



## **Karbon Prepreg Malzemenen Üretilen Kompozit Disk Yayların İncelenmesi**

### **Examination of Composite Disc Springs Produced From Carbon Prepreg Material**

**Haşim Fırat Karasu <sup>1\*</sup>, Melih Belevi <sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

Sorumlu Yazar / Corresponding Author \*: [firat.karasu@deu.edu.tr](mailto:firat.karasu@deu.edu.tr)

Geliş Tarihi / Received: 27.10.2020

Kabul Tarihi / Accepted: 03.01.2021

Araştırma Makalesi/Research Article

DOI:10.21205/deufmd.2022247102

Atıf şekli/ How to cite: KARASU, H.F., BELEVİ, M. (2022). Karbon Prepreg Malzemenen Üretilen Kompozit Disk Yayların İncelenmesi. DEUFMD 24(71),357-364.

#### **Öz**

Bu çalışmada amaç, çelik disk yayın karakteristik eğrisine yakın ya da çelikten daha iyi karakteristikte karbon prepreg malzemenen kompozit disk yay üretmektir. Bu sayede disk yayın kuvvet/deformasyon oranından uzaklaşmadan tasarımı hafifletilmiş olacaktır. Bunun için öncelikle, standart bir çelik disk yay seçilerek sonlu elemanlar analizi metoduyla karakteristik eğrisi belirlenmiştir. Üretilen kompozit disk yaylar için seçilen çelik disk yay geometrisi kullanılmış ve değişken parametre olarak koni yüksekliği (koniklik açısı) seçilmiştir. Çelik disk yayın koni yüksekliği dahil toplam 5 farklı koni yüksekliği için ANSYS Workbench modülünde karbon prepreg malzeme için analizler yapılmış ve bu analizlerden yararlanılarak disk yaylar kapalı kalıpta otoklav yöntemiyle üretilip deneye tabi tutulmuştur. Kompozit disk yayların üretiminde kullanılan karbon prepregler [0/90/0] oryantasyonunda dizilmiştir. Çelik ve kompozit disk yayların yapılan basma deneyleri sonucunda yay karakteristikleri elde edilip karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, tasarımı ilk haline göre hafifletmekle beraber hangi koniklik açılarında kompozit disk yayların çelik disk yayın kuvvet/deformasyon oranına daha yakın olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Disk Yay, Yay Karakteristiği, Koniklik Açısı, Karbon Prepreg, Otoklav Yöntemi

#### **Abstract**

The aim of this study is to produce a composite disc spring from carbon prepreg material that is close to the characteristic curve of a steel disc spring or better than steel. In this way, the weight of the design will be reduced without compromising the force/deformation ratio of disc spring. For this, first of all, a standard steel disc spring is selected and its characteristic curve is determined by finite element analysis method. The steel disc spring geometry selected for the composite disc springs to be produced was used and only the cone height (tapering angle) was selected as the variable parameter. Analyzes were made for carbon prepreg material in ANSYS Workbench module for a total of 5 different cone heights including steel disc spring cone height, and disc springs were produced and tested in closed molds by autoclave method, using these analyzes. The carbon prepregs used in the production of composite disc springs are arranged in the [0/90/0] orientation. Spring characteristics of steel and composite disc springs were obtained and compared as a result of compression tests. As a result, it was determined that the composite disc springs at which tapering angles are closer to the

force / deformation ratio of the steel disc spring, although the design is lighter than the original version.

**Keywords:** Disc Spring, Spring Characteristic, Tapering Angle, Carbon Prepreg, Autoclave Method

## 1. Giriş

Güç ve enerji biriktirme elemanı olan yaylar, malzeme özelliklerinden dolayı elastik bölge içerisinde kalmak kaydıyla maruz kaldıkları ani kuvvet veya darbeleri az veya çok kendilerinde depolamakta, bunların bir kısmını sönmülemekte, kalan kısmını ise ihtiyaca göre işe çevirmektedir. Bu özellikleriyle yaylar, makine tasarımlarında enerji biriktirme elemanı olarak görev yapmaktadır. Farklı sınıfları olan yayların bir çeşidi de disk yaylardır.

