

**PROPRIOSEPTİF DUYULARIN GELİŞTİRİLMESİ İÇİN EGZERSİZ VE
ÖLÇÜM SİSTEMİNİN TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aslıhan ŞAHAN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi. Uğur FİDAN

İkinci Danışman

Doç. Dr. Mehmet YILDIZ

BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEMMUZ 2020

Bu tez çalışması 18.FEN.BİL.43 numaralı proje ile BAPK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**PROPRİOSEPTİF DUYULARIN GELİŞTİRİLMESİ İÇİN
EGZERSİZ VE ÖLÇÜM SİSTEMİNİN TASARIMI**

Aslıhan ŞAHAN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Uğur FİDAN

İkinci Danışman

Doç. Dr. Mehmet YILDIZ

BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEMMUZ 2020

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

28 / 07 / 2020



Aslıhan ŞAHAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PROPRIOSEPTİF DUYULARIN GELİŞTİRİLMESİ İÇİN EGZERSİZ VE ÖLÇÜM SİSTEMİNİN TASARIMI

Aslıhan ŞAHAN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi. Uğur FİDAN

İkinci Danışman: Doç. Dr. Mehmet YILDIZ

Vücut postürünün korunmasından veya dış ortamdan gelen kuvvetlere karşı kararlı hareketler yapabilmekten sorumlu olan denge; tutma, durma, nesneyi hareket ettirme, yön değiştirme vb. kinematik ve kinetik hareketleri kontrol etmektedir. Proprioseptif, vestibüler, ve görsel sistemlerden gelen verilerin beyin denge merkezinde işlenmesi ile sağlanmaktadır. Eklem, kas ve tendonlarda vücudun ve uzuvların konumunun algılamasını sağlayan özelleşmiş hücreler görev almaktadır. Eklem ve kas üzerindeki baskı ve kuvvetleri algılayan bu hücreler bilgileri beyne göndermektedir. Proprioseptif sistem vücudun hangi tür bir yüzeyde oturduğunu ve bu yüzeyde hangi durumda konumlandığını beyin anlamasını sağlamaktadır. Nörolojik ya da fiziksel sebeplerden kaynaklı hastalıkları olan kişiler veya üst düzey denge ve hareketliliğe ihtiyaç duyan profesyonel sporcuların hareket kabiliyetlerini geliştirmek için kullanılan birçok egzersiz ve tedavi programları bulunmaktadır. Günümüzde gelişmekte olan insan bilgisayar etkileşim (HMI) araçları her alanda olduğu gibi fizik tedavi ve rehabilitasyon ile spor alanında da kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada, proprioseptif duyularının yeterliliğini ölçmeyi ve tasarlanan oyunlar ile bu duyuların geliştirilmesi ve gelişim sürecinin takip edilebildiği bir ölçüm ve egzersiz sistemi gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda ayarlanabilen vibrasyon seviyesi ile proprioseptif duyu sisteminin bir parçası olan kas içiği mekanoreseptörlerinin aktivitesi artırılarak konum ve hareket duyuları geliştirilmiştir.

Gerçekleştirilen sistem mekanik, yazılım ve donanım olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Kişinin denge merkezinden saptasını ivme sensörü (ADXL345) ve kuvvet sensörü (Zemic L6E) kullanılarak ölçülmüştür ve alınan veriler I2C haberleşme protokolü ile mikrodenetleyiciye aktarılır. Veriler mikrodenetleyicide işlenerek bluetooth kablosuz haberleşme modülü aracılığıyla PC yazılımına gönderilir. Yazılıma aktarılan veriler arayüz programında tasarlanan test uygulamalarında ve egzersiz sistemi için tasarlanan oyunlarda cisimleri yönlendirmek amacıyla kullanılmıştır. Böylece kişilerin denge durumlarının geliştirilmesi için oyun tabanlı bir ölçüm ve egzersiz sistemi oluşturulmuştur. Geliştirilmiş olan sistemler ile kişinin ağırlık merkezinin lateral ve frontal eksenlerdeki sapma açıları ölçülmüştür. Programın ilk başlangıcında kişinin 30 s test sonucunda lateral ekseninde $\pm 1^\circ$, frontal ekseninde $\pm 1^\circ$ salınım yaptığı gözlemlenmiştir. Hazırlanan egzersiz programı takvimi uygulaması sonunda lateral ve frontal eksenlerdeki salınım açıları tekrar ölçümlendirilmiştir. Egzersiz sonunda kişinin lateral ekseninde $\pm 0.03^\circ$ ve frontal ekseninde $\pm 0.2^\circ$ aralığında salınım yaptığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak çalışma kapsamında geliştirilen sistemin vibrasyon etkisi ile statik dengenin geliştirilmesinde konvansiyonel yöntemlere göre daha etkili olduğunu göstermektedir.

2020, xi + 84 sayfa

Anahtar Kelimeler: Denge, Unity, Alt ekstremité, Proprioseptif duyu, Oyun tabanlı egzersiz.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DESİGN OF EXERCİSE AND MEASURİNG SYSTEM FOR PROPRİOCEPTİVE SENSORY ENHANCEMENT

Aslıhan ŞAHAN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Biomedical Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Uğur FİDAN

Co-Supervisor: Assoc. Prof. Mehmet YILDIZ

Balance responsible for maintaining body posture or being able to act against forces from the external environment; holding, stopping, moving the object, changing direction, etc. controls kinematic and kinetic movements. Information on the processing of the brain in the center of balance from the proprioceptive, vestibular, and visual systems. It manifests in joints, muscles and tendons and is the specialized cells to perceive the position of the limbs. These pages that evaluate the pressure and forces on the joint and muscle send the information to the brain. The proprioceptive system gets the brain to understand what kind of surface it is sitting on and what position it is located on. There are exercise and treatment programs used to improve the mobility of people with neurological or physical diseases or professional athletes who need high level balance and mobility. Today, human computer interaction (HMI) tools have begun to be used in the field of physical therapy and rehabilitation as well as sports. This is a measurement and exercise system that can measure the efficiency of the proprioceptive senses and monitor the progress and progress of these senses with some games. At the same time, with the vibration level that can come, the movement senses process by positioning by increasing the activity of the muscle spindle mechanoreceptors, which are part of the proprioceptive sensory system.

The implemented system consists of three parts: mechanical, software and hardware. When the person's balance deviation is measured, the acceleration sensor (ADXL345) and the force sensor (Zemic L6E) are operated and the data is transferred to the microcontroller with the I2C communication protocol. It is processed in the

microcontroller and delivered to the bluetooth wireless communication delivery PC software. The data transferred to the software is used in the interface program, in test applications and in the exercise system, using others to direct objects in games. In this way, a game-based measurement and exercise system was created for balancing. The improved resolution was given information and the deviation angles in the lateral and frontal axes were measured. At the beginning of the program, it was observed that it oscillated ± 10 in the lateral axis and ± 10 in the frontal axis in the 30 s test. The swing angles of the lateral and frontal axes were measured again in the exercise program prepared. During the exercise, it was observed that it was ± 0.030 in the lateral axis and ± 0.20 in the frontal axis. This method probably shows that it is more effective in its development than conventional methods.

2020, xi +84 pages

Keywords: Balance, Unity, Lower extremity, Proprioceptive Sense, Game Based Exercise.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Uğur Fidan'a, çalışmam süresince yardımlarını esirgemeyen ikinci danışmanım Sayın Doç. Dr. Mehmet Yıldız'a ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmanın gerçekleştirilmesi için gerekli altyapı desteğinden dolayı Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' ne de teşekkür ederim (18.FEN.BİL.43).

Aslıhan ŞAHAN
Afyonkarahisar 2020

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	x
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
2.1 Postür ve Denge	3
2.2 Proprioseptif Duyu Sistemi.....	4
2.2.1 Mekanoreseptör.....	5
2.2.1.1 Golgi Tendon Organı.....	7
2.2.1.2 Kas içciği.....	7
2.3 Vibrasyon Fizyolojisi.....	8
2.4 Görme Duyu Sistemi	9
2.5 Vestibüler Sistem.....	10
2.6 Denge Ölçüm ve Egzersiz Sistemleri	11
2.6.1 Flamingo Denge Testi	11
2.6.2 Yıldız Denge Testi	12
2.6.3 Bilgisayar Destekli Postürografi	13
2.6.4 Oyun Tabanlı Egzersiz Sistemleri.....	15
2.7 Literatür Taraması.....	16
2.7.1 Ulusal Çalışmalar	16
2.7.2 Uluslararası Çalışmalar	18
3. MATERYAL ve METOT	22
3.1 Elektronik Geliştirme Kartı	22
3.2 İvme Sensörü	23
3.3 Yük Hücresi	24
3.4 Yük Hücresi Kuvvetlendiricisi	25
3.4.1 Seri Çevresel Arayüz Haberleşmesi (I2C)	26

3.5 Vibrasyon Motoru.....	27
3.6 Bluetooth Haberleşme.....	28
3.7 Microsoft Visual Studio C# ve Unity	29
3.8 Veritabanı Sistemleri	30
3.8.1 Microsoft Access VTYS	30
3.9 Proprioseptif Duyuların Geliştirilmesi İçin Egzersiz ve Ölçüm Sistemi.....	31
3.9.1 Yük Hücreli Egzersiz ve Ölçüm Sistemi Tasarım Mimarisi.....	31
3.9.2 İvme Sensörlü Egzersiz ve Ölçüm Sistemi Tasarım Mimarisi	32
3.9.3 Egzersiz ve Ölçüm Sistemi PC Yazılım Algoritması	33
3.10 Sistemin Mekanik Tasarımı	36
3.11 Ölçüm ve Egzersiz Programı	36
4. BULGULAR	39
4.1 PC Tabanlı Ölçüm Sistemi	40
4.2 Vibrasyonun Proprioseptif Duyular Üzerindeki Etkisi.....	42
4.3 Egzersiz Sistemi İçin Oyun Tasarımı	46
4.4 Gerçekleştirilen Sistemin Statik Denge Üzerindeki Etkisi	47
4.5 Sistemin Geçerlilik ve Güvenilirlik Analizi	48
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	50
6. KAYNAKLAR.....	52
ÖZGEÇMİŞ.....	56
EKLER	58

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

V	Voltaj
A	Akım
uA	Mikroamper
dk	Dakika
kg	Kilogram
mAh	Mili Amper Saat
uC	Mikrodenetleyici
Wh	Watt Saat
GHz	GigaHertz

Kısaltmalar

ADC	Analog Digital Converter
BDP	Bilgisayarlı Dinamik Postürografi
HMI	Human-Machine Interface
I2C	Inter-Integrated Circuit
IDE	Integrated Development Environment
MEMS	Mikro Elektro-Mekanik Sistemler
NIH	National Institutes of Health
PH	Parkinson Hastalığı
PGA	Programmable Gain Amplifier
TBV	Tüm Beden Vibrasyonu
TVR	Tonik Vibrasyon Refleksi
WBB	Wii Balance Board

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Anatomik eksen ve postür (Günay 2014).....	4
Şekil 2.2 Propriosepsiyon sürecinin işleyişi (Kaynak vd. 2015).....	5
Şekil 2.3 Mekanoreseptörler (İnt. Kyn. 1).	6
Şekil 2.4 Golgi tendon organı (Fidan vd. 2019).....	7
Şekil 2.5 Kas içciği (Fidan vd. 2019).....	8
Şekil 2.6 Görme olayı (İnt. Kyn. 2).....	9
Şekil 2.7 İnsan kulağı yapısı (Şahin 2019).....	10
Şekil 2.8 Flamingo denge testi (Tsigilis vd. 2002).	12
Şekil 2.9 Yıldız denge testi (S. Erdoğan vd. 2016).	13
Şekil 2.10 Postürografi cihazı (İnt. Kyn. 3).	14
Şekil 2.11 Postürografi cihazı özellikleri (İnt. Kyn. 3).	15
Şekil 2.12 Oyun tabanlı denge sistemi (Young vd. 2011).	16
Şekil 3.1 Arduino Mega 2560 geliştirme kartı açık devre şeması (Schubert vd. 2013). 22	
Şekil 3.2 ADXL345 ivme sensörü (Çiçekdemir vd. 2012).	24
Şekil 3.3 Gerinim ölçer tip yük hücresi (İnt. Kyn. 4).....	25
Şekil 3.4 Platform tipi loadcell (İnt. Kyn. 5).....	25
Şekil 3.5 HX711 entegresinin blok diyagramı (İnt. Kyn. 5).	26
Şekil 3.6 I2C haberleşme (İnt. Kyn. 6).	27
Şekil 3.7 Foam roller titreşim motoru (İnt.Kyn.7).	27
Şekil 3.8 Bluetooth haberleşme modülü (İnt.Kyn.8).....	28
Şekil 3.9 Unity3D editör paneli (Hatipoğlu 2017).	29
Şekil 3.10 Yük Hücreli Egzersiz ve Ölçüm Sistemi 31	
Şekil 3.11 Yük Hücreli Egzersiz ve Ölçüm Sistemi 32	
Şekil 3.12 İvme Sensörlü Egzersiz ve Ölçüm Sistemi 33	
Şekil 3.13 Egzersiz için PC yazılım algoritması. 34	
Şekil 3.14 Test için PC yazılım algoritması. 35	
Şekil 3.15 Mekanik konstrüksiyona ait Solidworks tasarımları..... 36	
Şekil 3.16 Ölçüm ve egzersiz programı. 38	
Şekil 4.1 Tasarlanan egzersiz ve ölçüm sistemleri..... 39	
Şekil 4.2 PC tabanlı ölçüm sistemi yazılımı. 40	
Şekil 4.3 PC tabanlı ölçüm sistemi yazılımı. 41	
Şekil 4.4 Trigonometrik fonksiyonlar ve bölgeler. 41	

Şekil 4.5 Statik Denge (Göz Açık).....	43
Şekil 4.6 Statik Denge (Göz Kapalı).....	44
Şekil 4.7 Dinamik Denge (Göz Açık).	45
Şekil 4.8 Unity oyun tasarımları.	47
Şekil 4.9 Egzersiz programının statik denge üzerine etkisi.....	48



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Mekanoreseptörler ve etki mekanizması.....	6
Çizelge 3.1 Arduino Mega 2560' ın teknik özellikleri.....	23
Çizelge 3.2 Foam roller titreşim motorunun teknik özellikleri.	28
Çizelge 3.3 Çalışmada Kullanılan Ölçüm ve Egzersiz Program İçeriği.	37
Çizelge 4.1 Lateral ve frontal eksenlerdeki sapmaların kutu grafiklerindeki minimum, birinci çeyrek, ortanca, üçüncü çeyrek ve maksimum değerleri.	46
Çizelge 4.2 Yük hücreleri ile kullanılan ağırlıklar arasındaki ilişkinin belirlenmesi için yapılan sınıf içi korelasyon katsayısı tablosu (geçerlik tablosu).	48
Çizelge 4.3 Her Bir Ağırlık Grubu İçin Tekrarlanan Ölçümler Arası Arasındaki Belirlenmesi Yapılan Tekrarlı Ölçümler Anova ve Ölçümler Arası Sınıf İçi Korelasyon Katsayısı Değerlerini Gösterim Tablosu (Güvenirlilik Tablosu)...	49

1. GİRİŞ

Vücut postürünün korunmasından veya dış ortamdan gelen kuvvetlere karşı kararlı hareketler yapabilmekten sorumlu olan denge; durma, yön değiştirme, nesneyi hareket ettirme tutma vb. kinematik ve kinetik hareketleri kontrol etmektedir. Vestibüler, görsel ve proprioseptif sistemlerden alınan verilerin beynin denge merkezinde işlenmesi ile bu hareketler sağlanmaktadır. Denge mekanizması, dinamik ve statik olarak iki başlıkta incelenmektedir. Statik denge, hareketsiz veya küçük miktarda hareket eden durumlar için ağırlık merkezi konumunun korunmasını kapsayan bir kabiliyettir. Dinamik denge ise hareketli durumlarda ya da düzensiz hareket eden zeminlerde dengede kalabilme yeteneğidir. Dengenin kontrol edilebilmesi duysal girdiler ile esnek hareket modellerinin hazırlanması ve uygulanmasını kapsayan karmaşık bir motor becerisidir. Eklem, kas ve tendonlarda vücudun ve uzuvların konumunun algılamasını sağlayan özelleşmiş hücreler görev almaktadır. Eklem ve kas üzerindeki baskı ve kuvvetleri algılayan bu hücreler bilgileri beyne göndermektedir. Proprioseptif duyu olarak adlandırılan bu sistem vücudun hangi tür bir yüzeyde oturduğunu ve bu yüzeyde hangi durumda konumlandığını beynin anlamasını sağlamaktadır.

