

Bir Greyderin Dişli Rotunun Hasar Analizi

Ayşe ÖNDÜRÜCÜ*1, Öyküm KANBİR²

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta

²Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, 16059, Bursa

(Alınış / Received: 13.07.2016, Kabul / Accepted: 18.01.2017, Online Yayınlanma / Published Online: 03.02.2017)

Anahtar Kelimeler

Hasar analizi,
Mekanik deneyler,
Kırık yüzey analizi,
SEM görüntüsü,
Sonlu elemanlar metodu

Özet: Bu çalışmada, bir greydere ait daire dişli rotunun hasar analizi yapılarak, parçada meydana gelen hasarın nedeni araştırılmıştır. Hasarlı parçanın imalatında kullanılan malzemenin belirlenmesi çalışmanın ilk adımını oluşturmaktadır. Hasarlı parçaya uygulanan kimyasal analize göre malzemenin St52 (S355) çeliği olduğu saptanmıştır. Hasarlı parçadan standartlara uygun numuneler hazırlanarak sertlik, çentik darbe ve üç nokta eğme deneyleri yapılmıştır. Bununla birlikte metalografik inceleme yapılmıştır. Çalışma sonucunda mekanik deney sonuçları ile metalografik incelemelerden elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirilerek hasarın oluşum nedeni ve oluşum şekli hakkında yargıya varılmaya çalışılmıştır. Yapılan analiz sonucu parçanın aşırı zorlanmadan dolayı hasara uğradığı sonucuna varılmıştır.

Failure Analysis of Gear Root of a Grader

Keywords

Failure analysis,
Mechanical tests, Fracture
surface analysis,
SEM photograph,
Finite element method

Abstract: A failure analysis of a gear root of heavy duty machine has been carried out in this study. The cause of failure was investigated. The determination of the material used fractured part is the first step of this study. Material used for failed part was determined using chemical composition analysis as St52(S355) steel. Mechanical tests such as hardness measurement, notched-impact test, and 3-point bending test samples have been prepared from fractured part and then hardness measurement, notched-impact tests and 3-point bending tests were carried out. The fracture surfaces were examined using light microscope. The failure surface was examined with the help of scanning electron microscope (SEM). The results obtained from the results of metallographic examination and mechanical test results together assessing have tried to reach a judgment about the failure. It is concluded that the main cause of failure is over and impact loading of the component.

1. Giriş

Hasar; bir yapının veya yapı elemanının kendisinden beklenen işlevleri yerine getiremez hale gelmesidir [1]. Bir elemanda hasar, yapının tasarım, imalat, montaj ve işletme safhalarının birinde yapılan teknolojik hata nedeniyle ortaya çıkar [2]. Tasarım sırasında yapılan hatalar; tasarım hataları ve malzeme seçiminde yapılan hataları kapsar. Bu hatalardan hatalardan tasarımcı sorumludur. İmalat safhasında rastlanan teknolojik hatalar ise; imalat hatalarını ve malzeme içindeki hataları kapsar. Bu hatalardan imalatçı sorumludur. Sistemin montajı sırasında yapılan hatalar montaj hataları olarak adlandırılır ve bundan montajı yapanlar sorumludur. İşletme sırasında yapılan hatalar ise, aşırı yüklenme ve bakım hataları olup bundan ise işletmecisi sorumludur [1].

Hasar analizi; bir parçanın veya sistemin hasara uğrama nedenini ve hasarın karakterizasyonunu belirlemede kullanılan bir yöntemdir. Genellikle hasar analizinin yapılmasındaki genel amaç benzer hasarın tekrarını önlemektir. Günümüz teknolojisinde hasar analizi ve önlenmesi mühendislik dallarının tümünün ilgi alanına girmiştir.

Literatürde hasar analizi ile ilgili birçok çalışma mevcuttur: Bir çalışmada, av ve spor tüfekleri için kritik parçaların hasar analizi yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada, imal edilen tüfeklerde kritik bazı parçalarda meydana gelen erken hasarın önlenmesi ve kalitenin artırılması için yapılabilecek uygun ısıtma işlemleri ve tasarım iyileştirmeleri araştırılmıştır [3]. Zhang vd., yaygın olarak kullanılan sondaj araçlarından olan pozitif yer değiştirme motorunun

