



Bir Uçak Ana İniş Takımı Jantının Sıvı Penetrant Kontrol Yöntemi ile İncelenmesi

Alper ULUDAĞ

Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Gövde-Motor Bakım Bölümü, Anadolu Üniversitesi,
TR-26470, Eskişehir

Özet

Hasar kavramı, mühendislik komponent ve yapılarının özelliklerini yitirmeleri ile istenen işlevlerini başarılı bir şekilde yerine getirememesi olarak tanımlanabilir. Özellikle kritik olan mühendislik komponent ve yapılarında meydana gelen hasarların bazıları önemli olup, kazalar gibi ciddi sonuçlara yol açabilir. Uçak ana iniş takımı jantları bu kritik komponentlerden biridir. Serviste kullanımları sırasında bu kritik parçalarda hasarlanmalarına yol açabilen farklı kusurlar oluşabilmekte ve uçakların yapısal bütünlüğünü, uçuş emniyetini olumsuz yönde etkileyebilmektedirler. Bu yüzden bu kusurların serviste kullanımları sırasında komponentlerde hasarlara yol açmalarından önce etkin bir şekilde tespit edilmesi oldukça önemlidir. Bu kusurlar tahribatsız muayene yöntemlerinin uygulanmasıyla etkin ve ekonomik bir şekilde tespit edilebilmektedir. Tahribatsız muayene yöntemlerinden biri olan sıvı penetrant yöntemi ile gözeneksiz malzemeler dışındaki malzemelerin yüzeye açık süreksizlikler veya kusurlar etkin bir şekilde tespit edilebilmektedir. Bu çalışmada küçük uçaklarda kullanılan ana iniş takımı jantlarının uçak bakım faaliyetleri bünyesinde, sıvı penetrant yöntemi ile tahribatsız muayenesi incelenmiştir. Sıvı penetrant yöntemi ile kontrol işlemi sonucunda bir jantta korozyon hasarı ve çeşitli çatlak şeklindeki kusurlar tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tahribatsız muayene, Sıvı penetrant kontrol yöntemi, İniş takımı jantı, Kusurlar

The Liquid Penetrant Inspection of Main Landing Gear Wheel of an Aircraft

Abstract

Failure(s) may be defined as the incapability of engineering components and structures to satisfactorily perform their intended function(s). Some of the failures of critical engineering components and structures may be significant and lead to serious results such as accidents. One of those critical components is aircraft main wheels. Defects may occur in service life of these components and result in failures and affect structural integrity and flight safety of aircraft. Therefore, defects should be detected effectively before they cause failure of components in their service life. These defects can be detected effectively and economically by the application of non-destructive inspection methods. Liquid penetrant inspection method, which is one of the non-destructive inspection methods, can be used effectively for detecting surface discontinuities or defects in all materials except porous ones. In this study, non-destructive inspection of main wheels of main landing gear of small aircraft was investigated by use of liquid penetrant inspection. Some corrosion damage and cracks were detected on the wheel at the end of liquid penetrant inspection.

Keywords: Non-destructive inspection, Liquid penetrant inspection, Landing gear wheel, Defects

1. Giriş

Havacılıktaki uçuş faaliyetlerinde bir uçağın uçuşa elverişliliğinin, yeterli ve gerekli seviyelerde emniyet ve güvenilirliğin sağlanması yapılan uçak bakım faaliyetleri ile gerçekleştirilmektedir. Uçak bakımı bir uçağın, uçak motorunun veya uçak komponentlerinin uçuş elverişliliğini sağlamak veya çalışır durumda tutabilmek amacıyla servis, onarım, tadilat, yenileme, kontrol ve durum tespiti gibi yapılan işlerin tümü olarak tanımlanmaktadır [1].

Uçak bakım faaliyetleri, yapıldıkları süreye ve yapıma zamanlamalarına göre farklı şekillerde sınıflandırılmaktadırlar. Yapılma zamanlarına göre uçak bakım faaliyetleri programlı ve programsız bakım faaliyetleri olmak üzere iki tipte olmaktadır. Programlı bakım faaliyetleri, uçak bakım el kitabında belirtilen belirli aralıklarla uygulanmaktadır. Bu bakımlarda uçak motor ve komponentlerinin uçak bakım el kitaplarında belirtilen belirli koşul ve durumlara uygunluğu kontrol edilmektedir. Programsız bakımlar ise uçak motor ve komponentlerinin çeşitli sebeplerden dolayı arızalanması veya hasara uğraması durumunda uygulanan bakımlardır. Uçak motor ve komponentlerinin arızalanmasına veya hasara uğramasına sebep olan faktörler tasarımlarındaki veya üretim sürecindeki hatalardan, uygun olmayan malzeme seçiminden ve/veya servisteki çalışma koşullarından dolayı meydana gelmektedir [2, 3].

Bir uçağın uçuş elverişliliğini, emniyet ve güvenilirliğini etkileyerek uçak bakım faaliyetlerinin yapılmasını gerektiren nedenlerden biri de uçak motor ve komponentlerinde meydana gelen hasarlardır. Meydana gelen hasarlar sonucunda uçak motor ve komponentleri fonksiyonlarını kaybederek beklenen performanslarını sergileyemeyebilir ve kullanılamaz hale gelebilir veya arızalı, hasarlı bir şekilde kullanılmaya devam edilmeleri halinde kazalara yol açabilir. Uçuş faaliyetlerinde bir uçağın uçuşa elverişliliğinin, yeterli ve gerekli seviyelerde emniyet ve güvenilirliğin sağlanması açısından uçak motor ve komponentlerinde meydana gelebilecek bu hasar ve/veya arızaların kazalar gibi ciddi sonuçlara yol açmadan daha önce belirlenmesi, tespit edilmesi oldukça önem arz etmektedir. Uçak motor ve

komponentlerinde meydana gelebilecek bu hasar ve/veya arızaların belirlenmesinde veya tespit edilmesinde kullanılan yöntemlerden birisi uçak bakım faaliyetleri bünyesinde uygulanan tahribatsız muayene yöntemleridir [3].