Konu ile ilgili yapılan çalışmalar proprioseptif duyuların rehabilitasyon ve antrenman teknikleri ile geliştirilebileceğini ancak bu tekniklere yardımcı olacak sistemlerin geliştirilmesi hususunda yetersiz kaldığını göstermektedir. Günümüzde denge ölçümü için kliniklerin denge merkezinde bulunan postürografi cihazlarından yararlanılmaktadır. Bu sistemler pahalı ve denge ölçümüne yönelik olup bünyesinde egzersiz ile gelişim modülleri bulunmamaktadır. Diğer bir taraftan da vibrasyonun proprioseptif duyuların gelişimi üzerine olan olumlu katkısı literatürdeki çalışmalarla ortaya konulmuştur. Bu çalışma ile vibrasyon ve ölçüm sistemi bir araya getirilerek genel bir egzersiz ölçüm sisteminin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Sonuç olarak bu çalışma, üst düzey denge ve hareketliliğe ihtiyaç duyan profesyonel sporcular veya herhangi bir rahatsızlık sonucunda fizik tedavi ve rehabilitasyona ihtiyaç duyan hastalar için proprioseptif duyuların yeterliliğini ölçmeyi ve tasarlanan oyunlar ile bu duyuları geliştirmeyi amaçlamaktadır.

Proprioseptif duyuların geliştirilmesi için egzersiz ve ölçüm sisteminin tasarımı başlıklı bu tez çalışması 5 bölümden oluşmaktadır. Tezin Literatür Bilgileri başlığı altında postür ve dengeden, dengeyi sağlayan görsel, vestibüler ve proprioseptif duyu sistemlerinden, mekanoreseptörler ve denge ölçüm ve egzersiz sistemlerinden bahsedilmiştir. Materyal ve Metot ana başlığı altında tez çalışmasında yapılmış olan denge ve ölçüm sistemlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılan malzemeler, kullanılan yazılım programları, tasarımı yapılan sistemlerin blok diyagramları açıklanmıştır. Bulgular ana başlığı altında denge ölçüm ve egzersiz sisteminde kullanılan egzersiz programı ve arayüz programları ile alınan veriler grafiklerle açıklanmıştır. Sonuç ve tartışma bölümünde gerçekleştirilen denge ölçüm ve egzersiz sisteminin avantaj ve dezavantajları literatürle kıyaslanmış ve sistemin geliştirilmesi için önerilerde bulunulmuştur.

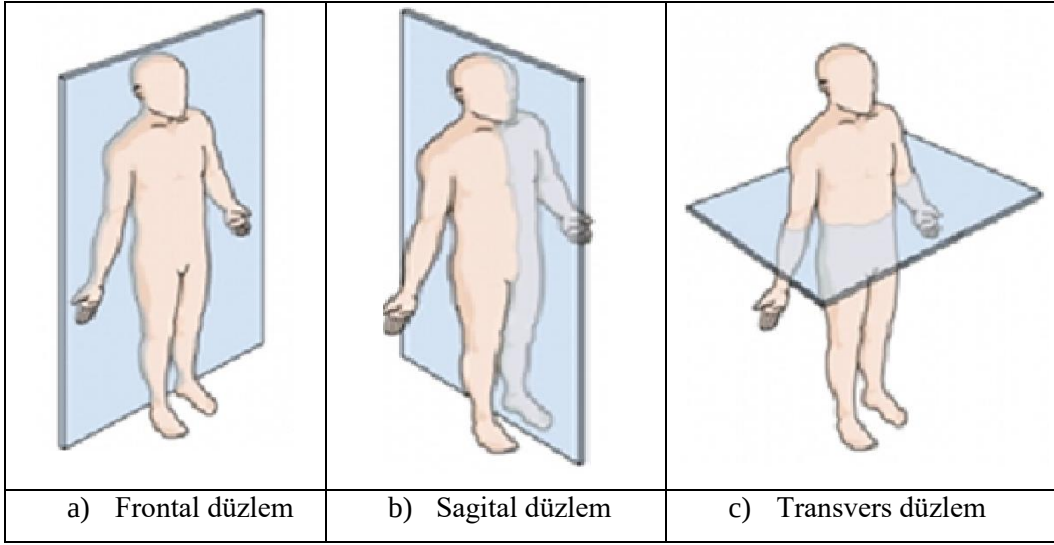
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Bu bölümde postür ve dengeden, dengenin sağlanmasında yardımcı olan duyu sistemlerinden ve denge ölçüm ve egzersiz sistemlerinden bahsedilmiştir. Ayrıca konu ile ilgili ulusal ve uluslararası alanda yapılan akademik çalışmalar irdelenmiştir.

2.1 Postür ve Denge

Kişinin duruşuyla alakalı olan postür, aktif ve inaktif olmak üzere iki kategoride incelenmektedir. Dinlenme veya uyku durumunda olduğu gibi vücudun durgun haldeki pozisyonu inaktif postür olarak tanımlanmaktadır. Aktif postür ise statik ve dinamik postür olarak iki bölümde incelenmektedir. Dinamik veya statik postürde gerekli olan kas kuvveti kişinin fiziki özelliklerine ve postür tipine göre değişmektedir.

İnsan anatomisi ile ilgili tanımlamalar el avuç içleri öne bakacak şekilde duran anatomik duruşa (Şekil 2.1) göre yapılmaktadır. Anatomik eksenler vücudu sağdan sola doğru dik kesen frontal düzlem (Şekil 2.1a), önden - arkaya doğru dik kesen sagittal düzlem (Şekil 2.1b) ve vücudu enine kesen transvers düzlemlerden (Şekil 2.1c) oluşmaktadır. Vücudun ön tarafına yakın oluşumlar anterior, arka tarafına yakın oluşumlar ise posterior olarak adlandırılır. Sagittal eksen çevresinde ve sagittal düzlem üzerinde gerçekleşen fleksiyon hareketi bir eklemi oluşturan kemikler arasındaki açının daralması ile oluşur. Bunun tam tersi olan ekstansiyon hareketi ise bir eklemi oluşturan kemikler arasındaki açının artması ile oluşur. Ekstansiyon hareketi fleksiyon hareketi ile aynı düzlem ve eksen üzerinde yapılır. Bir uzvun vücut orta hattından uzaklaşması abdüksiyon hareketi olarak tanımlanırken yaklaşması da addüksiyon hareketi olarak ifadelendirilmektedir. Abdüksiyon ve addüksiyon hareketleri frontal düzlemde gerçekleşmektedir. Sirkumdüksiyon hareketi, abdüksiyon ve addüksiyon hareketi ile fleksiyon ve ekstansiyon hareketlerinin birleşmesi ile ortaya çıkmaktadır. Eklemlerin transvers düzlemde hareketi rotasyon hareketi olarak tanımlanır. Ön kolun dışa rotasyonu pronasyon, içe rotasyonuna ise supinasyon olarak ifadelendirilmektedir (Günay 2014).



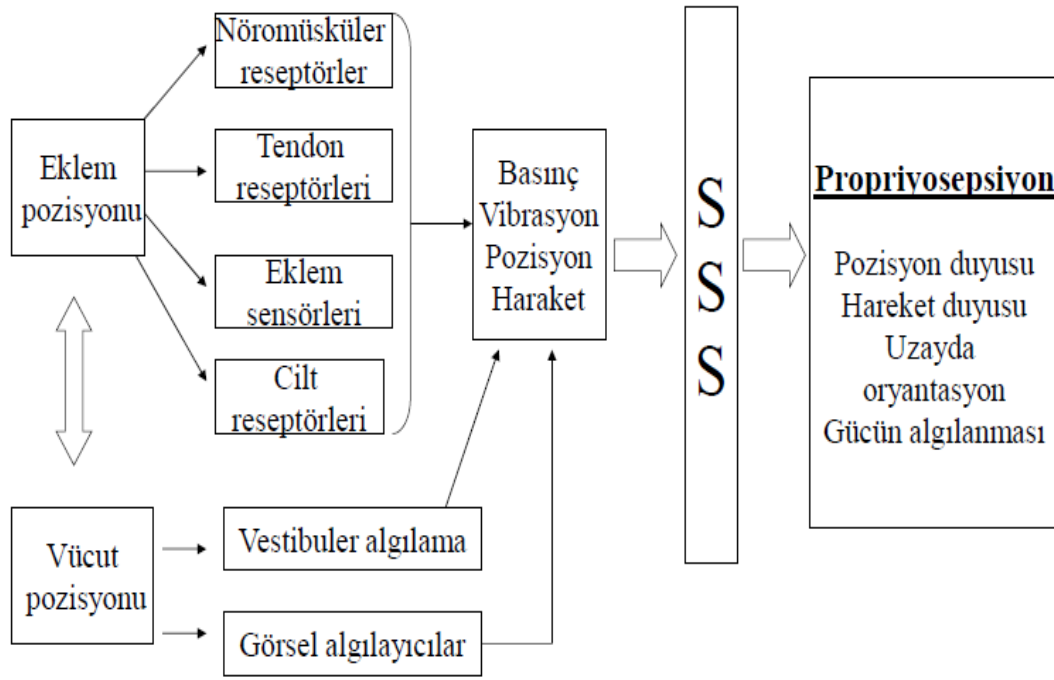
Şekil 2.1 Anatomik eksen ve postür (Günay 2014).

Vücudun konumunu koruyan ve vücut kütleini yere düşürmeden tutan dinamik, denge olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir ifade ile insan vücudunun yer çekimi, vücut içi kuvvetleri ile vücuda dışarıdan uygulanan kuvvetlerin vektörel toplamının sıfırlanabilmesi ve gövde diziliminin korunabilmesidir. Denge ve postür arasında yakın ilişki vardır. Denge, postürün korunmasını da içerir ve esas olarak kas hareketinin koordinasyonudur. Vücudun ağırlık merkezi, anatomik duruş durumunda basınç merkezinin üzerine düşmektedir. Vücut ağırlık merkezindeki yer değiştirme postural salınımı ifade etmektedir. Vücudun media-lateral düzleminde meydana gelen salınımının en az olduğu durum destek alanının yüksek olduğu yani ayaklar arasının açık olduğu konumdur. Denge durumunda iken duruş pozisyonunun dışına çıkmak veya pozisyonu değiştirme ihtiyacı sırasında denge hissedilebilmektedir. İnsan vücudunda denge sistemi uzayda bulunduğumuz konumun ve kapladığımız yerin algılanması ile başlar. Üç ana duyu sisteminden gelen verilerin beyinde değerlendirilmesiyle denge sağlanmaktadır.

2.2 Proprioseptif Duyu Sistemi

Vücudun ve uzuvların konumunu algılamasına yardımcı olmak için kas, eklem ve tendonlarda amaca özel gelişmiş hücreler bulunmaktadır. Bu hücreler eklem veya kas üzerinde oluşan baskı ve kuvvet miktarını biyoelektriksel sinyallere dönüştürerek merkezi sinir sistemi üzerinden beyine iletmektedir. Proprioseptif duyu sistemini oluşturan bu yapı vücudun ne tür bir zeminde oturduğunu veya vücudun nasıl

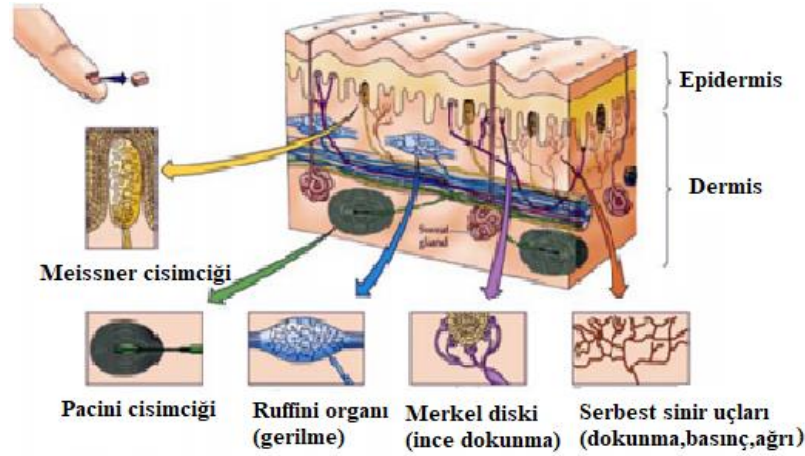
konumlandığını belirlemektedir. Proprioseptif süreç (Şekil 2.2), ilk olarak mekanoreseptörlerin değişen durum, pozisyon veya güçleri algılaması ile başlar. Mekanoreseptörden sinir sistemine ve oradan tekrar hedef dokuya uzanan proprioseptif süreç içerisinde görsel ve vestibüler algılayıcıların da önemli rolleri bulunmaktadır. Gözler kapalı ya da açıkken veya denge sağlanan organın sağlıklı ya da hasta olması durumunda proprioseptif algılama değişmektedir (Kaynak vd. 2015).



Şekil 2.2 Proprioepsiyon sürecinin işleyişi (Kaynak vd. 2015).

2.2.1 Mekanoreseptör

Mekanoreseptörler (Şekil 2.3) içerisinde sinir hücreleri bulunan tüm dokularda bulunurlar. Ancak kıkırdak, kornea gibi dokularda mekanoreseptör varlığı henüz gösterilememiştir. Yapılan histolojik çalışmalar farklı mekanoreseptörlerin varlığını ortaya koymaktadır. En çok bilinenleri ruffini sonlanmaları, pacinian cisimcikleri, serbest sinir sonlanmaları, kas içiği ve golgi tendon organı olarak özetlenebilir.



Şekil 2.3 Mekanoreseptörler (İnt. Kyn. 1).

Mekanik enerjideki değişikliklere karşı duyarlı olan reseptörler ve etkilendiği fiziki değişkenler Çizelge 3.1’ de sınıflandırılmıştır. Mekanoreseptörler herhangi bir mekanik etki sonucunda meydana gelen deformasyonu algılamaktadırlar. Hücrelerin duvarlarında oluşan deformasyon ve değişiklikler hücrelerin özel kabiliyetleri sayesinde elektriksel enerjiye dönüştürülebilmektedir. Hücre kendi üzerine gelen traksiyon, kompresyon, rotasyonel ve bükülme gibi deformasyonları hücre zarında bulunan sodyum-potasyum iyon pompası ile kimyasal olarak işlemler. Bu kimyasal etki sonucunda meydana çıkan elektrik akımı reseptör hücresinin her birinin bağlı olduğu serbest sinir sonlanmalarına iletilir.

Çizelge 2.1 Mekanoreseptörler ve etki mekanizması.

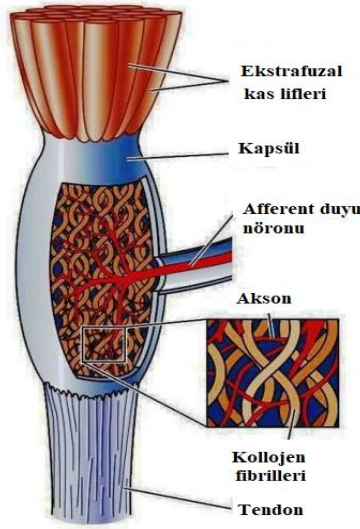
Parametre	Ölçüm Sonucu
Meissner cisimciği	Düşük Frekans Titreşim
Pacini cisimciği	Yüksek Frekans Titreşim
Ruffini organı	Gerilme
Merkel diski	İnce dokunma
Serbest sinir uçları	Dokunma, Basınç

Serbest sinir sonlanmalarından gelen uyarı afferent sinir ağı ile medulla spinalisteki dorsal kolon nükleusları boyunca yükselir ve ikincil sensoriyal nöronlar ile bağlantı yapar (Sharma 1999). Buradan da medial laminisküs aracılığı ile üçüncü sensoriyal nöronların bulunduğu palemik nükleuslarla olan bağlantısı gerçekleştirilir. Süreç buradan somatosensoriyal kortekse ulaştırılmaktadır. Somatosensoriyal korteks, ilgili hedef

dokudan gelen bütün bilgilerin analiz edildiği, sentezlendiği ve bu duruma verilecek cevabın organize edildiği temel bölgedir. Karar efferent ağlar aracılığı ile ilgili dokuya, kemik, kas, tendon bölgesine ulaştırılacak ve ortaya çıkan cevapla, eklemin yaralanmayacak şekilde en güvenli pozisyonda tutulması sağlanmaktadır (Özgürbüz vd. 2018).