rulman ve mili için hasar analizi yapmışlardır. Ayrıca bu motorların rulmanlarındaki kauçuk astarların uğradığı deformasyonun da sebebi araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda parçanın çalışma şartları altında aşınmaya ve korozyona uğradığı görülmüş ve iyileştirilmeleri konusunda araştırmalar yapılmıştır [4]. Kumari vd., bir uçak motorunun türbin rotorlarındaki kanatçıkların uğradığı hasarın sebebini araştırmışlardır. Hasar öncesi yapılan araştırmada, kanatçıkların son bakım verilerine göre ömrünün yaklaşık %80'ini tamamladığını saptamışlardır. Hasarın gözle muayenesi sırasında kanatçıklardan ikisinin kırıldığını, bazı kanatçıkların üzerinde de deformasyonların olduğunu gözlemişlerdir. Hasarın nedenini araştırırken bıçakların mikro ve makro açıdan yapısal incelemelerini, kimyasal analizini ve sertlik ölçümlerini yapmışlardır [5]. Peterka vd. tarafından bir sondaj platformunun kaldırma sistemindeki çelik halatların çok kısa bir işlem esnasında önemli ölçüde hasar görmesi üzerine yapılan inceleme sonucunda, kablo tellerinin üst tabakalarının hasar gördüğü gözlenmiştir. Hasarın nedenini tespit etmek için halat, mekanik deneyler ve metalografik incelemeler yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre düşük mukavemete sahip olan bazı tellerin kırığın ilerlemesine, gelişmesine ve hasarın meydana gelmesine sebep olduğu saptanmıştır [6]. Falah ve arkadaşları, bir otomobilin hareket düzeninin biyel mekanizmasında meydana gelen hasarı incelemişlerdir. Gözle muayene, fotoğraf kayıtları, kimyasal analiz, sertlik ölçümleri ve metalografik incelemeler, değerlendirme yapılırken kullanılan analiz aşamalarıdır. Ayrıca hasar yüzeyini incelemek için taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Çalışma; hasarın, dış açılmış parçanın malzeme hataları ve yanlış uygulanan ısıl işlemler sonucu parçanın boyun bölgesinde meydana gelen yorulma çatlaklarından kaynaklandığını göstermektedir. Parçanın kimyasal analizi yapılmış ve parçanın AISI 8620 çeliği olduğu belirlenmiştir. Spektrum analizleri ve sertlik ölçümleri sonucu hasara uğrayan parçanın yeterince sertleştirilemediği sonucuna varılmıştır. Yapılan hasar analizi çalışmalarından, biyel dişli parçasının hasarının birincil nedeninin malzeme hatalarından kaynaklandığı sonucuna varmışlardır [7]. Toribio vd., ağaç budama için kullanılan bir kaldırma platformunun hasar analizini yapmışlardır. Hasar, kaldırma platformunun ağaç budaması sırasında meydana gelmiştir. Çalışma ömrü boyunca kaldırma platformu aşağı ve yukarı kaldırma döngülerine maruz kalmıştır. Yapılan hasar analizi, bu hasarların kaynak dikişlerindeki yetersizlikten meydana geldiğini göstermiştir. Kaynak dikişinin süresizliği bir çatlak gibi davranmıştır. Kaynak bölgesi ve çevresindeki yorulma kırılması süreci, kaynak dikişinde kaynak işleminin neden olduğu mekanik özelliklerdeki değişikliklerden kaynaklanmıştır. Hasar, mikro sertlik ölçümleri ve metalografik çalışma ile tespit edilmiştir [8]. Yavuz tarafından yapılan çalışmada, taşıtlarda hasara uğramış güç

aktarma organları genel olarak incelenmiş ve örnek olarak kardan mili mafsalı ile aks milinin kırık yüzeylerinden metalografik numuneler hazırlanarak analiz edilmiştir. İncelemeler sonucunda kırılmaların yorulmadan ve malzeme kusurlarından kaynaklandığı tespit edilmiştir [9]. To vd., pim bağlantılı temperlenmiş cam yapı elemanlarında meydana gelen hasarı deneysel ve nümerik metotlarla incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, sonlu elemanlar metodu ile elde ettikleri nümerik sonuçlar ile gerçek boyutta test ettikleri deneysel sonuçların birbiriyle uyum içinde olduğu görülmüştür [10]. Gerdun vd. ise, ağır yük vagonlarındaki silindirik makaralı rulmanlarda ve akslarda meydana gelen hasarları incelemişlerdir [11].

Bu çalışmada, bir greydere ait daire dişli rotunun hasar analizi yapılarak parçada meydana gelen hasarın nedeni araştırılmıştır. Greyder kullanıcısından alınan bilgi kısa sürede (1-2 ay periyotla) bu parçanın hasara uğradığı şeklindedir. Harfiyat çalışması esnasında kepçenin aşırı yük ve darbeye maruz kalması sonucunda dişli rotunun kırıldığı rapor edilmiştir. Hasarlı parçanın imalatında kullanılan malzemenin belirlenmesi, çalışmanın ilk adımını oluşturmaktadır. Hasarlı parçadan elde edilen numunelere mekanik deneyler uygulanmıştır. Kırık yüzeyler metalografik incelemeye tabi tutulmuştur. Optik mikroskop ve SEM yardımıyla iç yapı incelenmiştir. Bunun yanı sıra, hasar gören parçanın sonlu eleman modeli oluşturulup nümerik analiz yapılmıştır.

2. Malzeme ve Metot

Greyderin kritik bir parçası olan hasar gören daire dişli rotunun çalışma yerindeki montajlı haldeki konumu Şekil 1'deki gibidir.



Şekil 1. Hasar gören dişli rotunun greyder üzerindeki konumu

Kepečenin zorlanmasına bağlı olarak çalışma esnasında tesviye edeceği / taşıyacağı malzemenin durumuna ve konumuna bağlı olarak kepece belli bir açıda operatör tarafından hareket ettirilmektedir. Bu hareket Şekil 1'de gösterilen hidrolik kol vasıtasıyla

dişli rotuna iletilmektedir. Bu sistem 45°'den daha düşük açılarda harekete neden olmaktadır. Eğer kepçeye çalışma esnasında aşırı bir yük, darbe vs. gelirse örneğin; taş, kaya veya aşırı yığılmış toprak gibi malzemeler kepçe hareketine engel olmaktadır. Hidrolik kol hidrolik basınç vasıtasıyla harekete zorlamasına rağmen kepçe konum değiştirememektedir. Bu durumda dişli ve buna bağlı dişli rotu aşırı zorlanır. Bunun sonucunda parçada zorunlu kırılma oluşmuştur. Şekil 1'de çalışma yerindeki montajlı haldeki konumu gösterilen dişli rotu, çalışma esnasında hasara uğrayıp kullanılamaz hale gelmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Hasara uğrayan greydere ait dişli rotu

Hasarlı parçanın imalatında kullanılan malzemenin belirlenmesi çalışmanın ilk adımını oluşturmaktadır.

