[6] S. Abuç Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Gazaltı Kaynak Yöntemi İle Kaynağında Koruyucu Gazın Mekanik Özelliklere Etkisi, Y. Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2006, Sakarya, Türkiye.
[7] Sarıtaş Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş., (2004)"Sarıtaş Teknik Yayın" No:1, 2.Baskı, İstanbul.
[8] W. F. Smith, Paslanmaz Çelikler, Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri, Bölüm 5, Cilt 1, 169-214, 2000, Ankara, Türkiye.
[9] <https://borsenboru.com/paslanmaz-celik-nedir> Tarih: 25.02.2022.
[10] <https://www.karacapaslanmaz.com/paslanmaz-celik> Tarih: 25.02.2022.
[11] <https://bircelik.com/tr/kategori/paslanmaz-celik-siniflari> Tarih: 25.02.2022.
[12] E. Çelik, Martenzitik Paslanmaz Çelik Ve Ferritik Paslanmaz Çeliğin Kendileriyle Ve Biribirleriyle Sürtünme Karıştırma Yöntemi İle Kaynak Edilebilirliğinin Araştırılması, Y. Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, 2006, Elazığ, Türkiye.
[13] C. Odabaş, Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı, Askaynak, İstanbul, Türkiye.
[14] Y. S. Tama, Çelik Yapı Uygulamalarında Kullanılan Kaynak Yöntemleri, Üstünlükleri Ve Sakıncalı Yönleri, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2009, Pamukkale, Türkiye.
[15] E. Koca, TIG Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, 2010, İstanbul, Türkiye.
[16] S. Anık, M. Vural, Gazaltı Ark Kaynağı (TIG.MIG.MAG), Gedik Holding Yayınları, 3. Baskı 1997, 111–125, İstanbul, Türkiye.
[17] İ. B. Eryürek, Askaynak Gazaltı Ark Kaynağı, 2007, İstanbul, Türkiye.
[18] F. Kahraman, Y. Babayev, S. Karadeniz, Gazaltı Kaynağında Kullanılan Koruyucu Gazlar Ve Özellikleri, Qafqaz Üniversitesi Dergisi, 2008, Sayı 21, s89-98.
[19] C. Odabaş, Paslanmaz Çelikler, Temel Özellikleri, Kullanım Alanları, Kaynak Yöntemleri, Askaynak-İstanbul, 2004.
[20] Y. C. Lin, P. Y. Chen, Effect of Nitrogen Content and Retained Ferrite on Residual Stress in Austenitic Stainless Steel Weldments, Materials Science and Engineering A, 307, p.165-171, 2001.
[21] T. Ogawa, K. Suzuki, T. Zaizen, The Weldability of Nitrogen-Containing Austenitic Stainless Steel: Part II-Porosity Cracking and Creep Properties, Welding Journal, 63 (7), 213-223, 1984.
[22] A. Durgutlu, Experimental Investigation of The Effect of Hydrogen in Argon as a Shielding Gas on TIG Welding of Austenitic Stainless Steel, Materials and Design, 25, 19-23, 2004.

Piston Pimlerinde Kullanılan Çelik Alaşımlarının Değişen Kuvvet Etkileri Altında Mekanik Özelliklerinin Simülasyonu

Simulation of Mechanical Properties of Steel Alloys Used in Piston Pins Under the Effects of Changing Forces

◆

Onur Cihan BOYUNEGMEZ, Gizem KARABULUT, Nuray BEKÖZ ÜLLEN
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa - Türkiye

Abstract

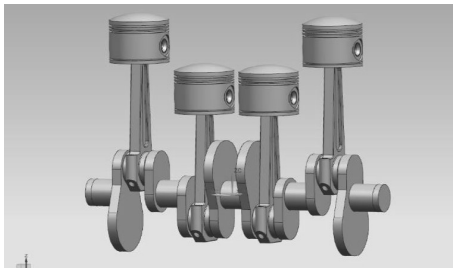
Piston pins are an important part that transfers the pressure created as a result of combustion in the engine from the piston to the connecting rod and affects the engine performance. The piston moves vertically with the effect of pressure and transfers its energy to the connecting rod to which it is connected via the pin inside. The task of transmitting the force is entirely on the piston pin. Piston pins must have high shear strength in order to transfer forces acting in opposite directions in a healthy way. However, they must be hardened so that they can work without deformation under large impacts and pressures. The connection points must be movable, as the connecting rod turns the vertical movement of the piston into an oval movement. The piston pin surface, which forms the movable connection point, should provide the sliding movement without wear under constant pressures in variable directions. Therefore, knowing the forces affecting the piston pin and examining their effects are important for the steel to be selected for the piston pin. In this study, multidirectional forces acting on piston pins were designed using "Siemens NX" software and analyzed with simulations with the help of "ANSYS Workbench" program. The mechanical properties of piston pins obtained from different steel alloys against forces were determined.

