

YAPRAK YAYLARDA KOMPOZİT MALZEME UYGULAMA VE YORULMA ANALİZİ

Özden ESEN¹, Fatih BALIKOĞLU², Nurettin ARSLAN³

¹Özden ESEN, Yüksek Makine Mühendisi

²fatih@balikesir.edu.tr Balıkesir Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 10145 Balıkesir

³narslan@balikesir.edu.tr Balıkesir Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 10145 Balıkesir

ÖZET

Bu çalışmanın amacı cam elyaf takviyeli kompozit yaprak yayların sonlu elemanlar yöntemi ile yorulma analizinin yapılmasıdır. Cam elyaf takviyeli kompozit yaprak yaylar el yatırması yöntemi ile üretilmiştir. Matris malzemesi için polyester kullanılmıştır. Kompozit yaprak yay ile aynı ağırlıkta veya kalınlıkta 2 farklı çelik yaprak yay imalatı yapılarak yük-deplasman, gerilme ve ömürleri kıyaslanmıştır. Çelik yaprak yay malzemesi için 55Cr3 kullanılmıştır. Numune yaprak yaylar üzerinden yay karakteristikleri çıkarılmış. ANSYS Workbench 11 programında statik ve yorulma analizi yapılmıştır. Analiz sonuçları ile deney sonuçları karşılaştırılarak aralarında uyum olduğu gözlemlenmiştir. Çelik yaprak yay ile yaklaşık olarak aynı ağırlığa sahip kompozit yaprak karşılaştırıldığında, kompozit yaprak yaylarda daha uzun yorulma ömürleri görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Kompozit yaprak yaylar, yorulma ömrü analizi, sonlu elemanlar analizi

ABSTRACT

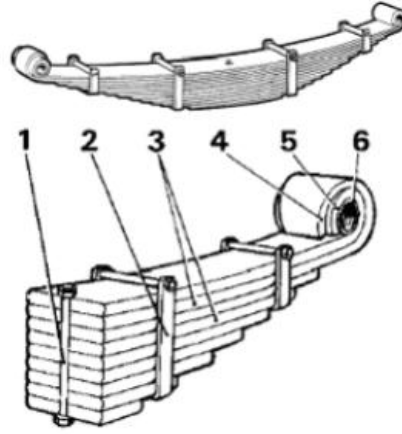
In this study, fatigue analysis of glass fiber reinforced composite leaf spring was conducted by using finite element method. Glass fiber reinforced composite leaf springs were manufactured with hand lay up method. Matrix material is polyester. Composite leaf springs compared with at the same weight or thickness of 2 different steel leaf springs by load-displacement, stress and life. Materials for steel leaf springs were used 55Cr3. Spread through the sample leaf springs have been excluded characteristic static and fatigue analysis in ANSYS Workbench 11 program was conducted. Also, analyses are compatible with experimental results. Composite leaf springs when compared to steel ones with approximately the same weight have longer fatigue life.

Keywords: Composite leaf spring, fatigue life analysis, finite element analysis.

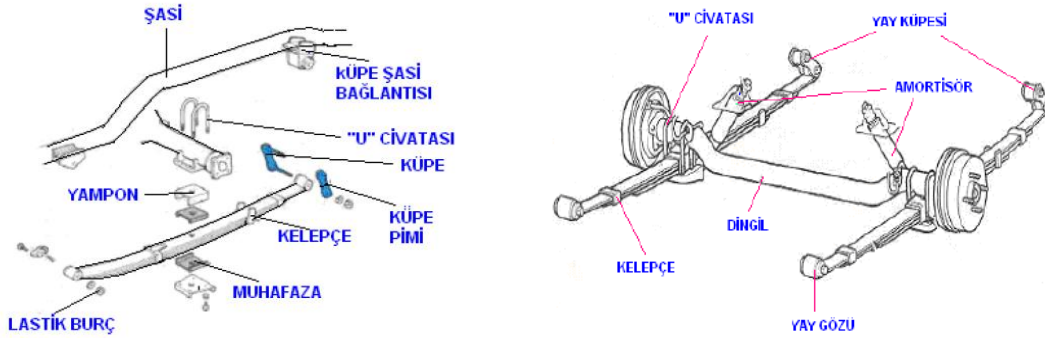
1. YAPRAK YAYLAR

Motorlu taşıtlarda yaprak yaylar çoğunlukla arka süspansiyon donanımında kullanılırlar. Makas olarak da adlandırılan yaprak yaylar günümüzde binek otomobillerde pek kullanılmaz, çoğunlukla iş makineleri kamyon ve kamyonette kullanılmaktadır [1]. Yaprak yaylar yassı çelikten bant şeklinde kıvrılarak yapılırlar. Birkaç ince yaprağın kısıdan uzuna doğru üst üste demetlenmesiyle oluşur. Bu bağlama şekliyle esnemesi durumunda kırılmaz, eğilmeğe zorlanır. Yaprağın her bir kıvrımına büküm denir ve uzun yapraktan kısa yaprağa doğru gittikçe büküm artar [1]. Yaprak Yayların parçaları Şekil 1 de gösterilmiştir.

1. Merkez Cıvata
2. Kelepçe
3. Yaprak Yay
4. Bağlantı Küpesi
5. Yay Gözü
6. Lastik Burç

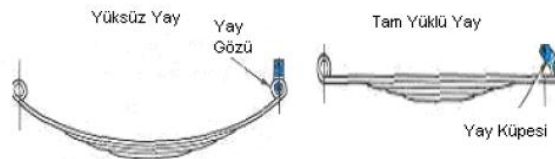


Şekil 1. Yaprak yay



Şekil 2. Yaprak yayın şasi ve dingile montajı

Yayı meydana getiren yapraklar bir merkez cıvatası tarafından birbirine bağlanır. Merkezden uçlara doğru kaymayı önleyici kelepçeler ile yapraklar birbirine tutturulmuştur. Kelepçeler yaprakları bir hizada tutmaya çalışır ve yaylanma hareketi sırasında yaprakların ayrılmasını engeller. Bazı yaprak yayların (makas) arasına pullar konulmak suretiyle eğilme sırasında birbiri üzerinde kayma imkanı sağlanmıştır. Böylece yayın kırılması önlenir. Yaprak sayısı arttıkça dayanacağı yük miktarı da artar [1].



