



Farklı Malzemelerle Biyel Kolunun Deformasyon ve Gerilme Analizi

Selahattin Budak^{1*}

^{1*} Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9718-8350),
selahattinbudakk@gmail.com

(5th International Symposium on Innovative Approaches in Smart Technologies– 28-29 May 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1125053)

ATIF/REFERENCE: Budak, S. (2022). Farklı Malzemelerle Biyel Kolunun Deformasyon ve Gerilme Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (37), 12-16.

Öz

Günümüzün araç teknolojisi, içten yanmalı motorlara dayanmaktadır. Ancak son yıllarda hibrid modeller piyasaya sunulmuştur. Bu modellerin amacı yakıt tüketimini azaltmaktır. Hibrid araçlar, elektrikli ve benzinli bir motorun aynı anda çalışması prensibine dayanmaktadır. Bu çalışma prensibine göre içten yanmalı motorların kullanımının uzun bir süre daha devam edeceği öngörülmektedir. Bu nedenlerle fosil yakıtla çalışan motorlarla ilgili çalışmalar halen devam etmektedir ve gelecekte de devam edeceği düşünülmektedir. Motor ve motoru meydana getiren makine elemanlarıyla ilgili yapılan çalışmalarda uygun tasarım ve malzeme seçimi ön plana çıkmaktadır. Dolayısıyla motoru meydana getiren parçalarının üretiminde dikkat edilmesi gereken tasarım ve kullanılan malzemenin uygunluğu ve ağırlığıdır. Motor elemanlarının tasarımını yaparken dikkat edilmesi gereken en önemli kısım motorun araca olan etkisini yani performansını en üst düzeye çıkarabilmek ve bu seviyeye ulaşabilmek için gerekli olan çalışmaların yapılabilmesidir. Bunun için de motoru oluşturan elemanların ve bu çalışmanın konusu olan biyel kolunun tasarımı büyük bir önem teşkil etmektedir. Motorun bir kısmını teşkil eden ve motor içerisinde oluşan gerilmelere yeterli dayanım göstermesi beklenen ve tek başına bir biyel kolundaki tasarım faktörü etkili görünmese de, birden fazla elemanın bir araya gelmesiyle tasarım ve dolayısıyla ağırlık açısından motorun performansı da bu durumdan etkilenmektedir. Bu çalışmada biyel kolu tasarımı yapılarak performans açısından gerekli analizler yapılmıştır. Dört farklı malzeme kullanılarak; alüminyum alaşımı, titanyum alaşımı, çelik alaşımı ve dökme demir, bir ANSYS Workbench yazılımı kullanılarak tasarımı yapılan biyel kollarının analizi yapılmıştır. Yapılan analizlerde, stres ve deformasyon ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak alüminyum alaşımı malzemenin hem ağırlık hem de malzemenin temini açısından en uygun tasarım olduğu sonucu elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyel kolu, Deformasyon, Gerilim.

Deformation and Stress Analysis of Connecting Rod with Different Materials

Abstract

Today's vehicle technology is based on internal combustion engines. However, hybrid models have been introduced to the market in recent years. The purpose of these models is to reduce fuel consumption. Hybrid vehicles are based on the principle of simultaneous operation of an electric and gasoline engine. According to this working principle, it is predicted that the use of internal combustion engines will continue for a long time. For these reasons, studies on fossil fuel-powered engines are still ongoing and are expected to continue in the future. Appropriate design and material selection come to the fore in studies on the engine and the machine elements that make up the engine. Therefore, it is the design and the suitability of the material used and the weight that should be considered in the production of the parts that make up the engine. The most important part to be considered while designing the engine elements is to maximize the effect of the engine on the vehicle, namely the performance, and to carry out the necessary studies to reach this level. For this, the design of the elements that make up the engine and the connecting rod, which is the subject of this study, is of great importance.

