

T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNASYON BİRİMİ

**YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANARAK İNSAN KALÇA VE DİZ
EKLEMLERİNİN GÜRÜLTÜ ANALİZİ**

Proje No: FBA-10-2916

Normal Araştırma Projesi

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü:
Prof. Dr. Şahin Yıldırım
Mekatronik Mühendisliği Bölümü

Araştırmacılar
Yrd.Doç.Dr. İkbal Eski
Mekatronik Mühendisliği Bölümü
Yrd.Doç.Dr. Yahya Polat
Beden Eğitimi Yüksek Okulu

Haziran 2012

KAYSERİ

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi için gerekli desteği veren Erciyes Üniversitesi Rektörlüğüne ve Bilimsel Araştırma Projeleri birimine teşekkür ederiz.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
	No
ÖZET	5
ABSTRACT	6
1.GİRİŞ	7
2. İNSAN DİZ VE KALÇA EKLEMLERİ	7
3. İNSANIN YÜRÜME DURUMU	10
3.1.İnsan diz ve kalça eklemlerine etkiyen kuvvetler	11
4.GEREÇ VE YÖNTEM	12
4.1. Radyal Esaslı Yapay Sinir Ağı	14
5. BULGULAR	15
6. SONUÇ ve TARTIŞMA	27
KAYNAKLAR	28

YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANARAK İNSAN KALÇA VE DİZ EKLEMLERİNİN GÜRÜLTÜ ANALİZİ

Son zamanlarda, insanlardaki kalp krizlerindeki artış nedeniyle, farklı yürüyüş pozisyonları için insanların kalp ritimlerini tahmin etmek gereklidir. Diğer yandan kalça ve diz eklemlerinin koşma ve yürüme şartları için titreşim parametrelerinin analiz edilmesi gereklidir. Bu nedenlerden dolayı, bu proje kapsamında, kalça ve diz eklemlerinin titreşim analizi ve kalp ritimleri deneysel olarak ölçülmüştür. Titreşim parametreleri elde etmek için üç eksen ivme sensörü ve kalp ritimlerini ölçmek için EKG cihazı kullanılmıştır. Daha sonra elde edilen deneysel veriler, yürüme ve koşma durumunda kalça ve diz eklemlerinin davranışını tahmin etmek için kullanılacak olan Yapay Sinir Ağlarının eğitiminde kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, Radyal Esaslı Yapay Sinir Ağı yapısı bu tür problemlerin çözümü için uygundur.

Anahtar sözcükler: Kalça eklemi, diz eklemi, Yapay Sinir Ağları, Titreşim Analizi.

NOISE ANALYSIS OF ON HIPS AND KNEES OF HUMANS USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Recently, due to heart attacks on humans; it is necessary to predict heart rhythm graphs of humans; during running positions. On the other hand hip and knee joints should be analysed to predict walking and running conditions. Therefore; in this project; the vibration of hip, knee joints and heart rhythm are analysed in experimentally. Tri axial accelerometer is used to obtain vibration parameters and ECG device is used to measure heart rhythms. After the obtained experimental measurement; a proposed neural network is employed to predict; hip, knee and heart attack behaviour of humans with walking and running stages. According to obtained results, the proposed Radial Basis Neural Network structure is suitable for the solution of other prediction problems.

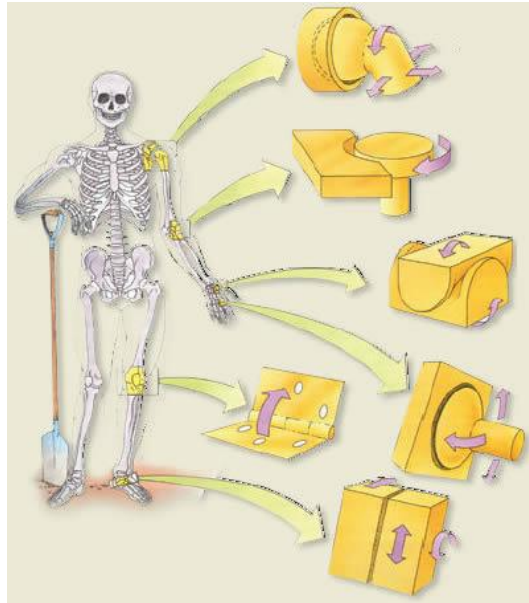
Keywords: Hip joint, Knee joint, Artificial neural network, Vibration analysis.

1.GİRİŞ

Bu projede; farklı yaşlarda, yüklerde ve yürüme, koşma durumlarına göre; insan kalça ve diz mafsallarında eklem sürtünmesinden veya kireçlemeden oluşabilecek gürültüler analiz edilerek Yapay Sinir Ağı (YSA) ile tahminlemesi yapılmıştır ve YSA analizörü tespit edilmiştir. Proje çalışması temel olarak iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada; farklı yaşlarda, farklı kilolarda farklı yükler; sağda fazla solda az, ya da solda fazla sağda az şeklinde uygulanarak, insanın en çok yük bindiği sağ ve sol kalça eklemleri, sağ ve sol diz eklemlerine gürültü ölçüm sensörleri yerleştirilerek gürültü ölçümleri yapılmış. Farklı yürüme hızları, koşma etkileri insanın değişken hızlı bantla hareketi ile sağlanmıştır. Projenin ikinci aşamasında; YSA ile deneysel sonuçların tahminlemesi olarak gerçekleştirilmiştir. Mevcut bir yazılımla, deneysel veriler analiz edilerek en optimum YSA analizörü Radyal Esaslı Yapay Sinir Ağı olarak tespit edilmiştir.

2. İNSAN DİZ VE KALÇA EKLEMLERİ

İskelet kemiklerinin birbirlerine eklendikleri yerlere eklem denir. İnsan vücudunda 270 civarında oynar ve yarı oynar (oynamaz ve kaynaşmış olanlarla beraber 360) eklem vardır (Şekil 1). Eklemler, özellikleri bakımından üçe ayrılırlar: 1 - Oynamaz eklemler, 2 - Yarı oynar eklemler, 3 - Oynar eklemler.



Şekil 1. İnsan vücudundaki bazı eklemler ve işlevlerini gösteren mafsalları

Oynamaz eklemler; kafatası kemiklerinin birbirlerine eklendikleri yerlerdeki eklemlerdir. Yarı oynar eklemler; omurgayı meydana getiren omurların birbirlerine olan eklemlerindeki eklemlerdir. Oynar eklemler; kol ve bacak kemikleri bağlantı yerlerindeki eklemler, oynar eklemlerdir. Bunlar, iki bağlantı kemiğinin, eklem yerlerinde istenen hareketi verecek şekilde oynayabilmesini sağlamış olurlar. Böylece, bu eklemlerin bulunduğu kemikler, çeşitli hareket yeteneğine sahip eklemler özelliğini kazanmış olurlar. Oynar eklemlerdeki kemiklerden birinin başı, öbür kemiğin çukuruna girmiş şekildedir. İki kemik, birbirlerine eklem bağları ile bağlanmıştır.

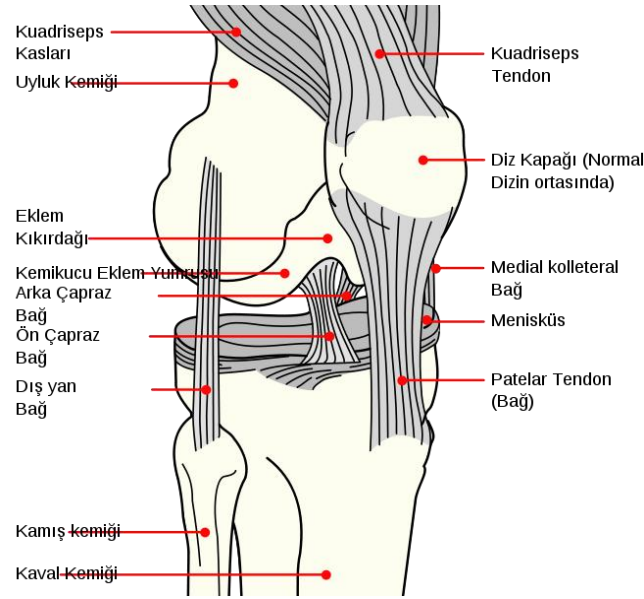
İnsan vücudunu ayakta tutan iskelet yapısının en çok yük taşıyan eklemi olan kalça eklemi, günlük hayatta yürüme, koşma, zıplama gibi hareketler sonucu ortaya çıkan dinamik kuvvetlerin yanı sıra, düşme çarpma gibi ani darbelere de mukavemet göstermesi gereken bir eklemdir. Kalça eklemi yerinden oynaması en zor eklem olma özelliği ile insan iskeletinin en güçlü eklemidir. Bu durum kalça kemiğinin eklem yuvasına tam olarak oturmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 2’de bir insana ait kalça eklemi verilmiştir.



Şekil 2. İnsan kalça eklemleri

Diz; uyluk kemiği ile kaval kemiği arasındaki menteşe biçimli bir eklemdir. Eklem iç ve dış olmak üzere iki bölümlüdür. Eklem ön taraftan diz kapağı ile korunur. Diz eklemi insanın en büyük eklemidir. Bacağın öne veya arkaya hareket etmesine izin veren, birinci derece hareket serbestliğine sahip önemli bir eklemdir. Başka bir deyimle, vücut ile toprak arasındaki

mesafenin değişmesine izin verir. Diz özellikle yer çekiminin etkisi altında aksiyal basınçla çalışır. Şekil 3’de bir insana ait diz eklemi verilmiştir.



