

SÜRATLI BİR GEMİNİN SUJETİ SEVK MAKİNE SİSTEMİNDE FLANŞ-ŞAFT ELEMANINDA ORTAYA ÇIKAN HASARIN İNCELENMESİ *

Umut SÖNMEZ **

Y.Müh., Ege Üniversitesi,
Makine Mühendisliği Bölümü
Bornova-İZMİR
usonmez1979@gmail.com

Hüseyin ÖZDEN

Doç.Dr., Ege Üniversitesi
Makine Mühendisliği Bölümü,
Bornova-İZMİR
h.ozden@yahoo.de

ÖZET

Bu çalışmada, sujeti sevkli süratli bir geminin, sevk sisteminde bulunan flanş-şaft irtibat elemanında ortaya çıkan kırık yüzeyler incelenerek hasar nedeni tespit edilmiştir. Flanş-şaft irtibat elemanının dip kısmında bulunan faturadan ortaya çıkan çatlağın, zamanla ilerleyerek kopma şeklinde hasara neden olduğu sonucuna varılmıştır. Mevcut hasar çok eksenli burulma ve eğilme gerilmelerinden meydana gelen bir işletme dayanımı kırığıdır. Hasarın üreticiden kaynaklanan tasarım ve imalat hataları nedeniyle olduğu kanaatine varılmıştır. Parçanın geometrik form ve boyutlarının tespitinde işletme dayanımı, ömür hesapları ve imalat yöntemlerinin seçiminde / uygulanmasında işletme dayanımı koşullarının tam anlamıyla göz önüne alınmadığı düşünülmektedir. Üretici firmanın, sujeti sevkli gemi makine sisteminde; kırılma olasılığı yüksek, kritik elemanların kesitinde işletme dayanımı, ömür analizlerini yapmaları ve gerektiğinde ömür testlerine tabi tutarak elde edilen sonuçları bir rapor halinde bulundurmaları, gerektiğinde kullanıcılara vermeleri önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sujeti, sürat, flanş-şaft, kırık yüzeyi, hasar analizi

Flange-Shaft Fracture Surfaces Analysis for Damage Caused By Water Jet Machine System of A Speedboat

ABSTRACT

In this study, analysis of the damage on a one-piece flange shaft connection component, manufactured as a whole and found on a water jet driven marine engine system have been performed. The crack in the rabbet on the bottom of the flange shaft contact component proceeded and led to damage in form of split. It is an operational resistance crack that occurred through multi-axis torsions, inflections, and strains. It is concluded that the damage is caused by the design and production defects arising from the producer. In the determination of the geometrical form and dimensions of the part, operational strength and life calculations have not been taken into account for the selection of the material and manufacturing method. It is suggested that the manufacturer should perform operational strength and life analysis on the section of critical components that have a high possibility of rupture on the water jet driven marine engine system and keep the results obtained as a report, and those who have purchased and used these machines should definitely request these necessary report data.

Keywords : Water jet, speed, flange- shaft, fracture surface, damage analysis

** İletişim Yazarı

* Geliş tarihi : 05.08.2011
Kabul tarihi : 10.11.2011

GİRİŞ

Yük ve yolcu deniz taşımacılığında;

- Zorlu rekabet koşulları,
- Yatırımcıların kısa sürede daha fazla gelir elde etme tercihleri,
- Günümüzün teknolojik olanakları,
- Tasarımcıların, farklı, daha iyi modeller ortaya çıkarma dürtüleri

gibi unsurlar süratli ve farklı gemi tasarımlarının ticari yük ve yolcu taşımacılığında kullanımlarını gündeme getirmektedir. Sonuç olarak; pervaneli gemiler yanında sujeti sevkli süratli gemilerin kullanımı önem kazanmaktadır.

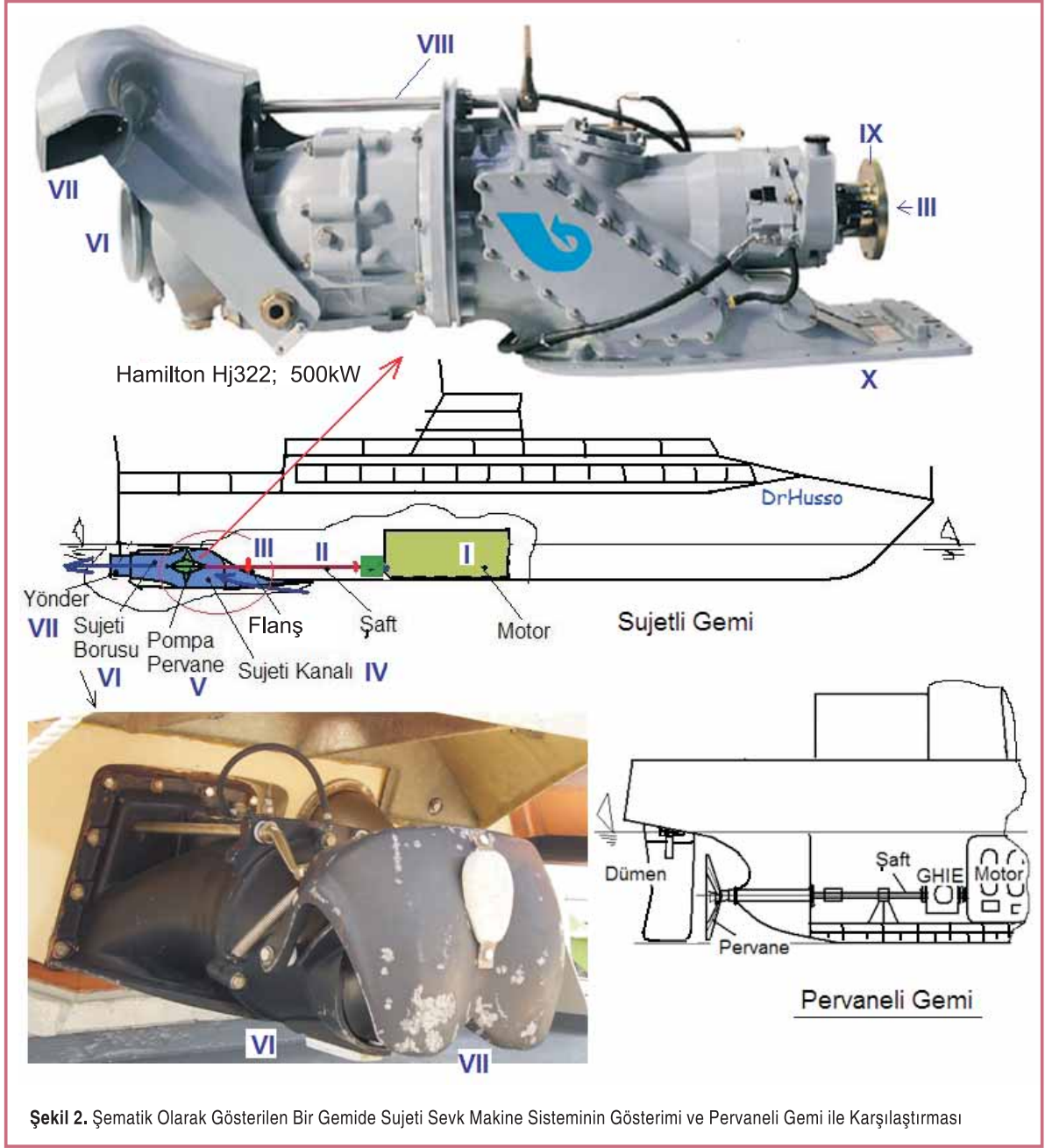
Sujeti sevkli makine sistemleri, süratli askeri gemilerde birçok üstünlükleri nedeniyle uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Ayrıca süratli lüks motor yatlarda ve spor amaçlı süratli yarış teknelerinde de kullanımı yaygındır. Sujeti sevkli makine sistemleri; küçük tonajlı botlarda, teknelerde olduğu kadar uzunlukları 300 m'ye varan büyük tonajlı gemilerde de kullanım alanı bulmaktadır. Bu tip gemilerin seyir hızları 60 knot'a varmaktadır (yaklaşık, saatte 110 km). Sujeti sevkli makine sisteminde dizel motorların verimi yaklaşık % 45'lere ulaşmaktadır. Sevk sisteminde yüksek devirli iki zamanlı dizel motorları (yaklaşık maksimum güçteki özgül yakıt tüketimi; (SFOC) 200 g/kWh olan) tercih edilmektedir. Sujeti sevk sistemi; tek gövdeli gemilerde, katamaran tipi çift gövdeli yolcu gemilerinde, araba vapurlarında günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 1'de, sujeti sevk makine sistemli süratli askeri iki gemi ve ticari amaçlı yolcu ve yük taşımacılığında kullanılan feribot örnek olarak gösterilmektedir[1,2]. Sujeti sevkli gemi makine sistemlerinde teknolojinin daha da gelişmesi, üretim maliyetlerinin düşürülmesi ve üretici firmaların çoğalmasıyla birlikte satış fiyatları düşecektir. Sujeti makine sistemlerinde, yakın gelecekte beklenen makul fiyatlar ile bu gemi sevk sisteminin büyük tonajlı gemilerde, yakın ve orta menzilli limanlar arasında yolcu ve özellikle değerli yüklerin taşımacılığında kullanımı artacaktır. Teknolojideki gelişmelere paralel olarak sujetli süratli gemiler zamanla pervaneli süratli gemilere karşı tercih edilecektir.

