



ULUSLARARASI 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ
VE DİJİTAL ENDÜSTRİ DERGİSİ


INTERNATIONAL JOURNAL OF 3D PRINTING
TECHNOLOGIES AND DIGITAL INDUSTRY

ISSN:2602-3350 (Online)

URL: <https://dergipark.org.tr/ij3dptdi>

PLANET REDÜKTÖRLÜ ROBOTİK AKTÜATÖR TASARIMI VE ÜÇ BOYUTLU (3B) YAZICI İLE İMALATI

PLANETARY GEARED ROBOTIC ACTUATOR DESIGN AND MANUFACTURING WITH 3D PRINTER

Yazarlar (Authors): Ahmet Burak TATAR 


Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Tatar A.B.,
“Planet Redüktörlü Robotik Aktüatör Tasarımı ve Üç Boyutlu (3B) Yazıcı ile İmalatı” *Int. J.
of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 7(2): 161-168, (2023).

DOI: 10.46519/ij3dptdi.1244172

Araştırma Makale/ Research Article

Erişim Linki: (To link to this article): <https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/archive>

PLANET REDÜKTÖRLÜ ROBOTİK AKTÜATÖR TASARIMI VE ÜÇ BOYUTLU (3B) YAZICI İLE İMALATI

Ahmet Burak TATAR ^a 

^a Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, TÜRKİYE

* Sorumlu Yazar: atatar@adiyaman.edu.tr

(Received: 29.01.23; Revised: 09.03.23; Accepted: 02.05.23)

ÖZ

Bu çalışmada, eklemli robotik sistemlerde kullanılması amacıyla planet redüktör yapılı eklem tahrik ünitesi tasarlanmıştır. Aktüatör olarak ifade edilen robot eklem tahrik ünitesinin yapısında; tahrik motoru, redüksiyon sistemi, motor kontrol ünitesi ve geri bildirim ünitesi (sensör, enkoder, potansiyometre vb.) yer almaktadır. Eklem bacaklı veya manipülatör yapılı robotik sistemlerin eklem hareketleri için yüksek torklu ve hızlı tepki verebilecek tahrik sistemleri tercih edilmektedir. Kontrol ve kullanım kolaylığı açısından tahrik motoru olarak DC motor kullanılmıştır. Eklemlerde yüksek tork ve hız elde edebilmek için planet (gezegen) dişli redüktör sistemi tasarlanmıştır. 3 boyutlu (3B) yazıcılar yardımıyla PLA malzemeden imal edilecek olan planet redüktörün, kullanılacak motor, sürücü ve enkoder çeşidine göre tasarlanarak ilgili uygulamalarda kullanıma sunulması amaçlanmıştır. Hedeflenen redüktör tahvil oranına göre planet dişlilerin kinematik analizi gerçekleştirilmiş, robotik sistemlerde verimli kullanılabilmesi için uygun tasarım sonucu eklem tahrik sistemi oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Robotik, Aktüatör, Planet Dişli, Kinematik, Üç Boyutlu (3B) Yazıcı.

PLANETARY GEARED ROBOTIC ACTUATOR DESIGN AND MANUFACTURING WITH 3D PRINTER

ABSTRACT

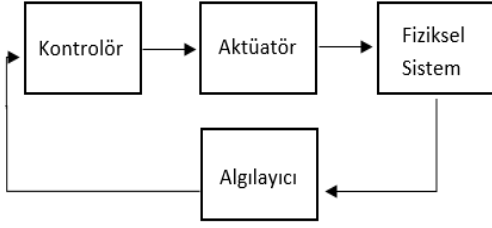
In this study, a planetary reducer joint drive unit was designed for use in articulated robotic systems. In the structure of the robot joint drive unit, which is expressed as an actuator; drive motor, reduction system, motor control unit and feedback unit (sensor, encoder, potentiometer, etc.). High torque and fast response propulsion systems are preferred for the joint movements of arthropod or manipulator structured robotic systems. In terms of control and ease of use, DC motor is used as the drive motor. A planetary gear reducer system has been designed to achieve high torque and speed at the joints. The planetary gearbox, which will be manufactured from PLA material with the help of 3D printers, is designed according to the type of motor, driver and encoder to be used, and it is aimed to be used in related applications. The kinematic analysis of the planetary gears was carried out according to the targeted gearbox ratio, and a joint drive system was created as a result of the appropriate design so that it can be used efficiently in robotic systems.

Keywords: Robotics, Actuator, Planetary Gear, Kinematics, 3D Printer.

1. GİRİŞ

Bacaklı robotların ve robot kol sistemlerinin eklem hareketlerini sağlamak için farklı tasarımlara sahip birçok aktüatör çeşidi kullanılmaktadır. Robotik sistemler; kontrolör,

aktüatör ve algılayıcı yapılarının birleşiminden oluşmaktadır (Şekil 1).



