



## Çift Silindirli Su Soğutmalı Bir Motorun Biyel Kolu Yapısal Analizi

Eda ŞAHİN<sup>1</sup>, İdris CESUR<sup>1</sup>, Hüseyin KAHRAMAN<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

Eda ŞAHİN ORCID No: 0000-0003-2060-2191

İdris CESUR ORCID No: 0000-0001-7487-5676

Hüseyin KAHRAMAN ORCID No: 0000-0003-3322-9904

\*Sorumlu yazar: [huseyink@subu.edu.tr](mailto:huseyink@subu.edu.tr)

(Alınış: 13.09.2021, Kabul: 03.03.2022, Online Yayınlanma: 25.03.2022)

**Anahtar Kelimeler**  
 Biyel kolu,  
 Dizel motor,  
 Yapısal analiz,  
 Ansys

**Öz:** Biyel kolu, taşıtlarda pistonun doğrusal hareketini krank milinin dairesel hareketine iletmek için kullanılır. Bu hareket iletimi sırasında çeşitli gerilme türlerine maruz kalan biyel kolunun malzeme seçimi ve tasarımı, biyel kolunun mukavemet değerlerini etkileyen önemli faktörlerdendir. Bu çalışmada, çift silindirli dizel bir motor olan TR-ERB modelinin biyel kolu için yapısal analiz testleri yapılmış ve bu modele alternatif bir tasarım geliştirilmiştir. İlk aşamada TR-ERB modeli için beş farklı malzeme üzerinden analizler gerçekleştirilmiş ve daha sonra en uygun bulunan malzeme için alternatif model tasarımı üzerinden analizler tekrarlanmıştır. Yapısal analiz sonucunda en iyi sonucu veren malzeme 42CrMo4 olup gerilme değeri 425 MPa'dır. Malzemedeki deformasyon değerleri incelendiğinde ise en az deformasyon değeri 42CrMo4 malzemesinde olup miktarı 0,0609'dır. Maksimum deformasyon değeri dökme demir malzemesinde 0,107'dir. Eşdeğer elastik gerilim miktarında en iyi değer AISI1050 malzemesinde elde edilmiştir.

71

## Structural Analysis of a Two-cylinder, Water-Cooled Engine

**Keywords**  
 Connecting rod,  
 Diesel engine,  
 Structural analysis,  
 Ansys

**Abstract:** The connecting rod is used in vehicles to transmit the linear motion of the piston rod to the circular motion of the crankshaft. The selection and design of the connecting rod, which is subjected to various types of tension in this movement transfer, is one of the important factors affecting the strength of the connecting rod. With this study, analysis tests of the connecting rod of the TR-ERB model, which is a twin cylinder diesel engine, have been made and then an alternative design has been made for this model. In the first stage, analyses were made on five different materials for the TR-ERB model, then the analyses were repeated over the alternative model design for the material with the highest strength. As a result of the structural analysis, the material that gives the best result is 42CrMo4 and its stress value is 425 MPa. In terms of deformation values in the material, the least deformation value is in 42CrMo4 material and its amount is 0.0609. Its value at maximum deformation is 0.107 in cast iron material. The best value was obtained for the AISI1050 material in the equivalent amount of elastic tension.

### 1. GİRİŞ

Motor teknolojisinin gelişmesindeki en büyük etken şüphesiz ki Otto ve Dizel çevrimlerinin bulunmasıdır. Dizel motorları, silindir içerisine alınan havanın sıkıştırılıp, sıcaklığı ve basıncı artan yanma odası içerisindeki havanın üzerine yakıt püskürtülmesi ve yakıtın alev alması ve patlaması prensibiyle çalışır [1]. Yanma odasına gelen hava ve yakıtın yakılabilmesi için pistonun doğrusal bir ileri geri hareketi yapması gerekmektedir. Biyel kolunun motordaki ana fonksiyonu ise pistonun aldığı doğrusal hareketi krank miline dairesel hareket olarak

iletme [2]. Biyel kolu bu hareketi sırasında; piston başındaki gaz basıncından kaynaklı basma yüküne, piston hızındaki değişiklikler nedeniyle karşılıklı çekme ve basma kuvvetlerine, salınım hareketinden dolayı biyel gövdesinde eğilmeye ve büyük basma kuvvetlerinden dolayı burkulmaya maruz kalır. Biyel kolu eksenel çekme ve basma yüklerine ek olarak çok yönlü genlikli eğilme yüklemeleri, atalet kuvvetleri ve burkulma yüklerine de maruz kalır. Motorun normal çalışması durumunda 2000-3000 devir yapan biyel kolunun motor içerisinde hareket ederken oluşacak gerilmelere karşı da yeterince dayanıklı olması gerekmektedir [3].

İçten yanmalı motorlarda, motor parçalarının tasarım ve hesaplamalarında sonlu elemanlar metodu kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar metodu, karmaşık mühendislik ve matematiksel modellerde kullanılan bir sayısal analiz yöntemidir [4]. İlk olarak uçak gövdelerinin analizlerinde kullanılan bu metod daha sonra yaygınlaşarak mühendislik problemleri ve uygulamaları için de kullanılmaya başlanmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi özellikle kütle aktarımı, yapı statığı, ısı aktarımı ve elektriksel potansiyel problemlerinde kullanılır [5]. Sistem analiz edilmesi gereken parçayı sonlu eleman denilen küçük parçalara ayırarak problemin çözüleceği uzayı ayırıştırır [6]. Sınır değerlerinin bu formülasyonu sonucu cebirsel bir denklem sistemi elde edilmektedir. Bu denklemler daha sonra çeşitli metodlarla çözülmektedir [7].

