

Okan Üniversitesi MYO

MUTK216

TAHRİBATSIZ MALZEME MUAYENESİ

Ders Yürütücüsü:

Öğr. Gör. Eren Kayaoğlu

eren.kayaoglu@okan.edu.tr

DERS **1**

MUTK216 – Tahribatsız Malzeme Muayenesi

Ders Sunumları (.pdf) + Kaynaklar

<http://okanuni.eren.xyz>

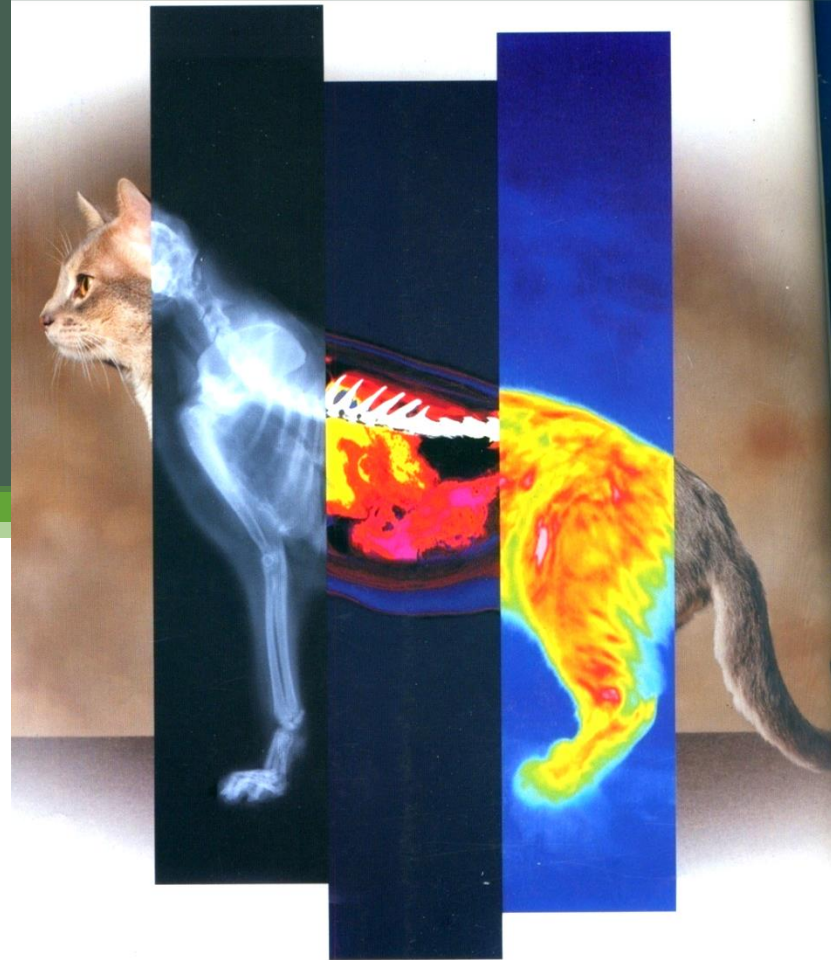
Web adresinden indirebilirsiniz.

Tahribatsız Malzeme Muayenesi



- Bir malzemenin, bileşenin veya yapının bütünlüğünü ve sağlığını belirlemek veya bir nesnenin bazı özelliklerini nicel olarak ölçmek için (invazif olmayan) **bozulma yaratmayan tekniklerin** kullanılması.

MUTK216 – Tahribatsız Malzeme Muayenesi



Zarar vermeden incele veya ölç!

Tahribatsız Muayene

- Tahribatsız muayene (*Non Destructive Testing*), malzemenin yüzeyinde veya içyapısındaki gözle tespit edilemeyen süreksizliklerin, parçada hasar oluşmadan önce tespit edilmesinde kullanılan yöntemlerdir.
- Tahribatsız muayene yöntemleri uygulama, malzeme özellikleri, parça geometrisi, parçanın kalınlığına vb. göre sınırlanmaktadır.
- Bu yöntemler, standartlarda belirtilen eğitim saatlerini doldurmuş ve sınavı başarılı şekilde geçmiş sertifikalı personeller tarafından yapılmalıdır.

Tahribatsız Muayene

- Tahribatsız Muayene (TM) kendine özgü bir bilim dalı olup, malzemedeki kalıntıları, gerilmeleri, hata boyutu ve yönlerini, kırılma dayanımı ile tasarım arasındaki bağıntıyı ve yapının güvenli bir şekilde çalışmasını belirlemektedir. Kırılma dayanımını etkileyen faktörler daha tasarım aşamasında iken göz önüne alınmış olmalıdırlar.
- TM (**NDT**), üretim çizgisinin son basamağı olmakla birlikte, tasarım sırasında planlanmış olmalıdır.

Neden Tahribatsız Muayene?

- Test parçası tahrip edilemeyecek kadar değerli ise
- Test parçası incelemeden sonra yeniden kullanılacaksa
- Test parçası kullanımdaysa
- Kalite kontrol amaçlı
- Zarar veremeyeceğiniz bir şey, örn. anne rahmindeki fetüs

Ne İçin Tahribatsız Muayene?

- Ürün geliştirmeye yardımcı olmak için
- Gelen malzemeleri taramak veya sınıflandırmak için
- Üretim süreçlerini izlemek, iyileřtirmek veya kontrol etmek için
- Isıl işlem gibi yöntemleri doğrulamak için
- Montaj uygunluđunu dođrulamak için
- Hizmet içi hasarları incelemek için

Nerelerde Tahribatsız Muayene Kullanılır?

