

# Hareket Analizi Verilerini Kullanarak Kas Kuvveti Tahminine Yönelik Farklı Yapay Zeka Algoritmalarının İncelenmesi

Serhan Ayberk KILIÇ<sup>1</sup> , Buket KARAOĞLU<sup>1</sup> , Kasım SERBEST<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup> Department of Mechatronics Engineering, Sakarya University of Applied Sciences

## ÖZ

Kas kuvvetlerinin belirlenmesi sportif faaliyetler, egzersiz etkinliği ve rehabilitasyon süreçleri bakımından önemlidir. Kas kuvvetleri genellikle biyomekanik modeller aracılığıyla hesaplanmakta veya elektromiyografi (EMG) ölçümleri ile tahmin edilmektedir. Bu çalışmada kas kuvvetlerinin tahmini için farklı yapay zeka yöntemleri incelenmiştir. Yapay zeka algoritmalarının eğitimi için eklem açısı, eklem açısal hızı ve kas kuvveti kullanılmıştır. Algoritmaların eğitim ve test işlemi aynı veri üzerinde yapıldığında hem karar ağaçları hem de yapay sinir ağları yüksek başarı göstermiştir. Ancak algoritmalar farklı bir hareket verisindeki kas kuvvetlerini tahmin etmek için sınıdıklarında en yüksek başarının sadece yapay sinir ağları yönteminde elde edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, yapay zeka yöntemlerinin kas kuvvetlerini EMG verileri kullanılmadan da tahmin edebileceğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kas mekaniği, dambıl egzersizi, makine öğrenmesi, yapay sinir ağları.

## Investigation of Different Artificial Intelligence Algorithms for Estimating Muscle Force Using Motion Data

### ABSTRACT

Determining the muscle force is an important issue for sports activities, exercise efficiency and rehabilitation process. Muscle force is generally calculated using biomechanical models or it is estimated using electromyography (EMG) measurements. In this study, different artificial intelligence methods are examined for the estimation of muscle force. Joint angle, joint angular velocity and muscle force are used for training artificial intelligence algorithms. When the training and testing of algorithms are done on the same data, both decision trees and artificial neural networks have shown high accuracy. However, when algorithms are tested to estimate muscle force in a different motion data, the highest accuracy was achieved only in the artificial neural network method. The results of this study showed that artificial intelligence methods could estimate muscle force without EMG data.

**Keywords:** Muscle mechanics, dumbbell curl, machine learning, artificial neural network.

## 1 Giriş

Farklı hareketler sırasındaki eklem momenti ve kas kuvvetinin belirlenmesi sportif hareketlerin incelenmesi [1], ergonomik çalışmalar [2], kas-iskelet sistemi bozuklukları [3] ve rehabilitasyon

\* Corresponding Author's email: kserbest@subu.edu.tr

sistemlerinin tasarımı [4] açısından önem arz etmektedir. Kas kuvvetleri, genellikle eklem momentleri üzerinden dolayı olarak hesaplanmaktadır [5]. Burada klasik mekanik prensipleri kullanılarak ileri dinamik yöntem veya ters yöntem kullanılarak analizler yapılmaktadır. Ters dinamik yaklaşımda hareket analizi verileri ile kütle ve atalet özellikleri kullanılarak eklem momentleri hesaplanmaktadır. Daha sonra kas kuvveti tahmin edilmektedir. Kas kuvvetinin tahmin edilmesinde en çok kullanılan dolayı yöntemlerden biri elektromiyografidir (EMG). Kas kuvvetini tahmin etmek için EMG sinyallerini kullanmak, birçok çalışmada kullanılan ve iyi bilinen bir prosedürdür. Örneğin, Guimaraes ve ark. EMG sinyalleri ve geometrik bir model kullanarak bir kedinin kas gücünü tahmin etmiştir [6]. EMG sinyallerinden yararlanan bir diğer çalışmada da Vilimek [7], EMG sinyalleri ve matematiksel eşitlikleri kullanarak kas ve tendon kuvvetlerinin tahmini için farklı modeller önermişlerdir. Yine Shao ve Bassett [8], felçli hastalar için kas kuvvetlerini ve ayak bileği eklemi momentini tahmin etmek için EMG güdümlü modeli kullanmıştır.

