

TEK KATLI YAPRAK YAYLARDA SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE YORULMA ANALİZİ

Özgün SUNAR^{1*}, Mehmet ÇEVİK¹

¹ Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, 45150 Manisa

Özet: Bu çalışmada yeni yaprak yay tasarımları için mümkün olan en az sayıda prototipin üretilmesini ve seri üretime en kısa sürede geçilebilmesini sağlayacak bir yöntem geliştirilmesi amaçlanmıştır. Yorulma ömrünü belirlemeden önce parabolik yaprak yay tasarımına ve yorulma ömrüne etki eden faktörler incelenmiştir. Tek katlı bir parabolik yaprak yay için sonlu elemanlar modeli üzerinde gerilme ve yorulma analizleri Ansys Workbench 14.5 ve Ansys nCode Design Life 14.5 programları ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar fiziksel test değerleri ile karşılaştırılıp yorumlanmıştır. Yapılan yorulma ömrü çalışması ağır ve hafif ticari araçlarda kullanılan yaprak yayların tasarımlarında prototip üretim sonrasında parça üzerinde uzun süren denemeler olmadan, yorulma ömürlerine sonlu elemanlar analizleri ile ulaşılmasının mümkün olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: *Yorulma , yaprak yay, sonlu elemanlar yöntemi.*

FATIGUE ANALYSIS OF SINGLE LEAF SPRINGS WITH FINITE ELEMENT METHOD

Abstract: In this study the main goal is to produce a new method which provide to minimize manufacturing and test periods for leaf springs. Before fatigue life determination of leaf springs, parameters which effect on fatigue life prediction and parabolic leaf spring design have investigated. Parabolic leaf spring's FEM model's stress and fatigue life analysis have substantiated with Ansys Workbench 14.5 and Ansys nCode Design Life 14.5. The results obtained were verified by comparing the value of physical tests. This finite element fatigue life studies have proved that it is possible to reach fatigue life prediction of the leaf spring used in light and heavy commercial vehicles without longtime experiments tests on track after prototype manufacturing.

Keywords: *Fatigue , leaf springs, finite element method.*

1. GİRİŞ

Yaprak yaylar, yol koşulları nedeniyle ani olarak şasi ve aktarma organlarına gelen yüklerin oluşturduğu enerjiyi üzerinde depolayıp, daha sonra açığa çıkararak sürüş konforu ve emniyeti sağlayan süspansiyon elemanlarıdır. Yaprak yaylar tek katlı olabildiği gibi birçok katmandan oluşan çok katlı yaprak yay çeşitleri de mevcuttur. Boyları birbirinden farklı, lama şeklindeki parçaların üst üste konmasıyla meydana getirilir. Parçaların tümü, bir merkez civatasıyla birbirine bağlanır. Yayların dağılmasını önlemek için saç kelepçeler veya kılıflar kullanılır. Ana yaprağın her iki ucu kıvrılarak yay bağlantı gözleri oluşturulur. Ön ve askı sisteminde ön dingile, arka askı sisteminde arka köprüye U civatalarıyla bağlanır [1].

Yaprak yay eksenel titreşimleri ve yol düzensizliğinden kaynaklanan titreşimleri sönmölemek zorundadır. Bu sebeple yaprak yayların enerji sönmöleme kabiliyeti çok önemlidir [2].

Yaprak yaylar araç üstünde değişken ve tekrarlı yüklere maruz kalmaktadırlar. Etki eden bu kuvvetlerin yarattığı gerilme değerleri malzemenin karakteristik değerleri olan akma ve kopma dayanımından küçüktürler. Ancak dinamik yüklemeler altında malzemeler bir süre sonra maruz kaldıkları bu yükleri taşıyamaz ve kırılırlar. Bu durum yaprak yayın yorulması olarak değerlendirilir ve yaprak yayın yorulma ömrünün tayinini zorunlu kılar. Statik incelemelerin yanı sıra, bileşenler dinamik yüklemelere daha çok maruz kalacağından yorulma dayanımının önemi ön plana çıkmaktadır.

