



**Makale
(Article)**

C70S6 Motor Biyel Kollarının Kırarak Ayrılmasının Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi

Ziya AKSOY, Tekin ÖZDEMİR, Zafer ÖZDEMİR

Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 10100 Balıkesir/TÜRKİYE
tozdemir1@gmail.com

Geliş Tarihi: 27.05.2013

Kabul Tarihi: 16.08.2013

Özet

Kırarak ayırma işlemi otomobil biyel kolu üretiminde yenilikçi bir teknik olarak göze çarpmaktadır. Geleneksel kırma metodu ile karşılaştırıldığında, tekniğin önemli avantajları mevcuttur. Kırarak ayırma metodunda toplam üretim maliyeti önemli ölçüde azalır. Daha da önemlisi bu yeni teknik üretim kalitesini artırır; son üründe yüksek hassasiyet, düşük maliyet elde edilmesini sağlar. Bu çalışmada, kırarak ayrılabilir biyel kollarının mekanik deneylerde elde edilen bulgularının sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen bulgularla karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışma sonunda deneysel bulguların nümerik analiz ile doğrulanmıştır. Çalışmada ayrıca, çatlak başlangıç çentiklerinin çatlak oluşumu ve kırılma karakteristikleri üzerinde önemli bir etkisi olduğu gösterilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemiyle analiz işlemi ANSYS Workbench13 ve LS-DYNA yazılımları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu makalede temel olarak deneysel kırarak ayırma işlemi sonuçlarına genel bir bakışın ardından, C70S6 kırma işleminin deneysel ve sonlu elemanlar yöntemiyle analizi sonuçları arasında bir karşılaştırma yapılmaktadır.

Anahtar kelimeler: biyel kolu, kırarak ayırma, sonlu eleman analizi, çatlak başlangıç çentik, ANSYS.

An Investigation of Fracture Splitting of C70S6 Connecting Rods via Finite Element Analysis

Abstract

Fracture splitting method is an innovative technique used in engine connecting rod production. Compared to the conventional splitting method, this technique has unique advantages. In this (Fracture splitting) method, production cost decreases significantly. Furthermore, this new technique improves the product quality, and enhances high precision, accuracy and low production cost. In this study, there has been made a thorough comparison of the results of experimental fracture splitting process and the results of finite element analysis (FEA). At the end of the study, the experimental fracture splitting results have been verified via the FEA simulation analysis. Besides this, the effects of starting notches on the fracture characteristics have been investigated and explicitly shown that it has a dominant effect on fracture characteristics. The FEA has been executed via ANSYS and LS-DYNA software programs. In this article, basically, there are a brief look on the experimental fracture splitting process followed by a comparison between the experimental fracture splitting of C70S6 and FEA results.

Keywords : connecting rod, fracture splitting, finite element analysis, starting notch, ANSYS.

Bu makaleye atıf yapmak için

Aksoy Z., Özdemir T., Özdemir Z., "C70S6 Motor Biyel Kollarının Kırarak Ayrılmasının Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi" *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi* 2013, (10) 37-48

How to cite this article

Aksoy Z., Özdemir T., Özdemir Z., "An Investigation of Fracture Splitting of C70S6 Connecting Rods via Finite Element Analysis" *Electronic Journal of Machine Technologies*, 2013, (10) 37-48

1. G R

Biyeller motor içerisinde gaz ve kütle kuvvetlerine de maruz kalırlar. Üst üste eksenel yönde binen bu kuvvetler biyel üzerinde ilave yük olu tururlar. Gaz kuvveti dönme hızı yoluyla belirlenirken; kütle kuvvetleri ise piston, piston pimi ve biyelin dönen parçaları ve biyelin gövdesi vasıtasıyla belirlenir. Biyel kolları bu faktörler ı ı nda sonsuz ömür için tasarlanırlar. Biyel kolu eksenel çekme ve basma yükleri, çok yönlü genlikli e ilme yüklemeleri, atalet kuvvetleri ve burkulma yüklemelerine maruz kalır. De i ik yükleri destekleyecek ekilde döküm ve dövme ya da sinterleme yoluyla imal edilirler. Maruz kaldı ı yüklerle bakacak olursak; piston üzerindeki gaz basıncının etkisi ile basmaya, piston hızının de i iminden dolayı birbirini takip edecek ekilde basma ve çekme kuvvetine, mil üzerindeki eksenel sarkaç hareketinden dolayı biyelin gövdesinde e ilmeye, çok büyük basma kuvvetlerinin etkisi ile burkulmaya, devirli yüklerin etkisi ile yorulmaya zorlanır [1].

Bir dizel motor biyel kolunun sonlu elemanlar metodu ile analizi isimli ara tırmada bir motorun sınır ko ullarındaki dinamik de i ikliklerin geleneksel yöntemlerle yapılmasının imkânsızlı ı temel alınarak sonlu elemanlar yöntemiyle model bir çalı ma yapılmı tır. Titre im özellikleri ve titre im frekans da ılımlarını elde etmek için bilgisayar destekli olarak olu turulan model kullanılmı tır. CAD yazılımı ile biyelin fiziksel modeli elde edilmi , sonra Hyperworks ve MSC Nastran yazılımları kullanılarak sonlu elemanlar yöntemiyle deney modeli olu turulmu tur. ADMS/View yazılımıyla parçanın e ilebilir, dinamik modeli olu turulmu , motorun en yüksek yanma basıncı ve atalet kuvvetleri altında biyel kolunun yorulma gerilmesi de erleri ölçülmü tür. Sonuçta biyel üzerindeki en yüksek yüklerin biyelin her iki ucundaki birle im noktalarında olu tu u tespit edilmi tir. Yöntem teorik gerçeklerin tasarım üzerinde uygulanmasında ve farklı model geli tirmede yenilik getirmektedir [2].

Jaju ve Charkha dört zamanlı tek silindirli motor biyel kolu modelleme ve anlizinde malzeme ve maliyet ayarlaması adlı ara tırmada biyel kolu statik yük gerilme analizi ve a ırlık tasarımı konusunda çalı mı lardır. Dört zamanlı tek silindirli benzinli bir motor biyel kolunun sonlu elemanlar yöntemiyle analizi yapılmı tır. Öncelikle CAD Pro/E Wildfire 3.0 yazılımı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemiyle uygun bir model çizilmi tir. Daha sonra verilen yükleme ko ullarında ANSYS Workbench 9.0 yazılımı kullanılarak model üzerinde olu an Von Misses gerilmeleri hesaplanmı tır. Sonlu elemanlar yöntemi ve yük analiz sonuçlarındaki gözlemlere dayanarak malzeme optimizasyon çalı masında kullanılacak en uygun yük seçilmi tir. Sonuçlar çok eksenli gerilme derecesinin tayininde ve yorulma gerilmesinin hesaplanması için yorulma modelinde de kullanılmı tır. Ancak bu çalı mada dinamik artlar uygulanmamı tır [3].

