

Araştırma Makalesi/Research Article

# İşaret Parmağı Hareketini Taklit Eden Eksik Tahrikli Dış İskelet Geliştirilmesi

## Development of Index Finger Movement Imitating Underactuated Exoskeleton

Melih CANLIDİNÇ<sup>1\*</sup>, Mustafa GÜLEŞEN<sup>2</sup>, Fatih Mehmet BOTSALI<sup>3</sup>

Gönderme Tarihi: 02.03.2018

Düzeltilme Tarihi: 30.04.2018

Kabul Tarihi: 24.05.2018

**Öz-** İnsanın günlük faaliyetlerde en çok kullandığı uzvu el ve parmaklarıdır. Bu çalışmada, çeşitli nedenlere bağlı olarak el parmaklarının hareketinde kayıp oluşan hastaların rehabilitasyonu için eksik tahrikli bir parmak eksoskeletonu (dış iskeleti) tasarlanarak prototipi üretilmiş, üretilen dış iskelet farklı kullanıcıların parmağına bağlanarak denenmiş, geliştirilen dış iskelet ile gerçekleştirilen parmak hareketi doğal parmak hareketi ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. İşaret parmağı için geliştirilen dış iskelet 3 mafsala sahip olup tek mini servo motorla tahrik edilmektedir. Dış iskelet, 2 erkek ve 2 kadın kullanıcı işaret parmaklarında, 3 farklı tahrik kablosu açısı değerinde (20°, 27.5°, 35°) çalıştırılarak parmak eklemlerinde oluşan açılar kamera kayıtları kullanılarak ölçülmüştür. Elde edilen değerler kullanıcılara ait doğal parmak fleksiyon hareketiyle karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler-** parmak rehabilitasyonu, eksoskeleton, fleksiyon

**A**bstract Hands and fingers are among the most actively used organs of people in their daily activities. In this study, a prototype underactuated hand exoskeleton was designed and produced for rehabilitation of patients suffering loss of finger motion. After the design and production stage, the exoskeleton was tested on fingers of different users, and evaluated in comparison with natural finger motions. The exoskeleton, developed for rehabilitation of index finger, consists of three joints and is driven by a single miniature servomotor. The exoskeleton was operated on two male and three female user's index fingers at three different drive cable angles (20°, 27.5°, 35°) and the resulting angles on finger joints were measured using the camera records. The obtained values were compared with the natural finger flexion motions of the users.

**Keywords-** finger rehabilitation, exoskeleton, flexion

### I. GİRİŞ

İnsan eli, hem bir duyu organı hem de uygulayıcı organ olarak, kişinin çevreyle olan iletişimde ve günlük yaşamında bağımsız olarak hareket edebilmesinde önemli rol oynar [1]. El rehabilitasyonunda temel prensip, uygulanan tedavi metodunun yaralanan elin geriye kalan fonksiyonel kapasitesini mümkün olan en üst düzeye çıkarabilmek olduğundan tedavi bir ekiple birlikte koordinasyon içinde yapılmalıdır [2].

Çok sayıda araştırmacı rehabilitasyon ve yardımcı uygulamalar için el/parmak eksoskeletonları geliştirmiştir. Rehabilitasyon eksoskeletonları hastalara elin motor fonksiyonlarının iyileştirilmesine yardımcı olacak egzersizler sağlar. Rehabilitasyon egzersizleri eksoskeleton tarafından sürülen pasif hareket veya direnç kuvvetine karşı eksoskeleton tarafından yaptırılan aktif hareket şeklinde olabilir.