2.2.1.1 Golgi Tendon Organı

Gerilimi algılayan ve tendondan bilgi alan golgi tendon organı (Şekil 2.4) tendon bölgelerinde daha yoğun gözlenmektedir. Ağırlık kaldırıldığında, kasın ne kadar gergin olduğunu gösteren bir reseptördür. Çok fazla kas gerginliği varsa, golgi tendon organı kasın herhangi bir kuvvet yaratmasını engeller (refleks yayı ile) ve böylece bireyleri yaralanmaya karşı korur (Fidan vd. 2019).

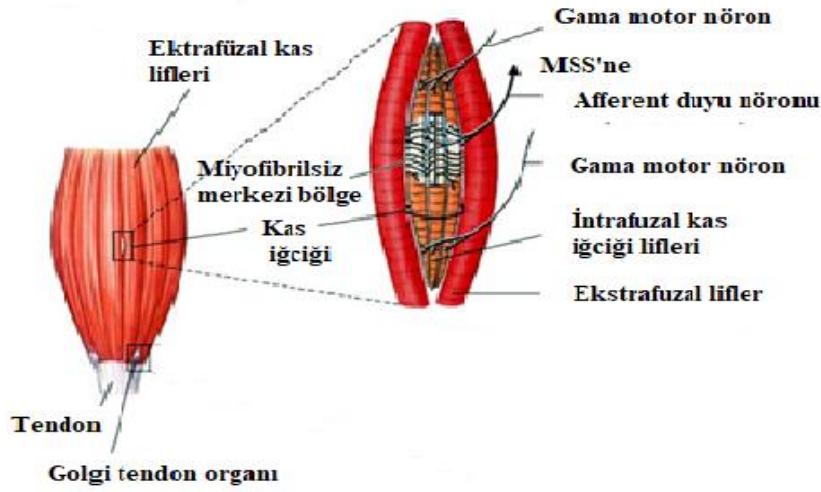


Şekil 2.4 Golgi tendon organı (Fidan vd. 2019).

2.2.1.2 Kas içiği

Fibrillere ve tendonlara yapışık halde bulunan ve kasın içindeki liflere paralel uzanan kas içikleri (Şekil 2.5) kapsüllü yapılıdır. Kas içikleri kas lifinin gerilme ve kısalmasına karşı duyarlıdır. Pasif veya aktif şekilde kasta oluşan gerilim değişimlerini santral sinir sistemine ileterek özel reflekslerin meydana çıkmasını sağlar. Örneğin germe refleksinin

uyarılması için tendona vurulduğunda kasın gerildiği ve onunla beraber kas içiğinin de gerildiği görülmektedir (Fidan vd. 2019).



Şekil 2.5 Kas içiği (Fidan vd. 2019).

2.3 Vibrasyon Fizyolojisi

Titreşim, bir cismin denge noktası etrafındaki düzensiz veya düzenli periyodik hareketlerle meydana gelen mekanik salınımdır. Herhangi bir kas veya tendona vibrasyon uygulandığında kasta meydana gelen ani refleks tonik vibrasyon refleksi olarak adlandırılır. Tonik vibrasyon refleksinin (TVR) reseptörü kas içiğidir. Tendona ve kasa titreşim uygulanmasıyla kas içiği aktivitesi arttığı görülmektedir. TVR aşamalı olarak artan istemsiz kasılmalar şeklinde meydana gelmektedir (Burke vd. 1976). Kasın tendonu üzerine uygulanan vibrasyon aracılığıyla kas içiğinin yeterli aktivasyonu sağlandığında, eklem pozisyon değişiklikleri algılanabilir. Bir eklem konum, hareket veya üzerine etkiyen güçlerin algılanmasında vibrasyon duyusu da diğer derin duyular kadar önemlidir. Yüksek frekanstaki vibrasyon pacini cisimciği (ayak ve elin derisinde bulunan basınç duyusunu algılayan mekanoreseptörler) düşük frekanslı vibrasyon ise meissner cisimciği (avuç içi, taban ve dudak gibi kılsız bölgelerde bulunan, dokunma uyarılarına cevap veren mekanoreseptörler) ile algılanarak propriyoseptif sürece katılmaktadır.

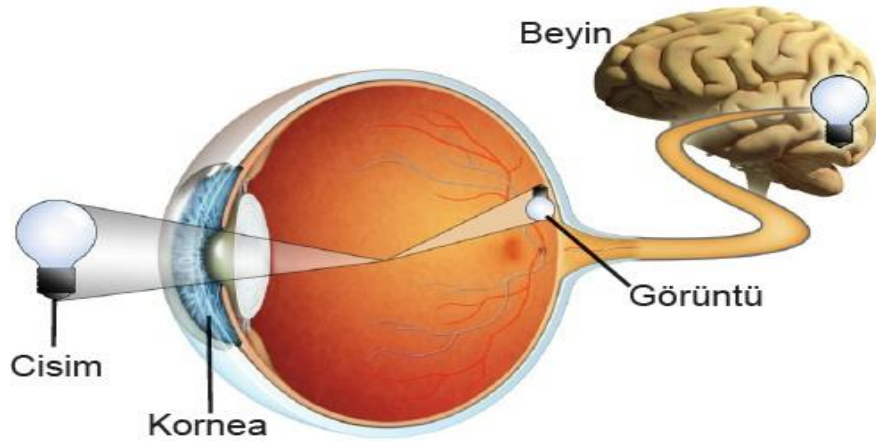
Titreşim kemik ve kas ağrısının azaltılmasında, kemik mineral kaybının azaltılmasında ve kuvvet hissini artırılmasında etkili olduğu için tedavi ve rehabilitasyon yöntemi olarak fizik tedavi ve tıp alanlarında da kullanılmaktadır. Aynı zamanda spor ve egzersiz

bilimlerinde de titreşim özel bir antrenman ve egzersiz yöntemi olarak tercih edilmektedir. Titreşim uygulaması ile kuvvet antrenmanının birleştirilmesi kuvvet artırımında etkili olmaktadır (Kin-İşler 2007).

Literatürde vibrasyon egzersizlerinin denge üzerinde olumlu etkileri olduğunu gösteren çalışmalar bulunmaktadır. Yapılan incelemelerde tüm beden vibrasyon (TBV) antrenmanlarının dengeyi geliştirdiği belirtilmiştir. TBV antrenmanları genellikle rehabilitasyon ve atletik performansı artırmak amacıyla kullanılmaktadır (Kaçoğlu 2019).

2.4 Görme Duyu Sistemi

Görme sistemi merkezi sinir sisteminin bir parçasıdır. Görme olayının (Şekil 2.6) gerçekleşmesi için ortamın ya da cismin ışık kaynağı ile aydınlanması gerekir. Cisimden yansıyan ışık gözde bulunan saydam tabakaya gelir ve burada kırılma olayı gerçekleşir. Kırılan ışık ışınları göz bebeğine gelir ve ışığın miktarına göre irisin boyunu ayarlar. Göz bebeğinden geçerek göz merceğine gelen ışınlar burada tekrar kırılır ve ağ tabakadaki sarı benek üzerine düşerek ters görüntü meydana gelir. Bu ters görüntü görme hücreleri ile görme duyu sinirlerine aktarılmaktadır. Görme duyu merkezinde görüntüyle ilgili bilgiler değerlendirilir ve beyin tarafından ters görüntü düzeltilir. Görme duyu sistemi sadece görme için değil aynı zamanda postürün korunması için denge mekanizmasında da görev almaktadır.

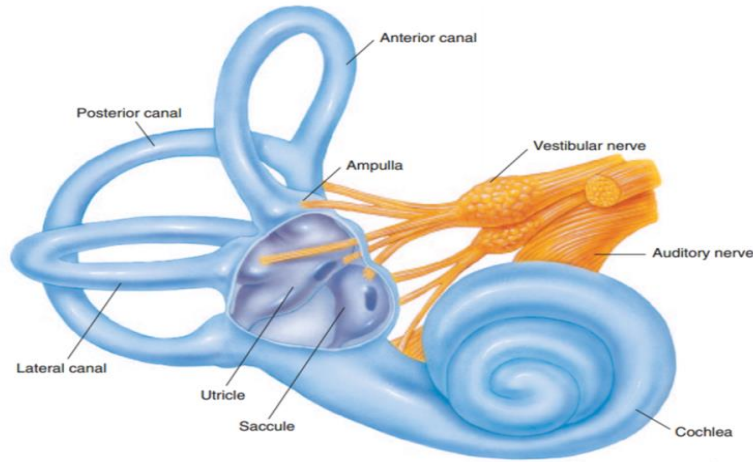


Şekil 2.6 Görme olayı (İnt. Kyn. 2).

Normal gören bireylere göre görme engelli bireyler görsel geri bildirim alamadığı için postüral kontrol ve denge durumlarını korumada zorluk yaşamaktadır. Görme sisteminde problem olan kişiler uzaydaki vücut pozisyonunu ve postüral dengeyi sağlamak için vestibüler sistem ve proprioseptif duyu sisteminden gelen verilere ihtiyaç duyarlar. Bu kişiler, çevreden gelen işitsel uyarılarla ve zemin algısı ile denge kontrolünü gerçekleştirirler (Akınoğlu 2018).

2.5 Vestibüler Sistem

İnsanlarda işitme olayı sesin kulak kanalına girmesiyle ve burada ilerleyerek kulak zarına çarpması ile başlamaktadır. Kulak zarı akustik ses dalgalarındaki değişime bağlı olarak örs, çekiç ve üzengi kemiklerini hareket ettirir. Üzengi kemiğindeki harekete bağlı olarak kulak sıvısı orta kulak içine akarak ses sinir hücrelerinde biyoelektriksel potansiyele dönüştürülerek beyin tarafından seslerin algılanması sağlanır. Vestibüler sistemde denge iç kulakta bulunan (Şekil 2.7) yarım daire kanalları semisirküler, utrikül ve sakkülden oluşmaktadır. Bu yapılar ile beraber çalışarak başın hareketlerini ve uzayda bulunduğu konumla ilgili bilgileri beyine iletirler. Vestibüler sistemde temel olarak semisirküler kanallar açısal hareketlere, utrikul ve sakkül ise yerçekimi ve lineer hareketlere karşı duyarlıdır (Şahin 2019).



Şekil 2.7 İnsan kulağı yapısı (Şahin 2019).

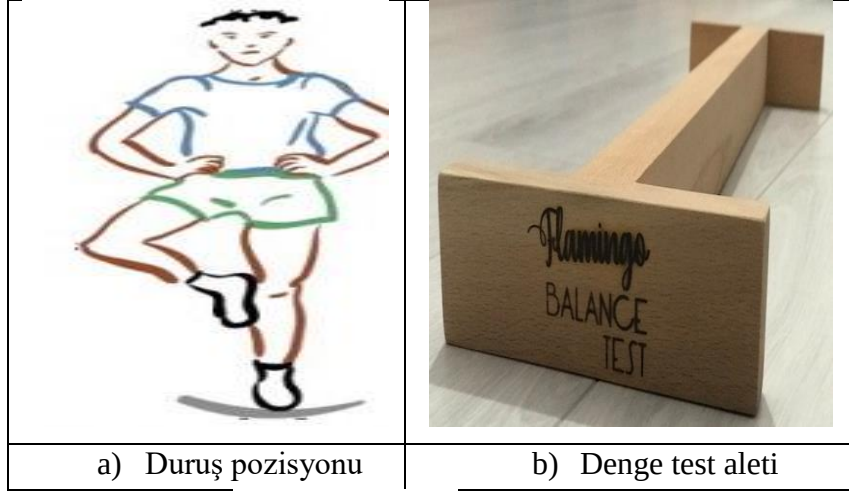
2.6 Denge Ölçüm ve Egzersiz Sistemleri

Nörolojik ve fizyolojik hastalıklardan dolayı meydana gelen denge bozukluğunun seviyesini tanımlamak veya sporcunun denge kapasitesinin belirlenmesi için geliştirilmiş denge ölçüm ve test sistemleri bulunmaktadır. Statik denge ölçümlerinde genellikle flamingo denge testi kullanılırken dinamik denge için yıldız denge testi tercih edilmektedir. Bu testler tamamen hekimin veya antrenörün gözlemlerine dayanarak yapılmakta olup test sonucunda sayısal ölçüm sonucu verilmemektedir. Bunların yanında teknolojinin gelişmesiyle birlikte farklı denge ölçüm ve egzersiz sistemleri de geliştirilmiştir. Bu sistemlerde sensörler ile ölçüm yapılmakta ve geliştirilen arayüz programları ile egzersizler yaptırılarak denge durumunun geliştirilmesi sağlanmaktadır.

2.6.1 Flamingo Denge Testi

Statik dengenin ölçümlenebilmesi için geliştirilmiş kolay ve ekonomik bir test (Şekil 2.8a) metodudur. Test için 50 cm uzunluğunda, 5 cm yüksekliğinde ve 3 cm genişliğinde ahşap kiriş 4 cm genişliğinde ve 15 cm uzunluğunda iki ahşap destek ile sabitlenerek (Şekil 2.8b) kullanılmaktadır. Testin daha güvenilir olması amacıyla, denge materyalinin sabit kalabileceği, düz ve kaygan olmayan bir zemin kullanılmaktadır (Tsigilis vd. 2002).

Test yapılan kişi, seçili ayağı ile denge materyali olan kirişin üzerine çıkar ve test öncesi test yöneticisinden destek alarak dengesini sağlar ve doğru pozisyonu alır. Daha sonra boşta kalan ayak dizden arkasına doğru bükülerek aynı yöndeki el ile tutulur. Teste başladığında zamanlayıcı çalıştırılır ve her denge bozulduğunda (yerle temas etme, ayağını bırakma) zamanlayıcı durdurulur ve hazır olduğunda tekrar başlatılır. 60 s süre içindeki toplam denge kaybetme sayısı kaydedilir (Erdoğan vd. 2016).



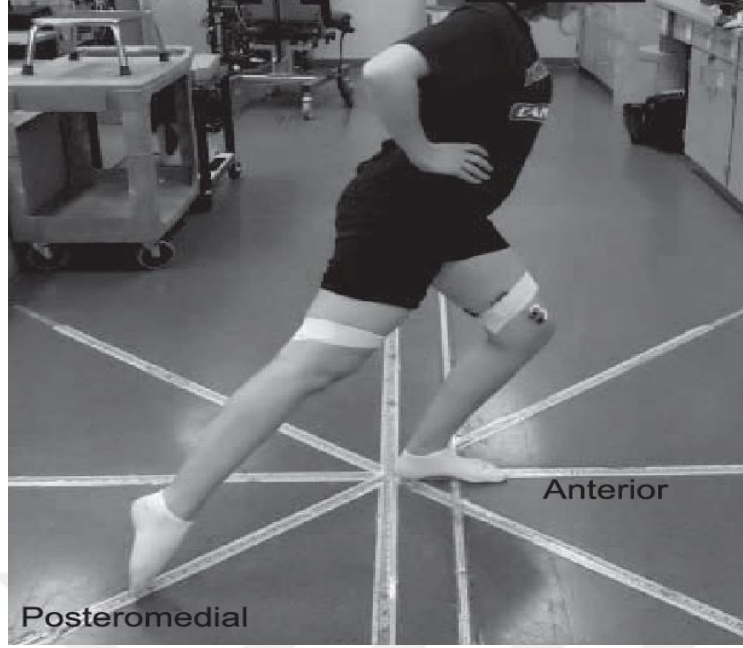
Şekil 2.8 Flamingo denge testi (Tsigilis vd. 2002).

2.6.2 Yıldız Denge Testi

Yıldız denge testi alt ekstremitelerde meydana gelen sakatlık ve yaralanmaları değerlendirmek için geliştirilmiş bir test yöntemidir. Şekil 2.9’da görüldüğü gibi bu test, 8 farklı yöne doğru çizilmiş hattın orta noktası üzerinde destek ayağı ortada kalacak şekilde diğer ayağın bu yönlerle uzanma mesafesinin ölçülmesini içermektedir. Belirlenen zemine, 2 metre uzunluğunda aralarında 45 derecelik açılar oluşturacak şekilde hazırlanmış 4 adet şerit yapıştırılır. Test uygulayan kişi çıplak ayaklı olması gerekmektedir. Kişi yıldız şeklinin tam ortasında yani çizgilerin kesiştiği noktada bekler ve eğer sol ayak uzanma ayağı olarak seçilmişse, test yönü saat yönünün tersinedir. Sağ ayakta ise saat yönüne doğru hareket edilir. Test esnasında eller belde olmalı ve test süresince ellerin konumu değişmemelidir. Eğer pozisyon bozulursa, kişi ellerini beline tekrar koyar ve kaldığı çizgiyi tekrar ederek ve teste devam eder. Bu testte yapılan hatalı davranışlar;

- Zemine dokunduktan sonra tekrar başlama pozisyonuna dönmek,
- Ellerin belden ayrılması,
- Zemine dokunmak yerine basmak ve ağırlık merkezini değiştirmek
- Dengenin bozulması,
- Doğru yöne doğru uygulamamak,

şeklinde sıralanabilir.