Bilimsel literatürde biyel kollarının sonlu eleman analizinin kısmen yapıldı ı ve metalografik olarak incelendi i pek çok çalı maya rastlanabilir. Bilimsel alanda bu güne kadar yapılmı biyel kolu optimizasyon çalı maları içerisinde sonlu elemanlar yöntemiyle derinlemesine inceleme yapılan bir çalı maya rastlanmamı tır. Dale J.R., biyel kollarının de erlendirmesi adlı ara tırmasında Kuzey Amerika'da 1986'dan 2005 yılına kadar, 500 milyondan fazla biyel kolunun toz metalurjisi yöntemiyle imal edildi ini, bu rakamın Kuzey Amerika'da imal edilen biyel kollarının % 60'ını olu turdu unu, geri kalan bölümün ise geleneksel yöntemlerle veya döküm yoluyla imal edildi ini aktarmaktadır. Toz metalurjisiyle imal edilen biyel kollarının aynı sınıftan C-70 çeli ine nazaran %25-33 daha fazla yorulma dayanımına sahip oldu u da deneysel olarak ispatlanmı tır [4].

Tablo 1. Kırılabilir C70S6 çeli inin kimyasal bile imi (%) [5]

% Karı m	C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Ni	Fe
C70S6	0.692	0.182	0.507	0.02	0.064	0.114	0.042	0,060	Kalan

Bu makale temel olarak C70S6 deneysel kırarak ayırma i lemi sonuçlarına genel bir bakı n ardından, modern yazılımlar (ANSYS ve LS-DYNA) kullanarak kırılma i leminin sonlu elemanlar yöntemiyle analizini ve son olarak ta deneysel ve simülasyon analizleri arasında bir kar ıla tırma yapılmaktadır. Deneylerde kullanılan kırarak ayrılabilir C70S6 çeli inden yapılmı bir motor biyel kolunun kimyasal yapısı hakkında bir bilgi vermesi bakımından bile imi tablo 1'de gösterilmi tir. Deneysel safhanın ardından biyel kolunun kırılmı yüzeyleri Nikon MA 100 Metal Mikroskop ile incelenmi ve kimyasal analizi BAIRD DVG Spectrometre ile yapılmı tır. Yapı perlit ve süreksiz ferrittir. Son safhada parçanın sertlik ölçümü Brinell sertlik ölçme cihazı ile yapılmı tır. (Tablo 1). Sertlik 263-310 HB, çekme mukavemeti 900+150 MPa, akma mukavemeti 520 MPa ve en yüksek uzama oranı ise 10% dur [5,6].

ANSYS ve benzer yazılımlarla yapılan analizlerde temel hedef, üretilmesi planlanan bir malzemenin imalat maliyetini dü ürmek veya mevcut malzemedenden daha üstün özelliklere sahip bir malzeme üretmektir. Sonlu elemanlar metodu analizleriyle hesaplanan sonuçların tamamı yakla ık sonuçlardır. Temel olarak, analiz için kurulan matematiksel model gerçek hayattaki sistemin tahmini bir modeli eklindedir. Model ne kadar iyi kurulursa, çıkan veya elde edilen sonuçlar da o kadar gerçe e yakla mı olur. Sonlu elemanlar metodu yazılımları, kurulan modeli kendi içerisinde interpolasyon formülleri kullanarak analiz eder. Nümerik analizde yapılacak hatalar (kötü tasarlanmı matrisler) hesaplanan sonuçların do ruluk oranına yansır. Bu yüzden sonlu elemanlar metodu yazılımları kullanılırken tasarlanan modele gerçek hayatta kar ıla ılan yükler uygulanmalı ve sınır artları çok iyi hesaplanmalıdır [7].

Geleneksel metotta tek parça imal edilen biyel kolu ba ve gövde olacak ekilde kesilerek ikiye ayrılır. Bu yöntemde iki ana gereksinim vardır; Ba lık ve gövde çok hassasiyetli birle me yüzeylerine sahip olmalıdır, cıvata ve vida deliklerini tam birbirine oturtulmalıdır. Ancak, mekanik bir metod olan kırarak ayırma i lemi bu sorunları dü zeltmektedir. Biyelin büyük parçasının iç tarafında iki parçaya ayrılmayı kolayla tıracak ekilde gerilme yo unla ması sa layacak iki adet çentik bro lanarak açılır. Buna kırılma ba langıç çenti i denir. Daha sonra bir kama, bo lu a oturtularak yukarıdan darbeli bir yükte iki parçaya ayrılma gerçekle ir. Bu çe it kırılma gevrek tarzda bir kırılma olup, deformasyon ve malzeme kaybı meydana getirmez. Kırılmadan sonra vidalı yerlerden civatalanan biyel kolu müteakip prosesler için hazır hale getirilir [8].

Kırarak ayırmada kullanılan çeliklerden C70S6 çeli inin kimyasal yapısı Tablo 1.de görölmektedir. Bu yapıda Mangan (Mn) oranı dü üktür, Vanadyum (V) dü ük süneklik için eklenmi olup Kükürt (S) i lenebilirli in artması için eklenmi tir. Biyel malzemesinin yapısı perlit ve süreksiz ferrittir. Sertlik 280-310 HB arasında de i mekte, çekme mukavemeti 900+150 MPa ve akma dayanımı 520 MPa civarındadır. En yüksek uzama oranı %10'dur [9].

Shenoy ve Fatemi basit lineer burulma analizini kullanarak biyel kolunun optimizasyona çalı mı lardır. Afzal ise tezinde ve makalesinde motor biyel kolu ara tırmalarında sonlu elemanlar yöntemini derinlemesine kullanan ilk bilim adamıdır. Bu çalı malarda motor biyel kollarının çe itli ekilde burulma analizleri yapılarak bu analizler daha sonra sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak nümerik olarak incelenmi ve motor biyel kolu için optimum üretim parametreleri elde edilmi tir [10-12].