<sup>1\*</sup> Sorumlu yazar iletişim: [melih.canlidinc@idpu.edu.tr](mailto:melih.canlidinc@idpu.edu.tr)

Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye

İletişim: [mustafa.gulesen@dpu.edu.tr](mailto:mustafa.gulesen@dpu.edu.tr), [fbotsali@selcuk.edu.tr](mailto:fbotsali@selcuk.edu.tr)

Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye

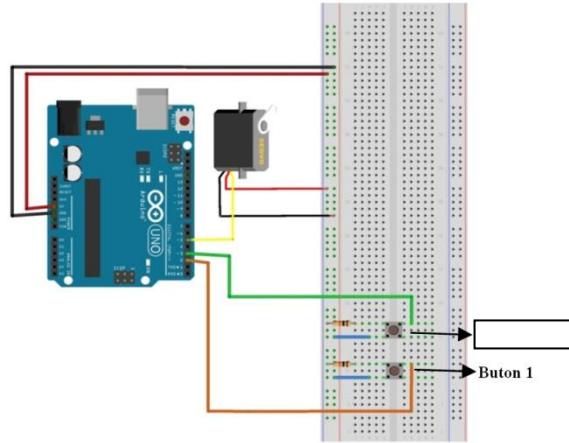
Parmak rehabilitasyonu için yapılan önceki çalışmalar incelendiğinde farklı mekanik yapı tasarımları ve farklı kontrol sistemleriyle çalışan parmak eksoskeletonları (dış iskelet) kullanıldığı görülmüştür. Son yıllarda rehabilitasyon robotları ve manipülatörleri konularında birçok çalışma yapılmıştır. Tong vd., metakarpal falanks ve proksimal falanks (metacarpal phalange, MCP ve proximal phalangeal, PIP) eklemlerini ikili olarak hareket ettirebilen ve lineer eyleyici tahrik edilen, 1 serbestlik derecesine sahip, 5 parmak takımını içeren ve dört farklı çalışma modu olan bir eksoskeleton üretmişlerdir [3]. Mulas ve arkadaşları, başparmak ve diğer parmakların fleksiyon hareketinin kabloların iki elektrik motoruyla tahriklenmesiyle, ekstansiyonun ise yaylarla yapıldığı ve hareketin elektromiyografi (EMG) sinyalleriyle kontrol edildiği bir cihaz geliştirdiler [4].

Şekil bellekli alaşımlar (shape memory alloy, SMA) yüksek elektrik direncine sahip olduğundan elektrik akımı geçtiği sıradaki ısı üretimi SMA eyleyicinin çalıştırılmasına olanak sağlayan metottur [5]. Moromugi vd. kavrama kuvvetine destek vermek için bir pnömatik silindire tahrik edilen bir el dış iskeleti geliştirmişlerdir.

Cihazda pnömatik silindir hareketinin eklemlerde senkronize hareket oluşturması için birbirine bağlanmış 3 küçük mafsalla tahrik edilen işaret parmağı vardır. Silindirin ekstansiyonu sırasında eksoskeleton sabitlenmiş başparmağına doğru kavrama hareketi oluşturur. Kullanıcı hareket istemi önkola yerleştirilmiş olan bir kas sertlik sensörü (muscle hardness sensor) kullanılarak algılanır. Deri üzerinde bir mekanik girinti sağlandığında kas sertlik sensörü basıncı ölçer. Kasın altındaki sensör aktif olduğunda, kasın sertliğindeki artış ölçülen basıncın yükselmesine neden olur [6].

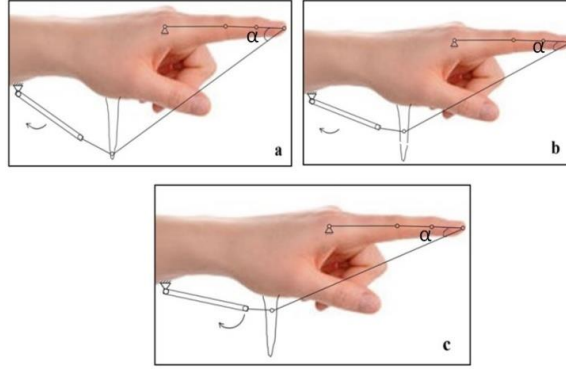
## II. DIŞ İSKELET TASARIMI VE MATERYAL SEÇİMİ

