

# Taşıma Tekniği Ekipmanlarının Bakımında Kullanılan Tahribatsız Muayene Yöntemleri

Hülya YETİŞTİREN, Adalet ZEREN, Erol FEYZULLAHOĞLU  
KOÜ Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü

## GİRİŞ

Taşıma tekniğinde kullanılan ekipmanların güvenlik nedeniyle düzenli bakımlarının yapılması gerekmektedir. Yapılan muayenelerin bir kısmı elle ve gözle gerçekleştirilmektedir. Fakat özellikle ekipmanın iç yapısındaki değişiklikler (çatlaklar, aşınmalar vb) bu yöntemlerle tam olarak belirlenmemektedir. Özellikle korozif ve yüksek hassasiyetteki çevre koşullarının söz konusu olduğu, beklenmeyen arızaların ölümcül kazalara neden olabileceği ve çok pahalı cihazların arızalanabileceği ortamlarda çalışan taşıma araçlarına ait ekipmanların iç muayeneleri için tahribatsız muayene yöntemlerinin kullanılması önerilmektedir. Halatlar, yuvarlanmalı yataklar ve dişliler gibi hareket eden ekipmanlar ve kaynaklı yapıların muayenesinde tahribatsız muayene yöntemleri kullanılarak meydana gelebilecek hasarlar ve hatta kazalardan korunmak olasıdır.

Taşıma tekniği ekipmanlarının en önemlilerinden biri olan tel halatlar serviste kaldıkları sürece birçok zorlanma ile karşılaşarak onları yenmek zorundadır. Buna karşılık bazen muayene

ve bakım konusuna yeterince önem verilmemektedir. İş güvenliği yönetmelikleri açısından da tüm tel halatların iç yapılarındaki bozulma ve hasar belirtileri düzenli olarak kaydedilmelidir. Kaldırma ekipmanlarında yüksek kaldırma kapasiteleri nedeniyle genellikle çok kordonlu tel halatlar kullanılır. Bu durumda, iç muayenenin gözle tam olarak başarılması mümkün olmamaktadır. Kordonların üstteki sarımları halatların iç koşullarının tamamıyla doğru olarak gözlenmesini engeller. Bu nedenle iç yapıdaki hasarlar servis sırasında tam olarak belirlenemediğinden ani ve felaketle sonuçlanan kazalar oluşabilir. Bunu engellemek için tahribatsız testleri kullanmak bir çözüm yöntemidir. Tahribatsız muayenelerin amacı, sadece kalifiye personelin başarabileceği gözle muayeneye yardımcı olmaktır [1].

Yer altındaki maden işletmelerinin en vazgeçilmez parçalarından biri de özü tel halatlar olan taşıma sistemleridir. Modern madenlerde daha derinlere inmek gerektiğinden halatların emniyeti için oldukça fazla sayıda uyulması gereken kurallar getirilmiştir. Bu kurallar taşıma sistemlerinin daha katı

operasyon ve kontrol prosedürlerine uyularak çalıştırılmasına neden olmuştur. Maden işletmeleri tüzük ve yönetmeliklerinin referans aldığı teknik koşullardan biri de tel halatların elektro manyetik muayenelerinin tahribatsız test teknikleri ile yapılmasını gerektirir [2].

Çelik tel halatlar, kren ve asansörler de temel yük taşıma elemanıdır. Kren ve asansörlerin emniyetli kullanımı halatların durumlarına bağlıdır. Halatın ömrü süresince hasarlanması emniyet faktörünü azaltır ve tahribatına neden olur. Kren ve asansörlerin emniyetli kullanımı konusunda ulusal ve uluslararası halat değiştirme kriterleri vardır. Halatların servis dışı bırakma kriterleri niteliksel ve niceliksel olarak ikiye ayrılabilir. Niteliksel kriterler; değişik tipteki deformasyonlar, yüksek sıcaklık sonucunda oluşan hasarlar, kordon veya metalik özün kopmasıdır. Niceliksel kriterler; çap değişimi, tellerin metalik alan kaybına neden olan yüzey veya içteki abrasif aşınma ve korozyon; belirlenen uzunlukta (genellikle halat çapının 6 veya 30 katı) kopan iç ve dış tellerin sayısıdır [3,4].

### Tel halatta oluşabilecek hasar türleri:

**Kopmuş teller :** Hareketli bir halatta kopmuş teller, özellikle dönme hareketi

yapan kasnaklar, makaralar ve vinç tamburları üzerindeki bölümlerinde oluşur. Tipik olarak, kasnaklar üzerindeki eğilmeler nedeniyle oluşan yorulma çevrimleri sonucunda teller kopar. Burada, farklı temas olayı, değişken eğilme gerilmeleri şeklindedir. Bu alanlardaki kopmalar dıştadır ve genellikle gözlenebilir. Bununla birlikte, yüke ve özellikle halat konstrüksiyonuna bağlı olarak halatın iç kısmındaki tellerde de kopmalar oluşabilir.

**Korozyon (Pas) :** Korozyon tel halat için çok zararlıdır. Korozyon çukurcukları gerilme birikmelerine neden olur. Tellerde ek gerilmeler oluşturan korozyon çukurcukları, ayrıca tellerin ve kordonların serbest hareketlerini de engeller. Teldeki gerilmelerin yukarıda bahsedilen korozyon nedeni ile oluşan ek gerilmeler ile birleşerek artması sonucu yorulma kırılmaları oluşabilir. Teller enine kesitlerini azaltabilecek ve tel kayıplarına neden olabilecek şekilde uniform olarak tüm yüzeylerinde korozyona uğrayabilirler. Bu mekanizma aşınmayı hızlandırır. Ayrıca tellerin iç yüzeylerindeki derin korozyon çukurcukları servis ömrünü kısaltabilir. Korozyonun etkisi genellikle halat uzunluğu boyunca değişir.

