

## BİLGİSAYAR DESTEKLİ HELİSEL YAY TASARIMI VE SONLU ELEMENLAR ANALİZİ

Murat Tolga ÖZKAN<sup>1\*</sup>, Kürşad DÜNDAR<sup>1</sup>, Fevzi GÜMÜŞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>G.Ü.T. E.F, Makina Eğitimi Bölümü, 06500 Besevler, Ankara, TÜRKİYE

<sup>2</sup>Yozgat Endüstri Meslek Lisesi, Yozgat, TÜRKİYE

### Özet

Bu çalışmada yaygın olarak kullanılan makina elemanlarından biri olan helisel yayın bilgisayar ortamında tasarımını yapan bir program tasarlanmıştır. Programda yay çeşitleri, yay malzemeleri, yay hesaplamaları, yay standartları, yay üretimi ve yay üreticileri hakkında geniş bilgi verilmektedir. Hesaplama bölümünde tel çapı, gövde çapı, sarım sayısı gibi değişkenleri belirli olan helisel basma ve çekme yayının kuvvet'e bağlı olarak yaydaki sapma değerlerinin matematiksel kontrolü yapılmıştır. Ayrıca bu yaylara dış çap, iç çap gibi sınırlamalar verilerek yay boyutlarında minimum malzeme veya minimum dış hacime göre optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Bunlara ek olarak ANSYS programında helisel basma yayına ait deformasyon analizleri yapıp, bulunan yay sabiti değerleri ile numeric yay denklemleri ile karşılaştırılmıştır. Yay tasarımı için toplanan bilgiler program içerisine dahil edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yay tasarımı, visual basic, sonlu elemanlar yöntemi

## COMPUTER AIDED HELICAL SPRING DESIGN AND FINITE ELEMENT ANALYSIS

### Abstract

In this study, a program was designed about design of helical spring which was one of the most common used machine parts, in computer environment. Wide range of information was given in this program about spring samples, spring materials, spring equations, spring standarts, spring producing, spring producers. In calculate part of the program, the force-displacement calculations of helical compression and extension spring was done whose wire diameter, body diameter, coil number was defined. In addition, restricts were given as outer diameter, inner diameter to these springs so it was realized spring dimensions was optimized to minimum outer volume or minimum material. In addition, the deformation analysis of helical coil spring was done and the obtained spring index values were compared to values that obtained from equation. The obtained datas were added to program.

**Keywords:** Spring design, visual basic, finite element method

---

\* E-pota: tozkan@gazi.edu.tr

**Semboller**

$\delta$	Sapma miktarı (mm)
$\tau$	Kesme gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )
$\sigma$	Eğilme gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )
$\nu$	Poisson oranı
F	Kuvvet (N)
K	Yay indeksi
d	Tel çapı (mm)
D	Anma çapı (mm)
p	Adım (mm)
$L_f$	Serbest boy (mm)
$D_o$	Dış çap (mm)
$D_i$	İç çap (mm)
$N_a$	Aktif sarım sayısı
G	Kesme modülü (N/mm <sup>2</sup> )
$\gamma$	Yoğunluk (kg/dm <sup>3</sup> )
$f_n$	Doğal frekans
$K_w$	Gerilim düzeltme faktörü(Wahl)
$\theta$	Dönme miktarı
h	Yükseklik (mm)
t	Et kalınlığı (mm)
E	Elastikiyet modülü
b	Genişlik (mm)

**1. Giriş**

Bu çalışmada çok yaygın olarak kullanılan makina elemanlarından yayların; yine en çok kullanılan tipi olan helisel yayların bilgisayar yardımı ile tasarımı hedeflenmiştir. Yapılan programda istenen özelliklerdeki bir helisel yayın boyutlandırılması gerçekleştirilmiştir. Tasarım için gerekli; tel çapı, gövde çapı ve sarım sayısı gibi parametrelerin elde edilmesi için verilen sınır şartlarında yay hesaplamaları yapılmıştır. Programda ayrıca ölçüleri belli helisel yayların; yay sabiti, sapma değerleri gibi özellikleri bulunabilmektedir. Bunun yanında programda bilgi amaçlı olarak; yay malzemeleri, standartları, çeşitleri, hesaplamaları, üretim yöntemleri hakkında bilgilerin yanısıra, bilgisayar destekli tasarım programlarından Solidworks, Mechanical Desktop, 3D Studio Max programları ile helisel yay çizim teknikleri yazılıma eklenmiştir. Ayrıca, yay üreticileri hakkında ekstra bilgilerde yazılıma ilave edilmiştir. Programda, boyutlandırılan yayın çizimi için Solidworks, Mechanical Desktop, 3D Studio Max programlarına manuel olarak geçilebilmektedir. Ayrıca; helisel basma yayının sonlu elemanlar analizlerinin yapılabilmesi için yayların tasarımları Solidworks paket programında çizilmiştir. ANSYS programında, basma yayının kuvvete bağlı yer değiştirme ve gerilme analizleri yapılmıştır. ANSYS deki modellerden elde edilen yay sabiti ve maksimum gerilme değerleri literatürdeki denklemlerle karşılaştırılmıştır.

**2. Literatür**

Çıplak, tez çalışmasında sonlu elemanlar yöntemini kullanarak helisel sarımlı yayların dinamik analizlerini incelemiştir [1].

Karabörk., yaptığı çalışmasında helisel yayların çalışmaları sırasında ortaya çıkan titreşim karakteristiklerini analiz etmiştir. Titreşime neden olan argümanları ve titreşimin sonuçlarını belirlemiştir [2].

Musulluoğlu, yayların karakteristik özelliklerini ölçen ve kontrol eden bir cihazın neleri içermesi gerektiğini incelemiş, örnek bir tasarım gerçekleştirmiş ve imalatını yapmıştır [3].

Tekeli., yay çeliklerinin ısıl işlemi üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Yayların malzemelerini, ısıl işlem çeşitlerini incelediği çalışmasında yay çeliklerine uygulanan ısıl işlem yöntemlerini, ısıl işlem yöntemi farklılıkları ile elde edilen sonuçları ortaya koymuştur [4].