Parmak dış iskeleti tasarımında gövde ve parmak uzuv parçalarında, toksik madde içermeyen, doğada geri dönüşümü olan (toprakta çözünebilen), dayanımı yüksek ve ısıyla tekrar şekillendirilebilen "polycaprolactone" polimer malzeme kullanılmıştır. İşaret parmağı uzuvları hareketinde her bir uzuv için eyleyici kullanmak yerine tek eyleyici ile çalışabilecek eksik tahrikli dış iskelet tasarlanmıştır. Eyleyici olarak dc servo motor (mini servo) ve kontrol kartı olarak da "Arduino Uno" kartı seçilmiştir. Tasarımdaki parmak eklemlerinin hareketi için hazırlanan, servo kontrol devresi bağlantıları gösterimi, Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Servo motor kontrolü için kurulan devre. Fleksiyon hareketini gerçekleştiren Buton 1, ekstansiyon hareketini gerçekleştiren Buton 2.

Tasarlanan dış iskeletin, servo motor ile hareketini sağlıklı şekilde gerçekleştirebilmesi için tahrik kablosu açı değerlerinin üst ve alt sınırları  $20^{\circ}$ -  $35^{\circ}$  aralığında olduğu tespit edilmiştir. Parmak dış iskeleti kinematik tasarımı gösterimi, farklı tahrik kablosu farklı açı değerleri için ( $20^{\circ}$ ,  $27.5^{\circ}$ ,  $35^{\circ}$ ) Şekil 2' de verilmiştir. Tahrik kablosu prototip alt gövde parçasındaki ayarlanabilir destek parçasından geçerek işaret parmağı ucunda sonlanmaktadır. Servo motor ile tahrik edilmesi ile parmak ucundan çekilen tahrik kablosu işaret parmağı fleksiyon hareketini gerçekleştirmektedir.

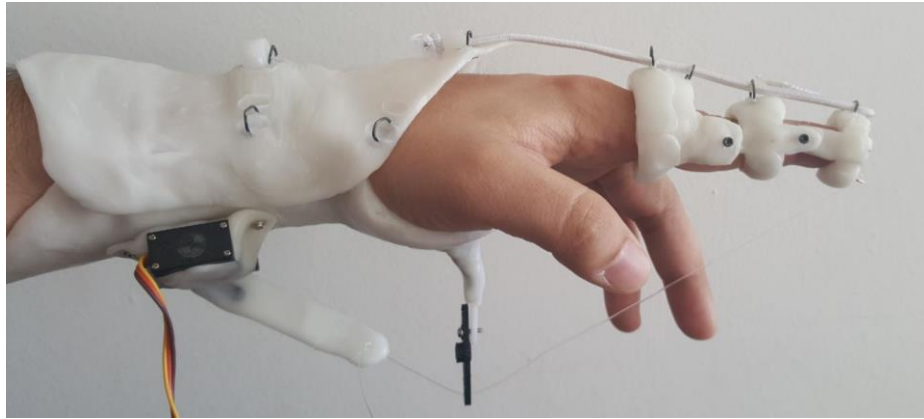


**Şekil 2.** Eksoskeleton kinematik tasarımı; a. Tahrik kablosu açı değeri  $\alpha=35^\circ$  , b. Tahrik kablosu açı değeri  $\alpha=27,5^\circ$ , c. Tahrik kablosu açı değeri  $\alpha=20^\circ$  [7]

### III. ROBOT PROTOTİP ÇALIŞMASI

El parmak fonksiyonlarının rehabilitasyonu amacıyla tasarlanan parmak dış iskeleti Şekil 3'te görülmektedir. Bu tasarım doğal parmak hareketini taklit edecek, eklemlerin hareketini gerçeğe uygun şekilde gerçekleştirebilmek amacıyla oluşturulmuştur. Dış iskeletin parmaklarda kullanılan parçaları elin biyomekanik yapısına uygun olarak şekillendirilmiştir.

Fleksiyon hareketi, mini servomotorun parmağı, parmak ucuna bağlı olan tahrik kablosu ile harekete geçirmesiyle gerçekleşirken, ekstansiyon hareketi mini servomotorun ters yönde hareket etmesi ve parmak üst kısmından gövdeye gerdirilmiş olan lastik ile gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 3.** El dış iskeleti robot prototip parçaları [7].

