



Sistem Odaklı Tasarım Yaklaşımı ile Yeni Bir Mühimmat Bırakma Sistemi Tasarımı

Oğuz YILMAZ^{1*} , Orhan ERDEN¹ 

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, 06500, Teknikokullar/ANKARA

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 25/04/2024
Düzeltilme: 29/07/2024
Kabul: 23/08/2024

Anahtar Kelimeler

Tasarım Metodolojisi
Kavramsal Tasarım
QFD
TRIZ
CAE
Biyomimetik

Article Info

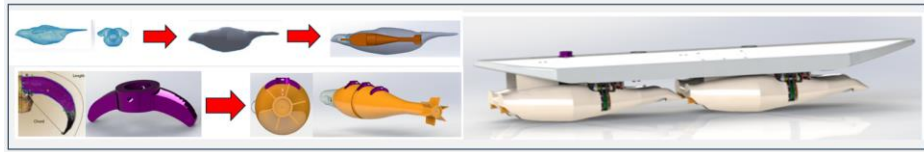
Research article
Received: 25/04/2024
Revision: 29/07/2024
Accepted: 23/08/2024

Keywords

Design Methodology
Conceptual Design
QFD
TRIZ
CAE
Biomimetics

Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

Sistem odaklı tasarım yaklaşımları kullanılarak insansız hava araçları için uygun arayüzde, mevcut sistemlerden farklı mühimmat bırakma sistemi geliştirilmiş ve yeni bir tasarım metodolojisi sunulmuştur. / Using system-oriented design approaches, an ammunition release system with a suitable interface for unmanned aerial vehicles and different from existing systems has been developed and a new design methodology has been presented.



Şekil A: Mühimmat bırakma sistemi / Figure A: Ammunition release system

Önemli noktalar (Highlights)

- Mühimmat bırakma sistemi için yeni bir tasarım metodolojisi geliştirme / Developing a new design methodology for ammunition release system
- Mühimmat bırakma sistemindeki aerodinamik kuvvet ve moment değerlerinin matematiksel hesaplamalarının gerçekleştirilmesi / Mathematical calculations of aerodynamic force and moment values in the ammunition release system
- Matematiksel hesaplamalar ile elde edilen aerodinamik kuvvetleri kullanılarak mühimmat bırakma sisteminin sonlu elemanlar analizlerinin gerçekleştirilmesi / Finite element analysis of the ammunition release system using aerodynamic forces obtained by mathematical calculations

Amaç (Aim): Bu çalışma, sistem odaklı tasarım yaklaşımları kullanarak insansız hava araçlarının arayüzüne uygun ve mevcut sistemlerden farklı, yerli bir mühimmat bırakma sisteminin geliştirilmesini amaçlamaktadır. / This study aims to develop a domestic ammunition release system that is suitable for the interface of unmanned aerial vehicles and different from existing systems by using system-oriented design approaches.

Özgünlük (Originality): Sistem odaklı tasarım yaklaşımı kullanılarak mühimmat bırakma sistemleri için yeni bir tasarım metodolojisi sunulmuştur. İlk kez Togan mühimmatına uygun mühimmat bırakma sisteminin geliştirilmiştir. / A new design methodology for ammunition release systems is presented using a system-oriented design approach. For the first time, an ammunition release system suitable for Togan ammunition has been developed.

Bulgular (Results): Geliştirilen tasarım metodolojisi ile parametrik tasarıma uygunluk, karar mekanizması bulundurma, yenilikçi problem çözme yöntemi kullanımı ve müşteri odaklılık kriterleri sağlanmıştır. Mühimmat bırakma sisteminde kompozit kabuk kullanımı ile aerodinamik verimlilik önemli ölçüde artmıştır. / With the developed design methodology, suitability for parametric design, having a decision mechanism, using innovative problem-solving methods and customer focus criteria have been provided. Aerodynamic efficiency has increased significantly with the use of composite shell in the ammunition release system.

Sonuç (Conclusion): Biyomimetik tasarım lensi ile aerodinamik yüklerle karşı daha kararlı ve mühimmat arayüzüne uygun tutucu mekanizması tasarlanmıştır. TRIZ (Yenilikçi Problem Çözme Teorisi) yöntemi kullanılarak montaj kolaylığı, düşük mekanizma hacmi elde edilmiştir. MVP (Minimum Uygulanabilir Ürün) metodu ile tasarım kriterlerine uygun, CAE (Bilgisayar Destekli Mühendislik) optimizasyonları kullanılarak ise optimum formda ve minimum ağırlıkta sistem geliştirilmiştir. / With the biomimetic design lens, a holder mechanism that is more stable against aerodynamic loads and suitable for the ammunition interface has been designed. TRIZ (Theory of Innovative Problem Solving) method was used to achieve ease of assembly and low mechanism volume. The MVP (Minimum Viable Product) method was used to develop a system that meets the design criteria and CAE (Computer Aided Engineering) optimizations were used to develop a system with optimum form and minimum weight.



Sistem Odaklı Tasarım Yaklaşımı ile Yeni Bir Mühimmat Bırakma Sistemi Tasarımı

Oğuz YILMAZ^{1*} , Orhan ERDEN¹

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, 06500, Teknikokullar/ANKARA

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 25/04/2024
Düzeltilme: 29/07/2024
Kabul: 23/08/2024

Anahtar Kelimeler

Tasarım Metodolojisi
Kavramsal Tasarım
QFD
TRIZ
CAE
Biyomimetik

Öz

Hava araçlarındaki mühimmatın bağlanması, taşınması ve bırakılması sağlayan askı ekipmanlarına, mühimmat bırakma sistemi adı verilmektedir. Bu sistem, hava araçlarının gövde ve kanat kısımlarında bulunduğu için minimum ağırlıkta olmalıdır. Mühimmat bırakma sistemleri, hava araçlarında kritik bir ekipman olması nedeniyle aerodinamik yüklerle dayanması gerekmektedir. Ayrıca sistem, mühimmatın çapına ve ağırlığına uyumlu olmalıdır. Bu çalışmada, sistem odaklı tasarım yaklaşımları kullanılarak yeni bir tasarım metodolojisi sunulmuştur. Geliştirilen bu yeni model, Pahl ve Beitz, Dieter ve Schmidt, Hurst'un tasarım metodolojisi, MVP, QFD, TRIZ, biyomimetik ve CAE (Bilgisayar Destekli Mühendislik) optimizasyon yaklaşımlarından oluşmaktadır. Çalışma sonucunda geliştirilen tasarım metodolojisi ile insansız hava araçları için tercih edilebilecek arayüzde ve mevcut sistemlerden farklı yeni bir yerli mühimmat bırakma sistemi oluşturulmuştur. Biyomimetik tasarım lensi kullanılarak mevcut sistemlere kıyasla aerodinamik yüklerle karşı daha kararlı ve mühimmat arayüzüne uygun tutucu mekanizması sağlanmıştır. TRIZ metodu kullanılarak montaj kolaylığı, düşük mekanizma hacmi elde edilmiştir. MVP metodu kullanılarak tasarım kriterlerine uygun, CAE optimizasyonları kullanılarak ise optimum formda ve minimum ağırlıkta sistem tasarlanmıştır. Teorik ve matematiksel olarak hesaplanan aerodinamik kuvvetler, sonlu elemanlar analizleri ile desteklenmiştir.

Design of A New Ammunition Release System with A System Oriented Design Approach

Article Info

Research article
Received: 25/04/2024
Revision: 29/07/2024
Accepted: 23/08/2024

Keywords

Design Methodology
Conceptual Design
QFD
TRIZ
CAE
Biomimetics

Abstract

Suspension equipment that enables the attachment, transportation, and release of ammunition on aircraft is called ammunition release system. Since this system is in the fuselage and wing parts of aircraft, it must have minimum weight. Since ammunition release systems are critical equipment in aircraft, they must withstand aerodynamic loads. In addition, the system must be compatible with the diameter and weight of the ammunition. In this study, a new design methodology is presented using system-oriented design approaches. This new model developed consists of the design methodology of Pahl and Beitz, Dieter and Schmidt, Hurst, MVP, QFD, TRIZ, biomimetic and CAE (Computer Aided Engineering) optimization approaches. With the design methodology developed as a result of the study, a new domestic ammunition release system, which has a preferable interface for unmanned aerial vehicles and is different from existing systems, has been created. By using a biomimetic design lens, a holder mechanism that is more stable against aerodynamic loads and suitable for the ammunition interface compared to existing systems has been provided. Ease of assembly and low mechanism volume are achieved by using the TRIZ method. The system was designed in accordance with the design criteria using the MVP method, and in optimum form and minimum weight using CAE optimizations. Theoretically and mathematically calculated aerodynamic forces were supported by finite element analyses.

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Silahlı insansız hava araçların (SİHA) ekonomiklik, savaş bölgesinden uzak kullanımı, güvenlik riski taşımaması gibi özellikleri, savunma sanayiinde yüksek kazanımlar sağlamaktadır. Bu sistemlerin

düşük hızlara sahip olması, başlangıçta dezavantaj olarak değerlendirilmektedir. Ancak, çok yüksek irtifalarda uzun süreli hedef takibi sayesinde istihbarat sağlama büyük bir avantajdır. Çatışma bölgesindeki küçük hareketlilikler, bu avantajlar sayesinde uzak menzillerde raporlanabilmektedir.

SİHA'ların savunma sanayiinde kullanımının giderek yaygınlaşması ile mühimmat bırakma sistemlerinin (MBS), SİHA'lara entegrasyonu günümüzde önemli bir araştırma konusu olmaktadır. Ülkelerin savunma sisteminde ve iç güvenliğin korunması amacı ile SİHA'ların kullanımı özellikle son on yıl içerisinde büyük bir gelişme göstermiştir. Birçok ülkenin savunma sanayii envanterinde farklı modelde ve tipte SİHA'lar mevcuttur. Bunlar keşif amaçlı özel savunma sanayii operasyonlarında, suç takiplerinde, ülke sınırları ve yer analizlerinde büyük ölçüde kullanılmaktadır. Bundan dolayı SİHA'larda kullanılan MBS'lerin boyutu, aerodinamik kararlılığı ve ağırlığı önem arz etmektedir. Yeni yapılan araştırmalar ile küçük ölçekli MBS'ler veya İHA'lar geliştirilmeye başlanmıştır. Belirtilen bu hava araçlarına, Songar adı verilen SİHA örnek olarak verilebilir [1, 2].