Şekil 3. Yüklü ve Yüksüz yay durumu

En uzun yayın ön ucu kıvrılmak suretiyle bir yay gözü meydana getirilmiştir. Bu kısımdan yay askısına bir civata ile asılmıştır. Civata ile askıdaki yuvası arasına kauçuk burçlar yerleştirilmiştir. Böylece metalin metale teması engellenmiştir. Bu kauçuk burçlar titreşimleri üzerlerine alır ve kendi yapılarında yok ederek şasiye iletilmesine engel olur. Aynı zamanda yay eğilmeye çalışırken yay gözünün ileri geri bükülmesine müsaade eder [1].

Ana yaprak yayın arka ucunda bir yay gözü meydana getirecek şekilde bükülmüştür. Bu göz bir yay küpesi üzerinden aracın şasisine bağlanmıştır. Yay küpesi yayın eğilmeye çalışması sırasında yay boyunun değişmesine olanak sağlar [1].

Yaprak yaylar hafif yük taşıtlarında arka dingile, ticari amaçlı kamyon ve iş makinelerinde ise ön dingile, ağır hizmet araçlarında ise arka köprüye bindirilmiş durumdadır.

Yaprak Yayların Özellikleri

1. Makaslar sabittir. Uygun pozisyonda aksı içersine aldıklarından bağlantı parçalarına gerek yoktur. Ancak çok yer kaplar.
2. Ağır hizmet kullanımı için oldukça dayanıklıdır, fakat yapımı zordur.
3. Yaprak iç sürtünmeleri nedeniyle yol yüzeyinden gelen küçük titreşimleri sönmölemeleri zordur.
4. Sürüş konforu iyi değildir. Bundan dolayı yaprak yaylar büyük ticari araçlarda kullanılır.
5. Kalkış ve duruş sarsıntılarını çok kolay sönmöler.
6. Yaprakların sürtünmesinden dolayı düzenli bakım gerektirir.[1]

2. KOMPOZİT YAPRAK YAYLAR

Cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler özellikleri tam olarak keşfedilememesine rağmen hafif ticari araçlarda ve römorklarda kullanılan yaprak yayların yerini almaya başlamıştır. Sürüş güvenliğini ve konforunu arttırması, ses ve titreşimleri azaltması ile yüksek tonajlı araçlarda da kullanım potansiyeline sahiptir. Özellikle yere yakın olmasından ötürü kullanım alanının sınırlı olduğu otobüslerde ve ağırlık tasarrufunun öne çıktığı kamyonlarda ve tırlarda kompozit yaprak yay kullanımı çelik yaprak yaylara nazaran büyük avantaj sağlayacaktır.

2.1 Kompozit Yaprak Yay İmalatı

Kompozit yaprak yayların imalatında sıklıkla elyaf sarma yöntemi kullanılmaktadır. Bunun yanında pultrüzyon ve el yatırması ile kompozit yaprak yaylar üretilebilmektedir. Elyaf sarma yöntemi ile yüksek dayanımlı yaprak yaylar üretilebilmekte, pultrüzyon yöntemi ile yüksek üretim adetlerine ulaşılabilir. El yatırması yöntemi ise diğer yöntemlere nazaran daha ucuz ve basit bir yöntemdir. Bu çalışmada kullanılan numuneler de el yatırması yöntemi ile üretilmiştir. Genel anlamda imalat süreci çelik yaylara nazaran daha uzun ve zahmetlidir. Bu nedenle de ürün fiyatı biraz yüksektir [2-4].



Şekil 4. Kompozit yaprak yay örneği

2.2 Kompozit Yaprak Yayların Faydaları

Yaprak yayların temel görevi aks üzerine gelen yükleri emerek taşıtta bulunan diğer donanımlara, taşıtta bulunan yüke ve sürücüye daha az zarar gelmesini sağlamaktır. Kompozit yaprak yaylar çok iyi enerji absorbe ederler, aynı zamanda mükemmel sürüş sağlarlar. Kompozit yaprak yaylar genel olarak tek katlı imal edilirler. Çok katlı çelik yaprak yaylar yerine kullanılan kompozit yaprak yaylar ile katlar arası sürtünmeden kaynaklanan sönümlenme düzensizlikleri giderilir ve gürültü önlenir. Kompozit yaprak yaylar çelik yaprak yaylara nazaran daha hafiftirler. Hafif ticari bir araç için çelik yaprak yay ağırlığı 10 kg iken kompozit için 3,5 kg' dır. Fiber takviyeli kompozitler hasar ve çatlak ilerlemesine karşı çok dayanıklıdır. Dolayısıyla kompozit yaprak yaylar sadece yorulma dayanımı açısından değil hasara karşı da çok dayanıklıdır. Ayrıca kompozit yüzey üzerinde oluşabilecek herhangi kusur çizik veya delaminasyon katmanlar arasında yayılamayacağından aniden kırılmasına izin vermeyecektir. Dolayısıyla yaprak yayın değiştirilmesine fırsat tanınacaktır. Kompozit yaprak yayların sahip olduğu yüksek sönümlenme katsayısı ile ses ve titreşimde mükemmel derecede iyileşme gözlenir. Kompozit yaprak yaylar çelik yaprak yaylara nazaran daha pahalıdır. Ancak kompozit yaprak yaylar kullanıldığında araçta bulunan pek çok ekipman kullanılmadığı için hem süspansiyon sistemi maliyeti hem de taşıt ağırlığı azalır [2-4].