Sujeti sevkli makine sistemlerinde, teknik arızalara kadar varan farklı sorunlarla, hasarlarla (örneğin; flanş-şaft hasarı) karşı karşıya kalınmaktadır. Bu sorunların bir kısmı gemilerde sujeti sevkli makine sistemlerine ait teknolojinin gelişme safhasında olması nedeniyle yeterli bilgi ve tecrübenin tam olarak oluşmamasına veya eksikliğine de bağlanabilir. Şekil 3'te; flanş-şaft elamanının geometrik formu ve boyutları dikkate alınarak orijinaline uygun çizilen bir perspektif resim ve kırık parçaların fotoğrafları yer almaktadır.



Şekil 1. Sujetli Süratli Gemilerin Kullanım Alanlarına Örnek Fotoğraflar [1,2]

Bu çalışmada, sujeti sevkli gemilerde farklı zamanlarda flanş-şaft irtibat elemanında ortaya çıkan hasar hakkında kısa bilgi verilmektedir. Hasar kırığının yüzeyleri incelenerek hasar oluşum nedenleri saptanmaktadır. Buradaki hasar analizleri yapısal ve montaj hataları üzerine yoğunlaşmaktadır. Sujeti sevkli gemiler ve işletme dayanımı hasarları hakkında hatırlatıcı genel bilgilere özet şeklinde yer verilmektedir.



Şekil 2. Şematik Olarak Gösterilen Bir Gemide Sujeti Sevk Makine Sisteminin Gösterimi ve Pervaneli Gemi ile Karşılaştırması



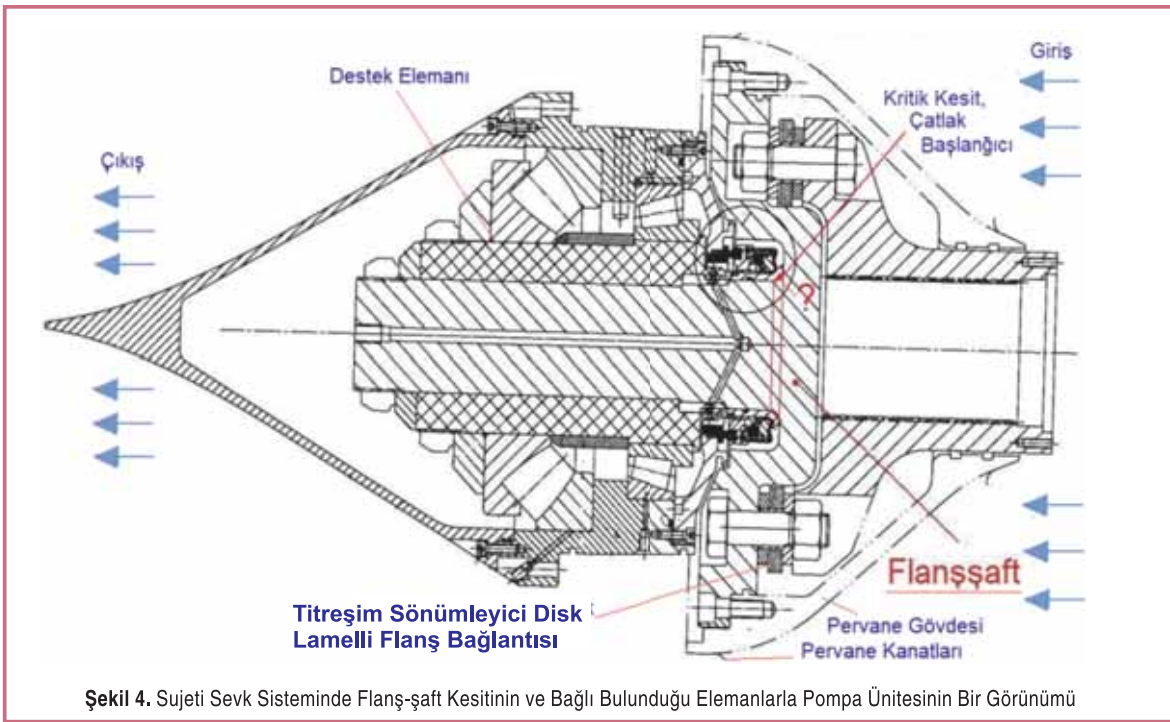
Şekil 3. Flanş-Şaftın Bir Perspektif Çizimi (I) ve Ortaya Çıkan Kırık Yüzeylerin (II, III) Fotoğraf Görüntüleri

