

Alternatif Polimer Esaslı Malzemelerin Debriyaj Diski Stoperine Entegrasyonu

Serkan Cakmak^{1*}, Ömer Yıldız², İbrahim Can Kaymaz³ Ulaşcan Kurt⁴, Caner Eş⁵

^{1*}Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye, Serkan.cakmak@outlook.com, ORCID: 0000-0002-6210-4038

²Dönmez Debriyaj Tic. A.Ş., İzmir, Türkiye, o.yildiz@donmezdebriyaj.com.tr, ORCID: 0000-0001-7851-3840

³Dönmez Debriyaj Tic. A.Ş., İzmir, Türkiye, i.kaymaz@donmezdebriyaj.com.tr, ORCID: 0000-0001-5340-9844

⁴Dönmez Debriyaj Tic. A.Ş., İzmir, Türkiye, u.kurt@donmezdebriyaj.com.tr, ORCID: 0000-0002-1280-7210

⁵Dönmez Debriyaj Tic. A.Ş., İzmir, Türkiye, c.es@donmezdebriyaj.com.tr, ORCID: 0000-0002-8982-7789

Kuru sürtünmeli kavramalar günümüzde özellikle ağır ticari taşıtlarda aktif olarak kullanılmaya devam etmektedir. Taşıt güç gruplarının elektrifikasyon süreçlerinin artması ile binek taşıtlarda kullanımında azalma yaşanan kuru sürtünmeli kavramaların ticari taşıtlar için geçişi günümüz teknolojisi ile hala mümkün görünmemektedir. Günümüz dünyasında minimize edilmeye çalışılan emisyon değerlerini önlemek için geliştirilen farklı güç üretim yöntemlerinin yanı sıra yenilikçi malzemelerin konvansiyonel sistemlere entegre edilmesi de yakın gelecek için uygun bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Yaptığımız çalışmada konvansiyonel metal ürünler ile üretilmeye ve kullanılmaya devam eden kuru sürtünmeli kavrama parçalarından biri olan stoper parçasına ait yeni alternatiflerin türetilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda yenilikçi üretim teknikleri ve polimer kompozit malzemeler kullanılarak alternatif ürün tasarım, test ve validasyonu gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmanın esas hedefi, mevcut sistemlerde uzun yıllar süren köklü değişikliklerin yanı sıra yeni malzemelerin kullanımı ile kısa sürede ağırlıkta azalmalar ve buna bağlı zararlı etkilerde iyileştirmelerin yapılabileceği gösterilmek istenmiştir. Çalışma kapsamında, stoper elemanının ANSYS Workbench programı ile yapısal analizleri gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan alternatif ürün için gerçekleştirilen testler yapısal analiz sonuçlarını doğrulamaktadır. Analiz ve test sonuçları gösteriyor ki, alternatif olarak tasarlanan stoper çalışma koşullarına mukavimdir ve yapılan yenilikçi çalışma stoper ağırlığında %14 azalma gerçekleştirilmesine imkân vermiştir.

Anahtar kelimeler: Kuru sürtünmeli kavrama, debriyaj disk, stoper, polimer kompozit, eklemeli imalat.

© 2022 Published by AInteliala

1. Giriş

Debriyaj, taşıtlarda motor momentini şanzımana aktaran, gerektiğinde şanzımanda vites değişiminin yapılabilmesi için kavrama konumundan çıkışı sağlayan mekanizmadır [3]. Günümüzde ticari taşıtlarda kullanılmakta olan kuru sürtünmeli kavramalar, üç temel ve iki yardımcı elemandan oluşmaktadır, bunlar;

- ❖ Debriyaj baskısı (ana komponent)
- ❖ Rulman (ana komponent)
- ❖ Debriyaj disk (ana komponent)
- ❖ Volan (yardımcı komponent)
- ❖ Rulman çatalı (yardımcı komponent)

Şekil 1’de Debriyaj kompleksinin demontaj resmi görülmektedir.



Şekil 1. Debriyaj kompleksi [1].

