



BİR CAD PROGRAMI İLE KATI MODELLENMİŞ BİR MİLDE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE GERİLME ANALİZİ

(*STRESS ANALYSIS BY USING FINITE ELEMENT METHOD IN A SHAFT THAT SOLID MODELLED BY A CAD PROGRAM*)

C. Nazım ERKOÇ*, Behçet DAĞHAN**, Sami KAYA**

ÖZET/ABSTRACT

Bu çalışmada, endüstride en çok kullanılan makina elemanlarından biri olan millerdeki gerilmelerin bilgisayar yardımıyla incelenmesi amaçlanmıştır. Bunun için örnek bir mil ele alınmış ve önce bilgisayar destekli tasarım (CAD) programında katı modellemesi yapılmış ve daha sonra sonlu elemanlar yöntemi ile gerilme analizi yapılmıştır. Ele alınan milde kama ile bağlanmış bir dişli çarkın bulunduğu ve milin giriş kısmında da bir kama yuvası bulunduğu gözönüne alınmıştır. CAD yazılımı ile katı modellemesi yapılmış olan mile ait dosya, IGES arayüzü kullanılarak sonlu elemanlar programına transfer edilmiştir. Sonlu elemanlara bölümdükten sonra malzeme özellikleri, sınır şartları ve yükler verilerek problem çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar analitik yolla elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar grafik ve tablolar halinde verilmiştir.

In this study, stresses occurring in shafts which are widely used in industrial applications are studied by utilizing a computer. For this reason, solid modelling of a shaft is performed by using a computer aided design (CAD) software and then stress analysis is done by means of finite element method. The shaft considered has a gear which is connected with a key and a keyway at one end. The file related with solid model is transferred to finite element software by using IGES interface. After mesh generation, properties of the material, boundary conditions and applied forces are applied, problem is solved. The results obtained from the solutions are compared with analytical results. The results are given by means of tables and diagrams.

ANAHTAR KELİMELER/KEYWORDS

Katı modelleme, Sonlu elemanlar metodu, Gerilme analizi
Solid modelling, Finite element method, Stress analysis

* Selçuk Üniversitesi, Seydişehir MYO, Otomotiv Anabilim Dalı, Seydişehir, KONYA

** Selçuk Üniversitesi, Müh. Mim. Fak., Makina Müh. Bölümü, KONYA

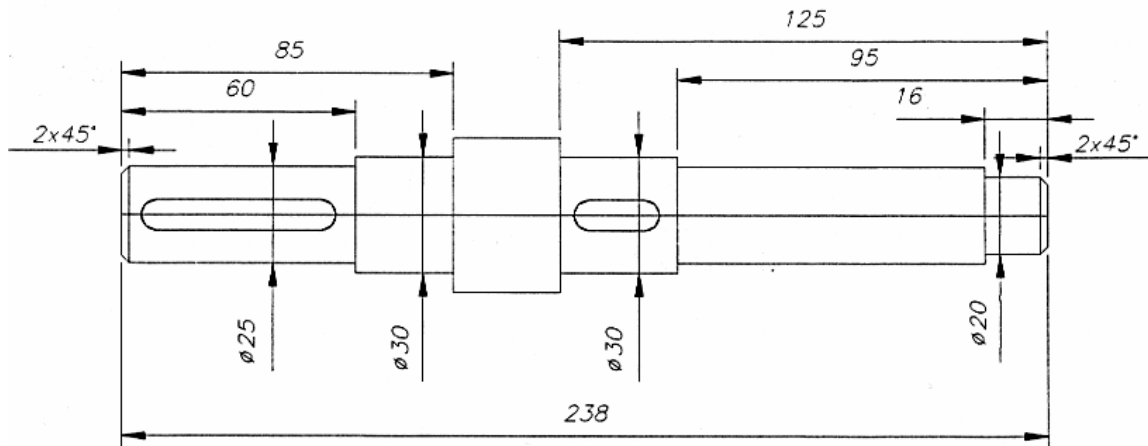
1. GİRİŞ

Bilgisayar destekli tasarım, tasarımın yapılmasını kolaylaştırmak, hızlandırmak, kalitesini yükseltmek gibi amaçlara ulaşmak için bilgisayardan yararlanma şeklidir. Bir CAD yazılımı, çok sayıda işlemi DXF, IGES gibi bir grafik arayüz ile tasarımcı için kullanışlı hale getirerek kompleks ve modern tasarımları gerçekleştirir. CAD yazılımı içinde mühendislik tasarımlarını gerçekleştirmek için katı modellemeye dayanır. Katı modelleme teknikleriyle mühendislik tasarımları çok daha gerçekçi yapılmaktadır. Artık bugün katı modelleme yaygın bir tasarım standardı haline gelmiştir (Çakır, 1995; Groover ve Zimmers, 1991; Requicha ve Voelcher, 1983)

Sonlu elemanlar metodu, bir Makina elemanının içindeki yapısal ve ısıl gerilmelerin analizini yapabildiği bir metottür. Dışarıdan uygulanan yüklerden dolayı mekanik parça üzerinde oluşan gerilmelerin değerini elde eder. Sonlu elemanlar metodunda problem geometrisi birbirlerine düğüm noktalarından bağlı bir çok elemana bölünür. Çözüm bölgesi eleman ağına dönüştürülür. Elemanların muhtelif geometrik şekillerde olması karmaşık problemlere çözüm kolaylığı getirir. Günümüzde genel amaçlı sonlu elemanlar yazılımları ile modelleme ve analiz kolaylıkla yapılmaktadır (Çavdar ve Karpaz, 1999; Dağhan, 1994; Fetvacı, 1997; Gossard vd., 1988; Günay, 1990; Lange, 1986; Okursoy, 1988; Öztürk, 1991; Shapiro ve Vassler, 1991; Topçu, 1986; Wilcox ve Coleman, 1973).