Gökbakar, yay hesaplamaları çalışmasında Turbo Pascal dilini kullanarak bir yazılım oluşturmuştur. Bu yazılımda görsel veri girişi yoktur. Program sadece hesaplama modülü olarak düşünülmüş ve yayların tasarım verilerine dönük bilgiler yoktur [5].

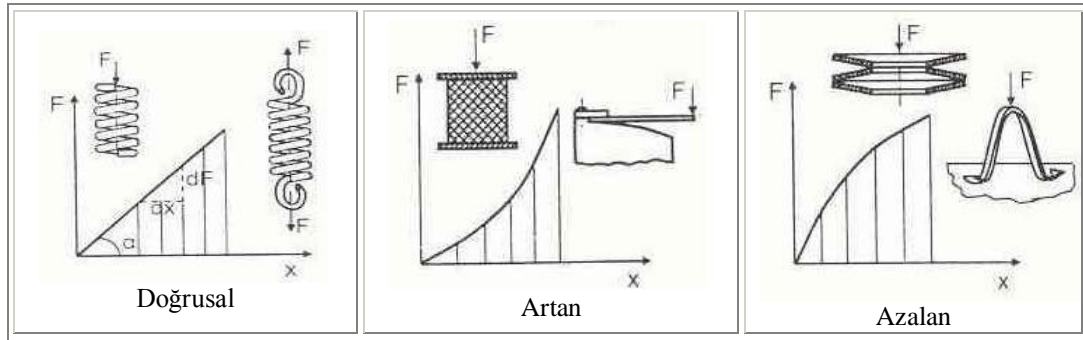
Serdengeçti, çalışmasında GW Basic programlama dili kullanarak helisel silindirik yay tasarımı yapan bir bilgisayar programı yazmıştır. Program sadece hesaplama modülü olarak düşünülmüş, yayların tasarım verilerine dönük bilgileri kapsamamaktadır. [6].

### 3. Sınıflandırma

Yaylar; taşıdıkları yüke göre basmaya, çekmeye, burulmaya, eğilmeye çalışan yaylar olarak sınıflandırılmaktadır. Geometrik şekillerine göre silindirik, konik, disk, yaprak, spiral, gazlı ve özel gibi sınıflandırılmaktadır. Tel kesitlerine göre yuvarlak, dikdörtgen ve kare şekilli, üretim şekillerine göre sıcak veya soğuk şekillendirilmiş, malzemelerine göre de metal, kauçuk veya plastik olarak sınıflandırılırlar [7, 8].

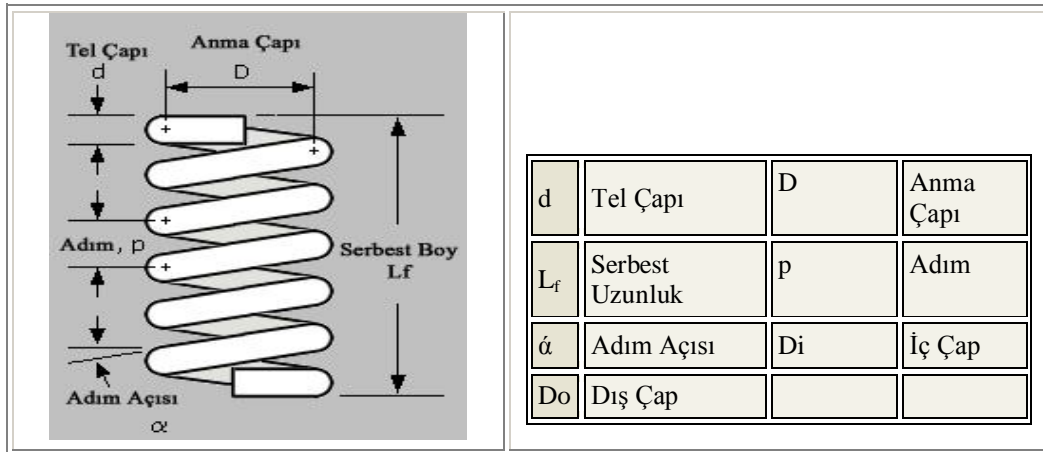
### 4. Yay karakteristiği

Herhangi bir yaya etkiyen kuvvet veya momentlerle bunların doğurduğu şekil değişiklikleri (boy değişimi veya burulma/dönme açısı) arasındaki ilişkiye yay karakteristiği adı verilir ve bu ilişkiye göre yay özelliği belirlenir. Bu karakteristik doğrusal, yükselen veya alçalan şeklinde olabilir [9] (Şekil 1).



Şekil 1. Çeşitli yay karakteristikleri [9]

Helisel basma yayının tanımlanması için gerekli olan parametreler aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Helisel basma yayının tanımlanması için gerekli olan parametreler

### 5. Helisel yayların gerilmesi

Yaya uygulanan F kuvveti neticesinde herhangi bir kesitte T momentinden dolayı burulma gerilmesi ve F kuvvetinden dolayı da kesme gerilmesi (Şekil 3) oluşur. Bu iki gerilme birbirine eklenirse maksimum kesme gerilmesi  $\tau_{max}$  oluşur;

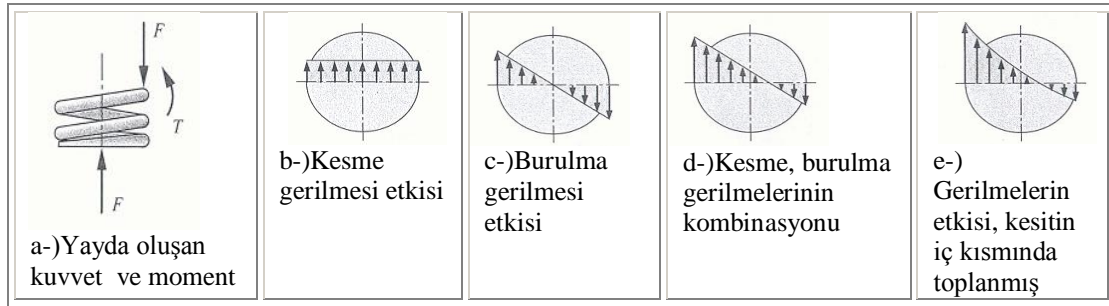
$$\tau_{\max} = \frac{8 \cdot F \cdot D}{\pi \cdot d^3} + \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d^2} \quad (1)$$