Disk yaylar, konik disklerden meydana gelmektedir. Tabağa benzediği için tabak veya çanak yay isimleriyle, literatürde ise daha çok Belleville yayı olarak anılmaktadır. Bu isim de, asıl mucidi olmamakla beraber 1861'de patentini alan inşaat mühendisi Julien Francois Belleville'den gelmektedir. Belleville, patentini aldığı yayı savaşlarda topların geri tepmesini absorbe etme amacıyla kullanmıştır.

Literatür incelendiğinde disk yaylarla ilgili farklı çalışmalar yapıldığı görülmüştür. Sabit ve değişken kalınlıktaki disk yayların teorik olarak incelendiği bir çalışmada [1], yazarlar Almen-Laszlo hipotezlerine dayanarak, geometrik parametrelerin farklı değerlerine bağlı olarak rijitlik eğrisi ve gerilme değerlerini veren bir analiz gerçekleştirmişlerdir. Değişken kalınlıklı yayların incelendiği bir diğer çalışma sonucunda [2], farklı yay tasarımları için sonlu elemanlar analizlerinin mutlaka kullanılması gerektiği ortaya konulmuştur. Parabolik olarak değişen kalınlıkta radyal konik disk yayların incelendiği çalışmada [3], sabit bir koniklik parametresinde, radyal konik yayın ağırlığının lineer değişken kalınlıktaki yayın ağırlığından yüzde 3 ila 8 daha az olduğu belirlenmiştir.

Disk yaylarla ilgili yapılan çalışmaların bir başka grubunu da program algoritmaları oluşturmaktadır. Bununla ilgili bir çalışmada yazarlar, içinde Belleville yaylarının işleyiş kontrolünü ve tasarımını yapan, yükleme-sapma karakteristiklerini grafik ve tablo formatında çıktı olarak veren, ölçülendirilmiş çizimini oluşturabilen ve bunlarla beraber yorulma hesaplarını ayrıca paralel/seri bağlama

karakteristiklerini veren bir program algoritmasını oluşturmuşlardır [4]. Yine bir başka çalışmada [5], oluşturulan algoritma ile Belleville yay düzenlemelerini doğrudan tasarımcıların ihtiyaçlarına göre öneren bir araç üzerinde durulmuştur.

Belleville yayları diyafram yaylarla karşılaştıran bir çalışmada [6], her iki yay tipinin bir kiriş ve konik kabuğun sonlu dönme ve geniş deplasman teorileri kullanılarak ve deneysel metotlar ile statik tepkisi karşılaştırılmıştır. Bir başka çalışmada, disk yaylar dış çap, iç çap, serbest yükseklik ve yay kalınlığı olmak üzere dört temel geometrik boyut esas alınarak incelenmiş ve seri ile paralel bağlamanın yay sabiti üzerindeki etkisi üzerinde durulmuştur. Bununla birlikte disk yayların kullanılacağı ortam şartlarına bağlı olarak disk yayların ve bu yayları sisteme bağlayan bağlantı elemanlarının farklı malzemelerle yapılması durumunda yay oranının nasıl etkileneyeceği de incelenmiştir. Yazarlar paralel yerine seri bağlamanın farklı malzemeler denendiği takdirde yay oranını daha iyi koruduğunu ifade etmiştir [7].

Disk yaylarla ilgili başka bir çalışmada [8], seçilen disk yaylara sonlu elemanlar analizi yöntemi uygulanarak elde edilen sonuçların Almen-Laszlo teorisine uygunluğu araştırılmıştır. Analizde yayların üst iç kenarına denk gelen düğümlere yükün uygulanmasının avantajlı olduğu kanıtlanmıştır. Ayrıca kullanılan modellerin hepsinde, destek durumundaki düğüm eksenel z koordinatına göre kısıtlandırılmıştır. Yapılan makale çalışmasında, bu tespitlerden faydalanılmıştır.

Kompozit malzemeler, günümüzde farklı alanlarda ve karbon fiberler, cam fiberler gibi farklı malzeme alt başlıklarında yeni teknolojik ürünler olarak sunulmaktadır. Yapılan çalışmada kullanılan prepreg, önceden reçine emdirilmiş fiberlerin otoklavda ön kütleme işlemine maruz bırakılmasıyla elde edilen kompozit malzemelerin genel adıdır. Aynı zamanda bu yöntem otoklav yöntemi de denir. Prepregde fiber/reçine oranı 1:1'dir. Kompozit sektöründe diğer ürünlere göre sağlam, hafif ve imalatının

kolay olmasından ötürü daha çok havacılık ve uzay sanayinde kullanılır.