A. Baskı:

Debriyaj baskısı kafes, diyafram yay ve baskı plakası ana komponentlerinden meydana gelen, volan yüzeyi ile disk yüzeyi arasında kavramayı sağlayan ve gerektiğinde ise motor-şanzıman bağlantısını ayırmayı sağlamakla görevli debriyaj sistemi elemanıdır [4]. Baskı plakası, diyafram yayın mesnetlendiği ve aynı zamanda debriyaj diski için sürtünmeli yüzey oluşturan ana elemandır. Ayrıca kafese mesnet lamaları ile bağlı olup üzerindeki yük kaldırıldığında mesnet lamaları vasıtasıyla eksenel olarak kafese doğru hareket etmektedir. Diyafram yay, bir ucu baskı plakasının tepe noktasında mesnetlenen ve debriyajın çeşidine göre itildiğinde veya çekildiğinde düz konuma gelerek baskı plakası üzerindeki yükün kalkmasını sağlayan elemandır.

B. Rulman:

Debriyaj rulmanı, Kavrama sisteminin başlangıç elemanı olarak sürücü tarafından uygulanan pedal kuvvetini çatal yardımı ile diyafram yaya ileten ve volan-baskı plakası arasında kavrama halinde bulunan disk üzerindeki kuvveti boşa çıkarmaya yarayan debriyaj sistemi elemanıdır. Debriyaj çeşidine bağlı olarak ileri veya geri yönde hareket esnasında kavrama-ayırma fonksiyonları gerçekleştirilebilir.



Şekil 2. Debriyaj rulmanı [1].

C. Volan:

Volan ağır, dönel bir kütle olup, enerjinin depolanması ve serbest bırakılmasını çevrimsel olarak karakterize eden mekanik işlemlerde, enerji deposu olarak kullanılan debriyaj sistemi elemanıdır. Volanın amacı, çalışma koşullarına uygun olarak, çevrimsel hız değişimlerini, yeterli büyük atalet sağlayarak belirli sınırlar içerisinde tutmak ve yüzeyde sürtünme ile kavramayı uygun karakteristik ile sağlamaktadır [5]. İletilen tork ve sönümlenen titreşim genlikleri alışılagelmiş değerlerden yüksek olduğu durumlarda ve/veya yüksek tork iletimi gereken sistemlerde çift kütleli volan tasarımları da güncel olarak kullanılan kavrama sistemi elemanlarındandır.

D. Rulman çatalı:

Kavrama, debriyaj sisteminin sürtünme yardımı ile şanzıman ve motor elemanlarını eşleştirmesi olarak algılanabilir. Bu eşleme esnasında sürücü, pedal kuvveti vasıtasıyla hidrolik piston-silindir mekanizmasını harekete geçirir. Harekete geçen piston, debriyaj sisteminin çatal parçasına manivela ile bağlı olup, sisteme gelen ana tahriki iletir. Debriyaj çatalı ise almış olduğu bu kuvveti rulmana iletmekle görevli debriyaj sistemi yardımcı elemanlarından biridir. Debriyaj sistemi tasarımı ve diyafram yayın formuna göre manivela ve çatal tasarımı değiştirilerek, itme veya çekme kuvveti yaratılır.

E. Debriyaj diski:

Debriyaj diski, motor tarafından oluşturulan dönel hareketin şanzımana aktarılmasında en önemli parçalardan biri olarak görev yapmaktadır. Debriyaj diski üzerinde bulunan ve sürtünme katsayısı yüksek olan balata yüzeyleri, volan ve baskı plakası yüzeyleri arasında sıkıştırılmak suretiyle kavramayı sağlamakla görevlidir [2]. Altı ana komponentten oluşmaktadır. Bunlar;

- ❖ Debriyaj balatası
- ❖ Dış ana sac
- ❖ İç ana sac
- ❖ Yay kapakları
- ❖ Ana damper ve ön damper yayları
- ❖ Göbek
- ❖ Stoper

