

## AĞIR TİCARİ KAMYONLAR İÇİN TASARIMI YAPILMIŞ TEK KATLI PARABOLİK YAPRAK YAYIN ÜRETİMİ VE FİZİKSEL DOĞRULAMASI

Göksel Tokgönül<sup>1</sup>, Gediz Kulaç<sup>1</sup>, Çiler Şenocak<sup>1</sup>, Emine Başalan<sup>1\*</sup>

"Bu çalışma Uluslararası Üniversite-Sanayi İşbirliği Ar-Ge ve İnovasyon Kongresinde sunulmuştur"

### ÖZET

Bu çalışmada ağır ticari kamyonlar için daha önce tasarımı yapılmış tek katlı parabolik yaprak yayın üretimi ve fiziksel doğrulaması gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında 52CrMoV4 malzemesinden lamalar, tasarımda belirlenen ölçülere göre (aracın tam yüklü durumunda ön kol boyu 925 mm, tam boy değeri ise 1850 mm) şekillendirilmiştir. Şekillendirme işlemi sonrası gerçekleştirilen ısıtma işlemi ile iç yapının martenzite dönüşümü sağlanmış ve kumlama işlemine tabi tutulmuştur. Üretilen numunelerin yorulma testleri öncesinde, gerinim ölçümleri gerinim ölçer yardımı ile gerçekleştirilmiş ve analitik bulgularla korelasyonu sağlanmıştır. Gerinim ölçümlerine dayalı analitik sonuçların korelasyonunun bir sonucu olarak, yorulma testleri başarıyla gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Parabolik yaprak yay, yay katılığı, gerilme, yorulma

### SINGLE LAYER PARABOLIC LEAF SPRING PRODUCTION AND PHYSICAL VERIFICATION FOR HEAVY COMMERCIAL VEHICLES

### ABSTRACT

In this study, single-layered parabolic leaf spring production and physical verification has been performed for heavy commercial vehicles. In this context, the raw material, manufactured from 52CrMoV4, was formed according to the design requirements (in the case of the full load of the front arm length 925 mm, full length 1850 mm). After the forming process, martensite structure was obtained by heat treatment and shot peening was performed. Before the fatigue tests of the produced samples, strain measurements were carried out with the help of strain gauges and correlation with the analytical findings. As a result of the analytical results' correlation based on stress measurements, fatigue tests have been carried out successfully.

**Keywords:** Parabolic leaf spring, stiffness, stress, fatigue

<sup>1</sup> Olgunçelik Firması Hasan Türek Bulvarı Organize Sanayi Bölgesi 45030 Manisa- 0(236) 233 04 44-e-mail: [goksel.tokgonul@olguncelik.com.tr](mailto:goksel.tokgonul@olguncelik.com.tr), [gediz.kulac@olguncelik.com.tr](mailto:gediz.kulac@olguncelik.com.tr), [ciler.senocak@olguncelik.com.tr](mailto:ciler.senocak@olguncelik.com.tr), [emine.basalan@olguncelik.com.tr](mailto:emine.basalan@olguncelik.com.tr) \*iletişimden sorumlu yazar.