SUJETİ SEVKLİ GEMİ MAKİNE SİSTEMLERİ

Sujeti sevk gemi makine sisteminde prensip olarak, bir pervane sistemi ile gemi karinasından emilen su, çok yüksek bir basınçla geminin arka kısmından dışarıya pompalanmaktadır. Sujeti kanalından emilen su hızlandırılarak yüksek bir basınçla sujeti çıkış borusundan dışarıya püskürtülmektedir. Kepçe üzerinde bulunan kanat şeklinde kapakların, hidrolik sistemlerle sağa, sola veya geriye hareket ettirilerek geminin yüksek manevra kabiliyeti sağlanmaktadır. Kepçenin dibe doğru sabitlenerek geminin kısa sürede yavaşlaması, durması ya da geriye hareketi mümkün olmaktadır. Şekil 2'de su jeti

bağlantı kaplinine yataklık yaptığından en çok zorlanan elemanlardan birisidir. Flanş-şaft irtibat elemanı, kuvvet makinesinin gücünü sujeti tahrik mekanizmasına aktarmaktadır. Flanş-şaft irtibat elemanının üç boyutlu bir çizimi Şekil 3'te gösterilmektedir. Flanş-şaftın boyutları ve formu, üretici firmaya ve istenilen güce göre değişmektedir.

Sujeti makine sisteminde yer alan flanş-şaft, bağlı olduğu diğer elemanlarla birlikte Şekil 4'te gösterilmektedir. Flanş-şaft malzemesi olarak; yüksek kopma mukavemeti ve korozyona karşı dayanıklı krom nikel alaşım (X2CrNiMoN 22.5.3; DIN EN 1.4462,) dubleks paslanmaz çelik kullanılmıştır.



Şekil 4. Sujeti Sevk Sisteminde Flanş-şaft Kesitinin ve Bağlı Bulunduğu Elemanlarla Pompa Ünitesinin Bir Görünümü

sevk makine sisteminin başlıca elemanları ile pervaneli gemilerle görünüm açısından bir karşılaştırılması şematik olarak gösterilmektedir [2]. Motorun gücüne, istenen hıza ve teknenin formuna, boyutlarına göre en uygun sujeti sistemleri, üretici firmanın kataloglarından seçilip gemi gövdesine monte edilmektedir. Makinenin montajı basit ve kolaydır, özellikle şaft, yatak ve irtibat elemanlarında, flanş-şaft'ta herhangi bir şekilde kasmalara ve güç iletim süreksizliklerine meydan vermeyecek şekilde uzman kişilerce, dikkatlice yapılmalıdır. Periyodik değişken genlikli, üç boyutlu çok eksenli karmaşık zorlamalar söz konusu olduğu için, montaj sırasında dikkatsizlikler kısa sürede sistemde, kritik kesitlerde hasarların ortaya çıkmasına neden olacaktır.

Dizel motorundan güç, pompa-pervane sistemine ara şaftla aktarılmaktadır. Sujeti sevk makine sisteminde flanş-şaft elemanı, pervane, rulmanlar, sızdırmazlık elemanları,

TEKNİK HASAR

Teknik hasar, bir teknik yapının, örneğin makinenin, makine elemanının, cihazın fonksiyonunu tam olarak yerine getirememesi durumudur. Hasar çeşitleri içerisinde;

- Elastik şekil değiştirme (uzama, çökme, kısalma, burulma, bel verme),
- Plastik deformasyonlar,
- Malzeme kayıpları (aşınma, yenme),
- Yarıлма,
- Kopma yer almaktadır.

Teknik Yapılarda Hasarların Ortaya Çıkış Nedenleri

Hasarlar insani hatalardan kaynaklandığı gibi, bazı doğa olayları nedeniyle de ortaya çıkmaktadır. Özellikle şiddetli ve karmaşık dinamik zorlamalar altında çalışan makine

sistemlerinde hasar; basit bir elemandan ya da parçada veya malzemede bulunan herhangi bir makro veya mikro süreksizliklerden, çentik etkisi yapan takım izlerinden çatlak oluşumuyla meydana gelebilmektedir. Basit ihmallerden kaynaklanan hasarlar nedeniyle milyon dolar değerindeki gemiler uzun süre devre dışı kalabilirler. Bazı hasarlar can ve büyük mal kayıplarıyla sonuçlanabilir.

Makine sistemlerinde teknolojik nedenlerden ortaya çıkan hasarlar önem taşımaktadır. Teknolojik hasar nedenleri üretici ve/veya kullanıcı hatalarından kaynaklanmaktadır. Üreticiden kaynaklanan hasarların nedenleri, teknik yapının, makinenin, elemanın üretim aşamalarında, tasarım, imalat, montaj sırasında yapılan hatalardır. Kullanıcı hataları genelde hor kullanmadan (örneğin; aşırı zorlamadan, bakımsızlıktan, kasti bozmalardan) ortaya çıkan hasarlardır. Taşıma sırasında ve uygun olmayan depolamadan kaynaklanan hasarlara nadir olsa da rastlanılmaktadır. Örneğin, bir makineye ait olan çok hassas bir rulman, taşıma sırasında ortaya çıkan titreşimlerden, nemden zedelenebilir, malzemede mikro çatlaklar oluşabilir. Titreşimli çalışan bir iş makinesinin dibinde depolanan hassas parçalarda hasarı tetikleyen oluşumların ortaya çıkma ihtimali mevcuttur.

Üreticiden kaynaklanan teknolojik hataların başında tasarım hataları yer alır. İşletme koşullarına uygun geometrik form ve boyutların yetersiz kalmasından ve uygun malzeme seçiminin yapılamamasından kaynaklanmaktadır. Günümüzde makine tasarımcıları, konstrüktörler için işletme dayanımı ve ömür hesapları bilgileri çok önemlidir. Hasara neden olan imalat hatalarını; yanlış imalat yönteminin uygulanması, körleşmiş takımların kullanılması, ısıl işlemlerde dikkatsizlikler, imalat sonrası artık gerilmelerin oluşması ve giderilmemesi, eleman yüzeyinde sertleşme ve takım izleri oluşturmaktadır. Hasarla sonuçlanma olasılığı yüksek olan montaj hataları olarak; elemanlarda ortaya çıkan kasmalar, eksen kaçıklıkları, yüzeylerde çekiç çentik izlerin oluşması, presleme sırasında yüzeyde olası kalıcı plastik deformasyonların, çiziklerin meydana gelmesi, cıvata bağlantılarında yetersiz ya da aşırı gerilme, sıkma kuvveti, yetersiz sızdırmazlık sayılabilir [1,3].