Şekil 3'te Debriyaj diskinin demontajlı modeli görülmektedir. Disk üzerinde bulunan balata yüzeyleri dış ana sac alt komponentine perçinlidir ve disk montajının diğer kısımlarına hareket dış ana sacdan iletilmektedir. Dış ana sac ve iç ana sac kaynaklı birleştirme metodu ile birbirine bağlanmaktadır. İç ana sac, ana damper ve ön damper kapaklarına helezon yayları ile bağlıdır. Yay kapakları göbeğe perçinli bağlıdır ve dolayısıyla sönümlleme yayları ile kapaklara iletilen tork, kapaklardan göbeğe aktarılmaktadır. Kavrama sistemi motor tarafından üretilen bu torkun disk yardımı ile şanzımana iletilmesi esasına dayanmaktadır. Bu iletim esnasında sistemin en önemli tasarım kriterlerinden biri olan sürücü konforu, sönümlleme faktörüne bağlı bir kriterdir. Debriyaj disk tasarımlarında yaygın olarak kullanılmakta olan helezon yaylar, tork aktarım esnasında uygun sönümlleme karakteristiği yaratarak kavrama fenomeninin gerçekleşmesi esnasında sürücü konforunun negatif etkilenmesini önleyen en önemli alt parçalardan biridir [4]. Debriyaj, disk sayısına göre tek diskli ve/veya çift diskli olarak ikiye ayrılabilir. Bunun başlıca nedeni, aktarılabilecek tork değerlerinin nispeten yüksek olması durumunda tek disk kullanılması halinde kavrama için daha yüksek rijitliğe sahip yay kullanılması gerekecektir. Yüksek rijitliğin getireceği sarsıntılı kavrama, sürücü konforuna doğrudan etki edecek olması sebebiyle, sistemde daha fazla sürtünme yüzeyi kullanılması tercih edilmektedir. Bu sayede daha düşük rijitliğe sahip yaylar kullanılarak uygun kavrama gerçekleştirilebilir. Çalışma esnasında ana damperin blokaj olması ve eski konumuna geri dönüşü, yayların rijitliğini zamanla kaybetmesine ve yaylarda hasara yol açacağından, blokaj olmamasını sağlayan stoper elemanları sistemde tercih edilmektedir.



Şekil 3. Debriyaj diski [1].

Stoper üst ve alt kısımlarından yay kapaklarına temas vaziyetinde ve iç ana sacın üzerinde bulunan slot deliği içerisinde hareket serbestliğine sahiptir. İç ana sac ve yay kapakları arasında bulunan helezon yayların bir ucu iç ana sac, diğer ucu ise kapaklara temas etmektedir. İç ana sac dönme hareketini gerçekleştirdikçe yay sıkışmakta ve bir yerden sonra bloke olmaması adına stoper ile sınırlandırılmaktadır. Stoper, iç ana saca dayanmakta ve bu konumundan itibaren debriyaj diski rijit bir blok olarak davranış göstermektedir.

2. Materyal ve metot

Günümüzde taşıtlarda ve birçok iş makinesinde kavramada aktif bir rol oynayan debriyaj mekanizması, bir hareket aktarma elemanıdır. Çalışma kapsamında incelenen debriyaj diski iç ana sac alt komponenti AISI 1006 (SAE J403) düşük karbonlu çelikten, yay kapakları ise AISI 1005 karbon çeliğinden üretilmektedir. Çalışmaya konu olan Stoper komponenti geleneksel yöntemler kullanılarak susuz yay çeliği olarak da bilinen, ısıl işleminden sonra yaylanma özelliği kazanabilen, 50CrV4 malzeme ile imal edilmektedir. İncelenen alt komponent malzemelerinin çeşitli mekanik özellikleri tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1. Malzemelerin mekanik özellikleri.[6]

Özellikler	AISI 1005 (Kapaklar)	AISI 1006 (İç ana sac)	50CrV4 (stoper)
Yoğunluk (kg/m^3)	7800	7800	7850
Elastiklik modülü (Gpa)	205	206	205
Akma Mukavemeti (Mpa)	260	285	415
Kopma mukavemeti (Mpa)	330	330	670
Poisson oranı	0,29	0,29	0,29

