



Orman yangınlarıyla mücadelede kullanılan helikopter için su tankı tasarımı

Water tank design for helicopters performed to fight forest fires

Eyüp Can Altıntaş¹ , Gizem Gül Kara¹ , Mustafa Akbal¹ , Abdussamet Akbaş¹ , Burhan Şahin² , Harun Çelik³

¹Uçak Mühendisliği Bölümü, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Erciyes Üniversitesi, 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

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

Geliş Tarihi/Received: 25.05.2024
Kabul Tarihi/Accepted: 16.10.2024

Düzeltilme Tarihi/Revision: 01.09.2024

doi: 10.5505/pajes.2024.36524
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 takılabileceği 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 pose the greatest threat to forests, which are vital to our world. One effective method of fighting forest fires is the use of aerial vehicles. Compared to other aerial vehicles, helicopters are more widely used for firefighting due to their low speed, ability to target fire points precisely, and capacity to carry large amounts of water. Although various systems have been developed to enable helicopters to carry water to the fire zone, this article proposes a more effective design for a water tank system. This new design provides helicopters with advantages such as fast water evacuation, reduced environmental risk, and easy installation and removal due to its modular structure. Analysis results confirm the functionality and performance of the designed system. Thus, this study presents a new, superior internal water tank design for effectively responding to 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 kıvılcıklar, 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 dolum 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 imkânlarıyla bu mekanizmaların işletilmesi ve yangınların hızlı ve tamamen söndürülmesi önemli zorluklar barındırmaktadır.

Ülkemizde de orman yangınlarıyla mücadelede hem sabit kanatlı hem de döner kanatlı 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 dâhili edilmektedir.

Helikopterlerde genel olarak kova tipi, dâhili tank tipi, harici tank tipi olmak üzere üç farklı tipte su atar kullanılmaktadır. Bunlardan kova tipi olanları daha yaygın olarak tercih edilmektedir. Suya daldırılarak veya pompayla dolum yapılabilen [7], kova çerperine yapıştırılan ekipmanlarla kimyasal söndürücü ilavesi yapılabilen [8], boşaltım hedefe püskürtülerek yapılabilir [9]-[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 kovasının kullanımı, suyun alınmasındaki ve boşaltılmasındaki yüksek kaza riski nedeniyle kısıtlıdır [3].

Ayrıca su kovası; helikopteri yavaşlatması, uçuş dinamiğini bozması, müdahaleyi geciktirmesi, kapasite kısıtının 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.

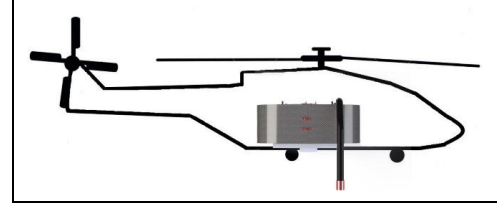
Yangın söndürmede kullanılan ikinci sistem olan harici tank tipi helikopter gövdesi altına sabitlenen tank türüdür. Kova tipine göre helikopterin daha hızlı hareket etmeyi, kaza riskinin azaltılmasını, dar alanlara girilebilmesini sağlar [12]. Ancak harici tank tipinin gövde altına yerleştirilmesinde 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 imkân sunmaktadır.

Helikopterlerin sahip olduğu manevra kabiliyetine engel oluşturmayarak daha isabetli su tahliyesine olanak sağlaması, dâhili su tankının üstünlüklerinden bir diğeridir [13]. Dâhili tank yapısı sayesinde su kovasının rotorlarla, ağaçlarla veya diğer nesnelerle 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 boşaltmak için kullanılmaktadır [17].

Bu üstünlükleri nedeniyle helikopterlerde tercih edilebilecek dâhili 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 dâhili 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 dâhili 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 dâhili 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 sutaşıma 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.