Kesilmeden dolayı tel kesitinde meydana gelen kesilme gerilmelerinin yayılışı düzgün değildir. Bunun için  $K_s$  düzeltme faktörü kullanılır.

$$K_s = \left( 1 + \frac{0,5}{C} \right) \quad (2)$$

$$\tau_{\max} = K_s \cdot \frac{8 \cdot F \cdot D}{\pi \cdot d^3} \quad (3)$$

Burada  $K_s$  direkt kesme düzeltme faktörüdür,  $C$  yay sabitidir.



Şekil 3. Yayda oluşan gerilmeler [11]

Yayın çapı, tel kesitinin iç yüzelerindeki gerilmenin artmasına sebep olur (Şekil 3). Wahl direk kesme gerilmelerini ve eğilme gerilmelerini içine alan bir gerilim düzeltme faktörü ( $K_w$ ) tespit etmiştir.

$$K_w = \frac{4 \cdot C - 1}{4 \cdot C + 4} + \frac{0,615}{C} \quad (4)$$

$$\tau_{\max} = K_w \cdot \frac{8 \cdot F \cdot D}{\pi \cdot d^3} \quad (5)$$

Yay dinamik olarak yüklenirse, Wahl gerilim düzeltme faktörü dikkate alınır ve Eş. 5 kullanılır [5].

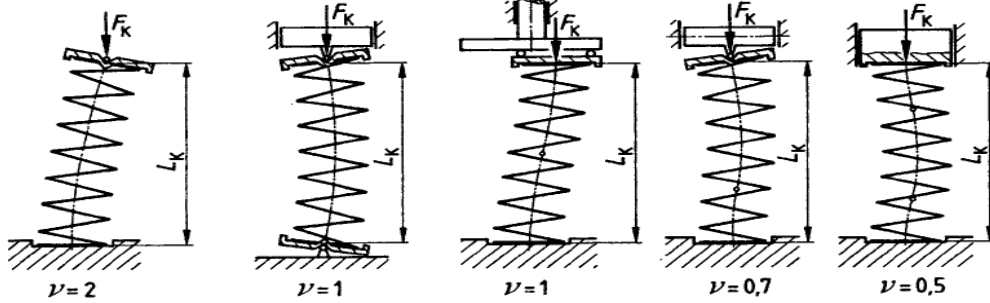
## 6. Helisel yayların burkulması

Eksenel olarak yüklenen yaylar belirli bir kritik uzunluğa kadar sıkıştırıldıklarında burkulmaya meyilli olurlar. Bu yayların tasarımında, burkulmaya karşı yeterli bir emniyete müsaade edilmelidir. Uygulamada burkulma sınırına erişme teorik hesaplamaya göre daha muhtemeldir (Şekil 4).

Yayın serbest boyu  $L_f$ 'nin ortalama çapına oranı  $L_f/D > 4$  ise burkulma tehlikesi vardır. Yayın kritik burkulma sapması aşağıdaki eşitlikle bulunabilir.

$$\delta_{cr} = L_f \cdot \frac{0,5}{1 - \frac{G}{E}} \left[ 1 - \sqrt{\frac{1 - \frac{G}{E}}{0,5 + \frac{G}{E}} \cdot \left( \frac{\pi \cdot D}{\nu \cdot L_f} \right)^2} \right] \quad (6)$$

Burkulmayla ilgili detaylı bilgi programa dahil edilmiştir.



Şekil 4. Helisel baskı yayında burkulma tipleri ve ilgili burkulma katsayıları [11]

## 7. Helisel yayların titreşimi

Titreşimli zorlamalara maruz kalan yaylarda önlenmesi gereken önemli bir olay rezonans yani yayın doğal frekansı ile kuvvetin oluşturduğu frekans çakışmamalıdır. Bu belirli bir süre gerektirir. Yayın dalgalanması denilen bu süre sonunda, yay kuvveti sönümler ve hareketsiz kalır. İdeal olarak yayın doğal frekansı uygulanan kuvvetin frekansından 13 ile 20 kez fazla olmalıdır [11].

Her iki başı kılavuzlanmış ve çalışma aralığında bir başı periyodik olarak tahrik edilen yayın birinci dereceden tabii frekansı aşağıdaki eşitlikle bulunur.

$$f_n = \frac{3560 \cdot d}{n \cdot D^2} \sqrt{\frac{G}{\gamma}} \quad (7)$$

Eşitlikte  $\gamma$  malzemenin yoğunluğunu ( $\text{kg/dm}^3$ ) temsil etmektedir.

Yuvarlak telli bir helisel baskı yayının saptması aşağıdaki Eş. 8 ile hesaplanır. Eşitlikteki parametreler Çizelge 1'de verilmiştir.

$$\delta = \frac{8 \cdot F \cdot D^3 \cdot N_a}{d^4 \cdot G} \quad (8)$$

Çizelge 1. Yayıdaki yer değiştirme parametreleri

d	Tel Çapı (mm)	D	Anma Çapı (mm)
F	Uygulanan Kuvvet (N)	$N_a$	Aktif Sarım Sayısı
G	Kesme Modülü ( $\text{N/mm}^2$ )	$\delta$	Sapma Miktarı (mm)

ASTM (American Society for Testing and Materials) standart malzemelerine göre katsayılar [12], ASTM standart malzemelerine göre oranlar [12], Yay teli malzemeleri özellikleri [13] gibi özellikler literatürden alınarak program içinde saklanmıştır.