Tahribatsız muayene yöntemleri ile adından da anlaşılacağı gibi malzemelerin yapı ve özellikleri tahrip edilmeden yani herhangi bir zarar verilmeden malzemelerin içyapılarındaki ve/veya yüzeylerindeki hatalar, süreksizlikler tespit edilebilmektedir. Bu yöntemlerin hızlı, güvenilir ve ekonomik bir şekilde uygulanabilmesi gibi sahip oldukları avantajları uçak bakım faaliyetlerinin de içinde bulunduğu birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılmalarını sağlamıştır. Uçak bakım faaliyetlerinde yaygın olarak uygulanan tahribatsız muayene yöntemleri; göz ve optik aletlerle kontrol yöntemi, sıvı penetrant kontrol yöntemi, manyetik parçacık ile kontrol yöntemi, girdap akımları ile kontrol yöntemi, ultrasonik kontrol yöntemi, radyografik kontrol yöntemi ve termografi yöntemi şeklinde sıralanabilir. Tahribatsız muayene yöntemlerinde kontrol edilecek olan parçalardan veya malzemelerden herhangi bir örnek numune alma gerekliliğinin bulunmaması, bu yöntemlerin uçak bakım faaliyetlerinde etkin ve yaygın bir şekilde kullanımına yol açmıştır. Bu yöntemlerin etkinlikleri ve verimlilikleri kontrol edilecek parçanın malzemesine ve incelenen hata türüne göre değişmektedir [3, 4].

Bu çalışmada küçük uçaklarda kullanılan ana iniş takımı jantlarının uçak bakım faaliyetleri bünyesinde gerçekleştirilen sıvı penetrant kontrol yöntemi ile tahribatsız muayenesi incelenmiştir. Bu doğrultuda önce uçak iniş takımı jantları hakkında genel bilgiler verilmiş, jantlarda oluşan hasarlar ve hasarların tespit edilmesi kısaca açıklanmıştır. Çalışmada kullanılan yöntem olan sıvı penetrant kontrol yöntemi açıklandıktan sonra uygulama işlemi ve elde edilen bulgular verilmiştir.

2. Uçak İniş Takımı Jantları ve Oluşan Hasarların Tespit Edilmesi

Uçak iniş takımları, uçakların iniş, kalkış ve yerdeki hareketleri sırasında ağırlıklarını taşıyan ve yer ile temasını sağlayan önemli komponentlerdir.

Uçak tasarımlarına ve kullanım amaçlarına, şartlarına bağlı olarak birçok tipte iniş takımı bulunmaktadır. Küçük bir uçağın iniş takımları ve ana iniş takımı parçaları sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2’de verilmiştir.



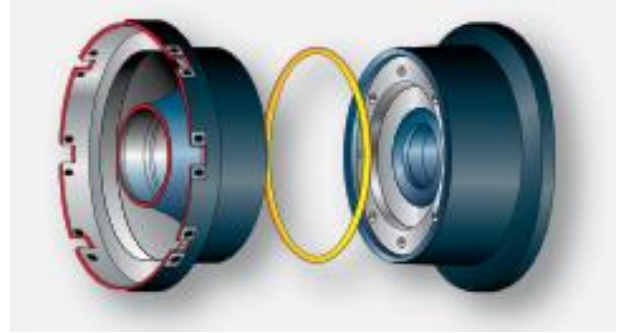
Şekil 1. Küçük bir uçağın iniş takımları



Şekil 2. Ana iniş takımı parçaları

Şekil 2’de gösterilen bir iniş takımı sisteminde birçok parça bulunmakla beraber en temel parçalar dikme, fren, lastik ve jant şeklinde sıralanabilir. Özellikle jant ve lastiklerin görevlerini yerini getirmesi ve sağlamlıkları emniyet açısından çok önemlidir. Jant ve lastiklerde oluşabilecek problemler uçağın yerdeki manevraları sırasında dengesini bozarak kazalar gibi büyük hasarların meydana gelmesine yol açabilmektedir [5].

Uçak jantları hafif ve mukavemetli olmaları açısından genellikle dökme veya dövme alüminyum, magnezyum alaşımı malzemelerden yapılmışlardır. Modern uçaklarda genellikle iki parçalı jantlar kullanılmaktadır (Şekil 3). Jantların bu iki parçası birbirlerine civatalar vasıtasıyla monte edilmekte ve lastiklerle olan teması sağlamaktadırlar. Şekil ve boyut açısından aynı olmayan bu iki jant parçasının fonksiyonları da farklıdır. İç kısımda bulunan yarım jantlara fren komponentleri yerleştirilmektedir [6].



Şekil 3. İki parçaya sahip bir jant yapısı [6]

Uçak jantları ve parçalarında serviste kullanımları sırasında çeşitli sebeplerden dolayı çatlaklar, korozyon, çizikler ve şekil bozuklukları gibi çeşitli kusur ve/veya hasarlar oluşabilmektedir. Bu kusur ve/veya hasarlar uçakların yapısal bütünlüğünü ve emniyetini olumsuz yönde etkileyebilmektedirler [7-12]. Şekil 4’te serviste kullanımı sırasında hasara uğramış olan bir uçak ana iniş takımı jantı gösterilmektedir [7]. Bu jantın hasara uğramasından sonra gerçekleştirilen metalürjik hasar analizi işlemleri sonucunda; jantın düzgün bir şekilde monte edilmemesinden kaynaklanan sürtünmelerden dolayı meydana geldiği düşünülen yorulma çatlaklarının ilerlemesi sonucunda kırıldığı belirlenmiştir. Araştırma sonucunda bu jantların her 100 saatlik uçuştan sonra sökülmesi ve tahribatsız kontrol yöntemleri ile yüzey çatlaklarının varlığı açısından kontrol edilmesi gerektiği tavsiye edilmiştir [7].