Dokuyucu, çalışmasında yerli bir mikro MBS geliştirmiştir. Sistemin geliştirme ve doğrulama faaliyetleri kapsamında çevresel testler (titreşim, sıcaklık, yağmur, şok, buzlanma, irtifa, nem ve ömür) gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, yerli MBS çevresel testleri başarılı şekilde tamamlamıştır [3]. Rickards ve arkadaşları çalışmasında İHA'lar için minyatür bir MBS tasarlanmıştır. Tigershark adı verilen İHA üzerine entegre edilen bir sistem ile kara kuvvetlerine daha fazla yardımcı olmayı hedeflemişlerdir [4].

Literatürdeki bu sistemler üzerine yerleştirilen her bir bileşen, sistemin karmaşıklığını arttırmakta ve mekanizmayı yavaşlatarak zaman kaybına yol açmaktadır. Bu sistemlerde hem uyarlanabilirliğin geliştirilmesi hem de sistem karmaşıklığından, zaman kaybından ödün verilmemesi arzu edilmektedir. Literatürde, MBS'lerde tutucu ayarı olmaması, İHA'lara uygun bir arayüz yapısı olmaması ve mühimmat bölmesi bulunmadığından dolayı, mühimmatın hedefe açık durumda olmasından farklı bir MBS'ye ihtiyaç duyulmaktadır. Mühimmat bölmesi, askeri hava araçlarının görev etkinliğini, operasyonel esnekliğini ve güvenliğini artıran kritik bir bileşendir. Bu bölme, hava araçlarının aerodinamik performansını korurken, mühimmatın güvenli, etkili bir şekilde taşınmasını ve serbest bırakılmasını sağlamaktadır. Bu nedenle, modern askeri hava araçlarında mühimmat bölmesi tasarımı ve kullanımı büyük önem taşımaktadır. Mühimmatın iç bölmede taşınması, hava aracının dış yüzeyinde ekstra çıkıntılar ve düzensizlikler oluşturarak hava direncini artırmamaktadır. Böylece daha düşük hava direnci ile hava aracının manevra kabiliyetini ve aerodinamik verimi

arttırmaktadır. Mühimmatın koruyucu bölme olmadan taşınması durumunda radar tarafından tespit edilebilirlik artmaktadır. Mühimmatın çevresel etkilerden korunması, güvenli, kontrollü bir şekilde serbest bırakılması ve gizlilik sayesinde beklenmedik saldırılar yapılabilmesine olanak sağlayarak MBS'lerin görev etkinliğini de arttırmaktadır [5, 6]. Ayrıca literatürde, sistemlerin mühimmatları tutucu kulplar kullanılarak taşıdığı ve bıraktığı tespit edilmiştir. Ancak TSK envanterindeki havan topu mühimmatlarında taşıyıcı kulak yapısı olmadığından bu tip mühimmatlar için farklı bir sistem tasarımı gerekmektedir. [7-11]. Bu ihtiyaçlara çözüm sunabilmek amacı için farklı yöntemlerden faydalanılmış, böylece tüm çözümleri kapsayan yeni bir tasarım metodolojisi (TM) sunulmuştur.

TM, temel problemi tanımlayan tasarım özetinin oluşturulması, fonksiyon yapılarının kurulması, alt fonksiyonları gerçekleştiren çalışma prensiplerini belirleme, çalışma prensipleri, yapıların entegrasyonu, uygun kombinasyonların seçimi, çözüm çeşitlerinin güçlendirilmesi, teknik, ekonomik kriterlere göre değişkenlerin değerlendirilmesi ve çözümün oluşturulması aşamalarını içermektedir [12-14]. Literatürde kavramsal tasarımlar (KT) gerçekleştirilirken kullanılan yöntemler tespit edilmiş ve listelenmiştir. KT çalışmaları ile ilgili özetlenen bilgiler, farklı bakış açılarına ve önemli başlıklara göre Tablo 1'de listelenmiştir. Tablo 1'de bulunan her bir başlık, kritik bir soruyu cevaplayacak şekilde düşünülmüştür. Önerilen TM sırası ile; "(1) Hangi özel araçları veya metodolojileri kullanmaktadır? (2) Parametrik tasarıma uygun mu? (3) Karar mekanizması var mı? (4) Yenilikçi problem çözme metodu veya biyomimetik kullanım var mı? (5) Müşteri odaklı mı?" sorularına yanıt aranmıştır. Tablo 1'de görüldüğü üzere yapılan KT çalışmalarının hiçbiri belirlenen kriterleri sağlamamaktadır. Henüz tam olarak bu amaçları yerine getirecek KT yaklaşımı veya metodolojisi tespit edilmemiştir. Bu çalışmada belirtilen çözümlerin gerçekleştirilebilmesi için farklı yöntemlerden faydalanılmış ve bu sayede tüm çözümleri kapsayan yeni bir TM sunulmuştur.

Geliştirilen TM'de Pahl ve Beitz ile Dieter ve Schmidt'in kavramsal tasarım metodu kullanılmıştır. Parametrik tasarıma uygunluk CAE (Bilgisayar Destekli Mühendislik) optimizasyonları kullanılarak sağlanmıştır. Karar verme mekanizmasında ise amaçlar ağacı ve değerlendirme çizelgelerinden faydalanılmıştır. Karşılaşılan problemlerin çözümünde TRIZ (Yenilikçi Problem Çözme Teorisi) ve biyomimetik

tasarım lensi kullanılmıştır. Son olarak müşteri odaklı olma kriteri, QFD (Kalite Fonksiyon Dağılımı) ve MVP (Minimum Uygulanabilir Ürün) metodları kullanılarak sağlanmıştır.

Tablo 1. Literatürdeki kavramsal tasarımların analizi (Analysis of conceptual designs in the literature)

Çalışma	Özel araçlar veya kullanılan metodoloji	Parametrik tasarıma uygunluk	Karar mekanizması	Yenilikçi problem çözme	Müşteri odaklılık
Yaldız [15]	YM	Hayır	Evet	Hayır	Hayır
Mayda ve ark. [16]	P&B, QFD, TRIZ, SysML	Hayır	Evet	Evet	Kısmi
Bozdemir ve ark. [17]	YZ	Hayır	Evet	Hayır	Hayır
Parlar ve ark. [18]	KS, anketler	Hayır	Evet	Hayır	Kısmi
Börklü ve ark. [19]	P&B	Hayır	Kısmi	Hayır	Hayır
Avinç ve ark. [20]	HTY	Evet	Hayır	Hayır	Hayır
Delibaş [21]	TRIZ, QFD	Hayır	Hayır	Evet	Kısmi
Yüksel ve ark. [22]	P&B, QFD, DM	Hayır	Kısmi	Hayır	Evet
Özdoğan ve ark. [23]	BS, BM, anketler	Hayır	Hayır	Evet	Kısmi
Mayda ve ark. [24]	P&B, TRIZ	Hayır	Kısmi	Evet	Hayır
Keskinkılıç [25]	D&S, FL, YSA	Evet	Evet	Hayır	Hayır
Zhang ve ark. [26]	QFD, HTEA	Hayır	Hayır	Hayır	Kısmi
Bu çalışma	P&B, D&S, QFD, MVP, TRIZ, BM, CAEO	Evet	Evet	Evet	Evet

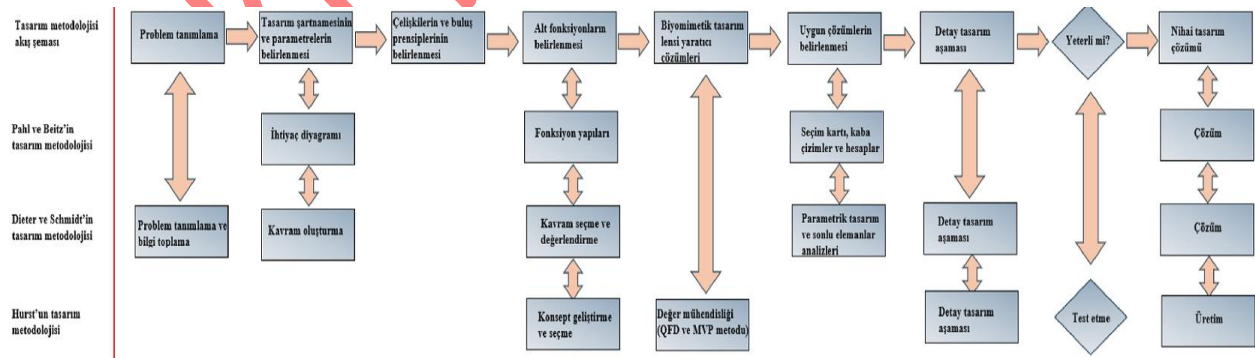
Kısaltmalar: YM: Yaprak Modeli, P&B: Pahl ve Beitz'in tasarım metodu, QFD: Kalite Fonksiyon Yayılımı, YZ: Yapay Zeka, KS: Konstrüksiyon Sistematiği, HTY: Hesaplamalı Tasarım Yöntemleri, BS: Biyosüreç, BM: Biyomimetik, D&S: Dieter ve Schmidt'in tasarım metodu, FL: Bulanık Mantık, YSA: Yapay Sinir Ağları, HTEA: Hata Türü ve Etki Analizi, CAEO: Bilgisayar Destekli Optimizasyon

2. MATERYAL VE METOD (MATERIALS AND METHODS)

2.1. Tasarım Metodolojisi (Design Methodology)

MBS için geliştirilen yeni TM'nin şematik anlatımı Şekil 1'de belirtilmiştir. TM, aşağıda akış sırasına göre ana hatlarıyla tanıtılmıştır. Her adımda, hangi yöntemler kullanılarak ilerleneceği belirtilmiştir. Geliştirilen TM'de Pahl ve Beitz, Dieter ve Schmidt, Hurst'un tasarım modelleri esas alınmıştır.

Öncelikle problem tanımlanmıştır. Tasarım şartnamesi, tasarım parametreleri, TRIZ yöntemi ile çelişkiler ve buluş prensipleri belirlenmiş, alt fonksiyonlar oluşturulmuştur. Hurst'un tasarım modelinde kullanılan MVP yaklaşımı ve QFD yöntemleri kullanılmıştır. Daha sonra ise yaratıcı çözümlerden optimum olanları tespit etmek için ön değerlendirmelerden ve biyomimetik tasarım lensinden faydalanılmıştır. Uygun çözümler, sonlu elemanlar yöntemi ile mekanik ve parametrik analizler ile desteklenerek nihai duruma gelmiştir.