Kompozit malzemelerin avantajlarından dolayı günümüzde çeşitli makine elemanlarının kompozit malzemeden üretimi üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Disk yaylarda kompozit uygulanmasına yönelik bir çalışmada [9], çeliği kompozit malzeme ile değiştirme imkanı incelenmiştir. Amaç; çelik disk yayı, özdeş yük-deplasman karakteristiğini ve maksimum yükleme kapasitesini dikkate alarak önemli kütle tasarrufları ile kompozitten yeniden üretmektir. Bu çalışma için birkaç prototip disk yay üretilmiş ve test edilmiş, ayrıca eşdeğer çelik yayların performansı ile kıyaslanmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki, çelik yayın yük-deplasman karakteristiklerinin doğru tekrarlanabilirliği ve kütlede yaklaşık %80 tasarruf sağlanması kompozit malzeme kullanılarak elde edilebilmektedir. Hata modu (kompozit diskteki aşırı yükleme) teorik olarak tahmin edilen dairesel yüklemeye kaynaklanan radyal çatlaktan oluşmuştur. Bu çalışmanın sonuçları, disk yaylarda çeliğin kompozitle değiştirilmesinin önemli kütle tasarrufları sağlayacağını belirtmektedir.

Bu makalede de, literatürde elde edilen temel yaklaşımlar ele alınmış, analiz ve deney sonuçları beraber incelenerek disk yayların performansı üzerinde durulmuştur. Disk yayların farklı koniklik açılarında üretilerek incelenmesi çalışmanın literatürden farklı olan yönünü ortaya koymaktadır.

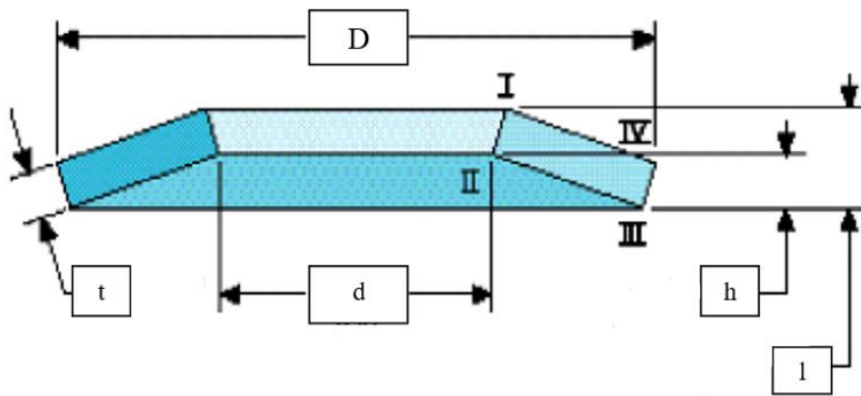
Yapılan çalışmanın amacı, çelik disk yayın karakteristik eğrisine yakın ya da daha iyi karakteristikte kompozit disk yay üretmektir. Öncelikle kataloglardan ortalama ölçülerde bir çelik disk yay seçilmiş ve deneysel verilerden yararlanılarak sonlu elemanlar analizi yöntemiyle karakteristiği belirlenmiş ve ardından kompozit disk yay karakteristikleri bununla kıyaslanmıştır [10].

## 2. Materyal ve Metot

Uygulanan çalışma planı 4 aşamadan oluşmaktadır:

1. Çelik bir disk yay seçilerek basma deneyi yardımıyla yay karakteristiğinin belirlenmesi.
2. Çelik disk yayın bilgisayar ortamında modellenmesi ve deney verilerinden yararlanılarak analiz yoluyla yay karakteristiğinin belirlenmesi.
3. Farklı koniklik açıları için modellenen kompozit disk yayların karakteristiklerinin belirlenmesi.
4. Bunların seçilen üretim yöntemiyle üretilerek deneysel karakteristiklerinin bulunması, analiz verileriyle ve çelik disk yayla karşılaştırılması [11].

