu parçalara birden çok yönde ve eksende yükler tesir etmektedir. Çalışmanın amacı yaprak yay



üzerinde optimizasyon çalışması yaparak daha az rulman kuvveti ile daha yüksek tork aktarımına imkan sağlayacak optimum esneklikte bir yaprak yay tasarımına ulaşmaktır.

2.2. Kapsam

Manuel araçlarda rulman mesafesini araca kolayca olarak entegre edebilirken tam otomatik araçlarda bu mesafeyi araç üzerindeki sensörler sayesinde beyin kendisi oluşturmaktadır. Disk içerisindeki yaprak yayların fazla rijit ya da fazla esnek olması durumunda araç beyin rulman mesafesini hatalı tanımlar. Yayın fazla rijit olması durumunda kavrama anında daha sert bir geçiş olur ve araçta silkelenme görülür. Bunun yanında yaprak yay bükümlerinin yüksek olması kavrama geçiş süresini uzatır ve bu sırada sürtünmeden dolayı balatada aşınma hızı artar. Ayrıca unutulmaması gereken bir parametre de baskı kuvvetidir. Bir debriyaj diskinin gerekli tork miktarının hesaplanmasında kullanılan formül şu şekildedir: (Minas, I.&, Morris , 2021)

$$F_{PP} \times r_{ort} \times \mu \times n$$

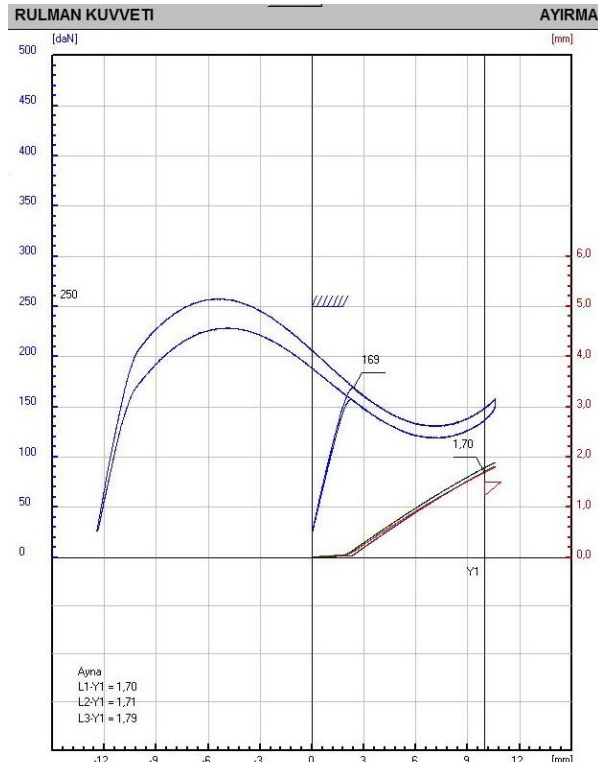
Yaprak yayın baskı kuvvetine etkisi:

Yaprak yay konforu ve birlikte çalıştığı parçaların ömrünü olumlu etkilerken dolaylı yoldan aktarılabilecek tork miktarını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu durumu açıklayacak olursak, yaprak yayların olmadığı bir durumda 26000 N baskı kuvveti ile kavrama gerçekleştiren bir sisteme yaprak yay dahil edildiği takdirde yaprak yaylar baskı kuvvetine karşı bir tepki kuvveti gösterecektir. Baskı kuvveti ile aktarılabilecek tork miktarı doğru orantılı şekilde çalışmaktadır. Yaprak yayların, baskı kuvvetine ters yönde göstereceği tepki kuvveti baskı kuvvetini sönmüleyecek ve aktarılabilecek tork miktarımızı olumsuz yönde etkileyecektir.