Şekil 1. Geliştirilen tasarım metodolojisinin şematik anlatımı (Schematic description of the developed design methodology)

2.2. Problemin Tanımlanması (Identification of the Problem)

Problemin tanımlanması aşamasında literatürdeki MBS'ler ve sistemin eksiklikleri taranmıştır. Literatür taraması sonucunda, MBS'lerin tutucu ayarı, İHA'lara uygun arayüz yapısı olmadığı ve

mühimmat bölmesi olmadığından, hedefe açık durumda bulunduğu belirlenmiştir. Ayrıca literatürde, sistemlerin mühimmatları tutucu kulplar kullanılarak taşıdığı ve bıraktığı tespit edilmiştir. Ancak TSK envanterindeki havan topu mühimmatlarında taşıyıcı kulak yapısı

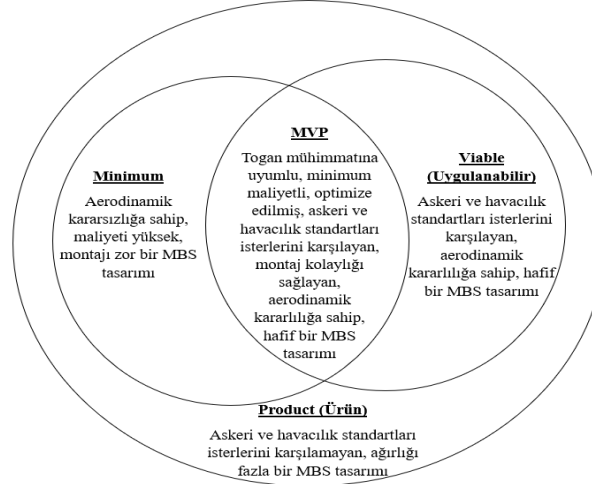
olmadığından bu tip mühimmatlar için farklı bir sistem tasarımına ihtiyaç duyulmaktadır. [7-11]. Bu çalışmada mühimmat olarak Togan mühimmatı kullanılmıştır.

2.3. Tasarım Şartnamesi ve Parametrelerin

Belirlenmesi (Determination of Design Specifications and Parameters)

Problemin tanımlaması yapıldıktan sonra tasarım şartnamesi ve tasarım parametreleri belirlenmiştir. Bu aşamada MVP yaklaşımı ve QFD diyagramları kullanılmıştır. TM'nin bu aşamasında geliştirilecek

olan MBS'lerin tasarım ve müşteri istekleri doğrultusunda en verimli ürünün nasıl ortaya konulması gerektiği kararlaştırılmıştır. MBS'de optimum ürünü geliştirebilmek için MVP yaklaşımı kullanılmıştır. MVP yaklaşımı kullanılarak çekirdek özellikleri barındıran, kullanıcı geribildirim ile test edebileceğimiz ürünün ortaya konulması hedeflenmiştir. Şekil 2'de ise bu çalışmada geliştirilecek MBS için MVP şeması verilmiştir.



Şekil 2. Sistemin MVP şeması (MVP diagram of the system)

Askeri ve havacılık standartlarını sağlamayan, ağırlığı fazla bir sistem tasarımı product (ürün), literatüre taraması yapılmadan geliştirilmiş ürünü göstermektedir. Aerodinamik kararsızlığa sahip, maliyeti yüksek, montajı zahmetli bir sistem tasarımı, minimum yani tercih edilmeyecek ürünü temsil etmektedir. Askeri ve havacılık standartlarına uygun, yüksek aerodinamik kararlılıkta, hafif bir MBS tasarımı, viable (uygulanabilir) yani geliştirmek istediğimiz ideal kalitedeki ürünü belirtmektedir. Togan mühimmatına uyumlu, minimum maliyette, optimum tasarımda, askeri, havacılık standartlarına uygun, kolay montajlanabilen, yüksek aerodinamik

kararlılıkta, hafif bir sistem tasarımı ise minimum+viable çekirdek özelliklerini barındıran en verimli ürünü belirtmektedir.

MBS'nin QFD matrisi ise Şekil 3'te yer almaktadır. QFD matrisi, ürün fonksiyonları ile bileşenler arasındaki ilişkiyi ve müşterilerin benzer özelliklerdeki rakip ürünü nasıl değerlendirdiklerine ilişkin verilerin özetini ortaya koymaktadır. Bunlara ek olarak matriste, özellikler ile tasarım parametreleri (bileşenler) arasındaki korelasyon da gösterilmektedir. MBS, QFD diyagramında belirtilen özellikler ve korelasyonlar göz önünde bulundurularak geliştirilmiştir.

Özellik / Bileşen	Ana Gövde	Tahrik ünitesi	Bağlantı Ünitesi	Kelepçe Ünitesi	Ön ve Arka İtici Ünitesi	Klemens kutusu	Müşteri Derecelendirmesi	Rakip Derecelendirmesi	Şirket Derecelendirmesi
Askeri standartlara uygunluk	▲	▲	▲	▲	▲	▲	5	3	5
Yüksek aerodinamik kararlılık	▲			▲			5	4	5
Estetik görünüm	●	●	●	●	●	●	4	2	3
Montaj kolaylığı	▲		▲	▲	●		3	3	3
Güvenli kullanım		▲					4	3	2

Güçlü ilişki (▲) Normal ilişki (●) Zayıf ilişki (■)

Şekil 3. QFD matrisi (QFD matrix)

2.4. Çelişkilerin ve Buluş Prensiplerinin Belirlenmesi (Identification of Contradicts and Invention Principles)

MBS'deki teknik çelişkilerin ve buluş prensiplerinin belirlenmesi aşamasında TRIZ yöntemlerinden faydalanılmıştır. TRIZ yöntemi, çelişkilere odaklanan analizlerdir. Teknik çelişki içeren sistemlerde, çelişkinin ortadan kaldırılması, buluş yapma sürecinde ilk adımdır. Bu kapsamda, problemleri tespit etmek, sistemdeki çelişkileri

belirlemek ve bu çelişkileri 39 çelişki tablosuyla ilişkilendirmek önemli bir aşamadır. Çözüm için öncelikle teknik ve fiziksel çelişkiler TRIZ parametrelerine dönüştürülmüştür. Daha sonra bu parametreler çelişki matrislerinde eşleştirilmiştir. Tavsiye edilen buluş prensipleri değerlendirildikten sonra probleme uygun olan çözümler seçilmiştir. Şekil 4'te MBS çelişki analizleri ve buluş prensipleri verilmiştir. Sistemde tespit edilen teknik ve fiziksel çelişkiler Şekil 5'te belirtilen buluş prensipleri kullanarak çözümlenmiştir.

Gelişen Özellik Sistemde geliştirilmesi düşünülen taraf	Kötüleşen Özellik Sistemde geliştirilmesi düşünülen taraf gelişirken bozulan taraf	39x39 Çelişki matrisinden okunan prensipler ve çözüm fikirleri	40 Prensipten seçilen şifrelere göre önerilen çözümler
Mukavemet Salan sistemi askeri standartlarda olması için daha dayanıklı parça elde edilecektir. Teknik Çelişki parametresi #14	Hareketli cismin (mekanizmanın) ağırlığı Yüksek mukavemetli parça aynı zamanda parçanın ağırlık ve hacmini arttıracaktır. Teknik Çelişki parametresi #1	1.Parçalara ayırma 8. Denge ağırlığı 15. Dinamiklik 40.Kompozit malzeme	40.Tek çeşit yerine daha hafif ve dayanımı yüksek kompozit malzeme kullanılabilir.
Nesnenin yapısal kararlılığı Salan mekanizmasındaki kancaların hem kendi kendine kapanması hem de manevra sırasında kararlılığının bozulmaması istenmektedir. Teknik Çelişki parametresi #13	Otomasyon seviyesi Kararlı sistemler kullanılarak otomasyon seviyesi kötüleşmektedir. Teknik Çelişki parametresi #38	1.Parçalara ayırma 8. Denge ağırlığı 35. Fiziksel ya da kimyasal durum değişikliği	1.Parçalara ayırma şifresi ile farklı bir kelepçe yapısı ile sistem karışıklığı azaltılabilir.
Uyarlanabilirlik Mekanizmanın, hava aracının farklı manevralarına karşılık başarıyla çalışması ve sistemin dışındaki değişimlere olumlu yanıt vermesi istenmektedir. Teknik Çelişki parametresi #35	Zaman Kaybı Sistem üzerine yerleştirilen her bileşen, cihaz karmaşıklığını arttırmakta ve mekanizmanın daha yavaş çalışmasına neden olduğundan dolayı zaman kaybı oluşturmaktadır. Teknik Çelişki parametresi #25	28. Mekanik sistemin değiştirilmesi 35. Fiziksel ya da kimyasal durum değişikliği	28. Mekanik sistemin değiştirilmesi ile farklı bir sistem tasarımına gidilmelidir.
Uyarlanabilirlik Mekanizmanın, hava aracının farklı manevralarına karşılık başarıyla çalışması ve sistemin dışındaki değişimlere olumlu yanıt vermesi istenmektedir. Teknik Çelişki parametresi #35	Cihaz karmaşıklığı Sistem üzerine yerleştirilen her bileşen, cihaz karmaşıklığını arttırmaktadır. Teknik Çelişki parametresi #36	15. Dinamiklik 28. Mekanik sistemin değiştirilmesi 29. Hidrolik ve pnömatik yapılar 37. Termal genişleme	29. Hidrolik veya pnömatik yapılar kullanımı ile cihaz karmaşıklığı optimize edilebilir.
Sabit nesnenin hacmi İstenen mühimmatın bırakılması için hacim artışı gereklidir. Teknik Çelişki parametresi #8	Gerilim basınç Yüksek hacim titreşimi arttıracağından gerilme değerleri yükselecektir. Teknik Çelişki parametresi #11	24.Aracılık 35. Fiziksel ya da kimyasal durum değişikliği	24.Kelepçe sistemi ile mühimmat arasına aracı bir malzeme kullanılabilir.