Günümüzde güncel araştırma konularından biri de yapay zeka teknikleri kullanarak eklem momenti ve kas kuvvetlerinin tahmin edilmesidir. Yapay zeka uygulamalarının farklı alanlarda kullanımı yaygın bir şekilde karşımıza çıkmaktadır. Örneğin sağlık hizmetlerinde yapay zeka tekniklerinin alt disiplinleri olan makine öğrenmesi, derin öğrenme gibi yöntemler kullanılarak hastalıkların tanısı, teşhisi, tedavisi, rehabilitasyon ve sağlığın korunması gibi süreçlerde yeni uygulamalar geliştirilmektedir. Bu uygulamalar hem maliyet hem de sağlık profesyoneli yeterliliği açısından sağlık kuruluşlarına kolaylık sağlamaktadır [9]. Mobasser ve Hashtrudi-Zaad [10] kas aktivasyon kuvvetlerini tahmin etmek için yapay sinir ağlarını (YSA) kullanan ilk araştırmacılarıdır. Çalışmalarında çok katmanlı bir yapay sinir ağı kullanarak (MLPANN) dirsek eklemi üzerinde moment meydana getiren üst kol kuvvetlerini tahmin etmişlerdir. Naeem ve ark. [11] Hill-tipi kas modeline dayanarak pazu kası kuvvetini geri yayımlı yapay sinir ağlarını (BPANN) ile tahmin etmişlerdir. Her iki çalışmada da yapay sinir ağının eğitime için EMG verilerinden de faydalanılmıştır.

Kas kuvvetlerinin tahmininde EMG verilerinin kullanımı başarılı sonuçlar vermesine rağmen profesyonel EMG ölçümü için kullanılan ekipmanların yüksek maliyetli oluşu, EMG ölçümünün kişiden kişiye farklılıklar göstermesi ve elde edilen sinyallerin işlenmesindeki zorluk göz ardı edilemez. Bu çalışmanın amacı kas kuvvetlerini tahmin etmek için hareket analizi verilerine dayanan farklı yapay zeka tekniklerinin incelenmesidir. Bu doğrultuda dambıl ile önkol bükme egzersizinin hareket analizi yapılmış ve geliştirilen mekanik model ile eklem momentleri ve kas kuvveti belirlenmiştir. Daha sonra bu veriler makine öğrenmesi ve yapay sinir ağı algoritmalarının eğitimi için kullanılmıştır.

## 2 Yöntem

Çalışmada öncelikle farklı dambıllar ile ön kol bükme egzersizinin hareket analizi yapılmıştır. Daha sonra MATLAB Multibody araçları kullanılarak egzersiz hareketinin benzetimi yapılmıştır. Bunun sonucunda dirsek eklemi momenti ve pazu kası kuvveti hesaplanmıştır. Ardından hareket analizi verileri ve kas kuvveti kullanılarak farklı makine öğrenmesi ve yapay sinir ağları algoritmaları ile kas kuvveti tahmin edilmeye çalışılmıştır. İlerleyen bölümlerde bu işlemlerin detayları yer almaktadır.