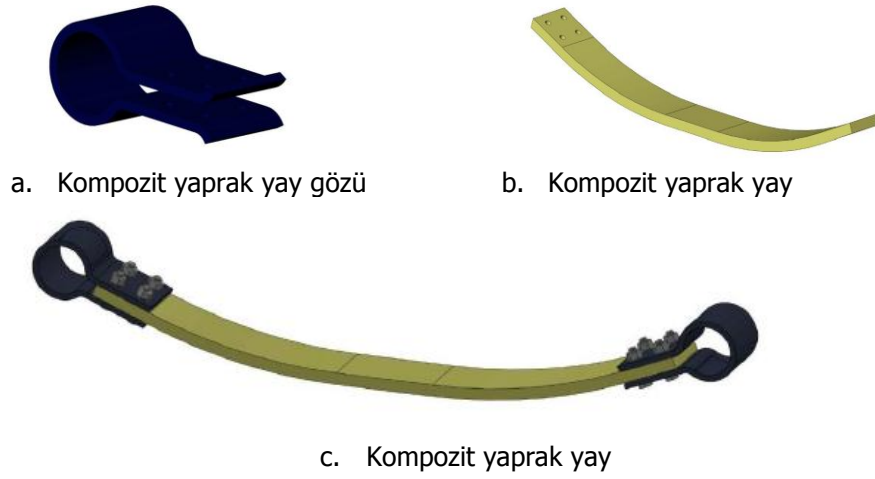
2.2 Kompozit Yaprak Yayların Dezavantajları

Kompozit yaprak yaylar üretim süreçlerinin uzun ve zor olmasından ötürü üretim maliyetleri yüksektir. Bu nedenle de günümüzde sınırlı sayıda taşıtta kullanılmaktadır. Yeni üretim yöntemlerinin geliştirilmesi veya üretim adetlerinin artırılması ile ürün maliyetleri düşürülerek bu handikap ortadan kaldırılabılır. Kompozit yaprak yaylar üstün korozyon dayanımı göstermelerine rağmen yol zemininden seken taşlardan etkilenmektedir[2-4].

3. KOMPOZİT YAPRAK YAY TEST NUMUNELERİNİN İMALATI VE TESTLERİ

3.1 Kompozit Yaprak Yay Numunelerinin İmalatı

Kompozit numuneler 5 farklı tipte el yatırması yöntemi ile dokuma veya keçe elyaf kullanılarak imal edilmiştir. Bu numunelerden %60 elyaf oranına sahip 12 mm kalınlıktakiler kullanılmıştır. Matriks malzemesi olarak polyester kullanılmıştır. Bu çalışmada denenen numune 12 mm kalınlığında polyester ve dokuma elyaf kullanılarak ön şekillendirilmeli olarak üretilmiştir. Kompozit yaprak yayın uçlarında bulunan gözler 55Cr3 60 mm x 6 mm ölçülerinde yaylık lamadan imal edilmiştir. Daha sonra bu göz bağlantıları kompozit yaprak yaya 4 adet civata ile sabitlenmiştir. Ansys Workbench de yapılan gerilme analizi sonucunda göz bitim bölgesinde yüksek gerilmeler oluşmuştur. Bu nedenle göz uçları kıvrılarak gerilme yoğunlaşmasına izin verilmemiştir.



Şekil 5. Kompozit yaprak yayın çizimi

Her bir kompozit yaprak yay gözün kütlesi 810 gr dır. Kompozit plaka kütlesi 860 gr dır. Toplam makas ağırlığı 2480 gr gelmektedir. Bu rakama bağlantı elemanlarının ağırlıkları dahil değildir.

3.2 Kompozit Yaprak Yay Test Numunelerinin Yay Karakteristiğinin Belirlenmesi

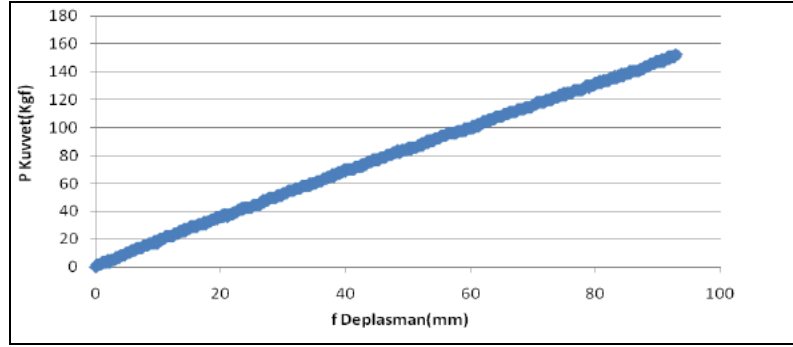
Kompozit numuneler imal edildikten sonra yay karakteristiğini çıkarmak için yaprak yaylar üzerine kuvvet uygulanmıştır.



Şekil 6. Kompozit yaprak yay numunesi



Şekil 7. Kompozit yaprak yay numunesine kuvvet uygulanması



Şekil 8. Kompozit yaprak yaya ait yük-deplasman grafiği

Tablo 1. Kompozit yaprak yay numunesine ait yük-deplasman verileri

	Deplasman (mm)	Kuvvet (N)	Kuvvet (Kg)	Zaman(s)
1	0	0	0	0
2	8.69	168	17.134	7
3	17,533	303	30,841	14
4	26,577	454	46.261	21
5	35.544	605	61.682	28
6	44.451	756	77.102	35
7	53.353	891	90.809	42
8	62.285	1025	104.516	49
9	71.232	1160	118.224	56
10	80.088	1294	131.931	63
11	88.868	1429	145.638	70
12	92.873	1496	152.491	73

Tablo 1 de verilen kuvvet-deplasman verileri Ansys workbench programında aynen kullanılmıştır.

4. KOMPOZİT YAPRAK YAYLARIN BİLGİSAYAR DESTEKLİ GERİLME VE YORULMA ANALİZİ

4.1 Kompozit Yaprak Yayın Statik Gerilme Analizi

Kompozit yaprak yay Solidworks programında 11 parça halinde modellenmiş montajı yapılarak Ansys Workbench programına atılmıştır. Göz bağlantılarında kullanılan cıvata ve somunlar problemi kolaylaştırmak amacıyla analiz modelinden çıkarılmıştır. Cıvata bağlantısı yerine göz ve yaprak yay arasına bonded contact atanmıştır. Kompozit yaprak yay için girilen malzeme özellikleri eski bir çalışmadan alınarak aynen kullanılmıştır. Numuneler üzerinden ölçüm yapmak zor ve uzun süren bir çalışma olduğu için mekanik değerler eski bir çalışma ile aynı alınmıştır [5].