#### A. Geliştirilen Parmak Dış iskelet Performansının Değerlendirilmesi

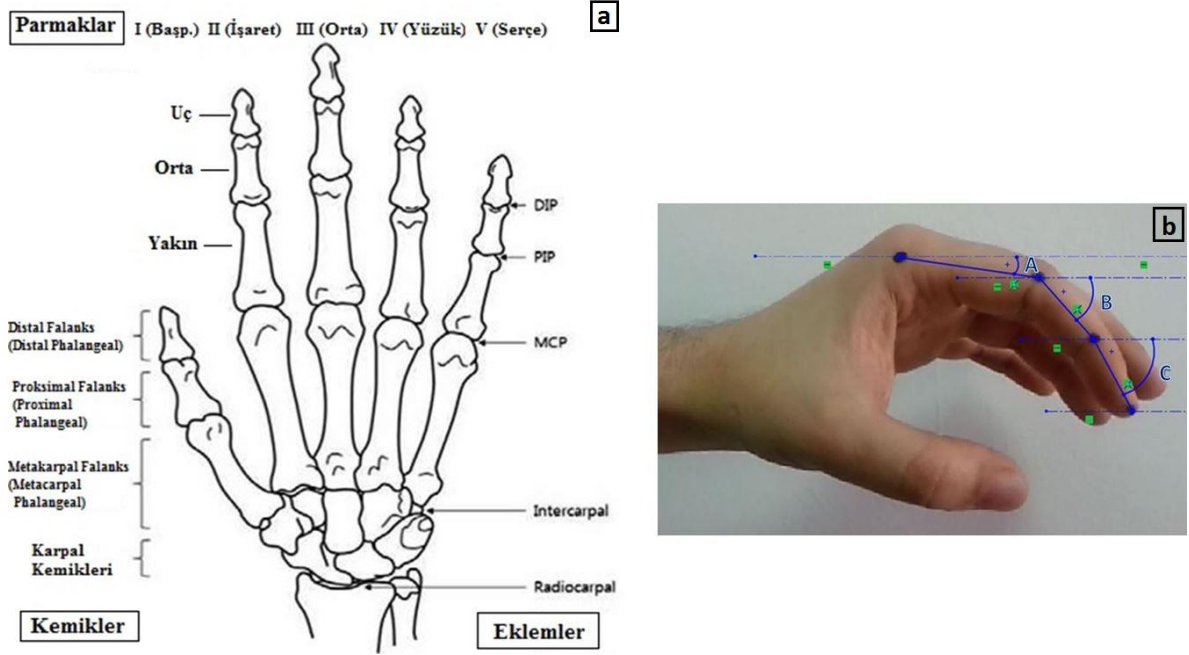
Üretilen parmak için 4 farklı kişinin (2 erkek, 2 bayan) işaret parmağına bağlanarak çalıştırılmıştır (Çizelge 1). Tüm kullanıcılarda, farklı tahrik kablosu açıları kullanılarak tahrik edilen dış iskelet ile sağlanan işaret parmağının fleksiyon hareketleri fotoğraflanarak izlenmiştir. Fleksiyon hareketi sırasında dış iskeletin işaret parmağına yaptırdığı hareketin, doğal el hareketine uygunluğunu değerlendirmek üzere işaret parmağını oluşturan kemikler arasındaki açısal değişim ölçülmüştür (Şekil 3).

**Tablo 1.** Parmak dış iskeleti denenen kişilerin parmak ölçüleri.

Dış iskeleti kullanan kişiler	İşaret parmağı uzunluğu (mm)	Türk öğrencilere ait İşaret parmağı uzunluğu (mm)*
E <sub>1</sub>	76	66,92 - 83,49
E <sub>2</sub>	73,5	
K <sub>1</sub>	66,5	62,05 - 75
K <sub>2</sub>	64	