Korozyon çoğunlukla bölgesel olmakla birlikte, ne yazık ki çok tehlikelidir. Korozi alanlar genellikle büyük ve beklenmedik sıcaklık ve/veya nem değişikliklerinin olduğu yerlerdir. Korozyonun varlığının ölçülmesi genellikle güçtür ve çoğunlukla

tecrübelerle tahmin edilebilir. Özellikle maden kuyusunun içinde belirli bölgelerde korozi bir ortam mevcuttur. Korozyon genellikle uzun süreler bu korozi bölgelerde kalan halat bölümlerinde oluşur. Çoğunlukla, pas ve kir halat yüzeyini kaplar ve tel kayıplarını gizler.

**Aşınma :** Aşınma tel halatın enine kesitinde kayba neden olur. İç ve dış aşınma ile ilgili problemler özel bir dikkat gerektirir. Dış aşınma genellikle halatın çalışan yüzeyinde oluşur. Bazen şiddetli aşınma beklenmedik bir şekilde dış tellerin kopmasına neden olabilir. Bir kordonun telleri arasındaki sürtünme ise iç aşınmaya neden olabilir. Bu aşınma tipi çok daha tehlikelidir ve gözle muayene ile tespiti zordur [5].

**Deformasyon ve Mekanik Hasarlar :** Halattaki deformasyonlar, çok sıkı kasnak yivleri, üretim hataları veya şiddetli aşınmanın bir sonucu olarak oluşabilir. Deformasyonlar birbirine temas eden kordonlar arasındaki basıncı artırarak tel kopmalarına bile neden olabilir. Tambur ve makaraya temas eden teller arasındaki gerilme, telin plastiklik sınırını aştığında plastik aşınma meydana gelir. Bu, çok yüksek hızlarda tambur üzerine fazla sarım yapıldığında halatlar birbiri üzerinde kayarken, halatın temas noktalarında birbirine çarpmasıyla da oluşabilir. Bu proseste tel sertleşir ve gevrek hale gelir. Bunun sonucu olarak tek tek tellerin tahribatına neden olan plastik deformasyon alanlarında yorulma çatlakları başlar [5,6].

Mekanik hasar, katı bir cismin halata vurması, yetersiz halat donanımının kullanılması, aşırı veya darbeli yük gibi pek çok sebeple oluşur. Mekanik hasar genellikle açıkça görülebilir ve tespiti kolaydır [5,7].

**Martenzitik Gevrekleşme :** Martenzitik yapı çeliğin bazı ısı işlemler sonucunda, örneğin çelik kritik bir sıcaklık üzerine ısıtıldıktan sonra hızla su verildiğinde oluşur ve gevrekleşmeye neden olur. Tel halatta sürtünen yüzeyin ısınması ve altındaki soğuk metalin etkisi ile kütlelin soğumasının bir sonucu olarak oluşabilir. Martenzitik gevrekleşme halatın tambur üzerine çok sarımlı olarak sarılması sırasında halatın temas noktalarında gelişebilir. Burada halat, birbirine değen sarımların teması ile ısınır, sonra çevresindeki metal tarafından soğutulur. Martenzitik yapı kolayca çatlağa neden olur ve böylece çatlaklar tel yüzeyinden içine doğru ilerler.

**Bileşik Hasar Tipleri :** Uygulamada bileşik hasar tipleri daha yaygındır. Bunlar korozyonlu yorulma ve korozyon destekli aşınmayı içerirler. Maden asansörü halatlarında korozyon destekli aşınma çok karşılaşılan bir hasar türüdür. Genellikle metal kaybı iç korozyon ve yüzeyden fark edilemeyen abrasif aşınma nedeniyle oluşur. Birleşik hasar türleri var olduğundan farklı tahribat mekanizmaları gelişir ve onlar sonuç olarak kopmuş teller veya kopmuş tel demetlerine neden olur [5].

Tel halat kademeli olarak tüm servis ömrü süresince hasara uğrar. Hasarları kontrol

altına almak için tel halat periyodik olarak muayene edilmelidir. Halat hasarının tespiti ve değerlendirilmesi için başlıca iki tahribatsız muayene yöntemi vardır: gözle muayene ve elektro manyetik muayene.

Paçavra ve gözle muayene, halatın dış hasarlarının her türünün tespiti için halihazırda kullanılan basit bir yöntemdir. Bu yaklaşım kullanılırken, gözlemci muayene hızında ilerleyen halatı bir paçavra veya bez parçası ile kavrar. Kopan dış teller genellikle kirpi gibidir ve halat hareket ederken paçavraya veya beze takılırlar. Halat bir noktada durdurulduktan sonra gözlemci gözle muayene ile halatın durumunu değerlendirir. Her zaman kopan teller kirpi şeklinde görülmez. Bundan dolayı farklı test prosedürleri kullanılmalıdır. Halat, belli bir süre ve uzunlukta hareket ettirilmeli ve her bir durumda gözle incelenmelidir. Bu yöntem, uzun ve yorucudur ve genellikle halat gresle kaplı olduğundan içteki veya dıştaki pek çok kusurun farkına varılamaz. Diğer gözle muayene yolu halat çapının ölçülmesidir. Benzer şartlar altında okunan orijinal çap (yeni ve bilinen bir yüke maruz kalan halatın çapı) ve ölçülen çap karşılaştırılır. Örneğin korozyon ürünleri, dış tellerin düzleşmesi ve kaybı veya bazen ortaya çıkan dış ve iç korozyonun halat çapını artırması gibi iç ve dış halat hasarları halat çapında bir farklılık oluşturur. Bununla birlikte korozyonun varlığı ölçmeyi ve hasar miktarının belirlenmesini güçleştirir.