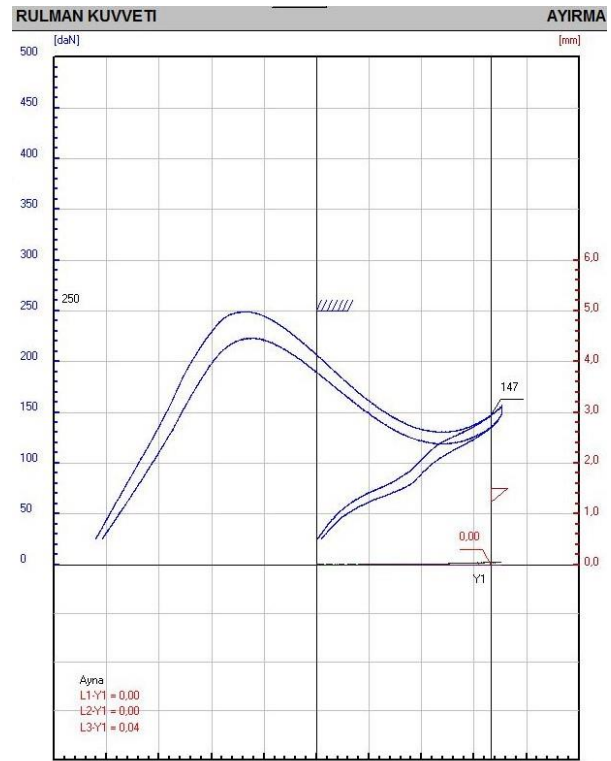
Bu konuda N.Cappetti ve M.Pisaturo yaprak yay üzerine farklı büküm sayısı,yükseklikleri, et kalınlıkları ve delik sayılarının tepki kuvvetine etkisini incelemiştir. Çalışmanın sonucunda görülmüş ki yaprak yay büküm sayısı ve yüksekliklerinin yayın tepki kuvvetinin düşürdüğü gözlemlenmiş. Delik sayılarının sonucu etkilemediği anlaşılmıştır.

Debriyaj rulmanı kuvvet hesabı formulüasyonu:

$$F_{rulman} = F_{diyafram} - F_{yaprak\ yay} - F_{mesnet\ laması}$$



Şekil 4. Yaprak yaylı bir diskin rulman kuvveti eğrisi



Şekil 5. Yaprak yaysız bir diskin rulman kuvveti eğrisi

Yaprak yay formulüsayonu:

$$F_{yaprak\ yay} F_{yaprak\ yay > 0} = a_{cs} + b_{cs} e^{(c_{cx}u)}$$

Bu sebeple yaprak yayın kuvveti optimum düzeyde olmalıdır. Bunu büküm açıları ve yükseklikleri ile elde etmemiz mümkündür.

Nicola CAPETTI ve arkadaşları bir başka çalışmada çalışma ortamındaki sıcaklığın yaprak yayın yük eğrisine etkisini incelemiştir. Sıcaklık arttıkça malzeme sertliğinin azalması kuvvet eğrisinin düşmesine sebep olur, bu çalışmanın literatüre katkısı otomotik araçlardaki rulman mesafesi kontrol algoritmalarının doğru bir şekilde kurgulanması adına yaprak yay tasarımının etkisinin önemini aktarmasıdır. Bu çalışmada farklı büküm yarıçapları ile tasarlanan yaprak yay tasarımlarının kuvvet analizi gerçekleştirilip, 2 farklı model üzerinden kuvvet çıktıları incelenecektir. (Cappetti, N., Pisaturo, M., & Senatore, A. (2012).)

