



**KARABÜK  
ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK  
FAKÜLTESİ**



**Proje Yürütücüsü**

Dr. Öğr. Üyesi Kenan IŞIK

**Proje Başlığı**

Doğrusal Yay Sertliği Karakteristiğe Sahip Dönel Seri Elastik Eyleyici Geliştirilmesi

**Project Title**

Design of a Rotational Series Elastic Actuator with Linear Spring Stiffness Characteristics

**Proje Özeti**

Bu projede, helisel yaylar kullanarak doğrusal yay sertliği karakteristiğe sahip dönel bir Seri Elastik Eyleyici (SEE) geliştirilecektir. İşbirlikçi robotlardan rehabilitasyon robotlarına, insansı robotlardan dış iskeletlere varıncaya kadar geniş bir kullanım alanı olan SEEler, ilerde geliştirmeyi planladığımız rehabilitasyon robotu ve robot hayvan uygulamaları için önemli bir adım teşkil edecek ve çeşitli kontrol uygulamaları ve algoritmaları geliştirip gerçek bir sistem üzerinde denemeler yapabilmek için gerekli olan donanım ihtiyacını karşılayacaktır.

Literatürdeki SEElerde kullanılan burulma yaylarının çoğunluğu nonlinear karakteristiğe sahiptir. En çok karşılaşılan sorunlar ise histerezis ve ön sıkıştırma yapılamadığı için ortaya çıkan ölü bölgedir (dead zone). Sonlu elemanlar yöntemleri ile tasarlanan disk şeklindeki yaylar yüksek maliyetli ve üretildikten sonra yapılacak değişiklikler için elverişsizdir. Geliştirilecek olan özgün burulma yayı mekanizması tasarımı, helisel yaylar kullanılarak gerçekleştirilecek ve bu tasarım sayesinde, kullanılan helisel yaylarının sıkışma esnasında aksenal kuvvet dışında başka kuvvetlere veya torklara maruz kalmaması sağlanacaktır. Bu sayede bükülmeden kaynaklanan nonlinearite sorununun önüne geçilecektir. Helisel yayların kullanımı maliyetleri düşürecek, yaylara ön sıkıştırma yapılabilmesi ölü bölge sorununun önüne geçilecektir. Yay sertliği karakteristiğinin doğrusallaştırılması, hem yüksek performanslı tork ve empedans kontrolü için hem de yay mekanizması aracılığı ile yapılacak olan tork ölçümünün, çalışma bölgesinin tamamında aynı hassasiyette olması için önemlidir.

Geliştirilecek olan yay mekanizmasının iki önemli özgün değeri vardır. Birincisi, helisel yayların yerleştirileceği dayanakların bir eksen etrafında dönebiliyor olması ve bu sayede kullanılan helisel yayların iki ucundaki yüzeylerin hep paralel kalmasıyla yayların bükülmesinden gelen nonlinearitenin engellenmesidir. İkincisi ise, yay mekanizmasında yay özelliğinin istenildiği zaman devreden çıkarılabilecek olmasıdır. Bu sayede eyleyici istenildiği zaman kolayca rijit bir eyleyici haline getirilebilecektir. Bu özellik sayesinde, rijit eyleyicilerde kullanılan akım geribeslemesi aracılığı ile gerçekleştirilen empedans kontrolü performansı, SEElerin empedans kontrolü performansı ile birebir karşılaştırılabilecektir.

Bu projenin araştırma sorusu, SEE aracılığı ile yapılacak empedans kontrolörünün bant genişliğinin rijit eyleyicilere göre daha yüksek olup olmayacağıdır. Öngörümüz, SEE kullanılmasıyla pozisyon kontrolü bant genişliğinin düşmesine karşın empedans kontrolü bant genişliğinin artacağı yönündedir.

