

## TEK SERBESTLİK DERECELİ ROBOT İLE BALANCE MASTER TEST CİHAZINDA DENGE VE PERFORMANS ÖLÇÜMÜ

Tolga OLCAY<sup>1</sup>, Ata ELVAN<sup>2</sup>, Cihan DAYANGAÇ<sup>3</sup>, Ahmet ÖZKURT<sup>4</sup>,  
İbrahim Engin ŞİMŞEK<sup>5</sup>

### ÖZET

Son yıllarda genellikle nörolojik hastalıklar ile ortaya çıkan denge ve postural kontrol bozukluklarının seviyesinin belirlenmesinde ve rehabilitasyonunda pasif yöntemlerin yerini çeşitli alanlarda ölçüm yapabilen dinamik test cihazları almıştır. Bu alanda değerlendirme ve ölçümler, sabit veya giydirilebilir sensörler aracılığı ile yapılmakta ve kaydedilmektedir. Mevcut sistemlerdeki klinik deneylerin sonuçlarından, elde edilen verilerin kişiden kişiye değiştiği görülmektedir. Yeni geliştirilen cihazların geliştirme ve test aşamalarında, veri tekrarlanabilirliği sağlamak için insan yerine aynı hareketleri yapabilecek robotlar tercih edilebilir. Bu çalışmada Dokuz Eylül Üniversitesi bünyesinde geliştirilmekte olan denge platformunun deneysel çalışmalarında kullanılmak amacıyla geliştirilen tek serbestlik dereceli robot ile "Balance Master" isimli denge ve performans test cihazında yapılan test sonuçlarına yer verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Balance Master, Denge ve postural kontrol, Tek eksenli robot.

### ABSTRACT

In recent years, dynamic test devices have been able to measure in various areas take place of passive methods for determination of balance and postural control disorder levels those occur with neurological diseases and rehabilitation. In this working area, evaluation and measurements are made and recorded via fixed or wearable sensors. As a result of clinical trials in the existing systems, it appears that the obtained data has changed from person to person. In the development and testing phases of newly developed devices, robots, which can do the same movements instead of people, can be preferred to provide data repeatability. In this study, the test results of the single degree-of-freedom robot that developed for use in the experimental works of the equilibrium platform developed in Dokuz Eylül University, with the balance and performance test device named Balance Master are included.

**Keywords:** Balance Master, Balance and postural control, The single degree-of-freedom robot.

<sup>1</sup> Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir Meslek Yüksek Okulu, Mekatronik Bölümü, Uğur Mumcu Cd. 135 Sk. No:5 Buca/İzmir Tel: 0 (232) 420 09 08 Fax: 0 (232) 440 29 29, tolga.olcay@deu.edu.tr

<sup>2</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Yüksek Okulu, Mithatpaşa Cad. No 56/15 İnciraltı Sağlık Yerleşkesi 35340 Balçova/İzmir, Tel: 0 (232) 277 50 30 Fax: 0 (232) 412 49 46, ata.elvan@deu.edu.tr

<sup>3</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Tınaztepe Yerleşkesi, 35390 Buca/İzmir, Tel: 0 (232) 453 17 17 Fax: 0 (232) 453 87 87, cdayangac@gmail.com

<sup>4</sup> Yrd. Doç. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Tınaztepe Yerleşkesi No:207-I, 35390 Buca/İzmir, Tel: 0 (232) 301 72 11 Fax: 0 (232) 301 7210, ahmet.ozkurt@deu.edu.tr

<sup>5</sup> Doç. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Yüksek Okulu, Mithatpaşa Cad. No 56/15 İnciraltı Sağlık Yerleşkesi 35340 Balçova/İzmir, Tel: 0 (232) 277 50 30 Fax: 0 (232) 412 49 46, ibrahim.simsek@deu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Denge ve postural kontrolün sağlanması günlük yaşam aktivitelerinin gerçekleştirilmesinde çok önemli parametrelerdir. İnsanda dengenin ve postural kontrolün sağlanması vücudun pek çok sisteminin sağlıklı bir şekilde çalışması ile mümkün olmaktadır. (Iqbal, 2011; Mergner, 2007) Günümüzde nörolojik hastalıkların büyük çoğunluğunda denge rehabilitasyonuna duyulan ihtiyaç nedeniyle bu alana yönelik gelişmeler hızı bir şekilde artış göstermiştir.