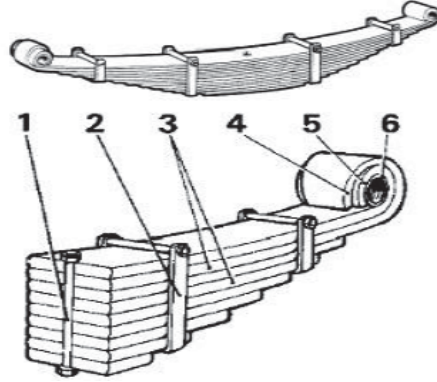
## 1. GİRİŞ

Süspansiyon kolları, yaprak yaylar ve amortisörlerden oluşan otomotiv süspansiyon sistemleri tekerlekler ve araç sistemleri arasında bağlantıdan sorumlu elemanlardır. Aynı zamanda yoldaki düzensizlikler kaynaklı titreşimleri sönmölemekle görevli bu sistemler aracın sürüş konforuna da doğrudan etki etmektedir (Craig, K. (b.t.), Scuracchio B.G., 2013,672-676). Ana bileşenleri yaprak yay, tampon ve stabilizatör olan bu sistemlerde stabilizatör, virajlarda aracın kontrolünden sorumluyken yaylar araç ağırlığını destekleyen elemanlardır ve sürüş sırasındaki düzensizlikler kaynaklı ana parçaların ürettiği enerjiyi sönmölemeye yardımcı olmaktadır. Tamponlar ise sönmölenen bu enerjiyi dağıtarak, düzensiz yollarda bile aracı sürmeye mümkün kılmaktadır (Scuracchio B.G., 2013,672-676).

Pinömomatik yay, helezon yay, burulma yayları gibi araçlarda farklı şekillerde bulunabilen yaylardan helezon yaylar tercihen hafif araçlarda kullanılmaktayken, yaprak yaylar yaygın olarak daha ağır olan ticari araçlarda kullanılmaktadır (Crolla D.A., 2009). Genellikle bir veya daha fazla parabolik şekil verilmiş lamanın ısıl işleminden sonra bir merkez cıvatası ve kelepçelerle montajı ile elde edilen yaprak yaylar bası ve çeki kuvvetlerini karşılayacak şekilde tasarlanmaktadır (Childs P., 2014).

Yaprak yaylarda boy olarak en uzun katın uç kısımlarının kıvrılması ile meydana gelen gözün iç bölgesine, kauçuk malzemeden imal edilmiş burç parçaları takılarak yayın araca montesi sağlanmaktadır. Burçlar aynı zamanda oluşan kuvvet ve titreşim değerlerini bağlantı bölgelerinde üzerlerine alarak kendi içlerinde yok etmekte ve şasiye iletilmesine engel olmaktadır. Yaprak yaylar, frenleme kuvvetine, yüklerin oluşturduğu kuvvetlere ve tahrik kuvvetine dayanacak şekilde aşağı yukarı hareket etmektedirler. Burçlar yay üzerine gelen bu kuvvetler sebebi ile eğilmeye çalışırken gözün ileri ve geri bükülmesine müsaade ederek yay boyunun uzayıp kılalmasına da olanak tanımaktadır (Society of Automotive Engineers (SAE), 1990, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı (MEB), 2005, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı (MEB), 2011).

Konvansiyonel yaprak yaylar, farklı boylarda kesilmiş çeliğin üst üste konularak merkez cıvatası ile bağlanması sonucu meydana gelirler. Ana kattan diğer katlara doğru gidildikçe kat boylarında kısalma gerçekleşmektedir ve yaylarda taşınacak yük miktarı arttıkça kat sayısı da doğrudan etkilenmektedir (T.C. Milli Eğitim Bakanlığı (MEB), 2011). Parabolik yaprak yay ise ismini katların formundan almaktadır. Konvansiyonel yaprak yaylara göre yorulma ömrünün uzunluğu, ağırlığının azlığı, tek tabakalı oluşu sebebiyle tabakalar arası sürtünmenin olmayışı ve korozyon direncinin yüksekliği açısından avantajlıdır. Şekil 1'de çok tabakalı konvansiyonel yaprak yay için merkez cıvata (1), kelepçe (2), yaprak katları (3), göz sarması (4), göz çapı (5) ve burç (6) numara ile gösterilmektedir (T.C. Milli Eğitim Bakanlığı (MEB), 2011).



Şekil 1. Konvansiyonel yaprak yay (T.C. Milli Eğitim Bakanlığı (MEB), 2011)

Yaprak yayda mekanik özelliklerin istenilen aralıkta sağlanabilmesi için malzemenin doğru seçilmesinin yanı sıra özelliklerin iyileştirilmesi için uygulanan ısıtma işlemi de oldukça önemlidir (TS EN 10089, 2005). Yaprak yay tasarımında ise yay katılığı ve yay kalınlığı maruz kalacağı kuvvetlere bağlı olarak yapacağı sehim değerine göre hesaplanmaktadır.

