

Havacılık Sektöründe Bakım Kolaylığı için Yaratıcı Problem Çözme Teorisi Uygulamaları

Serkan ALTUNTAŞ¹, Türkay DERELİ², Mustafa Kemal YILMAZ³, Bilgen ERTÜRK⁴,
Ahmet DEMİRBAŞ⁴,

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34349, İstanbul,

²İskenderun Teknik Üniversitesi, Rektörlük Ofisi, 31200, Hatay

²Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 27310, Gaziantep

³Ondokuz Mayıs Üniversitesi, İİB Fakültesi, İşletme Bölümü, 55139, Samsun

⁴Milli Savunma Üniversitesi, Hezarfen Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü öğrencisi, 34149, İstanbul

(Alınış / Received: 16.06.2016, Kabul / Accepted: 21.11.2016,
Online Yayınlanma / Published Online: 09.01.2017)

Anahtar Kelimeler
İnovasyon,
TRIZ,
Havacılık Sektörü,
F-16 savaş
uçakları,
Bakım

Özet: İnovasyon en genel anlamda; ürün, süreç, pazarlama veya organizasyonel alanlarda gerçekleşir. Bu alanlarda yapılabilecek yenilikçi uygulamalar yaratıcılık gerektirir. Yaratıcı Problem Çözme Teorisi (TRIZ), üretim veya servis sistemlerinde yaratıcılık gerektiren problemlere yenilikçi çözümler sunmamızı kolaylaştıran bir araçtır. Bu çalışmada, havacılık sektöründe çok önemli bir savunma teknolojisi olan F-16 savaş uçakları ele alınmış ve bu uçaklar ile ilgili iki farklı gerçek TRIZ uygulaması yürütülmüştür. İlk uygulama, F-16 savaş uçaklarının merkez yük taşıma istasyonunun söküm-takım işlemlerinde kullanılmak üzere yeni bir uçak bakım ekipmanının üretilmesine yöneliktir. İkinci uygulama ise F-16 savaş uçağında bulunan radar sisteminin ünitesi olan antenin içerisinde kullanılan bir alt ünitenin söküm işlemini kolaylaştıracak ve tekrar kullanılabilirliğini arttıracak bir ekipman üretimine yöneliktir. Bu çalışmada sunulan, havacılık sektöründeki iki gerçek hayat TRIZ uygulamasının, F-16 savaş uçaklarının bakım operasyonlarında kullanım kolaylığı sağlaması ve bakımın daha kısa sürede tamamlanmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Applications of Theory of Inventive Problem Solving for Maintainability in Aviation Sector

Keywords
TRIZ,
Aviation sector,
F-16 fighting
falcon,

Abstract: Innovation generally takes place in product, process, marketing and organization areas. Innovative applications that can be done in these areas require creativity. Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ) is a tool to generate innovative solutions

Maintenance for problems which require creativity in manufacturing and service systems. In this study, two real life TRIZ applications are conducted for F-16 fighting falcon which is a very important defence technology in aviation sector. In the first application, a novel maintenance equipment is produced to be used in the removal and installation of the centerline freight station of F-16 fighting falcons. In the second application, a novel equipment is produced to facilitate the dismantling of a subunit of the radar system in F-16 fighting falcon. These two real life TRIZ applications will provide ease of maintenance operations and shorter period of time for maintenance of F-16 fighting falcon.

*Sorumlu yazar: serkan@yildiz.edu.tr

1. Giriş

Havacılık sektöründe yaşanan teknolojik gelişmelerin iş ve sivil hayatımızı kolaylaştırıcı olumlu katkıları olmaktadır. Sivil havacılık sektörünün, servis sistemleri sınıfında olmasından dolayı, bu sektörde, servisin verilmesinden önce veya servisin verilmesi esnasında yaşanacak en ufak olumsuz bir durum, müşteride memnuniyetsizlik yaratacaktır. Ayrıca, havacılık sektöründe faaliyet gösteren firmalar, son yıllarda dünyada bu sektörde yaşanan yoğun rekabetten dolayı da daha verimli ve etkin olmak zorunda kalmıştır. Bu nedenle, sektörde faaliyet gösteren uçakların bakımlarının aksamadan ve kısa sürede tamamlanması, müşteri memnuniyeti açısından önem kazanmaktadır. Genelde sivil havacılıkta müşteri memnuniyeti bu bağlamıyla önemli iken, savunma amaçlı uçaklarda hız ve güvenilirlik savunmanın zafer ile sonuçlanmasında önem kazanmaktadır. Savunma amaçlı uçaklarda, hız ve güvenilirliği sağlamak ve uçağın manevra kabiliyetini arttırmak için bakım operasyonlarının eksiksiz yapılması gerekmektedir. Bu nedenle, hem sivil havacılık sektöründe hem de savunma sanayisinde faaliyette olan uçakların bakım maliyetleri oldukça yüksek olmaktadır. Havacılık sektörünün ileri teknoloji içeren bir sektör olmasından dolayı da bakım

operasyonlarındaki gecikmeler, karar vericilerin yüksek maliyetlere katlanmalarını zorunlu kılmaktadır. Çünkü, havacılık sektöründe “zaman” katlanılan en büyük maliyetlerdendir. Bakım maliyetlerinin optimum düzeyde olmasını sağlamak için ise uygun bir bakım yönetim politikasının belirlenmesi sistemin başarısı açısından önemlidir. Bakım yönetimi, varlıkların ekonomik ömürlerini artırarak işletmenin sürekliliğini sağlayacak altyapıyı oluşturmada ve sürecin etkinliğini arttırmaktadır [1]. Bu nedenle, etkin olmayan bakım yönetimi, hem ürünün dünya pazarındaki yerini hem de ürünün kalitesini etkilemektedir [2]. Bu çalışmada, havacılık sektöründeki bakım operasyonlarının daha kolay ve zamanında tamamlanmasını sağlayacak ve bakımın etkin yönetimine yardımcı olacak, TRIZ tabanlı çözümler sunulmuştur.

Literatürde, TRIZ yaratıcılık gerektiren problemlerin çözümüne yönelik olarak yenilikçi ipuçları elde etmek için yaygın şekilde kullanılmaktadır. Yaratıcı çözümler gerektiren problemler genellikle bir veya birden fazla çelişki ve belirsizlik içerdiğinden açıkça bilinen bir çözümü yoktur [3]. İyileştirilmesi gereken teknik bir problemin çözümü, aynı anda bir başka problemin ortaya çıkmasına neden oluyorsa, bu problem

çelişki içeren problem olarak adlandırılır. TRIZ, çelişki içeren problemlerin çözümünde, kullanıcıya oldukça kolaylık sağlamaktadır. İyileştirilmesi gereken problem aksiyon sorun, kötüleşen (çelişki yaratan) problem ise reaksiyon sorun olarak adlandırılır. Aksiyon ve reaksiyon sorunları en iyi tarif eden mühendislik parametreleri kullanılarak TRIZ'in verdiği yaratıcı çözümlerden

hareketle problem çözülmeye çalışılır. Toplam mühendislik parametrelerinin sayısı 39 adettir. 39*39 boyutlu çelişkiler matrisi kullanılarak, aksiyon sorun ve reaksiyon sorunun kesiştiği hücrede bulunan çözümlerden (yaratıcı prensiplerden) hareketle uygulanabilir çözümler türetilir. Çelişkiler matrisinin bir bölümü Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Çelişkiler matrisinin bir bölümü

Reaksiyon Sorun / Aksiyon Sorun		Hareketli nesnenin ağırlığı	Sabit nesnenin ağırlığı	Hareketli nesnenin uzunluğu	Sabit nesnenin uzunluğu	Hareketli nesnenin alanı
		1	2	3	4	5
1	Hareketli nesnenin ağırlığı	+		15, 8, 29, 34		29, 17, 38, 34
2	Sabit nesnenin ağırlığı		+		10, 1, 29, 35	
3	Hareketli nesnenin uzunluğu	8, 15, 29, 34		+		15, 17, 4
4	Sabit nesnenin uzunluğu		35, 28, 40, 29		+	
5	Hareketli nesnenin alanı	2, 17, 29, 4		14, 15, 18, 4		+