Şekil 2.9 Yıldız denge testi (Erdoğan vd. 2016).

Kişi doğru pozisyonu aldıktan sonra ayağı ile uzanabildiği yere kadar uzanır ve ayak parmak ucu ile şerit üzerine hafifçe dokunur. Sonra tekrar başlama pozisyonuna geçer. Ardından diğer çizgiye geçilir ve bütün çizgiler bu şekilde tamamlanır. Test yöneticisi her defasında test katılımcısının dokunabildiği en uzak noktaya daha sonra ölçebilmek için bir işaret koyar. Sol ayakla tüm süreç 3 defa tekrar edildikten sonra sağ ayağa geçilir ve yine 3 defa tekrarlanır. Katılımcının test sonunda ulaşılan mesafeleri kayıt edilir. Testin en verimli olduğu alan alt ekstremité problemlerinin tespiti ancak sporda dinamik denge performansını ölçmek için de etkin olarak kullanılmaktadır (S. Erdoğan vd. 2016).

2.6.3 Bilgisayar Destekli Postürografi

Teknolojinin ilerlemesiyle gözleme dayalı testlerin yanı sıra sayısal sonuçlar elde edilebilecek denge ölçüm ve egzersiz sistemleri geliştirilmiştir. Bu geliştirilen sistemler oluşturulurken farklı sensörler ve arayüz yazılımları kullanılmıştır. Postüral dengesizlik; periferik vestibüler bozukluklar, dejeneratif nörolojik bozukluklar (Parkinson hastalığı, MS vb.) psikolojik rahatsızlıklar, kas iskelet sistemi hastalıkları gibi durumlardan kaynaklanmaktadır.



Şekil 2.10 Postürografi cihazı (İnt. Kyn. 3).

Kronik dengesizlik şikayeti; baygınlık, yüksek oranda düşme, işlevsel yetersizlikler ile ilişkilidir. Hastanın dengesindeki sorun, temel ölçüm cihazları ve gözleme dayanan basit denge testleri ile belirlenebilmektedir. Denge sorunlarının altında yatan duyuşsal ve motor bozukluklarının kombinasyonlarını belirlemek için objektif ölçümler, görsel şartlar, destek yüzeyinin kontrolü ve doğru zamanlanmış harici sarsıntı verilen bilgisayarlı dinamik postürografi (BDP) kullanılmaktadır. Bu sistemler (Şekil 2.10) denge sisteminin yetersizlikleri ile ilişkili olan sistem bozukluklarını belirlemek ve ayırt etmek için kullanılmaktadır (Aksoy vd. 2011).

Günümüzde en sık kullanılan Bilgisayarlı Dinamik Postürografi cihazı NeuroCom firmasının üretmiş olduğu EquiTest sistemidir. 1984 yılında piyasaya sürülmüş ve o zamandan beri gelişerek kullanılmaktadır. Bu sistem ilk olarak uzay uçuşun astronautlarda vestibüler ve denge kontrolü üzerindeki etkilerini değerlendirmek için NASA desteği ile geliştirilmiştir. Daha sonra Ulusal Sağlık Enstitüsü'nden (NIH) destek alarak hastalığın denge ve hareketlilik işlevleri üzerindeki etkilerini incelemek için kullanılmıştır. NeuroCom firmasının geliştirmiş olduğu farklı model postürografi sistemlerinin özellikleri Şekil 2.11'de verilmiştir.

NEUROCOM ÜRÜN MATRİSİ							
		VSR Sport	Balance Master	SMART Balance Master	EquiTest	SMART EquiTest	CRS SMART EquiTest
	Ürün Kategorisi		Statik	Dinamik			
	Standardize Değerlendirme Protokolleri	VSR	BALANCE MASTER	EQUITEST			
SENSORY	Duyu Organizasyon Testi			✓	✓	✓	✓
	Kafa Sarsıntı-Duyusal Organizasyon Testi(HS-SOT)			Optional	Optional	Optional	Optional
	Duyu Etkileşiminin Modifiye Klinik Testi Bakiye (mCTSIB)	✓	✓				
VOR	Dinamik Görme Keskinliği (DVA) Testi	Optional					
	Bakış Dengeleme Testi (GST)						
AUTO. MOTOR	Uyum Testi (ADT)			✓	✓	✓	✓
	Motor Kontrol Testi (MCT)				✓	✓	✓
VOL. MOTOR	Kararlılık Sınırları (LOS)	✓	✓	✓		✓	✓
	Ritmik Ağırlık Değişimi (RWS)	✓	✓	✓		✓	✓
	Ağırlık Taşıyan Çömelme (WBS)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
FUNCTIONAL LIMITATIONS	Kararlılık Değerlendirme Testi (SET)	✓	Optional				
	Tek Taraflı Duruş (UŞ)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Ayakta - Oturma (STS)		✓	Optional - These Protocols require the Long Force Plate Option NCM-LFP**			
	Boyunca Yürüyüş (WA)		✓				
	Tandem Yürüyüşü (TW)		✓				
	Adım / Hızlı Dönüş (SQT)		✓				
	Yukarı / Yukarı Adım (SUO)		✓				
	İleri Akciğer (FL)		✓				
REHAB	Dizi Eğitimi: Oturmaltı, Ağırlık Kaydırma, Kapalı Zincir ve Hareketlilik	✓	✓	✓		✓	✓
	Özel Eğitim		✓	✓		✓	✓
RESEARCH	Araştırma Modülü	Optional D.A.Ta Toolkit					✓

Şekil 2.11 Postürografi cihazı özellikleri (İnt. Kyn. 3).

2.6.4 Oyun Tabanlı Egzersiz Sistemleri

Postür ve dengeyi geliştirmek için birçok oyun tabanlı egzersiz sistemi gerçekleştirilmektedir. Bu sistemlerden birisi olan Wii Denge Tahtası (WBB) bir video oyun denetleyicisi olarak tasarlanmıştır. Wii nintendo firmasının geliştirdiği bir oyun konsoludur. WBB kuvvet dağılımı ile ilgili bilgi sağlayan dört dönüştürücü içermektedir. WBB ile oyun konsolu arasında normalde komut ve veri alışverişi için kullanılan kablosuz iletişim protokolü bulunmaktadır ve bu nedenle uygun yazılıma sahip herhangi bir cihaz WBB sensörlerinden gelen verileri işleyebilmektedir. Sistem, gelen verileri kullanıcılara grafiksel geri bildirim olarak sunmaktadır (Young vd. 2011).



Şekil 2.12 Oyun tabanlı denge sistemi (Young vd. 2011).

2.7 Literatür Taraması

Bu tez çalışmasında literatür taraması, ulusal ve uluslararası çalışmalar olmak üzere iki farklı başlık altında toplanmıştır. Yapılan tarama ile ortaya çıkan ürünler ve bu ürünlerin geliştirilmesi için nasıl bir yol izlendiği araştırılmıştır.

2.7.1 Ulusal Çalışmalar

2011 yılında Aksoy tarafından yapılan çalışmada, konjenital sensörinöral işitme kaybı olan çocukların postüral dengesi araştırılmıştır. Çalışmaya, normal işiten (Grup 1) 20 çocuk ve konjenital sensorinöral işitme kaybı olan (Grup 2) 30 çocuk katılmıştır. Katılımcıların denge durumu BDP ile ölçülmüştür. Yapılan BDP sonucuna göre Grup 1 ve Grup 2'deki çocukların birleşik denge puanları, görsel oran, vestibüler oran ve görsel üstünlük oranları arasında anlamlı fark olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda konjenital sensörinöral işitme kaybı olan bireylerin BDP ile sınıflandırılabilceği görülmüştür (Aksoy 2011).

2015 yılında Tükel'in yapmış olduğu tez çalışmasında görme engelli judocuların denge performansları incelenmiştir. Judo sporun en önemli hususlardan biri dengedir. Görme engelli judocular rakiplerini hissedip tutarak dengelerini bozarlar ve etkisiz hale getirirler. Bu şekilde kontrol altına almaları için branşlarına özgü özel ve bireysel antrenmanlar yaparak gelişmeyi arttırırlar. Bu amaçla yapılan egzersizler ve çalışmalar görme engelli

judocuların hızlı karar verme kabiliyetini, beden ve zihin gelişiminin yanı sıra denge gelişimine de katkıda bulunmaktadır (Tükel 2015).

2015 yılında Huri ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada görme yetersizliği olan ve olmayan kişilerin denge durumları karşılaştırılmıştır. Çalışmaya görme yetersizliği olmayan , hafif görme yetersizliği olan ve orta seviye görme yetersizliği olmak üzere 74 kişi üç gruba ayrılmıştır. Gonyometrik ölçüm ile normal eklem hareketi, kas testi ile kas gücü ile ve Berg Denge Testi (BDT) ile fonksiyonel denge değerlendirilmiş ve gruplar istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Sonuçta görme yetersizliği fazla olan grupta denge durumunun daha düşük olduğu görülmüştür (Huri vd. 2015).

2016 yılında Erdoğan ve arkadaşları statik ve dinamik denge egzersizlerinin alt ekstremité üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Deneklere statik denge ölçümü için flamingo denge testi ve dinamik denge ölçümü için yıldız denge testi uygulanmıştır. Çalışma sonucunda egzersizlerin alt ekstremité kas stabilizasyonunu arttırdığı ve dinamik denge egzersizlerinin statik denge egzersizlerine göre denge performansında daha az etkili olduğu kanıtlanmıştır (Erdoğan vd. 2016).

2016 Tekin'in yapmış olduğu tez çalışmasında serebral palsili çocuklarda nörogelişimsel tedavinin denge ve postüral kontrol üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışmaya 15 sereral palsili (SP) çocuk katılmıştır. Çocukların denge yetenekleri Pediatrik Denge Skalası (PDS) Modifiye Kalk ve Yürü testi (MKYT), 1 Dakika Yürüme Testi (1DYT) kullanılarak değerlendirilmiştir. SP'li çocuklara 8 haftalık nörogelişimsel tedavi tabanlı yoğun postüral kontrol ve denge eğitimi uygulanmıştır Katılımcılar program öncesinde ve sonrasında değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda 8 haftalık eğitimin diparetik veya hemiparetik SP'li çocuklarda denge ve postüral kontrolü geliştirildiği ve fonksiyonel bağımsızlığı ve fonksiyonel motor seviyeyi geliştirmede etkili olmuştur (Tekin 2016).

2017 yılında Ateş ve arkadaşları denge antrenmanlarının sakatlık sonrası rehabilitasyon programında veya sportif performansı arttırmak amacıyla uygulandığını ve denge antrenmanlarının gerekliliğini belirtmişlerdir (Ateş vd. 2017).

2018 yılında Demir ve arkadaşları nintendo wii video oyunu ve denge tahtası ile yapılan denge antrenmanlarının statik denge gelişimlerdeki etkisini karşılaştırmıştır. Araştırma sonucunda hem denge tahtası hem de nintendo wii video oyunlarının çocuklarda statik dengeyi geliştirdiğini ispatlamışlardır. Bu araştırma, denge antrenmanları kadar aktif video oyunlarının da etkili olduğunu göstermektedir. Dengeyi geliştirmek amacıyla aktif video oyunları alternatif bir yöntem olarak kullanılabileceği araştırmacılar tarafından önerilmektedir (Demir vd. 2018).

2018 yılında Akınoğlu ve arkadaşları tarafından goalball sporcularında görmenin ve ayakkabının denge durumundaki etkileri araştırılmıştır. Çalışmaya 16-26 yaş aralığında ve görme keskinlikleri B1-B3 olan gönüllü 9 kadın goalball sporcusu katılmıştır. Sporcuların stabilite ve tek ayak üzerinde denge testleri Human Body Equilibrium 360 ile ölçülmüştür. Ayakkabılı ve ayakkabısız olarak yapılan denge testleri sonucunda, ayakkabının goalball sporcularında dengeyi pozitif yönde etkilemediği hatta ayakkabı varlığının goalball sporcularının dengelerini negatif etkilediği belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışma ile görmenin denge üzerine pozitif etkileri olduğu kanıtlanmıştır (Akınoğlu vd. 2018).

2.7.2 Uluslararası Çalışmalar

2009 yılında Federica ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmanın amacı, köpük pedlerin standart postürografi ve ayakta durağan posturografi parametrelerinin değişkenliğini tanımlamaktır. Dört sağlıklı durumda gözler açık (EO) ve gözler kapalı (EC), köpük pedli ve köpük pedsiz olacak şekilde 50 sağlıklı denek statik posturografi ile incelenmiştir. Kuvvet platformuna yerleştirilen iki farklı tipte kauçuk köpük ped ile kararsız testler yapılmıştır. Duyusal oranlar; vestibüler, görsel ve somatosensör girdilerin göreceli katkılarını ölçmek için dinamik posturografiden uyarlanan dört farklı koşul arasındaki salınım uzunluğu oranı ile hesaplanmıştır.

2012 yılında Cheng ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada bilgisayarlı dinamik posturografi ve klinik denge testlerinin bileşik denge puanlarını ilişkilendirilerek düşmelerin tahmin edilmesi araştırılmıştır. Çalışmaya baş dönmesi şikayeti olan toplam

60 hasta dahil edilmiştir. Hastalara duyuşal organizasyon testi (SOT), Timed Up ve Go testi(TUG), Tinetti Performans Odaklı Mobilite Deęerlendirmesi(POMA) ve klinik değerlendirmeler yapılmıştır. Her hastanın görsel analog skalası (VAS) ile ölçülen baş dönmesi şiddeti, yaşı ve subjektif hissi de kaydedilmiştir. İstatistiksel analiz, kompozit denge skoru ile TUG,POMA (yürüyüş, denge ve toplam skorlar) ve DGI arasında anlamlı bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur (Cheng vd. 2012).

2016 yılında Llorens ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada kuvvet platformları içeren postürografi sistemlerinin geleneksel klinik testlerden daha fazla hassasiyet ve objektiflikle değerlendirdiğı öne sürölmektedir. Önerilen savun kanıtlamak için bir grup denek WiiBalance Board (WBB) tabanlı sistemle iki kez testten geçirilmiştir. Çalışmaya toplam 144 sağlıklı birey ve 53 inmeli birey katılmıştır. Sonuç olarak WBB tabanlı posturografi sistemin bireylerin denge performansını belirlemek için klinik araç olarak kullanılabileceğini ön görölmüştür (Llorens vd. 2016).

2016 yılında Duenas ve arkadaşları tarafından yapılan çalışma düşme korkusu (FoF) dahil olmak üzere posturografik parametreler ile düşme ile ilişkili risk faktörleri arasındaki ilişkiyi analiz etmeyi amaçlamıştır. 41 yaşlı yetişkin, düşme riski faktörü olarak kabul edilen problemleri algılamaları üzerine araştırılmıştır. Posturografi ile denge ölçümü yapılmıştır. Risk faktörleri ve düşmeler ile risk faktörleri ve posturografi arasındaki ilişkiler sırasıyla çapraz tablolama ve lojistik regresyon ile analiz edilmiştir. Deney sonuçları, bazı posturografik parametreler ile çeşitli düşme riski faktörleri arasında anlamlı bir ilişki olduğunu göstermiştir. Kararlılık sınırları FoF ile ilişkili çıkmıştır ve Romberg testinden elde edilen ve köpüklü ve köpüksüz, gözler açık ve kapalı, diz çökme, çömelme problemleriyle ilişkili çıkmıştır. Gözler kapalı ve köpüklü Romberg testinin sonuçları osteoartrit ile korelasyon göstermiştir. Sonuç olarak posturografi, üç önemli düşme risk faktörüne (FoF, osteoartrit ve diz çökme / çömelme problemleri) ilişkin düşme riski koşullarının tahmininde yararlıdır ve farklı kullanımdan sonra ilerlemeyi hedeflemek, eğitmek ve incelemek için kullanılabilir olduğu görölmüştür (Duenas vd. 2016).