Şekil 4. Çelişki analizleri ve buluş prensipleri (Contradiction analysis and invention principles)

No	Yaratıcı Prensipler	No	Yaratıcı Prensipler	No	Yaratıcı Prensipler	No	Yaratıcı Prensipler
01	Bölümlenme	21	Hızlı Hareket	11	Öncü Önlem	31	Gözenekli Malzeme
02	Ayırma	22	Zararı Faydaya Çevirme	12	Eşit Potansiyel	32	Renk Değiştirme
03	Kısmi Kalite	23	Geri besleme	13	Ters Eylem	33	Homojenlik
04	Asimetri	24	Aracılık	14	Yuvarlama	34	Atılan ya da Değiştirilen Parçalar
05	Kombinasyon	25	Self – Servis	15	Dinamiklik	35	Fiziksel ya da Kimyasal Durum Değişikliği
06	Evrensellik	26	Kopyalama	16	Kısmi Fazlalık	36	Faz dönüşümü
07	Yuvalama	27	Ucuz ve Kısa Ömürlü Cisimler Kullanma	17	Yeniden Boyutlama	37	Isıl Genleşme
08	Karşı Ağırlık	28	Mekanik Sistemin Yerine Koyma	18	Mekanik Titreşim	38	Güçlü Okside Ediciler Kullanma
09	Öncü Karşıt Eylem	29	Pnömatik ve Hidrolik Yapılar Kullanma	19	Periyodik Eylem	39	Durağan Çevre
10	Öncü Eylem	30	İnce Film ya da Zar	20	Yararlı Bir Eylemin Sürekliliği	40	Kompozit Malzeme

Şekil 5. 40 buluş prensipleri (40 principles of invention)

2.5. Alt Fonksiyonların ve Tasarım Seçeneklerinin Belirlenmesi (Determination of Sub-Functions and Design Options)

Sistemdeki alt ve genel tasarımları gerçekleştirebilmek için “(1) Sistem tahriği nasıl sağlanıyor? (2) Farklı mühimmat çaplarına uygunluk nasıl olmalıdır? (3) Askeri standartlara nasıl uygun olmalıdır? (4) Aerodinamik yükler nasıl daha fazla dayanıklı olabilir? (5) Minimum ağırlıkta nasıl tasarlanabilir?” sorularının cevapları aranmıştır. Şekil 6'da askeri MBS tasarımı için belirtilen sorular cevaplanmış ve şematik olarak ifade edilmiştir. Ayrıca MBS'nin tasarım

varyasyonları ve ön değerlendirmeler de sunulmuştur. Ön değerlendirme aşamasında belirlenen 5 farklı tasarım çözüm seçeneği seçim kartındaki işlev uyumu, ihtiyaç listesini karşılama, prensip olarak yapılabilirlik, makul maliyet, emniyet, müşteri odaklılık ve yeterli bilgi gibi kriterler kullanılarak tek tek değerlendirilmiştir. Ön değerlendirme seçim kartı kullanımı sonucunda belirlenen altı seçenek 3 seçeneğe düşürülmüştür. Seçilen bu 3 seçeneğin sistem kombinasyonları 1.3-2.1-3.3-4.2-5.1-6.1-7.2-8.3, 1.3-2.1-3.1-4.1-5.2-6.3-7.3-8.2 ve 1.2-2.1-3.2-4.3-5.3-6.2-7.1-8.1 olmuştur. Seçim yapılan bu çözümlere göre KT'ler geliştirilmiştir.

Alt fonksiyonlar	Çözümler	Tasarım seçenekleri		
		1.çözüm	2. çözüm	3. çözüm
Tahrik sistemi	Pnömatik	Pireteknik	Elektromanyetik	
Sinyal ve kontrol sistemi	PCB kart	Ağ kullanımı	Manuel	
Tutucu sistemi	Kuş pençesi ilhamı	Gecko ayağı ilhamı	Çift tırnaklı tutucu	
Keleçe sistemi	Yaylı ayarlı sistem	Tutucu içeren kompakt sistem	Keleçe sistemi yerine yalnızca tutucu sistem	
Havacılık standartlarına uygunluk	Düşük sıcaklıklar için termal kart ısıtıcı	Titreşim sönmüleyici aracı malzeme kullanımı	Ek gövde desteği	
Sistem kararlılığı	Uzatılmış ek tutucu desteği	Gövde optimizasyonu	Kompozit kabuk	
Sistem karmaşıklığı	Çift piston kullanımı	Yanal yönlü piston hareketi	Dikey yönlü piston hareketi	
Ağırlık	Paslanmaz çelik malzeme	Kompozit malzeme	Alüminyum malzeme	

SEÇİM KARTI		KARAR	
SEÇİM KARTI Çözüm varyantları (Çv) değerlendirilir		KARAR Çözüm varyantlarını işaretler (Çv)	
(+) Evet (-) Hayır (?) Bilgi yetersiz (!) Tanımı kontrol et Tüm işlevle uyumlu		(+) Çözümü sürdür. (-) Çözümü elimine et. (?) Bilgi topla çözümü tekrar değerlendir.	
Sartname isteklerini karşıla		Müşaade edilebilir maliyet	
Prensipite gerçekleştirilebilirlik		Emniyet şartlarını doğrudan karşılar	
Müşaade edilebilir maliyet		Tasarımcı şirketince tercih edilir.	
Emniyet şartlarını doğrudan karşılar		Yeterli bilgi	
Tasarımcı şirketince tercih edilir.		İşaretler (niyetler, sebepler)	
Çv	A B C D E F G	Karar	
Çv 1	+ + + + ? ! +	Yeterli mukavemeti sağlama konusunda zayıf olabilir.	
Çv 2	+ - - + ? ! +	PCB kart olmaması işlevi zorlaştırabilir.	
Çv 3	+ + + - + + +	Maliyet fazla olabilir.	
Çv 4	+ - - ! ? ! +	Sistem kararlılığı düşük olabilir.	
Çv 5	+ + - + + + +	İstenen ağırlık değeri sağlanamayabilir.	

Şekil 6. Alt fonksiyonlar ve çözümleri, tasarım seçenekleri, ön değerlendirme (Sub-functions and solutions, design options, preliminary consideration)

2.6. Biyomimetik Tasarım Lensi Yaratıcı

Çözümleri (Biomimetic Design Lens Creative Solutions)

Yaratıcı çözümler, biyomimetik tasarım lense uygulaması kullanılarak elde edilmiştir. Şekil 7'de görülen tasarım stratejisi bileşenleri TM'ye dahil edilmiştir. Tasarım lense uygulamasından önce

belirlenen konu ele alınmıştır. Böylece geliştirilecek ürün, sürdürülebilir kazanımlar, konunun biyomimetik yaşam prensibindeki karşılığı detaylı olarak açıklanmıştır. Ayrıca, biyomimetik tasarım lense kullanılarak yaşam prensipleri de incelenmiştir. Tablo 2 ve Tablo 3'te bu çalışmada için tasarım eylemi ve yaşam prensipleri aşamaları verilmiştir.



Şekil 7. Tasarım stratejisi a) Tasarım eylemi b) Yaşam prensipleri [27] (Design strategy a) Design action b) Life principles)

Tablo 2. Tasarım eylemi (Design action)

Ürün	Gökdoğan kuşu, kel kartal pençesinden esinlenilmiş bir MBS
Sürdürülebilir Kazanımlar	Aerodinamik yüklere uyumluluk, daha verimli uçuş desteği, tutuş kabiliyeti
Esın Kaynağı	Form ve ekosistem
Yaşam Prensibindeki Karşılığı	Değişken koşullara uyum sağlamak, hayatta kalmak için evrilme

Geliştirilen sistemin, değişken yüklere karşı dayanıklı olması ve mühimmat tutuşunun zorlu hava koşullarına karşı rijit olması gerekmektedir. Literatür araştırmaları sonucunda kel kartal pençesi formunun, sistem tasarımına entegre edilmesi ile mühimmat tutuşunda iyileşme sağlanmıştır. Bu sayede mühimmat değişken hava şartlarında

aerodinamik yükler altında daha rijit kalabilmektedir. Gökdoğan kuşunun en hızlı kuş olmasından dolayı ise gövde formu, kompozit kabuk tasarımına dahil edilmiştir. Böylece değişken yüklere karşı dayanıklılık ve aerodinamik kararlılık sağlanmıştır.

Tablo 3. Çalışmanın yaşam prensipleri (Life principles of work)

1.Değişen Koşullara Uyum Sağla Mevcut Kullanıma Alternatif	Yok olan kaynaklar ve sektördeki rekabet endüstriyi daha verimli ve daha özellikli ürünler için zorlamaktadır.
2. Hayatta Kalmak İçin Evril Doğaya Bakış	Zorlu hava koşullarında hayatta kalabilmek için bu sistem kullanılabilir.
3.Kaynakları Verimli Kullan Sürdürülebilir	Gökdoğan kuşu ve kel kartal pençesi ile verimli bir sistem tasarlanmıştır.
4.Gelişime Büyüme ile Adapte Ol Endüstriye Uyum	Zorlu hava koşullarına ve tutuş özelliklerine uyum sağlanmıştır.

2.7. Sonlu Elemanlar Çözümlemesi için Aerodinamik Kuvvetlerin Belirlenmesi

(Determination of Aerodynamic Forces for Finite Element Analysis)

MBS'nin aerodinamik kuvvetlerinin tahkiki ve tasarım kriterlerinin belirlenmesi aşamalarında MIL-STD-8591, MIL-STD-8591H ve MIL-STD-2088A standartları referans alınmıştır. MIL-STD-8591 standardı, MBS'lerdeki genel yapısal ve mekanik tasarım kriterlerini belirtmektedir. MIL-STD-8591H standardı, MIL-STD-8591H'nin bir ekidir ve MBS'lerdeki diğer ayrıntıların tasarımı, analizi ve testine ilişkin genel kriterleri içermektedir. MIL-STD-2088A standardı ise MBS'lerde mühimmatın taşınması, bırakılmasına yönelik genel kuralları ve kriterleri belirtmektedir. Geliştirilen tasarım, yükleme koşullarından kaynaklanan kuvvet ve momentleri destekleyecek mukavemete sahip olmalıdır [28]. MIL-STD-8591H Ek-B ve Ek-D bölümünde belirtilen atalet yükleri ve maksimum reaksiyon kuvvetleri, geliştirilen MBS'ye entegre edilerek hesaplanmıştır. Ampirik formüller ve hesaplamalar bu bölümde açıklanmıştır. Daha sonra ise elde edilen kuvvet değerleri sonlu elemanlar analizine entegre edilmiş ve maksimum gerilme değerleri tespit edilmiştir. Bu çalışmada, İHA sistemlerinde kullanılabilirliği, MBS'lere uyumlu olması, NATO 81 mm havanların eşdeğeri olarak kullanılabilirliği, maksimum 45 kg kütlede olması, yeni geliştirilen bir mühimmat olması, düşük maliyetli olması ve havadan karaya havan mühimmatı olması sebebiyle Togan mühimmatı kullanılmıştır.