Gözle muayeneler halatın iç hasarlarının tespitinde genellikle uygun değildir. Bu

nedenle tel halat muayenesinde sınırlı olarak kullanılır. Bununla birlikte gözle muayeneler özel cihazlar gerektirmez ve basittir. Deneyimli elemanların bilgileri ile birleştiğinde gözle muayene halat hasarının pek çok tipinin değerlendirilmesinde önemli bir yöntem olarak kullanılabilir.

Elektro manyetik testler, güvenilirliği nedeniyle madenlerde, kayak liftlerinde ve diğer birçok uygulanmada kullanılan tel halatların muayenesi için uluslar arası kabul gören bir yöntem olmuştur. Elektro manyetik ve gözle tel halat muayeneleri birbirlerini tamamlar. Tel halatın emniyetli çalışması için her ikisi de çok önemlidir ve bu yüzden maksimum emniyet için her iki yöntem de kullanılmalıdır. Muayene prosedürüne uygun olarak gözle ve elektro manyetik muayene yönteminin birlikte kullanılması, halat hasarının ilk aşamalarında belirlenmesini sağlar. Bu yüzden tel halat kullanıcıları bu metodu etkili bir koruyucu bakım aracı olarak kullanabilirler. Bunun pratikte uygulanması sonucunda:

- Uygun bir yağlama yapılarak korozyonun erken tespiti sağlanır.
- Artan aşınma ve kordonlar arası çentiklenme tespit edilirse daha ileri hasarları engellemek için kasnakların gömlekleri değiştirilebilir.
- Dikkatli muayeneler sonucu bir vinç tamburu üzerine üst üste sarılan halatların değme noktalarındaki bölgesel hasarların gelişmesi gözlenebilir. Bu yolla, operatör

tambur üzerindeki halatın konumunun değiştirilmesi için optimum süreyi belirleyebilir.

Taşıma tekniğinde kullanılan önemli makine elemanlarından biri olan yuvarlanmalı yatakların hasarları çok çeşitli nedenler ile ortaya çıkabilir. Bunlar, önceden tahmin edilenden daha büyük yükler, bozuk sızdırmazlık elemanları veya çok küçük yuvarlanmalı yatak boşluklarına neden olan çok sıkı geçmeler gibi montaj ve tasarım hatalarıdır. Bu faktörler kendine ait özel hasar tipini ortaya çıkartır ve yuvarlanmalı yatakta kendi izini bırakır. Bozulan yuvarlanmalı yatakların üçte biri yorulma nedeni ile, diğer üçte biri yağlama yetersizliğinden ve kalanı da yuvarlanmalı yatak içine giren pislikler veya hatalı kullanım ya da hatalı montaj nedeni ile değiştirilirler. Yuvarlanmalı yataklarda görülen hasar türlerini sınıflandırsak,

1. Aşınma : Normal ve aşırı aşınma
2. Yorulma
3. Paslanma (korozyon)
4. Aşırı yük nedeni ile oluşan plastik deformasyon ve tahribat olduğunu görürüz..

Ekipmanlardaki yorulma veya korozyon çatlakları gibi malzeme hataları servis süresince gelişebilir. Sadece gözle muayene yapıldığında incelenen parça veya ekipmanlardan elde edilen sonuçlar yeterince güvenilir değildir. Tahribatsız testler bu parçaların doğru ve güvenilir olarak değerlendirilmesini sağlar. Tahribatsız testler, malzemelerin yüzey veya iç kusurları veya metalurjik yapısını

tespit etmek için malzemeye herhangi bir zarar vermeden ve hatta ekipman serviste iken bile gerçekleştirilebilir [8]. Tesiste, koruyucu bakım yöntemi kullanıldığında yuvarlanmalı yataklar, kavramalar ve dişli çarklar gibi ekipmanların hasarları sıcaklık ve titreşim gibi faktörlerin analizini yapan tahribatsız muayene yöntemleri ile sistemin tümü devre dışı kalmadan önce tespit edilebilmekte ve oluşabilecek kazalar önenebilmektedir.

## TAHRİBATSIZ MUAYENE YÖNTEMLERİ

Ekipmanların incelenmesinde kullanılan en çok bilinen tahribatsız test yöntemleri:

Röntgen yöntemi,  
Fluoresan sıvı ile muayene,  
Manyetik yöntemler ile muayene,  
Elektro manyetik test yöntemleri,  
Ultrasonik testler,  
Akustik emisyon yöntemidir [9].

Ayrıca makine diagnostiği ile hareketli parçaların titreşim ve sıcaklıkları ölçülerek kalan servis ömrünün tespitini yapan yöntemler de mevcuttur [10].

### Röntgen (X ve Gamma Işınları) ile Kontrol

Bu yöntem, demir veya demir dışı metaller ve diğer malzemelerde iç ve dış hataların tespiti için uygundur. Özellikle kaynaklı yapıların iç kusurlarının belirlenmesinde kullanılır. Kaynak dikişlerinin filmleri alınır, cüruf bulunan yerler, kaynak edilmemiş bölgeler, gaz kabarcıkları ve çatlaklar röntgen ışınlarını daha fazla absorbe ettiklerinden filmde koyu olarak çıkarlar. Hatalı bölgeler bu şekilde tespit edilebilir.