Şekil 4. Hasara uğramış olan bir uçak jantı [7]

Şekil 5’te bir uçağın kalkışı sırasında kırılarak ikiye ayrılan bir uçak jantı gösterilmektedir. Bu olay uçağın kalkışı sırasında yaşanmış olup, jantın kırılması sonucunda uçak kalkıştan vazgeçip geri dönmüştür. Jantın kırılması sırasında uçak gövde yapısında Şekil 6’da gösterilen yapısal hasar

meydana gelmiştir. Kırılan jantın incelenmesi sonucunda ilerleyen yorulma çatlaklarının jantın kırılmasına neden olduğu ifade edilmiştir [8].



Şekil 5. Kalkış sırasında kırılan bir uçak jantı [8]



Şekil 6. Kırılan uçak jantının uçak gövde yapısı üzerinde meydana getirdiği hasar [8]

Şekil 4 ve Şekil 5'te verilen olaylarda jantlar kırılarak hasara uğramış, uçuş emniyetini tehlikeye sokmuştur. Yeterli ve gerekli uçuş emniyetinin ve güvenilirliğin sağlanması açısından jantlarda hasarlara yol açabilecek olan çatlak veya korozyon gibi kusurların serviste kullanımları sırasında hasarlara yol açmalarından önce etkin bir şekilde tespit edilmesi oldukça önemlidir. Uçak jantlarında ve ilgili diğer parçalarda hasarlara yol açabilecek olan çatlak veya korozyon gibi kusurlar genel olarak göz ve optik aletlerle, manyetik parçacık, girdap akımları ve sıvı penetrant kontrol yöntemi gibi tahribatsız muayene yöntemleri kullanılarak tespit edilebilmektedir [11-14]. Manyetik parçacık, girdap akımları ve sıvı penetrant kontrol yöntemlerinde sırasıyla malzemelerin manyetiklik, elektriksel iletkenlik ve sıvıların kılcallık özelliklerinden faydalanılmaktadır. Bu yöntemlerin yapılarıdaki kusurların tespit edilmesindeki etkinlikleri ve verimlilikleri kontrol edilecek parçanın malzemesine, incelenen hata türüne ve hatanın yerine göre değişmektedir. Örneğin jantların birleştirilmesinde kullanılan cıvatalar genellikle

çelik alaşımından imal edilmekte olup, manyetize edilmeleri kolay olduğundan cıvataların kontrolünde manyetik parçacık ile kontrol yöntemi kullanılmaktadır. Yüzeyle açık ve yüzey altı süreksizliklerin tespit edilmesinde verimli olan bir yöntemdir. Jantların birleştirilmesinde kullanılan bir cıvata manyetik parçacık kontrol yöntemi ile tespit edilmiş bir çatlak Şekil 7'de gösterilmektedir [11]. Aynı cıvata manyetik parçacık kontrol yöntemi ile tespit edilmiş korozyon hasarı ise Şekil 8'de gösterilmektedir.



Şekil 7. Cıvata üzerinde manyetik parçacık kontrol yöntemi ile tespit edilmiş bir çatlak [11]



Şekil 8. Cıvata üzerinde manyetik parçacık kontrol yöntemi ile tespit edilmiş korozyon hasarı [11]

Manyetize edilemeyen fakat elektrik iletkenliği yüksek olan parçaların kontrolünde girdap akımları yöntemi kullanılabilir. Yüzeyle açık ve yüzey altı süreksizliklerin tespit edilmesinde verimli olan bir yöntemdir. Şekil 7'de gösterilen cıvataların takıldığı deliklerin çevrelerinin veya jantın kenar kısımlarının kontrolünde girdap akımları yöntemi kullanılabilir. Şekil 9'da cıvataların takıldığı deliklerin çevresinin girdap akımları kontrol yöntemi ile incelenmesi gösterilmektedir.



Şekil 9. Cıvata delik çevresinin girdap akımları kontrol yöntemi ile kontrol edilmesi [11]

Uçak jantı ve ilgili parçalarındaki kusurların tespit edilmesinde manyetik parçacık ve girdap akımları yöntemlerinin yansıra sıvı penetrant ile kontrol yöntemi de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin kusurluların tespit edilmesindeki etkinlikleri ve verimlilikleri daha önce de ifade edildiği gibi kontrol edilecek parçanın malzemesine, incelenen hata türüne ve hatanın yerine göre değişmektedir. Bazı durumlarda birden fazla yöntem bir arada kullanılabilir. Fakat programlı veya programsız uçak bakım faaliyetleri bünyesinde uçak parçalarına uygulanması gereken tahribatsız muayene yöntemi uçak bakım el kitaplarında belirtilmiş olup, bu uygulamalar ilgili talimatlar doğrultusunda gerçekleştirilmektedir [16, 17]. Bu çalışmanın konusunu oluşturan jantların incelenmesinde sıvı penetrant kontrol yönteminin kullanılması gerektiği bu uçağın bakım el kitabında belirtilmiştir [18]. Bu doğrultuda çalışmada programlı bakım faaliyetleri bünyesinde uçaktan sökülen bir jantın sıvı penetrant kontrol yöntemi ile tahribatsız muayenesi incelenmiştir.

3. Sıvı Penetrant Kontrol Yöntemi

Sıvı penetrant kontrol yöntemi, metal ve ametal (metal olmayan) gözeneksiz malzemelerden üretilmiş komponentlerdeki yüzeye açık süreksizliklerin belirlenmesinde kullanılan tahribatsız muayene yöntemidir. Sıvı penetrant kontrol yönteminde temel olarak sıvıların kılcallık veya kapillarite özellikleri kullanılmaktadır [16].