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Çalı manın bilimsel içeri i ve amacı

Motor biyel kolu üretiminde kullanılan temel malzemelerden biri olan perlitik yapıdaki C70S6 malzemesiyle kırma deneyleri, ve bunun akabinde kırma deneylerinde elde edilen veriler baz alınarak ANSYS ve LS-DYNA programlarıyla bilgisayar destekli analiz yapılmı tır. Deneyler yapılırken elde edilen biyel kolu kırma parametreleri hem motor biyel kolu optimizasyon çalı malarında, hem de motor biyel kollarının sonlu elemanlar yöntemiyle analizi sürecinde kullanılmı tır. Perlitik yapıdaki C70S6 biyel kolu, ba langıç kırma deneylerinde elde edilen veriler ı 1 ında çe itli ısıl i lemlere tabii tutulmu tur. Malzemelerin ısıl i lemler yoluyla elde edilen yeni mekanik özellikleri (perlit-ferrit, martenzit ve temperlenmi martenzit) ANSYS programına tekrar tanımlanmı ve yeniden bilgisayar destekli analize tabi tutularak deneysel sonuçlarla simülasyon analizi sonuçları kar ıla tırılmı tır. Kırma deneyleri hem gerçek ortamda hem de simülasyon ortamında motor biyel kolu ba kısmına açılan kırılma ba langıç çentikleri yardımıyla ba arılı bir ekilde gerçekleştirilmi tir. Sonlu elemanlar yöntemiyle analiz i leminde ANSYS ve LS-DYNA programları kullanılmı tır. Analizler neticesinde motor biyel kolu için en uygun malzeme bile imi tespit edilmi , bu bulgu sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan testlerle desteklenmi tir. Bu çalı ma, motor biyel kollarının optimizasyonunun sonlu elemanlar yöntemiyle derinlemesine incelenmesi ve elde edilen bulguların kar ıla tırılması noktasında geçmi te yapılan çalı malardan ayrılmaktadır.

Çalı mada ilk olarak deneysel çalı malarda elde edilen bulgulara paralel olarak çatlak ve kırılmanın simülasyon ortamında nasıl olu tu u konusunda bir fikre ula mak amaçlanmı tır. Çalı manın ikinci amacı ise çift taraflı kırılmayla sonuçlanan sürecin sonlu elemanlar yöntemiyle incelenerek nasıl bir mekanik davranı sergiledi ini görmektir. Üçüncü amaç simülasyon ortamında biyel kolu ba kısmının iç çapı boyunca uygulanan ani darbe kuvvetinin etkilerini gözlemek ve deneysel ortamdaki etkileriyle kar ıla tırmaktır.

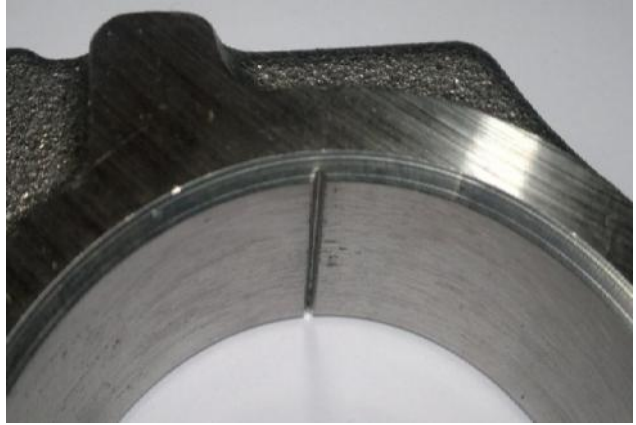
C70S6 biyel kolları üzerinde yapılmı olan geçmi çalı malardan elde edilen bulgulardan, optik ve SEM ile yapılan incelemelerden kırılmı yüzeylerin düzgün ve kırılğan oldu u görülmü tür. Özellikle kırılmı yüzeylerin birbirine tam olarak oturması ve neredeyse hiç malzeme kaybı olmaması kırılmanın uygunlu u açısından de erli bilgilerdir. Bilimsel deney sonuçları simülasyon ortamında ispatlanabilirse daha anla ılır ve daha kapsamlı hale gelir. ANSYS ve LS-DYNA gibi modern yazılım programları simülasyon analizlerinde sıkça kullanılan sonlu eleman programlarıdır. Bu programlar içerdikleri matematiksel formüller vasıtasıyla çok karma ık statik ve dinamik analiz problemlerini kolaylıkla çözebilmektedir [7].

3. DENEYSEL ÇALI MA

3.1. C70S6 biyel kollarının deneysel ve metalografik inceleme sonuçları



Resim 3.1 C70S6 kırılabilir biyel kolu [6]

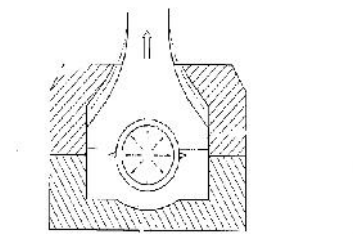


Resim 3.2 C70S6 kırılabilir biyel kolu ba langıç çenti i [6]

Deneysel biyel kolunu (Resim 3.1) iki parçaya bölmek için kullanılan yük ani ve tek darbede uygulanmıştır. Yük ve darbe hızı de i kenleri sırasıyla 1600 kN ve 330 mm/s olarak alınmıştır. Ba langıç çenti i çatlak ın ilk ba ladı ı noktadır (Resim 3.2). Deneyler sonunda mükemmel bir tek darbeli kırılma elde edilmiştir. Ba langıç çentik derinli i arttıkça kırma basıncının azaldı ı tespit edilmiştir. 0,1-0,4 mm. çatlak derinli inin en uygun çatlak derinli i oldu u da yapılan deneylerde ispatlanmıştır [6]. Deneysel safhada en önemli detaylardan biri kırılacak biyel kolunun Y-ekseninde sabitlemesidir. Sabitleme i leminden sonra 160.000 kg.lık kuvvet kırıcı konik takım üzerine uygulanarak kırıcı ucun biyel kolu ba kısmının içerisinden geçirilmesine çalı ılır (Resim 3.3).



