



New product design for military aviation maintenance activities through quality function deployment (QFD)

Serkan Altuntaş^{1*}, Türkyay Dereli^{2,3}, Cengiz Özşalap⁴

¹Department of Industrial Engineering, Yıldız Technical University, İstanbul, 34349, Turkey

²Office of the President, Iskenderun Technical University, Iskenderun, Hatay, 31200, Turkey

³Department of Industrial Engineering, Gaziantep University, Gaziantep, 27310, Turkey

⁴Hezârfen Aeronautics and Space Technologies National Defence University, İstanbul, 34149, Turkey

Highlights:

- An existing equipment is redesigned through Quality Function Deployment (QFD).
- An alternative new product is proposed.
- A real life case study is conducted to show a full illustrative example of Quality Function Deployment (QFD) in defence industry and for systematic product development using QFD.

Graphical/Tabular Abstract

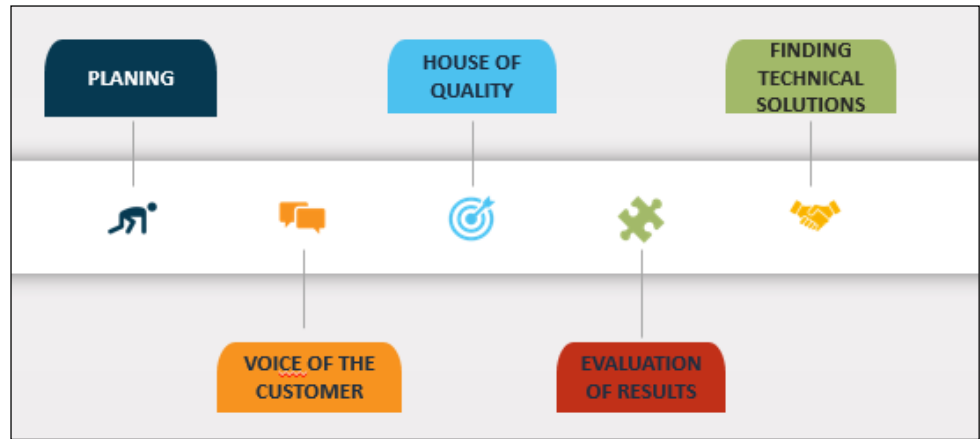


Figure A. Steps in QFD

Keywords:

- Defense Industr
- Military Aviation Sector
- QFD
- New Product Design,
- NewProduct Development

Article Info:

Research Article
Received: 26.05.2018
Accepted: 16.03.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.427449

Correspondence:

Author: Serkan Altuntas
e-mail:
saltuntas2@gmail.com
phone: +90 507 769 6963

Purpose: The aim of this study is to redesign an existing equipment, which was already developed by using theory of inventive problem solving (TRIZ) for use in the maintenance operations of the F-16 fighter aircraft, through Quality Function Deployment (QFD).

Theory and Methods: Redesign is performed based on the user needs. The equipment is currently used in the maintenance operations of F-16 fighting falcon by Turkish Armed Forces. It has been assessed that the equipment can be improved in terms of user opinions due to the commencement of new use. Therefore, QFD application is performed to reflect the customer' needs during new product development process. The customer requirements are determined from the data obtained through the interview with the quality team created for this study. Based on customer requirements, suggestions are provided for redesign the equipment.

Results: Efficiency and effectiveness in maintenance operations in the military aviation sector can be improved by taking into account the suggestions provided. The new product design is proposed in this study.

Conclusion: There are two important contributions of the current study to literature. First, an equipment, which was already introduced in the literature is redesigned in the current study and an alternative new product is proposed. Second, a real life case study is conducted to show a full illustrative example of Quality Function Deployment (QFD) in defence industry and for systematic product development using QFD..



Kalite fonksiyonu göçerimi (KFG) ile askeri havacılıktaki bakım faaliyetleri için yeni ürün tasarımı

Serkan Altuntaş^{1*}, Türkay Dereli^{2,3}, Cengiz Özşalap⁴

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

²İskenderun Teknik Üniversitesi, Rektörlük Ofisi, Hatay, 31200, Türkiye

³Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 27310, Türkiye

⁴Milli Savunma Üniversitesi, Hezârfen Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü, İstanbul, 34149, Türkiye.

ÖNEÇIKANLAR

- Mevcut ekipman Kalite Fonksiyonu Göçerimi (KFG) ile yeniden tasarlanmıştır.
- Alternatif yeni bir ürün önerilmiştir.
- Kalite Fonksiyonu Göçerimi(KFG)'ni savunma sanayiindeki bütünsel bir uygulamasını ve KFG kullanarak sistematik şekilde yeni ürün gelişmeyi göstermek için gerçek bir hayat örneği yürütülmüştür

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 26.05.2018

Kabul: 16.03.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.427449

Anahtar Kelimeler:

Savunma sanayii,
askeri havacılık sektörü,
Kalite Fonksiyonu Göçerimi,
yeni ürün tasarımı,
yeni ürün geliştirme

ÖZET

Bu çalışmada, F-16 savaş uçaklarının bakım operasyonlarında kullanılmak üzere yaratıcı problem çözme teorisi (TRIZ) kullanılarak geliştirilmiş bir ekipmanın, Kalite Fonksiyonu Göçerimi (KFG) ile kullanıcı isteklerine göre yeniden tasarımına yönelik bir uygulama yapılmış ve daha iyi bir çözüm önerilmiştir. Söz konusu ekipman, Türk Silahlı Kuvvetleri (TSK) tarafından askeri havacılıktaki bakım faaliyetleri için hâlihazırda kullanılmaktadır. Ekipmanın yeni kullanılmaya başlanmış olması nedeniyle geliştirilebileceği ve kullanıcı görüşleri doğrultusunda iyileştirilebileceği değerlendirilmiştir. Bu nedenle, yazında müşteri/kullanıcı görüşleri doğrultusunda (özellikle yeni) ürün geliştirme süreçlerinde kullanılan KFG uygulaması bu çalışmada sunulmuştur. Çalışma kapsamında oluşturulan kalite ekibinden görüşme yoluyla elde edilen verilerden hareketle müşteri gereksinimleri belirlenmiştir. Daha sonra teknik gereksinimlerin de belirlenmesiyle, KFG uygulamasının önemli girdileri elde edilmiş ve kalite evinin oluşturulmasıyla, kullanılmakta olan ekipmanın kullanıcı görüşleri doğrultusunda nasıl geliştirilmesi gerektiğine ilişkin bilgiler derlenmiştir. Bu bilgilerden hareketle, ekipmanın yeniden tasarımına yönelik iyileştirme önerilerinde bulunulmuştur. Çalışmanın yazına iki önemli katkısı bulunmaktadır. Birincisi, mevcut durumda literatürde tanımlanmış bir ekipman bu çalışma ile yeniden tasarlanarak alternatif yeni bir ürün önerilmiştir. İkincisi, KFG kullanılarak sistematik şekilde ürün geliştirmeye yönelik bir gerçek hayat uygulaması adım adım sunulmuştur. Çalışma kapsamında sunulan iyileştirme önerilerinin dikkate alınmasıyla, geliştirilen yeni ekipmanın üretilmesi ve kullanılmasının havacılık sektöründeki bakım operasyonlarındaki etkinliği ve verimliliği arttıracakı düşünülmektedir.

New product design for military aviation maintenance activities through quality function deployment (QFD)

HIGHLIGHTS

- An existing equipment is redesigned through Quality Function Deployment (QFD).
- An alternative new product is proposed.
- A real life case study is conducted to show a full illustrative example of Quality Function Deployment (QFD) in defence industry and for systematic product development using QFD.

Article Info

Research Article

Received: 26.05.2018

Accepted: 16.03.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.427449

Keywords:

Defence industry,
military aviation sector,
Quality Function Deployment,
new product design,
new product development

ABSTRACT

In this study, an existing equipment which was already developed by using theory of inventive problem solving (TRIZ) for use in the maintenance operations of the F-16 fighter aircraft, is redesigned through Quality Function Deployment (QFD). Redesign is performed based on the user needs. The equipment is currently used in the maintenance operations of F-16 fighting falcon by Turkish Armed Forces. It has been assessed that the equipment can be improved in terms of user opinions due to the commencement of new use. Therefore, QFD application is performed to reflect the customer needs during new product development process. The customer requirements are determined from the data obtained through the interview with the quality team created for this study. Based on customer requirements, suggestions are provided for redesign the equipment. There are two important contributions of the current study to literature. First, an equipment, which was already introduced in the literature is redesigned in the current study and an alternative new product is proposed. Second, a real life case study is conducted to show a full illustrative example of Quality Function Deployment (QFD) in defence industry and for systematic product development using QFD. Efficiency and effectiveness in maintenance operations in the military aviation sector can be improved by taking into account the suggestions provided in this study.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Havacılık sektörü hem sivil hem de askeri alandaki çalışmaların gelişimini doğrudan etkileyen bir sektördür. Havacılık sektöründe sahip olunan teknoloji, ülkelerin savunma sanayindeki rekabet gücünün kayda değer bir bölümünü oluşturmakta ve düşmana karşı önemli derecede caydırıcı bir rol oynamaktadır. Türkiye, son yıllarda gerek savunma sanayinde gerekse sivil havacılıkta gurur duyulacak çalışmalara imza atmaktadır. Türkiye savunma sanayinde teknolojik üstünlük kazandıracak platform ve sistemlerin yurtiçinde geliştirilmesine yönelik olarak, özellikle havacılık sektöründe ANKA, ATAK, HÜRKUŞ ve Özgün Helikopter projeleri hayata geçirilmiştir [1]. Böylece savunma sanayinde cari açığın kapatılması, yerli ve milli teknolojilerin geliştirilmesi hedeflenmektedir.

Savunma sanayinde teknolojinin geliştirilmesi kadar, geliştirilen teknolojinin bakımının yapılması ve kullanım sürekliliğinin sağlanması çok önemlidir. Hava savunma amaçlı uçakların bakım operasyonlarının zamanında gerçekleştirilmesinin hayati öneminden dolayı, bakım operasyonlarında kullanılan ekipmanın kullanıcı görüşlerine göre tasarımının yapılması gerekmektedir. Hava savunma amaçlı uçaklar, mühimmat ve füzeleri gövdelerinde taşımakta ve bunların uçağa yüklenmesi işlemi teknisyenler tarafından yapılmaktadır. Hem mühimmat ve füzelerin uçaklara yüklenmesi hem de bakımlarının yapılması işlemlerinin eksiksiz ve zamanında yapılması yürütülen faaliyetlerin başarısını doğrudan etkilemektedir.