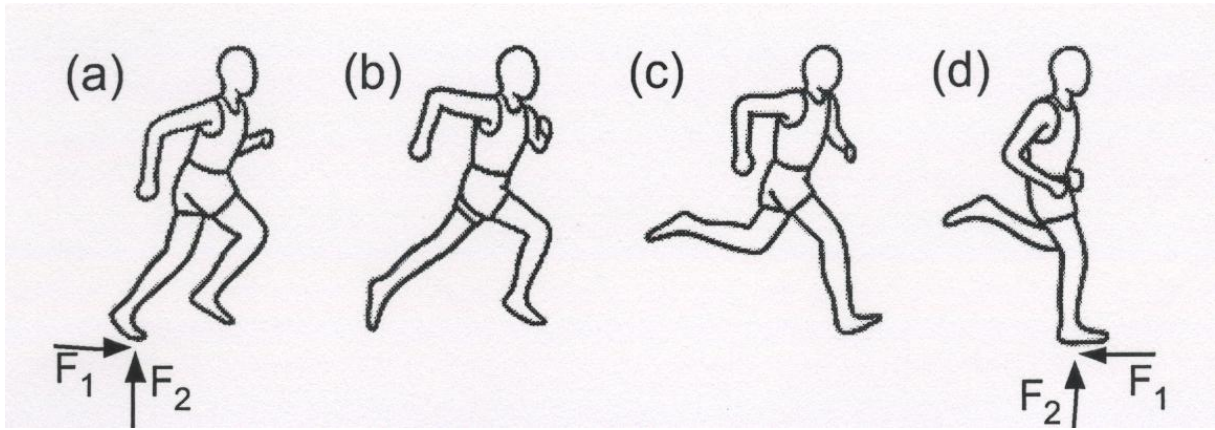
Şekil 3. İnsan diz eklemi

Mekanik parçaların analizini yapmak üzere tasarlanmış bilgisayar programları zamanla tıp alanında kullanılmaya başlanmış ve insan vücudunun mekanik ve mukavemet açısından incelenmesi gündeme gelmiştir [1]. Frey ve arkadaşları insan diz mafsalının dinamik modelini ve analizini yapmışlardır. Kitay ve arkadaşları diz eklem yerlerinde hareket zorluğu çeken hastaların diz eklemlerini ısıtarak, titreşimin etkilerini araştırmışlardır [3]. Sağlıklı bir insanın diz eklemine üç boyutlu sonlu elemanlar analizi Pena ve arkadaşları tarafından yapılmıştır [4]. Diz eklemine kuvvetleri ölçmek için yeni bir yöntem geliştirmişlerdir ve çalışmalarında esnek elektronik basınç sensörleri kullanmışlardır [5]. İnsan koşarken diz mafsalındaki dönme eksenindeki değişiklikleri incelemişlerdir [6]. Yürüme esnasında, kalça ve diz eklemlerinde meydana gelen hareketlerin analizi Henriksen ve arkadaşları tarafından araştırılmıştır [7]. Kalça eklemlerinin akustik analizi, Glaser ve arkadaşları tarafından yapılmıştır [8]. Kalça eklemine üç boyutlu modeli, Sariali ve arkadaşları tarafından Adams programı kullanılarak modellenmiş ve bu modelin gürültü analizi yapılmıştır [9]. Üniversite öğrencilerinin fiziksel aktivite düzeyleri Çimen ve arkadaşları tarafından araştırılmıştır [10]. Ünver ve Özkan, yaşlılarda fiziksel aktivite düzeyi ve yaşam kalitesini araştırmışlardır [11]. Klinikte yürüyüş analizi uygulamaları Yavuzer ve Gök tarafından yapılmıştır [12]. Kunduracıoğlu ve arkadaşları koşu bandında ve sahada yapılan laktat testlerinin

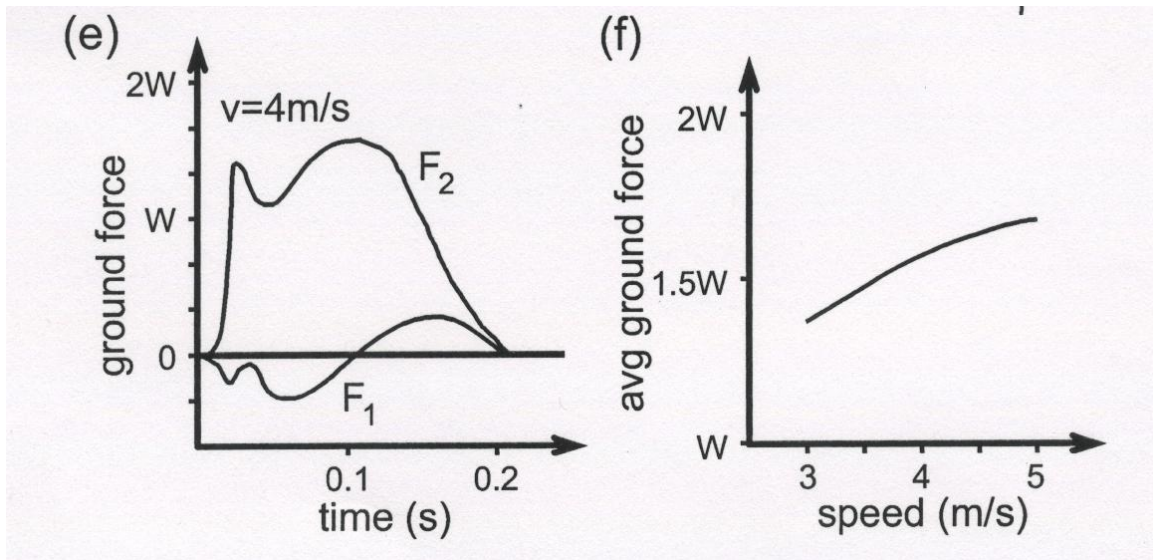
karşılaştırmışlardır [13]. Dault ve arkadaşları vücudun farklı pozisyonlarında postural kontrolü üzerine araştırma yapmışlardır [14]. Basınç merkezini kullanarak postural kontrolde, kütle merkezinin tayini için yeni bir yöntem Morassa ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir [15].

3.İNSANIN YÜRÜME DURUMU

Yürüyen bir insana ait yürüme döngüsü Şekil 4’de verilmiştir. Şekil 5’de ise yürüyen bir insana etkiyen zemin kuvvetleri verilmiştir.



Şekil 4. Yürüme döngüsü (a-d)



Şekil. 5. 4 m/s hızla yürüyen bir insana etki eden zemin kuvvetlerinin yatay ve düşey bileşenleri (e) Ortalama zemin kuvveti (f)

Yürüyen bir insanın hareket eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$m(d\vartheta/dt) = mf_0\eta - m\vartheta/\tau \quad (1)$$

Burada, yürüyen insanın kütlesi m , yürüyen insanın hızı ϑ , zaman t ve τ sabit sönümlleme katsayısıdır. $mf_0\eta$ parametresi yürütücü kuvvet ve $m\vartheta/\tau$ parametresi ise direnç kuvvetidir. f_0 kütle başına maksimum yürütücü kuvvet katsayısı, η ise yürütücü kuvvet ayar katsayısıdır. Bu boyutsuz parametre aralığında $0 \leq \eta \leq 1$ değişir. Eşitlik (1)'de $\eta=1$ alındığında yürüyen insanın hızı;

$$\vartheta = f_0\tau[1 - \exp(-t/\tau)] \quad (2)$$

Yürüyen insanın t zamanında aldığı mesafe ise;

$$x = f_0\tau[t + \tau(1 - \exp(-t/\tau))]$$

Yürüyen insanın ivmelenmesi durumunda enerji dengesi;

$$de/dt = b - (f_0/\mu)\vartheta = b - (f_0^2\tau/\mu)[1 - \exp(-t/\tau)]$$

Burada e yürüme olmaksızın kütle başına düşen kimyasal enerjiyi ifade eder, b kütle başına kimyasal enerjinin geri kazanım oranıdır. μ kimyasal enerjiyi mekanik bir işleve çevirmenin verimliliğidir.

3.1. İnsan diz ve kalça eklemlerine etkiyen kuvvetler

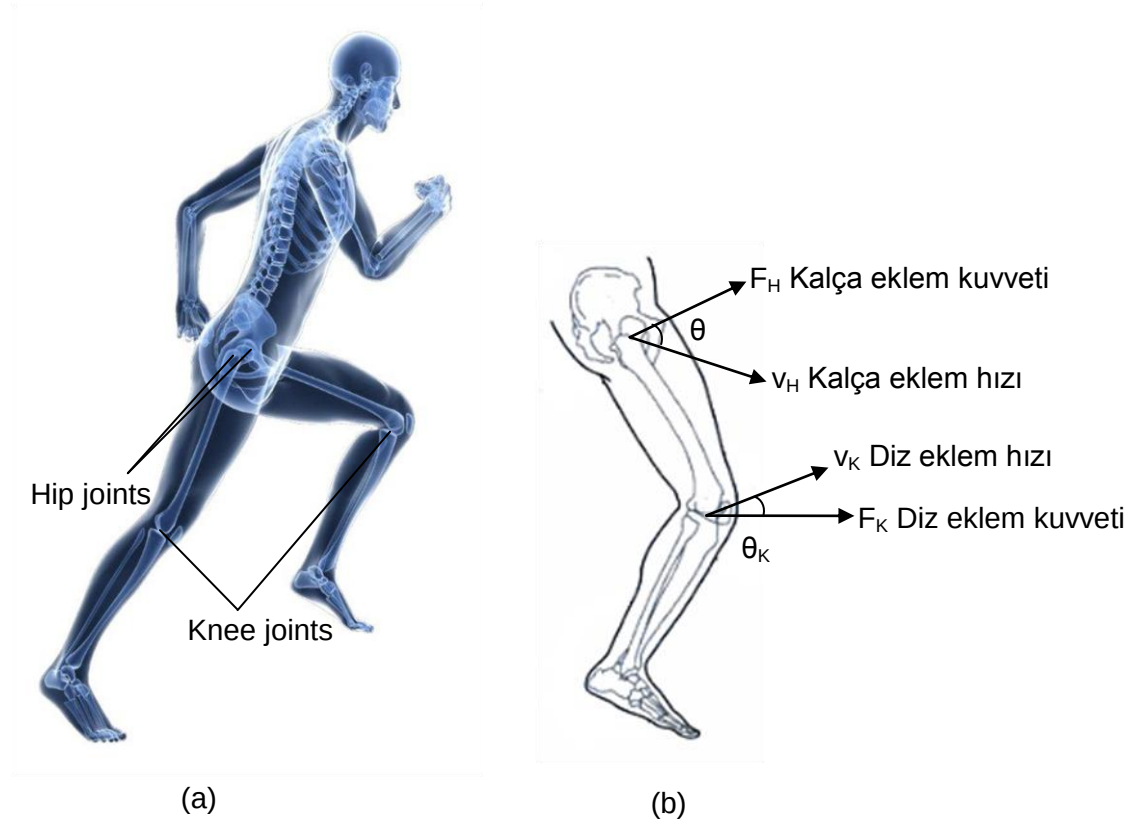
Bir insanın eklem kuvvetinin gücü P_j ;

$$P_j = F_j v_j \quad (3)$$

burada F_j eklem kuvveti, v_j eklem merkezinin hızıdır. İnsan vücuduna etkiyen eklem kuvvet ve momentlerinin gücü arasındaki ilişki;

$$F_p v_p - F_d v_d + T_p \dot{\theta} - T_d \dot{\theta} = \frac{d}{dt}(mgh) + \frac{d}{dt}\left(\frac{mv_x^2}{2}\right) + \frac{d}{dt}\left(\frac{mv_y^2}{2}\right) + \frac{d}{dt}\left(\frac{I\dot{\theta}^2}{2}\right) \quad (4)$$

Burada p ve d uzun distal ve proksimal bağlantısını temsil eder. Eşitlik 4 bir uzuv için enerji denge eşitliği olarak bilinir. Burada, T eklem torku, m insan vücudunun kütlesi, $\dot{\theta}$ açısal hız, I atalet momenti, g yer çekimi ivmesi, h ve maksimum yer değıştirmez.