	<p>Projenin öncelikli hedefi, dönel hareket çıkışına sahip SEElerde sıklıkla kullanılan burulma yaylarında görülen nonlineerite, ön sıkıştırma yapılamama, histerezis gibi dezavantajlara sahip olmayan bir burulma yayı mekanizması geliştirmektir. Daha sonraki hedef, geliştirilen yay mekanizmasını kullanan “hollow shaft” yapısına sahip kompakt bir SEE geliştirmektir. Son olarak, geliştirilen SEEnin yüksek tork ve empedans kontrolü performansına sahip olmasını sağlayacak kontrol yöntemleri geliştirmek hedeflenmektedir. Tüm bu hedeflerin gerçekleşmesi ile, geniş bir kullanım alanına sahip, fiziksel insan-robot etkileşiminin olduğu uygulamalarda güvenli bir şekilde kullanılacak bir eyleyici geliştirmek amaçlanmaktadır.</p> <p>Projede öncelikle yay mekanizması geliştirilecek ve endüstriyel bir tork sensörü kullanılarak yay mekanizmasının karakterizasyonu yapılacaktır. Daha sonra, “hollow shaft” yapısına sahip bir motor ve redüktörle yay mekanizmasının entegrasyonu yapılarak SEE geliştirilecektir. Son olarak çeşitli kontrol yöntemleri uygulanarak eyleyicinin performansı en üst seviyeye çıkarılacak ve empedans kontrolü performansı rijit hâle getirilen eyleyicinin performansı ile karşılaştırılacaktır.</p>
<p><b>Project Summary</b></p>	<p>In this project, a Rotary Series Elastic Actuator (SEA) with a linear spring stiffness characteristic will be developed using helical springs. SEAs, which have a wide range of applications from collaborative robots to rehabilitation robots, humanoid robots to exoskeletons, will be a significant step for the rehabilitation robot and robot animal applications we plan to develop in the future. It will fulfill the hardware requirements needed to develop various control applications and algorithms and conduct experiments on a real system.</p> <p>The majority of torsion springs used in SEAs in the literature exhibit nonlinear characteristics. The most common issues are hysteresis and the dead zone due to the inability to pre-compress. Disk-shaped springs designed using finite element methods are expensive and impractical for post-production modifications. The proposed original torsion spring mechanism design will be realized using helical springs. With this design, it will be ensured that the helical springs used in the mechanism are only subjected to axial force during compression, eliminating forces or torques other than axial force during compression. This will overcome the nonlinearity problem caused by bending. The use of helical springs will reduce costs while pre-compression of springs will address the dead zone issue. Linearizing the spring stiffness characteristic is crucial for both high-performance torque and impedance control.</p> <p>The developed spring mechanism has two significant unique features. Firstly, the bases where helical springs will be placed can rotate around an axis, preventing the nonlinearity arising from the bending of springs by keeping the surfaces at the two ends of the helical springs parallel to each other. Secondly, the spring characteristic in the spring mechanism can be selectively deactivated. This feature allows the actuator to be easily transformed into a rigid actuator when needed. This capability enables a direct comparison of the impedance control performance achieved through current feedback, commonly used in rigid actuators, with the impedance control performance of SEAs.</p> <p>The research question of this project is whether the bandwidth of the impedance controller through SEA will be higher than that of rigid actuators. We expect that, despite a decrease in position control bandwidth with the use of SEA, the impedance control bandwidth will</p>

increase.

The primary goal of the project is to develop a torsion spring mechanism that does not have the disadvantages of nonlinearity, inability to pre-compress, and hysteresis commonly observed in torsion springs used in SEAs with rotary motion output. The subsequent goal is to develop a compact SEA with a hollow shaft structure using the developed spring mechanism. Finally, control methods will be developed to ensure that the developed SEA has high torque and impedance control performance. With the achievement of all these goals, the aim is to develop an actuator that can be safely used in applications with physical human-robot interaction.

In the project, the spring mechanism will be developed first, and its characterization will be performed using an industrial torque sensor. Then, an SEA will be developed by integrating the spring mechanism with a motor and reducer having a hollow shaft structure. Finally, various control methods will be applied to maximize the performance of the actuator, and the impedance control performance will be compared with the performance of its rigid counterpart.