Kompozit yaprak yayın sonlu elemanlara bölme işlemi sırasında hex dominant eleman ve 4mm eleman boyutu seçilmiştir. Bu sonlu eleman modeli ile 23462 eleman ve 69221 nokta oluşturulmuştur. Kuvvet zamana bağlı olarak uygulanmıştır. 12 adımda ayrı ayrı çözüm yapılmıştır (Şekil 9).

	Steps	Time [s]	Force [N]
1	1	0,	0,
2	1	1,	10,
3	2	7,	168,
4	3	14,	303,
5	4	21,	454,
6	5	28,	605,
7	6	35,	756,
8	7	42,	891,
9	8	49,	1025,
10	9	56,	1160,
11	10	63,	1294,
12	11	70,	1429,
13	12	73,	1496,

Tabular Data			
	Time [s]	Minimum [MPa]	Maximum [MPa]
1	1,	2,6318e-004	1,0992
2	7,	4,424e-003	18,466
3	14,	8,0536e-003	33,304
4	21,	1,2166e-002	49,902
5	28,	1,6364e-002	66,499
6	35,	2,0645e-002	83,096
7	42,	2,4569e-002	97,935
8	49,	2,8514e-002	112,66
9	56,	3,2557e-002	127,5
10	63,	3,6648e-002	142,23
11	70,	4,0673e-002	157,07
12	73,	4,2354e-002	164,43

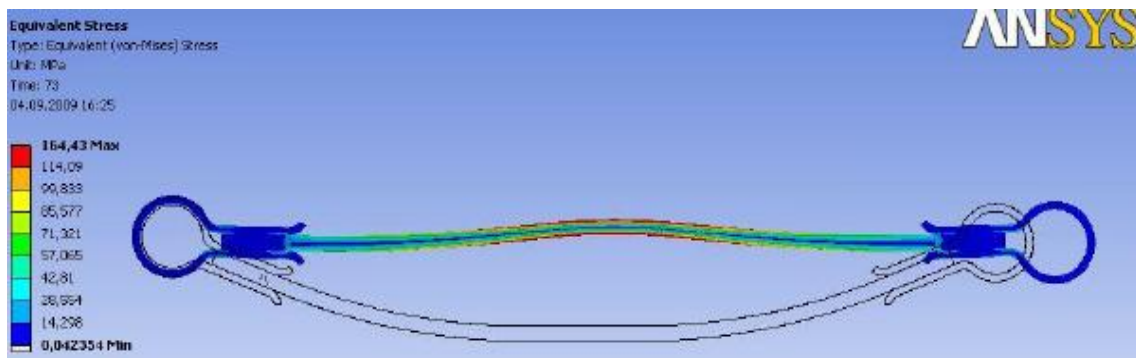
a. Girilen kuvvet değerleri b. Analiz sonucu gerilme değerleri
Şekil 9. Uygulanan kuvvet değerleri ve hesaplanan gerilme değerleri

	Time [s]	Minimum [mm]	Maximum [mm]
1	1,	6,1876e-002	0,59184
2	7,	1,0395	9,9429
3	14,	1,8748	17,933
4	21,	2,8092	26,87
5	28,	3,7435	35,806
6	35,	4,6778	44,743
7	42,	5,5132	52,733
8	49,	6,3423	60,664
9	56,	7,1776	68,654
10	63,	8,0068	76,584
11	70,	8,8421	84,574
12	73,	9,2567	88,539

Deplasman mm	kuvvet N	Zaman(s)
0	0	0
8,69	168	7
17,533	303	14
26,577	454	21
35,544	605	28
44,451	756	35
53,353	891	42
62,285	1025	49
71,232	1160	56
80,088	1294	63
88,868	1429	70
92,873	1496	73

a. Analiz sonucu hesaplanan deplasman değerleri b. Deneysel ölçümlerle gözlenen deplasman değerleri

Şekil 10. Bilgisayar Analizinde elde edilen ve ölçülen deplasman değerlerinin karşılaştırılması

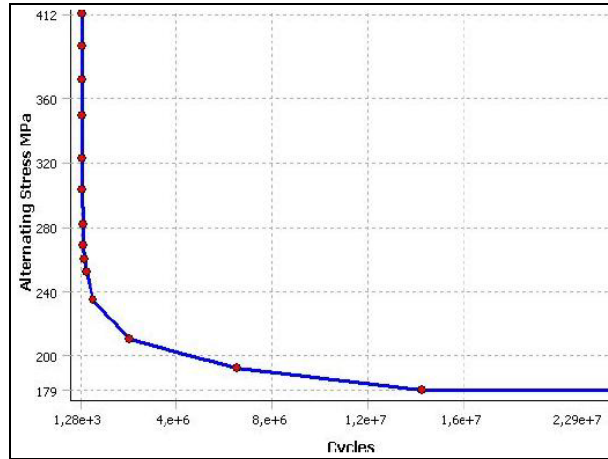


Şekil 11. Kompozit yaprak yayda gözlenen maksimum gerilme

Analiz sonucunda maksimum 1500 N kuvvet değerine karşın 164.43 MPa gerilme değeri elde edilmiştir. Analiz ile bulunan değerler ile deneyde ölçülen değerler karşılaştırıldığında son 5 adım hariç deplasman değerleri neredeyse aynı gelmektedir. Son 5 adımda ise ölçülen değer ile bulunan değer arasındaki fark %5 geçmemektedir. Bu durumda analizin gerçek ile uyum içerisinde olduğunu düşünebiliriz.