Bu çalışma kapsamında geleneksel yöntemler ile imal edilmekte ve kullanılmakta olan stoper malzemesine alternatif yaratmak amacı ile PA6.6 malzemeli alternatif ürün çalışması yapılmış olup, eklemeli imalat metodu ile üretimi gerçekleştirilmiştir. PA6.6 görece iyi mekanik özelliklere sahip olması sebebiyle mühendislikte sıklıkla kullanılan polimer çeşitlerinden birisidir. Ayrıca bünyesinde su tutma özelliğine sahip olması nedeniyle, darbe yüklerini sönümleme kabiliyetine sahiptir. Mekanik özellikleri tablo2 de verilmiş olunan poliamid 6.66 malzemeli stoper elemanın ANSYS Workbench yazılımı statik yapısal modülü yardımıyla, ürün numunesi üzerinden alınan malzeme verileri ANSYS yazılımı içerisine dahil edilerek yapısal analizleri gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak, alternatif olarak değerlendirilebilecek PEEK (polietereterketon) malzemeli stoperin yapısal analizleri gerçekleştirilmiş ve analizleri tamamlanan üç farklı malzemeli stoper elemanının sonuçları karşılaştırılmıştır.

Tablo 2. Poliamid ve peek malzemelerin mekanik özellikleri.[6]

Özellikler	Poliamid 6.66	Peek (Polietereterketon)
Yoğunluk (kg/m^3)	1190	1450
Elastiklik modülü (Gpa)	3,7	4
Akma Mukavemeti (Mpa)	90	150

Ayrıca, poliamid malzemeli stopere sahip debriyaj diskinin komponent testleri gerçekleştirilip, analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deneyler şekil 5'te görülen disk tork test cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Test cihazı ile debriyaj diskinin performans karakteristiğini ifade eden debriyaj diski tork grafiği elde edilebildiği gibi, sönümleme yaylarının rijitlik ve histerezis değerleri de elde edilebilecek kabiliyettir.

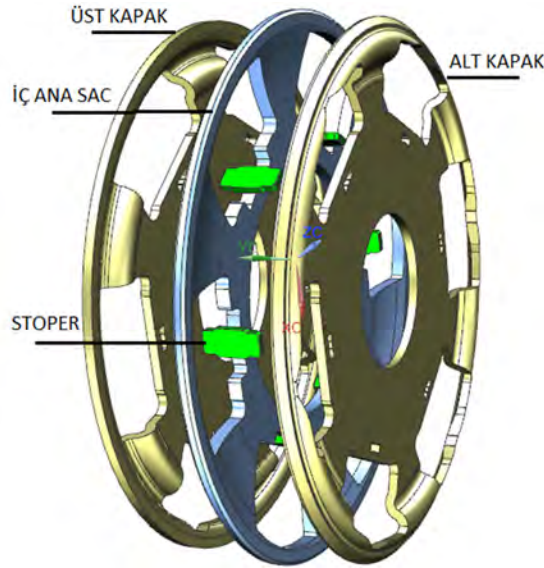


Şekil 4. Disk tork test cihazı.

Çalışmada irdelenen debriyaj diskinin tork aktarım kapasitesi 4500 Nm olup, yaklaşık olarak 3400 Nm kadarını helezon yaylar vasıtasıyla kapaklara aktarımını sağlamaktadır. Belirtilen tork değeri, yayların gerçekleştirebileceği sınır açısal deplasman değerine tekabül edeceğinden devreye stoper elemanı girecektir ve geriye kalan 1100 Nm tork değeri altı adet stopere etki edecektir. Bu sebepten dolayı analiz ve test sınır koşulları, stopere etkiyen maksimum tork değeri baz alınarak saptanmıştır.

3. Analiz

İç ana sac, yay kapakları ve stoper cad dosyaları şekil 5'te görüldüğü gibi, Siemens NX programında oluşturulup yapısal analiz için Ansys ara yüzüne aktarılmıştır. Modelin, simülasyon kompleksliğini azaltmak amacı ile 1/6'lık dilimi ele alınmıştır.



Şekil 5. İncelenen modelin demontaj görünümü.