Havacılık sektörü ileri teknoloji içeren bir teknolojidir [2]. Özellikle askeri havacılığa en önemli sorunlardan birisi iyileştirmelerle hava aracının günümüz teknolojisinden faydalanılır durumda tutulmasıdır [3]. Bu nedenle havacılık sektöründe yeni teknoloji geliştirilmesinin yanında, geliştirilen teknolojinin gerçek hayatta kullanım sürekliliğinin sağlanması çok önemlidir. Havacılıkta, bakım faaliyetleri, teknolojinin kullanım sürekliliğini sağlanmasında etkin rol oynar. Çünkü bakım operasyonlarındaki gecikmeler nedeniyle, havacılık sektörünün en önemli maliyetlerinden olan “zaman” maliyetine karar vericilerin katlanmalarını zorunlu kılmaktadır [2]. Bu nedenle, havacılık sektöründe doğru bir bakım sisteminin uygulanması katlanılan maliyetlerin bir yandan düşürülmesini sağlarken, diğer yandan da ürün kullanım ömrünü de arttırmaktadır. Doğru bir bakım sisteminin yürütülmesi için ise bakım operasyonlarında çalışan işçilerin ve mühendislerin kullanıcı deneyimleri ile elde ettikleri bilgilerden faydalanılmasını gerektirir. Havacılıkta benimsenen herhangi bir bakım politikasının (kestirimci bakım, periyodik bakım, tamir bakım) başarısı, bakım faaliyetlerinde kullanılan ekipmanın, bakım faaliyetleri için yeterliliği ile doğrudan ilgilidir. Bakım operasyonlarında kullanılan ekipman, araç ve gereçlerin kullanıcı isteklerine göre tasarımı onların bakımlardaki yeterliliğinin sağlanmasında, planlı/plansız tüm bakım faaliyetlerinin etkin ve verimli şekilde yürütülmesi için önemli bir gerekliliktir.

Havacılık sektöründe bakım onarım faaliyetleri uçakların güvenli ve devamlı uçuşlarının sağlanması için regülasyona tabi tutulan zorunlu bir faaliyet olarak görülmektedir [25]. Uçak bakımı, havayollarının en önemli işlevlerinden biridir [4]. Uçak bakımlarında amaç, minimum maliyet ile maksimum güvenlik ve güvenilirlik sağlamaktır [5]. Bu amacın başarıya ulaşmasında, bakım operasyonlarında kullanımı gereken ekipman, araç ve gereçler olabildiğince ergonomik olmalıdır ve işin yapılış maksadına doğrudan hizmet etmelidir. Bunun için kullanıcı görüşlerinin dikkate alınarak yeni ürün tasarımlarının yapılmasına ihtiyaç vardır. Kullanıcı görüşleri dikkate alınmadan yapılan ürün tasarımları, askeri havacılıktaki bakım faaliyetleri için öngörülen süre içinde işlemlerin tamamlanmamasına neden olmaktadır. Bu durumda, uçakların bakımları için hazırlanan bakım çizelgelerinin de tutmamasına ve havacılıkta uçağın yerde durması nedeniyle ortaya çıkan duruş maliyetlerine karar vericilerin katlanmalarına neden olmaktadır. Savunma amaçlı kullanılan F-16 gibi uçaklarda ise, bakım faaliyetlerinde meydana gelen gecikmeler, yürütülen hareketlerin/faaliyetlerin başarıyla icra edilmesini engelleyebilmekte veya geciktirebilmektedir.

Bakım faaliyetlerinin başarısı, faaliyetleri yürüten çalışanların olabildiğince az hata yapmaları ile de doğrudan ilintilidir. Muhtemel hataların azaltılması için çalışanların kullandıkları ekipmanların kendilerine uyumlu ve ergonomik olması gerekir. Bu nedenle bakım bölümünde görevlilerin ve bakım operasyonlarında çalışanların görüşleri doğrultusunda, bakımda kullanılacak olan ekipman, araç ve gereçlerin geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

Kalite Fonksiyonu Göçerimi (KFG), yeni ürün geliştirme süreçlerinde kullanıcı/müşteri görüşlerinin dikkate alınmasında araştırmacılar tarafından yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, daha önce Altuntaş vd [2] tarafından F-16 savaş uçaklarının bakım operasyonlarında kullanılmak üzere yaratıcı problem çözme teorisi kullanılarak geliştirilen bir ekipmanın KFG kullanılarak kullanıcı görüşleri doğrultusunda yeniden tasarımı yapılmıştır. Geliştirilen ekipman, uçak bakım faaliyetlerinde, bakımın daha kısa sürede bitmesine yardımcı olacağı ve bakım faaliyetlerinin etkinliğini ve verimliliğini arttıracığı değerlendirilen bir yer destek cihazıdır. Söz konusu yer destek cihazı hâlihazırda TSK tarafından F-16 savaş uçaklarının bakım operasyonlarında kullanılmaktadır. Bu çalışmada, önerilen yeni ürünün tasarımı, mevcut durumda yer destek cihazını kullanan personeller ile görüşmeler yoluyla veriler toplanarak QFD ile oluşturulmuştur. Böylece, tasarım masasında kullanıcı görüşleri dikkate alınarak, çalışanların kullandıkları ekipmanın kendilerine uyumlu, daha ergonomik ve işin yapılış maksadına doğrudan hizmet eden yeni bir ürün önerilmiştir.

Çalışmanın yazına iki önemli katkısı bulunmaktadır. Birincisi, mevcut durumda literatürde tanıtılan bir ekipman bu çalışma ile yeniden tasarlanarak alternatif yeni bir ürün

önerilmiştir. İkincisi, KFG kullanılarak sistematik şekilde ürün geliştirmeye yönelik bir gerçek hayat uygulaması adım adım sunulmuştur. Çalışmanın bundan sonraki bölümleri şu şekilde oluşturulmuştur; yazın taraması ikinci bölümde, KFG kullanılarak yeni ürün tasarımı üçüncü bölümde ve çalışmanın sonuçları ise son bölümde verilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI (LITERATURE REVIEW)

Askeri uçak bakımları veya askeri bakım faaliyetleri ile ilgili konuları çeşitli şekillerde ele alan çalışmaların olduğu yazında görülmektedir. Bu çalışmalardan, Russell [6] askeri uçak bakımlarında yapılan insan hatalarını incelemiştir. Fogarty [7] ise yaptığı çalışmada, organizasyonel ve bireysel değişkenlerin uçak bakım performansına olan rolünü, büyük askeri helikopterlerin bakımından sorumlu personel üzerine yürüttüğü anket çalışmasından elde ettiği verilere yapısal eşitlik modellemesi uygulayarak belirlemiştir. Moore vd. [8] yaptığı çalışmada, askeri uçak bakım bölümlerinde kalite güvence kadrosunun etkinliğini ölçmek amacıyla görüşme ve Delphi anketi yoluyla veriler toplayarak kalite güvence kadrosunun etkinlik matrisini geliştirmiştir. Overholts vd. [9] çalışmalarında, Amerikan Birleşik Devletleri Hava Kuvvetleri'nin füze bakım çizelgeleri için bir yerleşim analizi yapmıştır. Yerleşim analizi için iki aşamalı matematiksel bir model önermişlerdir. Bir başka çalışmada ise Joo [10] askeri lojistikte düzeltici ve önleyici olmak üzere iki bakım politikasına vurgu yapmakta ve Kore Cumhuriyet Hava Kuvvetleri için önleyici bakım çizelgelerini oluşturmak üzere bir algoritma önermektedir. Fan vd. [11]'de sistem dinamik modelleme yaklaşımını kullanarak askeri silah bakım tedarik sistemini incelemiştir. Park ve Moon [12] ise askeri uçak bakımından sorumlu çalışanların sürekli olarak ciddi bir hava aracı gürültüsüne maruz kaldıklarına vurgu yapmakta ve Kore Cumhuriyeti'nde 2 yıllık zorunlu askerlik görevini, uçak pistinde yapan 3000 erkek uçak bakım çalışanının maruz kaldığı uçak gürültüsünün, askerlerin işitme durumlarını etkileyip etkilemediğini belirlemek üzere bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmanın sonuçlarına göre, 2 yıllık askerlik görevini yerine getiren askerler için işitme düzeylerindeki bozulma düşük iken pist bölgesinde bulunan çalışanların oldukça yüksek seviyesinde bazı işitme yetersizlikleri gözlemlenmiştir. Yukarıda verilen çalışmalara ek olarak, simülasyon modelleri ile askeri uçakların bakım süreçlerini inceleyen çalışmalar da literatürde yürütülmüştür. Cook and DiNicola [13] askeri helikopterlerin bakım operasyonlarını bir bilgisayar modeli ile simülasyonunu gerçekleştirmiştir. Raivio vd. [14] ise yürüttüğü ayrık olay simülasyon modeli ile bakım, arıza ve tamir süreçlerini incelemiştir. Li vd. [15] yaptıkları çalışmada, SysML adlı sistem modelleme dilini kullanarak askeri uçakların bakım destek sistemlerini modellemiş ve ARENA simülasyon yazılımını kullanarak bu modelin başarısını test etmiştir. Bu çalışmalarla birlikte, aynı girdi ve çıktılar kullanan karar noktalarının etkinliğinin ölçülmesinde kullanılan veri zarflama analizinin, askeriyedeki bakım ünitelerinin etkinliğinin ölçülmesine yönelik uygulamalar ile ilgili çalışmalar da yapılmıştır. Charnes vd. [16] çalışmalarında, Amerika Birleşik Devletleri