2018 yılında Prasad ve arkadaşlarının yaptığı çalışma Esantiyel Tremoru (ET) olan hastaların dinamik postürografide (DP) ince denge anormalliklerini araştırmışlardır. Çalışmada genel denge indeksi, ön-arka indeks, mediolateral indeks ve stabilite limitlerini içeren dinamik stabilite değerleri ölçülmüştür. Dinamik kararlılıkta meydana gelen bozulma zayıf statik denge kontrolünü ortaya koymuştur. Sonuç olarak dinamik postürografi ile yapılan ölçümler ET'li hastalarda başlangıç yaşı, değerlendirme yaşı veya hastalık süresi ile ilgisi olmayan önemli denge bozukluğunu ortaya koymaktadır.

2019 yılında Halmi ve arkadaşları Parkinson hastalığının (PH) ilk evrelerinde oluşan postüral dengesizliğin dinamik postürografi ile saptandığını fakat dinamik postürografi ile diskinezinin yaşa bağımlılığı veya tahmin edilemediğini belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada statik ve dinamik postürografi ile hastalığın ilk evrelerinde olan 45 PH incelenmiştir. Bu hastalar 35 sağlıklı kontrol grubu ile karşılaştırılmıştır. Diskinezi 18 hasta çalışmaya dâhil edilmiştir. 14 hasta 2 yıl boyunca takip edilerek statik ve dinamik postürografi verileri incelenmiştir. Diskinezi hastaların dengesizliği, diskinezi olmayan PH hastalarına kıyasla dinamik posturografi ile belirgin olarak ($p < 0.05$) ayrıştırmıştır (Halmi vd. 2019).

2019 yılında Surgent ve arkadaşları tarafından hazırlanan derleme çalışmasında denge ile ilişkili temel beyin yapılarının neler olduğunu cevaplamak için 37 farklı çalışma incelemiştir. Bu çalışmalar sonucunda beyin yapısını ilgilendiren 234 bulgu sağlanmıştır. Her yapı için uygulama sıklığı, çalışma tasarımı (değerlendirme, müdahale), ölçülen denge tipi (statik, dinamik), popülasyon (klinik, klinik olmayan) ve görüntüleme tekniği dahil olmak üzere spesifik metodolojik parametrelere göre incelenmiştir. Her ne kadar birçok yapı beyin genelinde denge ile ilişkili olsa da, en sık etkilenen yapılar arasında beyincik, bazal gangliyonlar, talamus, hipokampus, alt parietal korteks ve frontal lob bölgeleri olmuştur. Denge tam bir beyin fenomeni gibi görünse de, yapıların alt kümeleri dengede önemli bir rol oynamaktadır. Bu yapıların bazıları (beyincik, bazal gangliyonlar ve talamus) dengede ki rolü iyi bilinmekle birlikte hipokampus ve alt parietal korteksin dengeyle ilişkili olmadığı düşünülmektedir (Surgent vd. 2019).

2019 yılında Gorski ve arkadaşları vestibüler migren hastalığı olan kişilerin vücut dengesini statik postürografi testi ile değerlendirilmesini amaçlamıştır. Hastalığın interkritik döneminde vestibüler migrenin tıbbi tanısı olan 31 hastadan oluşan bir deney grubu ile yaş ve cinsiyete uygun 31 sağlıklı birey kontrol grubu oluşturulmuştur. Tetrax Etkileşimli Denge Sistemi (TEDS) ile salınım miktarını ölçen stabilite indeksi, ağırlık dağılımındaki sapmaları karşılaştıran ağırlık dağılım indeksi, ağırlık dağılımındaki simetriyi ölçen senkronizasyon indeksi, postürel sallanma frekansı ve düşme olasılığını ifade eden düşme riski indeksi ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sonucunda vestibüler migren hastalarında vücut dengesinin bozulduğu kanıtlanmıştır (Gorski vd. 2019).

2020 yılında Shams ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmanın amacı Tahran'da 2-18 yaş arası çocuklarda NeuroCom Smart EquiTest bilgisayarlı dinamik postürografi cihazı kullanılarak postüral kontrolün normal gelişimini araştırmaktır. Bu çalışmada duyuşal organizasyon testi (SOT) kullanılmıştır. SOT postürel kontrolde propriosepsiyon, görsel ve vestibüler sistemlerin bireysel işlevlerini değerlendirmektedir. Sonuçlar CDP için hesaplanan endekslerin yüksek güvenilirliğe sahip olduğunu göstermiştir. Basınç merkezi değişkenlerine göre 2-18 yaş arası çocuklarda (kız ve erkek çocuklar) postürel kontrol gelişiminin normatif değerleri ve postüral kontrolün normal gelişiminin karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre yetişkinler gibi, 14-16 yaşındaki gençler postüral kontrol için duyuşal sistem bilgilerini işleyebildiği, entegre edebildiği ve organize edebildiği görülmektedir (Shams vd. 2020).

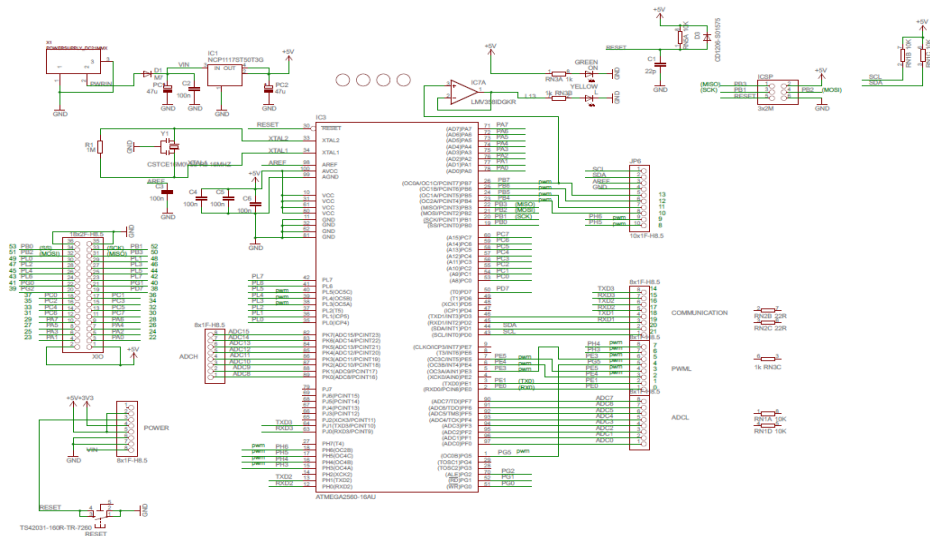
Literatür incelemeleri sonucunda, yapılan çalışmaların bütününde ölçümler veya egzersizler için var olan postürografi cihazları, oyun tabanlı denge tahtaları gibi sistemlerin kullanıldığı görülmüştür. Bu tez çalışmasında ise postür ve dengeyi ölçülendirmek ve egzersizler ile geliştirmek amacıyla yeni bir sistem gerçekleştirilmiştir. Bu sistem ile geliştirilen ara yüz yazılımları ve oyun tasarımları ile denge ölçümlerinin gerçekleştirilip analiz edilmesi ve oyunlar ile egzersiz yapılarak denge durumundaki gelişimin incelenmesi sağlanmıştır.

3. MATERYAL ve METOT

Tez çalışması temel olarak elektronik donanım, gömülü sistem yazılımı, PC yazılımı ve mekanik konstrüksiyondan kısımlarından oluşmaktadır. Bu bölümde çalışmada kullanılan materyaller ile proprioseptif duyuların geliştirilmesi için geliştirilen egzersiz ve ölçüm sisteminin tasarım ilkeleri açıklanmıştır.

3.1 Elektronik Geliştirme Kartı

Elektronik geliştirme kartları elektronik sistemlerin geliştirilmesinde tasarımcılara büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Gelişen teknolojiye paralel olarak geliştirme kartları üzerinde PLCC, QFP, QFP, SOIC vb. kılıf tiplerine sahip mikro denetleyicilerin kullanılması tercih edilmeye başlanmıştır. Bu çalışmada QFP kılıf tipine sahip 100 giriş çıkış pinine sahip Atmega2560 denetleyicisi Arduino firmasının Mega 2560 geliştirme kartı ile birlikte kullanılmıştır. Şekil 3.1 de Arduino Mega 2560'ın açık devre şeması Çizelge 3.1'de de geliştirmek kartının teknik özellikleri görülmektedir. Geliştirme kartı üzerinde Atmel firması tarafından üretilmiş ATmega2560, I pinleri, senkron ve asenkron haberleşme birimleri ile ADC ve PWM birimleri bulunmaktadır. Geliştirme kartı üzerindeki denetleyici yazılımı Arduino IDE platformu üzerinde geliştirilebilmektedir (Schubert vd. 2013).



Şekil 3.1 Arduino Mega 2560 geliştirme kartı açık devre şeması (Schubert vd. 2013).

Çizelge 3.1 Arduino Mega 2560' ın teknik özellikleri.

Parametre	Ölçüm Sonucu
İşlemci	ATmega2560
Çalışma voltajı	+5 V
Flash hafıza	256 KB
Güç tüketimi	Düşük güç tüketimi
Analog giriş pinleri	16 adet
Dijital giriş çıkış pinleri	54 adet
Haberleşme arayüzü	SPI, Uarts, I ² C, USB
Besleme gerilimi limitleri	6-20 V
Tavsiye edilen besleme gerilimi	7-12 V

3.2 İvme Sensörü

İvme sensörleri, ivmesel kuvvetleri elektriksel işarete dönüştüren elektromekanik (MEMS) algılayıcılardır. İvmesel kuvvetler, hareket etmekle ilgili olduğu gibi yerçekiminin yeryüzündeki cisimlere uyguladığı durağan ya da dinamik kuvvetlere bağlı olarak değişmektedir. Şekil 3.2a'da çalışmada kullanılan ADXL345 açısal ivmeölçer sensörünün uygulama devre şeması görülmektedir. Devre 3V-5V arası giriş gerilimi ile beslenebilir ve 3 eksene ait veriler I2C haberleşme protokolü üzerinden denetleyici birime gönderilmektedir. Elde edilen veriler ile pitch, roll ve yaw açıları (Şekil 3.2b) Denklem 3.1, Denklem 3.2 ve Denklem 3.3 ile hesaplanır (Çiçekdemir vd. 2012).

$$f_{pitch} = \frac{\text{atan2}(X\text{Axis}, Z\text{Axis})}{\pi} \times 180 \quad (3.1)$$

$$f_{roll} = \frac{\text{atan2}(Y\text{Axis}, Z\text{Axis})}{\pi} \times 180 \quad (3.2)$$

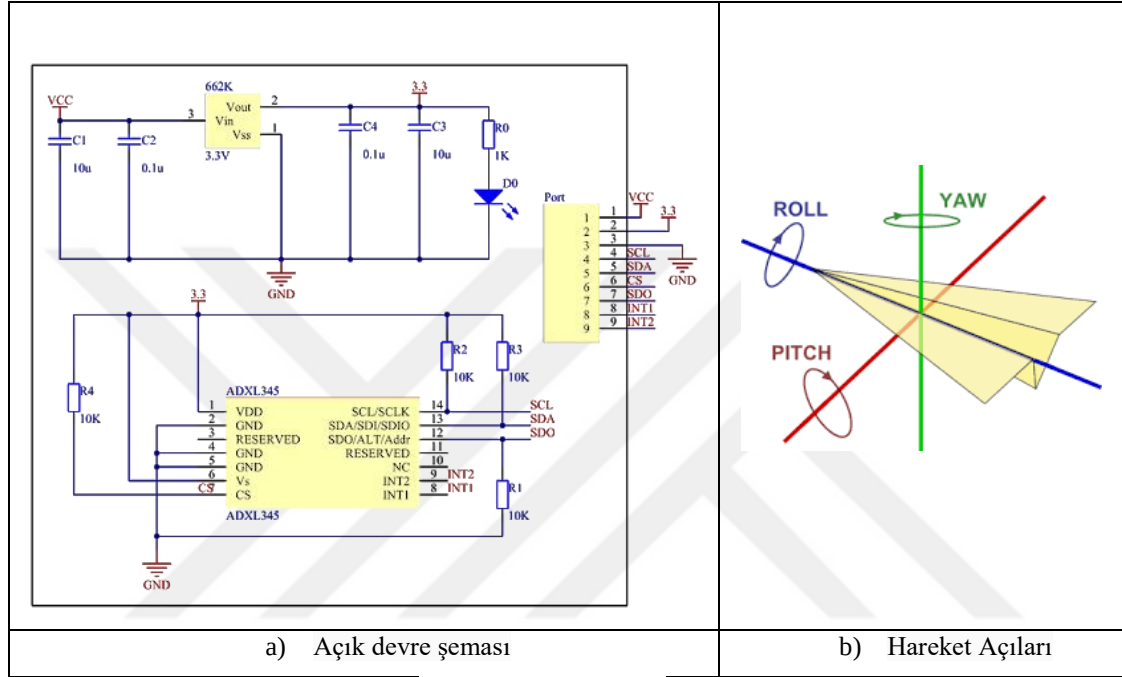
$$f_{yaw} = \frac{\text{atan2}(X\text{Axis}, Y\text{Axis})}{\pi} \times 180 \quad (3.3)$$

Yukarıda denklemlerde kullanılan parametreler;

f_{pitch} , f_{roll} , f_{yaw} : Pitch, Roll ve Yaw açıları,

$XAxis$, $YAxis$, $ZAxis$: X,Y ve Z eksenindeki sapma miktarını,

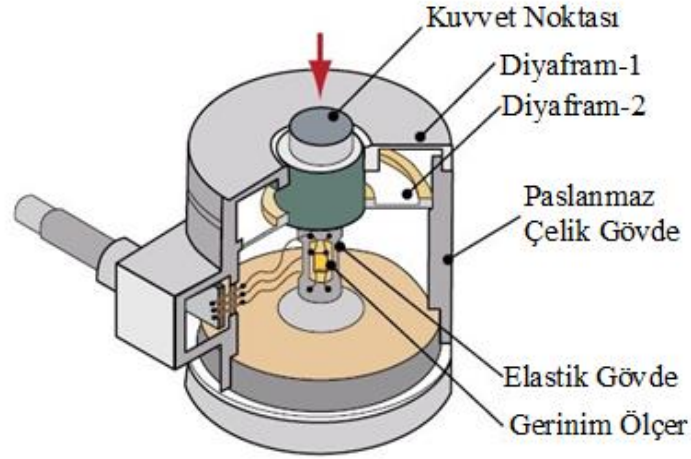
ifade etmektedir.



Şekil 3.2 ADXL345 ivme sensörü (Çiçekdemir vd. 2012).

3.3 Yük Hücresi

1938 yılında Arthur C. Ruge ve Edward E. Simmons tarafından keşif edilen yük hücresi (Şekil 3.3) bir cisim üzerine uygulanan kuvveti elektrik sinyaline dönüştürür. Gerinim ölçer tip yük hücreleri rijit yapısı sayesinde kararlı rezonans değerlerine sahip olup uzun süreli kullanıma uygundur.



Şekil 3.3 Gerinim ölçer tip yük hücresi (İnt. Kyn. 4).

Gerinim ölçer yük hücrelerinde bulunan elastik malzeme deforme olduğunda düzlemsel yüzeydeki direnç tellerinin kısalıp uzamasına bağlı olarak direnç değişikliği meydana gelir. Gerinim ölçerlerin Wheaston köprüsü ile birlikte kullanılması ile kuvvet değişimleri elektriksel sinyallere dönüştürülür. Bu çalışmada Zemic firmasının üretmiş olduğu L6E model (Şekil 3.4) numaralı 200 kg kapasiteli platform tip yük hücresi kullanılmıştır (İnt. Kyn. 4).



Şekil 3.4 Platform tipi loadcell (İnt. Kyn. 5).

