

Araştırma Makalesi / Research Article

Kompozit Malzemelerin Yaprak Yay Elemanı Olarak Kullanılması

Mehmet Poyraz¹¹ Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Muğla.
e-posta: mpoyraz@mu.edu.tr

Geliş Tarihi: 09.06.2016 ; Kabul Tarihi: 08.08.2017

Özet

Bu çalışmada çelik yaprak yaylara alternatif olabilecek kompozit malzemenin, yaprak yay elemanı olarak kullanılması incelenmiştir. Yay malzemesi olarak, kompozit cam elyaf-epoksi malzeme seçilmiştir. Üretilen ve standartlarına göre kesilen kompozit malzemenin mekanik özelliklerine çekme, basma ve üç nokta eğilme deneyleriyle ulaşılmıştır. Cam elyaf-epoksi malzeme için fiber yönündeki ve fibere dik yöndeki çekme mukavemetine, basma mukavemetine, elastisite modülüne, kayma mukavemetine, kayma modülüne, poisson oranına, eğilme emniyet gerilmesine ve eğilme elastisite modülüne ulaşılmıştır. Kompozit malzemenin prototip bir yaprak yay boyutlandırması yapılmış, her bir yaprağı (8) tabakalı olan, (0°) elyaf yönlenmeli ve (6) katlı prototip bir yaprak yay imal edilmiştir. Yaprak yayda (n=1'den, n=6'ya kadar) artan yaprak sayısı ile, (P=9.81 N'luk) yük altındaki teorik ve deneysel çökme, gerilme ve yay katsayıları hesaplanmıştır. Böylece artan yaprak sayısı ile yay katsayısı değişim grafiği, artan tabaka sayısı ile maksimum deneysel ve analitik olarak elde edilen gerilmelerin değişim grafiği çizilmiştir. Tasarlanan bu yaprak yay, üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modellenmiştir. ANSYS programında yayın statik analizi yapılmıştır. Sonlu elemanlar modelinde SOLID 46 elemanı kullanılmıştır. (6) yapraklı yay için, (180 N) yük altında ANSYS programıyla modelleme sonucunda uzunluk ve kalınlık boyunca gerilme dağılımlarına, uzunluk boyunca meydana gelen çökmenin dağılımına ulaşılmış ve grafiklerden de çökme ve gerilme dağılımlarına bakıldığında, analitik ve deneysel sonuçların, sonlu elemanlar modeli ile yapılan numerik analizin sonuçlarının birbirleriyle uyduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler

“Kompozit Yaprak Yay”;
“Teorik ve Deneysel
Gerilme-Çökme”

Usage of Composite Materials As Leaf Spring Component

Abstract

In this study, composite material, which may be an alternative to the steel leaf springs, was examined as using leaf spring element. The composite glass fiber-epoxy material is chosen to be used as the spring material. Glass fiber epoxy material is produced and cut according to standards. The mechanical properties; tensile strength, compression and flexure tests are conducted. The values of tensile strength, compressive strength, modulus of elasticity, shear strength, shear modulus and poisson's ratio in the fiber and in the direction perpendicular to the fiber has been reached. Dimensions are determined to make a prototype of a leaf spring. The prototype composed of glass fiber epoxy composite has six layers and each of these layers consist of eight zero degree fiber orientational plates. Both theoretical and experimental compression, tensile and spring coefficients are calculated under P=9,81 N force with gradually increasing leaf numbers from 1 to 6. Leaf number-spring coefficient and leaf number-maximum experimental and analytical tensile strength graphs are presented. The spring designed with six leaves is modelled using 3D finite element analysis method. Statical analysis is carried out by the ANSYS computer program. SOLID 46 element is used in the finite element model. At the end of the modelling of the spring having six leaves under 180 N weight, stress distribution along the length and thickness and displacement graphics along the length are attained. The displacement and stress distribution graphs are analyzed. According to the test results obtained, analytical and experimental results comply with the test results obtained from the finite element modelling.

Keywords

“Composite Leaf
Spring”; “Theoretical and
Experimental Tension-
Compression”

1. Giriş

Teknolojinin hızlı bir şekilde ilerlemesi klasik malzemelere alternatif, gelişmiş özelliklere sahip yeni malzemelerin kullanılması gerekliliğini doğurmaktadır. Böylece kompozit malzemelerle ilgili çalışmalar büyük önem kazanmıştır. Değişik malzeme özelliklerini tek malzeme birleştirmek ya da farklı özellikler kazandırmak maksadı ile iki

veya daha fazla malzemenin makro düzeyde birleştirilmesi ile üretilen yeni malzeme kompozit malzeme olarak adlandırılır (Kılıç, 2006).

Kompozit malzemelerin avantajları arasında çekme ve eğilme mukavemetlerinin birçok malzemeye göre yüksek olması, karmaşık şekilli parçaların basit işleme tek parça şeklinde kaplanabilmesi, enerji iletim hatlarında kullanım yerine göre iletken ve yalıtkan malzeme olarak kullanılabilirliği, kimyasal madde taşıyıcı tanklarda, aspiratörlerde, deniz araçları inşaatında emniyetle kullanılabilmesi, aşırı ısı dayanım özelliği sayesinde yüksek ısı ortamında kullanılabilmesi, reçineye katılan pigmentler aracılığıyla kompozitlerde arzu edilen rengin oluşturulabilmesi, süneklik kaynaklı kendinden bir titreşim azaltma ve şok yutabilme özelliğinin bulunması sayılabilir (Arıcasoy, 2006).