Sabit veya taşınabilir test teçhizatları ile uygulanabilen penetrant sistemleri; penetrant sıvıların ihtiva ettikleri boya türüne göre (renklerine), temizlenme özelliklerine ve hassasiyetlerine göre farklı şekillerde

sınıflandırılmaktadır [16]. Penetrant sistemlerinin sınıflandırılması Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Penetrant sistemleri [16]

Teçhizat özelliği	
Sabit	
Taşınabilir	
Sınıf	İhtiva ettikleri boya türüne göre
Tip I	Floresan
Tip II	Renkli boya
Tip II	Floresan ve renkli boya
Sınıf	Temizlenme özelliği
Metot A	Su ile yıkanabilir
Metot B	Yağ bazlı-sonradan seyreltilen
Metot C	Solvent ile yıkanabilen
Metot D	Su bazlı-sonradan seyreltilen
Sınıf	Hassasiyet özelliği
Level 1/2	Çok düşük
Level 1	Düşük
Level 2	Orta
Level 3	Yüksek
Level 4	Çok yüksek

Kontrol edilen parça yüzeyinde bulunan süreksizliklerin içine uygun viskoziteye sahip

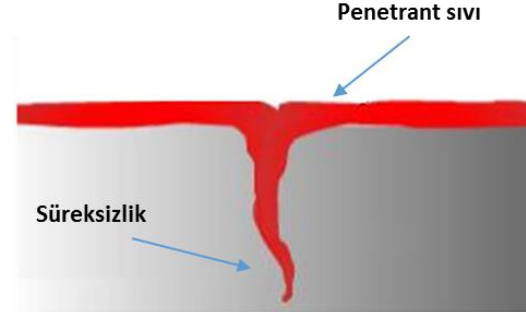
penetrant sıvısının girmesi, daha sonra geliştirici (developer) adı verilen bir madde ile tekrar yüzeye çıkması sonucunda süreksizliklerin bulunduğu kısımlar ile süreksizliklerin bulunmadığı kısımlar arasında görülebilir kontrast farkı oluşturmak bu yöntemin temel amacıdır [16]. Sadece yüzeye açık süreksizliklerin tespit edilmesinde kullanılan bu yöntem, gözenekli, yüzeyi pürüzlü ve boyalı olan parçaların kontrolünde verimli değildir. Pratik, ekonomik olma ve kolay uygulanabilme gibi avantajları bulunan bu yöntemde kontrol sonuçları hızlı bir şekilde alınabilmektedir. Sıvı penetrant kontrol yöntemi temel olarak altı aşamada uygulanmaktadır. Bu aşamalar:

- Kontrol öncesi yüzey hazırlığı,
- Penetrant sıvısının yüzeye uygulanması,
- Fazla penetrant sıvısının kontrol yüzeyinden temizlenmesi,
- Geliştiricinin parça yüzeyine uygulanması,
- Parça yüzeyinin incelenmesi ve değerlendirilmesi,
- Kontrol sonrası temizlik işlemi şeklindedir.

Kontrol öncesi yüzey hazırlığı: Sıvı penetrant kontrolünden önce yüzey hazırlığı aşamasında penetrant sıvısının olası süreksizliklere nüfuz etmesini engelleyebilecek olan boya veya kaplamalar sökülmeli ve yüzeydeki yağ, gres, kir veya pas gibi kirlenici bütün malzemeler uygun temizleyici yöntem ve malzemeler kullanılarak yüzeyden uzaklaştırılmalıdır. Temizleme işlemi ile parça malzemesine zarar vermemeli, sadece kirlilikleri temizleyecek şekilde yapılmalıdır.

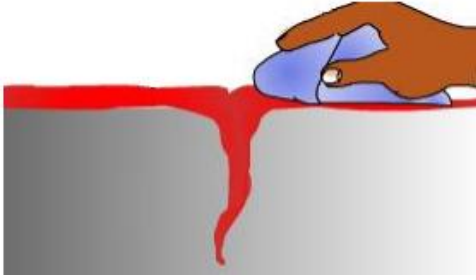
Penetrant sıvısının yüzeye uygulanması: penetrant sıvısı temizlenen parça yüzeyine farklı yöntemlerle uygulanabilmektedir. Penetrant sıvısının sprej şeklinde püskürtülmesi, bir fırça yardımı ile sürülmesi veya parçanın içinde penetrant sıvı bulunan bir tanka daldırılması uygulama yöntemlerinden bazılarıdır. Tablo 1’de verilen penetrant sistemlerinden kontrol işlemi yapılan parça için uygun olan penetrant sıvı parça yüzeyini tamamen kaplayacak şekilde uygulanır. Penetrant sıvısının parça yüzeyindeki süreksizliklere nüfuz edebilmesi yani içerisine girebilmesi için belirli sürelerde beklenir. Penetrant sıvısının bir yüzey süreksizliğine nüfuz etmesi şematik olarak Şekil 10’da gösterilmektedir. Şekil

10’da kırmızı renkli göz ile görülebilme özelliğine sahip Tip II şeklinde sınıflandırılan penetrant sıvı kullanılmıştır. Bu tip penetrantlar gün ışığında çıplak göz ile görülebilmektedir.



Şekil 10. Penetrant sıvısının bir yüzey süreksizliğine nüfuz etmesi

Fazla penetrant sıvısının kontrol yüzeyinden temizlenmesi: Penetrant sıvısının yüzeye uygulanması aşamasından sonraki aşama parça yüzeyindeki fazla penetrant sıvısının temizlenmesidir. Temizleme işleminde kullanılan malzemeler temizlenecek olan penetrant sıvısının tipine göre değişmektedir. Tablo 1’de verilmiş olan penetrant sistemleri temizleme özelliklerine göre dört grupta sınıflandırılmaktadır. Penetrant sıvısı, yüzeyden temizleme özelliklerine göre, su ile yıkanabilir (Metot A), yağ bazlı sonradan seyreltilebilen (Metot B), solvent ile temizlenebilen (Metot C) ve su bazlı sonradan seyreltilebilen (Metot D) olarak sınıflandırılmaktadır. Parça yüzeyindeki fazla penetrant sıvı, su veya uygun seyrelticiler bir sprej tabanca ile püskürtülerek, bir bez yardımıyla elle silinerek veya içinde su bulunan bir tanka daldırılarak temizlenmektedir [16,17]. Şekil 11’de parça yüzeyindeki fazla penetrant sıvısının bir bez yardımıyla elle silinerek temizlenmesi şematik olarak gösterilmektedir.