Şekil 1'de bir disk yay, üzerindeki temel büyüklükler ile görülmektedir. Bunlar; yayın büyüklüğünü ifade eden dış çap, yayın iç kısmındaki boşluğu gösteren iç çap, yay yüksekliği, yay kalınlığı ve yayın karakteristiğini önemli şekilde etkileyen koni yüksekliğidir. Seçilen disk yayın geometrik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Disk yayın geometrik büyüklüklerinin şekil üzerinde görünümü [9]

**Tablo 1.** Seçilen disk yaya ait geometrik özellikler.

Dış çap (D)	İç çap (d)	Kalınlık (t)	Koni yüksekliği (h)	Yükseklik (l)
50 mm	20.4 mm	2 mm	1.5 mm	3.5 mm

Disk yayın karakteristik eğrisinin elde edilmesi için öncelikle Shimadzu Autograph AG-X cihazında basma testi yapılmıştır. Disk yaylar metal parlak plakalar arasına Şekil 2'deki gibi ortalanarak yerleştirilmiştir. Disk yaya uygulanan kuvvet neticesinde yayın alt yüzeyi ile alt plaka arasındaki oluşan sürtünme etkisini giderebilmek için plakalar yağlanmıştır. Basma hızı literatürden yararlanılarak 0.25 mm/dak olarak belirlenmiştir.

**Şekil 2.** Disk yayın basma test cihazında görünümü

Seçilen disk yayların koni yüksekliği 1.5 mm'dir. Bu koni yüksekliği disk yayın maksimum çökme miktarını verir. Ancak disk yay 1.5 mm deforme olursa koniklik açısı sıfır olup düzleşeceği için analizlerde ve deneylerde maksimum deformasyon miktarı 1.3 mm ile sınırlandırılmıştır.

Sonlu elemanlar analizleri ANSYS Workbench 14.1 paket programı ile yapılmıştır. Analizde kullanılan mekanik özellikler, çeliğin mekanik özelliklerinden ve basma deneyleri sonucu elde edilen verilerden alınmıştır.

Deplasman ile kuvvetin uygulanma yerleri ve özellikleri, uygulamadaki disk yaylar temel alınarak aynı şekilde analiz için modele aktarılmıştır. Kuvvetin uygulanma yeri Şekil 1'de "I" ile ifade edilen disk yayın üst düzlemidir. Uygulanacak bir F kuvveti ile disk yay "III" ile ifade edilen taban kısmından kuvvet yönünde hareket edemeyecek, sadece yaylanmanın etkisi ile diğer yönlerde hafif bir dairesel açılma gösterecek şekilde sınır şartları verilmiştir.

Üretilen disk yaylar için malzeme olarak karbon prepreg kullanılmıştır. Uygulanacak karbon prepreg katman sayısı ve açılma oryantasyonları her bir numune için sabit kalmak üzere yalnızca koniklik açıları değiştirilmiştir. Bunun için, 2 mm'den başlayarak 2 mm artan aralıklarla 8 mm koni yüksekliğine kadar 4 farklı koni yüksekliği belirlenmiş ve seçilen çelik disk yayın 1.5 mm'lik koni yüksekliğiyle beraber toplamda 5 farklı disk yay geometrisi elde edilmiştir. Beş farklı koniklik açısı dikkate alınarak üretilen disk yayların her biri için ayrı kalıp tasarlanmıştır.

Koni yüksekliğine bağlı olarak değişen koniklik açıları Tablo 2'de gösterilmiştir. Beş farklı disk yayın iç ve dış çapları eşittir. Karbon prepregler tüm koni yükseklikleri için [0/90/0] oryantasyonunda dizilmiştir.

**Tablo 2.** Belirlenen farklı tipte yay geometrilerinin koniklik değerleri.

Disk Yay Numarası	Koni Yüksekliği	Koniklik Açısı
1	1.5 mm	5.79°
2	2 mm	7.70°
3	4 mm	15.12°
4	6 mm	22.07°
5	8 mm	28.39°

Kompozit disk yayların analizleri, ANSYS Workbench programının ACP (ANSYS Composite PrepPost) modülü kullanılarak yapılmıştır. Malzeme veritabanından malzeme olarak "Epoxy Carbon UD 230GPa Prepreg" seçilmiştir. Mesh işlemi için de eleman boyutu 0.1 mm ve minimum kenar uzunluğu 0.064 mm alınmıştır. Mesh işlemi sonucunda ise 25756 tane düğüm noktası, 13981 tane de eleman elde edilmiştir.