4.2 Kompozit Yaprak Yayın Ömür Analizi

Kompozit numuneler üzerinde yorulma testi yapılmadığı için literatür verisi aynen kullanılmıştır [5]. Kompozit yaprak yayda 1500N yük altında 164 MPa gerilme meydana gelmiştir. Oysa bizim S-N diyagramında min gerilme değeri 179 MPa idi. Bu nedenle kompozit yaprak sonsuz ömürlü çıktı. Kompozit yaprak yay ömrü sonsuz çıktığı için herhangi bir hasar oluşmadığı söylenebilir. Kompozit yaprak yayın minimum güvenlik katsayısı 1,3 çıkmıştır. Bu güvenlik derecesi yaprak yaylar için yeterlidir.

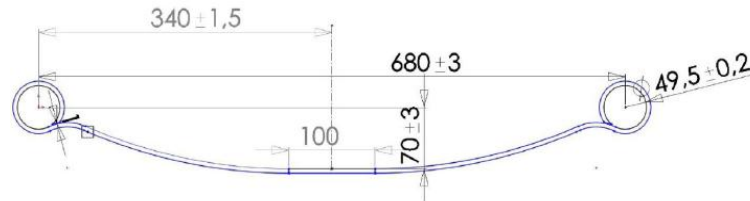


Şekil 12. Ansys workbench programında kullanılan ömür değerleri

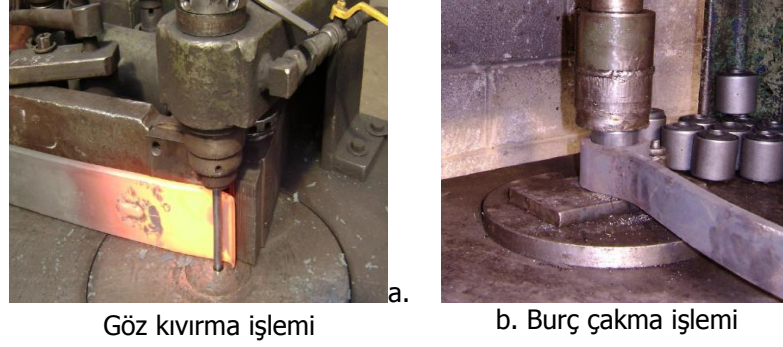
5.60 mm x 5 mm 55Cr3 ÇELİK YAPRAK YAYLARIN İMALATI VE TESTLERİ

5.1. 60 mm x 5 mm 55Cr3 Yaprak Yay Numunelerinin İmalatı

Yaprak yayların imalatı için 60 mm x 5 mm 55Cr3 DIN 4620 yay çeliği kullanılmıştır. Kompozit yaprak yay ile aynı ölçülere sahip 60 mm x 5 mm malzemeden üretilen yaprak yayın ağırlığı 2340 gr gelmektedir. Kompozit yaprak yay gözler dahil 2480 gr gelmektedir. Makas ağırlıkları yaklaşık olarak aynıdır. Ancak kompozit yaprak yay uzun eksenli ve çok katlı üretildiğinde çok ciddi bir ağırlık tasarrufu sağlanacaktır.



Şekil 13. 60 mm x 5 mm 55Cr3 yaprak yayın teknik resmi



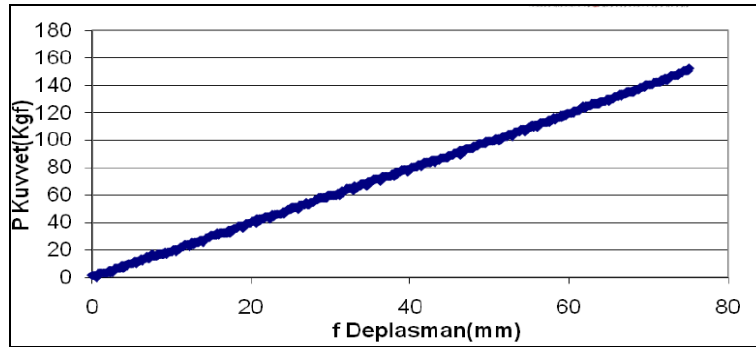
Şekil 14. 55Cr3 yaprak yay imalat resmi

60 mm x 5 mm yay çeliği kesildikten sonra göz kıvrma tezgahına gelerek 900-1000°C sıcaklığa kadar ısıtıldıktan sonra göz çapı ölçüsü $\varnothing 49,5 \pm 0,2$ mm olacak şekilde uygun mil ile kıvrılmıştır. Bu işlem her iki tarafa da uygulanmıştır. Yaprak yayda 50,2 mm çapında çelik zırlı lastik burç kullanılacaktır. Gözleri kıvrılan yaprak yaylar ısıtım fırınına gönderilmiştir. Öncelikli olarak tav fırınına giren yaprak yay 900°C sıcaklığa kadar ısıtılarak kavis verilmiştir. Kavis işlemi sonunda ısıtım işlem yağı içerisine atılan yaprak yay 54-55 HRC sertlik değerine ulaşmıştır. Kavis işlemi sonunda meneviş fırınına giren yaprak yay sertliği 43-44 HRC ye kadar düşürülür. Bu sertlik değerinde malzemenin çekme dayanımı 1400 MPa değerine ulaşır.



Şekil 15. 60 mm x 5 mm 55Cr3 yaprak yay

5.2 60 mm x 5 mm 55Cr3 Yaprak Yay Test Numunelerinin Yay Karakteristiğinin Belirlenmesi



Şekil 16. 60 mm x 5 mm 55Cr3 yaprak yaya ait yük-deplasman grafiği

Tablo 2. 60 mm X 5 mm 55Cr3 yaprak yay numunesine ait yük-deplasman veriler

	Deplasman (mm)	Kuvvet (N)	Kuvvet (Kg)	Zaman(s)
1	0	0	0	0
2	0.169	17	1.713	1
3	10.212	185	18.847	7.8
4	18.848	353	35.981	14.2
5	26.957	521	53.115	20.8
6	35.39	689	70.249	27.4
7	44.836	857	87.383	34.8
8	53.178	1025	104.516	41.3
9	61.505	1193	121.65	48
10	69.651	1361	138.784	54.5
11	75.303	1496	152.491	59

Tablo 2 'den elde edilen değerler Ansys workbench programında aynen kullanılmıştır.