- Kusur Tespiti ve Değerlendirilmesi
- Sızıntı tespiti
- Yer Belirleme
- Boyutsal Ölçümler
- Yapı ve Mikroyapı Karakterizasyonu
- Mekanik ve Fiziksel Özelliklerin Tahmini
- Gerilme (Gerinim) ve Dinamik Tepki Ölçümleri
- Malzeme Sınıflandırma ve Kimyasal Bileşim Tayini

Tahribatsız Muayene

“Zarar vermeden incele veya ölç”

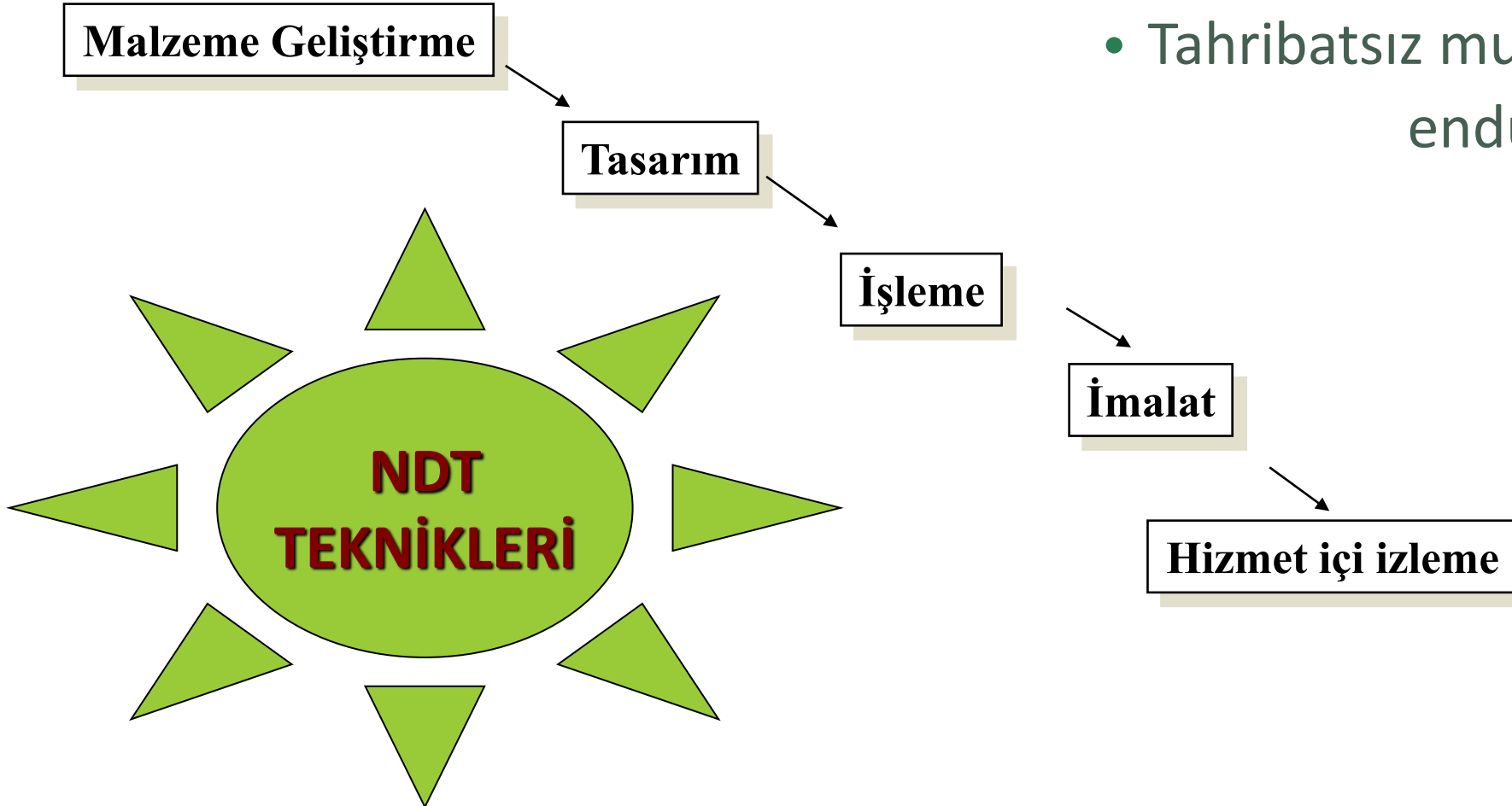


Tahribatsız Malzeme Muayenesi

NDT – Non Destructive Testing

NDT, NDI, NDE ??

Tahribatsız Muayene (NDT – Non Destructive Testing)



- Tahribatsız muayene tekniklerden endüstriyel faaliyetlerin tüm aşamalarında faydalanılır

Tahribatsız Muayene (NDT – Non Destructive Testing)