Özet

Piston pimleri motor içerisinde yanma sonucunda oluşan basıncı pistondan biyel koluna aktaran ve motor performansını etkileyen önemli bir parçadır. Piston, basıncın etkisiyle dikey yönde hareket eder ve içerisinde bulunan pim sayesinde bağlı olduğu biyel koluna enerjisini aktarır. Kuvvetin aktarılması görevi tamamen piston piminin üzerindedir. Zıt yönlerde etkiyen kuvvetleri sağlıklı bir şekilde aktarabilmesi için piston pimlerinin yüksek kesme dayanımına sahip olmaları gerekir. Bununla birlikte büyük darbeler ve basınçlar altında deformasyona uğramadan çalışabilmeleri için sertleştirilmeleri gerekir. Pistonun dikey yönlü hareketini biyel kolu oval bir harekete çevirdiği için bağlantı noktaları hareketli olmalıdır. Hareketli bağlantı noktasını oluşturan piston pimi yüzeyinde değişken yönlü sürekli basınçlar altında kayma hareketini aşınma olmaksızın sağlaması gerekmektedir. Bu nedenle, piston pimini etkileyen kuvvetlerin bilinmesi ve etkilerinin incelenmesi piston pimi için seçilecek alaşım açısından önemlidir. Bu çalışmada, piston pimleri üzerine etkiyen çok yönlü kuvvetler "Siemens NX" yazılımı kullanılarak tasarlanmış ve "ANSYS Workbench" programı yardımıyla simülasyonlar ile incelenmiştir. Farklı alaşımlardan elde edilen piston pimlerinin kuvvetler karşısında gösterdiği mekanik özellikler belirlenmiştir.

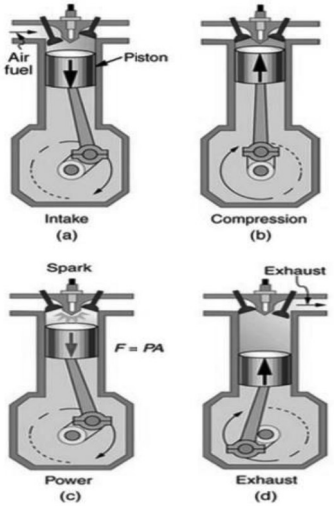
1. Giriş

Günümüzde otomobiller hayatımızı kolaylaştıran en önemli araçlardan bir tanesidir. Teknolojik gelişmelerle birlikte otomobiller de farklı kullanım alanları için yenilikçi çalışmaların ışığında geliştirilmeye devam edilmektedir. Otomobiller farklı amaçlar için kullanılabilmektedir, bunlar seyahat etmek, yük taşımak, otomobil yarışları, toplu ulaşım, ticari taşımacılık vb. olabilir. Tüm kullanım alanları göz önüne alındığında değişmeyen en önemli faktörün araçlarda kullanılan içten yanmalı motorlar olduğu görülmektedir. İçten yanmalı motorlar verimlilik, bulunabilirlik, erişilebilirlik, kullanım yaygınlığıyla birlikte yedek parça kolaylığından ve farklı amaçlar için kullanılacak araçlara özelleştirilebilmesi açısından geçmişten günümüze tüm üreticilerin ve kullanıcıların tercih sebebi olmuştur. Tüm içten yanmalı motorlardan beklenen ortak özellikler minimum yakıt tüketimi ve maksimum verimliliktir. Bu faktörleri sağlayabilmek için malzeme seçimi ve motor tasarımı önemli etkenlerdir. Bunların yanında motor malzemeleri istenilen verimliliği sağlayabilmeli ve uzun yıllar sorun oluşturmadan çalışmalıdır. İçten yanmalı motorların genel tasarımı incelendiğinde piston, piston pimi, biyel kolu ve krank mili ana parçalar olarak görülebilir. Şekil 1'de içten yanmalı motora ait piston, piston pimi, biyel kolu ve krank milinin Siemens NX 12.0 programında hazırlanmış katı modelin ekran görüntüsü verilmiştir.



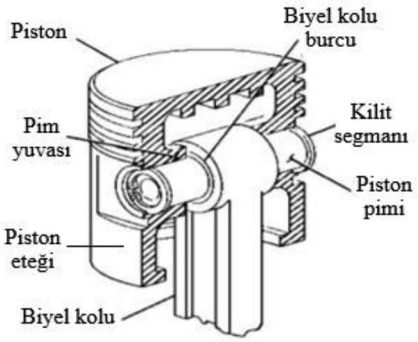
Şekil 1. İçten yanmalı motora ait katı model ekran görüntüsü.

İçten yanmalı motorların çalışma prensibi hava ve yakıt karışımının sıkıştırma yoluyla ya da buji yardımıyla ateşlenerek yanması sonucu basınç açığa çıkmasına dayanır. Şekil 2'de içten yanmalı motorun çalışma prensibine ait (a) hava ve yakıtın yanma odasına püskürtülmesi, (b) hava ve yakıt karışımının piston aracılığıyla sıkıştırılması, (c) bujinin ateşlenmesiyle yanma odasında patlamanın gerçekleşmesi ve (d) yanma sonucu açığa çıkan egzoz gazlarının dışarıya atılması gösterilmektedir.