6. 60 mm x 5 mm 55Cr3 YAPRAK YAYLARIN BİLGİSAYAR DESTEKLİ GERİLME VE YORULMA TESTLERİ

6.1 Yaprak Yayın Statik Gerilme Analizi

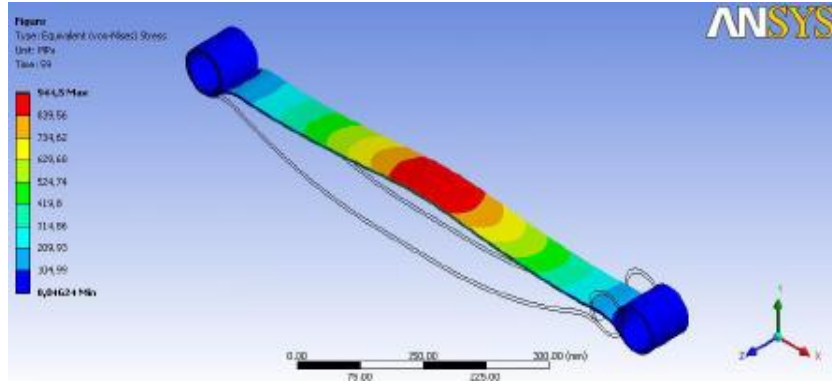
60 mm x 5 mm 55Cr3 yaprak yay solidworks programında tek parça halinde modellenmiş Ansys programına atılmıştır. 55Cr3 malzemenin mekanik ve fiziksel özellikleri programın kütüphanesinden atanmıştır. 60 mm x 5 mm yaprak yayın sonlu elemanlara bölme işlemi sırasında hex dominant ve 3 mm boyutuna sahip sonlu elaman tipi seçilmiştir. Bu mesh modeli ile 20183 eleman ve 89198 nokta oluşturulmuştur. Kuvvet yaprak yay üzerine zamana bağlı olarak uygulanmıştır. 10 adımda ayrı ayrı çözüm yapılmıştır. Uygulanan kuvvet değerleri altta tabloda bulunmaktadır (Şekil 18).

Tabular Data				Time [s]	Minimum [MPa]	Maximum [MPa]
Steps	Time [s]	Force [N]				
1	1	0,	0,	1,	5,2545e-004	10,733
2	1	17,		7,8	5,7191e-003	116,8
3	2	185,		14,2	1,0911e-002	222,87
4	3	353,		20,8	1,6103e-002	328,93
5	4	521,		27,4	2,1296e-002	435,
6	5	689,		34,8	2,6489e-002	541,07
7	6	857,		41,3	3,1682e-002	647,13
8	7	1025,		48,	3,6875e-002	753,2
9	8	1193,		54,5	4,2068e-002	859,27
10	9	1361,		59,	4,624e-002	944,5
11	10	1496,				

a. Girilen kuvvet değerleri

b. Analiz sonucu gerilme değerleri

Şekil 17. 55Cr3 60 mm x 5 mm 55Cr3 yaprak yaya uygulanan kuvvet değerleri ve hesaplanan gerilme değerleri



Şekil 18. 55Cr3 60 mm x 5 mm yaprak yayda gözlenen maksimum gerilme

Tabular Data				Deplasman (mm)	Kuvvet (N)	Zaman(s)
Time [s]	Minimum [mm]	Maximum [mm]				
1	9,8199e-002	0,95787	0	0	0	
2	1,0686	10,424	0.169	17	1	
3	2,0391	19,89	10.212	185	7.8	
4	3,0095	29,356	18.848	353	14.2	
5	3,9799	38,822	26.957	521	20.8	
6	4,9504	48,288	35.39	689	27.4	
7	5,9208	57,754	44.836	857	34.8	
8	6,8913	67,22	53.178	1025	41.3	
9	7,8617	76,686	61.505	1193	48	
10	8,6415	84,292	69.651	1361	54.5	
			75.303	1496	59	

a. Analiz sonucu hesaplanan deplasman değerleri

b. Deneysel ölçümlerle gözlenen deplasman değerleri

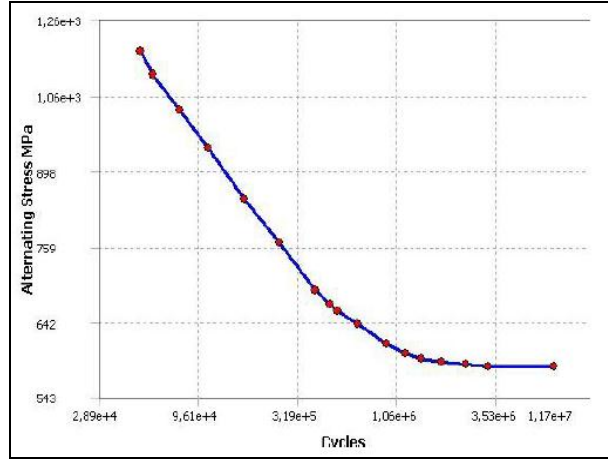
Şekil 19. Bilgisayar Analizinde elde edilen ve ölçülen 55Cr3 60 mm x 5 mm yaprak yayı ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Bulunan deplasman değerleri ile ölçülen değerler karşılaştırıldığında ölçülen değer ile bulunan değer arasındaki fark %10' u geçmemektedir. Bu durum analiz programları için kabul edilebilir sınırlar içerisindedir. Analiz sonucu, 1500 N yük altında en yüksek gerilme 944.5 MPa olarak elde edilmiştir. Maksimum çökme miktarı ise 84.292 mm olarak gözlenmiştir.