Resim 3.3 Kırarak ayırma aparatı [6]



Resim 3.4 Gerilme yo unla ması [6]

Kırıcı takımın ekli konik ve ilk giri te biyel kolu ba kısmının çapından dar, ilerleyen safhada ise çaptan daha geni olmasından dolayı çapların e itlendi i noktada gerilme yo unla ması ba laması hedeflenmiştir (Resim 3.4). Kırıcı takımın sertli inin biyel kolundan çok daha fazla olmasına özen gösterilerek kırıcı takımda deformasyon olu maması sa lanmıştır. Kırma deneyinde uygulanan tek darbeli ani kuvvetin uygulandı ı hız 330 mm/s olarak verilmiştir.

Deneyin ba langıç safhasında darbeli yükün uygulanmasıyla kırıcı takım biyel kolu ba kısmının içinden geçmeye çalı ır. Ancak kırıcı takımın çapının biyel kolu ba kısmı çapıyla e itlendi i noktada biyel kolu ba kısmının iç çapı boyunca gerilme yo unla ması ba lar (Resim 3.4). Kırılma olu tuktan sonra her iki yüzey birbirine mükemmel ekilde oturmaktadır (Resim 3.5).

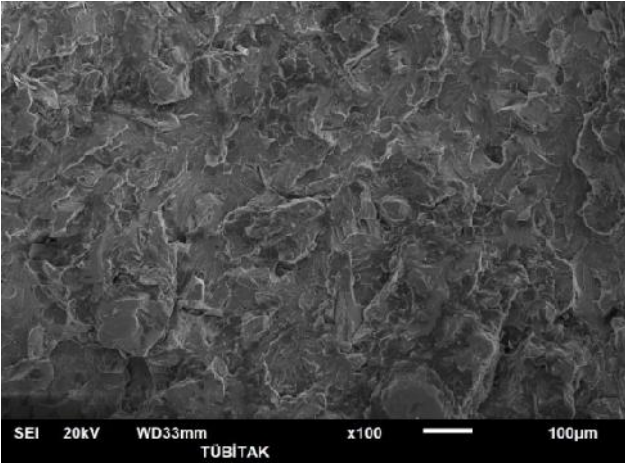


Resim 3.5 C70S6 Kırılma sonrası yüzeyler (a) [5]

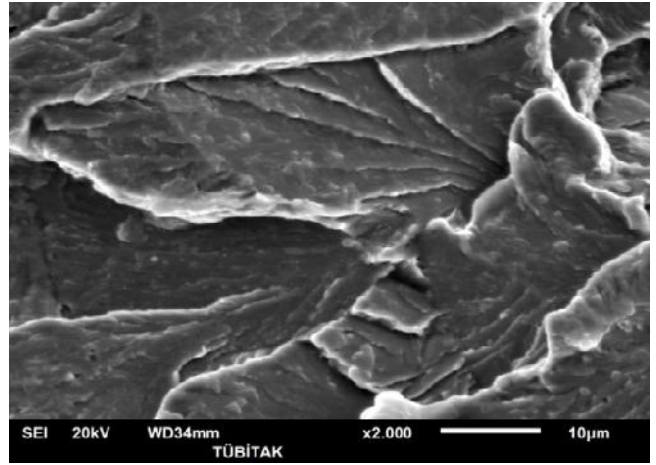


Resim 3.5 Kırılma sonrası yüzeyler (b) [5]

Bu yo unla ma arttıkça biyel kolu ba kısmı ba langıç çentiklerinden ani ekilde ayrılır ve burada Resim 3.5'te görülen pürüzlü yüzeyli kırıklar olu ur. Çatlak ilerlemesi ba langıç çentiklerinin etkisiyle düzgün ve do rusal ekilde geli erek gevrek ve iki taraflı bir kırılmayla sonuçlanır. Deney boyunca tek taraflı kırılmayı engellemek maksadıyla biyel kolunun ba kısmı biyel kolu ba kısmının çapından %1-3 kadar daha geni olarak imal edilen bir kalıp içerisine yerle tirilir. Bu sayede istenmeyen bir sonuç olan tek taraflı kırılmadan kaçınılmi olur.



Resim 3.6 SEM fotografları (Dendritik iyi perlit) [6]



Resim 3.7 SEM fotografları (Az ferrit) [6]

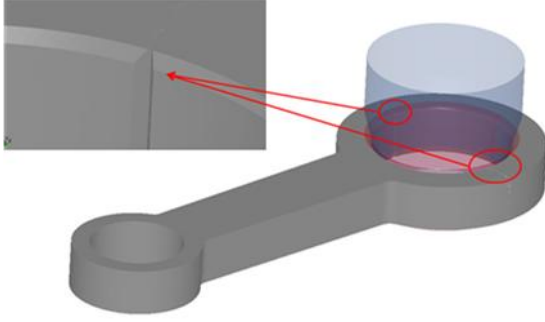
Resim 3.7 ve 3.8'de iyi perlit partikülleri ve kusursuz klevaj kırılma yüzeyleri görülmektedir. SEM mikroyapı bulgularında ço unlukla iyi lamelar ve çok küçük boyutlarda perlit bulundu u tespit edilmi tir. Mikroyapı homojen ve süreklilik gösteren bir yapıdır [5,6]. C70S6 kırılma i leminin deneysel safhasında elde edilen ve kritik olan bazı mekanik özellikler Tablo 2'de verilmi tir.

Tablo 2. C70S6 çeli inin deneylerde elde edilen bazı mekanik özellikleri [5,6]

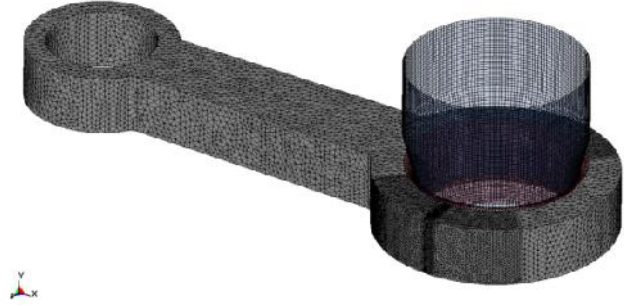
akma [MPa]	maksimum [MPa]	Sertlik [HRB]	% Uzama
560	850-1100	280-310	10

3.2. Biyel kolunun modellenmesi ve parametrelerin yazılıma tanımlanması

Deneyel safhada C70S6 çeli ine ait elde edilen tüm veriler, bulgular ve mekanik özellikler ANSYS ve LS-DYNA yazılım programına tanımlanmıştır. Kırılma ba langıç çenti i açılarak ve darbeli yük uygulanarak kırılan biyel kolları ANSYS Workbench R13 yazılımı ile modellenmiştir (Resim 9) ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çözdürülmü tür. Olu turulan sonlu eleman modeli 319547 tetra, 7700 kabuk elemanı ve 66925 dü üm noktası ile a yapısına uyarlanmıştır (Resim 10). Kırıcı takım deneylerde oldu u gibi sıkı-geçme ekinde ve biyel kolu ba kısmının iç çapına tam oturacak ekinde tasarlanmıştır.

