

## Krank Milinde Kullanılan Ana Yatağın Nümerik Hasar Analizi

Mehmet Şah GÜLTEKİN<sup>1,2,a</sup>, Mehmet Said BAYRAKLILAR<sup>3,b</sup>, Hamit ADİN<sup>4,c</sup>

<sup>1</sup>Siirt Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Siirt

<sup>2</sup>Batman Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Batman

<sup>3</sup>Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Siirt

<sup>4</sup>Batman Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Batman

<sup>a</sup>ORCID: 0000-0002-1251-9219; <sup>b</sup>ORCID: 0000-0002-5365-4441; <sup>c</sup>ORCID: 0000-0003-2455-967X

### Makale Bilgileri

Geliş : 11.09.2024

Kabul : 23.12.2024

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1606477

### Sorumlu Yazar

Mehmet Şah GÜLTEKİN

mehmetsahgultekin@siirt.edu.tr

### Anahtar Kelimeler

Sonlu elemanlar analizi

Malzeme tasarım ve davranışları

Kaymalı yataklar

Gerilmeler

Aşınma

Hasar analizi

**Atıf şekli:** GÜLTEKİN, M.Ş., BAYRAKLILAR, M.S., ADİN, H., (2024). Krank Milinde Kullanılan Ana Yatağın Nümerik Hasar Analizi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 39(4), 1151-1164.

### ÖZ

Krank milinde kullanılan ana yatak, motorun krank milini desteklemek ve dönmesini sağlamak için kullanılan bir parçadır. Genellikle motor bloğunda bulunur ve krank milinin yataklanması için uygun yüzeyleri sağlar. Bu yataklar genellikle yüksek dayanıklılık ve sürtünme direnci sağlayacak şekilde tasarlanmış metal alaşımlarından imal edilir. Krank milinin doğru hizalanmasını, motorun uzun ömürlü ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlar. Ana yatak sistemlerinde yatak ile mil yüzeyleri arasında oluşan sürtünme direncinin minimum düzeyde olması istenir. Bunu sağlamak için, yüzeyler arasında sürtünme kuvveti oluşturan yuvarlanma elemanları ya da bir yağlayıcı madde kullanılır. Günümüzde, Krank milinde kullanılan ana yatakların tribolojik performanslarını arttırmaya yönelik çalışmalar halen devam etmektedir. Bu amaçla, çalışmada motor bloğunda bulunan krank mili ile sürekli sürtünme halinde olan ana yatak parçasının motor çalışırken maruz kaldığı yüklerin nümerik hasar analizi yapılmıştır. Parçanın yatak yüzeyine etki eden noktalarda yatağın belirli bölgelerine kuvvetler uygulanarak statik analiz, Von Mises gerilmeleri, şekil değiştirme, gerilme ve deformasyon analizleri detaylı bir şekilde yapılarak, malzemesi alaşımlı çelik olan ana yatağın nümerik hasar analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler çalışmanın sonuç kısmında yorumlanmıştır. Çalışmanın sonuçlarında, motorun verimli ve uzun ömürlü çalışabilmesi için ana yatak tasarımında dikkat edilmesi gereken faktörler ve materyal seçiminin etkileri detaylı bir şekilde tartışılmıştır. Bu analiz, motor tasarımcılarına, ana yatakların performansını iyileştirmeye yönelik önerilerde bulunulmasına olanak sağlamaktadır.

## Numerical Damage Analysis of Main Bearing used in Crankshaft

### Article Info

Received : 11.09.2024

Accepted : 23.12.2024

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1606477

### Corresponding Author

Mehmet Şah GÜLTEKİN

mehmetsahgultekin@siirt.edu.tr

### Keywords

Finite element analysis

Material design and behavior

Plain bearings

Stress

Wear

Damage analysis

**How to cite:** GÜLTEKİN, M.Ş., BAYRAKLILAR, M.S., ADİN, H., (2024). Krank Milinde Kullanılan Ana Yatağın Nümerik Hasar Analizi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 39(4), 1151-1164.

### ABSTRACT

The main bearing used in a crankshaft is a part of the engine used to support the crankshaft and allow it to rotate. It is usually located in the engine block and provides the appropriate surfaces for crankshaft bearing. These bearings are usually made of metal alloys designed to provide high durability and friction resistance. They ensure correct alignment of the crankshaft and long life and efficient engine operation. In main bearing systems, the friction resistance between the bearing and shaft surfaces is desired to be at minimum level. To achieve this, rolling elements or a lubricant that creates a frictional force between the surfaces are used. Nowadays, studies to improve the tribological performance of the main bearings used in the crankshaft are still ongoing. For this purpose, in this study, numerical damage analysis of the loads that the main bearing part, which is in constant friction with the crankshaft in the engine block, is subjected to during engine operation, has been carried out. By applying forces to certain parts of the bearing at the points acting on the bearing surface of the part, static analysis, Von Mises stresses, strain, stress and deformation analyzes were performed in detail, and numerical damage analysis of the main bearing, whose material is alloy steel, was performed. The data obtained are interpreted in the conclusion part of the study. In the results of the study, the factors that should be considered in the design of the main bearing for efficient and long-lasting operation of the motor and the main bearing design are discussed.

## 1. GİRİŞ

Motor bloğunun içinde hassas bir şekilde üretilen ve sürekli olarak krank mili ile sürtünme halinde olan, aynı zamanda motor bloklarında krank milini taşıyan yataklama elemanlarına ana yatak adı verilir. Ana yatak sayısı motor bloklarında her zaman kol yatak sayısının bir fazlası yani dört silindire sahip motorlarda beş tane ana yatak takılır. Kaymalı yataklarda birbirine göre dönme hareketi yapan yüzeyler arasında bir yağ filmi meydana gelir [1,2].

Kaymalı yataklar, darbe, gürültü ve titreşimleri sönmeler. Yağlama gresi kullanıldığında toza karşı koruma sağlarlar. Montajları basittir ve model tasarımı az yer kaplarlar; ayrıca büyük çaplardaki rulmanlı yataklardan daha ekonomiktirler. İyi bir yağlama ile kaymalı yataklar çok yüksek hızlara çıkabilirler. Ayrıca, aşınma değerini azaltmak için uygun bir yağlama yöntemi ile tercih edilirler. Ancak yeterli yağ olmaması durumunda hızlı hasar meydana gelebilir, bazı tasarımlarda pahalı ve karmaşık bir yağlama sistemi gerekebilir, yüksek yağ tüketimine sahip olabilirler ve yağ filmi oluşması için zaman gerektirebilir; bunun yanı sıra yatağın kullanıldığı milin yüzey kalitesinin iyi olması gerekir. Kaymalı ana yataklar, yağ tarafından iyi ıslatılmalı, iyi basınç ve aşınma direncine sahip olmalı, yatak malzemesi zarf yüzeyine iyi bir şekilde yapışmalı, sıcaklıkla sertliğini kaybetmemelidir. Ayrıca, yağsız kalma durumunda mile hemen zarar vermemeli, döküm ve talaşlı imalat işçiliği kolay olmalı ve düzgün bir yüzey sunmalıdır. Isınma nedeniyle oluşan zararları önlemek için ısıyı iyi iletmelidirler ve korozif etkilere dayanıklı olmalıdırlar; ayrıca özgül ağırlıkları düşük olmalıdır [3].