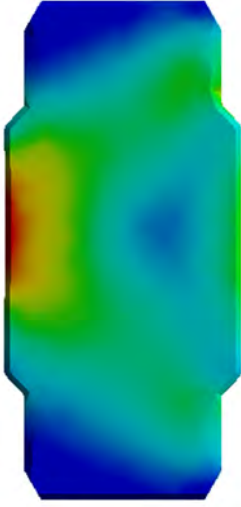
Debriyaj diskinin, yukarıda bahsedilen kompleks yapısından arındırılması için tüm gerekli görülmeyen alt komponentler devre dışı bırakılmıştır. Analiz sınır koşulları belirlenirken debriyaj diskinin çalışma prensipleri göz önüne alınarak tayin edilmiş olup, diskin gerçek çalışma koşullarını en iyi ifade eden kontaklar atanmıştır. Modele sönümleme yayları dahil edilmeyip, debriyaj diskinde bulunan altı adet stopere etki eden tork değeri olan 1100 Nm torkun altıda biri olan değer iç ana sac üzerinden tatbik edilmiştir.



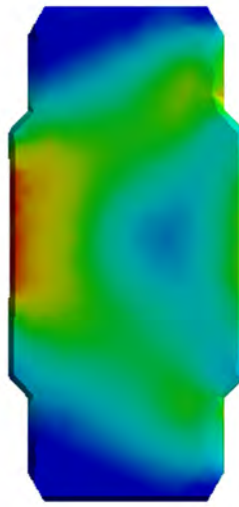
Şekil 6. Oluşturulan mesh ağı.

Şekil 6'da oluşturulan mesh ağı, 69363 eleman sayısına sahiptir ve eleman kalitesi belirleme kriteri olarak maksimum skewness değeri 0,77 olarak elde edilmiştir. Yapılan analizin doğruluğu açısından meshten bağımsızlık çalışması yapılmış olup, sonuçların mesh ağıyla değişkenlik göstermediği değerler ile analiz sonuçları yorumlanmıştır.

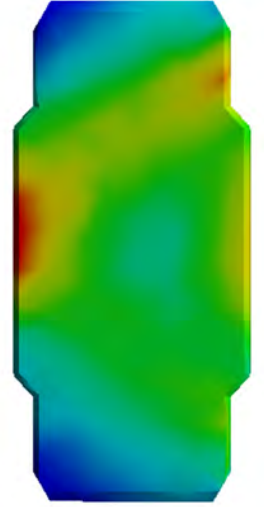
A. Analiz sonuçları:



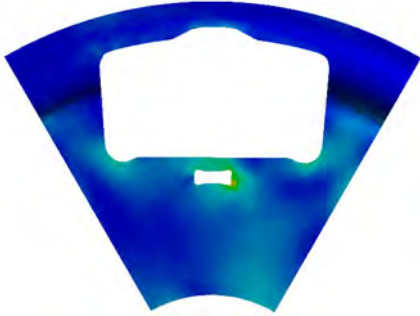
Şekil 7. PA6.6 Stoper eşdeğer gerilme.



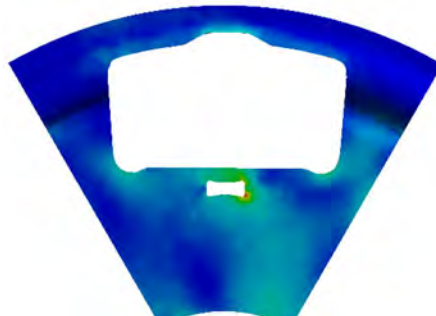
Şekil 8. PEEK stoper eşdeğer gerilme



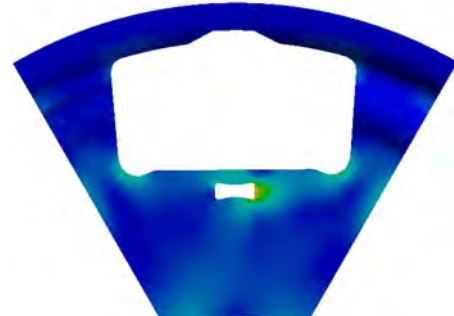
Şekil 9. 50CrV4 stoper eşdeğer gerilme



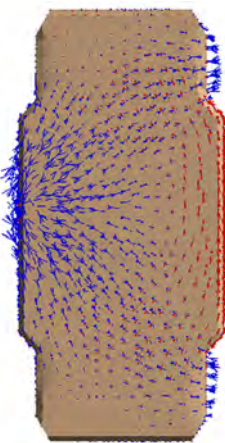
Şekil 10. PA6.6 stoperli yay kapakları eşdeğer gerilme.