Literatüre baktığımızda; Ali ve ark., biyel kolu üzerine farklı miktarda değişken yükler uygulanmasını etkilerini sonlu elemanlar yöntemiyle incelemişlerdir. Analiz sonuçlarını biyel kolu üzerindeki basma ve çekme yük dağılımlarını göre yapmışlardır [8]. Mohankumar ve ark., Ansys programında biyel koluna gelen yanma basıncının oluşturduğu kuvvetleri analiz etmişlerdir. Çalışmalarında, farklı malzemelerden yapılmış biyel kolunun analizleri yapılmıştır. Analizde emniyet faktörü, yorulma analizi ve deformasyon miktarları irdelenmiştir [9]. Al Hasan, Biyel kolu ve pimleri üzerine etkileyen kuvvetlerin analizi sonlu elemanlar yöntemi ile gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda; biyel kolunun küçük ve büyük başında farklı malzemeler ile takviye edilmesi ile olumlu sonuçlar elde etmiştir [10]. Shenoy, deneysel çalışma sonucunda elde ettikleri yanma basıncına göre biyel kolu ve pimleri üzerine etkileyen kuvvetlerin etkilerini sonlu elemanlar analizi yapmıştır. Analizler iki aşamada gerçekleşmiştir. İlk bölümde statik yük altında FEA ve quasi-dinamik yük altında FEA analizleridir. Analizler sonucunda; biyel kolu üzerine etkileyen kuvvetler belirlenmiştir. İkinci kısımda ise biyel kolunun yorulma ömrü incelenmiştir. Sonuçta ise eC-70 çeliği diğer malzemeye göre %10 daha hafiftir [11]. Dale, toz metal teknolojisi, dövme ve dökme yönetimine göre imal edilen biyel kolunun mekanik analizi yapmıştır. Çalışma sonucunda; dövme yöntemi döküm yöntemine göre %25-33 daha fazla yorulma dayanımına sahip olduğunu saptamıştır. Malzeme özellikleri ve imalat tekniğinin biyel optimizasyonunda önemli olduğunu belirlemiştir [12]. Webster ve ark., biyel kolunun sonlu elemanlar yöntemi ile analiz yapmışlardır. Biyel kolunun üzerine etkileyen kuvvet miktarı deneysel çalışma ile belirlemişlerdir. Biyelin büyük ve küçük başlarındaki etkileyen kuvvet dağılımlarını incelemişlerdir [13].

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, farklı malzemelerden üretilmiş ve farklı yükler altındaki biyel kolunun yapısal analizi incelenmiştir. Bu çalışmada ise farklı malzeme ve yüklere ek olarak, yeni bir biyel tasarımı yapılmıştır. Bu çalışmada; çift silindri dizel bir motor olan TR-ERB modelinin biyel kolu için yapısal analiz testleri yapılmış ve bu modele alternatif bir tasarım geliştirilmiştir. İlk aşamada TR-ERB modeli için beş farklı malzeme üzerinden analizler gerçekleştirilmiş ve daha

sonra en uygun bulunan malzeme için alternatif model tasarımı üzerinden analizler tekrarlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

Biyel kolunun yapısal analizlerinin yapılabilmesi için öncelikle bir tasarım modeli belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında TR-ERB modeli biyel kolu ana tasarım modeli olarak kabul edilmiştir. Bu model üzerine beş farklı malzeme tanımı yapılarak, biyel kolunun statik analizleri yapılmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre bu malzemeler içerisinde biyel kolu için en uygun olan malzeme belirlenmiştir.

### 2.1. Malzemeler

Piston ile krank milini birbirine bağlayan biyel kolu, piston kuvvetini kranka ileterek krankın dönüşünü sağlar. Bu hareket sırasında biyel kolu basma, çekme ve burkulma kuvvetlerine maruz kalır. Biyel kolu malzemesi seçilirken de tüm bu kuvvetler göz önüne alınmalı ve bu zorlamalara karşı dirençli malzemeler seçilmelidir. Bu özellikleri karşılaması amacıyla biyel kolu için aşağıdaki malzemelerin analizler yapılmıştır.

- 42CrMo4
- C70S6 Çelik
- 36MnVS4
- AISI 1050 Çeliği
- Gri Dökme Demir

Bu malzemelerin biyel kolunun istenilen özelliklerine göre değerlendirilmesini yaparak, biyel kolu için en uygun malzemeyi tanımlayabiliriz [13].

Tablo 1’de analizler için belirlenmiş olan beş farklı malzemenin özellikleri belirlenmiştir. Bu özelliklerin kendi aralarında kıyaslamaları yapılmıştır. En iyi sonuç AISI 4140 çeliği hem mukavemet değerleri açısından hem de maliyet açısından diğer malzemelere göre daha uygun bulunmuştur. Ancak değerlendirme için sadece bu tablo baz alınmamış ve analizlerden elde edilen sonuçlara da bakılmıştır.

**Tablo 1.** Analizi Yaptırılacak Malzemelerin Özellikleri Tablosu [15,16]

Özellik/ Malzeme	42CrMo4	C70S6 Çelik	36MnVS4	AISI 1050 Çeliği	Gri Dökme Demir
Yoğunluk	7850	7817	7800	7850	7200
Çekme-Akma Dayanımı	750 MPa	550 MPa	742 MPa	580 MPa	551.49 MPa
Basma-Akma Dayanımı	750 MPa	550 MPa	742 MPa	580 MPa	551.49 MPa
Çekme-Kopma Dayanımı	1110 MPa	900 MPa	998 MPa	460 MPa	861.7 MPa
Birim Hacim Fiyatı	0,639 Usd /kg	0,8 Usd/kg	0,9 Usd/kg	0,438 Usd/kg	0,648 Usd/kg

### 2.2. Mühendislik Hesapları ve Analizler

Biyel kolu tasarımında referans alınan TR-ERB markalı biyel kolunun ölçüleri baz alınarak Solidworks üzerinden tasarım tamamlanmıştır. Solidworks üzerinden modellenmiş olan biyel kolları ANSYS programına aktararak malzeme bilgileri ve uygulanan kuvvetler programda tanımlanarak statik analizleri yaptırılmıştır.

Analizler biyel kolunun maksimum yük ve basınç altındaki durumu yani 20°'lik konumu baz alınarak yapılmıştır.

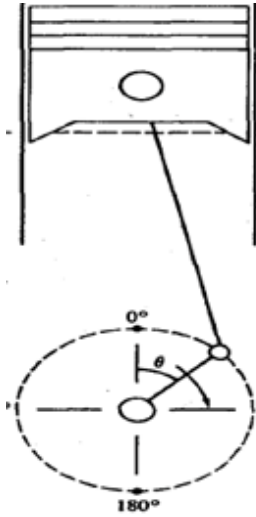
Bu çalışmada kullanılan dizel motorun maksimum basıncı katalog değerlerinden elde edilmiştir. Silindir içi basınç değeri 2,26 MPa' dır. Bu basınçtan yola çıkarak kuvvet hesabı yapılırsa;

$$\begin{aligned} \text{Piston Çapı} &= 77 \text{ mm} \\ F &= P * A = 2,26 * (\pi * 38,5^2) \\ F &= 10518,64 \text{ N} \end{aligned} \quad (1)$$

olarak bulunur. Pistona dik olarak etkiyen bu kuvvet biyel koluna 20° 'lik açı ile vurduğundan biyel üzerinden işlem yaparken bu kuvvetin bileşenleri dikkate alınır (Şekil 1).

$$\begin{aligned} F &= F^1 * \text{Cos}20 \\ 10518,64 &= F^1 * \text{Cos}20 \\ F^1 &= 11194,80 \text{ N} \end{aligned} \quad (2)$$

olarak hesaplanır. Bu kuvvet biyel kolu 20°'lik konumdayken biyeye etkiyen dik kuvveti bize gösterir. Biyel kolu için statik analiz yapılırken biyeye etkiyen kuvvet olarak denklem ikiden elde edilen kuvvet esas alınmıştır [17].