Toplam çözüm sayısı ise 40 adettir. Bazı hücrelerde bu 40 adet çözümden sadece bir tanesi varken, bazılarında ise birden fazla çözüm olabilmektedir. Bazı hücrelerde ise nadir de olsa hiçbir çözüm bulunmaz. Bu durumda, sözkonusu aksiyon ve reaksiyon sorunun ortadan kaldırılması için TRIZ'in kullanılamayacağı sonucuna varılabilir. Bazı kaynaklarda aksiyon sorun için "iyileşen özellik", reaksiyon sorun için ise "kötüleşen özellik" ifadeleri de kullanılmaktadır. TRIZ'in uygulama aşamasında, ilk olarak, uygulanabilir çözümler elde edebilmek için problemin doğru ve net bir şekilde ifade edilmesi çok önemlidir. Aksi takdirde, ilgilenilmeyen bir probleme, ilgilenilmeyen çözümler elde edilebilir. TRIZ'in uygulama aşamasındaki bir diğer önemli nokta ise, çözüm aranan problemin teknik detaylarını iyi biliyor olmak ve mümkün ise problem ile ilgili olan sahanın uzmanı ile birlikte çalışmak gerekir. Çünkü, TRIZ'in önerdiği çözüm seçeneklerini uygulanabilmesi için

probleme ait teknik detayların bilinmesine ihtiyaç vardır. Örneğin, TRIZ kullanılarak rüzgar türbinlerinin ömrünü uzatacak bir çözüm önerilmesi durumunda, rüzgar türbinlerinin kanatları ile ilgili teknik özelliklerin (kanat titreşimleri gibi) detayların [42] bilinmesi gerekir. TRIZ ile ilgili detaylı bilgiler için [4-8] kaynaklarına başvurulabilir.

Bu çalışmada, havacılık sektöründe ve savunma sanayiinde önemli teknolojilerinden olan F-16 savaş uçakları ele alınmıştır. F-16 savaş uçaklarının bakımlarının zamanında ve hızlı şekilde yapılması, uçakların planlanan periyotlardaki uçuşlarının aksamaması çok önemlidir. Bakım için çalışan personel, bir yandan bakımı istenen sürede tamamlamaya çalışırken, diğer yandan da bakımın gereklerini eksiksiz yapmak zorundadır. F-16 savaş uçaklarının bakımı esnasında birçok malzeme, araç/ekipman ve aparat kullanılmaktadır. Bunlar, bakımdan sorumlu personelin bakım esnasında kullandığı özellikli yer destek cihaz ve

malzemeleridir. Bunların istenilen özelliklerde olması bakımı kolaylaştırmaktadır. Fakat, uygulamada, F-16 savaş uçaklarının bakımı esnasında kullanılan malzeme, araç / ekipman ve aparatlar, farklı türde uçaklar için de kullanılabilir, bazen ise bunlar farklı amaçları yerine getirmek üzere de kullanılabilirler. Böylece, neredeyse tek malzeme (all in one) ile bakımın gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Bu sayede fazla malzeme kirliliğinin de önüne geçilmeye çalışılırken, bu çok amaçlı kullanım yer yer çalışma alanlarını, kullanım kolaylığını ve pratikliğini de minimum seviyelere indirmektedir. Bu durumda ise havacılıktaki en önemli unsur olan "yer emniyeti"nin ne yazık ki tehlikeye girme olasılığı bulunmaktadır. F-16 savaş uçaklarının yük taşıma istasyonlarının bakımında kullanılan çok amaçlı "Scissor Lifting Dolly" adlı söküm-takım ekipmanı da, ağırlığı ve naklindeki zorluklardan dolayı, kullanımı zor ve pratik olmayan bir ekipmandır. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen ilk uygulamada, F-16 savaş uçaklarının centerline yük taşıma istasyonunun söküm-takım işlemlerinde kullanılan "Scissor Lifting Dolly" adlı ekipmanın yerine, Yaratıcı Problem Çözme Teorisi (TRIZ) ile yeni bir uçak bakım ekipmanı tasarlanmış ve üretilmiştir. Çalışmanın başında, aksiyon sorun (iyileşen özellik) olarak "Kullanım Kolaylığı" ve reaksiyon sorun (kötüleşen özellik) olarak "Uyumluluk" tanımlanmıştır. TRIZ'in çelişkiler matrisinden hareketle, tanımlanan aksiyon ve reaksiyon sorunlar için elde edilen yaratıcı çözümler kullanılarak, tasarlanacak uçak bakım ekipmanının nasıl olması gerektiğine karar verilmiştir. Tasarlanan yeni uçak bakım ekipmanının teknik çizimi de gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan bu yeni bakım ekipmanının, F-16 uçaklarının yük taşıma istasyonlarında gerçekleştirilecek bakım operasyonlarında daha ergonomik olması nedeniyle, kullanım kolaylığı

sağlaması ve bakımın daha kısa sürede tamamlanmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu çalışma kapsamında, TRIZ kullanılarak yürütülen ikinci uygulama ise F-16 savaş uçağında bulunan radar sisteminin ünitesi olan antenin içerisinde kullanılan bir alt ünitenin bakımını kolaylaştıracak ve sökülen malzemenin tekrar kullanılabilirliğini arttıracak yeni bir söküm ekipmanının üretimine yöneliktir. TRIZ yardımıyla iki yeni parçadan oluşan bir söküm ekipmanı tasarlanmış ve bunların üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, TRIZ kullanılarak gerçekleştirilen iyileştirme sayesinde bakımda gerçekleştirilen sökme ve sıkıştırma gibi işlemlerin malzemelere zarar vermesinin önüne geçilmiş ve bakımın daha kısa sürede gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

Makalenin bundan sonraki bölümleri şu şekilde oluşturulmuştur. İkinci bölümde, literatür taraması sunulmuştur. Gerçekleştirilen TRIZ uygulamaları üçüncü bölümde verilmiştir. Bu çalışma ile ilgili genel sonuç ve değerlendirmeler ise son bölümde sunulmuştur.

2. Literatür Taraması

Bu çalışmada, havacılık sektörü savunma sanayii bağlamında ele alınmıştır. Gerçekte, uzay havacılık ve savunma sanayii birbirleri ile yakın ilişkide olan teknolojik alanlardır. Ülkemizin 2023 hedeflerine ulaşabilmesi için bu teknolojik alanların önemi oldukça fazladır. Bu teknolojik alanlar ile ilgili ciddi hazırlanmış bir teknoloji yol haritasına da ihtiyaç vardır. Uzay, havacılık ve savunma sektör raporu ve yerel uzay, havacılık ve savunma stratejisi [9]'den, uzay, havacılık ve savunma sanayiinde gerçekleştirilmiş sektörel analiz detaylarına ve bazı öngörülere ulaşılabilir. Ayrıca, Türkiye sivil havacılık meclisi sektör raporu [10]

'dan sektörün, yapısı ve genel görünümü ile gerçekleştirilmiş çeşitli analizlerin sonuçlarına ulaşılabilir. Bu çalışmada, savunma amaçlı havacılık sektörünü konu alsa da, literatürde yoğun olarak sivil havacılık ile ilgili çalışmalar yürütülmüştür. Bunlar arasında, Erel vd. [11], Türk havacılık sektörünün SWOT analizini yapmışlardır. Korul ve Küçükönel [12] Türk sivil havacılık sisteminin yapısal analizini gerçekleştirmiştir. Gencer ve Çetin [13] yürüttükleri çalışmada, havacılık sektöründe faaliyet gösteren bir firmada kurumsal performans karne uygulaması yapmıştır. Akkoç vd. [14] çalışmalarında, havacılık sektöründe aşırı iş yükü tükenmişlik ilişkisinde sosyal desteğin düzenleyici rolünü incelemişlerdir. 209 çalışan üzerinde gerçekleştirilen amprik çalışmada, aşırı iş yükünün tükenmişlik üzerinde pozitif ve anlamlı etkisi olduğunu belirlemişlerdir. Tazgan ve Yiğit [15] yaptıkları çalışmada, Türk sivil havacılık sektörünün uluslararası rekabetçilik düzeyini analiz etmiştir. Analiz sonucunda, sektörde yakıt maliyetlerinin önemli bir kalem olduğunu, sektörde nitelikli işgücü ihtiyacı olduğunu ve ülkemizin coğrafi özellikler açısından sektörün büyümeye müsait olduğunu tespit etmişlerdir. Yazgan ve Karkacier [16], Türkiye'deki 37 havaalanı için veri zarflama analizi ile etkinlik ölçümü yapmışlardır. Çalışma sonucunda, 37 havaalanı arasından, İstanbul Atatürk, Antalya, Muğla Milas Bodrum, Adana, Tekirdağ Çorlu havalimanlarının incelenen her yıl için etkin olduğunu bulmuşlardır. Peck vd. [17] ise çalışmalarında, veri zarflama analizi ile uçak bakım teknolojilerinin göreceli etkinliğini değerlendirmişlerdir. Peker ve Baki [18] Türkiye'deki havalimanlarının 2007 yılındaki etkinliklerini veri zarflama analizi ile ölçmüş ve büyük havalimanlarından Ankara, Antalya, Adana, Kayseri, Trabzon, küçük havalimanlarından ise Malatya ve Çardak havalimanlarının