Bu nedenle ilk olarak hasara uğrayan parçanın kimyasal analizi yapılmıştır. Hasara uğrayan parçanın kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de [12], S355J2G3 1.0570 numaralı çeliğin kimyasal kompozisyonu ise Tablo 2'de [13] verilmiştir. Yapılan analiz sonucunda hasara uğrayan parça malzemesinin, silisyum ve

mangan miktarı göreceli yüksek bir içeriğe sahip St52 (S355) çeliği olduğu sonucuna varılmıştır.

Çelik içinde bulunan kalıntı elementlerin zararsız hale getirilmesi ile MnS, SiO₂, Al₂O₃ gibi kalıntı bileşikler (inklüzyon) oluşur. Bu kalıntılar çeliğin kırılma davranışları ile dayanım özelliklerini büyük ölçüde etkiler. Bu kalıntı bileşikler çeliğin yöne bağlı özellik (anizotropi) göstermesine neden olurlar. Kalıntı bileşiklerinin esas metal ile birleşme yüzeyleri dayanımı zayıftır. Esas metal ile bu bileşiklerin ısıl genişleme katsayıları farklı olduğu için kalıntı bileşiklerinin etrafında çeki iç gerilmeleri oluşur ve çatlaklar genellikle buralardan başlar. Mn değerinin yüksek olması MnS oluşumunu destekler. FeS yerine MnS oluşması Mn'in S'e karşı afinitesinin Fe'den fazla olmasından kaynaklanır. MnS gibi şekillenebilen kalıntı bileşiği, FeS'e göre daha az kırılımandır. Böylece malzemenin sünek kırılmasına katkıda bulunur [14].

St52 çeliği; bükme ve soğuk şekillendirme uygulamalarında mükemmel bir performans gösteren, derin çekilebilir, yüksek mukavemet gerektiren uygulamalarda olumlu sonuçlar vermesi gibi özelliklerinden dolayı otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Otomotiv sektöründe özellikle jant ve şasi gibi hem yüksek mukavemet hem de üstün şekillendirilebilirlik özellikleriyle ön plana çıkmaktadır. Süneklik ve tokluk optimizasyonu ile çoğunlukla inşaat makineleri ve iş makineleri imalatında, genel konstrüksiyon levhalarında, kara ve demiryolu araçları imalatında kullanılmaktadır. Bundan dolayı söz konusu hasarlı parçanın malzeme olarak St52 kalitede seçilmesi uygun bulunmuş ve üretici firmanın bu malzemeyi seçtiği anlaşılmıştır.

Malzemenin kimyasal kompozisyonu belirlendikten sonra greydere ait hasar görmüş olan bu parçadan elde edilen numuneler çentik darbe ve üç nokta eğme deneyine tabi tutulmuştur. Ayrıca sertlik ölçümü yapılarak sertlik değerleri belirlenmiştir. Metalografik inceleme için numuneler hazırlanmıştır.

Şekil 2b'de verilen hasarlı parçanın kırık yüzeyinden alınan numune dağıldıktan sonra optik mikroskop altında incelenmiştir.

Tablo 1. Hasara uğrayan greyder parçasının kimyasal kompozisyonu [12]

Element	%	Element	%	Element	%
Karbon (C)	0,16700	Silisyum (Si)	0,15400	Mangan (Mn)	1,13400
Fosfor (P)	0,01150	Kükürt (S)	0,00100	Krom (Cr)	0,01350
Molibden (Mo)	0,00300	Nikel (Ni)	0,00800	Alüminyum (Al)	0,01180
Kobalt (Co)	0,00100	Bakır (Cu)	0,01480	Niobyum (Nb)	0,00100
Titanyum (Ti)	0,00100	Vanadyum (V)	0,03100	Tungsten (W)	0,00100
Kalay (Sn)	0,00100	Demir (Fe)	Kalan		

Tablo 2. S355J2G3 1.0570 numaralı çeliğin kimyasal kompozisyonu [13]

C	Si	Mn	Ni	P	S	Cr	Mo	Al	-
max. 0,22	max. 0,55	max. 1,6	max. 0,3	Max. 0,035	Max. 0,035	Max. 0,3	Max 0,08	Max 0,02	Cr+Mo+Ni < 0,048

3. Bulgular

3.1. Sertlik deneyi sonuçları

Hasara uğrayan parçanın hasar bölgesine en yakın noktalardan sertlik ölçümü yapılmıştır. Rockwell B'de ölçüm yapılmış ve sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir [12]. Sertlik ölçümleri hasarlı numunenin farklı noktalarından üçer adet yapılmış ve ortalaması alınmıştır. Sertlik değerlerinin homojen olarak dağıldığı ve birbirine yakın değerler olduğu belirlenmiştir. Parçanın hasar bölgesi dışındaki noktalardan ölçülen sertlik değerleri ile karşılaştırılmıştır. Buradan hareketle hasarlı parçanın sertlik değerinde değişim olmadığı görülmüştür.

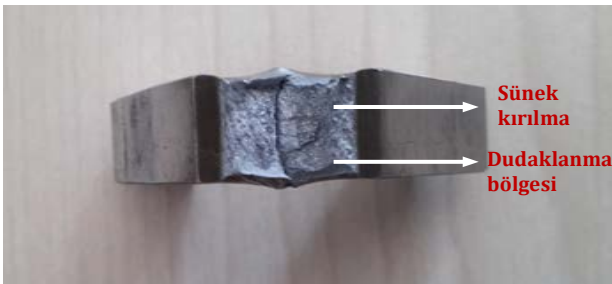
Tablo 3. Hasara uğrayan parçanın sertlik deneyi sonuçları

Numune No	Sertlik Değeri (HRB)
1	78±2
2	73±3
3	80±1

St52'nin soğuk çekilmiş halde sertlik değeri HB195'dir. Burada kullanılan malzeme soğuk şekillendirilmemiştir. Bu nedenle daha düşük sertlik değerine sahiptir. Bu durumda uygun olmayan sertlik değerine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Burada esas olan kırık bölgesinde önemli sertlik değişiminin olup olmadığıdır. Bu açıdan incelendiğinde bir problem olmadığı açıkça görülmektedir.