### 2.1 Ön Bükme Egzersizinin Hareket Analizi

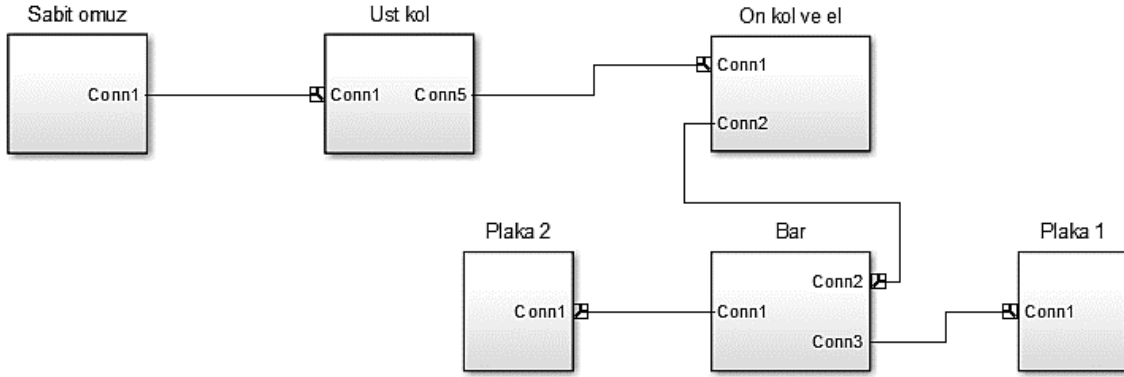
Sağlıklı bir erkek katılımcının (yaş 32, kütle 70 kg, boy 173 cm) el bileği, dirsek ve omuz eklemlerine pasif işaretleyiciler yerleştirilmiş ve iki farklı dambıl ağırlığı (6 kg ve 10.7 kg) kullanılarak ön kol bükme egzersizi gerçekleştirilmiştir. Katılımcı kendi belirlediği bir hız ile 3 tekrar şeklinde fleksiyon ve ekstansiyon hareketini gerçekleştirmiştir. Egzersizler sırasında görüntüler bir dijital kamera (30 kare/s) ile kaydedilmiştir. Ardından Tracker video analiz yazılımı kullanılarak egzersizler sırasında dirsek eklemının açılma yer değiştirmesi tespit edilmiştir. Daha sonra aynı eklemının açılma hız ve açılma ivme değerleri hesaplanmıştır.

### 2.2 Egzersiz Hareketinin Benzetimi

Dirsek eklemi momentinin hesaplanması için MATLAB Multibody araçları kullanılarak egzersiz hareketinin benzetimi yapılmıştır. Blok diyagramları şeklinde oluşturulan model dambıl, ön kol ve üst kol uzuvlarından ve el bileği, dirsek ve omuz eklemlerinden oluşmaktadır (Şekil 1). El bileği ve omuz

ekleminin sabit olduğu, dirsek ekleminin de z eksenini (MATLAB eksen takımına göre) etrafında dönme hareketi yaptığı varsayılmıştır. Böyle 3 uzuvdan oluşan ve tek serbestlik dereceli açık zincir mekanik sistem oluşturulmuştur. Uzuvların kütle ve atalet değerleri önceki çalışmalardan adapte edilmiştir [12-13].

Hareket analizi işlemi sonucunda elde edilen dirsek eklemi kinematik verileri ile kütle ve atalet özellikleri kullanılarak MATLAB modelinin benzetimi yapılmıştır. Benzetim işlemi ters dinamik yöntemine göre yapılmıştır. Benzetim işlemi sonucunda dirsek eklemi momenti ve pazu kası kuvveti hesaplanmıştır.



Şekil 1: Egzersiz hareketinin MATLAB modeli

### 2.3 Yapay Zeka Algoritmalarının Kullanımı

Öncelikle kullanılacak veriler üzerinde bir ön işleme ve hazırlık süreci gerçekleştirilmiştir. Burada normalleştirme, yeniden boyutlandırma ve gürültü temizleme gibi standart prosedürler uygulanmıştır. Bu işlemlerden sonra yapay zeka algoritmalarında kullanılacak veri setinden bazı örnekler Tablo 1'de yer almaktadır. Şekil 2'de ise veriler üzerinde yapılan istatistiksel hesaplamaların sonuçları görülmektedir. Özellikle p değeri sonuçlarına bakıldığında veri setinin anlamlı olduğu görülmektedir.