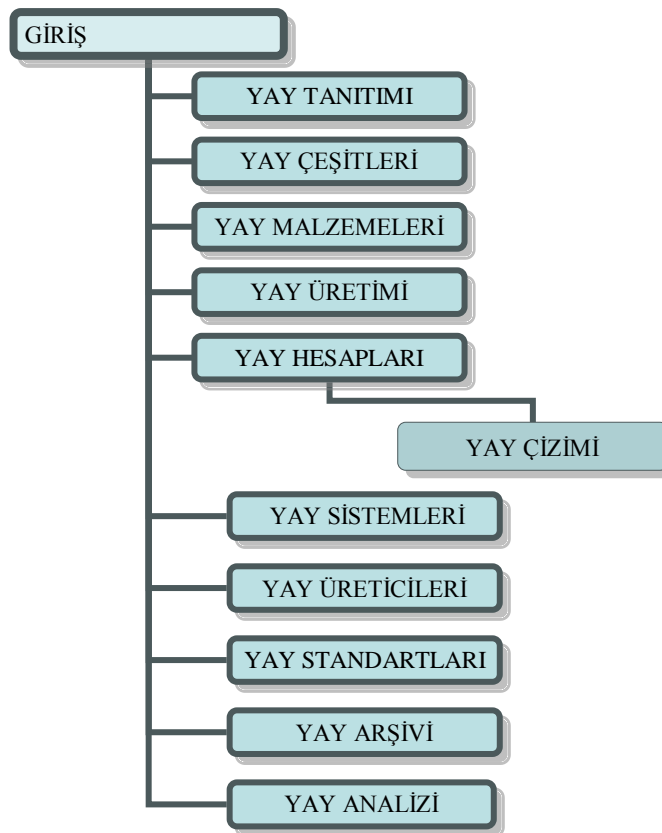
## 8. Bilgisayar destekli yay tasarımı programı

Bilgisayar destekli yay tasarım programı Visual Basic 6.0 programında hazırlanmıştır. Bu çalışmada Visual Basic programının kullanılma nedeni bilgisayar destekli tasarım programlarında makro olarak eklenebilir olmasıdır. Programın ana hatları şematik olarak Şekil 5'de gösterilmiştir (6). Programda yayların tanıtımı, çeşitleri, malzeme

özellikleri, standartları, üretiminin nasıl gerçekleştirildiği, üretici bilgileri detaylı olarak sunulmuştur (Şekil 5). Program hesaplama kısmında ölçüleri verilen yayların mekaniksel davranışlarını hesaplamaktadır. Ayrıca helisel basma, çekme ve yaprak yayların belirtilen sınırlar (sarım sayısı, tel çapı, yay çapı vb) içerisinde, minimum malzeme hacmine göre, tam arama metodunu kullanıp optimizasyon yaparak yay ölçülerini çıkarmaktadır. Elde edilen bu ölçülerle yay çizimi modülüyle manuel olarak Solidworks, Mechanical Desktop, 3D Studio Max programlarına geçip yayın çizim işlemi gerçekleştirilmektedir. Yay analizi bölümünde ANSYS programında yapılmış yay deformasyon analizleri vardır. Program Visual Basic'te hazırlandıktan sonra uygulama dosyası olarak çalışması için proje "exe" dosyası haline getirilmiştir.

Installer Vise isimli program aracılığıyla hazırlanan programın çalışması esnasında kullanacağı, resim, video, pdf dosyalarını otomatik olarak bilgisayara yerleştirecek olan Setup (kurulum) dosyası oluşturulmuştur. (Şekil 6).

Yayların tanıtımı bölümü programın yayların genel olarak tanıtıldığı bölümüdür. Form açılırken Pdf uzantılı bir dosyayı çağırılmaktadır (Şekil 7).

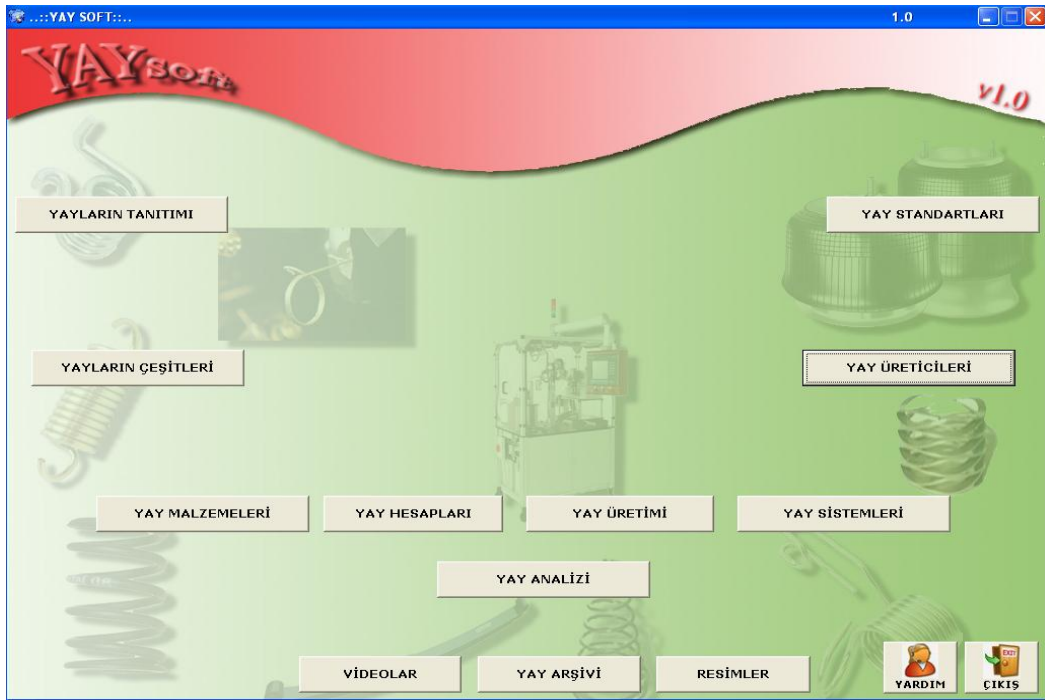


Şekil 5. Yay soft programının şeması

Yay analizi bölümünde ANSYS programında yay analizinin nasıl yapıldığı ile ilgili bilgiler ve programdan elde edilen video görüntüleri vardır. Ayrıca ANSYS programıyla kurulan bağlantı sayesinde daha önceden oluşturulmuş olan bir yayın sonlu elemanlar analizi irdenelebilmektedir (Şekil 8).