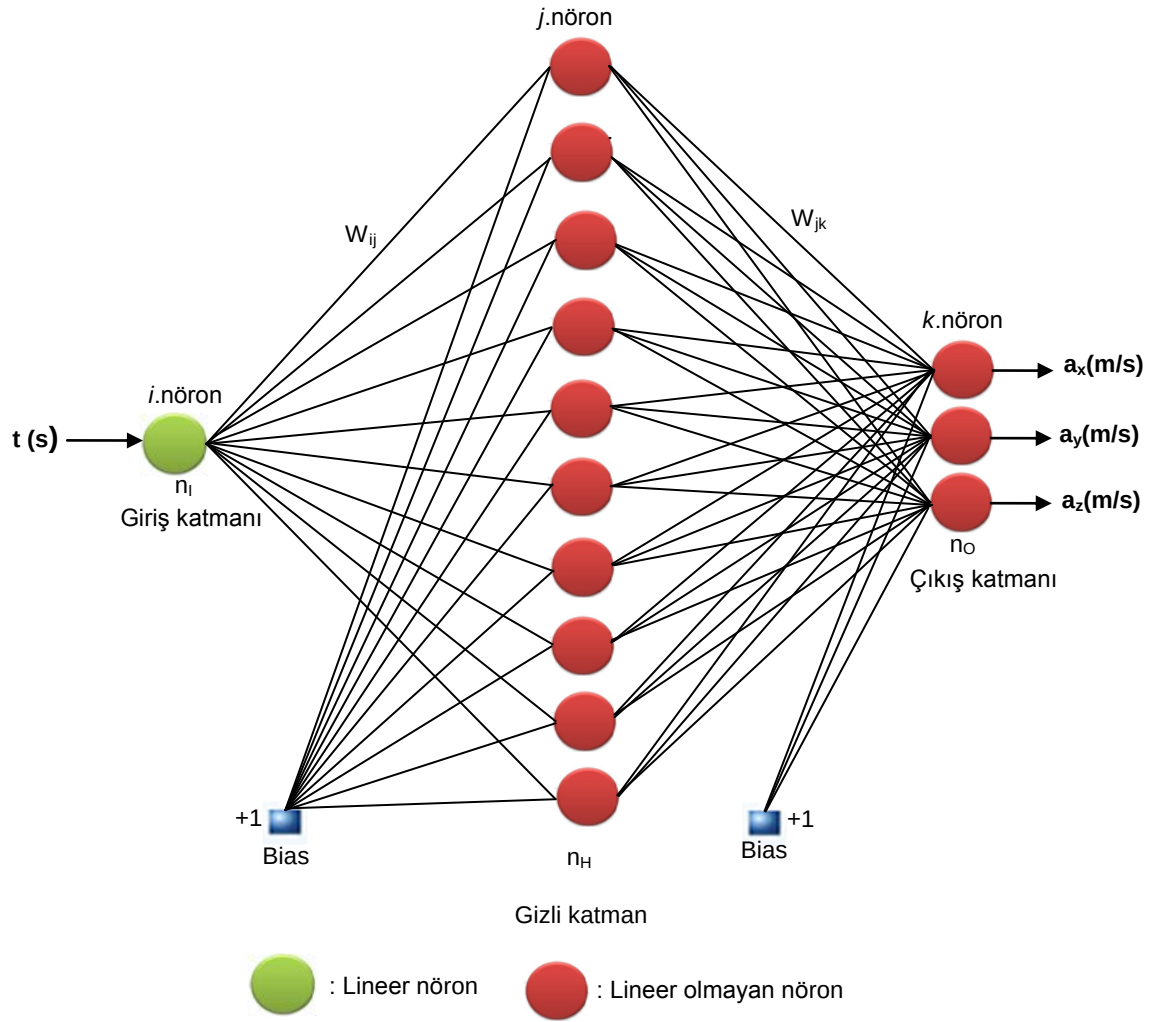


Şekil 6.a. İnsan vücudunda ölçülen eklemlerin şematik gösterimi

b. İnsan kalça ve diz eklemlerine etkiyen eklem kuvvetlerinin şematik gösterimi

4.GEREÇ VE YÖNTEM

Bu araştırmada, bir ileri beslemeli YSA yapısı, insan kalça ve diz eklemlerindeki titreşim parametrelerin analizinde kullanılmıştır. Şekil 7’de gösterildiği gibi giriş sinyallerinin uygulandığı katmana giriş katmanı (n_I), çıkış sinyal cevabının alındığı katmana çıkış katmanı (n_O) denir. Giriş ve çıkış katmanlarının arasında gizli katmanlar (n_H) bulunur. Gizli katmandaki nöronlar lineer olmayan davranışları dolayısıyla sinir ağının toplam davranışındaki nonlinearliği teşkil eder.



Şekil 7. YSA analizörün şematik gösterimi

Şekil 8’de de görüldüğü gibi giriş katmanında 1 adet lineer nöron, gizli katmanda 10 adet lineer olmayan nöron ve çıkış katmanında ise 3 adet lineer olmayan nöron bulunmaktadır. YSA analizörün ve deneysel çalışmanın şematik diyagramı Şekil 9’da verilmiştir. YSA yapısının eğitiminde kullanılan algoritma aşağıdaki bölümde ayrıntılı olarak verilmiştir.

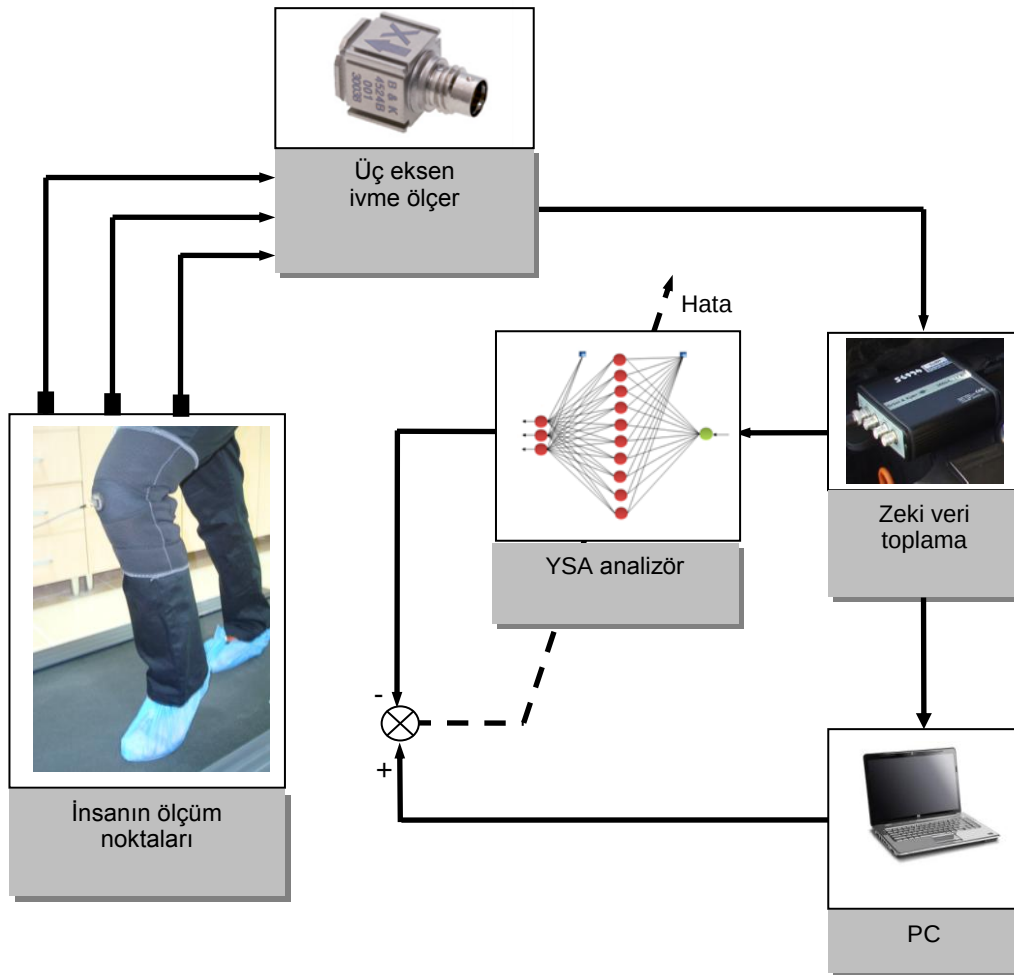
4.1. Radyal Esaslı Yapay Sinir Ağı

Radyal Esaslı yapısı ileri beslemeli YSA yaklaşımıdır. Gizli ve çıkış katmanlarında Gauss aktivasyon fonksiyonu kullanılmaktadır. Lineer olmayan verilerin modellenmesi için genellikle tercih edilir. Radyal esaslı fonksiyon aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$f(x) = \sum_{j=1}^m w_j h_j(x) \quad (5)$$

Burada (w_j) ağırlıklar, $f(x)$; gizli katmandaki çıkış değeri fonksiyonu, x ; n boyutlu giriş vektörü, m gizli katmandaki nöron sayısı ve h_j ; transfer fonksiyonudur.

