©2017 Published in 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 29-30 September 2017 (ISITES2017 Baku - Azerbaijan)

Mühendislik Uygulaması Olarak Sabit Platform Tasarımı

*[1]Dağhan Doğan, [2]D. Murat Yılmaz ve [3]Hüseyin Anıktar
*[1] Tasarım, Entegrasyon ve Doğrulama Tübitak – Bilgem P.K. 74, 41470 Gebze, Kocaeli, Türkiye
[2] Tasarım, Entegrasyon ve Doğrulama Tübitak – Bilgem P.K. 74, 41470 Gebze, Kocaeli, Türkiye
[3] Sensör ve Anten Sistemleri Tübitak – Bilgem P.K. 74, 41470 Gebze, Kocaeli, Türkiye

Özet

Çağımızın gelişen teknolojileriyle birlikte hareketli platformlardan (gemi, helikopter, uçak, tank vs.) hareketli hedeflere ateş imkânları da hızla gelişmiş ve bu anlamda sabit platformlara ihtiyaç duyulmuştur. Sabit platformlar, hareketli platformun (gyro) jiroskopundan alınan değerlerle x ve y eksenlerinde konum kontrolü yapmaktadır. Böylece istenilen düzlemde üzerine montaj edilmiş sistemi (silah, radar, elektronik cihazlar vs.) stabil hale getirmektedir.

Sabit platform sistemi iki birimden oluşmaktadır. Bunlar; tüm elektronik işlevlerin yer aldığı elektronik birimi ve üç serbestlik dereceli, 360° döngülü ve 30° açılı iki gövdesi bulunan pedestal birimidir. Bu çalışmada hareketli platformlar için çağımızın gereksinimlerine uygun ve özgün bir sabit platform tasarımı yapılması amaçlanmıştır. Sabit platform tasarımı konstrüktif detaylar incelenip kolay monte edilebilir, modüler, güç/ağırlık oranı düşük, hız/ivme değerleri yüksek olacak şekilde ve görselliğe önem verilerek yapılmıştır. Tasarım aşamaları: mekanik hesaplamaların yapılması, servomotor seçimi, dişli çark grubu hesaplamaları ve tasarımı, rulman seçimi, bilgisayar destekli tasarım ve üretim aşamalarından oluşmaktadır. Sonuç olarak bu çalışmada hareketli platformlarda hedef tespitinde kullanılan bir sabit platform mühendislik uygulaması olarak tasarlanmış ve ürün haline dönüştürülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sabit platform, tasarım, konstrüksiyon hesaplamaları, mühendislik uygulaması.

Abstract

With the developing technologies of our era, the possibilities of fire on moving targets from moving platforms (ships, helicopters, airplanes, tanks, etc.) also developed rapidly and in this sense stabilized platforms were needed. These stabilized platforms perform position control on the x and y axes with values from the gyroscope of the moving platform (gyro). This stabilizes the system (gun, radar, electronic devices, etc.) mounted on the desired plane.

The stabilized platform system consists of two units. These; an electronics unit with all electronic functions and a pedestal unit with three degrees of freedom, 360 ° cycle and two 30 ° angles. In this study, it is aimed to design a stabilized platform for mobile platforms in accordance with the requirements of our era. Stabilized platform design has been made by examining the constructive details, easy mounting, modularity, low power / weight ratio, high speed / acceleration values and high visual quality. The design phases consist of mechanical calculations, servomotor selection, gear wheel group calculations and design, bearing selection, computer aided design and production phases. As a result, in this study, a stabilized platform used for target detection on mobile platforms was designed and turned into a product engineering application.

Key words: Stabilized platform, design, construction calculation, engineering application.

*Sorumlu Yazar: Adres: Tübitak – Bilgem P.K. 74, 41470 Gebze, Kocaeli, Türkiye. E-mail: daghan.dogan@tubitak.gov.tr, Telefon: +902626481974

1. Giriş

Hareketli platformlardan (gemi, helikopter, uçak, tank vs.) hareketli hedeflere ateş etme ve isabet ettirme gereksinimi sonucunda sabit platformlara ihtiyaç duyulmuştur. Bu sabit platformlar jiroskop yardımıyla konum kontrolü yaparak stabil bir düzlem oluşmasını sağlamaktadır [1, 2].