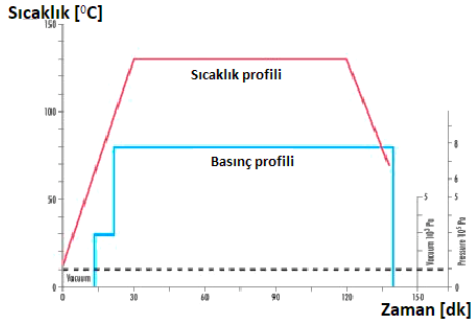
Analiz sonuçlarına göre karakteristikleri belirlenmiş olan kompozit disk yaylar kapalı kalıp yöntemiyle üretilmiştir. Karbon prepreg katmanlar uygun ölçülerde kesilerek, üretilen disk yayın koniklik açısına uygun kalıplarda

Şekil 3'teki gibi üst üste konulmuştur. Kalıbın prepreg malzeme ile temas eden yerleri, yapışmayı önlemek için teflon malzeme ile kaplanmıştır.



Şekil 3. Kalıbın hazırlanmış hali

Hazırlanan kalıplar daha sonra endüstriyel fırına kürleşmesi için konulmuştur. Kürleşme aşamasında fırındayken sağlanan basınç ve sıcaklık şartları Şekil 4'te verilmiştir. Bu değerler, çalışmada kullanılan prepreg malzemenin katalog verilerinden alınmıştır.



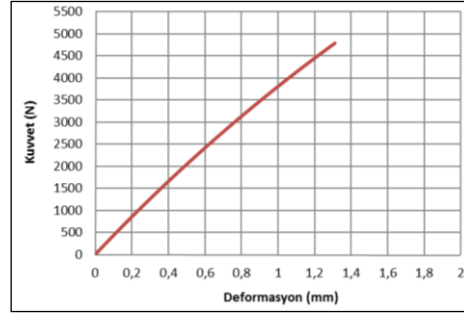
Şekil 4. Kullanılan prepreg malzemedeki reçinenin kürleşme eğrisi [12]

Üretimi tamamlanan disk yayların 0.25 mm/dak basma hızı ile Shimadzu Autograph AG-X basma test cihazında her parametre için 5 adet olmak üzere basma testleri yapılmıştır. Son olarak, üretilen disk yayların hassas terazide kütleleri

ölçülmüş ve farklı koniklik değerleri için çeliğe kıyasla kütlelerindeki azalma oranı karşılaştırılmıştır.

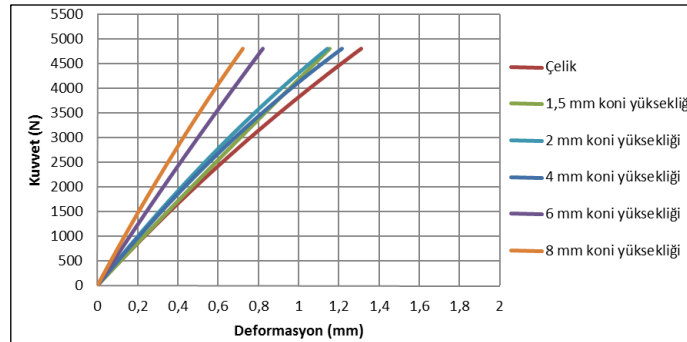
### 3. Bulgular

Seçilen çelik disk yayın deneysel verilere dayanarak yapılan sonlu elemanlar analizi sonucu elde edilen karakteristik eğrisi Şekil 5'te verilmiştir. Belirlenen maksimum deformasyon değeri olan 1.3 mm için çelik disk yay yaklaşık 4800 N kuvvet taşımaktadır.