Dış kuvvetlerin tesiri altında şekil değiştiren ve bu kuvvetlerin kalkmasıyla ilk durumuna dönen elastik cisimler yay olarak adlandırılır. Bu sebeple elastik özelliği olan elemente yay denilir (Demirsoy, 1983).

Yay malzemeleri endüstride kullanılan en mukavemetli malzemelerdir. Ayrıca yay malzemeleri aşırı sıcaklık farklılıklarının olduğu ve korozyona sebebiyet verici ortamlarda, dinamik ve stabil yüklemelerin bulunduğu yerlerde çalışmaya elverişli olmalıdır.

Taşıtlarda genellikle üç çeşit yay kullanılmaktadır. Bunlar yaprak yaylar, kangal yaylar ve burulma çubuklarıdır. Genellikle taşıtların ön tekerleğinde kangal yaylar, arka tekerleklerinde yaprak yaylar tercih edilir. Ağır hizmet gören kamyon vb. taşıtlarda ön tekerleklerde de yaprak yaylar

kullanılır. Yaprak yaylar muhtelif boylarda, kama şeklinde çelik parçaların üst üste konulması ile tertip edilmiş yaylardır. Yapraklar, merkezlerindeki deliklerden geçen (U) şeklindeki bir makas köprüsü ile birbirlerine bağlanmışlardır.

Kinet (2008), (5 tabakalı) kompozit malzemelerden ortotropik malzemenin serbest titreşim analizini Ansys programı yardımıyla yapmıştır.

Çevik (2007), kompozit kirişlerde titreşim analizini yapabilmek için, sonlu elemanlar metodunu çapraz ve açılı tabakalılar için ANSYS 8.0 paketinden faydalanarak uygulamışlardır.

Kılıç (2006), deneysel ve nümerik analizlerle cam elyaf/epoksi yaprak yay için yataktaki hasar yükünü, meydana gelen hasar şeklini ve yatak dayanımını LUSAS 13.6 analiz programını nümerik çalışma için kullanarak incelemişlerdir.

Mahdi vd. (2006), araç süspansiyonları için hafif eliptik kompozit yayların kullanımı üzerine bir araştırma yapmışlardır.

Chiu vd. (2005), helisel kompozit yayların mekanik davranışlarını deneysel olarak araştırmak için dört değişik tipte helisel kompozit yay kullanmışlardır.

Shokrieh ve Rezaei (2003), Ansys V5.4 yazılımı ile hafif araçların arka süspansiyon sistemlerinde kullanılan dört yapraklı çelik yayların analizini yapmıştır. Çelik yaprak yayların sonuçları kullanılarak, epoksi reçineli fiberglas kompozitten bir yay tasarlanmış ve Ansys kullanılarak analizi yapılmıştır. Sonuçlar çelik yaprak yayla kıyaslanmış; doğal frekans, yay ağırlığı yönünden kıyaslamalar yapılmıştır.

Rajendran ve Vijayarangan (2001), geliştirdikleri tek katlı yaprak yayla (%75.6) civarında ağırlıkta azalma elde etmişlerdir.

Qureshi (2001), jeep gibi küçük bir arabanın süspansiyon yayını örnek olarak seçerek, çok yapraklı çelik yayla benzer geometrik ölçülere sahip tek yapraklı ve değişen kalınlıklı glass-fiber takviye

edilmiş plastik yayını tasarlamış, imal edip test etmiştir. Deney sonuçları laboratuarda test edilip, akabinde yol testleri yapılmıştır.

Sancaktar ve Gratton (1999), hafif araç uygulamalarında araç ağırlığının ilk sırada önemli olduğu yerde, kompozit yaprak yayların epoksi reçine emdirilerek tek yönlü E-glass kullanılarak imalatı, kullanımı ve bu malzemeden üretilebilirliği

üzerine bir çalışma yapmışlardır.

Yu ve Kim (1988), geliştirdikleri cam fiber/epoksi kompozitiyle, fazla katlı yaprak yay yerine kat sayısında azalma sağlayarak, kompozit yayın ağırlığının (8.44 kg)'dan, (2.3 kg)'a inmesini başarmışlardır.

Morris (1986), Ford araçlarda yaprak yay yerleşiminin enlemesine olmasını sağlayan yayla, helezon ve süspansiyon kollarının ortadan kaldırılmasını gerçekleştirmiştir.