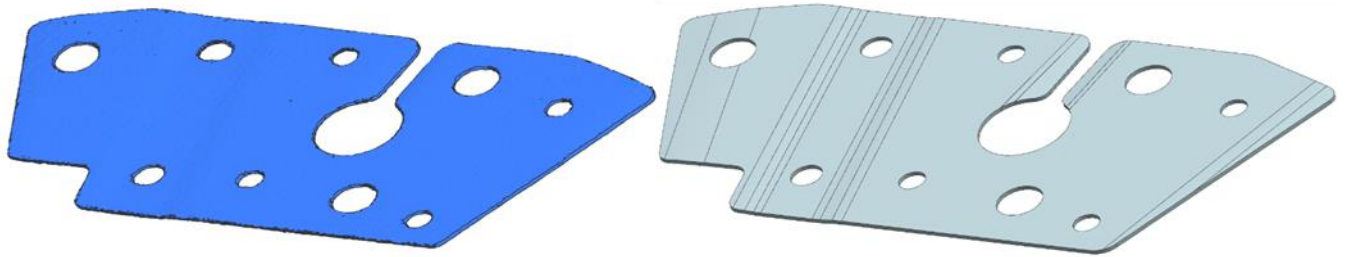
2.3. Yöntem

Litaratürde yaprak yay üzerine yapılmış çalışmaların incelenmesinin ardından görüldü ki tüm çalışmalar farklı büküm yüksekliklerine sahip yaprak yayların tepki kuvvetleri arasındaki farkın incelenmesi üzerine olmuştur. Büküm radiuslarının tepki kuvvetine etkisinin incelenmemiş olmasının yanında yay kuvvetinin rulman kuvvetine etkisi ve dolayısıyla tork aktarımına etkisinin incelenmediği görülmüştür.

Yaprak yay üzerinde büküm yükseklikleri ve eksenleri herhangi bir ölçüm cihazı ile sağlıklı şekilde ölçülemeyeceği için literatürde yaprak yay üzerine yapılan sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan katı model tüm çalışmalarda 3B tarama üzerinden tasarlanmıştır.

Nicola CAPPETTI ve arkadaşları yaptıkları sonlu elemanlar analizinde 1 adet yaprak yay kullanmışlardır, kullandıkları yaprak yayın dahil olduğu debriyaj diski normal çalışma şartlarında 8 adet yaprak yay ile çalışmaktadır. Test sonucunda çıkan değeri 8 ile çarparak yaprak yayların rulman kuvvetine etkisinin yorumlanabileceğini bildirmişlerdir. Aynı çalışmada yaprak yay yüzeylerinin, sıkıştırıldığı plakaların yüzeyleri ile arasındaki "Contact" ilişkileri hakkında detaylardan da bahsedilmiştir.

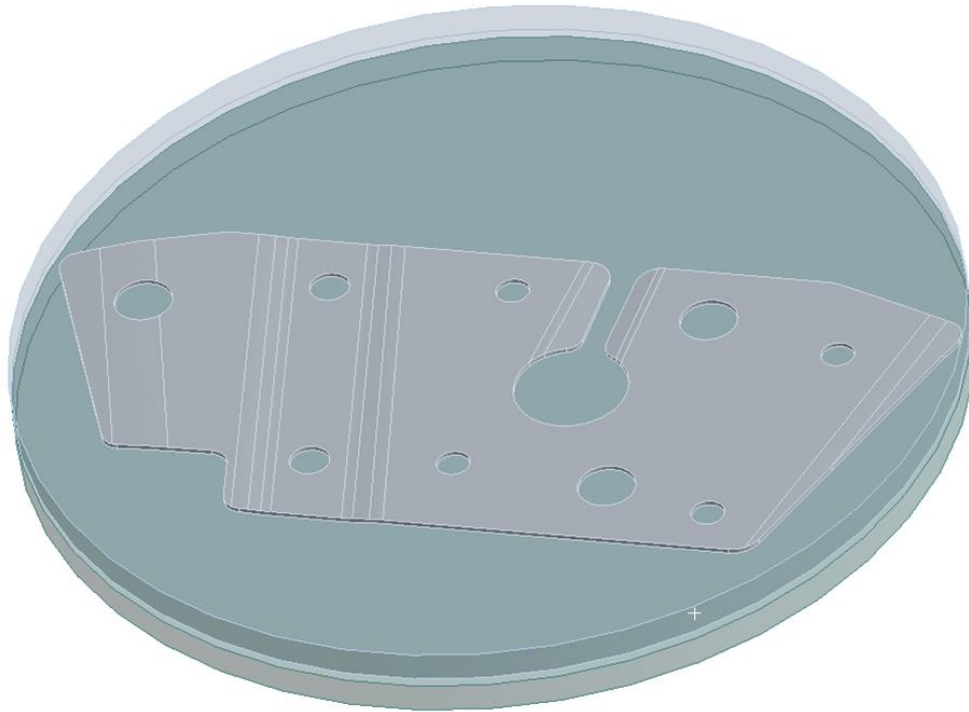
Çalışmamızda analizini gerçekleştirdiğimiz yaprak yay parçasının modellemesini 3B tarama üzerinden Siemens NX ticari yazılımı kullanılarak tasarlanırken malzeme özellikleri için yapılan mekanik test sonuçlarından elde edilen çıktılar kullanılmıştır. (Cappetti, N., Pisaturo, M., & Senatore, A. (2012).