Hava Kuvvetleri'nde kurulu uçak kanat bakım operasyonlarının gerçekleştirildiği ünitelerin etkinliğini veri zarflama analizi ile değerlendirmişlerdir. Roll vd. [17]'de yaptığı çalışmada, İsrail Hava Kuvvetleri'nde lojistik ve teknik destek sağlayan bakım ünitelerinin etkinliğini veri zarflama analizi ile incelemiştir. Sun [18] da Tayvan ordusunda bulunan ortak bakım atölyelerinin etkinliğini veri zarflama analizi ile ölçmüştür. Yapılan çalışma ile elde edilen sonuçlardan hareketle Tayvan ordusunda bulunan ortak bakım atölyelerinden 5 tanesi seçilerek iyileştirmeler hayata geçirilmiştir. Böylece eski duruma göre bu 5 ortak bakım atölyesinin etkinliğinin göreceli olarak arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Askeri uçaklar için gerçekleştirilen bakım faaliyetlerini dikkate alarak uçak operasyonlarının optimizasyonu ile ilgili çalışmalar da literatürde gerçekleştirilmiştir. Bunlardan, Kozanidis ve Skipis [19] yaptıkları çalışmada, askeri uçak ve bakım planlamasının askeri uçaklar içerisinde hangisinin ne kadar süre için kullanılabilir durumda olduğunu ve yerde bulunan hangi askeri uçağın bakımının yapılması gerektiği ile ilgili olduğuna vurgu yapmakta ve bu problem için bir optimizasyon modeli tanıtmaktadır. Safaei vd. [20] çalışmalarında, bakım işlerinin işgücü yoğun işler olması nedeniyle işgücünün en öncelikli kaynak olarak düşünülmesi gerektiğine değinmekte ve askeri uçaklar için işgücü kısıtlı bakım çizelgeleri için matematiksel programlama modeli tanıtmaktadırlar. Bajestani ve Beck [21] ise çalışmalarında, kısıtlı bakım kaynaklarının varlığında (kısıtlı kapasite varlığında) dinamik tamir atölyesi çizelgeleme problemini askeri uçak filosu yönetimi bağlamında ele almışlar ve bu problemin çözümü için bir çözüm yaklaşımı sunmuşlardır. Verhoeff vd. [22] çalışmasında askeri hava kuvvetlerinin en temel amaçlarından birinin önleyici bakımdan etkilenen operasyonel hazırlık durumu optimize edilmesi olduğuna vurgu yapmakta ve operasyonel hazırlık durumunun maksimize edecek bir model sunmaktadır. Farklı bir çalışmada ise Gavranis ve Kozanidis [23] askeri uçak ve bakım planlaması için bir kesin çözüm algoritması önermektedir. Tsadikovich vd. [24] yürüttükleri çalışmada, üretim, paketleme, depolama, tamir, bakım ve taşıma faaliyetlerini askeri tedarik zincirinin halkaları olarak ele alarak, karışık tamsayılı programlama ve simülasyon tabanlı optimizasyon ile modellemiştir. Bunlarla birlikte, havacılık ve uzay malzemelerinde soğutma sıvısının elektro erozyonla delinen deliklerin performans parametrelerine etkisi [27] ve havacılık endüstrisinde Alüminyum-Lityum alaşımlarının kullanımı [28] gibi konularında da çalışmalar yapılmıştır.

Yukarıda verilen askeri uçak bakım konuları ile ilgili yazın taramasından anlaşılacağı üzere, yapılan çalışmalar dört temel sınıfta toplanabilir. İlk sınıfta askeri uçak bakım operasyonlarını etkileyen faktörlerin (insan hataları, uygulanacak bakım politikasının seçimi, tedarik, iş sağlığı ve güvenliği gibi) incelendiği çalışmalar bulunmaktadır. İkinci sınıfta, simülasyon modelleri kurularak bakım operasyonlarının incelendiği çalışmalar yer almaktadır. Üçüncü sınıf, veri zarflama analizi kullanılarak bakım ünitelerinin etkinliğini değerlendiren çalışmaları

içermektedir. Son olarak dördüncü sınıfta ise askeri uçak bakım faaliyetlerinin optimizasyon modelleri kullanılarak ele alındığı çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmada ise uçak bakım faaliyetlerinde kullanılmak üzere daha önce yazında Altuntaş vd.[2] tarafından yaratıcı problem çözme teorisi kullanılarak geliştirilen ve askeri uçak bakım faaliyetlerinde kullanılmakta olan bir yer destek cihazı ele alınmıştır. Ele alınan bu ekipman daha önce kullanıcı görüşleri doğrultusunda geliştirilmediği için uygulamada elde edilen tecrübelerle dayanılarak geliştirilebileceği değerlendirilmiş ve KFG ile yeniden tasarlanmıştır. Literatürde, Altuntaş vd.[2] tarafından özgün tasarlanan bahse konu ekipmanın yeniden tasarımına yönelik bir çalışma yapılmamıştır. Bunun yanında, genellikle KFG ile ilgili yazında yürütülen çalışmalarda sadece kalite evi oluşturulmakta ve çözüm seçenekleri türetilmemektedir. Bu çalışmada ise; KFG ile oluşturulan kalite evinden hareketle çeşitli çözüm seçenekleri türetilmiş, türetilen çözüm seçeneklerinin nasıl uygulanabileceği ile ilgili tasarımlar yapılmış ve yeni bir ekipman tasarımı sunulmuştur. Bununla birlikte, KFG kullanılarak sistematik şekilde ürün geliştirmeye yönelik bir gerçek hayat uygulaması adım adım verilmiştir.

KFG literatürde yeni ürün geliştirme süreçlerinde kullanılıyor olmasına rağmen, son yıllarda altı temel yöntem/metodoloji ile de bütünlük kullanımına

rastlanılmaktadır. Sivasamy vd. [30] bu yöntemleri/metodolojileri şu şekilde sıralamaktadır: (1) Bulanık KFG, (2) Kano tabanlı KFG, (3) Analitik Hiyerarşi Prosesi ile bütünlük KFG (AHP-KFG), (4) Analitik Ağ Süreci ile bütünlük KFG(AAS-KFG), (5) Proje KFG ve (6) Toplam KFG. Sivasamy vd. [30]'nin çalışması temel alınarak ve güncel çalışmalar eklenerek derlenen KFG ile bütünlük kullanılan çalışmalar Tablo 1'de özetlenmiştir.

3. UYGULAMA (APPLICATION)

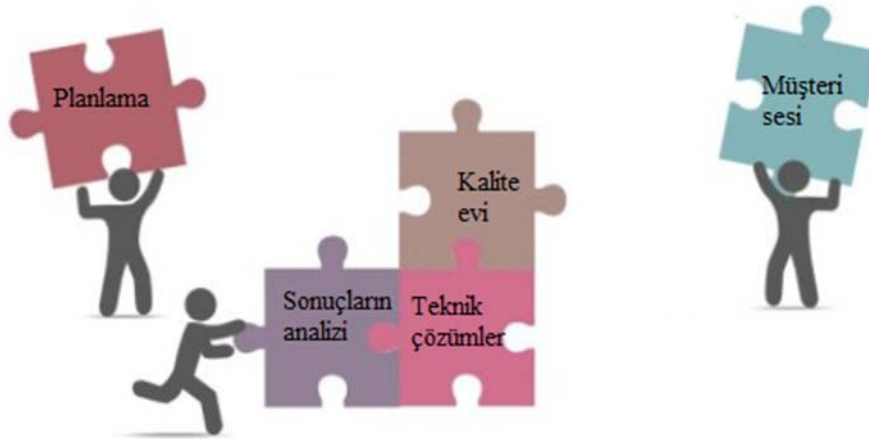
Bu bölümde, yapılan uygulamanın detayları verilmiştir. Yürütülen uygulamayı gerçekleştirmek için KFG'nin Tablo 2'de verilen beş basamağı sırasıyla gerçekleştirilmiştir. KFG'nin bileşenleri ise Şekil 1'de verilmiştir.

3.1. Planlama Aşaması (Planning Phase)

KFG uygulamasının tam anlamıyla başarıya ulaşması; ekipman (ele alınan yer destek cihazı) kullanıcılarının yanı sıra üst yönetim kademelerinin de uygulama sonucu elde edilecek sonuçların başarısına olan inancına bağlı olduğundan, çalışmanın başında ekipmanın sağlayacağı kolaylıklar ve bakım operasyonlarındaki etkinliği ve verimliliği üst yönetime aktarılmış ve alınan pozitif dönütlerle örgütsel desteğin tam olarak sağlandığına emin

Tablo 1. KFG ile bütünlük kullanılan çalışmalar (Studies integrated with QFD)






KFG ile Bütünlük Yöntem	Yazarlar
Bulanık KFG	Chen and Ko [31]; Kuo et al. [32]; Lin [33]; Liu [34]; Ramasamy and Selladurai [35]; Sen and Baracli [36]; Sener and Karsak [37]; Vimal et al. [38]; Fargnoli et al. [39]; Akkawuttiwanich and Yenradee [40]; Koprivica and Filipovic [41]
Kano tabanlı KFG	Lee et al. [42]; Chiou and Cheng [43]; Nordin and Razak [44]; Sanjaykumar et al. [56]
AHP-KFG	Ho et al. [45]; Ho et al. [46]; Awasthi et al. (2018); Gupta and Modi [47]; Ozdemir et al. [48];
AAS-KFG	Liu and Wang [49]; Zaim et al. [50]; Wu et al. [55]; Fargnoli and Haber [51]; Bottani et al. [52]
Proje KFG	Chao and Ishii [53]
Toplam KFG	Devadasan et al. [54]



Şekil 1. KFG'nin bileşenleri (Components of QFD)

olunmuştur. Daha sonra, KFG uygulayacak ekip kurulmuştur. Ekibe daha önce Altuntaş vd.[2] tarafından geliştirilmiş olan ekipmanın yazarlarından biri (asıl fikir sahibi kişi) ve iş sağlığı ve güvenliği teknikeri de dâhil edilmiştir. Oluşturulan ekip Tablo 3’de verilmiştir. Tablo 3’de verildiği gibi 6 farklı özelliğe sahip grup/kişi, bu çalışmada oluşturulan KFG ekibinde yer almıştır. Ekibe, çalışmanın amacı tam olarak açıklanmış, kullanılan ekipmanın kendi çalışmalarında ne derece önemli olduğu vurgulanmış, yanlış veya eksik bilgi paylaşımının nelerle sonuçlanabileceği hatırlatılmış, gerekli hassasiyetin gösterilmesi istenmiştir. Farklı kullanıcı gruplarına farklı günlerde birbirlerinden bağımsız ekipmanı deneme imkânı sağlanacak şekilde planlama yapılmıştır.

Tablo 2. KFG’nin adımları (Steps in QFD)

Planlama aşaması	
Müşteri (Kullanıcı) sesinin dinlenmesi	
Kalite evinin oluşturulması	
Sonuçların analizi ve yorumlanması	
Teknik çözümlerin bulunması	

Kullanıcı grupları ekipmanı bizzat kullanmış, bu esnada ekipmanın fikir sahibi ve iş sağlığı ve güvenliği teknikeri kullanıcıları gözlemlenmiştir. Ar-Ge grubu her bir müşteri beklentisini karşılayacak en az bir veya daha fazla gereksinimleri karşılayacak faktörlerin (teknik gereksinimlerin) belirlenmesi aşamasında yer almıştır.

Tablo 3. KFG ekibi (QFD team)

S/N	Ekip üyeleri	Kişi Sayısı
1	1.Kullanıcı grup	3
2	2.Kullanıcı grup	3
3	3.Kullanıcı grup	3
4	Ekipman fikir sahibi	1
5	İş sağlığı ve güvenliği teknikeri	1
6	Ar-Ge grubu	4

Ayrıca Ar-Ge grubu üyeleri kullanım sonunda bir araya gelerek sonuçları analiz etmiş ve teknik çözümleri ortaya koymuştur. İzleyen bölümlerde bu süreç detaylı olarak anlatılmıştır. Aşağıda KFG ekibinde yer alan grup/kişilerin özellikleri yer almaktadır.