etkin oldukları tespit edilmiştir. Bu çalışmaların yanında, Türkiye'de havacılık kümelenmeleri ve finansman sorunları [19], havacılık sektöründe iş ve çalışan niteliğinin çalışanların motivasyon ve iş tatminine etkisi [20] ve Türkiye'deki havayolu yolcu taşıma şirketlerinde uygulanan rekabet stratejilerini havacılık sektörüne etkisi [21] ile ilgili çalışmalar da yürütülmüştür.

Yukarıda özetlenen çalışmalara ek olarak, uçak bakımı ile ilgili çalışmalar da yürütülmüştür. Demiral [22], uçak bakım sisteminin yalın düşünce ile geliştirilmesi ve uygulanması ile ilgili çalışma yürütmüştür. Kanbur [23] ise uçak bakım sisteminde karşılaşılan riskleri ve yönetimini havayolu işletmelerinde uygulama örnekleriyle sunmuştur. Bunlarla birlikte, uçak bakım teknisyeni ile ilgili risk faktörleri [24], uçak bakım takımında çalışan teknisyenlerin eğitimi için bir yazılımın geliştirilmesi [25], uçak bakımında çalışan teknisyenlerin eğitiminde bilgisayarın rolü [26], uçak bakım kuruluşlarında güvenlik yönetim sistemleri ve güvenlik kültürünün analizi [27], uçak bakımında bekleme ve güvenlik ile ilgili bir risk analiz modelinin kullanımı [28], uçak bakımlarının çizelgenerek optimizasyonu [29], uçak bakımları için işgücü çizelgelemesi [30] ile ilgili çalışmalar da literatürde yürütülmüştür. Ayrıca, Cheung vd. [31] yaptıkları çalışmada, uçak bakım servislerinin kullanımını için bulanık analitik hiyerarşi prosesini kullanan bir karar destek sistemini geliştirmişlerdir.

Literatürde havacılık sektöründe TRIZ uygulamaları ile yapılan çalışmalara da rastlanılmıştır. Carter [32] uçak kabin tasarımı için TRIZ'in aksiyon sorun olarak "hareketli cismin alanı" parametresini ve reaksiyon sorun olarak "hareketli cismin hacmi" parametrelerini kullanarak gerçekleştirmiştir. Shahid

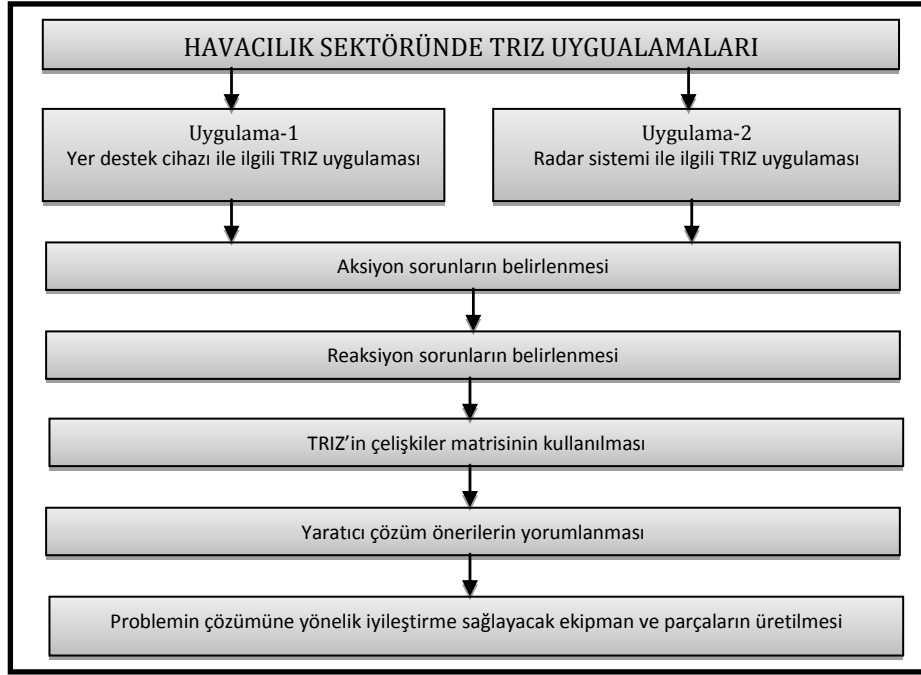
Saleem [33] yaptığı çalışmada, TRIZ uygulamaları için "süper stream" adlı bir yaklaşımı önermiş ve havacılık emniyeti açısından bir uygulama örneğini uçak üzerinde göstermiştir. Dhamija vd. [34] ise pilotlar ve hava güvenliğini sağlayan kontroller için havacılık güvenliğini geliştirilmesinde TRIZ'i kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmada, pilotlar ve hava güvenliğini sağlayan kontroller için ayrı ayrı TRIZ uygulaması sunulmuş ve çözüm seçenekleri türetilmiştir. Takemura [35] çalışmasında, bir havayolu firmasının havayolu yönetim bölümünde insan hatalarının önlenmesi ile ilgili eğitimlerde TRIZ uygulaması sunmuş ve böylece insan hatalarına bağlı havayolu kazalarının azaltılabileceğine vurgu yapmıştır. Hipple [36] yaptığı çalışmada hava trafik kontrol ekranı tasarımında TRIZ'in önemi üzerinde durmuş ve hava trafik kontrol sistemlerinin geliştirilmesinde TRIZ prensiplerinin kullanılarak ideal çözüm seçeneklerinin türetilabileceğini bir uygulama ile göstermiştir. TRIZ'in havacılık sektöründe yürütülen bir başka çalışmada ise Joglekar [37] havayollarında katlanılan toplam maliyetlerin yaklaşık yüzde 30 ile yüzde 40'ını yakıt maliyetlerinin oluşturduğuna vurgu yapmış ve yakıt maliyetlerinin düşürülmesine yönelik TRIZ kullanılarak yakıt tasarrufu sağlayan yeni uçak kanatı tasarlanmıştır. Molina vd. [38] ise TRIZ kullanarak ticari uçaklarda müşteri memnuniyetini arttıracak yeni bir gürültü filtreleme sistemi tasarlamıştır. Tasarlanan yeni gürültü filtreleme sistemi insanlar arasındaki iletişimde istenmeyen gürültülerin etkilerini ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır. Jeeradist vd. [41] da havayollarının algılanan hizmet kalitesini geliştirmek amacıyla TRIZ ile SERVQUAL adlı hizmet kalitesi ölçüm modelini kullanmıştır. Kamarudin vd. [39] TRIZ ile birlikte sistematik tasarım yaklaşımı adlı yöntemi birleştirerek uçak parçalarının tasarımında optimizasyonun sağlanması

için kullanmıştır. Rao [40] ise çalışmasında havaalanı pistinin optimizasyonu amacıyla TRIZ'i kullanmıştır. Yürütülen tüm bu çalışmalar TRIZ'in havacılık sektöründe farklı amaçlara hizmet etmek üzere çalışmaların yürütülebileceğini ortaya koymaktadır.