Yatakta meydana gelen sürtünme nedeniyle oluşan ısı değerleri ( $L_s$ ) şeklindedir. (Eşitlik 1) =

$$L_s = \mu \cdot F \cdot V \quad (3600/4186) \quad (1)$$

Yatak yüzeyinden dışarı atılan ısı miktarı ise ( $L_\zeta$ ) şeklindedir. (Eşitlik 2) =

$$L_\zeta = \alpha \cdot A_\zeta \cdot \Delta t_1 \quad (2)$$

Suni soğutma ile dışarı atılan ısı ( $L_{yağ}$ ) ile ( $A_\zeta$ ) şeklinde olmaktadır. (Eşitlik3, Eşitlik4) =

$$L_{yağ} = c \cdot G \cdot \Delta t_2 \quad (3)$$

$$A_\zeta \approx (8 \dots 10) \cdot D \cdot B \cdot \pi \quad (4)$$

Sessiz çalışma özelliği ile büyük ve darbeli yüklere dayanım gerektiren yerlerde (içten yanmalı motorlarda biyel ve krank yatakları gibi), titreşim sönmeme vb. gibi isteklerin bulunduğu bütün yataklama durumlarında kullanılır [3].

Rulmanlı yataklar, dişli çarklar ve kam mekanizmaları gibi sürekli sürtünme teması içinde olan parçalar, temas alanının küçük olması nedeniyle Hertz basınçlarına maruz kalır. Bu, temas yüzeylerinin hemen altında farklı değerlere sahip büyük yüklerin oluşmasına neden olur ve bu da yatakta ve milde yorulmaya sebep olabilir. Tekrarlayan ve değişen yükler sonucunda maksimum kayma gerilmelerinin meydana geldiği yerlerde plastik deformasyon ortaya çıkar; ayrıca dislokasyonlar nedeniyle çok küçük boşluklar meydana gelir [4].

Uzuner ve arkadaşları [5], 45 derece eğime sahip radyal kaymalı ve plastik malzemeden yapılan yatakların temas yüzeyi sıcaklığı ve sürtünme katsayısındaki değişimleri, yüzey basıncına ve kayma hızına bağlı parametrelere göre incelediler. Çalışmaları, sürtünme katsayısının kayma hızıyla arttığını, ancak yüzey basıncıyla azaldığını gösterdi. Ayrıca, temas yüzeyi sıcaklığının hem kayma hızı hem de basınçla arttığını bulmuşlardır.

Çuvalcı [6] yapmış olduğu çalışmada çinko-alüminyum esaslı ZA-27 alaşımından ve ticari bronzdan ürettikleri kaymalı yatakları talaşlı imalat yöntemiyle üretmiştir. Bu yatakları, laboratuvar ortamında mevcut bir kaymalı yatak ve yapılan deney düzeneğiyle farklı çalışma parametrelerinde sürtünme deneyine tabi tutarak malzemelerin sürtünme davranışlarını gözlemlemiştir. Yaptıkları deneyler sonucunda yatakların sürtünme faktörünün yatak basıncı tarafından etkilendiğini ve basınç arttıkça sürtünme değerinin

önemli ölçüde azaldığını gözlemlemişlerdir. Aynı zamanda, yatak boşluğunun artmasıyla birlikte yatakların sürtünme faktörlerinin değerinin düştüğünü belirlemiştir.

Adatepe ve arkadaşları [7] statik yüke maruz kalan radyal kaymalı yataklarda (Chrysler biyel kolu yatağının) sürtünme katsayısındaki değişimi belirlemek için teorik ve deneysel çalışmalar yapmışlardır. Yapılan çalışmanın teorik bölümünde, yatak yükünün, yağ viskozitesi değişiminin ve yatak boşluğunun sürtünme katsayısına etkisi incelenmiştir. Deneylerle elde edilen veriler ışığında ise, sürtünme momentine yatak değerlerinin etkisi TM 290 hidrodinamik radyal kaymalı yatak deney setinden ölçülmüştür. Ölçülen değerler kullanılarak sürtünme momentinden sürtünme katsayısı hesaplanmış ve sonuç olarak teorik ve deneysel olarak belirlenen sürtünme katsayıları karşılaştırılmışlardır.

Canbulut ve arkadaşları [8] yapmış oldukları çalışmada, hidrostatik eksenel kaymalı yatağın optimal tasarım parametrelerini ve çalışma koşullarını belirlemek için teorik analiz ve deneysel verilere dayandırmışlardır. Araştırmalarında, yapay zekanın bir optimizasyon yöntemi olan genetik algoritma yöntemini kullanarak, teorik sınırlamaların yanı sıra deneysel çalışma koşullarını da dikkate alarak çok kriterli analizler gerçekleştirmişlerdir. Genetik algoritmaların optimizasyonu, çalışma koşullarının ve tasarım parametrelerinin belirlenmesinde geniş bir çözüm yelpazesi sunmuşlardır.

Mil, aks gibi dönen ve salınım hareketi yapan elemanları yatak görevi yapması için kullanılan makine elemanlarına kaymalı yataklar adı verilir. Artun [9]'a göre günümüzde kaymalı yatakların tribolojik performanslarını arttırmak için yoğun akademik çalışmalar halen yapılmaktadır.

Güler ve arkadaşları [10] yapmış oldukları çalışmada, hidrodinamik olarak yağlanan kaymalı yatakların sürtünme katsayısı, basınç dağılımı, yağ filminde oluşan kalınlık, yağ sarfiyatı gibi değerlerin, yatak tasarımı ve optimum enerji verimliliği açısından önemli tasarım kriterleri olduğunu ortaya koymuşlardır. Basınç dağılımını ifade eden Reynolds yağlama diferansiyel denklemi, sonlu elemanlar yöntemiyle çözülerek her bir basınç noktası için iteratif çözümler sunmuşlardır. Geliştirilen algoritma kullanılarak basınç değeri, yağlayıcı tabaka kalınlığı, sürtünme katsayısı ve yük taşıma kapasitesi değiştirilerek belirlenmiştir.

Solmaz [11] yapmış olduğu çalışmada, eksantrik hidrostatik kaymalı yatakları ele almıştır. Bu çalışmada, eksantrik hidrostatik kaymalı yataklar için dairesel ve dairesel tipte yataklar incelenmiştir. Eksantrik hidrostatik kaymalı yataklar ve halka yivli rulmanlar için açıkça belirlenmesi gereken miktarlar şunlardır: yük taşıma kapasitesi, debi, sürtünme gücü, pompanın ihtiyaç duyduğu güç, yatağın ihtiyaç duyduğu toplam güç ve sıcaklık artış oranlarıdır.

Baş [12] yapmış olduğu çalışmada, hidrodinamik kaymalı yataklarda sürtünme katsayısı, yağ filmi kalınlığı, basınç dağılımı, yağ akışı vb. parametreler, rulman tasarımı ve optimum enerji verimliliği açısından önemli tasarım kriterleri olduğunu belirtmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün hidrodinamik kaymalı yatakların performansı üzerindeki etkisini incelemek için, aynı yatak malzemesinden ve üç farklı yüzey pürüzlülüğünden yapılmış yatak yuvaları kullanılarak farklı yük ve sıcaklıklarda deneyler yapmıştır.