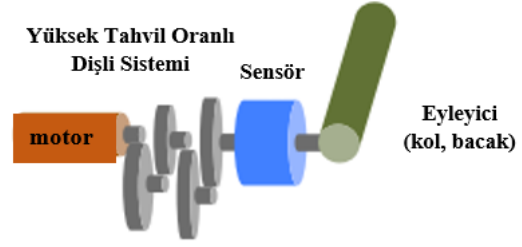
Şekil 1. Robotik sistemlerde eklem ünitesi

Robotik sistem uygulamalarında, özellikle de robot manipülatör prototip uygulamalarında robotun eksenlerini hareket ettirmek için geri beslemeli tahrik sistemleri kullanılmaktadır. Geri bildirim alabilmesinin yanında eksenlerin yüksek torka sahip olması ve hızlı ve esnek hareket kabiliyetinin olması beklenmektedir. Robot manipülatör çalışmalarında genellikle elektrik motorları kullanılmaktadır. Endüstriyel robot kol uygulamalarından ziyade, akademik ve prototip ürün bazlı çalışmalarda kullanım kolaylığından ötürü DC motorlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Küçük ölçekli fiziksel parametrelere sahip olan robot sistemlerinde step motor [1] veya fırçasız DC motor (BLDC) [2] kullanılarak yapılan çalışmalar da literatürde mevcuttur. Büyük ölçekli robot kol yapılarında da tercih edilen BLDC motorlar, yapıları gereği çok yüksek hızlara sahip olduklarından genellikle bu yüksek hızı düşürüp motor torkunu artırabilmek için tahrik ünitesinde redüksiyon sistemleri kullanılmaktadır [3]. Bununla birlikte araştırmacılar geri bildirim ve yüksek tork avantajlarından dolayı çalışmalarında DC servo motorlar da kullanmışlardır [4-6].

Ar-Ge kapsamında yapılan robot kol çalışmalarına bakıldığında robot manipülatör sisteminin mekanik parçaları çoğunlukla 3B yazıcılar kullanılarak imal edilmiştir. Talaşlı imalat ürünleri kadar dayanıklı olmasa da küçük ölçekli robotik uygulamalarda 3B yazıcıdan imal edilen parçalar oldukça rijit mekanik yapılar ortaya çıkarabildiğinden dolayı akademik çalışmalarda [7] da kullanılmıştır.

Robotik bir sistemde eklem tahrik ünitesi ardışık iki robot uzvunu birbirine bağlar ve hareketini sağlar. İşlevlerini yerine getirmesi için bir eklem tahrik ünitesinin; eklem torkunu sağlayan bir aktüatör, aktüatör kuvvetini artıran bir redüksiyon sistemi ve eklem bağlantılarının hareketini bir derecede sınırlayan bir eklem yapısı içermesi gerekmektedir [8]. Bunun yanında bu yapı içerisinde yer alan sensör birimi ile de fiziksel sistemin geri bildirimi

alınarak, Şekil 2.'deki [9] gibi yüksek torklu, geri beslemeli ve redüktörlü bir aktüatör yapısı elde edilmiş olur.



Şekil 2. Robotik aktüatör yapısı [9]

Robotik aktüatörlerin tasarımındaki temel amaçlardan biri, tahrik ünitesinin torkunu yüksek tutup toplam kütlesini minimuma indirmektir. Belirli bir amaca göre tasarlanan robotik sistemlerin ihtiyaçlarına göre kullanılacak tahrik ünitesinin yapısı da durum koşullarına göre değişebilir. Bazı çalışmalarda robotik eklemlerin çok hızlı hareket kabiliyetine sahip olması hedeflenirken bazı çalışmalarda ise yüksek torka ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla bu tür farklı ihtiyaçlara göre aktüatör tasarımı da değişiklik gösterecektir. Ancak tüm mafsallı (articulated) robot yapılarında tahrik sisteminin düşük ağırlıklı olması beklenir. Yin ve ark. [10] yapmış oldukları çalışmadaki robot manipülatöründe sistemin ağırlığını minimuma indirgeyecek bir aktüatör tasarımı ortaya koymuşlardır.

Bu çalışmada da mafsallı robot sistemlerinde eklemlerin hareketini sağlamak için, optimum hız, yüksek tork ve minimum ağırlığa sahip bir eklem tahrik ünitesi tasarlanmış ve 3B yazıcı yardımıyla PLA malzemeden imal edilmiştir. Çalışma kapsamında, robotik eksenlerin esnek ve hızlı hareket kabiliyetine sahip olması için tahrik motoru olarak DC motor seçilmiş, eklemlerin torkunu artırmak için bir planet redüktör tasarımı ve kinematik analizi yapılmış ve bu doğrultuda sistemin imalatı gerçekleştirilmiştir. Eklemlerin hareketini kolaylaştırmayı amaçlayan bu aktüatör prototipi çalışmasında, eklemlerin hareket kısıtlamasına yol açmayacak ergonomik bir tasarım ortaya konulmuş ve imal edilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