Röntgen yönteminin avantajları:

- Bilgi resim halinde sunulur.
- Test anından daha sonra ve başka bir yerde de bakılabilecek kalıcı kayıtlar verir.
- İnce kesitler için de uygundur.
- Her bir film üzerinde yeterli hassasiyet sağlanabilir.
- Her malzeme türü için uygundur.

Röntgen yönteminin dezavantajları:

- Genellikle kalın kesitler için uygun değildir.
- Sağlığa zararlı olabilir.
- İki boyutlu kusurlar için direkt bir ışın demetine gerek duyar.
- Filmin banyo edilme ve görüntülenmesi için tesisat gereklidir.
- Elektronik destekler olmadıkça otomasyon için uygun değildir.
- Yüzeysel kusurların tespiti için uygun değildir.
- Kusurun yüzeyden ne kadar derinde olduğunu göstermez.

### Fluoresan Sıvı ile Muayene

Üst yüzeye kadar devam eden fakat gözle görülemeyecek kadar ince kılcal çatlaklar bu yöntemle tespit edilebilir. Kontrol edilecek yüzeye sürülen özel sıvı kapiler etki ile çatlaklara nüfuz eder. Bu yüzeylere ultraviyole ışınları gönderildiği zaman çatlaklar daha açık renk olarak gözükür. Bu yöntem manyetik muayenenin kullanılmadığı madeni malzemeler için de kullanılabilir.

Fluoresan sıvı ile muayene yönteminin avantajları:

- İşlem basittir.

- Demir dışı metallerde yüzeysel çatlaklarının belirlenmesi için en iyi yöntemdir.
- Otomatik testler için uygundur.
- Nicelikselidir.

Fluoresan sıvı ile muayene yönteminin dezavantajları:

- Sadece yüzeye kadar devam eden hataların tespitinde kullanılır.
- Hassasiyeti azdır [8].

### Manyetik ve Elektro Manyetik Muayene Yöntemleri

Manyetik yöntem, özellikle ferritik çelik ve demir gibi manyetik malzemelerin yüzey ve yüzeye yakın süreksizliklerinin tespiti için uygundur. Ferro manyetik malzemelerde magnet tozu metodu ile üst yüzeydeki veya üst yüzeye yakın bölgelerdeki boşluk, çatlak ve benzeri hataların tespiti mümkündür. Çok ince demir veya demir oksit tozları özel bir yağ ile karıştırılarak muayene edilen parçanın yüzeyine sürülür ve parçadan manyetik bir akım geçirilir. Hatalı yerlerde manyetik akımın gidişindeki dağılımlar dolayısı ile kutuplaşmalar olur ve buralarda demir tozları toplanır. Görüntüden hatalı noktalar tespit edilir.

Manyetik yöntemler ile muayenenin avantajları:

- Uygulaması ve çalışması basittir.
- Nitelikselidir.
- Otomasyona uygundur.

Manyetik yöntemler ile muayenenin dezavantajları:

- Uygulanabilirliği ferro manyetik malzemeler ile sınırlıdır.

- Sadece yüzeydeki veya yüzeye yakın çatlaklar için uygundur.

Metalik alan kaybı ve bölgesel hatalar şeklinde sınıflandırılan hataları bulmaya yarayan iki tür elektro manyetik muayene yöntemi vardır.

**Bölgesel hataların muayenesi.** El ve paçavra yöntemine benzer olarak, bölgesel hataların muayenesi özellikle kopmuş teller ve sadece bölgesel hasarların tespiti için uygundur. Bu yöntem, iç ve dış korozyon (çevresel şartlar veya yetersiz yağlama yüzünden) ve aşınma (zeminde sürtünme, çentik oluşumu, yüksek basınçlar ve yetersiz yağlama) nedeniyle oluşan metalik kesitteki alan kaybını niceliksel olarak ölçer.

**Metalik alan kaybı muayenesi.** Aşınma ve korozyonun neden olduğu metalik enine kesitteki değişimi ölçer ve tespit eder. Gözle çap kontrolünden daha güvenilirdir. Metalik alan kaybı muayenesi kumpasla ölçülen çap muayenelerinin yerini alabilir. Kopan teller ve çukurcuk korozyonu gibi iç ve dıştaki tüm süreksizleri niteliksel olarak tespit eder. Kopmuş teller genellikle yorulma, kordonlar arasındaki çentikler ve martenzitik gevrekleşme nedeniyle oluşur.

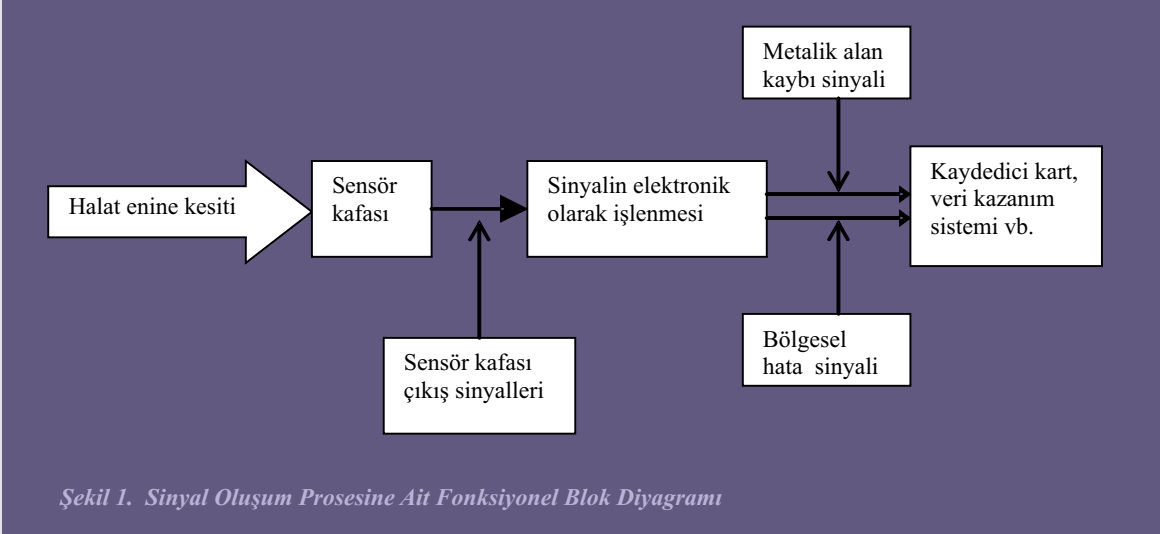
Manyetik hata tespiti olarak bilinen manyetik yöntem günümüzde çelik tel halatların objektif olarak değerlendirilmesini sağlar. Bu yöntem, yüzeydeki hasarların (kopmuş teller,