Toklar [13] yaptığı çalışmada, rulmanların deformasyonunu dikkate alan eksenel kaymalı rulmanların çalışma özelliklerini incelemiştir. Çalışma sırasında rezervuardaki basınç dağılımını ilk olarak Reynolds denklemi kullanarak bulmuştur. Reynolds denkleminin, izotermal koşullar altında ve yağın viskozitesinin sabit olduğu varsayılarak çözüldüğünü gözlemlemiştir. İkinci aşamada, lineer elastik malzemelere uygulanan Gerilme-şekil değiştirme bağıntıları olarak adlandırılan bünye denklemleri kullanılarak tabakadaki deformasyon miktarı belirlenmiştir. Sonuçların genel bir anlam taşıması açısından boyutsuz denklemlerle çalışmayı tercih etmiştir. Çalışmanın sonunda, yatağın belirli bir basınca tepki olarak deformasyon miktarı ve yatağın deformasyon öncesi ve sonrası taşıma kapasitesi belirlenmiştir.

Polat [14] çalışmasında, dairesel sektör şekilli eksenel hidrodinamik kaymalı yatakların performans özelliklerini hesaplamak için kutupsal koordinatlarda genelleştirilmiş Reynolds denklemi elde etmiş ve sonlu farklar yöntemiyle sayısal olarak çözmüştür. Hazırlanan bilgisayar programı, katmanın istenilen geometrisinin ve boyutlarının belirlenmesini sağlamakta ve dolayısıyla herhangi bir dönüşüme gerek kalmadan doğrudan sonuçların elde edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu sayede, belirli geometrik mesnetler için hazırlanan farklı boyutsuz eğrilere bağlı kalmadan, farklı geometrilerdeki mesnetlerin boyutsal özelliklerinin doğrudan değerleri elde edilebildiği sonucuna ulaşmıştır.

Çeşitli taşıma araçlarında kullanılan aks milinin mekanik hasar analizini ve çelik malzemelerdeki karakteristik değişimleri sayısal olarak incelemişlerdir. Akslar, nakliye araçlarından otobüs, otomobil ve forkliftlere kadar çeşitli araçlarda kullanıldığı için güvenilir bir yapıya sahip olmalıdır. Akslar genellikle dış etkenlerin neden olduğu yüklerle karşılaşır. Bu çalışmada, aks milinin çeşitli yüklenme koşullarındaki mekanik davranışı gözlemlenmek için mekanik testler sayısal analizlerle desteklenmiştir. Hasar gelişiminin fiziksel nedenleri sayısal analizlerle anlaşılabilir. Çalışmanın amacı, AISI 1035 çeliğinden yapılan aks milinin optimizasyon tekniğiyle tasarım değişkenlerinin en uygun değerlere ulaşmasını sağlamaktır. Solidworks programı kullanılarak tasarlanan aks milinin sayısal analizleri yapılarak optimum değerler elde edilmiştir. Analiz sonuçları, aks uçlarında deformasyon meydana geldiğini göstermiştir [15].

Adin ve arkadaşları [16] göre yorulma davranışları yamasız ve yamalı alüminyum borular üzerinde sayısal olarak incelenmiştir. Yorulma analizi için Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılmış ve Ansys Workbench (15.0) programıyla uygulanmıştır. Analizlerde Al 6063 alüminyum boru, DP-460 yapıştırıcı ve [0/90]<sub>2</sub> takviyeli açılı cam-epoksi kompozit yama malzemeleri kullanılmıştır. Sayısal çalışma sonuçları, yama boyutunun yorulma mukavemetinde etkili bir parametre olduğunu göstermiş ve çeyrek daire ve yarım daire kompozit yamaların yorulma ömrünü artırdığını ortaya koymuştur. Ayrıca yapılan analizler, çeyrek daire yamalı alüminyum boruların daha yüksek yorulma mukavemetine ulaştığını göstermiştir.

Adin ve arkadaşları [17] göre piyasadan temin edilen hasarlı bir fren diski incelenmiştir. Fren diskine neden olan kırılma ve aşınma faktörleri araştırılmış ve Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Parça modellemesi Solidworks paket programıyla yapılmış ve bu model ANSYS paket programıyla analiz edilmiştir. Analiz sonucunda fren diskine neden olan hasarın kökenleri tespit edilmiştir.

Kam mili, krank milinden aldığı hareketle motorun egzoz ve hava subaplarını düzenli olarak açıp kapatır. Bu işlem, içeri hava girişini sağlar, yanma işlemini başlatır ve ardından kirli havanın egzozdan atılmasını sağlar. Genellikle yüksek kaliteli çelik alaşımlarından üretilen kam milleri, sertleştirilmiş kam yüzeylerine sahiptir. Her silindir için bir emme ve bir egzoz kamı bulunur, ancak bazı motor tiplerinde karşılıklı silindirlere için tek bir emme ve tek bir egzoz kamı kullanılır. Örneğin, DOHC motorlarda emme ve egzoz supapları için ayrı ayrı kam mili bulunabilir sonucuna ulaşılmıştır [18].

Sağlam ve arkadaşları (2018) göre ISUZU marka EUROBUS model midibüsün yaprak yayının üzerine gelen kuvvetlerle ilgili nümerik statik analizler Solidworks paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yaprak yaylarının kullanımında oluşabilecek potansiyel hasarların önlenmesi için analizler yapılmış ve malzeme üzerinde oluşabilecek hasarlar değerlendirilmiştir. Bu veriler, istenmeyen sonuçların engellenmesi amacıyla kullanılmıştır.

Makine elemanlarının önemli bir parçası olan mil, dişli çark, kayış kasnağı, zincir dişlisi gibi parçaları taşır ve dönebilmelerini sağlar. Yüklerin etkisiyle eğilme, döndürme momentiyle burulma gibi kuvvetlere maruz kalır. Çelik alaşımların kaynak malzemesi olarak kullanımı, sıcak çatlamların oluşumunu etkileyen faktörlerin araştırılmasında önemli bir rol oynamıştır. Ancak deneysel çalışmalar, alaşımlı kaynakların sıcak çatlama ile sonuçlanmasında etkin rol oynayan faktörlerin tam olarak ayrıştırılmadığını göstermiştir [19].

Makaracı ve Bayraklılar [20] yapmış olduğu çalışmada, doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi kullanarak rulmanların mekanik davranışını incelemiş ve delik çapı, katman kalınlığı ve şekil gibi parametrelerin etkilerini araştırmıştır. Bulgular, dış katmanların en yüksek stres seviyelerine maruz kaldığını ve özellikle delik çapının değiştirilmesinin maksimum gerilimi azaltarak rulmanların kullanım ömrünü uzattığını göstermiştir.

Koçak ve arkadaşları [21] göre bir shaft modelinin yapısının analiz edilmesi ve topoloji optimizasyonun uygulanması üzerine odaklanmıştır. ANSYS yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen analizler sonucunda, maksimum gerilimde %2,65, maksimum gerinimde %2,46 azalma ve ağırlıkta %57,81 oranında azalma gözlemlenmiştir. Ancak maksimum deformasyonda %33,24'lük bir artış tespit edilmiştir, bu da daha fazla değerlendirme gerektirmektedir. Topoloji optimizasyonun potansiyelini vurgulayan bu sonuçlar, daha hafif ve daha güçlü shaft modellerinin mühendislik uygulamalarında kullanımını desteklemiştir.