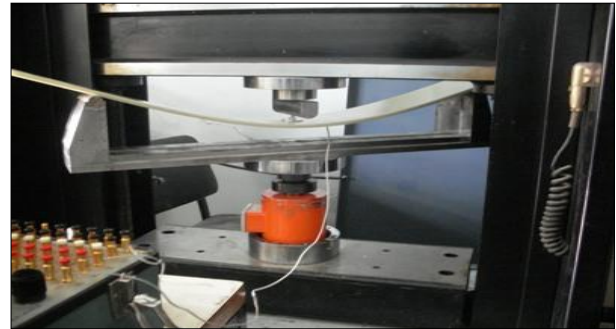
Çalışmanın amacı; kompozit malzemelerin yaprak yay elemanı olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi olup, sabit yük altında artan yaprak sayısına bağlı olarak, kompozit malzemenin yay katsayısı değişimine grafiksel olarak ulaşmaktır. Bu sebeple, kompozit cam elyaf-epoksi malzemenin mekanik özelliklerine ulaşılmış, prototip bir yaprak yay boyutlandırılarak imal ettirilmiştir. Yaprak yayın yük altındaki teorik ve deneysel çökmesi, gerilme ve yay katsayıları hesaplanarak, üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile modellemesi yapılmış, ANSYS programında yayın statik analizi yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Cam elyaf-epoksi kullanılan kompozit malzeme, tek yönlü cam elyaf ile sekiz kat olarak İzmir İzoreel firmasına imal ettirilmiştir. Üretimde elyaf sargı ünitesiyle proses kontrollü olarak sıcak presleme metodu kullanılmış olup; pres basıncı (110 bar), pres sıcaklığı (120°C) ve bası süresi (3 saat) seçilmiştir. İmal edilen kompozit plaka, malzeme standartlarına uygun olarak kesilmiştir. Bu kompozit plakanın boyutları; yapılan literatür

araştırmasında çelik ve kompozit yaprak yaylar için uzunluklarının (600 mm)'e kadar olması ve İzoreel firmasının kat kalınlıklarını (1-20mm) aralığında standart boyutlarda üretmesi sebebiyle, uzunluk (600 mm) ve kat kalınlığı (1,7 mm) olacak şekilde seçilmiştir. İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Kompozit Laboratuvarında bu malzemenin mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Kompozit kirişten malzemenin mekanik özelliklerin

tespit edilebilmesi için, ASTM (American Society For Testing Materials) standartlarına göre deney numuneleri kesilmiş olup; kopma gerilmelerine, elastisite modüllerine, kayma mukavemetine, kayma modülüne, poisson oranına ve teorik çökme miktarına ulaşmak için yine ASTM standardı kullanılmıştır. Mekanik özelliklerin tespitinde deney numunelerine Instron çekme cihazında çekme deneyi, basma deneyi ve üç nokta eğme deneyleri uygulanmıştır. Sonuçta malzemenin fiber ve fibere dik yönde çekme mukavemeti, fiber ve fibere dik yönde basma mukavemeti, fiber ve fibere dik yönde elastisite modülü, kayma mukavemeti, kayma modülü ve poisson oranı hesaplanmış olup, poisson oranı ve gerinim değerleri strain gauge ile belirlenmiştir.



Şekil 1. Üretilen yaprak yaya uygulanan eğme testi

Daha sonra araçlarda kullanılan çelik yaprak yaylara alternatif olarak bu kompozit malzemeden belirli bir yükü kaldırabilecek (6 yapraklı) prototip bir yaprak yay boyutlandırılması yapılmış ve yaprak yay İzmir İzoreel firmasına imal ettirilmiştir. (6 yapraklı) ve her bir yaprağı (8 tabaka) olan bu kompozit yapraklar, ortasından merkez civatası geçirilerek sabitlenmiştir.

Dokuz Eylül Üniversitesi Kompozit Laboratuvarında (6 yapraklı) olarak tasarlanan yaprak yayın, her bir yaprağı sırasıyla (n=1'den, n=6'ya) kadar artırılarak, belirli bir yük altında deneysel ve teorik çökme, deneysel ve teorik gerilme, yay katsayısı değerleri elde edilmiştir. Böylece yük altında artan yaprak sayısına bağlı olarak yay katsayısını gösteren değişim grafiği, yük altında tabaka sayısına bağlı olarak maksimum gerilmelerin analitik ve deneysel

değişim grafiği elde edilerek genellemeler yapılmıştır.

(6 yapraklı) olarak tasarlanan bu yaprak yay, üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modellenmiştir. ANSYS programı yardımıyla yaprak yayın statik analizi yapılmıştır. Sonlu elemanlar modelinde SOLID 46 elemanı kullanılmıştır. Bu eleman kompozit modellemede kullanılmaktadır. Modelleme esnasında yapraklar arasına düşük elastisite modülüne sahip ihmal edilebilir boyutta tabakacıklar yerleştirilmiş ve böylece kompozit yapraklar arasında hareket serbestliği sağlanmıştır.

Modellenen her bir kompozit yaprak (8) tabakacıktan oluşturulmuştur. Takviye açısı (0^0) olarak seçilmiştir. (600 x 100 mm) boyutlarında modellenen yaprak yayın yan alt çizgilere sınır koşulları uygulanmıştır. Orta kısma uygulanan (180 N'luk) yük, düğüm noktalarına dağıtılarak uygulanmıştır. Bu oluşturulan basit mesnetli üç nokta eğme modeline statik analiz yapılmıştır. Uzunluk boyunca en alt tabakada oluşan deplasman ve gerilmeler grafiklerle gösterilmiştir.