3.4 Yük Hücresi Kuvvetlendiricisi

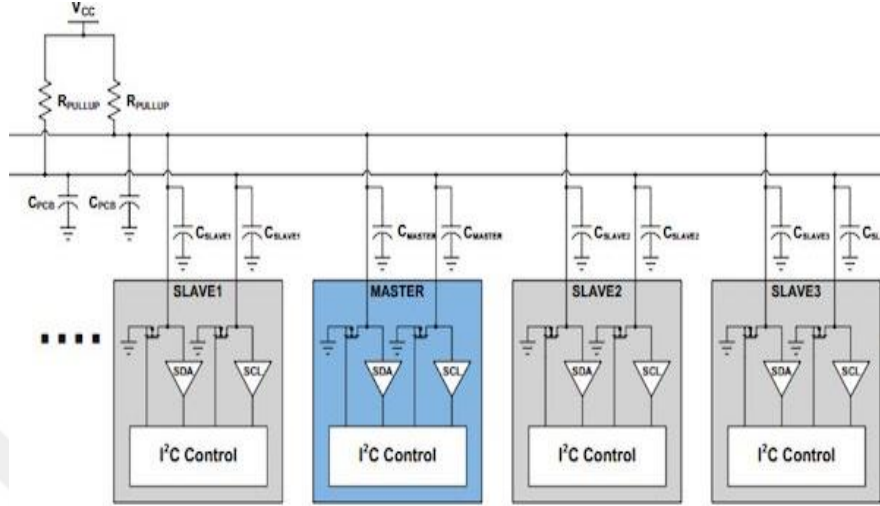
Zemic L6E'den gelen kuvvet bilgileri ile ilişkili direnç değişimleri Şekil 3.5' de açık devre şeması görülen HX711 ile ölçülmüştür. Bu entegre dirençte değişikliğini Wheatstone köprüsü ile algılamaktadır. Dirençteki bu değişiklik milivolt olarak çıkışa

aktarılmaktadır. Aktarılan bu gerilim yük hücre kuvvetlendiricisi olan HX711 entegresi ile programlanabilir kazanç yükseltici (Programmable Gain Amplifier-PGA) sayesinde yükseltilir ve analog dijital dönüştürücü (ADC) birimi sayısallaştırılır. Bu aşamadan sonra elde edilen veriye ait sayısal veriler entegre içerisinde bulunan 24 bitlik senkron seri haberleşme protokolü ile kodlanır. Kodlanmış veri denetleyici ile saat ve veri işaretlerinde zamanlamalara dikkat edilerek okunur (İnt. Kyn. 5).

Şekil 3.5 HX711 entegresinin blok diyagramı (İnt. Kyn. 5).

I2C (Inter-Integrated Circuit) seri haberleşme protokolü SDA ve SCL iki haberleşme kanalı kullanır. I2C genelde kısa mesafede veri aktarım hızının düşük olduğu uygulamalarda tercih edilmektedir. Haberleşmenin gerçekleşebilmesi için sistemde (Şekil 3.6) bir master cihaza ve en az bir tane slave (köle) cihaza gereksinim vardır. Birden fazla slave cihaz bağlanması durumunda veri aktarımının hangisinden olacağı master olarak çalışan cihaz tarafından belirlenir. Böylece birden fazla cihazla hat sayısında herhangi bir değişiklik olmadan haberleşme sağlanabilmektedir. Master ve slave cihazların iletişiminin sağlanabilmesi için toprak hatlarının mutlaka aynı olması gerekmektedir. SDA hattı cihazlar arasında veri aktarımını sağlarken SCL hattı ise aktarılan verilerin senkronizasyonunu sağlar. SCL hattında saat sinyali bulunur ve bu sinyal master cihaz tarafından üretilmektedir. Bu sinyale göre SDA hattındaki haberleşme

düzenlenmektedir. Bütün hat boyunca hatasız bir biçimde haberleşmenin sağlanabilmesi için pull-up dirençlerle SDA ve SCL hatları VCC hattına bağlanmalıdır (İnt. Kyn. 6).



Şekil 3.6 I2C haberleşme (İnt. Kyn. 6).

3.5 Vibrasyon Motoru

Vibrasyon motorları elektrik enerjisini salınım hareketine dönüştürmek amacıyla oluşturulan mekanizmaların genel adıdır. Motorun iki yanında bulunan eksantrik çekiçler sayesinde titreşim sağlanır. Vibrasyon motoru bu çalışmada proprioseptif duyuların geliştirilmesi için kullanılmıştır. Çalışmada Şekil 3.7’de görülen Hyperice firmasının üretmiş olduğu Vyper VG1 modeli kullanılmıştır. Çizelge 3.3 kullanılan vibrasyon motorunun teknik özellikleri verilmiştir (İnt.Kyn.7).

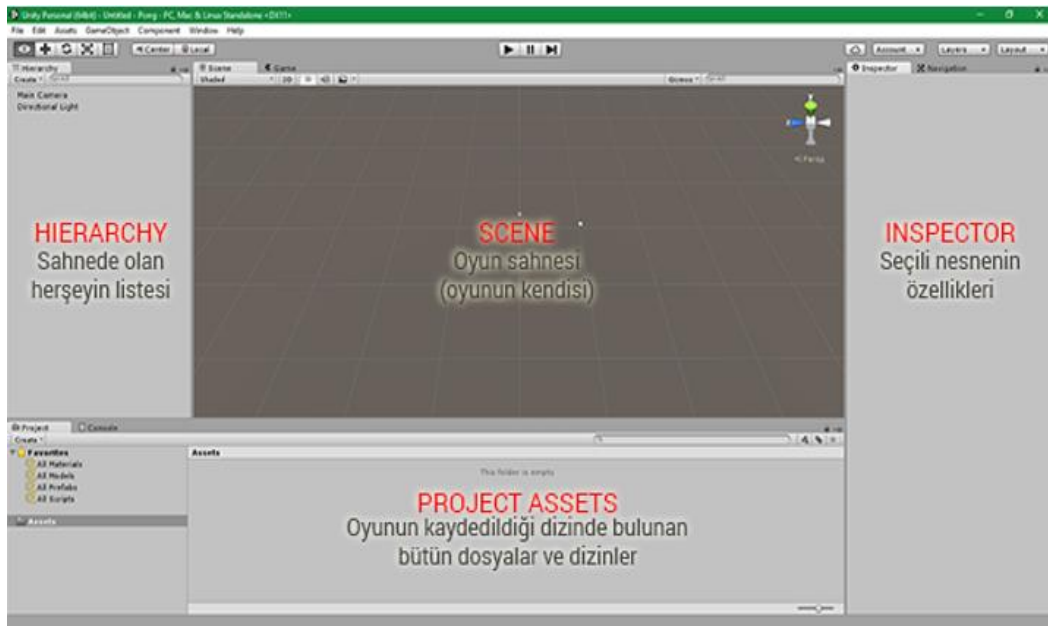


Şekil 3.7 Foam roller titreşim motoru (İnt.Kyn.7).

Bluetooth modüllerinin telefon ya da bilgisayar gibi Bluetooth özelliği olan cihazlarla bağlantı sağlayabilmesi için, ilk olarak bu cihazların Bluetooth modülüyle eşleşme yapması gereklidir. Bluetooth özelliği olan telefonlarda bu işlem normal bir telefonla eşleşme yapılır gibi gerçekleştirilir ama bilgisayar ile eşleşme gerçekleştirildiğinde bilgisayar, otomatik olarak Bluetooth modülü için COM (haberleşme portu) oluşturmaktadır. Haberleşme amacıyla kullanılacak olan bilgisayar programları da Bluetooth modülüne bu port ile bağlantı sağlayabilmektedir (İnt.Kyn.9).

3.7 Microsoft Visual Studio C# ve Unity

1950’li yıllardan başlayarak gelişmeye devam eden yazılım sektöründe farklı geliştirme platformlarının (IDE) geliştirilme süreci devam etmektedir. Microsoft Visual Studio platformu içinde yer alan C# programlama dili nesneye dayalı programlama tekniklerini kullanması ile öne çıkan bir IDE’dir. Bu platformdaki nesneler önceden sınıflar halinde yazılmış kod blokları ile oluşturulmuştur. C# programlama dili ile; DLL yazma, Windows Form Uygulamaları (Ado.Net), Konsol Uygulamaları (Console Applications), Mobil Programlama (Windows Phone), Web Form Uygulaması (Asp.Net) gibi uygulamalar geliştirilebildiği gibi yapay zekâ, Unity vb eklentilerle sinyal işleme, görüntü işleme ve etkileşimli oyun uygulamaları geliştirilebilmektedir (Aktaş 2018).



Şekil 3.9 Unity3D editör paneli (Hatipoğlu 2017).

2D ve 3D oyun geliştirme aracı olan Unity3D oyun yapmak için kullanılan programlara verilen genel isimdir. Gerçekleştirilen oyunlar Android, Windows, Linux, iOS, Playstation, Xbox vb ortamlarda çalıştırılabilmektedir. Şekil 3.13’de görülen editör paneli dört bölümden oluşmaktadır. Hierarchy bölümü, oluşturulan oyun sahnesine eklenen nesnelerin görüldüğü paneldir. Scene bölümü ise oyun alanının görüntülediği alandır. Project Assets paneli oyunda kullanabilecek olan 3D Model, Texture, Script vb. nesnelerin listelenmektedir. Inspector bölümü ise Scene veya Hierarchy panellerinden seçilen nesnelerin özelliklerinin görüldüğü ve bu özelliklerin değiştirebildiği paneldir (Hatipoğlu 2017).

3.8 Veritabanı Sistemleri

Bilgisayarlar ortamında bulunan verilerin işlenmesi ve depolanması için kullanılan dijital ortamlara veritabanı denir. Belirli bir konuda birbiriyle alakalı kayıtların toplanması olarak da tanımlanır. Veritabanlarına erişimi, yönetimi sağlayan, güvenliğini gerçekleştiren ve denetleyen yazılımlara da VTYS (veritabanı yönetim sistemi) denilmektedir. Acces, Oracle, SQL Server, Informix, Paradox veya dBase gibi VTYS yardımıyla bilgisayarın fiziksel hafızasında verileri farklı özelliklerine göre sınıflandırıp şekillendirdikten sonra işleyip saklanabilir.

3.8.1 Microsoft Access VTYS

1992 yılında ilk versiyonu kullanılmaya başlanmış Microsoft’un veritabanı yönetim sistemidir. Diğer VTYS türlerine göre Access en çok kullanılan ve kullanımı kolay olan bir veritabanı programıdır. Oluşturulan veritabanına yeni veriler girilebilir, farklı türlere göre görüntülenebilir, düzenlenebilir veya silinebilir. Access tablolar, sorgular, formlar, raporlar, makrolar ve modüller olmak üzere 6 bölümden oluşmaktadır.

Şekil 3.10’da görülen denge ölçüm programında Access veritabanında oluşturulan tabloya veriler kaydedilmiştir. Böylece hazırlanan egzersiz programına göre yapılan ölçümlerin sonuçları kaydedilip gelişimler izlenebilmektedir.

ID	TC_Kimlik_No	Ad	Soyad	Egzersiz_No	Test1_Skor	Test2_Skor	Test3_Skor
65	221225	asda	asd	2	97518		
66	2134	flm	jvöu	3			
67	63	eyş	ah	2			
68	123456789	aslı	sahan	2			
70	221225	asda	asd	2			
71	221225	asda	asd	2			
72	221225	asda	asd	2			
73	12345678999	aslı	sahan	1			
74	554848	jhj	fuff	2	8787	5444	455454

Şekil 3.10 Yük Hücreli Egzersiz ve Ölçüm Sistemi.

3.9 Proprioseptif Duyuların Geliştirilmesi İçin Egzersiz ve Ölçüm Sistemi

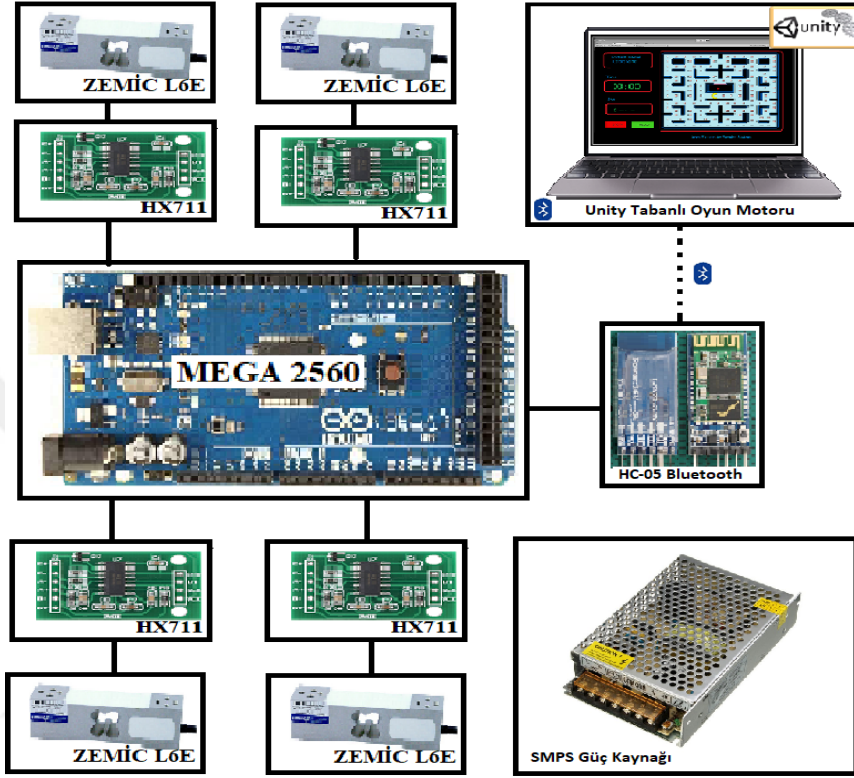
Proprioseptif duyuların geliştirilmesi için geliştirilen egzersiz ve ölçüm sistemi donanım, yazılım ve mekanik olmak üzere üç temel bölümden oluşmaktadır. Aşağıda bu bölümlerin tasarımları ve genel çalışma prensipleri açıklanmıştır.

3.9.1 Yük Hücreli Egzersiz ve Ölçüm Sistemi Tasarım Mimarisi

Şekil 3.11’de proprioseptif duyuların yeterliliklerini yük hücreleri ile egzersiz ve ölçümünü yapan sistemin genel blok diyagramı görülmektedir. Gerçekleştirilen sistem mekanik, donanım ve yazılım olmak üzere üç temel bölümden oluşmaktadır.

Mekanik sistemin dört bir köşesine yerleştirilen Zemic L6E yük hücresi ile vücudun ağırlık merkezindeki savrulması ölçülmektedir. Yük hücresi ve HX711 ile ölçülen 4 farklı ağırlık bilgisi I2C protokolü üzerinden mikrodenetleyiciye (uC) aktarılır. Aktarılan dört farklı ağırlık verisi uC yazılımında işlenerek vücut ağırlık merkezinin platform merkezine göre sapma miktarı ve sapma açısı hesaplanmaktadır. Kutupsal forma dönüştürülen işlenmiş veri 2.4GHz çalışma frekanslı Bluetooth 2.0 üzerinden 9600bps hızında PC

yazılımına kablosuz olarak gönderilir. PC'ye aktarılan veriler C# platformunda hazırlanmış form uygulaması ve Unity3D oyun motorundaki imleçlerin kontrolünü sağlamaktadır.

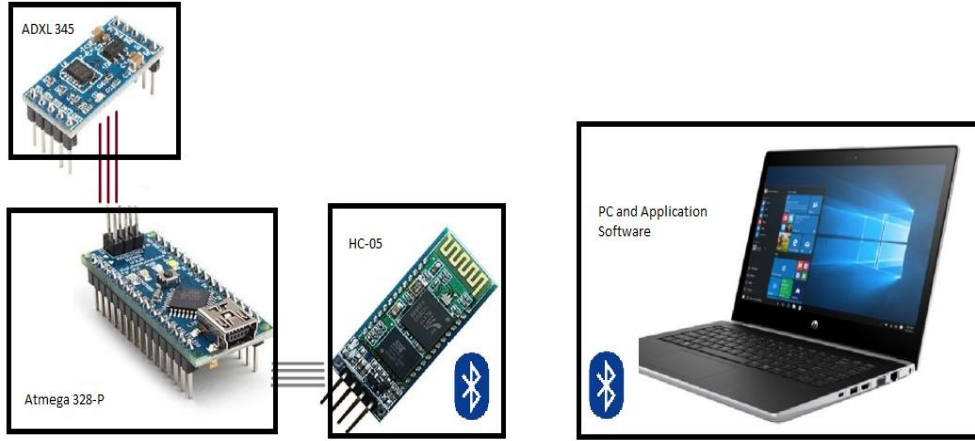


Şekil 3.11 Yük Hücreli Egzersiz ve Ölçüm Sistemi.