Tablo 1: Kullanılan veri setinden bazı örnekler

Dambıl (kg)	Zaman (s)	Eklem açısı (der)	Eklem hızı (der/s)	Kuvvet (N)
6.0	0.000	162.95	0.965	585.30
6.0	0.033	162.90	0.965	543.95
6.0	0.066	162.86	0.234	507.92
6.0	0.100	162.90	-0.854	477.51
6.0	0.133	162.82	-2.379	452.43

Kas kuvveti tahmini için öncelikle makine öğrenmesi algoritmalarını incelenmiştir. Geniş bir yelpazesi olan makine öğrenmesi, çeşitli tahmin, sınıflandırma ve kümeleme algoritmaları ile yoğun şekilde kullanılmaktadır. Makine öğrenmesi yöntemlerinde farklı öğrenme stratejileri vardır. Bunlar denetimli, denetimsiz ve pekiştirmeli öğrenme olarak üç farklı grupta incelenebilir.

OLS Regression Results						
Dep. Variable:	kuvvet	R-squared (uncentered):	0.988			
Model:	OLS	Adj. R-squared (uncentered):	0.988			
Method:	Least Squares	F-statistic:	1.299e+04			
Date:	Wed, 12 May 2021	Prob (F-statistic):	0.00			
Time:	13:07:18	Log-Likelihood:	-2632.7			
No. Observations:	480	AIC:	5271.			
Df Residuals:	477	BIC:	5284.			
Df Model:	3					
Covariance Type:	nonrobust					
	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
Dambil	47.4676	0.672	70.680	0.000	46.148	48.787
eklemaci	1.1360	0.053	21.569	0.000	1.033	1.240
Eklemhiz	0.5256	0.033	15.990	0.000	0.461	0.590
Omnibus:	56.199	Durbin-Watson:	0.046			
Prob(Omnibus):	0.000	Jarque-Bera (JB):	73.334			
Skew:	0.891	Prob(JB):	1.19e-16			
Kurtosis:	3.701	Cond. No.	28.0			

Şekil 2: Veri seti üzerindeki istatistiksel hesaplamalar

### 2.3.1 Doğrusal Regresyon

Doğrusal regresyon (DR) analizi, bir değişkenin değerini başka bir değişkenin değerine göre tahmin etmek için kullanılmaktadır. Bağımlı ve bağımsız değişkenlere göre tahmin yapılmaktadır. Tahmin formülü Denklem 1 ile ifade edilmektedir. Burada a ve b sabit katsayılardır.

$$Y = \alpha + bX \quad (1)$$

### 2.3.2 Destek Vektör Makineleri

Destek Vektör Makineleri (DVM), yapısal risk minimizasyonu prensibine göre çalışan dış bükey optimizasyona dayalı makine öğrenmesi algoritmalarıdır. Destek vektör makineleri algoritması, veriye ilişkin herhangi bir birleşik dağılım fonksiyonu bilgisine ihtiyaç duymadığı için dağılımdan bağımsız öğrenme algoritmalarıdır.

### 2.3.3 Polinom Regresyonu

Veriler arasında doğrusal olmayan bir ilişki olabilir. Böyle bir ilişkiyi açıklamaya çalışmanın bir yolu, bir polinom regresyon (PR) modelidir. Denklem 2 de polinom regresyonun genel formu yer almaktadır. Burada  $\beta$  lar sabitleri  $\epsilon$  ise hata miktarını ifade etmektedir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \dots + \beta_n X^n + \epsilon \quad (2)$$

### 2.3.4 Ağaç Algoritmaları

Karar ağaçları, sınıflandırma ve tahmin için sıkça kullanılan bir yaklaşımdır. Karar ağaçları, kolay yorumu ve anlaşılabilirliği açısından avantaj sağlamaktadır.