3.2. Çentik darbe deneyi sonuçları

Çentik darbe deneyi Charpy yöntemiyle oda sıcaklığında V-çentikli olarak uygulanmıştır. Çentik darbe deneyi uygulanmış numunenin makro görünüşü Şekil 3'te verilmiştir. Malzemede sünek kopma gerçekleşmiştir ve şekilde gösterildiği gibi dudaklanma meydana geldiği gözlenmiştir.



Şekil 3. Çentik darbe deneyi uygulanmış numunenin makro görünüşü

Hasara uğrayan parçadan elde edilen numunelerin çentik darbe deneyi sonuçları Tablo 4'te verilmiştir [12]. Numunelerin kırılma enerjilerinin birbirine çok yakın çıkması homojenliği gösterir. Literatürde gevreklik sınırı 15-20J arasında verilmektedir [15]. Bu nedenle Tablo 4'te verilen kırılma enerjilerinin yüksek olması sünekliğin bir göstergesidir. Dinamik yük veya darbelere maruz kalan parçaların üzerine

gelen bu yükleri aktarması veya absorbe etmesi beklenir.

Tablo 4. Hasara uğrayan parçanın çentik darbe deney sonuçları

Numune No	Darbe Enerjisi (J/cm ²)	Absorblanan Enerji (J)
1	157,6	126,0
2	157,8	126,2
3	180,4	144,4

3.3. Üç nokta eğme deneyi sonuçları

Hasarlı parça yeterince büyük olmadığı için bu parçadan çekme numunesi elde edilemediğinden çekme deneyi uygulanamamıştır. Özellikle çekme deneyinin yapılmadığı / yapılamadığı şartlarda eğme deneyi sonuçları çekme deneyinin yerine kullanılabilir. Bir parçada çatlak oluşumu veya çatlakların ilerlemesi için mutlaka çekme gerilmesi etkili olmalıdır. Eğme halinde aynı kesitte hem çekme hem de basma gerilmesi oluşmaktadır. Dolayısıyla çekme gerilmesi altında nasıl davranacağı eğme deneyi uygulanarak da bulunabilir. Bu nedenle üç nokta eğme deneyi ile sonuca gidilmesi amaçlanmıştır. Mühendislik malzemelerinin eğme dayanımı ile çekme dayanımı arasında bir ilişki mevcuttur ($\sigma_{eg} \geq \sigma_{çekme}$). Eğme dayanımı çekme dayanımına eşit ya da büyük olacağından çekme dayanımı olarak da alınabilir. Bu nedenle hasara uğrayan parçadan alınan numuneye üç nokta eğme deneyi uygulanmış ve numunenin eğme deneyi sonrası genel görünüşü Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Üç nokta eğme deneyi sonrası numunenin genel görünüşü

Hasara uğrayan parçadan alınan numunelere uygulanan üç nokta eğme deneyi sonucu elde edilen değerler Tablo 5'te verilmiştir [12].

Tablo 5. Hasara uğrayan parçanın üç nokta eğme deneyi sonuçları

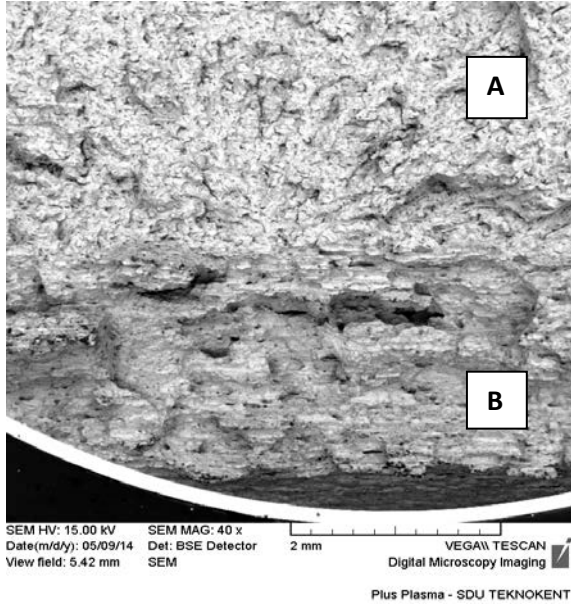
Numune No	Eğme Yüğü (N)	Eğme Dayanımı (MPa)
1	1850	1542
2	1854	1545
3	2347	1956

Eğme deneyi sonrası belirlenen eğme dayanımı değerleri yeterince yüksektir.

3.4. Metalografik çalışmalar

Mekanik deneyler sonucunda elde edilen değerlerin doğruluğunu teyit etmek amacıyla numunelerin kırık yüzey incelemeleri yapılmıştır. Kırık yüzey incelemeleri makro açıdan değerlendirilip mevcut yüzeylerin görünüşleri yorumlanmıştır. Metalografik incelemelerde takip edilen ve bazı sonuçlara ulaşmada referans olan en önemli yollardan birisi de kırılma yüzeylerinin tarama elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesidir. Bu tarz incelemeler kırığın tipini, sünek ve gevrek veya hangi oranda sünek veya gevrek kırılmanın ortaya çıktığını belirlemek amacıyla yapılmıştır.