* Sorumlu Yazar: selahattinbudakk@gmail.com

Although the design factor in a connecting rod alone, which is a part of the engine and is expected to withstand the stresses formed in the engine, does not seem to be effective, the performance of the engine in terms of design and therefore weight is also affected by this situation. In this study, necessary analyzes were made in terms of performance by designing the connecting rod. Using four different materials; aluminum alloy, titanium alloy, steel alloy and cast iron, connecting rods designed using an ANSYS Workbench software were analyzed. In the analysis, studies on stress and deformation were carried out. As a result, it was concluded that the aluminum alloy material is the most suitable design in terms of both weight and material supply.

Keywords: Connecting rod, Deformation, Stress.

1. Giriş

Motor biyel kolu pistondaki dönme kuvvetini kranka ileten motorun dinamik bir parçasıdır. Biyel kolları motorlarda kullanılmakta ve krank ile birlikte çalışmaktadırlar. Biyel kolu motorun içinde pistondan aldığı itme hareketini krank miline dönme hareketi olarak iletmektedir. Milyonlarca tekrar eden yüke maruz kalan biyelin, motor içerisinde hareket ederken meydana gelen gerilmelerin sonucunda yeterli performansı göstermesi gerekir. Bununla birlikte pistonun yaptığı her devirde yön değiştirme ve durma hareketlerinde atalet kuvvetlerini azaltmak için de yeterince hafif olmalıdır. Biyel kolları, en düşük ağırlıkta mümkün olan en yüksek sağlamlıkta olacak şekilde geliştirilmelidir (Özdemir, 2013; Charka ve Jaju, 2009).

Çelik ve alüminyum alaşımlı malzemeler, biyel kolu için literatür araştırmasına bağlı olarak uygun malzemeler arasından seçilmektedir. Biyel kolları genellikle çelik ve alüminyum alaşımlarından dövme yöntemiyle üretilir. Ancak son yıllarda bazı üreticiler farklı malzeme ve üretim yöntemleri kullanarak daha hafif, daha ucuz ve daha esnek tasarımlar üzerinde çalışmaktadırlar. Kullanıldığı yere bağlı olarak biyelerde genellikle karbonlu ya da alaşımlı çelikler kullanılır. Normalde günümüzde kullanılan alüminyum, metal matrisli kompozit (MMC) formunda olup, alüminyum ve silisyum karbür alaşımlarından oluşur. Bu tip alüminyum matrisli kompozitler yaygın olarak kullanılmaktadır, çünkü bu malzemeler % 29 oranında artan sertlik ile ağırlıkta % 25 azalma ve % 20 oranında mukavemet artışına sahiptirler (Joshi ve Sharma, 2021; Joshi ve Sharma, 2021; Ekici, 2016; Acar, 2016).

Bir biyel tasarımı için, farklı üretim yöntemleri ile farklı malzeme türleri kullanılabilir. Biyeler genellikle toz dövme, dövme ve döküm yöntemleriyle üretilir ve motor içerisinde farklı yüklere maruz kalırlar. Yanma odasındaki gaz basıncından kaynaklanan boyuna sıkıştırma yüklemesi, piston hızındaki değişikliklerden kaynaklanan karşılıklı çekme ve sıkıştırma kuvvetleri, serbest bırakma hareketi nedeniyle gövdede eğilme ve sıkıştırma kuvvetleri nedeniyle maruz kalan burulma yüklemesidir (Bulut ve Cihan, 2020; Singh vd., 2015; Sathish vd., 2020).

Araştırmacılar, biyel kolu üzerinde birçok çalışma yapmışlardır. Londhe vd, (2009), test koşullarını simüle eden, doğru yorulma ömrünü tahmin etmeye yardımcı olan ve en önemlisi sanal doğrulama için kolay bir prosedür sağlayan doğru bir sonlu elemanlar (FE) modelleme tekniği ve analiz prosedürü oluşturmuşlardır. Bu amaca ulaşmak için statik gerinim ölçümü ve yorulma testleri yapılmıştır. Shaari vd., (2010) biyel koluna topoloji optimizasyonu uygulamışlardır. Mevcut tasarımın yapısal analizinden sonra topoloji optimizasyonu yapılmıştır. Analiz sonucunda ağırlık % 11,7 oranında azalmış ve tasarım bu sonuca göre yapılmıştır. Hüseyin vd, (2014), alüminyum alaşımı 7068