### 2.3.5 Yapay Sinir Ağları

Bu çalışmada kas kuvvetlerinin tahmini için kullanılan yapay zeka algoritmalarından biri de yapay sinir ağlarıdır. Yapay sinir ağları (YSA) temel olarak girdi katmanı, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkış katmanından meydana gelmektedir. Burada çok katmanlı bir yapay sinir ağı kullanılmıştır.

## 2.4 Yapay Zeka Algoritmalarının Başarısının Belirlenmesi

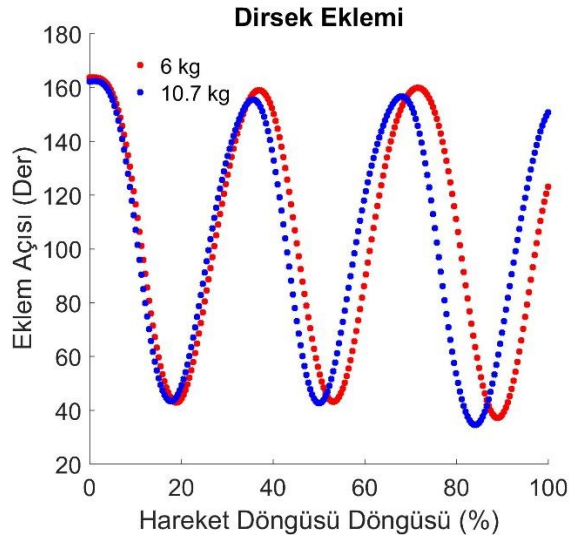
Algoritma başarısının ölçülmesi için farklı yöntemler bulunmaktadır. Burada kök ortalama karesel hata (Denklem 3) ve çapraz doğrulama (Denklem 4) kullanılmıştır.

$$\text{Kök ortalama karesel hata} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (3)$$

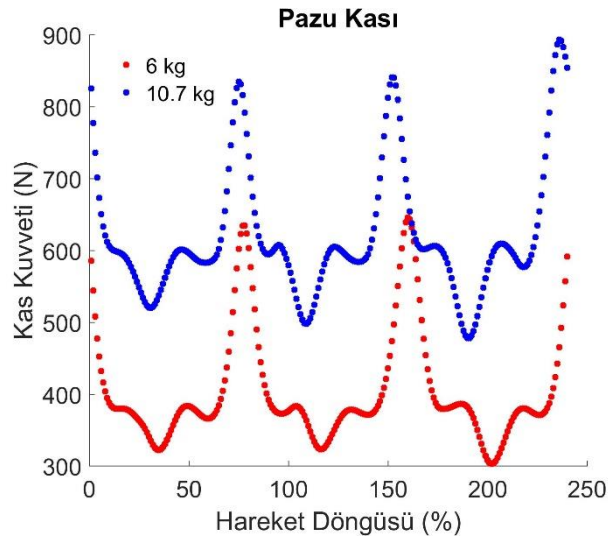
$$Kök\ ortalama\ karesel\ hata = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k Hata_i \quad (4)$$

### 3 Bulgular ve Tartışma

İki farklı ağırlıkla yapılan egzersizin hareket analizine göre hesaplanan dirsek eklemi açısai yer değıştirme ve açısai hız değeri Şekil 3’de yer almaktadır. Burada her iki ağırlıkla yapılan egzersizde de benzer bir hareket deseni olduğu görülmektedir. Hareketler esnasında dirsek eklemi açısının yaklaşık 30° ile 160° arasında değıştiği anlaşılmaktadır. Dolasıyla hareket deseninden kaynaklanan bir farklılık bulunmamaktadır. Şekil 4’de ise egzersiz hareketlerinin MATLAB benzetimi sonucunda hesaplanan pazu kası kuvvetleri görülmektedir. 6 kg dambıl ile yapılan egzersizde maksimum kas kuvveti 645 N iken 10.7 kg dambıl ile yapılan egzersizde 893 N olarak hesaplanmıştır. Ortalama kas kuvvetine bakıldığında ise 6 kg ve 10.7 kg egzersizlerde sırasıyla 403.8 N ( $\pm 78.4$ ) ve 620.3 N ( $\pm 92.1$ ) kas kuvveti meydana gelmektedir.