Malzeme Geliştirme

Tasarım

İşleme

İmalat

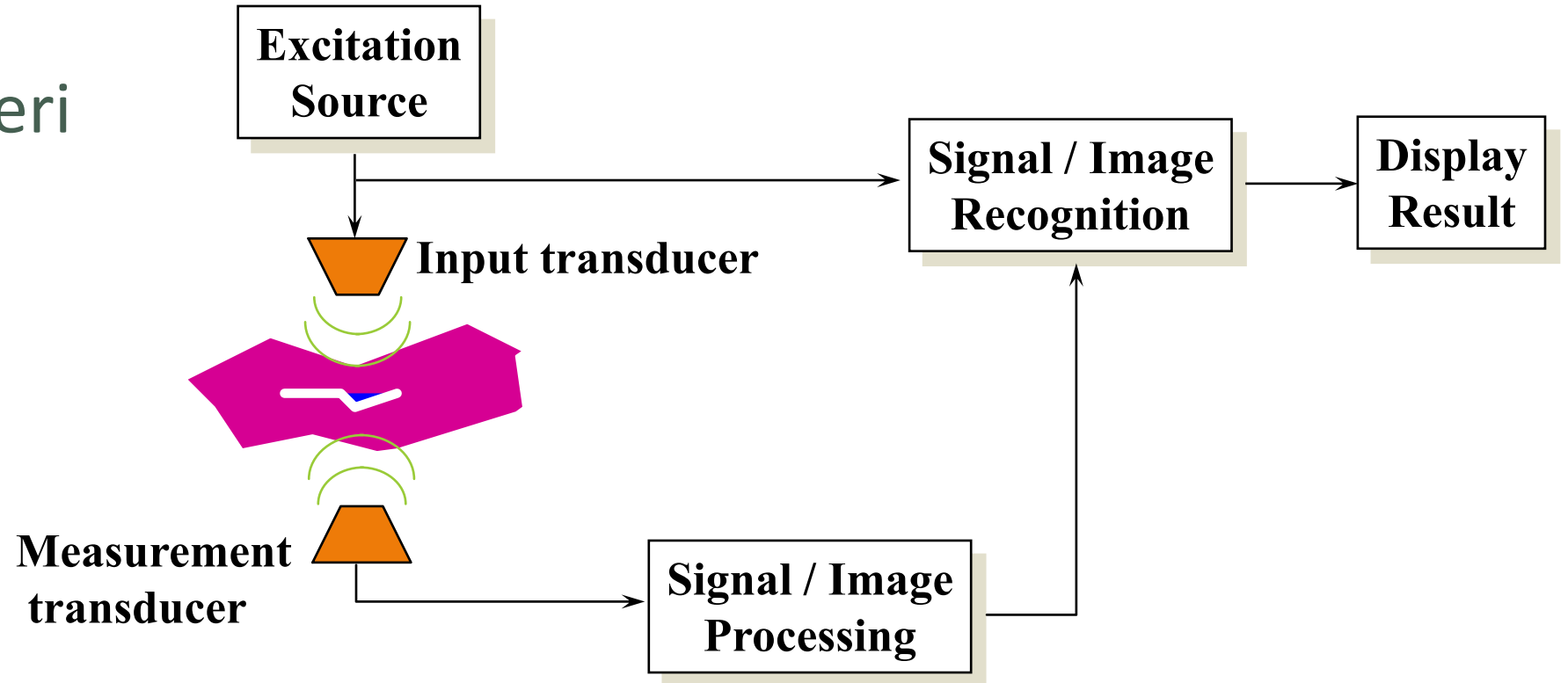
Hizmet içi izleme

- Sivil havacılıkta uçak bakım faaliyetleri açısından ele alındığında, NDT metotlarından «**Hizmet içi izleme**» aşamasında faydalanılmaktadır.

NDT
TEKNİKLERİ

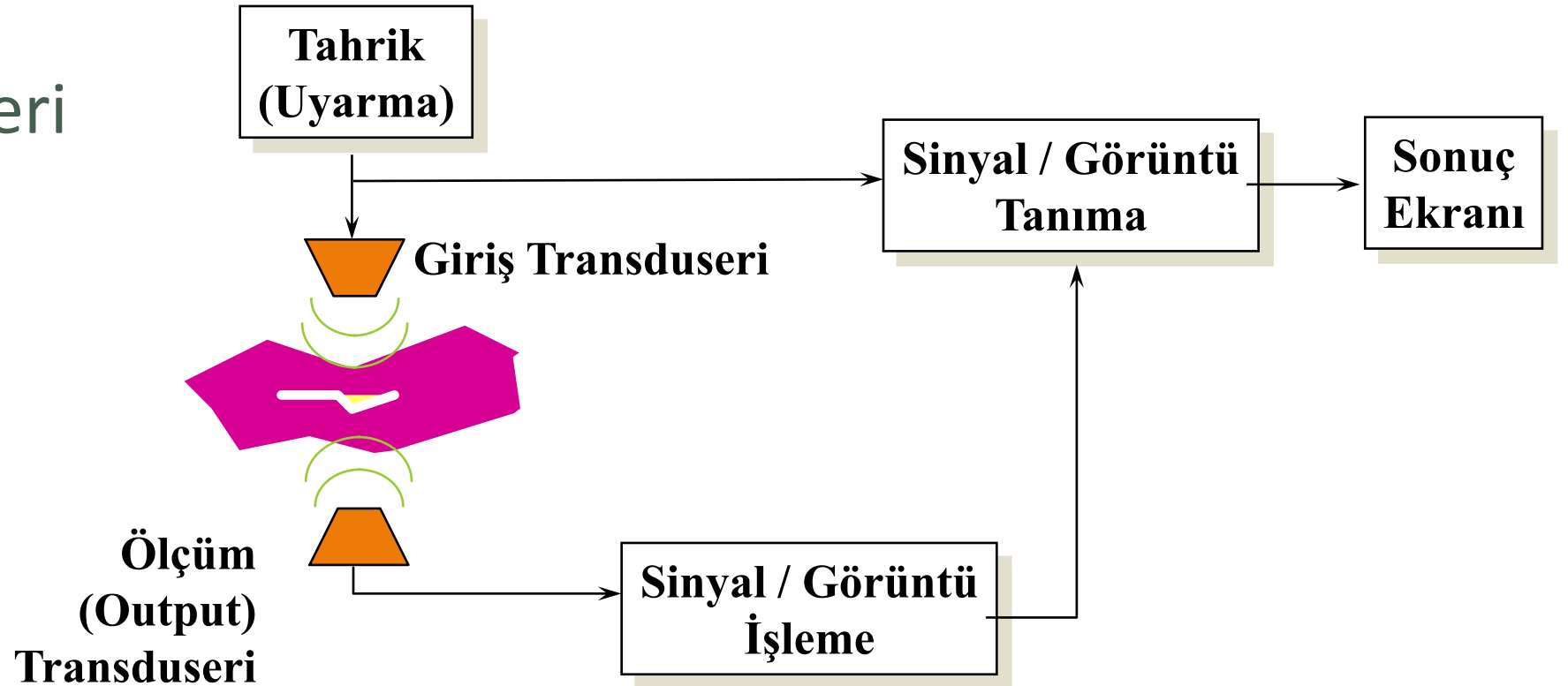
Tahribatsız Muayene (NDT – Non Destructive Testing)

- İnceleme ve Ölçüm Sistemleri Temel Prensipleri (ENG)



Tahribatsız Muayene

- İnceleme ve Ölçüm Sistemleri Temel Prensipli (TR)



Tahribatsız Muayene

- İnceleme ve Ölçüm Sistemlerinin büyük bir kısmı günümüzde elektronik dijital cihazlara dönüşmüştür.
- Muayene edilecek parça tahrik edilerek (input-giriş); ses veya titreşim verilerek, elektrik akımı veya manyetik akı uygulanarak vb.; malzemedен bir tepki (output-çıkış) alınması sağlanır.
- Giriş ile çıkış sinyalleri işlenir ve karşılaştırılır.
- Bu işlemlerin sonucu cihazın ekranı veya bilgisayar ekranında sonuç olarak operatöre gösterilir.
- Elde edilen sonuçların yorumlanması tahribatsız muayene personelinin bilgi ve tecrübesine bağlıdır.