Aerodinamik kuvvet denklemlerinde atalet yükleri, hava aracının performans kabiliyetleri ve mühimmatın hava aracı üzerindeki konumu hakkındaki bilgiler referans alınarak belirlenmektedir. Yük faktörleri, aşağıdaki ve Tablo 4 ve Tablo 5'te verilen ilişkiler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\Delta X = X_{mühimmatc.g} - X_{ihac.g} \quad (1)$$

$$\Delta Y = Y_{smühimmatc.g} - Y_{ihac.g} \quad (2)$$

$$\Delta Z = Z_{mühimmatc.g} - Z_{ihac.g} \quad (3)$$

Yük faktörü denklemleri:

$$n_x = -a_x + \frac{1}{g} [\dot{\omega}_z \Delta Y - \dot{\omega}_y \Delta Z + (\omega_y^2 + \omega_z^2) \Delta X - (\dot{\omega}_x \dot{\omega}_y) \Delta Y - (\dot{\omega}_x \dot{\omega}_z) \Delta Z] \quad (4)$$

$$n_y = -a_y + \frac{1}{g} [\dot{\omega}_x \Delta Z - \dot{\omega}_z \Delta X + (\omega_x^2 + \omega_z^2) \Delta Y - (\dot{\omega}_x \dot{\omega}_y) \Delta X - (\dot{\omega}_y \dot{\omega}_z) \Delta Z] \quad (5)$$

$$n_z = -a_z + \frac{1}{g} [\dot{\omega}_y \Delta X - \dot{\omega}_x \Delta Y + (\omega_y^2 + \omega_x^2) \Delta Z - (\dot{\omega}_x \dot{\omega}_z) \Delta X - (\dot{\omega}_y \dot{\omega}_z) \Delta Y] \quad (6)$$

Kuvvet denklemleri:

$$P_{xatalet} = n_x W_s \quad (7)$$

$$P_{yatalet} = n_y W_s \quad (8)$$

$$P_{zatalet} = n_z W_s \quad (9)$$

Moment denklemleri:

$$M_{xatalet} = -I_{xx} \ddot{\omega}_x + (I_{yy} - I_{zz}) \dot{\omega}_y \dot{\omega}_z + I_{yz} (\dot{\omega}_y^2 - \dot{\omega}_z^2) + I_{xz} (\ddot{\omega}_z + \dot{\omega}_x \dot{\omega}_y) + I_{xy} (\dot{\omega}_y - \dot{\omega}_x \dot{\omega}_z) \quad (10)$$

$$M_{yatalet} = -I_{yy} \ddot{\omega}_y + (I_{zz} - I_{xx}) \dot{\omega}_x \dot{\omega}_z + I_{xz} (\dot{\omega}_z^2 - \dot{\omega}_x^2) + I_{xy} (\ddot{\omega}_x + \dot{\omega}_y \dot{\omega}_z) + I_{yz} (\dot{\omega}_z - \dot{\omega}_x \dot{\omega}_y) \quad (11)$$

$$M_{zatalet} = -I_{zz} \ddot{\omega}_z + (I_{xx} - I_{yy}) \dot{\omega}_x \dot{\omega}_y + I_{xy} (\dot{\omega}_x^2 - \dot{\omega}_y^2) + I_{yz} (\ddot{\omega}_y + \dot{\omega}_x \dot{\omega}_z) + I_{xz} (\ddot{\omega}_x - \dot{\omega}_y \dot{\omega}_z) \quad (12)$$

Maksimum reaksiyon kuvvetleri hesaplanırken ise X-Y, Y-Z ve X-Z olmak üzere her üç düzlemde de statik denge $\Sigma F_i = 0$ ve $\Sigma M_i = 0$ denklemleri çözümlenmiştir. Tablo 5'teki süperpozisyon ilkesi ve kuvvet, moment kombinasyonları ve Şekil 8'de belirtilen MIL-A-8591H standardının şematik açıklamaları kullanılarak aşağıdaki denklemler türetilmiştir.

Ön sağ veya sol salınım destekleri için denklemler:

$$s_y = s_z \tan \epsilon \quad (13)$$

$$s_z = AP_x + BP_y + CP_z + DM_x + EM_y + FM_z \quad (14) \quad \text{Arka sağ veya sol salınım destekleri için denklemler ise:}$$

$$s = s_z / \cos \epsilon \quad (15) \quad A = l_5/2 (s_2 + l_1) + l_3 / \tan \epsilon; B = s_1 l_5 / sk; C = (s_1/s)(0.5 + l_3/k); \quad (19)$$

Buradan;

$$A = l_5/2 (s_1 + l_2) + l_3 / \tan \epsilon; B = s_2 l_5 / sk; \quad (16) \quad D = s_1 / sk; E = 0.5(s_2 + l_1); \quad (20)$$

$$C = (s_2/s)(0.5 + l_3/k); D = s_2 / sk; E = 0.5(s_1 + l_2); \quad (17) \quad F = 1 / \tan \epsilon; H = (l_5 - s_5) \tan \epsilon; k = H + (l_3 + s_3) \quad (21)$$

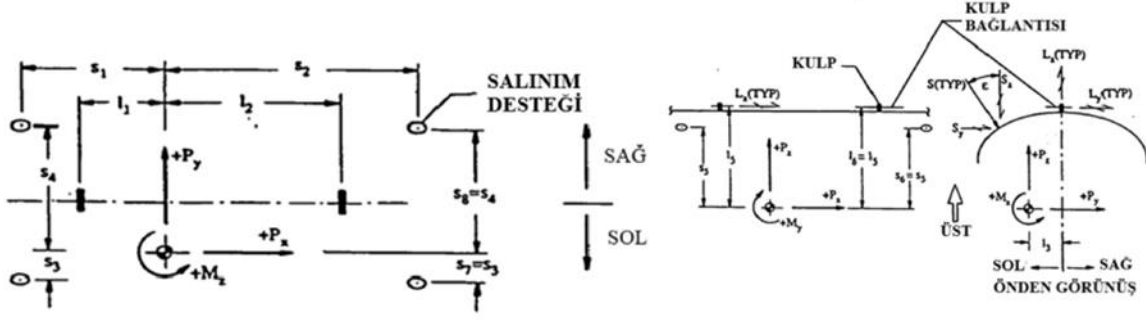
$$F = 1 / \tan \epsilon; H = (l_5 - s_5) \tan \epsilon; k = H + (l_3 + s_3) \quad (18)$$

Tablo 4. Hava araçlarındaki uçuş koşulları ve sınır yükleri [28] (Flight conditions and limit loads on aircraft)

Koşullar	Dinamik Basınç (psf)	Hava Aracı Açısı (°)		Lineer İvmelenme (g)			Tepe açısal hızları (rad/s)			Tepe açısal ivmeleri (rad/sec)		
		Atak α_A	Yan kayma β_A	a_x	a_y	a_z	$\dot{\omega}_x$	$\dot{\omega}_y$	$\dot{\omega}_z$	$\ddot{\omega}_x$	$\ddot{\omega}_y$	$\ddot{\omega}_z$
1.Çıkış	2500	5	0	±1.5	±1.0	7	0	0	0	±0.25	±0.5	0
2.Çıkış	1000	13	0	±1.5	±1.0	8.5	0	0	0	±0.5	±0.5	0
3.Çıkış	500	25	0	±1.5	±1.0	10	0	0	0	±0.5	±0.5	0
4.Dönüş-Çıkış	650	6	2	±1.5	±0.5	7	±5.0	0	0	±11.0	±3.0	±2.0
5.Dönüş-Çıkış	2500	3	1	±1.5	±0.25	6.5	±4.5	0	0	±13.0	±1.0	±1.0
6.Dönüş-Çıkış	2500	2	1	±1.5	±0.25	6	±4.5	0	0	±17.0	±1.0	±1.0
7.Engel ile temas	150	0	0	-4	±1.0	2	0	0	0	0	±6.0	±4.0
8.Maksimum iniş oranı	150	0	0	-1	±1.0	4	0	0	0	0	±4.0	±2.0
9.Kanattan kanata dönüş	2500	3	1	±1.5	±1.0	6	0	0	0	±13.0	±0.5	±1.0
10.Direksiyon kolu serbest bırakma (1g)	400	2	10	±1.5	±1.5	1	0	0	0	±1.0	0	±1.5
11.Aşağı itme	2500	-2	0	±1.5	±1.0	-1	0	0	0	0	0	0
12.Aşağı itme	1800	-4	0	±1.5	±1.0	-3	0	0	0	0	0	0
13.Aşağı itme	1000	-6	0	±1.5	±1.0	-6	0	0	0	±0.5	0	0

Tablo 5. Yüklerin ve momentlerin yönü [28] (Direction of loads and moments)

Yükler	Salınım desteği				Kanca	
	Ön		Arka		Ön	Arka
	Sol	Sağ	Sol	Sağ		
P_x	-	-	+	+	+	-
P_y	-	+	-	+	±	±
P_z	+	+	+	+	-	-
M_x	-	+	-	+	±	±
M_y	+	+	-	-	-	±
M_z	+	-	-	+	±	±



Şekil 8. MBS koordinat sistemi ve uzaklık değerleri [28] (MBS coordinate system and distance values)

Denklemlerde belirtilen simgelerin açıklamaları belirtilen şekildedir: α_x : Uçağın aksenal ivmesi, α_A : Uçağın hücum açısı, β_A : Uçağın yan kayma açısı, $\ddot{\omega}_x$: Yunuslama ivmesi, $\ddot{\omega}_y$: Yalpa ivmesi, $\ddot{\omega}_z$: Sapma ivmesi, $\dot{\omega}_x$: Yunuslama hızı, $\dot{\omega}_y$: Yalpa hızı, $\dot{\omega}_z$: Sapma hızı, a_y : Uçağın yan ivmesi, a_z : Uçağın normal ivmesi, c.g: Ağırlık merkezi, g: Yerçekimi ivmesi, I_{xx} , I_{yy} , I_{zz} , I_{xy} , I_{xz} , I_{yz} : Mühimmatın atalet momenti, M_x : Net yunuslama momenti, M_y : Net yalpa momenti, M_z : Net sapma momenti, n_x : Arka yük faktörü, n_y : Yan yük faktörü, n_z : Yukarı yük faktörü, P_x : Net aksenal kuvvet, P_y : Net yan kuvvet, P_z : Net normal kuvvet, W_s : Mühimmat ağırlığı, X: Uçak gövde mesafesi, Y: Uçak yan hat mesafesi, Z: Uçak üst hat mesafesi.