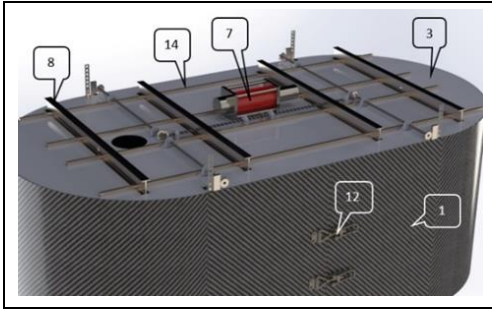
Detaylı tasarım aşamasında, su tankının detaylı özellikleri belirlenmektedir. Malzeme seçimi yapılmakta, tankın iç yapısı tasarlanmakta ve suyun dolumu ile boşaltımı işlemleri için gerekli mekanizmalar belirlenmektedir. Ayrıca, tankın helikopterin içindeki konumu ve bağlantı noktalarına karar verilmektedir.

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.

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 basınçlandırması 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 kapağı 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.

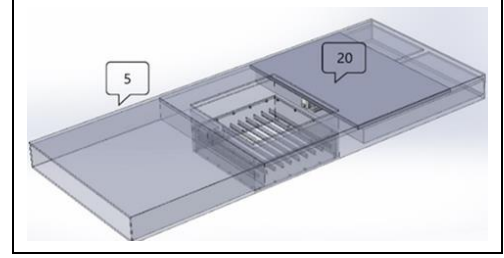
Figure 4. Pressurization mechanism.

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.



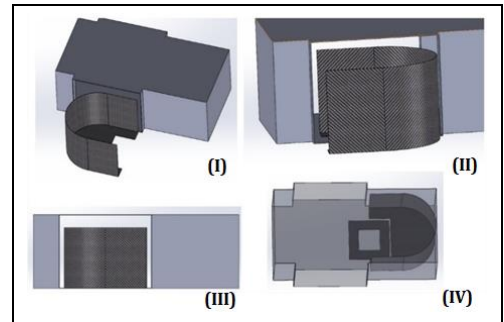
Şekil 5. Tahliye kapağı.

Figure 5. Drain cover.

2.3.3 Gövde içine yerleşim yöntemi

Sutaşıma 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.