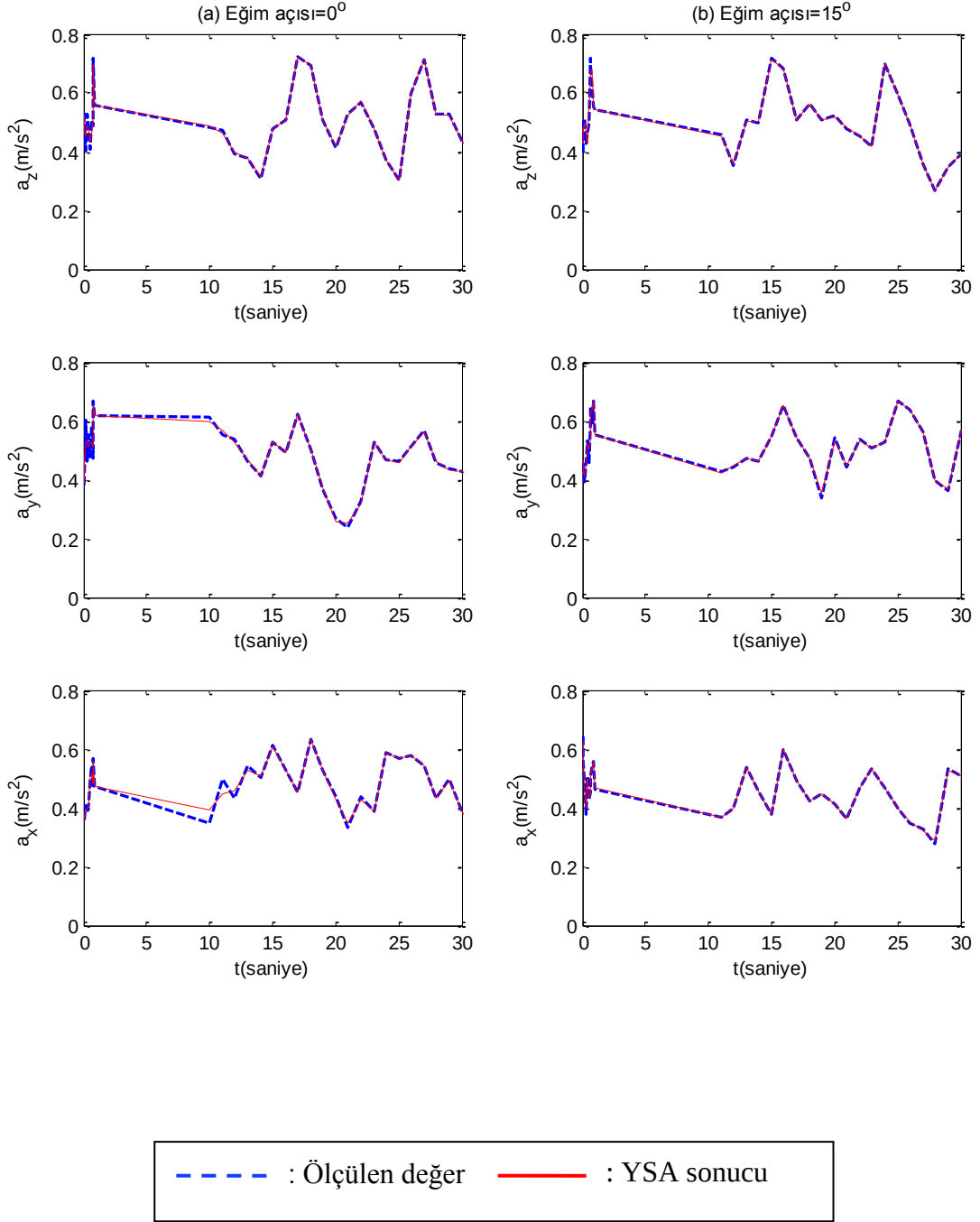
$$h_j(x) = \exp\left(-\sum_{k=1}^n \frac{(x_k - c_{jk})^2}{r_{jk}^2}\right) \quad (6)$$



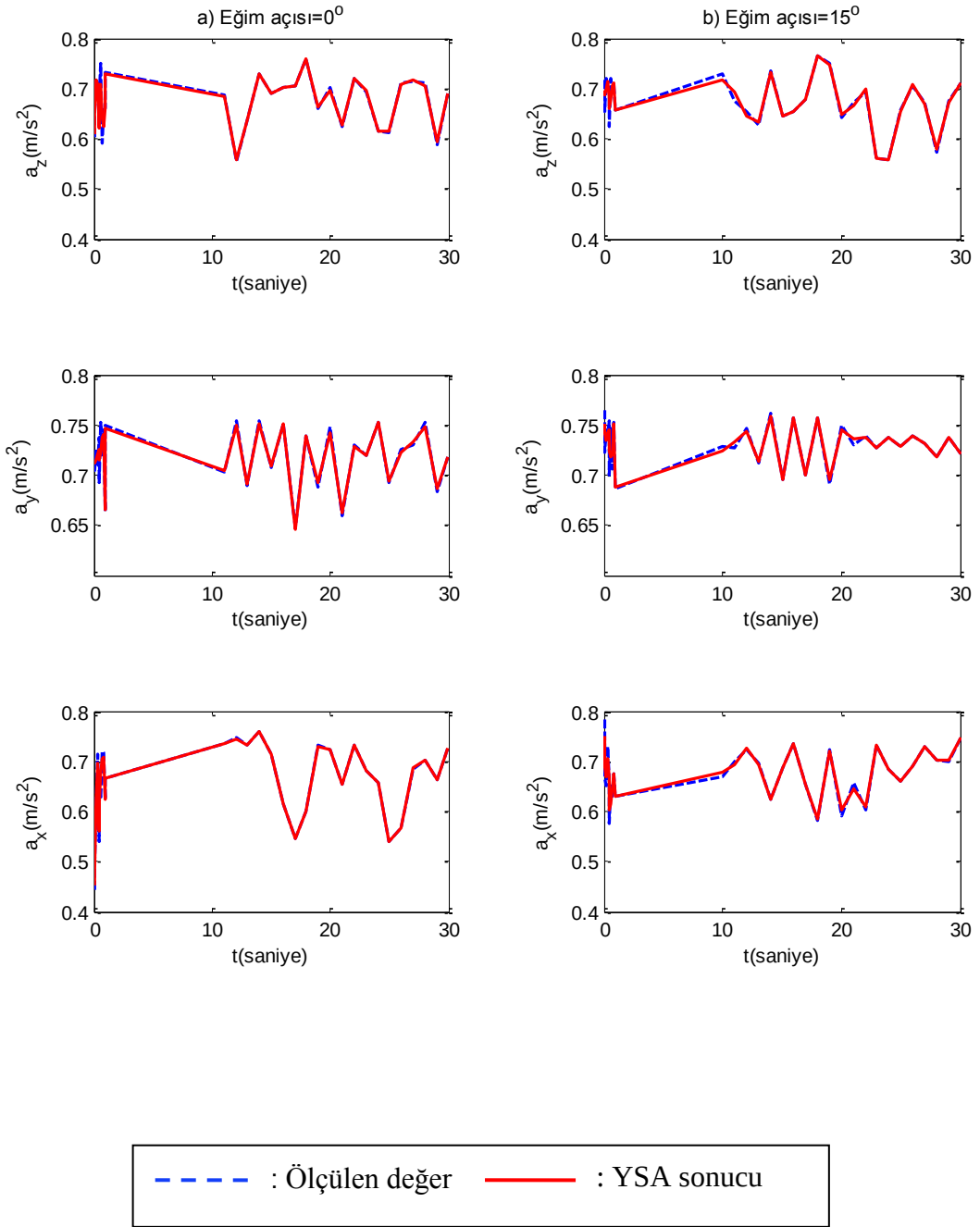
Şekil 8. YSA analizörün ve deneysel çalışmanın şematik diyagramı

5. BULGULAR

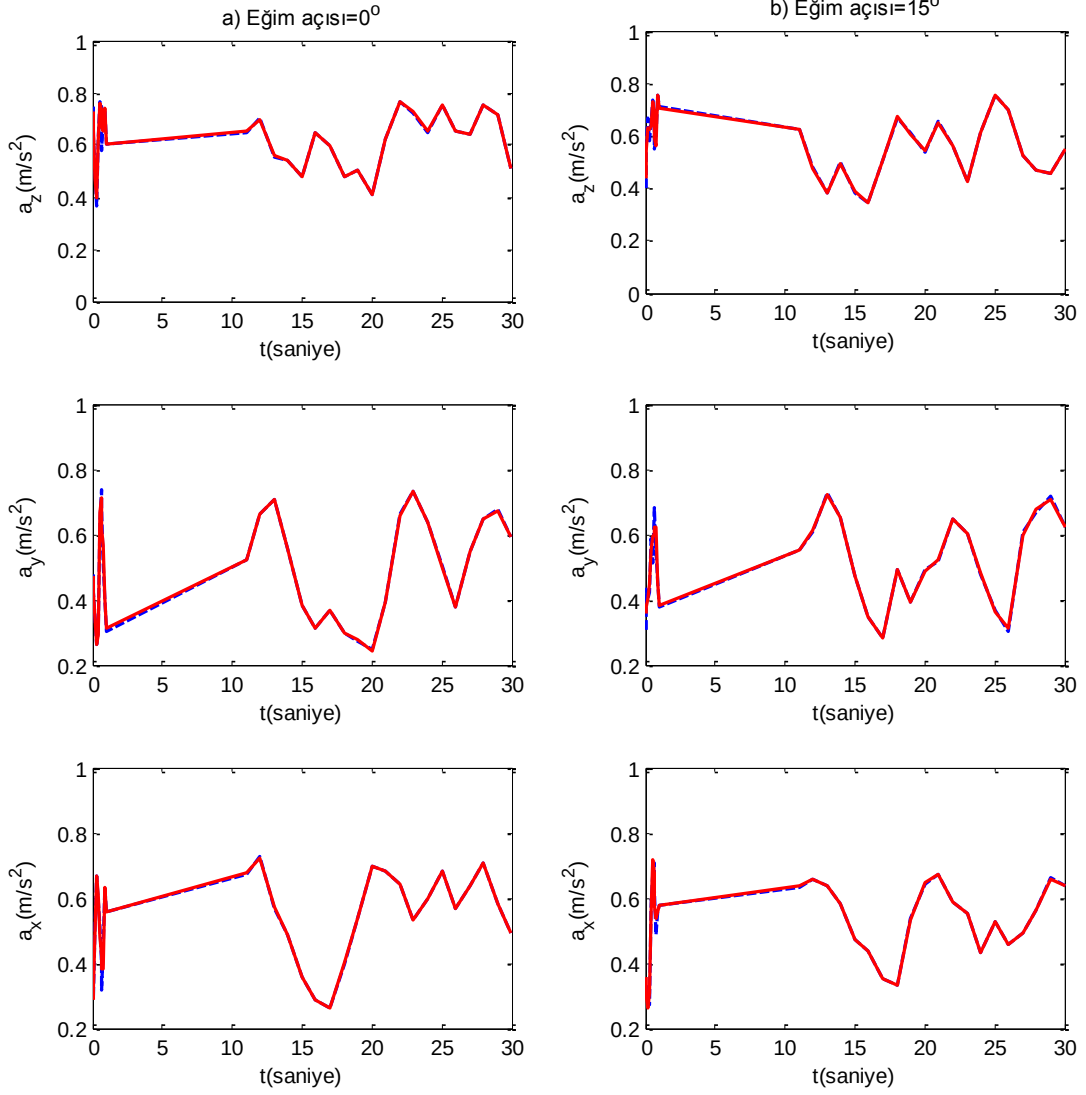
Bu proje kapsamında öncelikli olarak, 3 eksen ivme sensörü kullanılarak insan kalça ve diz eklemlerindeki titreşimler ölçülmüştür. Deneyler koşu bandı üzerinde iki farklı hız ve iki farklı eğim için yapılmıştır. Daha sonra elde edilen bu veriler ile YSA analizörü eğitilmiştir. Radyal Esaslı Yapay Sinir Ağı yapısı kullanılarak elde edilen sonuçlar grafikler halinde verilmiştir. Hata sonuçlarına göre, Radyal Esaslı Yapay Sinir Ağı bu tür titreşim değerlerinin analizi için uygundur.