Literatür incelendiğinde yapılan çalışmaların sabit platformun ürün olarak tasarımından ziyade stabil platformun kontrolü üzerine olduğu görülmektedir [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Stabil platform üzerine uygulanan kontrol sistemleri yapay sinir ağları temelli olabildiği gibi [3], PID [5] veya başka kontrol sistemleri üzerine kurgulanmış olabilmektedir.

Bu çalışmada hareketli bir platform üstündeki elektro-optik kökenli kızıl ötesi bantta pasif hedef tespiti yapan bir IRST (Infrared Search and Track) sistemi için çağımızın gereksinimlerine uygun ve özgün bir sabit platform tasarımı amaçlanmıştır. Bu amaçla kolay monte edilebilir, modüler, güç/ağırlık oranı düşük, hız/ivme değerleri yüksek olacak şekilde sabit platform tasarımı yapılmaya çalışılmıştır.

Tasarlanan sistem; kontrol, görüntü işleme, hedef takibi, servo kontrol ve güç kaynağı elektroniğinden oluşmaktadır. Elektronik birim takıldığı platformun üzerinde bulunan askeri standarttaki haberleşme ağ yapısına bağlanabilmekte, böylece platform üzerinde bulunan diğer birimlerle veri alış-verişini yapmaktadır.

Sistemde bulunan görüntü işleme algoritmaları algılayıcılardan elde edilen ham görüntü verilerini oldukça karmaşık analog ve sayısal teknikler kullanılarak işlemekte ve yüksek çözünürlükte ve istenilen sayısal büyütme formatında görüntü vermektedir. Bunlardan en etkini yerel alan işleme olup aynı ekranda çok sıcak ve soğuk nesneler kararma ve parlamaya sebep olmadan izlenebilmektedir.

Hedef takip; birden fazla hedefi gerek gündüz görüş sistemleri ve gerekse de termal kamerası ile aynı anda takip edilmektedir. Sistemin diğer tüm alt parçaları gibi tamamen özgün olarak geliştirilen algoritma ve yazılımlar ile gerçekleştirilen bu hedef takip sistemi benzersizdir.

Sistem içinde bulunan termal kamera ve uzaktan teşhis kamerası kullanılarak, hedef işaretleme veya hedef koordinat belirleme çalışmaları yapılırken, görüntü üzerinde belirtilen nokta ile lazer hedef işaretleme ve mesafe ölçme biriminin işaretlediği noktanın yüksek doğrulukta çakıştırılması gerekmektedir.

2. Sabit Platform Tasarım Araştırması

Sabit platform tasarımı için araştırma hareket iletimi ve güç aktarımı konularında tasarıma yön verecek şekilde yapılmıştır.

2.1. Üç Eksenli, Açılı Boru Millerde Hareket İletimi

Bu çalışmada tasarlanan sabit platform pedestali için boru millerde, açılı gövdelerin hareketi ve bağımsız hareket edebilen gövdelerde yapılan konstrüksiyon örneklerine bakarak özgün bir konstrüksiyon geliştirilmiştir. Tasarımda [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13] patentlerden esinlenilmiştir.

2.2. Sabit Platformlarda Güç İletim Mekanizmaları

Robotlarda hareket, mafsallara yerleştirilmiş motor ile veya herhangi bir yere yerleştirilmiş motorun hareketinin mafsallara kadar aktarılmasıyla elde edilmektedir. Motorlarda hareket aktarımı iki şekilde sağlanmaktadır.

- **Direkt hareket aktarımı:** Motor mafsala direkt olarak yerleştirilmiştir ve bir redüktör aracılığıyla, tork değeri yükseltilmiş ve de hızı azaltılmış olarak mafsala gücü iletmektedir. Bu tip aktarımın artıları, sistemde hareket aktarımı esnasında ara parça kullanılmadığından, sistem cevabı gecikmez, sistem rijit davranır.

- **Endirekt hareket aktarımı:** Motor herhangi bir yere yerleştirilmiştir ve herhangi bir aktarma mekanizmasıyla, hareket mafsala iletilir. Genellikle bu tip mekanizmalarda redüktör, motorun hemen önüne değil, mafsala monte edilir. Bunun nedeni, redüktörden çıkacak yüksek tork değeri, aktarma mekanizmasının daha büyük boyutlarda üretilmesine neden olacak ve tasarımın ebadı büyüyecek, ağırlığı, enerji sarfiyatı artacaktır.