Tahribatsız Muayenede Genel Yaklaşım

- ✓ Tahribatsız muayene yöntemleri kullanıldığında genel yaklaşım, bir **bileşen veya yapıdaki bütün önemli hataları bulmaktır.**
- ✓ Tasarım mühendisi, **uygun standart ve şartnameleri kullanarak**, bu hataların **kabul edilebilirliğine** veya varsa, **tamir işlemine karar** vermelidir.
- ✓ Tespit edilen hataların kabul edilip edilmeyeceği Tahribatsız Muayene teknisyenine (personele) bağlı değildir. **Teknisyen özel yazılı şartnameyi kullanır**, uygular ve ona göre hareket eder.

Tahribatsız Muayenede Genel Yaklaşım

- ✓ Tahribatsız muayene yöntemi genel olarak; test edilecek yapının veya bileşenin cinsine, malzemesine, şekline ve aranan hataların tiplerine göre seçilmektedir.
- ✓ Her yöntemin bir diğerine göre avantajları ve dezavantajları vardır.
- ✓ Ancak hiçbir yöntem için tek başına, en iyisi demek doğru değildir.
- ✓ Bir bileşenin testinde **%100'lük bir kontrol elde edebilmek için** çoğu kez **birden fazla yöntemin kullanılması** gerekmektedir.

Tahribatsız Malzeme Muayenesi

NDT: Non Destructive Testing

NDI: Non Destructive Inspection

NDE: Non Destructive Evaluation

Tahribatsız Malzeme Muayenesi

NDT: Non Destructive Testing (deneme, sinama)

NDI: Non Destructive Inspection (muayene, denetleme, teftiş)

NDE: Non Destructive Evaluation (değerlendirme, ölçüm)

Tahribatsız Muayene (NDT – Non Destructive Testing)

- Tahribatsız muayene (Non Destructive Testing), malzemenin yüzeyinde veya içyapısındaki gözle tespit edilemeyen **süreksizliklerin** malzemeye zarar vermeden tespit edilmesinde kullanılan yöntemlerdir.
- Endüstride en çok kullanılan tahribatsız muayene yöntemleri görsel test, manyetik parçacık testi, penetrant testi, ultrasonik test, radyografik test, akustik emisyon testi ve eddy current testidir.

Tahribatsız Muayene (**NDT** – **Non Destructive Testing**)

- Tahribatsız muayene yöntemleri uygulama, malzeme özellikleri, parça geometrisi, parçanın kalınlığına vb. göre sınırlanmaktadır.
- Tahribatsız muayene yöntemleri **standartlarda belirtilen özelliklere uygun** şekilde yapılmalıdır. (Örn: EN ISO 9712 (EN 473) ve ASNT TC 1A)
- Tahribatsız Muayene'nin yapılmaya başlandığı tarih kesin olarak bilinmemektedir ancak insanlar tahribatsız testleri ilk çağlardan beri yapmaktadır.

Tahribatsız Muayene

- Kritik bileşenlerde malzemeye zarar verecek karakterdeki yüzey ve iç süreksizliklerin tespiti çeşitli Tahribatsız Muayene Yöntemlerinin yardımı ile yapılabilmektedir. Bu yöntemleri başlıca; **Sıvı Penetrant (Girininim), Manyetik Parçacık, Girdap Akımları (Eddy Current), Radyografik Muayene, Ultrasonik Muayene, Termografi, Titreşim Analizi ve Akustik Emisyon** olarak saymak mümkündür. Ayrıca **Gözle Kontrol ve Kaçak Testi** de tahribatsız muayene yöntemleri arasında sayılır.
- Bu yöntemlerden bazıları çok eskiden beri kullanılmakta olup, bazıları çok yakın bir geçmişte mühendisler tarafından kabul edilmişlerdir.

MUTK216 – Tahribatsız Malzeme Muayenesi

Tarihçesi



Tahribatsız Muayenenin Tarihçesi

- Tahribatsız Muayene çalışmalarının yapılmaya başlandığı tarih kesin olarak bilinmemektedir. İnsanlar tahribatsız testleri ilk çağlardan beri yapmaktadır.
- “NDT” tanımının yapılmasından yüzyıllar önce, insanlar cisimlere bakarak; **görsel muayene**; büyüklüklerini, şekillerini ve hatta yüzeysel kusurlarını tespit etmeye çalışmıştır.
- Yüzey hatalarını tespit etmede yağ ve tebeşir kullanımı bilinen en eski Tahribatsız Muayene (NDT) yöntemlerinden biridir.

Tahribatsız Muayenenin Tarihçesi

- X-Işınları Kasım 1895'de Prof. W. K. Röntgen tarafından keşfedilmiş ve 1930'da Amerikan Deniz Kuvvetleri Donanmasındaki gemilerin buhar kazanlarının kaynak dikişleri **X-Işınları testi**yle kontrol edilmiştir.
- **Ultrasonik Test** ilk olarak 1931'de kullanılmış; fakat değeri mühendisler tarafından ancak 1945'den sonra anlaşılmıştır.

Tahribatsız Muayenenin Tarihçesi

- **Akustik Emisyon Testi**, stres ve kuvvet altında büyüyen süreksizliklerin ve çatlakların yaydığı enerjinin tespit edilmesine ve analizine dayanmakta olup, Tahribatsız Muayene (NDT) alanında oldukça yeni bir yöntemdir.
- Görsel Muayenenin resmî olarak NDT yöntemi kabul edilmesi 1988 yılında gerçekleşmiştir.

MUTK216 – Tahribatsız Malzeme Muayenesi

Başlıca Yöntemler / Sınıflandırma



NDT Yöntemleri

Visual

Tap Testing

Microwave

Thermography

Magnetic Particle

X-ray

Acoustic Microscopy

Acoustic Emission

Magnetic Measurements

Liquid Penetrant

Ultrasonic

Replication

Flux Leakage

Laser Interferometry

Eddy Current

Tahribatsız Muayene (NDT – Non Destructive Testing)

Başlıca Çeşitleri:

- Görsel Muayene - VT
- Penetrant Sıvı ile Muayene - PT
- Manyetik Parçacık Testi - MT
- Ultrasonik Muayene - UT
- Radyografik Muayene - RT
- Eddy-Current (Girdap Akımları) Muayenesi - ECT
- Akustik Emisyon Testi – AE
- Termografik Muayene (Infrared) - TI

Tahribatsız Muayene (NDT – Non Destructive Testing)