Otomotiv endüstrisinin performans iyileştirme, ağırlık azaltma ve maliyet tasarrufu konusundaki artan talepleri, yeni tasarım konseptlerine ve yeni malzeme geliştirmelerine duyulan ihtiyacı arttırmıştır. Bu kapsamda ağırlık azaltımı yalnız maliyet düşüşü için değil yakıt tüketimi ve CO<sub>2</sub> salınımını azaltışı bakımından da oldukça büyük önem arz etmektedir (Podgornik B., Leskovsek V., Godec M., Sencic B., 2014,81-86).

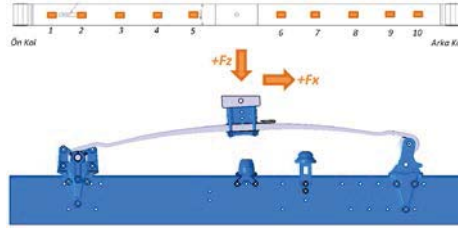
Bu çalışmada daha önce ağır ticari kamyonlar için bilgisayar destekli tasarımı yapılmış tek katlı parabolik yaprak yayın (Kelebek O., Kuralay N.S., Karaoğlan M.U., 2018) üretimi ve hedeflenen isterlere göre fiziksel doğrulaması gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonunda yaprak yay toplam ağırlığının hafifletilmesi ve ömür artışının sağlanması hedeflenmiş, yapısal analizler ve hasar analizleri ile fiziksel doğrulanmasının yapılması amaçlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada yaprak yay malzemesi olarak 52CrMoV4, tek katlı yaprak yayın kalın olması ve sertleşebilme özelliğinin sağlanabilmesi amacıyla seçilmiştir. 52CrMoV4 malzemesinden lamalar 900-1000°C'lik fırınlarda belli sürelerde ısıtılarak, tasarımda belirlenen ölçülere göre (aracın tam yüklü durumunda ön kol boyu 925 mm, tam boy değeri ise 1850 mm) şekillendirilmiştir. Haddelme sonrası göz kıvrıma işlemleri ön ve arka kol için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Beklenen mekanik özelliklerin gerçekleştirilmesi için ilk olarak yaprak yay 900°C sıcaklığında 56 dakika tavlansak östenitik yapı oluşturulmuş sonrasında 30-40 dakika boyunca yağda soğutulmuştur. Ani su verme işlemi sonrası mikro yapının martenzite dönüştürülmesi sağlanmıştır. Yaprak yayın kullanım yerine bağlı olarak daha tok yapıda olması istenildiğinden gevrek martenzit yapısı 450-500°C'de 150 dakika süreyle temperlenerek toklaştırılmıştır. Ardından yaprak yay stresli kumlama işlemine tabi tutulmuştur. Üretilen yayda gerilme değerinin 1600-1700 MPa, sertlik değerinin ise 467-493 HB aralığında olması beklenmektedir.

Daha önce CAE çalışmaları ile (Kelebek O., Kuralay N.S., Karaoğlan M.U., 2018) tasarım parametreleri belirlenen tek katlı parabolik yaprak yayın üretimi sonrasında gerinim

ölçümleri gerçekleştirilmiştir. 5 adet ön kol 5 adet arka kolda olmak üzere toplam 10 adet gerinim ölçer (HBM,  $350\Omega \pm 0.35\%$ ) yay üzerine yapıştırılmıştır. Şekil 2’de fikstüre yerleştirilmiş yaprak yay ve gerinim ölçerlerin yaprak yay üzerindeki konumlarını gösterilmektedir. Ölçümler ile sanal ortamda yaprak yay üzerinde meydana gelen gerilme değerlerinin fiili parça üzerinde sağlanıp sağlanmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 2. Tek katlı parabolik yaprak yayın test fikstürü üzerindeki görseli ve gerinim ölçerlerin yaprak yay üzerindeki yeri