Greyderin hasara uğrayan parçasının yüzey incelemelerinde SEM kullanılmıştır. Bu analiz, kırılan yüzeyin farklı bölgelerinden elde edilen SEM görüntüleri ile yapılmıştır. Şekil 2'de gösterilen hasara uğrayan dişli rotundan alınan numunenin kırılma yüzeyinin SEM görüntüsünde bölgesel olarak iki ayrı yapı dikkati çekmektedir (Şekil 5). Şeklin üst tarafında (A bölgesinde) geniş bir kısımda sünek bir yapı, alt tarafında sünek kısma nazaran dar bir bölgede (B bölgesinde) ise daha gevrek bir yapı görülmektedir. Bu şekilden kırılmanın ağırlıklı olarak sünek bir yapı gösterdiği sonucuna varılmıştır.

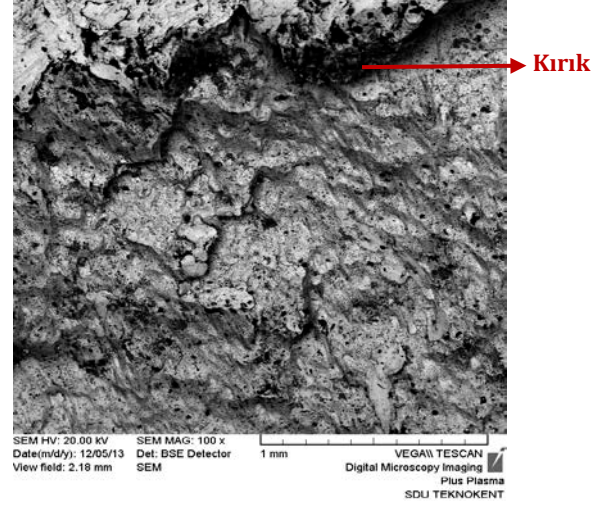


Şekil 5. Kırık parçadan alınan SEM görüntüsü (40X)

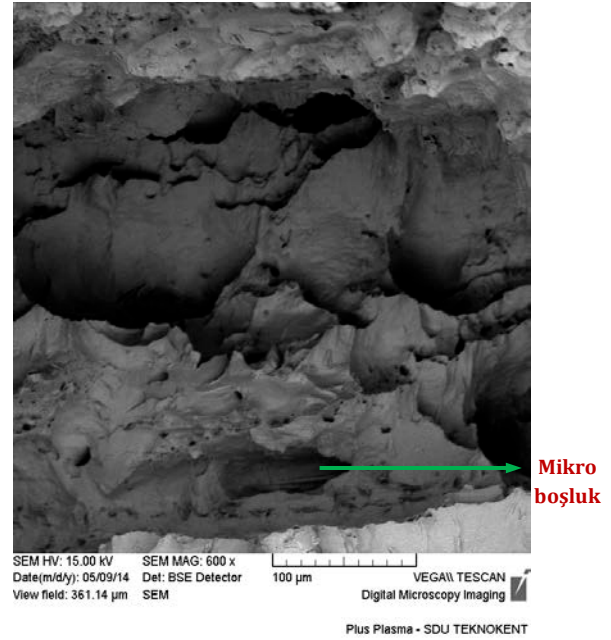
Şekil 6'da verilen (100 büyütme) SEM görüntüsünde yüzeyde kirlilik mevcut olup şeklin üst tarafında bir kırığın ilerlediği bariz şekilde görülmektedir. Alt tarafta ise yer yer gamzeler görülmekte olup sünek bir yapı gözlenmektedir. Bunun yanı sıra küçük kırılma çizgileri de görülmektedir.

Şekil 7'deki hasara uğrayan St52 malzemeden elde edilen çentik darbe deneyi numunesinin kırılma yüzeyinin SEM görüntüsünde, üst kısımda ayrı bir kırılma söz konusudur. Şekil 5'te olduğu gibi, burada da bölgesel olarak şeklin alt kısmına göre farklı bir

kırılma görülmektedir. Orta kısımda ise gamzeler mevcuttur ki bu da kırılmanın sünek olduğunu gösterir. Ayrıca SEM görüntüsünün alt kısmında ise birden çok mikro boşluk söz konusudur.



Şekil 6. Kırık parçadan alınan SEM görüntüsü (100X)



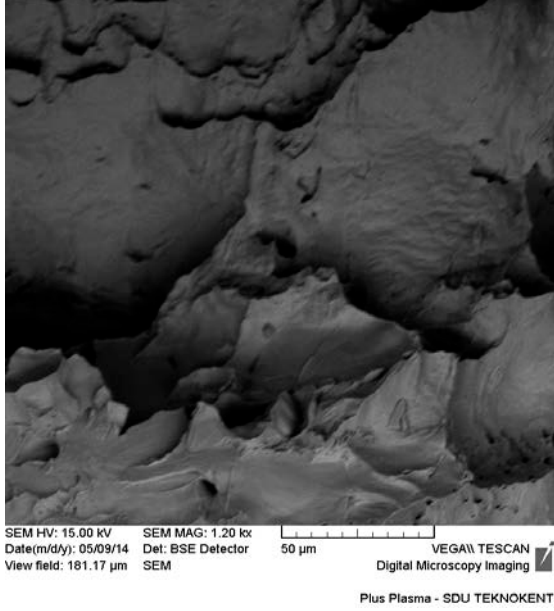
Şekil 7. Hasara uğrayan malzemenin çentik darbe deneyi numunesinden alınan SEM görüntüsü

Şekil 8'de hasara uğrayan St52 malzemeden elde edilen çentik darbe deneyi numunesinin SEM görüntüsündeki yapı sünek kırılmaya örnektir. Meydana gelen bölgesel kırılmaların da ayrılmalara yol açtığı gözlenmektedir. Bu görüntüden de özellikle alt bölgede mikro boşlukların olduğu görülmektedir.