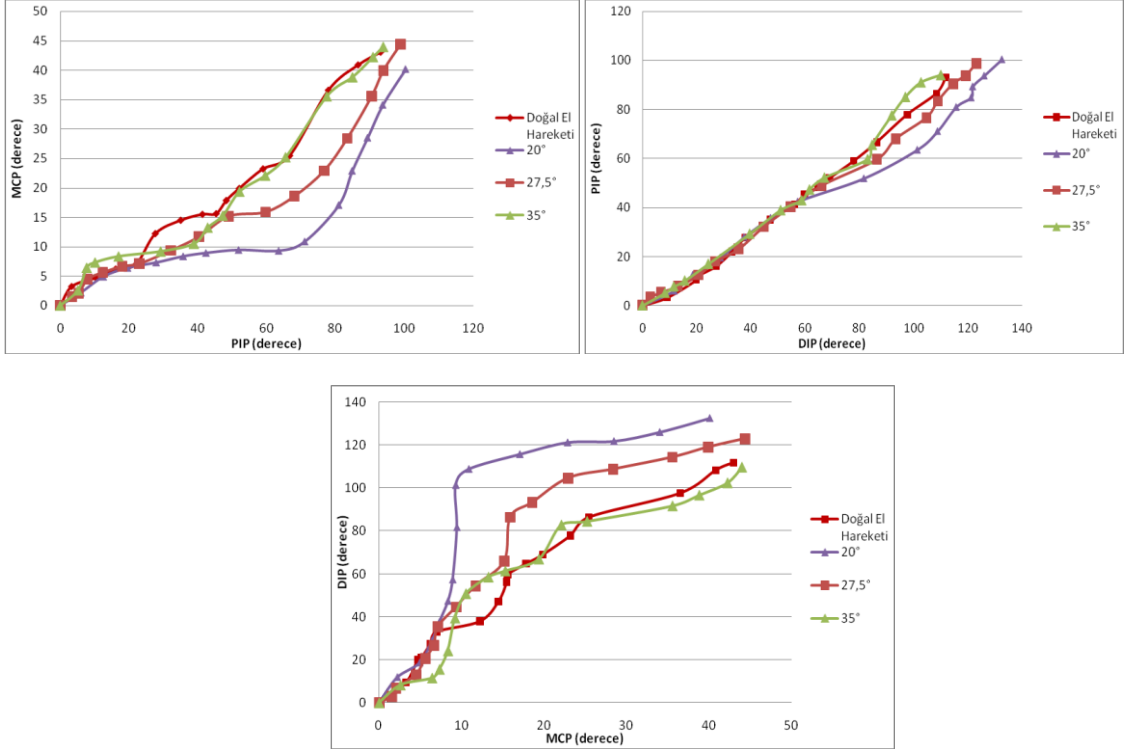
\* E. Cakit vd., 92 erkek 73 kadın diş hekimi öğrencisi üzerinde yaptıkları elin antropometri değerlerini belirleme çalışması kullanılmıştır [8].

Bu açı değişimini tespit etmek için el dış iskeleti robot prototipin çalışması kamera yardımıyla kayıt altına alınmıştır. Daha sonra kaydedilen bu videodan "Video Image Master" adındaki yardımcı bir bilgisayar programı kullanılarak fotoğraflar çıkarılmıştır. El işaret parmağını uzuvlarının fleksiyon hareketi boyunca yapmış olduğu açısal değişimi hesaplayabilmek için "Solidworks" CAD programı kullanılarak her bir görüntü üzerinde çalışılmıştır. Fleksiyon hareketi süresince çıkarılan fotoğraflar üzerinde şekilde görüldüğü gibi işaret parmağı uzuvlarının açı hesaplamaları yapılmıştır (Şekil 4).