Şekil 9. Kalça ekleminin ortalama ivmesi için YSA ve deneysel sonuçlar (72 kg insan ağırlığı ve 2 km/h yürüme hızı için)



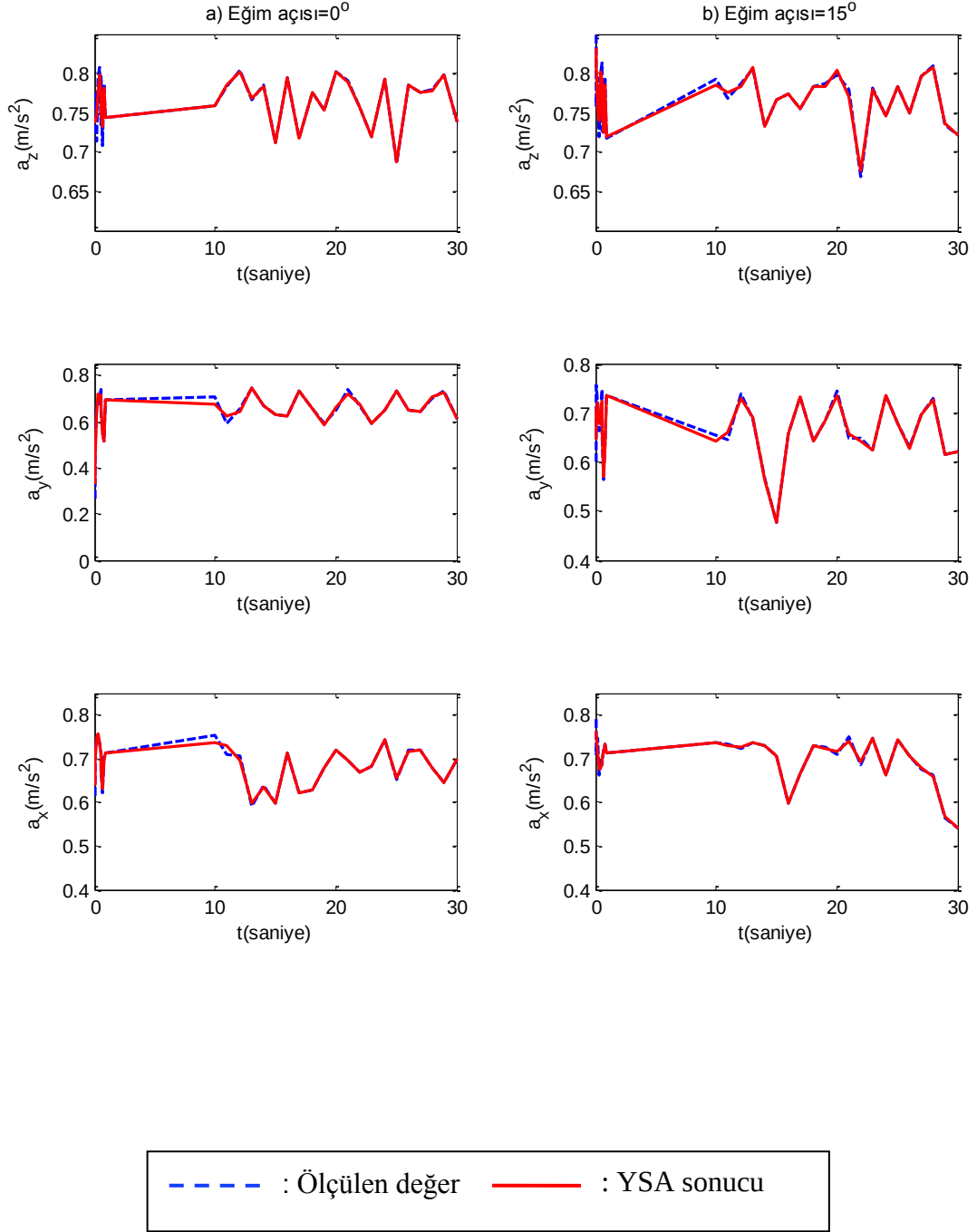
Şekil 10. Kalça ekleminin ortalama ivmesi için YSA ve deneysel sonuçlar (72 kg insan ağırlığı ve 13 km/h yürüme hızı için)



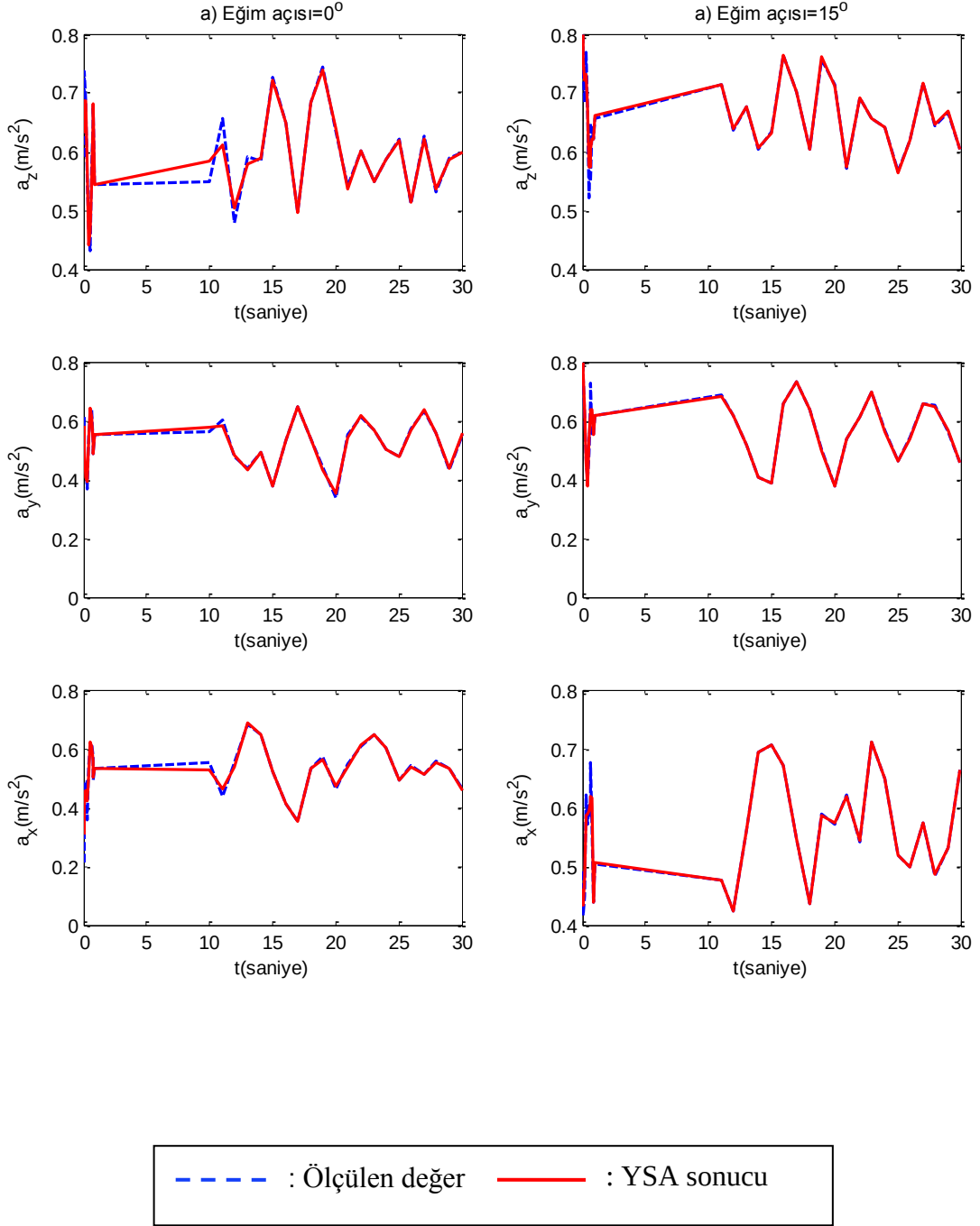
--- : Ölçülen değer — : YSA sonucu

Şekil 11. Sağ diz eklem ivmesi için YSA ve deneysel sonuçlar (72 kg insan ağırlığı ve 2 km/h yürüme hızı için)