Yay üretimi kısmında yay çeşitlerinin hangi teknikler kullanılarak üretildiğini gösteren videolar vardır. Bu görüntüler internette web sitesi bulunan üreticilerin sitelerinden indirilip video düzenleme programı olan Ulead Video Studio isimli yazılımda düzenlenmiş, fazlalıkları kesilmiş, hızlı olan kısımları yavaşlatılmıştır.

Programda ayrıca; yay standartları bölümü yaylarla ilgili olarak Türk Standartları Enstitüsü tarafından çıkarılmış olan standartlara erişilebilen bölümdür. Standartlar Pdf formatında olduğu için incelenmesi ve bazı bölümlerin kopyalanması bakımından kullanışlıdır.

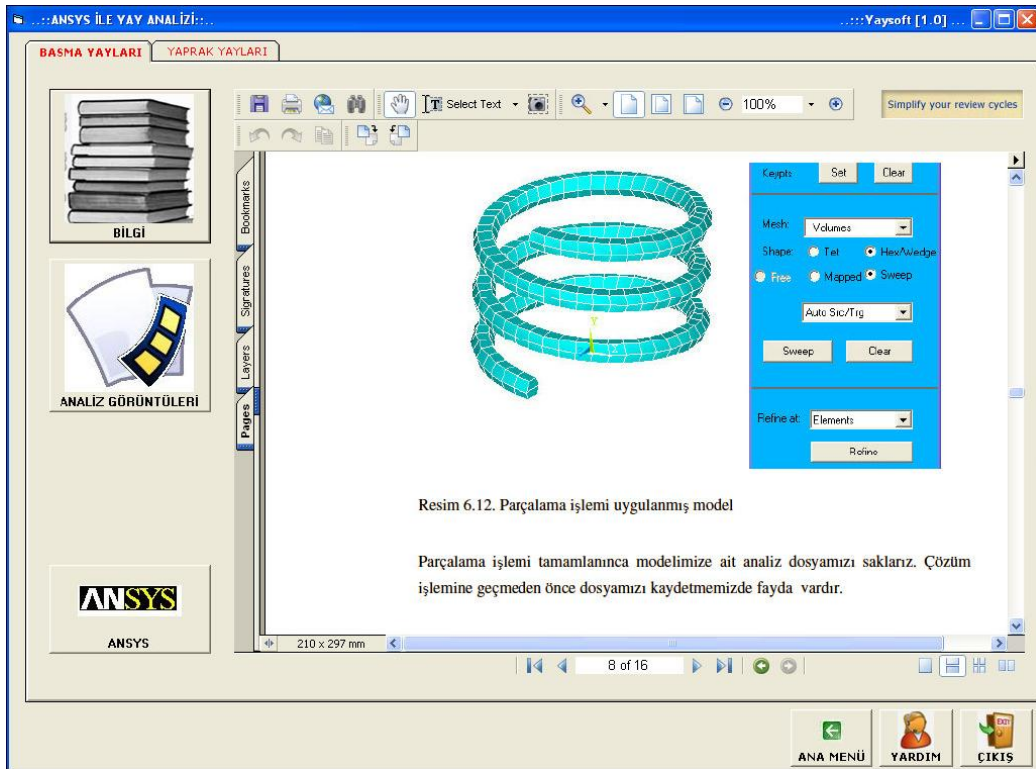


Şekil 6. Programın giriş penceresi

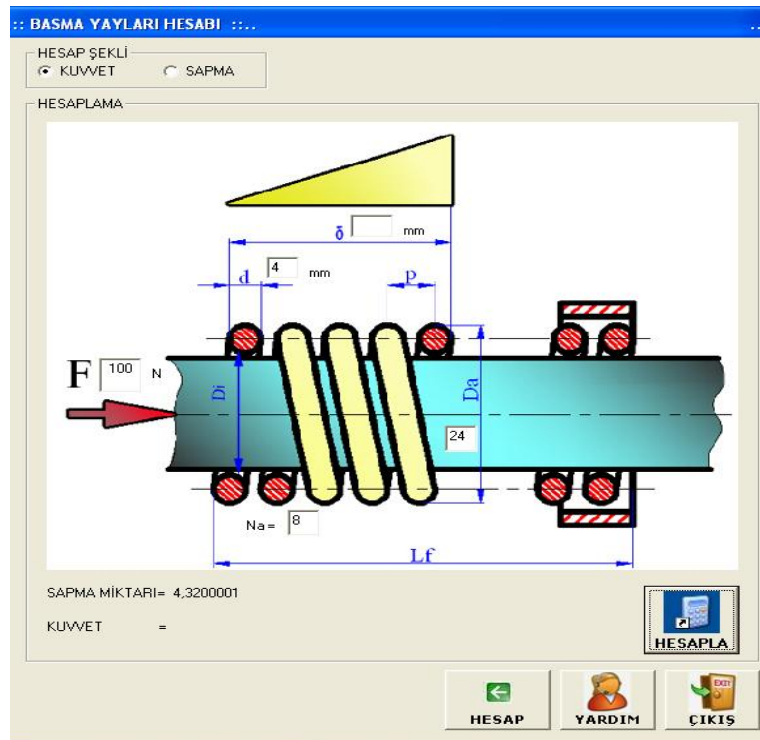


Şekil 7. Tanıtım penceresi

Yay hesapları bölümü yay çeşitlerinden basma ve çekme yaylarına ait hesaplamaları içeren bölümdür. Kuvvet-sapma hesabı ve sınır şartlarına göre optimizasyon hesaplamaları bu bölüm içerisinde. Bu bölüm içinde yapılan hesaplama sonucu elde edilen verileri kullanarak manuel olarak Solidworks, Mechanical Desktop, 3D Studio Max programlarına geçip yay çizimi gerçekleştirilebilen yay çizimi bölümü de vardır (Şekil 9).



