



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Dron için hareketli kol tasarımında sistematik inovasyon geliştirme

Developing systematic innovation in moving arm design for drone

Yazar(lar) (Author(s)): Mustafa Burak GÜNAY ¹, İhsan KORKUT ²

ORCID¹: 0000-0002-3720-7414

ORCID²: 0000-0002-5001-4449

To cite to this article: Günay M.B., Korkut İ., “Dron için hareketli kol tasarımında sistematik inovasyon geliştirme”, *Journal of Polytechnic*, 27(4): 1223-1231, (2024).

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz: Günay M.B., Korkut İ., “Dron için hareketli kol tasarımında sistematik inovasyon geliştirme”, *Politeknik Dergisi*, 27(4): 1223-1231, (2024).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.1202113

Dron için Hareketli Kol Tasarımında Sistemik İnovasyon Geliştirme

Developing Systematic Innovation in Moving Arm Design for Drone

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ TRIZ' in Dron gövde tasarımında kullanılması / Use of TRIZ in drone frame design
- ❖ Drona hareketli kol eklenmesi / Adding a movable arm to the drone
- ❖ TRIZ Çelişkiler Matrisinin kullanılması / Using the TRIZ Contradictions Matrix

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Aşağıdaki TRIZ Çelişkiler Matrisi, bu çalışmaya konu olan hareketli kollara sahip dron gövdesi için kullanıldı. Bu matristen çıkan sonuca göre dron gövde tasarımı iyileştirildi. / The TRIZ Contradictions Matrix below was used for the drone body with movable arms, which is the subject of this study. According to the result from this matrix, the drone body design has been improved.

		1	2	9	12	19			
1	Hareketli Cismin Ağırlığı	+		2, 8, 15, 38	10, 14, 35, 40	35, 12, 34, 31	- Şekil	1- Hareketli Cismin Ağırlığı	2 Ayırma 6 Evrensellik 8 Karşı Ağırlık 10 Öncü Eylem 14 Yuvarlama 29 Pnömatik ve Hidrolik Yapılar Kullanma 34 Atılan veya değiştirilen parçalar 40 Kompozit Malzeme
2	Hareketli Cismin Uzunluğu		+		13, 10, 29, 14				
9	Hız	2, 28, 13, 38		+	35, 15, 18, 34	8, 15, 35, 38			
12	Şekil	8, 10, 29, 40	15, 10, 26, 3	35, 15, 34, 18	+	2, 6, 34, 14			
19	Hareketli Cismin Harcadığı Enerji	12, 18, 2, 8, 31		8, 35, 35	12, 2, 29	+			

Şekil. TRIZ Çelişkiler Matrisi / Figure. TRIZ Contradictions Matrix

Amaç (Aim)

Hareketli kolları olan dron gövde tasarımı yapmak. / Making a drone body design with movable arms

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

TRIZ- Teknik Çelişkiler kullanarak hareketli kolları olan dron tasarımı yapıldı. / Using TRIZ- Technical Contradictions, drone design with movable arms was made

Özgünlük (Originality)

Dron için farklı bir kol tasarımı TRIZ ile geliştirildi. / A different arm design for the drone was developed with TRIZ.

Bulgular (Findings)

TRIZ- Teknik Çelişkiler Matrisinden çıkan Yenilikçi Fikirler ile dron kol tasarımı iyileştirildi. / Drone arm design has been improved with Innovative Ideas from TRIZ- Technical Contradictions Matrix.

Sonuç (Conclusion)

TRIZ yenilikçi prensipleri ile Dronun hareketli kol tasarımı başarılı bir şekilde yapıldı. / With the innovative principles of TRIZ, the moving arm design of the drone has been done successfully.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Dron için Hareketli Kol Tasarımında Sistemik İnovasyon Geliştirme

Araştırma Makalesi / Research Article

Mustafa Burak GÜNAY^{1*}, İhsan KORKUT²

¹Sanayi Genel Müdürlüğü, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Ankara, Türkiye

²Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

(Geliş/Received : 12.11.2022 ; Kabul/Accepted : 19.03.2023 ; Erken Görünüm/Early View : 16.05.2023)

ÖZ

Özellikle savunma sanayi ve arama kurtarma amaçlı tasarlanan dronlarda dezavantaj olarak öne çıkan durum; dronların küçük dar geçitlerden geçip iç ortam görüntülemesini yapamamasıdır. Bu durumda küçük bir geçitten geçirilerek yapılması istenen görüntüleme için ekiplerin farklı boyutlarda dronları yanlarında bulundurmaları ve uygulama alanına göre dron seçimi yapmaları gerekecektir. Bu çalışma ile küçük dar geçitlerden geçebilecek, ortam durumuna göre ve hava şartlarına göre geometrisini küçültüp büyütebilecek dört rotorlu, dik kalkış ve iniş yapabilen bir drona, yeni bir kol tasarımı yaparak, sahadaki bazı dezavantajları ortadan kaldırmak amaçlanmaktadır. Gövdeye eklenen kollar uçuş esnasında dairesel hareket yaparak şekil değiştirme işlevini gerçekleştirecektir. Tasarımda oluşacak teknik çelişkiler için TRIZ kullanılmıştır. Çelişkiler Matrisindeki sonuçlara göre gövde ve kol tasarımında iyileştirmeler yapılarak, gövde şekil değiştirebilir hale getirilmiştir. Gövdenin şekil değiştirme kabiliyeti ile akademik çalışmalarda hangi geometrinin hava şartlarına daha iyi sonuç verdiği ve tek dron ile birçok farklı gövde şeklinin dinamik analizlerinin kısa sürede yapılmasına imkân sağlayacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: TRIZ, insansız hava aracı, dördüçer, dikuçar.

Developing Systematic Innovation in Moving Arm Design for Drone

ABSTRACT

The situation that stands out as a disadvantage especially in the drone designed for the defense industry and search and rescue; It is the inability of drone to pass through small narrow passages and perform indoor imaging. In this case, the teams will need to have different sizes of drone with them for the desired imaging to be made through a small passage and they will need to choose drone according to the application area. With this study, it is aimed to eliminate some of the disadvantages in the field by designing a new arm for a quadrotor drone that can pass through small narrow passages, shrink or enlarge its geometry according to the ambient conditions and weather conditions. The arms added to the fuselage will perform the deformation function by making circular movements during the flight. TRIZ was used for the technical contradictions that will occur in the design. According to the results in the Contradictions Matrix, improvements were made in the body and arm design, and the body was made deformable. It is predicted that with the deformation ability of the fuselage, which geometry gives better results in weather conditions in academic studies and will enable dynamic analyzes of many different body shapes with a single drone in a short time.

Keywords: TRIZ, unmanned aerial vehicle, quadcopter, drone.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde dronlar, kullanılan motor ya da pervane sayısına ve bunların montaj şekillerine göre adlandırılmaktadır. Dik kalkış yapan dronlarda gövde, artı (+), çapraz (X) ve (H) şekillerinde simetrik olarak dizayn edilmiştir.

Çok rotorlu dronlar, sabit kanatlı insansız hava araçların aksine, hem yatay hem de dikey olarak her yöne uçabildikleri gibi sabit bir konumda havada asılı da kalabilirler. Havada asılı kalabilmelerinden dolayı görüntü almaları daha sağlıklı olmaktadır [1].

Döner kanatlı dronlar üzerinde, motor sayılarına göre yapılan çalışmalara bakıldığında, piyasada tri-, quad-, hexa- ve octo-copter'lar ve bu motorlara takılan farklı pervane tiplerine sahip birçok dron modelleri mevcuttur [2].

2000 yılının başlarında tasarlanan dört rotorlu dronlar [3], son yıllarda farklı versiyonlara dönüştü. İlginin artması nedeniyle, şekil, menzil, ağırlık ve kullanım ömürlerine göre sınıflandırılabilen farklı modellerde dronlar ortaya çıktı [4].

İnsansız hava araçları, tasarlanırken istenilen bazı özellikleri karşılaması beklenir. Bu özelliklerden öne çıkanlar; azami hız ve azami taşımadır [5].

İstenilen görevin amacına bağlı olarak, boyut, itme kabiliyeti ve maksimum uçuş süresi bakımından farklı dron tasarımları kullanılmaktadır [6].

Yapılan akademik çalışmaların bir kısmında itki kuvveti ele alınmış ve gövdenin şekli, motor, pervane sayısı ve diziliminin itki kuvvetine etkilerinin araştırıldığı görülmektedir. 2020 yılında yapılan bir çalışmada; itki kuvvetinin belirlenmesinde karesel

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta: mustafaburak.gunay@sanayi.gov.tr

regresyonun kullanılmasının yörünge takibini iyileştirdiği ortaya çıkmıştır [7].

Biyomimetik yaklaşımla dronları inceleyen bir çalışmada, dronların, uçuş kararlılığı, uçuş verimliliği ve çarpışmadan kaçınma gibi konular incelenmiştir [8].

2020 yılının başlarında meydana gelen küresel COVID-19 salgınında, geliştirilen dron modeli ile havadan yeryüzündeki sıcaklık ölçülerek, yapılan simülasyonla gerçek zamanlı veri kaynağı oluşturulmuştur [9].

Sağlık alanında dron kullanımına başka bir örnekte, laboratuvar numunelerinin dronla taşınmasıdır [10].

2. DÖRT ROTORLU DRONLAR (QUADROTOR DRONES)

Son yıllarda insansız hava araçlarının tasarımı için yapılan çalışmalar incelendiğinde, tasarımda ön plana çıkan, ana gövdenin şekli olduğu görülmektedir. Ana gövde şekli motor ve pervane sayısına göre belirlenmektedir.

Yapılan bir çalışmada dron gövde şeklinin, dronun havada kalma süresine etkisi araştırıldığı görülmektedir [11]. Ayrıca, zorlu hava koşullarında gövdenin dinamik analizi ve aerodinamiğe etkisi üzerine çalışmalarda mevcuttur. Halen devam eden gövde şekli çalışmalarında, Quadcopter ön plana çıkmıştır [12].

Quadcopter dört adet rotordan oluşmaktadır ve karşılıklı iki rotorun aynı yöne dönmesi ile dinamik bir denge sağlanmaktadır.

Literatürde dronların mikro yapıda olması üzerine çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Yapılan bu çalışmalar ışığında dronlara dar, küçük alanlardan geçebilme kabiliyetini kazandırılmıştır, ancak mikro yapıya ulaşırken, dronların yük taşıma kapasiteleri önemli ölçüde azalmaktadır. Bunun sonucu olarak; kullanım alanına göre mikro yapıda tasarım yapılırken bir diğer özellik olan yük taşıma kapasitesi ve aerodinamik yapıya uygunluktan ödün verilmek zorunda kalınmıştır.

Küçük yapıdaki dronların taşınabilir olması avantaj sağlasa da, düşük taşıma kapasitesi ve hava şartlarına karşı dayanıklı değildirler [13]. Mikro yapıdaki dronların en önemli özelliği, boyutlarının küçük olmasından dolayı dar alanlarda uçmasıdır [14].

Büyük yapıdaki dronlar, ağır faydalı yükleri taşıma kabiliyetine sahiptirler ve daha dayanıklıdır [15].

Bu ikilemin çözümü, hacimlerini azaltmak ve böylece taşınabilirliğini artırmak için kendi kendine katlanıp açılabilen daha büyük boyutlu insansız hava araçlarının kullanılmasıdır [16].

İncelenen bazı çalışmaların, dronların şekil değiştirmesi ile ilgili olduğu görülmektedir. Yapılan bu çalışmalar kendi içinde ikiye ayrılmakta; birincisi uçuş esnasında şekil değiştirme, ikincisi ise uçuş öncesi veya sonrası şekil değiştirmedir. Uçuş esnasında şekil değiştirme çalışmalarını sabit kanatlı insansız hava araçlarında da yapılmıştır [17] [18].

Tuna ve arkadaşları kendi kendine açılabilen ve kendi kendine kapanabilen “Folly” isimli dron tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Dron havada iken 0.6 sn de kendini katlayabilmektedir. Kolların katlanması dron merkezinde bulunan dişlinin tahrik edilmesi ile dört adet kolun aynı anda hareketi ile olmaktadır [19].

Oktaç ve arkadaşları tarafından dört rotorlu kolları dönme hareketi yapan bir dron tasarımı yapılmıştır. Buradaki şekil değiştirme işlemi; X şeklinde bulunan ana gövdenin kollarının kesişim açısının değiştirilmesidir. Kesişim açısının değişimi ile dronun hareket kabiliyeti incelenmiştir [20].

Kim ve ekibi tarafından taşınabilir dron tasarımı çalışmasında TRIZ yaklaşımı kullanılmış ve şemsiye mekanizmasına benzeyen dron tasarımı gerçekleştirilmiştir [21].

2017 yılında ele alınan başka bir çalışmada; dört rotorlu bir dronun kollarının hareket edebilmesi için bir adet motor ve hareket mekanizması kullanılmıştır [22].

Dron bileşenleri ile ilgili de bazı çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Radhwan ve arkadaşları tarafından dron kumandası tasarımı TRIZ metodu ile ele alınmıştır. Tasarlanan yeni dron kumandası, dron kullanıcıların isteklerine göre yenilikçi bir yaklaşımla geliştirilirken, kumanda kullanım ömrünün uzatılması hedeflenmiştir [23].

2019 yılında yapılan bir çalışmada polis dronları için yenilikçi bir tasarım yöntemi TRIZ ile gerçekleştirilmiştir [24].

2022 yılında kayar kollu dört rotorlu bir dron tasarımı gerçekleştirilmiştir. Dronun karşılıklı rotorları aynı kol üzerine montaj edilerek, diğer karşılıklı rotorlarla alt-üst olarak konumlandırıldığı görülmektedir. Kolların sağ ve sola kayması merkeze yerleştirilen servo motorların Raspberry Pi ile kontrolü sağlanmıştır [25].

Tilt-rotorlu quadcopter ile ilgili yapılan bir çalışmada, dronun uçuş anında yörünge takibini ele almaktadır. Dron yörüngesini takip ederken, pervane açıları incelenmiştir [26].

Dört adet dört rotorlunun, karbon fiber çubuklarla birleştirilmesi ile şekil olarak dört rotorlu, ancak toplam 16 rotorlu yeni bir dron oluşturulan bir çalışmada, sistemin matematiksel modeli çıkarılarak denge durumu incelenmiştir [27].

2021 yılında dron pervaneleri üzerine yapılan çalışmada, üç farklı pervane tasarımı sonlu elamanlar analizi yöntemi ile analiz edilmiş ve en iyi olan tasarımın seçimi yapılmıştır [28].

Dört rotorlu dron için yapılan bir çalışmada, konum ve sapma kontrolü için bir simülasyon geliştirilmiştir [29].

Başka bir çalışmada dron gövdesinin yapısal analizi ve dinamik analizi ANSYS 18 ile gerçekleştirilmiştir [30].

Esnek kollara sahip “XSF” adı verilen dört rotorlu dron çalışmasında, rijit kol ile esnek kol karşılaştırması yapılarak, esnek kolun manevra kabiliyeti ele alınmıştır [31].

Ele alınan bu çalışma ile dört rotorlu, dik kalkış ve iniş yapabilen bir quadcopter gövdesi alüminyum malzemeden üretilecek ve motorların bağlı olduğu kollara uçuş esnasında dairesel hareket yaptırılarak, şekil değiştirme kabiliyeti kazandırılacaktır. Şekil değiştirme kabiliyeti için problem olabilecek teknik çelişkiler, TRIZ yaklaşımı ile değerlendirilecek ve çıkan sonuca göre iyileştirmeler yapılacaktır.

Şekil 1’de piyasada yaygın kullanılan ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren) plastikten üretilmiş quadcopter gövdesi görülmektedir. Bu çalışma ile quadcopter gövdesinin kollarına yerleştirilen mafsal ve motor sayesinde, kolların hareket etmesi sağlanacak ve dron havada iken gövde şekli değiştirilecektir.



Şekil 1. Quadcopter gövdesi (Quadcopter frame)

Bu çalışmada Şekil 1’de bahsedilen Quadcopter dron gövde modeli “X” kullanılacaktır. Kullanılan bu gövde modeli şekil değiştirebilir hale getirilecektir. Dört adet rotordan oluşan ve “X” geometrisinin benimsendiği bu modelle, dört adet rotorun bağlı olduğu kolların orta kısmından, her kol için ayrı tahrik ile saat yönünde ve tersi yönde dönme hareketi verilmek suretiyle dronun şekil değiştirme fonksiyonu sağlanmış olacaktır. Kollardaki bu dönme hareketi dört adet servo motorun sürülmesi ile elde edilecektir.

Genel anlamda dronların görevleri incelendiğinde hangi sektör için kullanılırsa kullanılsın esas temel amacın görüntü işleme olduğu bilinmektedir.

Savunma sanayi ve arama kurtarma amaçlı kullanılan dronların dezavantajı, küçük dar geçitlerden geçip iç ortam görüntülemesini yapamamasıdır. Dronların, küçük bir geçitten geçirilerek görüntüleme yapabilmeleri için ekiplerin farklı boyutlarda dronları yanlarında bulundurmaları ve uygulama alanına göre dron seçimi yapmaları gerekmektedir.

Bu çalışma ile küçük dar geçitlerden geçebilecek, ortam durumuna göre ve hava şartlarına göre geometrisini küçültüp büyütebilecek bir dron gövde tasarımı yaparak, sahadaki dezavantajları ortadan kaldırmak istenmektedir. Ayrıca akademik çalışmalarda hangi geometrinin hava şartlarına daha iyi sonuç verdiği ve tek dron ile birçok farklı geometrik şeklin dinamik analizlerinin kısa sürede yapılmasına imkân sağlayacağı düşünülmektedir.

Aşağıda Şekil 2’de dronun gövde ön tasarımı yer almaktadır. Bu tasarıma hareket eden kolların eklenmesi ile gövde tasarımı son halini almış olacaktır.



Şekil 2. Dron gövdesi ön tasarımı (First design of drone frame)

Gövde ön tasarıma montaj edilecek hareketli kollar Şekil 3’de gösterilmektedir. Ana gövde ile kolların bağlantı yerlerine montaj edilecek olan servo motorlar sayesinde kollar saat yönünde ve tersi yönde hareket edecektir.



Şekil 3. Hareketli kol ön tasarımı (First design of movable arm)

3. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

3.1. TRIZ (TRIZ)

TRIZ’in kurucusu olan Genrich Altshuller, 1926’ da Özbekistan’da doğdu. Bakü’de eğitim gördü. Okul hayatından sonra Rus Donanmasına katıldı ve Rus Donanması İnovasyon Merkezi’nde çalışmak üzere görevlendirildi. Genel olarak patentleri tarama işi ile ilgilendi. 1946-1948 yıllarında TRIZ’in temel tekniklerini keşfetti. Altshuller’e göre icat bulmanın en büyük çıkmazının deneme yanılma değildir. Bir çalışmada problem büyürse, deneme-yanılma ve problemi çözmek için insan sayısı artmaktadır. Bunun nedeni; insanların çözümün, sadece tecrübeye dayandığını düşünmeleridir. TRIZ mantığı ile deneme-yanılmanın dışında, sistemin tamamı ele alınıp, çalışanlara verilen görevlerden çözüme gidilmeye çalışılır [32].

TRIZ metodunun kullanılmasının temeli, problem çözümündeki çelişkileri ortadan kaldırmasıdır. Rus bilim adamı Altshuller, binlerce patent incelemesinden sonra, 39 adet mühendislik değişkeni belirlemiştir. Bu 39 değişken birbirleri ile en sık çelişen mühendislik değişkenidir. Bu çelişkilerin, 40 adet yenilikçi prensip ile giderilebileceğini ortaya çıkarmak için çalışmıştır [32].

Altshuller'in geliştirdiği bu yöntem, ürün tasarımı yapan veya ürün geliştirmeye çalışan kişiler için zaman kaybını ortadan kaldırmıştır. Daha önce çözümü olan problemlere bakarak, çözüme kısa yoldan ulaşılmaktadır. TRIZ, problem ile karşılaşan kişilerin farklı bir sistematik yolla çözüme ulaşmasını sağlamaktadır. TRIZ sadece teknik problemler için değil, teknik olmayan problemler için de kullanılabilir [33].

Bu yöntem havacılık alanında, F-16 uçaklarının bakımı için uygulanmış ve bakım için ayrılan zamandan tasarruf edildiği görülmüştür [34].

TRIZ ile çözüm için bazı yollar kullanılmaktadır. Bunlardan başlıcaları, "İdeal Sonuç", "Teknik Sistemlerin Evrimi", "Çelişkiler ve Çelişkiler Matrisi", "ARIZ (Yaratıcı Problem Çözme Algoritması)", "Kaynaklar" ve "Madde Alan Analizi" ve "Standart Çözümler" olarak sayılabilir.

3.2. Çelişkiler Matrisi (Contradictions Matrix)

TRIZ için en sık kullanılan çözüm aracı Çelişkiler Matrisidir. Çelişki Matrisi ile bir problem için çözüm üretirken, bir durum için yapılan iyileştirme ile başka bir durumun kötüye gittiği görülür ve o durum için önlem alınabilir [32].

TRIZ yöntemi çelişkiler matrisi, sadece yeni ürün tasarımlarında değil, montajlı bir yapının tek bir montaj yerine veya tüm montaj yapısına da uygulanabilir [35].

Altshuller'e göre; problemin çözümü için, problemle ilgili buluşlar incelenerek çözüm üretilebilir. Karmaşıklığa sebep olacak şekilde çelişkiler çoğaltılırsa çözümden uzaklaşılır.

3.3. Mühendislik Değişkenleri (Engineering Variables)

Altshuller iki yüz binin üzerinde incelediği patentlerde, çözüm önerilerinin yeni sorunları ortaya çıkardığını görmüştür [32].

Örneğin, bir Dronun gövdesinin dayanımı için parça kalınlığının artırılması sonucu toplam ağırlık artacağından, dronunun hızına ve havada kalma süresine olumsuz yönde etki edecektir.

Altshuller, incelediği patentler sonunda sorunları, toplam 39 adede indirmiştir. TRIZ bu 39 sorunu, "Mühendislik Parametreleri" olarak adlandırmıştır.

3.4. Yenilikçi Prensipler (Innovative Principles)

Altshuller, bulduğu 39 adetten oluşan Mühendislik Parametrelerine karşılık 40 adet de yenilikçi prensipleri ortaya koymuştur.

Altshuller, daha sonra Mühendislik Parametreleri ile Yenilikçi Prensiplerden oluşan bir matris yapmış ve buradaki sonuçlara göre kendi problemini çözmeye çalışmıştır.

Matriste bulunan satırlar, yapılan değişikliği; sütunlar ise yapılan değişiklikle beraber ortaya çıkan yeni sorunu göstermektedir. Matriste satır ve sütunların kesiştiği hücrelerde, -en fazla 4 adet olmak üzere mevcut patent incelemeleri sonucu çıkan 40 adet ideal

çözüm bulunmaktadır. Bu çözümlere "Yaratıcı Prensipler" denilmektedir.

Uzun yıllardır kullanılan bu yöntem ile birçok tasarımcıya ilham kaynağı olmuş ve zaman kaybı yaşanmadan problemler çözüme kavuşturulmuştur.

TRIZ, çözüm üretmez; çözüm bulmaya yönlendirir, problemlere sistematik bakışı öğretir, pratik ve hızlı düşünme yeteneğini geliştiren bir düşünce sistemidir. TRIZ, yenilikçiliği geliştirdiğinden problemlere tek bir sonuç değil birden fazla çözüm bulunması için yol gösterir. Bu sebeple problemlerin çözümünün kişiden kişiye değişeceği bir gerçektir [32].

4. TRIZ'İN KOLLARI HAREKET EDEN DRON GÖVDE TASARIMINA UYGULANMASI (APPLICATION OF TRIZ TO THE DRON FRAME DESIGN WITH FOLDABLE ARM)

Kolları hareket eden dron gövde tasarımı, deneme yanılma yöntemi yerine, problemler ve ortaya çıkacak çelişkiler TRIZ yaklaşımı ile ele alınacaktır.

TRIZ Çelişkiler Matrisinden çıkan sonuçlara göre quadcopter gövdesinde ve kolları iyileştirmeler yapılacaktır.

Dronun havalanabilmesi için itiş kuvvetinin, yerçekimini yenebilmesi ve üstüne bir itiş kuvveti uygulaması gerekmektedir. Bu sebepten dron tasarımında, en büyük etken ağırlıktır.

Dronun sorunsuz bir şekilde havada kalabilmesi için ağırlığın, motor güçlerinin, gövde yapısının ve uçuş kontrolünün rolleri çok önemlidir. Drona kullanılacak motorların ve ESC (Elektronik Hız Kontrolü)'lerin uyumlu olması, herhangi bir fiziksel hatanın olmaması durumunda, dron sorunsuz bir şekilde uçacaktır.



Şekil 4. Gövde-Kol ilk montaj (Body-Arm first assembly)

Şekil 4 de kolları hareket eden dron gövdesinin kolları ile birlikte ilk montajı görülmektedir. İlk montajın malzemesi 6063 alüminyum ve toplam ağırlığı 380g gelmektedir.

4.1. Problemin Tanımı (Description of the Problem)

Drona yeni eklenecek hareketli kollar için aşağıdaki problemlere çözüm bulmak gerekir.

- Kolların hareket etmesinden dolayı pervanelerin birbirine çarpma tehlikesi,

- Kolların hareketi esnasında hızın değişimi,
- Kolların hareketi esnasında ve kolların ağırlığından dolayı fazladan harcanacak olan enerji,

Tanımlanan bu problemlerle ilgili, TRIZ Mühendislik Parametrelerinden seçilenler aşağıdadır.

- -1- Hareketli Cismin Ağırlığı
- -2- Hareketli Cismin Uzunluğu
- -9- Hız
- -12- Şekil
- -19- Hareketli Cismin Harcadığı Enerji

Şekil değiştirme esnasında dron kolu, bir mafsal etrafında döneceğinden “Hareketli Cismin Uzunluğu” ve “Hareketli Cismin Ağırlığı” tasarım için önemli parametrelerdir. Ayrıca, şekil değiştirme esnasında “Hareketli Cismin Harcadığı Enerji”, buna bağlı olarak “Hız” sistem yapısını etkileyecektir. Bu parametrelerin sonucunda gövdenin “Şekil” durumu önem arz etmektedir.

Gövdeye eklenecek olan kolların hareket etmesi ile ek bir enerji sarfiyatı oluşacağından; dronun hızı ve havada kalma süresi olumsuz etkilenecektir. Matristen çıkan sonuca göre kol malzemesinin tasarımı ve şekli değişebilir.

4.2. Teknik Çelişki (Technical Contradiction)

Yukarıda seçilen mühendislik parametreleri ile TRIZ Çelişkiler Matrisi Çizelge 1’deki gibi oluşturuldu.

Çizelge 1. TRIZ çelişkiler matrisi (TRIZ contradictions matrix)

		1	2	9	12	19
1	Hareketli Cismin Ağırlığı	+		2, 8, 15, 38	10, 14, 35, 40	35, 12, 34, 31
2	Hareketli Cismin Uzunluğu		+		13, 10, 29, 14	
9	Hız	2, 28, 13, 38		+	35, 15, 18, 34	8, 15, 35, 38
12	Şekil	8, 10, 29, 40	15, 10, 26, 3	35, 15, 34, 18	+	2, 6, 34, 14
19	Hareketli Cismin Harcadığı Enerji	12, 18, 2, 8, 31		8, 35, 35	12, 2, 29	+

TRIZ matrisinin yukarıdan aşağıya olan kısmı, tasarımda iyileştirmek istenilen kısımları gösterir. Soldan sağa ise çelişkiden dolayı kötüleşen özellikleri gösterir.

Yukarıdaki matriste, iyileştirmeye çalışılan özelliklere karşı etkilenen özelliği belirleyip, iki özelliğin kesişiminde yazan yenilikçi fikirlere bakılarak tasarım geliştirilir.

Dronun uçuş esnasında şekli değişirken, kolların hareket etmesinden dolayı harcanan enerji artacaktır. Ayrıca şekil değiştirme kolları gövdeye ek bir ağırlık getirecektir.

Çizelge 2. Probleme ait çelişkiler matris çizelgesi (Contradictions matrix chart of the problem)

Gelişen Özellik	Kötüleştiren Özellik	TRIZ Yenilikçi Prensipleri
12 - Şekil	1- Hareketli Cismin Ağırlığı 19-Hareketli Cismin Harcadığı Enerji	2 Ayırma 6 Evrensellik 8 Karşı Ağırlık 10 Öncü Eylem 14 Yuvarlama 29 Pnömatik ve Hidrolik Yapılar Kullanma 34 Atılan veya değiştirilen parçalar 40 Kompozit Malzeme

Çizelge 2’de gelişen özellik olarak “Şekil” ele alındığında, kötüleşen özellikler olarak “Hareketli Cismin Ağırlığı” ve “Hareketli Cismin Harcadığı Enerji” ön plana çıkmaktadır. Yenilikçi Prensipten olarak, “Ayırma” ile harcanan enerjinin azalması ve şekil olarak iyileştirmenin yapılması önemlidir. Dron gövdesi ve gövdeye eklenen kollarla, belirli bölgelerde kesit daraltma işlemi ve parça çıkarma işlemi ile boşluklar oluşturma yapılması gerekmektedir. Diğer prensip “Evrensellik”, bu prensip bir parçanın diğer parça yerine kullanılması olarak uygulanabilir. Bunun için kullanılacak olan dört adet kolların ve kolları hareket ettirecek motorların gerektiğinde birbirlerinin yerine kullanılacak şekilde eş olarak tasarımı yapılabilir. “Öncü Eylem” prensibi için gövdeye eklenecek kol tasarımının en başında hafif malzeme seçilmesi gerekmektedir. Hafif malzeme seçimi yapılırken mukavemet ve korozyon direnci de göz önünde bulundurulmalıdır. Bir başka prensip “Yuvarlama”dır. Harcanan enerjinin azaltılması ve şekil değiştirme kolları için merkezkaç kuvvetinden faydalanılabilir. “Atılan veya değiştirilen parçalar” prensibi ile ilgili pervanelerin hasar alma ve yıpranma durumundan dolayı yedeklerinin olması ve değiştirilmesi gerekmektedir. Tüm bu değişimler Çizelge 3’de verildi.

Çizelge 3. Kavramsal tasarım çizelgesi (Conceptual design chart)

Yenilikçi Prensipler	Tasarımdaki Yapılacak Değişimler
2 Ayırma	Hem şeklin iyileşmesi hem de ağırlığın azaltılması için ana gövde ve eklenen kolda parça çıkarma veya kesit daraltma işleminin uygulanması
6 Evrensellik	Dört adet motorun ve kolların gerektiğinde birbirleriyle yer değiştirmesi.

Çizelge 3. (Devam) Kavramsal tasarım çizelgesi (Conceptual design chart)

8 Karşı Ağırlık	2 Ayırma Prensindeki uygulama ile çözüm oluşturulması.
10 Öncü Eylem	Şekil değiştirme kollarının ağır olması sistemin tamamını olumsuz etkileyeceğinden en başta hafif malzeme seçiminin yapılması.
14 Yuvarlama	Harcanan enerjinin azaltılması için şekil değiştirme kolları için merkezkaç kuvvetinden faydalanılması
29 Pnömatik ve Hidrolik Yapılar Kullanma	Kolların dönme hareketi yaparken sürtünmeyi azaltmak için teflon burç kullanılması
34 Atılan veya değiştirilen parçalar	Pervanelerin hasar alma ve yıpranma durumundan dolayı yedeklerinin olması ve değiştirilmesi
40 Kompozit Malzeme	Maliyet hesabı göz önünde bulundurularak gövdenin ve kolların kompozit malzemeden imalatı

4.3. TRIZ Yaklaşımıyla Çözüm Önerileri (Solution Suggestions with TRIZ Approach)

Çözüm 1:

İyileşen özellik "Şekil"e karşılık kötüleşen özellik Hareketli Cismin Ağırlığı için TRIZ in sunduğu yenilikçi prensipler ele alındığında, öncü eylem olarak drona eklenen hareketli kolların malzemesi ve gövde malzemesi en başta hafif malzeme seçilerek toplam ağırlık düşürülebilir. Ayrıca dron gövdesine eklenen kolların mukavemeti etkilemeyecek şekilde kesit daralmasına ve gövdeden parçalar çıkarak toplam ağırlık azaltılacaktır. Dron tasarımları incelendiğinde, dron gövdesi ve kolları için ABS plastik ve kompozit malzeme sıklıkla kullanıldığından, özgünlük açısından gövde ve kolların malzemesi alüminyumdan olması planlanmıştır.

Çizelge 4'de verilen malzeme özelliklerine göre; ağırlığın azaltılması açısından alüminyum kollar yerine ABS plastik veya karbon fiber kullanımı daha iyi olacağı görülmektedir.

Çizelge 4. Malzeme gerilme ve yoğunluk değerleri (Material stress and density values)

Malzeme	Gerilme Direnci (MPa)	Yoğunluk (g/cm ³)
Alüminyum	310	2.70
Karbon Fiber	4.300	1.75
ABS Plastik	45	1.05

Çizelge 4'de görüldüğü gibi en hafif malzeme ABS plastik, ancak gerilme direnci en yüksek malzeme ise Karbon fiberdir. Maliyet göz önünde bulundurulduğunda ABS Plastik kullanımı uygun olacaktır.

Çözüm 2:

Şekil parametresi iyileşirken bundan kötü yönde etkilenen "Hareketli Cismin Harcadığı Enerji" parametresi için yenilikçi prensip olarak, TRIZ Çelişkiler Matrisinde "Yuvarlama" görülmektedir.

Yuvarlama prensibine göre tasarımda keskin köşe bırakılmadan yarıçap oluşturulmalıdır. Bu sayede dayanıklılık ve hareket kabiliyeti artırılarak, aynı zamanda fazla ağırlıklar ve harcanan enerji de azaltılabilir. Mevcut quadcopter gövdesi incelendiğinde dron kollarının dikdörtgen yapısı görülmektedir. Kolların hareketi için dronda dört adet fazladan motor kullanılması toplam ağırlığı artıracığından ve şekil değiştirme esnasında kolların gövdeye temasının engellenmesi için, kol tasarımının ve malzemesinin değiştirilmesi gerekmektedir. Şekil değiştirme hareketini sağlayacak olan kollar, TRIZ Çelişkiler Matrisi sonucuna göre (Şekil 5), tasarım dikdörtgen formundan kesit daraltılması yapılarak, dairesel forma dönüşmüş ve malzeme olarak ABS plastik seçilmiştir. Kesit daraltma işlemi ile merkezkaç kuvveti etkilenmeden, kolların dairesel hareket yapması sağlanır.

Kesit daraltma işlemi sonucu, motorların kollara montaj yapılacak olan kısımlarının mukavemetli olması için mevcut genişlik korunmuştur. Sonuç olarak hareketli kolların tasarımı Şekil 5 deki gibi değiştirildi.



Şekil 5. Dron Kolu İlk ve Son Tasarım (Drone Arm First and Final Design)

Tasarımda yapılacak olan tüm iyileştirmeler sayesinde, harcanan malzeme, harcanan enerji miktarı azalacak, imalat ve kullanım kolaylığı artacaktır.

TRIZ yönteminde, unutulmaması gereken yenilikçi yaklaşımlarla yeni çelişkiler ortaya çıkarıp, karmaşık bir yapı yerine, yalın yapıda çıkan sonuç yorumlanmalı ve tasarım şekillendirilmelidir.

Yenilikçi fikirler tasarımın ve tasarımcının durumuna ve tecrübesine göre yorumlanıp, sürekli olarak iyileştirme yapılabilir.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

TRIZ kullanımı ile tasarımcının çelişkileri belirleyip çözüm yolu bulmasına, tasarımı geliştirirken malzeme çeşitliliği ve farklı sektörlerin üretime dâhil edilmesi sağlanmıştır. Bu yöntem deneme yanılma yerine tasarım için bir metot ortaya koyduğundan, Ar-ge süresini ve dolayısıyla imalat sürecini azaltarak, maliyetleri de azaltmaktadır. TRIZ öngörüsü ile kaliteli düşünce sonucunda kaliteli ürünlerin ortaya çıkması sağlanmıştır.

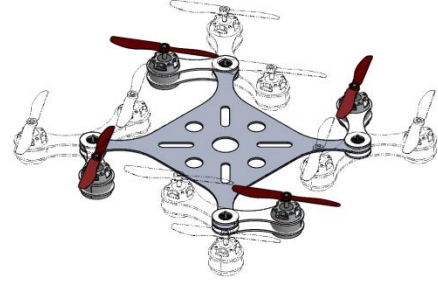
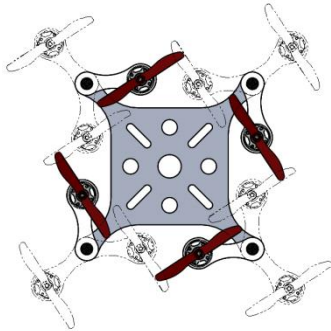
TRIZ, kendi kendine tasarım yapan bir metot değildir, sihirli bir çözüm de değildir. TRIZ yönteminin işleyişi, detaylı bir şekilde açıklanarak tasarımda sürekli geliştirme sağlanmıştır.

Yapılan bu çalışmada, dronun hareket eden kollarının ABS plastik malzemeden tasarlanarak, harcanan enerji yaklaşık %40 oranında azaltılmıştır. Harcanan enerjinin azalması uçuş süresine artı yönde etki etmiştir. Aynı zamanda kolların şekil olarak yuvarlama prensibi ile daha ergonomik hale getirilmiştir. Sistematik tasarım ilkesi ile kolların, motorların ve bağlantı elemanlarının birbirinin yerine kullanılması sağlanmıştır. Dronun havada iken kollarının hareket etmesi esnasında oluşacak titreşimleri önlemek amacıyla tüm hareketli parçaların balans testleri yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır.

Çizelge 5. Tasarımların ağırlık karşılaştırması (Weight comparison of designs)

TASARIM	AĞIRLIK (g)
Ön tasarım	380
Son tasarım	200

Çizelge 5’de görüldüğü gibi ön tasarımda tüm malzeme Alüminyum olarak kullanılmış toplam gövde ağırlığı kollar dâhil 380gram olarak hesaplanmıştır. TRIZ yaklaşımı ile yapılan son tasarımda ise kolların malzemesinin ABS plastik ve kol tasarımının değiştirilmesi ile toplam gövde ağırlığı 200grama düşürülmüştür. Bu sayede fazla ağırlıklar kurtularak, harcanan enerji miktarı azaltılmıştır.



Şekil 6. Dron gövdesinin son tasarımı (Final design of drone body)

TRIZ yaklaşımı ile çıkan sonuçlar yorumlanarak; dron gövde tasarımı en son halini almıştır. Şekil 6’da gövde tasarımının son hali ve kolların hareket kabiliyeti gösterilmektedir.

Bundan sonraki akademik çalışmalarda, kolları hareket eden dron üzerinde araştırmalar yapılacağı gibi TRIZ ile dron tasarımı alanında da avantajlar sağlanacağı ön görülmektedir. Özellikle dört rotorlu dik uçarın gövdesi değişik şekillerde ele alınarak aerodinamik yapısı incelenip, dinamik analizler yapılabilecektir. Bu sayede her gövde tipi için ayrı parametreler ortaya konulabilecektir. Öte yandan TRIZ yaklaşımı ile dron tasarımda farklı bakış açıları geliştirilerek farklı matrisler oluşturulabilir. Oluşturulan her yeni matris ile dron tasarımı sürekli iyileştirilebilecektir.

SİMGELER VE KISALTMALAR (NOMENCLATURE)

DRON	= İnsansız Hava Aracı
ESC	= Elektronik Hız Kontrol
ABS	= Akrilonitril Bütadien Stiren

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS’ CONTRIBUTIONS)

Mustafa Burak GÜNAY: TRIZ’ i araştırmış, Çelişkiler Matrisini oluşturmuş, tasarıma ilk halini vermiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir

İhsan KORKUT: Matris sonuçlarını kontrol ederek, tasarımın geliştirilmesini sağlamıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur

KAYNAKLAR (References)

- [1] Radmanesh, M. R., Hassanalian, M., Feghhi, S. A., & NiliAhmadabadi, M. "Numerical Investigation of Azarakhsh MAV." *IMAV2012, Germany*, (2012).
- [2] Stokkermans, T., Veldhuis, L., Soemarwoto, B., Fukari, R., & Eglin, P. "Breakdown of aerodynamic interactions for the lateral rotors on a compound helicopter." *Aerospace Science and Technology*, 101, 105845, (2020).
- [3] Pounds, P., Mahony, R., & Corke, P. "Modelling and control of a quad-rotor robot." In Proceedings of the 2006 Australasian Conference on Robotics and Automation (pp. 1-10). *Australian Robotics and Automation Association (ARAA)*, (2006).
- [4] Hassanalian, M., Throneberry, G., & Abdelkefi, A. "Wing shape and dynamic twist design of bio-inspired nano air vehicles for forward flight purposes." *Aerospace Science and Technology*, 68, 518-529, (2017).
- [5] Oktay, T., & Şahin, H. "Trikopterin Özellikleri, Diğer İnsansız Hava Araçları ile Karşılaştırılması ve Özgün Trikopterimiz." *IV. Ulusal Havacılık Teknolojileri Konferansı*, (2017).
- [6] Sinha, P., Esden-Tempski, P., Forrette, C. A., Gibboney, J. K., & Horn, G. M. "Versatile, modular, extensible vtol aerial platform with autonomous flight mode transitions." *In 2012 IEEE aerospace conference* (pp. 1-17). IEEE, (2012).
- [7] Bayraktar Ö. ve Gültaş A. "Quadrotor itme ve tork katsayılarının optimizasyonu ve Matlab/Simulink ile simülasyonu", *Politeknik Dergisi*, 23(4): 1197-1204, (2020).
- [8] Tanaka, S., Asignacion, A., Nakata, T., Suzuki, S., & Liu, H. "Review of Biomimetic Approaches for Drones." *Drones*, 6(11), 320, (2022).
- [9] Mohammed, M., Hazairin, N. A., Al-Zubaidi, S., AK, S., Mustapha, S., & Yusuf, E. "Toward a novel design for coronavirus detection and diagnosis system using IoT based drone technology." *International Journal of Psychosocial Rehabilitation*, 24(7), 2287-2295, (2020).
- [10] James C. Rosser, Jr, MD, Vudatha Vignesh, BSE, Brent A. Terwilliger, PhD, Brett C. Parker, MD "Surgical and Medical Applications of Drones." *A Comprehensive Review*, July–September, Volume 22, (2018).
- [11] Shukla, D., & Komerath, N. "Multicopter drone aerodynamic interaction investigation". *Drones*, 2(4), 43, (2018).
- [12] Musa, S. "Techniques for quadcopter modeling and design: A review." *Journal of unmanned system Technology*, 5(3), 66-75, (2018).
- [13] Floreano, D., & Wood, R. J. "Science, technology and the future of small autonomous drones." *Nature*, 521(7553), 460-466, (2015).
- [14] Joshi, P. M. "Wing analysis of a flapping wing Unmanned aerial vehicle using CFD." *Development*, 2(5), (2015).
- [15] Kardasz, P., Doskocz, J., Hejduk, M., Wijekut, P., & Zarzycki, H. "Drones and possibilities of their using." *J. Civ. Environ. Eng*, 6(3), 1-7, (2016).
- [16] Dufour, L., Owen, K., Mintchev, S., & Floreano, D. "A drone with insect-inspired folding wings." *In 2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, (pp. 1576-1581). IEEE, (2016).
- [17] Nicassio, F., Scarselli, G., Pinto, F., Ciampa, F., Iervolino, O., & Meo, M. "Low energy actuation technique of bistable composites for aircraft morphing." *Aerospace Science and Technology*, 75, 35-46, (2018).
- [18] Tsushima, N., Yokozeki, T., Su, W., & Arizono, H. "Geometrically nonlinear static aeroelastic analysis of composite morphing wing with corrugated structures." *Aerospace Science and Technology*, 88, 244-257, (2019).
- [19] Tuna, T., Ovrur, S. E., Gokbel, E., & Kumbasar, T. "Design and development of FOLLY: A self-foldable and self-deployable quadcopter." *Aerospace Science and Technology*, 100, 105807, (2020).
- [20] Oktay, T., & Enes, Ö. Z. E. N. "Döner Kanatlı İnsansız Hava Aracının Sistem Tasarımı ve Kontrolü." *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 318-324, (2021).
- [21] Kim, J. H., Kim, H., Jung, J. N., Jang, D., & Kwon, H.. "Portable-size Drone Design Using TRIZ Method." *Journal of The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, 26(2):230-237, (2017).
- [22] Xiu, H., Xu, T., Jones, A. H., Wei, G., & Ren, L. "A reconfigurable quadcopter with foldable rotor arms and a deployable carrier." *In 2017 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, (pp. 1412-1417), IEEE, (2017).
- [23] Tan, J. X., Effendi, M. S. M., & Radhwan, H. "Analysis of drone remote control to improve end of life (EOL) performance using QFD, TRIZ, and DFMA methods." *In AIP Conference Proceedings*, (Vol. 2129, No. 1, p. 020162). AIP Publishing LLC, (2019).
- [24] Yuan-wu, S. H. I., & Xiao-cheng, Z. H. E. N. G. "Application research on GQFD-TRIZ integration method in police UAV design." *Journal of Graphics*, 40(2), 296, (2019).
- [25] Kumar, R., Wells, J. Z., Jhawar, D., Ranjan, K., & Kumar, M. "Prototype Development and Flight Controller Implementation of the Sliding-Arm Quadcopter." *IFAC-PapersOnLine*, 55(37), 542-547, (2022).
- [26] Nikhilraj, A., Simha, H., & Priyadarshan, H. "Modeling and Control of port dynamics of a tilt-rotor quadcopter." *IFAC-PapersOnLine*, 55(1), 746-751, (2022).
- [27] Ruan, L., Pi, C. H., Su, Y., Yu, P., Cheng, S., & Tsao, T. C. "Control and experiments of a novel tilttable-rotor aerial platform comprising quadcopters and passive hinges." *Mechatronics*, 89, 102927, (2023).
- [28] Ahmad, F., Kumar, P., Patil, P. P., & Kumar, V. "Design and modal analysis of a quadcopter propeller

- through finite element analysis.” *Materials Today: Proceedings*, 46, 10322-10328, (2021).
- [29] Ahmad, F., Kumar, P., Bhandari, A., & Patil, P. P. “Simulation of the quadcopter dynamics with LQR based control.” *Materials Today: Proceedings*, 24, 326-332, (2020).
- [30] Singh, R., Kumar, R., Mishra, A., & Agarwal, A. “Structural analysis of quadcopter frame.” *Materials Today: Proceedings*, 22, 3320-3329, (2020).
- [31] Bennaceur, S., & Azouz, N. “Modelling and control of a quadrotor with flexible arms.”, 65, 209-231, *Alexandria Engineering Journal*, (2022).
- [32] Orloff, M. A., “Grundlagen der klassischen TRIZ: Ein praktisches Lehrbuch des erfinderischen Denkens für Ingenieure”, *Entwicklung der TRIZ*, 310-338, (2006).
- [33] Güneş, S. “Ürün Tasarımı ve TRIZ.” *Sanat ve Tasarım Dergisi*, 1(2), (2008).
- [34] Altuntaş, S., Dereli, T., YILMAZ, M. K., Ertürk, B., & Demirbaş, A. “Havacılık Sektöründe Bakım Kolaylığı İçin Yaratıcı Problem Çözme Teorisi Uygulamaları.” *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 19(55), 211-228, (2017).
- [35] Ilevbare, I. M., Probert, D., & Phaal, R. “A review of TRIZ, and its benefits and challenges in practice.” *Technovation*, 33(2-3), 30-37, (2013).