Şekil 5. Çelik disk yayın analiz sonucu elde edilen karakteristik eğrisi

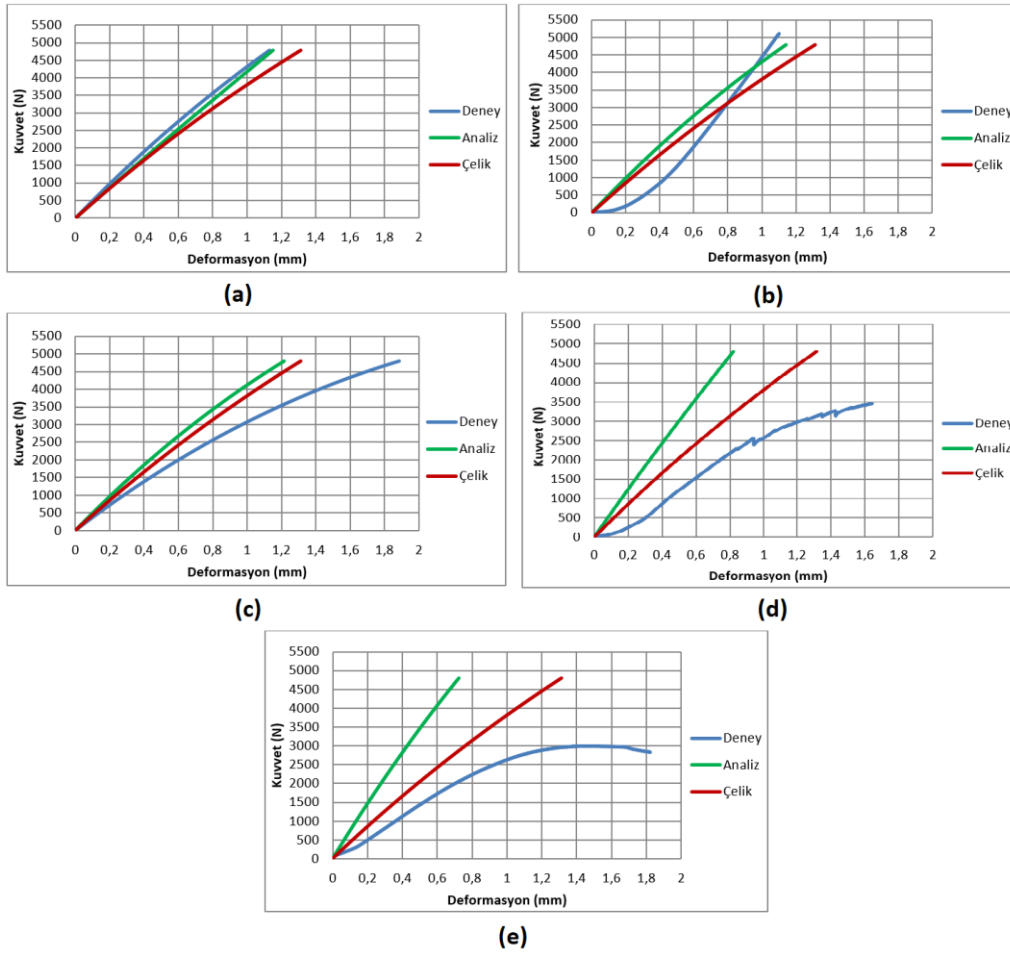
Kompozit disk yayların yapılan analizler sonucu elde edilen karakteristik eğrileri, Şekil 6'daki grafikte çelik disk yayın karakteristik eğrisiyle beraber verilmiştir. Yapılan analizde kompozit disk yaylara gelen maksimum kuvvet 4800 N olarak verilmiştir. Grafik incelendiğinde, bu kuvvete karşılık gelen deformasyon değerleri 1.5, 2 ve 4 mm koni yüksekliğine sahip yaylar için 1.1 - 1.2 mm iken 6 ve 8 mm koni yüksekliğine sahip yaylarda 0.7 - 0.8 mm değerlerinde seyretmektedir. 1.5, 2 ve 4 mm koni yüksekliğine sahip yayların karakteristik eğrilerinin, 6 ve 8 mm koni yüksekliğine sahip yayların karakteristik eğrilerine göre çelik yayın eğrisine daha benzer yapıda oldukları görülmektedir.