2.2.1. Sabit Platformlarda Kullanılan Özel Mekanizmalar

- **Jiroskop mekanizması:** Bir jiroskop presesyon ve nutasyon olarak bilinen hareketleri de içine alan çeşitli hareketler yapar. Günlük hayatta uçak ve gemilerde yön bulmak için, uzay teleskoplarında yörünge kararlılığını sağlayabilmek için yaygın olarak yararlanılmaktadır.

- **Cyclo drive mekanizması:** Bu mekanizma yüksek güç aktarım kapasitesine sahiptir. Tek kademeli redüksiyon oranı 1/6 dan 1/179'a kadar olabilir. "0" diş boşluklu ya da düşük diş boşluklu olabilir. Cyclo drive mekanizmasında olmayan en önemli özellik, "hollow shaft" yani içinden boylu boyuna delik geçen modelinin olmamasıdır. Sadece redüksiyon yapılmış, giriş çıkış yatakları yapılmamış olarak ya da giriş çıkış yatakları yapılmış olarak üretilmektedir. Yataklaması yapılmış olan sistemde çıkış, çapraz makaralı rulman veya sisteme adapte edilmiş bir çift konik makaralı rulman kullanılmaktadır.

- **RV gears mekanizması:** Bu mekanizma, harmonik drive mekanizmasından yüksek, cyclo drive mekanizmasından az güç aktarım kapasitesine sahiptir. Konstrüktif olarak en karmaşık yapıya sahiptir. Kendi içinde iki kademede redüksiyon yapmaktadır. Tek mekanizmayla 1/30 dan 1/185'e kadar redüksiyon yapılabilir. Çok düşük diş boşluğuna sahiptir (1dak.). "Hollow shaft" modeli vardır fakat giriş ekseni çıkış ekseninden kaçıktır. Sadece giriş, çıkış yataklaması yapılmış olarak üretilmektedir. Çıkış yataklaması sisteme adapte edilmiş bir çift omuzlu rulman ile yapılmıştır.

3. Sabit Platform Dinamiği

Sabit platform hızlı taramayı maksimum 100 dev\dak ve 360° döngüsü ile maksimum 30° açılı, üç serbestlik dereceli hareket sağlanmaktadır. Hedef tarama geniş bantta 8-10 mikrometre, kısa bantta ise 3-5 mikrometre yakalama kabiliyetine sahiptir. 3 adet servomotor ile hareket tahrik edilmektedir. Helisel dişli çarklar, konik dişli çarklar ve özel iç konik dişli çarklar kullanılmıştır.

3.1. Sabit Platform Konstrüksiyon Hesapları

Dinamiğin farklı temel prensiplerinden yola çıkılarak sabit platform hareket denklemlerinin farklı yollardan elde edilmesi mümkündür. Elde edilecek denklemlerin, hangi yoldan elde edilmiş olurlarsa olsunlar, platform dönel hareketini temsil etmek bakımından birbirlerinden hiçbir farkları olmayacağı açık olmakla birlikte farklı yollardan elde edilen denklemlerin farklı yapılarda oldukları da bir gerçektir. Bu yapıların birbirlerinden farklı olan temel özellikleri, kullanım amacına göre, aralarında bir tercih yapılmasını gerektirir.

Sabit platformun dinamik modeli, Newton mekaniği ve Lagrange mekaniği gibi bilinen fiziksel kanunlar yardımıyla elde edilir. Lagrange-Euler ve Newton-Euler formülleri gibi geleneksel yaklaşımlar, platformun dönel hareket denklemlerini sistematik olarak çıkarmakta kullanılırlar. Sabit platform dinamiğini tanımlamakta kullanılan denklemler farklı yaklaşımlarla elde edilir. Bunlar: [14,15,16]

- Lagrange-Euler formülasyonu,
- Newton-Euler formülasyonu,
- Genelleştirilmiş d'Alembert formülasyonu.

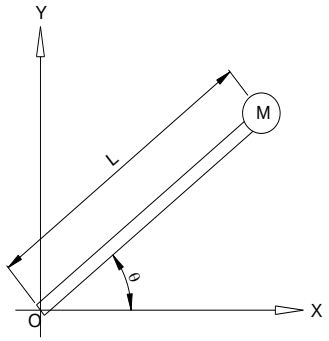
4. Tasarlanan Sabit Platformun Mekanik Hesaplamaları

Sabit platformun mekanik hesapları pedestal momentlerinin tespiti ile mekanik hesap ve boyutlandırma kontrolü olarak iki başlıkta incelenmiştir.