Daha çok hafif ve ağır ticari araçlarda sürüş konforu ve emniyetini sağlayan yaprak yayların güvenilirliği, statik ve dinamik etkiler altında “Sonlu Elemanlar Yöntemi” yazılımları sayesinde incelenmektedir. Deneysel olarak bu değerler doğrulanıp tüketici güvenini ve

güvenliğini artırıcı yöntemler geliştirilmeye devam edilmektedir.

Güven vd. parabolik ve konvansiyonel yaprak yayların sonlu elemanlar analizleri için çalışmalar yapmış ve sonuçları deneysel yöntemlerle doğrulamışlardır. Elde ettiği sonuçlar sayesinde test sürecinin sonlu elemanlar analizi yöntemleri ile kısaltıldığını ve bu sayede daha kısa sürede doğru sınır şartları altında gerçeğe en yakın analiz sonuçları elde etmeyi başarmışlardır [3].

Esen çalışmasında, kompozit yaprak yaylar ile yaklaşık aynı ağırlığa sahip çelik yaprak yayları karşılaştırmış ve sonuçları sonlu elemanlar analizi ile kıyaslamıştır. Aynı ağırlığa sahip çelik yaprak yaya göre daha uzun ömürlü kompozit yaprak yay üretmiştir [4]. Kumar vd. Sonlu elemanlar yöntemi ile elde ettikleri yaprak yay yorulma ömürlerini deneysel yöntemlerle kıyaslamışlardır [5]. Shokrieh vd. Sonlu elemanlar yöntemi ile optimizasyonunu yaptıkları kompozit yaprak yay ile çelik yaprak yayı kıyaslamış, kompozit yaprak yay üzerinde daha düşük gerilmeler elde etmişlerdir [6]. Soner vd. sonlu elemanlar yöntemi aracılığı ile yaptıkları optimizasyon çalışmaları sonucunda yaprak yay üzerinde ağırlık yaklaşık 20 kg azaltılmıştır [7].

Sonlu elemanlar yazılımları ile elde edilen yorulma dayanım değerleri sayesinde geliştirilen ürünlerin çatlak başlangıçları önceden belirlenebilecek, daha iyi tasarım gerçekleştirilebilecektir.

Bu çalışmada yeni yaprak yay tasarımları için mümkün olan en az sayıda prototipin üretilmesi ve seri üretime en kısa sürede geçilebilmesini sağlayacak bir yöntem geliştirilmiştir.

Çalışma süresince gerilme ve yorulma analizleri Ansys Workbench v14.5 sonlu elemanlar yazılımı ile gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar fiziksel test değerleri ile karşılaştırılıp yorumlanmıştır.

2. MALZEME ve YÖNTEM

Çalışmada 51CrV4 yay çeliğinden imal edilmiş tek katlı parabolik yaprak yay kullanılmıştır. Yaprak yay tasarımında kullanılan parametreler Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Yaprak yay parametreleri

Parametre	Değer
Deplasman	146 mm
Yay uzunluğu	1375 mm
Yay oranı	85 N / mm
Ön göz-eksen mesafesi	694 mm
Yay genişliği	60 mm
Statik Yük	12410 N
Max Yorulma Yüğü	12410 N
Min Yorulma Yüğü	1700 N

Tablo 2. % Kimyasal Bileşenler [8]

C	Si	Mn	Cr	V	Diğer
0.5	0.25	0.9	1.10	0.12	(Pb)

Yorulma ömrünün belirlenebilmesi için ortalama gerilmelerin etkileri incelenmelidir. Ortalama gerilmenin yeri hakkında bilgi vermesi bakımından DIN 50100’de bir gerilme oranı S değeri tanımlanmıştır. S değeri, alt gerilmenin üst gerilmeye oranıdır [9].

$$S = \frac{\sigma_a}{\sigma_u} \quad (1)$$

Yorulma mukavemeti incelenirken belirlenirken ortalama gerilme etkisi göz önünde bulundurularak gerilme genliğine bağlı ömür eğrisi (S-N) eğrisi elde edilmektedir. Ortalama gerilme ile izin verilen gerilme genliği arasında lineer bir ters orantı vardır. Ortalama gerilme etkilerini ortaya koyabilmek için Goodman tarafından teorik bir yaklaşım önerilmiştir.