Şekil 6. Farklı koni yüksekliğine sahip disk yaylar için analiz sonuçları

Üretilen kompozit disk yayların yapılan basma deneyleri sonucu elde edilen karakteristiklerinin, analiz karakteristikleriyle ve çelik disk yayın karakteristiği ile karşılaştırılması Şekil 7'deki grafiklerde gösterilmiştir. 1.5 mm koni yüksekliğine sahip disk yayın deney ve analiz sonucu elde edilen karakteristiklerinin oldukça benzer olduğu görülmektedir. Maksimum deformasyon değerleri 1.1 mm dolayındadır. Ayrıca bu eğrilerin çelik disk yayın karakteristik eğrisiyle de yakın olduğu saptanmıştır. 2 mm koni yüksekliğine sahip disk yayın deneysel karakteristiği progresif bir eğriye sahiptir. 4, 6 ve

8 mm koni yüksekliğine sahip disk yayların karakteristik eğrilerinde ise degresif bir artış söz konusudur. 6 ve 8 mm koni yüksekliğindeki yayların karakteristiklerinde düzensizlikler göze çarpmaktadır. 8 mm koni yüksekliğindeki disk yayın eğrisinde 3000 N'luk kuvvet gözlemlendikten sonra deformasyon artmasına rağmen bu değerin azaldığı görülmüştür. Grafiklerden 1.5, 2 ve 4 mm koni yüksekliğindeki kompozit yayların karakteristiklerinin analiz sonuçlarına yakın olduğu ancak 6 ve 8 mm koni yüksekliğindeki kompozit yayların karakteristiklerinin analiz sonuçlarından uzaklaştığı görülmektedir.



Şekil 7. Üretilen disk yayların deney ve analiz sonuçları a) 1.5 mm koni yüksekliği b) 2 mm koni yüksekliği c) 4 mm koni yüksekliği d) 6 mm koni yüksekliği e) 8 mm koni yüksekliği

Üretilen disk yayların hassas terazide kütleleri ölçüldükten sonra elde edilen sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir. Kompozit disk yayın çelik disk

yaya göre kütlelerinde azalma olması beklenen bir durumdur. Burada asıl incelenmesi gereken, farklı koni yüksekliğine sahip kompozit disk

yaylardaki kütle değişimlerinde oluşan farklılıklardır. 1.5 mm koni yüksekliğine sahip kompozit disk yayın kütlelerinde çelik yaya göre % 55 civarında bir azalma söz konusuysen 8 mm koni yüksekliğinde olan yayda bu değişim % 69

civarındadır. Maksimum ve minimum koni yüksekliğine sahip disk yaylar arasında yaklaşık % 14'lük bir kütle değişim farkı mevcuttur. Koni yükseklikleri artarken kütleler de aynı şekilde azalmıştır.

**Tablo 3.** Üretilen kompozit disk yayların kütleleri ve çelik disk yayın kütlesiyle kıyaslanması.

	<i>Kütle (g)</i>	<i>Çelik Disk Yaya Göre Kütledeki Değişim (% Azalma)</i>
Çelik disk yay (Referans)	24.648	-
1.5 mm koni yüksekliğine sahip kompozit disk yay	11.054	55.15
2 mm koni yüksekliğine sahip kompozit disk yay	9.450	61.66
4 mm koni yüksekliğine sahip kompozit disk yay	8.159	66.89
6 mm koni yüksekliğine sahip kompozit disk yay	7.462	69.72
8 mm koni yüksekliğine sahip kompozit disk yay	7.654	68.94

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Yapılan çalışmada, çelik ve kompozit disk yayların karakteristiği sonlu elemanlar metoduyla ve deneysel olarak incelenmiş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Analizlere dayanılarak tasarlanan kompozit disk yayların üretiminde yayların koni yüksekliği esas alınmıştır. Belirlenen 5 farklı koni yüksekliği için 5 farklı kalıp tasarlanmış ve karbon prepregten hazırlanan kompozit disk yaylar bu kalıplar içinde iken endüstriyel fırında kürlenerek üretilmiştir.