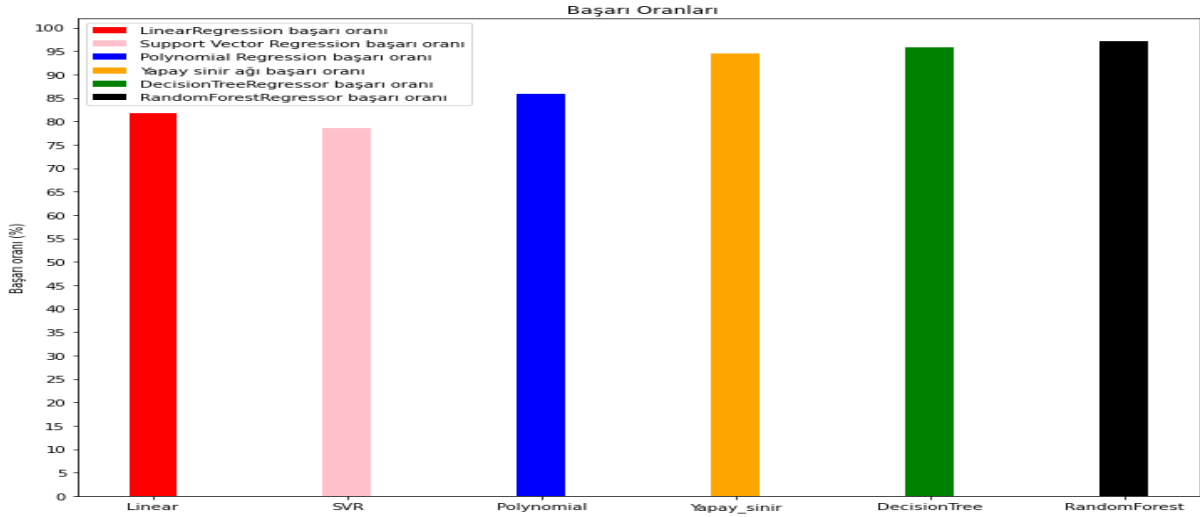
Şekil 3: Dirsek eklemi açısai yer değıştirmesi



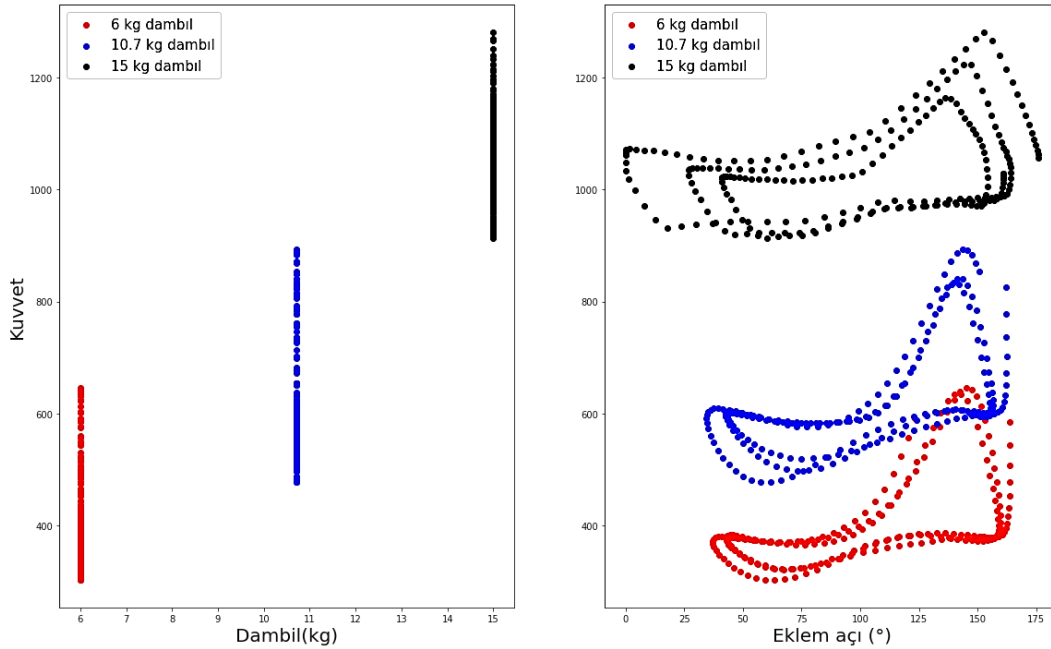
Şekil 4: Benzetim sonucunda hesaplanan kas kuvvetleri