Son yıllarda platformlar ile vücut salınımları kantitatif veriler ile ölçümlenebilmekte ve kaydedilebilmektedir (J. Jacobs, Horak, Tran, & Nutt, 2006; Moore, MacDougall, Gracies, Cohen, & Ondo, 2007). Değerlendirmeler statik postürografiler, dinamik postürografiler ve giyilebilir sensörler yardımı ile yapılmaktadır. Statik postürografiler değerlendirilecek kişinin ayakta duruş sırasında mümkün olan en iyi düzeyde durduğu sırada postüral salınımlarının ölçülmesini yapmaktadır. Statik ölçümler ve denge değerlendirmeleri sırasında zorluk düzeyi değiştirilebilmektedir. Destek yüzeyinin azaltılması, gözlerin kapatılması ve destek yüzeyi özelliklerinin değiştirilmesi ile zorluk düzeyi değiştirilebilmektedir (Colnat-Coulbois ve ark., 2005; Reid, Abdulhadi, Black, Kerrigan, & Cros, 2002).

Bu gelişmelere paralel olarak Dokuz Eylül Üniversitesi bünyesinde vücut salınımlarını ölçmek üzere bir prototip platform tasarlanmaktadır. Bu platformun geliştirilme çalışmalarının insansız test aşamalarında kullanılmak üzere salınım hareketi yapan bir robot tasarlanmıştır. Test çalışmalarında robot kullanılmasının bir sebebi, insan hareketlerindeki düzensiz ağırlık merkezi yörüngelerden kurtulmaktır. Bu robot ile öncelikle mevcutta kullanılmakta olan ölçüm sistemleri ile denemeler yapılmış ve elde edilen sonuçlar yeni geliştirilmekte olan platform ile karşılaştırılmıştır. Bu makalede mevcut ölçüm sistemi ile yapılan çalışmalar ve sonuçları anlatılmıştır. Makalenin ilk kısmında ölçüm ve karşılaştırma amaçlı üretilen robot ile ölçüm cihazı tanıtılmış, sonra yapılan deneyler ile elde edilen bulgular verilmiştir. Son olarak da elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METHOD

### 2.1. Balance Master

Balance Master (Şekil 1) denge ve performans test cihazı hastaların günlük yaşam aktiviteleri sırasındaki fiziksel aktivitelerini simüle eden ve bu aktiviteler sırasında statik ve dinamik denge parametrelerini ölçen bir cihazdır.



Şekil 1. Balance Master denge ve performans test cihazı.

Bu cihaz ile Dengenin Kliniğe Uyarlanmış Duyusal Etkileşim Testi (Modified Clinical Test of Sensory Interaction of Balance), Denge Limitleri Testi (Limits of Stability) gibi çeşitli statik ve dinamik denge yeteneklerini değerlendiren klinik testler yapılabilmektedir. Bu testler sırasında Hareket Hızı (Movement Velocity, MVL), Yön Kontrolü (Directional Control, DCL) gibi ağırlık merkezinin hareket değerleri kaydedilebilmektedir (Pickerill & Harter, 2011).

## 2.2. Test Robotu

Test çalışmalarında kullanılacak olan robotumuz (Şekil 2) öne ve arkaya salınım hareketi yapacak şekilde tek serbestlik dereceli olarak tasarlanmıştır. Mekanik yapı 20x20 ve 20x40 alüminyum sigma profiller kullanılarak yapılmıştır. Profil birleştirme parçaları, kart ve güç kaynağı taşıyıcıları gibi bağlantı elemanları çalışma grubu tarafından tasarlanarak üç boyutlu yazıcı ile üretilmiştir. Robotun temel fiziksel özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 2. Test robotu ve CAD çizimi.