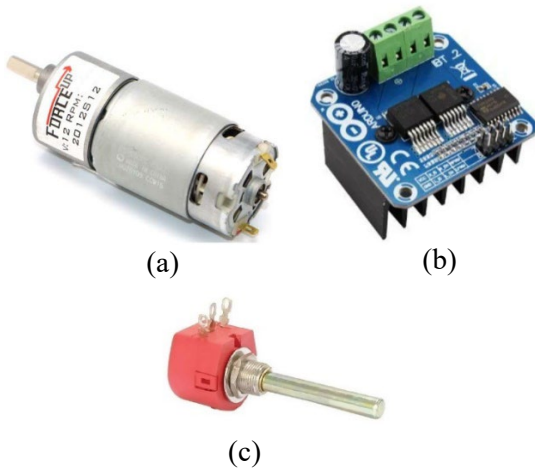
Çalışma kapsamında eklem tahrik sisteminde kullanılması planlanan uygun donanımların belirlenmesi gerekir. Dolayısıyla belirlenen amaç doğrultusunda malzeme seçimi yapılarak

mekanik ve elektronik tasarım süreci tamamlanabilir.

2.1. Malzeme Seçimi

Robotik aktüatörlerin prototip uygulama çalışmasını yapabilmek için temel donanımlar olan tahrik motorlarının, motor sürücü devrelerinin, pozisyon ve hız geri bildirim için kullanılacak sensörlerin (enkoder) belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada temel amaç yüksek tork ve minimum kütleyle sahip bir aktüatör tasarımını gerçekleştirmektir. Bunun yanında robot manipülatör, bacaklı (quadrupe) robot uygulamaları gibi mafsallı robot çalışmalarında optimum eksen (joint) hızlarının belirlenmesi gerekir. Rader ve ark. [11] yapmış oldukları çalışmada dairesel hareket yapan robot eksenlerinin maksimum hareket hızının 206 °/s olduğunu belirtmişlerdir. Buna göre hareket eksenini için kullanılan aktüatörün çıkış mil hızını yaklaşık 34 rpm olarak öngörmüşlerdir. Akdağ [12] ise robot manipülatörü üzerine yapmış olduğu çalışmada eklem hızını maksimum 37,5 rpm olarak belirlemiştir.

Bu çalışmada, literatürdeki bu eklem hız değerleri göz önünde bulundurularak eklem hızı yaklaşık 50 rpm olan bir robotik eklem tahrik ünitesi oluşturulması planlanmış ve kolay kontrol edilebilirliğinden dolayı Şekil 3a'da [13] görülen ForceUp redüktörlü DC motor kullanılması uygun görülmüştür.



Şekil 3.a) ForceUp redüktörlü DC motor [13], **b)** BTS7960b DC motor sürücü devresi [14] **c)** Endüstriyel potansiyometre

Tahrik motorunun etiket değerlerinde motorun çıkış hızının 1000 rpm olduğu belirtilmiştir

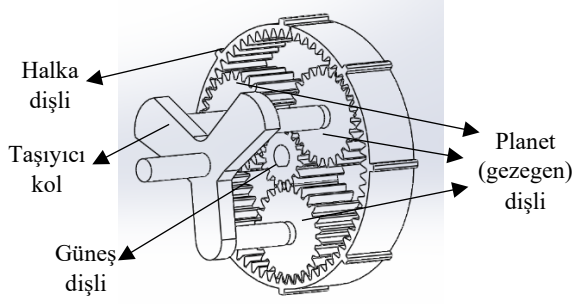
[13]. Bu çalışmada hedeflenen 50 rpm robotik aktüatör çıkış hızını elde edebilmek için yaklaşık 20:1 tahvil oranına sahip harici bir redüktör sisteminin kullanılması gerekmektedir. Tasarlanacak planet redüktörün tahvil oranının yaklaşık 20:1 olması hedefiyle redüktör hesaplamaları yapılmıştır. Aynı şekilde tahrik motorunun etiket değerine bakıldığında 1000 rpm çıkış hızındayken tork değerinin yaklaşık 21 kg.cm olduğu görülmektedir [13]. Planet redüktörün tahvil oranı da göz önünde bulundurulduğunda oluşturulacak robotik aktüatörün çıkış torku yaklaşık 420 kg.cm olacaktır ve bu değer yaklaşık 42 N.m'dir.

Seçilen tahrik motorunun sürücü devresinin de yüksek akımlara dayanıklı yapıda olması gerekir. Motor etiket değerleri dikkate alındığında çalışma akımlarının yaklaşık 2,45 A olduğu görülmektedir [13]. Oluşabilecek kayıplar ve tepe akımları göz önünde bulundurulduğunda, Şekil 3b'de [14] görülen 20 A akım kapasiteli BTS7960b DC motor sürücü devresinin aktüatörde kullanılmasına karar verilmiştir.

Aktüatör sistemindeki pozisyon ve hız geri bildirimlerinin alınması için Şekil 3c'e görülen endüstriyel potansiyometre kullanılmıştır. Robotik aktüatör tasarımı yapılırken daha hassas, daha hızlı ya da daha yüksek torka sahip bir sistem hedeflendiğinde farklı uygun donanımların seçilmesi tercih sebebidir. Bu çalışmada 50 rpm çıkış hızı için uygun donanımlar seçilmiş ve mekanik tasarım ve planet redüktör tasarımı bu hedef doğrultusunda gerçekleştirilmiştir.