3.9.2 İvme Sensörlü Egzersiz ve Ölçüm Sistemi Tasarım Mimarisi

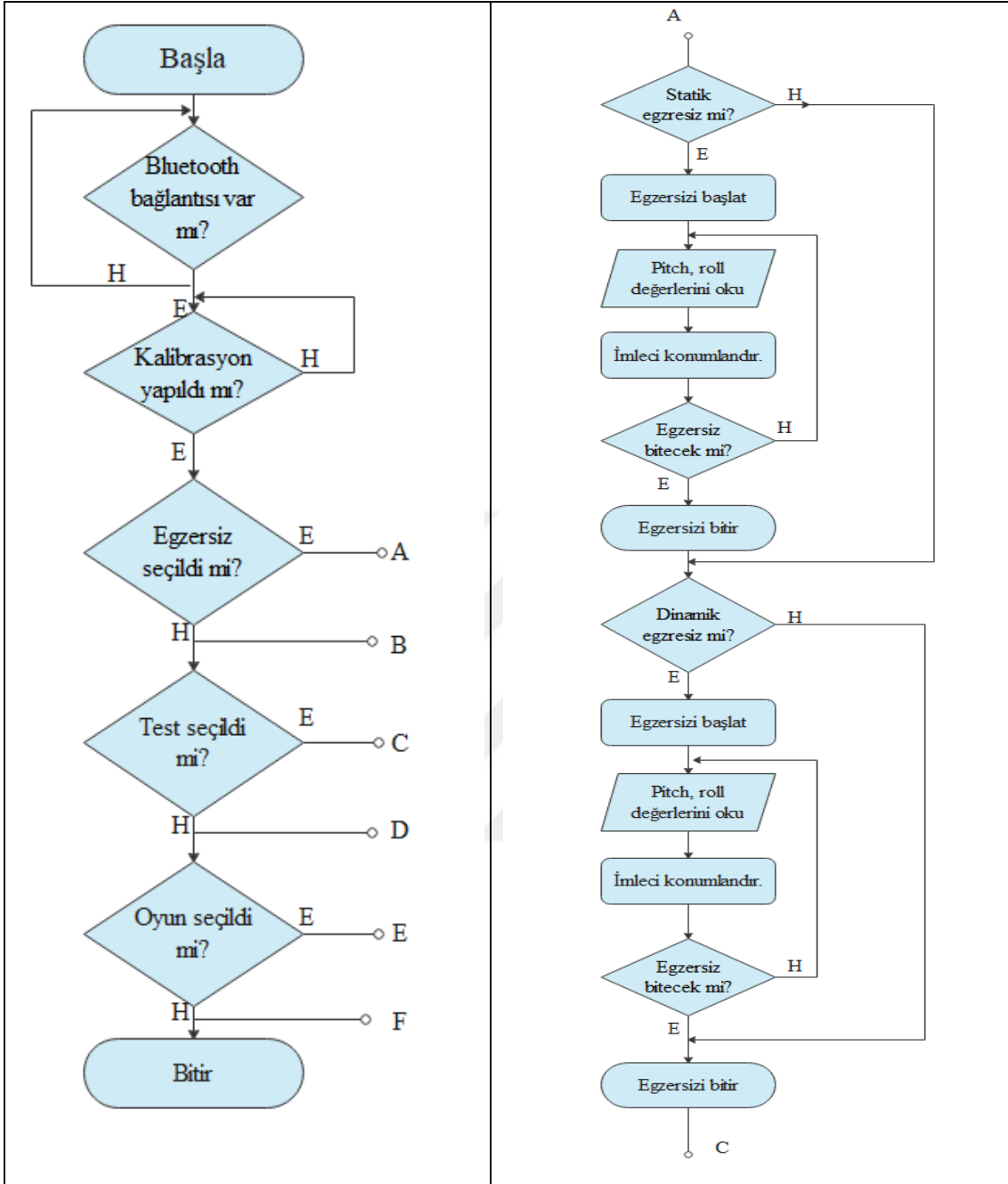
Şekil 3.12'de propriozeptif duyuların yeterliliklerini ivme sensörü ile egzersiz ve ölçümünü yapan sistemin genel blok diyagramı görülmektedir. Gerçekleştirilen sistem mekanik, donanım ve yazılım olmak üzere üç temel bölümden oluşmaktadır. Vücudun denge merkezinden sapmasını ölçen ADXL345 ivme sensörü tarafından alınan veriler, seri senkron iletişim yoluyla Atmega328-p denetleyicisine aktarılır. İletilen veriler Denklem 3.1, Denklem 3.2 ve Denklem 3.3 eşitliklerinde kullanılarak pitch, roll ve yaw açıları hesaplanmaktadır. Gelen ham veri ve açı bilgileri uC yazılımında işlenerek vücut ağırlık merkezinin platform merkezine göre sapma miktarı ve sapma açısı belirlenmektedir. Kutupsal forma dönüştürülmüş bu veriler 2.4GHz çalışma frekanslı Bluetooth 2.0 üzerinden 9600bps hızında PC yazılımına kablosuz olarak gönderilir. PC'

ye aktarılan veriler C# platformunda hazırlanmış form uygulaması ve Unity3D oyun motorundaki imleçlerin kontrolünü sağlamaktadır.

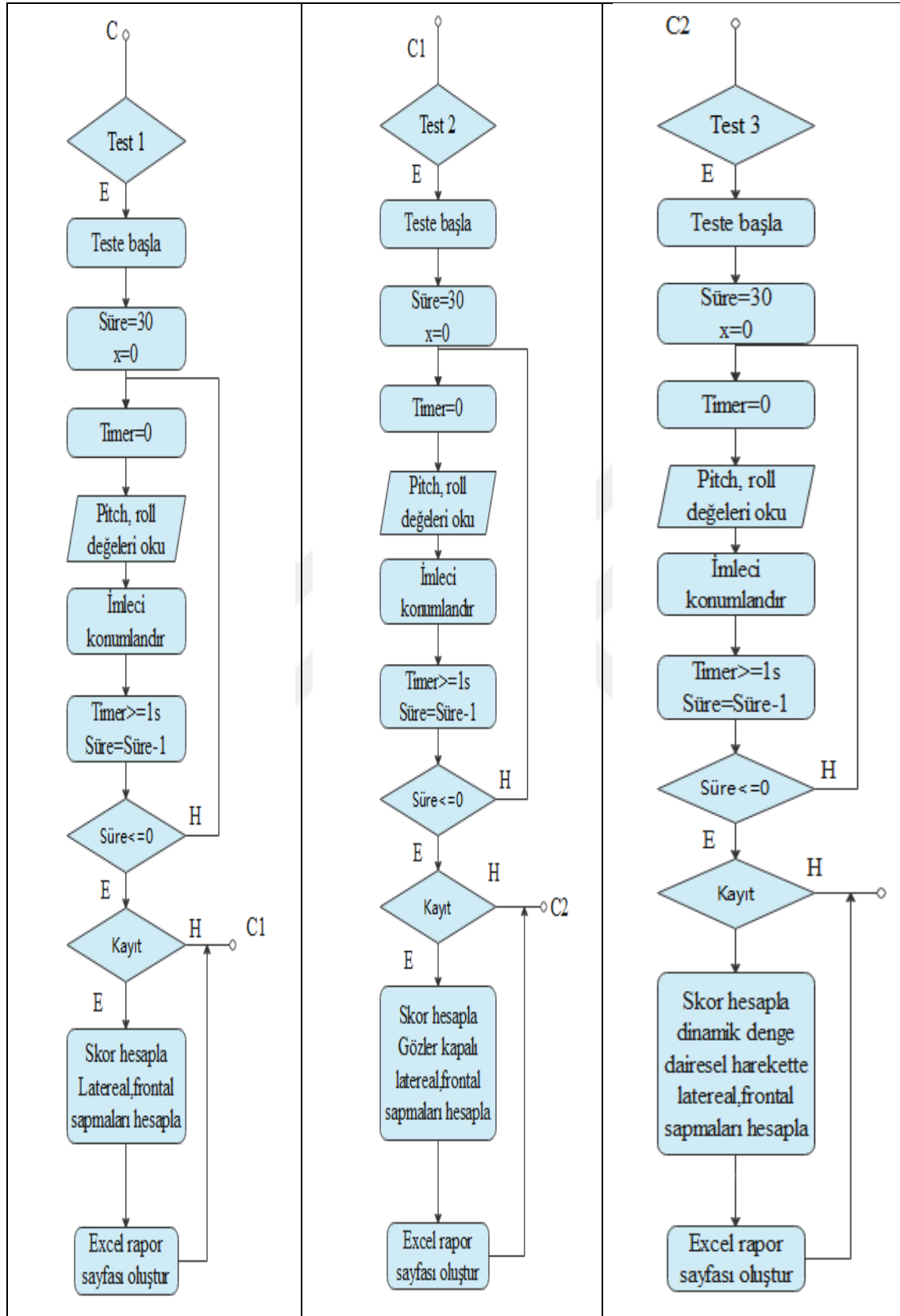


3.9.3 Egzersiz ve Ölçüm Sistemi PC Yazılım Algoritması

Sistemin çalışma mantığı akış diyagramından da anlaşıldığı üzere sistem öncelikle bilgisayar ile kişinin egzersiz ve test ölçümlerinde kullanılacak olan sistemin bağlantısı yapılmış olmalıdır. Daha sonra programda kişiye test ya da egzersiz mi uygulanacağı seçilir. Kişi sistemin üzerine çıkarılmadan önce ilk olarak cihazın kalibrasyonu yapılır. Daha sonra kişi sistemin üzerine çıkarılır ve gözler açık şekilde statik denge testi olan şekil 3.13'te yazılım algoritması verilmiş olan Test1 başlatılır 30 saniye boyunca ölçümler alınır ve raporlanmak üzere sisteme kaydedilir. Aynı işlemler yazılım algoritması Şekil 3.14' te verilen gözler kapalı şekilde statik denge testi olan Test2 ve dinamik denge testi olan Test3 (Şekil 3.14) için de uygulanır. Sonuçlar Excel'de hazırlanan şablonda grafiklendirilerek raporlanır. Raporlama sonucunda göre kişide bulunan denge bozukluklarının giderilmesi için hazırlanan egzersiz programı uygulanır ve gelişimi kontrol etmek için test ölçümleri yinelenerek kontrol edilir. Egzersiz uygulaması seçildiğinde programda egzersiz sayfası açılır buradan uygulanacak egzersiz belirlendikten sonra egzersiz başlatılır. Egzersiz modunda farklı oyun tasarımları kullanılmaktadır. Belirli bir süre kısıtlaması olmadan egzersizi sonlandırılana kadar egzersiz uygulaması devam etmektedir.



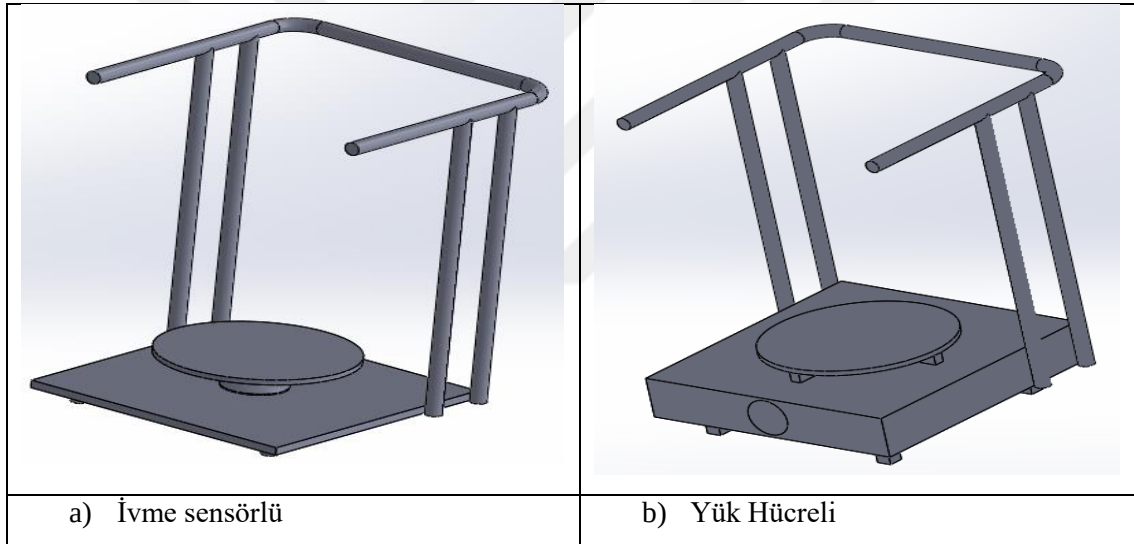
Şekil 3.13 Egzersiz için PC yazılım algoritması.



Şekil 3.14 Test için PC yazılım algoritması.

3.10 Sistemin Mekanik Tasarımı

Gerçekleştirilen sisteminin mekanik tasarımı bilgisayar destekli tasarım programı olan Solidworks ile yapılmıştır. Çalışmada 2 farklı model mekanik konstrüksiyon yapılmıştır. Şekil 3.15a’da görülen birinci tasarımda alt platform tek bir mafsal üzerine oturtulmuştur. Bu tasarımda zemin hareketi mekanik yaylar ile sağlanmış ve proprioseptif duyuların gelişiminin sağlanması hedeflenmiştir. Şekil 3.15b’de görülen konstrüksiyon dört noktadan zemine yük hücreleri ile bağlanmıştır. Proprioseptif duyuların gelişimi için konstrüksiyonun altına vibrasyon seviyesi kontrol edilebilir bir titreşim motoru ilave edilmiştir. Gerçekleştirilen sistemlere ait detaylı teknik çizimler EK 1 bölümünde verilmiştir.



Şekil 3.15 Mekanik konstrüksiyona ait Solidworks tasarımları.

Ayrıca sistemin elektronik donanımlarına devre şemaları ve PCB tasarımları Proteus programı ile gerçekleştirilmiştir. Tasarım şemaları ve PCB ait 3D görüntüler tezin EK 2 bölümünde verilmiştir.

3.11 Ölçüm ve Egzersiz Programı

Çizelge 3.3’de ölçüm ve egzersiz program içeriği görülmektedir. Geliştirilen içerik test, statik egzersiz ve dinamik egzersiz olmak üzere 3 bölümden oluşmaktadır. Programdaki her bir bölüm statik ve dinamik olmak üzere 6 farklı aktivite içermektedir. Program

bölümleri kolaydan zora doğru derecelendirilmiştir. Programın hafta içi her gün hafta sonları ise bireylerin kendi yaşam alanlarındaki egzersizler ile tamamlaması planlanmıştır.

Çizelge 3.3 Çalışmada Kullanılan Ölçüm ve Egzersiz Program İçeriği.

Sıra	Test	Statik Egzersiz	Dinamik Egzersiz
1	Göz açık iken imlecin sagittal ekseninde 30s sabit	İmleci (Göz açık) merkezde tutma	Hareketli nesneyi imleç ile takip etme
2	Göz kapalı iken imleci merkezde 30s sabit tutulması	İmleci (Göz açık) sünger zemin üzerinde merkezde tutma	Hareketli nesneyi imleç ile sünger zemin üzerinde takip
3	Göz açık iken lateral ve anterior ekseninde 6 derece posterior ekseninde 4.5 derece hareketli nesne takibi	İmleci (Göz açık) çim halı zemin üzerinde merkezde tutma	Hareketli nesneyi imleç ile çim halı üzerinde takip etme
4		İmleci (Göz açık) imleci pürüzlü zemin üzerinde	Hareketli nesneyi imleç ile pürüzlü zemin üzerinde
5		Göz kapalı imleci merkezde tutma	Hareketli nesneyi imleç ile takip etme (Sağ el topu
6		Göz kapalı imleci sünger zemin üzerinde merkezde tutma	Hareketli nesneyi imleç ile takip etme (Sol el topu
7		Göz kapalı imleci çim halı zemin üzerinde merkezde tutma	Hareketli nesneyi imleç ile takip etme (Her iki eldeki
8		Göz kapalı imleci pürüzlü zemin üzerinde merkezde tutma	Hareketli nesneyi imleç ile takip etme (Eldeki üç topu
9		İmleci (Göz açık) merkezde tutma (Sağ el topu havaya atıp	Balon Patlatma Oyununun alt postür ile kontrol
10		İmleci (Göz açık) merkezde tutma (Sağ el topu havaya atıp	Balon Patlatma Oyununun alt postür ile kontrol
11		İmleci (Göz açık) merkezde tutma (Her iki eldeki topu yer	Pacman'nin alt postür ile kontrol edilmesi ve eldeki
12		İmleci (Göz açık) merkezde tutma (Eldeki üç topu çevirme)	

Şekil 3.16'da ölçüm ve egzersiz programının uygulanması için 20 bölümden oluşturulan uygulama takvimi görülmektedir. Programın ilk bölümü statik ve dinamik postür testlerini içermekte olup her 5 bölümde bir test tekrarlanarak gelişim sürecinin takibi sağlanmıştır.