Şekil 6. Yaprak yay 3B taraması ve Sheet modeli

Sonlu elemanlar analizinde kullanılan yaprak yay modeli 0.8 mm kalınlığa sahip olup CK75 yay çeliği malzeme özellikleri tanımlanmıştır. Oluşturulan yaprak yay iki plaka arasında serbest halde montajlanmıştır. ANSYS 2021 R2 ticari yazılımına aktarılan geometriye sınır şartları ve yüklemeler yaprak yay kuvvet ölçüm test cihazı ile örtüşür şekilde tanımlanmıştır.

Yapılan sonlu elemanlar analizini doğrulamak adına ayrıca bir test yapılacaktır. Yaprak yay kuvvet ölçüm cihazında gerçekleştirilen test kurgusunda da yaprak yay 2 plaka arasında sıkıştırılmakta. Parça üzerindeki maksimum büküm yüksekliği 0.72 mm'dir. Fakat test esnasında yaklaşık 0.1 mm'lik bir ön yük uygulandığı için test esnasında veri alma frekansımız 0.1 ile 0.6 mm arasındadır. Test sonuçlarında 0.6 mm sıkıştırma mesafesinde alacağımız tepki kuvveti ile sonlu elemanlar analizinde 0.72 mm mesafede alacağımız tepki kuvvetinin uyuşması beklenmektedir. Bu parametreler için bahsi geçen yaprak yay parçası referans yaprak yaydır. Revize yapılan yaprak yayda direkt model üzerinde büküm radiusları değiştirilecek ve aynı şartlarda analizi gerçekleştirilecektir.



Şekil 7. Ansys Modeli

Analizi ve karşılaştırması yapılacak yaprak yayların büküm radiusları tablo 1 deki gibidir.

Tablo-1 Yayların büküm Radius değerleri

	BÜKÜM 1	BÜKÜM 2	BÜKÜM 3	BÜKÜM 4	BÜKÜM 5	BÜKÜM 6	BÜKÜM 7	BÜKÜM 8
Referans	140	50	30	25	30	30	10	60
Revizyon	160	70	30	25	50	50	30	80