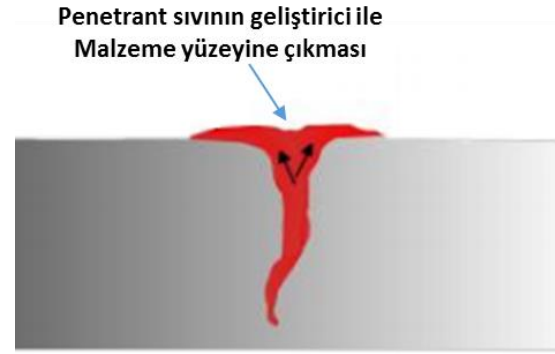
Şekil 11. Fazla penetrant sıvısının kontrol yüzeyinden el ile temizlenmesi

Geliştiricinin kontrol yüzeyine uygulanması: Fazla penetrant sıvısının kontrol yüzeyinden temizlenmesi aşamasından sonraki aşama geliştiricinin kontrol yüzeyine uygulanması aşamasıdır. Geliştirici malzemesi, sıvı penetrant kontrol yöntemi ile tespit edilmesi muhtemel süreksizliklerin içine nüfuz eden penetrant sıvısının ters kapiler hareket ile tekrar yüzeye çekilmesini ve böylece süreksizliklerin görülebilmesini sağlamaktadır. Tablo 2’de verilen çeşitleri verilen geliştirici malzemelerden kontrol işlemi için uygun olanı sprey şeklinde püskürtülerek, bir fırça yardımı ile sürülerek veya parçanın içinde geliştirici malzeme bulunan bir tanka daldırılarak parça yüzeyine uygulanabilir [16, 17].

Tablo 2. Geliştirici malzeme tipleri [16]

Sınıf	Cinsi
Form a	Kuru toz
Form b	Suda çözülebilen
Form c	Suda asılı kalan
Form d	Susuz yağ
Form e	Özel uygulamalar

Geliştirici malzemenin uygulanmasından sonra süreksizliklerin içine nüfuz eden penetrant sıvısının ters kapiler hareket ile tekrar yüzeye çekilmesi için belirli sürelerde beklenir. Geliştirici malzemenin uygulanmasından sonra penetrant sıvısının yüzeye çekilmesi şematik olarak Şekil 12’de gösterilmektedir.



Şekil 12. Penetrant sıvısının geliştirici malzeme ile malzeme yüzeyine çıkması

Kontrol yüzeyinin incelenmesi ve değerlendirilmesi: Geliştiricinin kontrol yüzeyine uygulanması aşamasından sonraki aşama kontrol yüzeyinin incelenmesi ve değerlendirilmesi aşamasıdır. Bu aşamada kontrol edilecek parça yüzeyi uygun ışık altında incelenmekte ve yüzeydeki olası süreksizliklerin varlığı açısından değerlendirilmektedir. Penetrant sıvı olarak renkli boyalı penetrant sıvı kullanılan sistemlerdeki inceleme işlemi yeterli şiddete sahip gün ışığında gerçekleştirilmektedir. Penetrant sıvı olarak floresan penetrant sıvı kullanılan sistemlerdeki inceleme işlemi karanlık bir ortamda uygun ışık şiddetine sahip siyah ışık (ultraviyole ışık) şeklinde adlandırılan bir ışık ile gerçekleştirilmektedir. Kontrol edilen parça yüzeyindeki inceleme işlemi sonucunda süreksizlik görüntüsü olduğu düşünülen görüntüler, uygun bir temizleyici çözelti ile ıslatılmış bir bez veya yumuşak bir fırça ile silinir. Daha sonra kuruması için beklenir ve silinen bölgelere tekrardan geliştirici uygulanarak bekleme süresi kadar beklenir. Bu süreç gerekmesi halinde üç defa tekrarlanır ve eğer her defasında görüntü alınıyorsa süreksizlik olarak kabul edilir. İnceleme işleminde tespit edilen olası süreksizliklerin değerlendirilmesi kıyaslama yoluyla mevcut referans veya kriterler doğrultusunda gerçekleştirilmektedir. Ortamın penetrant sıvı kalıntılarında ve kirliliklerden temizlenmiş olması oldukça önemlidir. Çünkü inceleme işleminde hatalı görüntü elde edilmesine yol açabilir.

Kontrol sonrası temizlik işlemi: Kontrol yüzeyinin incelenmesi ve değerlendirilmesi aşamasından sonraki aşama kontrol sonrası temizlik işlemi aşamasıdır. Bu aşama kontrol edilen parçadan sadece ilgisiz görüntüler elde edilmesi

durumunda ya da hiçbir görüntü elde edilememesi durumunda uygulanmaktadır. Kontrol işlemi sonucunda son temizlik yapılarak penetrant ve geliştirici malzeme kalıntıları giderilir ve parça tekrar kullanılmak üzere servise verilir [16, 17].