T6, T6511 malzemesini kullanarak biyel kolunun tasarımını ve analizini gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, alüminyum alaşımı dövme çelik gibi diğer malzemelere göre daha fazla güvenlik faktörüne, daha az ağırlığa, daha az strese ve daha fazla rijitliğe sahiptir. Pathade vd., (2012), sonlu elemanlar yöntemiyle I.C Motor bağlantı çubuğunun stres analizini gerçekleştirmişlerdir. Teorik ve sonlu elemanlar analizinden, bağlantı çubuğunun küçük ucundaki gerilimin, büyük ucundaki gerilimden daha büyük olduğunu bildirmişlerdir. Jaju ve Charkha (2009), maliyet ve malzeme optimizasyonu için dört zamanlı tek silindirli motorun biyel kolunun modellemesini ve analizini gerçekleştirmiştir. Önce bağlantı çubuğunun statik yük stres analizi ve ardından ağırlık için ikinci optimizasyon olmak üzere iki konuda çalışma yapmışlardır.

Daha hızlı ürün geliştirme ihtiyacının artması ve buna rağmen optimum tasarıma ulaşma ihtiyacı ile birlikte, sonlu elemanlar yöntemlerinin (FEM) önemi ve gerekliliği artmaktadır. Doğru gerilim ve deformasyon tahmini, özellikle biyel kolunun analizi ve sayısal doğrulaması için basit bir prosedür sağlar. Daha önce yapılan çalışmalar ışığında, bir ANSYS Workbench yazılımı kullanılarak biyel kolu analizi yapılmıştır. Çalışmada biyel kolunun Von-Misses gerilme ve deformasyon analizleri sayısal olarak incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

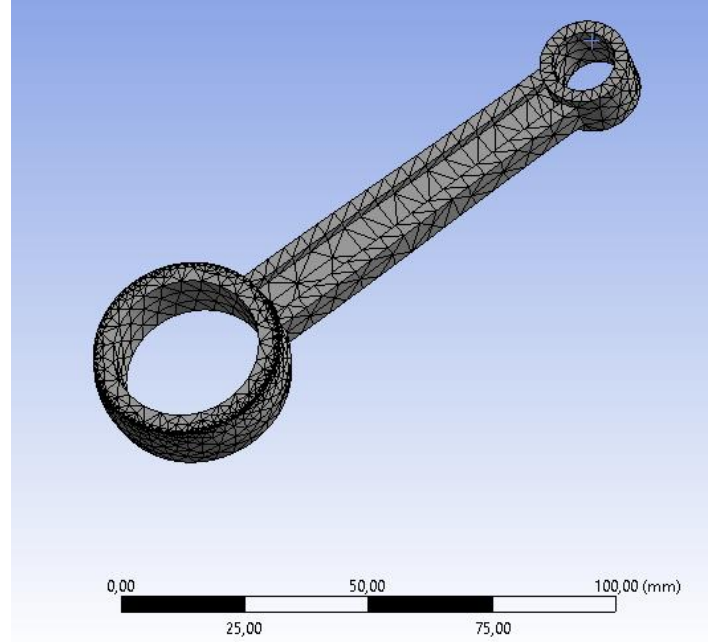
Bir biyel kolunun özellikleri tespit edilerek, yapısal olarak içinde bulunduğu çalışma koşullarını dikkate alınarak maruz kaldığı kuvvetler incelenmiş, bu kuvvetlere bağlı olarak analizler gerçekleştirilmiştir. Biyel tasarımı birçok parametre yardımıyla yapılabildiği için, elde edilen analiz sonuçları kullanılarak en uygun malzeme tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışma yönteminde, öncelikli olarak karmaşık olan geometri sonlu elemanlar adı verilen daha basit birbirine bağlı küçük bölgelere ayrılmaktadır. Sonra, bu sonlu elemanlarda sürekli fonksiyonların tanımlanabileceği kabul edilmektedir. En son olarak da her bir elemanın düğüm noktalarındaki değerler sürekli olan denklemlerin çözümü ile elde edilmektedir (Acar, 2016).