1.Kullanıcı grup: 1-10 yıl arasında değişen mesleki tecrübeye sahip olan 3 ekipman kullanıcısından oluşturulmuştur. Yaşları 20 ile 30 arasında değişiklik göstermektedir. Yaşlarının genç olması, daha uzun yıllar görev yapacak olmaları ve ekipmanı önümüzdeki yıllarda en

çok onların kullanacak olmaları nedeniyle, bu çalışma için yeni ürün geliştirme sürecinde farklı fikirleri sağlayacakları düşünülmüştür.

2.Kullanıcı grup: İkinci kullanıcı grup mesleki hayatlarının 11 - 20 yılında olan 3 ekipman kullanıcısından oluşturulmuştur. Yaşları 31 ile 40 arasında değişiklik göstermektedir. Meslek hayatlarının en verimli çağlarında olmaları, enerjileri ve mesleki bilgilerinin bu çalışmaya için pozitif katkı sağlayacağı düşünülmüştür.

3.Kullanıcı grup: Üçüncü kullanıcı grup mesleki hayatlarının 21 ve üzeri yılında olan 3 kullanıcıdan oluşturulmuştur. Yaşları 41 ve üzeri arasında değişiklik göstermektedir. Bu grup her üç kullanıcı grup içerisinde mesleklerinde en tecrübeli ve deneyimli kullanıcılardan oluşmaktadır. Yaşları itibarıyla ise en yaşlı grup olarak değerlendirilebilir. Fiziksel olarak karşılaşılabilecek zorlukları en fazla hissedebilmeleri ve her yaş kullanıcıya yönelik ekipmanı değerlendirebilmelerinin, bu çalışma için fayda sağlayabileceği düşünülmüştür.

Ekipman fikir sahibi: Ekipman fikir sahibi KFG ekibine dâhil edilerek kendisinin gözlemci olarak fikirlerinden yararlanılmış ve yeni ürün tasarımına katkı yapması beklenmiştir.

İş sağlığı ve güvenliği (İSG) teknikeri: KFG ekibine bir iş sağlığı ve güvenliği teknikeri dâhil edilerek, ekipmanı kullanıcıların sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirmesi ve bu doğrultuda yeni ürün tasarımına katkı yapması istenmiştir.

Ar-Ge grubu: Ar-Ge grubu makine mühendisliği ikinci sınıf öğrencisi, ekipman fikir sahibi, iş sağlığı ve güvenliği teknikeri ve bu çalışmayı kaleme alan yazardan olmak üzere 4 kişiden oluşturularak yeni ürünün kullanıcı isteklerine göre tasarımının başarılı olması sağlanmaya çalışılmıştır.

3.2. Müşteri (Kullanıcı) Sesinin Dinlenmesi (Listening Voice of the Customer (User))

KFG uygulamasında, müşteri (kullanıcı) ihtiyaçlarının belirlenmesi için kullanılan tekniklerden bu çalışmada yüz yüze görüşme ve ilk örnek ürün tekniği kullanılmıştır. Üretilen ilk örnek, ürünü kullanacak olan kullanıcılar arasında mesleki bilgisi ve tecrübesi fazla olanlardan seçilerek oluşturulan gruplara kullanırlmış ve kullanım esnasında kullanıcılar diğer ekip üyeleri tarafından gözlemlenmiştir. Daha sonra kullanıcılar ile yüz yüze görüşme yapılmış, istekleri ve ihtiyaçları belirlenmiş ve kayıt altına alınmıştır. Ayrıca kullanıcı grupları fikir sahibi ve iş sağlığı ve güvenliği teknikeri tarafından gözlemlenmiş ve elde edilen tüm veriler bir çatı altında toplanmıştır. Aynı olan tespitler ve ihtiyaçlar tek başlık altında alınarak Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4’de verilen müşteri beklentileri mevcut uygulamada olan ekipmanda (Altuntaş vd. [2]’nin çalışmasında)

Tablo 4. Müşterinin (Kullanıcının) sesi (Voice of the customer (User))

No	Müşteri ifadeleri (Beklenti listesi)	Müşteri İhtiyaç Listesi
1	Uzak mesafe taşınması kolay olsun	Uzun mesafeli taşımacılık için uygun olabilir
2	Forklift ile kaldırılabilir	Pratik yük kaldırma makineleri ile kaldırılabilir
3	Yakın mesafe taşıma esnasında yengeç hareketi yapmasın	Ekipman taşıma ve kullanım esnasında istendiğinde doğrusal hareket yapabilir
4	Kullanım esnasında eğilmek zorunda kalınmasın	Ekipman normal vücut duruşunda kullanılabilir
5	Krikoların çevrilmesi daha kolay olsun	Kaldırma aracının kullanımı kolaylaştırılabilir
6	Çevreye duyarlı olsun	Çevre dostu metal kullanılabilir
7	Üzerine koyulan MHBT ile entegre olsun	Ekipman ile MHBT'nin entegrasyonu sağlanabilir
8	MHBT kısa mesafe taşıma esnasında kaymasın	MHBT kısa mesafe taşımada sabit kalabilir
9	İnsan gücü ile kaldırılmasına gerek duyulmasın	Ekipman taşıma esnasında insan gücü ihtiyacı azaltılabilir
10	Tek parça olsun, ilave parça olmasın	Ekipman yekpare (tek parça) olabilir

karşılanmamaktadır. Karşılanmayan bu beklentiler ile ilgili detaylı açıklamalar aşağıda sunulmuştur.

- *Uzak mesafe taşınmaması:* Mevcut ekipman, tekerlekleri uzun mesafe çekime uygun olmaması nedeniyle uzak mesafelere taşınması kolay değildir.
- *Forklift ile kaldırılamaması:* Mevcut ekipmanın şehirlerarası taşınması gerektiğinde tır, kamyon veya kargo uçağına yüklenmesi esnasında forklift aracı kullanılamamaktadır.
- *Taşıma esnasında yengeç hareketi yapmasın:* Taşıma ve kullanım esnasında istendiğinde doğrusal hareket yapması gerekirken, her durumda 4 yöne (kuzey-güney-doğu-batı) hareket (yengeç hareketi) yapmaktadır.
- *Kullanım esnasında çalışanın eğilmek zorunda kalması:* Gerek kullanım esnasında gerekse kullanım öncesi hazırlıkta ürün yüksekliğinin ideal vücut duruşunu bozması nedeniyle kullanımı ergonomik değildir.
- *Krikoların çevrilmesi daha kolay olsun:* Krikoların indirme ve kaldırma esnasında kullanılan kolların doğrusal hareket yapması (yukarı-aşağı) nedeniyle, her iki kolun aynı anda kullanılmasında zorluk yaşanmaktadır.
- *Çevreye duyarlı olsun:* İmalatında kullanılan alüminyum malzemenin ağır metal olması nedeniyle çevreye duyarlı değildir.
- *Üzerine koyulan Merkez Hattı Bomba Taşıyıcısı (MHBT) ile entegre olsun:* Konulacak MHBT'nin tam olarak ürünün neresine yerleştirileceği (öne-arkaya) belirsiz olması MHBT'nin uçağına yüklenmesi esnasında kullanılan takımın (firdöndü) krikoya çarpmasına ve takımın işlevini yapmasına engel olmaktadır. Burada ifade edilen MHBT, Altuntaş vd.[2] çalışmasında kancalı adaptörü (C/L rack) olarak da ifade edilmiştir.

- *MHBT kısa mesafe taşıma esnasında kaymasın:* Ekipmanın üzerine konulan MHBT ile birlikte kısa mesafe taşımada MHBT'nin ekipman üzerinde sabit olmadığından kayma riski bulunmaktadır.
- *İnsan gücü ile kaldırılmasına gerek duyulmasın:* Ekipmanın uzak mesafe taşımada diğer bir aracın üzerine kaldırılıp koyulması esnasında insan gücüne ihtiyaç duyulmaktadır.
- *Tek parça olmaması, ilave parçaların olması:* Krikoların hareketi için kullanılan ve doğrusal hareket sağlayan çevirme kollarının sabit olmaması ve kullanım sonrası sökülüp bar üzerine takılması zaman içerisinde kaybolmasına ve fonksiyonel eksikliğe yol açmaktadır.

3.3. Kalite Evinin Oluşturulması (Creating House of Quality)

Müşteri (kullanıcı) beklentileri tanımlandıktan sonra kalite evinin oluşturulması aşamasına geçilmiştir. İlk aşamada, daha önce müşterinin (kullanıcının) sesinin dinlenmesinden elde edilen müşteri beklentileri, müşteri ihtiyaç listelerine dönüştürülmüştür (Bakınız Tablo 4). Her bir müşterinin ürün tasarımına olan etkileri farklı olacağından Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile ikili karşılaştırmalar aracılığıyla kullanıcı gruplarının, ekipman fikir sahibinin ve İSG tekniklerinin önem düzeyini belirten ağırlık değerleri hesaplanmıştır. AHP ile ilgili detaylı bilgiler Saaty [29]'de bulunabilir. Oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Tablo 5'te verilmiştir. Tutarlılık indeks değeri 0,1'den küçük çıktığından (0,049) matris tutarlıdır. Müşteri ihtiyaç listesi, kalite evini ilk bloğuna (kullanıcıların beklentileri) yazılmıştır. Daha sonra, müşteri ihtiyaçlarının önem ağırlıkları belirlenmiştir. Bu amaçla müşteri sesinin dinlenmesinden sonra elde edilen beklenti listesi veri toplama aracı ile kalite ekibi tarafından

Tablo 5. İkili Karşılaştırmalar Matrisi ve Kullanıcıları Önem Düzeyi
(Pairwise Comparisons Matrix and Priorities)

	1. Kullanıcı Grup	2. Kullanıcı Grup	3. Kullanıcı Grup	Ekipman Fikir Sahibi	İSG Teknikeri	Önem Düzeyi
1. Kullanıcı Grup	1	1/5	1/7	3	1/9	0,06
2. Kullanıcı Grup	5,00	1	0,20	5	1/7	0,13
3. Kullanıcı Grup	7,00	1/3	1	7	1/5	0,18
Ekipman Fikir Sahibi	1/3	1/5	1/7	1	1/9	0,04
İSG Teknikeri	9	7	5	9	1	0,59

Tablo 6. Müşteri (Kullanıcı) gereksinimleri önem ağırlık düzeyi (Customer (User) requirements importance weight Level)