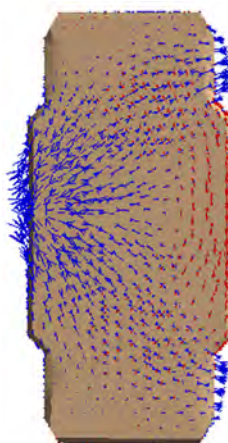
Şekil 11. PEEK stoperli yay kapakları eşdeğer gerilme



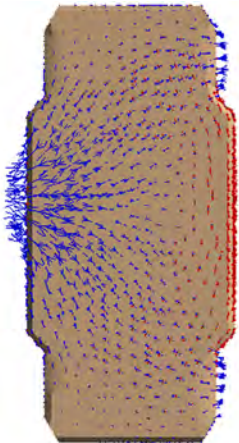
Şekil 12. 50CrV4 stoperli yay kapakları eşdeğer gerilme



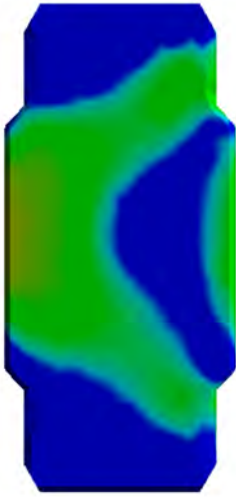
Şekil 13. PA6.6 stoper vector principle.



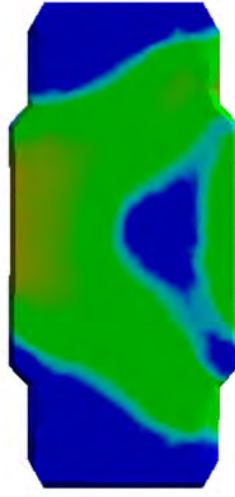
Şekil 14. PEEK stoper vector principle



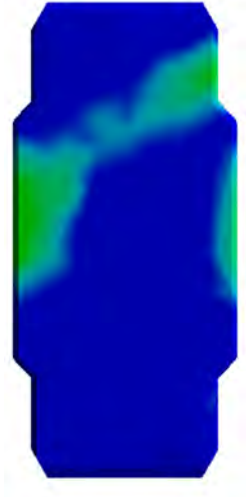
Şekil 15. 50CrV4 stoper vector principle.



Şekil 16. PA6.6 stoper safety factor.



Şekil 17. PEEK stoper safety factor.



Şekil 18. 50CrV4 stoper safety factor.

Elde edilen üç farklı malzeme ile gerçekleştirilen analiz sonuçları tablo3'te verilmiştir. Bununla birlikte şekil 7'den şekil 18'e kadar stoper ve kapaklar üzerinde oluşan gerilme dağılımları gözlemlenebilir. Yapısal analiz sonuçlarında görülen gerilme dağılımları incelendiğinde, stoperin yay kapaklarına mesnetlendiği bölgelerde ve iç ana sacın stopere temas ettiği bölgede beklendiği gibi basma gerilmesi oluşmaktadır. Konvansiyonel stoper malzemesine alternatif olarak çalışılan ve nispeten daha sünek karakteristiğe sahip pa6.6 ve peek malzemelerinin kullanımıyla kapak üzerinde bu bölgelerde oluşan gerilmelerin minimize edildiği gözlemlenmiştir. Bu sayede kapaklarda, çevrimsel yüklemeler sonucu oluşan yorulma hasarı başlangıcı, gerilme genlik değerinde azalma sağlanması sebebiyle servis süresinde artış sağlanabileceği görülmektedir.

Pa6.6 ve peek malzemeli stoperler üzerinde oluşan gerilme değerleri, malzemelerin akma dayanımının altında olması sebebiyle, stoper elastik bölgede çalışmasını sürdürmeye devam etmektedir. Yenilikçi tasarımların darbe yüklemelerini sönümleme özelliği 50CrV4 malzemeli stoper elemanına göre yüksek olması sebebiyle, iç ana sac alt komponenti ile çalışması sırasında maruz kalabileceği darbe kaynaklı hasarların önüne geçileceği öngörülmektedir.