Sonlu elemanlar analizlerinde, karbon prepreg disk yaylarda koni yüksekliği arttıkça birim kuvvet başına oluşan deformasyonun azaldığı görülmüştür. Analiz sonuçlarına göre üretilen disk yayların karakteristik eğrileri, sonlu elemanlar metodu sonuçlarıyla ve çelik disk yayın karakteristiğiyle karşılaştırılmıştır. 1.5 mm, 2 mm ve 4 mm koni yüksekliklerinde, çelik disk yaya yakın sonuçlar alınmasına rağmen koni yükseklikleri arttıkça analiz sonuçlarından ve çelik disk yayın karakteristiğinden sapmalar artmıştır. Bu sapmaların, kalıpta prepreg malzeme ile disk yay üretimi sırasında zorunlu olarak uygulanan işlemlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü prepreg malzeme, kompozit disk yayın tabakalarını oluşturacak şekilde koni açılımı yapılarak kalıba yerleştirilince o tabakada üst üste binme olmaması için belli bir açıda boşluk ile kesilmiştir. Bahsedilen bu boşluk koni yüksekliği ile arttığından yüksek koniklik değerlerindeki

disk yaylarda prepregler kalıba dizilirken tabakaların oryantasyon açısında bozulmaya neden olmaktadır. Bu sorunun oryantasyon açılarında veya tabaka sayılarında değişikliğe gidilerek çözülebileceği düşünülmektedir.

Üretilen disk yayların kütleleri karşılaştırıldığında ise, kompozit disk yaylarda çelik disk yaylara göre % 55 - % 69 aralığında bir kütle azalması olduğu görülmüştür. Bu aralık yayların konikliğine bağlı olarak değişmektedir. Koni yüksekliklerinin artmasıyla kütledeki azalma oranı da artmıştır.

Bu sonuçlardan yola çıkarak, özellikle düşük ve orta koni yüksekliklerinde, çelik disk yaya yakın ya da daha iyi yay karakteristiğinde ve çelik disk yaydan % 70'e yakın oranda hafif kompozit disk yayların elde edilebileceğini söylemek mümkündür. Karbon prepreg kompozit disk yayların yüksek koni yüksekliklerindeki üretimi ise elde edilen sonuçlardan dolayı önerilmemektedir.

#### Kaynakça

- [1] La Rosa, G., Messina, M. ve Risitano, A. 2001. Stiffness of Variable Thickness Belleville Springs, Journal of Mechanical Design, Cilt. 123, s. 294-299.
- [2] Pedersen, N. L. ve Pedersen, P. 2011. Stiffness and Design for Strength of Trapezoidal Belleville Springs, Journal of Strain Analysis, Cilt. 46, s. 825-836.
- [3] Saini P. K., Kumar, P. ve Tandon, P. 2007. Design and Analysis of Radially Tapered Disc Springs with Parabolically Varying Thickness, Journal of

- Mechanical Engineering Science, Cilt. 221, s. 151-158.
- [4] Carfagni, M. 2002. A CAD Program for The Automated Checkout and Design of Belleville Springs, Journal of Mechanical Design, Cilt. 124, s. 393-398.
- [5] Paredes, M. ve Daidie, A. 2010. Optimal Catalogue Selection and Custom Design of Belleville Spring Arrangements, International Journal on Interactive Design and Manufacturing, Cilt. 4, s. 51-59.
- [6] Zhiming, Y. ve Kaiyuan, Y. 1990. A study of Belleville Spring and Diaphragm Spring in Engineering, Journal of Applied Mechanics, Cilt. 57, s. 1026-1031.
- [7] Davet, G. 1997. Belleville Springs Flex to Keep Joints Tight, Machine Design, Cilt. 69, s. 140-144.
- [8] Curti, G. ve Raffa, F. A. 1992. Material Nonlinearity Effects in The Stress Analysis of Conical Disk Springs, Journal of Mechanical Design, Cilt. 114, s. 238-244.
- [9] Dharan, C. K. H. ve Bauman, J. A. 2007. Composite Disc Springs, Composites: Part A, Cilt. 38, s. 2512-2516.
- [10] Mubea Disc Springs Manuel. 2010. Mubea Tellerfedern und Spannelemente GmbH.
- [11] Karasu, H. F. 2014. Kompozit Disk Yayların Tasarımı ve Analizi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 116s, İzmir.
- [12] Sigrafil - Sigratex Prepreg Kataloğu, 1999. SGL Carbon Group.