CAD ortamında oluşturulmuş katı modeller, sonlu elemanlar analizi yazılımına transfer edilerek istenilen şekilde sonlu elemanlara ayrılıp sonlu eleman modeli oluşturulur. Esası itibariyle basit olan bu güçlü metot, bilim adamlarına ve mühendislere tamamen yeni bir alan açmıştır. Zor ve karmaşık olarak bilinen problemler bu metotla daha kolay çözülebilmektedir.

Bu çalışmada bir milin ele alınmasının nedeni, güç ve hareket iletim elemanı olarak makinaların yapısında çok miktarda yer alması ve bu yüzden sanayinin hemen her kesiminde karşılaşılabilecek bir makina elemanı olmasındandır. Bu çalışmanın amacı tasarım kurallarına uygun, güvenli ve hatasız bir mil tasarımı için bütün bir mil üzerinde gerilme analizi yapmaktır. Bu amaçla örnek bir mil ele alınarak incelenmiştir (Şekil 1).

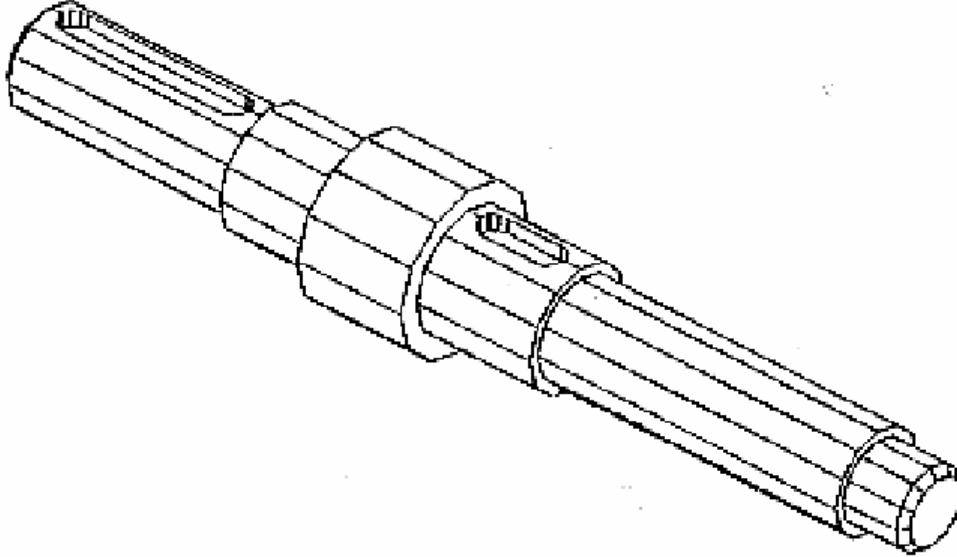


Şekil 1. Ele alınan örnek mil

2. KATI MODELLEME VE ELASTİK GERİLME ANALİZİ

Bir cismi, üç boyutta göstermenin en kesin yolu bir katı model oluşturmaktır. Bu aynı zamanda bir nesneyi göstermenin de en kesin şeklidir. Bunun için ele alınan milin katı modeli oluşturulmuştur. CAD ortamında oluşturulan katı modele ait bilgilerin sonlu elemanlar yazılımına transferi için IGES formatında bir dosya oluşturulmuştur (Şekil 2). IGES arayüzü

farklı CAD sistemleri arasında ürün bilgisinin değişimi için geliştirilen standartların en eskilerinden birisidir. Bilgi değişimi CAD sistemlerinin ilgili ön ve son işlemcileri aracılığı ile gerçekleştirilmektedir. IGES arayüzünün çalışma esası teknik resimlerin, iki ve üç boyutlu tel, yüzey ve katı modellerin, sonlu eleman modellerinin, CAD sistemlerinin ön ve son işlemcileri tarafından algılanabilen bir bilgi çatısı altında temsil edilmesine dayanmaktadır.



Şekil 2. Örnek milin CAD ortamında oluşturulmuş katı modeli

Burada önce faturasız düz bir mil ele alınmış, sadece eğilme ve sadece burulma hali için farklı eleman tipleri ile gerilme analizi yapılarak analitik yolla hesaplanan gerilme değerleri ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 1 ve Çizelge 2). Böylece SOLID 95 eleman tipi ile çözüm yapmanın uygun olduğuna karar verilmiştir.