Mekanik özelliklerin tespitinde deney numunelerine çekme, basma ve üç nokta eğme deneyleri uygulanmıştır.

Elastisite modülü, malzemenin mukavemetinin ölçüsüdür. Birim uzama ile normal gerilme arasındaki doğrusal ilişkinin bir sonucudur.

3. Bulgular

3.1. Malzemenin mekanik özelliklerinin tespiti

Numuneler için koptuğu kuvvetlerdeki kopma gerilmeleri bulunarak, ortalama kopma gerilmesine ulaşılmıştır. Dolayısıyla fiber yönündeki ve fibere dik yöndeki ortalama kopma gerilmesine, fiber yönündeki ve fibere dik yöndeki ortalama basma gerilmelerine ulaşılmıştır.

Tablo 1. (38.94 mm²'lik) numunelere uygulanan kuvvetler ve birim uzamalar: a) Fiber yönünde (1.) numune için uygulanan kuvvetler ve birim uzamalar

P (N)	$\epsilon_1(10^{-6})$	$\epsilon_2(10^{-6})$
225	3827	2237
843	4261	2106

Fiber yönünde numuneler için kopma gerilmeleri bulunarak, elastisite modüllerine ulaşılmıştır. Dolayısıyla fiber yönündeki elastisite modülü (E_1) hesaplanmış, poisson oranı belirlenmiştir.

b) Fiber yönünde (2.) numune için uygulanan kuvvetler ve birim uzamalar

P (N)	$\epsilon_1(10^{-6})$	$\epsilon_2(10^{-6})$
245	3844	2233
1039	4400	2065

c) Fiber yönünde (3.) numune için uygulanan kuvvetler ve birim uzamalar

P (N)	$\epsilon_1(10^{-6})$	$\epsilon_2(10^{-6})$
245	3835	2236
971	4359	2078

d) Fiber yönünde (4.) numune için uygulanan kuvvetler ve birim uzamalar

P (N)	$\epsilon_1(10^{-6})$	$\epsilon_2(10^{-6})$
235	3826	2239
951	4352	2081

Tablo 2. (22,51 mm²'lik) Numunelere uygulanan kuvvetler ve birim uzamalar a) Fibere dik yönünde (1.) numune için uygulanan kuvvetler ve birim uzamalar

P (N)	$\epsilon(10^{-6})$
166	2965
470	4154

Fibere dik yön numuneler için kopma gerilmeleri bulunarak, elastisite modüllerine ulaşılmıştır.

Dolayısıyla fibere dik yöndeki elastisite modülü (E_2) hesaplanmıştır.

b) Fibere dik yönde (2.) numune için uygulanan kuvvetler ve birim uzamalar

P (N)	$\epsilon(10^{-6})$
156	2937
480	4223

c) Fibere dik yönde (3.) numune için uygulanan kuvvetler ve birim uzamalar

P (N)	$\epsilon(10^{-6})$
186	3067
549	4485

d) Fibere dik yönde (4.) numune için uygulanan kuvvetler ve birim uzamalar

P (N)	$\epsilon(10^{-6})$
196	3101
627	4834

Tablo 3. (S_{12}) kayma mukavemeti için uygulanan kuvvetler

$F_k(N)$	$A(mm^2)$
4179	57.42
3677	56.724

Kayma mukavemeti ve dolayısıyla ortalama kayma mukavemetine ulaşılmıştır.

Tablo 4. (G_{12}) kayma modülü için uygulanan kuvvetler
a) ($33.56 \times 1.74 \text{ mm}^2$)'lik (1.) numune için uygulanan kuvvetler

P(N)	$\epsilon(10^{-6})$
284	874
774	0

Numuneler için kayma modülleri hesaplanır. Dolayısıyla ortalama kayma modülüne ulaşılır.

b) ($33.56 \times 1.74 \text{ mm}^2$)' lik (2.) numune için uygulanan kuvvetler

P(N)	$\epsilon(10^{-6})$
304	790
902	-274

c) ($33.56 \times 1.74 \text{ mm}^2$)' lik (3.) numune için uygulanan kuvvetler

P(N)	$\epsilon(10^{-6})$
284	798
951	-411

Tablo 5. Numunelere uygulanan testlerdeki standart sapmalar tablosu

	1. Num.	2.Num.	3. Num.	4.Num	Std.Sap
Fib. Yön. Kop. Gerilmesi	910,29	861,71	907,89		27,381
Fibere. Dik Yön Kop. Geril.	82,94	78,99	90,94	82,16	5,0839
Fib. Yönü Basma Geril.	399,3	452,8	497,3		49,069
Fib. Dik Yön Bas. Geril.	107,2	112,39			3,6699
Fib. Yönü Elas. Modülü	36566	36673	35573	34943	828,22
Fib. Dik Yön Elas. Modülü	11354	11189	11368	11044	153,18
Kayma Muk.	72,77	64,82			5,6215
Kayma Modülü	4800	4812	4723		48,294