Şekil 2. (a) hava ve yakıtın yanma odasına püskürtülmesi, (b) hava ve yakıt karışımının piston aracılığıyla sıkıştırılması, (c) bujinin ateşlenmesiyle yanma odasında patlamanın gerçekleşmesi ve (d) yanma sonucu açığa çıkan egzoz gazlarının dışarıya atılması [1].

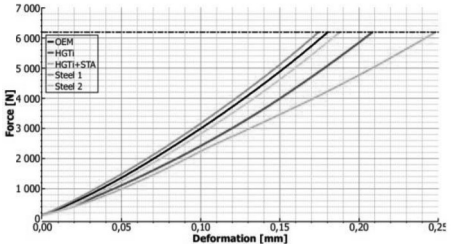
Yanma odasında gerçekleşen patlamayı pistonun baş kısmı karşılamaktadır. Oluşan basınçla birlikte piston doğrusal olarak hareket etmeye başlar, bu hareket pistona bağlı biyel kolu aracılığı ile krank miline aktarılır. Krank mili pistonda oluşan doğrusal hareketi tasarımı sayesinde dairesel harekete dönüştürür. Bunun sağlanmasındaki en önemli faktör piston ve krank mili arasında kuvvet aktarım görevi gören biyel kolunun krank miline tam merkezden bağlı olmamasıdır. Pistonda oluşan hareketin biyel koluna aktarılması ise piston pimi aracılığıyla gerçekleştirilir. Şekil 3'te piston, biyel kolu ve piston piminin montaj ilişkisi verilmiştir. Pistonun etek kısmının üstünde ve baş kısmının altında bulunan piston pim yuvasına çok düşük toleranslarla yerleştirilen piston pimi orta noktasından da biyel kolunun küçük baş kısmına bağlıdır. Ani oluşan kuvvetler pistonu dikey doğrultuda -z ekseni yönünde hareketlenmeye zorlar, oluşan bu hareketlenme piston piminden biyel koluna aktarılır ve bu noktada biyel kolunun karşı koyma durumu nedeniyle piston piminin orta noktasına +z ekseni doğrultusunda kuvvet uygular. İki yönde ani olarak etkiyen kuvvetler piston piminde çatlaklara, burkulmalara ve deformasyona neden olabilmektedir [2].



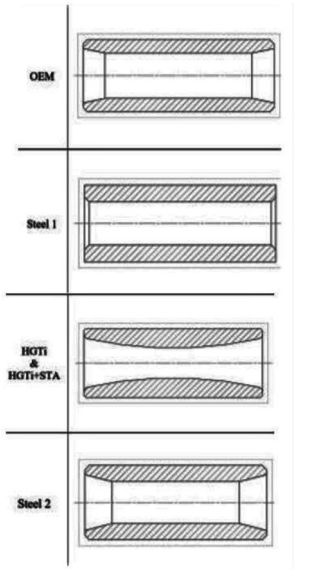
Şekil 3. Piston, piston pimi ve biyel kolunun montaj ilişkisi [1].

Tüm kuvvetin tek bir parça üzerinden aktarılıyor olması bu malzemelerin üstün özelliklere sahip olmasını gerektirir. Piston pimleri çalışma koşulları gereği kuvvet aktarımı yaparken aynı zamanda sürtünmeye de maruz kalmaktadırlar. Bu sürtünme biyel kolunun açılı kuvvet aktarımı görevi görebilmesi için pistonla hareketli bağlantı sağlaması gerektiği için oluşur. Hareketli bağlantı çok düşük toleranslarda işlenen piston pim yuvası, piston ve biyel kolu küçük baş kısmı arasında oluşur. Buradaki sürtünme hareketi sürekli değişen yükler nedeniyle iki malzeme arasında ani basınçlar altında gerçekleşebilir. Bu da piston piminin aşınmasını hızlandırır. Ayrıca piston pimi ve piston veya biyel kolu arasında oluşan herhangi bir boşluk, aktarılan kuvvetlerin piston pimine vurmasına neden olabilir. Bu vurma hareketi motorda titreşimli çalışmaya neden olabilir ve büyük motor sorunlarına sebebiyet verebilir. Piston pimlerinde sürtünmeye karşı dayanım elde etmek için genellikle parçalara ısıl işlem uygulanır ve yüzey kaplaması yapılır. Yapılan bu ısıl işlem ve kaplama piston piminin sert bir yüzeye sahip olmasını sağlar ve sürtünme dayanımını en üst noktaya çıkartır. Sürtünmeden dolayı istenen yüzey sertliği malzemenin iç kısımlarında yüksek oranlarda istenmez. Bunun nedeni piston pimlerine zıt yönlerde ani kuvvetlerin uygulanması sonucu çatlak ve kırılmaların yaşanma riskidir. Bu nedenlerden dolayı piston pimleri özel üretim kademelerinden geçirilerek hazırlanır [2].