Şekil 1'de bilgisayar destekli tasarım programıyla üretilmiş biyel kolu modeli verilmiştir. Daha sonra bu biyel kolu modeli ANSYS Workbench yazılımına, sayısal analizler gerçekleştirebilmek amacıyla aktarılmıştır. Uygulanan yükler için sonlu eleman analizleri (FEA) gerçekleştirilmiş olup, biyel kolunun tasarımında kullanılan AA6061-T6, Ti-6Al-4V, dökme demir ve yapısal çelik malzemelerin özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Modellemenin bir sonraki aşaması, oluşturulan modelin ağ modelinin oluşturulmasıdır. Dörtüzlü eleman tipi kullanılmıştır. Biyel kolunun ağ modeli, Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Biyel kolu katı modeli



Şekil 2. Biyel kolunun ağ modeli

Tablo 1. Biyel kolu malzemelerinin özellikleri

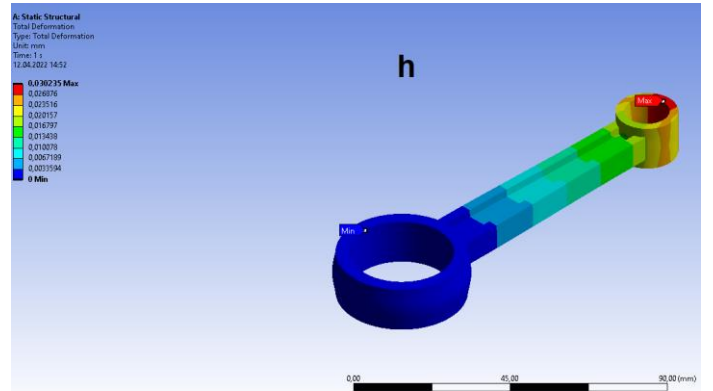
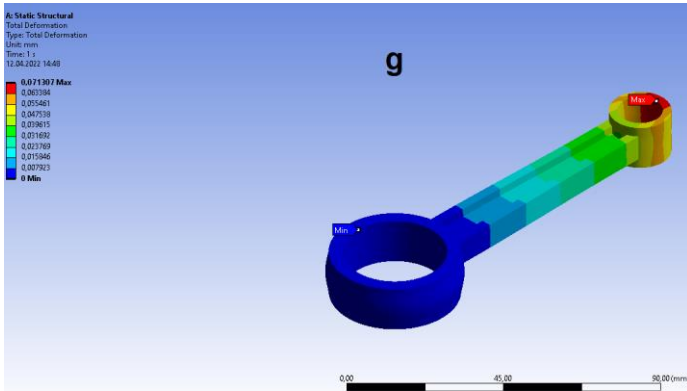
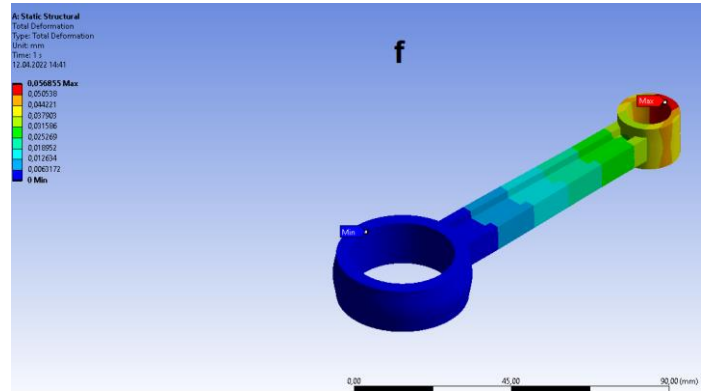
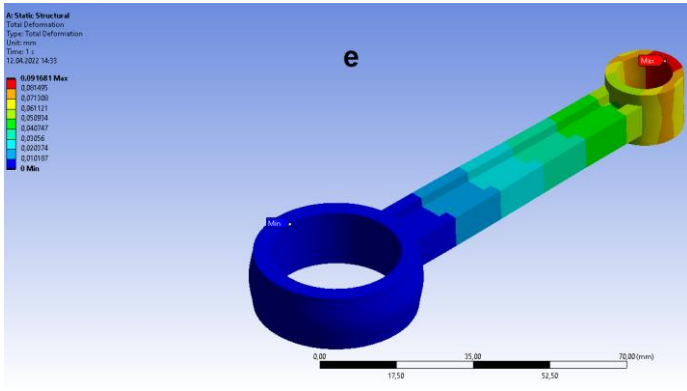
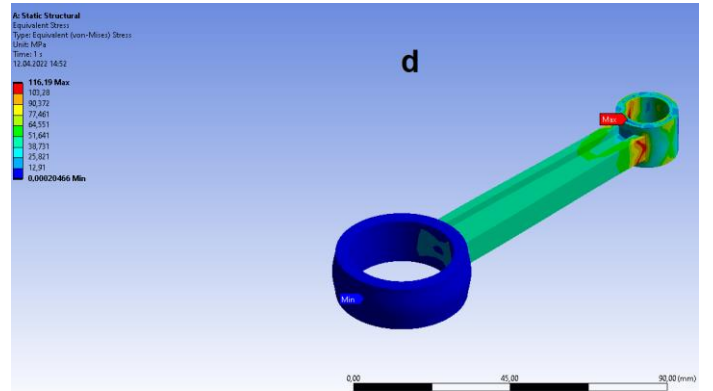
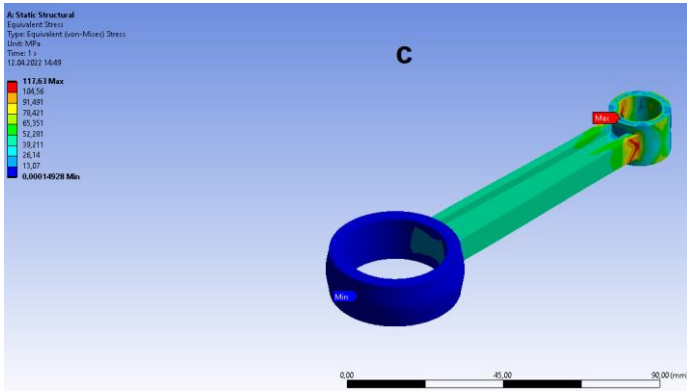
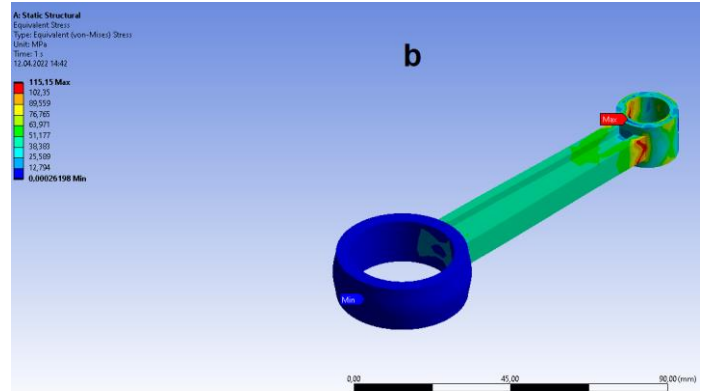
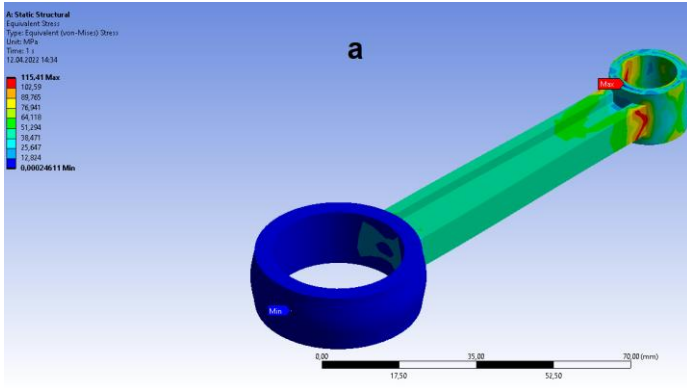
Malzeme	UTS (Mpa)	Poisson Oranı	Young Modülü (GPa)	Yoğunluk (g/cc)	Kayma Modülü (GPa)
AA6061-T6	313	0.33	69.04	2.713	26
Ti-6Al-4V	918	0.3387	111.2	4.429	41.533
Dökme demir	141.4	0.26	89.44	6.999	35.492
Yapısal çelik	422.5	0.3046	210	7.850	80.484