4. Deneysel Metod

Bu çalışmada küçük bir uçağın ana iniş takımı jantının sıvı penetrant kontrol yöntemiyle incelenmesi sabit penetrant muayene teçhizatı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 13’de gösterilen sabit penetrant muayene teçhizatı, kontrol işleminin gerçekleştirilmesi için gerekli olan bölümleri veya istasyonları ihtiva etmektedir. Bu bölümler, penetrant uygulama bölümü, penetrant bekleme bölümü, fazla penetrant temizleme bölümü, kurutma (fırın) bölümü, geliştirici uygulama bölümü ve kontrol bölümü (karanlık oda) şeklinde sıralanabilir. Sıvı penetrant kontrol yöntemi ASTM E-1417 (Standart Practices of Liquid Penetrant Inspection) standartı uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Bu kontrol işleminde su ile yıkanabilir (Method A), yüksek hassasiyete (Level 3) sahip floresan penetrant sıvı (Type I), geliştirici olarak ise suda asılı kalan tip (Form c) geliştirici malzeme kullanılmıştır.



Şekil 13. Sabit sıvı penetrant muayene teçhizatı

Uçaktan sıvı penetrant yöntemi ile kontrol işlemi için sökülen Şekil 14’de gösterilen jant ikinci bölümde açıklanan altı temel aşamaya tabi tutulmuştur. Bu aşamalar:

- Kontrol öncesi yüzey hazırlığı,
- Penetrant sıvısının yüzeye uygulanması,
- Fazla penetrant sıvısının kontrol yüzeyinden temizlenmesi,
- Geliştiricinin parça yüzeyine uygulanması,

- Parça yüzeyinin incelenmesi ve değerlendirilmesi
- Kontrol sonrası temizlik işlemi şeklindedir.



Şekil 14. Kontrol işlemi için uçaktan sökülmüş jant

Kontrol öncesi yüzey hazırlığı: Kontrolü yapılan uçak jantlarının üzerinde herhangi bir kaplama ve boya bulunmadığından yüzey hazırlığı aşamasında jantların bütün yüzeyi yağ, gres veya kir gibi kirleticilerden uçak bakım el kitabında belirtilen temizleyici malzemeler kullanılarak temizlenmiştir. Temizleme işleminden sonra basınçlı hava veya kurutucu fırın kullanılarak jantların bütün yüzeyi kurutulmuştur.

Penetrant sıvısının yüzeye uygulanması: Kontrol öncesi yüzey hazırlığı yapılmış olan jant, tüm yüzeyi penetrant sıvı ile kaplanacak şekilde penetrant sıvısının içinde bulundurulduğu tankın içine daldırılmış, daha sonra tanktan çıkarılmış ve penetrant bekleme bölümüne bırakılmıştır. Yaklaşık yirmi dakika bekleme süresi kadar beklenilmiştir. Yüzeyine penetrant sıvı uygulanmış olan jant Şekil 15’de gösterilmektedir.



Şekil 15. Yüzeyine penetrant sıvı uygulanmış olan jant

Fazla penetrant sıvısının kontrol yüzeyinden temizlenmesi: Penetrant sıvısının yüzeye uygulanması aşamasından sonraki aşama parça yüzeyindeki fazla penetrant sıvısının

temizlenmesidir. Temizleme işleminde kullanılan malzemeler temizlenecek olan penetrant sıvısının tipine göre değişmektedir. Bu çalışmadaki kontrol işleminde su ile yıkanabilen, floresan penetrant sıvısının temizlenmesi su kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bekleme süresinin geçmesinden sonra jant penetrant teçhizatının yıkama bölümünde manuel su tabancası kullanılarak minimum 30 cm mesafeden siyah ışık altında yıkanmıştır. Manuel su tabancası kullanılarak yapılan temizleme işleminde basınçlı su kullanılmıştır. Su ile temizleme işleminin siyah ışık (ultraviyole ışık) altında yapılmasının nedeni parça yüzeyi üzerindeki penetrantın yüzeyden yeteri kadar temizlenip temizlenmediğinin ve aşırı yıkama yapıp yapılmadığının belirlenebilmesi içindir. Fazla penetrant sıvısının yüzeyden temizlenmesi işleminden sonra parça yüzeyinde flu renkte floresan penetrant görüntüsü olmalıdır. Parça yüzeyinde flu renkte floresan penetrant görüntüsünün olmaması temizleme işleminin gereğinden fazla, aşırı yapıldığını gösterir. Aşırı temizleme işlemi, tespit edilmesi muhtemel süreksizliklerin içine nüfuz etmiş olan penetrant sıvısının süreksizliklerden çıkartılmasına sebep olur. Bu durum, sıvı penetrant yöntemi ile kontrol sonuçlarının yanıltıcı olmasına sebep olabilir. Aşırı temizleme işleminin yapılması durumunda parça kontrol yüzeyi kurutulurak proses ilk aşamadan itibaren tekrar uygulanmalıdır. Temizleme işleminden sonra hava tabancası kullanılarak jantın kavisli bölgelerinde toplanan su yüzeyden uzaklaştırılır. Bu doğrultuda jantın yüzeyindeki fazla penetrant sıvı uygun şekilde temizlenmiştir. Jantın yüzeyindeki fazla penetrant sıvısının temizlenmesinden sonraki durumu Şekil 16'da gösterilmektedir.



Şekil 16. Yüzeyindeki fazla penetrant sıvı temizlenmiş olan jant

Geliştiricinin kontrol yüzeyine uygulanması: Fazla penetrant sıvısının kontrol yüzeyinden temizlenmesi aşamasından sonraki aşama geliştiricinin kontrol yüzeyine uygulanması aşamasıdır. Geliştirici malzemenin uygulanması, sıvı penetrant kontrol yöntemi ile tespit edilmesi muhtemel süreksizliklerin içine nüfuz eden penetrant sıvısının ters kapiler hareket ile tekrar yüzeye çekilmesini ve böylece süreksizliklerin uygun ışık altında görülebilmesini sağlamaktadır. Geliştirici malzeme parça yüzeyine farklı şekillerde uygulanabilmektedir. Bu kontrolde, içerisinde suda askıda kalan geliştirici malzeme (form c) bulunan tanka kontrol edilecek parçanın daldırılması yöntemi kullanılmıştır. Jant, penetrant hattının geliştirici tankına daldırılarak, bütün yüzeyinin homojen bir şekilde de geliştirici malzeme ile kaplanması sağlanmıştır. Geliştirici malzeme uygulandıktan sonra geliştirici sıvısının süzülmesi için bir süre beklenmiş ve sonra jant kuruması için kurutma fırınına yerleştirilmiştir. Geliştirici malzemenin işlevini yerine getirebilmesi için yaklaşık on dakika geliştirici bekleme süresi kadar beklenmiştir. Geliştirici malzeme uygulanmış olan jantın durumu Şekil 17'de gösterilmektedir.