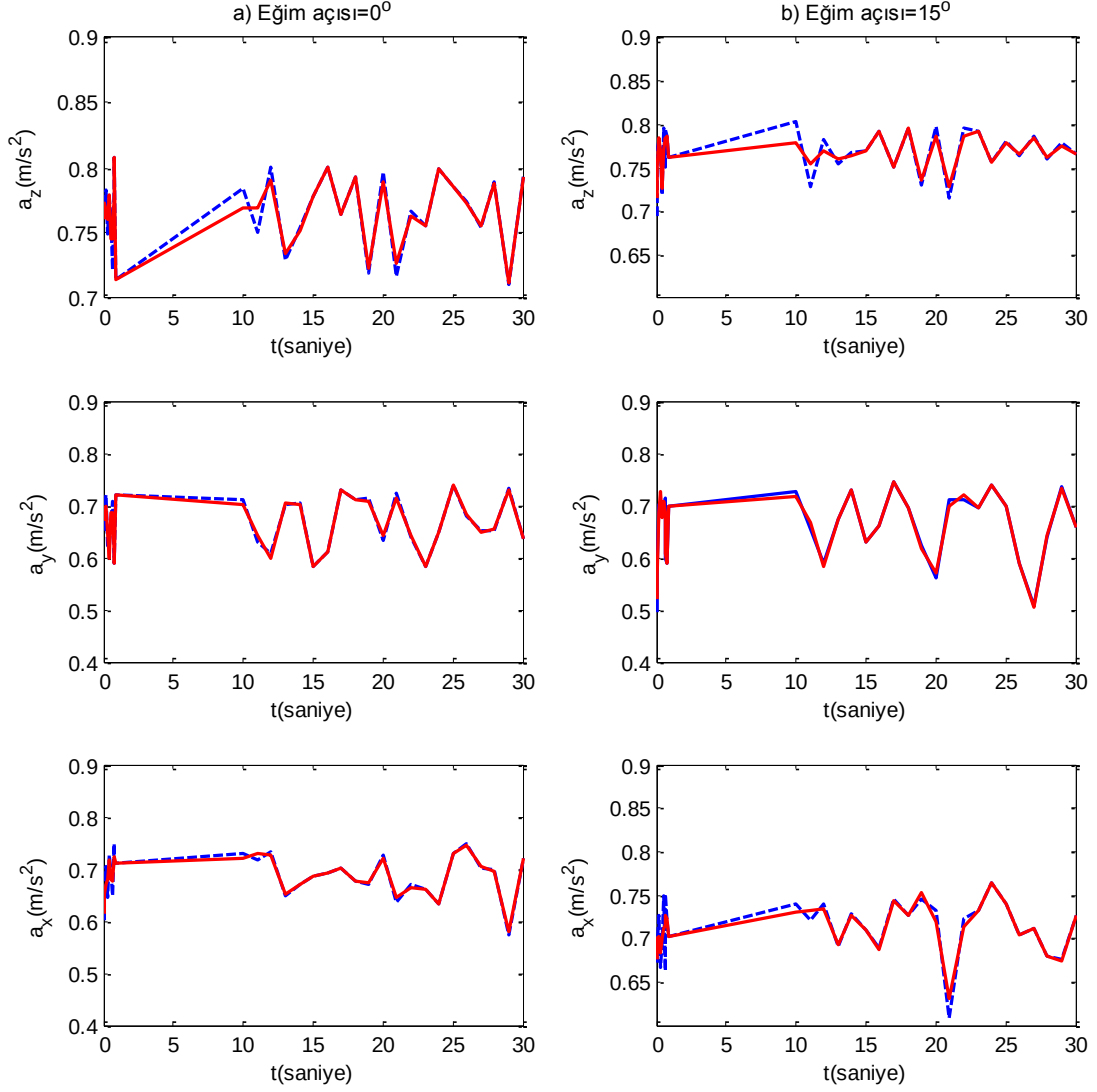
--- : Ölçülen değer — : YSA sonucu



Şekil 12.Sağ diz eklem ivmesi için YSA ve deneysel sonuçlar (72 kg insan ağırlığı ve 13 km/h yürüme hızı için)



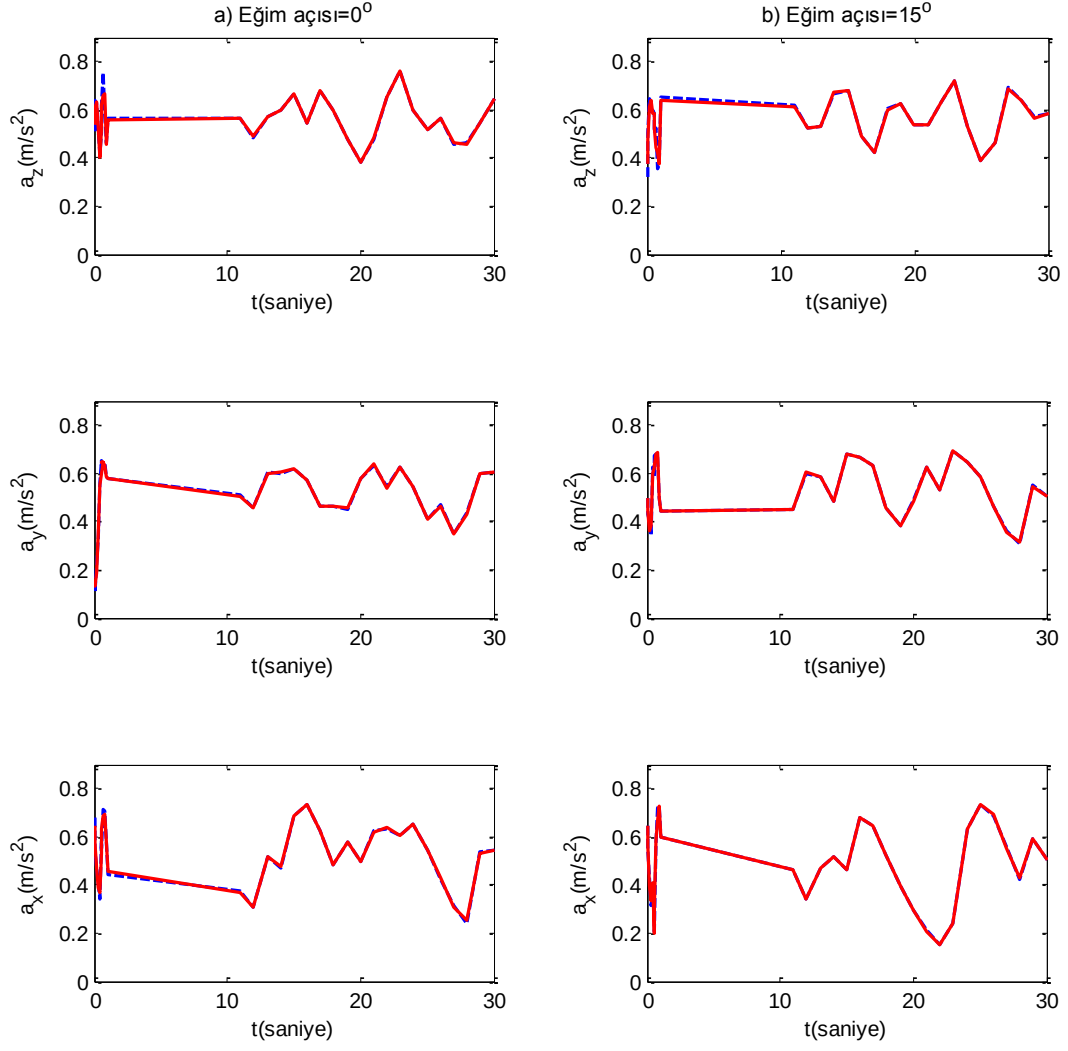
Şekil 13.Sol diz eklem ivmesi için YSA ve deneysel sonuçlar (72 kg insan ağırlığı ve 2 km/h yürüme hızı için)



--- : Ölçülen değer — : YSA sonucu

Şekil 14.Sol diz eklem ivmesi için YSA ve deneysel sonuçlar (72 kg insan ağırlığı ve 13 km/h yürüme hızı için)