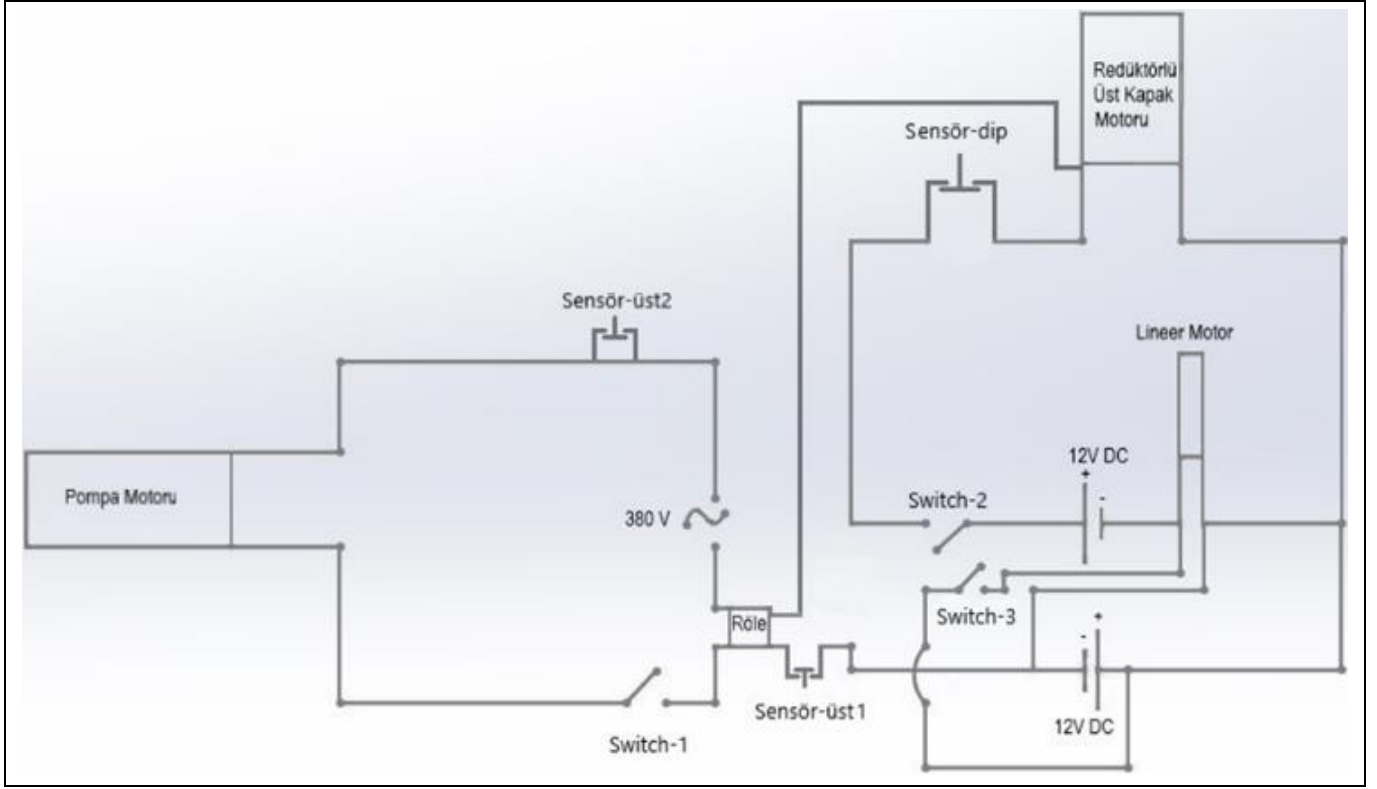


Şekil 6. Katı tankın yerleşimi.

Figure 6. The placement of the solid tank.

2.3.4 Elektronik kontrol sistemi

Su tankı operatör tarafından kontrol edilmektedir. Sistemin devre şeması Şekil 7'de gösterilmiştir. Switch-1 kapalı konuma getirildiğinde pompa motorunu aktif eder, bu sırada rölenin aktif olmasıyla birlikte üst kapak motoru da aktif hale gelir ve su tanka dolarken üst kapak da eş zamanlı yukarı yönde hareket eder.



Şekil 7. Elektrik devre şeması.

Figure 7. Electrical circuit diagram.

Üst kapak üst sınıra geldiğinde Sensör-üst1 ve Sensör-üst2'ye temas eder bu sayede pompa motoruna ve üst kapak motoruna giden güç kesilir. Switch-2 kapalı konuma getirildiğinde üst kapak motoru aşağı yönde hareket ederek eş zamanlı olarak suya baskı yapar, tahliye kapağında bulunan lineer piston da suyun tahliyesini sağlar. Üst kapak suyu tamamen tahliye edip katı tankın tabanına indiğinde Sensör- dip'e temas eder ve aşağı yönlü hareketi durur. Su tamamen boşaldıktan sonra Switch-3 kapalı konuma getirilir bu sayede lineer piston tersi yönde çalışarak ilk haline döner.

Operasyon esnasında sistemin adım adım çalışması şu şekildedir:

- 1) Adım: Operatör elektrikli su çekme pompasını suya daldırıp Switch-1'e basılı tuttuğunda pompa çalışıp suyu emerek esnek mesane tankının içine doldurmaya başlar böylece içi boşken kumaş gibi duran esnek mesane tankı, etrafındaki sert tankın içinde genişler. Su, esnek mesane tankına dolarken hareketli üst kapak, üzerindeki motor aracılığıyla yukarı yönlü hareket eder ve suyun dolmasına izin verir,
- 2) Adım: Operatör Switch-2'ye basılı tutarken lineer piston tetiklenir ve hareketli tahliye kapısını açar. Eş zamanlı olarak üst kapak üzerindeki motor çalışmaya başlayıp üst kapağın aşağı yönde hareketini sağlar ve suyu basınçlandırır. Basınçlandırılan su, tahliye kapağının alt kısmında bulunan mazgal yapısından geçerken polarize edilerek tahliye işlemi gerçekleştirilir,

- 3) Adım: Tank içerisinde hava boşluğu veya su kalıntısı olmayacak şekilde baskı yapan üst kapak tankın dip kısmına ulaştığında mesafe sensörünü tetikler. Tetiklenen sensör motora gelen gücü keser ve sistem kendisine zarar vermez. Açık kalan hareketli tahliye kapısı, Switch-3'e basılarak tekrar kapatılır.