Havacılık sektörü ile ilgili yürütülen çalışmalar genel olarak, ampirik çalışmalara dayanıyor olmasına rağmen, nadir de olsa, veri zarflama analizi gibi yöntemlerin kullanımını gerektiren ve anket ile veri toplanmasına ihtiyaç olmayan çalışmaların da yürütüldüğü görülmektedir. Havacılık sektörünün farklı yönlerini ele alan çalışmalar yapılmıştır. Diğer yandan, uçak bakımı ile ilgili çalışmaların ise daha çok teknik konuları kapsadığı ve çalışanların iş güvenliği, karşılaşılabilecek risklerin analizi ve uçak bakımlarının çizelgelenmesi ile ilgili olduğu değerlendirilmektedir. Bu çalışmada ise uçak bakım operasyonlarında kullanımında bakım için avantaj sağlayacağı değerlendirilen, TRIZ tabanlı iki gerçek uygulama sunulacaktır. Yapılan çalışma ile geliştirilen yeni ekipman tasarımlarının, uygulamada, uçak bakım süresini kısaltması ve etkinliğini artırması beklenmektedir.

3. Havacılık Sektöründe TRIZ Uygulamaları

Bu bölümde, TRIZ kullanılarak gerçekleştirilen iki uygulama sunulmaktadır. Yürütülen her iki uygulama da, daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi uçak bakımları ile ilgilidir. Uygulamalar ile ilgili detaylı bilgiler ve önerilen iyileştirmeler neticesinde elde edilecek faydalar yorumlanarak bu bölümde aktarılmıştır. Uygulamalar kapsamında yürütülen çalışmaların genel özeti Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Uygulamalar kapsamında yürütülen çalışmalar

2.1. Uygulama-1

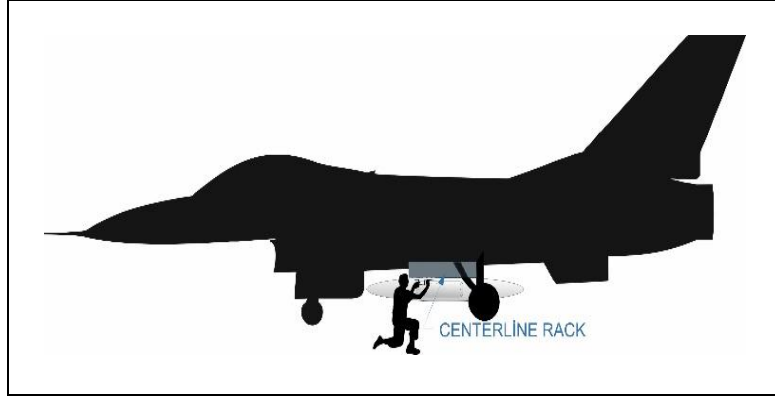
F-16 savaş uçağı bakımı, bu uçak ile gerçekleştirilecek olan operasyonların başarıya ulaşmasını doğrudan etkileyen bir faaliyettir. Operasyondan önce hem etkin bir bakım faaliyetinin yürütülmesi hem de bu faaliyetin olabildiğince kısa sürede ve güvenle tamamlanması amaçlanır. Bu amaç için uçak bakımında kullanılmak üzere *özellikli yer destek cihazı* ve *malzemeleri* kullanılır. Kullanılan yer destek cihazı ve malzemeleri, yapılacak olan bakım faaliyetinin etkin, hızlı ve güvenle tamamlanabilmesi açısından çok önemlidir. İlk uygulama, bakım faaliyetlerinde kullanılan yer destek cihazı ile ilgilidir. Bu uygulama, F-16 savaş uçaklarında, *F-16 centerline merkezi hattı'nda* bulunan mühimmat/yakıt deposu taşıma kabiliyetine sahip olan "*Centerline Rack*"(C/L rack veya "*kancalı adaptörü*") adlı parçanın uçaktan sökülmesi ve takılması işlemindeki bakımda yaygın

olarak kullanılan yer destek cihazını konu edinmiştir. Çalışmaya konu olan bu parçanın tipik bir F-16 savaş uçağındaki konumu Şekil 2' de verilmiştir.

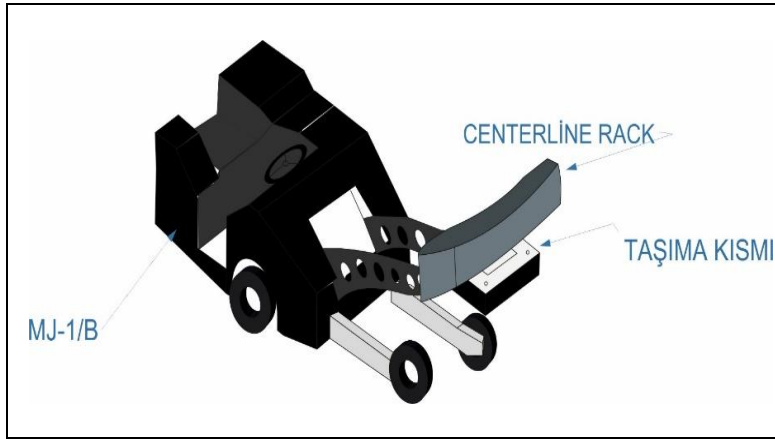
Mevcut uygulamada Şekil 2'de gösterilen parçanın uçaktan sökülmesi ve takılması işlemi için iki adet yer destek ekipmanı kullanılmaktadır. Bunlar, *MJ-1/B motorlu yer destek cihazı* ve *Scissor Lifting Dolly* (Bu ekipman bundan sonra "*Dolly İndirme Ekipmanı*" olarak adlandırılacaktır) adlı ekipmanlardır. Şekil 3, *MJ-1/B motorlu yer destek cihazını* göstermektedir. Şekil 4 ise *Dolly indirme ekipmanını* göstermektedir.

Şekil 3'de gösterilen *MJ-1/B motorlu yer destek cihazı*, F-16 savaş uçaklarında bulunan harici yük istasyonlarının ara adaptör malzemelerinin uçaktan sökülmesi ve takılması işlemi, uçaklara mühimmat yüklenmesi ve uçakta kullanılan harici yakıt tanklarının indirilmesi ve yüklenmesi gibi faaliyetler

için sıklıkla kullanılmaktadır.



Şekil 2. "Kancalı adaptörü" (C/L rack) adlı parçanın konumu



Şekil 3. MJ-1/B motorlu yer destek ekipmanı

Bu çalışmada, Şekil 4'de gösterilen Dolly indirme ekipmanı ele alınmış ve bakımda kullanımı için yeni bir ekipman tasarlanmıştır. Mevcut durumda, bu ekipman 160 kg'dır ve bu nedenle oldukça ağırdır. Bir bakım personelinin tek başına bu ekipmanı yerinden kaldırıp başka bir çalışma alanına götürmesi imkansızdır. Bu nedenle, ekipmanın bulunduğu alandan uzakta yapılması gereken plansız bakım faaliyetlerinin yerine getirilebilmesi için en az iki bakım personeline ihtiyaç duyulur. İki bakım personeli ile dahi ekipmanın yerinden kaldırılması ergonomik olmamaktadır. Dolly indirme ekipmanının çok

uzağındaki bir alanda bakım faaliyetinin gerekmesi durumunda ise MJ-1/B motorlu yer destek cihazı'nın kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü 160 kg ağırlığındaki Dolly indirme ekipmanının MJ-1/B motorlu yer destek cihazı kullanmaksızın uzak mesafelerde gidip uçak bakımlarını yapmak mümkün olmamaktadır.

Bu nedenle, mevcut F-16 savaş uçaklarının bakım faaliyetlerini Dolly indirme ekipmanı yardımıyla yürütmek kolay değildir ve aşağıdaki dezavantajları vardır.