Piston pimlerinde istenen özelliklerin başında çalışma koşullarından dolayı yüzey sertliği ve yorulma dayanımı gelmektedir. Piston pimi malzemesi olarak sektörde genellikle sementasyon çelikleri kullanılmaktadır. Farklı üretici firmalar çeşitli çelik alaşımları kullanabilmektedir. Çelik alaşımlarının yanında gelişen teknolojiyle birlikte titanyum alaşımları da piston pimlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Ani ve yüksek kuvvetlere karşı dayanımın sağlanabilmesi için çelik alaşımı tercih edildiğinde genellikle malzemelere sertleştirme amacıyla dövme ya da ısıl işlem uygulanmaktadır [3]. Piston pimlerinin deformasyona uğramasının bir diğer nedeni de yanlış pim tasarımıdır. Ji ve diğ. [4] yaptığı bir çalışmada; piston pimi deformasyonlarının birçoğunun tasarım hatalarından kaynaklandığı belirtilmiştir. Piston pimleri her ne kadar dış yüzeyleri pürüzsüz ve basit tasarlanmış görülse de bütünlüğün yük altında korunabilmesi ve mukavemetin arttırılabilmesi için hafiflik amacıyla oyulan iç kısımları farklı şekillerde tasarlanmaktadır. Bohn [1], tarafından yapılan çalışmada; dört farklı tasarıma sahip piston pimleri MXRR firması tarafından piston pimi mekanik testi için geliştirilen cihazda test edilmiş ve tasarımın piston pimi dayanımına etkisi görülmüştür. Şekil 4'te ve Şekil 5'te sırasıyla; test sonuçları ve sonuçlara ait dört farklı piston pimi gösterilmektedir. Yapılan test sonuçlarından da anlaşıldığı gibi aynı malzemeden üretilmiş farklı tasarımdaki piston pimlerinin deformasyon oranları farklı çıkmıştır.



Şekil 4. Yapılan test sonucu dört farklı piston piminin deformasyonları [1].



Şekil 5. Dört farklı piston pimi tasarımı [1].

Çalışmamızda mekanik analizi yapılacak olan piston pimi ve bununla birlikte montaj parçaları olan biyel kolu ve piston, çizimleri ve 3D modellemeleri Siemens NX 12.0 programı kullanılarak yapılmıştır. Siemens NX programı 2007 yılından bu yana PLM Software tarafından geliştirilen üst düzey bir CAD yazılımıdır. Yapılan literatür taramasında motor parçalarının farklı malzemeler tanımlanarak mekanik analizlerinin yapıldığı birçok çalışma incelenmiştir [5-8]. Yapılan çalışmalarda motor parçaları *"Computer-Aided Design (CAD)"* yazılımları kullanılarak tasarlanmaktadır. CAD yazılımları yüksek hassasiyette parça modellemesi ve katı oluşturma konusunda başarılı programlardır. Test edilecek parçaların katı modellerinin oluşturulmasından sonra ANSYS Workbench programı kullanılarak stres analizleri yapılmıştır. ANSYS programı birçok araştırmacı tarafından motor parçalarının analizinin yapılması için kullanılmıştır [1,6-8]. ANSYS programında analiz yapılma adımları: program tanımlanan parçaya *"nodes"* adı verilen düğümler atar ve düğümler parçada mesh adı verilen bir ağ oluşturur. Oluşturulan bu ağ yapısı malzemeye uygulanan bir kuvvetin program tarafından çok küçük parçalara bölünerek incelenebilmesine olanak sağlar ve program test parçası için tanımlanan malzeme çeşidine göre ağ yapısı yardımıyla kritik değerleri hesaplar [8].

Bu çalışmada 20CrMnTi, AISI 4130, Ti-6Al-4V ve AISI 4340 alaşımlarından imal edilen piston pimlerinin değişken kuvvetler karşısında gösterdiği mekanik özellikler; Siemens NX 12.0 programı ile tek bir tasarım üzerinden tanımlanmış ve ANSYS ile analiz edilmiştir.

2. Deneysel Çalışmalar

Piston pimi analizleri için dört farklı malzeme seçilmiştir. Bu malzemeler 20CrMnTi, AISI 4130, Ti-6Al-4V ve AISI 4340 alaşımlarıdır. 20CrMnTi, AISI 4130 ve AISI 4340 çeliklerinin kimyasal kompozisyonları Çizelge 1'de, Ti-6Al-4V alaşımının kimyasal kompozisyonu Çizelge 2'de ve çalışmamızda incelenen tüm malzemelerin mekanik özellikleri ise Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 1. 20CrMnTi, AISI 4130 ve AISI 4340 alaşımlarının kimyasal kompozisyonları (ağ. % maks.) [9,10].