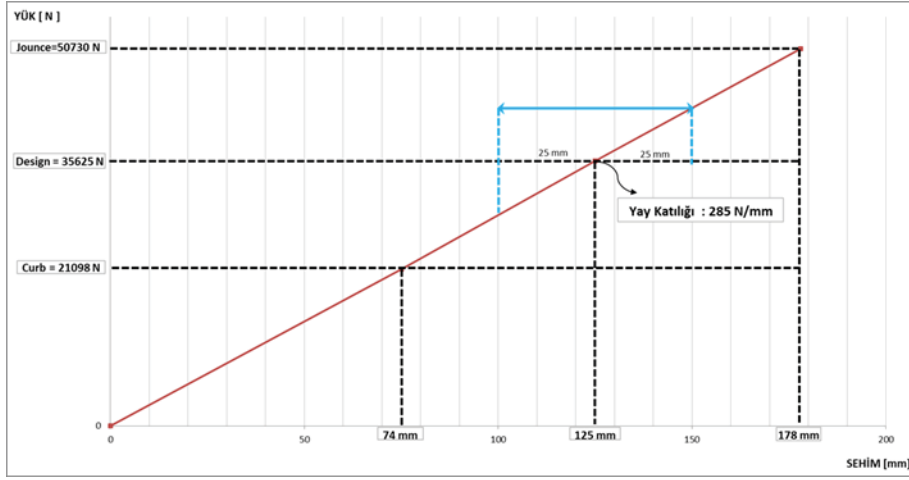
Tablo 1’de kötü yol, frenleme, geri frenleme ve viraj durumlarında yaprak yaya uygulanması gereken yük değerleri ve her bir senaryonun kaç kez uygulanacağı (çevrim sayısı) gösterilmiştir. Toplam 16 adet senaryonun belirlenen çevrim sayısı kere koşması sonucunda yaprak yay blok yükte 1 çevrim ilerlemiş sayılacaktır. Söz konusu tek katlı parabolik yaprak yayın testteki başarı kriteri minimum %100 çevrim olmasıdır.

Tablo 1. Tek katlı parabolik yaprak yayın fiziksel doğrulaması için uygulanacak yük bilgisi

Senaryo	Çevrim Sayısı	Fz - kN		Fy - kN		Fx - kN		My - kNm	
		Min	Mak	Min	Mak	Min	Mak	Min	Mak
Kötü Yol 1	3	0.0	62.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Kötü Yol 2	30	0.0	52.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Kötü Yol 3	100	3.4	51.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Kötü Yol 4	267	7.7	49.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Kötü Yol 5	280	10.7	46.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Kötü Yol 6	300	12.4	45.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Frenleme 1	6	30.5	62.0	0.0	0.0	0.0	57.8	0.0	-28.8
Frenleme 2	8	30.5	60.4	0.0	0.0	0.0	53.8	0.0	-26.8
Frenleme 3	30	30.5	58.1	0.0	0.0	0.0	50.1	0.0	-25.0
Frenleme 4	75	30.5	56.5	0.0	0.0	0.0	47.7	0.0	-23.8
Geri Frenleme 1	5	30.5	25.0	0.0	0.0	0.0	-23.1	0.0	11.5
Geri Frenleme 2	15	30.5	27.0	0.0	0.0	0.0	-17.7	0.0	8.8
Viraj 1	4	22.6	46.8	14.0	-30.3	0.0	0.0	0.0	0.0
Viraj 2	30	25.4	41.8	11.1	-24.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Viraj 3	75	23.8	42.5	9.5	-19.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Viraj 4	108	25.4	39.8	7.2	-14.5	0.0	0.0	0.0	0.0