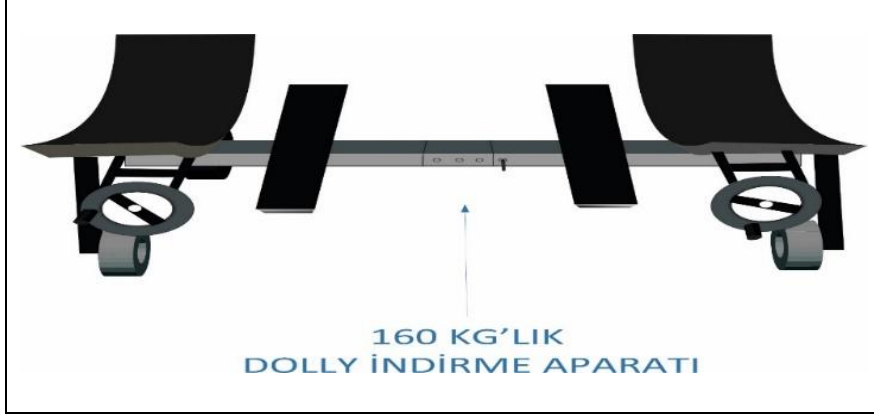
1. Ek personel planlamasına ihtiyaç vardır.
2. Ekipmanın kullanımı bazı durumlarda *MJ-1/B motorlu yer destek cihazı'nın* kullanımını gerektirmektedir.
3. Bakım faaliyetlerinin olması gereken süreden daha uzun sürede tamamlanmasına neden olmaktadır.
4. Yakıt tüketiminin arttırmaktadır.

Bu dezavantajların, Dolly indirme ekipmanının çok özellikli olmasına bağlı olarak birden fazla amaç için bakım/tamir faaliyetlerinde kullanılmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Yukarıda bahsedilen en temel 4 dezavantaj nedeniyle kullanımı daha kolay olan bir ekipmana ihtiyaç vardır.

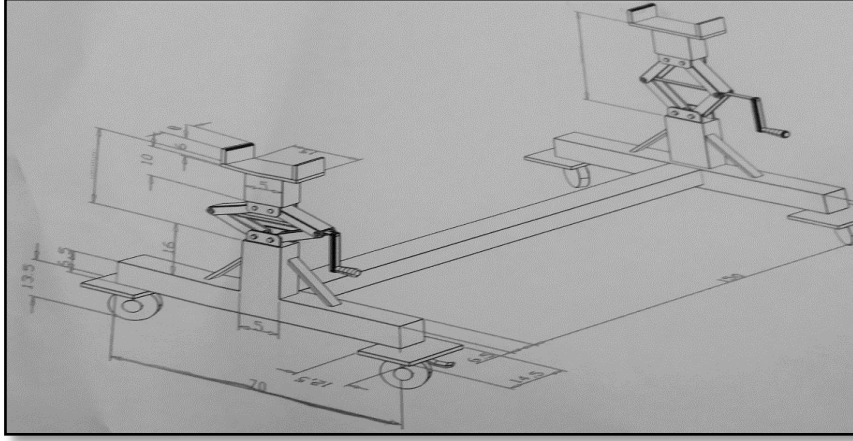
Bu çalışmada, söz konusu ihtiyacı ortadan kaldırmak için Yaratıcı Problem Çözme Teorisi (TRIZ) kullanılmıştır. TRIZ, iyileştirilmesi gereken teknik bir problemin çözümü, aynı anda bir başka problemin ortaya çıkmasına neden oluyorsa, yani çelişki içeriyorsa, kullanılan bir yöntemdir. Yukarıda tarif edilen ve Şekil 4'de verilen Dolly indirme ekipmanı için TRIZ açısından aksiyon olarak tarif edilen sorun çelişkiler matrisinde 33. parametre olan "KULLANIM KOLAYLIĞI"dır. Burada, asıl problem, ekipmanın yukarıda ifade edilen dezavantajları nedeniyle kullanımının kolay olmamasıdır. Mevcut uygulamada bulunan dezavantajları ortadan kaldıracak, kullanımı daha kolay olan yeni bir ekipmanının tasarımının yapılması gerekmektedir. Ancak, kullanımı daha kolay olan bir ekipmanın tasarımında, Dolly İndirme Ekipmanının çok özellikli yapısını, yani diğer bakım/tamir faaliyetlerindeki kullanım uyumluluğunu da ortadan kaldırmamalıdır. Bu nedenden dolayı, TRIZ açısından aksiyon soruna karşılık olarak, reaksiyon sorunun çelişkiler matrisinde 35. parametre olan

"UYUMLULUK" olduğuna karar verilmiştir. Çelişkiler matrisinde aksiyon ve reaksiyon sorunun çakıştığı hücrede, "Dinamiklik"(15), "Atılan ya da değiştirilen parçalar"(34), "Bölümleme"(1) ve "Kısmi fazlalık"(16) adlı yaratıcı prensiplerin uygulanması önerilmektedir. TRIZ'in başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için bu dört adet yaratıcı prensip seçeneğinden en az birinin uygulanabilir çözüm olarak kabul edilmesi gerekmektedir. Bu çözümlerden 15 nolu "Dinamiklik" çözümü, nesnenin dış çevresinin veya sürecin karakteristik özelliklerinin çalışma koşullarına en uygun hale getirilecek şekilde tasarlanması ya da buna izin verilmesini ifade eder. Bu çözüm seçeneği kullanılarak, Dolly İndirme Ekipmanının yerine yeni bir ekipman tasarlanmıştır. Tasarlanan bu yeni ekipmanın teknik çizimi Şekil 5'de verilmiştir. Yeni ekipmanın daha basit, önceki dezavantajları ortadan kaldıran, emniyetli, kullanımı kolay ve dinamik yapısı sayesinde birden fazla amaca hizmet edebilecek şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca, yeni ekipmanın daha hafif olması motorlu taşıma araçlarının gerekliliğini ortadan kaldırmakta ve yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Kapalı alanlarda ise karbonmonoksit gazına maruz kalınmasını engellemektedir. En önemlisi ise bakım operasyonu esnasında çalışanın daha önce bedeni ile kaldırdığı yükü, yeni ekipman sayesinde bedeni ile gerçekleştirmeyecektir. Böylece iş sağlığı ve güvenliğinde de iyileşme sağlanmıştır.

Böylece, tasarlanan yeni ekipmanın F-16 savaş uçaklarının bakım faaliyetlerinde etkin olarak kullanılabileceği ve planlı/plansız bakım faaliyetlerinin daha kısa sürede tamamlanabileceği düşünülmektedir. Şekil 6'da önerilen yeni ekipmanın üretimi gerçekleştirilen ve bakım operasyonlarında kullanılan hali gösterilmektedir (Şekil 5'deki çizimden çok ufak bazı modifikasyonlar yapılmıştır).



Şekil 4. Dolly indirme ekipmanı



Şekil 5. Önerilen yeni ekipmanın teknik çizimi



Şekil 6. Önerilen yeni ekipmanın üretimi yapılan halı

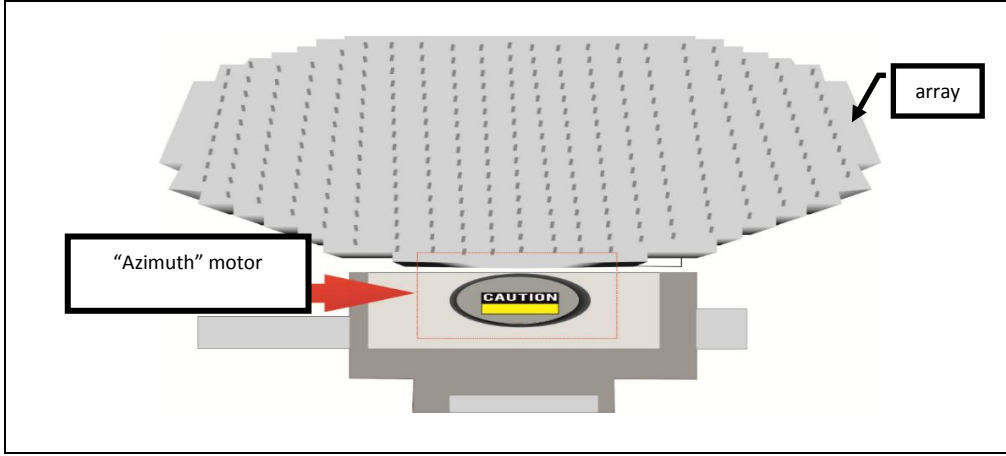
2.2. Uygulama-2

Bu bölümde TRIZ kullanılarak yürütülen ikinci uygulama, F-16 savaş uçağında bulunan radar sisteminin ünitesi olan antenin içerisinde kullanılan bir alt ünitenin bakımını kolaylaştıracak ve tekrar kullanılabilirliğini arttıracak yeni bir söküm ekipmanı üretimine yöneliktir.