Özbakış (2023) yapmış olduğu çalışmada ağır ticari araçlarda kullanılan kardan millerinin yorulma dayanımını sanal ve fiziksel testlerle inceleyerek, sanal testlerin fiziksel testlere en yakın sonuçları vermesi

için parametrelerin belirlenmesini amaçlamıştır. Çekme ve yorulma testleri, SAE 1141, C45E ve 41Cr4 çelik türlerinin mekanik özellikleri ile gerilme-yorulma davranışlarını ortaya koymuş, ardından fiziksel ve sanal testler arasında korelasyon sağlamıştır. Elde edilen veriler, kardan millerinin yorulma dayanımını artıracak parametrelerin tespiti için temel oluşturmuştur [22].

Bu çalışma, motor arızalarına neden olan ve endüstride "yatak sardı" olarak bilinen ana yatak sorunlarının detaylı incelenmesiyle krank milinin taşıyabileceği belirli yük senaryoları ve kullanılan malzeme türü bakımından verilerin belirlenmesini amaçlamaktadır. Motor bloğundaki diğer parçalara kıyasla ana yatak üzerine yoğunlaşan bu araştırma, ilgili literatürde önemli bir boşluğu doldurarak sektöre katkı sağlamayı hedeflemektedir.

Von Mises gerilmesi, karmaşık gerilme durumlarında malzemenin akma dayanımını değerlendirerek bileşenlerin taşıyabileceği maksimum yükleri tahmin etmek için kullanılır. Krank milinin ana yataklarında bu tür analizler, yük taşıma kapasitesinin belirlenmesi ve motor arızalarının önlenmesi açısından kritik öneme sahiptir [23].

Benzer şekilde, şekil değişimi analizi, malzemenin elastik ve plastik deformasyon sınırlarını anlamak için hayati bir araçtır. Ana yatakların şekil değişimi özellikleri, krank milinin uyumlu çalışmasını ve motorun uzun vadeli dayanıklılığını sağlamak için incelenmelidir. Bu tür yaklaşımlar, motor bileşenlerinin optimize edilmesi, aşırı yüklenmelerin öngörülmesi ve "yatak sardı" gibi yaygın arızaların nedenlerinin anlaşılması açısından temel oluşturmaktadır.

Bu bağlamda, bu çalışmanın Von Mises gerilmesi ve şekil değişimi gibi kavramları ele alarak motor endüstrisine sunduğu analitik çerçeve, yalnızca literatürdeki boşlukları doldurmakla kalmayıp aynı zamanda daha dayanıklı ve verimli motor tasarımları için bir yol haritası oluşturmaktadır [24].

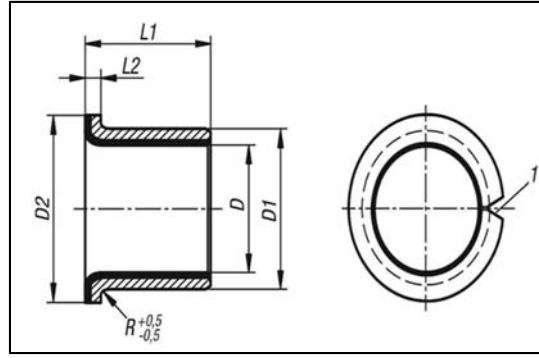
## 2. YÖNTEM

Motorların blok kısmında bulunan hassas olarak üretilen ve krank mili ile sürekli sürtünme halinde olan aynı zamanda motor bloklarında krank milini taşıyan ana yatak elamanının malzeme özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Alüminyum alaşımlı çelik 2219-T31 mekanik özellikleri

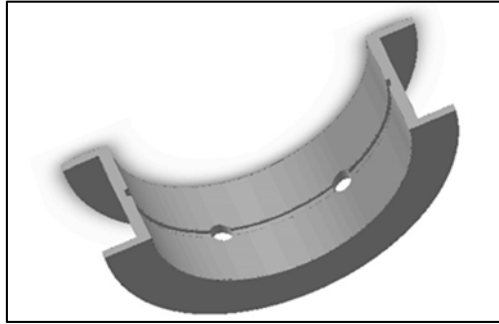
Statik yük değeri	250 N/mm <sup>2</sup>
Dinamik yük değeri	140 N/mm <sup>2</sup>
Sürtünme katsayısı (Kuru)	0,03 - 0,20
Kayma hızı, kuru	2 m/s
Yağ ile yağlama ve kayma hızı	maks. 5 m/s
Isıl iletkenlik değeri	42 W (m*K)-1
Isıl genleşme katsayısı	22 x 10 <sup>-6</sup> /K
Sıcaklık değerleri	-195 °C ila +280
Yoğunluk	2840 kğ/m <sup>3</sup>
Termal iletkenlik	116 W/mK
Özgül ısı	886 J/Kğ.K
Elastisite modülü	74Gpa
Poisson oranı	0,33 N/A
Yırtılma modülü	2,7e+010N/m <sup>2</sup>
Gerilme mukavemeti	360000000 N/m <sup>2</sup>
Akma mukavemeti	250000000 N/m <sup>2</sup>
Termal genleşme katsayısı	2,23e-005

Titreşim, darbe ve gürültü sönümlenme özelliği olan titreşimlere karşı hassas olmayan kullanıldığı yerde gresele yağlama halinde toza karşı korumalı bir şekilde duran basit tasarımı sayesinde iki parçaya ayrılabilen büyük çaplarda rulmanlı yataklara göre daha ekonomik olan endüstride yaygın olarak kullanılan kaymalı yatakların şematik görünümü Şekil 1'de verilmiştir.



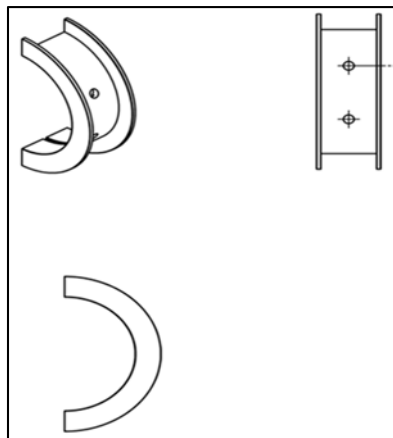
Şekil 1. Kaymalı yatak sisteminin şematik görünümü [25]

İçten yanmalı motorlarda krank milinin dönebilmesi ve motor parçalarının uygun şekilde çalışabilmesi için krank milinin desteklendiği yatak önemlidir. Krank milinin döndüğü yataklar genellikle motorun alt kısmında, karter denilen bölgede bulunur. Bu yataklar genellikle metalden yapılırlar ve krank mili üzerindeki yükü alarak düzgün bir şekilde dönmelerini sağlar. Her motor tasarımı farklı olabilir, bu yüzden kullanılan ana yatak türleri de değişiklik gösterebilir. Krank milinin desteklendiği ana yatak, motorun sağlıklı ve düzgün çalışması için kritik bir bileşen olan ana yatağın Solidworks paket programı ile modellenmiş hali Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Solidworks paket programında modellenmiş ana yatak

Şekil 3’de ana yatağın teknik resmi verilmiş olup, ana yatağın malzemesi alaşımli çelik olarak seçilmiş bu çalışma Solidworks paket programı yardımı ile sayısal analizlerle gerçekleştirilmiştir.