çatlaklar vb) yanında halatın iç kısmındaki hataların da tespit edilmesini sağlar [11]. Manyetik hata tespiti halatın test için gerekli uzunluğu boyunca muayene edilen halattaki bölgesel hatalar ve metalik alan kaybının kontrolü için kullanılır. Bu yöntem, halat hasarının yeri (halatın dışında veya içinde) ve hasar tipinden (abrasif veya korozif aşınma, tellerin kopması veya kaybı) bağımsız olarak halatın metalik alan kaybı ve bölgesel hataları hakkında objektif veriler sunar. Ayrıca bu yöntemle metalurjik yapıda değişimlere neden olan ısınmaya maruz kalan halat bölümlerinin tespiti de mümkündür. Manyetik hata tespiti, kullanımdaki halatın niceliksel olarak durumunu belirler ve hatta gizli hataları ve onların yerlerini tespit eder.

Halatın elektromanyetik olarak muayenesinde kullanılan manyetik akım kaçağı cihazları, doğru akım sargıları veya manyetik bir devrenin içinden geçirilen tel halat boyunca sabit manyetiklik yaratan kalıcı mıknatıslanma esasına dayanır. Bölgesel süreksizlikler (kopmuş ve hasarlı teller) tarafından yaratılan manyetik akım kaçakları bir sensör tarafından ölçülebilir. Sensörden gelen sinyal daha sonra elektronik olarak dönüştürülür ve voltaj bant üzerine kaydedilir. Bu, bölgesel süreksizlikler (LD) kanalı olarak tanımlanır. Bölgesel süreksizlikler (LD) kanalındaki bilgilerden, sayısal olmamakla birlikte kopmuş teller, iç kısımdaki korozyon ve tel ara yüzeylerinde oluşan aşınmaların varlığı gibi sonuçlar çıkarılabilir. Test

cihazının kafası içindeki telin hareketi halatın spesifik alanlarının daha yakından gözle muayene edilmesini sağlar. Herhangi bir hatanın varlığı bant üzerine kaydedilen izler üzerinde pik oluşumlarına neden olur. Test cihazının kafası genellikle bir kaide üzerine monte edilir ve iki tane vinç ile bu kafa halatın uzunluğu boyunca çekilir. Referans bir iz, test sonuçları ile karşılaştırılarak halattaki hasar türü göreceli olarak tespit edilir [1].

Test sonuçlarının yorumlanması ve gerçek halat şartları ile test verilerinin korelasyonu için halatı muayene eden kişi kullandığı elektro manyetik muayene cihazlarının sınırlarını ve kapasitelerini iyi bilmelidir. Halat değiştirme kriterleri ve hasar mekanizmalarının anlaşılması ile birlikte sinyal oluşum prosesinin doğru değerlendirilmesi halat değiştirme kararlarının rasyonel olarak alınmasını sağlar. Şekil 1' de görülen fonksiyonel blok diyagramı sinyal oluşum prosesini göstermektedir. Bu şekil elektro manyetik tel halat muayene sisteminin bir girdisi olarak tel halatın enine kesit alanını (kopmuş teller, korozyon, aşınma gibi nedenlerle oluşan değişiklikleri içeren) gösterir. Bu girdilerden sensör kafası bir veya birkaç elektrik sinyali oluşturur. Bu sinyaller bölgesel hata ve metalik alan kaybı sinyalleri üretmek için elektronik olarak işlenir ve daha sonra bir veri kazanım sistemi ile depolanır veya bir kart üzerine kaydedilir. Elde edilen veriler tecrübeli elemanlar tarafından referans



Şekil 1. Sinyal Oluşum Prosesine Ait Fonksiyonel Blok Diyagramı

değerlerle karşılaştırılıp yorumlanarak hata oluşan bölgeler ve hatanın türü tespit edilebilir.

Gerek metalik alan kaybı ve gerekse bölgesel hataları gösterebilen elektro manyetik tahribatsız muayene cihazları günümüzde bilgisayar destekli olarak çalışmakta ve taşınabilir boyutlarda imal edilmektedirler [2].

## Ultrasonik Testler

Bu teknik ses ileten malzemelerdeki iç ve dış hataların tespitinde kullanılır. Çalışma prensibi sesin yankılanmasına benzer. Ultrasonda bir piezo elektrik kristaline elektrik şarjı uygulanması ile kısa bir titreşim oluşur, yani kristal kalınlığı ile orantılı olan bir frekansta çok kısa süre için titreştirilir. Hata tespitinde bu frekans genellikle saniyede bir ile altı milyon arasındadır (1 MHz ile 6 MHz). Bu frekansta titreşimler veya ses dalgaları homogen elastik malzemelerde yeterli mesafelere ulaşılabilir durumdadır. Bu dalgaların hızı malzemenin karakteristikleri ve Young modülü ile

ilişkilidir. Örneğin, çeliklerde hız 5900 m/s ve suda 1400 m/s'dir.