6.2 55Cr3 60 mm x 5 mm Yaprak Yayın Ömür Analizi

Statik analizde bulunan değerler kullanılarak yorulma analizi de yapılmıştır. Yorulma analizi için zero-based ve gerilme-ömür (stres life) analiz tipi seçilmiştir. 60x5 55Cr3 yaprak yay gerilme-ömür kriterine göre 229340 çevrimde, kuvvetin uygulandığı noktadan kırılmıştır. Maksimum gerilme (944.5 MPa) miktarının ömür diyagramında yorulma limiti (582 MPa) üzerinde olması sonsuz ömüre sahip olmadığını göstermektedir (Şekil 20). 60x5 55Cr3 yaprak yayın minimum güvenlik katsayısı 0,73 çıkmıştır. Ayrıca ömür analizi gerinim-ömür (strain life) kriterine göre yapılan analizlerde yaprak yay 87960 çevrimde kırılmıştır. Oysaki neredeyse aynı şartlarda kompozit yaprak yay sonsuz ömürlü çıkmıştı. Minimum güvenlik katsayısı, gerinim-ömür kriterinde 0.46 değeri bulunmuştur. Yapılan yorulma analizlerinde 2 farklı kriter kullanılmıştır. Ancak 2 kriterden elde edilen sonuçlar

birbirlerine yaklaşılmamaktadır. Bundan sonraki çalışmalarda ortaya çıkan farklılığın nereden kaynaklandığı araştırılabilir.

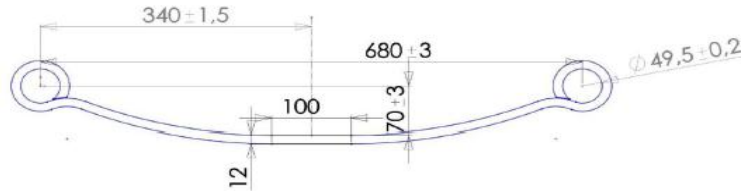


Şekil 20. Ansys workbench programında kullanılan 55Cr3 60 mm x 5 mm çelik yaprak yaya ait ömür değerleri

7. 60 mm x 12 mm 55Cr3 ÇELİK YAPRAK YAYLARIN İMALATI VE TESTLERİ

7.1. 60 mm x 12 mm 55Cr3 Yaprak Yay Numunelerinin İmalatı

Yaprak yayların imalatı için 60 mm x 12 mm 55Cr3 DIN 4620 yay çeliği kullanılmıştır. Yaprak yay ağırlığı 5620 gr gelmektedir. 60 mm x 12 mm 55Cr3 yaprak yay imalatı 60 mm x 5 mm olan ile aynıdır sadece lama kalınlığı artırılmıştır.

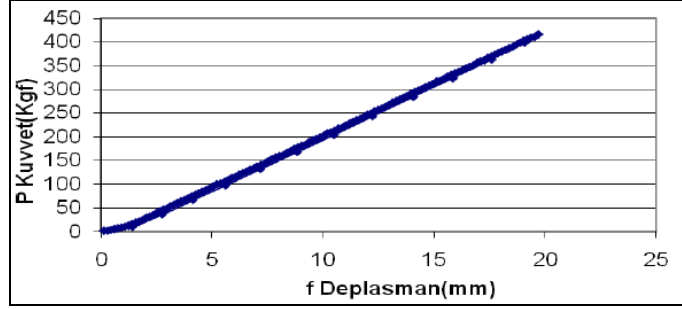


Şekil 21. 60 mm x 12 mm 55Cr3 yaprak yayın teknik resmi



Şekil 22. 60 mm x 12 mm 55Cr3 yaprak yay

7.2 60 mm x 12 mm 55Cr3 Yaprak Yay Test Numunelerinin Yay Karakteristiğinin Belirlenmesi



Şekil 23. 60 mm x 12 mm 55Cr3 yaprak yaya ait yük-deplasman grafiği

Tablo 3. 60 mm X 12 mm yaprak yay numunesine ait yük-deplasman veriler

	Deplasman (mm)	Kuvvet (N)	Kuvvet (Kg)	Zaman(s)
1	0	0	0	0
2	1.261	168	17.134	1
3	2.43	319	32.554	2
4	3.691	571	58.255	3
5	4.891	840	85.669	4
6	6.106	1126	114.797	5
7	7.336	1412	143.924	6
8	7.628	1496	152.491	6.25

8. 60 mm x 12 mm 55Cr3 YAPRAK YAYLARIN BİLGİSAYAR DESTEKLİ GERİLME VE YORULMA TESTLERİ

8.1 Yaprak Yayın Statik Gerilme Analizi

60 mm x 12 mm yaprak yayın sonlu elamanlara bölme işlemi sırasında hex dominant ve 3 mm boyutunda sonlu elaman tipi seçilmiştir. Bu mesh modeli ile 38300 eleman ve 159614 nokta oluşturulmuştur. Kuvvet yaprak yay üzerine zamana bağlı olarak uygulanmıştır. 7 adımda çözüm yapılmıştır. Uygulanan kuvvet değerleri Şekil 24' de bulunmaktadır.

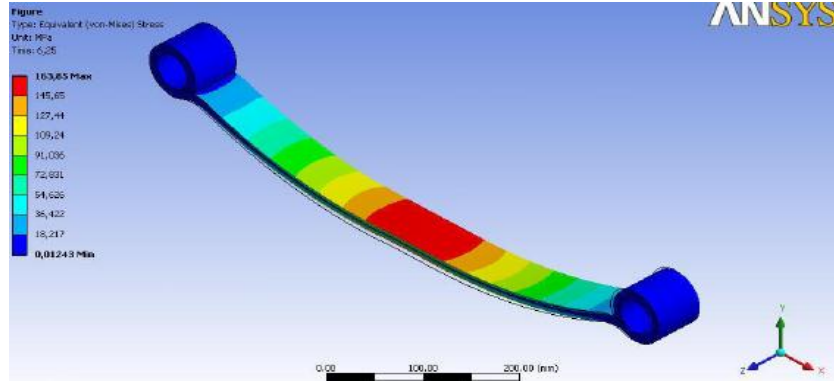
Tabular Data			
	Steps	Time [s]	Force [N]
1	1	0,	0,
2	1	1,	168,
3	2	2,	319,
4	3	3,	571,
5	4	4,	840,
6	5	5,	1126,
7	6	6,	1412,
8	7	6,25	1496,

a. Girilen kuvvet değerleri

Tabular Data			
	Time [s]	Minimum [MPa]	Maximum [MPa]
1	1,	1,3959e-003	18,401
2	2,	2,65e-003	34,94
3	3,	4,7443e-003	62,541
4	4,	6,9793e-003	92,004
5	5,	9,3556e-003	123,33
6	6,	1,1732e-002	154,65
7	6,25	1,243e-002	163,85

b. Analiz sonucu gerilme değerleri

Şekil 24. 55Cr3 60 mm x 12 mm yaprak yaya uygulanan kuvvet değerleri ve hesaplanan gerilme değerleri