Diğer Çeşitleri:

- Tap Testing
- Bond Testing
- Titreşim Analizi ve Ölçümleri
- 3B Dijital Tarama
- Laser Shearography
- Çatlak Derinliği Ölçümü
- Boya Kalınlığı Ölçümü
- Optical Prism

Tahribatsız Muayene (NDT – Non Destructive Testing)

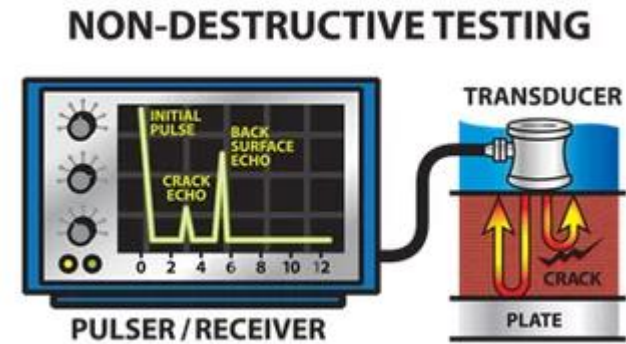
Yöntemlerin Sınıflandırılması:

- Yüzeysel yöntemler
- Hacimsel yöntemler
- İleri NDT yöntemleri
- Diğer yöntemler

Tahribatsız Muayene (NDT – Non Destructive Testing)

Yöntemlerin Sınıflandırılması: (1)

- Yüzeysel yöntemler
- Hacimsel yöntemler



Tahribatsız Muayene (NDT – Non Destructive Testing)

- **Yüzeysel yöntemler:**
 - Gözle muayene (boroskop ve endüstriyel boroskop dahil)
 - Manyetik parçacık muayenesi
 - Penetrant muayenesi
 - Girdap akımları muayenesi
 - Sertlik testi

Tahribatsız Muayene (NDT – Non Destructive Testing)

- **Hacimsel yöntemler**
 - Radyografik muayene (x-ışını ve gamma ışınları)
 - Ultrasonik muayene

Tahribatsız Muayene (NDT – Non Destructive Testing)

- *İleri NDT yöntemleri*

- Ultrasonic Phased Array yöntemi
- Fazlı dizi
- ToFD (time of flight diffraction technique)
- Akustik emisyon testi
- Kaçak testi
- Uzun menzil UT
- Manyetik kaçak akı ile tank tabanı taraması

Tahribatsız Muayene (NDT – Non Destructive Testing)

- *İleri NDT yöntemleri*

- Pozitif malzeme tanımlama
- Daldırma UT
- Bilgisayarlı tomografi
- Dijital yansıtma radyografisi
- Replik ile saha metalografisi (kullanım ömrü değerlendirme)
- Termal ve kızılötesi

Tahribatsız Muayene (NDT – Non Destructive Testing)

Yöntemlerin Sınıflandırılması: (2)

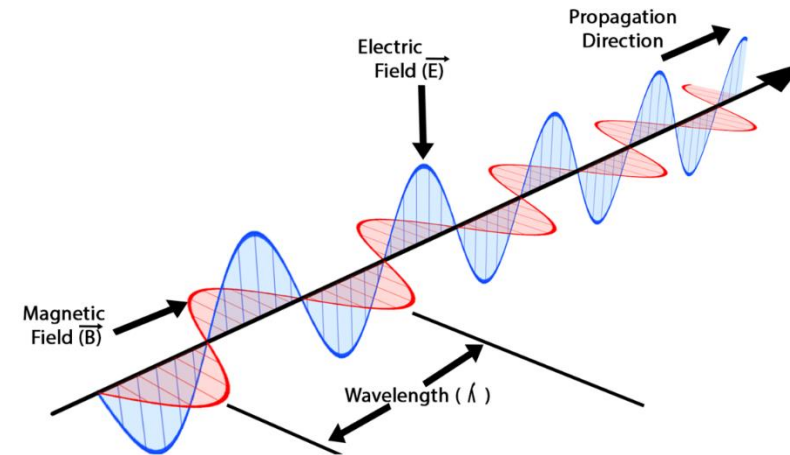
- Elektromanyetik Dalga Esaslı Metotlar
- Mekanik Dalga Esaslı Metotlar
- Manyetizma Esaslı Metotlar
- Elektriksel Metotlar
- Görsel Metotlar

Tahribatsız Muayene (NDT – Non Destructive Testing)

Elektromanyetik Dalgalar:

(Işık, X ışını, gamma ışını, lazer)

- Radyografi
- Termografi
- Lazer Testleri

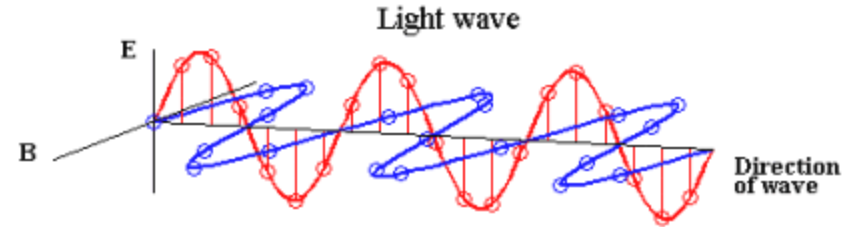
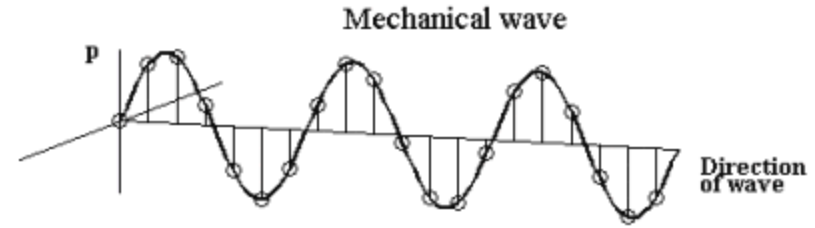


Tahribatsız Muayene (NDT – Non Destructive Testing)

Mekanik Dalgalar:

(Ses, titreşim, darbe, deplasman)

- Ultrason
- Titreşim Analizi
- Tap Testing
- Akustik Emisyon Testi



Tahribatsız Muayene (NDT – Non Destructive Testing)

Manyetik Teknikler:

- Manyetik Parçacık

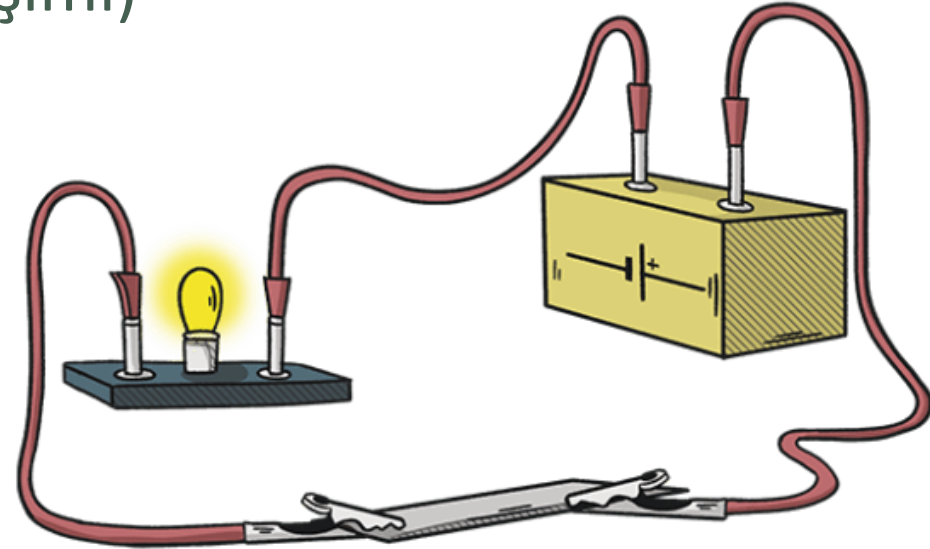


Tahribatsız Muayene (NDT – Non Destructive Testing)

Elektriksel Metotlar:

(İletkenlik, direnç gibi özelliklerin değişimi)

- Eddy-Current
- Çatlak Derinliği Ölçümü
- Strain Gage Tekniği



Tahribatsız Muayene (NDT – Non Destructive Testing)

Görsel Teknikler:

(Çıplak göz veya optik araçlar kullanılır)

- Görsel Muayene
- Penetrant Sıvı
- Optical Prism
- 3B Tarama



MUTK216 – Tahribatsız Malzeme Muayenesi

MALZEME ??

TAHRİBATSIZ ??

Airframe Loading : Critical Locations

The diagram illustrates the critical loading locations on an aircraft airframe. It shows a side view of a commercial jet with various stress points labeled. The labels include: Longitudinal stress, Static/residual strength, Crack growth; Upper skin: Compression/stability; Lower skin: Tension/crack growth; Bending and Torsion; Impact; Bending; Shear stress; Shear stress due to transverse shear and torsion; Hoop stress and longitudinal stress; Hoop stress; Impact; High local loads; Compression due to bending, stability, static strength, corrosion resistance.

Upper skin:
Compression/stability

Lower skin:
Tension/crack growth

Longitudinal stress
Static/residual strength
Crack growth

Bending and Torsion

Impact

Bending

Shear stress

Shear stress due to transverse shear and torsion

Impact

Hoop stress and longitudinal stress

Impact

Hoop stress

Impact

High local loads

Compression due to bending, stability, static strength, corrosion resistance

Non-destructive testing (NDT) is needed in order to ensure the integrity of the airframe.

Uçaklarda Tahribatsız Muayene (NDT)

- Tahribatsız muayene, uçak üretimi sırasında yaygın olarak kullanılır.
- NDT metotları ayrıca, uçak hizmetteyken **çatlakları** ve **korozyon** hasarını bulmak için kullanılır.



Uçaklarda Tahribatsız Muayene (NDT)

- ✓ İmalatta kalite kontrol sağlanır
- ✓ Bakım çalışmalarında kalite kontrol sağlanır
- ✓ Emniyetli uçuş ve operasyon sağlanır
- ✓ Yorulma hasarları engellenir
- ✓ Hata tespit imkanları arttırılır

Uçaklarda Tahribatsız Muayene

Tahribatsız Kontrol Yapılan Yerler:

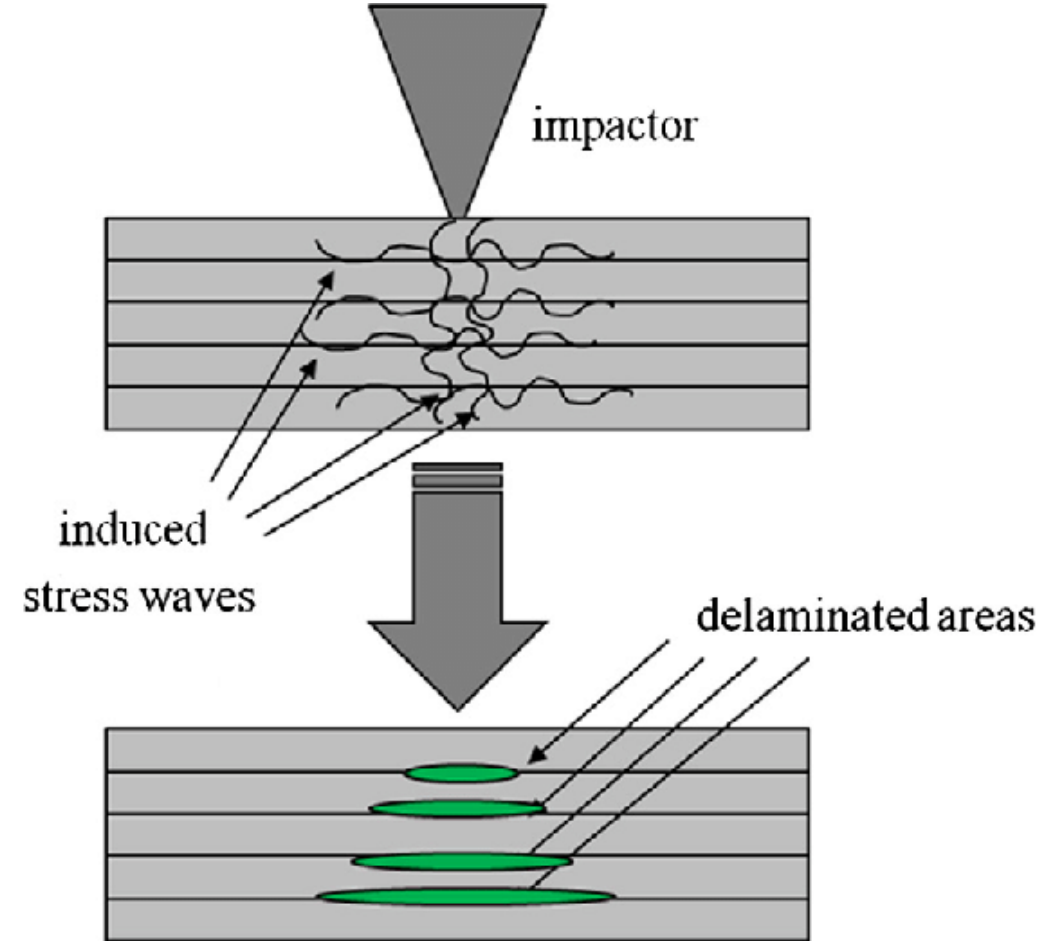
- Tabakalı kompozit yapılar
- Korozyon hasarları
- Yorulma hasarları
- Darbe hasarları
- Kaynak bağlantıları
- Cıvata ve perçin bağlantıları