Tablo 6. Kompozit malzemenin mekanik özellikleri

KOMPOZİT MALZEMENİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ	
Fiber Yönü Çekme Mukavemeti [MPa]	893.29
Fibere Dik Yön Çekme Mukavemeti [MPa]	83.75
Fiber Yönü Basma Mukavemeti [MPa]	449.8
Fibere Dik Yön Basma Mukavemeti [MPa]	109.8
Fiber Yönü Elastisite Modülü E_1 [MPa]	35938
Fibere Dik Yön Elastisite Modülü E_2 [MPa]	11238
Kayma Mukavemeti S_{12} [MPa]	68.79
Kayma Modülü G_{12} [MPa]	4778.3
Poisson Oranı ν_{12}	0.3

3.2. Sabit yüklemde artan yaprak sayısı ile deneysel ve teorik çökmeler, yay katsayısı ve gerilmeler

Artan yaprak sayısına bağlı olarak, sabit (9.81 N) yük uygulandığında (n=1'den, n=6) yaprak sayısına kadar her bir yükleme durumu için, yaprak yayın bir tanesinin kesiti (uzunluk=l=600 mm, genişlik=b=100 mm, kat kalınlığı=h=1.7 mm alınarak);

(9.81 N) yük uygulandığında artan yaprak sayısı ile; $\delta_{(\text{çökme})deneyssel}$ ve $\delta_{(\text{çökme})teo}$ değerleri elde edilir. Artan yaprak sayısı ile k yay katsayıları elde edilir.

Tablo 7. Tek yapraklı yay için uygulanan kuvvetler

P (N)	$\epsilon(10^{-6})$
0	1569
9.81	2384

$\sigma_{deneyssel}$ ve $\sigma_{(teorik)}$ gerime değerleri elde edilir.

Tablo 8. İki yapraklı yay için uygulanan kuvvetler

P (N)	$\epsilon(10^{-6})$
0	1568
9.81	1978

Tablo 9. Üç yapraklı yay için uygulanan kuvvetler

P (N)	$\epsilon(10^{-6})$
0	1460
9.81	1693

Tablo 10. Dört yapraklı yay için uygulanan kuvvetler

P (N)	$\epsilon(10^{-6})$
0	1464
9.81	1621

Tablo 11. Beş yapraklı yay için uygulanan kuvvetler

P (N)	$\epsilon(10^{-6})$
0	1469
9.81	1590

Tablo 12. Altı yapraklı yay için uygulanan kuvvetler

P (N)	$\epsilon(10^{-6})$
0	1473
9.81	1575

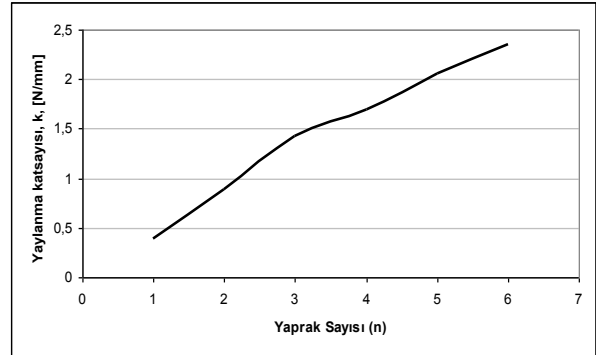
Tablo 13. (P=9,81 N'luk) yük altında yaprak sayısı (n=1'den, n=6'ya) kadar değişiminde deneysel ve teorik çökmeler, gerilmeler ve yay katsayıları tablosu

	n=1	n=2	n=3	n=4	n=5	n=6
$\delta_{(\text{çökme})den}$	25,5	10,98	6,88	5,75	4,8	4,16

(mm)						
$\delta_{(\text{çökme})teo}$						
(mm)	30,03	15,01	10	7,5	6	5
σ_{den} (MPa)	29,25	14,71	8,36	5,63	4,3	3,66
$\sigma_{(teorik)}$						
(MPa)	30,5	15,27	10,2	7,62	6,1	5,08
k (N/mm)	0,384	0,893	1,42	1,7	2,1	2,35

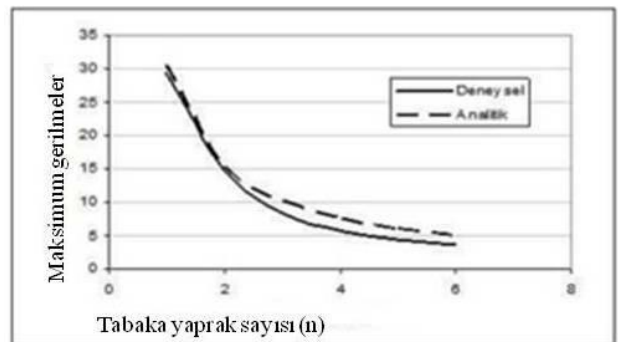
Dolayısıyla Şekil 2.'de sabit (P=9,81 N'luk) yük altında yaprak sayısı (n=1'den, n=6'ya) kadar

arttırıldığında, yaprak sayısına bağlı olarak kompozit malzemenin yay katsayısını gösteren değişim grafiği verilmiştir.



Şekil 2. Artan yaprak sayısına bağlı yay katsayısı değişim grafiği

Yaprak sayısı (n=1'den, n=6'ya) kadar arttırıldığında, (P=9,81N'luk) sabit yük altındaki maksimum gerilmelerin elde edilen sonuçlara göre analitik ve deneysel değişim grafiği ise Şekil 3.'de verilmektedir.