Şekil 17. Geliştirici malzeme uygulanmış olan jant

Kontrol yüzeyinin incelenmesi ve değerlendirilmesi: Bu aşamada kontrol edilecek parça yüzeyi uygun ışık altında incelenmekte ve değerlendirilmektedir. Bu çalışmadaki kontrol işleminde yapılan inceleme işlemi, floresan (Type I) penetrant sıvı kullanılmasıyla dolaylı olarak siyah ışık altında gerçekleştirilmiştir. Değerlendirme işlemi ise uçak bakım el kitaplarında belirtilen kriterlere göre yapılmıştır. İnceleme işleminde elde edilen görüntülerin muhtemel süreksizliklere ait olup olmadıklarının belirlenmesi veya herhangi bir süreksizlik türü ile ilgisi olup olmadıklarına karar

verilmektedir. Kontrol edilen parça yüzeyindeki inceleme işlemi sonucunda süreksizlik görüntüsü olduğu düşünülen görüntüler, uygun bir temizleyici çözelti ile ıslatılmış bir bez veya yumuşak bir fırça ile silinir. Daha sonra kuruması için beklenir ve silinen bölgelere tekrardan geliştirici uygulanarak bekleme süresi kadar beklenir. Bu süreç gerekmesi halinde üç defa tekrarlanır ve eğer her defasında görüntü alınıyorsa süreksizlik olarak kabul edilir. Bu çalışmadaki jantın kontrol yüzeyinin incelenmesi ve değerlendirilmesi belirtilen şekilde yapılmıştır. Fotoğraf tekniği kullanılarak elde edilen resimler ile elde edilen görüntüler kayıt altına alınmıştır.

Kontrol sonrası temizlik işlemi: Kontrol yüzeyinin incelenmesi ve değerlendirilmesi aşamasından sonraki aşama kontrol sonrası temizlik işlemi aşamasıdır. Bu aşama kontrol edilen parçadan sadece ilgisiz görüntüler elde edilmesi durumunda ya da hiçbir görüntü elde edilememesi durumunda uygulanmaktadır. Kontrol işlemi sonucunda son temizlik yapılarak parça servise verilir. Servise verilecek parçaların son temizliklerinin yapılması oldukça önem arz etmektedir. Çünkü sıvı penetrant yöntemi ile kontrol edilen parçaların yüzeylerinde kalan penetrant ve geliştirici malzeme artıkları bu parçalarda korozyon oluşmasına neden olabilir.

5. Bulgular ve Tartışma

Tahribatsız muayene incelemeleri için kullanılacak olan yöntem, kontrol edilecek parçanın malzemesine, incelenen hata türüne ve hatanın yerine göre değişmektedir. Bazı durumlarda bir parça veya komponentin tahribatsız muayene incelemesi birden fazla yöntem kullanılarak gerçekleştirilmekte ve incelemenin güvenilirliği arttırılmaktadır. Literatürde uçak jantları ve ilgili diğer parçalarının tahribatsız muayene incelemelerinde manyetik parçacık ve girdap akımları yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır [11, 12].

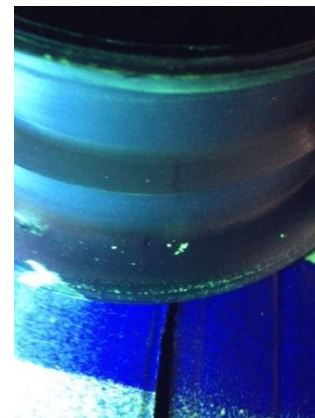
Bu çalışmada tahribatsız muayene incelemesi yapılan jantın malzemesi 2024 alüminyum alaşımı olduğundan manyetik parçacık kontrol yönteminin kullanılması uygun değildir. Çünkü bu malzeme manyetik parçacık kontrol yöntemi için gerekli olan manyetize edilme özelliğine sahip değildir. Mevcut

jant için tahribatsız muayene inceleme sürecinin güvenilirliğini arttırmak için girdap akımları ile kontrol yöntemi ve sıvı penetrant kontrol yöntemleri beraber uygulanabilir. Bu yöntemlerden iletken malzemelerden üretilmiş parçaların kontrolünde kullanılan girdap akımları ile kontrol yöntemi, faal girdap akımı teçhizatı bulunmadığı için uygulanamamıştır. Dolayısıyla bu çalışmada programlı bakım faaliyetleri bünyesinde uçaktan sökülen bir jantın, bu uçağın bakım el kitabında belirtilen yöntem olan sıvı penetrant kontrol yöntemi ile tahribatsız muayenesi incelenmiştir.

Sıvı penetrant kontrol yönteminin kontrol yüzeyinin incelenmesi ve değerlendirilmesi aşamasında jant yüzeylerinin ultraviyole altında incelenmesi sonucunda jant yüzeyinde farklı yerlerde çeşitli süreksizliklerinin varlığı tespit edilmiştir. Bu süreksizliklerin fotoğraf tekniği kullanılarak elde edilen fotoğraf kayıtları Şekil 18'de verilmiştir.