3. Bulgular ve Sonuçlar

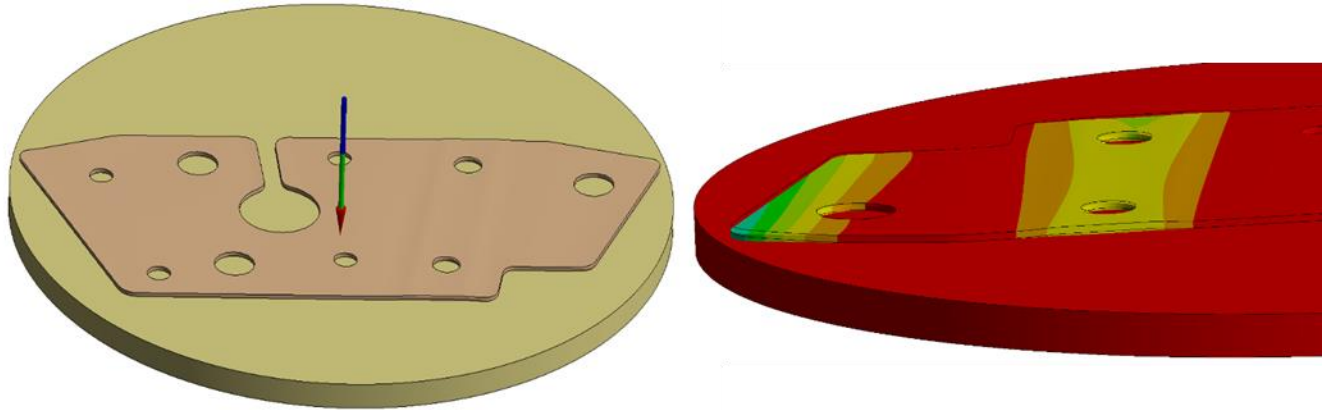
3.1. Sonlu Elemanlar Analizi

Her iki modelin hazırlanmasının ardından eşit sınır şartları ve yüklemelere tabii tutulan modeller üzerinden “force Reaction” çıktısı alınmıştır. Üst plaka üzerine uygulanan “Remote Displacement” yüzeyi “Force Reaction” için referans yüzey olarak atanmıştır. Her parçanın et kalınlığında minimum 2 eleman olacak şekilde mesh yapısı elde edilmiştir.

Tarama üzerinden tasarımı gerçekleştirilen yaprak yay modelinin sonlu elemanlar analiz sonucunun ilk olarak değerlendirmesi ürünün kullanıldığı debriyaj diskinin kuvvet değerlerine göre yorumlandı, benzer çalışmalar da referans alınarak sonucun yakınsadığı yorumlandı.

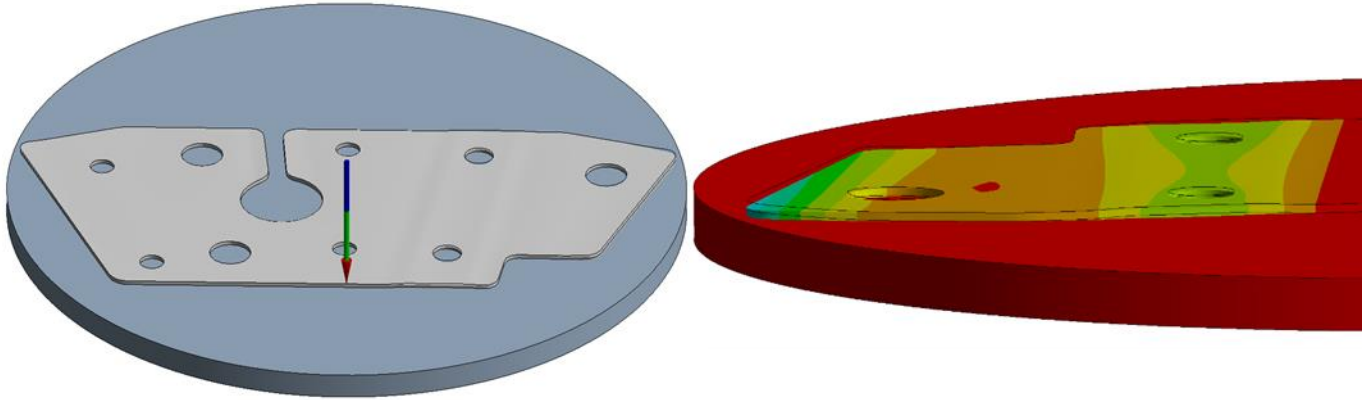
Üst ve alt plaka arasında sıkıştırılan yaprak yay parçasına üst plaka üzerinden 0,71 mm sıkıştırma uygulanmıştır. Bu sıkıştırma mesafesi yaprak yayın blok olması için gereken mesafenin %98’idir. Tanımlanan sınır şartlarına göre tepki kuvveti 6308,1N olarak hesaplatılmıştır

Referans yaprak yay modelinin büküm radiusları üzerinde değişikliğe gidilerek 2. Model



Şekil 8. Referans Yaprak Yay tepki kuvveti ve "Show Undeformed Wireframe" görüntüsü

hazırlanmıştır. Yay üzerindeki 8 bölgede olan bükümlerin 6 bölgesinde 20mm’lik bir radius arttırımı gerçekleştirilmiştir. Bir önceki analizi ile aynı sınır şartları ve yüklemelere tabii tutulan revize yaprak yayın tepki kuvveti 5830,6N olarak hesaplatılmıştır.



Şekil 9. Revize Yaprak Yay tepki kuvveti ve "Show Undeformed Wireframe" görüntüsü

3.2. Deneysel Sonuçlar

Analiz sonuçlarının doğruluğunu karşılaştırma ve deneyime göre doğrulayamayacağımız için 3B modeli oluşturmak için taranan yaprak yayı gerçek ortamda kuvvet testine tabii tuttuk. Zwick/Roell marka yay test cihazı ile ölçümü yapılan yaprak yayın kuvveti 6230 N olarak ölçülmüştür.