Şekil 3. Tabaka sayısına bağlı olarak maksimum gerilmelerin analitik ve deneysel değişim grafiği

3.3. Prototip kompozit yaprak yay boyutlandırılması ve modellenmesi

Bu çalışmada prototip yaprak yay için cihazın izin verdiği strok sınırını göz önüne alarak, ($\delta=70$ mm) sehim verildiği ve ($n=6$ yapraklı) olduğu düşünülerek bir yaprak yay boyutlandırılmıştır ve bu yaprak yay için hesaplamalar yapılmıştır. Öncelikle bu sehimi verecek yükü (yaprak genişliği= $b=100$ mm, yaprak uzunluğu= $l=600$ mm, tek kat yaprak kalınlığı= $h=1.7$ mm için) formülden analitik olarak hesaplırsak,

$$70 = Px600^3 / [(48x47.3x10^3)x(100x1.7^3 x6) / 12]]$$

$$P = 180.74N$$

Deneysel olarak ($P=180.74$ N'luk) yükleme yapıldığında, ($\delta=78.96$ mm'lik) bir çökme olduğu görülmüştür. Bu çökmenin meydana getirdiği gerilme değeri ise formülden,

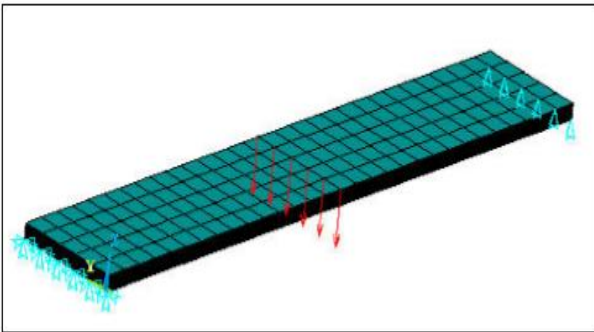
Tablo 14. (6) yapraklı yay için uygulanan kuvvetler

P (N)	$E(10^{-6})$
117	2045
297,74	5803

$$\sigma = 35.9x10^{-3}x(5803 - 2045)$$

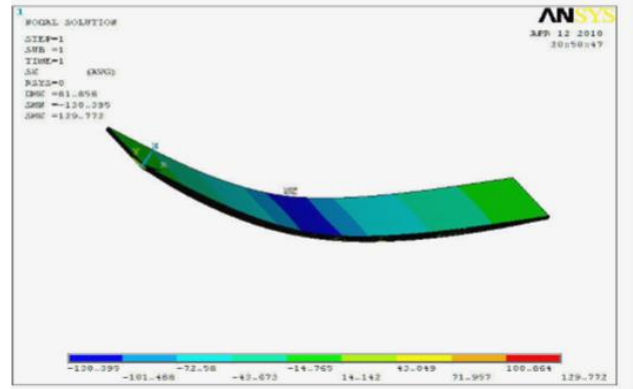
$$\sigma_{deneysel} = 134.91MPa$$

($n=6$) yapraklı olarak tasarlanan bu yayın, üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, ANSYS programında statik analizi yapılmıştır. Modellenen her bir kompozit yaprak (8 tabakacıktan) oluşturulmuştur. Takviye açısı (0°) olarak seçilmiştir. (600 x 100 mm) boyutlarında modellenen yaprak yayın yan alt çizgilerine Şekil 4.'te gösterildiği gibi sınır koşulları uygulanmıştır.

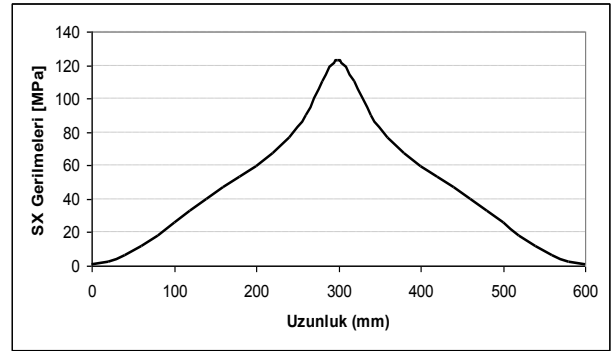


Şekil 4. Yükleme ve sınır koşulları

Orta kısma ($P=180$ N'luk) yük, düğüm noktalarına dağıtılarak yüklenmiştir. Bu oluşturulan basit mesnetli üç nokta eğme modeline statik analiz yapılmıştır. Uzunluk boyunca en alt tabakadaki deplasman ve gerilmeler Şekil 5. ve Şekil 6.'daki grafiklerde gösterilmiştir.