Tablo 1. Test robotunun temel fiziksel özellikleri.

Test robotunun temel fiziksel özellikleri.	
Boy x Genişlik x Derinlik	80 x 50 x 27 cm
Ayak Uzunluğu	27 cm
İki Ayak Arası Genişliği	24 cm
Ağırlık	6 kg
Ağırlık Merkezi Yüksekliği	80 cm
Motor Eksen Yüksekliği	16,5 cm

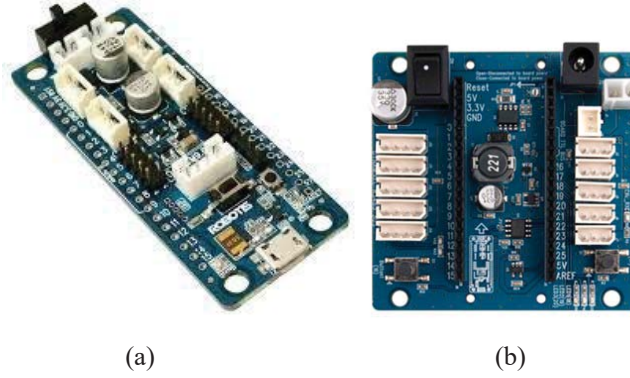
Robotun salınım hareketi için bir adet Dynamixel Pro L54-50-S500 akıllı robot servo motoru (Şekil 3) kullanılmıştır. Bu motor sürekli çalışma durumunda 14 Nm tork uygulayabilir. L54-50-S500 motorları kendi üzerindeki mikroişlemci ile pozisyon, hız, tork, sıcaklık, akım ve yük gibi değişkenleri izleme özelliğine sahiptir. İzlenen bu özelliklerin bazıları (tork, hız, pozisyon vb.) istenilen sınır değerleri için ayarlanabilirler. Bu şekilde motorun ve sistemin aşırı

yüklemesi ya da istenilen sınır değerleri dışına çıkılması engellenmektedir.



Şekil 3. L54-50-S500 akıllı robot servo motor.

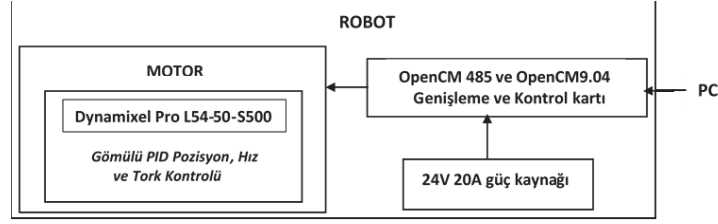
Dynamixel motorlarını kontrol etmek için ARM Cortex-M3 32bit CPU temelli bir kontrol kartı olan OpenCM9.04 (Şekil 4.a) kullanılmıştır. OpenCM9.04 platformu açık kaynak kodlu bir kontrol kartıdır. Kontrol kartı, OpenCM9.04 için tasarlanmış olan ve Arduino IDE gibi C/C++ dillerinde kolayca program yazmaya olanak sağlayan açık kaynak kodlu ROBOTIS OpenCM yazılımı ile programlanabilmektedir. OpenCM9.04 RS485 ve TTL haberleşme metotları ile Dynamixel motor kullanımını sağlar.



Şekil 4. a) OpenCM9.04 kontrol kartı b) OpenCM 485 genişleme kartı

Çalışmada Open CM9.04 kontrol kartı, OpenCM 485 (Şekil 4.b) genişleme kartı ile birlikte kullanılmıştır. Kart, güç kaynağı için SMPS, DXL PRO 24V ve Li-on batarya bağlantı soketlerine sahip olup, 5-30 V arası geniş giriş voltaj aralığına sahiptir. Çeşitli Dynamixel motorlar ile uyum sağlayacak şekilde 5 adet 3 pin TTL ve 5 adet 4 pin RS485 bağlantı soketlerine sahiptir. Bu özellikler ek olarak 1 adet aç/kapa butonu ile 2 adet programlanabilir butona sahiptir. Bu butonlar ile önceden hazırlanmış çeşitli programlar istenilen anda devreye alınabilmektedir.