Üretimden kaynaklanan işletme dayanımı kırıklarının ortaya çıkma nedenleri olarak;

- Yapısal nedenler (parçanın geometrik form ve boyutlarının yetersiz olması, güvenlik katsayısının düşük seçilmesi),
- İşletme dayanımı, ömür hesaplarında, gerekli Wöhler veya Gassner eğrilerinin dikkate alınmaması, yanlış değerlerin seçilmesi,
- Dayanımı artırmak amacıyla, yüksek dayanımlı çeliklerin seçilmesi (Yüksek

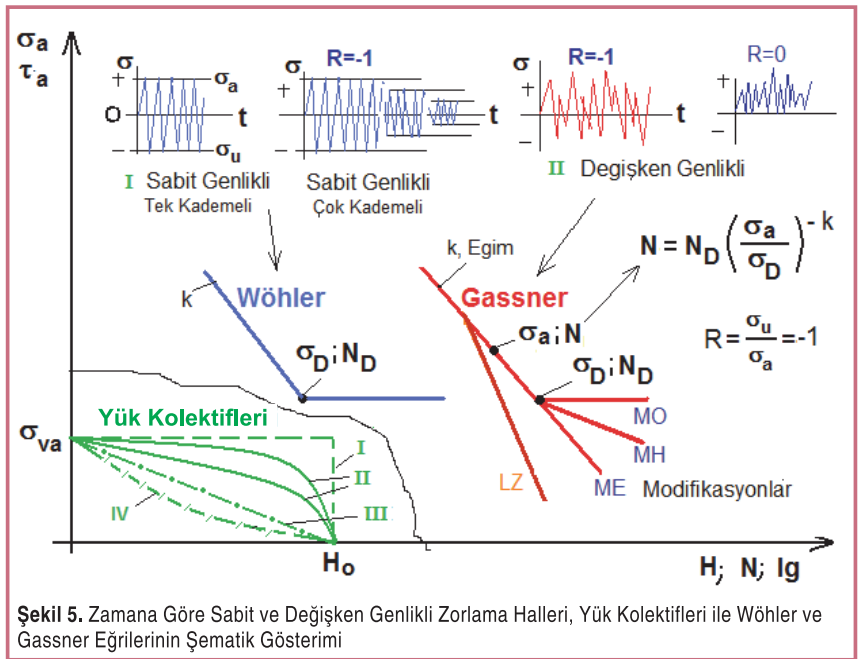
dayanımlı, sert, gevrek malzemeler genelde değişken dinamik zorlamalara karşı olumsuzdurlar. Özellikle darbe şeklindeki gerilmelere karşı kısa ömürlüdürler!)

- Uygun olmayan yüzey kalitesi (yüzey pürüzlüğü, imalat ya da montaj sırasında ortaya çıkan mikro takım, çekiç veya presleme izleri, aşırı, kontrolsüz yüzey sertleştirme)
- Üretim ve montajdan kaynaklanan artık gerilmeler, kasmalar, merkezkaç kuvvetleri, rezonans sayılabilir.

Makinelerde ortaya çıkan işletme dayanımı hasarlarının tamamına yakını, işletme dayanımı ve ömür hesaplarının dikkate alınmamasından kaynaklanmaktadır [2,3,4,5,6]. Bu nedenle pahalı makinelerin önemli parçaları için mutlaka işletme dayanımı, ömür hesapları üretici firmalardan istenmelidir. Gerekirse bu hesaplar uzman mühendislik bürolarına kontrol ettirilmelidir.

İşletme Dayanımı Hasarları

İşletme dayanımı hasarı; herhangi bir teknik yapının, elemanın, makinenin, makine sisteminin veya tesislerin önceden öngörülen işletme ömrü ve koşullarında beklenen fonksiyonlarını tam olarak yerine getirememesidir. İşletme hasarları; genelde yük altında, dinamik güç iletiminde, parça üzerinde ve/veya malzeme iç yapısında olası mikro süreksizlik noktaları gibi zayıf noktalardan; mikro çatlaklar oluşması ve zamanla ilerleyerek parçanın kopması, birden fazla parçalara ayrılması şeklinde oluşmaktadır. İşletme hasarı kırık yüzeylerinde, üzerinde durak çizgileri bulunan mat düz alan (yorulma alanı) ile plastik deformasyona uğrayan, engebeli, ışıldayan bir alan (son kopma alanı veya zoraki kopma alanı) bulunmaktadır. Burulma ve eğilmeye maruz kalan millerde çatlaklar dış yüzeyden, olası bir mikro çentikten başlayıp mil





eksenine doğru yaklaşık 90 derecelik bir açı ile ilerlerler. Zorlamanın şiddetine ve malzemenin akma değerine bağlı olarak belli bir büyüklüğe eriştikten sonra aniden kopan alan "son kopma alanı" olarak tanımlanır. Son kopma alanının yorulma alanına bölünmesinden ortaya çıkan değer, zorlamanın şiddetini tahmin etmemizi sağlamaktadır [1,6].

İşletme dayanımı, öngörülen ömür süresi içinde işletme koşullarına karşın, makinelerin veya parçalarının direnci olarak tanımlanabilir. İşletme dayanımında, periyodik ve periyodik olmayan değişken genlikli karmaşık zorlamalar altında elemanın dayanımı söz konusu olmaktadır.

Yorulma dayanımı, laboratuvar koşullarında standart numunelerde periyodik sabit genlikli veya periyodik çok kademeli değişken genlikli dinamik zorlamalara karşı malzemenin gösterdiği dirençtir. Yorulma dayanımında dinamik yükün şiddetine ve genliğin büyüklüğüne göre sonlu ya da kısa süreli yorulma dayanımı (sonlu ömür dayanımı) ve yorulma dayanımı hasarı bulunmaktadır. Yorulma dayanımı denilince; malzemenin teorik olarak sonsuza dek hasara uğramadan taşıyabileceği dayanım anlaşılmalıdır. Yorulma dayanımı hesaplamalarında Wöhler eğrilerinden gerekli dayanım ve ömür bilgileri tespit edilirken, işletme dayanımı ve ömür bilgileri için Gassner diyagramları kullanılmaktadır. İşletme koşullarında parçada oluşan hasara ve kırığa; işletme dayanımı hasarı ve işletme dayanımı kırığı denilmektedir [2,3,5,6].

Hasar Analizleri

Hasar analizlerinde esas amaç hasara neden olan teknolojik hataların tespit edilmesidir. Hasar analizleri hasar sonrası üretici ile kullanıcı arasında ortaya çıkan hukuksal sorunlarda sorumlu tarafı tespit etmek için hazırlandığı gibi, tasarımların iyileştirilmesinde, yeni alternatif tasarımların hazırlanmasında da faydalı olmaktadır. Hasar analizlerinde; birçok vakada, ekipsel bir çalışmaya gereksinim duyulmaktadır.

Hasar bilirkişi raporların düzenlenmesinde, günümüzün teknolojisinin, araç ve gereçlerinden de faydalanılmalıdır. Örneğin en basiti; bilgisayar destekli, sonlu elemanlar yöntemlerine dayalı paket programları kullanılarak olası tasarım hataları kolaylıkla kısa sürede tespit edilebilir. Gerilme dağılımlarından, deformasyon animasyonlarından, çalışma simülasyonlarından, sistemdeki elemanların kırılma olasılığı yüksek kesitleri ve en yüksek dayanımları anında tespit edilebilir. Özellikle form optimizasyon uygulamaları ile olası tasarım hatası açıklanabilir ve gerekli iyileştirme önerileri yapılabilir. Hasar tespit raporlarında ve bilirkişi hasar raporlarının düzenlenmesinde her zaman külfetli, maliyetli zaman alıcı malzeme muayenelerine, testlere, analizlerine gerek kalmayabilir.