$$\frac{S_a}{S_n} + \frac{S_m}{S_u} = 1 \quad (2)$$

S_n Belirli bir ömürde ortalama gerilmeye karşılık gelen gerilme genliği

S_n : Dayanım limiti

S_1 Ortalama gerilme

S_1 Malzemenin kopma dayanımı

3. BİLGİSAYAR DESTEKLİ GERİLME VE YORULMA ANALİZLERİ

3.1. Statik Gerilme Analizi

51CrV4 malzemeden imal edilmiş parabolik yaprak yay Solidworks programı ile tek parça olarak modellenmiştir.

Yaprak yayın sonlu elemanlar modelinin mesh işlemi “hex dominant” yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3. Model Özellikleri

	Değer
Young Modülü	2.1×10^5 MPa
Poisson Oranı	0.3
Mesh Büyüklüğü	5 mm
Eleman Sayısı	23134
Düğüm Sayısı	94986
Statik Yük	12410 N

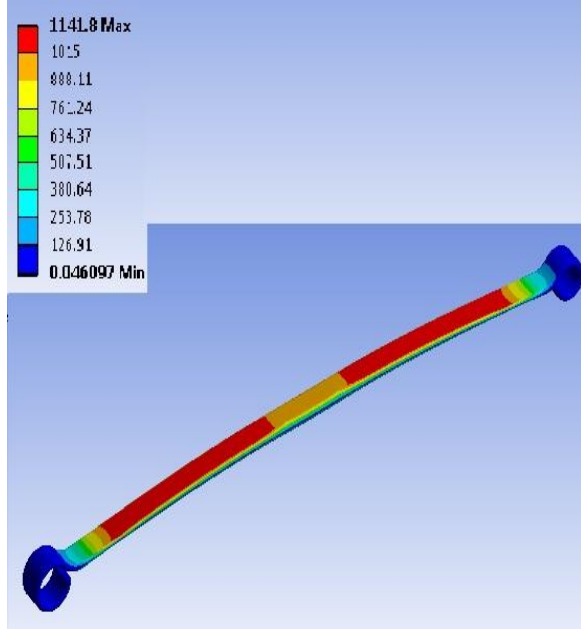
Mesh hassasiyetini belirlemek için yakınsama çalışması yapılmıştır.

Tablo 4. Yakınsama Çalışması

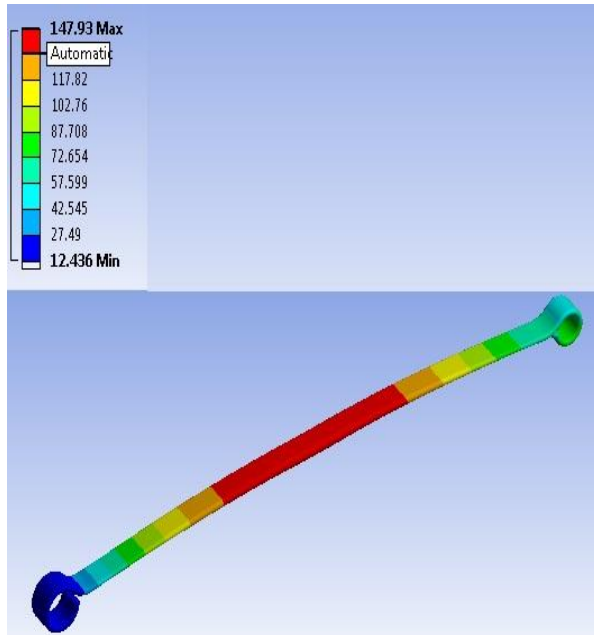
Mesh Size [mm]	Eleman	Gerilme [MPa]	Deplasman [mm]
20	1878	1141	147.83
18	2143	1219	148.33
16	2779	1171	148.38
14	3214	1150	148.11
12	4311	1142	148.05
10	5896	1181	148.02
8	8946	1163	148.01

6	15017	1141.5	147.94
5	23134	1141.8	147.93

Yapılan yakınsama çalışmasında en az değişim 23134 eleman sayılı, mesh büyüklüğünün 5 mm olduğu modelde gerçekleşmiştir.