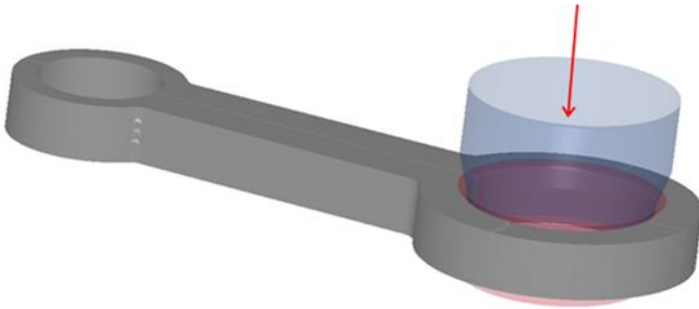


Resim 3.9 Ba langıç çentikleri ve temas noktaları



Resim 3.10 Biyel kolu simülasyon modeli

Simülasyon deneylerinin tamamında biyel kolunun Y-eksenindeki hareketi kısıtlanmıştır (Resim 11). Burada deneysel çalı malarda yapılan i lemin aynısının simülasyon çalı masında da elde edilmesi hedeflenmiştir. Tasarım tamamlandıktan sonra malzeme seçimi yapılmıştır ve mekanik özelliklerin yazılıma aktarılması sa lanmıştır. Simülasyon yazılımında kırıcı takıma Y-ekseninde 160.000 kg'lık kuvvet etkisinde 15 mm'lik yer de i tirme tanımlanmıştır.



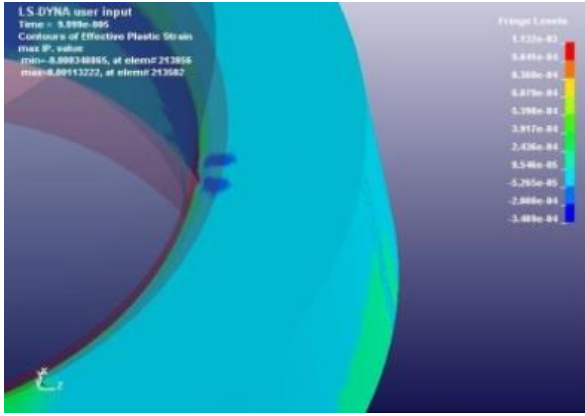
Resim 3.11 Kırıcı takımın biyel koluna oturması

Deneyel a amada elde edilen sınır ko ullarının yazılım programında tam olarak tanımlanması hayati öneme sahiptir. Bu bilgilerin LS Prepost programının uygun menü pencereleri kullanılarak yazılım programına adım adım giri i yapılmıştır. Bu bilgiler yardımıyla kırma simülasyon deneyinde tüm parçaların birbiriyle temas etmesi sa lanmaktadır.

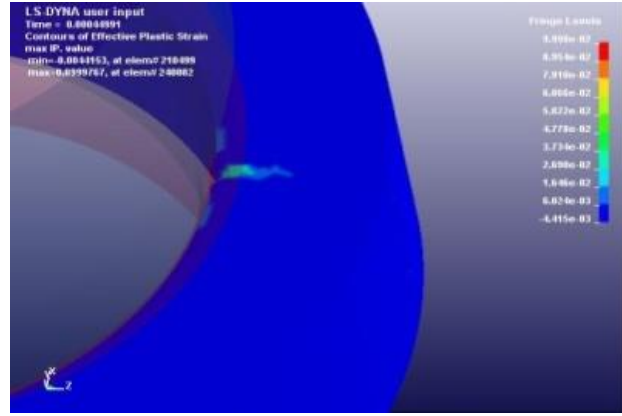
3.3. Sonlu elemanlar analizi

Simülasyon uygulaması sürecinde, deneysel çalı malarda elde edilerek Tablo 2'de toplanan de erler (Akma ve maksimum gerilme, sertlik de eri, parçanın uzama yüzdesi vb.) (Bkz. Bölüm 2) sırasıyla yazılım programına malzeme kartlarıyla birlikte yorumlanarak giri yapılmı tır. Sınır artları ve deneysel bulguların analiz programına tam olarak girilmesi simülasyon sonuçlarının gerçek deneyle uyumlu olmasını sa lamaktadır. Aksi halde simülasyon deneyi sonuçları eksik veya yanıltıcı olabilmektedir.

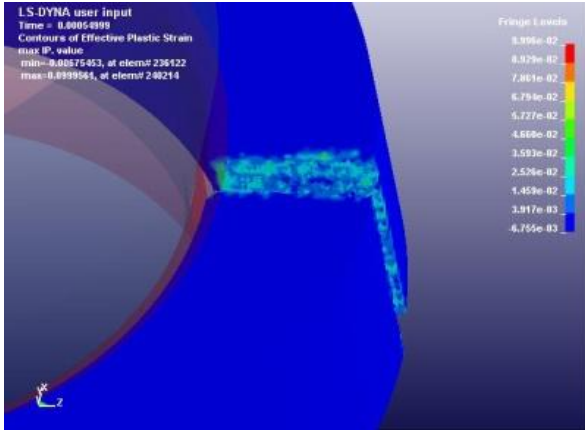
Veri giri i leminin tamamlanmasının ardından sistem LS-DYNA yazılımı ile çözdürülmü tür. Tek bir simülasyon deneyinin yakla ık çözümlü süresi modern bir bilgisayar yardımıyla 8-24 saat arasında de i mektedir. Simülasyon deneyi ba ladı ı andan itibaren, kurulan düzenekte biyel kolu Y-ekseninde hareket edemezken, kırıcı takım uygulanan 160.000 kg. lık kuvvetin etkisiyle aynı eksen üzerinde 15 mm a a ı do ru hareket etmeye, biyel kolu ba kısmı içinden geçmeye çalı ır.