3 Analiz ve bulgular

Öncelikle esnek mesane tankını koruyan ve üzerinde sistemin diğer tüm bileşenlerini bulunduran katı tankın statik analizi yapılmıştır. Statik analizde suyun basıncı ilettiğinden yola çıkarak; tank hacmi tamamen dolu iken meydana gelen su basıncı ve suyun daha hızlı akışı için üst kapağa uygulanan basınç kuvveti toplanarak toplam basınç elde edilmiştir. Bunun için Standart Atmosfer basıncı $P_0 = 101325 \text{ Pa}$ ve tank alanı $A = 4.0171 \text{ m}^2$ için hesaplanana temel akışkan basıncı denklemleri şu şekilde verilebilir:

$$F = 5900 \text{ kg} \times 9.81 = 57879 \text{ N} \quad (1)$$

$$P_k = F/A = 14408 \text{ Pa} \quad (2)$$

$$P_{su} = \rho \times g \times h = 10055 \text{ Pa} \quad (3)$$

$$P_{çıkış} = P_0 + P_k + P_{su} = 125788 \text{ Pa} \quad (4)$$

Burada F , kullanılan elektrik motorunun özelliklerinden alınan değerle belirlenen kuvvettir. Bu kuvvet Denklem (2)'de yerine yazılarak üst kapağın sisteme ilave sağlamış olduğu P_k basıncı bulunmuştur. Elde edilen basınç kuvveti Ansys uygulamasını Workbench modülünde Static Structural analiz modülü ile modellenmiştir. Seçilen malzemeler Tablo Ek A 1'de

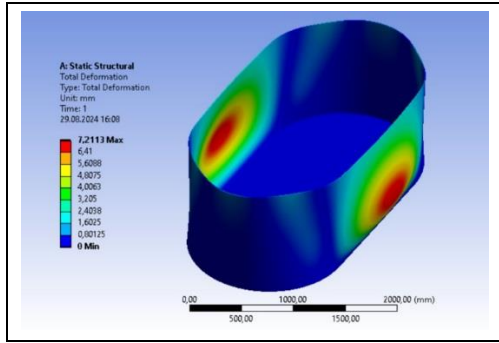
listelenmiştir. Su tankı malzemesi cidar kalınlığı 10 mm olan karbon fiberdir. Kullanılan bu malzemenin özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Karbon fiber malzeme özellikleri.

Table 3. Carbon fiber material properties.

Özellik	Değer
Yoğunluk	1800 kg/m ³
Young's Modulus X direction	3.95E+11 Pa
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.

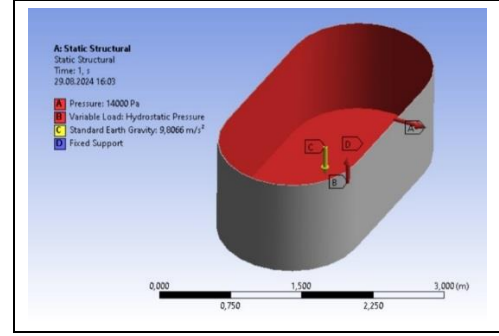
Sadece su ağırlığı dikkate alınarak yapılan analizde, malzemede meydana gelen toplam deformasyon 7.2113 mm olarak elde edilmiştir. Bu analizde elde edilen veriler Tablo 4'te sunulmuştur. Bu değerler kullanılan malzeme özellikleri ile karşılaştırıldığında güvenli bölgede yer aldıkları görülmektedir.

Tablo 4. Su ağırlığı dikkate alınarak yapılmış analiz verileri.

Table 4. Analysis data considering the weight of water.

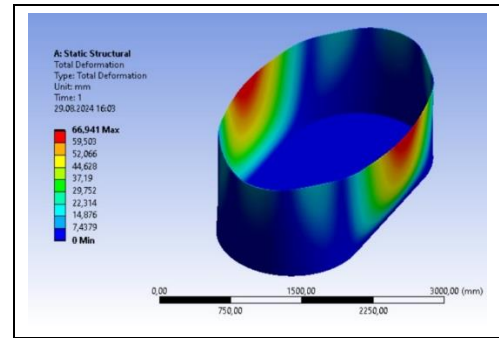
Özellik	Maksimum Değer
Toplam Deformasyon	7.2113 mm
Eş Değer Gerilme	44.44 MPa
Eş Değer Toplam Gerinim	0.0048162 mm/mm

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.