4.1. Pedestal Momentlerinin Bulunması

Sabit platform, 30° açılı gövdelerine döngü verilmesi için iç içe boru miller kullanılmıştır. Pedestal hem kapladığı hacme hem de kompakt tasarıma dikkat edilerek hesaplanmıştır.

Proje için yapılan hesaplamalarda Lagrange denklemi uygulanmıştır. Bu yöntem robot üzerinde şu şekilde uygulanmıştır: Momenti hesaplanacak olan mafsaldan, robotun uç noktasına ve robotun ucuna monte edilen sisteme kadar olan kısmın ağırlığı ve ağırlık merkezi bulunur. Hesaplanacak olan mafsaldan, ağırlık merkezine kadar olan kısım düz, rijit ve ağırlıksız çubuk gibi ve de ucuna hesap edilen ağırlık kadar kütle varmış gibi düşünülür. Önemli olan nokta, ağırlık merkezinin bulunması esnasında, hesap edilecek mafsalın maksimum zorlanma anını yakalamaktır [17].



Şekil 1. Mafsal momentinin bulunmasının şematik gösterimi

M : Mafsaldan, robotun uç noktasına kadar olan kısmın ve uç kısma takılan cisimlerin ağırlıklarının toplamı.

L : Mafsaldan, hesaplanan ağırlık merkezine olan uzaklık.

Burada yükün konumunu bulup, türevlerini alırsak,

$$X_M = L.\cos\theta \qquad \overset{*}{X}_M = -L.\sin\theta.\overset{*}{\theta} \tag{4.1}$$

$$Y_M = L.\sin\theta \qquad \overset{*}{Y}_M = L.\cos\theta.\overset{*}{\theta} \tag{4.2}$$

$$V_M = \sqrt{(\dot{X}_M^2 + \dot{Y}_M^2)} = \sqrt{((L.\sin\theta.\dot{\theta})^2 + (L.\cos\theta.\dot{\theta})^2)} = \sqrt{L^2.\dot{\theta}^2(\sin^2\theta + \cos^2\theta)} = L.\dot{\theta} \tag{4.3}$$

Bu hızlardan yola çıkarak yüklerin kinetik ve potansiyel enerji denklemlerini yazarsak:

$$E_k = \frac{1}{2}M.V_M^2 = \frac{1}{2}M.L_1^2.\dot{\theta}^2 \tag{4.4}$$

$$E_P = h.M.g = Y_M.M.g = L.\sin\theta.M.g \tag{4.5}$$

Enerji denklemlerine Lagrange yöntemini uygularsak belirli bir açı için o mafsaldaki momenti bulabiliriz.

θ_θ : Mafsal için gereken moment;

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{\theta}}\right) - \frac{\partial E_k}{\partial \theta} + \frac{\partial E_p}{\partial \theta} = \theta_\theta \tag{4.6}$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{\theta}} = M.L.\dot{\theta} \qquad \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{\theta}}\right) = M.L.\ddot{\theta} \tag{4.7}$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \theta} = 0 \qquad \frac{\partial E_p}{\partial \theta} = L.M.g.\cos\theta \tag{4.8}$$

$$\theta_\theta = M.L^2.\ddot{\theta} + L.M.g.\cos\theta \tag{4.9}$$

Mafsal momentleri hesaplanırken yukarıdaki denklemden faydalanılmıştır. Denklem hem statik hemde dinamik momenti içermektedir. Hesap esnasında maksimum zorlanmayı bulabilmek için "θ" açısı "0°" kabul edilmiştir.

4.2. Pedestal Mekanik Hesapları ve Boyutlandırma Kontrolü

Pedestal mekanik hesapları ve boyutlandırma kontrolü servo motor seçimi ve dişli çark grubunu tasarımı olmak üzere iki kategoride incelenmiştir.

4.2.1. Servomotor Seçimi

Tork hesabı yapabilmek için, ilk önce gerekli maksimum torku bulmamız gerekmektedir. Bunu, başta yapmış olduğumuz ağırlık, mafsal hızı ve ağırlık merkezi kaçıklığı kabulünden bulabiliriz.