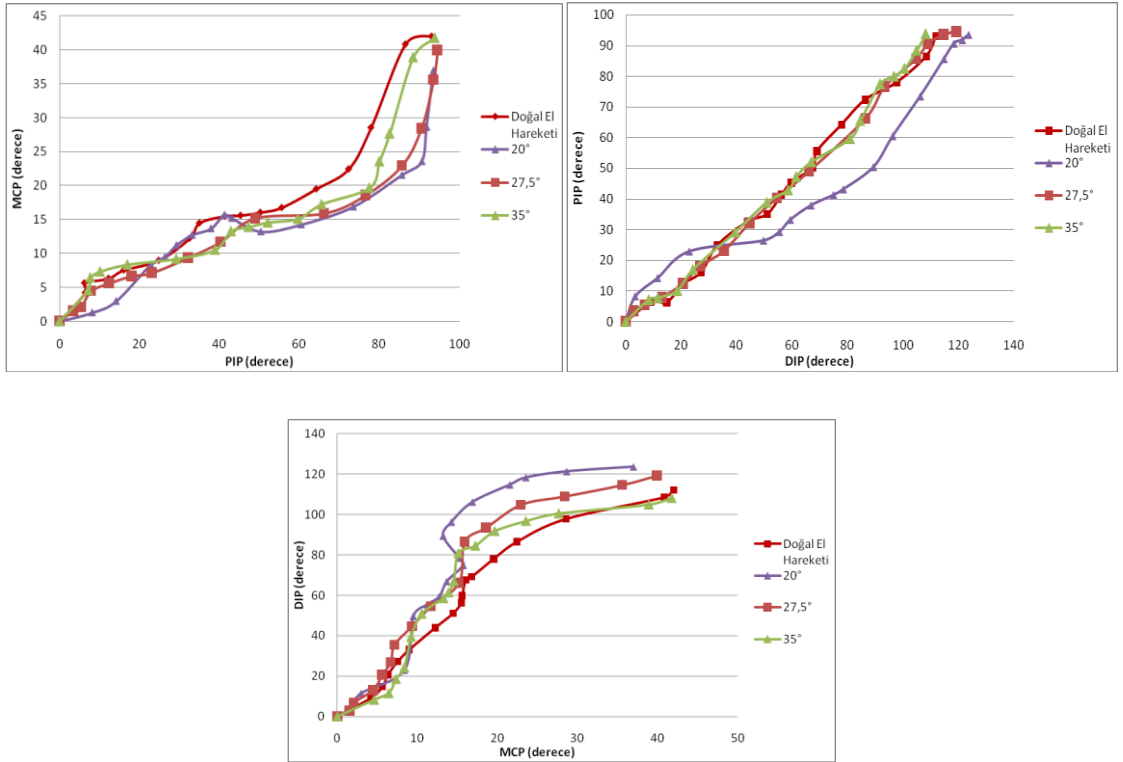


**Şekil 4.** a. Parmak uzuvları yapısı [9], b. İşaret parmağı uzuv açıları; A-MCP, B-PIP, C- DIP.

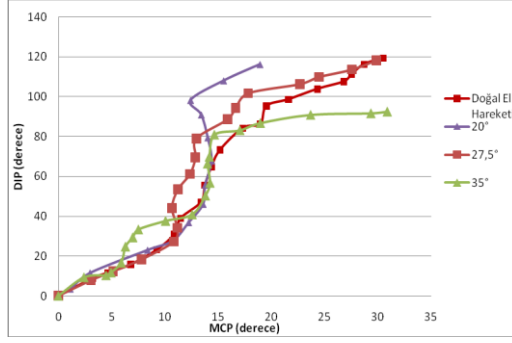
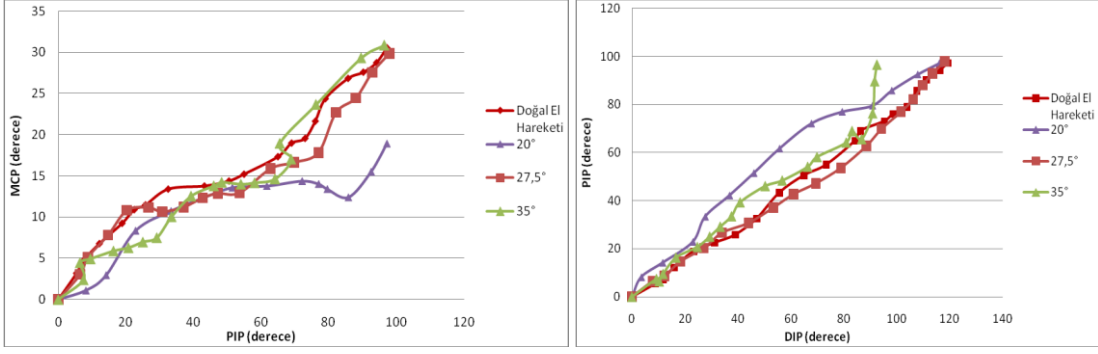
İşaret parmağının fleksiyon hareketi sırasında alınan görüntüler üzerinden kemik açıları ölçülerek uzuvlar arasındaki (MCP-PIP-DIP eklemlerinin birbirleri ile yaptıkları) açılardaki değişiklikler, doğal el hareketiyle karşılaştırmalı olarak; E<sub>1</sub> kişisi için Şekil 5, E<sub>2</sub> kişisi için Şekil 6, K<sub>1</sub> kişisi için Şekil 7 ve K<sub>2</sub> kişisi için Şekil 8 'deki grafiklerde verilmiştir.