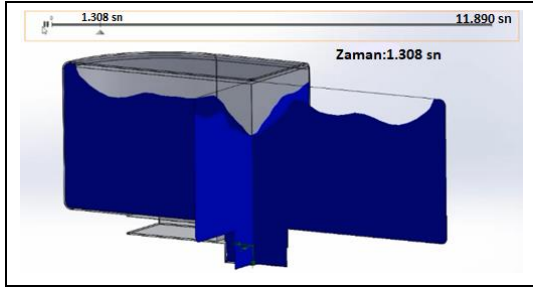
Su ağırlığı ve 14 kPa basınç dikkate alınarak yapılan analizde, malzemede meydana gelen toplam deformasyon 66.941 mm olarak elde edilmiştir. Analizden elde edilmiş veriler Tablo 5'te listelenmiştir.

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

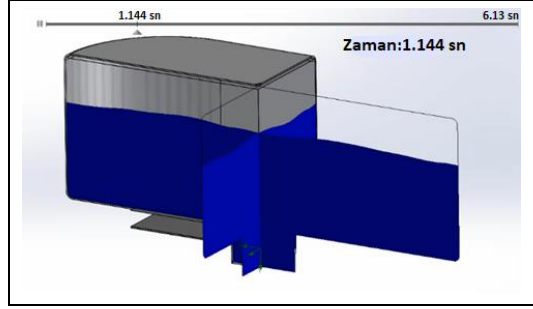
Table 5. Analysis data considering the weight of water and a pressure of 14 kPa.

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 etkien 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.



(a)



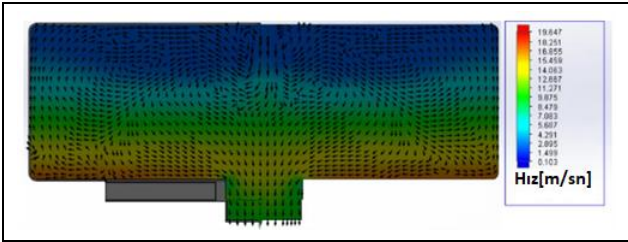
(b)

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

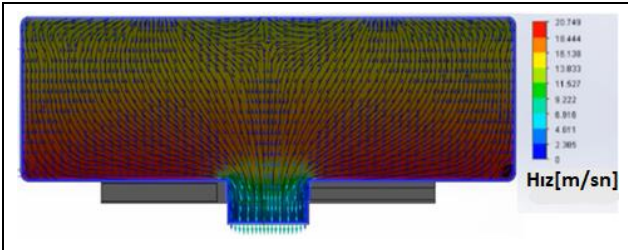
Figure 11. Simulation image when the system is disabled. (a): and in operation (b).

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 12(a). Bu durum ise suyun tank içindeki hareketinin daha rastgele ve tahmin edilemez olduğunu göstermektedir. Basınç uygulandığında ise hız vektörlerinin çıkışı doğru daha düzenli hale gelmesi çalkantının azaldığını, daha kararlı bir akışın olduğunu göstermektedir Şekil 12(b).



(a)



(b)

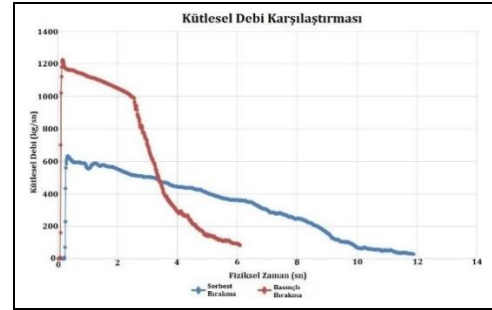
Şekil 12. Sistem devredışı. (a): ve çalıştığı (b): Durumda hız vektörlerinin dağılımı.

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

3.2 Kütesel debi karşılaştırması

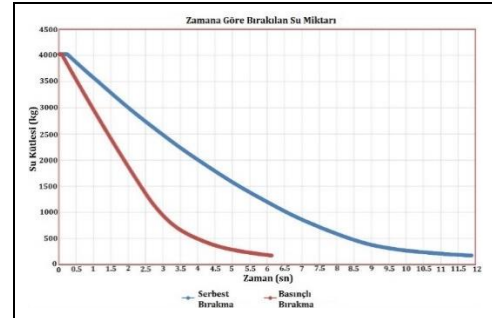
Tank, 1.5 m genişlik, 3 m uzunluk ve 1 m yüksekliğindedir. 50 cm x 50 cm ölçülerindeki karesel bir tahliye alanına (deliğine) sahiptir. Tankta bulunan 4000 l suyun hacmi 175 l'ye düşene kadar yapılan analizlerde, tahliye süresi iki farklı durum için karşılaştırılmıştır. Analizde, sıcaklık ve helikopter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