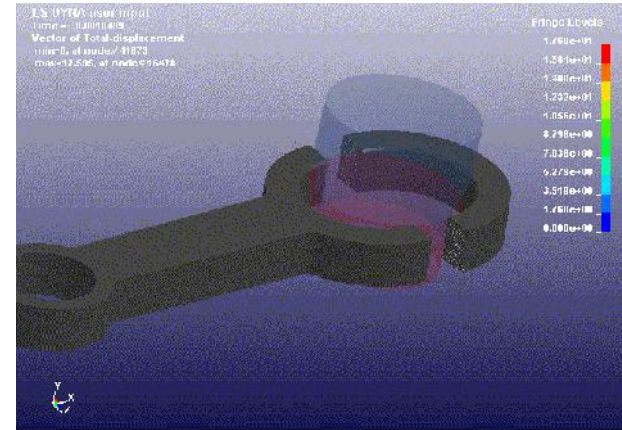
Resim 3.12 Çatlak ba langıcı



Resim 3.13 Çatlak ilerlemesi

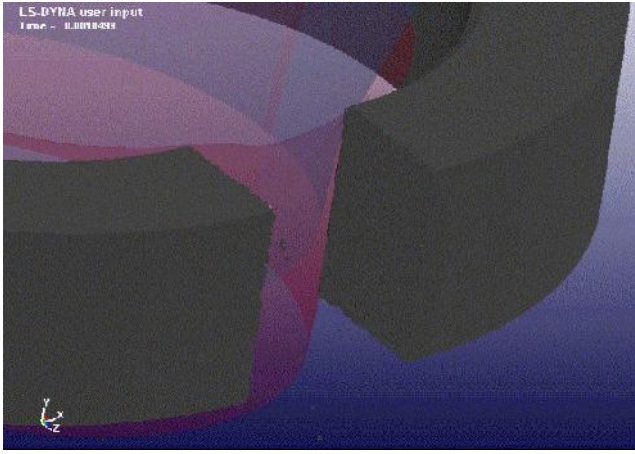


Resim 14. Kırılarak ayrılma



Resim 15. Toplam yer de i tirme

Konik yapılu kırıcı takımın çapı ile biyel kolunun iç çapı e itlendi i andan itibaren, resim 3.4'teki gibi biyel kolu ba kısmının iç çapı boyunca gerilme yo unla ması olu ur. Olu an gerilme biyel kolu ba kısmının iç çapı boyunca e it olarak da ılır. Bu gerilme yo unla ması etkisi artarak devam etti i için kırılma kaçınılmaz hale gelir. Gerilme öyle bir noktaya çıkar ki, biyel kolu ba kısmının mukavemeti bu gerilmeyi kaldıramayacak hale gelir. te bu andan itibaren çift taraflı kırılmayı sa lamak üzere tasarlanan kırılma ba langıç çentiklerinde küçük çapta deformasyonlar olu maya ba lar ve bu deformasyonlar önce çatlak ba langıcına (Resim 3.12), daha sonra da çatlak ilerlemesine (Resim 3.13) neden olarak, sonuçta iki taraflı kırılmayı gerçekleştirir. (Resim 3.14)



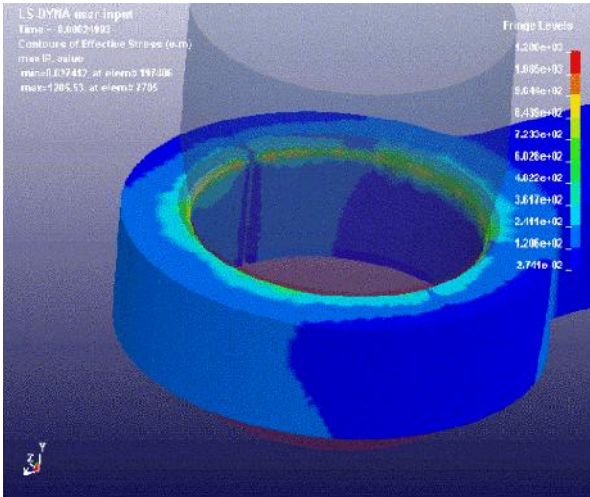
Resim 3.16 Biyel kolu kırılma sonrası (a)



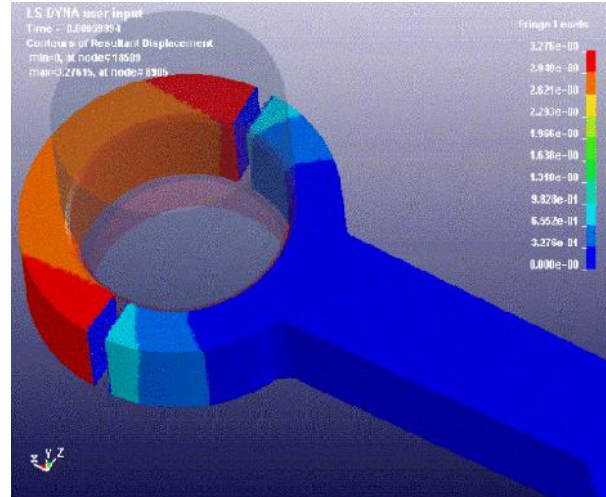
Resim 3.16 Biyel kolu kırılma sonrası (b)

Simülasyon deneylerinin sonunda meydana çıkan kırılma gerçek deneylerde elde edilen bulgularla örtü mektedir. Kırılma yüzeyleri de gerçek deneylerde oldu u gibi pürüzlü yapıda görülmektedir. Bu bulgu kırılma simülasyonunda kullanılan malzeme bile imi ve mekanik özelliklerin yazılım programına uygun ekilde giri ve tanımlama yapıldı ını göstermektedir. Bu nedenle deneysel çalı malarda oldu u gibi simülasyon deneylerinde de kırılma ve pürüzlü yüzeyler olu mu tur. Bu noktada unu da not etmek gerekir ki, simülasyonda kullanılmak üzere seçilen kırıcı takım malzemesi deneylerde hiç bir deformasyon göstermemi tir. Bu sonucu desteklemek maksadıyla yazılım programının içerdi i fomülasyonlara ilave bir sürtünme katsayısı tanımlanmamı tir.