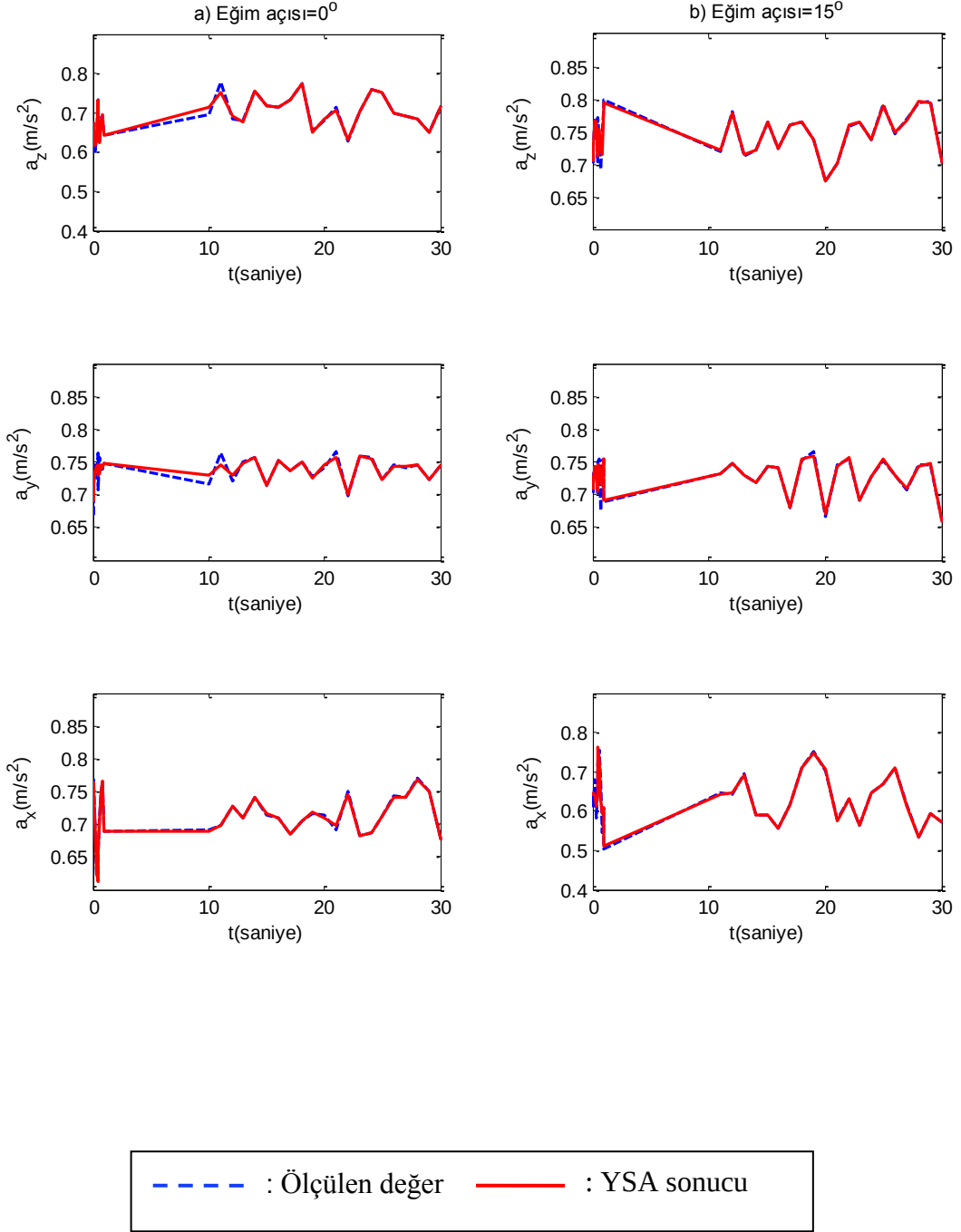
--- : Ölçülen değer — : YSA sonucu



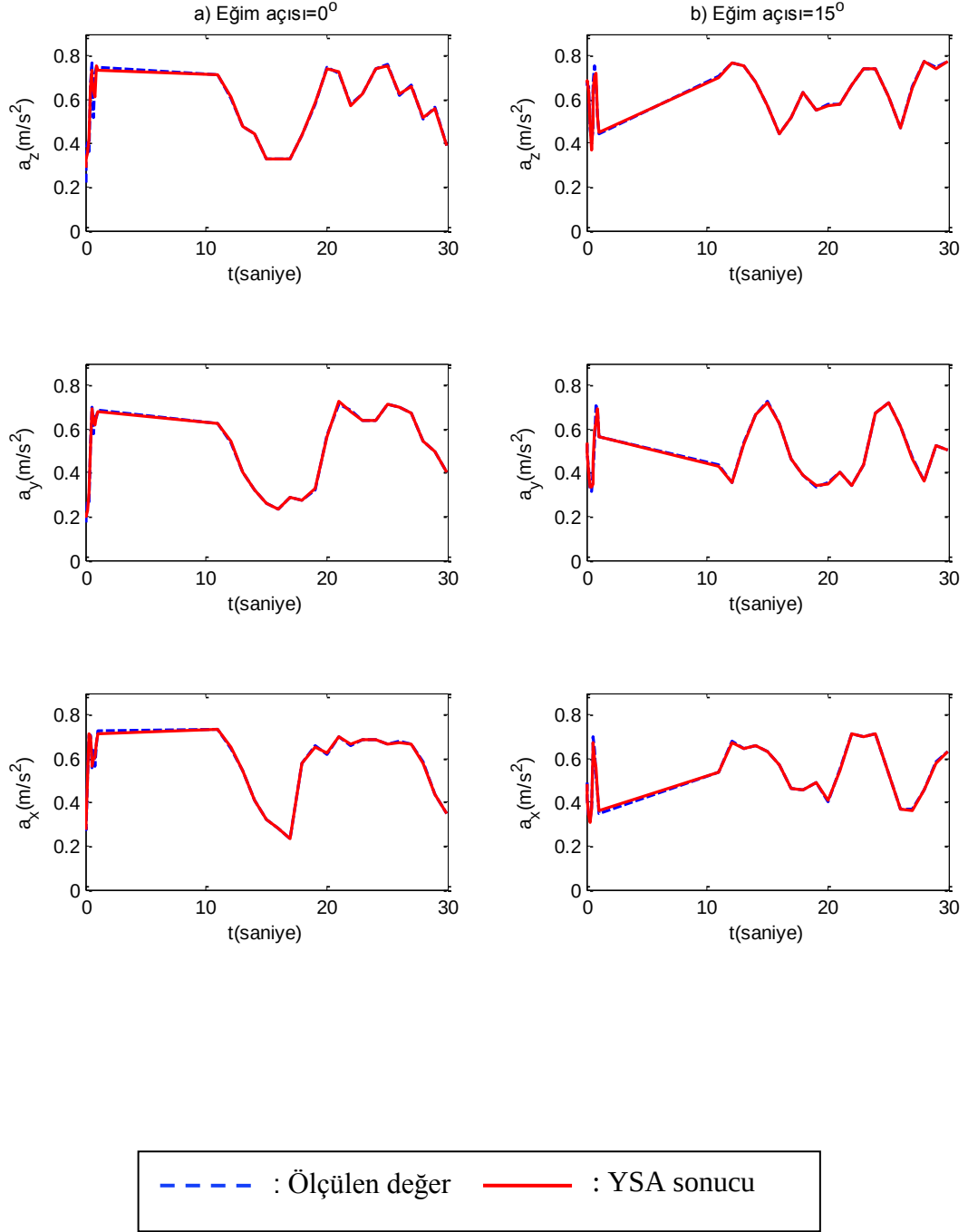
--- : Ölçülen değer — : YSA sonucu

Şekil 15. Kalça ekleminin ortalama ivmesi için YSA ve deneysel sonuçlar (90 kg insan ağırlığı ve 2 km/h yürüme hızı için)

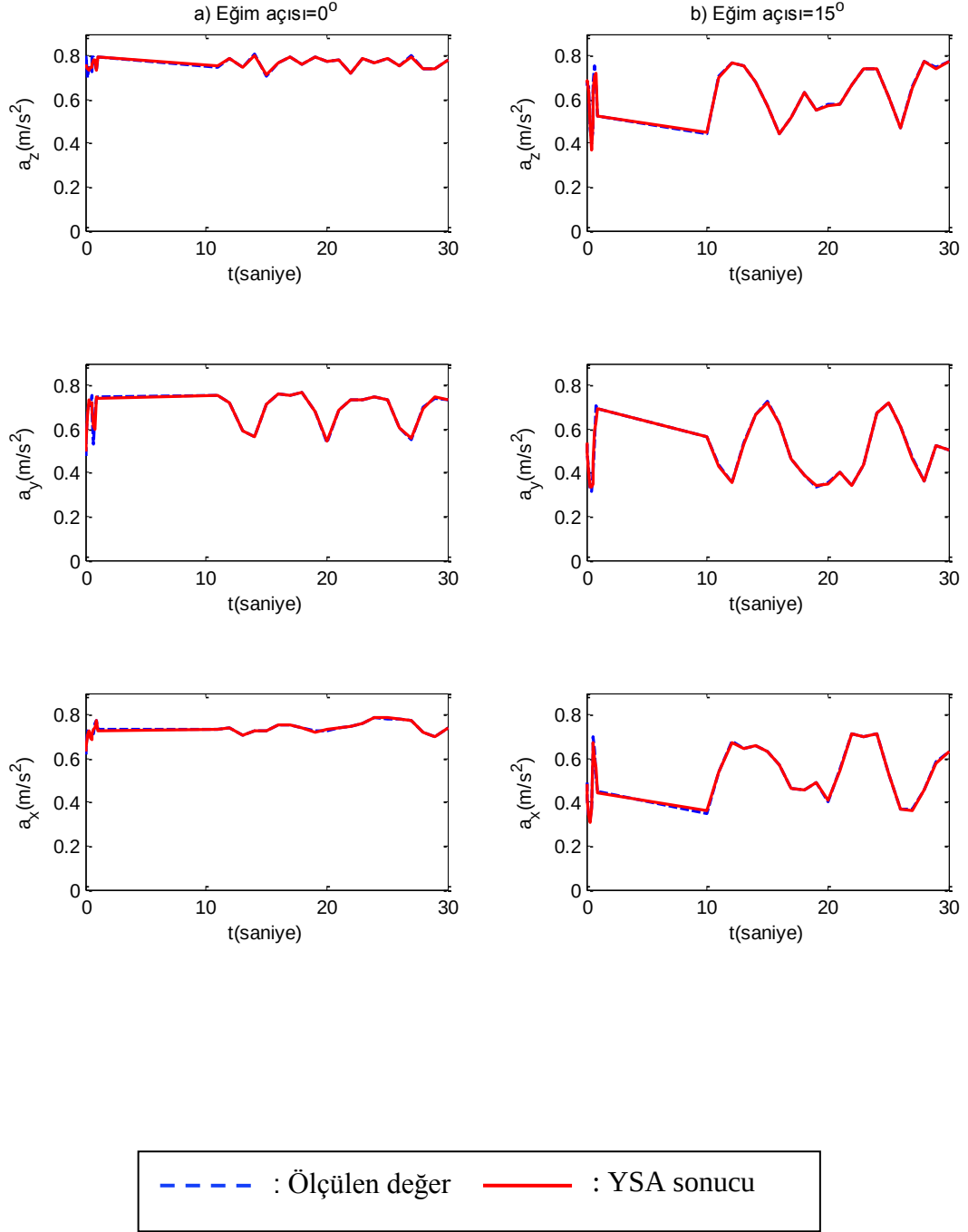
--- : Ölçülen değer — : YSA sonucu



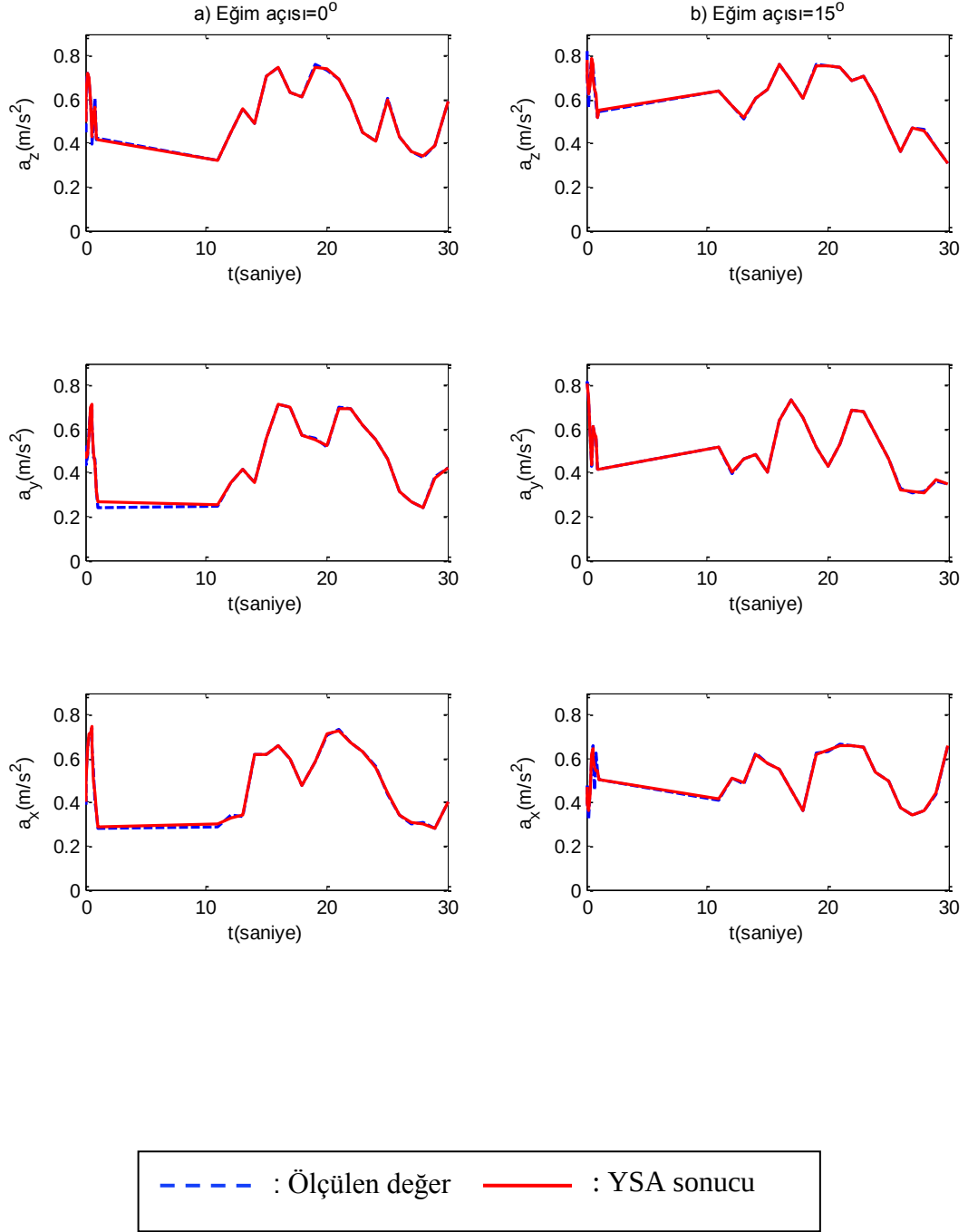
Şekil 16.Kalça ekleminin ortalama ivmesi için YSA ve deneysel sonuçlar (90 kg insan ağırlığı ve 13 km/h yürüme hızı için)