Tasarımın işlevini sayısal olarak doğrulamak ve performansını gözlemek amacıyla bilgisayar ortamında yürütülen analizler neticesinde iki farklı (basıncılı/basıncısız) durumda tanktan tahliye edilen suyun kütesel debi (kg/sn.)/zaman (sn.) ve kütle (kg)/zaman (sn.) 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/sn. kütesel debiyle yaklaşık 12 sn.'de boşaltılıyorken, basınçlı durumda (sistemin çalıştığı durumda) en fazla yaklaşık 1200 kg/sn. kütesel debiyle yaklaşık 6 sn.'de boşaltılabilmektedir.



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

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



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

Figure 14. Mass (kg)/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/sn. kütesel debiyle yaklaşık 12 sn.'de boşaltılıyorken, basınçlı durumda (sistemin çalıştığı durumda) en fazla yaklaşık 1200 kg/sn. kütesel debiyle yaklaşık 6 sn.'de boşaltılabilmektedir.

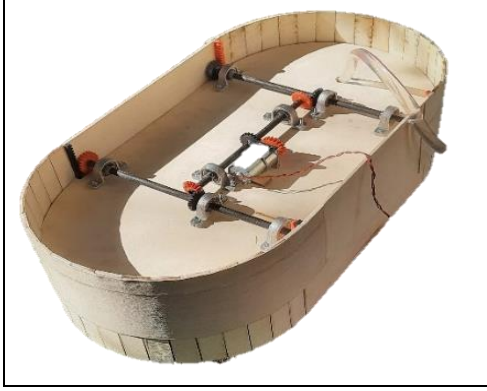
3.3 Tasarımın avantajları ve özgünlük değeri

Yangın söndürme helikopterlerinde yaygın olarak kullanılan sutaşıma sistemi su kovaşısıdır. Ancak bunun helikopterin platformuna asılması aerodinamik verimsizlik oluşturduğundan ve uçuş hızını sınırlandırdığından alternatif sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktada en önemli

seçenek, kabin içi dâhili tanklar kullanmaktır. Bu çalışmada da dâhili 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 dışlileri 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 önlenebilmiştir.

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.Ş. (TUSAŞ) tarafından Lift Up Sanayi Odaklı Lisans Bitirme Projeleri Programı kapsamında desteklenmiştir.

7 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Eyüp Can Altıntaş kaynak ve malzemelerin temini, veri toplama, analizlerin gerçekleştirilmesi ve ön tasarımın üretilmesinde; Gizem Gül Kara literatür taraması, veri toplama ve yazım aşamalarına; Mustafa Akbal analizlerin gerçekleştirilmesi ve sonuçların derlenmesi başlıklarında; Abdussamet Akbaş literatür taraması ile analizlerin gerçekleştirilmesi başlıklarında; Burhan Şahin fikrin oluşturulması, çalışma sistematığının oluşturulması ve eleştirel inceleme başlıklarında; Harun Çelik ise araştırma içeriğinin oluşturulması, makalenin kurgusu, yazım denetimi, eleştirel inceleme ve bilimsel sonuçların incelenmesi başlıklarında katkı sunmuşlardır.

8 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

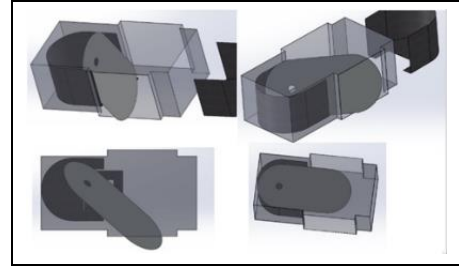
Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur. Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