Çalışmada kullanılan robotun güç ihtiyacını motor alt bölümüne yerleştirilmiş bir adet 24V 20A güç kaynağı ile sağlamaktadır. Robot kontrol blok diyagramı şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5. Robot kontrol blok diyagramı.

### 3. DENEY

Çalışmada “Balance Master” cihazında yer alan, statik ve dinamik denge yeteneklerini değerlendirilen testlerden, Dengenin Kliniğe Uyarlanmış Duyusal Etkileşim Testi (Modified Clinical Test of Sensory Interaction of Balance) ve Denge Limitleri Testi (Limits of Stability) yapılmıştır.

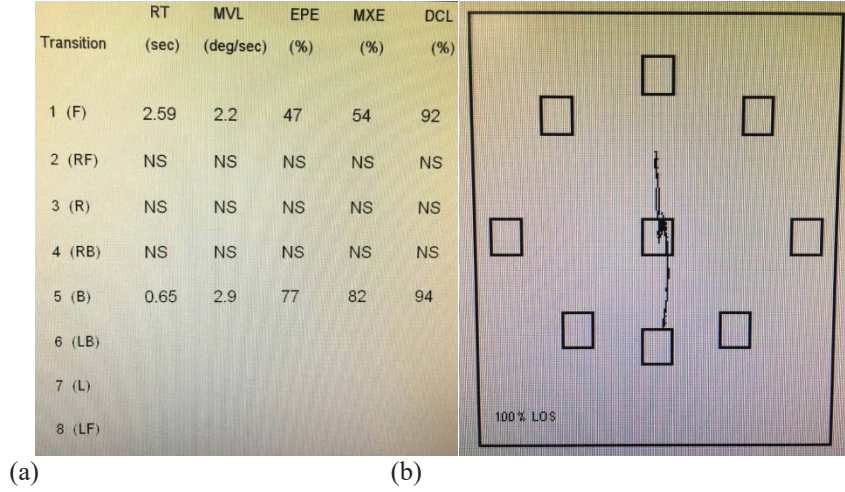
Denge limitleri testinde robotun destek yüzeyini oluşturan ayakları, platform üzerinde bulunan denge sistemi üzerinde önceden belirlenmiş yerlere yerleştirilmiştir. (Şekil 6) Test öne ve arkaya doğru olan denge ölçümlerini içermektedir. Robot, öne doğru motor ekseninden 6,7 derece/saniye hız ile 10 dereceye, arkaya doğru 6,7 derece/saniye hız ile -10 dereceye hareket edecek şekilde programlandı. Testin başlaması ile robotun öne ve arkaya doğru ağırlık aktarma hareketleri, cihaz tarafından ağırlık merkezinin yer değişimi olarak kaydedilmiştir. Denge limitleri testi sırasında robotun ağırlık merkezinin, Hareket Hızı derece/saniye cinsinden, Yön Kontrolü ise yüzdelik olarak kaydedilmektedir.



Şekil 6. Denge limitleri testi.

Robot öne olan hareketi sırasında, ağırlık merkezini 2,2 derece/saniye hız ile hareket ettirmiştir. Robot arkaya olan hareketinde ise ağırlık merkezini 2,9 derece/saniye ile hareket

ettirmiştir. Robot öne olan hareket sırasında %92 oranında yön kontrolü gösterirken, arkaya olan hareketi sırasında %94 oranında yön kontrolü göstermiştir. Şekil 7’de test robotu ile öne ve arkaya yapılan denge limitleri test sonuçları verilmiştir.



Şekil 7. Denge limitleri test sonuçları, a) Hareket hızı ve yön Kontrolü değerleri, b) Ağırlık merkezinin hareket izi.

Dengenin Kliniğe Uyarlanmış Duyusal Etkileşim Testi’nde ise robotun hareketsiz anındaki ağırlık merkezinin hareketleri veri olarak kaydedilmiştir. Bu testte ağırlık merkezinin hareketi derece/saniye cinsinden kaydedilmektedir.