	C	Cr	Mn	Mo	P	Si	S	Ni
20CrMnTi	0,2	0,92	0,58		0,012		0,014	
AISI 4130	0,3	0,8-1,1	0,5	0,2	<0,035	0,15-0,3	<0,04	
AISI 4340	0,4	0,8	0,7	0,25		0,3		1,85

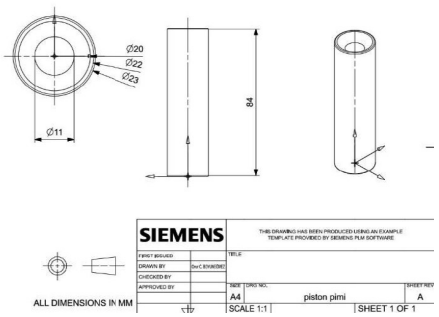
Çizelge 2. Ti-6Al-4V alaşımının kimyasal kompozisyonu (ağ. % maks.) [11].

C	Fe	N_2	O_2	Al	V	Ti
0,08	0,25	0,05	0,2	5,5-6,76	3,5-4,5	Kalan

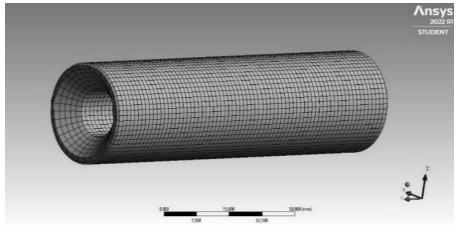
Çizelge 3. 20CrMnTi, Ti-6Al-4V, AISI 4130 ve AISI 4340 alaşımlarının mekanik özellikleri [10].

	AISI 4130	AISI 4340	Ti-6Al-4V	20CrMnTi
Yoğunluk (kg.m^{-3})	7850	7850	4430	7850
Tensile Strength-Yield (MPa)	435	470	880	540
Tensile Strength-Ultimate (MPa)	670	745	950	835
Poisson Ratio	0,29	0,29	0,33	0,29
Shear Modulus (GPa)	80	74	44	79
Bulk Modulus (GPa)	160	152	114	163
Modulus of Elasticity (GPa)	205	192	114	225.5

Analiz için öncelikle piston pimi ve montaj parçaları tasarımı ve katı model oluşturma işlemi Siemens NX 12.0 programında yapılmıştır. Şekil 6'da piston pimi teknik çizimi görülmektedir. Analiz için ANSYS 2022 R1 sürümü kullanılmıştır. Öncelikle ANSYS Workbench programında Static Structural modülü açılmıştır. Sırasıyla malzeme tanımlama, model tanımlama, test modelinde mesh yapısının oluşturulması, biyel kolunun piston pimiyle temas yüzeyinin sabitlenmesi, piston baş kısmına basıncın işlenmesi ve analiz sonucunda elde etmek istediğimiz verilerin seçilmesi işlemleri yapılmıştır. Şekil 7'de mesh yapısı oluşturulan piston pimi katı modeli görülmektedir. Piston baş kısmına uygulanan basınç değeri 5 MPa olarak belirlenmiştir. Tüm basamakların tamamlanmasının ardından programa çözüm komutu verilmiş ve sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 6. Piston pimi teknik çizimi.



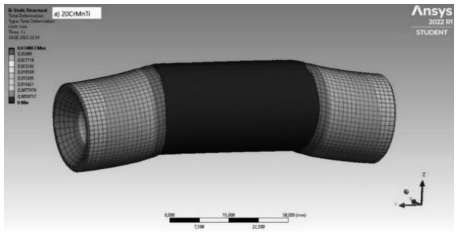
Şekil 7. Mesh yapısı oluşturulan piston pimi.

3. Bulgular ve Tartışma

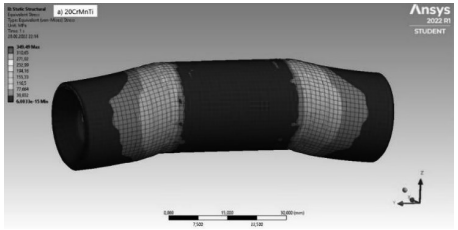
Yapılan analizler sonucunda dört farklı malzemeye ait piston piminin Equivalent (Von Mises) stress (Von Mises gerilmesi) ve Total Deformation (toplam deformasyon) verileri elde edilmiştir. Equivalent stress analizi malzemelerin analiz için uygulanan yükler altında gösterecekleri maksimum gerilme değerini vermektedir. Şekil 8, Şekil 10, Şekil 12 ve Şekil 14'te ANSYS programından elde edilen dört malzemeye ait toplam deformasyon değerleri görülmektedir. Deformasyon skalasındaki kırmızı bölüm maksimum deformasyon ve mavi bölüm de minimum deformasyon boyutunu göstermektedir. Deformasyonun yük yönünde ve piston pimine temas eden piston pim yuvası ekseninde oluştuğu görülmektedir. Çalışma koşullarında biyel kolunun bağlantı noktası pistondan aktarılan kuvvete ters yönde hareket edeceğinden piston pimi ve biyel kolu bağlantı alanı sabit tutulmuştur. ANSYS programından elde edilen Equivalent (von mises) Stress değerleri malzememizin akma dayanımı ile karşılaştırılarak dayanabileceği yükler konusunda bize bilgi vermiştir. Şekil 9, Şekil 11, Şekil 13 ve Şekil 15'te ANSYS programından elde edilen dört malzemeye ait Equivalent (von mises) Stress değerleri görülmektedir.