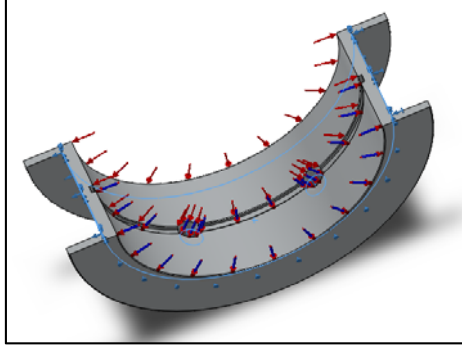
Şekil 3. Teknik resimleri verilmiş ana yatak

Bu çalışma kapsamında ana yatak parçasının üzerine etkileyeceği noktalarda yatağın belirli bölgelerine göre bir takım kuvvetler uygulanarak statik analiz, Von Mises gerilmeleri, şekil değiştirme, gerilme ve deformasyon analizleri detaylı bir şekilde yapılarak malzemesi alaşımli çelik olan yatağın nümerik hasar analizi gerçekleştirilmiştir. Analizler yapılırken malzemeye uygulanacak kuvvetler, daha önce Sağlam ve

arkadaşları [26] tarafından yapılan çalışmada yatak mili çalışması referans alınarak belirlenmiştir. Ayrıca belirlenen kuvvetler malzemenin mekanik özelliklerinde belirtilen statik ve dinamik yükleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Kuvvetler ve uygulanan kuvvetlerin yönleri ve malzemeye uygulanan kuvvetlerin değerleri detaylı olarak alt başlıklarda verilmiş, ayrıca görsel olarak da sunulmuştur.

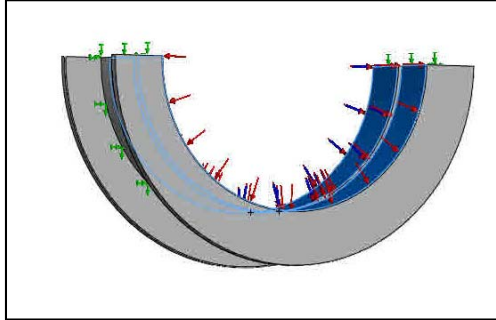
### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Şekil 4'te görüldüğü üzere ana yatağın sağ ve sol iki düzlemine nümerik analiz verisi olarak ana yatağın yatak kısmında içeri yönlü 125 N'luk bir basınç kuvveti etkisinde olacak şekilde değer girilmiştir.



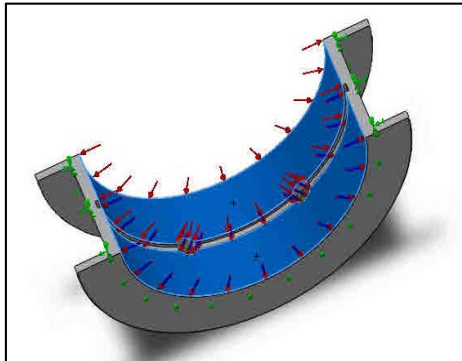
Şekil 4. Ana yatağa etkiyen kuvvetler

Şekil 5'de görüldüğü üzere ana yatağın sağ ve sol iki düzlemine nümerik analiz verisi olarak ana yatağın yatak kısmında içeri yönlü 200 N'luk bir basınç kuvveti etkisinde olacak şekilde değer girilmiştir.



Şekil 5. Ana yatağa etkiyen kuvvetler

Şekil 6'da görüldüğü üzere ana yatağın sağ ve sol iki düzlemine nümerik analiz verisi olarak ana yatağın yatak kısmında içeri yönlü 275 N'luk bir basınç kuvveti etkisinde olacak şekilde değer girilmiştir.



Şekil 6. Ana yatağa etkiyen kuvvetler

Şekil 4'te Parçada yatak üzerine uygulanacak kuvvetlerin dağılımından sonra parçanın analizi neticesinde x, y ve z doğrultularında ortaya çıkan tepki kuvvetleri ise Çizelge 2'de verilmiştir.

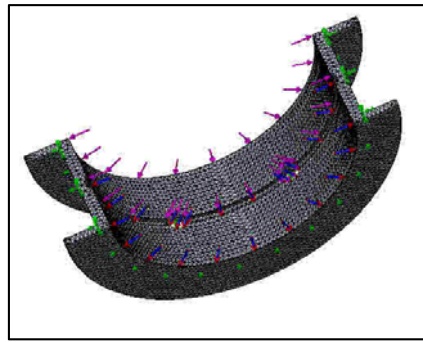
**Çizelge 2.** Tepki kuvvetleri

Tepki kuvveti N	X	Y	Z	Sonuç
	222211	45,1614	0,0728168	222211

Şekil 4'te analiz neticesinde uygulanacak olan kuvvetler belirlendikten sonra parça sonlu elemanlara ayrılmak üzere mesh edilmiştir. Yapılan mesh işleminin sonunda ortaya çıkan veriler Çizelge 3'te gösterilmiştir. Mesh tipi Düzlemsel 2B Mesh olup Şekil 4'te verildiği gibi 2 düzlemden sabit olmak kaydıyla standart olarak uygulanmış daha sonra ön görülen analiz yapıлып elde edilen veriler paylaşılmıştır.

**Çizelge 3.** Mesh bilgisi

Eleman Boyutu (mm)	1,2058 mm
Tolerance (mm)	0,060288 mm
Eleman Sayısı	60767
Düğüm Sayısı	99418



**Şekil 7.** Modelin mesh hali

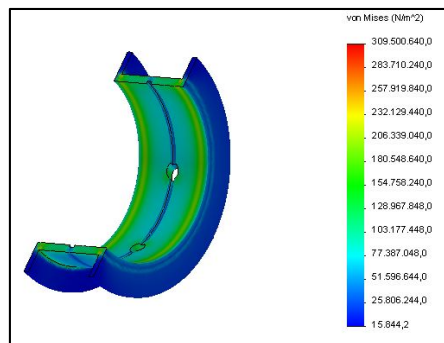
Şekil 5'te parça üzerine yatak yüzeyine uygulanan kuvvetlerin dağılımından sonra ana yatağın x, y ve z doğrultularında vermiş olduğu tepki kuvvetleri ise Çizelge 4'te verilmiştir.

Şekil 5'te yatak yüzeyine uygulanan kuvvetlerin dağılımı incelenmiş ve bu kuvvetlerin x, y ve z eksenlerindeki tepki kuvvetleri Çizelge 4'te sunulmuştur. Tepki kuvvetleri x ekseninde -0.138535 N, y ekseninde 0.800598 N, z ekseninde ise 0.00019455 N olarak hesaplanmış; toplam büyüklük ise 0.812496 N olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, ana yatak üzerindeki yük taşınımının mekanik performansını değerlendirmek ve yatak tasarımının optimizasyonu için kritik veriler sağlamaktadır. Yük dağılımı ve tepki analizi, parçanın dinamik stabilitesine ilişkin tasarım iyileştirmeleri için bir temel oluşturabilir.

**Çizelge 4.** Tepki kuvvetleri

Tepki kuvveti N	X	Y	Z	Sonuç
	-0,138535	0,800598	0,00019455	0,812496

Von Mises Gerilmeleri, Şekil 4'te 125N kuvvet uygulandığında buna karşılık yatak kısmında görülen akma mukavemetine karşı ortaya çıkan davranış Von Mises Gerilme grafiği Şekil 8'de görülmektedir.