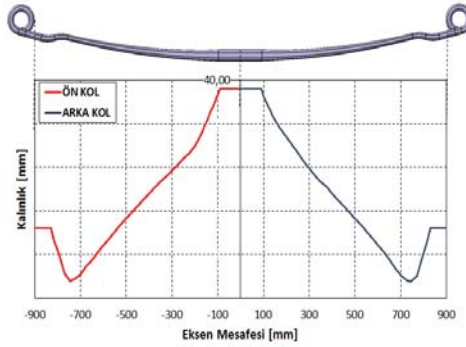
### 3. TEST VE DEĞERLENDİRMELER

Tek katlı parabolik yaprak yayın kesit kalınlığı, çalışma sınır şartlarına bağlı olarak yayın maruz kalacağı kuvvetler doğrultusunda yapacağı sehim değerlerine bağlı olarak hesaplanmaktadır. İstenen yay katılığı için tasarım aralığı Şekil 3’teki kuvvet-sehim grafiği üzerinde gösterilmiştir.

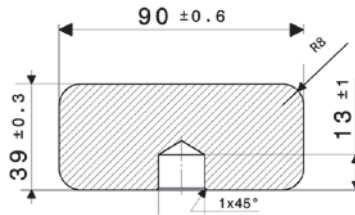


Şekil 3. Tek katlı parabolik yaprak yayın kuvvet-sehim grafiği

Buna göre farklı kesitlerde (90x39, 90x37, 90x35, 90x32, 90x30) ve kesit ölçülerine bağlı olarak değişen parabolik yay kalınlıklarında yapılan hesaplamalar sonucunda, yay katılığı istenen aralıkta olan tasarım 90x39 kesit ölçüsüne (Şekil 5) sahip yay olup bu kesit için yay katılığı 290.94 N/mm olarak hesaplanmıştır. Şekil 4'te tek katlı yaprak yayın belirlenen kesit ölçüsü ve kol boylarınca değişen kalınlık değerleri yer almaktadır.



Şekil 4. Tek katlı parabolik yaprak yayın kalınlık dağılımı



Şekil 5. Tek katlı parabolik yaprak yayın kesit ölçüsü ve profili

Gerilme analizi için belirlenen düşey, fren ve yanıl yükler fikstüre takılı yaprak yay üzerine uygulanması sonrasında 10 adet gerilim ölçerden okunan gerilme değerleri ve CAE çalışmasında tespit edilen gerilme değerlerini gösteren sonuçlar Tablo 2'deki gibidir.

Tablo 2. Gerinim ölçer ve bilgisayar destekli analiz sonuçları

	Düşey Yükleme		Fren Yükleme		Yanal Yükleme	
	Bilgisayar Destekli Analiz	Test	Bilgisayar Destekli Analiz	Test	Bilgisayar Destekli Analiz	Test
Gerinim Ölçer 1	1085	1078	-	-	1031	1021
Gerinim Ölçer 2	1091	1103	-	-	1041	1047
Gerinim Ölçer 3	1125	1114	-	-	1066	1055
Gerinim Ölçer 4	1154	1147	-	-	1087	1081
Gerinim Ölçer 5	1225	1201	-	-	1121	1106
Gerinim Ölçer 6	1214	1193	1401	1396	1106	1087
Gerinim Ölçer 7	1178	1175	1404	1407	1067	1063
Gerinim Ölçer 8	1174	1161	1400	1421	1061	1054
Gerinim Ölçer 9	1163	1157	1421	1432	1050	1040
Gerinim Ölçer 10	1096	1112	1480	1471	987	996

Gerinim ölçümleri dikkate alındığında, her bir yüklemde bilgisayar destekli analiz ve test fişküründe meydana gelen gerilme sonuçları birbirini yakınsadığı için, tasarımda belirlenen parametrelerin üretilen yaprak yaydaki isterler ile örtüştüğü görülmektedir. Yani, tasarlanan ile üretilen yaprak yay birbirine oldukça benzerdir.

Toplamda 5 adet numunede Tablo 1’de verilen değerlere bağlı olarak yapılmış yorulma test sonuçları Tablo 3’te verilmektedir. Testler sonunda her bir numunenin ulaştığı çevrim değeri %100 üzeri olduğu görülmüş ve üretilen numunelerin fiziksel doğrulama çalışmaları başarılı bir şekilde tamamlanmıştır.