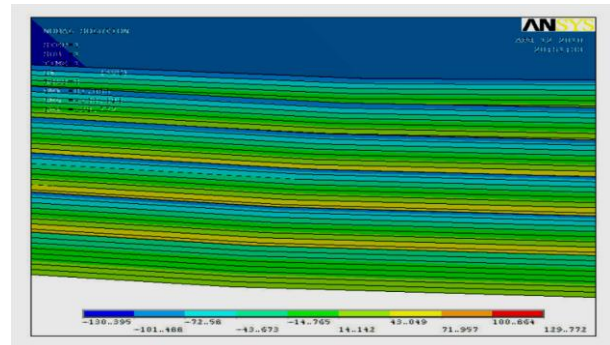


Şekil 5. (σ_x) gerilme dağılımı



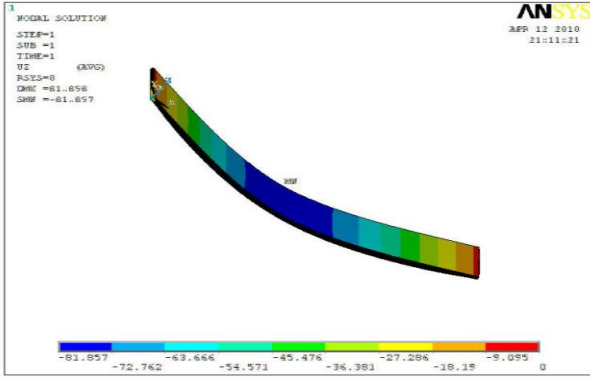
Şekil 6. Uzunluk boyunca (σ_x) gerilme dağılımı

Her bir kompozit tabakada kalınlık boyunca meydana gelen gerilme dağılımları birbirine çok yakın çıkmıştır (Şekil 7.).

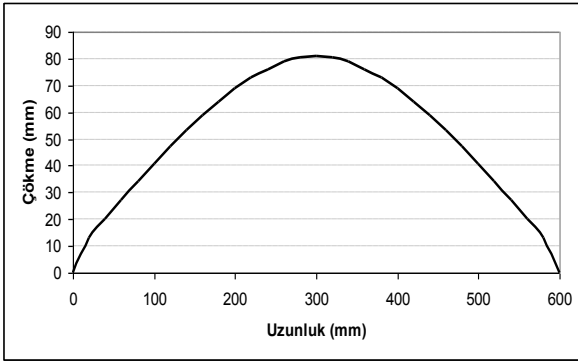


Şekil 7. (6) Tabakalı yaprak yayın kalınlık boyunca gerilme dağılımı

Uzunluk boyunca meydana gelen çökmenin dağılımı grafikleri Şekil 8. ve Şekil 9.'da verilmektedir.



Şekil 8. Uzunluk boyunca meydana gelen çökmenin dağılımı



Şekil 9. Uzunluk boyunca meydana gelen çökmenin dağılımı

4. Tartışma ve Sonuç

Çelik yaprak yaylara alternatif olabilecek kompozit malzemelerin yaprak yay elemanı olarak kullanılabilirliğinin incelendiği bu çalışmada, cam elyaf-epoksi malzemenin fiber ve fibere dik yöndeki mekanik özelliklerine ulaşılmıştır (Tablo 6).

Belli bir yük altında çalışabilecek kompozit yaprak yay tasarlaması yapılmıştır. İlk etapta ($P=1000$ N) yük taşıyabilecek kompozit yaprak yay için yükü emniyetli taşıyabilecek yaprak sayısı ($n=4$) olarak bulunmuştur. Burada yaprak yayın bir tanesinin kesiti (uzunluk=600 mm, genişlik=100 mm ve kat kalınlığı=1,7 mm) olacak şekildedir. Ancak (4 katlı) yaprak yayın ($P=1000$ N) yük altında çökme miktarı analitik formüllerle hesaplandığında ($\delta=580,9$ mm) bulunmuştur. Bu da deney yapılan Instron çekme cihazının aparat stroğundan büyük olduğu için çökme miktarını da düşünerek yay dizaynına gidilmiştir. Bu sebeple ($P=1000$ N'luk) yüklemde ($\delta=100$ mm'lik çökme) yapması istenseydi; tek kat

ebatları aynı olan kompozit yaprak yay için ($n=24$ tabaka) olması gerekeceği bulunmuştur. ($P=1000$ N) yüklemde (4) yaprak için ($\delta=580,9$ mm) çökmenin aparat stroğunu geçmesi ve ($P=1000$ N) yüklemde ($\delta=100$ mm) sehim için (24) yapraklı üretimin zorluğu nedeniyle prototip bir yaprak yay yapma yoluna gidilmiştir. Bu çalışmada prototip yaprak yay için cihaz stroğunu göz önüne alarak, (6 yapraklı) ve ($\delta=70$ mm) sehim verdiğimiz düşünerek bir yaprak yay boyutlandırılmıştır ve bu yaprak yay için hesaplamalar yapılmıştır. Öncelikle bu sehim verecek yük analitik olarak hesaplanmış ve ($P=180,74$ N) bulunmuştur.

DeneySEL 6 yapraklı yay için ($P=180,74$ N'luk) yüklem yapıldığında ($\delta = 78,96$ mm'lik) bir çökme olduğu görülmüştür. ($P=180,74$ N) altında deneySEL (6 yapraklı) yayın ($\delta=78,96$ mm'lik) çökmesinin bizim hedeflediğimiz ($\delta=70$ mm'lik) çökme değerine yakın olduğu görülmüştür. Bu çökmenin meydana getirdiği gerilme değeri ise ($\sigma_{\text{deneySEL}} = 134,91$ MPa) olarak bulunmuştur.