**Şekil 8.** Von Mises gerilmeleri

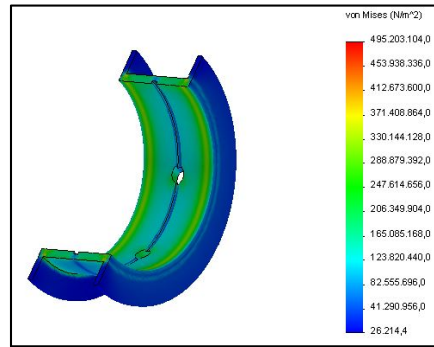


Parçanın 125 N'luk yük altında gösterdiği davranışı Şekil 8'de ortaya çıkan grafik ile anlaşılmaktadır. Ana yatağın yatak kısmına etki eden bu yük yatağın iç kısmında akma mukavemetinin altında bir mukavemete neden olarak parçanın yüzeyinde herhangi bir deformasyona sebebiyet vermemiştir. Bu durum, parçanın mevcut tasarımının ve malzeme seçimlerinin, uygulanan yük altında güvenli çalışma sınırları içinde olduğunu göstermektedir. Von Mises gerilmelerinden elde edilen veriler sırası ile parçaya etki eden düğüm nokta sayıları ve yatağa etki eden kuvvetler Çizelge 5'te gösterilmiştir.

**Çizelge 5.** Von Mises gerilmeleri analiz sonucu

Ad	Tip	Min	Konum	Max	Konum
Stress	Von Mises Stress	15834 N/m <sup>2</sup> Node: 5353	(-0,00403243 mm, 44,9859 mm, -0,915411 mm)	3,0928e+008 N/m <sup>2</sup> Node: 93632	(0,716815 mm, -35,5213 mm, -2,93899 mm)

Şekil 5'te uygulanan 200N kuvvet uygulandığında buna karşılık yatak kısmında görülen akma mukavemetine karşı ortaya çıkan davranış Von Mises Gerilme grafiği Şekil 9'da görülmektedir.



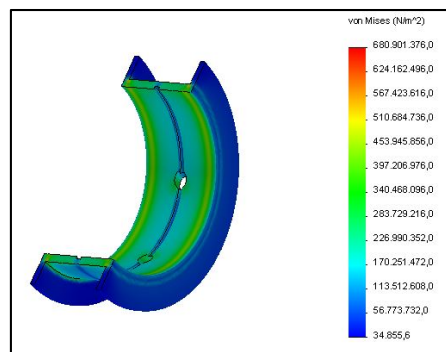
**Şekil 9.** Von Mises gerilmeleri

Parçanın 200 N'luk yük altında gösterdiği davranışı Şekil 9'daki ortaya çıkan grafik ile anlaşılmaktadır. Ana yatağın yatak kısmına etki eden bu yük yatağın iç kısmında akma mukavemetinin üstünde bir mukavemete neden olarak parçanın yatak yüzeyinde bir deformasyona neden olduğu görülmüştür. Bu deformasyon, malzemenin yük taşıma kapasitesinin aşıldığını ve motor arızalarına yol açabilecek potansiyel bir zayıflık oluşturduğunu göstermektedir. Von Mises gerilmelerinden elde edilen veriler sırası ile parçaya etki eden düğüm nokta sayıları ve yatağa etki eden kuvvetler Çizelge 6'da verilmiştir.

**Çizelge 6.** Von Mises gerilmeleri analiz sonucu

Ad	Tip	Min	Konum	Max	Konum
Stress1	Von Mises Stress	26214,4 N/m <sup>2</sup> Node: 5353	(-0,00645636 mm, 44,9775 mm, -0,881305 mm)	4,95203e+008 N/m <sup>2</sup> Node: 93632	(0,716968 mm, -35,52 mm, -2,93986 mm)

Şekil 6'da uygulanan 275N kuvvet uygulandığında buna karşılık yatak kısmında görülen akma mukavemetine karşı ortaya çıkan davranış Von Mises Gerilme grafiği Şekil 10'da görülmektedir.



**Şekil 10.** Von Mises gerilmeleri

Parçanın 275 N'luk yük altında gösterdiği davranışı Şekil 10'daki ortaya çıkan grafik ile anlaşılmaktadır. Ana yatağın yatak kısmına etki eden bu yük yatağın iç kısmında akma mukavemetinin üstünde bir

mukavemete neden olarak parçanın yatak yüzeyinde deformasyona neden olduğu görülmüştür. Bu deformasyon, yükün daha da artırılması durumunda malzemenin kalıcı hasar görebileceğini ve motorun verimliliğini olumsuz şekilde etkileyebileceğini ortaya koymaktadır. Von Mises gerilmelerinden elde edilen veriler sırası ile parçaya etki eden düğüm nokta sayıları ve yatağa etki eden kuvvetler Çizelge 7’de verilmiştir.

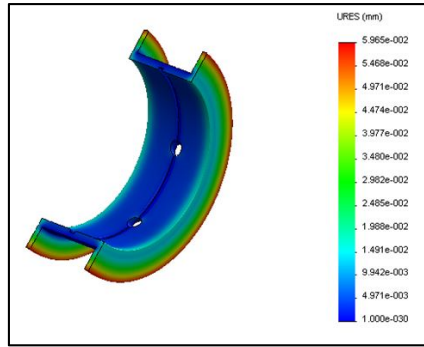
**Çizelge 7.** Von Mises gerilmeleri analiz sonucu

Ad	Tip	Min	Konum	Max	Konum
Stress1	VON: von	34855,6	(-0,00887768 mm,	6,80901e+008	(0,71712 mm,
	Mises	N/m <sup>2</sup>	44,969 mm,	N/m <sup>2</sup>	-35,5188 mm,
	Stress	Node: 5353	-0,847245 mm)	Node: 93632	-2,94074 mm)

Gerilme analizleri, Şekil 11’de verilen gerilme grafiği 125 N’luk kuvvet sonucunda uygulanan kuvvetten sırası ile etki altında kalan düğüm noktaları sayıları ve minimum- maksimum gerilmelerin sayısal değerleri Çizelge 8’de verilmiştir

**Çizelge 8.** Gerilme analizleri sonucu

Ad	Tip	Min	Max
Gerinim	URES: Resultant	0 mm	0,0596497 mm
	Displacement	Node: 1	Node: 5357



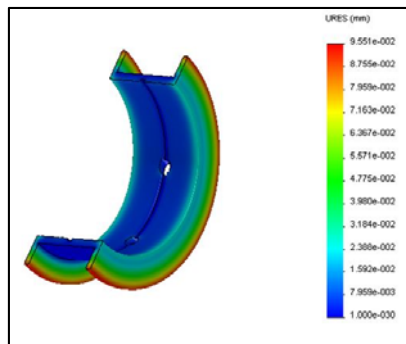
**Şekil 11.** Gerilme grafiği

Şekil 12’de verilen gerilme grafiği 200 N’luk kuvvet sonucunda uygulanan kuvvetten sırası ile etki altında kalan düğüm noktaları sayıları ve minimum-maksimum gerilmelerin sayısal değerleri Çizelge 9’da verilmiştir.

Çizelge 9’da verilen verilere göre, düğüm noktalarının etkileşimleri sonucu oluşan gerilmelerin, malzemenin dayanım sınırlarına yaklaşmadan önce önemli bir değişim gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu, motor bileşenlerinin dayanıklılığını değerlendirirken daha hassas tasarım parametrelerinin belirlenmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

**Çizelge 9.** Gerilme analiz sonucu

Ad	Tip	Min	Max
Gerinim	URES: Resultant	0 mm	0,0955089 mm
	Displacement	Node: 1	Node: 5357



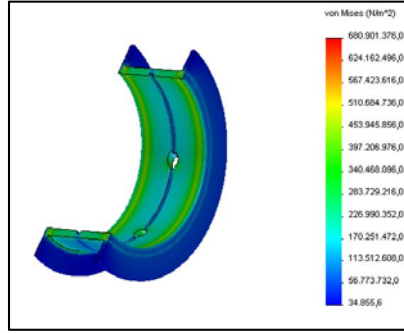
**Şekil 12.** Gerilme grafiği

Şekil 13’de verilen gerilme grafiği 275 N’luk kuvvet sonucunda uygulanan kuvvetten sırası ile etki altında kalan düğüm noktaları sayıları ve minimum – maksimum gerilmelerin sayısal değerleri Çizelge 10’da verilmiştir.

Çizelge 10’a göre, 275 N’luk kuvvetin etkisiyle meydana gelen gerilmelerin, malzemenin akma mukavemetini aşmaya başladığı ve belirli düğüm noktalarında belirgin deformasyonlar meydana geldiği görülmektedir. Bu sonuç, motor bileşenlerinde daha yüksek kuvvetlerin, malzeme yorgunluğuna ve potansiyel arızalara yol açabileceğini göstermektedir.

**Çizelge 10.** Gerilme analiz sonucu

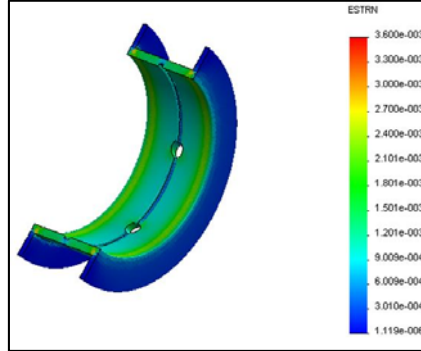
Ad	Tip	Min	Max
Gerinim	URES: Resultant Displacement	0 mm Node: 1	0,131323 mm Node: 5357



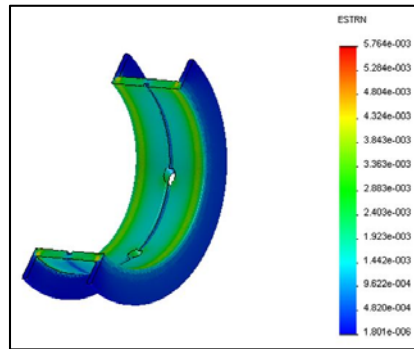
**Şekil 13.** Gerilme grafiği

Analizler sonucunda deformasyona uğramış modelin görünüşleri sırası ile 125, 200 ve 275 N’luk kuvvetler için Şekil 14, Şekil 15 ve Şekil 16’ da verilmiştir.

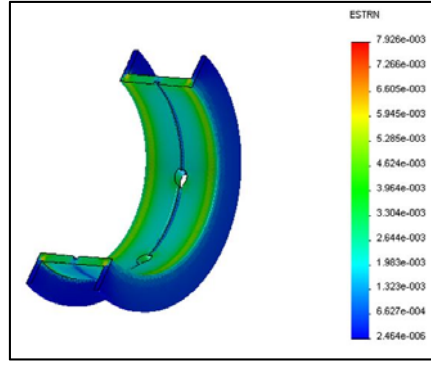
Bu görünüşler, her bir kuvvet uygulamasının ardından ana yatağın yüzeyinde ve iç kısmında meydana gelen gerilme ve deformasyon seviyelerinin görsel olarak analiz edilmesine olanak tanımaktadır. Kuvvet arttıkça, malzemenin deformasyonunun belirginleşmesi, motor bileşenlerinde meydana gelebilecek potansiyel arızaların önceden tespit edilmesine yardımcı olabilir.



**Şekil 14.** Deforme olmuş model görünümü



**Şekil 15.** Deforme olmuş model görünümü



Şekil 16. Deforme olmuş model görünümü

#### 4. SONUÇLAR

Alaşımli çelik malzemesinden imal edilen ana yatağın deforme olmuş model görünümü yapılan analizlerde görülmüş. Özellikle ana yatağın yapıldığı malzemeden ve sahip olduğu geometriden dolayı yatağın iç yüzeyinde ve yanlarında ciddi deformasyonlar ortaya çıkmıştır. Ayrıca, ana yatağa uygulanan yüklerin bu elemanların yatak yüzeyi boyunca etkileyen kuvvetlerden kaynaklandığı konumlardan dolayı analizde Şekil14, Şekil 15, Şekil 16 da yatağın hasar görmüş model hali verilmiştir. Ana yatağın üç boyutlu görüntüsü tasarım olarak Solidworks programı yardımı ile yapılmış olup ve Solidworks paket programı kullanılarak bilgisayar destekli ortamda ana yatağın nümerik hasar analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerde, ana yatak 125N ve 200N kuvvete maruz bırakıldığında akma mukavemetinin altında bir yüke maruz kaldığından dolayı hasar meydana gelmemiş fakat 275 N olarak girilen kuvvetler akma mukavemetinin üstünde olduğu için malzemede deformasyon gözlemlenmiştir.

Bulunan değerler çizelge ve grafik olarak incelendiğinde krank milinde kullanılan ana yatak motorun çalışma koşullarında yüksek kuvvetler seçildiğinde yatak hasara uğrayıp motor arıza verebileceği görülmektedir.

Ayrıca bulunan değerler malzemenin mekanik özelliği ile uyum göstermektedir. Bu sonuçlar ışığında analizimiz bu malzeme ile daha sonra yapılacak olan deneysel çalışmalar ile desteklenerek yeni bir çalışmaya dönüştürülebilecektir.

Yıldız ve arkadaşlarına [19] göre yapmış oldukları çalışmada, daire testere makinesinde kullanılan milin nümerik hasar analizini Solidworks kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Üç boyutlu tasarım ve bilgisayar destekli analizlerde, mil üzerine 1500N, 5000N ve 60000N olarak belirlenen çeşitli kuvvetler uygulamışlardır. Statik analiz sonuçları, milin basma ve döndürme kuvvetlerine karşılık, farklı noktalardan uygulanan kuvvetlerin hem eğilme hem de burulma hasarlarına neden olduğunu bulmuşlardır.

Yaptığımız çalışmada ise kullandığımız malzemenin yatak yüzeylerine uyguladığımız 125 N'luk ve 200N kuvvet malzemenin akma dayanımından düşük olduğu için hasara neden olmamıştır. Ancak, 275N kuvvetlerinde eğilme ve basma kuvvetlerinden dolayı malzemenin yatak yüzeylerinde hasarlar görülmüştür.