Dirsek eklemi açısai yer değıştirmesi, açısai hızı ve pazu kası kuvveti kullanılarak yapılan eğitim ve test işleminin sonucunda farklı yapay zeka algoritmalarının başarı oranları Şekil 5’de yer almaktadır. İncelenen 6 farklı farklı algoritmanın da başarı oranının yaklaşık %80 ve üzerinde olduğu görülmektedir. Yapay

sinir ağı ve karar ağacı algoritmalarının başarı ise %90'ın üzerindedir. Dolayısıyla tüm algoritmalarının eğitildikleri veri setini başarılı bir şekilde tahmin ettiği söylenebilir. Ancak buradaki algoritmaların farklı bir egzersiz senaryosundaki (eğitim için kullanılmayan) kas kuvvetlerini ne şekilde tahmin edebileceği daha büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda 15 kg dambıl ile yapılan aynı egzersiz hareketi sırasında meydana kas kuvvetleri aynı algoritmalarla hesaplanmıştır. Hareket analizi ve MATLAB benzetimi sonucunda hesaplanan 15kg dambıl egzersizi kas kuvvetlerine Şekil 6'da yer verilmiştir. 15 kg dambıl ile yapılan egzersiz hareketinde sonucunda maksimum kas kuvvetinin 1250 N'un üzerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 5: Farklı algoritmaların başarı oranları



Şekil 6: 15 kg dambıl ile yapılan benzetimin sonuçları

6 kg ve 10.7 kg dambıl egzersizi ile eğitilen yapay zekan algoritmaları 15 kg dambıl ile yapılan egzersiz sonucundaki kas kuvvetini tahmin etmek için kullanılmıştır. Giriş olarak eklem açısı ve eklem açılal hızı verilmiş ve sonuçta pazu kası kuvveti tahmin edilmiştir. Tablo 2, kas kuvvetinin en yüksek olduğu açı değerlerine göre yapay zeka algoritmalarının tahmin sonuçlarını göstermektedir. Tablo incelendiğinde en yüksek başarının yapay sinir ağları yönteminde elde edildiği görülmektedir. Polinom

regresyonu yöntemiyle elde edilen tahmin sonuçlarındaki başarı da nispeten yüksektir. Ancak karar ağacı yöntemlerinin kas kuvvetini tahmin etmede başarısız oldukları görülmektedir.