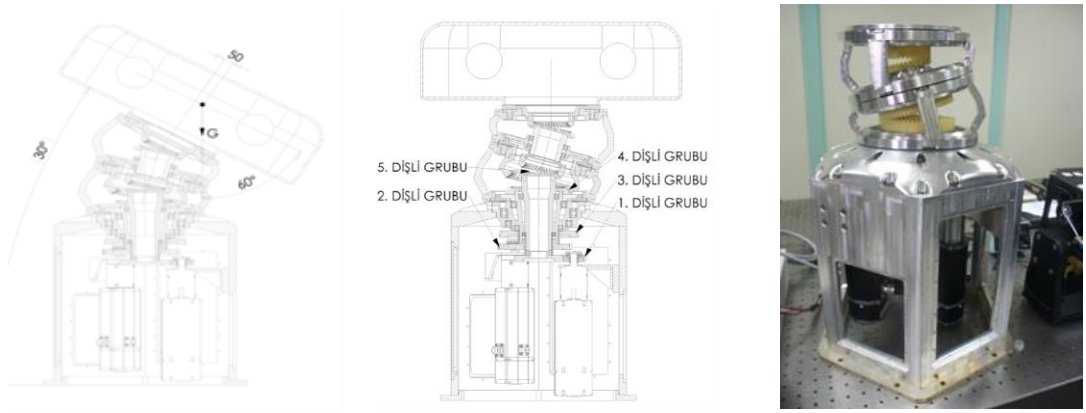
Burada, mafsal momenti hesabında kullanılacak olan ölçü, 93,41mm'dir. Ağırlık merkezinin eksenden kaçıklığını, yani 240mm'yi yataklama hesabında dahil edilecektir.

Hızı ω = 601,6°/s (10,5 r/s, 100d/d) ve de bu hıza ulaşması için gereken süre t = 1 s kabul edilmiştir. Dolayısıyla da eksen ivmesi α = 5,25 r/s² olarak bulunur. Maximum moment için θ = 0° alınmıştır. I = 1,46 kg.m² ve 50 mm'lik kaçıklığa Lagrange denklemi (4.9) uygulanmıştır.

Bu mafsal için gereken maksimum moment 32,59 Nm olarak bulunmuştur ve bu moment 1 s için uygulanmaktadır. Bunun nedeni, mafsal istenilen hıza çıktıktan sonra dinamik moment etkisi ortadan kalkacak, sabit hızda sadece statik moment etki edecektir. Statik moment ise açının artmasıyla azalacaktır. Platform için seçilen servomotor BG 65x50 150W ve redüktör PLG 53.

4.2.1. Dişli Çark Grubu

Tasarlanan platform üzerinde Şekil 2'de görüldüğü üzere beş farklı dişli grubu olup özellikleri Tablo 1'de belirtilmiştir. Bu belirlenen dişli grupları hesapları ve mukavemet kontrolleri yapılarak elde edilmiştir [18,19,20,21].



Şekil 2. Elektronik gövde maksimum 30° durumdaki moment, Dişli grubu ve Pedestal resmi

Tablo 1. Dişli Çark Grubu Özellikleri

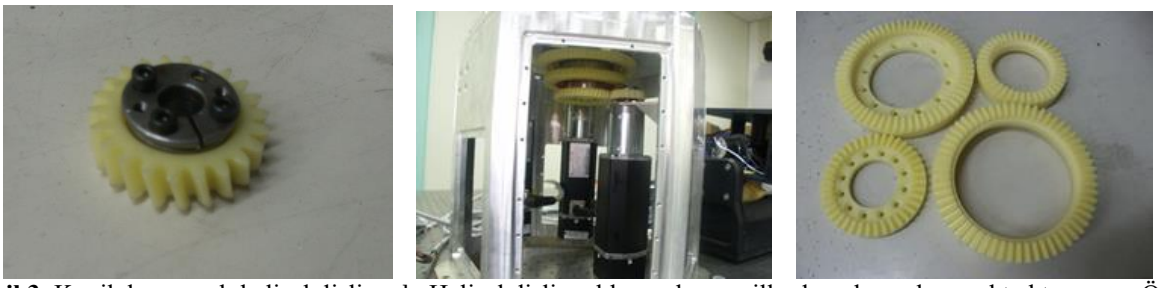
1. Dişli Grubu		**2. Dişli Grubu**		**3. Dişli Grubu**		**4. Dişli Grubu**		**5. Dişli Grubu**	
1.dişli	2.dişli	**1.dişli**	**2.dişli**	**1.dişli**	**2.dişli**	**1.dişli**	**2.dişli**	**1.dişli**	**2.dişli**
i =2		i =2		i =2		i =1		i =1	
α =20°		α =20°		α =20°		α =20°		α =20°	
β = 15°		β = 15°		β = 15°		β = 15°		β = 15°	
Σ = 90°		Σ = 15°		Σ = 90°		Σ = 15°		Σ = 15°	
m = 2mm		m = 2.5mm		m = 2mm		m = 2mm		m = 2.5mm	
B = 12		B = 12		B = 12		B = 16		B = 16	
Diş sayısı :22	Diş sayısı :44	Diş sayısı :30	Diş sayısı :60	Diş sayısı :36	Diş sayısı :67	Diş sayısı :52	Diş sayısı :52	Diş sayısı :36	Diş sayısı :36
Helis yönü: Sol	Helis yönü: Sağ	Helis yönü: Sol	Helis yönü: Sağ	Helis yönü: Sol	Helis yönü: Sağ				