3.1. 20CrMnTi alaşımı

Yapılan analizler sonucunda 20CrMnTi alaşımının toplam deformasyon değeri Şekil 8'de görüldüğü gibi 0,0348 mm olarak bulunmuştur. Şekil 9'da görülen Equivalent (von mises) Stress değeri 20CrMnTi alaşımımız için 349,49 MPa olarak bulunmuştur. Alaşımımızın akma dayanımı (540 MPa) bulunan değerden yüksektir. Güvenlik Faktörü (Safety Factor) hesaplandığında 1,54 bulunmuştur. Güvenlik faktörü değerinin 1'den büyük olması nedeniyle parçamızın 20CrMnTi alaşımıyla imal edilmesi uygundur.



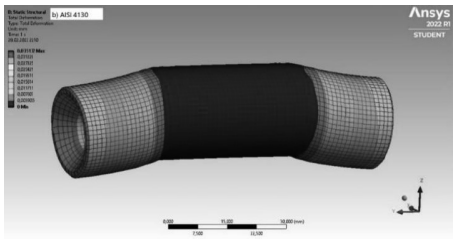
Şekil 8. 20CrMnTi alaşımına ait Total Deformation analizi.



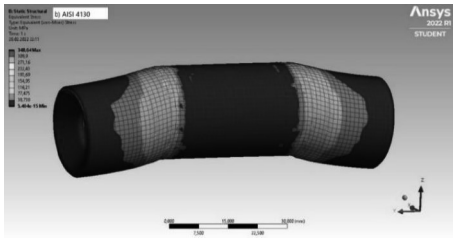
Şekil 9. 20CrMnTi alaşımına ait Equivalent (von mises) Stress analizi.

3.2. AISI 4130 alaşımı

AISI 4130 alaşımı tanımlanarak yapılan analizlerde toplam deformasyon değeri Şekil 10'da görüldüğü gibi 0,0351 mm olarak bulunmuştur. Alaşımımızın sağlıklı bir şekilde çalışabilmesi için Equivalent (von mises) Stress analizinden çıkacak maksimum değerimizin 435 MPa'dan küçük olması gerekmektedir. Analiz sonucumuzda Şekil 11'de görüldüğü gibi maksimum değerimiz 348,64 MPa çıkmıştır. Güvenlik Faktörü 1,25 olarak bulunmuştur. Bu durumda AISI 4130 çeliği de piston pimi imalatı için uygundur.



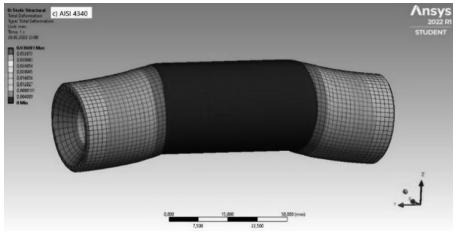
Şekil 10. AISI 4130 alaşımına ait Total Deformation analizi.



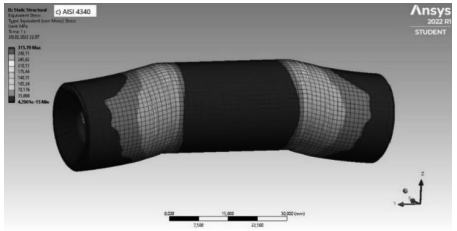
Şekil 11. AISI 4130 alaşımına ait Equivalent (von mises) Stress analizi.

3.3. AISI 4340 alaşımı

AISI 4340 çeliğinin analizi diğer çelik alaşımları ile benzer sonuçlar vermiştir ve toplam deformasyon değeri Şekil 12'de görüldüğü gibi 0,0360 mm olarak bulunmuştur. Yapılan bir diğer analiz olan Equivalent (von mises) Stress sonucu Şekil 13'te görüldüğü gibi maksimum 315,79 MPa bulunmuştur. Güvenlik Faktörü 1,48 olarak hesaplanmış ve 4340 çeliğinin piston pimi için uygun bir malzeme olduğu kanısına varılmıştır.



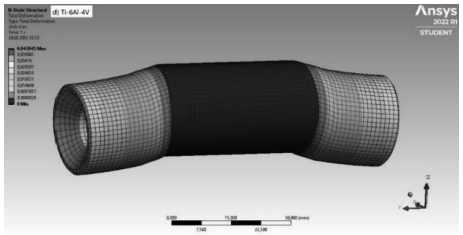
Şekil 12. AISI 4340 alaşımına ait Total Deformation analizi.



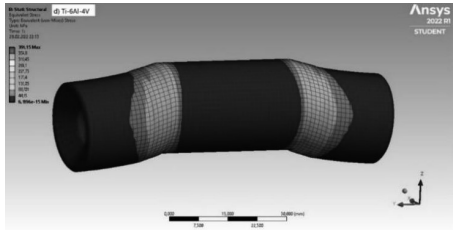
Şekil 13. AISI 4340 alaşımına ait Equivalent (von mises) Stress analizi.