Ultrasonik enerji havada oldukça zayıflar ve bir ışın demeti katı içinde ilerlerken bir ara yüzeye rastlarsa (bir hata veya olası bir boşluk vb.) belirli bir miktarda enerji yansır. Numuneye temas ile yapılan ölçümlerde titreşen kristal test edilen malzeme üzerine elle tutulan bir probun içinde yer alır. Test parçası ve kristal arasındaki küçük bir hava boşluğunu geçen enerjinin kolaylıkla transfer edilebilmesi için yüzeye genellikle yağ, su veya gres şeklinde bir sıvı tabakası uygulanır. Özellikle kaynaklı bağlantılarda özel cihazlarda oluşturulan ses üstü dalgaları parçaya gönderilir. Çatlak bulunan yerlerde, dalgalar kuvvetli bir yansıma yaparak geri dönerler. Deney cihazının ekranında yansıma şekillerine ve yerlerine bakılarak hatalı noktalar tespit edilir.

Halatlarda telin tahribatına neden olan faktörlerden biri de yorulma direncidir. Fakat yorulma testi maliyetinin yüksek olması ve uzun süre alması nedeni ile yaygın olarak kullanılamamaktadır. Bu

konuda kullanılan metotlardan biri de gerilme değişimlerinin ultrasonik frekanslarından yararlanılarak yorulmanın tespiti [12].

Ultrasonik hata tespitinin avantajları:

- Kalınlık ve uzunluğu yaklaşık bir metreye kadar olan parçalar test edilebilir.
- Hatanın yeri, boyutu ve türü belirlenebilir.
- Test hemen sonuçlanır.
- Kullanılan cihazlar taşınabilir.
- Son derece hassastır.
- Tümüyle otomatik olarak gerçekleştirilebilir.
- Giriş için sadece bir kenar yeterlidir.
- Ekonomiktir.

Ultrasonik hata tespitinin dezavantajları:

- Test sonuçları ve veri toplamak için kullanılan sistemler çok sofistike olmadıkça kayıtlar kalıcı değildir.
- Operatör test numunesinin hatalı olup olmadığına test anında karar verir.
- Göstergeler yorum gerektirir.
- Testin tümüyle değerlendirilmesi için oldukça yüksek bir beceri gerektirir.
- Çok ince kesitlerde uygulamak zordur [8].

## Akustik Emisyon Yöntemi

Akustik emisyon metodu, gerilim altındaki bir malzeme içerisindeki enerjinin hızla serbest kalması ile oluşan geçici elastik dalgaların belirlenmesi ve analiz edilmesi yöntemidir. Araştırmalar akustik emisyon test tekniklerinin tel halatlara da uygulanabileceğini göstermektedir. Aynı zamanda tel halatların yorulma ömürlerinin tespitinde de kullanılmaktadır. Akustik emisyon yöntemi krenlerin işletmeye alınmadan önceki deneme testlerinde de yararlanılan bir tekniktir [13,14].

Tel halat muayenelerinde daha az kullanılan bir tahribatsız muayene yöntemi olan akustik emisyon yöntemini irdeleyecek olursak,

1. Akustik emisyon tekniğinin tel halatlarda en gerçekçi uygulama alanı kopan teller ve yerlerinin tespit edilmesidir.
2. Kopan teller ve yerlerinin tespitindeki başarı halat konstrüksiyonu, çapı, uzunluğu ve kopan tel sayısına bağlıdır.
3. Tekniğin kullanılabilmesi için çok sayıda kopmuş telin var olmasını gerektirdiğinden ancak laboratuvar şartlarında yorulma çalışılan halat test numunelerinde gerçekleştirilebilir.
4. Yapılan literatür araştırması göstermektedir ki, akustik emisyon faydalı bir laboratuvar aracı olabilir, fakat servisteki halatlara tekniğin uygulanması sınırlı olarak mümkün olabilmektedir.

5. Gelecekteki çalışmalar endüstride çok kullanılan halat konstrüksiyonlarına yoğunlaşmayı ve tel kopmalarının belirlenmesi için gelecekte tasarlanabilecek yeni ekipmanların geliştirilmesini gerektirmektedir [15].

## Diğer Yöntemler

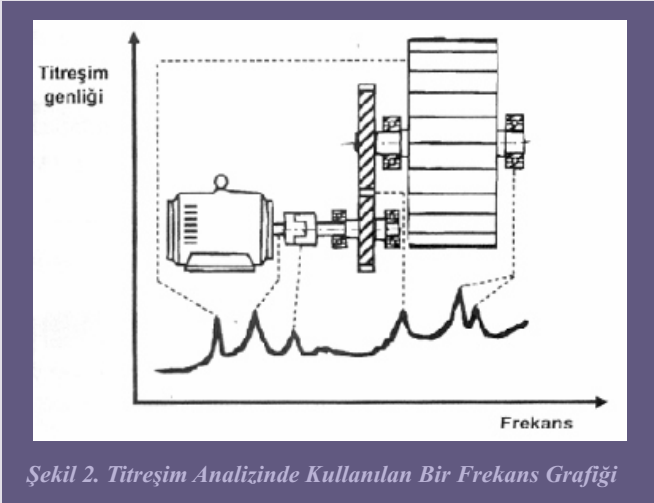
Günümüzde, teknik alanlarda makinaların ve konstrüksiyon ekipmanlarının sağlığının (diagnostiği) belirlenmesi koruyucu bakım çalışmaları için çok önemlidir. Makina diagnostğinde kullanılan yöntemler kararlı ve karasız çalışma şartları altında mekanizmanın çeşitli diagnostik parametrelerinin belirlenmesini içerir. Bu yöntemler özellikle; mekanizmanın ivmelenme zamanını dikkate alan dinamik yöntemler, mekanik parçaların titreşim, sıcaklık, akışkan basıncı ve yağ analizleri ile çalışılan mekanizmaların ön manyetikleştirilmiş hareketli parçalarındaki manyetik akım değişimine dayalı manyetik metotlardır.