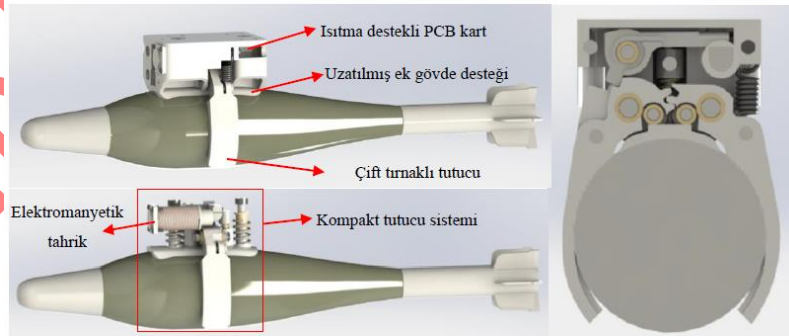
Sunulan denklemler 2,5,6,7 ve 8 numaralı koşullar için hesaplanmıştır. 7,8 numaralı koşullardaki kritik durum kuvvetleri dikkate alınmış ve reaksiyon kuvvetleri, ön salınım desteği için $s_z=204N$, $s_y=115N$, arka salınım desteği için $s_z=552N$, $s_y=612N$ olarak hesaplanmıştır. Sonlu elemanlar analizleri sınır koşullarında, hesaplanan kuvvet değerleri esas alınmıştır. Ayrıca mesh optimizasyonu yapılırken 0,8 mm eleman boyutu

kullanılmıştır. Bunun nedeni ise, daha yüksek eleman boyutlarında eleman kalitesinin düşmesidir.

3.BULGULAR VE TARTIŞMA (Results and Discussion)

3.1.Uygun Çözümler (Suitable Solutions)

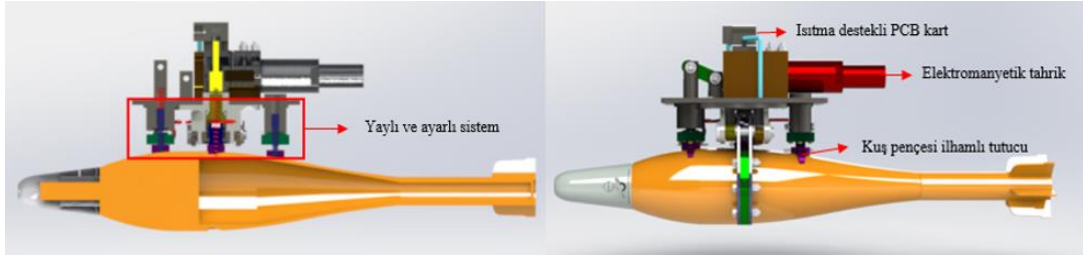
Uygun çözümleri belirlemek için ön değerlendirme aşamasında kararlaştırılan seçeneklerin KT'leri geliştirilmiştir. Sistemin daha iyi anlaşılması ve yorumlanması amacıyla bu üç çözüm seçeneğinin katı modellemeleri alt fonksiyonlar esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Modellemeler Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11'de ayrı ayrı gösterilmiştir. 1. çözüm seçeneğinde tahrik sistemi elektromanyetik piston, sinyal ve kontrol sisteminde PCB kart kullanılmıştır. Tutucu sistemi, çift tırnaklı olarak tasarlanmıştır. Kelepçe sistemindeki minimum ağırlık isteri, kompakt bir tutucu sistemi ve alüminyum malzeme kullanımı ile sağlanmıştır. Askeri standartlara uygunluk ve düşük sıcaklıklara dayanım için ısıtma destekli PCB kart sunulmuştur. Ayrıca aerodinamik sistem kararlılığı, uzatılmış ek gövde desteği elde edilmiş, sistem karmaşıklığı ise yanal yönlü piston sistemi ile çözümlenmiştir.



Şekil 9. Sistemin 1. tasarım çözüm seçeneği (The 1st design solution option of the system)

3. çözüm seçeneğinde de tahrik sistemi olarak elektromanyetik piston, sinyal ve kontrol sisteminde PCB kart kullanılmıştır. Tutucu sistemi, kartal pençesi ilhamı, kelepçe sistemi ise yaylı ve ayarlı bir sistem kullanılarak tasarlanmıştır. Askeri standartlara uygunluk ve düşük sıcaklıklara

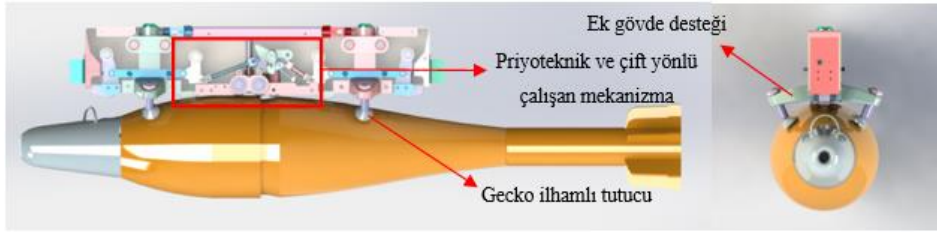
dayanım için ısıtma destekli PCB kart sunulmuştur. Ayrıca sistemin aerodinamik kararlılığı, kompozit kabuk kullanımı, sistem karmaşıklığının çözümü ise dikey yönlü piston sistemi ile sağlanmıştır. Minimum ağırlık için kompozit malzeme seçimi yapılmıştır.



Şekil 10. Sistemin 3. tasarım çözüm seçeneği (The 3rd design solution option of the system)

Son olarak 5. çözüm seçeneğinde tahrik sistemi olarak piroteknik, sinyal ve kontrol sisteminde PCB kart kullanılmıştır. Tutucu sistemi, geko kertenkele ayağı ilhamı kullanılarak tasarlanmıştır. Kelepçe sistemi ise tutucu sisteminden dolayı kullanılmamıştır. Askeri standartlara uygunluk, ek gövde desteği ve paslanmaz çelik malzeme

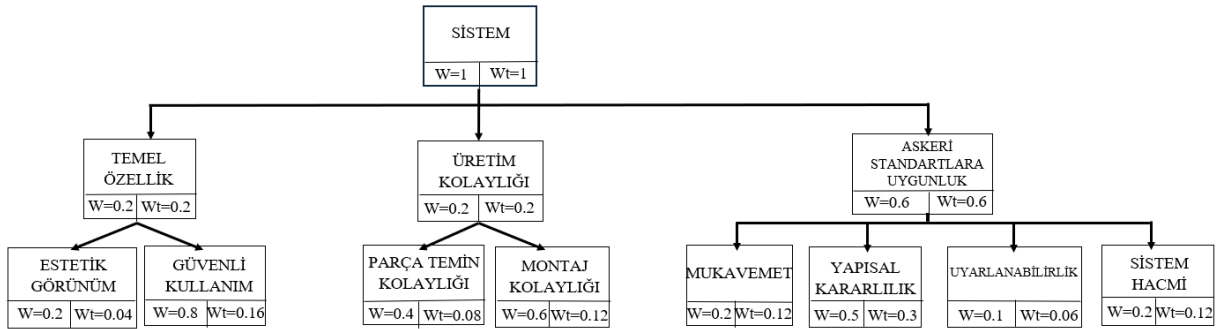
kullanılarak sağlanmıştır. Bu sayede sistemin mukavemeti artırılmıştır. Ayrıca sistemin kararlılığı, gövde optimizasyonu, sistem karmaşıklığının çözümü çift yönlü çalışan mekanizma kolu hareketi ile sağlanmıştır.



Şekil 11. Sistemin 5. tasarım çözüm seçeneği (The 5th design solution option of the system)

TM'nin karar sistemi kullanılarak altı seçenektan üç seçeneğe düşürülen çözüm seçenekleri arasında optimum olanı tespit edilmiştir. Karar sistemi, amaçlar ağacı ve değerlendirme çizelgesinden oluşmaktadır. Şekil 12'de belirtilen amaçlar ağacında belirlenen kriterler; temel teknik özellikler, üretim kolaylığı, askeri standartlara uygunluk, estetik görünüm, güvenli kullanım, parça temin kolaylığı, mukavemet, yapısal kararlılık,

uyarlanabilirlik ve sistem hacmidir. Yapılan işlemde her kritere, tasarıma bağlı olarak ağırlıklı yüzdeler (W, Wt) verilmiştir. Verilen yüzdeler değer sistemin tamamı için 1 alınmıştır. Alt basamaklara doğru devam edildiğinde tüm değerler, diğer kriterlere paylaştırılmıştır.



Şekil 12. Mühimmat bırakma sistemi amaçlar ağacı (Ammunition release system objectives tree)

Amaçlar ağacında belirlenen kriterler göz önüne alınarak üç seçeneğe ait bir değerlendirme çizelgesi oluşturulmuştur. Şekil 13'te verilen çizelgede kriterler parametre cinsinden ifade edilmiş, seçenekler için puanlama ve değerlendirme işlemi yapılmıştır. Her bir parametrenin oranı ve ağırlıklı puanı belirtilmiştir. Seçeneklerin değerlendirilmesi

yapılırken 1-2-3-4 az, 5-6-7 orta, 8-9-10 yüksek oran olarak belirlenmiştir. Sonrasında ise her bir seçenek için ağırlıklı değerler hesaplanmıştır. Seçenek 3'ün 7.58 puanla optimum tasarım olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre Seçenek 3'ün detay tasarım çalışmaları yapılmıştır.

Parametreler	W	SEÇENEK 1			SEÇENEK 3			SEÇENEK 5		
		Oran	Değer	Ağırlıklı değer	Oran	Değer	Ağırlıklı değer	Oran	Değer	Ağırlıklı değer
Estetik görünüm	0.04	Orta	5	0.20	Yüksek	8	0.32	Orta	6	0.24
Güvenli kullanım	0.16	Orta	5	0.80	Yüksek	8	1.28	Yüksek	8	1.28
Parça temin kolaylığı	0.08	Yüksek	8	0.64	Orta	5	0.40	Orta	6	0.48
Montaj kolaylığı	0.12	Yüksek	9	1.08	Orta	7	0.84	Az	3	0.36
Mukavemet	0.12	Az	3	0.36	Orta	7	0.84	Yüksek	8	0.96
Yapısal kararlılık	0.3	Orta	5	1.50	Yüksek	9	2.7	Yüksek	8	2.4
Uyarlanabilirlik	0.06	Orta	5	0.30	Yüksek	8	0.48	Yüksek	9	0.54
Sistem hacmi	0.12	Az	4	0.48	Orta	6	0.72	Yüksek	8	0.96
TOPLAM	1		44	5.36		58	7.58		56	7.22

Şekil 13. Mühimmat bırakma sisteminin değerlendirme çizelgesi (Evaluation chart of ammunition release system)

3.2. Detay Tasarım Aşaması (Detail Design Stage)

Sistemin aerodinamik kararlılığı alt fonksiyonlar ile belirlenen kompozit kabuk kullanımı ile sağlanmıştır. Gökdoğan kuşu biyomimetik ilhamı ile kompozit kabuk tasarımı gerçekleştirilirken 2 aşamalı bir tasarım süreci takip edilmiştir. İlk aşamada gökdoğan kuşunun fotoğrafı üzerinden gövde ve kanatların izdüşümü çıkarılmıştır.