HASAR KIRIK YÜZEYLERİ

Makine parçaları, özellikle kritik kesitler, makinenin üretim

ve işletme yani kullanım koşullarını, çevresel etkenleri kaydeden birer cihaz gibidirler. Kırık yüzeylerin uzman kişilerce incelenmesi neticesinde çatlak başlangıcı, makro çatlak yerleri, zamana, şiddete göre çatlakların ilerlemesi, çatlakların meydana geliş sebebi, imalat sonrası çentik etkisi gibi bilgiler elde edilmektedir. Malzeme yapısı, gevrek ya da sünek malzeme özelliği kırık yüzeyden anlaşılabilir. Hasar tespitinde kırık yüzeylerin incelenmesinden zorlama hali, tipi, zorlamanın şiddeti hakkında önemli ipuçlarına ulaşılabilmektedir.

Kırık Yüzeylerin Korunması

Hasara uğrayan kırık yüzeyler; temizleme, düzeltme, silme gibi hiç bir işlem yapılmadan hemen koruma altına alınmalıdır. Mümkünse parçaların oldukları yerde fotoğrafları çekilmelidir. Ağır parçaların taşınması, yerleştirme hareketleri sırasında kırık yüzeyler, özellikle bıçak gibi keskin olabilen dudak tipi kenarların zedelenmemesi, ezilmemesi için temiz bir bez veya benzeri bir örtü ile sarılmalıdır ve bir kutu içinde taşınmalıdır. Daha sonraki hasar analizi aşamalarında, makine sistemi, elemanı ile ilgili veriler ve işletme koşulları hakkında gerekli bilgiler bir plan çerçevesinde toplanmalıdır.

İşletme Kırığı Yüzeyleri

İşletme kırığının yüzeylerinde belirgin olarak, işletme dayanımı çizgileri (durak çizgileri) ve kesik çizgiler şeklinde oluşan yarıklar görülmektedir. Tüm bu oluşumlar nedeniyle kırık yüzeyinin karmaşık bir görünümü vardır. Hasar kırık yüzeyi üzerinde geçiş ara bölgesi alanının genişlemesi sonucunda karmaşık bir yüzey kırığı ortaya çıkmaktadır. Bu karmaşık yüzey görünümü genelde çok eksenli birden fazla zorlamadan kaynaklanmaktadır. Pratikte makine elemanlarının kritik kesitlerinde çok boyutlu karmaşık gerilmeler ortaya çıkmaktadır. Bu yerel gerilmelerin, analitik hesap yöntemleriyle tespiti zorlaşmaktadır.

Dinamik yükün zamana, şekline ve şiddetine göre yorulma hasar kırığı veya işletme hasar kırığı oluşmaktadır. Bunların yanında titreşimli kırılma hali, tam değişken kırılma, genel kırılma halleri bulunmaktadır. Kırılma oluşumu sırasında meydana gelen, plastik deformasyon özelliğine göre ise; sünek kırılma (sünek kopma), gevrek kırılma (gevrek kopma) ve karma kırılma ortaya çıkmaktadır.

Yorulma dayanımı kırığı yüzeylerinde oluşan yorulma çizgileri (durak çizgileri) daha belirgin ve düzgündür. Yorulma hasarı ve yorulma hasar kırığı yüzeyi, periyodik sabit genlikli veya periyodik kademeli değişken genlikli dış zorlamalar karşısında; laboratuvar koşullarında; standart numunelerde malzeme iç yapısında zamanla oluşan pekleşme ve benzeri mikro çentik gibi oluşumlar sonucu ortaya çıkan mikro çatlakların, zamanla gelişerek yayılmasıyla belli bir alana ulaştıktan sonra ani, zoraki kırılmasıyla ortaya çıkan malzeme ağırlıklı hasarlardır.

FLANŞ-ŞAFT İRTİBAT ELEMANININ KIRIK YÜZEYLERİNİN İNCELENMESİ

Sujetli süratli bir geminin motor-şaft- sujetinden oluşan makine sisteminde ve flanş-şaft irtibat elemanında ortaya çıkan hasar kırığının nedenleri araştırılmıştır.

Konstrüksiyon Açısından Kritik Kesit Tespiti

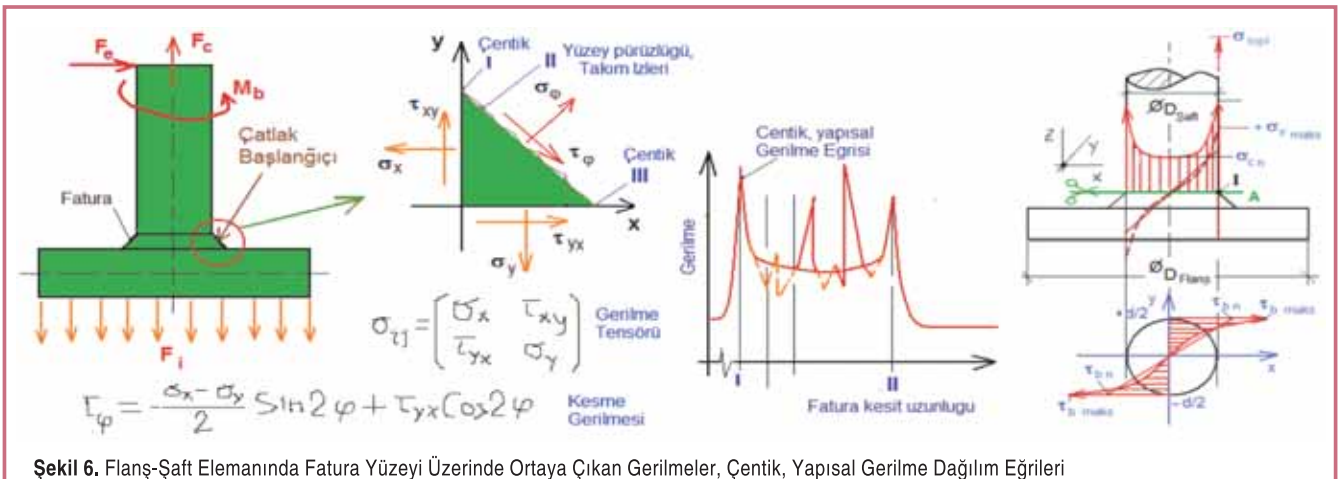
Flanş-şaft makine elemanı bir bütün olarak döküm ve devamında talaşlı imalat yöntemleriyle imal edilmiştir. Flanşmilin dibi, kırılma olasılığı yüksek olan kritik, zayıf bir kesit olarak daha ilk bakışta değerlendirilmiştir. Burulma ve eğilme gerilmelerinden oluşan gerilme tensörü maksimum değere bu bölgede ulaşmaktadır. Parçanın orijinal boyutları dikkate alınarak çizilen model üzerinde yapılan gerilme, deformasyon analizlerinde bu kritik bölge ortaya çıkmaktadır. Diğer taraftan kuvvet akışı çizgilerinin aynı bölgeden sapmaları nedeniyle ek olarak gerilme yığılmaları ortaya çıkmaktadır. Şekil 6'da flanş-şaftın geçiş kesitinde bulunan faturanın yüzeyinde ortaya çıkan gerilme dağılımı yaklaşık olarak gösterilmiştir. Olası çatlak başlangıçları I ve III ile gösterilen noktalar. Yapılan incelemelerde ilk çatlak başlangıçlarının Şekil 6'da gösterilen I noktadan başladığı ve şaftın merkezine doğru ilerlediği görülmüştür. Mikro çatlak oluşumlarının daha sonra birçok farklı yerden ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Şaftın karşı kenarından da çatlak oluştuğu saptanmış olup, zoraki kopma nedeniyle çatlak ilerlemek için fazla zaman bulamadığı değerlendirilmektedir. Fatura üzerinde bulunan muhtemel çentik çizikleri nedeniyle muhtelif çatlaklar ortaya çıkıp ilerlemiştir.