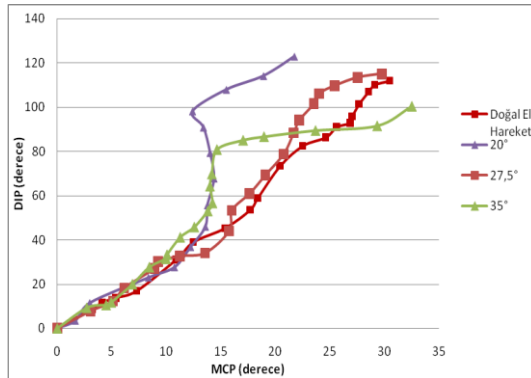
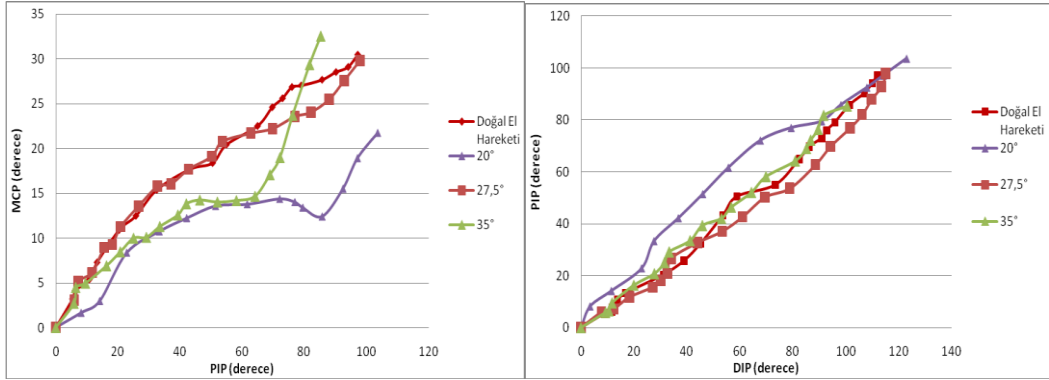
Şekil 5 E<sub>1</sub> için farklı tahrik kablosu açılarında işaret parmağı fleksiyon hareketine ait MCP-PIP-DIP eklemlerindeki değişim.



Şekil 6. E<sub>2</sub> için farklı tahrik kablosu açılarında, işaret parmağı fleksiyon hareketine ait MCP-PIP-DIP eklemlerindeki değişim.



Şekil 7. K<sub>1</sub> için farklı tahrik kablosu açılarında, işaret parmağı fleksiyon hareketine ait MCP-PIP-DIP eklemlerindeki değişim.



Şekil 8. K<sub>1</sub> için farklı tahrik kablosu açılarında, işaret parmağı fleksiyon hareketine ait MCP-PIP-DIP eklemlerindeki değişim.