No	Kullanıcı grubu	1. Kullanıcı grup	2. Kullanıcı grup	3. Kullanıcı grup	Ekipman fikir sahibi	İş sağlığı ve güvenliği (İSG) teknikeri	Önem Ağırlık Düzeyi Aritmetik ortalaması
	Önem Düzeyi	0,06	0,13	0,18	0,04	0,59	
1	Uzun mesafeli taşımacılık için uygun olabilir	7	7	7	6	6	6,37
2	Pratik yük kaldırma makineleri ile kaldırılabilir	7	6	7	6	7	6,83
3	Ekipman taşıma ve kullanım esnasında istendiğinde doğrusal hareket yapabilir	5	6	6	4	4	4,68
4	Ekipman normal vücut durumunda kullanılabilir	3	5	4	3	7	5,8
5	Kaldırma aracının kullanımı kolaylaştırılabilir	3	4	4	3	4	3,9
6	Çevre dostu metal kullanılabilir	2	3	2	4	6	4,57
7	Ekipman ile MHBT'nin entegrasyonu sağlanabilir	4	5	5	3	3	3,68
8	MHBT kısa mesafe taşımada sabit kalabilir.	3	5	5	3	6	5,39
9	Ekipman taşıma esnasında insan gücü ihtiyacı azaltılabilir.	7	7	7	5	7	6,92
10	Ekipman yekpare (tek parça) olabilir.	4	5	6	4	5	5,08

listesindeki her beklentinin önem düzeyini gösteren ve 1-7 arasında değişen bir ağırlık değeri atanması istenmiştir. Elde edilen değerler, AHP ile elde edilen kullanıcıların önem düzeyi ile çarpılarak ortalaması alınmıştır. Değerlendirme sonucunda müşteri ihtiyaçlarının önem ağırlık düzeyleri Tablo 6'da verildiği gibi elde edilmiştir.

Kullanıcı gereksinimlerini karşılamaya yönelik çalışmamızın en önemli noktası kullanıcıların beklentilerinin mühendislik aşamasında kullanılacak faktörlere / teknik gereksinimlere (karakteristiklere) dönüştürmektir. Bu kapsamda Ar-Ge grubu tarafından beyin fırtınası yöntemi kullanılarak her bir kullanıcı ve gözlemci beklentisini gerçekleştirebilecek en az bir ölçülebilir faktör

belirlenmiştir. Belirlenen toplam 8 adet faktör Tablo 7'de verilmiştir. Kalite evinin hazırlanmasında bir sonraki adım, her bir gereksinimi karşılayan faktörün hangi kullanıcı beklentisini karşılamaya ne derece etkisi olduğunun belirlenmesidir. Bu aşamada, Ar-Ge grubu tarafından kalite evinde kullanıcı beklentileri ile gereksinimi karşılayan faktörler arasında ilişki olup olmadığı incelenmiş ve eğer varsa bu etkinin ne düzeyde olduğu tanımlanmıştır. Bu noktada kullanıcı beklentileri ile gereksinimi karşılayan faktörler arasındaki ilişki, Tablo 8'de verilen semboller kullanılarak hazırlanmıştır. Kullanıcı beklentileri ile gereksinimi karşılayan faktörler arasındaki ilişkilerin gösteriminde farklı değerlendirme tipleri bulunmaktadır.

Bunlar; ilişkinin sembollerle gösterimi, diğeri de 5-li veya 9-lu skalada sayılarla gösterimidir [26].

Müşteri istekleri ile teknik gereksinimler arasındaki ilişki matrisini oluşturduktan sonra matrisin satır ve sütunları incelenmiş her bir satırdaki kullanıcı beklentisinin herhangi bir gereksinimi karşılayan faktörle ilişkilendirilip ilişkilendirilmediği kontrol edilmiş ve en az bir faktörle ilişkilendirildiği görülmüştür. Sütunlarda ise herhangi bir ilişkilendirilmemiş faktör bulunmadığından emin olunmuştur. Sonraki aşamada, kalite evinin çatısı oluşturulması ve böylece teknik gereksinimlerin kendi aralarındaki iç ilişkisini tespit edilmesi amaçlanmıştır. İlişkilerin doğrultusu Tablo 9'da verilen simgeler kullanılarak gösterilmiştir. Teknik gereksinimler arasında 8 adet (5 negatif ve 3 pozitif) ilişki saptanmıştır.

Tablo 7. Gereksinimi karşılayacak faktörler (Teknik karakteristikler)

(Factors to meet the requirement (Technical characteristics))

S/N	Gereksinimi Karşılayacak Faktörler
1	Çeki demiri
2	Hem hareketli hem de sabit tekerlek
3	İndeks yeri
4	Otoyol tekerlek
5	Dairesel hareketli kol
6	Taşıma barları
7	Galvanizli demir malzeme
8	Mafsallı başlıklı kol

Tablo 8. Semboller ve anlamları (Symbols and meanings) [26]

Simge	İlişki	Ağırlık
⊕	Güçlü ilişki	9
○	Orta Dereceli İlişki	3
▲	Güçsüz İlişki	1

Tablo 9. İlişkinin doğrultusu (Direction of relationship)

Simge	İlişkinin doğrultusu
+1	Pozitif
0	İlişki Yok
-1	Negatif

Çeki demiri faktörü ile hem hareketli hem sabit tekerlek ve taşıma barları faktörleri arasında negatif ilişki, otoyol tekerlek ve mafsallı başlıklı kol faktörleri arasında ise pozitif ilişki olduğu,

Hem hareketli hem sabit tekerlek faktörü ile otoyol tekerlek faktörü arasında pozitif ilişki, mafsallı başlıklı kol faktörü ile ise arasında negatif ilişki olduğu,

Otoyol tekerlek faktörü ile dairesel hareketli kol ve taşıma barları faktörleri arasında negatif ilişki olduğu saptanmıştır. Gereksinimi karşılayan bu faktörler arasındaki negatif ilişki bu çalışmada geliştirilen çözüm önerilerinde karşılanmaktadır.

Son aşamada, her bir gereksinimi karşılayan faktörün, kullanıcı beklentilerinin karşılanmasındaki göreceli ve mutlak önem dereceleri hesaplanmıştır. Bu aşamanın yürütülmesiyle kalite evi böylece oluşturulmuştur. Oluşturulan kalite evi Şekil 2'de verilmiştir. Örneğin Şekil 2'de "çeki demiri" adlı teknik gereksinimin mutlak önem derecesi ve göreceli önem düzeyi (Eş. 1, Eş. 2) nolu denklemlerde hesaplandığı gibidir:

$$\text{Mutlak Önem} = (6,37 \times 9) + (4,68 \times 5) + (5,8 \times 3) + (3,68 \times 1) + (6,92 \times 9) = 145,37 \quad (1)$$

$$\text{Göreceli önem} = (\text{Mutlak önem} / \text{Toplam önem}) \times 100 = (145,37 / 654,32) \times 100 = 22,2\% \quad (2)$$

3.4. Sonuçların Analizi ve Yorumlanması (Analysis of Results and Interpretation)

Kalite evi oluşturulduktan sonra, Ar-Ge grubu tarafından sonuçlar analiz edilmiş ve aşağıdaki yorumlar yapılmıştır.

Kullanıcılar, tasarlanacak ekipmanda öncelikle, insan gücü ile kaldırılmasına gerek duyulmaması (6,92 önem derecesi), forklift ile kaldırılabilme (6,83 önem derecesi) ve uzak mesafe taşınması kolaylığı (6,37 önem derecesi) özelliklerini beklemektedirler. İkincil olarak kullanım esnasında eğilmek zorunda kalınmaması (5,8 önem derecesi), MHBT kısa mesafe taşıma esnasında kaymaması (5,39 önem derecesi), tek parça olması, ilave parça olmaması (5,08 önem derecesi) ve taşıma esnasında yengeç hareketi yapmaması (4,68 önem derecesi), özellikleri beklenmektedir. Üçüncül olarak, ürünün yapımında kullanılan malzemenin çevreye duyarlı olması özelliğinin (4,57 önem derecesi) ve krikonun çevrilmesi daha kolay olması (3,9 önem derecesi) özellikleri beklenmektedir. Üzerine koyulan MHBT ile entegre olması (3,68 önem derecesi) ise en az öneme sahip kullanıcı beklentisi olduğu değerlendirilmiştir.

Çalışmanın yürütülmesi aşamasında, iş ve işçi güvenliği teknikerinin iş güvenliği ve işçi sağlığı açısından bazı kullanıcı beklentilerini, kullanıcılardan gözle görülür bir şekilde daha fazla önemsendiği saptanmıştır. Kullanıcı beklentilerinin çeki demiri, hem hareketli hem de sabit tekerlek, indeks yeri, otoyol tekerlek, dairesel hareketli kol, taşıma barları, galvanizli demir malzeme, mafsallı başlıklı kol yapılması faktörleri ile karşılanması düşünülmüştür.

Belirlenen teknik gereksinimlerin önem düzeylerine göre sıralaması şu şekildedir:

Çeki demiri>Taşıma barları>Otoyol tekerlek>Dairesel hareketli kol>İndeks yeri >Mafsallı başlıklı kol >Galvanizli demir malzeme>Hem hareketli hem de sabit tekerlek

Bu faktörlerden çeki demirini yapılması 5 adet kullanıcı beklentisini (uzak mesafe taşınması kolaylığı, taşıma esnasında yengeç hareketi yapmaması, kullanım esnasında eğilmek zorunda kalınmaması, üzerine koyulan MHBT ile entegre olması, insan gücü ile kaldırılmasına gerek

Gereksinimi Karşıllayan Faktörler		Müşteri İhtiyaç Listesi							
		Kullanıcı Önem Ağrlık Düzeyi	Çeki demiri	Hem hareketli hem de sabit tekerlek	İndeks yeri	Otoyol tekerlek	Dairesel hareketli kol	Taşıma barları	Galvanizli demir malzeme
Uzun mesafeli taşımacılık için uygun olabilir	6,37	⊖	○		⊖				
Pratik yük kaldırma makineleri ile kaldırılabilir	6,83						⊖		
Ekipman taşıma ve kullanım esnasında istendiğinde doğrusal hareket yapabilir	4,68	▲	○						
Ekipman normal vücut durumunda kullanılabilir	5,80	○							⊖
Kaldırma aracının kullanımı kolaylaştırılabilir	3,90				○	⊖			
Çevre dostu metal kullanılabilir	4,57							⊖	
Ekipman ile MHBT'nin entegrasyonu sağlanabilir	3,68	▲		⊖					
MHBT kısa mesafe taşımada sabit kalabilir	5,39			⊖					
Ekipman taşıma esnasında insan gücü ihtiyacı azaltılabilir	6,92	⊖			○		⊖		
Ekipman yekpare (tek parça) olabilir	5,08					⊖			
Mutlak Önem		145,37	33,15	81,63	89,79	87,30	123,75	41,13	52,20
Göreceli Önem		22,22	5,07	12,48	13,72	13,34	18,91	6,29	7,98

Şekil 2. Kalite Evi (House of Quality)

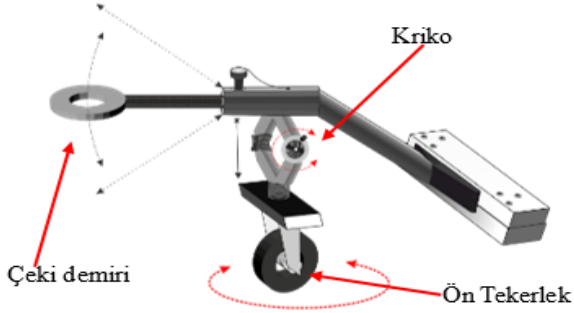
duyulmaması) karşılayacak teknik çözüm olarak dikkat çekmektedir.