2.2. Planet Redüktör Hesabı

Planet redüktörler kompakt tasarımı, boşluksuz yapıları ve büyük kuvvetlere dayanımı avantajlarından dolayı mobil mekanik tahrik sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [15]. Planet dişli sistemleri temel olarak küçük hacimde yüksek tahvil oranları elde etmeyi sağlamaktadır.

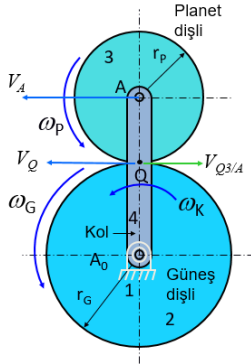


Şekil 4. Planet redüktör yapısı

Şekil 4'te görülen tek kademeli planet redüktör sistemi, güneş dişli, planet dişliler ve halka dişli yapılarından oluşmaktadır. Temel prensip, planet dişlilerin merkezlerine bağlı olan taşıyıcı kol ile tahvil oranını artırmaktır. Çoğunlukla güneş dişli merkezine tahrik motorunun mili akuple edilerek güneş dişlinin dönüşü sağlanır ve bu şekilde bağlanan dişlilerin de diğer dişliler üzerinde hareket etmesi sağlanır.

Planet dişli tasarımı yapılırken dikkate alınması gereken ilk kısıt güneş, planet ve halka dişlilerinin modüllerinin aynı olması gerekmektedir. Diğer bir kısıt ise Denklem (1)'de verilen dişlilerin diş sayıları arasındaki bağıntının sağlanması gerekir.

$$T_{H_{1,2}} = 2T_{P_{1,2}} + T_{G_{1,2}} \quad (1)$$



Şekil 5. Planet dişli sistemi kinematiği

Planet redüktör kinematiği incelendiğinde; Şekil 5'te görülen 2 serbestlik dereceli planet dişli sisteminde Q dişlilerin temas noktasıdır. Sadece yuvarlanma hareketi gerçekleştiğinden bu noktada 2 ve 3 ile gösterilen güneş ve planet dişlilerinin çizgisel hızları aynıdır.

Buna göre, güneş dişlinin Q noktasındaki hızı (2)'deki gibi olur.

$$V_{Q_2} = r_G w_G \quad (2)$$

Planet dişlinin Q noktasındaki hızı ise kola göre bağıl olarak (3)'teki gibi yazılabilir.

$$V_{Q_3} = V_A + V_{Q_3/A} = (r_G + r_P)w_K - r_P w_P \quad (3)$$

(2) ve (3)'teki çizgisel hızlar eşitlenirse (5)'teki denklem elde edilir.

$$V_{Q_3} = V_{Q_2}, \quad r_G w_G = (r_G + r_P)w_K - r_P w_P \quad (4)$$

$$\frac{w_G - w_K}{w_P - w_K} = -\frac{r_P}{r_G} \quad (5)$$

Güneş dişlinin kola göre bağıl açısal hızı, planet dişlinin kola göre bağıl açısal hızına oranlandığında planet dişli yapısındaki kolün açısal hızı (6)'daki gibi hesaplanır.

$$\frac{w_G - w_K}{w_P - w_K} = \frac{w_{GK}}{w_{PK}} = -\frac{T_P}{T_G} \quad (6)$$

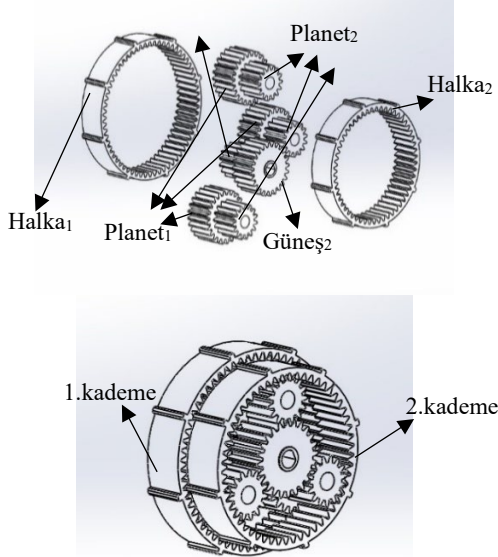
Tek kademeli planet dişlilerde kolün açısal hızı redüktörün girişi olan güneş dişlinin açısal hızına oranlandığında tahvil oranı (7)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$i = \frac{w_G}{w_K} \quad (7)$$

Ancak iki veya daha fazla kademeli planet redüktör sistemlerinde, hareket halinde olan dişlilere göre (güneş, taşıyıcı kol veya halka) tahvil oranı hesabı değişmektedir. Yukarıdaki hesaplamalarda kullanılan parametrelerde r_G : güneş dişlinin yarıçapını, r_P : planet dişlinin yarıçapını, w_G : güneş dişlinin açısal hızını, w_K : kolün açısal hızını ve w_P : planet dişlinin açısal hızını ifade etmektedir.