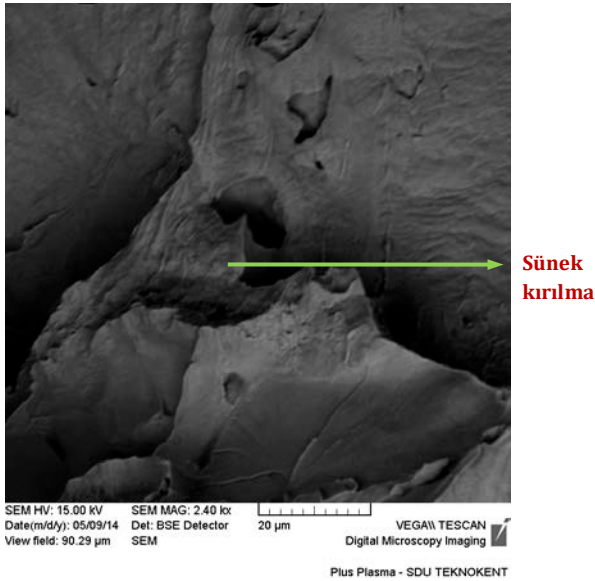
Şekil 9'da hasara uğrayan St52 malzemeden elde edilen çentik darbe deneyi numunesinden alınan SEM görüntüsünde kısmi yırtılma meydana geldiği görülmektedir. SEM görüntüsünün orta kısmında ise sünek kırılma söz konusudur. Yine mevcut bölgede de yırtılma meydana gelmiştir.

Şekil 10'da hasara uğrayan parçanın kırılma yüzeyinden alınan numunenin SEM görüntüsünde

empürite açıkça görülmektedir. Yüzeyde kirlilik mevcuttur. Kirlilik yüzeyde oluşmuş metalik olmayan kısımların varlığıdır. SEM incelemesinde sadece kırık yüzey incelemesi yapılması durumunda herhangi bir değişikliğe neden olmamak için bir mekanik ön temizlemeye gidilmez. Bu çalışmada yüzey kirliliği yıkayarak giderilmeye çalışılmıştır.



Şekil 8. Hasara uğrayan malzemenin çentik darbe deney numunesinden alınan SEM görüntüsü

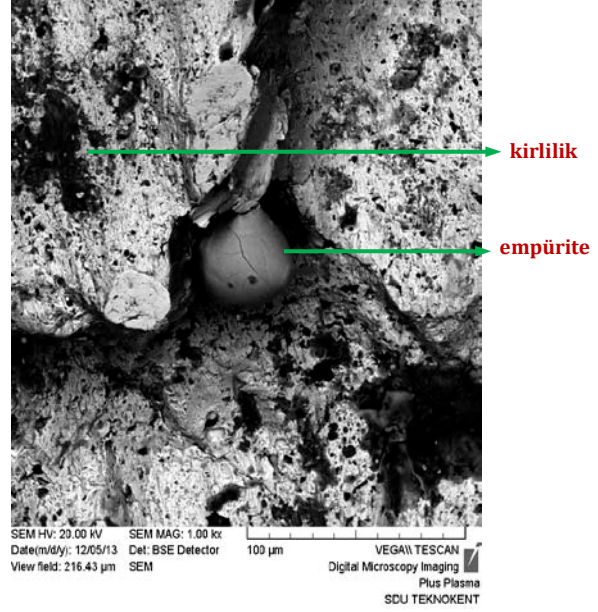


Şekil 9. Hasara uğrayan malzemenin çentik darbe deney numunesinden alınan SEM görüntüsü

Hasara uğrayan parçadan alınan numuneye dağlama yapılarak metalografik incelemeye hazır hale getirilmiştir. Şekil 11'de hasara uğrayan parçanın kırılma yüzeyinden alınan numunenin iç yapı görüntüleri verilmiştir. Bu görüntülerden yapının homojen olduğu ve mekanik fiberleşmenin varlığı gözlenmektedir.

Mekanik fiberleşme malzeme içinde bulunan inklüzyonların şekillendirme tipine bağlı olarak ince

fiberler halinde yönlenecek bir dizi haline gelmesidir. Toplu olarak belli bölgelerde bulunan inklüzyonlar mekanik fiberleşmeye göre daha zararlıdır. Bu açıdan bakıldığında bu çalışmada incelenen malzemede gözlenmiş mekanik fiberleşmenin, malzemenin daha sünek davranmasına katkısı olduğundan olumlu bir yapının varlığından bahsetmek mümkün olmaktadır.



Şekil 10. Hasara uğrayan parçanın kopma yüzeyinden alınan numunenin SEM görüntüsü



Şekil 11. Hasara uğrayan parçanın kopma yüzeyinden alınan numunenin iç yapı görüntüsü (100X)