Tablo 3. Yapısal analiz sonuçları.

	AISI 1005 (Kapaklar)	50CrV4 (stoper)	AISI 1005 (Kapaklar)	PA6.6 (Stoper)	AISI 1005 (Kapaklar)	PEEK (Stoper)
Eşdeğer Gerilme (Mpa)	28	51,1	17,5	34	17	39
Eşdeğer elastik şekil değiştirme	0,00015	0,00026	0,0001114	0,002982	0,000114	0,001461
Emniyet faktörü	9,3	8,12	14,8	4,1	15,3	4,5

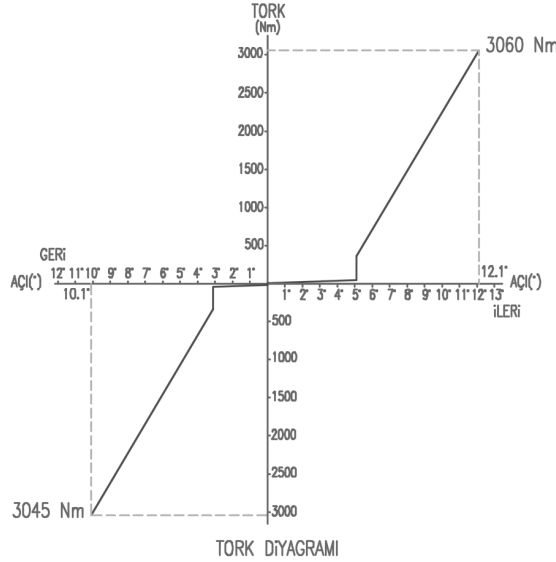
Gerçekleştirilen yapısal analiz sonuçlarında stoperlerde elde olunan minimum emniyet faktörü değerlerine göre, pa6.6 ve peek malzemeli stoper elemanlarının işlevlerini emniyetli bölgede yerine getirdiği saptanabilmektedir.

4. Deneyisel Bulgular

Motordan aktarılan tork değerinde çalışma esnasında artım olmasıyla beraber, helezon yayların gerçekleştireceği açılmalı deplasman değerinde yükselme olması şekil19'da bulunan debriyaj diski karakteristik tork grafiğinden anlaşılmaktadır. Bu bağlamda irdelenen debriyaj diskinin karakteristik tork grafiğinden, debriyaj diski ana sönümleme yaylarının disk içerisinde tarayabilecekleri azami açı değeri 12° olarak saptanabilmektedir ve belirtilen değer aşıldıktan sonra iç ana sacın stopere dayanmasıyla beraber, ana sönümleme yaylarının daha fazla açılmalı deplasman yapmasına müsaade edilmemektedir.

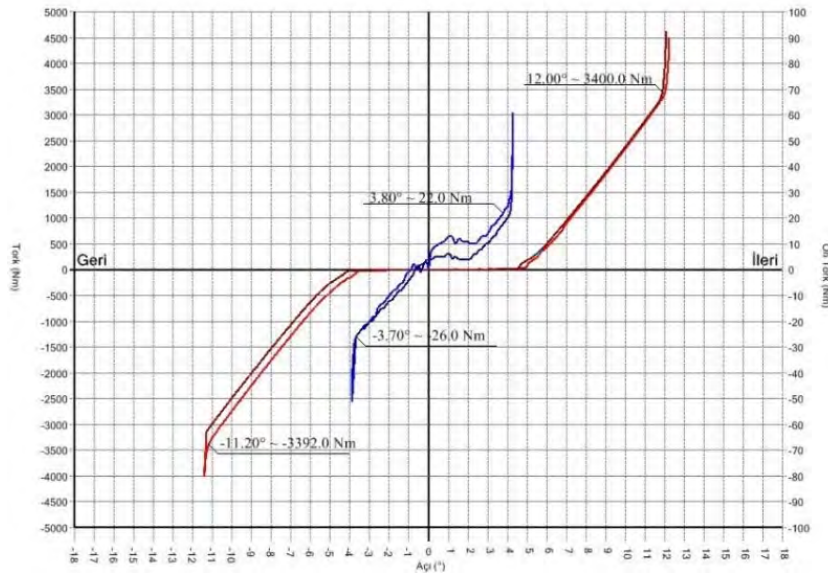
Test parametresi olarak, çalışma konusu olan debriyaj diskinin 4500 Nm tork aktarım kapasitesine sahip olması sebebiyle, 4500 Nm limit tork değeri test cihazı ara yüzüne girilerek deneyler gerçekleştirilmiş olup, test sonuçları şekil 20'de elde edildiği gibidir.