Analizler için motor, motor hızı ve tork değerleri ile birlikte pistonu uygulanan kuvvet hesaplandığında; güvenlik faktörünün biyel tasarımında 5 ile 9 arasında kullanılması tavsiye edildiğinden, bu çalışmada güvenlik faktörü 5 olarak seçilmiş ve sonuç olarak 3420 N maksimum yükleme değeri elde edilmiştir (Ekici, 2016). Sonlu elemanların analizinde bu değer esas alınmıştır. Biyel kolları, motor içerisinde çalışırken çekme ve basma yüklerinin etkisi altındadır. Gaz ve atalet kuvvetlerinin etkisi açısından gaz kuvvetleri daha yüksek olduğundan basma gerilimi, çekme gerilimine göre daha etkilidir (Kumar ve Prajapati, 2017). Biyel kolunun krank mili ucu sabit tutularak piston pimi ucuna basma yükü uygulanmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

FEA analizinin sonuçları bu bölümde hem görsel hem de sayısal olarak verilmiştir. Alüminyum alaşımı AA6061-T6, Ti-6Al-4V, dökme demir ve yapısal çelik malzemeler için basma analizleri yapılmıştır. Şekil 3'de gerilme dağılımı ve deformasyon analizlerine ait resimler verilmiştir.

FEM analizi sonucunda maksimum gerilmenin her zaman biyel kolunun küçük göz bölgesinde meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar literatürle de uyumludur. Delprete ve Carlo (2017), yaptıkları çalışmada maksimum stres değerini piston pimi uç bölgesinde tespit etmişlerdir. Pathade vd., (2012), tarafından yapılan analizlerde de gerilimin piston pimi bölgesinde daha fazla olduğunu bildirmişlerdir. FEM analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 3. Gerilme analizi; a) AA6061-T6, b) Ti-6Al-4V, c) Dökme Demir, d) Yapısal Çelik, Deformasyon Analizi; e) AA6061, f) Ti-6Al-4V, g) Dökme Demir ve h) Yapısal Çelik

Tablo 2. Analiz sonuçları

Malzeme	Gerilme (MPa)	Deformasyon (mm)	Yoğunluk (g/cc)
AA6061-T6	115.41	0.091	2.713
Ti-6Al-4V	115.15	0.056	4.429
Yapısal çelik	116.19	0.030	7.850
Dökme demir	117.63	0.071	6.999

4. Sonuç

Statik yapısal analizden, alüminyum alaşımı, titanyum alaşımı, dökme demir ve yapısal çelik için Eşdeğer Von-Misses gerilmeleri ve Toplam Deformasyon analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

Belirli bir yüklem altında alüminyum alaşımı ve titanyum alaşımının dökme demir ve yapısal çelik ile karşılaştırıldığında yüksek mukavemete sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Malzemelerin yoğunlukları dikkate alındığında, AA6061-T6 alaşımı, silindirde meydana gelen kuvvetleri diğerlerine göre daha az ağırlıkta karşılayabildiği ve bunun da motor performansı ve ağırlık açısından üstün olduğu düşünülmektedir. Ayrıca alüminyum malzemelerin teminindeki avantaj göz önüne alınırsa önemli faydalar sağlayacağı öngörülmektedir.