Uçaklarda Tahribatsız Muayene

- Uçak bakımında incelenmesi gereken **yorulma** ve **korozyon** hasarıyla birlikte **darbe** hasarı da önemli bir yer tutar. Darbe hasarının yüzeye açık olması yüzey kalitesini bozduğu için yorulma dayanımını azaltır. Benzer olarak boya ve kaplama tabakasına zarar verebileceğinden korozyonu da tetikler.
- Daima darbe hasarının diğer önemli hasarlarla bileşimi incelenmelidir. **Yorulmuş veya korozyona uğramış** bir yüzeyin darbe hasarı alması, yapının hata toleransları dışına çıkmasını hızlandıracaktır.

Uçaklarda Tahribatsız Muayene (Darbe Hasarı)

- Metal yüzeylerde ve kompozit yüzeylerde oluşan darbe hasarları farklılık gösterir. Metal yüzeylerde daha çok yüzeyin engebeli bir hâl alması şeklinde görülür.
- **Tabakalı yapıda olan uçak kompozitlerinde** küçük darbe yükleri, yüzeyde hiçbir hasar oluşturmazken tabakalar arasında ince çizgi şeklinde ayrılmalara (**delamination**) neden olur.



Uçaklarda Tahribatsız Muayene (NDT)

- **ÖRNEK:** Yıldırım isabet eden yerde başlayan **yorulma çatlağı** aşağıda gösterilmiştir.



Uçaklarda Jet Motorlarında Tahribatsız Muayene (NDT)

- Uçak motorları bir süre hizmette kaldıktan sonra bütünüyle elden geçirilirler (*overhauling*).



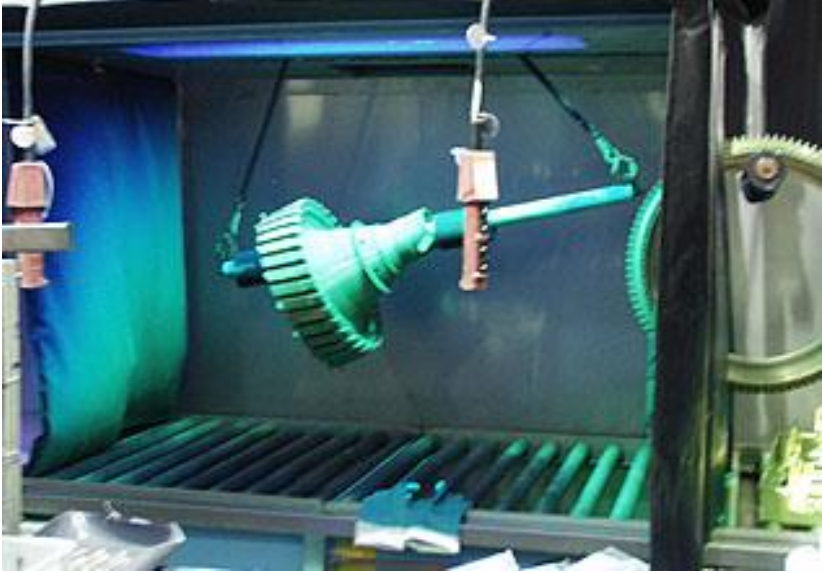
Uçaklarda Jet Motorlarında Tahribatsız Muayene (NDT)

- Tamamen demonte edilir, temizlenir, incelenir ve yeniden monte edilirler.



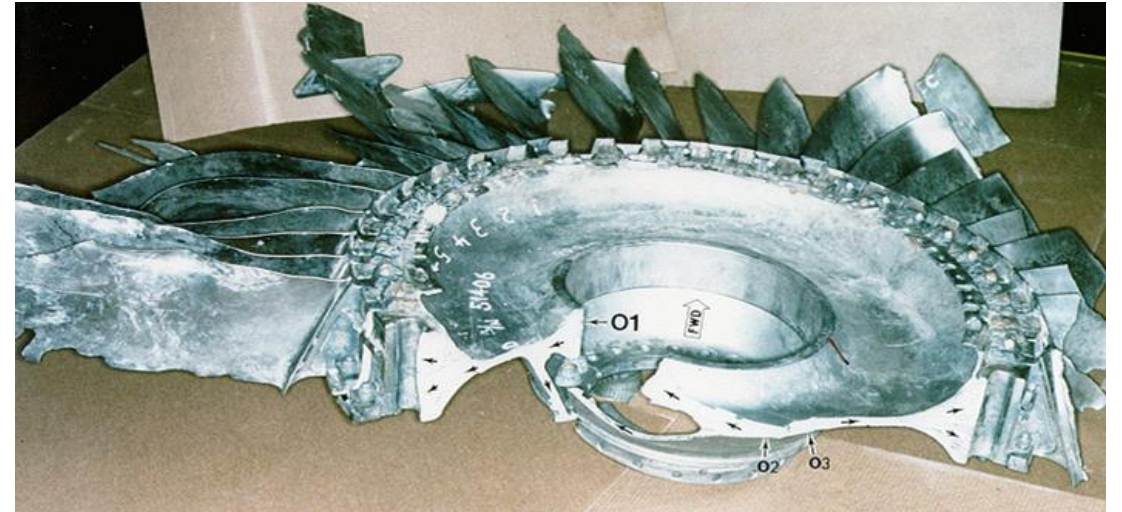
Uçaklarda Jet Motorlarında Tahribatsız Muayene (NDT)

- Floresan penetrant sıvı muayenesi, parçaların çoğunda, çatlama olup olmadığını kontrol etmek için kullanılır.