Şekil.1 Gerilme Dağılımı (MPa)



Şekil.2 Yay Deplesmanı (mm)

Uygun mesh boyutunun belirlenmesi ile birlikte Von-Mises Gerilme kriteri ile statik gerilme analizi gerçekleştirilmiş ve maksimum 1141,8 MPa gerilme ve 147,93 mm deplasman değerleri elde edilmiştir.

3.2. Yorulma Ömrü Analizi

Yaprak yay yorulma ömrünü belirleyebilmek için Ansys nCode 14.5 sonlu elemanlar yöntemi yazılımından faydalanılmıştır.

nCode yazılımında girdi olarak Ansys Workbench ile elde edilen sonlu elemanlar modeli kullanılmıştır.

Yorulma ömrü için S-N parametreleri 600 MPa ortalama gerilmeye bağlı olarak gerilme genliği cinsinden girilmiştir.

Çözümler sonlu elemanlar modelinde kullanılan Von-Mises kriterine göre gerçekleştirilmiştir.

Yapılan analiz çalışmasında en hassas bölgenin 126200 çevrim yorulma ömrüne sahip olduğu görülmüştür.

8	9	10
Non-proportionalit	Dominant stress d	Life
	degrees	Repeats
0	88.6	1.262e+05
0	88.44	1.263e+05
0	88.54	1.263e+05
0	88.64	1.263e+05

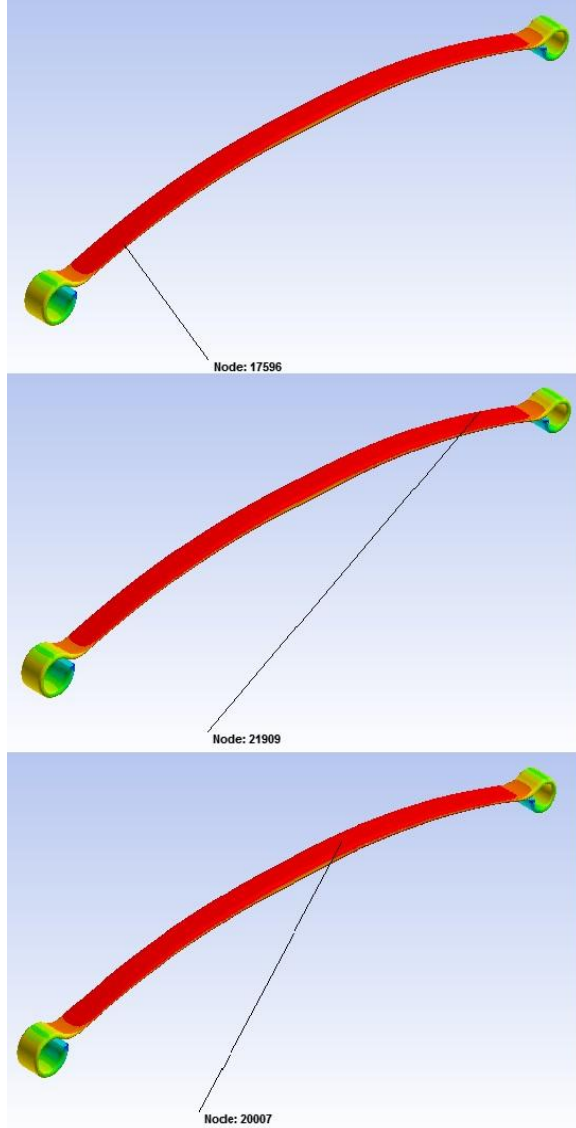
Şekil 3. nCode Yorulma Ömrü Sonuçları

Ayrıca Ansys nCode “Hotspot spot detection” yöntemi ile yorulma çatlaklarının başlayabileceği kritik bölgeler belirlenmiş ve model üzerinde gösterilmiştir.

Yorulmaya bağlı çatlak oluşumunun yapılan analiz sonucunda 17586, 21909, 20007. düğüm bölgeleri etrafında meydana gelebileceği öngörülmüştür.