5. Tasarlanan Sabit Platformun Üretim Süreci

Sabit platform tasarlanırken olabildiğince kompakt ve kolay üretilebilir olmasına dikkat edilmiştir. Orijinal tasarımda pedestalin üst ve alt gövdeleri alüminyum döküm yapılmasına karar verilmiştir.

5.1. Dişli Çarkla Hareket Aktarma Modülü

Sabit platform tasarımdaki kolaylık ve az parça sayısı hedefi sonucu özellikle motordan gövdelere hareket iletimini yapan helisel dişli çarklar gerçekten kompakt bir sistem elde edilmiştir. Motor mili ile helisel dişli arasındaki bağlantı konik kavrama yöntemiyle sağlanmıştır. Avantajı merkezleme sağlaması, montajı ve demontajı çok kolaydır.



Şekil 3. Konik kavramalı helisel dişli çark, Helisel dişli çarklar ve boru millerden oluşan kompakt aktarma ve Özel konik dişli çarklar

Büyük helisel dişli çark ile gövde boru milleri arasındaki bağlantılarda ise kama yerine dişli çarklar vidalı bağlantı kullanılarak boru millere montajlanmıştır. Dolayısıyla boru mile hareket rijit olarak aktarılabilmektedir.

Bütün dişli çarklar kestamid malzemeden üretilmiştir. Çünkü darbe dayanımı, sessiz çalışması ve yağlama gerektirmemesi, korozyona dayanıklı olması, kolay işlenebilmesi, hafif ve ucuz olması sonuçları göz önüne alınarak değerlendirilmesi sonucu seçilmiştir.

Kestamid, çapraz bağlı moleküler yapısı nedeniyle üstün özelliklere sahip bir poliamid türüdür. Çok yüksek molekül ağırlığı, kristal yapısı ve çapraz bağlara sahip olma özelliklerinden dolayı sert, aşınmaya ve bükülmeye dayanıklı sağlam bir plastiktir. Mekanik özellik olarak; Çekme dayanımı 85 Mpa, Basma dayanımı 95 Mpa, Erime sıcaklığı 220 derecedir.

5.2. Gövde Grubu

Gövde grubunun tasarımında slewing rulman ve rulmana uygun gövde tasarımı yapılmıştır.

5.2.1. Slewing Rulman Tasarımı

Bu tip rulmanlara flanşlı rulman da denilmektedir. Çelikten üretilmiş olup yüzey sertleştirme ısıl işlemi uygulanmıştır [22,23].

Şekil 4. Flanşlı rulman üretilmiş resmi

Bilyeler slewing rulmanın iki parçasındaki yivden geçirilerek montaj edilmiştir. Özel bir marka gres yağı sürülmüştür.

5.2.2. Gövde Tasarımı

Alüminyum gövde estetik ve ucuz olması için parçalı olarak Resim 9'da görüldüğü gibi üretilmiştir.

Şekil 5. Parçalı gövde ve Gövde koruma muhafazası

Daha sonra ABS malzemeden gövde koruma muhafazası tasarlanarak hızlı prototip olarak üretilmiştir. Hem estetik olarak güzel sonuç elde edilmiş hem de kolay üretilebilir özellikle çok hafif bir tasarım oluşturulmuştur.