Şekil 8. ANSYS ile yay analizi penceresi



Şekil 9. Basma yayı hesabının yapıldığı bölüm

Hesaplama ile elde edilen veriler ile Şekil 10'da görülen Yay çizimi penceresiyle bilgisayar destekli tasarım programlarına geçiş yapılabilmektedir. Semboller tıklanarak sembole bağlı dosya çağrılmaktadır. Programın yaylarla ilgili derlenmiş olan katalog, resim, çizimler vb. gibi materyallerin bulunduğu Yay arşivi bölümü bulunmaktadır. Program içerisindeki video görüntülerini topluca izleme imkanı veren video bölümüne de Giriş sayfasından



ulaşılabilir. Resimler bölümünden de program içerisinde kullanılmış olan veya derlenmiş olan yay resimlerine erişilebilir. Program bölümleri hakkında bilgi veren, yaylarla ilgili terimler sözlüğü ve yine yay konusu ile ilgili Türkçe İngilizce sözlük bulunmaktadır.



Şekil 10. Yay çizim penceresi

### 9. Ölçüleri bilinen helisel yayların hesapları

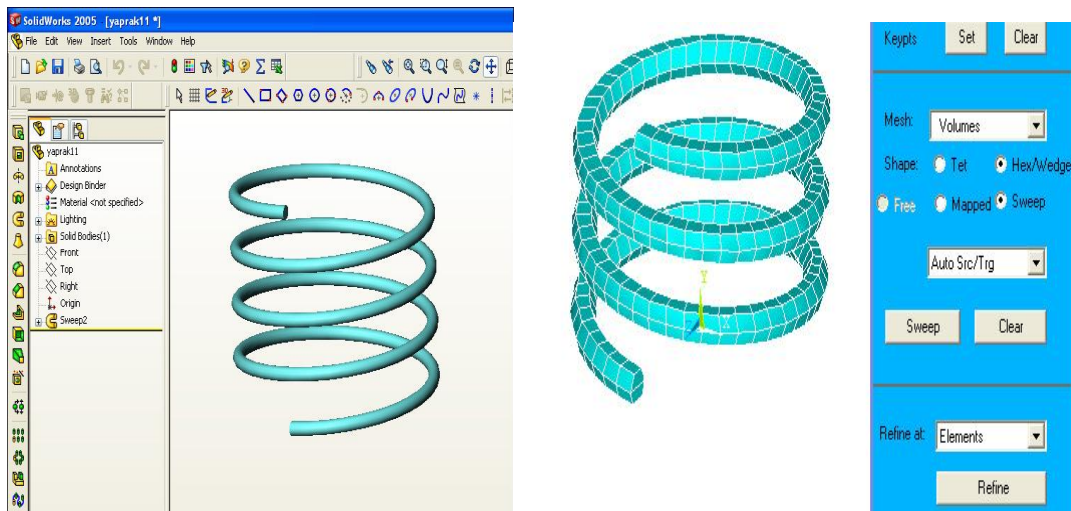
Hesaplama bölümünde tel çapı, gövde çapı ve sarım sayısı bilinen helisel yayların belirli kuvvet karşısında yer değiştirme değerleri veya belirli yer değiştirme değerleri için gerekli kuvvet miktarı bulunmaktadır. Verilen ölçü ve kuvvet ile gerekli eşitliklerden faydalanılarak önce yay sabiti bulunup yayın verilen kuvvet karşısında davranışı incelenmektedir. Genellikle hedef verilen F kuvveti ile istenen sapma miktarıdır.

### 10. ANSYS programı ile yay analizi

ANSYS programında yay analizi: modelleme, çözüm ve çözüm sonuçlarının değerlendirilmesi olarak üç ayrı modüle gerçekleştirilmektedir. Analizde modele sınır şartlarının tatbik edilmesine kadar olan işlemler programın ön işlemci modülünde (preprocessor), modelin çözülmesi çözümleyici modülünde (solution) ve ek hesaplamalar ile sonuçların sayısal veya görsel değerlendirilmesi ise son işlemci (general postprocessor) modülünde gerçekleştirilmektedir.

#### 10.1. Helisel yayın ANSYS analizi

Yay geometrisindeki helisellik dolayısıyla sonlu elemanlar modelinin elde edilmesinde bilgisayar destekli tasarım programları kullanılmıştır. Analizi yapacağımız ANSYS programında yay modelimizi elde etmesi zor olduğu için çizim programlarında yaya modellenmiş daha sonar ANSYS programında analizler yapılmıştır. Modelimiz Solidworks programında oluşturulmuştur. Elde edilen model IGES dosya formatına çevrilerek dosyanın kendisiyle birlikte aynı dizine kaydedilmiştir. Analiz işleminin kolay olması için sarım sayısı adedi az tutulmuştur. Ayrıca analizin yapılmasında eğilmeyi ihmal etmek için yay uçları aynı eksende olacak şekilde oluşturulmuştur.

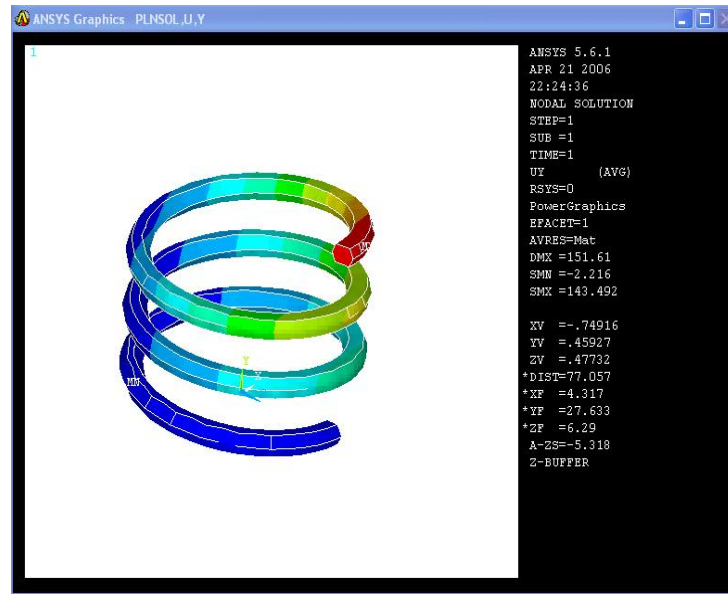


Şekil 11. Analizi yapılacak yayın Solidworks programında oluşturulması ve ANSYS programında ağ oluşumu

ANSYS programında analiz işleminin nasıl gerçekleştirildiği aşağıdaki işlem sırasına göre yapılmıştır. ANSYS programı çalıştırıldıktan sonra File-Import komutu kullanılarak model programa aktarılmıştır.

Analizde; 3-B (üç boyutlu) sonlu elemanlar analizi için Solid73 eleman tipi seçilmiştir. Bu eleman tipi; her biri altı serbestlik derecesine sahip sekiz düğüm noktasından oluşmaktadır. Ayrıca düğüm noktalarında x, y, z yönlerinde yük taşınabilmekte ve x, y, z eksenlerinde dönebilmektedir [14].

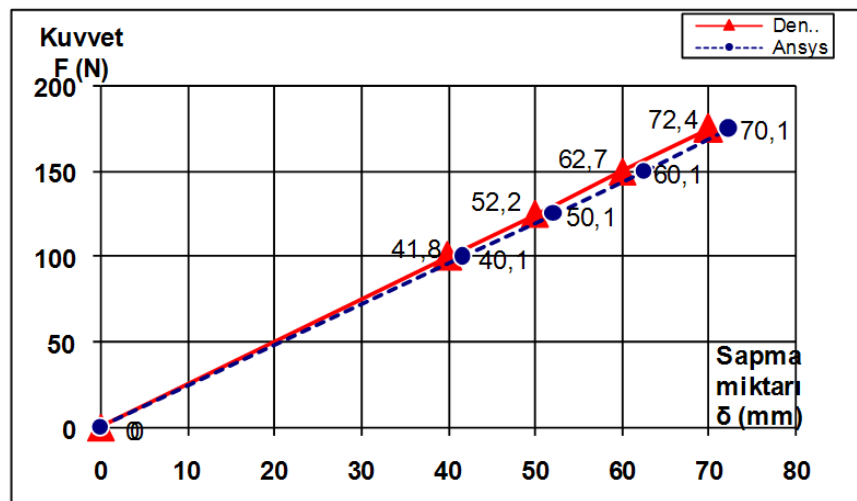
Kullanılan eleman tipi ve bilgisayar işlemcisine bağlı olarak tam daire kesitli değil de altıgen formlu bir ağ (mesh) elde edilmiştir. Bunda helisel bir geometrinin olması da bir etkidir. Yapılan diğer ağ (mesh) yapma işlemlerinde yüzey dört parçaya bölünerek ağ oluşturulduğunda dik kare formlu ağ oluşmuştur. Analizde altıgen formlu eleman tipi, yuvarlak tele daha çok benzediğinden tercih edilmiştir (Şekil 11).



Şekil 12. Deformasyona uğrayan yayın video görüntüsü

Şekil 12'de yapılan analiz sonucu görülmektedir. Analizler yapılarak kuvvete bağlı yer değiştirme değerleri ve gerilmeler hesaplanmıştır.

## 10.2. Ansys ile elde edilen helisel yay sonuçlarının irdelenmesi



Şekil 13. Basma yayı sapma analiz sonucunun denklem sonuçlarıyla karşılaştırılması

Bu kısımda helisel basma yayı için Ansys ile yapılan çalışmada bulunan sonuçlarla hazır denklemler kullanılarak elde edilen denklem sonuçları karşılaştırılmıştır. Helisel yaya uygulanan kuvvet ( 100 N, 125 N, 150 N, 175 N) karşısında oluşan yer değiştirmeler numeric olarak hesap edilerek, ANSYS programında elde edilen yer değiştirme değerleriyle karşılaştırılmıştır. ANSYS ile yapılan bu modellemeden elde edilen yay sabiti değerleri ile denklemlerle elde edilen yay sabiti değerlerinin karşılaştırılması Şekil 13'de görülmektedir.

Uygulanan kuvvete karşılık yer değiştirme değerlerini gösteren bu grafikte eğim ( $k=F/\delta$ ) yay sabitini göstermektedir. Doğrusal regresyon analizi ile ANSYS modeli için yay sabiti olarak 2,4077, denklem için ise 2,4962 değerini vermekte olup elde edilen değerler arasında % 3,5 hata vardır. Bulunan bu değer ANSYS' de kullanacağımız modellerin yay sabiti için uygun olduğu gözlemlenmiştir.

## 11. Sonuç ve Öneriler

Hazırlanan YAY TASARIMI yazılımında; yaylar hakkında geniş bilgiler verilmiştir. Hazırlanan giriş menüsü ve diğer alt menüler kullanımı kolaylaştıracak şekilde tasarlanmıştır. Programın görsel olarak kullanıcıya bilgi vermesi hedeflenmiştir..

Program içerisindeki metin dosyalarının pdf uzantılı olarak kaydedilmesi resimleri, metinleri ve tabloları başka yerlerde de kullanabilme avantajı sağlamaktadır.

Programın hesaplama bölümünde; helisel basma yayı ve, çekme yayının tel çapı, gövde çapı sarım sayısı gibi parametrelerine bağlı olarak girilen kuvvet karşısında ne kadar sapacağı veya istenen sapma miktarı için ne kadar bir kuvvet gerektiği sayısal olarak hesaplanmıştır.