Bu çalışma kapsamında tasarlanan planet redüktör yapısı iki kademelidir. Redüktörün ilk kademesinde güneş dişli motor miline akuple edilerek sisteme giriş hızı verilir. İlk kademede güneş ve planet dişliler hareket halindeyken halka dişli sabittir. İkinci kademede de güneş ve planet dişlilerin hareketi halka dişliyi döndürecek. İki kademeli planet redüktör yapısı Şekil 6'da görülmektedir.

Güneş₁



Şekil 6. İki kademeli planet redüktör yapısı

Planet redüktör hesabı yapılırken dişli kademe sayısı arttıkça hesaplamalar da dişli hareketlerine göre değişiklik göstermektedir. Bu çalışmada Şekil 6'daki gibi tasarlanan planet redüktör yapısında taşıyıcı kol bulunmamaktadır. Ancak ikinci kademeye hareketin aktarımı kademeli olarak imal edilen güneş ve planet dişliler yoluyla sağlanmaktadır. Hesaplamalar yapılırken ise kol açısal hızının var olduğu kabul edilir ve (8)'deki gibi hesaplanır.

$$\frac{w_{G_1} - w_K}{w_{H_1} - w_K} = - \frac{T_{H_1}}{T_{G_1}} \quad (8)$$

Çalışmadaki planet redüktör yapısındaki ilk kademede halka dişli hareket etmediği için $w_{H_1} = 0$ olarak kabul edilir. Daha sonra ikinci kademede halka dişlinin açısal hızı da w_{H_2} (9)'daki gibi hesaplanır.

$$\frac{w_{H_2} - w_K}{w_{G_1} - w_K} = - \frac{T_{G_1} T_{P_2}}{T_{H_2} T_1} \quad (9)$$

İki kademeli planet redüktörün toplam tahvil oranı da denklem (10)'daki gibi hesaplanır.

$$i = \frac{w_{G_1}}{w_{H_2}} \quad (10)$$

Tasarımı gerçekleştirilen iki kademeli planet redüktör sisteminin parametreleri, hesaplamaların yapıldığı sınırlar çerçevesinde istenilen toplam tahvil oranına göre belirlenmiştir.

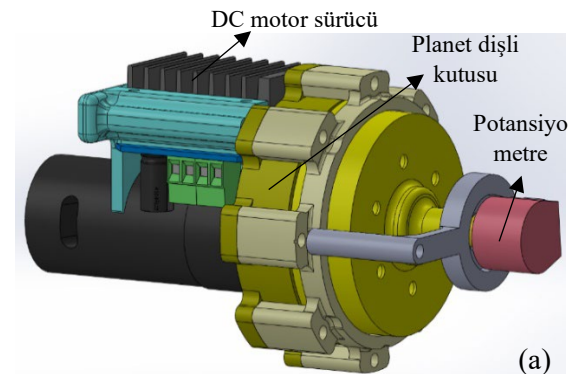
Çizelge 1. Planet dişli sisteminin fiziksel parametreleri

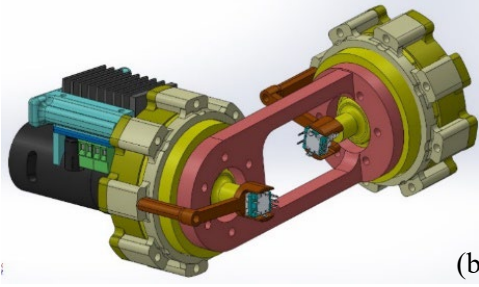
Parametre	Değer
İlk kademe güneş dişlinin diş sayısı (T_{G_1})	15
İlk kademe planet dişlinin diş sayısı (T_{P_1})	24
İlk kademe halka dişlinin diş sayısı (T_{H_1}) (Denklem (1)'e göre hesaplanır)	63
İkinci kademe güneş dişlinin diş sayısı (T_{G_2})	24
İkinci kademe planet dişlinin diş sayısı (T_{P_2})	15
İkinci kademe halka dişlinin diş sayısı (T_{H_2}) (Denklem (1)'e göre hesaplanır)	54
İlk kademe güneş dişlinin açısal hızı (w_{G_1}) (Rastgele bir giriş hızı verilebilir)	100
İlk kademe halka dişlinin açısal hızı (w_{H_1})	0

Çizelge 1'deki parametre değerleri (8)-(10) denklemlerinde kullanıldığında tasarlanan planet redüktör sisteminin toplam tahvil oranı 19,2:1 olarak hesaplanmış ve istenilen 20:1 tahvil oranı yaklaşık olarak yakalanmıştır. Hesaplanan bu tahvil oranına göre, kullanılan redüktörlü DC motorun etiket değerleri dikkate alındığında aktüatörün çıkış hızı 52,08 rpm, çıkış torku da 403,2 kg.cm = 40,32 N.m olarak elde edilmiştir. Hesaplanan bu çıkış değerleri, bu tahrik sisteminin kullanılacağı robotik sistemlerin hızlı, esnek ve kararlı bir hareket için yeterli hız ve tork değerleri üretebileceğini göstermektedir.