Robotun hareketsiz durumunda ağırlık merkezinin hareketi incelendiğinde ise 0,7 derece/saniye salınım yaptığı tespit edilmiştir. (Şekil 8)

Name: TMAN, DEU		Diagnosis: NotSpecified		File: FD3924.DRX		
ID: AT1003924		Operator: NotSpecified				
Date of Birth: 19/10/2007		Referral Source: NotSpecified				
Height: 120 cm		Comments: RobotTest				
<b>Modified CTSIB</b>						
Test Date: 23/10/2017						
Test Time: 14:08:45						
Conditions	SWAY VELOCITY(deg/sec)/LOB(sec)			COG ALIGNMENT(deg)		
	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 1	Trial 2	Trial 3
Firm-EO	0.7 / 10	0.6 / 10	0.8 / 10	0, -0.1	0.3, 1.1	0.3, 3.1
Firm-EC	NS	NS	NS	NS, NS	NS, NS	NS, NS
Foam-EO	NS	NS	NS	NS, NS	NS, NS	NS, NS
Foam-EC	NS	NS	NS	NS, NS	NS, NS	NS, NS

Şekil 8. Dengenin Kliniğe Uyarlanmış Duyusal Etkileşim Testi sonuçları.



#### 4. SONUÇ

Robotun statik ve dinamik koşullarda yapılan denge ölçümlerinin, insan ölçümlerine benzer yönlerinin bulunmasına rağmen birçok açıdan insanlardan farklılık gösterdiği görülmektedir.

Deney sonuçları, klinik olarak yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında, denge limitleri testi, yön kontrolü parametresinin sağlıklı bireylerle benzerlik gösterdiği görülmektedir. Hareket hızı parametresinde ise robotun öne ve arkaya doğru olan hareket hızlarının birbirine yakın değerler olduğu görülmektedir. Buna karşın insanlarda öne ve arkaya doğru olan ölçümlerde benzer ya da yakın sonuçlar her zaman görülmemektedir. Bunu sebebi ölçülen değerlerin hem kişiden kişiye hem de aynı kişide değişik ölçümler arasında da farklılıklar göstermesidir\_(Bauer, Groger, Rupperecht, & Gassmann, 2008).

Ağırlık merkezinin hareket izi olarak da robot ve insan arasında farklılıklar bulunmaktadır. İnsanların denge ile ilgili ölçümlerinde ağırlık merkezinin hareketi doğrusal bir hareket yerine yay benzeri hareketler ile gerçekleşmektedir. Test robotumuzun tek ekseninde çalışması ve insan hareketlerinin serbestlik derecesi olarak kaotik olması bu farklılığın bir sebebi olarak düşünülmektedir.

Dengenin Kliniğe Uyarlanmış Duyusal Etkileşim Testi sonuçları insanın hareketsiz ayakta duruş pozisyonunda vücut salınımlarını ölçmektedir. Hareketsiz ayakta duruş pozisyonu insanda şuuraltı olarak kontrol edilebildiği gibi dikkat seviyesinin artırılması ile kontrol edilebilmektedir. Bu anlamda klinikte takip edilen insanda yapılan değerlendirmeler aynı değerlendirme seansı içinde bile farklılıklar gösterebilmektedir (Bauer et al., 2008). Tasarlanan robotta ise ağırlık merkezinin hareketlerinde bir düzen olduğu saptanmıştır. İnsan denemelerine göre meydana gelen temel farklılık ise insanda dengenin kontrolünü sağlayan pek çok sistemin olması gerektiğidir (J. V. Jacobs & Horak, 2007; Konrad, Girardi, & Helfert, 1999). İnsanda postural kontrol ve dengenin sağlanması merkezi sinir sisteminin karmaşık organizasyonu ile mümkün olmaktadır. Bu karmaşık organizasyonla baş, gövde, kol ve bacak eklemlerinin pozisyonları ve yaratacakları kuvvetler sağlanmaktadır (Cavanagh, Derr, Ulbrecht, Maser, & Orchard, 1992; Dalakas, 1986; Diener, Dichgans, Guschlbauer, & Mau, 1984). Fakat test robotunda bu durum daha az karmaşık bir şekilde kontrol edildiği için her değerlendirmede benzer sonuçlar elde edilebilmektedir.