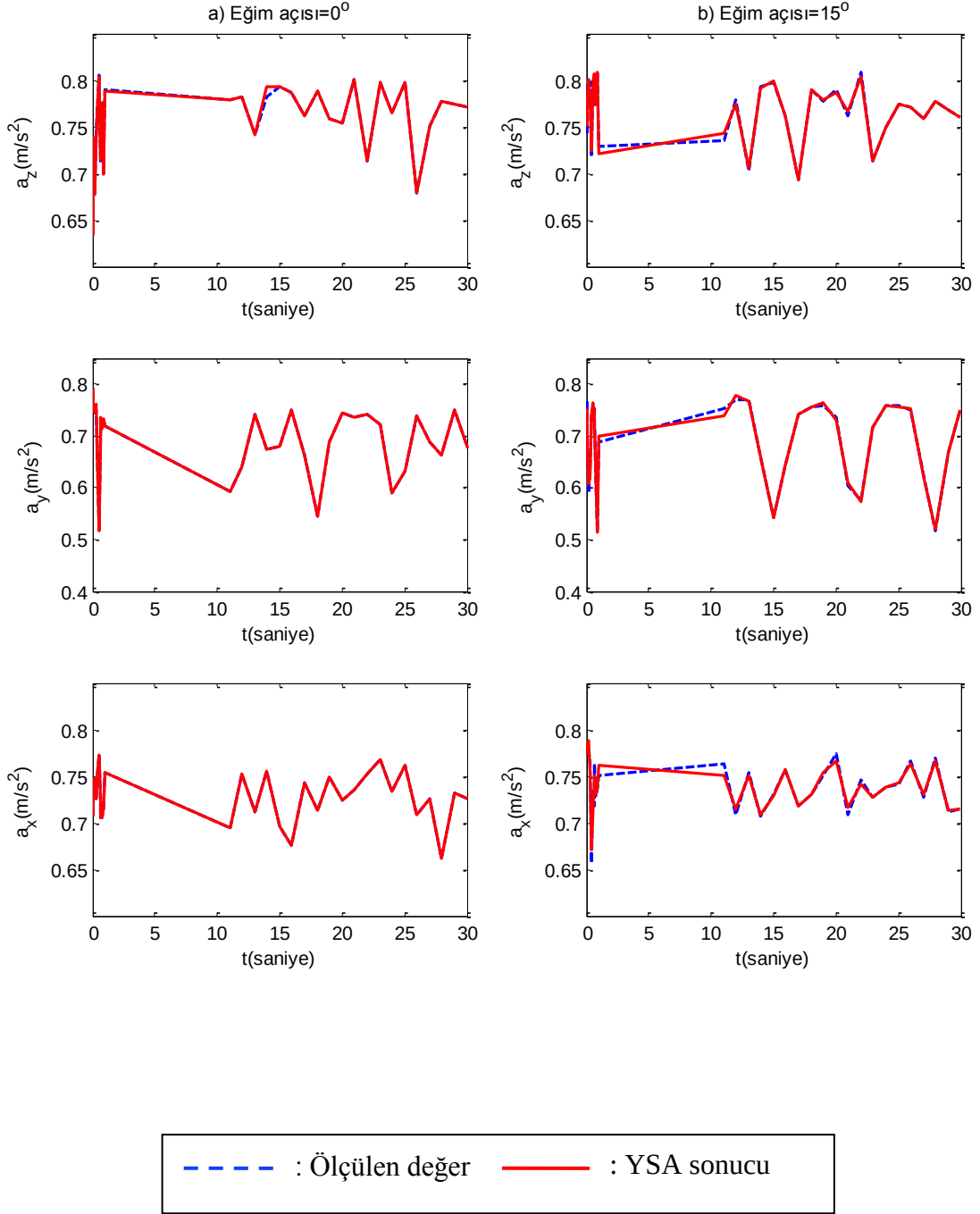
Şekil 17.Sağ diz eklem ivmesi için YSA ve deneysel sonuçlar (90 kg insan ağırlığı ve 2 km/h yürüme hızı için)



Şekil 18.Sağ diz eklem ivmesi için YSA ve deneysel sonuçlar (90 kg insan ağırlığı ve 13 km/h yürüme hızı için)



Şekil 19.Sol diz eklem ivmesi için YSA ve deneysel sonuçlar (90 kg insan ağırlığı ve 2 km/h yürüme hızı için)



Şekil 20.Sol diz eklem ivmesi için YSA ve deneysel sonuçlar (90 kg insan ağırlığı ve 13 km/h yürüme hızı için)

6. SONUÇ ve TARTIŞMA

Bu proje çalışmasında, insan kalça ve diz eklemlerinin titreşim değerleri Radyal Esaslı Yapay Sinir Ağı kullanılarak analiz edilmiştir. Önerilen YSA analizörü kalça ve diz eklemlerinin titreşim parametrelerinin analizi için adaptif ve gürbüz yapıya sahiptir. Proje önerisinde de bahsedildiği gibi, projenin hedefi, optimum YSA analizörü tespit etmektir. Bu nedenle, bu tür analiz problemlerinin çözümü için uygun bir analizör dizayn edilmiştir.

İnsan kalça ve diz eklemlerinin titreşim değerleri için elde edilen sonuçları içeren bir bildiri uluslararası “17th Building Services, Mechanical and Building Industry Days” International Conference” isimli konferansta Ekim 2011’de Macaristan’da sunulmuştur.

Ayrıca, yine farklı insanlardan alınan titreşim değerlerinden elde edilen sonuçlar bir dergiye sunulmuş, cevap beklenmektedir.

KAYNAKLAR

1. Sağbaş B., Akdoğan A., Durakbaşı N., (2008) Biyomekanik Alanda Kullanılan İleri Ölçme Tekniği Metodları ve Optik Ölçme Sistemleri, VII.Ulusal Ölçme Bilimleri Kongresi, 99-106.
2. Frey M., Riener R., Michas C., Regenfelder F., Rainer Burkart, (2006) Elastic properties of an intact and ACL-ruptured knee joint: Measurement, mathematical modelling, and haptic rendering, *Journal of Biomechanics* 39, 1371–1382.
3. Kitay G.S., Koren, Helfet M.J.D.L., Parides M.K., Markenson J.A., Efficacy of combined local mechanical vibrations, continuous passive motion and thermotherapy in the management of osteoarthritis of the knee, *Osteoarthritis and Cartilage* (in press).
4. Pena E., Calvo B., Martinez M.A., Doblare M., (2006) A three-dimensional finite element analysis of the combined behavior of ligaments and menisci in the healthy human knee joint, *Journal of Biomechanics* 39, 1686–1701.
5. Anderson I.A., MacDiarmid A.A., Harris M.L., Gillies R. M., Phelps R., Walsh W.R., (2003) A novel method for measuring medial compartment pressures within the knee joint in-vivo, *Journal of Biomechanics* 36, 1391–1395.
6. Bogert A.J., Reinschmidt C., Lundberg A., (2008) Helical axes of skeletal knee joint motion during running, , *Journal of Biomechanics* 41, 1632–1638.
7. Henriksen M., Aaboe J., Simonsen E.B., Alkjær T., Bliddal Henning, (2009) Experimentally reduced hip abductor function during walking: Implications for knee joint loads, *Journal of Biomechanics* 42, 1236–1240.
8. Glaser D., Komistek R., Cates H., (2007) Frequency Domain Identification and Acoustic Analysis of Implanted Hip Joints, *Journal of Biomechanics* 576.
9. Sariali E., Stewart T., Jin Z., Fisher J., (2008) Three-Dimensional Modeling of The Hip Kinematics under Micro-Separation Regime. Noise Analysis, *Journal of Biomechanics* 64.

10. Çimen E., Kürkçü R., Özaydın A., Kısacık A., Arıkan G., Alptekin K., Özdamar G., Tosun H., (2008) Physical Activity Levels of University Students, 10th International Sport Sciences Congress, 758-760.
11. Ünver F.K., Özkan F., (2008) Physical Activity Levels and The Quality of Life in the Elderly, 10th International Sport Sciences Congress, 855-856.
12. Yavuzer G., Gök H., Klinikte Yürüyüş Analizi Uygulamaları, (2003) 9. Ulusal Spor Hekimliği Kongresi, 273-275.
13. Kunduracıoğlu B., Güner R., Ülkar B., Koşu Bandında ve Sahada Yapılan Laktat Testlerinin Karşılaştırılması, (2003), 9. Ulusal Spor Hekimliği Kongresi, 485.
14. Dault, M. Frank, J.S. Allard F., Influence of a visuo-spatial, verbal and central execute working memory task on postural control, Gait and Posture 14, (2001), 110-116.
15. Morasso P.G., Spada G., Capra R., Computing the COM from the COP in postural sway movements, Human Movement Science, 18, (1999) 759-767.