2.3. Planet Redüktör Mekanik Tasarımı

İki kademeli planet redüktör sistemi SolidWorks programında tasarlanmıştır. Tüm donanımların yer aldığı robotik aktüatör yapısı Şekil 7a'da verilmiştir.





Şekil 7.a) İki kademeli planet redüktörün tasarım görseli b) Ardışık robotik aktüatör yapısı

Tasarlanan aktüatör yapısı, robotik sistemlerde ardışık iki tahrik ekseninin birbiri üzerinde rahatça hareket edebilecek şekilde tasarlanmıştır. Ardışık eksenlerin hareketini ifade edebilmek için Şekil 7b'deki ardışık robotik aktüatör yapısı görülmektedir.

Şekil 7b'de görüldüğü gibi aktüatör sisteminin geri bildirim için enkoder de kullanılabilecektir.

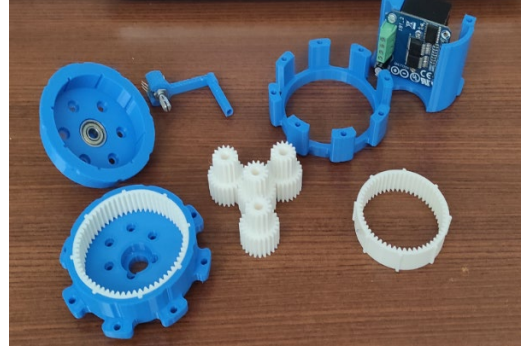
2.4. Planet Redüktör Mekanik İmalatı ve Montajı

Redüktörün imalatı Şekil 8'de görünen Creality CR 6 SE model 3B yazıcı ile gerçekleştirilmiştir.

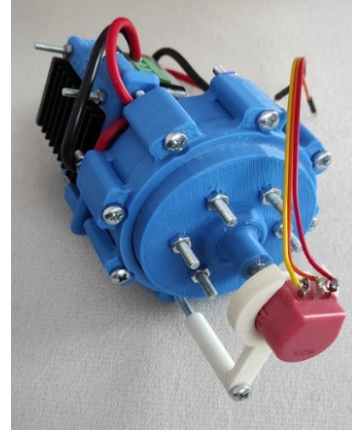


Şekil 8. Creality CR 6 SE 3B yazıcı

PLA malzemeden üretilen aktüatörün dişli yapıları aşırı yüke dayanım sağlaması için %100 doluluk oranıyla, diğer mekanik parçalar ise %90 doluluk oranıyla imal edilmiştir. Şekil 9a'da imal edilen mekanik parçalar görülmektedir.



(a)



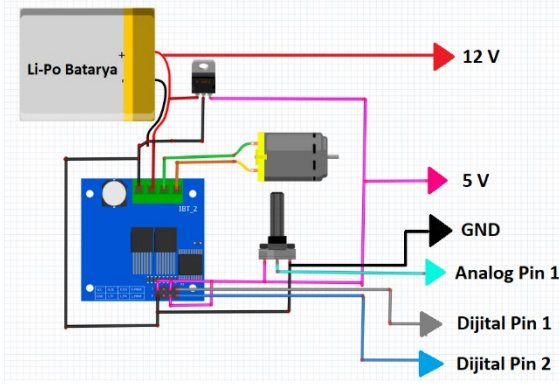
(b)

Şekil 9.a) Aktüatör mekanik parçaları b) Montajı tamamlanmış robotik aktüatör

Üretilen tüm mekanik parçaların SolidWorks ortamında yapılan tasarıma uygun olarak gerçekleştirilen montajının ardından aktüatörün kullanıma hazır hali Şekil 9b'de gösterilmiştir. Aktüatörün tüm donanımlarla birlikte ağırlığı 680 gr olup uçtan uca uzunluğu 190 mm ve çapı ise 95 mm olarak ölçülmüştür.

2.5. Elektronik Devre Şeması

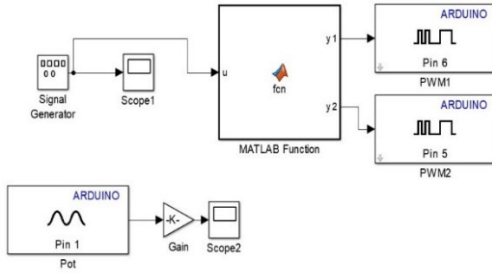
Aktüatör yapısında kullanılan elektronik donanımların bağlantısı Şekil 10'da gösterilmektedir. Elektronik devre sisteminde yüksek akım sağlama avantajından dolayı Li-Po batarya kullanıldığı öngörülerek sistem donanımlarının bağlantıları gerçekleştirilmiştir. Kullanıcının tercih ettiği mikroişlemcilerin (Arduino, Raspberry Pi vs.) uygun olan analog ve dijital bacaklarına yapılacak bağlantılar da Şekil 10'da verilmiştir. Bununla birlikte DC motor sürücü devresi yüksek akım sağlayabilecek 12 V gerilime ihtiyaç duyarken, mikroişlemci ve potansiyometreler 5 V DC gerilim ile çalıştığından devre içerisinde L7805 gerilim regülatörü kullanılmıştır.