Şekil 1. Biyel Kolunun geometrisi

Analizi yaptırılacak biyel kolu Tablo 2'de verilen ölçüler doğrultusunda Solidworks üzerinden Şekil 2'de gözüktüğü gibi modellenmiştir.

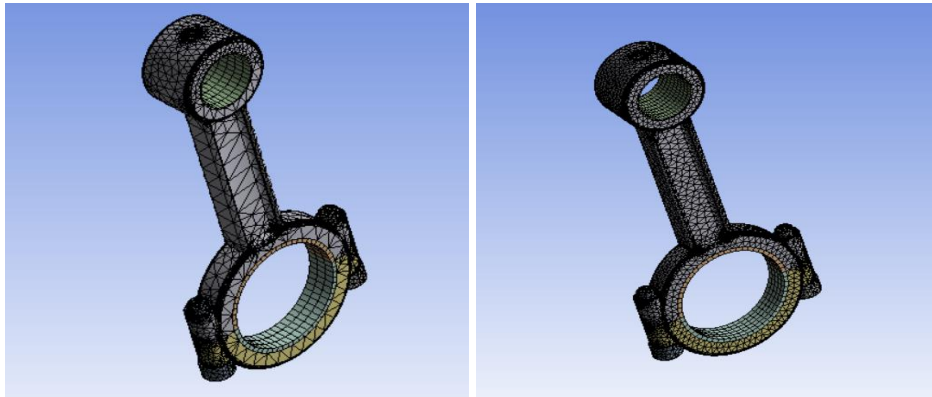
Tablo 2. Biyel Kolu Ölçüleri

Strok	68 mm
Küçük Biyel Başı İç Çapı	20 mm
Küçük Biyel Başı Dış Çapı	30 mm
Büyük Biyel Başı İç Çapı	40 mm
Büyük Biyel Başı Dış Çapı	52 mm
Burç İç Çapı	19 mm
Yatak İç Çapı	37 mm
Yağlama Deliği Çapı	4 mm
Profil Kesiti	16 mm
Profil Derinliği	3,6 mm



Şekil 2. Biyel Kolunun 3D Modellenmesi

Solidworks üzerinden çizilmiş olan model-1 datası Ansys workbench ortamına alınmış ve gerekli analizlerin yapılabilmesi için ağ modeli (mesh) örülmüştür. Programda default olarak tanımlı mesh modeli kullanıldığı zaman biyel kolu üzerine 7803 nodes ve 4242 eleman tanımlanmaktadır. Ancak biyel kolu gibi karmaşık bir geometri için bu düğüm ve eleman sayısı oldukça yetersizdir. Bu nedenle mesh modeli oluşturulurken "default mesh" modülü yerine "fine mesh" modülü kullanılmıştır. Bu modül üzerinde de iyileştirmeler yapılarak toplamda 555088 düğüm ve 390245 eleman elde edilmiştir. Bu eleman sayısı analizler için yeterli bulunmuştur.



Şekil 3. Model-1'in Default ve Fine Olarak Tanımlı Mesh Görünümleri

Biyel kolunun statik analizini yaptırılırken, biyelin krank miline bağlandığı yataklardan model sabitlenmiştir. Biyel kolu 20°'lik konumundayken yanma basıncı maksimumu durumda olduğu bilindiği için pistonu etkileyen kuvvetin düşey bileşeni hesaplanmış ve bu kuvvet biyele etki ettirilerek analiz yaptırılmıştır. Kuvvetin etki noktası biyel kolunun pistonu bağlandığı gajın piminin bulunduğu küçük biyel başı olarak seçilmiştir. Böylece biyel kolu dik konumdaymış gibi kabul edilerek analizler bu konumda yaptırılmıştır (Şekil 3).

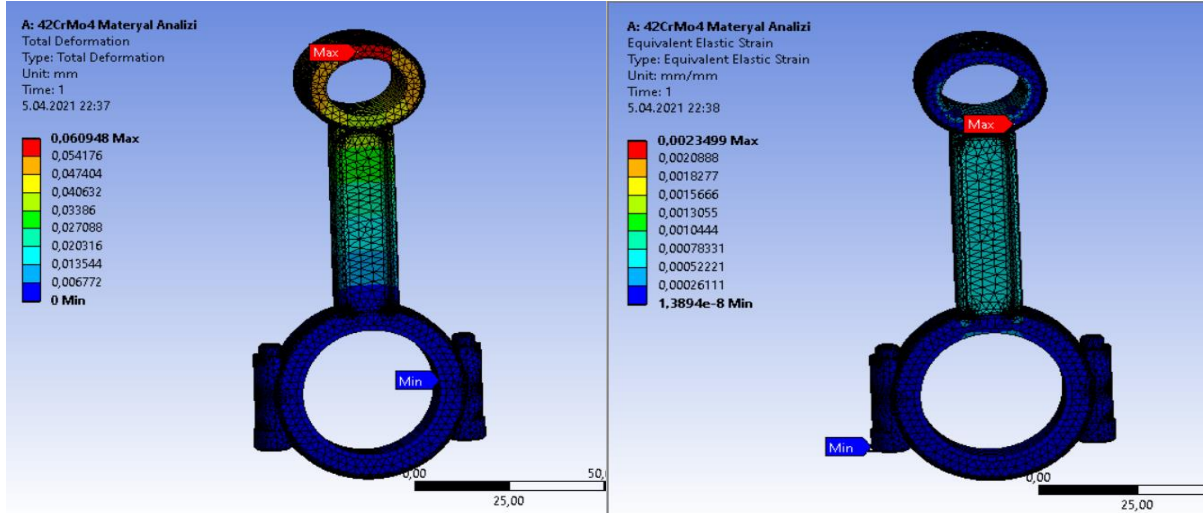
### 2.2.1. 42CrMo4 Malzemesi Analizleri

Model-1'de biyel malzemesi olarak 42CrMo4 çelik, yataklar için AISI 4340 tavlı çelik ve burç için 1023 karbon çeliği kullanılmıştır. Yatak ve burçların sürtünme etkisine karşı daha dayanıklı olması gerektiğinden sert malzemelerden seçilmiştir. Seçilen malzemelerin özellikleri Solidworks üzerinden belirlenip Ansys programına aktarılmıştır. Daha sonra her bir parça üzerine kendi malzemesinin tanımlaması

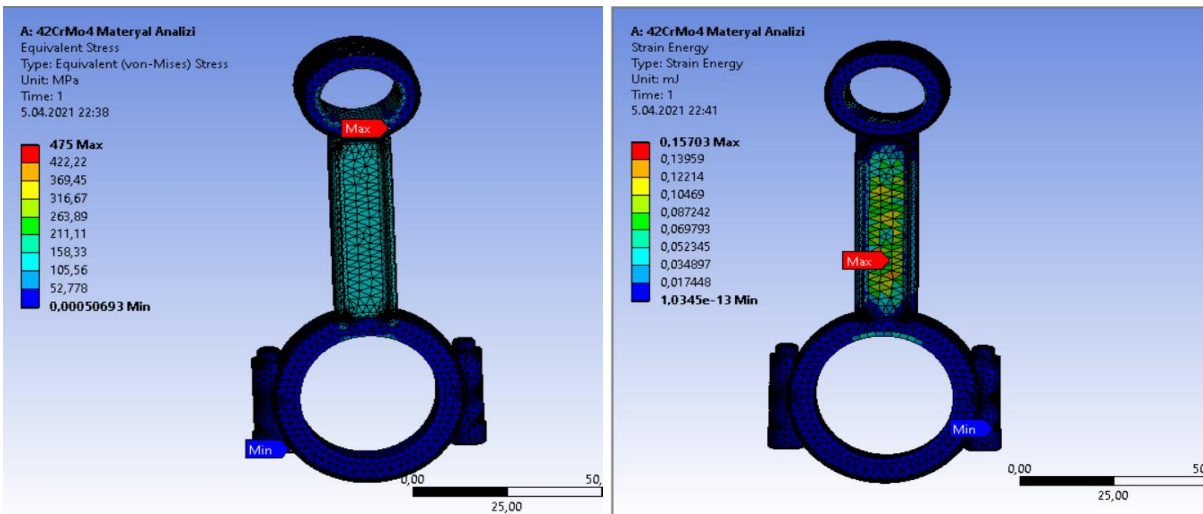
yapılmıştır. Analiz sonuçları Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir. Bu sonuçlara göre maksimum deformasyon bölgesi biyelin üst yağlama deliği ve çevresinde bulunmuştur. Maksimum eşdeğer gerilme ise biyel küçük başı ve kol uzunluğu arasında meydana gelmiştir.

### 2.2.2. C70S6 Çeliği Analizleri

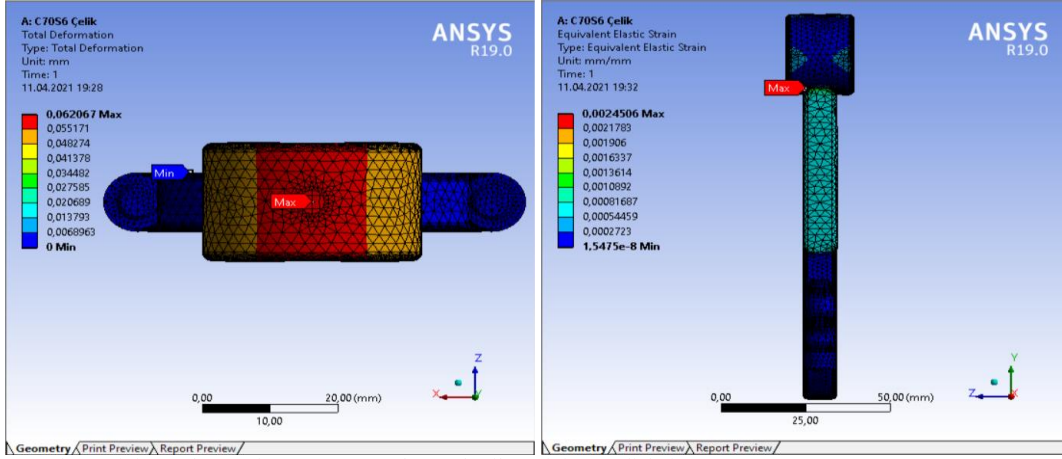
Analizlerde kullanılacak olan ikinci model için C70S6 çeliği kullanılmıştır. Yataklar için AISI 4340 tavlı çelik ve burç için 1023 karbon çeliği kullanılmıştır. Malzemelerin mekanik özellikleri Ansys üzerine aktarılmış ve model üzerinde gerekli tanımlamalar yapılmıştır. Malzeme özellikleri ve tanımlamalar yapıldıktan sonra parça model-1'de olduğu gibi alt başından sabitleniş ve biyelin küçük başından kuvvet etki ettirilmiştir. Analiz sonuçları Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre maksimum deformasyon bölgesi biyelin üst yağlama deliği ve çevresinde bulunmuştur. Maksimum eşdeğer gerilme ise biyel küçük başında meydana gelmiştir. Maksimum gerilme enerjisi biyel kol uzunluğunda görülmüştür.



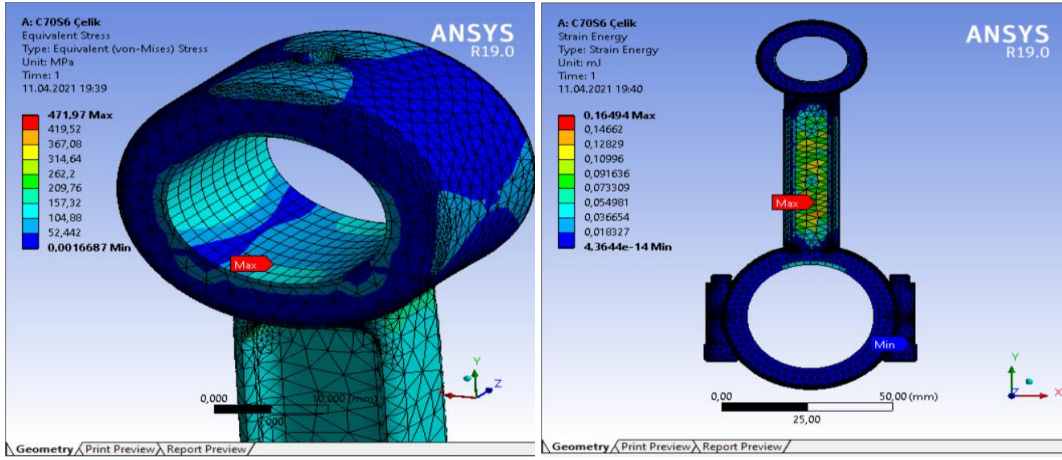
Şekil 4. 42CrMo4 Malzemesinin Toplam Deformasyon ve Eşdeğer Elastik Gerilme Analizleri



Şekil 5. 42CrMo4 Malzemesinin Eşdeğer Gerilme ve Gerilme Enerjisi Analizleri



Şekil 6. C70S6 Malzemesinin Toplam Deformasyon ve Eşdeğer Elastik Gerinim Analizleri

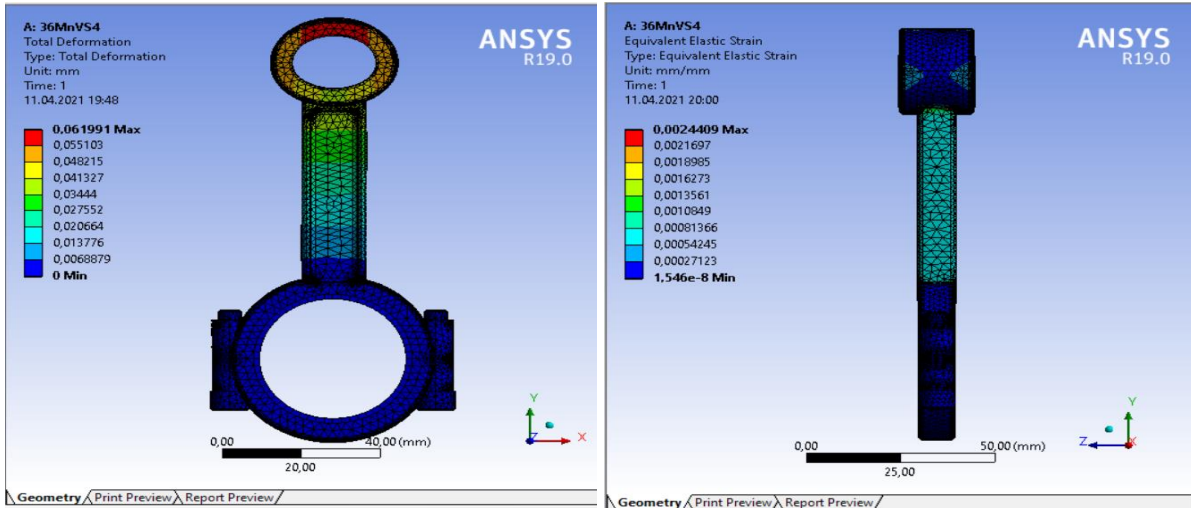


Şekil 7. 4C70S6 Malzemesinin Eşdeğer Gerilim ve Gerilme Enerjisi Analizleri

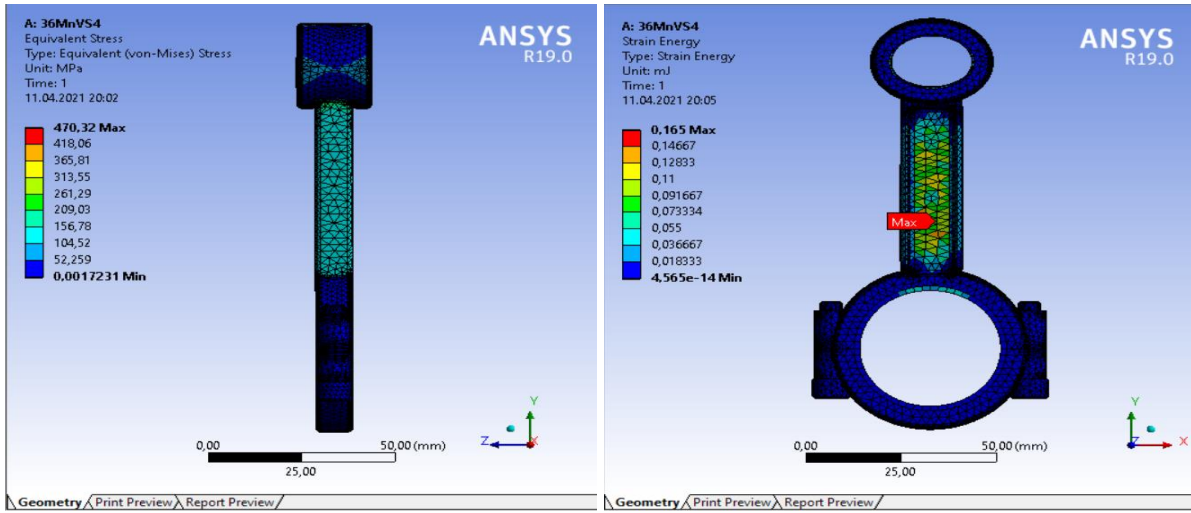
### 2.2.3 36MnVS4 Malzemesi Analizleri

Model III malzemesi olarak 36MnVS4 malzemesi seçilmiştir. Analiz sonuçlarında biyelin ana malzemesinin önemini ayırt edebilmek için biyel burç ve yataklarında tüm modellerde aynı malzemeler kullanılmıştır. Malzemenin özellikleri Ansys ortamına girildikten sonra malzeme tanımlamaları yapılmıştır. Model üzerinde yeniden mesh oluşturulup işlem

yüzeyleri elde edildikten sonra analiz sonucunda görülmek istenen sonuçlar programa tanımlanmıştır. Analiz sonuçları Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilmektedir. Analizler sonucunda maksimum deformasyon biyel üst yağlama deliği ve çevresinde görülmüştür. Maksimum gerilme enerjisi biyel kol uzunluğu bölgesinde görülmektedir.



Şekil 8. 36MnVS4 Malzemesinin Toplam Deformasyon ve Eşdeğer Elastik Gerinim Analizleri

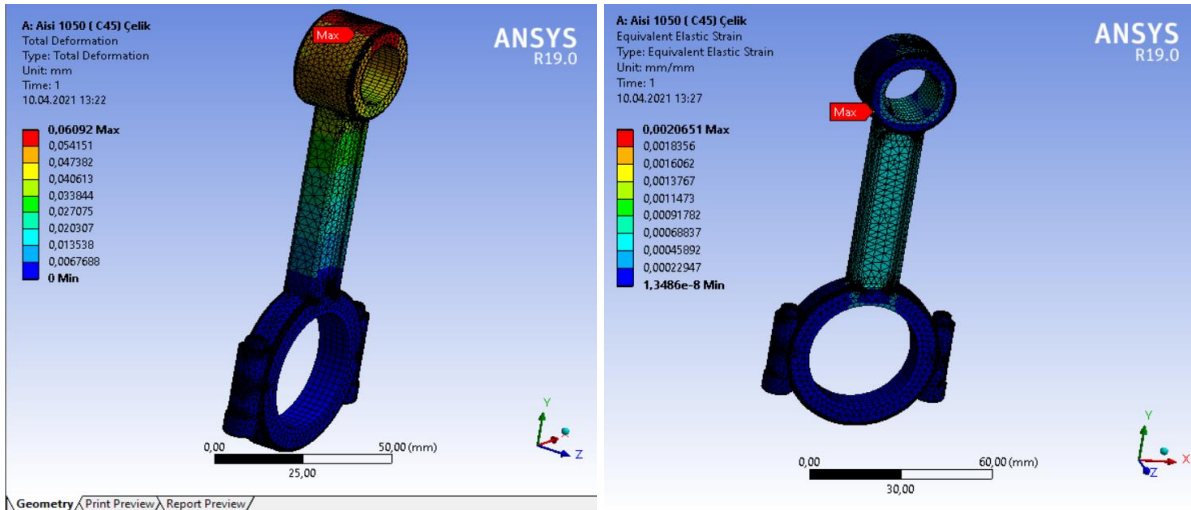


Şekil 9. 36MnVS4 Malzemesinin Eşdeğer Gerilim ve Gerilme Enerjisi Analizleri

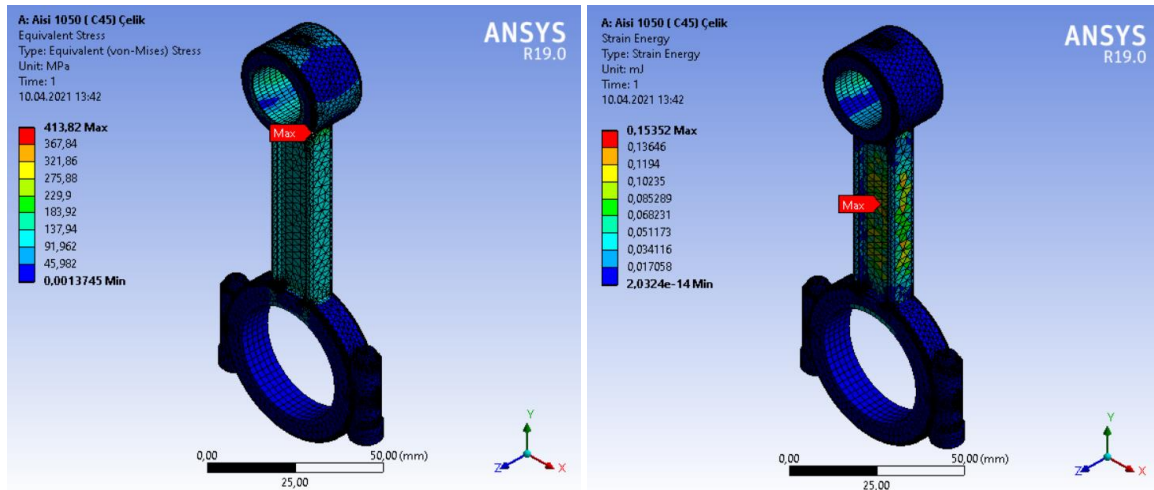
## 2.2.4. AISI 1050 Çeliği Analizleri

Model IV'de ölçüleri tanımlanmış olan biyel kolunun yatak, burç ve cıvata malzemeleri aynı kalırken biyelin malzemesi AISI 1050 çeliği olarak değiştirilmiştir. Ansys ortamına alınan tasarım modeline malzeme atamaları gerçekleştirilmiş ve default olarak tanımlı olan

mesh modeli fine olarak değiştirilmiş ve analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda maksimum deformasyon biyel üst yağlama deliği ve çevresinde görülmektedir. Maksimum gerilme değeri ise biyel küçük başının bağlantı noktasında görülmektedir. Analiz sonuçları Şekil 10 ve 11'de görülmektedir.



Şekil 10. AISI 1050 Malzemesinin Toplam Deformasyon ve Eşdeğer Elastik Gerilim Analizleri

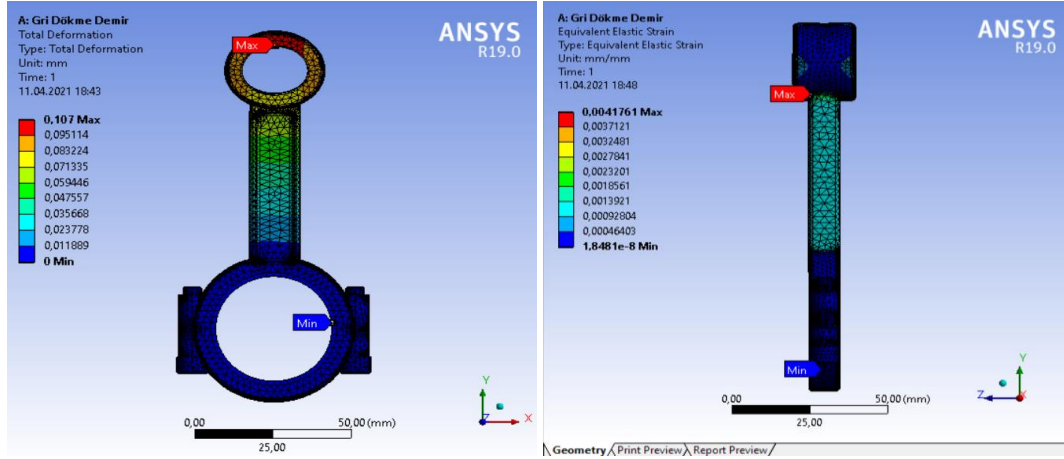


Şekil 11. AISI 1050 Malzemesinin Eşdeğer Gerilim ve Gerilme Enerjisi Analizleri

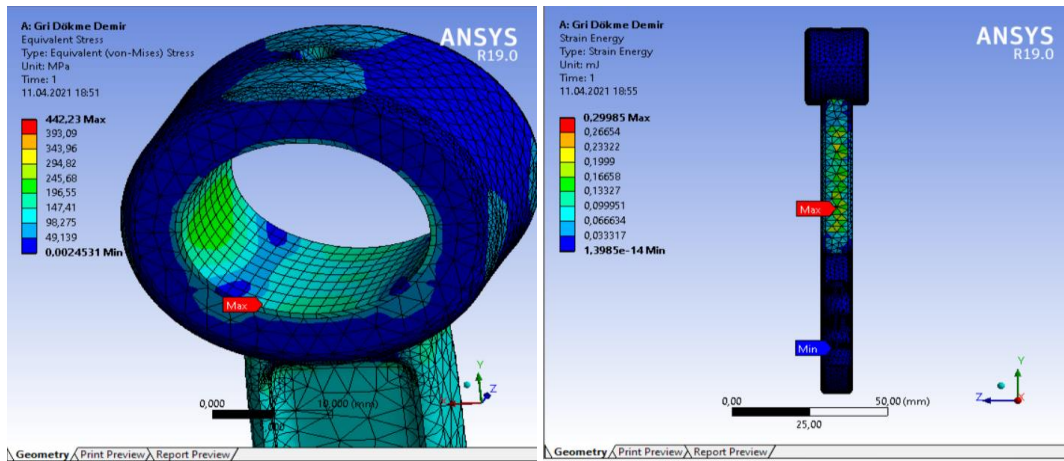
### 2.2.5. Gri Dökme Demir Malzeme Analizleri

Bu model için biyel malzemesi gri dökme demir olarak seçilmiştir. Biyel burç ve yatakları diğer modellerle aynı olacak şekilde yataklar için AISI 4340 tavlı çelik ve burç için 1023 karbon çeliği kullanılmıştır. Analiz sonuçları Şekil 12. ve Şekil 13.'te gösterilmiştir. Analiz

sonuçlarına göre maksimum gerinim biyel küçük başının bağlantı noktasında görülürken maksimum uzama enerjisi biyel kol uzunluğunda görülmüştür. Maksimum deformasyon diğer analizlerde de olduğu gibi biyelin üst yağlama deliği ve çevresinde görülmektedir.



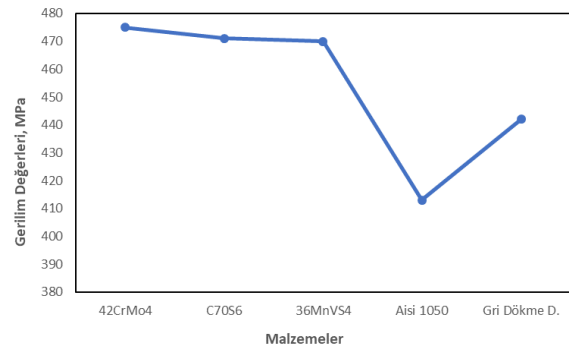
Şekil 12. Gri Dökme Demir Malzemesinin Toplam Deformasyon ve Eşdeğer Elastik Gerinim Analizleri



Şekil 13. Gri Dökme Demir Malzemesinin Eşdeğer Gerilim ve Gerilme Enerjisi Analizleri

### 3. BULGULAR

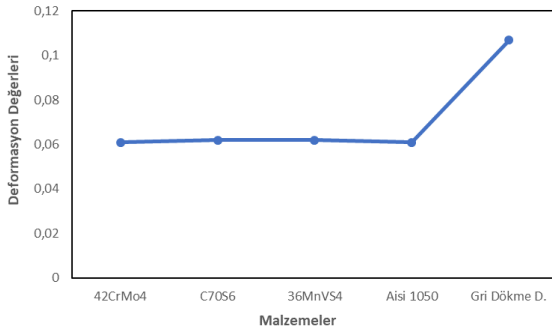
Bu çalışmada, iki silindirik bir dizel motora ait olan biyel kolunu beş farklı malzemesi için statik analizi Ansys programında yapılmıştır. Yapılan bu analiz sonucunda biyel kolu için en uygun biyel kol malzemesi tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda tüm malzemeler için maksimum gerilme değerleri hesaplanmıştır. Şekil 14'te farklı malzemeler için analiz sonucunda elde edilmiş maksimum gerilme değerleri görülmektedir. Şekil incelendiğinde maksimum gerilme değeri 42CrMo4 malzemesinde elde edilmiştir. 42CrMo4 malzemesi için gerilme değeri 475 MPa'dır.



Şekil 14. Farklı malzemeler için analiz sonucu elde edilen maksimum gerilme değerleri

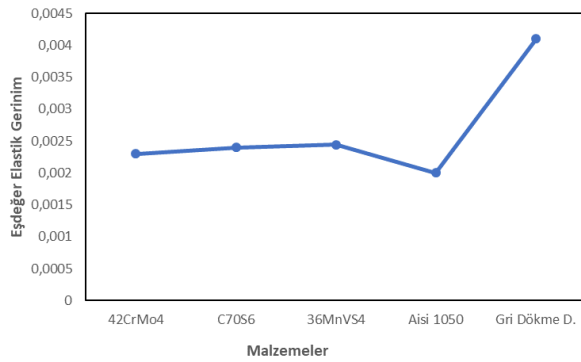
Şekil 15'te beş farklı malzeme için toplam deformasyon değerlerini gösteren grafik verilmiştir. Şekil incelendiğinde en düşük deformasyon değeri 42CrMo4 malzemesinde, en büyük deformasyon değeri ise gri dökme demir malzemesinde elde edilmiştir. Toplam

deformasyon maksimum ve minimum değerleri sırasıyla 0,107 ve 0,0609'dır.



Şekil 15. Farklı malzemeler için analiz sonucu elde edilen toplam deformasyon değerleri

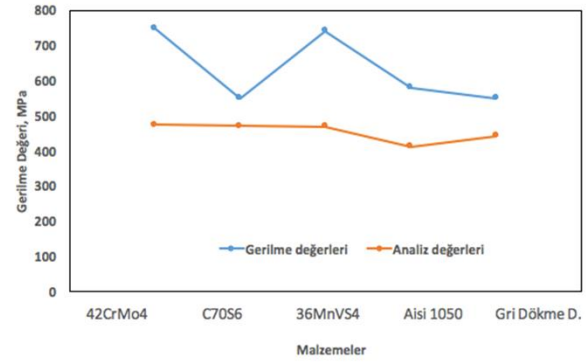
Şekil 16'da beş farklı malzeme için eş değer elastik gerinim değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde en düşük deformasyon değeri AISI1050 malzemesinde, en büyük deformasyon değeri ise gri dökme demir malzemesinde elde edilmiştir. Toplam deformasyon maksimum ve minimum değerleri sırasıyla 0,0041 ve 0,002'dir.



Şekil 16. Farklı malzemeler için analiz sonucu elde edilen eş değer elastik gerinim

Çalışma sonucunda elde edilen beş farklı malzeme maksimum gerilme değerleri malzemelerin çekme değerlerine göre karşılaştırılmıştır. Tüm malzemelerin çekme değerleri analiz sonuçları ile elde edilen gerilme değerlerinden daha yüksektir (Şekil 17). Bu sonuçlara göre tüm malzemeler silindir içi basıncın etkilediği değeri taşıyabilmektedir. Fakat motorun farklı çalışma şartları esnasında kuvvetin statik olmaması dinamik kuvvetlerin olmasının biyel koluna gelene gerilme değerlerini yükseltmektedir. Bu nedenle kullanılan malzemeler için bir emniyet katsayısı gerekmektedir. Analizi yapılan malzemelerin emniyet katsayıları; 42CrMo4 çeliği için akma dayanımı 750 MPa ve analizden elde edilen oluşabilecek maksimum gerilme değeri 475 MPa olarak bulunmuştur. Bu durumda malzemenin emniyet katsayısı 1,57 olarak bulunur. C70S6 çeliği için akma dayanımı 742 MPa olarak bulunmuş olup, analizde elde edilen maksimum gerilme değeri 471 MPa'dır. Bu durumda C70S6 çeliği için hesaplanan emniyet katsayısı 1,06 olmaktadır. 36MnVS4 alaşımı için akma dayanımı 742 MPa olarak bulunmuştur. Analizlerden elde edilen maksimum gerilme değeri ise 470 MPa'dır. Bu durumda

malzemenin emniyet katsayısı 1,57 olarak bulunur. AISI 1050 çeliği için akma dayanımı 580 MPa olarak bulunmuştur. Analizlerden elde edilen maksimum gerilme ise 413 MPa 'dır. Bu durumda malzemenin emniyet katsayısı 1,40 olarak bulunur. Gri dökme demir için akma gerilmesi 551 MPa olarak bulunmuştur. Malzemenin analiz sonuçlarına göre elde edilen maksimum gerilme ise 442 MPa'dır. Bu durumda elde edilen emniyet katsayısı 1,24'tür.



Şekil 17. Farklı malzemeler için çekme değerleri ve analiz değerlerini karşılaştırılması

Bu durumda gerilme değerleri üzerinden bir karşılaştırma yaparsak; 36MnVS4 alaşımı ve AISI 4140 çeliği emniyet katsayısı en yüksek olan malzeme olarak bulunurken, C70S6 çeliği en düşük emniyet katsayısına sahip malzeme olarak bulunmuştur.

Von-mises gerilme analizlerine göre değerlendirme yapacak olursak 42CrMo4 çeliğinin dayanım değerleri diğer malzemelere oranla daha yüksek çıkmıştır. Gri dökme demir ve AISI 1050 çeliğinin dayanım değerleri 413-442 MPa aralıklarındayken diğer malzemeler 470-475 MPa aralıklarına kadar mukavemetli bulunmaktadır. 42CrMo4 çelik, C70S6 çeliği ve 36MnVS4 çeliğinin değerleri birbirine çok yakın olarak çıkarken; AISI 1050 çeliği değerleri nispeten diğerlerinden daha düşük, gri dökme demirin değerleri ise daha yüksek çıkmıştır. Alaşım çelikleri olan malzemeler birbirlerine benzer özellikler göstermişlerdir.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, iki silindri bir dizel motora ait olan biyel kolunu beş farklı malzemesi için yapısal analizi Ansys programında yapılmıştır. Çalışma sonucunda biyel kolu için en uygun biyel kol malzemesi tespit edilmiştir. Analiz sonuçları malzemelerin von-mises gerilme değerleri ve sahip oldukları emniyet katsayılarına göre değerlendirilmiştir. Bu sonuçlara göre 42CrMo4 çeliği biyel tasarımımız için en uygun malzeme olarak bulunmuştur. Analiz sonuçlarına göre maksimum gerilme değeri 475 MPa ve emniyet katsayısı ise 1,57 olarak tespit edilmiştir. Biyelin üst kısmında bulunan yağlama deliği ve çevresi tüm analizlerde maksimum deformasyona uğrayan bölge olarak belirlenmiştir. Yağlama deliğinin varlığı biyel başının mukavemet açısından değer kaybetmesine neden olmuştur. Analizler biyel kolunun alt yataklarından sabit olarak



düşünülp yapılmasından dolayı biyelin kranka bağlandığı alt yataklar tüm analizlerde mukavemetli çıkmıştır. Daha sağlıklı bir analiz çalışması yürütmek için biyele dinamik analiz yaptırılıp, çeşitli yük şartları altında elde edilen mukavemet değerleri incelenerek daha verimli sonuçlar elde edilebilir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Celin R, Arzen B ve Kmeti, D. A Metallographic examination of a fractured connecting rod. *Materials Tech* 2008;42(2):93–95.
- [2] Cesur İ, Akgündüz M. Krom-nikel kaplı segmanların segman silindir çifti arasındaki sürtünme ve aşınma özelliklerinin incelenmesi. *Türk Doğa Fen Derg.* 2021;10(1):75-82.
- [3] Vinet L. Zhedanov A. A “missing” family of classical orthogonal polynomials. *J Physic A: Mathematical and Theoretical.* 2011;44(8):1689–1699.
- [4] Gu Z, Yang S, Ku S, Zhao Y, Dai X. Fracture splitting technology of automobile engine connecting rod. *Int J Adv Manuf Tech.* 2005;25:883-887.
- [5] Özdemir T. Motor Biyel Kolunun Baş Kısmının Kırılmasının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Nümerik Analizi Üzerine Bir Çalışma, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi – Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 2013.
- [6] Topçu M ve Taşgetiren S. Mühendisler İçin Sonlu Elemanlar Metodu, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Denizli, 1998.
- [7] Afzal A and Fatemi AA. Comparative Study of Fatigue Behavior and Life Predictions of Forged Steel and PM Connecting Rods. *SAE International.* 2004.
- [8] Ali MM, Haneef M. Finite element analysis of connecting rod. *World Academy Sci Eng Tech Int J Mech Mechatronic Eng.* 2016;10(7):1271-1276.
- [9] Mohankumar D, Rakesh L, Biher B. Design and analysis of a connecting rod. *Int J Pure Appl Math.* 2017;116(15):105-109.
- [10] Al Hasan NHJ. Simulation of connecting rod using finite element analysis. *Int J Innov Res Comp Sci Tech.* 2018;6(5):113-116.
- [11] Shenoy PS. Dynamic Load Analysis and Optimization of Connecting Rod. The University of Toledo. May. ABD. 2004.
- [12] Dale JR. Connecting Rod Evaluation Metal Powder Industries Federation. January 2005.
- [13] Webster WD, Coffel R Alfaro D. A Three Dimensional Finite Element Analysis of a High Speed Diesel Engine Connecting Rod. *SAE Technical Paper Series.* 1983.
- [14] Fındık F, Okumuş CS, Çolak M. Malzeme Seçimi ve Uygulamaları. Ankara: Seçkin Yayıncılık. 2018.
- [15] Avner SH. Introduction to Physical Metallurgy. McGraw Hill Book Company. 2.ed. New York. 1986.
- [16] Choo S-H, Lee S, Golkovsky MG. Effects of accelerated electron beam irradiation on surface hardening and fatigue properties in an AISI 4140 steel used for automotive crankshaft. *Mater Sci Eng A-Structural Mater Prop Microstruc Process.* 2000;293:56-70.
- [17] Heywood JB. Internal Combustion Engine Fundamentals. McGraw-Hill, New York. 1988.