3.4. Ti-6Al-4V alaşımı

Ti-6Al-4V alaşımı çelik alaşımlarının yanında piston pimleri için kullanım imkânı sunan mekanik özelliklere sahiptir. Kullanımda çelik alaşımlarına karşı üstünlüğü düşük yoğunluğu sayesinde hafif olmasıdır. Ti-6Al-4V alaşımına ait toplam deformasyon değeri Şekil 14'te verilen analiz sonucuna bakılarak 0,0439 mm olduğu görülmektedir. Ti-6Al-4V alaşımının akma dayanımı 880 MPa'dır ve diğer çelik alaşımlarından çok daha yüksektir. Equivalent (von mises) Stress analizi sonucunda Şekil 15'de 399,15 MPa değeri bulunmuştur. Alaşımın akma dayanımıyla kıyaslandığında Ti-6Al-4V alaşımı bu yükü kolaylıkla deformasyona uğramadan karşılayabilecek kabiliyettedir. Güvenlik Faktörü de 2,20 bulunmuş ve bu değer çelik alaşımlarına kıyasla çok daha güvenli bir malzeme üretilebileceği anlamına gelmektedir.



Şekil 14. Ti-6Al-4V alaşımına ait Total Deformation analizi.



Şekil 15. Ti-6Al-4V alaşımına ait Equivalent (von mises) Stress analizi.

Yapılan analizler sonucunda ele aldığımız tüm alaşımların motor içerisinde çalışma koşullarında maruz kalacakları kuvvetleri yeterli oranda taşıyabilecekleri görülmüştür. Çizelge 4'te 20CrMnTi, AISI 4130, AISI 4340 ve Ti-6Al-4V alaşımlarına ait analizler sonucu elde edilen toplam deformasyon ve Equivalent (von mises) Stress değerleri verilmiştir. Elde edilen değerler incelendiğinde çelik alaşımlarının titanyum alaşımına kıyasla daha düşük deformasyon oranlarına sahip olduğu görülmüştür. Von Mises gerilim değerleri incelendiğinde ise tüm malzemelerin gerekli dayanımı sağlayabileceği gözlemlenmiştir fakat titanyum alaşımı çelik alaşımlarına kıyasla daha yüksek akma dayanımı göstererek uzun süreli kullanımda yorulma dayanımında da yüksek performans sergileyeceği düşünülmektedir. Alaşımların Güvenlik Faktörleri kıyaslandığında tüm alaşımların gerekli değeri sağladığını fakat Ti-6Al-4V alaşımının çelik alaşımlarına kıyasla daha güvenli olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4. 20CrMnTi, AISI 4130, AISI 4340 ve Ti-6Al-4V alaşımlarına ait Toplam Deformasyon ve Equivalent (von mises) Stress analiz sonuçları.

	Toplam Deformasyon (mm)	Equivalent (von mises) Stress (MPa)
20CrMnTi	0,0348	349,49
AISI 4130	0,0351	348,64
AISI 4340	0,0360	315,79
Ti-6Al-4V	0,0439	339,15

Bohn [1] tarafından yapılan çalışmada AISI 4340 çeliği ele alınarak CRF250R model motosikletin Şekil 5'te verilen OEM tipi piston pimi tasarlanarak ANSYS programı ile analiz yapılmış ve Von Mises gerilimi 126,8 MPa olarak bulunmuştur. Güvenlik Faktörünün 3,71 bulunmasıyla 4340 alaşımlarının motosiklet motorlarında çok daha güvenli parçalar imal edilebilmesini desteklemektedir. Gerilim değerinin düşük bulunmasının nedeninin analizde ele alınan piston piminin motosiklete ait olması ve otomobillere kıyasla daha düşük kuvvetlerin etkisi altında çalışıyor olmasıdır.

Gupta ve diğ. [12] tarafından yapılan çalışmada ANSYS programı kullanılarak EN36A alaşımının farklı piston pimi tasarımları yapılarak analizleri yapılmıştır. Piston pimi tasarımları hallow, stepped, step taper ve tapered şeklindedir. Analiz sonuçlarında elde edilen toplam deformasyon değerleri sırasıyla 0,0263; 0,0261; 0,0259 ve 0,0308'dir. Toplam deformasyon değerleri çalışmamızla benzerlik göstermektedir. Analiz sonucunda bulunan Von Mises gerilimleri ise sırasıyla 195,04; 229,66; 166,01 ve 217,66'dır. Gerilim sonuçları piston pimi tasarımının aynı malzemede ne derece etkili olduğunu göstermektedir.

Komble ve diğ. [13] yaptığı çalışmada ANSYS programı kullanılarak 7 bar basınç altında piston pimi analiz edilmiştir. Analiz sonucu toplam deformasyon değeri 0,028 bulunmuştur. Toplam deformasyon değeri analizimizin sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir. Von Mises gerilmesi analizi sonucunda maksimum gerilme değeri 404,44 MPa olarak bulunmuştur. Kullanılan malzemenin akma dayanımı 1000 MPa'dır. Güvenlik Faktörü hesaplandığında 2,47 çıkmaktadır ve bu değer analizde kullandığımız titanyum alaşımımızla yakındır.

Ramamoorthy ve diğ. [11] yaptığı çalışmada Ti-6Al-4V, Ti17 ve Al 4032 alaşımları tek bir tasarım üzerinden ANSYS programında 2000N kuvvet altında analiz edilmiştir. Ti-6Al-4V alaşımının Von Mises gerilmesi maksimum 512,15 MPa olarak bulunmuştur. Analizimizde aynı alaşımın Von Mises gerilmesini maksimum 399,15 MPa olarak bulmamızın nedeni daha düşük basınç değerinde analiz yapmamızdır. Elde edilen veriler karşılaştırıldığında benzer sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

4. Sonuç

Yapılan araştırmalar ve analizler sonucunda elde edilen genel değerlendirmeler aşağıda verilmiştir:

- Piston pimleri motor içerisinde yanma sonucu ortaya çıkan kuvvetleri aktarma noktasında kritik öneme sahip parçalardır.
- Piston pimleri ani yüklere karşı uzun süre deformasyona uğramadan çalışabilmeleri için yüksek kesme dayanımına sahip olmalıdır.
- Analiz sonuçlarına göre; 20CrMnTi, AISI 4130, AISI 4340 ve Ti-6Al-4V alaşımları düşük deformasyon miktarı ve 1'den büyük güvenlik faktörüne sahip oldukları için piston pimi malzemesi olarak kullanılmaya uygundur.
- Ti-6Al-4V alaşımı çelik alaşımlarıyla kıyaslandığında; gerekli mukavemet değerlerini vermiştir. Düşük yoğunluğu sayesinde piston pimi malzemesi için hafiflik konusunda çelik alaşımlarına üstünlük sağlayabilecek niteliktedir.

Referanslar

[1] J. Bohn, Piston Pin Testing, Y. Lisans Tezi, Norwegian University of Science and Technology, 2016, Trondheim, Norveç.

[2] S. Akdı ve H. Demirpolat, Farklı Malzemelerden Üretilen Otomotiv Parçalarının Teknik ve Ekonomik Karşılaştırılması, The International Conference on Materials Science, Mechanical and Automotive Engineering and Technology, 21-23 Haziran 2019, Kapadokya, Türkiye.

[3] F. Fındık, S.C. Okumuş ve M. Çolak, Malzeme Seçimi ve Uygulamaları, Seçkin Yayıncılık, 2016, Türkiye.

[4] B. Ji, J. Li ve X. Chen, Research on piston pin's strength calculation based on FEA, In: Advanced Materials Research, Trans Tech Publications Ltd., 2012, 296-300.

[5] F. Sedláček, V. Lašová, R. Kottner ve P. Bernardin, Comparision of Numerical Simulation and Experiment of A Flexible Composite Connecting Rod, 10th International DAAAM Baltic Conference, 12-13 Mayıs 2015, Tallinn, Estonya.

[6] G. Shiv ve S.L. Ahirwar, Connecting Rod Analysis Using on Different Materials, International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science, 3 (2021) 330-336.

[7] Y. Basavaraj, R. Joshi, G.R. Setty, M. Samiullah, M. Museb, M. Tayab ve H. Banu, FEA of NX-11 Unigraphics Modeled Connecting Rod Using Different Materials, Materials Today: Proceedings, 42 (2021) 2807-2813.

[8] G. Gopala, L.S. Kumarb, K.V.B. Reddyc, M.U.M. Raod ve G. Srinivasulu, Analysis of Piston, Connecting Rod and Crank Shaft Assembly, Materials Today: Proceedings, 4 (2017) 7810–7819.

[9] L. Hongpua ve W. Hongying, Research of Engine Piston Pin Fatigue Analysis Based on UG, Advanced Materials Research, 383 (2012) 7312-7315.

[10] <http://www.matweb.com/index.aspx> Tarih: 01.03.2022.

[11] G. Ramamoorthy, M. Suriyakumar, K. Vidhyasagar, N. Vivek ve K. Satheeshkumar, Performance Investigation of Gudgeon Pin to Enhance the Competence, International Journal for Scientific Research & Development, 5 (2017) 71-78.

[12] S. Gupta, R. Saini, A. Kumar ve P. Shrivastava, Performance Analysis of Gudgeon Pin of Various Cross Sections by FEM, International Journal of Recent Technology and Engineering, 5 (2020) 4569-4573.

[13] V.B. Kamble, K. S. Mangrulkar, M. D. Shah ve H.B. Kulkarni, Design and Analysis of Gudgeon Pin to Minimize Stress Concentration, International Journal of Recent Trends in Engineering & Research, 4 (2018) 76-83.