Sonuç olarak test robotumuz ile Balance Master denge ve performans test cihazında yapılan dinamik ve statik denge testleri sonunda elde edilen verilerin, sağlıklı insan verileri ile bazı noktalarda örtüştüğü, bazı noktalarda ise farklılıklar gösterdiği görülmüştür. Bununla birlikte insanlı test sonuçlarının, kişiden kişiye değişmesi, deney sayı ve yöntem değişiklikleriyle de ciddi olarak değişime uğraması sebebiyle yeni geliştirilecek denge platformu karşılaştırma testleri için yetersiz kaldığı görülmektedir. Robot ile yapılan testlerin ise tekrarlanabilirlik oranının insana göre çok daha fazla olduğu ve test robotunun karşılaştırma testleri için yeterli olduğu görülmüştür.

## 5. KAYNAKLAR

[1]. Bauer, C., Groger, I., Rupperecht, R., & Gassmann, K. G. (2008). Intrasession reliability of force platform parameters in community-dwelling older adults. *Arch Phys Med Rehabil*, 89(10), 1977-1982. doi: 10.1016/j.apmr.2008.02.033

Cavanagh, P., Derr, J., Ulbrecht, J., Maser, R., & Orchard, T. (1992). Problems with Gait and Posture in Neuropathic Patients with Insulin-Dependent Diabetes Mellitus. *Diabetic Medicine*, 9(5), 469-474.

Colnat-Coulbois, S., Gauchard, G., Maillard, L., Barroche, G., Vespignani, H., Auque, J., & Perrin, P. P. (2005). Bilateral subthalamic nucleus stimulation improves balance control in Parkinson's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 76(6), 780-787.

Dalakas, M. C. (1986). Chronic idiopathic ataxic neuropathy. *Annals of neurology*, 19(6), 545-554.

Diener, H., Dichgans, J., Guschlbauer, B., & Mau, H. (1984). The significance of proprioception on postural stabilization as assessed by ischemia. *Brain Res*, 296(1), 103-109.

Iqbal, K. (2011). Mechanisms and models of postural stability and control. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 2011, 7837-7840. doi: 10.1109/iembs.2011.6091931

Jacobs, J., Horak, F. B., Tran, V., & Nutt, J. (2006). Multiple balance tests improve the assessment of postural stability in subjects with Parkinson's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 77(3), 322-326.

Jacobs, J. V., & Horak, F. B. (2007). Cortical control of postural responses. *Journal of neural transmission (Vienna, Austria : 1996)*, 114(10), 1339-1348. doi: 10.1007/s00702-007-0657-0

Konrad, H. R., Girardi, M., & Helfert, R. (1999). Balance and aging. *Laryngoscope*, 109(9), 1454-1460. doi: 10.1097/00005537-199909000-00019

Mergner, T. (2007). Modeling sensorimotor control of human upright stance. *Prog Brain Res*, 165, 283-297. doi: 10.1016/s0079-6123(06)65018-8

Moore, S. T., MacDougall, H. G., Gracies, J.-M., Cohen, H. S., & Ondo, W. G. (2007). Long-term monitoring of gait in Parkinson's disease. *Gait Posture*, 26(2), 200-207.

Pickerill, M. L., & Harter, R. A. (2011). Validity and Reliability of Limits-of-Stability Testing: A Comparison of 2 Postural Stability Evaluation Devices. *J Athl Train*, 46(6), 600-606.

Reid, V., Adbulhadi, H., Black, K., Kerrigan, C., & Cros, D. (2002). Using posturography to detect unsteadiness in 13 patients with peripheral neuropathy: a pilot study. *Neurology & clinical neurophysiology: NCN*, 2002(4), 2-8.