Kırık Yüzeylerin Makro Görüntüleri

Kırık yüzeylerin, ilk olarak çıplak gözle, daha sonra büyütülmüş makro görüntülerinin etüdünde, ilk bakışta göze çarpan hususlar şunlardır;

a) Tam dairesel olmayan, elipse benzer bir kesit ortaya çıkmıştır,

- Yüksek burulma momentlerine özgü aşırı plastik deformasyon ortaya çıkmamıştır,
- Yorulma kırık yüzeyi ve ara geçiş bölgesi belirgin şekilde oluşmuştur,
- Yorulma kırık alanında durak çizgileri görülmektedir. Durak çizgilerinin düzensiz, farklı açıklıklarla ortaya çıktığı ve keskin belirgin olmadıkları görülmektedir,
- Son kırılma bölgesi adıyla zoraki kırılma bölgesi sağlı sollu yırtılma şeklinde gerçekleşmiş ve faturada yarıklar, ayrışmalar oluşmuştur. Zoraki kırılma bölgesi şaftın merkezinden kenara kaymıştır. Soldaki bölge zoraki ayrıştıktan sonra sağdaki son kırılma bölgesi oluşmuştur. Son kırılma bölgesinin büyüklüğü aşırı zorlamayı çağırılmıyor! Fatura dibindeki pürüzlülüğün, gerilme yığılmalarının ve birden fazla çentik etkisinin kopmaya neden olduğu değerlendirilmektedir,
- Kırık yüzeylerde merkeze doğru ilerleyen tipik kutupsal çizgisel çukurcuklar, yarıklar, izler, oluşumlar bulunmaktadır! Bu oluşum aynı zamanda kesit üzerinde ayrışmanın ilk yönünü ve dağılımını göstermektedir,
- Kırık yüzeyi düz ve mat olarak ortaya çıkmıştır. Zoraki kırık bölgesinde plastik deformasyona bağlı vadi, dağ oluşumu görünümü abartılı şekilde ortaya çıkmamıştır,
- Çatlak başlangıcı bölgesinde ve çatlak yarıklarının çevresinde yağ, su, kir gibi ve çevresel katmanların hâkim olduğu bir oksidasyon oluşumu kendisini bir renk ayırımı ile belli etmektedir,
- Şafttan flanşa geçiş kesitinde bulunan faturanın dibinden çatlak, yaklaşık 45 derecelik bir açıyla kısa bir süre ilerlemiştir. Bu ilerleme sırasında fatura çevresinde diğer pürüzlülüklerden birden fazla çatlaklar ortaya çıkarak, ayrışma küçük bir kavisle merkeze doğru ve kesit yüzeyine paralel olacak şekilde kopmaya kadar devam etmektedir.



Şekil 6. Flanş-Şaft Elemanında Fatura Yüzeyi Üzerinde Ortaya Çıkan Gerilmeler, Çentik, Yapısal Gerilme Dağılım Eğrileri



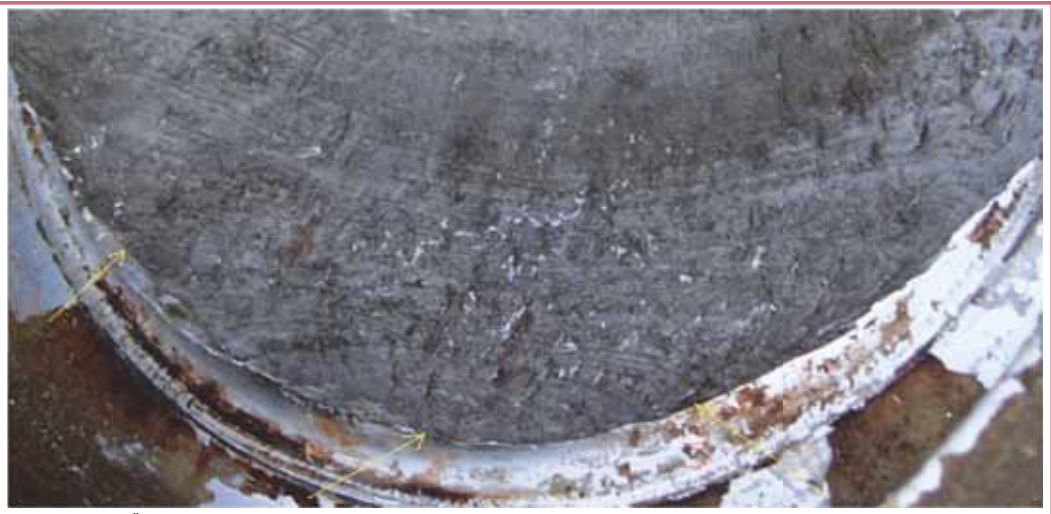
Kırık Yüzeylerin İncelenmesinden Elde Edilen Sonuçların Genel Değerlendirmesi

1. Karmaşık bir işletme hasarı olduğu ilk bakışta hemen anlaşılacaktır. Genelde şaftlarda burulma ve eğilmeden oluşan zorlamalarda meydana gelen işletme kırılmaları birbirinden farklı şekilde oluşmaktadır. Bunun nedeni hasar kırığı oluşumunu etkileyen çok sayıda faktörün bulunmasıdır.
2. Kırık yüzeyin neredeyse tamamı mat bir görüntü vermektedir. Şaftın eksenine dik ve pek simetrik olmayan bir elipssel kesitin ortaya çıkması ve sağlı sollu uçlarda zoraki kopmanın vuku bulması, burulma yanında, çevresel değişken eğilme gerilmelerin etkisinin

olduğunu göstermektedir. Genelde burulma ya da burulma ağırlıklı, bileşik değişken zorlama hallerinde ve sünek malzemelerde büyük bir plastik şekil deformasyonu ile şaft eksenine boyunca elipssel kopmalar gözlenmektedir. Gevrek malzemeye benzer özelliklere sahip şaftlarda ve/veya şiddetli değişken genlikli ve darbe şeklinde şiddetli zorlamalarda şaft kırığında dairesel kesit korunmaktadır. Flanş-şaft kırığı kesiti, dairesel kesitten deforme olarak elipssel ve şaft eksenine dik bir kesitle iki parçaya ayrılmıştır. Zoraki kırılma, yani son kırılma alanının sağlı sollu uçlarda bulunması tam değişken genlikli periyodik eğilme zorlamalarının etkili olduğunu göstermektedir.