3.5. Teknik Çözümlerin Bulunması (Technical Solutions)

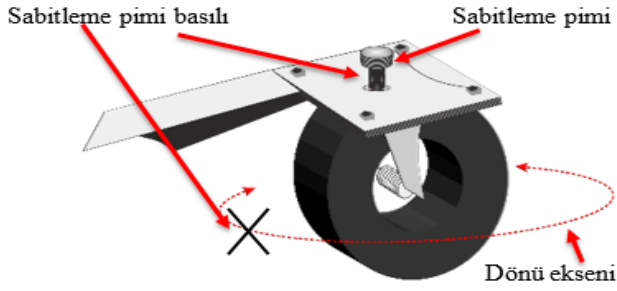
Kalite evinin analizi ve yorumlanması sonrasında Ar-Ge grubu tarafından gereksinimi karşılayacak faktörler göz önüne alınarak aşağıdaki belirlenen teknik çözümler bulunmuştur. Uzak mesafe taşınması kolay olması beklentisi

ekipmanın ön tarafına ilave edilecek çeki demiri ile ve arka tekerleklerinin otoyola uygun hale getirilmesiyle bir başka araç tarafından uzak mesafe taşıma (çekim) işlemi kolaylıkla gerçekleştirilebilecektir. Ayrıca bir ilave krikon sayesinde ekipmanın araçla çekim esnasında ön tekerleğin yukarı kaldırılması sağlanmış olacaktır. Şekil 3, önerilen çözümü göstermektedir. Ayrıca arka tekerleklerin taşıma esnasında sabitlenebilmesi ekipmanın sağa sola savrulmasını önleyecektir. Tekerleklerin sabitlenebilmesi ve dolayısıyla

kendi eksenini etrafında dönüşünü engellemek için sabitleme pimi olarak adlandırılan bir aparat kullanılmıştır. Sabitleme pimi basılı (aşağıda) olduğu konumda tekerlek sabitlenmektedir. Bu sistem ekipmanın her iki arka tekerlekleri için tasarlanmıştır. Önerilen çözüm Şekil 4’de gösterilmiştir.

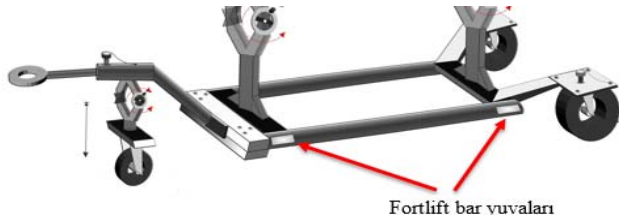


Şekil 3. Çeki demiri (Tow bar)



Şekil 4. Sabitlenebilir otoyol tekerlek (Fixable highway wheel)

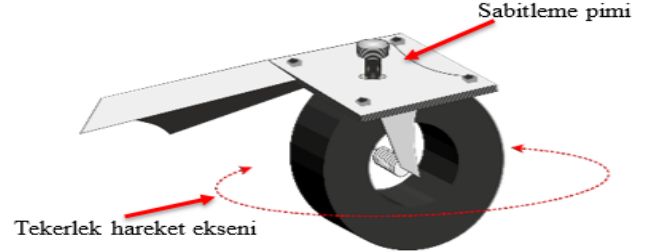
Forklift ile kaldırılabilir olması, ekipman üzerine ilave edilecek iki adet forklift kollarının kavrayabileceği barlar ile sağlanabilecektir. Önerilen çözüm Şekil 5’de verilmiştir.



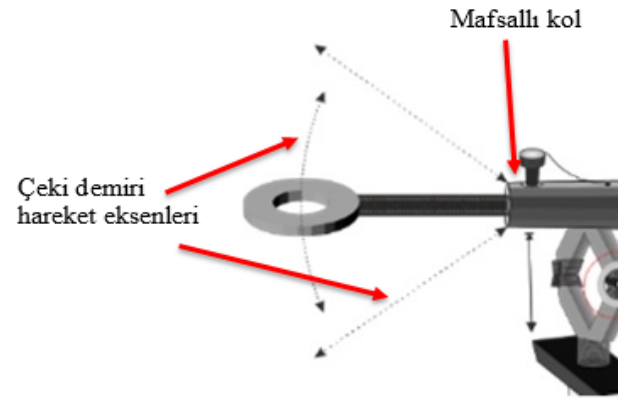
Şekil 5. Forklift bar yuvaları (Forklift bar nests)

Arka tekerleklerde hem hareketli hem sabit olma kabiliyetine sahip tekerleklerin tercih edilmesiyle kullanım esnasında maksimum manevra kabiliyeti ekipmana kazandırılmış, taşıma veya çekim esnasında ise sabitlenerek ekipmanın yengeç hareketi yapması engellenmiş olunacaktır. Önerilen çözüm Şekil 6’da gösterilmiştir. Ekipmanın ön kısmına eklenecek çeki demiri ve ayrıca kolunun mafsallı olması sayesinde kolun 4 yöne hareket edebilme özelliği ile kullanım esnasında eğilmek zorunda kalınması engellenmiş olunacaktır. Önerilen çözüm Şekil 7’de verilmiştir. Şekil7’de, çeki demirinin hareket yönleri oklar ile gösterilmiştir. Krikonun çevrilmesi daha kolay olması için doğrusal hareket (yukarı-aşağı) yapan kollar yerine dairesel

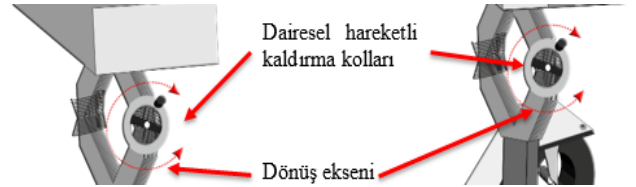
hareket yapan kaldırma kollarının kullanılması uygun olacağı değerlendirilmiştir. Şekil 8’de önerilen çözüm verilmiştir.



Şekil 6. Opsiyonel tekerlek (Optional wheel)



Şekil 7. Mafsallı kol (Articulated arm)



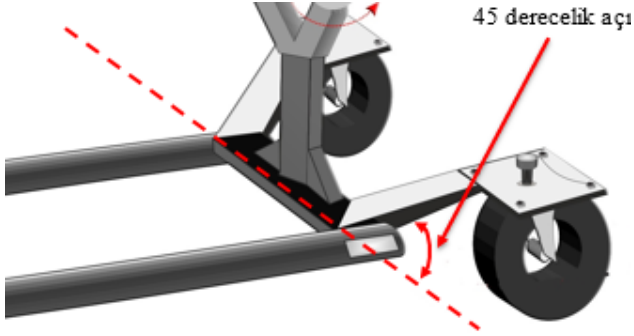
Şekil 8. Dairesel hareket yapan kaldırma kolları (Lifting arms with circular motion)

Ayrıca Şekil 8’deki önerilen kolların arka tekerleklere temasını önlemek ve döndürme esnasında engelle karşılaşılmaması için arka tekerleklerin 45 derecelik açıyla yerleştirilerek tasarlanmıştır. Önerilen çözüm Şekil 9’da verilmiştir.

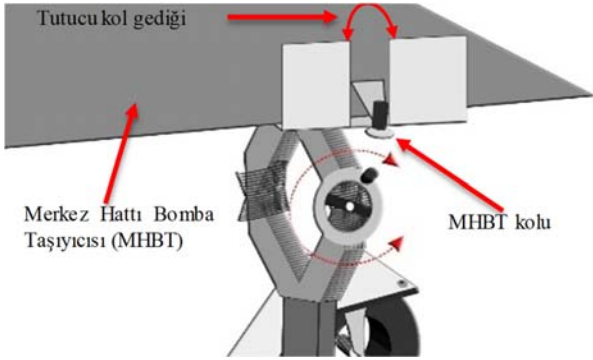
Yapımında kullanılan alüminyum malzeme yerine galvanizli demir profiller kullanılması çevreye duyarlılığı artıracaktır.

Arka tutucu kol üzerinde açılacak yarıklar sayesinde Merkez Hattı Bomba Taşıyıcısı’nın (MHBT) kolları olarak nitelendirebileceğimiz uzantıları bu yarıklara yerleştirildiğinde üzerine koyulan MHBT ile ekipmanın entegrasyonu sağlanmış olacaktır. Bu sayede mevcut yarıklar MHBT’nin ekipman üzerindeki konumu için kullanıcı açısından bir indeks olacaktır. Şekil 10’da önerilen çözümü göstermektedir. Çeki demiri, arka otoyol tekerlekleri ve forklift kullanımına uygun hale gelmesi sayesinde insan

gücü ile kaldırılmasına gerek duyulmayacaktır. Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5’de gösterilen çözümler sayesinde ekipman üzerinde iyileştirmeler yapılmıştır.