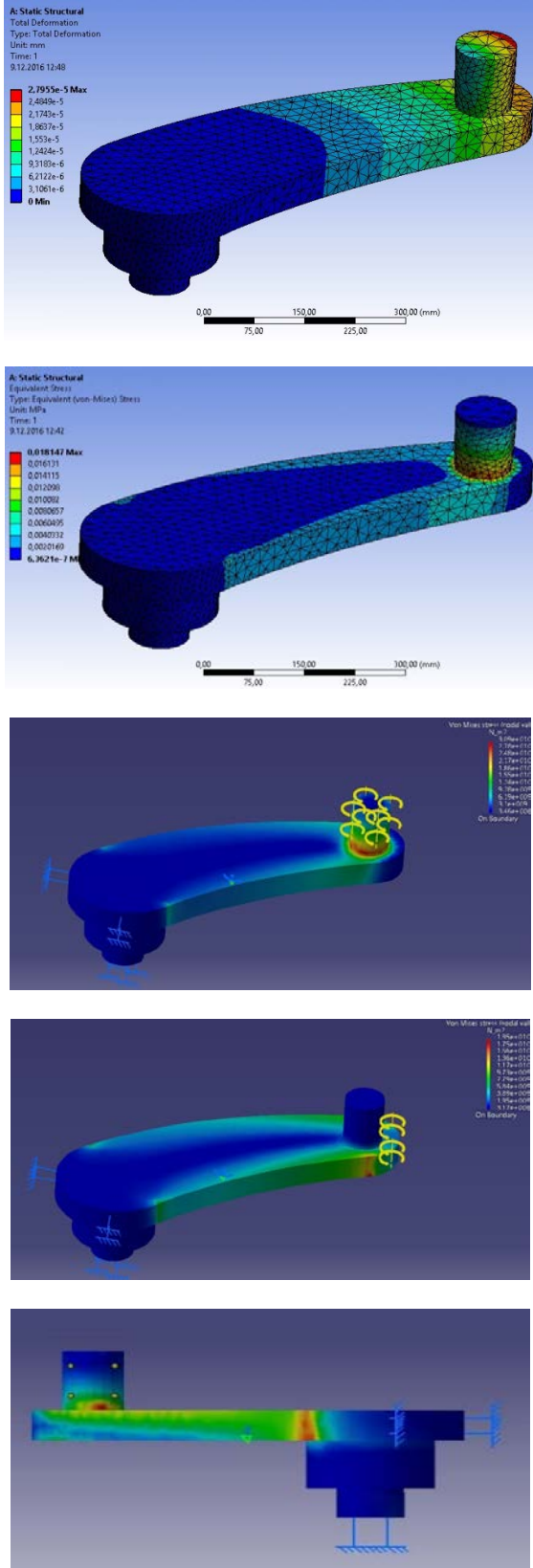
Hasar gören parçanın sonlu eleman modeli oluşturulup çalışma prensibine uygun olarak yükleme yapıldığında, hasarın beklenildiği gibi diğer hareket elemanı ile olan birleşme noktasında gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 12). Parçanın bu bölgeden hasara uğramasının bir sebebi de bu bölgede gerilme yığılmalarının oluşmasıdır.

Nümerik analizi yapılan hasarlı parça gerçek çalışma şartlarına uygun bir yüklemeye tabi tutulduğunda, kırılmanın gerçekleştiği bölgede gerilmenin maksimum değerini aldığı görülmüştür.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, greydere ait kritik bir parçanın (dişli rotunun) hasar analizi yapılmıştır. Hasarın tipini ve

muhtemel gerçekleşme nedenlerini belirlemek amacıyla mekanik deneyler ve metalografik incelemeler yapılmıştır.



Şekil 12. Dişli rotunun sonlu eleman modellemesi

Öncelikle greyderin kritik parçasına ait malzemenin belirlenmesi için kimyasal analiz yapılmıştır. Hasara uğrayan parçanın bir bölgesinden alınan numune

üzerinde yapılan kimyasal analiz sonucu Tablo 1'de verilen değerler elde edilmiştir. Bu tablodan, malzeme bileşimine bağlı olarak kullanılan malzemenin St52 (S355) çeliği olduğu tespit edilmiştir. Diğer St52 çeliklerine nazaran bu malzemede Si ve Mn oranlarının göreceli olarak yüksek oluşu dikkat çekmiştir. Parçanın kullanım yerindeki dayanımını arttırmak ve çalışma esnasında oluşabilecek darbeleri sönmölemek amacıyla bu tür malzemenin seçildiği sonucuna varılmıştır.

Malzemenin mekanik özelliklerinin saptanması için hasara uğrayan parçadan numuneler elde edilerek; sertlik ölçümü, çentik darbe ve üç nokta eğme deneyleri yapılmıştır. Sertlik deney numunelerinde hasarlı malzeme ortalama 77 HRB değerini vermiştir. Üç nokta eğme deneyi sonucunda hasarlı numune ortalama 2017 N eğme yüküne maruz kalmıştır.

Darbeli yükün parçaya aktardığı enerjinin, iş parçası tarafından elastik veya plastik deformasyon göstererek absorbe etmesi mümkündür. Hasara uğrayan greyder dişli rotu, hidrolik yağdan kaynaklanan basınç artışına bağlı olarak bir darbeye maruz kalmaktadır. Genellikle bu darbeli yüklerden sonra yükleme esnasında bu kritik parça erken hasara uğramaktadır. Bu nedenle bu parçanın tasarlanmasında, parça imalinde kullanılan malzemenin seçiminin ve uygulanacak ısıl işlem parametrelerinin yüksek darbe enerjisini absorbe etmesini gerektirdiği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu yüzden greyderin bu kritik parçasının malzemesinin darbeli yükleri sönmölemesi için silisyum ve mangan alaşımli olması gerekmektedir. Bu amaçla üzerinde çalışılan malzeme gruplarına Charpy deneyi uygulanmıştır. Statik dayanım değerleri yanında darbe enerjisi değerleri bu açıdan önem kazanmaktadır. Çentik darbe deneyi sonucunda hasarlı parça ortalama 165,26 J/cm² darbe enerjisi ve 132,2 Joule'lük bir enerji absorbe etmiştir. Çentik darbe deneyi sonucunda hasarlı parça sünek kırılma göstermiştir.

Mekanik deneyler sonucunda elde edilen değerlerin doğruluğunu teyit etmek ve metalografik sonuçlar elde etmek amacıyla numunelerin kırık yüzey incelemeleri yapılmıştır. Greyderin hasara uğrayan parçasının kırılma yüzeyi incelemelerinde taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Kırılan yüzeyin farklı bölgelerinden SEM görüntüleri alınmıştır. Lifli bölge %90'dan daha büyükse kırık tipi gevrek olup hızla ilerleyen çatlak ile gelişen bir kırılma ortaya çıkmaktadır. Kırılma yüzeyinde lifli bölge %60'dan küçükse kırık tipi yavaş ilerleyen çatlak kaynaklı sünek kırılmayı gösterir. Bu arada kalan değerler ise karışık kırılmayı göstermektedir [16]. Hasarlı parçanın SEM görüntülerinin incelemelerinde lifli bölge %60'dan küçük olduğundan sünek kırılmanın olduğu gözlemlenmiştir. Birçok görüntüde sünek kırılmanın göstergesi olan gamzelere rastlanmıştır.