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 DT. "Effective use of a helicopter with a bambi bucket firefighting system in Bulgaria". *11th International Scientific Conference on Aeronautics, Automotive and Railway Engineering and Technologies*, Sozopol, Bulgaria, 10-12 September 2019.
- [8] Zhou T, Lu J, He L, Wu CLJ. "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". *4th International Wildland Fire Conference*, Seville, Spain, 14-17 May 2007.
- [10] Ramon CP. "Fire Extinguishing Device". Spain. Patent No. ES2400273B1, 2011.
- [11] Cannas J. "Firefighting System". USA. Patent No. US11471716B2, 2020.
- [12] Jiazheng L, Tejun Z, Bo L, Xinguo M, Chuanping W, Baohui C, Yu L. "Retractable light self-suction aviation fire extinguishing device and use method". China. Patent No. CN113559437A, 2020.
- [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 Héliocéan". 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 MF, Karakus S, Mörsch R, Babetto L, Stumpf E. "Dlr Design Challenge 2022: Next Generation Firefighting Aircraft-Firewasp". *German Aerospace Congress*, Dresden, Germany, 27-29 September 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.

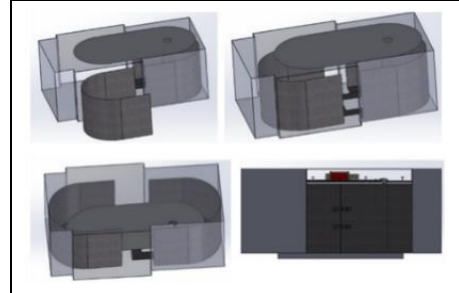
Ek A

Tasarımın detaylı çizimleri ile kullanılan malzeme listesi verilmiştir.



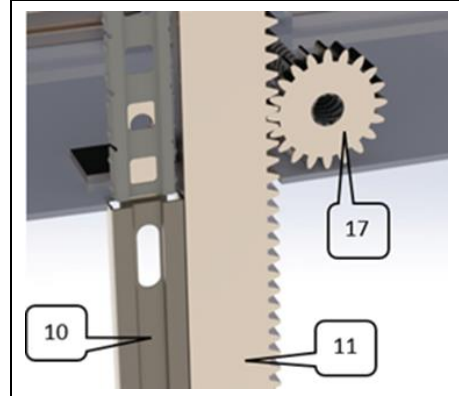
Şekil Ek A 1. Sistemin kurulum aşamaları.

Figure Appendix A 1. System installation stages.



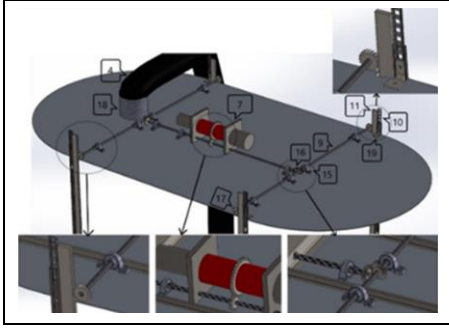
Şekil Ek A 2. Sistem komponentlerinin görünümü.

Figure Appendix A 2. View of system components.



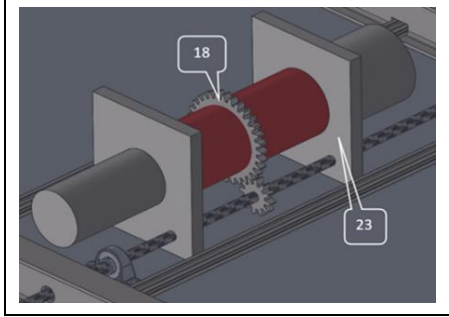
Şekil Ek A 3. Ray kremayer dişli sistemi.

Figure Appendix A 3. Rail rack and pinion gear system.



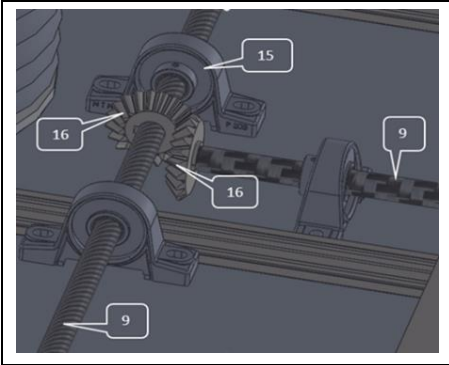
Şekil Ek A 4. Katı tank üst hareket mekanizması.

Figure Appendix A 4. Solid tank top movement mechanism.



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.

Tablo Ek A 1. Malzeme listesi.
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	Gerdirm 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