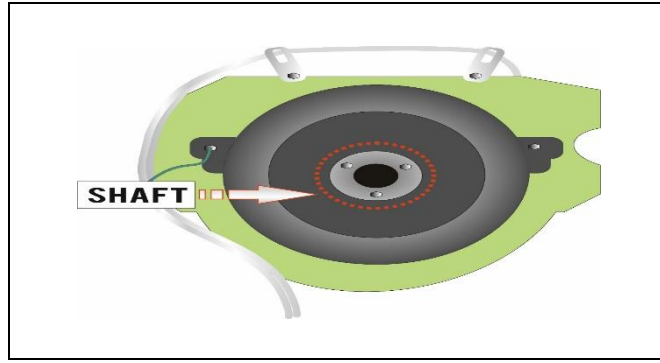
Anten, radar sinyallerini yaymak ve toplamak için yatay ve dikey ekseninde bulunan motorlarla belirli açılar içerisinde "array" adı verilen yüzeyi hareket ettirir. Dikey ekseninde hareketi sağlayan motorlara "elevation motor"(2 adet), yatay ekseninde hareketi sağlayan motorlara ise "azimuth motor"(2 adet) adı verilir. Bu motorlar yüzey'e (array) hareketi, bağlı buldukları ve tape (şerit) olarak adlandırılan malzemelerle sağlar. Ayrıca, bu motorlar elektrik enerjisiyle çalışmaktadır ve içerisinde mıknatıs bulunmaktadır. Motorlar shaft adı verilen ve bağlı bulunduğu sabit bir mil etrafında dönen bir malzemenin etrafında yer almaktadır. Zamanla sürtünmeye bağlı olarak motor içerisinde bulunan malzemelerin aşınması sonucu, toz ve küçük partiküller oluşmakta ve bunlar shaftın ve motorun diğer parçalarının düzgün bir şekilde çalışmasını engellemektedir. Serbest bir şekilde dönmeyen motorlar sıkışarak bağlı buldukları tape (şerit)'leri kırmakta ve yüzeyi hareket edemediğinden radar anteni çalışamaz duruma gelmektedir. Bu gibi durumlarda atölyeye arızanın giderilmesi için gelen antenlerin motorlarının bulunduğu yerleri açarak, motorları söküp mevcut olan tozları ve varsa küçük partikülleri temizleyerek motorların yeniden çalışır hale getirilmesi gerekmektedir. Azimuth adlı motorları sökerken motorun bağlı bulunduğu shaftın sökümü için atölyede mevcut olan ekipmanlar yetersiz kalmaktadır. İçeride biriken toz ve küçük partiküller shaftı tutmakta ve bulunduğu yerin şekli el ile manuel olarak mevcut

olan ekipmanla malzemeye zarar vermeden söküm işlemi yapılmasını engellemektedir. Bunun doğal sonucu olarak, sökme işlemi sırasında malzemenin zarar görmesi durumunda, birim fiyatı yaklaşık 100\$ olan bu malzemenin tekrar kullanım olanağı maalesef kalmamaktadır. Bu nedenden dolayı aksiyon sorun olarak, çelişkiler matrisinde 34.parametre olan "TAMİR EDİLEBİLİRLİK" seçilmiştir. Bu uygulamaya konu olan shaftın, F-16 savaş uçağı radar antenindeki konumu Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 8 ise shaftın "azimuth motor" içerisindeki konumunu göstermektedir. Şekil 8'dan görüleceği gibi shaft "azimuth motor" içerisinde oldukça dar bir alanda bulunmaktadır. Bu alanda, iyi bir bakım operasyonuna (TAMİR EDİLEBİLİRLİĞİ) mevcut alanın "ŞEKİL" engel olmaktadır. Yani, aksiyon sorun(iyileştirilmesi gereken özellik) 34.parametre olan "TAMİR EDİLEBİLİRLİK" iken reaksiyon sorun(kötüleşen özellik) ise 12.parametre olan "ŞEKİL" olmaktadır.

Çelişkiler matrisinde aksiyon ve reaksiyon sorunun çakıştığı hücrede, "Bölümleme"(1), "Ayrırma"(2), "Asimetri"(4) ve "Ters Eylem"(13) adlı çözümler(yaratıcı prensipler) önerilmektedir. TRIZ'in başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için bu dört adet yaratıcı prensip seçeneğinden en az birinin uygulanabilir çözüm olarak kabul edilmesi gerekmektedir. Bu çözümlerden 13 nolu "Ters Eylem" çözümü, (1) hareketli parçaların ya da dış çevrenin hareketsiz kılınması; sabit parçaların hareketli hale getirilmesi, (2) nesnenin ya da sürecin ters düz edilmesi veya (3) bir problemin çözmek için kullanılan yöntemin tersine işletilmesini ifade eder. TRIZ'in önerdiği bu çözümden hareketle shaftın mevcut durumda bir mil etrafındaki hareketi, hareketsiz hale getirilerek, bulunduğu yerden rahatça çıkarılması sağlanmıştır. Fakat, mevcut söküm ekipmanları ile bu çözümü uygulamak yeterli olmadığından, bu uygulama kapsamında yeni bir ekipman tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7. F-16 savaş uçağı radar anteninde azimuth motorunun konumu

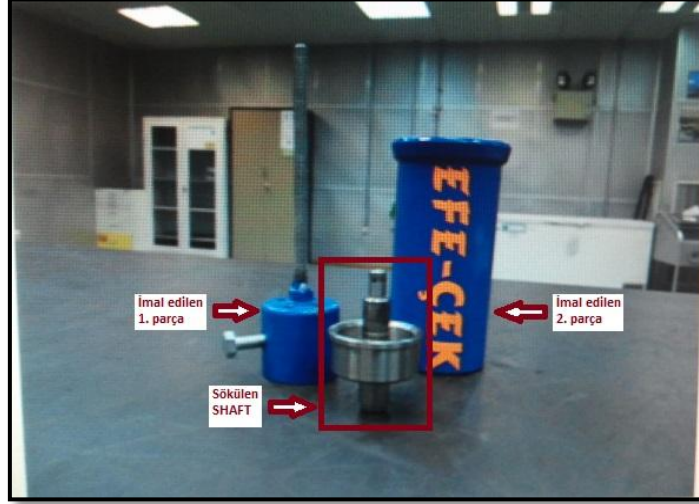


Şekil 8. "Azimuth motor" içerisinde shaftın konumu

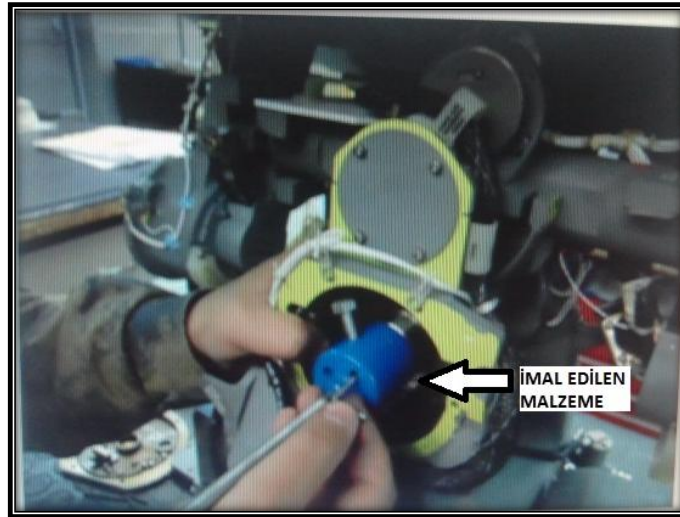
Şekil 9, üretimi gerçekleştirilen ekipman (2 parça) ve sökümü gerçekleştirilen shaftı göstermektedir. F-16 savaş uçaklarının bakımında kullanılmak üzere imalatı gerçekleştirilen ekipman sayesinde shafta zarar vermeden sökme işlemi gerçekleştirilmektedir. İmal edilen 1.parça shaftın üzerine yerleştirildikten sonra shafta vidalanarak dönmesi engellenmektedir. Bu şekilde hareket eden cisim 13 numaralı yaratıcı prensipte belirtildiği gibi sabit hale getirilmektedir. İmal edilen 2.parça ise diğer parçanın üzerine yerleştirilerek bir vidayı söker gibi altta bulunan 1.parça çekilerek ona bağlı bulunan shaftın sökülme işlemi zarar vermeden gerçekleştirilmektedir. Yapılan söküm