Hasarlı parçanın gerçek çalışma şartlarında hasara uğradığı bölge ile sonlu eleman analizi sonucu hasarlı parçada gerilmenin maksimum değerinin elde edildiği bölgenin aynı olduğu görülmüştür.

Greyderin hasara uğrayan dişli rotunun kırılma yüzeyi incelemeleri sonucu, parçanın kullanım esnasında zorunlu kırılma hasarına uğradığı düşünülmektedir. Hasara uğrayan parçanın çalışma şekli darbeleri ve ani yüklemelere maruzdur. Seçilen malzemenin dayanımı yeterince yüksek olmakla beraber, greyder kullanıcılarından alınan bilgi kısa sürede (1-2 ay periyotla) bu parçanın hasara uğradığı şeklindedir. SEM analizleri ve mekanik deney sonuçlarından gevrek kırılma oluşmadığı belirlenmiştir. Hasara uğrayan parça malzemesinin darbe enerjisi ve eğme dayanımı yüksektir. Dolayısıyla bu parçada zorunlu kırılma oluşmuştur. Malzemenin mekanik dayanım değerinin üstünde bir gerilmenin olduğu bir zorlanma olduğu düşünülmektedir.

Sonuç olarak; greyderin kullanımı sırasında parçada yüksek şiddette beklenmedik yüklemelerin olduğu ve bu nedenle zorunlu kırılma olduğu sonucuna varılmıştır. Kırık yüzeyi incelemesinde görüntü bu konuda yeterince ipucu verir. Ayrılma kırılması türü bir kırılmanın ana nedeni ani ve yüksek yüklemelerdir. Kırık yüzeyi tanecikli bir görünüş gösterir. Plastik deformasyon oluşumu yerine atomlar arası bağların kopması şeklinde ortaya çıkan ayrılma kırılması (zorunlu kırılma) görülmüştür.

Benzer hasarların oluşmaması için alınabilecek tedbirler;

- Malzeme değiştirilebilir (daha tok ve dayanımı yüksek bir malzeme kullanılabilir).
- Isıl işlemlerle malzeme özellikleri ıslah edilebilir.
- Parça tasarımında değişiklik yapılarak gerilme yığılmalarının yerine darbeleri yüklemelerde gerilmenin dağıtılması sağlanabilir.

Teşekkür

Bu çalışma, "Greyderin Kritik Bir Parçasının Hasar Analizi" başlıklı BAP 3861-YL1-14 no'lu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu proje ile çalışmamızı maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Kaynakça

- [1] Eryürek, B. 1993. Hasar Analizi. Birsen Yayınevi, İstanbul, 171s.
- [2] Anonim (1), 2002. Failure Analysis and Prevention. ASM International, 11, 2910s, USA.
- [3] Varol, H. 2008. Av ve spor tüfekleri için kritik parçaların hasar analizi. Süleyman Demirel

Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 119s, Isparta.

- [4] Zhang, J., Liang, Z., Han, C. 2014. Failure Analysis and Finite Element Simulation of Key Components of PDM. Engineering Failure Analysis, 45, 15-25.
- [5] Kumari, S., Satyanarayana, D. V. V., Srinivas, M. 2014. Failure Analysis of Gas Turbine Rotor Blades. Engineering Failure Analysis, 45, 234-244.
- [6] Peterka, P., Kresak, J., Kropuch, S., Fedorko, G., Molnar, V., Vojtko, M. 2014. Failure Analysis of Hoisting Steel Wire Rope. Engineering Failure Analysis, 45, 96-105.
- [7] Falah, A. H., Alfares, M. A., Elkholly, A. H. 2007. Failure Investigation of a Tie Rod End of an Automobile Steering System. Engineering Failure Analysis, 14(5), 895-902.
- [8] Toribio, J., Kharin, V., Ayaso, F., Gonzalez, B., Matos, J., Vergara, D., Lorenzo, M. 2009. Failure Analysis of a Lifting Platform for Tree Pruning. Science Direct, 17, 739-747.
- [9] Yavuz, İ. 2005. Taşıtlarda güç aktarma organlarında hasar analizi: Şaft mafsalı ve aks örneği. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 89s, Afyon.
- [10] To, Q. D., He, Q. - C., Cossavella, M., Morcant, K., Panait, A., Yvonnet, J. 2007. Failure Analysis of Tempered Glass Structures with Pin-Loaded Joints. Engineering Failure Analysis, 14, 841-850.
- [11] Gerdun, V., Sedmak, T., Sinkovec, V., Kovse, I., Cene, B. 2007. Failures of Bearing and Axles in Railway Freight Wagons. Engineering Failure Analysis, 14, 884-894.
- [12] Kanbir, Ö. 2014. Greyderin kritik bir parçasının hasar analizi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 93s, Isparta.
- [13] http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=1880 (Erişim Tarihi: 26.11.2014).
- [14] Can, A. Ç. 2006. Tasarımcı Mühendisler İçin Malzeme Bilgisi. Birsen Yayınevi, İstanbul, 318s.
- [15] Callister, W. D., Rethwisch, D. G. 2014. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği. Nobel Yayıncılık, Ankara, 971s.
- [16] Anonim (2), 2002. Fractography. ASM International, 12, 2910s., USA.