Çizelge 1. Faturasız bir milde sadece eğilme hali için farklı eleman tipleri ile elde edilen normal gerilmeler (MPa)

Eleman tipi	Çözüm süresi (s)	SEM ile elde edilen gerilme		Analitik yolla hesaplanan gerilme
		Minimum	Maksimum	
SOLID45	105	-47.7	46.1	49.04
SOLID73	401	-53.2	51.2	
SOLID92	440	-48.7	48.4	
SOLID95	725	-48.7	48.4	

Çizelge 2. Faturasız bir milde sadece burulma hali için farklı eleman tipleri ile elde edilen kayma gerilmeleri (MPa)

Eleman tipi	Çözüm süresi (s)	SEM ile elde edilen gerilme		Analitik yolla hesaplanan gerilme
		Minimum	Maksimum	
SOLID45	105	-17.67	17.34	20.37
SOLID73	401	-18.68	18.76	
SOLID92	440	-20.57	20.57	
SOLID95	725	-20.57	20.57	

Daha sonra ele alınan örnek milin incelenmesine geçilmiştir. CAD ortamında katı modeli yapılarak IGES formatında sonlu elemanlar yazılımına transfer edilen kademeli milin gerilme analizine geçilmiştir. Ele alınan milin hem eğilme hem de burulma hali için çözümü yapılmıştır. Problemin çözümü için malzeme özellikleri, sınır şartları ve dış yükler verilmiştir. Dış yükler uygulanırken kama yuvalarındaki yan yüzeylere basınç uygulanmıştır. Uygulanan bu basınç, 3600 N'luk teğetsel dişli kuvvetinin oluşturduğu burulma momentini oluşturacak şekilde 92 N/mm^2 değerinde seçilmiştir. 1500 N'luk radyal kuvvet ile teğetsel dişli kuvvetinin bileşkesi olan 3900 N'luk kuvvet milin ekseninden uygulanmıştır. Kama yuvalarındaki yan yüzeylere uygulanan basınçların eğme etkisini ortadan kaldırmak için de onlara eşit şiddette zıt yönde ve mil tarafsız ekseninden geçen kuvvetler uygulanmıştır. Ayrıca uygulanan dış yüklerden doğan yatak kuvvetleri de hesaplanmış ve yatak bölgelerine 2600 N ve 1300 N değerlerinde uygulanmıştır.

Sadece eğilme halinde, sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen gerilmeler ve analitik yolla elde edilen gerilmeler Çizelge 3'te verilmiştir. Gerilme değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

Çizelge 3. Faturalı örnek milde, sadece eğilme halinde ortaya çıkan gerilmeler (MPa)

Eleman tipi	Düğüm sayısı	Çözüm süresi (s)	SEM ile elde edilen maksimum gerilme	Gerilme yığılma faktörü ile hesaplanan gerilme*
SOLID95	18023	1980	75.98	78.46
	13271	1119	74.16	
	10531	774	75	

* Kama kanalının parmak freze ile açıldığı düşünülmüştür. Bu durumda gerilme yığılma faktörü 1.6,...,2 değerlerini almaktadır.

4. SAYISAL SONUÇLAR VE İRDELENMESİ

Kama bölgesinde milin üstündeki ve altındaki bazı düğümlere ait gerilme değerleri Çizelge 4'te verilmiştir. Ortaya çıkan maksimum ve minimum gerilme değerleri Çizelge 5'te verilmiştir. Bu tablolardan kama bölgesinde milin üstündeki basma gerilmelerinin, milin altındaki çekme gerilmelerine yakın değerlerde olduğu görülür. σ_x gerilmesinin maksimum değerini, kama yuvası yan yüzeyi ile yuva taban yüzeyinin birleştiği bölgede aldığı görülmektedir.

Çizelge 4. Kama bölgesinde milin üst ve altındaki bazı düğümlerde ortaya çıkan gerilmeler (MPa)

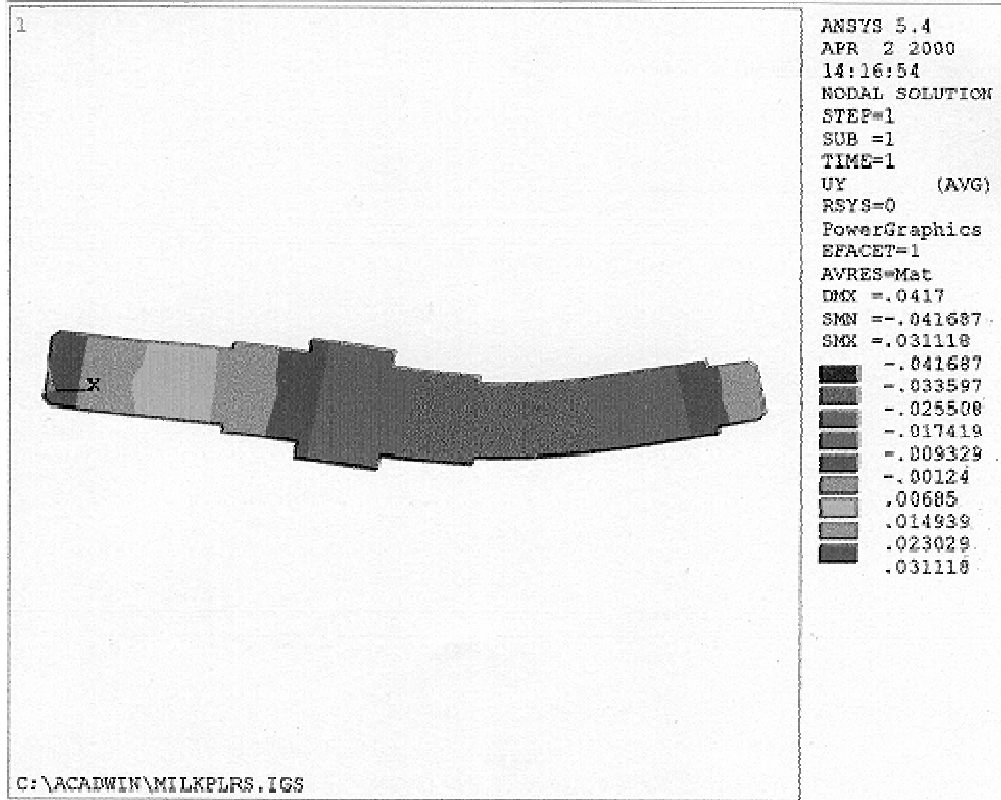
Düğüm	σ_x	σ_y	σ_z	σ_{xy}	σ_{yz}	σ_{xz}	σ_{EQV}
üst	-29.146	0.53597	-0.9802	-0.5785	0.18380	5.6780	30.596
üst	-34.776	0.09447	-0.4111	-0.0500	0.01113	3.4473	35.132
üst	-31.766	0.84639	1.6552	-2.0913	0.37789	1.1971	33.293
alt	27.771	-0.81545	-3.5509	0.3057	0.20821	-8.0155	33.106
alt	35.284	0.14339	-4.9874	-0.1801	-0.26609	-3.1247	38.355
alt	30.835	-1.21350	-4.9770	-1.8900	-1.05410	1.7138	34.420

Çözümü yapılan milde y-ekseni doğrultusunda meydana gelen yer değiştirmeler Şekil 3'te verilmiştir. Şekil incelendiği zaman yatakların olduğu yerlerde yer değiştirmelerin sıfır

olduğu görülür. Maksimum çökmenin iki yatak arasında meydana geldiği ve milin giriş ucunun pozitif yer değiştirmesi yapıldığı görülür.

Çizelge 5. Milde ortaya çıkan gerilmelerin maksimum ve minimum değerleri (MPa)

	σ_x	σ_y	σ_z	σ_{xy}	σ_{yz}	σ_{xz}	σ_{EQV}
Maks.	80.457	169.40	132.59	34.095	46.784	27.913	184.83
Min.	- 49.404	- 126.93	- 32.893	- 43.464	- 93.593	- 21.645	.16699

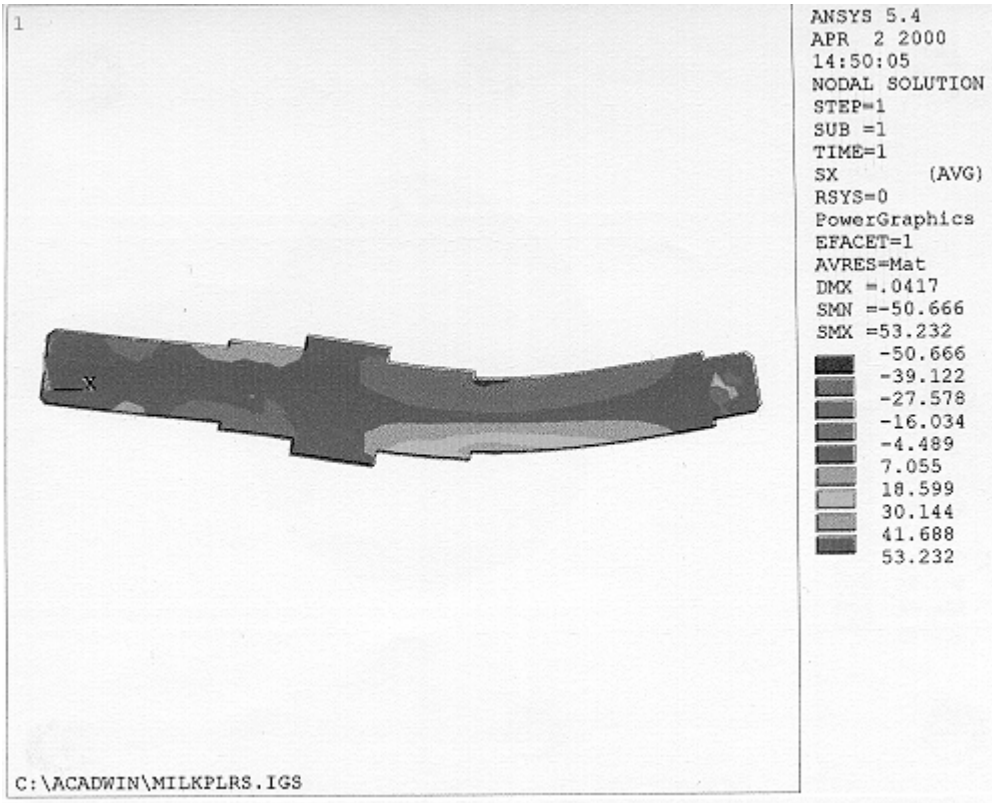
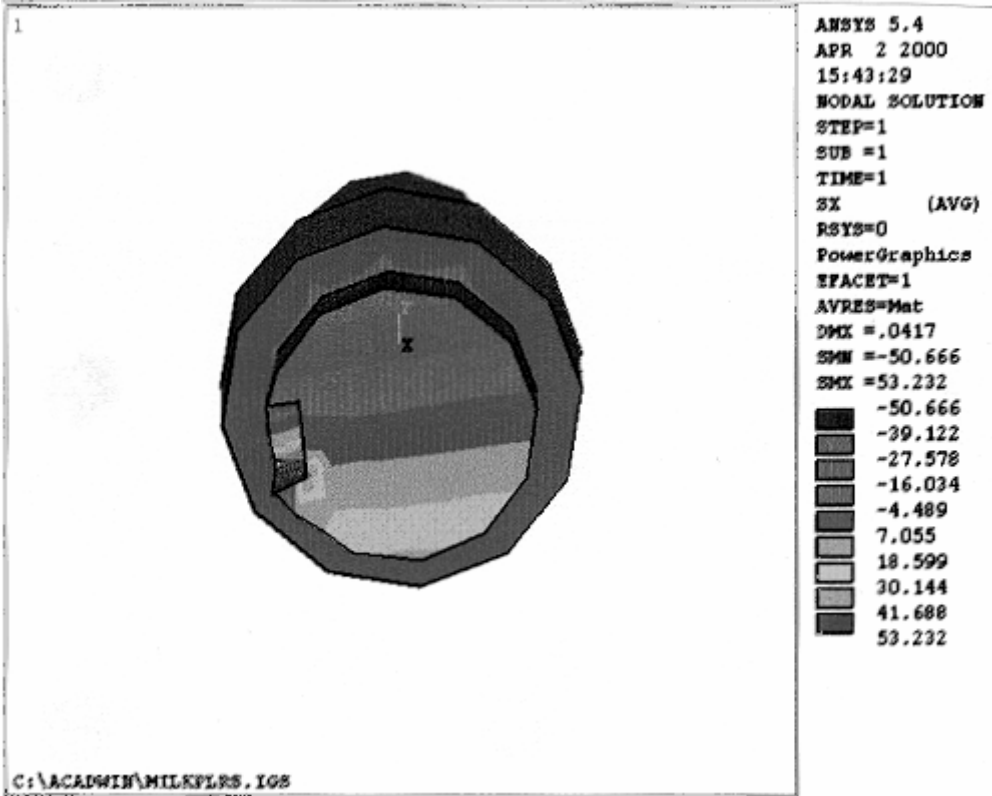


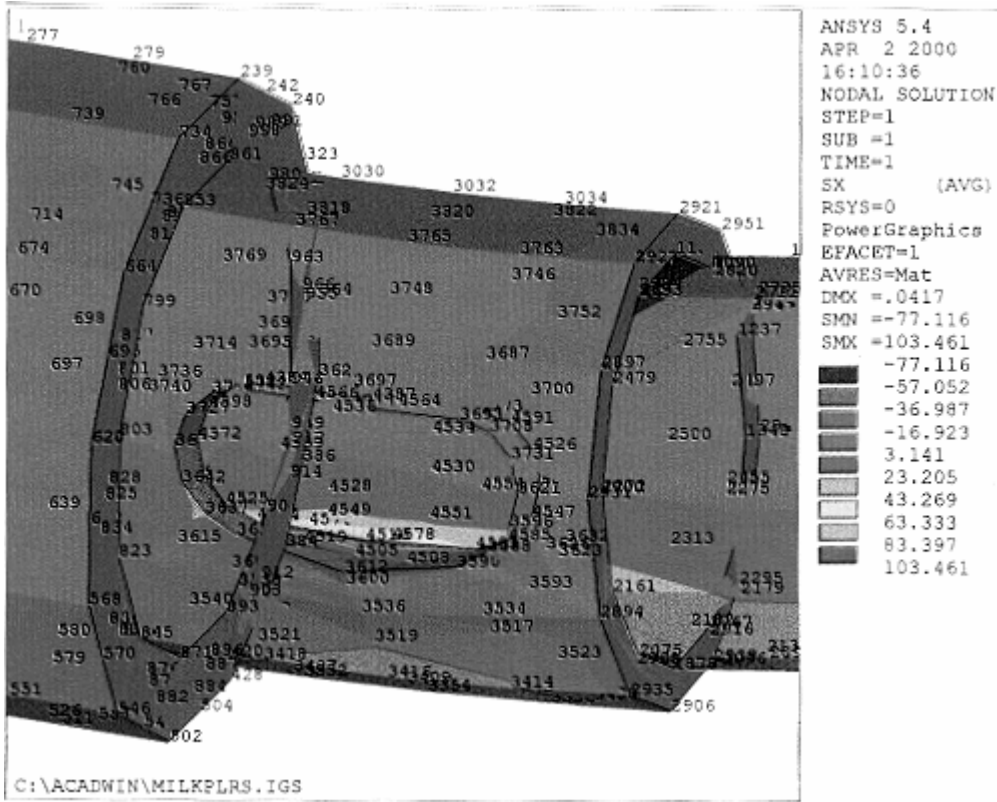
Şekil 3. y-ekseni doğrultusunda yer değiştirmeler (boyuna kesit)

Mil üzerindeki σ_x gerilmelerinin dağılımı Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir. Dışlı çarktan sonraki kademenin alt bölgesinde maksimum çekme gerilmesinin, üst bölgesinde maksimum basma gerilmesinin ortaya çıktığı görülür. Maksimum eğilme momentinin dışlinin olduğu yerde olmasına rağmen maksimum eğilme gerilmesinin fatura bölgesinde ortaya çıktığı görülmüştür. Bunun sebebi de milin çapındaki düşmedir. Şekiller incelendiğinde kama yuvası yan yüzeyine uygulanan basıncın yuva dibinin köşesinde gerilme yoğunlaştırmasına sebep olduğu görülür. Bölgenin alt kısmında çekme gerilmelerinin, üst kısmında ise basma gerilmelerinin ortaya çıktığı görülür.

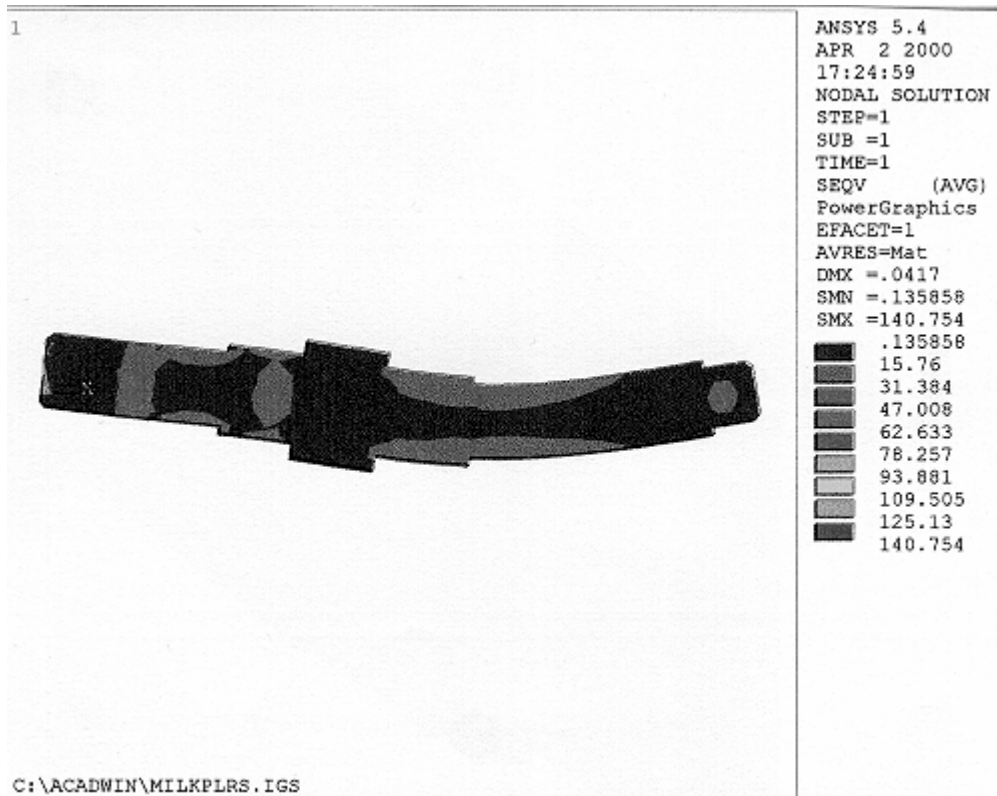
Mil üzerinde eşdeğer gerilmenin (σ_{EQV}) dağılımı Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 7 incelendiği zaman maksimum eşdeğer gerilmelerin dışlı çark kama bölgesinde kama yuvası yan yüzeyi ile yuva tabanının kesiştiği kısımda meydana geldiği gözlenir. Kama bölgesinin altındaki ve üstündeki eşdeğer gerilmelerin de birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir.

Kama bölgesindeki σ_{xz} ve σ_{yz} gerilmelerinin dağılımı Şekil 8 ve 9'da verilmiştir.

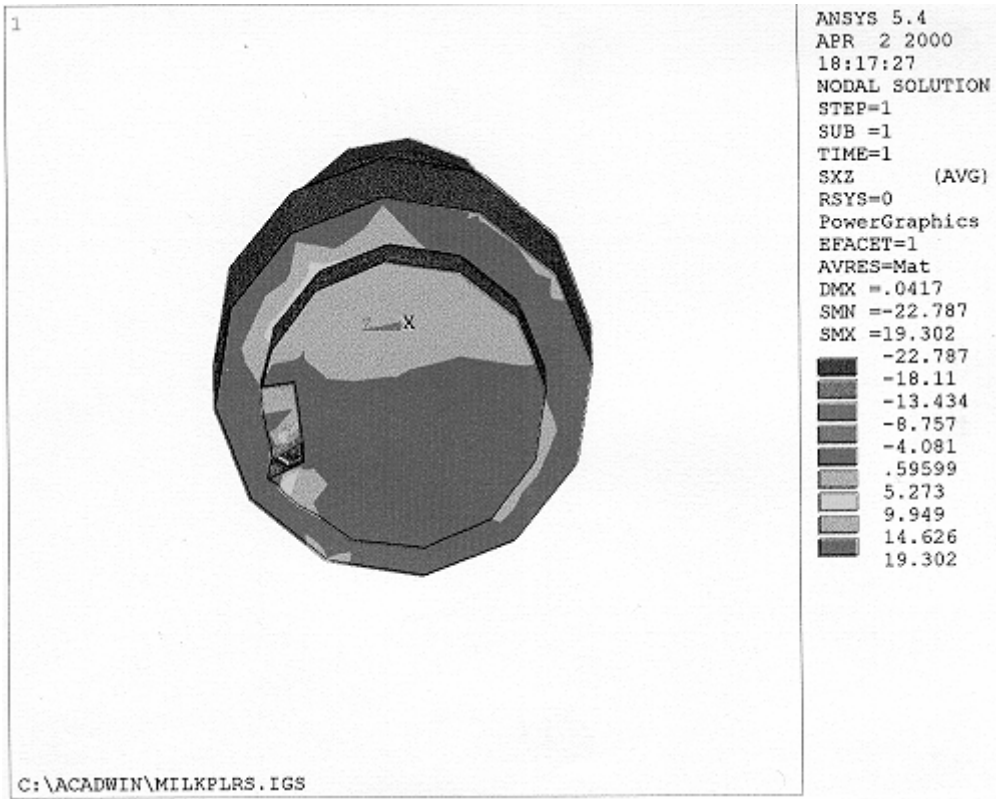
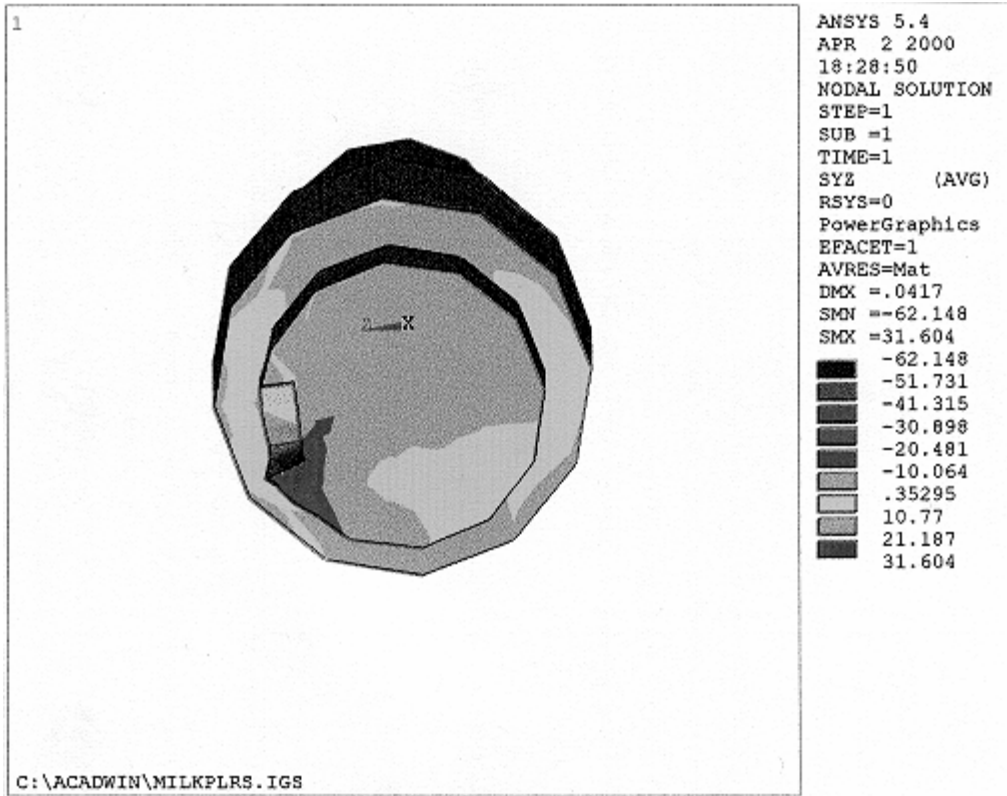
Şekil 4. Mil üzerinde σ_x gerilmelerinin dağılımı (boyuna kesit)Şekil 5. Dişli çark kama bölgesinde σ_x gerilmelerinin dağılımı (enine kesit)



Şekil 6. Dişli çark kama bölgesinde σ_x gerilmelerinin dağılımı (önden görünüş)



Şekil 7. Mil üzerinde eşdeğer gerilmelerin dağılımı (boyuna kesit)

Şekil 8. Dişli çark kama bölgesinde σ_{xz} gerilmelerinin dağılımı (enine kesit)Şekil 9. Dişli çark kama bölgesinde σ_{yz} gerilmelerinin dağılımı (enine kesit)

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, herhangi bir milin katı modellemesi yapıldıktan sonra sonlu elemanlar yöntemi ile gerilme analizi yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Mil geometrisinin basit olmamasından dolayı, milin tamamındaki gerilmelerin analitik yollarla bulunması mümkün değildir. Fakat sonlu elemanlar metodu sayesinde milin tamamındaki gerilmeler kolaylıkla bulunmuştur.
2. Mil üzerinde σ_x gerilmelerinin dağılımı incelendiğinde dişli çarktan sonraki kademelerin alt bölgesinde maksimum çekme gerilmesi, üst bölgesinde maksimum basma gerilmesi ortaya çıkmıştır. Maksimum eğilme momentinin dişlinin bulunduğu yerde olmasına rağmen maksimum eğilme gerilmesi fatura bölgesinde ortaya çıkmıştır. Bunun sebebi de milin çapındaki düşümedir.
3. Dişli çark kama bölgesinde σ_x gerilmelerinin dağılımı incelendiğinde kama yuvası yan yüzeyine uygulanan basıncın yuva dibinin köşesinde gerilme konsantrasyonuna sebep olduğu ve bölgenin alt kısmında çekme gerilmeleri üst kısmında basma gerilmeleri ortaya çıktığı görülmektedir.
4. Mil üzerinde eşdeğer gerilmelerin dağılımı incelendiğinde maksimum eşdeğer gerilmelerin dişli çark kama bölgesinde kama yuvası yan yüzeyi ile yuva tabanının kesiştiği kısımda meydana geldiği görülmüştür. Bu husus en zayıf bölgenin burası olduğunu gösterir. Milin dişli çark kama bölgesinin altındaki ve üstündeki eşdeğer gerilmelerin de birbirine hemen hemen eşit değerlerde olduğu görülmüştür.
5. Gerilme analizi yapılan mile ait boyuna kesitte de görüleceği gibi y-eksenine paralel yönde maksimum çekme, iki yatağın arasında meydana gelmiş ve milin giriş ucu pozitif yer değiştirme yapmıştır.
6. Dişli çark kama bölgesinde milin üstündeki σ_x basma gerilmelerinin, milin altındaki σ_x çekme gerilmelerine değer olarak hemen hemen eşit olduğu görülmüştür.
7. Bu çalışma, üzerinde tambur-kasnak, kasnak ve dişli çark, aynı veya farklı tipte dişli çarklar ve kasnaklar vb. gibi makina elemanları bulunan her türlü tasarlanmış miller için genişletilebilir. Ayrıca kompozit malzemeden üretilmiş bir mil için de yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Çakır M.C. (1995): “Bilgisayar Destekli Şekil Modelleme ve Katı Modelleme Tekniğinde Eğrisel Yüzeyler”, Mühendis ve Makina, sayı:427, s. 23.
- Çavdar K., Karpat F. (1999): “Dişli Çark Mekanizmalarının Bilgisayar Yardımıyla Boyutlandırılması”, Makina İmalat Teknolojileri Sempozyumu, Makina Mühendisleri Odası Yayın No. 228, s. 60-67.
- Dağhan B. (1994): “Bifleks Dişli Zincir Baklalarında Elasto-plastik Gerilme Analizi”, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Fetvacı M.C. (1997): “Sonlu Elemanlar Metodu İle Modelleme”, Mühendis ve Makina, sayı 455, s. 45-48.
- Gossard D.C., Zuffante R.P., Sakurai H. (1988): “Representing Dimensions, Tolerances and Features in MCAE Systems”, IEEE Computer Graphics and Applications, s. 51-59.
- Groover P.M., Zimmers E.W. (1991): Çeviren: Aktan, S., “Mekanik Tasarımda Yeni Bir Araç: Katı Modelleme”, Mühendis ve Makina, sayı. 375, s. 19-20.
- Günay E. (1990): “Mühendisler İçin Sonlu Elemanlar Metodunun Temelleri”, Sakarya Üniversitesi Yayınları, sayı 3, İstanbul.
- Lange J.J. (1986): “Solving Mechanical Problems with Computer Graphics”, Marcel Dekker, New York.

- Okursoy R. (1988): “Tarım Makinalarında Kullanılan Millerin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Dizaynı”, Tarım Makinaları Bilimi ve Tekniği, 2.
- Öztürk F. (1991): “Bilgisayar Destekli Tasarım ve Grafik Standartları”, Mühendis ve Makina, sayı 375, s. 21-31.
- Requicha A.A.G., Voelcher H.B. (1983): “Solid Modelling: Current Status and Research Directions”, IEEE Computer AND Applications, V. 7, p. 25-37.
- Shapiro V., Vassler D. (1991): “Construction and Optimisation of CSG Representations”, Computer Aided Design, V. 1, p. 4-20.
- Topçu M. (1986): “Eksenel Çekmeye Maruz Kompozit Malzemeden Yapılmış Faturalı Millerde Gerilme Dağılımlarının Sonlu Elemanlar Metodu İle İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Wilcox L., Coleman W. (1973): “Application of Finite Elements to the Analysis of Gear Tooth Stresses”, ASME Journal of Engineering for Industry, V. 95.