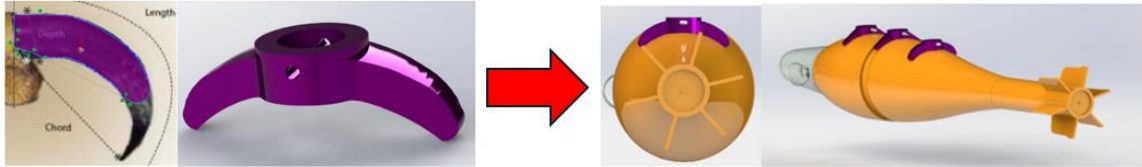
İzdüşümler Şekil 14'te belirtilen fotoğraflar esas alınarak yapılmıştır. Gövde ve kanatların izdüşümü çıkarıldıktan sonra, doğa benzetiminde seçilen boy oranına göre ölçeklendirme yapılmıştır. Daha sonra ise matematiksel boyutlandırması çıkartılan gövdenin, katı modellemesi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 14. Gövde izdüşümü (Body projection)

Gövde izdüşümü yapıldıktan sonra Şekil 15'te belirtilen kartal pençesi benzetimi ile tutucu tasarımı yapılmıştır. Kartal pençesi benzetiminde fotoğraflar kullanılarak teknik çizim programında

bir iz düşüm çıkartılmıştır. Tasarımı yapılan tutucular Togan mühimmatı üzerine yerleştirilmiş ve mühimmatın dış yüzey formunu tam olarak sarması sağlanmıştır.



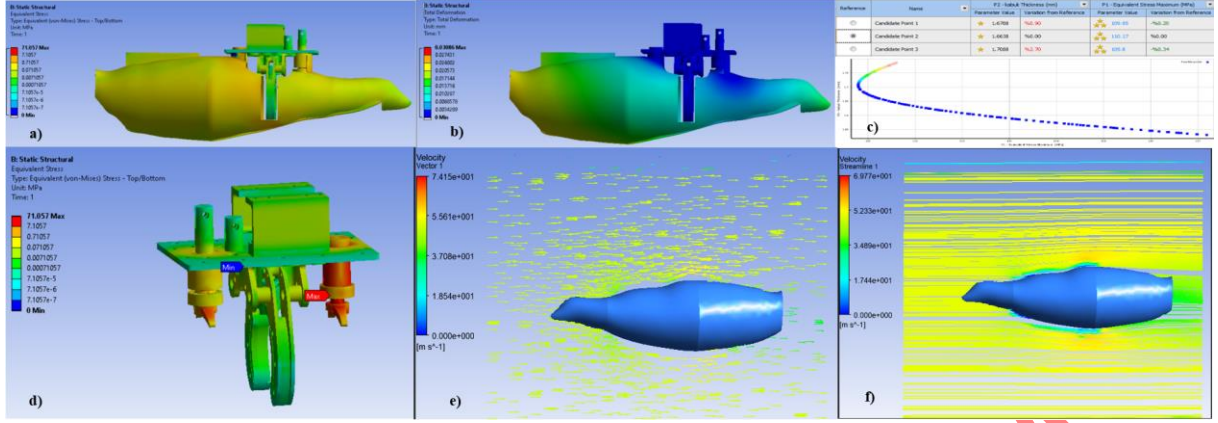
Şekil 15. Tutucu izdüşümü (Sway brace projection)

Teorik ve matematiksel hesaplamalar sonucunda tespit edilen MBS aerodinamik kuvvet değerleri ve alt fonksiyon tablolarında karşılaştırılan parametreler sonlu elemanlar analizlerinin sınır koşullarına entegre edilmiştir. Şekil 16a, Şekil 16b ve Şekil 16d'de belirtilen analizler sonucunda Von-Mises gerilme değeri 71.05 MPa, deformasyon değeri 0.03mm elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre edilen gerilme ve deformasyon değerlerinin uygun olduğu görülmektedir.

Optimum kabuk kalınlığı ise CAE parametrik optimizasyon yaklaşımları kullanılarak tespit edilmiştir. Parametrik analizleri gerçekleştirebilmek için ilk olarak parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Parametre olarak kabuk kalınlığı ve Von-Mises gerilme değeri kullanılmıştır. Kabuk kalınlığının alt ve üst sınırı sırası ile 1 ve 3.5mm olarak seçilmiştir. Şekil 16c'de

belirtildiği üzere optimizasyonlar sonucunda program tarafından 3 adet öneri kalınlık değeri sunulmuştur. Bu sonuçlar dikkate alınarak ikinci önerilen nokta yani kabuk kalınlığının 1.6738mm olduğu değer seçilmiştir. Bu seçiminin temel nedeni ise minimum ağırlık isteridir. Bu değer ile MBS'nin toplam kütlesi 3.42kg olmuştur.

Aerodinamik verimi incelemek amacıyla da akış çizgileri ve hız vektörleri sisteme tanımlanmıştır. Şekil 16e ve Şekil 16f'de belirtilen akış çizgileri ve hız vektörleri incelendiğinde akışın laminar olarak ilerlediği görülmektedir. Hız vektörlerinde herhangi bir türbülans gözükmemektedir. Kabuk yüzeyi aerodinamik verimi arttırdığı görülmektedir. Kabuk yüzeyi etrafında hava akış hızı yaklaşık 1.5 kat azalmıştır. Böylece sistemin aerodinamik verimliliğinin arttığı tespit edilmiştir.

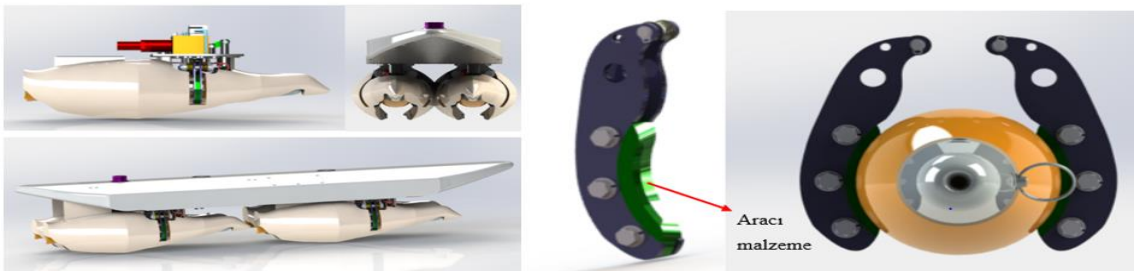


Şekil 16. a) Von-Mises gerilme değerleri, b) Deformasyon değerleri, c) Parametrik analiz sonuçları, d) Salınım desteklerinin Von-Mises gerilme değerleri, e) Akış çizgileri, f) Hız vektörleri (a) Von-Mises stress values, b) Deformation values, c) Parametric analysis results, d) Von-Mises stress values of sway braces, e) Flow lines, f) Velocity vectors)

3.3.Nihai Tasarım Çözümü (The Final Design Solution)

Nihai tasarım aşamasında belirlenen TRIZ buluş prensipleri sisteme entegre edilmiştir. Buluş prensiplerinden, kompozit malzeme şifresi kullanılarak sistemin hem daha hafif hem de yüksek mukavemetli olması sağlanmıştır. Parçalara ayırma şifresi kullanılarak tutucu ve kelepçe sistemi birbirinden ayrılmıştır. Bu sayede sistemin yapısal kararlılığı artırılmış, aynı zamanda da otomasyon seviyesi ve sistem karmaşıklığı minimize edilmiştir. Aracılık şifresi kullanılarak Şekil 17’de belirtilen kelepçe sistemi ile mühimmat arasına aracı bir malzeme kullanılmıştır. Böylece hem istenen sistem hacmi sağlanmış hem de mekanik titreşimlerden dolayı oluşacak gerilmeler minimuma indirgenmiştir. Mekanik sistemin değiştirilmesi şifresi kullanılarak literatürdeki sistemlerden farklı bir sistem tasarımı gerçekleştirilerek hem yüksek uyarlabilirlik sağlanmış hem de sistemin daha hızlı çalışması sağlanmıştır. Bu buluş prensibi ile

mekanizmanın yüksek aerodinamik kararlılıkta ve mühimmatı minimum sürede bırakan bir sistem elde edilmiştir. Hidrolik ve pnömatik yapılar şifresi kullanılarak elektromanyetik piston ile yüksek uyarlabilirlik ve minimum sistem karmaşıklığı sağlanmıştır. Tüm buluş prensiplerini içeren MBS’nin nihai tasarımı da Şekil 17’de gösterilmiştir. TRIZ buluş prensipleri kullanılarak çözülen problemler, analiz sonuçları ve literatür ile karşılaştırıldığında geliştirilen özelliklerin, başka bir özelliği kötüleştirmedeği görülmüştür. Sonlu elemanlar analizleri sonucunda gerilme (71.05MPa) ve kütle (3.42kg) değerlerinin uygun olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca geliştirilen sistemin, literatürdeki diğer MBS lerde kullanılan mekanizmalardaki bileşenleri elemine ettiğinden cihaz karmaşıklığı ve otomasyon seviyesinin daha az olduğu belirlenmiştir [3, 4, 7, 28].



Şekil 17. Mühimmat bırakma sisteminin nihai tasarımı (Final design of ammunition release system)

Bu çalışmada, Pahl ve Beitz, Dieter ve Schmidt, Hurst’un tasarım metodu, QFD, TRIZ, biyomimetik ve CAE optimizasyon yaklaşımlarından oluşan yeni bir TM geliştirilmiştir. Literatürde parametrik tasarıma uygun, karar mekanizması olan, yenilikçi problem çözme metodu içeren ve müşteri odaklı bir TM bulunmamaktadır [15-26]. Korkmaz ve

arkadaşları, çalışmada MBS’lerdeki TRIZ uygulamalarında buluş prensipleri olarak özelliklerin dönüştürülmesi, mekanik sistemin değiştirilmesi, dinamiklik, termal genleşme, mekanik sistemin değiştirilmesi, parçalara ayırma, denge ağırlığı, özelliklerin dönüştürülmesi buluş prensipleri kullanılmışlardır [29]. Bu çalışmada ise

kompozit malzeme, parçalara ayırma, mekanik sistemin değiştirilmesi, hidrolik ve pnömatik yapılar kullanma ve aracılık buluş prensipleri kullanılmıştır. Billingsley ve arkadaşları, Başak ve arkadaşları, Özbek ve arkadaşları çalışmalarında hava araçlarında aerodinamik kararlılığın sağlanması amacı ile biyomimetik uygulamaları

4.SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, sistem odaklı tasarım yaklaşımları kullanarak yeni bir tasarım metodolojisi sunulmuştur. Geliştirilen bu yeni model, Pahl ve Beitz, Dieter ve Schmidt, Hurst'un tasarım metodolojisi, MVP, QFD, TRIZ, biyomimetik ve CAE optimizasyon yaklaşımlarından oluşmaktadır. Çalışma sonucunda geliştirilen TM ile İHA'lar için tercih edilebilecek arayüzde ve mevcut sistemlerden farklı yeni bir yerli MBS oluşturulmuştur. Biyomimetik tasarım lensi kullanılarak mevcut sistemlere kıyasla aerodinamik yüklere karşı daha kararlı ve mühimmat arayüzüne uygun tutucu mekanizması sağlanmıştır. TRIZ metodu kullanılarak montaj kolaylığı, düşük mekanizma hacmi elde edilmiştir. MVP metodu kullanılarak tasarım kriterlerine uygun, CAE optimizasyonları kullanılarak ise optimum formda ve minimum ağırlıkta sistem tasarlanmıştır. Teorik ve matematiksel olarak hesaplanan aerodinamik kuvvetler, sonlu elemanlar analizleri ile desteklenmiştir. Analizler sonucunda sistem mukavemetinin uygun olduğu ve aerodinamik verimliliğinin arttığı tespit edilmiştir. Parametrik optimizasyonlar ile 1.6738mm kalınlıklı kompozit kabuk kullanılmıştır. İlk kez Togan havan topu mühimmatına uygun yeni bir MBS optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Teknik çelişkiler TRIZ yöntemleri kullanılarak çözülmüştür. Kompozit malzeme, parçalara ayırma, mekanik sistemin değiştirilmesi, hidrolik ve pnömatik yapılar kullanma ve aracılık TRIZ buluş prensipleri kullanılmıştır. Yaratıcı ve uygun çözümler kapsamında biyomimetik tasarım lensi uygulamasından da faydalanılmıştır. Gökdoğan kuşu, kel kartal pençesi formundan ilham alınmıştır. Biyomimetik yaşam prensiplerinden değişen koşullara uyum sağlama, hayatta kalmak için evril, kaynakları verimli kullan, gelişme büyüme ile adapte ol prensipleri kullanılmıştır.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

kullanmışlardır [30-32]. Biyoilham kaynağı, kuşlardaki V-formasyon uçuşu, kambur balinaların yüzgeçleri, şahin kuşunun kanadı olurken bu çalışmada biyomimetik tasarım lensi uygulamalarında gökdoğan kuşu formu ve kel kartal pençesi biyoilham kaynağı olarak kullanılmıştır.

The author of this article declares that the materials and methods they use in their work do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Oğuz YILMAZ: Sistemin aerodinamik hesaplamalarını, tasarımlarını, sonlu elemanlar analizlerini yapmış, sonuçları değerlendirmiş ve yazım sürecini gerçekleştirmiştir.

He performed aerodynamic calculations, designs, finite element analysis of the system, evaluated the results and carried out the writing process.

Orhan ERDEN: Sistemin tasarım metodolojisini oluşturmuş, çalışmayı yönetmiş, sonuçlar hakkında yorum yapmış ve yazım sürecine de katkı sağlamıştır.

He created the design methodology of the system, directed the study, commented about results and also contributed to the writing process.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Silahlı İnsansız Hava Araçlarının Uluslararası Alanda ve İç Güvenlikte Sevk ve İdaresine İlişkin Hukuki Saptamalar. Savunma Bilimleri Dergisi, 18.36(43-66), (2019).
- [2] Kocataş, A. H., Gürkan, D., ve Korkut, I. Silahlı İnsansız Hava Araçları için Namlu Mekanizması Analizi. Politeknik Dergisi, 27.1(211-219), (2023).
- [3] Dokuyucu, Ö. Hafif Mühimmatlar için Mikro Salan Geliştirilmesi ve Test Edilmesi. VII. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, 91, (2018).
- [4] Rickards, B. and C.J. Casey Brown. (2012). Miniature Bomb Rack Unit, License Thesis, FAMU-FSU College of Engineering, Florida.
- [5] Rajkumar, K., Tangermann, E., Klein, M., Ketterl, S., and Winkler, A. Time-Efficient Simulations of Fighter Aircraft Weapon

- Bay. CEAS Aeronautical Journal, 14.1(91-102), (2023).
- [6] Zhou, W., Research on the Influence of Flight Attitude on Unilateral Missile Separation from Embedded Bay. 33rd Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, 78, (2022).
- [7] Bal, M.K. (2020). Designing Universal Yoke Structure of Suspension and Release System with Topology Optimization for Fighter Aircrafts, Master's Thesis, Graduate School of Science and Engineering of Hacettepe University, Ankara.
- [8] Baker, W., S. Keen, and C. Morgret. Validation of Weapon Separation Predictions Using F/A-22 Flight Test Results. USAF Developmental Test and Evaluation Summit, 6803, (2004).
- [9] Kummer, G., Besson, M., Gunnett, A., Javorsek, D., and Keithley, C. F-22 Raptor GBU-39 Separation Test Results. AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference, 6668, (2011).
- [10] Shilo, M. (1994). Six Degree of Freedom Flight Dynamic Model Of A Mk-82 Store. Australia :Aeronautical Research Labs Melbourne, 46.
- [11] Hetreed, C., Carroll, M., Collard, J., and Snyder, R. F-35 Weapons Separation Test and Verification. Aviation Technology, Integration, and Operations Conference, 3680, (2018).
- [12] Birkhofer, H. (2011). The Future of Design Methodology. London: Springer, 35-46.
- [13] French, M. J., Gravdahl, J. T., and French, M. J. (1985). Conceptual Design for Engineers. (Second Edition). London: Design Council.
- [14] Börklü, H. Makina Mühendisliğinde Tasarım ve Tasarım İşlem Modelleri. Makina Tasarım ve İmalat Dergisi, 3.1(35-41), (1995).
- [15] Yıldız, N. (2019). Kavramsal Tasarım Yaklaşımlarının İncelenerek Yeni Bir Yaklaşım Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- [16] Mayda, M., ve Börklü, H. Yeni Bir Kavramsal Tasarım İşlem Modeli. TÜBAV Bilim Dergisi, 1.1(13-25), (2008).
- [17] Bozdemir, M., ve Mendi, F. Yapay Zeka Destekli Sistemik Ürün Tasarımında Şartname ve Karar İlişkileri. Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi, 17(18-32), (2005).
- [18] Parlar, Z., Soyboru, E. K., Burhan, M. S. ve Davaslıgil, S. Sistemik Konstrüksiyon ve Tasarım Odaklı Düşünme Yaklaşımı ile Yaratıcı Kavramsal Tasarım Süreci: Küçük Ev Aleti Tasarımı. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21.5(1100-1109), (2017).
- [19] Börklü, H.R. ve Erdemir, F. Yeni Bir Çim Biçme Makinesinin Kavramsal Tasarımı. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7.2(15-26), (2019).
- [20] Avinç, G.M. ve Vural, S. Bir Model Önerisi: Hesaplamalı Tasarım Bağlamında Değişen Tasarım Süreci. Online Journal Of Art And Design, 8.1(77-96), (2020).
- [21] Delibaş, H. (2012). Systematic Design of Carton Separating Machine, Master's Thesis, Çukurova University Institute of Natural and Applied Sciences, Adana.
- [22] Yüksel, N., Börklü, H.R. ve Erden, O. Değer Mühendisliği Uygulaması: Köfte Yapma Makinası Tasarımı. Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6.2(95-104), (2020).
- [23] Özdoğan, M. (2016). Biyosüreç: Doğadan İlham Alan Tasarım Süreçleri için Sistemik Bir Yöntem Önerisi ve Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [24] Mayda, M. and Börklü, H.R. An Integration of Triz and the Systematic Approach of Pahl and Beitz for Innovative Conceptual Design Process. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 36(859-870), (2014).
- [25] Keskinliç, F. (2019). Mühendislik Tasarım Sürecinde Bulanık Mantık ve Bulanık Yapay Sinir Ağı Kullanımı. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [26] Zhang, Z. and Chu, X. A New Approach for Conceptual Design of Product and Maintenance. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 23.7(603-618), (2010).
- [27] Ulaş, E.C., Başak, H. ve Akkurt, A. Araç Koltuğu Sırt Desteğinin Biyomimetik Tabanlı Tasarımı ve Analizi. Politeknik Dergisi, 26.2(775-785), (2022).
- [28] Swarnakari, S. and Raja, G. Design and Structural Analysis of Fighter Aircraft's Bomb Release Mechanism Subjected to Aerodynamic and Inertial Loads using FEA. International Journal of Engineering & Technology, 9.92(10), (2020)
- [29] Korkmaz, F.F., Subran, M., Hatipoğlu, A., Kaya, M.O., ve Fidanboylu, K. TRIZ Yaklaşımı Kullanılarak Hava Araçlarındaki Mühimmat Bırakma Sistemlerinde Yenilikçi Çözüm Üretilmesi. SETSCI-Conference Proceedings, 42-46, (2019).
- [30] Billingsley, E., Ghommam, M., Vasconcellos, R., and Abdelkefi, A. On the Aerodynamic Analysis and Conceptual Design

of Bioinspired Multi-Flapping-Wing Drones. Drones, 5.3(64). (2021).

- [31] Başak, H. ve Demirhan, H. Kambur Balina'nın Yüzgeçlerinden Esinlenerek Oluşturulan Kanat Profil Veriminin CFD Analizi ile İncelemesi. Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 3.2(15-20), (2017).
- [32] Özbek, E. (2020). Elektromekanik Doğa Benzetimli Gözlem Mini İha Tasarımı: Yapısal ve Aerodinamik Analizleri. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

ERKEN GÖRÜNÜM