Şekil 25. 60 mm x 12 mm 55Cr3 yaprak yayda gözlenen maksimum gerilme

Tabular Data			
	Time [s]	Minimum [mm]	Maximum [mm]
1	1,	6,2949e-002	0,6891
2	2,	0,11953	1,3085
3	3,	0,21395	2,3421
4	4,	0,31474	3,4455
5	5,	0,42191	4,6186
6	6,	0,52907	5,7917
7	6,25	0,56054	6,1363

	Deplasman (mm)	Kuvvet (N)	Zaman(s)
1	0	0	0
2	1.261	168	1
3	2.43	319	2
4	3.691	571	3
5	4.891	840	4
6	6.106	1126	5
7	7.336	1412	6
8	7.628	1496	6.25

a. Analiz sonucu hesaplanan deplasman değerleri

b. Deneysel ölçümlerle gözlenen deplasman değerleri

Şekil 26. Bilgisayar Analizinde elde edilen ve ölçülen 55Cr3 60 mm x 12 mm yaprak yayda ait deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 26 da gösterildiği gibi elde edilen ve ölçülen değerler arasındaki fark %10'u geçmemektedir.

8.2 55Cr3 60 mm x 5 mm Yaprak Yayın Ömür Analizi

Statik analizde bulunan değerler kullanılarak yorulma analizi de yapılmıştır. Yorulma analizi için zero-based ve gerilme-ömür (stress life) analiz tipi seçilmiştir. 60 mm x 12 mm yaprak yay sonsuz ömre ulaştığı söylenebilir. Maksimum gerilme (163.85 MPa) miktarının ömür diyagramında yorulma limiti (582 MPa) altında olması sonsuz ömüre sahip olduğunu göstermektedir. Minimum güvenlik katsayısı 4.4 çıkmıştır. Yorulma analizi gerinim-ömür (strain life) kriteri seçilerek de yapılmış, yaprak yay sonsuz ömüre sahip olduğu gözlenmiştir. Minimum güvenlik katsayısı 3.2 olarak bulunmuştur.

9. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında cam elyaf takviyeli kompozit ve 55Cr3 malzemeden üretilmiş yaprak yayların Ansys Workbench programında analizleri yapılmıştır. Yaprak yaylardan 10'ar adet numune yapılarak test edilmiştir.

Test sonuçları bize kompozit malzemelerin yaprak yay yapımı için ideal malzeme olduğunu göstermektedir.

Tablo 4. Yaprak Yayların Karşılaştırılması

Yaprak Yay Tipi	Ağırlık (gr)	Maksimum Kuvvet (N)	Test sonucu deplasman (mm)	Analiz sonucu deplasman (mm)	Ömür Stress-life (n)	Ömür Strain-life (n)	Güvenlik Katsayısı Stress life	Güvenlik Katsayısı Strain life
Kompozit	2480	1496	92.8	88.5	∞	-	1.3	-
60x5 55Cr3	2340	1496	75.3	84.2	229340	87960	0.73	0.46
60x12 55Cr3	5620	1496	7.6	6.1	∞	∞	4.4	3.2

Çelik yaprak yay ile yaklaşık olarak aynı ağırlığa sahip kompozit yaprak karşılaştırıldığında çok daha uzun ömürler edilmiştir. Bu durum gerçekte de böyledir. Konvensiyonel makaslarda ömür 50.000, parabolik makaslarda 100.000, Z makaslarda ve bazı özel yaprak yaylarda 200.000 dir. Kompozit yaprak yaylarda bu rakam 1.000.000 çevrimdir. Artan yorulma ömrü ile beraber taşıtlarda bakım masrafları düşecek bu nedenle tercih edilmeye başlanacaktır. Yaprak yayların kompozit malzemeden imalatı ile ağır taşıtlarda çok büyük ağırlık tasarrufu sağlanacak dolayısıyla yakıt tüketimi düşürülerek, taşıma kapasitesi arttırılacaktır. 55Cr3 yaprak yaylar için 2 farklı yaklaşımla yorulma analizi yapılmıştı ancak elde edilen sonuçlar arasında çok büyük farklar bulunduğu için bu konu üzerinde çalışma yapılarak farklılığın neden kaynaklandığı bulunabilir. Ayrıca, 60 mm x 5 mm 55Cr3 çelik yay ile kompozit yaprak yayın çökme miktarları karşılaştırıldığında, aynı yük altında çökme miktarlarının eşit olmalarını sağlayacak kompozit yaprak yay imalatı ve analizi ilerideki çalışmalarda öngörülmektedir.

10. KAYNAKÇA

- [1] MEGEP, *Süspansiyon Sistemleri*. Ankara: Milli Eğitim Bakanlığı, 6-10, (2005).
- [2] Kılıç, E., Kompozit malzemeden yapılan yaprak yayların analizi , Dokuz Eylül Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Mart , (2006)
- [3] Al-Qureshi, H.A., Automobile leaf springs from composite materials, **Journal of Materials Processing Technology**, 118, 58-61, (2001).
- [4] M.Venkatesan, D.Helmen Devaraj, Design and Analysis of Composite Leaf Spring in Light Vehicle, **International Journal of Modern Engineering Research**, Vol.2, Issue.1, Jan-Feb, pp-213-218, (2012).
- [5] Daugherty, R. L., "Application of Composite Materials to Truck Components: Leaf Springs and Propeller Shafts for 5-Ton Trucks", Final rept. (1979-1981).