Kompozit tabakalı yapraklar ($n=1$ 'den, $n=6$ 'ya kadar) artırılarak her bir durum için gerilmeler ve çökme miktarı deneySEL ve teorik olarak hesaplanmıştır. DeneySEL çökme miktarı hassas kumpas yardımıyla ölçülmüştür. Böylece yaprak sayısına bağlı olarak direngenlik yani yay katsayıları bulunmuştur. Üretilen kompozit yaprak yay için sabit ($P=9,81$ N'luk) yük altında yaprak sayısını ($n=1$ 'den, $n=6$ 'ya) kadar arttırdığımızda, yaprak sayısına bağlı olarak kompozit malzemenin yay katsayısını gösteren değişim grafiği çizilmiştir. Yaprak yayın yaprak sayısı ($n=1$ 'den, $n=6$ 'ya) doğru arttıkça üzerine uygulanan sabit ($P = 9,81$ N'luk) yük altındaki deneySEL çökme ve teorik çökme değeri gittikçe azalmış, dolayısıyla yay katsayısı büyümüş ve deneySEL ile teorik çökme değerlerinin yakın olduğu görülmüştür.

Yaprak sayısı ($n=1$ 'den, $n=6$ 'ya) kadar arttırıldığında, ($P=9,81$ N'luk) sabit yük altındaki maksimum gerilmelerin elde ettiğimiz sonuçlara göre analitik ve deneySEL değişim grafiği verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında gerilme değerlerinin yani

deneysel ve teorik sonuçların birbirine yakın olduğu ve sabit ($P = 9,81$ N'luk) yük altında, artan yaprak sayısı ile teorik ve deneysel gerilmelerin azaldığı gözlenmiştir.

(6 yapraklı) olarak tasarlanan bu yaprak yay, üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modellenmiştir. ANSYS programında yaprak yayın statik analizi yapılmıştır. Sonlu elemanlar modelinde SOLID 46 elemanı kullanılmıştır. Modellemede orta kısma ($P=180$ N'luk) yük düğüm noktalarına dağıtılarak yüklenmiştir. Bu oluşturulan basit mesnetli üç nokta eğme modeline statik analiz yapılmıştır. Uzunluk boyunca en alt tabakadaki deplasman ve gerilmeler grafiklerde gösterilmiştir.

($P=180$ N'luk) yük altında oluşan maksimum gerilme formüllerle hesaplandığında (134 MPa) çıkarken, sonlu eleman modeli yapılan analizde (129,7 MPa) bulunmuştur. Her bir yaprağın kalınlığı (1,7 mm, genişlik 100 mm, yay uzunluk mesafesi 600 mm) olarak model oluşturulmuştur.

Her bir kompozit tabakada kalınlık boyunca meydana gelen gerilme dağılımları birbirine çok yakın çıkmıştır.

Grafiklerden çökme ve gerilme dağılımlarına bakıldığında analitik ve deneysel sonuçların, sonlu elemanlar modeli ile çözümü yapılan nümerik analizin sonuçlarının birbiriyle uyduğu görülmüştür.

Kaynaklar

- Arıcasoy, O., 2006. İstanbul Ticaret Odası, Kompozit Sektör Raporu, İstanbul.
- Chiu, H., Hwan, L., Tsai, S. ve Lee, P., 2007. An experimental investigation into the mechanical behaviors of helical composite springs. *Composite Structures*, **77**, 331-340.

Çevik, M., 2008. Tabakalı kompozit kirişlerin düzlem dışı ve düzlem içi doğal frekanslarına fiber açısının etkisi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, **26**, 112-123.

Demirsoy, M., 1983. Yaylar. 17, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayını, 98s.

Kılıç, E., 2006. Kompozit malzemeden yapılan yaprak yayların analizi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 71.

Kinet, A., 2008. Tabakalı Kompozit Malzemelerin Serbest Titreşim Analizi Araştırma Projesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, 31s.

Mahdi, E., Alkoles, S., Hamouda, S., Sahari, B., Yonus, R. ve Goudah, G., 2006. Light composite elliptic springs for vehicle suspension. *Composite Structures*, **75**, 24-28.

Morris, J., 1986. Composite integrated rear suspension. *Composite Structures*, **5**, 233-242.

Qureshi, H.L., 2001. Automobile leaf springs from composite materials. *Journal of Materials Processing Technology*, **118**, 58-61.

Rajendran, I., Vijayarangan, S., 2001. Optimal Design of a composite leaf spring using genetic algorithms. *Computers and Structures*, **79**, 1121-1129.

Sancaktar, E., Gratton., 1999. Design, analysis and optimization of composite leaf springs for light vehicle applications. *Composite Structures*, **44**, 195-204.

Shokrieh, M., Rezaei, D., 2003. Analysis and optimization of a composite leaf spring. *Composite Structures*, **60**, 317-325.

Yu, J., Kim, C., 1988. Double tapered frp beam for automotive suspension leaf spring. *Composite Structures*, **9**, 279-300.