Deneysel test verileri ile sonlu elemanlar analizi sonuçları büyük oranda yakınlık göstermiş ve sonlu elemanlar analiz sonuçlarının yakınsadığı gözlemlenmiştir.

Tablo-2 Deneysel Sonuç

	REFERANS BÜKÜM	REVİZE BÜKÜM	TEST SONUCU
KUVVET (N)	6308,1	5830,6	6230



Şekil 10. Yay Ölçme Test cihazı ve Yaprak yay



4. Tartışma ve Sonuç

Yaprak yayın, baskı kuvvetine karşı gösterdiği tepki kuvveti kavrama süresini, kavrama mesafesini ve aktarabileceği maksimum tork miktarını direkt olarak etkilemektedir. Analiz sonuçlarının ardından büküm radiuslarının kuvvete etkisini incelersek revize edilmiş yaprak yayın kuvveti 477,5 N azaldığı gözlemlenmiştir. Bu değişimin sebebi büküm radiuslarının az olması durumunda büküm bölgesinde daha fazla gerinim oluşmasıdır. Blok olana dek karşılanan kuvvet, büküm radiusları büyüdükçe daha da azalacaktır.

Bir debriyaj setinde kullanılacak debriyaj diskinin tork değerini belirlerken baskı kuvveti, sürtünme katsayısı ve ortalama sürtünme yarı çapı değerlerinden yararlanılmaktadır. Debriyaj diskinin tork değerinin sabit tutup baskı kuvvetinin azaldığı durumlarda kavrama anında tam kavrama sağlanamaz. Disk, volan ve baskı plakası arasında sürtünmeye devam eder. Yaprak yay kuvveti baskı kuvvetine zıt yönde bir kuvvetdir.

Bu sebeple yaprak yay kuvveti yüksek olduğu durumlarda kavramanın gerçekleşebilmesi adına baskı kuvvetinin de artırılması gerekmektedir. Fakat araç içerisindeki sistemlerde baskı kuvvetinin artırılabilmesi maksimum kuvvet değeri sınırlıdır. Bu sebeple yaprak yay kuvvetinin optimum seviyede olması önem arz etmektedir. Yaprak yay kuvvetinin düşük olma durumu bize 2 avantaj sağlamaktadır. Bunlardan biri daha az baskı kuvveti ile aynı torku şanzımana iletebilmek bir diğeri ise aynı baskı kuvveti ile daha fazla tork aktarabilmemizi sağlamaktır. Bu sebeple revize edilmiş yaprak yay tasarımının avantaj sağladığı görülmüştür.

5. Teşekkür

Çalışmamıza tüm olanakları sağlayan Dönmez Debriyaj San ve Tic. A.Ş' ye katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Referanslar

- [1] Cappetti, N., Pisaturo, M., & Senatore, A. (2012). Cushion spring sensitivity to the temperature rise in automotive dry clutch and effects on the frictional torque characteristic. *Mechanical Testing and Diagnosis*, 2(3), 28-38.
- [2] Cappetti, N., Pisaturo, M., & Senatore, A. (2012). Modelling the cushion spring characteristic to enhance the automated dry-clutch performance: The temperature effect. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 226(11), 1472-1482.)
- [3] Minas, I., Morris, N., Theodossiadis, S., O'Mahony, M., & Voveris, J. (2021). Automotive dry clutch fully coupled transient tribodynamics. *Nonlinear Dynamics*, 105(2), 1213-1235.)



- [4] F. Vasca, L. Iannelli, A. Senatore, M. Tagliatela Scafati, "Modeling Torque Transmissibility for Automotive Dry Clutch Engagement", American Control Conference 2008, 306-311, 2008]
- [5] R. Shaver, "Manual Transmission Clutch Systems AE-17", SAE Inc., Warrendale PA, 1997.
- [6] LuK Clutch Course An introduction to clutch technology for passenger cars (turbominis.co.uk), (E.T. 14.09.2022)