Şekil 7. Flanş Üzerinde Kırık Yüzeyin Makro Görüntüsü



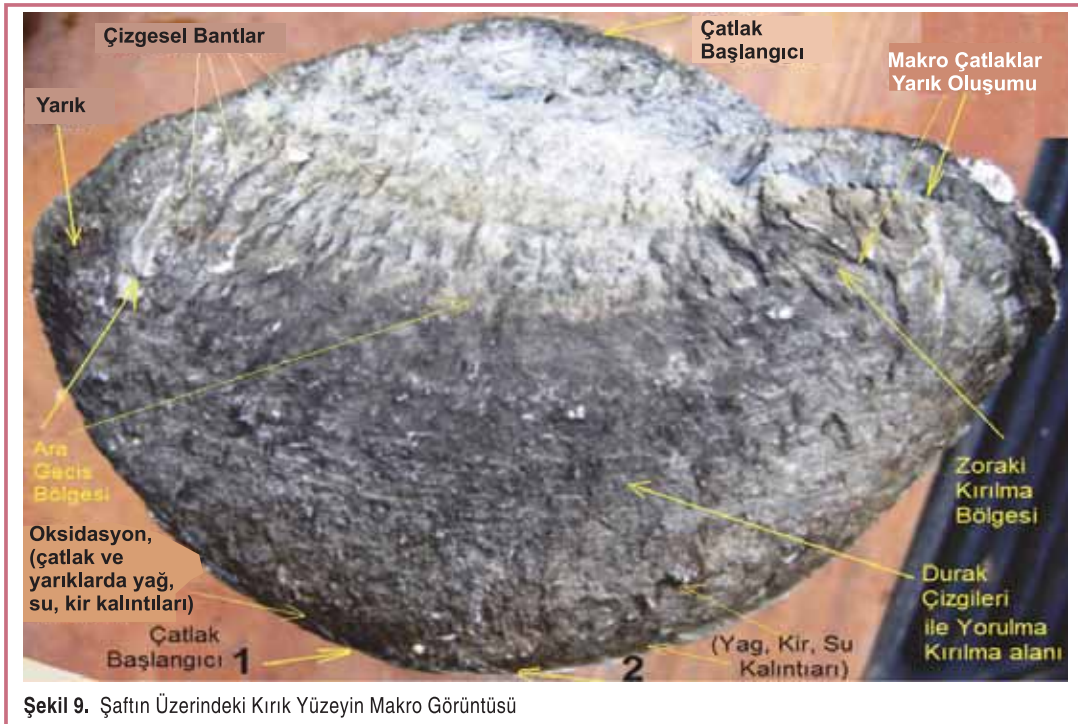
Şekil 8. Flanş Üzerinde Kırık Yüzeyin Büyütülmüş Görüntüsü, Çatlak Başlangıçları

3. Kırık yüzeylerde vadi ve tepe şeklinde plastik deformasyonların düşük seviyede gerçekleşmesi; gevrek malzeme özelliklerine sahip, zayıf kesitli şaftlarda, şiddetli zorlamalarda ve ani darbe şeklinde kırılmalarda gözlenmektedir. Kullanılan malzemenin yorulma dayanımının düşük olması, kırılma olayını kolaylaştırmıştır. Yorulma dayanımından çok korozyon dayanımı göz önüne alınarak, şaft malzemesi olarak dubleks çelik tercih edilmiştir.
4. Büyütülmüş fotoğraf görüntülerinde belirgin bir şekilde tespit edilen çukurcuk şeklindeki zikzaklı kademeli oluşumlar, izler, burulma ağırlıklı birleşik zorlamanın zaman zaman yön değiştirdiğini göstermektedir
5. Yüzeylerin büyütülmüş görüntülerinde farklı iki yönde ve alışılmadık dışında ilerlemiş durak çizgileri tespit edilmektedir. Bu durak çizgileri görüntüleri işletme kırığını teyit etmektedir. Büyütülmüş görüntülerde kutupsal çizgisel şekilde çukurcuk görüntüleri, zikzaklı bir gerilmenin mevcudiyetini göstermektedir. Yorulma kırık alanı kesitin her iki tarafında, eğilme gerilmelerin maksimum değerlere ulaştığı karşılıklı olarak iki bölge oluşmuş ve şaftın orta eksenine doğru alan genişlemiştir. Bu oluşum bize şaftın normal işletme koşullarında çalıştığını, aşırı zorlama yapılmadığını göstermektedir.
6. Flanş-şaft elemanında kırığın meydana geldiği kesit incelendiğinde beklenildiği gibi, kırığın flanş göbeğinde bulunan şaftın faturasından ortaya çıktığı görülür.

Burada kuvvet akışı çizgileri yön değiştirerek şafttan flanşa doğru sapmaktadır. Bu nedenle lokal gerilme yığılmaları meydana gelmektedir. Ayrıca eğilme, burulma dış zorlamaları nedeniyle burada şaftın flanşa kaynaştığı noktada eğilme ve burulma gerilmelerinden oluşan en çok eşdeğer gerilme ortaya çıkmaktadır. Buradaki eşdeğer gerilmenin değeri, malzemenin emniyet akma sınırının altında olsa dahi, zamanla değişken genlikli gerilmeler nedeniyle malzemede pekleşmenin ve dolayısıyla mikro çatlakların oluşmasına neden olabilmektedir.

7. Çatlakların dış yüzeyden ortaya çıkmasını tetikleyen diğer bir neden ise, faturanın talaşlı imalatı sırasında ortaya çıkan takım izleridir. Takım izlerinin burada mikro çatlak oluşumunu tetiklemesi kuvvetle muhtemeldir. Üretici firmanın katalogunda flanş-şaft eleman kimliği ile bilgilerde takım izlerinin makro-mikro görüntüleri ve imalat işlemiyle ilgili bilgilere de yer verilmelidir.
8. Flanş-şaftın kırık yüzeylerinin incelenmesinden çıkan sonuçlar özetlenecek olursa; elemanın en zayıf, yani kırılma olasılığı en yüksek yer şaftın flanş ile kaynaştığı faturalı kesittir. Çatlaklar bu kritik kesitte eşdeğer gerilmenin sağlıklı sollar maksimum değerlere ulaştığı noktalarda ve fatura yüzeyinde takım izlerinden ortaya çıkmıştır.