Yazılım programına tanımlanan sertlik, uzama yüzdesi, akma ve maksimum gerilme de erleri ile, programa aktarılan malzeme özellikleri pürüzlü ve gevrek kırılma olu umunun gerçek nedenini olu turmaktadır. Bu de erlerin de i tirilmesi sonucunda farklı sonuçlar elde edilebilir. Bu parametrelerin mantıklı oranlarda de i tirilerek simülasyon deneylerinin yenilenmesi neticesinde daha kırılma ve gevrek kırılma sonuçlarına ula ılabilir (Resim 3.15). Kırılma meydana geldikten sonra kırılan yüzeyden ihmal edilebilir miktarda malzeme koptu u Resim 3.16'da görülmektedir.



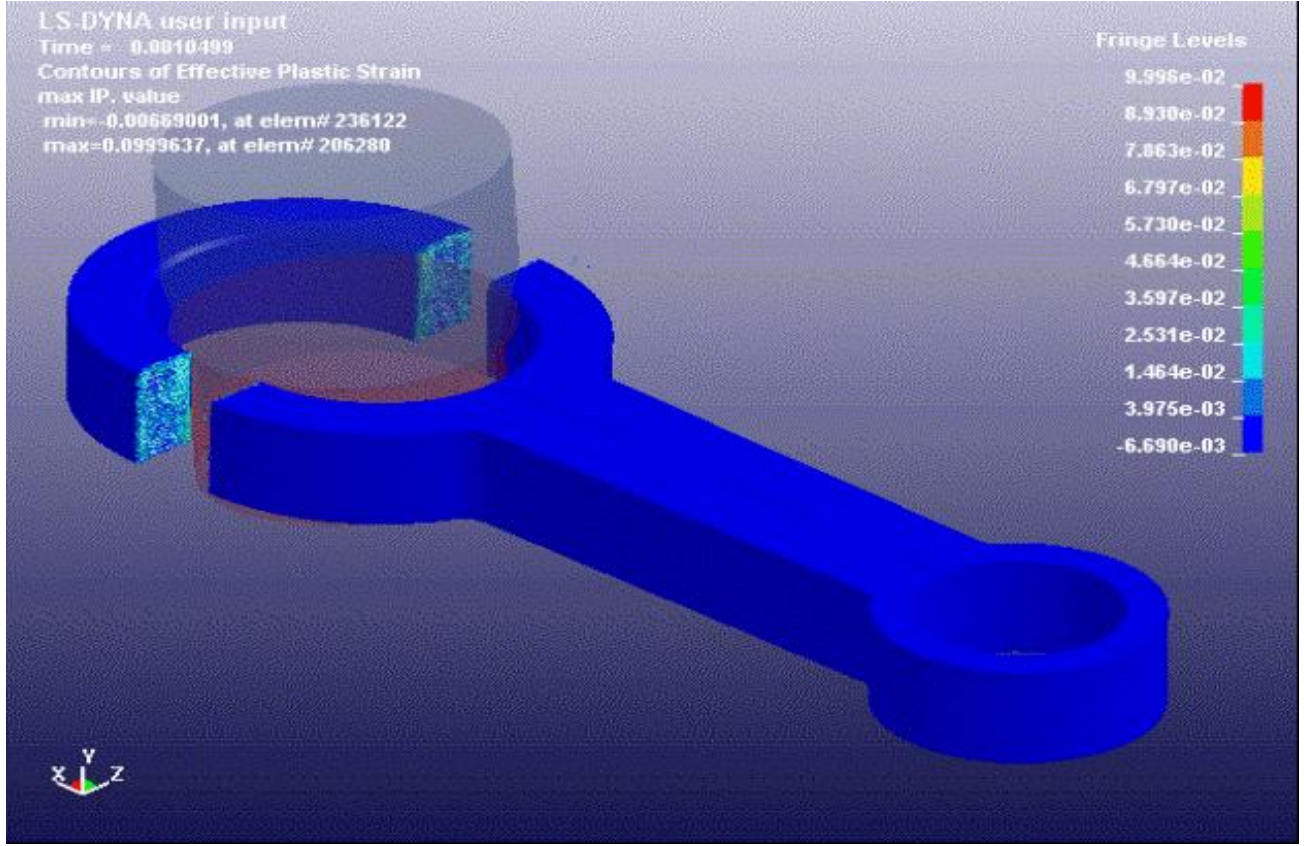
Resim 3.17 Efektif gerilme bölgeleri.



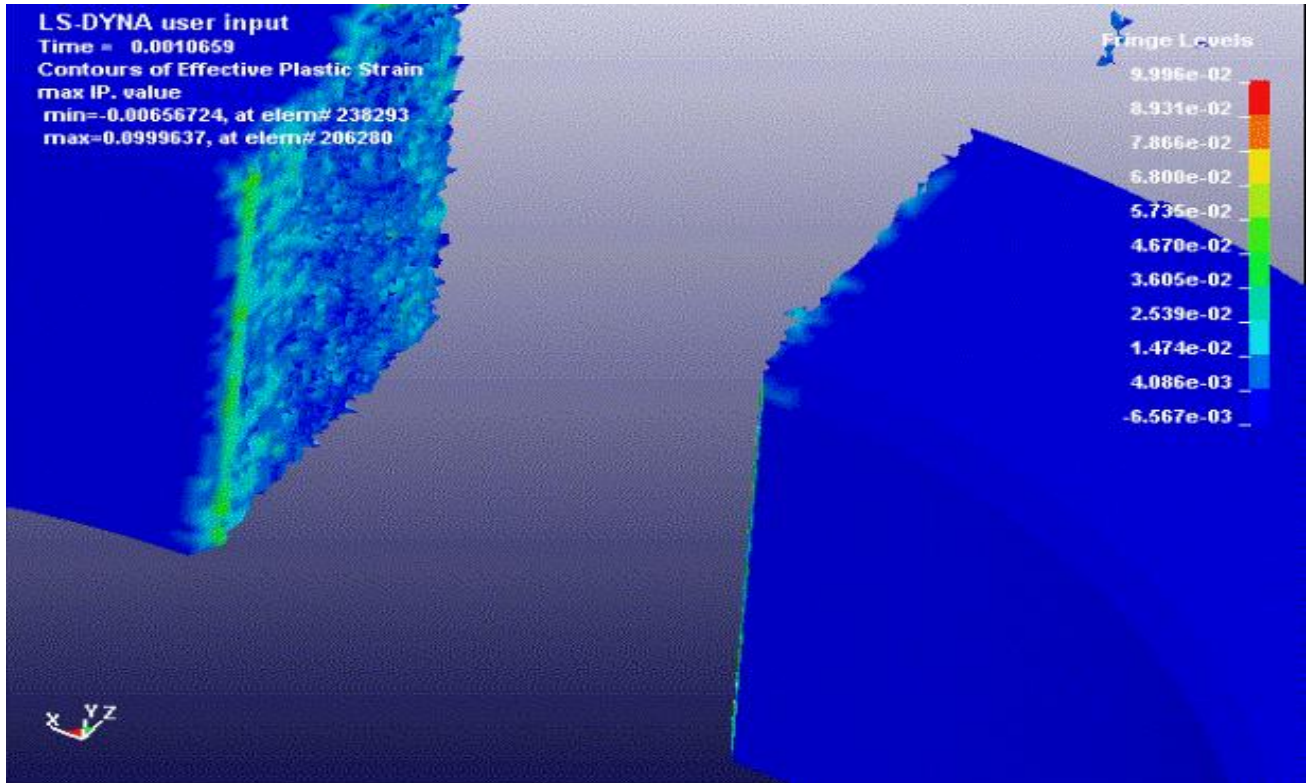
Resim 3.18 Olu an yerde i tirme bölgeleri.