Tablo 3. Tek katlı parabolik yaprak yayın fiziksel doğrulama sonuçları

Tek Katlı Yaprak Yay Projesi Blok Yük Test Sonuçları			
Numune No #	Ulaştığı Çevrim Değeri	Hasar Yeri	Yorulma Test İsterini Geçti mi?
#2	%113	Merkezden 350 mm mesafede (ARKA KOL)	Evet
#25	%102	Merkezden 220 mm mesafede (ARKA KOL)	Evet
#4	%123	Merkezden 230 mm mesafede (ARKA KOL)	Evet
#17	%110	Merkezden 630 mm mesafede (ÖN KOL)	Evet
#21	%122	Merkezden 300 mm mesafede (ÖN KOL)	Evet

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada ağır taşıtlar için çok katlı konvansiyonel yaprak yay yerine daha hafif tek katlı parabolik yaprak yayların kullanılabileceğinin fiziksel doğrulaması yapılmıştır. Üretim sonrası gerçekleştirilen gerinim ölçümleri ve yorulma testleri neticesinde tasarım aşamasında yaprak yayda belirlenen parametrelerin doğruluğu teyit edilmiştir. Farklı yükleme koşulları ve farklı çevrim sayıları numuneler üzerine uygulanarak yaprak yayın fiziksel doğrulaması yapılmış ve 5 adet numune yaprak yayda alınan pozitif sonuçlar ile yaprak yayın üretim ve test süreçleri tamamlanmıştır.

Tek katlı parabolik yaprak yayların devreye alınması ile yay ağırlığının azaltılması ve bunun bir çıktısı olarak maliyet düşüşünün yanı sıra yakıt tüketimi ve CO<sub>2</sub> salınımını azaltması çalışma için hedefi oluşturmaktadır. Çalışma ile tek bir yaprak yay için ağırlıkta 31.35 kg’lık bir azalış elde edilerek planlanan hedefe ulaşılmış bunun yanı sıra konvansiyonel yaya göre belirli miktarda ömür artışı da elde edilmiştir.

## 5. TEŞEKKÜR

Çalışmaya olan katkılarından dolayı Onur KELEBEK'e teşekkür ederiz.

## 6. KAYNAKLAR

- [1] Childs P., 2014, "Mechanical design engineering handbook", Butterworth-Heinemann,.
- [2] Craig, K. (b.t). "Automotive suspension systems" Motivation for the Study of Mechanical System Physical & Mathematical Modeling, Rensselaer Polytechnic Institute.
- [3] Crolla D.A., 2009, "Automotive engineering: powertrain, chassis system and vehicle body", Elsevier, USA.
- [4] Kelebek O., Kuralay N.S., Karaoğlan M.U., 2018, "Ağır taşıtlar için çok katlı konvansiyonel yaprak yay yerine tek katlı parabolik yaprak yay tasarımı ve analizi", Dokuz Eylül Üniversitesi- Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 20 (59).
- [5] Podgornik B., Leskovsek V., Godec M., Sencic B., 2014, "Microstructure refinemant and its effect on proproperties of spring steel", Materials Science and Engineering, A599, 81-86.
- [6] Scuracchio B.G., 2013, "Role of residual stresses induced by double peening on fatigue durability of automotive leaf spring", Material and Design, 47, 672-676.
- [7] Society of Automotive Engineers (SAE), 1990, "Spring Design Manual".
- [8] T.C. MİLLİ EĞİTİM BAKANLIĞI (MEB), 2005. "Süspansiyon sistemleri" MEGEP (Mesleki Eğitim ve Öğretim Sistemini Güçlendirme Projesi), Ankara.
- [9] T.C. MİLLİ EĞİTİM BAKANLIĞI (MEB), 2011, "Hareket ve kuvvet iletme elemanları", Ankara.
- [10] TS EN 10089, 2005, "Su verilmiş ve temperlenmiş yaylar için sıcak haddelenmiş çelikler – Teknik teslim şartları.