**Tablo 2:** 15 kg dambıl için farklı algoritmaların tahmin değerleri

Eklem açısı (der)	Eklem hızı (der/s)	DR (N)	DVM (N)	PR (N)	Karar ağacı (N)	Rastsal ağaç (N)	YSA (N)
160.77	3.87	871.80	821.38	997.30	609.16	645.27	1027.98
160.93	3.87	871.96	821.48	997.21	609.16	645.27	1028.19
161.04	2.88	871.59	821.19	996.22	609.16	658.57	1026.31
161.10	1.28	870.86	820.65	994.66	673.02	666.41	1023.10
161.05	-1.02	869.69	819.79	992.43	673.02	659.68	1018.30

## 4 Sonuç

Bu çalışmada hareket analizi verileri kullanılarak kas kuvvetlerinin yapay zeka yöntemleri ile tahmini incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, kas kuvveti tahmininde EMG verileri olmadan da yapay zeka algoritmalarının kullanılabileceğini göstermektedir. Çalışmanın en önemli sınırlılığı hareket analizi ölçümlerinin sadece tek bir katılımcı üzerinde yapılmış olmasıdır. Çok sayıda katılımcı üzerinde yapılacak incelemelerle yapay zeka yöntemlerinin tahmin başarısı artırılabilir.

## 5 Beyanlar

### 5.1 Çalışma Sınırlılıkları

Yok.

### 5.2 Finansal Destek

Yok.

### 5.3 Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

## 6 İnsan ve Hayvanlarla İlgili Çalışma

### 6.1 Etik Onay

Gerekli değil.

## Referanslar

- [1] Serbest, K., Berisha, M., & Cilli, M. (2018). Dynamic analysis of three different high bar dismounts in the simmechanics environment. *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*, 18(03), 1850030.
- [2] Yun, M. H., Eoh, H. J., & Cho, J. (2002). A two-dimensional dynamic finger modeling for the analysis of repetitive finger flexion and extension. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 29(4), 231-248.

- [3] Cilli, M., Serbest, K., & Kayaoglu, E. (2021). The effect of body weight on joint torques in teenagers: Investigation of sit-to-stand movement. *Clinical Biomechanics*, 83, 105288.
- [4] Serbest, K., Kutlu, M., Eldogan, O., & Tekeoglu, I. (2021). Development and control of a home-based training device for hand rehabilitation with a spring and cable driven mechanism. *Biomedical Engineering/Biomedizinische Technik*, (Baskıda).
- [5] Serbest, K. (2021). Hill tipi kas modeli ile pazu kasının mekanik analizi: Ön kol bükme hareketinin benzetimi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, (Baskıda).
- [6] Guimaraes, A. C., Herzog, W., Allinger, T. L., & Zhang, Y. T. (1995). The EMG-force relationship of the cat soleus muscle and its association with contractile conditions during locomotion. *Journal of Experimental Biology*, 198(4), 975-987.
- [7] Vilimek, M. (2007). Musculotendon forces derived by different muscle models. *Acta of bioengineering and biomechanics*, 9(2), 41.
- [8] Shao, Q., Bassett, D. N., Manal, K., & Buchanan, T. S. (2009). An EMG-driven model to estimate muscle forces and joint moments in stroke patients. *Computers in biology and medicine*, 39(12), 1083-1088.
- [9] AKALIN, B., & VERANYURT, Ü. SAĞLIKTA DİJİTALLEŞME VE YAPAY ZEKÂ. *SDÜ Sağlık Yönetimi Dergisi*, 2(2), 128-137.
- [10] Mobasser, F., & Hashtrudi-Zaad, K. (2005). Hand force estimation using electromyography signals. In *Proceedings of the 2005 IEEE international conference on robotics and automation*.
- [11] Naeem, U. J., Abdullah, A. A., & Xiong, C. (2012). Estimating human arm's muscle force using Artificial Neural Network. In *2012 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications Proceedings*.
- [12] Chandler, R. F., Clauser, C. E., McConville, J. T., Reynolds, H. M., & Young, J. W. (1975). *Investigation of inertial properties of the human body*. Air Force Aerospace Medical Research Lab Wright-Patterson AFB OH.
- [13] Robertson, D. G. E., Caldwell, G. E., Hamill, J., Kamen, G., & Whittlesey, S. N. (2013). *Research methods in biomechanics 2nd edition*. Human Kinetics.



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).