Şekil 10. Aktüatör elektronik devre şeması

3. BULGULAR

Aktüatörün mekanik ve elektronik bağlantılarının tamamlanmasının ardından MATLAB/Simulink ortamında Şekil 10'daki gibi basit bir devre tasarımı ile bir uygulama gerçekleştirilmiştir.



Şekil 11. Simulink ortamında devre tasarımı uygulaması

Tasarlanan devrenin temel amacı imalatı yapılan aktüatörlerin hesaplanan çıkış hızını sağlayıp sağlamadığını test etmek ve ispatlamaktır. Devrede DC motora çift yönlü sinyal girişi uygulanarak etiket değerinde belirtilen [13] 12 V DC gerilim altında iki yönlü motor dönüşü gerçekleştirilmiştir. Aktüatörün hareketi boyunca potansiyometrede oluşan sayısal veriler açısal konum verilerine dönüştürülmüş ve hareket süresince motorun açısal konumunun değişimi Şekil 12'deki gibi grafiksel olarak elde edilmiştir.

Bu deneysel uygulamanın temel amacı teorik olarak hesaplanan çıkış hızının üretilen prototip aktüatörde sağlanmasını gerçekleştirmektir. DC motor 12 V gerilim altında çalıştırılarak Şekil 12'deki çift yönlü sinyal girişi uygulanmıştır.

Grafiğe bakıldığında aktüatör hareketine başlarken 150° açısal konumdan 75° 'ye 0,27 s de, aynı şekilde 75° açısal konumdan 225° 'ye 0,54 s de ulaşmıştır. Süpürdüğü açıya dikkat edildiğinde aktüatörün çıkışında $277,7^\circ/s$ 'lik açısal hız elde edilmiştir. Bu da yaklaşık olarak 46,3 rpm aktüatör çıkış hızı olarak hesaplanmıştır.

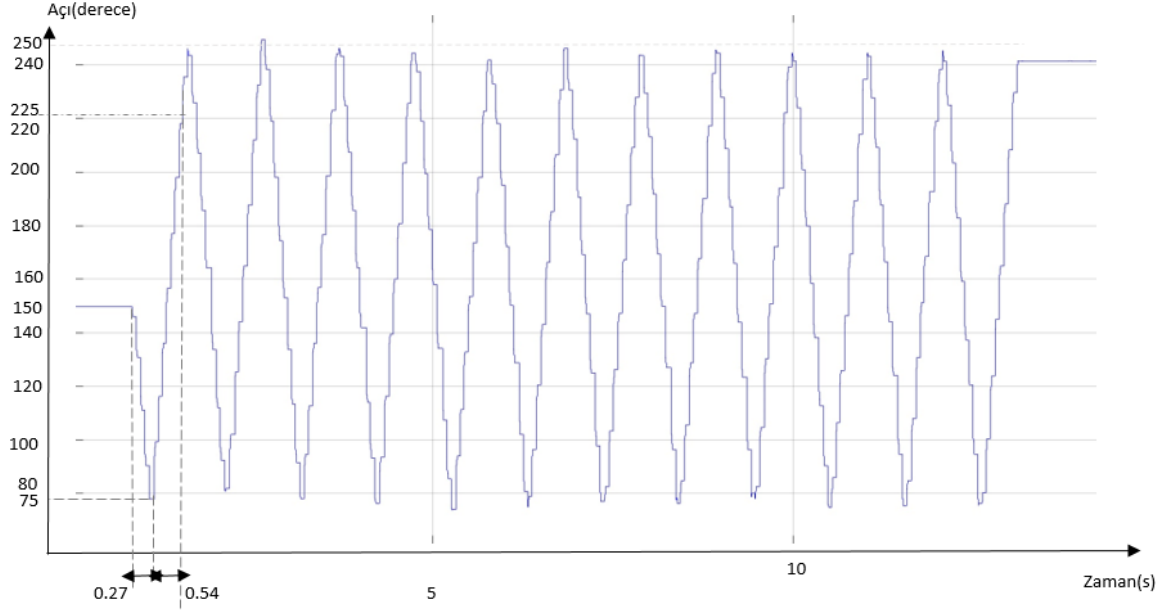
4. SONUÇLAR

Çalışmada, döner eklem yapılı robotik sistemlerin eksen hareketlerini rahatlıkla gerçekleştirebilmesi için bir eklem tahrik ünitesi tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir.

Tasarım yapılırken mevcut donanımların uygun bir şekilde birbirine akupile edilebilmesi ve çalışma entegrasyonunun sağlanması amaçlanmıştır. Ayrıca aktüatör yapısının elektronik bağlantılarını ifade edebilmek için elektronik devre şeması oluşturulmuştur.