Ayrıca yayın çalışma ortamları göz önüne alınarak iç çap, dış çap gibi sınırlamalar verilmiş, girilen malzeme ve standart tel çaplarına bağlı olarak istenilen arama adımında, yayın tel çapı, gövde çapı ve sarım sayısının minimum hacime göre ölçülendirilmesinde tam arama yöntemi kullanılarak optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Gövde çapının tel çapına oranı olan yay indeksi yayın imalat kolaylığını ve flambaj durumunu göstermektedir. Yapılan optimizasyon sonucunda elde edilen yay indeksi değerleri imalat ve flambaj için istenen sınırlar içerisinde kalmıştır.

Gerçekleştirilen tasarım ile yayın tasarım boyutları belirlenmiştir. Tasarımı istenen başka yaylar için tasarım parametreleri değiştirilerek diğer yaylar için boyutlar belirlenebilmektedir. Yapılan analizlerde uygulanan kuvvet karşısında oluşan sapma miktarı hesaplanmıştır.

Hesaplama bölümünden elde edilen tasarım parametreleri ile manuel olarak Solidworks, Mechanical Desktop, 3D Studio Max programlarına geçip yay çizimi gerçekleştirilmektedir Elde edilen tel çapı, gövde çapı, sarım sayısı ölçülerine ait veriler çizim programlarına otomatik olarak gönderilip çizim yapılarak program daha da geliştirilebilir. Programın Visual Basic dilinde hazırlanması çizim programlarındaki makro desteğinde kolaylık sağlayamamıştır. Oluşturulan bu hesaplama modülü Solidworks programı içerisine manuel değil de otomatik olarak dahil edilebilir.

Analiz bölümünde helisel basma yayı ANSYS programında gerilme ve deformasyona karşı analizler hesaplanmıştır. ANSYS ile elde edilen analiz sonuçları ile denklem sonuçları arasında yapılan karşılaştırmalarda helisel yay için sapma miktarında denklem sonucu ile, analiz sonuçları arasında % 3,5'lik bir farklılık görülmüştür. Bunda modelin parçalara ayrılırken (mesh) tercih edilen elemanın etkisi, mesh sonucunun tam dairesel olarak elde edilememesinin etkisi vardır.

Yapılan ANSYS modellemesinde yaydaki sapma miktarları için numeric sonuçlar ile ANSYS de elde edilen yay sabiti değerleri birbirleri ile uyumuştur. ANSYS de elde edilen sonuçlarla, numeric olarak hesaplamalardan elde edilen sonuçlar arasındaki %3,5 luk fark ise; kuvvetin eksenden uygulanamaması, model ağ yapılırken istenen dairesel geometrinin elde edilememesi, modelin helisel geometrisinin ANSYS programında oluşturulmasının zor olması nedeni ile dışarıdan ithal (Import) edilmesi etkili olmuştur. ANSYS içinde yayın modellenmesi yapılamadığından Solidwork yazılımı kullanılarak önce model oluşturulmuş daha sonra ANSYS'e import edilerek analiz gerçekleştirilebilmesi sağlanmıştır.

Hazırlanan program yay çeşitleri, yay üretimi, yay malzemeleri, örnek yay sistemleri, yay standartları, yay üreticileri hakkında detaylı bilgiler içermektedir. Bütün bu veriler kolay erişilebilecek ve hepsi bir arada olacak şekilde

tasarlanmıştır. Dolayısıyla yazılan program yay elemanını anlatmak amacıyla öğretim materyali olarak da kullanılabilir.

Yaylarla ilgili geniş bir very bankası oluşturulmuştur. Ek tasarım yazılımları ana programa adapte edilerek program ile birlikte uyumlu çalışması sağlanmıştır. Program; Yaylarla ilgili temel teorik bilgi ve verileri içinde barındırmakla birlikte, yay tasarımı ve analizi için gerekli yazılımları da kendi içinde çalıştırabilmektedir. Yaylarla ilgili temel bilgiler tek program altında toplanmıştır.

### Kaynaklar

- [1] Çıplak, N., “A curved beam element for the dynamic analysis of helical coil springs”, Yüksek Lisans Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-3 (1989).
- [2] Karabörk, F., “Dairesel silindirik helisel yayların serbest titreşim karakteristiklerinin teorik olarak tespiti”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 1-2 (1997).
- [3] Musulluoğlu, M., “Helisel yayların statik karakteristiklerini ölçme ve kontrol etme cihazının tasarımı ve imalatı”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-4 (1987).
- [4] Tekeli, S., “Yay çeliklerinin ısıl işlemi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-4 (1991).
- [5] Gökbakar, H., “Enerji biriktirme elemanlarının incelenmesi ve bilgisayar programı ile hesaplanması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-4, 55-56 (2000).
- [6] Serdengeçti, A., “Bilgisayar desteği ile helisel silindirik daire kesitli yayın tasarımı”, Yüksek Lisans, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-4 (1993).
- [7] Şen, İ., Özçilingir, N., “Makine Resmi”, *Deha Yayıncılık*, İstanbul, 105-107 (2005).
- [8] İnternet: “Spring help”, [http://www.engineerstoobox.com/doc/etb/mod/stat1/spring/spring\\_help.html](http://www.engineerstoobox.com/doc/etb/mod/stat1/spring/spring_help.html) (2005).
- [9] Akkurt, M., “Makine Elemanları”, *Birsan Yayınevi*, İstanbul, 441-502 (1984).
- [10] Koç, E. “Makine Elemanları Cilt II”, *Nobel Kitapevleri*, Adana, 2-72 (2003).
- [11] Black, P., “Machine Design”, *Mc Graw Hill International Student Edition*, Michigan, 803-870 (2001).
- [12] Ugural, A., “Mechanical Design An Integrated Approach”, *Mc Graw Hill International Edition*, New York, 560-568, 585-590 (2004).
- [13] Spring Manufacturers Institute, “Handbook of Spring Design”, Oak Brook (2002).
- [14] ANSYS, “ANSYS Online Help Document”, (1999).