Sujetli sevkli gemi makine sisteminde flanş-şaft elemanında ortaya çıkan hasar kırığı ilk bakışta önemsiz olarak değerlendirilmektedir. Kırık parçanın kısa sürede ve masrafsız



Şekil 9. Şaftın Üzerindeki Kırık Yüzeyin Makro Görüntüsü

yenisiyle değiştirileceği sanılmaktadır, mevcut şaft elemanının değiştirilebilmesi için geminin havuzlanması/kızaklanması gerekmekte, kırılan flanş-şaft parçasıyla, parçanın üzerinde bulunan elemanlar (sızdırmazlık elemanı ve yatağı, rulmanlar, kaplin) yenileriyle değiştirilmekte, pervane uç kısımlarından taşlanarak kullanılmaktadır. Pervanenin bu şekilde kullanımı geminin maksimum hızında azalmaya neden olmaktadır. Ayrıca tüm bu işlemlerin maliyetleri çok yüksek rakamlara ulaşmaktadır.

Sonuç olarak; bu gibi parçaların Türkiye’de imalatında da yarar vardır. Sadece bu parçaların değil komple sujeti gemi sevk makine sisteminin Türkiye’de üretilmesinde yarar vardır. Türkiye’de teknoloji düzeyi, bilgi birikimi günümüzde bu ve benzeri, hatta daha karmaşık makine sistemlerini rahatlıkla çok daha iyi tasarlayıp üretme potansiyeline sahiptir. Kurumların, TÜBİTAK’ın proje destekleri bu gibi konular üzerine yoğunlaşmalıdır.

En azından, kısa sürede flanş-şaftın tasarımı iyileştirilip Türkiye’de üretilmesine geçilmelidir. Tasarım iyileştirmelerinde üretilecek prototipin mutlaka işletme dayanımı testleri yapılmalıdır. Deneysel testlerden elde edilen veriler, sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen değerlerle karşılaştırılmalıdır. Bu değerlere göre bilgisayar ekranında gerekli iyileştirmelerin gerçekleştirilmesi ve daha sonra orijinal parçaya aktarılmasında yarar vardır. Diğer taraftan mevcut bir gemide çalışan bir parçanın üzerinde kritik fatura bölgesinde DMS yöntemi ile ortaya çıkan gerilmelerin tipi ve şiddeti ölçülmelidir. Buradaki verilerden elde edilecek yük kolektifi ile daha dayanıklı güvenilir flanş-şaft üretimi gerçekleştirilebilir. Kısa sürede yapılabilecek bazı iyileştirmeler; a) yorulma dayanımı daha yüksek bir malzeme seçilmesi, b) Kritik yüzeyde kesit artırımına gidilmesi, c) Kritik kesitte yüzey kalitesinin iyileştirilmesi, artırılması, d) Şaft ile flanş geçiş bölgesindeki faturanın eğrilik çapının ve formunun form optimizasyonu ile kontrol edilmesi şeklinde sayılabilir.

SONUÇLAR

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmaktadır:

1. Yetersiz boyutlandırma; işletme dayanımı dikkate alınmadığı, özellikle değişik çalışma koşullarında gemi şaftlarında ortaya çıkan şiddetli ek yükler yeteri derecede dikkate alınmadığı kanaati hâkimdir. Şaft ile flanş geçişi arasında bulunan fatura yüzeyinde üç boyutlu dinamik değişken karmaşık yerel gerilmeler ortaya çıkmaktadır. Fatura yüzeyinin talaşlı imalatı sırasında ortaya çıkan takım izleri, mikro çatlakların oluşmasına neden olmuştur. Birden fazla çatlak başlangıcının ortaya çıkması bu çentik etkisi gösteren takım izlerinin olduğunun bir delilidir.
2. Diğer bir neden olarak; flanş-şaft dibi geçişinde (kavisinde) kuvvet akışı nedeniyle ortaya çıkan gerilme

yığılmalarının azaltılmasını öngören konstrüktif önlemlerin yetersiz, zayıf kalması söylenebilir. Buradaki faturanın kavis formu, eğrilik çapının bir optimizasyonu olarak araştırılmalıdır.

3. Daha dayanıklı malzeme seçimi alternatif olarak değerlendirilmelidir. Flanş-şaft irtibat elemanının daha yüksek emniyet katsayılarına göre boyutlandırılmasının parçanın dayanımını ve ömrünü artıracığı muhakkaktır. Diğer bir öneri ise; farklı, yeni tasarım ve imalat yöntemleriyle parçanın üretimidir.
4. Tasarım ve imalat sonrası gerekli kontrollerin muayenelerin ömür analizlerin yapıp yapılmadığı hakkında bilgi bulunmamaktadır. Bu tür parçalarda mutlaka üretici firmadan deneysel ve/veya analitik, nümerik ömür analizlerinin yer aldığı bir sertifika istenmelidir.
5. Diğer gemilerde benzeri parçaların aynı yerden tekrar tekrar kopmaları dikkate alındığında hasar nedeninin üreticiden; tasarım ve imalat hatalarından kaynaklandığı değerlendirilmektedir.
6. Kırık yüzeylerin makro görüntülerinden elde edilen bulgular hasar nedeni hakkında yeterlidir. Bu sebeple; maliyeti yüksek, zaman alıcı, külfetli hasar analizlerine gerek duyulmamıştır. Bilgisayar destekli yapılan bazı hasar analizleri, makro görüntülerden elde edilen hasar nedenini teyit etmiştir.

KAYNAKÇA

1. <http://www.mjp.se>, son erişim: 2011.
2. www.hamjet.co.nz, son erişim: 2011.
3. **Haibach, E.** 2002. “Betriebsfestigkeit, Verfahren und Daten zur Bauteil Berechnung” Aufl. II, Springer Verlag Berlin.
4. **Eryürek, B.** 1993. Hasar Analizi, Birsen Yayınevi, İstanbul.
5. **Grosch, J.** “Schadenskunde im Maschinenbau Charakteristische Schadensursachen - Analyse und Aussagen von Schadensfällen,” 5. Überarb. Aufl. Expert Verlag.
6. **Schaper, M.** 2004. “Schadenanalyse,” Skript, Technische Universität Dresden.
7. **Lange, G.** 2001. “Maßgebliche Ursachen für das Versagen metalischer Bauteile,” p. 187-198, Forschungsberichte des Inst. für Schweißtechnik, Techn. Universität Braunschweig, Shaker Verlag, Braunschweig.
8. **Özden, H., Gürsel, T.** 2005. “Hasar Tespit Analizlerinde İşletme Dayanımı,” Uluslararası Kırılma Kongresi, Kocaeli Üniversitesi.
9. **Özden, H.** 2006. “Hasar Analizi Raporu; Yanma Odasından Kaynaklanan Bir Taşıt Motorundaki Hasarın Bilirkişi Raporu,” EÜ, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir