

Orman yangınlarıyla mücadelede kullanılan helikopter için su tankı tasarımı

Water tank design for helicopters performed to fight forest fires

Eyüp Can ALTINTAŞ¹, Gizem Gül KARA¹, Mustafa AKBAL¹, Abdussamet AKBAŞ¹, Burhan ŞAHİN², Harun ÇELİK^{3*}

¹Erciyes Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye.
eyupcanaltintas@gmail.com, gizemgulk@gmail.com, akba.mustafa2001@gmail.com, abdussametakbas@gmail.com

²TUSAŞ-Türk Havacılık ve Uzay Sanayii AŞ, Ankara, Türkiye.
burhan.sahin@tai.com.tr

³Erciyes Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uzay Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye.
haruncelik@erciyes.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 25.05.2024

Düzeltilme Tarihi/Revision: 01.09.2024

doi: 10.5505/pajes.2024.36524

Kabul Tarihi/Accepted: 16.10.2024

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Dünyamız için hayati öneme sahip olan ormanlara karşı en önemli tehdidi yangınlar oluşturmaktadır. Orman yangınlarıyla mücadelede etkin yöntemlerden biri hava aracı kullanımıdır. Düşük hızları sayesinde yangın noktalarını daha iyi hedefleyebilmesi ve taşıyabileceği su miktarının yüksek olması nedenleriyle diğer hava araçlarına nispeten helikopterler, yangınla mücadelede daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Helikopterlerle yangın bölgesine su taşıyabilmek için geliştirilmiş farklı sistemler bulunmakla birlikte bu makalede daha etkili bir su tankı sistemi tasarımı önerilmektedir. Bu yeni tasarım helikopterlere suyu hızlı tahliye etme, çevresel riskleri azaltma ve modüler yapısı sayesinde gövdeye kolayca sökülüp takılabileme üstünlükleri kazandırmaktadır. Tasarlanan sistemin analiz sonuçları, tasarımın işlevselliğini ve performansını doğrulamaktadır. Böylece bu çalışma, orman yangınları gibi acil durumlarda etkili bir müdahale için yeni ve üstün bir dâhili su tankı tasarımı sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Orman yangınları, Havadan yangın söndürme, Helikopterler, Su tankı, Basınçlandırma

Abstract

Fires are the most important threat to forests which are of vital importance for our world. One of the effective methods of fighting forest fires is the use of aerial vehicles. Compared to other aerial vehicles, helicopters are more widely used in fire fighting due to their low speed, better targeting of fire points, and the high amount of water they can carry. Although there are various developed systems to able helicopters to carry water to the fire zone, a more effective water tank system design is proposed in this article. This new design provides helicopters with the advantages of fast water evacuation, reduced environmental risks and easy removal and installation to the fuselage due to its modular structure. The analysis results of the designed system confirm the functionality and performance of the proposed design. Thus, this study presents a new and superior internal water tank design for an effective response in emergency situations such as forest fires.

Keywords: Forest fires, Aerial firefighting, Helicopters, Water tank, Pressurization

1 Giriş

Ormanlar dünyadaki hayati doğal kaynaklardan biridir. Ancak son 10 yılda dünyada ortalama 82 milyon hektarlık orman arazisi yanarak yok olmuştur. 2001 yılından beri kaybedilen orman arazisinin ise %33'ü orman yangınları nedeniyle yok olmuştur. Ormanlar açısından önemli bir tehdit oluşturan yangınlar, ülkemiz ormanlarında da yılda ortalama 2686 defa (2015-2021 yılları ortalaması alınmıştır.) çıkmaktadır [1]. Orman yangınları çoğunlukla doğada oluşan kıvılcımlar, yıldırımlar, volkanik patlamalar, bazen de beşeri nedenlerden kaynaklanmaktadır.

Orman yangınlarıyla mücadelede geleneksel yöntemler yerine havacılığın sunduğu çözümlerin çok daha etkin olduğu görülmekte, bu doğrultuda söndürücü taşıyan uçaklar ve helikopterler, özellikle engebeli ve geniş alanda gerçekleşen yangınlarda uzun yıllardır kullanılmaktadır [2]. Ancak bir yangın; havalimanı yakınında 'uygun bir yerde' değilse, sabit kanatlı hava araçlarının uçuş görevleri arasındaki süre, iniş kalkış nedeniyle aşırı uzamaktadır [3]. Bunun yanında sabit kanatlı hava araçları; uzun su dolun süreleri, kısıtlı manevra kabiliyeti, dar alanlardaki operasyonlarda yüksek risk faktörü, uçuş kontrolünün zorluğu gibi nedenlerle orman yangınlarıyla

havadan mücadele konusunda yetersizdirler. Sabit kanatlıların aksine helikopterler sadece ekiplerin olay yerine daha hızlı ulaşmasını sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda helikopterin hızı ve konumu mevcut ortama kolayca uyarlanabildiği için operasyonlar sırasında hassasiyetin artmasına da olanak tanımaktadır. Havacılığın sunduğu yöntemler her ne kadar etkin olsa da yangınla mücadele yöntemlerine ilişkin teorik araştırmalara halen ihtiyaç duyulmakta, örneğin yüksek irtifada düşen suyu yönlendirebilecek bir matematiksel model veya yönlendirme yöntemi bulunmamaktadır [4]. Orman yangınlarını söndürmede yanıcı maddeyi yanma noktasının altına kadar soğutmak, yanan madde üzerinde buhar oluşturarak alevi boğmak ve seyreltme gibi ana mekanizmalar vardır [5]. Ancak günümüz teknolojik imkanlarıyla bu mekanizmaların işletilmesi ve yangınların hızlı ve tamamen söndürülmesi önemli zorluklar barındırmaktadır.

Ülkemizde de orman yangınlarıyla mücadelede hem sabit kanatlı hem de döner kanat hava araçları kullanılmaktadır [6]. Uçak ve helikopterlerden orman yangınları ile savaşın gözetleme, yangın mahalline personel taşınması, yangına su ve kimyasal madde atılması, yangın hortumu serilmesi, kargo nakli gibi çeşitli aşamalarında yararlanılmaktadır. Uçak ve helikopterlerin hareket yeteneklerinin farklı olması kullanım

*Yazışılan yazar/Corresponding author

alanlarında bir birbirine bazı üstünlükler sağlamaktadır. Türkiye’de artan orman yangınlarına karşı bu üstünlükleri sağlamak için Orman Genel Müdürlüğü (OGM) ve güvenlik güçlerinin bünyesinde bulunan genel maksat helikopterleri de yangın söndürme çalışmalarına dahil edilmektedir.

Helikopterlerde genel olarak kova tipi, dahili tank tipi, harici tank tipi olmak üzere üç farklı tipte su atar kullanılmaktadır. Bunlardan kova tipi olanları daha yaygın olarak tercih edilmektedir. Suyu daldırılarak veya pompayla dolmuştur yapılabilmekte [7], kova çeperine yapıştırılan ekipmanlarla kimyasal söndürücü ilavesi yapılabilmekte [8], boşaltım hedefe püskürtülerek yapılabilmektedir [9], [10], [11]. Ancak kova tipi yangın söndürücüler helikopterin uçuş karakteristiğini önemli ölçüde etkileyerek orman yangınlarına müdahaleyi güçleştirmekle birlikte kova ağız açık bir şekilde uçuş gerçekleştirildiği için su kaybı da yaşanmaktadır. Özellikle uzun ağaçların olduğu alanlarda su kovanın kullanımı, suyun alınmasındaki ve boşaltılmasındaki yüksek kaza riski nedeniyle kısıtlıdır [3].

Ayrıca su kovası; helikopteri yavaşlatması, uçuş dinamiğini bozması, müdahaleyi geciktirmesi, kapasite kısıtlının belirleyici olması, rüzgâr ve diğer hava koşullarından etkilenmesi, su boşaltma aşamasında hassasiyetin/doğruluğun zor sağlanması ve uçuş güvenliği konusunda yüksek risklerinin olması gibi eksiklikleri barındırır.

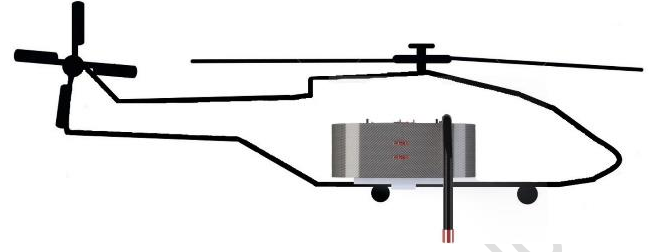
Yangın söndürmede kullanılan ikinci sistem olan harici tank tipi helikopter gövdesi altına sabitlenen tank türüdür. Kova tipine göre helikopterin daha hızlı hareket etmeyi, kaza riskinin azaltılmasını, dar alanlara girilebilmesini sağlar [12]. Ancak harici tank tipinin gövde altına yerleştirilmesinde önemli hacim/yer kısıtlamaları mevcuttur ve bu yapı da helikopter dinamiği ile aerodinamiğini önemli ölçüde değiştirmektedir.

Yangın söndürmede kullanılan bir diğer sistem olan su tankı ise gövde içerisine yerleştirilerek helikopterin uçuş dinamiğine olan etkisi sınırlandırılmakta, helikopterin daha yüksek hızlarda uçabilmesi ve böylece yangın söndürme operasyonlarına süratle müdahale edebilmesi sağlanmaktadır [5]. Gövde içerisinde korunaklı olması, daha hafif malzemelerle üretilmesine imkan sunmaktadır.

Helikopterlerin sahip olduğu manevra kabiliyetine engel oluşturmayarak daha isabetli su tahliyesine olanak sağlaması, dahili su tankının üstünlüklerinden bir diğeridir [13]. Dahili tank yapısı sayesinde su kovasının rotorlarla, ağaçlarla veya diğer nesnelere teması nedeniyle kaza ihtimalinin aksine su tanklarının, çevredeki engellerle temas etme riski de azaltılmaktadır [14]. Ayrıca, su kovası pilotlarının su alımı teknikleri konusunda eğitilmesi gerekliliği vardır [15]. Yapılan çalışmalara göre kurulu tanklarda nakliye sırasında ortalama su kaybı oranının %25, su kovalarında ise %50 olduğu belirlenmiştir [16]. Su tankları, aktüatörler tarafından farklı kombinasyonlarla açılabilen kapılara sahiptir ve bu kapılar yangın hattına daha orantısız su boşaltım için kullanılmaktadır [17].

Bu üstünlükleri nedeniyle helikopterlerde tercih edilebilecek dahili tank yapısı üzerine insansız helikopterlerle yapılan çalışmalar da mevcuttur [18]. Nitekim insansız helikopterlerde uçuş kontrolü daha büyük bir önem kazanmakta, helikoptere kova asılmasının neden olacağı dinamik belirsizlik riskleri kabul edilemez düzeye ulaşmaktadır. Bu çalışma da Şekil 1’de sunulduğu gibi dahili tank tasarımı özgün olarak geliştirilmekte; uçuş dinamik ve aerodinamiğine etkisi daha az

olan, kaza riskini azaltan, özel tahliye kapağı sayesinde hızlı boşaltımın yapılabilirdiği bir tank yapısı sunulmaktadır.



Şekil 1. Su tankı tasarımının yerleşimi.

Figure 1. Layout of the water tank design.

Çalışmanın temel amacı, helikopter içinde yer alacak dahili ve ergonomik bir su tankı sistemi tasarlanarak orman yangınlarına etkili ve hızlı müdahale edebilmektir. Tasarlanan su tankının tasarım aşamaları sunulmakta, sağladığı üstünlükler yapılan analizlerle ortaya konulmaktadır.

2 Su tankı tasarımı

Su kovası yapılarının çeşitli su kaynaklarından su alabilmesine rağmen uçuş karakteristiğini genel anlamda olumsuz etkilemesi sebebiyle çalışma kapsamında orman yangınlarına genel maksat helikopterlerine monte edilebilir dahili bir su tankı tasarımı öne çıkmaktadır. Tasarımda, hem OGM hem de güvenlik güçleri envanterinde bulunan Sikorsky S70 helikopteri tercih edilmiştir. Böyle kullanım alanı yaygın olan genel maksat helikopterlerine uygulanmasıyla yangınla daha etkin bir şekilde mücadele edilebilme imkânının sağlanması hedeflenmektedir.

2.1 Tasarım geliştirme süreçleri

Yapılan su tankı tasarımı çalışmalarından kavramsal tasarım aşamasında ilk olarak helikopterin yangın söndürme kapasitesi ve su tankının taşıma kapasitesi gibi ana hedefler netleştirilmiştir. Daha sonra, su tankının boyutları, şekli ve yerleşimi gibi temel parametreler belirlenmektedir.

Analiz aşamasında ise su tankının statik ve dinamik özellikleri incelenmektedir. Statik analiz, tankın su taşıma kapasitesini belirlerken, dinamik analiz ise suyun tahliyesinin hedeflenen ve gerçekleşen durumunu ortaya çıkarmaktadır. Bu analizler, su tankının güvenilirliğini ve etkinliğini sağlamak için kritik öneme sahiptir.

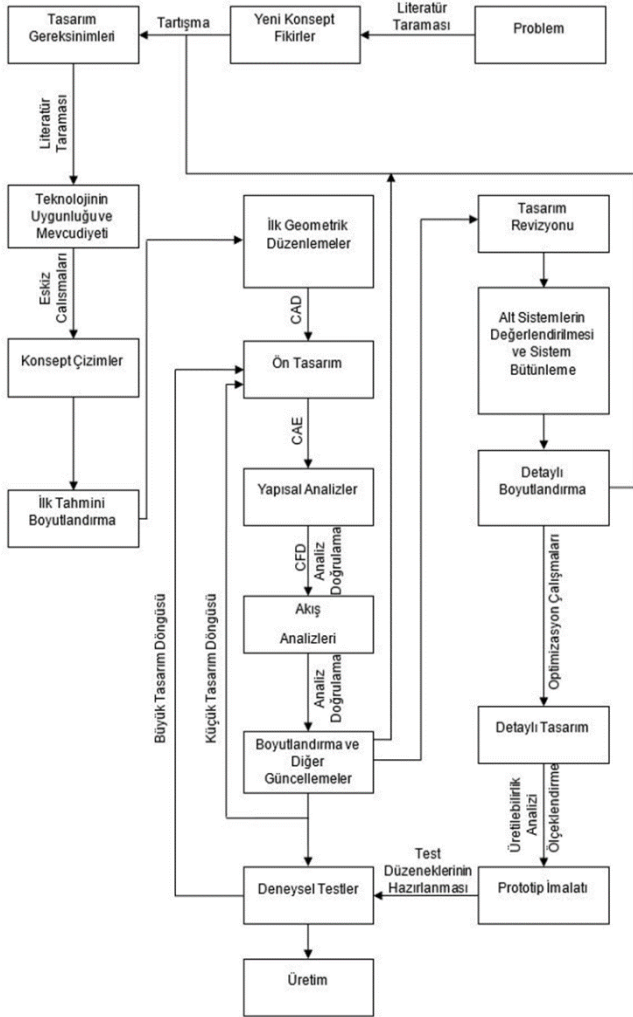
Detaylı tasarım aşamasında, su tankının detaylı özellikleri belirlenmektedir. Malzeme seçimi yapılmakta, tankın iç yapısı tasarlanmakta ve suyun dolumu ile boşaltım işlemleri için gerekli mekanizmalar belirlenmektedir. Ayrıca, tankın helikopterin içindeki konumu ve bağlantı noktalarına karar verilmektedir.

Prototip üretimi ve testi aşamasında, tasarlanan su tankı sisteminin prototipi üretilmekte ve boşaltım testi yapılmaktadır. Bu test sonucunda elde edilen veriler, tasarımın güvenilirliğini ve etkinliğini değerlendirmek için kullanılmaktadır. Tasarım sürecinin ana başlıkları şu şekilde sıralanabilir:

- Kavramsal tasarım,
- İlk boyutlandırma,
- Analiz,
- Detaylı tasarım ve malzeme seçimi,
- İmalat yönteminin belirlenmesi

➤ Prototip üretimi ve testi

Bununla birlikte tasarım sürecinin detayları da Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Detaylı tasarım akış şeması.

Figure 2. Detailed design flowchart.

2.2 Tasarım parametreleri

Su atarlardan genel olarak iki tip (harici/dahili) öne çıkmakla birlikte helikopter dinamiğini en az etkileyeni dahili su tankıdır. Ayrıca yapılan bu çalışmayla, harici su tankı tasarımında iniş takımları kısıtlamalarının da üstesinden gelinmektedir. Tasarım yapıldığı genel maksat referans helikopterin özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Tasarım parametreleri de bu helikopter özelinde seçilmiştir. Nitekim tasarımın gerçek zamanlı uygulanabilirliği öncelikle bu bilgilere bağlıdır. Bu bilgiler dikkate alınarak gerekli hesaplamalar ve analizler sonucu boyutlandırma yapılmaktadır.

Dahili su tankı yapısında su takviyesi şnorkelle, su tahliyesi ise helikopterin alt kısmından olacak şekilde tasarlanmıştır. Tahliye kapağının tasarımında helikopterin kabin tabanının konstrüksiyonu referans alınmış ve kapak geometrisi, kabin iç yapısında minimum modifikasyonla entegre edilebilecek şekilde ayarlanmıştır. Bu doğrultuda en yüksek taşıma kapasitesini sağlayacak parametreler ile bunların karar verilen değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Helikopter teknik özellikleri [19].

Table 1. Helicopter technical specifications [19].

Özellik	Değer
Azami Kalkış Ağırlığı	9979 kg
Azami Kalkış Ağırlığı (Harici Yük Dahil)	10659 kg
Azami Harici Yük	4082 kg
Kabin Genişliği	2.14 m
Kabin Hacmi	11.23 m ³
Kabin Yüksekliği	1.37 m
Kabin Alanı	8.18 m ²

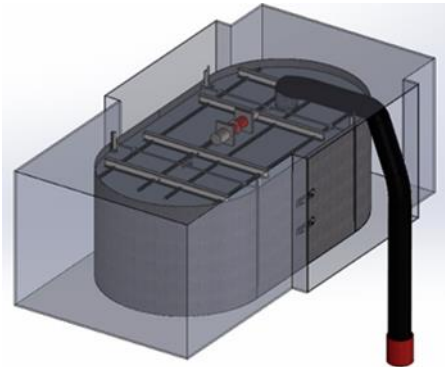
Tablo 2. Tasarım parametreleri.

Table 2. Design parameters.

Özellik	Değer
Toplam Dolu Ağırlık	4300 kg
Sistem Boş Ağırlık	300-400 kg
Toplam Su Kapasitesi	4000 L
Hedeflenen Tahliye Süresi	6 saniye
Uzunluk	3.06 m
Genişlik	1.54 m ³
Yükseklik	1.12 m

2.3 Sistem özellikleri ve çalışma prensibi

Tasarımda helikopter önce su almak amacıyla göl/deniz gibi kaynaklara şnorkeli daldırarak su pompalaması ile tankı doldurmaktadır. Ardından helikopterin kabin içerisinde taşıdığı su tankı yangın bölgesine dolu halde intikal etmektedir. Yüksek hızda su tahliyesi yapabilmek için su esnek mesane yapısına hapsedilmekte ve hareketli üst kapak tasarımı sayesinde suyun basınçlandırılmasıyla tahliye kapağında hızla çıkması sağlanmaktadır. Bu şekildeki görevin icrası için basınçlandırma mekanizması, tahliye mekanizması, gövde iç yerleşimi ve kontrol sistemi olmak üzere dört ana başlıkta çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Tasarlanan tankın helikopter içerisindeki genel görünümü Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. Tasarımın genel görünümü.

Figure 3. General view of the design.

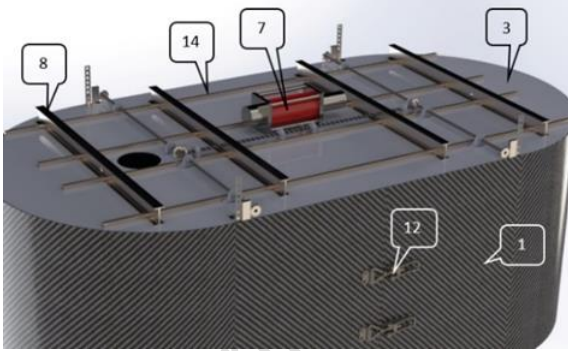
2.3.1 Basınçlandırma mekanizması

Basınçlandırma mekanizmasının iki önemli amacı bulunmaktadır. Bunlar biri tank içerisindeki suyun çalkalanmasını engelleyerek uçuş dinamiğine olan etkisini

azaltmaktadır. Diğeri ise suyun hızlı bir şekilde tahliye edilmesini sağlamaktır. Suyun taşındığı iç tank esnek mesane yapısındadır. Esnek mesane yapısı (Şekil Ek A1) da katı tank içerisine yerleştirilerek desteklenmektedir. Bu sayede esnek mesane yapısının zarar görmesinin önüne geçilmektedir. Depolanan suyun basınçlandırılması ise hareketli üst kapak ile sağlanmaktadır. Hareketli üst kapak (Şekil Ek A1), kremayerler ve raylar (Şekil Ek A3) ile düşey yönde hareket kabiliyetine sahiptir. Kremayerler ve raylar, katı tanka montajlanmış olup uygun bağlantı elemanlarıyla hareketli üst kapağa tutturulmuştur.

Şnorkel (Şekil 3.) yardımıyla su alınırken esnek mesane yapısı genişleyerek şişmekte ve hareketli üst kapak yukarı yönde itmektedir. Boşaltma esnasında ise motor (Şekil Ek A5) yardımıyla hareketli üst kapağa aşağı yönde (depolanan suya basınç uygulayacak şekilde) hareket verilmektedir. Motor, miller ve konik dişliler (Şekil Ek A7) aracılığıyla kremayer dişlilerine güç aktararak hareketli üst kapağın deplasmanını sağlamaktadır. Miller, hareketli üst kapağa yataklı rulmanlar (Şekil Ek A7) ile sabitlenmektedir. Motordan gelen güç sayesinde hareketli üst kapak aşağı yönde hareket ederken esnek mesane yapısına basınç uygulamaktadır ve bu sayede suyun operasyon bölgesine daha hızlı tahliyesi sağlanmaktadır.

Hareketli üst kapağın dayanımını artırmak amacıyla enlemsel destek kirişleri ve boylamsal destek kirişleri (Şekil Ek A4) kullanılmıştır. Ek olarak su alım ve su tahliyesi sırasında şnorkelin üst kapak hareketlerine uyum sağlaması için körük kullanılmaktadır. Şnorkel hortumunun körüklü kısmı (Şekil Ek A4), boyunun uzayıp kısalabilmesi sayesinde üst kapağın hareketi esnasında pompa borusunun gerginleşip kopmasını önlemektedir. Basınçlandırma mekanizmasının genel görünümü Şekil 4 ile verilmiştir.



Şekil 4. Basınçlandırma mekanizması.

Figure 4. Pressurization mechanism.

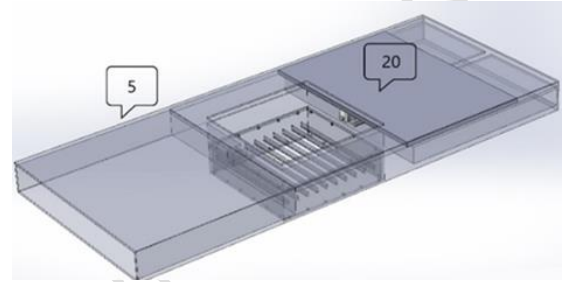
2.3.2 Tahliye mekanizması

Yangına müdahale esnasında bırakılan suyun dağılımı söndürme performansı açısından önem taşımaktadır. Tahliye verimini etkileyen bir dizi faktör mevcuttur. Bunlar arasında su akış hızı, bırakılan suyun uzunluğu, genişliği ve derinliği, suyun düşme düzenini belirleyen önemli parametrelerdir [20]. Düşme düzeni; uçağın hızı, irtifası, rüzgâr hızı ve kanopi müdahalesi gibi faktörlerle bağlantılıdır. Helikopterin hızı ve irtifası, suyun düşme desenini belirlerken rüzgâr hızı ve kanopi müdahalesi, suyun dağılımını etkilemektedir.

Tahliye kapılarının stratejik konumlandırılması ise, suyun düşme düzenini belirlemede etkili olurken kapı boyutları, suyun tanktan ne kadar hızlı ve etkili bir şekilde boşaltılabileceğini belirlemektedir. Homojen bir tahliye düzeni, suyun dengeli bir şekilde yayılmasına ve yangını kontrol altına

almaya yardımcı olmaktadır. Bu nedenle, tank tasarımında derinlik ve kapasite dengesinin sağlanması önemlidir [17], [20], [21].

Sistemde suyun tahliyesi helikopterin kabin zeminindeki konstrüksiyon elemanları (frame) arasına konumlandırılan tahliye kapağı vasıtasıyla sağlanmaktadır. Tahliye kapağı destek plakası, esnek mesane tankını destekleyerek tahliye kapağıyla bağlantıyı sağlamaktadır. Tahliye kapağı Şekil 5'te gösterilmiştir. Elektrik tahrikli lineer piston, lineer piston bağlantı elemanı sayesinde hareketli tahliye kapısına güç aktarılmaktadır. Lineer pistonun ileri ve geri hareketi sayesinde tahliye kapağı açılıp kapanmaktadır. Tahliye kapağı altında bulunan ızgara sayesinde suyun kontrollü dağılımı sağlanmaktadır.



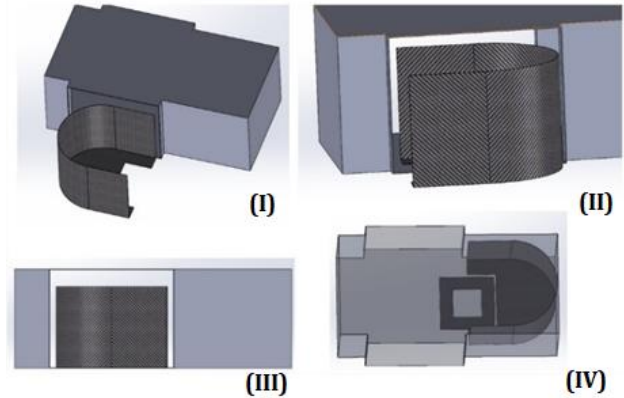
Şekil 5. Tahliye kapağı.

Figure 5. Drain cover.

2.3.3 Gövde içine yerleşim yöntemi

Su taşıma kapasitesinin artırılması istenen tankın gövde içerisine yerleşimi de zorlaşmaktadır. Sistemin helikopter gövdesine kolay ve hızlı şekilde kurulabilmesi gayesiyle katı tank, iki parça halinde tasarlanmıştır. Parçalar birbirine gerdirme kilitleriyle (Şekil 4) bağlanarak tek parça haline getirilmektedir. Katı tank, kabin içerisinde gergi halatlarıyla (Şekil 4) sabitlenmektedir.

Tankın gövde içine yerleşim testini yapmak için katı model programında referans alınan helikopterin ölçülerinden yola çıkılarak kabin de modellenmiştir. Burada yapılan testlerle tankın montajlanabilirliğine Şekil 6'da gösterildiği gibi bakılmıştır. Katı tank tasarımının geometrik özellikleri belirlenirken gövde içi yerleşimi dikkate alınmıştır. Esnek mesane yapısı ise esnekliği sayesinde kolayca kabin içerisine yerleştirilebilmektedir.

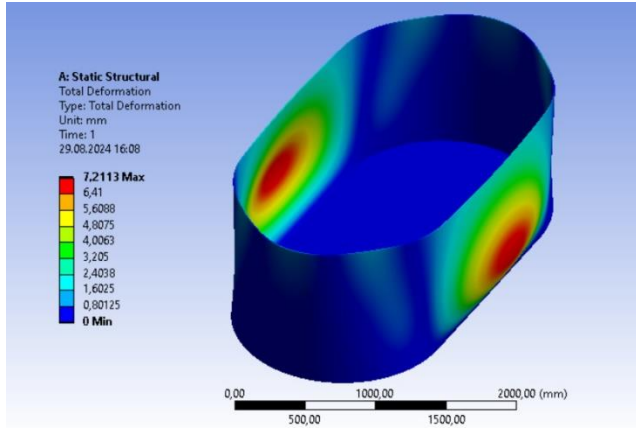


Şekil 6. Katı tankın yerleşimi

Figure 6. The placement of the solid tank

Young's Modulus Y direction	6E+09 Pa
Young's Modulus Z direction	6E+09 Pa
Poisson's Ratio XY	0,2 Pa
Poisson's Ratio YZ	0,4 Pa
Poisson's Ratio XZ	0,2 Pa
Shear Modulus XY	8E+09 Pa
Shear Modulus YZ	2,1429E+09 Pa
Shear Modulus XZ	8E+09 Pa

Referans ölçülere göre çizilen katı tankın 3 boyutlu çizimi SolidWorks uygulamasında oluşturulmuş, model kısmında katı tank modeline mesh yapısı atanmıştır. Ardından helikopter kısmına gelen kısmı sabitlenerek sabit yer çekimi ivmesi uygulanmıştır. Tankın su dolu iken yapılmış analiz görünümü Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Tank su dolu olduğu anda statik analiz toplam deformasyon görüntüsü.

Figure 8. The static analysis total deformation image of the tank when it is filled with water

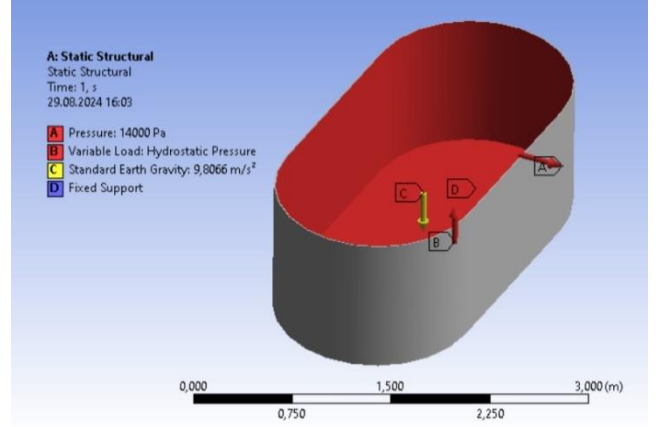
Sadece su ağırlığı dikkate alınarak yapılan analizde, malzemede meydana gelen toplam deformasyon 7,2113 mm olarak elde edilmiştir. Bu analizde elde edilen veriler Tablo 4'te sunulmuştur. Bu değerler kullanılan malzeme özellikleri ile karşılaştırıldığında güvenli bölgede yer aldıkları görülmektedir.

Tablo 4. Su ağırlığı dikkate alınarak yapılmış analiz verileri

Table 4. Analysis data considering the weight of water

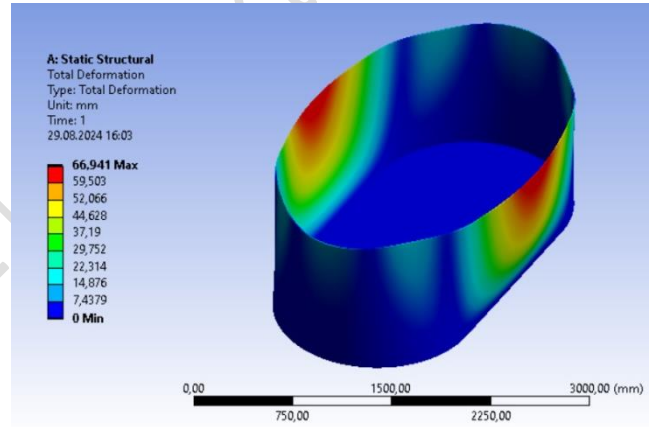
Özellik	Maksimum Değer
Toplam Deformasyon	7,2113 mm
Eş Değer Gerilme	44,44 MPa
Eş Değer Toplam Gerinim	0,0048162 mm/mm

Tank üst kapağının hesaplanan 14 kPa değerindeki basıncı uygulaması, sistemin en yüksek basınca maruz kaldığı andır. Dolayısıyla su ağırlığının etkisinin aktif olduğu analiz üzerine, üst kapağın yapacağı 14 kPa basınç dikkate alınarak yapılmış analizin koşulları Şekil 9'da ve toplam deformasyon görüntüsü de Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 9. Tank su dolu ve 14 kPa basınç altında olduğu anda statik analiz koşulları

Figure 9. Static analysis conditions with the tank filled with water and under a pressure of 14 kPa



Şekil 10. Tank su dolu ve 14 kPa basınç altında olduğu anda statik analiz toplam deformasyon görüntüsü.

Figure 10. Total deformation view of the static analysis with the tank filled with water and under a pressure of 14 kPa

Su ağırlığı ve 14 kPa basınç dikkate alınarak yapılan analizde, malzemede meydana gelen toplam deformasyon 66,941 mm olarak elde edilmiştir. Analizden elde edilmiş veriler Tablo 5'te listelenmiştir.

Tablo 5. Su ağırlığı ve 14 kPa basınç dikkate alınarak yapılmış analiz verileri

Table 5. Analysis data considering the weight of water and a pressure of 14 kPa

Özellik	Maksimum Değer
Toplam Deformasyon	66,941 mm
Eş Değer Gerilme	324,75 MPa
Eş Değer Toplam Gerinim	0,023388 mm/mm

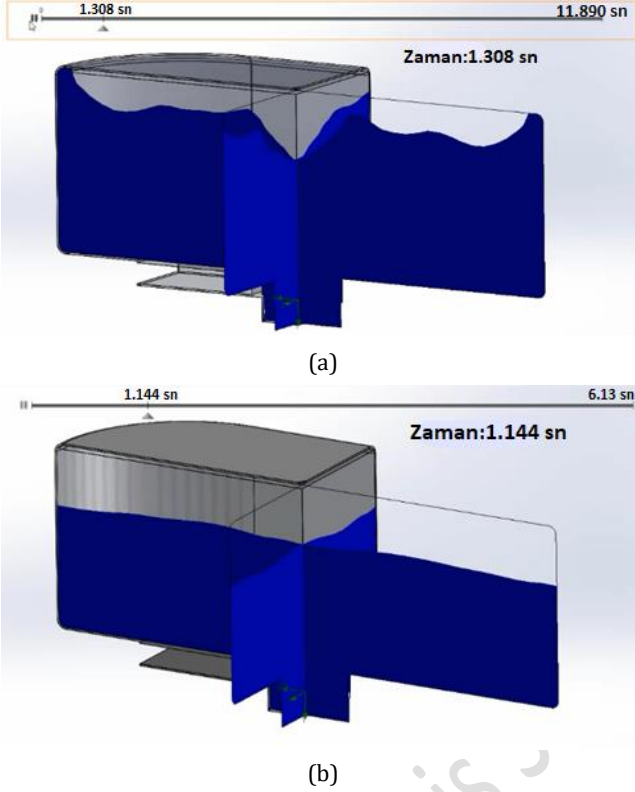
Tankta oluşan en yüksek deformasyon değeri, malzeme özellikleri açısından, güvenli bölgede yer almaktadır. Böylece tasarlanan tank yapısının statik olarak güvenilir olduğu sonucuna varılmaktadır.

Tasarımın dinamik akış analizi kapsamında üç boyutlu model Solidworks Flow Simulation modülüne aktarılmış, sonlu

hacimler yöntemi kullanılarak akışkanın tank içindeki hareketi simüle edilmiştir.

Sistemin devredışı olduğu Şekil 11(a)'daki ilk durumda suya etkiyen toplam basınç açık hava basıncına eşitken, ikinci durumda sistemin çalışması sonucu bu basınca ek olarak üst kapaktaki motor, depolanan suya yaklaşık 14 kPa basınç uygulamaktadır.

Analiz sonuçlarına göre, Şekil 11(b)'de verilen ikinci durumda uygulanan ek basıncın, suyun tahliye süresini önemli ölçüde etkilediği ve çalkantıyı önemli ölçüde azalttığı görülmektedir.

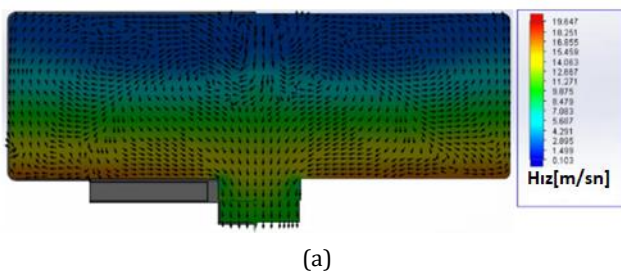


Şekil 11. Sistem devredışı (a) ve çalıştığı (b) durumdayken simülasyon görüntüsü.

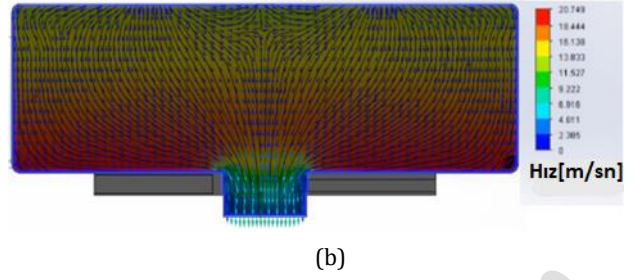
Figure 11. Simulation image when the system is disabled (a), and in operation (b).

3.1 Akışın hız vektörlerinin karşılaştırması

Tahliye esnasında tanktan suyun hareketi akışın hız vektörleriyle analiz edilmektedir. Basınç uygulanmadığında hız vektörlerinin yönlerinin düzensiz olduğu görülmektedir (Şekil 12a). Bu durum ise suyun tank içindeki hareketinin daha rastgele ve tahmin edilemez olduğunu göstermektedir. Basınç uygulandığında ise hız vektörlerinin çıkışa doğru daha düzenli hale gelmesi çalkantının azaldığını, daha kararlı bir akışın olduğunu göstermektedir (Şekil 12b).



(a)



(b)

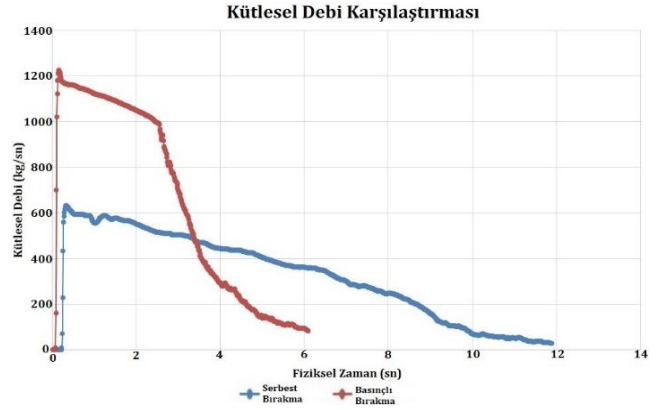
Şekil 11. Sistem devredışı (a) ve çalıştığı (b) durumda hız vektörlerinin dağılımı.

Figure 12. Distribution of velocity vectors when the system is disabled (a), and in operation (b).

3.2 Kütsel debi karşılaştırması

Tank, 1.5 metre genişlik, 3 metre uzunluk ve 1 metre yüksekliğindedir. 50cm x 50cm ölçülerindeki karesel bir tahliye alanına (deliğine) sahiptir. Tankta bulunan 4000 litre suyun hacmi 175 litreye düşene kadar yapılan analizlerde, tahliye süresi iki farklı durum için karşılaştırılmıştır. Analizde, sıcaklık ve helikopter hareketinden kaynaklı etkiler ihmal edilmiştir.

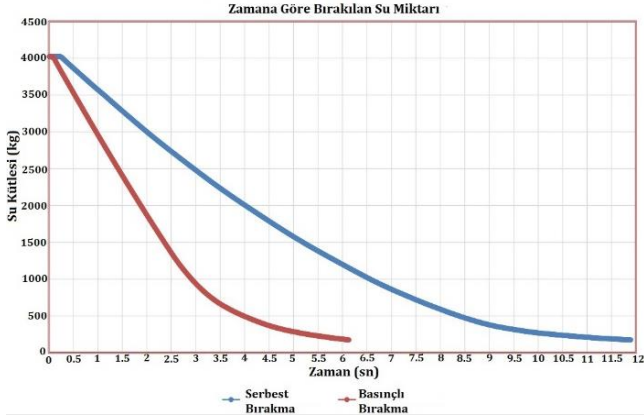
Tasarımın işlevini sayısal olarak doğrulamak ve performansını gözlemlemek amacıyla bilgisayar ortamında yürütülen analizler neticesinde iki farklı (basıncılı/basıncısız) durumda tanktan tahliye edilen suyun kütsel debi (kg/s)/zaman (s) ve kütle (kg)/zaman (s) grafikleri elde edilmiştir. Grafikler, Şekil 13'te ve Şekil 14'te verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre basıncısız durumda (sistemin devredışı olduğu durumda) 4000 kg su tanktan en fazla yaklaşık 600 kg/s kütsel debiyle yaklaşık 12 saniyede boşaltılıyorken, basınçlı durumda (sistemin çalıştığı durumda) en fazla yaklaşık 1200 kg/s kütsel debiyle yaklaşık 6 saniyede boşaltılabilmektedir.



Şekil 13. Her iki durum için tahliye edilen suyun kütsel debi (kg/s)/zaman (s) grafiği.

Figure 13. Mass flow rate (kg/s)/time (s) plot of discharged water for both cases.

Analiz sonuçlarına göre basıncısız durumda (sistemin devredışı olduğu durumda) 4000 kg su tanktan en fazla yaklaşık 600 kg/s kütsel debiyle yaklaşık 12 saniyede boşaltılıyorken, basınçlı durumda (sistemin çalıştığı durumda) en fazla yaklaşık 1200 kg/s kütsel debiyle yaklaşık 6 saniyede boşaltılabilmektedir.



Şekil 14. Her iki durum için tahliye edilen suyun kütle (kg)/zaman (s) grafiği.

Figure 14. Mass (kg)/time (s) plot of discharged water for both cases.

3.3 Tasarımın avantajları ve özgünlük değeri

Yangın söndürme helikopterlerinde yaygın olarak kullanılan su taşıma sistemi su kovalarıdır. Ancak bunun helikopterin platformuna asılması aerodinamik verimsizlik oluşturduğundan ve uçuş hızını sınırlandırdığından alternatif sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktada en önemli seçenek, kabin içi dahili tanklar kullanmaktır. Bu çalışmada da dahili tank tasarımı sunulmaktadır. Tasarımda kullanılan üst kapak yapısı, basınçlandırma için oldukça etkili bir yöntem sağlamaktadır. Ayrıca üst kapak, çalkalanma problemi için literatürün sunduğu türbülans azaltıcı plakalar yerine devamlı uyguladığı basınçla suyun çalkalanmasını önlemektedir.

Bu çalışmada yer verilmiş analizler sonucunda hareketli kapak sistemi dişlileri üzerinde motor gücüyle hareket ederek; hem su tahliye süresini önemli oranda azaltmakta hem de suyu hacmine sıkıştırarak çalkalanma problemini önlemektedir. Sunulan tasarımdaki esnek mesane yapısı sayesinde tank, değiştirilebilir bir hacme sahiptir. Bu sayede kalkışta azami yükü yüklenen helikopterin uçuş zarfı boyunca harcadığı yakıttan kaynaklanan ağırlık azalmasını bir sonraki sortilerde aldığı su miktarını artırarak daha verimli bir şekilde orman yangınlarıyla mücadele etmesi sağlanabilmektedir.

Geliştirilen tank modelinin Şekil 15'te verildiği gibi gerçek bir prototipi de üretilmiştir. Ancak bu prototip gerçek zamanlı test ve analiz çalışmaları yapılması amacıyla yönelik değildir. Model tasarımın gerçekleştirilmesi için imalat deneyimi kazanılması amaçlanmıştır.



Şekil 15. Tankın prototipi

Figure 15. Prototype of the tank

Helikoptere asılan su kovalarında yaşanan su taşmaları veya kova kazalarının neden olacağı çevresel risklerin önüne geçilmektedir. Tüm bunlara ek olarak sunulan tasarımın modüler yapısı sayesinde genel maksat helikopterlerine hızlı bir şekilde monte edilerek orman yangınlarına müdahalede kullanılan hava aracı sayısı değiştirilebilmektedir. Bu sayede gerek Orman Genel Müdürlüğü gerek güvenlik güçleri envanterinde bulunan genel maksat helikopterleri de orman yangınlarıyla mücadelede kullanılabilir duruma getirilebilme imkanı sağlanmaktadır.

4 Sonuçlar

Bu çalışma, orman yangınlarıyla mücadelede etkili bir helikopter yangın söndürme ekipmanı tasarımı üzerine odaklanmıştır. Tasarımın, pratik ve etkili kullanım sunması beklenmektedir. Sistem, sahip olduğu hareketli üst kapak tasarımıyla suyun hızlı tahliyesini sağlamakta ve modüler yapısı sayesinde kullanılmadığı durumlarda kolayca çıkarılabilmekte, ihtiyaç duyulduğunda ise hızlıca kullanıma hazır hale getirilebilmektedir.

Esnek tank tasarımı, katı tankla çevrelenmiş olup hem hafiflik hem de sızdırmazlık özelliklerine sahiptir. Böylece, ekipmanın uzun süreli ve güvenilir bir şekilde kullanılması sağlanmaktadır. Ayrıca, esnek mesane tankını çevreleyen katı tank tasarımıyla; hareketli üst kapak aracılığıyla suya sürekli baskı yapılması kolaylaşmakta ve bu da düşük maliyet avantajı sağlamaktadır. Hareket halindeyken tank içinde yaşanabilecek çalkalanma problemi de hareketli üst kapağın suyu sürekli sıkıştırmasıyla önlenmiştir.

Bununla birlikte, operasyon sırasında suyun azalmasıyla değişen ağırlık merkezi problemi, tasarımın bir eksikliği olarak belirlenmiştir. Bu sorunun çözümü için gelecek çalışmalarda, ağırlık merkezinin kararlılığını artırmaya yönelik ek önlemler alınabilir veya daha gelişmiş bir kontrol mekanizması sisteme entegre edilebilir.

Sonuç olarak bu çalışma, orman yangınları gibi acil durumlarda hızlı ve etkili müdahale için önemli bir adım olan helikopter yangın söndürme ekipmanı tasarımı konusunda değerli bulgular sunmaktadır. Gelecekteki araştırmaların, bu tasarımın iyileştirilmesi ve operasyonel verimliliğin artırılması üzerine odaklanması önerilmektedir.

5 Conclusions

This study focuses on the design of effective helicopter firefighting equipment for fighting forest fires. The design is expected to offer practical and effective use. The system provides fast water discharge with its movable top cover design and can be easily removed when not in use with its modular structure and quickly ready for use when needed.

The flexible tank design, surrounded by a solid tank, is both lightweight and leak-proof. This ensures long-term and reliable use of the equipment. In addition, the rigid tank design surrounding the flexible bladder tank facilitates continuous pressure on the water with a movable top cover, resulting in a low cost advantage. The churning problem that can occur in the tank while moving can also be prevented by the continuous compression of the water by the movable top cover.

However, the problem of the center of gravity changing as the water decreases during operation was identified as a shortcoming of the design. In future studies, additional measures can be taken to increase the stability of the center of

gravity or a more advanced control mechanism can be integrated to solve this problem.

In conclusion, this study provides valuable findings on the design of helicopter firefighting equipment, which is an important step for fast and effective response in emergency situations such as forest fires.

6 Teşekkür

Bu araştırma, Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.S. (TUSAS) tarafından LIFT UP Sanayi Odaklı Lisans Bitirme Projeleri Programı kapsamında desteklenmiştir.

7 Yazar katkı beyanı

Yapılan çalışmalara tüm yazarlar eşit katkı sunmuştur.

8 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur. Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

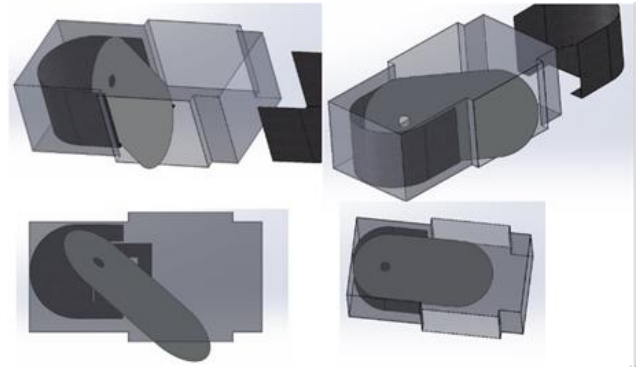
9 Kaynaklar

- [1] Demirel Y, Türk T. "Türkiye'de 2015 ile 2022 yılları arasında meydana gelen orman yangınlarının coğrafi bilgi sistemleri ile zamansal ve mekânsal analizi". *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 10(2), 136-150, 2020.
- [2] Öymen T. "Orman yangınlarıyla havadan savaş". *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 40(2), 95-100, 1990.
- [3] Plucinski M, Gould J, McCarthy G, Hollis J. "The effectiveness and efficiency of aerial firefighting in Australia". *The Bushfire and Natural Hazard Cooperative Research Centre*, (50), 1-4, 2009.
- [4] Zhou T, Lu J. "Numerical calculation and analysis of water dump distribution out of the belly tanks of firefighting helicopters". *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, 8(4), 1-24, 2022.
- [5] Voelkert JC. *Fire And Fire Extinguishment*. 1st ed. Alabama, USA, Amerex Corporation, 2015.
- [6] Küçükosmanoğlu A. "Türkiye orman yangınlarına ait bazı verilerin değerlendirilmesi". *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 43(1-2), 85-102, 2014.
- [7] Seyzinski, D T., effective use of a helicopter with a bambi bucket firefighting system in Bulgaria. *IOP Conference*, Bulgaria, 664, 2019.
- [8] Zhou, T., Lu J., He, L., Wu, C., L, J. "Experiments in aerial firefighting with and without additives and its application to suppress wildfires near electrical transmission lines". *Journal of Fire Sciences*, 40(5): 313-346, 2022.
- [9] Pekić, Z. "High rate spray technique—a new way for effective aerial wildfire suppression". *International Wildland Fire Conference*, 2007.
- [10] Ramon C. P., 2011. Fire Extinguishing System. UK patent EP2623158A1, August 25, 2011.
- [11] Cannas, J., 2019. Firefighting System. UK patent GB2582986A, December 4, 2019.
- [12] Jiazheng, L., Tejun Z., Bo, L., Xinguo, M., Chuanping, W., Baohui, C., Yu, L. "Hunan Anti Hazard Tech Co Ltd, Retractable light self-suction aviation fire extinguishing device and use method". CN113559437A, June 25, 2021.
- [13] Plucinski M, Gould J, McCarthy G, Hollis J. "The effectiveness and efficiency of aerial firefighting in Australia". *The Bushfire and Natural Hazard Cooperative Research Centre*, (50), 1-4, 2009.

- [14] Akkemiş M, Çalışkan S. "İnsansız hava araçları ve tarımsal uygulamalarda kullanımı". *Turkish Journal of Unmanned Aerial Vehicles*, 2(1), 8-16, 2020.
- [15] Struminska A, Filippone A. "Flight performance analysis of aerial fire fighting". *The Aeronautical Journal*, 1(1), 1-29, 2024.
- [16] Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la sécurité de l'aviation civile. "Accident on 4 October 2015 at Voh (New Caledonia) to Airbus Helicopters AS350-B3 registered F-OIAO operated by Hélicocéan". Le Bourget, France, Investigation Report, 2015-0609, 2020.
- [17] Helicopters Magazine. "Buckets or Belly Tanks?". <https://www.helicoptersmagazine.com/buckets-or-belly-tanks-111/> (15.03.2024).
- [18] Kau, D., Evliyaoglu, M. F., Karakus, S., Mörsch, R., Babetto, L. ve Stumpf, E. "Dlr Design Challenge 2022: Next Generation Firefighting Aircraft-Firewasp", 2022.
- [19] TUSAŞ. "T70 Genel Maksat Helikopter Programı". <https://www.tusas.com/urunler/helikopter/ortak-gelistirme/t70> (10.04.2024).
- [20] Biggs H. "An evaluation of the performance of the Simplex 304 helicopter belly-tank". Department of Sustainability and Environment, State Government of Victoria, Victoria, Australia, Research Report, 71, 2014.
- [21] Zhou T, Lu J, Wu C, Lan S. "Numerical Calculation and Analysis of Water Dump Distribution Out of the Belly Tanks of Firefighting Helicopters". *Safety*, 8(69), 1-24, 2022.

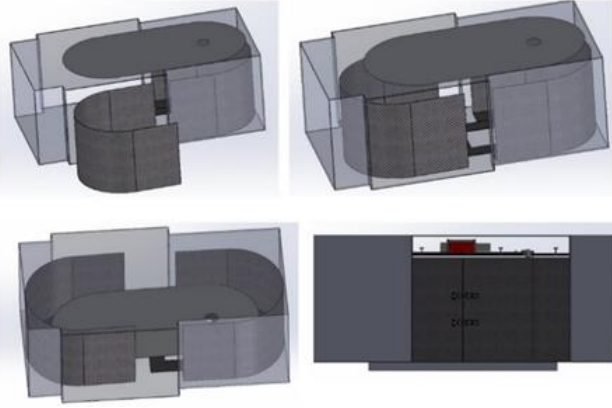
Ek A

Tasarımın detaylı çizimleri ile kullanılan malzeme listesi verilmiştir.

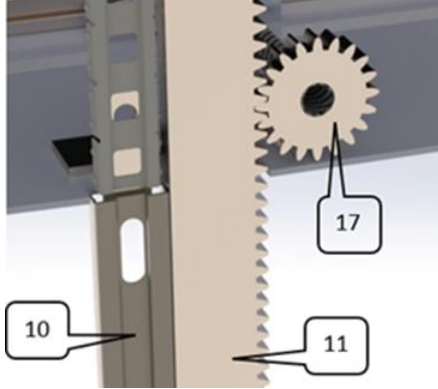


Şekil Ek A 1. Sistemin kurulum aşamaları.

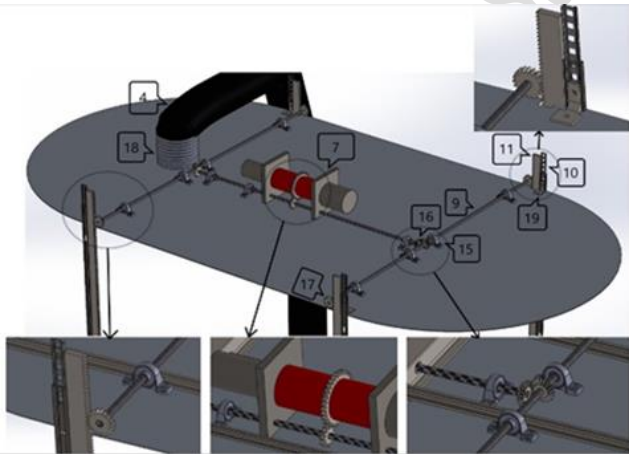
Figure Appendix A 1. System installation stages.



Şekil Ek A 2. Sistem komponentlerinin görünümü.
Figure Appendix A 2. View of system components.



Şekil Ek A 3. Ray kremayer dişli sistemi.
Figure Appendix A 3. Rail rack and pinion gear system.

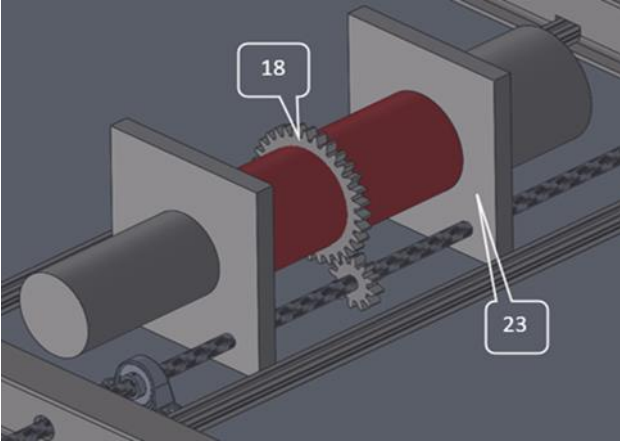


Şekil Ek A 4. Katı tank üst hareket mekanizması.
Figure Appendix A 4. Solid tank top movement mechanism.

Table Appendix A 1. List of materials.

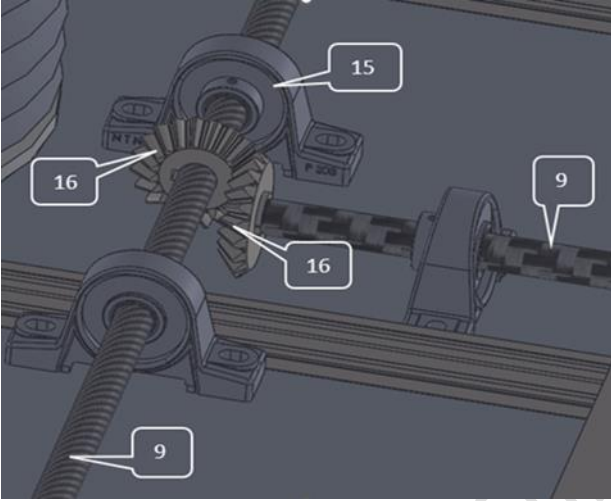
Parça No	Parça Adı	Malzeme
#0	Dış Kabuk	Plastik veya Kompozit
#1	Katı Tank	Kompozit
#2	Esnek Mesane Yapısı	PVC Kaplı Poliester
#3	Hareketli Üst Kapak	Kompozit
#4	Şnorkel	-
#5	Tahliye Kapağı	Kompozit
#6	Tahliye Kapağı Destek Plakası	Kompozit
#7	Motor	Kompozit
#8	Üst Kapak Enlemsel Destek Kirişi(H Profil)	Kompozit
#9	Mil	Çelik
#10	Ray	Alüminyum
#11	Kremayer	Alüminyum Alaşım
#12	Gerdirme Kilidi	Çelik
#13	Gergi Halatı	Çelik
#14	Üst Kapak Boylamsal Destek Kirişi (Sigma Profil)	Kompozit
#15	Yataklı Rulman	Çelik
#16	Konik Dişli	Çelik
#17	Kremayer Dişli	Çelik
#18	Düz Dişli	Çelik
#19	Gergi Tertibatı	Çelik
#20	Hareketli Tahliye Kapısı	Kompozit
#21	Lineer Piston	-
#22	Lineer Piston Bağlantı Elemanı	Kompozit
#23	Motor Destek Braketi	Çelik

Tablo Ek A 1. Malzeme listesi.



Şekil Ek A 5. Motor.

Figure Appendix A 5. Engine.



Şekil Ek A 6. Katı tank üst kapak hareket mekanizması parçaları.

Figure Appendix A 6. Solid tank top cover movement mechanism parts.