Uçaklarda Jet Motorlarında Tahribatsız Muayene (NDT)

- **ÖRNEK:** United Flight 232 uçak kazasından, motor diskinde tespit edilemeyen bir kusur sorumluydu.



MUTK216 – Tahribatsız Malzeme Muayenesi

Anahtar Kelimeler



Ders Konu Başlıkları

Temel Kavramlar

- *Fiziksel İlkeler*
- *Ölçme Teknikleri*
- *Transduserler*
- *Veri Alma ve Sinyal İşleme*
- *Uçak Yapı ve Malzemeleri, Kompozitler*
- *NDT Standartları*
- *Mekanik ve Elektromanyetik Dalgalar*

Tahribatsız Muayene Yöntemleri (NDT)

- *Görsel Muayene*
- *Sıvı Penetrant Testi*
- *Ultrasonik Muayene*
- *Radyografik Muayene*
- *Manyetik Parçacık Testi*
- *Girdap Akımları ile Muayene*
- *Akustik Emisyon Testi*
- *Termografik Muayene*

Tahribatlı Malzeme Testleri

Titreşim Ölçümleri ve Analizi

- *İvmeölçerler*
- *Strain Gage tekniği*

Diğer Tahribatsız Yöntemler

- *Tap Testing*
- *Lazer interferometri*
- *Kaçak testi*
- *Çatlak derinliği ölçümü*

Anahtar Kelimeler

- MUTK216 – Tahribatsız Malzeme Muayenesi

Türkçe

Tahribatsız Muayene

Malzeme Bilimi

Yapısal İnceleme

Test ve Değerlendirme

İngilizce

Non-Destructive Testing

Material Science

Structural Inspection

Evaluation

Anahtar Kelimeler

Visual Inspection

Boroscope

Fiberscope

Acoustic Emission

Thickness Gauge

Crack Depth Gauge

Hardness Tester

Accelerometer

Flux Leakage

Laser Interferometry

Eddy Current

X-Ray Shadowgraph

Ultrasound

Magnetic Particle Inspection

Radiography

Thermography

Penetrant Testing

Data Acquisition

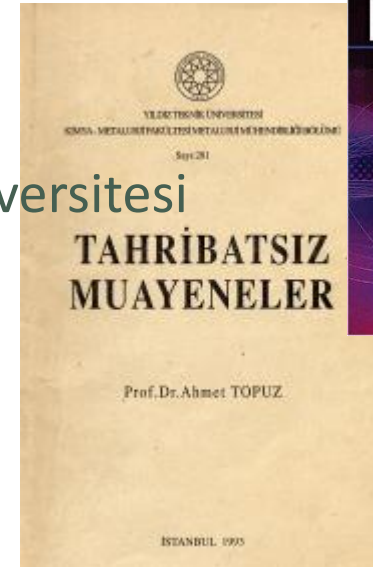
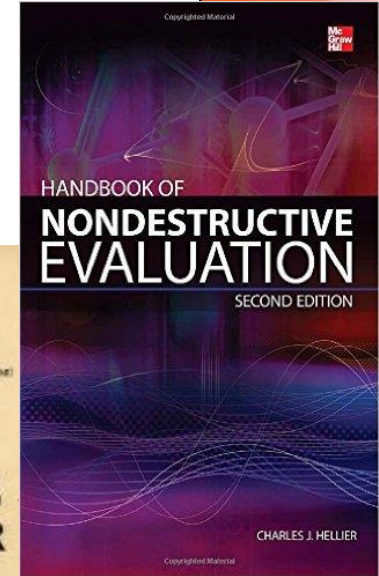
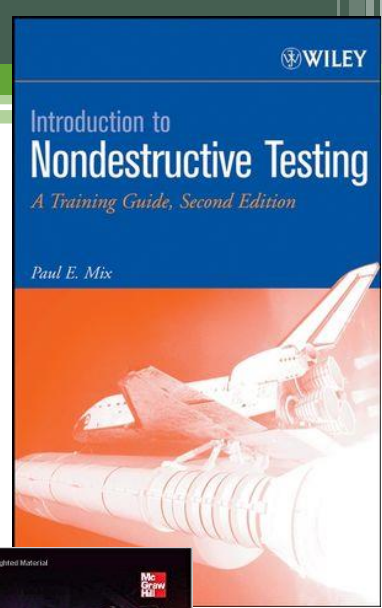
Signal Processing

Vibration Analysis

Kaynak Kitaplar:

- Introduction to Nondestructive Testing: A Training Guide 2nd Ed. / 2005
 - Yazar: Paul E. Mix / Yayıncı: Wiley-Interscience
- Handbook of Nondestructive Evaluation 2nd Ed. / 2001
 - Yazar: Hellier, Chuck / Yayıncı: McGraw-Hill Professional
- Tahribatsız Muayeneler / İst. 1993
 - Yazar: Prof. Dr. Ahmet Topuz / Yayıncı: Yıldız Teknik Üniversitesi

*(Tavsiye niteliğindedir)



Kaynaklar: (web)

- Nondestructive Evaluation Techniques / Iowa State University
- <https://www.nde-ed.org/NDETechniques/index.xhtml>
- NDT Encyclopedia* / Open Access Portal of Nondestructive Testing (NDT)
- <https://www.ndt.net/ndtaz/ndtaz.php>

Kaynakça:

- <https://atslab.com/nondestructive-testing/aviation-ndt-services/>
- <https://www.ndt.net/article/ecndt98/aero/031/031.htm>
- <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=20278>
- <https://www.aerospacetestinginternational.com/features/introduction-to-non-destructive-testing.html>
- <https://www.marlinwire.com/blog/what-is-ndt-non-destructive-testing-for-the-aerospace-industry>
- <https://www.sealaviation.com/Optical-Prism>
- <https://atslab.com/nondestructive-testing/aircraft-window-inspection/>