Yapılan nümerik analizler, alaşımli çelikten imal edilen ana yatak malzemesinin belirli yük sınırları altında güvenli çalışma kapasitesini ortaya koymuştur. Çalışmada uygulanan 125 N ve 200 N'luk kuvvetler, malzemenin akma dayanımının altında kalarak herhangi bir hasar ya da deformasyona neden olmamıştır. Ancak, 275 N'luk kuvvet uygulandığında, malzeme akma dayanımını aşarak iç yüzey ve yan yüzeylerde gözle görülür deformasyonlar meydana getirmiştir. Bu sonuç, motor çalışma koşullarında yüksek kuvvetlerin ana yatağın mekanik sınırlarını aşarak motor arızalarına yol açabileceğini göstermektedir. Bu çalışma, motor tasarımında kullanılan malzemelerin güvenlik sınırlarını belirlemede önemli bir bilimsel yenilik sunmakta, aynı zamanda motor arızalarının önlenmesi için tasarım süreçlerine katkı sağlamaktadır. Yapılan analizler, kullanılan malzemenin mekanik özellikleri ile uyumlu sonuçlar vermiş ve seçilen yöntemlerin güvenilirliğini kanıtlamıştır. Krank mili ana yataklarının yük taşıma kapasitesine yönelik bu çalışma, malzeme seçimi ve tasarım optimizasyonu açısından önemli bilgiler sağlamaktadır. Gelecekte, yapılan bu analizlerin doğruluğunu artırmak ve daha kapsamlı sonuçlar elde etmek için deneysel

çalışmalarla desteklenmesi önerilmektedir. Ayrıca, motor bileşenlerinin farklı malzeme ve geometri kombinasyonları kullanılarak incelenmesi, tasarım geliştirme süreçlerinde faydalı olacaktır. Bu bağlamda, gelecekte yapılacak deneysel testlerin analiz sonuçları ile doğrulanması, elde edilen verilerin daha güvenilir hale gelmesini sağlayacaktır. Yıldız ve arkadaşlarının [19] çalışmasında, kullanılan malzeme türleri ve tasarımın doğruluğunu artırmak için yapılan deneysel testlerin sonuçları, bu çalışmadaki analizlerle paralellik göstermektedir. Bu, daha güvenilir tasarım geliştirme süreçleri için önemli bir yol haritası sunmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma motor arızalarının önlenmesine yönelik mühendislik tasarımlarında kullanılabilir veriler sunmakta ve sektörde hem nümerik hem de deneysel araştırmalar için bir temel oluşturmaktadır. Yapılan analizler, özellikle motor bileşenlerinin dayanım ve deformasyon sınırlarını belirlemede önemli bir kaynak oluşturmuştur. Ayrıca, Yıldız ve arkadaşlarının [19] çalışmasında da benzer bilgisayar destekli analizlerin ve deneysel verilerin birleştirilmesiyle elde edilen bulgular, bu araştırmada elde edilen sonuçlarla örtüşmektedir. Bu da yapılan çalışmanın doğruluğunu ve uygulanabilirliğini desteklemektedir. Gelecek çalışmaların, bu bulguları daha geniş bir malzeme ve geometri yelpazesi üzerinde test etmesi, motor tasarımının daha güvenli ve verimli hale gelmesine katkı sağlayacaktır.

## 5. KAYNAKLAR

1. Dikmen, F., 2018. Makine elemanları-2, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
2. Karl, H.V., Heinz, D., 1982. Maschinen elemente gestaltung und berechnung, München.
3. Temiz, V., Ders notları. İstanbul Teknik Üniversitesi.
4. Adin, H., 2016. Hasar analizi ders notları. Batman Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Mekanik Bilim Dalı.
5. Uzuner, F., Gediktaş, M., 2004. Salınım hareketi yapan radyal kaymalı plastik yataklarda sürtünme. İTÜ Dergisi Seri D: Mühendislik, 3(6), 91-98.
6. Çuvalcı, H., 2001. Çinko-alüminyum esaslı ticari ZA-27 kaymalı yatağının sürtünme davranışının incelenmesi. Türk J Engin Environ Sci., 25, 199-204.
7. Adatepe, H., Cengil, M., Güneş, B., 2012. Statik yük altındaki kaymalı yataklarda sürtünme katsayısının teorik ve deneysel olarak belirlenmesi. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 9(1), 25-34.
8. Canbulut, F., Erdoğan, H.B., 2021. Genetik algoritma yöntemiyle dairesel cepli hidrostatik kaymalı yatakların optimizasyonu. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 33(1), 39-48.
9. Artun, Y., 2020. Hidrodinamik radyal kaymalı yataklarda basınç dağılımının incelenmesi. Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 1(1), 30-36.
10. Güler, Ö.N.C.Ü., Durak, E., 2021. Statik yüklü radyal kaymalı yataklarda hidrodinamik yağlamanın analizi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 167-175.
11. Solmaz, E., 2000. Eksenel hidrostatik kaymalı yatakların optimum tasarımı. Doktora tezi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
12. Baş, H., 2022. Hidrodinamik radyal kaymalı yataklarda yüzey pürüzlülüğünün sürtünme davranışları üzerindeki etkilerinin incelenmesi. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 12(3), 877-887.
13. Toklar, A., 2003. Eksenel kaymalı yatakların performans karakteristiklerine deformasyonun etkisi Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
14. Polat, A., 1996. Oynak lokmalı eksenel hidrodinamik kaymalı yataklarının davranışının sayısal olarak belirlenmesi için yeni bir algoritma. Doktora tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
15. Adin, H., Ergün, R.K., Adin, M.Ş., 2022. Computer aided numerical damage analysis of the axle shaft. European Mechanical Science, 6(3), 201-206.
16. Adin, H., Yıldız, B., Adin, M.Ş., 2021a. Numerical investigation of fatigue behaviours of non-patched and patched aluminium pipes. European Journal of Technique (EJT), 11(1), 60-65.
17. Adin, H., Adin, M.Ş., Akgül, S., 2021b. Araçlarda kullanılan fren diskinin sonlu elemanlar yöntemiyle hasar analizi. International Symposium on Engineering, Natural and Social Sciences (ISENS-21), 25-28 November 2021, Batman, Turkey.
18. Yıldız, B., Adin, M.Ş., İşcan, B., Seven, B., 2018a. Motorlarda kullanılan kam milinin nümerik hasar analizi. 1st International Engineering and Technology Symposium (IETS 2018), 3-5 May 2018. Batman, Turkey.
19. Yıldız, B., Adin, M.Ş., Adin, H., İşcan, B., 2018b. Daire testere makinesinde kullanılan milin nümerik hasar analizi. 1st International Engineering and Technology Symposium (IETS 2018), 3-5 May 2018. Batman, Turkey.

20. Makaracı, M., Bayraklılar, M.S., 2024. Unveiling stress mitigation and lifespan extention strategies for spherical elastomeric bearings in aerospace applications. *Strength of Materials*, 1-15.
21. Koçak, M.T., Bayraklılar, M.S., 2023. Mechanical shaft optimization: A study on static structural analysis and topological optimization in ANSYS. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 7(3), 541-549.
22. Özbakış, M., 2023. Ağır seri ticari araçlarda kullanılan kardan millerinin yorulma davranışlarının nümerik ve deneysel yöntemlerle belirlenerek yorulma dayanımlarını arttırmaya yönelik parametrelerin saptanması. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
23. Nişancı, D.Ş., 2021. Şase yorulma parçalarından olan motor beşiğinin alüminyum ekstrüzyon metodu ile tasarımı ve kaynak edilmesinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
24. Arslan, B., 2019. AISI 304 paslanmaz çeliğin işlenmesinde farklı talaş kırıcı formlarının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
25. Norelem Normelemente GmbH & Co. KG, <https://www.norelem.com.tr>, Erişim tarihi: 02.04.2024.
26. Sağlam, Z., Yıldız, B., Adin, M.Ş., Adin, H., Seven, B., 2018. Yaprak yayların nümerik metotlar yardımıyla hasar analizi. 1st International Engineering and Technology Symposium (IETS 2018), 3-5 May 2018. Batman, Turkey.