işleminde sonra azimuth motor temizlenmekte ve shaft ile birlikte yerine takılarak tekrar çalışır hale getirilmektedir. Sonuç olarak; yapılan işlem sonunda sökülen tüm malzemeler (shaft dâhil) tekrar kullanıldığından arızanın giderilmesinde herhangi bir malzeme değişimi yapılmadığından, bakım maliyeti asgari seviyede kalmaktadır. Şekil 10, TRIZ ile gerçekleştirilen çözümün gerçek uygulamasını göstermektedir. Böylece, TRIZ kullanılarak gerçekleştirilen iyileştirme sayesinde bakımda gerçekleştirilen sökme ve sıkıştırma gibi işlemlerin malzemelere zarar vermesinin önüne geçilmiş ve tamir edilmesi kolaylaşmıştır. Ayrıca, F-16 savaş

uçaklarının bakım faaliyetlerinde etkin bulunmuştur. olarak kullanılabilir, planlı/plansız bakım faaliyetlerinin daha kısa sürede tamamlanmasını sağlayacak bir çözüm



Şekil 9. Üretimi gerçekleştirilen parçalar ve sökümü gerçekleştirilen shaft



Şekil 10. TRIZ ile elde edilen çözümün uygulanması

3. Genel Değerlendirme ve Sonuç

Bakım operasyonları, havacılık sektörünün en önemli faaliyetlerinden birisidir. Yüksek teknolojiye sahip olan bir savaş uçağının kullanım süresi boyunca katlanması gereken maliyetlerinin en önemli gider kalemi ise malzemedir. Uçak üzerinde bulunan yüzlerce kalem malzeme üzerinde ortaya çıkan arızaların giderilmesi için bakımlarının kısa sürede ve güvenle yapılması oldukça önemlidir. Bakımları yapılsa dahi tüm parçalar zamanla kullanım ömürlerinin sona ermesi nedeniyle değiştirilmektedir. Bunun doğal sonucu olarak, bir savaş uçağına kullanım süresi boyunca harcanan malzemenin toplam maliyeti oldukça yüksek rakamlara ulaşmaktadır. Bakımdan sorumlu ekip, F-16 savaş uçağına ait malzemelerin bakım/onarım işlemlerini zamanlı/zamansız yaparak kullanım süresi boyunca işlevini yerine getirecek bir şekilde muhafaza etmeye çalışmaktadır. Türkiye gibi henüz kendi uçak teknolojisine sahip olmayan ve dışa bağımlılığı yüksek olan ülkeler için bir malzemenin kullanım ömrünün uzun olması veya tekrar kullanılabilir durumda muhafaza edilmesi bakım/onarım maliyetlerini asgari düzeye indirebilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple bir alt üniteyi değiştirmek yerine onu tekrar kullanılabilir hale getirmek veya kullanılabilir durumda tutmak önem arz etmektedir. Bakım faaliyetlerinin bu öneminden dolayı, bu çalışmada F-16 savaş uçaklarının bakımı için TRIZ tabanlı gerçek uygulamalar sunulmuştur.

Bu çalışmada, iki farklı gerçek hayat problemi için TRIZ uygulaması yapılmıştır. TRIZ, organizasyonların yaratıcı fikirlerle problemlere çözüm yaklaşımları geliştirebilmelerine yardımcı olan bir araçtır. Günümüz rekabet koşullarında, firmalar inovasyon faaliyetlerini bir şekilde organizasyonlarında yürütmek zorunda

kalmışlardır. Yeni ürün geliştirme faaliyetlerinden bakım faaliyetlerine kadar organizasyondaki her süreçte inovasyonun tetikleyici bir atmosfer oluşturulmasında TRIZ önemli rol oynar. Bu çalışmada yürütülen, iki farklı TRIZ uygulaması F-16 savaş uçaklarının bakımı ile ilgilidir. TRIZ'in yaratıcı prensipleri kullanılarak, sorunlara rahatlıkla uygulanabilir çözümlerin türetilebileceği, yapılan uygulamalar ile gösterilmiştir. İlk uygulama, TRIZ sayesinde tasarlanmış ve üretimi gerçekleştirilmiş olan bir uçak bakım ekipmanını tanıtmaktadır. Bu ekipman, F-16 savaş uçaklarının yük taşıma istasyonlarında gerçekleştirilen bakım faaliyetleri için bakım ekibi tarafından kullanılacak bir ekipmandır. İkinci uygulama ise F-16 savaş uçağında bulunan radar sisteminin ünitesi olan antenin içerisinde kullanılan bir alt ünitenin bakım faaliyetlerinin kolaylaştırılmasına yönelik çözüm türetilmesine yöneliktir. TRIZ ile türetilen yenilikçi çözümlerin, F-16 savaş uçaklarının bakım operasyonlarında kullanım kolaylığı ve bakımın daha kısa sürede tamamlanmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. TRIZ sayesinde geliştirilen yeni ekipman ve parçaların uygulamada kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışma kapsamında geliştirilen yeni ekipman ve parçaların gelecekte farklı bakım operasyonlarında ve sektörde de kullanımının olabileceği değerlendirilmektedir. F-16 savaş uçaklarının bakımı çok özel bir bakım operasyonu olması nedeniyle, geliştirilen yeni ekipman ve parçaların sanayiideki uygulamaları kısıtlı olabilir. Ancak, gelecek çalışmalarda, bu makale kapsamında sunulan çözümlerin farklı sektör ve amaçlarla kullanımına yönelik başarı hikayelerini anlatan çalışmaların yürütülmesi de planlanmaktadır. Planlanan çalışmalar sayesinde, geliştirilen yeni ekipman ve parçaların teknoloji ticarileşme potansiyelinin ve

pazarda tutunma gücünün de ölçülmesi düşünülmektedir. Böylece, bu çalışmanın gelecekte yeni çalışmalara öncülük etmesi de beklenmektedir.

Havacılık sektörü ileri teknoloji içeren bir sektördür. Endüstri 4.0'ın yaygın şekilde konuşulmaya başladığı günümüzde, TRIZ'in bakım operasyonlarına yapacağı katkıyı Endüstri 4.0 bağlamında araştıran çalışmaların gelecekte yürütülebileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca, TRIZ'in mühendislik parametrelerinin ve yaratıcı prensiplerinin Endüstri 4.0 bağlamında tekrar yorumlanmasına da ihtiyaç vardır.