Simülasyon deneylerinde kırıcı takımın a a ı hareketi esnasında biyel kolu ba kısmında meydana gelen efektif gerilmeler Resim 3.17-18'de, biyel kolu üzerindeki gerilmelerin malzeme mukavemetini

a ması neticesinde olu an iki taraflı kırılmanın sonucunda olu an yer de i tirme bölgeleri Resim 3.18'de görölmektedir.



Resim 3.19 Efektif plastik gerinme bölgeleri (a)



Resim 3.19 Efektif plastik gerinme bölgeleri (b)

Biyel kolu iç çapının üst kısmında olu an gerilme de erlerinin yüksek oranda olması, kırıcı takımın ilk anda o bölgede daha baskın olmasından ve ba kısmının Y-eksenindeki di er yönde serbest hareket edebilmesinden kaynaklanmaktadır. Kırılmı yüzeyin gerçek deneylerdeki yüzeye benzer ekilde pürüzlü olarak olu ması da Resim 3.19’da açık ekilde görülmektedir (Bkz. Resim 3.5).

4. SONUÇLAR

Deneysel ve simülasyon safhalarında;

- Kırılma biyel kolunun iç çapına açılan ba langıç çentiklerinden ba lamı tır. Kırıcı takım üzerine sabit ekilde uygulanan kuvvet etkisiyle çatlak hızla ilerlemi , iki taraflı kırılma gerçekleş mi tir.
- Tek taraflı bir kırılmayı engellemek için biyel kolu ba kısmı Y-ekseninde hareket etmeyecek ekilde sabitlenmi tir. Tek taraflı bir kırılma olu ması halinde elde edilecek bulgular bilimsel bir anlam ifade etmemektedir.
- Genel olarak, kırıcı takıma uygulanan toplam yer de i tirme biyel kolu ba kısmı boyunca 15 mm.dir. Bu yer de i tirme miktarı iki taraflı kırılmayı gerçekle tirmeye yetecek büyüklüktedir.
- Kırılma meydana geldikten sonra kırılan yüzeyden ihmal edilebilir miktarda malzeme koptu u resimlerde görülmektedir. Benzer sonuçlar mekanik deneyler sırasında da gözlemlenmi tir.

Bunlara ilave olarak, sonuçlar kar ıla tılırken a a ıdaki faktörler dikkate alınmalıdır;

- Yazılım programında bir çatlak ba langıcı, çatlak ilerlemesi ve ba langıç çenti i etkisiyle çift taraflı kırılma ba arılı ekilde simüle edilmi tir.
- Bilimsel deneyler ve simülasyon analizi sonuçları, deney parametrelerinin sürece etkisi bakımından kar ıla tırılabilir, ancak bu sonuçlar kırılma yüzeyleri bakımından kar ıla tırlamaz.
- Deneysel çalı malarda elde edilen pürüzlü yüzeyleri simülasyon ortamında da elde edebilmek için simülasyon modelinin yazılım programına gerçek hayattakine yakın bir kusursuzlukta tanımlanması gerekmektedir.
- Yazılım programına giri yapılan parametreler ne kadar arttırılırsa simülasyon zamanı da o kadar uzun olur, bu da simülasyonun ba arısız olmasına neden olabilir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Lee M.K., Lee H., Lee T.S., Jang H., Buckling Sensitivity of a Connecting Rod to the Shank Sectional Area Reduction, Materials and Design 2796-2803, Seul, Korea, (2010)
- [2] Zhou Qinghui, Wang Yunying, Ji Wei, The Finite Element Analysis of Connecting Rod of Diesel Engine, International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (2010)
- [3] Jaju S.B., and Charkha G., Modeling & Analysis of Connecting Rod of Four Stroke Single Cylinder Engine for Optimization of Cost & Material, International Journal of Applied Engineering Research, ISSN 0973-4562 V.4 Number 7, sf. 1277–1285, (2009)
- [4] James R. Dale, Connecting rod evaluation, Metal powder industries federation, Princeton, NJ, (2005)
- [5] Aksoy Z., Özdemir Z., Özdemir T., A metallographic examination of fracture splitting C70S6 steel used in connecting rods, Marmara Univ. FBE journal, 24 (2) sf.45-58, (2012)
- [6] Aksoy Z., Özdemir Z., Özdemir T., A study on fracture parameters of crackable connecting rods, Sakarya Univ. FBE journal, 16 (2) sf.113-122, (2012)
- [7] Eruslu O.S., Finite Element Analysis of Bolted Cold Formed Steel Strips, Thesis of PhD, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir-Türkiye, sf.17-18, (2001)

- [8] Whittaker D., (2001) The competitions for automotive connecting rod markets. Metal Powder Report 5:32–36
- [9] Weber M., (1993) Comparison of advanced procedures and economics for production of connecting rods. Powder Metall Int 26(3):125–128
- [10] Pravardhan S., Fatemi A., Connecting rod optimization for weight and cost reduction, SAE International 2005-01-0987, University of Toledo, US, (2005)
- [11] Shenoy S., Dynamic load analysis and optimization of connecting rods, Thesis of MS, University of Toledo, US, (2005)
- [12] Afzal A., Fatigue behavior and life predictions of forged steel and powder metal connecting rods, Thesis of MS, University of Toledo, US, (2004)