(a)



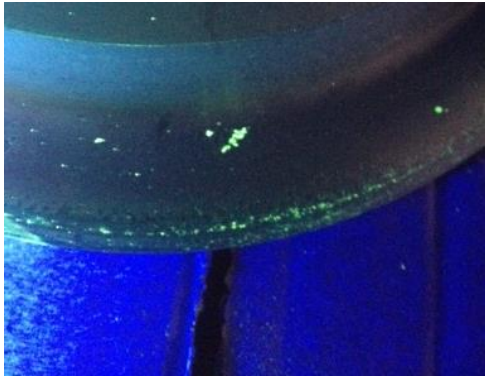
(b)

Şekil 18. Jant yüzeyinde tespit edilen süreksizlikler

Şekil 18'de verilen fotoğraf kayıtları incelendiğinde jant yüzeyinde bazı noktalarda

floresan renkte yerlerin olduğu görülebilir. Floresan renkte görülen bu yerler, penetrant sıvı etkisiyle süreksizliklerin bulunduğu kısımlar ile süreksizliklerin bulunmadığı kısımlar arasında ultraviyole ışık altında görülebilir kontrast farkı oluşturulması sonucunda ortaya çıkmıştır.

Şekil 19'da büyütülmüş olarak verilen görüntüdeki süreksizliklerin, inceleme işlemi sonucunda korozyon ve çatlak formundaki süreksizlere ait olabilecekleri belirlenmiştir. Mevcut uçak bakım el kitabında verilmiş olan kriterler doğrultusunda değerlendirme işlemi sonucunda jant kullanımdan kaldırılmış, servise verilmemiştir. Tahribatsız muayene inceleme süreçlerinde yapılan değerlendirme işlemleri kıyaslama yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmektedir. İnceleme işlemi ile ilgili referans dokümanlarda tespit edilebilecek süreksizlik veya hata türleri belirtilmekte ve bunların değerlendirilmesi ilgili süreksizlerin varlığına, boyut veya yerlerine göre yapılmaktadır. Mevcut uçak jantı için sıvı penetrant kontrol yöntemi ile ilgili referans dokümanı jant üzerinde herhangi bir çatlak ve/veya korozyon gibi süreksizliklerin varlığına izin vermemektedir. Bu doğrultuda jant kullanımdan kaldırılmış, servise verilmemiştir.



Şekil 19. Jant yüzeyinde tespit edilen süreksizlikler

Sıvı penetrant kontrol yöntemiyle muayene edilen uçak jantının tespit edilen korozyon ve çatlaklar nedeniyle kullanımdan kaldırılmasıyla, bu jantın kullanılması durumunda oluşabilecek katastrofik hasar ve kazaların oluşması önlenmiştir. Böylelikle uçuş emniyeti ve güvenirliliği istenen seviyede korunmuştur.

Teşekkür

Çalışmanın uygulama kısmındaki değerli katkılarından dolayı Tuğba Burçin Uludağ'a teşekkürlerimi sunarım.

Kaynaklar

- [1] Technical Abbreviations and Acronyms, IATA Technical Reference Manual (ITRM), Edition 1, Revision 1, International Air Transport Association, p 41, 2009.
- [2] Anadolu University Technical Training Course for Avionics and Airframe and Powerplant Maintenance Degree Programs Module 15.21 Engine Operating and Ground Operations, 2012.
- [3] Anadolu University Technical Training Course for Avionics and Airframe and Powerplant Maintenance Degree Programs Module 7.18 Disassembly, Inspection, Repair and Assembly Techniques, 2012.
- [4] Aviation Maintenance Technician Handbook– General, U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration (FAA-H-8083-30), Chapter 8. Inspection Fundamentals, 8.20, 2008.
- [5] Ramp Hizmetleri, Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü Yayınları, HAD/T-21, 1. Baskı Kasım, 43, 2014.
- [6] Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant Volume 2, U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration (FAA-H-8083-31), Chapter 13. Aircraft Landing Gear Systems, 13-41, 2012.
- [7] V. Ramachandran, A. C. Raghuram, R. V. Krishnan, and S. K. Bhaumik, Failure Analysis of Engineering Structures: Methodology and Case Histories, ASM International, 72, 2005.
- [8] Final Report On Aircraft Incident Investigation, General Civil Aviation Authority Air Accident Investigation Department Abu Dhabi, UAE, 09/2009.

- [9] N. A. Siddiqui, M. S. Khan, A. Munir, K. M. Deen and M. A. Amin, "Failure investigation of wheel gear hub assembly of an aircraft," *Engineering Failure Analysis*, 22, 73-82, 2012.
- [10] T. Kobayashi and D. A. Shockey, "Analysis of failed aircraft wheel assembly", *Engineering Failure Analysis*, 13 (1), 65-74, 2006.
- [11] J. K. Jose, "Analysis of aircraft wheel hub assembly using NDT techniques", *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, 3 (5), 17-20, 2016.
- [12] G. Kosec, G. Kovacic, J. Hodolic and B. Kosec, "Cracking of an aircraft wheel rim made from Al-alloy 2014-T6", *Metabk* 49 (4), 357-360, 2010.
- [13] X. Guirong, G. Xuesong, Q. Yuliang and G. Yan, "Analysis and innovation for penetrant testing for airplane parts", *Procedia Engineering*, 99, 1438-1442, 2015.
- [14] A. U. Khan, "Non-destructive testing applications in commercial aircraft maintenance" *NDT.net*, 4 (6), 1999.
- [15] Federal Aviation Regulations, *Acceptable Methods, Techniques, and Practices - Aircraft Inspection and Repair*, Chapter 9. *Aircraft Systems And Components*, Section 1. *Inspection And Maintenance Of Landing Gear*, FAA, 1998.
- [16] Federal Aviation Regulations, *Acceptable Methods, Techniques, and Practices - Aircraft Inspection and Repair*, Chapter 5. *Nondestructive Inspection (NDI)*, FAA, 1998.
- [17] ASTM E1417 / E1417M-16, *Standard Practice for Liquid Penetrant Testing*, ASTM International, West Conshohocken, PA, ASTM, 2016.
- [18] Socata TB 20 Model, *Maintenance Manual*, 20-00-14, 1, 1998.