Minimum ağırlık maksimum tork elde etmek amacıyla tasarlanan aktüatörün yapısında; planet redüktör sistemi, tahrik motoru, motor sürücü devresi ve geri bildirim ünitesi olarak potansiyometre kullanılmıştır. 3B yazıcı kullanılarak PLA malzemeden imal edilmesi planlanan planet redüktör sistemi ile tahrik ünitesinin (aktüatörün) çıkışında 20:1 tahvil oranı elde edilmesi hedeflenmiş ve aktüatör çıkış hızının yaklaşık 50 rpm olması amaçlanmıştır. Hedeflenen tahvil oranını elde etmek için planet redüktör sisteminin kinematik analizi ve hesaplamaları yapılmış ve 19,2:1 tahvil oranı elde edilmiştir.

Tasarım ve montajı tamamlanan aktüatörün, iki yönlü DC motor hareketi uygulaması sonucunda elde edilen açısal konum grafiğiyle aktüatör çıkış hızı 46,3 rpm olarak ölçülmüştür. Böylelikle hedeflenen 50 rpm aktüatör çıkış hızı hedefi yaklaşık olarak elde edilerek başarılı bir çalışma ortaya konmuştur. Bu çalışma ile ihtiyaç olan tork ve hız parametrelerine göre uygun aktüatör tasarımının yapılabilmesinin yöntemi uygulama çalışmaları ile aktarılmıştır.



Şekil 12. Aktüatör açısız konum grafiği

TEŞEKKÜR

Finansman: Bu araştırma için herhangi bir finansman kaynağı bulunmamaktadır.

Çıkar Çatışması: Ahmet Burak TATAR herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

KAYNAKLAR

1. Koç, S., Doğan, C., “Manufacturing and controlling 5-axis ball screw driven industrial robot moving through G codes”, Gümüşhane University Journal of Science and Technology, Cilt 12, Sayı 2, Sayfa 454-465, 2022.

2. Ghorbanpour, A., Richter, H., “Energy-optimal, direct-phase control of brushless motors for robotic drives”, Proceedings of the ASME 2020, Dynamic Systems and Control Conference, Sayfa 1-10, 2020.

3. Procter, S., Secco, E.L., “Design of a biomimetic BLDC driven robotic arm for teleoperation & biomedical applications”, Journal of Human, Earth, and Future, Cilt 2, Sayı 4, Sayfa 345-354, 2021.

4. Ersin, Ç., Yaz, M., Gökçe, H., “Upper limb robot arm system design and kinematic analysis”, El-Cezeri Journal of Science and Engineering, Cilt 7, Sayı 3, Sayfa 1320-1331, 2020.

5. Zawkan, M., Karim, A., Thamrin, N.M., “Servo motor controller using PID and graphical user interface on Raspberry Pi for robotic arm”,

International Conference on Robotic Automation System 2021, Cilt 2319, Sayfa 1-10, 2021.

6. Tokel, Ç., “Design and implementation of a 4-axis RC servo driven robot manipulator”, Master Thesis, Dokuz Eylül University, Institute of Science and Technology, İzmir, 2009.

7. Çelebi, A., Korkmaz, A., Yılmaz, T., Tosun, H., “Design and production of 6 axis robot arm by 3D printer”, International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry, Cilt 3, Sayı 3, Sayfa 269-278, 2019.

8. Brassitos, E., Jalili, N., “Design and development of a compact high-torque robotic actuator for space mechanisms”, Journal of Mechanisms and Robotics, Cilt 9, Sayı 061002, Sayfa 1-11, 2017.

9. Wensing, P.M., Wang, A., Seok, S., Otten, D., Lang, J., Kim, S., “Proprioceptive actuator design in the MIT Cheetah: Impact mitigation and high-bandwidth physical interaction for dynamic legged robots”, IEEE Transactions on Robotics, Cilt 33, Sayı 3, Sayfa 509-522, 2017.

10. Yin, H., Huang, S., He, M., Li, J., “A unified design for lightweight robotic arms based on unified description of structure and drive trains”, International Journal of Advanced Robotic Systems, Cilt 14, Sayı 4, Sayfa 1-14, 2017.

11.Rader, S., Kaul, L., Weiner, P., Asfour, T., “Highly integrated sensor-actuator-controller units for modular robot design”, 2017 IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), Sayfa 1-7, 2017.

12.Akdağ, M., “Design and analysis of robot manipulators by integrated CAE procedures”, Doctoral Thesis, Dokuz Eylül University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, İzmir, Sayfa 68, 2008.

13.ForceUp Redüktörlü DC Motor, 2022, <https://www.robotzade.com/Proton-12V-1000-RPM-Reduktorlu-DC-Motor,PR-1599.html>

14.BTS7960b DC Motor Sürücü Devresi, 2022, <https://www.robotistan.com/bts7960b-20-amper-motor-surucu-karti>

15.Matejic, M.S., Blagojevic, M.Z., Matejic, M.M., “Dynamic behavior of a planetary reducer with double planet gears”, Mechanical Sciences, Cilt 12, Sayfa 997-1003, 2021.