Sabit platformda kullanılan tüm parçalar 7075-T6 alüminyum malzemeden üretilmiştir. Bu malzemenin özellikleri; çekme mukavemeti: 533 Mpa, akma mukavemeti: 462 Mpa, uzama : % 8,5 , sertlik : 150 HB'dir.

Tasarımda boru miller kullanılmıştır. Çünkü pedestal üzerine montajlanacak elektronik birimden çıkan kablolar içten taşınacak, dolayısıyla dış çevrede kablo gözükmeyecektir. Bu da kabloların herhangi bir gerilmeye, darbeye ve dış etkene maruz kalmasını engelleyerek sinyal güvenliğini sağlayacaktır.

Sonuçlar

Teori ve tasarıma dayalı bu çalışmada, sabit platform konstrüktif yapılarına değinilmiş ve üç eksenli, endirekt hareket aktarımlı endüstriyel bir cihazların hareketli platformlarda hassas konum kontrolünü sağlayan sabit platform tasarımı yapılması amaçlanmıştır.

Çalışma sonucunda gemi üzerine elektro-optik kökenli kızıl ötesi bantta pasif hedef tespiti yapan bir IRST (Infrared Search and Track) sistemi için bir sabit platform ortaya çıkarılmıştır. Bu sabit platform çağımızın gereksinimlerine uygun, kolay monte edilebilir, modüler, güç/ağırlık oranı düşük, hız ve ivme değerleri yüksek ve deniz şartlarına uygun olacak şekilde özgün olarak tasarlanmıştır. Endirekt aktarım yapılarak kompakt bir pedestal tasarımı ve modüler bir dişli grubu oluşturulmuştur. Böylece kablajı ve montajı kolay yapılabilen motordan bağımsız özgün bir tasarım ortaya çıkarılmıştır.

Referanslar

[1] Hilkert, J. M. Inertially stabilized platform technology concepts and principles. IEEE Control Systems, 2008, 28.1: 26-46.
[2] Pu, Y. A. N. G.; Qi, L. I. Design and realization of control system for three-axis gyro stabilized platform [J]. Journal of Chinese Inertial Technology, 2007, 2: 013.
[3] Guo, L. D., et al. Application of NN-based backstepping adaptive controller for stabilized platform of shipborne weapons. In: Advanced Computer Control (ICACC), 2010 2nd International Conference on. IEEE, 2010. p. 271-276.
[4] Altın, N.; Sarp, M. Deniz araçları için iki eksenli görüş hattı stabilizasyon sistemi tasarımı. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 2017, 5.1: 119-137.
[5] Haggart, G.; Nandikolla, V. K.; Jia, R. Modeling of an inertially stabilized camera system using gimbal platform. In: ASME 2016 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. American Society of Mechanical Engineers, 2016. p. V04AT05A047-V04AT05A047.
[6] Anderson, J.; Sarkodie-Gyan, T. Mechanical design and modeling of an inertial reference unit for laser beam stabilization. In: Automation Congress, 2004. Proceedings. World. IEEE, 2004. p. 389-396
[7] US PATENT 4703688
[8] US PATENT 4703688
[9] US PATENT 5761965
[10] US PATENT 5761965
[11] US PATENT 6014909
[12] US PATENT 4787270
[13] US PATENT 4787270
[14] Spong, M., Robot Dynamics and Control, John Wiley & Dond, Inc., Singapore; 1989.
[15] Schilling, R., Fundamentals of Robotics Analysis and Control, Prentiec-Hall International, Inc., USA; 1990.
[16] Ed. Kreith F., Mechanical Engineering Handbook, Boca Raton: CRC Press LLC; 1999.
[17] Koç E., Makina Elemanları Çözümlü Problemler, Nobel Kitabevi; 2006.
[18] Bozacı A, Koşan İ, Çolak Ö., Makina Elemanlarının Projelendirilmesi, Çağlayan Kitabevi; 2000.
[19] Bozacı A, Makina Elemanlarının Cilt 1, Çağlayan Kitabevi; 2005.
[20] Bozacı A, Makina Elemanlarının Cilt 2, Çağlayan Kitabevi; 2005.
[21] Akkurt M., Makina Elemanları Cilt 1-2,Birsen Yayınevi; 2000.
[22] Shigley E. J., Mechanical Engineering Design,McGraw-Hill Book Company; 1986.
[23] Sandler, B., Sandler, Z., Robotics, Designing the Mechanisms for Automated Machinery, A Solomon Press Book, USA; 1991.