Kaynakça

- [1] Çamkoru, A.M., Sayın, V.O. 2012. Bakım Maliyeti Yönetimi, *Mühendis ve Makine*, Cilt 53, s.16-21.
- [2] Orhan, İ., Karakoç, T.H. 2010. Bakım Yönetim Süreçleri ve Etkinliğinin Değerlendirilmesi, *Mühendis ve Makine*, Cilt 51, s. 33-38.
- [3] Kapucu, S., Kahraman, M. 2002. Yenilikçi-Yaratıcı Problem Çözme Metodolojisi ile Kesici Tasarımı, *MakinaTek*, Cilt 55, s. 28-33.
- [4] Ilevbare, I.M., Probert, D., Phaal, R. 2013. A Review of TRIZ, and its Benefits and Challenges in Practice, *Technovation*, Cilt 33, s.30-37.
- [5] Savransky, S.D. 2000. Engineering of Creativity: Introduction to TRIZ methodology of Inventive Problem Solving, New York: CRC press.
- [6] Rantanen, K, Domb, E. 2008. Simplified TRIZ, USA: Auerbach Publications.
- [7] Silverstein, D., DeCarlo, N., Slocum, M. 2008. Insourcing Innovation, USA: Auerbach Publications.
- [8] Orloff, M.A. 2006. Inventive Thinking Through TRIZ: a Practical Guide, New York: Springer.
- [9] Bursa Ticaret ve Sanayii Odası, Uzay, Havacılık ve Savunma Sektör Raporu ve Yerel Uzay. 2014. Havacılık ve Savunma Stratejisi, Bursa.
- [10] Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, Türkiye Sivil Havacılık Sektör Meclisi Raporu, Ankara, 2014.
- [11] Erel, C., Fırtınoglu, E., Uzunoglu, Ö., Özkan, O. 2011. Türk Havacılık Sektörünün GZFT (SWOT) Analizi. s 1-5. <http://www.canerel.com/v2/images/publication/201112TurkHavacilikSektoruSWOT.pdf> (Erişim tarihi: 25 Mayıs, 2016).
- [12] Korul, V., Küçükönel, H. 2003. Türk Havacılık Sisteminin Yapısal Analizi, *Ege Akademik Bakış*, Cilt 3, s. 25-38.
- [13] Gencer, C., Çetin, T. 2011. Kurumsal Performans Karnesi ve Havacılık Sektöründe Bir Uygulama, *Savunma Bilimleri Dergisi*, Cilt 10, s.105-121.
- [14] Akkoç, I., Bakıcı, D.Z., Turunç, Ö. 2015. Havacılık Sektöründe Aşırı İş Yükü Tükenmişlik İlişkisinde Sosyal Desteğin Düzenleyici Rolü, *III. Ulusal Havacılık Teknolojisi Ve Uygulamaları Kongresi Bildiri Kitabı*, s. 425-431.
- [15] Yazgan, A.E., Yiğit, S. 2013. Türk Sivil Havacılık Sektörünün Uluslararası Rekabetçilik

- Düzeyinin Analizi, *Selçuk Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, Cilt 25, s. 421-445.
- [16] Karkacier, O., Yazgan, A.E. 2015. Veri Zarflama Analizi İle Etkinlik Ölçümleri Ve Havalimanı İşletmeciliği Sektöründe Bir Uygulama, *Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*, Cilt 7, s. 15-28.
- [17] Peck Jr, M.W., Scheraga, C.A., Boisjoly, R.P. 1998. Assessing the Relative Efficiency of Aircraft Maintenance Technologies: An Application of Data Envelopment Analysis, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Cilt 32, s. 261-269.
- [18] Peker, İ., Baki, B. 2009. Veri Zarflama Analizi ile Türkiye Havalimanlarında Bir Etkinlik Ölçümü Uygulaması, *Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Cilt 18, s.72-88
- [19] Gebeş, F., Battal, Ü. 2014. Türkiye’de Havacılık Kümelenmeleri Ve Finansman Sorunları, *Niğde Üniversitesi İİBF Dergisi*, Cilt: 7, s.273-288.
- [20] Suntutur, A.S. 2012. Havacılık Sektöründe İş Ve Çalışan Niteliğinin Çalışanların Motivasyon ve İş Tatminine Etkisi, Doktora Tezi, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi: Endüstri Mühendisliği Bölümü, s.122
- [21] Kılınç, İ., Öncü, M.A., Taşgıt, Y.E. 2012. A Study on The Competition Strategies Implemented in The Airline Companies In Turkey, *Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, Cilt 17, 173-185.
- [22] Demiral, F.G. 2006. An Application of Aircraft Maintenance System Development By Lean Thinking, Y. Lisans Tezi, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi: Endüstri Mühendisliği Bölümü, s.97.
- [23] Kanbur, E., Erol, A., Erdem, E. 2015. Uçak Bakım Sisteminde Karşılaşılan Riskler ve Yönetimi: Havayolu İşletmelerinde Uygulama Örnekleri, *III. Ulusal Havacılık Teknolojisi Ve Uygulamaları Kongresi Bildiri Kitabı*, 23-24 Ekim, İzmir, s.415-424.
- [24] Chang, Y.H., Wang, Y.C. 2010. Significant Human Risk Factors İn Aircraft Maintenance Technicians, *Safety Science*, Cilt 48, s.54-62.
- [25] Kraus, D.C., Gramopadhye, A.K. 2011. Effect of team training on aircraft maintenance technicians: computer-based training versus instructor-based training, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Cilt 27, s.141-157.
- [26] Kraus, D., Gramopadhye, A.K., Team training: role of computers in the aircraft maintenance environment, *Computers & Industrial Engineering*, Cilt 36, 635-654.
- [27] McDonald, N., Corrigan, S., Daly, C., Cromie, S. 2000. Safety management systems and safety culture in aircraft maintenance organisations, *Safety Science*, Cilt 34, s.151-176.
- [28] Sachon, M., Pate’-Cornell, E. 2000. Delays and safety in airline maintenance, *Reliability*

- Engineering and System Safety*, Cilt 67, s.301–309.
- [29] Sriram, C., Haghani, A. 2003. An optimization model for aircraft maintenance scheduling and re-assignment, *Transportation Research Part A*, Cilt 37, s. 29–48.
- [30] Alfares, H.K. 1999. Aircraft maintenance workforce scheduling: A case study, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Cilt 5, s.78 – 89.
- [31] Cheung, A., Ip, W.H., Lu, D. 2005. Expert system for aircraft maintenance services industry, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Cilt 11, s.348 – 358.
- [32] Carter, S. 2001. Case study: the application of TRIZ to economy class aircraft cabin design, *The Triz Journal*, Aralık 2001. Erişim Tarihi: <https://triz-journal.com/case-study-application-triz-economy-class-aircraft-cabin-design/>
- [33] Saleem Arshad, S. 2009. Super stream approach to TRIZ, *The Triz Journal*, Kasım Erişim Tarihi: <https://triz-journal.com/super-stream-approach-to-triz-planning-aviation-safety/>
- [34] Dhamija, A.K., Ramachandran, K., Gautam, D. 2010. Enhancing air safety for pilots and atc using triz, *The Altshuller Institute for TRIZ Studies*, September. Erişim Tarihi: <http://www.aitriz.org/articles/insidetritz/323031303039695452495a.pdf>
- [35] Takemura, M. 2002. TRIZ introduction in airlines airport management division, *The Triz Journal*, Temmuz. Erişim Tarihi: <https://triz-journal.com/triz-introduction-airlines-airport-management-division/>
- [36] Hipple, J. 2002. TRIZ in air traffic control design, *The Triz Journal*, Haziran. Erişim Tarihi: <https://triz-journal.com/applying-triz-to-air-traffic-control-display-design/>
- [37] Joglekar, P.Y. 2002. TRIZ and fuel saving winglets, *The Triz Journal*, Haziran. Erişim Tarihi: <https://Triz-Journal.Com/Triz-And-Fuel-Saving-Winglets/>
- [38] Molina, J.D., Navas, H.V.G., Nunes, I.L. 2014. TRIZ methodology applied to noise comfort in commercial aircraft, *The series Advances in Intelligent Systems and Computing*, Kitap bölümü: 21, Cilt 281, 2014, s.1409-1419 (Editörler: Xu J vd., Proceedings of the Eighth International Conference on Management 1409 Science and Engineering Management, Advances in Intelligent Systems and Computing).

- [39] Kamarudina, K.M., Ridgwaya, K., Hassan, M.R. 2015. Modelling the conceptual design process with hybridization of triz methodology and systematic design approach, World Conference: Triz Future, Tf 2011-2014, Procedia Engineering, Cilt 131, s.1064 – 1072.
- [40] Rao, K.V., Selladurai,V., Saravanan, R. 2009. Triz tool for optimization of airport runway, Kitap bölümü, The series IFIP Advances in Information and Communication Technology, Cilt 304, s. 80-88 (Editörler: Tan R, Cao G., León N, AI 2009, IFIP International Federation for Information Processing).
- [41] Jeeradist, T., Thawesaengkulthai, N., Sangsuwan, T. 2016. Using TRIZ to enhance passengers' perceptions of an airline's image through service quality and safety, *Journal of Air Transport Management*, Cilt 53, s.131-139.
- [42] Celik, A., Javani, N. 2016. Wind turbine blade flapwise and edgewise bending vibration analyses using energy methods, *Journal of Thermal Engineering*, Cilt 2, s. 983-989.