#### IV. SONUÇLAR

El parmaklarındaki hareket kayıplarının rehabilitasyonu amacıyla kullanılmak üzere tek eyleyici ile eylenecek eksik tahrikli bir parmak dış iskeleti tasarlanarak prototip üretimi yapılmıştır. Geliştirilen parmak dış iskeleti üç farklı tahrik kablosu açısı kullanılarak tahrik edilmiştir. Dışiskelet yardımıyla hareket ettirilen işaret parmağı fleksiyon hareketine ait veriler değerlendirilmiş, geliştirilen parmak dış iskeletinin oluşturduğu parmak hareketinin doğal fleksiyon hareketine göre maksimum sapması MCP ekleminde 20° tahrik açısında %96, 27,5° tahrik açısında %63, 35° tahrik açısında %25; PIP ekleminde 20° tahrik açısında %71, 27,5° tahrik açısında %48, 35° tahrik açısında %21; DIP ekleminde 20° tahrik açısında %81, 27,5° tahrik açısında %54, 35° tahrik açısında %18 olarak ölçülmüştür.

Elde edilen bağımlı hatalar değerlendirildiğinde, erkek kullanıcılar için doğal parmak hareketine en yakın hareket 35° tahrik kablosu açısında, kadın kullanıcılar için doğal parmak hareketine en yakın hareket 27,5° tahrik kablosu açısında elde edilmiştir.

Bundan sonraki çalışmalarda diğer tüm el parmakları için dış iskelet geliştirilmesi ve geliştirilen dış iskeletin rehabilitasyondaki başarısını değerlendirmek için çalışmaları yapılması planlanmaktadır. Eyleyici sayısı artırılarak gerçek parmak hareketine daha yakın hareket sağlayabilen dış iskeletler geliştirilebilir. Geliştirilen dış iskeletin performansı insan denemesi öncesinde uygun Bilgisayar Destekli Mühendislik (CAE) araçları kullanılarak yapılan simülasyonlarla doğrulanabilir. Doğal el hareketini tanımlayan bir veri tabanı oluşturularak değerlendirmelerin daha objektif yapılması sağlanabilir.

#### KAYNAKLAR

- [1] B. Kuran, *El Rehabilitasyonu*. Oğuz H.Tıbbi Rehabilitasyon, İstanbul: Nobel Tıp Kitapları, s. 575-595, 1995.
- [2] AH. Schutt, KA. Bengston, *Hand Rehabilitation*. In: De Lisa JA, Gans BM (eds). *Rehabilitation Medicine Principles and Practise*. Philadelphia: Lippincott-Raven,s. 1717-32, 2011.
- [3] Tong, K. Y, Ho, S. K., Pang, P. M. K., Hu, X. L., Tam, W. K., Fung, K. L., Wei, X. J., Chen, P. N. ve Chen, M., “An intention driven hand functions task training robotic system”, *Proc. of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, s. 3406-3409, 2010.
- [4] Mulas, M., Folgheraiter, M. ve Gini, G., An EMG- controlled exoskeleton for hand rehabilitation, *Proc. of the 9th International Conference on Rehabilitation Robotics* , s. 371-374, 2005.
- [5] Makaran, J. E., Dittmer, D. K., Buchal, R. O. ve MacArthur, D. E., “The SMART Wrist-Hand Orthosis (WHO) for Quadriplegic Patients”, *Journal of Prosthetics and Orthotics*, 5, No. 3, s. 73-76,1993.
- [6] Moromugi, S., Koujina, Y, Ariki, S., Okamoto, A., Tanaka, T., Feng, M. Q. ve Ishimatsu, T., “Muscle stiffness sensor to control an assistance device for the disabled”, *Artificial Life and Robotics*, 8, No. 1, s.42-45, 2004.
- [7] Canlıdınç M., *Doğal Parmak Hareketini Gerçekleştirebilecek Eksoskeleton Geliştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği A.B.D., 2016.
- [8] Cakit, E., Durgun, B., Cetik, O., Yoldas, O., “A Survey of Hand Anthropometry and Biomechanical Measurements of Dentistry Students in Turkey”, *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, No.24, s. 739-753, 2014.
- [9] Grant Boileau, JC., *Anatomi Atlası*, Çeviri: Kuran O., İstanbul: Güven Kitabevi, s. 7789, 1977.