Bu metotlar teorik olarak özel mekanizmalar için uygulanabilir. Fakat genellikle gerçek mekanizmaların teknolojik durumunun tahmini için deneysel verilerin yorumlanması oldukça karmaşıktır. Son yıllarda geliştirilen ve otomotiv endüstrisinde kullanılan redüksiyon dişlileri ve frenlerin test edilmesi için kullanılan termal diagnostik yönteminde bahsedilen güçlükler ile karşılaşılmaz. Bu yöntem hareketli parçalar içeren mekanizmalarda yaygın olarak uygulanabilir.

Burstein ve Segal ağır portal krenlerin redüksiyon dişlileri için bu test yöntemini uygulayarak elde edilen sonuçları yorumlayan bir bilgisayar programı hazırlamışlardır. Hareketli parçaların sürtünmesi sonucu oluşan ısı oluşumu sıcaklık olarak ölçülerek elde edilen veriler, hazırlanan bu program ile yorumlanıp mekanizmaların aşınma miktarı ile kalan servis ömürleri tahmin edilebilmektedir [10].

Titreşim esaslı hasar tespit yöntemleri tahribatsız muayene testleri için hızlı, etkili ve pahalı olmayan araçlar sunar. Bu yöntemler hasar nedeniyle sistemde oluşan değişiklikleri kendi yapılarındaki dinamik karakteristiklerdeki değişiklikler olarak kaydeder ve bunları yorumlar. Titreşim analizi ve ölçümü içinde hareketli elemanlar olan ve bir titreşim sinyali yayan tüm cihazlar için yapılabilir. Mekanik sistemler çok sayıda çalışan parçadan oluşurlar. Bu çalışan parçaların her biri farklı titreşim sinyali yayarlar. Bu sinyallerin her frekanstaki fonksiyonu tüm elemanlar için birleştirilip frekans grafiği çizilerek frekans spektrumu elde edilir. Frekans grafiğinde bu sinyallerin belirli sayıda tepe noktaları (pikler) görülebilir. Eğer sistemde çalışan tüm parçaların devir sayıları, diş sayıları gibi bilgiler biliniyorsa bu frekans grafiğinden hangi sinyalin hangi makinadan geldiği belirlenebilir. Bu tür bir frekans grafiği Şekil 2'de verilmiştir [16].

Dişli çarklarda, kasnaklar ve kavramalarda oluşan aşınmalar, montaj



Şekil 2. Titreşim Analizinde Kullanılan Bir Frekans Grafiği

hataları ve millerdeki balanssızlıklar da titreşim analizi ile tespit edilebilmektedir. Bundan başka, titreşim analizi ile yuvarlanmalı yataklarda dönen elemanlardaki hasarlar, dönen eleman

kaynaklı kutu kırımlarında olası hasarların, özellikle çatlakların tespitinde de titreşim esaslı bu tahribatsız muayene yöntemlerinden yararlanılmaktadır [17].

Tablo 1. Yuvarlanmalı Yataklarda Kullanılan Tahribatsız Muayene Araçları

Muayene olanakları	Yağlama yağının kontrolü	Sıcaklık ölçümü	Salgı-sehim ölçümü	Aşınma ölçümü
Muayene aracı ölçü aleti	Yağın kontrolü Yağdan numune alıp inceleme Yağlama sisteminin kontrolü	Termometre Isıl eleman Isıl renk Bimetal	Subjektif dinleme Hız verileri	İndüktif ölçüm Radyoaktif ölçüm
Hasar belirtisi	Aşınmadan oluşan partiküller Yağın kirliliği Korozyon	Kuru çalışma Sıcak çalışma Düzensiz çalışma	Yorulma Çukurcuklar Kraterler	Yuvarlanmalı yatak parçalarındaki aşınma

yuvarlarındaki hasarlar, kafes hasarları, yataklamadaki mekanik gevşeklikler, iç toleranslardaki uygunsuzluklar, montaj hataları ve yağlama problemleri gibi arızalar tespit edilebilir. [16]. Tablo 1' de yuvarlanmalı yataklardaki hasarların tespit edilebileceği tahribatsız muayene araçları belirtilmiştir.

Ayrıca, titreşim analizi yaparak hasar tespiti günümüzde çerçeve benzeri kaynaklı kırımların kontrolünde de kullanılabilir. Köprülü vinçlerin

## SONUÇ

Maden, petrol endüstrisi, kren ve teleferik işlemleri için emniyetli ve güvenilir tel halatların kullanılmasının çok önemli olması nedeni ile güvenlik otoritesi ve kullanıcılar için halatların durumunun kontrolü öncelikli işlerden biridir. Son yıllarda özellikle maden endüstrisinde kullanılan halatların zorunlu tahribatsız muayeneleri için manyetik akım kaçağı tipi gibi ileri elektromanyetik tel halat muayene ekipmanları geliştirilmiştir [5].