Ti-6Al-4V malzemesi ise demir ve çelik malzeme göre elde edilen sonuçlar ve yoğunluk farkı dolayısıyla kullanım açısından uygun görülmektedir.

Çelik ve demir malzemelerin analiz değerlerinin alüminyum ve titanyum alaşımı malzemeye yakın olmasına ve hatta çelik malzemenin deformasyon değerinin en az olmasına rağmen motorun ağırlığını arttırdığı için efektif olmadıkları düşünülmektedir.

Tasarım faktörleri dikkate alınarak; farklı tasarım ve farklı malzemeler kullanılarak, biyel kollarının geliştirilmesi amacıyla yeni çalışmalar yapılabilecektir.

Kaynakça

- Acar, H. (2016). Biyel kolu analizi, optimizasyonu ve yorulma davranışının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bulut, M., & Cihan, Ö. (2020). Stress and deformation analysis of a connecting rod by using ANSYS. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 9(3), 154-160.
- Charkha, P. G., & Jaju, S. B. (2009, December). Analysis & optimization of connecting rod. In *2009 Second International Conference on Emerging Trends in Engineering & Technology* (pp. 86-91). IEEE.
- Delprete, C., & Rosso, C. (2017). Weight reduction through material changing in a commercial diesel engine: piston pin and connecting rod case studies. *International Journal of Automotive Composites*, 3(2-4), 83-100.
- Ekici, H. N. (2019). Design and manufacturing of a connecting rod for gasoline engines made by high performance plastic. Ph. D. Thesis, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Hussin, M. A., Sinha, E. P. K., & Darbari, D. A. S. (2014). Design and analysis of connecting rod using aluminium alloy 7068 T6, T6511. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 5(10), 57-69.
- Jaju, S. B., & Charkha, P. G. (2009). Modeling & analysis of connecting rod of four stroke single cylinder engine for optimization of cost & material. *International Journal of Applied Engineering Research*, 4(7), 1277-1286.
- Joshi, S., & Sharma, S. (2021). Simulation and Modelling of Connecting rod of IC by Using Material C70S6. *International Journal of Research Publication and Reviews*, 2(7), 204-208.
- Joshi, S., & Sharma, S. (2021). Simulation and modelling of connecting rod of IC by using aluminium alloy. *International Journal of Research Publication and Reviews*, 2(7), 209-214.
- Kumar, M., & Prajapati, S. N. (2017). Design, buckling and fatigue failure analysis of connecting rod: a review. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 4(7), 237208.
- Londhe, A., Yadav, V., & Sen, A. (2009). Finite Element Analysis of Connecting Rod and Correlation with Test (No. 2009-01-0816). SAE Technical Paper.
- Özdemir, T. (2013). Motor biyel kolunun baş kısmının kırılmasının sonlu elemanlar yöntemi ile nümerik analizi üzerine bir çalışma. Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Pathade, V. C., Patle, B., & Ingale, A. N. (2012). Stress analysis of IC engine connecting rod by FEM. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, 1(3), 12-15.
- Singh, P., Pramanik, D., & Singh, R. V. (2015). Fatigue and structural analysis of connecting rod's material due to (CI) using FEA. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 4(4), 245-253.
- Sathish, T., Kumar, S. D., & Karthick, S. (2020). Modelling and analysis of different connecting rod material through finite element route. *Materials Today: Proceedings*, 21, 971-975.
- Shaari, M. S., Rahman, M. M., Noor, M. M., Kadirgama, K., & Amirruddin, A. K. (2010). Design of connecting rod of internal combustion engine: A topology optimization approach. *National Conference in Mechanical Engineering Research and Postgraduate Studies (2nd NCMER 2010)*, 155-166.