4. YORULMA ÖMRÜ TESTİ

Prototipi üretilen tek katlı parabolik yaprak yayın tek eksenli bir yorulma cihazı üzerinde ömür testleri aşağıdaki parametrelere göre gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. Olası Yorulma Başlangıç Çatlağı Bölgeleri

Tablo 5. Test Değerleri

	Değer
Düşey Test Yüğü	1700-12410 N
Hedeflenen Ömür	100000 üzeri
Frekans	½

Gerçekleştirilen yorulma ömür testi sonucunda yaprak yayda 117462 çevrim sayısında merkez-arkagöz arasında merkezden 170 mm uzaklıkta yorulma kırılması meydana gelmiştir. Yorulma kırılmasının parça üzerindeki konumu Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 5. Yorulma Ömür Testi

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada 51CrV4 yay çeliğinden imal edilmiş tek katlı parabolik yaprak yayın Ansys Workbench ve nCode yazılımları ile bilgisayar destekli analizleri yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları, test değerleri ile kıyaslanarak doğruluğu incelenmiştir.



Şekil 6. Yorulma Kırılması

Tablo 6. Test ve Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

	Yorulma Ömrü [Çevrim]	Bağlı Fark
FEM	126200	-
DeneySEL	117462	%6.92

Elde edilen sonuçlara göre;

- Yaprak yay yorulma testinde ve sonlu elemanlar ile yorulma analizinde sonuçlar birbirini doğrulayacak yakınlıktadır.
- Yorulma testi sonunda meydana gelen yorulma kırılması Şekil 4’te gösterilen 20007. düğüm etrafında gerçekleşmiş ve yapılan kritik nokta belirlemesini doğrulamıştır.
- Yapılan yorulma ömrü çalışması otomotiv ana sanayinde hafif ve ağır ticari araçlarda kullanılan yaprak yay tasarımlarında prototip üretim sonrasında parça üzerinde uzun süren denemeler olmadan yaprak yay yorulma ömürlerine sonlu elemanlar analizleri ile ulaşılmasının mümkün olduğunu göstermiştir.
- Daha tasarım aşamasındayken, yaprak yaydan istenilen yorulma dayanımını sağlayacak en uygun yay malzemesini ve mukavemet özelliklerini seçmek ve yaprak yayda yorulmaya etkiyen parametreleri analiz programları aracılığıyla önceden öngörebilmek olası olacaktır.
- Bu durum işgücü, malzeme, enerji kaynaklarının verimli kullanılmasını sağlayacaktır.

Bu çalışma Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından 0369.STZ.2013-2 kodlu Santez projesi kapsamında desteklenmiştir.

Geliş Tarihi:19.12.2013

Kaynaklar

- [1] Manual on design and application of leaf springs, SAE International, 978-0-89883-383-6, 1980.
- [2] Corvi A, A preliminary approach to composite beam design using finite element analysis, Composite Structures, 16 ,259-275, 1990.
- [3] Güven, N., Temiz, V., Parlar, Z., "Evaluation of leaf spring design and fatigue life", International Conference on Advances in Materials and Processing Technologies, 2011.
- [4] Esen, Ö., "Kompozit Yaprak yaylarda sonlu elemanlar yöntemi ile yorulma analizinin yapılması", Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 2009.
- [5] Kumar M.S., Vijayarangan S., "Static analysis and fatigue life prediction of steel and composite leaf spring for light passenger vehicles", Journal of Scientific & Industrial Research, 66, 128-134, 2007.
- [6] Shokrieh, M., Rezaei, "Analysis and optimization of a composite leaf spring", Composite Structures, 60, 317-325, 2003.
- [7] Soner, M., Güven, N., Erdogus, T., Karaagaç, M., "Parabolic leaf spring design optimization considering FEA and rig test correlation", SAE Commercial Vehicle Engineering Congress, USA, 11CV-0013, 2011.
- [8] Saerstahl - 51CrV4 (50CrV4) Material specification Sheet.
- [9] Meran, C., Yüksel, M., "Malzeme Bilgisine Giriş", Cilt 2,TMMOB Makine Mühendisleri Odası,251-252, 2010.

Kabul Tarihi: 25.07.2014