Gözle muayene yöntemi, objektif olmaması nedeni ile yeterli değildir. Pratik olarak, yüzlerce metre uzunluğundaki halatın pislik ve yağlarla kaplı olması dolayısıyla tümüyle yeniden incelenmesi çok güçtür ve hemen hemen imkansızdır. Bu yöntem ile sadece halatın yüzeyindeki hatalar tespit edilebilir ve bu da halatın durumunu tam olarak belirlemek için yeterli değildir.

Manyetik tahribatsız test yöntemleri halatın gerçek durumunu değerlendirerek belgeleri ve bu sayede halatın zamanında değiştirilmesini temin etmeleri, güvenli

ve objektif olmaları nedeniyle krenlerin ve asansörlerin kullanımında emniyeti artırır. Raporlarda veya verilerde herhangi bir anormallik fark edildiğinde muayene eden kişi bunları hem gözle hem de cihazla detaylı olarak kontrol etmelidir. Böylece, muayene eden kişinin hata bulma yeteneği artar ve yöntem taşıma tekniğinde kullanılan ekipmanların muayenesinde insan faktörünün etkisini azaltır [4,18].

Vinçlerdeki kutu kırımlar gibi kaynaklı



yapıların röntgen, floresan sıvı, ultrasonik testler ve titreşim analizi gibi tahribatsız muayene yöntemleri ile kontrolü de emniyetli çalışma koşulları açısından önemli olmaktadır.

Ayrıca taşıma tekniğinde kullanılan redüksiyon dişlileri ve yataklar gibi diğer hareketli elemanların kalan servis ömürleri de gelişmiş koruyucu bakım yöntemleri ile tahmin edilebilmektedir. Tahribatsız muayene yöntemi olarak kabul edebileceğimiz bu yöntemler sıcaklık, titreşim, yağ analizleri ve manyetik alan gibi faktörlerin değişimini inceleyerek elemanın durumu hakkında bilgiler verebilmektedir. Zamanla oluşan hasarların tespiti, ani arızalardan korur, bakım maliyetini azaltır, kullanma ve yararlanma oranını artırır. Böylece arızalanma sonucu olarak oluşabilecek kazaları da önlemek mümkün olabilmektedir.

## KAYNAKÇA

1. **L. Latham**, “The Hidden Life of Wire Rope”, *Cranes Today*, Jun 2003, 342, p37.
2. **L.B. Geller, K. Leung, J.E. Udd, F. Kitzinger**, “Electromagnetic Testing of Wire Ropes-New Developments”, *CIM Bulletin*, Oct 2003, 96, 1074, p65.
3. **A. Zeren, H. Yetiştiren**, “İletim Teknolojisinde Kullanılan Tel Halatların Bakımları”, *TMMOB Makina Mühendisleri Odası, İletim Teknolojileri Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, Ekim 2003.
4. **V.S. Kotelnikov, V.V. Sukhorukov**, “Rope NDT as Means to Raise Safety of Crane and Elevator Use”, 2002.
5. **H.R. Weischedel**, “The Magnetic Flux Leakage Inspection of Wire Ropes”, *NDT Technologies, Inc.* 2002.
6. **M.D. Kuruppu, A. Tytko, T.S. Golosinski**, “Loss of Metallic Area in Winder Ropes Subject to External Wear”, *Engineering Failure Analysis* 7 (2000) 199-207.
7. **P. Peterka, J. Kresak, S. Kropuch**, “Non-Destructive Tests of the Steel Wire Ropes”, *Metalurgija*, 43 (2004) 4, 343-344.
8. **M. Willcox, G. Downes**, “A Brief Description of NDT Techniques”, *Insight NDT Equipment Ltd*, 2000-2003.
9. “Guidance Notes on Inspection Thorough Examination and Testing of Lifting Appliances and Lifting Gear”, *Occupational Safety and Health Branch Labour Department*, Fifth Edition.
10. **L. Burstein, L. Segal**, “Prediction of Machine Residual Service Life: Method and Computing”, *NDT & E International* 37 (2004) 517-523.
11. **J. Pistora, M. Lesnak, J. Vıcek, J. Foukal**, “Magnetic Defectoscope with Permanent Magnets”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 196-197, 1999, s.283-285.
12. **M.J. Bergarder, T.S. Golosinski**, “Unconventional Methods of Testing Wires and Wire Ropes”, *Wire Journal*, 12,1,82-84, Jan.1979.
13. **G. Drummond, M. Campbell, J.F. Watson**, “Talking Structures”, *ICOMS-2003 International Conference of Maintenance Societies*.
14. **N.F. Casey, J.L. Taylor**, “An Instrument for the Evaluation of Wire Ropes”, *A Progress Report, The British Journal Of Non-Destructive Testing*, 29,1,18-21, Jan 1987.
15. **N.F. Casey, P.A. Laura**, “A review of the Acoustic-Emission Monitoring of Wire Rope”, *Ocean Engineering*, Vol.24, No.10, 1997, s.935-947.
16. **A.İ. Engür**, “Kestirimci Bakımda Titreşim Analizleri”, *KOÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tezi*, 2004.
17. **D. Liu, H. Gürgenci, M. Veidt**, “In Situ Damage Detection in Frame Structures Through Coupled Response Measurements”, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 18 (2004), 573-585.
18. **V.V. Sukhorukov, V.S. Kotelnikov, V.G. Zhukov, A.A. Khudoshin**, “Importance of Rope NDT for Safe Lifting of Loading Cranes”, *OIPEEC Technical Meeting*, Lenzburg, September 2003.