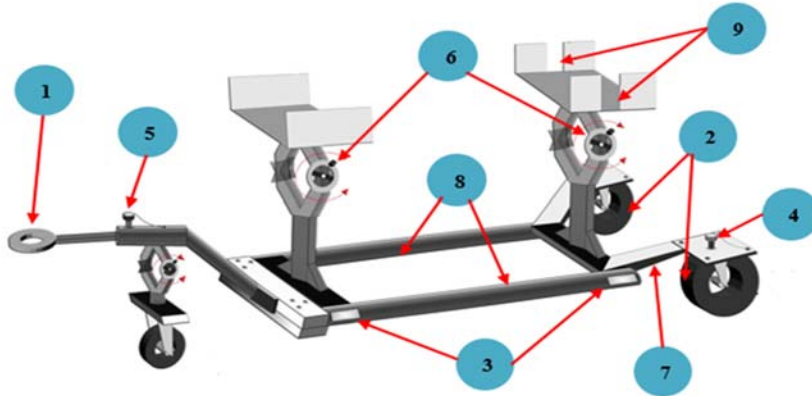
Şekil 9. 45 Derecelik açılı tekerlek (The degree angle wheel)



Şekil 10. İndeks lokasyonu (Index location)



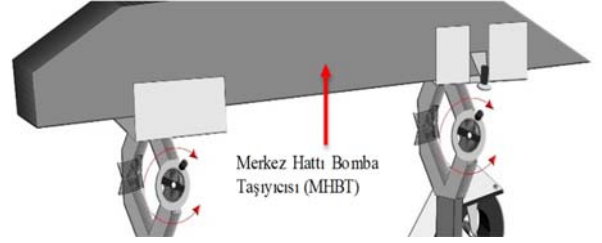
Şekil 12. Dairesel hareket yapan kaldırma kolları (Lifting arms with circular motion)



1) Çeki demiri 2) Sabitlenebilir otoyol tekerlek 3) Forklift yuvası 4) Opsiyonel tekerlek 5) Mafsallı kol 6) Dairesel hareket yapan kaldırma kolları 7) 45 derece açılı tekerlek 8) Alüminyum malzeme yerine galvanizli demir profil 9) İndeks yeri

Şekil 13. Yeni ekipman üzerinde çözüm önerilerinin gösterimi (Demonstration of solutions on new equipment)

MHBT'nin kollarının yarıklara yerleşmesi sayesinde MHBT'nin kısa mesafe taşıma esnasında sabit kalması diğer bir deyişle kayması önlenerek emniyetli bir taşıma gerçekleştirilebilecektir. Önerilen çözüm Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 11. Emniyetli taşıma (Transporting safely)

Dairesel hareket yapan kaldırma kolları sayesinde ekipman üzerinde ilave parça bulunmaması sağlanmış olacaktır. Şekil 12, önerilen dairesel çevirme kollarını gösterilmektedir.

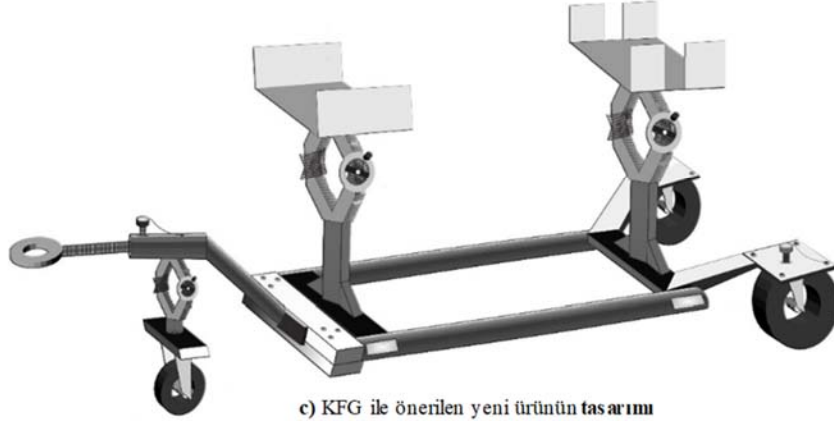
Yukarıda önerilen çözümler sayesinde yeni ürün tasarımı yapılmıştır. Kullanıcı beklentilerini karşılayacak olan 9 adet öneri Ar-Ge grubu tarafından ortaya konmuştur. Tüm öneriler dikkate alınarak geliştirilen yeni ürün ve öneriler Şekil 13’de verilmiştir. Şekil 14 ise KFG kullanımı ile önerilen yeni ürün tasarımı ile önceki ekipmanın karşılaştırılmasını vermektedir. Ar-Ge grubu tarafından bu çözümler her üç kullanıcı grubu ile paylaşılmış ve bu çalışma için katkılarının sonuca nasıl etki ettiği, somut olarak gösterilmiştir.



a) TRIZ öncesikullanılan ekipman (Altuntaş vd., 2017)



b) TRIZ çözümü ile önerilen ekipman (Altuntaş vd., 2017)



c) KFG ile önerilen yeni ürünün tasarımı

Şekil 14. KFG kullanımı ile önerilen yeni ürün tasarımı ile önceki ekipmanın karşılaştırılması
(Comparison of previous equipment with new product design suggested by QFD)

Tablo 10. Çözüm önerileri ve kullanıcı beklentileri karşılaştırması
(Comparison of recommendations for solution and user expectations)

No	Çözüm Önerileri	No	Kullanıcı Beklentileri
1	Çeki Demiri	1	Uzak mesafe taşınması kolay olsun İnsan gücü ile kaldırılmasına gerek duyulmasın Kullanım esnasında eğilmek zorunda kalınmasın
2	Sabitlenebilir otoyol tekerlek	2	Uzak mesafe taşınması kolay olsun Taşıma esnasında yengeç hareketi yapmasın Forklift ile kaldırılabilsin
3	Forklift yuvası	3	İnsan gücü ile kaldırılmasına gerek duyulmasın
4	Opsiyonel tekerlek	4	Taşıma esnasında yengeç hareketi yapmasın
5	Mafsal başlıklı kol	5	Kullanım esnasında eğilmek zorunda kalınmasın
6	Dairesel hareket yapan kaldırma kolları	6	Krikonun çevrilmesi daha kolay olsun
7	45 Derecelik açılı tekerlek	7	Tek parça olsun, ilave parça olmasın
8	Alüminyum malzeme yerine galvanizli demir profil	8	Krikoların çevrilmesi daha kolay olsun
9	İndeks yeri	9	Çevreye duyarlı olsun MHBT kısa mesafe taşıma esnasında kaymasın Üzerine koyulan MHBT ile entegre olsun

Böylece daha sonra yürütülebilecek muhtemel KFG uygulamalarında aynı bilinçle davranmaları konusunda altyapı oluşturulmuştur. Şekil 13'de verilen çözüm önerilerinin hangi kullanıcı beklentilerine çözüm olduğu Tablo 10'da ayrıntılı olarak verilmiştir. Bazı çözüm önerileri birden fazla kullanıcı beklentisini karşılamaktadır.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, askeri havacılık sektöründe bakım kolaylığı sağlayan ve uygulamada hâlihazırda kullanılmakta olan bir ekipmanın KFG ile geliştirilmesi amaçlanmıştır. Literatürde daha önce yaratıcı problem çözme teorisi (TRIZ) ile

geliştirilmiş olan bu ekipmanın kullanıcı görüşleri doğrultusunda yeniden tasarımı yapılmıştır. Bir sorun TRIZ ile çözüldüğünde iyi sonuçlar elde edildiği, ancak ergonomiklik, kullanım esnekliği, kullanıcı memnuniyeti gibi müşteri memnuniyetini artıran faktörlerin karşılanması için müşteri deneyimlerinden hareketle, yeni ürün tasarımının KFG ile gerçekleştirilebileceğine yönelik gerçek bir endüstriyel uygulama sunulmuştur.

Literatürde Altuntaş vd [2] tarafından F-16 savaş uçaklarının bakım operasyonlarında kullanılmak üzere yaratıcı problem çözme teorisi kullanılarak geliştirilen ekipman, müşteri sesi/istekleri dikkate alınmadan tasarlandığından; ekipmanın taşınması esnasında insan gücüne duyulan ihtiyacın fazlalığı, ekipmanın kullanımı esnasında ideal vücut duruşunu rahatsız etmesi, imalatında kullanılan malzemenin çevreye duyarlılığı ve kullanım zorluğu gibi çeşitli dezavantajlara sahiptir. KFG uygulaması sonrası, tasarım sürecine kullanıcı görüşleri yansıtılmış ve ekipmanın sahip olduğu söz konusu dezavantajları ortadan kaldıracak yeni bir ekipman tasarlanmıştır. Yeni ekipmanın, başka aparatlarla rahatça taşınabiliyor olması, kullanıcının uzun süre ekipmanla çalışması sonucu oluşabilecek bedensel rahatsızlıkları ortadan kaldırması, esnek bir tasarımın getirdiği kullanım kolaylığı ile yeni ekipmanın üretiminde kullanılan malzemenin çevreye duyarlı olması, yeni ekipmanın sahip olduğu önemli avantajlardır.