Deney sonuçlarında elde olunan debriyaj disk tork grafiği üzerinde bulunan kırmızı eğri ana sönümleme yaylarını, mavi eğri ise ön sönümleme yaylarını temsil etmektedir. Grafikten ana sönümleme yaylarına ait eğride, yayların 3400 Nm tork değeri ve 12°'lik açısal deplasman gerçekleştirdiği saptanabilmektedir. Debriyaj diskine uygulanan tork değerinde artış olması ile stoper elemanının devreye girmesi ve ana sönümleme yaylarının daha fazla deforme olmasına müsaade etmemesi, eğrinin dik bir yönelim ile ilerlemesinden anlaşılmaktadır. Bu sebepten dolayı stoperin çalışma aralığı olarak 3400 – 4500 Nm tork aralığı olarak elde edilmiştir.



Şekil 19. Debriyaj disk karakteristik tork grafiği

Disk üzerinde bulunan altı adet stoper yaklaşık olarak 1100 Nm tork değerine maruz kalmaktadır ve stoperlerin çalışması esnasında ana sönümleme yaylarının açısal hareketi, önceden belirtildiği üzere şekil 19'da bulunan disk tork grafiğinde saptandığı gibidir. Yapılan analizler ile paralel olarak testleri ortaya koyulan, alternatif olarak üretilen pa6.6 malzemeli stoperlerin belirtilen tork aralığında hasara maruz kalmadığı ve ana sönümleme yaylarının 12°'lik açı taramasına müsaade ettiği tespit edilebilmektedir.



Şekil 20. Poliamid malzemeli stopere ait disk tork grafiği

5. Sonuç

Debriyaj diski alt elemanı olan stoper üzerinde oluşan gerilme dağılımlarında hasara sebebiyet verebilecek gerilme değerleri gözlenmeyip, ağırlıkta yaklaşık olarak %14 azalma elde etmek alternatif stoper tasarımları ile mümkün kılındığı yapılan analizler ve testler doğrulamaktadır. Bu minvalde yürütülen çalışmanın sonucunda, debriyaj diski alt komponenti olan stoper elemanı için yeni alternatif malzemeli tasarımların uygulanabilirliği gösterilmiştir. Yapılan yenilikçi tasarım ile, debriyaj kompleksinde çalışmaların gelecekte seyrine etki edebilecek araç testleri gerçekleştirilmesi öngörülmektedir.

Teşekkür

Çalışma kapsamında desteklerini esirgemeyen Btech Innovation A.Ş firması ve Kaan Muratlı'ya teşekkürü borç biliriz.

REFERENCES

- [1] S. Sfarni, "Numerical and experimental study of automotive riveted clutch discs with contact pressure analysis for the prediction of facing wear", Finite elements in analysis and design, vol. 47, pp. 129-141, 08, 2010.
- [2] V.B. Bhandari, "Design of machine elements,", 2nd ed. New delhi, India: Tata McGraw-hill, 2010.
- [3] Purohit R., "Design and Finite Element Analysis of an Automotive Clutch Assembly," 3rd International Conference on Materials Processing and Characterization (ICMPC 2014), Hyderabad, India. 2014.
- [4] Batuhan O., "Debriyaj sisteminin dinamik analizi," M.S. thesis, Fen bilimleri enstitüsü, Uludağ üniversitesi., Bursa., 2018.
- [5] M. Sabuncu, "Makine dinamiği,", 2nd ed. İzmir, Türkiye: Birsan yayın evi, 1991.
- [6] <https://www.matweb.com/index.aspx>