Bu çalışmada önerilen yeni ekipmanın havacılık sektöründe bakım kolaylığı sağlayacağı ve bakım operasyonlarında etkinliği ve verimliliği artıracığı düşünülmektedir. Önerilen yeni ekipmanın özellikle, askeri bakım operasyonlarını yürüten çalışanlar için ergonomik ve kullanım esnekliğine sahip olması nedeniyle bakım personelinin memnuniyetini de artırması beklenmektedir. Gelecekte, bu çalışmada önerilen ekipmanın üretiminin yapılarak uygulamada getirdiği somut faydaların tartışılacağı ve yeni çözüm önerilerinin geliştirileceği çalışmaların yapılması planlanmaktadır. Patent analizi kullanılarak, önerilen ekipmanın yeni özellikler ile geliştirilebileceği de düşünülmektedir. Bunlarla beraber, KFG ile önerilen yeni ürün tasarımının ölçü değerlerine burada yer verilmemiştir. Detaylandırılmış teknik çizimleri üzerinde çalışılmaktadır. Gelecek çalışmalarda, mevcut tasarımın teknik çizimlerinin yapılıp, üst yönetime teklife bulunulup onay alındıktan sonra üretime geçilmesi planlanmaktadır. Bunlarla birlikte, QFD ile Kano modelinin birlikte kullanımının müşteri ihtiyaç listesinin sınıflandırılabilirliği düşünülmektedir. Burada, kano modelinin sonuçlarına dayanılarak müşteri ihtiyaçlarındaki tatmin düzeyini arttıracak ve bu çalışmada önerilen ürünün daha inovatif bir tasarımın gerçekleştirilebileceği değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. SSM faaliyet raporu, Savunma Sanayii Müsteşarlığı 2015 Faaliyet Raporu, 2015.
2. Altuntaş, S., Dereli, T., Yılmaz, M.K., Ertürk, B., Demirbaş, A., Havacılık Sektöründe Bakım Kolaylığı için Yaratıcı Problem Çözme Teorisi Uygulamaları, Dokuz Eylül Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 19, (55), 211-228, 2017.
3. Yurdakul M., Özbay O., Tansel Y., İç, havacılık alanında kullanılan alüminyum alaşımlarının seçimi, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 17 (2), 1-23, 2002.
4. Shanmugam A., Robert T. P., Human factors engineering in aircraft maintenance: a review, Journal of Quality in Maintenance Engineering, 21 (4), 478-505, 2015.
5. Gerdes M., Scholz D., Galar D., Effects of condition-based maintenance on costs caused by unscheduled maintenance of aircraft, Journal of Quality in Maintenance Engineering, 22 (4), 394-417, 2016.
6. Russell S.G., The factors influencing human errors in military aircraft maintenance, International Conference on People in Control (Human Interfaces in Control Rooms, Cockpits and Command Centres), Bath, UK, 263 – 269, 1999.
7. Fogarty G.J., The role of organizational and individual variables in aircraft maintenance performance, International Journal of Applied Aviation Studies, 4 (1), 73- 90, 2004.
8. Moore T.D., Johnson A.W., Rehg M.T., Hicks M.J., Quality assurance staffing impacts in military aircraft maintenance units, Journal of Quality in Maintenance Engineering, 13 (1), 33-48, 2007.
9. Overholts I. I., Dale L., Bell J. E., Arostegui M. A., A location analysis approach for military maintenance scheduling with geographically dispersed service areas, Omega, 37 (4), 838–852, 2009.
10. Joo S-J., Scheduling preventive maintenance for modular designed components: A dynamic approach, European Journal of Operational Research 192 (2), 512–520, 2009.
11. Fan C-Y., Fan P-S., Chang P-C., A system dynamics modeling approach for a military weapon maintenance supply system, International Journal of Production Economics, 128 (2), 457–469, 2010.
12. Park W-J., Moon J-D., Changes in the mean hearing threshold levels in military aircraft maintenance conscripts, Archives of Environmental & Occupational Health, 71 (6), 347-352, 2016.
13. Cook, T.K., DiNicola R.C., Modeling Combat Maintenance Operations, In Proceedings of the 1984 Annual Reliability and Maintainability Symposium, San Francisco, CA, Jan. 24-26, 390-395, 1984.
14. Raivio T., Kuumola E., Mattila V.A., Virtanen Kai, Hämäläinen R. P., A simulation model for military aircraft maintenance and availability, ESM2001 15th European Simulation Multi Conference, Prague, Czech, 6.-9.6.2001.
15. Li L., Wang N., Ma L., Yang Q., Modeling method of military aircraft support process based SysML, The Proceedings of 2011 9th International Conference on Reliability, Maintainability and Safety, Guiyang, 1247-1251, 2011.
16. Charnes A., Clark C.T., Cooper W.W., Golany, B., A developmental study of data envelopment analysis in

- measuring the efficiency of maintenance units in the US Air Forces, *Annals of Operations Research*, 2 (1) 95–112, 1985.
17. Roll Y., Golany B., Seroussy D., Measuring the efficiency of maintenance units in the Israeli Air Force, *European Journal of Operational Research* 43 (2), 136–142, 1989.
 18. Sun S., Assessing joint maintenance shops in the Taiwanese Army using data envelopment analysis, *Journal of Operations Management* 22 (3) 233–245, 2004.
 19. Kozanidis G., Skipis A., Flight and Maintenance Planning of Military Aircraft for Maximum Fleet Availability: A Bi-objective Model, *Proceedings of International Conference on Multiple Criteria Decision Making*, 18, 1-11, 2006.
 20. Safaei N., Banjevic D., Jardine A. K. S., Workforce-constrained maintenance scheduling for military aircraft fleet: A case study, *Annals of Operations Research*, 186 (1), 295–316, 2011.
 21. Bajestani M.A., Beck J. C., Scheduling a dynamic aircraft repair shop with limited repair resources, *Journal of Artificial Intelligence Research*, 47, 35–70, 2013.
 22. Verhoeffa M., Verhagenb W.J.C., Curran R., Maximizing operational readiness in military aviation by optimizing flight and maintenance planning, *Transportation Research Procedia* 10, 941 – 950, 2015.
 23. Gavranis A., Kozanidis G., An exact solution algorithm for maximizing the fleet availability of a unit of aircraft subject to flight and maintenance requirements, *European Journal of Operational Research*, 242 (1), 631–643, 2015.
 24. Tsadikovich D., Levner E., Tell H., Werner F., Integrated demand-responsive scheduling of maintenance and transportation operations in military supply chains, *International Journal of Production Research*, 54 (19), 5798-5810, 2016.
 25. Ertogral K., Erkoc M., Ülker D.H., A production scheduling model and analysis for the maintenance repair and overhaul service providers, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30 (3), 513-522, 2015.
 26. Tunca M.Z., Bayhan M., Kalite fonksiyon geçerimi yönteminin tedarikçi seçiminde kullanımı, *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 11, 53-69, 2012.
 27. Göv, K., Experimental investigation of the effects of the coolant on the performance parameters of electrical discharge drilling of some aerospace materials, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32 (1), 293-301, 2017.
 28. Kılıç S., Kaçar İ., Öztürk F., New trend in aerospace industry: Al-Li based alloys, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 (1) 275-296, 2019.
 29. Saaty, T.L., *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York, A.B.D., 1980.
 30. Sivasamy, K., Arumugam, C., Devadasan, S. R., Muruges, R., Thilak, V.M.M., Advanced models of quality function deployment: a literature review, *Quality & Quantity*, 50,1399–1414, 2016
 31. Chen, L-H., Ko, W-C., Fuzzy approaches to quality function deployment for new product design *Fuzzy Sets and Systems*, 160 (18), 2620–2639, 2009.
 32. Kuo, T-C., Wu, H-H., Shieh, J-I., Integration of environmental considerations in quality function deployment by using fuzzy logic, *Expert Systems with Applications*, 36 (3), 7148–7156, 2009.
 33. Lin, L-Z., A perceptual measure of trade shows using fuzzy quality deployment development, *Expert Systems with Applications*, 37 (5), 3921–3933, 2010.
 34. Liu, H-T., The extension of fuzzy QFD: from product planning to part deployment, *Expert Systems with Applications*, 36 (8), 11131–11144, 2009.
 35. Ramasamy, N.R., Selladurai, V., Fuzzy logic approach to prioritise engineering characteristics in quality function deployment (FL-QFD), *International Journal of Quality & Reliability Management*, 21 (9), 1012–1023, 2004.
 36. Sen, C.G., Baracli, H., Fuzzy quality function deployment based methodology for acquiring enterprise software selection requirements, *Expert Systems with Applications*, 37, 3415–3426, 2010.
 37. Sener, Z., Karsak, E.E., A combined fuzzy linear regression and fuzzy multiple objective programming approach for setting target levels in quality function deployment, *Expert Systems with Applications*, 38 (4), 3015–3022, 2011.
 38. Vimal, K.E.K., Vinodh, S., Jayakrishna, K. Application of fuzzy QFD for improving the process sustainability characteristics: a case study, *International Journal of Services and Operations Management*, 32 (2), 173–201, 2019.
 39. Fargnoli, M., Lombardi, M., Haber, N., A fuzzy-QFD approach for the enhancement of work equipment safety: a case study in the agriculture sector, *International Journal of Reliability and Safety*, 12 (3), 306–326, 2019
 40. Akkawuttiwanich, P., Yenradee, P., Fuzzy QFD approach for managing SCOR performance indicators, *Computers & Industrial Engineering*, 122, 189-201, 2018.
 41. Koprivica, S.M., Filipovic, J., Application of Traditional and Fuzzy Quality Function Deployment in the Product Development Process, *Engineering Management Journal*, 30 (2), 98-107, 2018.
 42. Lee, Y.-C., Sheu, L.-C., Tsou, Y.-G., Quality function deployment implementation based on Fuzzy Kano model: an application in PLM system, *Computers & Industrial Engineering*, 55(1) 48–63, 2008.
 43. Chiou, C.C., Cheng, Y.S., An integrated method of Kano model and QFD for designing impressive qualities of healthcare service, *Proceedings of the 2008 Industrial Engineering and Engineering Management, IEEM, Singapore, January 6, 2008.*

44. Nordin, N., Razak, R.C., A conceptual Kano and quality function deployment (Qfd) framework for healthcare service, *International Journal of Business and Technopreneurship*, 1 (1), 173–187, 2011.
45. Ho, W., Dey, P.K., Lockstrom, M., Strategic sourcing: a combined QFD and AHP approach in manufacturing, *Supply Chain Management: An International Journal*, 16 (6), 446–461 (2011).
46. Ho, W., He, T., Lee, C.K.M., Emrouznejad, A., Strategic logistics outsourcing: An integrated QFD and fuzzy AHP approach, *Expert Systems with Applications* 39(12), 10841–10850, 2012.
47. Gupta, A.K., Modi, B.A., Selection of Sustainable Technology for VOC Abatement in an Industry: An Integrated AHP–QFD Approach, *Journal of The Institution of Engineers*, 99 (3), 565–578, 2018.
48. Ozdemir, Y., Alcan, P., Basligil, H. Cakrak, D., A hybrid QFD-AHP methodology and an application for heating systems in Turkey, *An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications*, 8(1), 117-126.
49. Liu, H-T., Wang, C-H., An advanced quality function deployment model using fuzzy analytic network process, *Applied Mathematical Modelling*, 34 (11), 3333–3351, 2010.
50. Zaim, S., Sevkli, M., Camgoz-Akdag, H., Demirel, O.F., Yayla, A.Y., Delen, D., Use of ANP weighted crisp and fuzzy QFD for product development, *Expert Systems with Applications*, 41, 4464–4474, 2014.
51. Fargnoli, M., Haber, N., A practical ANP-QFD methodology for dealing with requirements' inner dependency in PSS development, *Computers & Industrial Engineering*, 127, 536-548, 2019.
52. Bottani, E., Centobelli, P., Teresa Murino, and Ehsan Shekarian, A QFD-ANP Method for Supplier Selection with Benefits, Opportunities, Costs and Risks Considerations, *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 17(03), 911-939, 2018.
53. Chao, L.P., Ishii, K., Project quality function deployment, *International Journal of Quality & Reliability Management*, 21(9), 938–958, 2004.
54. Devadasan, S.R., Kathiravan, N., Thirunavukkarasu, V., Theory and practice of total quality function deployment: a perspective from a traditional pump-manufacturing environment. *The TQM Magazine*, 18 (2), 143–161 (2006).
55. Wu, W.Y., Qomariyah, A., Truong Sa, N.T., Liao, Y., The Integration between Service Value and Service Recovery in the Hospitality Industry: An Application of QFD and ANP, *International Journal of Hospitality Management*, 75, 48-57, 2018.
56. Gangurde, S. R., Patil, S.S., Benchmark product features using the KanoQFD approach: a case study, *Benchmarking: An International Journal*, 25 (2), 450-470, 2018.