	Testler			Statik Egzersizler												Dinamik Egzersizler											
	Test1	Test2	Test3	S_E1	S_E2	S_E3	S_E4	S_E5	S_E6	S_E7	S_E8	S_E9	S_E10	S_E11	S_E12	D_E1	D_E2	D_E3	D_E4	D_E5	D_E6	D_E7	D_E8	D_E9	D_E10	D_E11	
1. Program																											
2. Program																											
3. Program																											
4. Program																											
5. Program																											
6. Program																											
7. Program																											
8. Program																											
9. Program																											
10. Program																											
11. Program																											
12. Program																											
13. Program																											
14. Program																											
15. Program																											
16. Program																											
17. Program																											
18. Program																											
19. Program																											
20. Program																											

Şekil 3.16 Ölçüm ve egzersiz programı.

4. BULGULAR

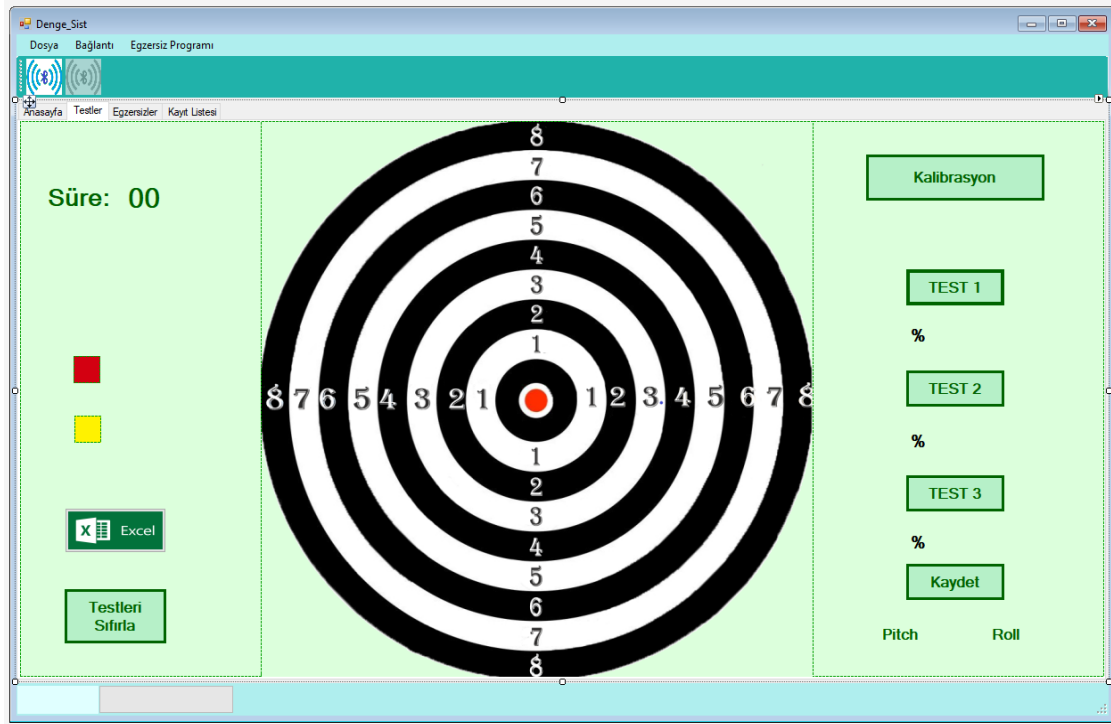
Şekil 4.1’de gerçekleştirilen sistemin genel yapısı görülmektedir. Geliştirilen sistem proprioseptif duyuların yeterliliklerinin ölçülmesini sağlandığı gibi geliştirilen oyunlar ile kişinin proprioseptif duyularının geliştirilmesi için oyun tabanlı bir egzersiz sistemine dönüştürülmüştür. Visual Studio C#.net platformunda form uygulaması olarak geliştirilmiş ara yüz yazılımı ile sistem arasındaki iletişim 2.4GHz taşıyıcı frekansına sahip Bluetooth 2.0 ile 9.6kbps veri iletim hızında gerçekleştirilmiştir. Kablosuz bağlantı kurulduktan sonra arayüz yazılımı üzerinden ölçüm veya egzersiz modu seçilir. Ayrıca Lateral düzlemdeki egzersizlerin için balon patlatma oyunu ile lateral - frontal düzlemler düzlemdeki egzersizlerin için Pacman oyunları Unity oyun motoru ile tasarlanarak sisteme entegrasyonu sağlanmıştır. Egzersiz modunda süre sınırlaması olmaksızın antrenman yapılabilir. EK 3’te egzersiz için geliştirilmiş diğer oyunlar verilmiştir. Düşen elmaları toplama oyunu ile hem proprioestif hem de görsel duyuların eş zamanlı çalıştırılması sağlanmıştır. Diğer oyunda mental işlemler ile beyin meşgul edilerek proprioestif duyuların geliştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu sayede çoklu duyuya dayalı öğrenme için materyal geliştirilmiştir.



Şekil 4.1 Tasarlanan egzersiz ve ölçüm sistemleri.

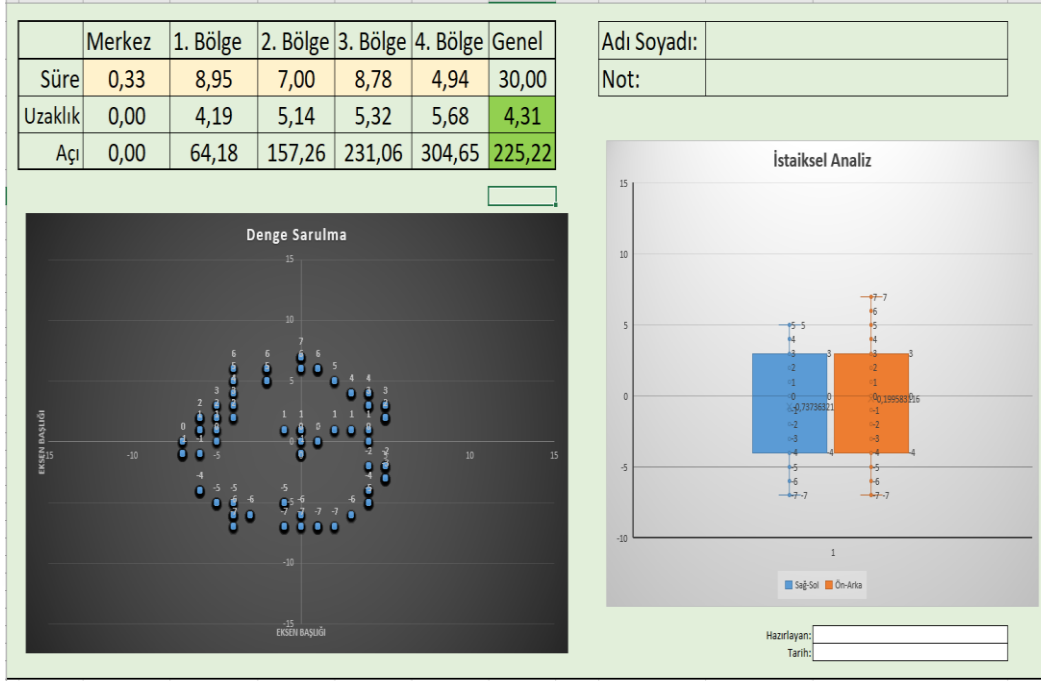
4.1 PC Tabanlı Ölçüm Sistemi

Şekil 4.2’de bilgisayar ara yüz yazılımı görülmektedir. Ara yüz yazılımı ile denge ölçüm sistemi arasında kablosuz bağlantı kurulduktan sonra ölçüm veya egzersiz modu seçilir. Ölçüm modunda 30s süresince alt ekstremitenin statik veya dinamik dengesi ölçülür. Geliştirilen ara yüz yazılımının farklı alt formları bulunmaktadır. Bu formlara ait ekran görüntüleri EK 4’de sunulmuştur.



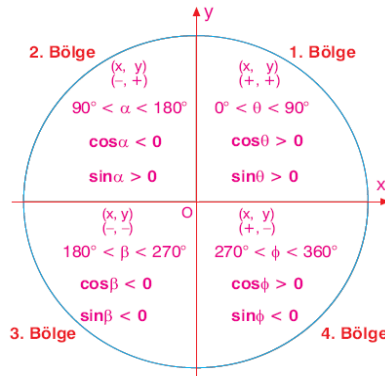
Şekil 4.2 PC tabanlı ölçüm sistemi yazılımı.

Ölçülen verilerden kişinin gelişim sürecini takip edebilmek için rapor oluşturulmaktadır. Şekil 4.3’ te test verilerinin kaydedilip analiz edildiği ve .xlsx dosya formatında hazırlanmış olan rapor sayfası görülmektedir. Şekil 4.3’deki raporda görüldüğü üzere vücut ağırlık merkezinin yere dik olarak tutulduğu süre ile lateral ve frontal eksenlerdeki savrulma değerleri hesaplanmaktadır. Elde edilen pitch ve roll verileri kullanarak kutu grafiği oluşturulmuştur. Kutu grafiği ile lateral ve frontal eksenlerdeki savrulmalara (en az, 1. Çeyrek, ortalama, ortanca, 3. Çeyrek ve en fazla) ait veriler görselleştirilmiştir.



Şekil 4.3 PC tabanlı ölçüm sistemi yazılımı.

Raporlama oluşturulurken kişinin merkezden sapma verileri hesaplanarak kutupsal koordinatlara göre hangi bölgede (Şekil 4.4) kaç saniye ve kaç derece açıyla durduğu belirlenir. Kişiye uygulanan 30 saniyelik test sonucunda 1920 adet veri elde edilmektedir. Buradan toplanan verilerin örnekleme periyodunun 15,625 ms olduğu görülmüştür. İlk olarak alınan pitch ve roll açılarından yönler belirlenir. Bulunan yönler göre 1920 verinin bölgelere dağılımına göre toplam bulunma sayıları ile örnekleme periyodu ilişkilendirilerek merkezde, 1. bölgede, 2. bölgede, 3. bölgede ve 4. bölgede toplam ne kadar süre bulunduğu (Denklem 4.1) hesaplanmıştır. Bölgelerdeki toplam veri sayısına göre de bölgelerde ne kadar süre durulduğu hesaplanmıştır.



Şekil 4.4 Trigonometrik fonksiyonlar ve bölgeler.

$$\text{Süre} = 15,625 \times (\text{Bölgede bulunan toplam veri sayısı}) \times 1000 \quad (4.1)$$

Bölgelerde merkezden sapma uzaklığı (Denklem 4.2) hesaplanırken lateral ve frontal eksenlerdeki sapma miktarlarından yararlanılmıştır. Bölgelerdeki sapmanın koordinat üzerinde kaç derece açı ile saptığı ise Denklem 4.3’de gösterilen eşitlik ile belirlenmiştir.

$$\text{Uzaklık} = \sqrt{(\text{ToplamX})^2 + (\text{ToplamY})^2} \quad (4.2)$$

$$\text{Açı} = \frac{(\tan^{-1}(\text{ToplamY}/\text{ToplamX}) \times 180)}{\pi} \quad (4.3)$$

Yukarıda denklemlerde kullanılan parametrelerin tanımları,

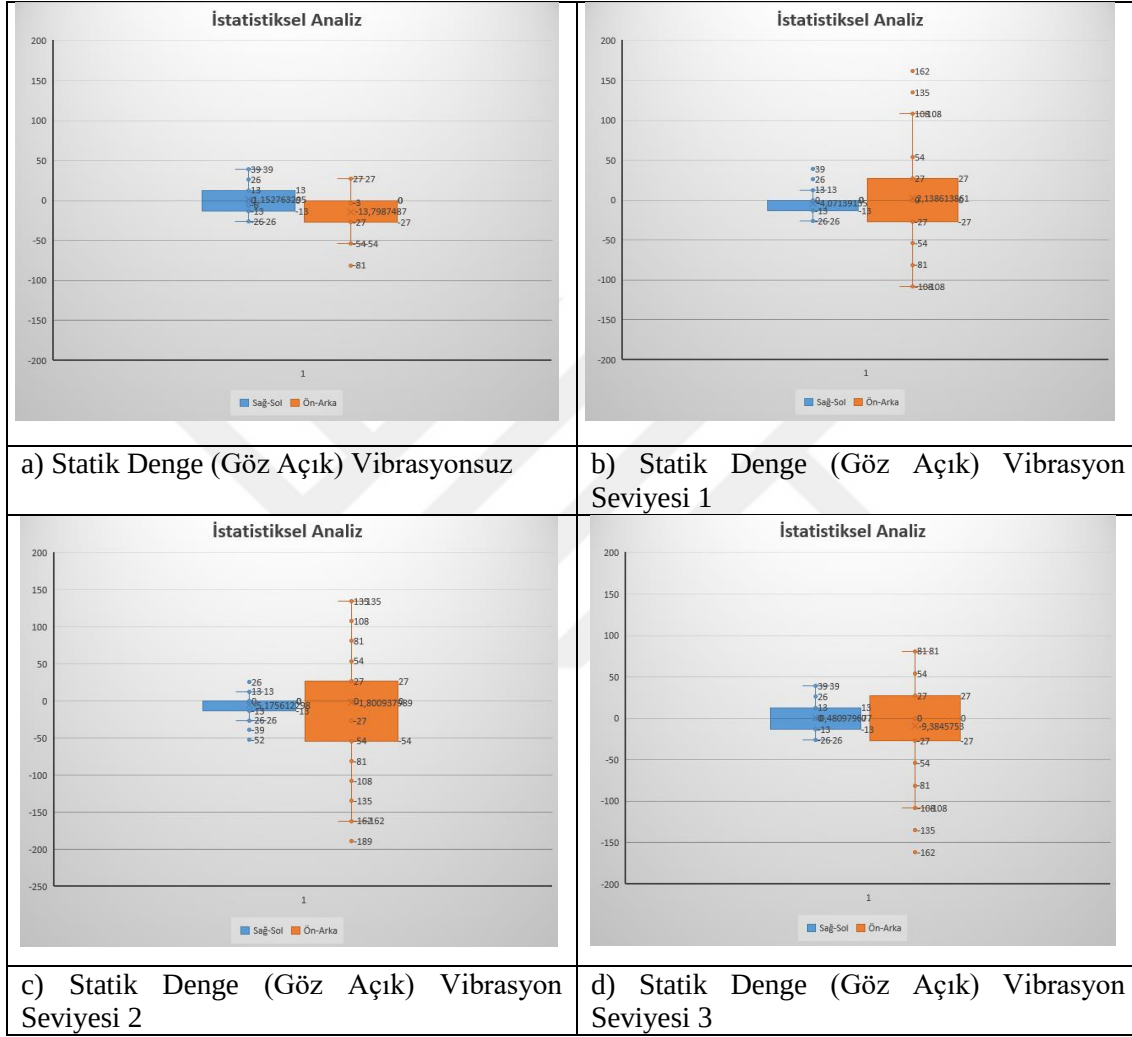
ToplamX : X eksenindeki toplam sapma,

ToplamY : Y eksenindeki toplam sapma,

4.2 Vibrasyonun Proprioseptif Duyular Üzerindeki Etkisi

Kuvvet sensörü ile oluşturulmuş olan denge ölçüm ve egzersiz sistemine entegre edilmiş foam roller ile sisteme 3 farklı seviyede vibrasyon özelliği kazandırılmıştır. Bu sayede proprioseptif duyuların geliştirilmesinde vibrasyonun etkinliği araştırılmıştır. Bu amaçla yapılan egzersizler ve testler sırasında ayak tabanına proprioseptif duyularının uyarılması için farklı seviyelerde vibrasyonlar verilmiştir. Farklı zamanlarda yapılan test ölçüm sonuçları kıyaslanarak kişinin denge durumundaki gelişimi takip edilmiştir. Şekil 4.5’te göz açık iken vibrasyonlu ve vibrasyonsuz yapılan statik denge testi sonucunda elde edilen verilerin kutu grafikleri ifade edilmiş formu görülmektedir. Şekil 4.5a’ da vibrasyonsuz statik denge sonucu Şekil 4.5b, Şekil 4.5c ve Şekil 4.5d’ de farklı vibrasyon seviyelerindeki statik denge sonuçları verilmiştir. Şekil 4.5a kişinin hem lateral hem de frontal eksenlerde dengeli olduğunu göstermektedir. Vibrasyonun farklı seviyelerde verilmesi ile kişinin frontal eksenindeki dengesinin lateral eksenindeki dengesine göre bozulduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.5d, Şekil 4.5b ve Şekil 4.5c ile kıyaslandığında vibrasyon seviyesi artırmakla birlikte hem lateral eksen hemde frontal eksenindeki salınımların düzeldiği görülmektedir. Bunun sebebi olarak kişinin daha önceki test ve

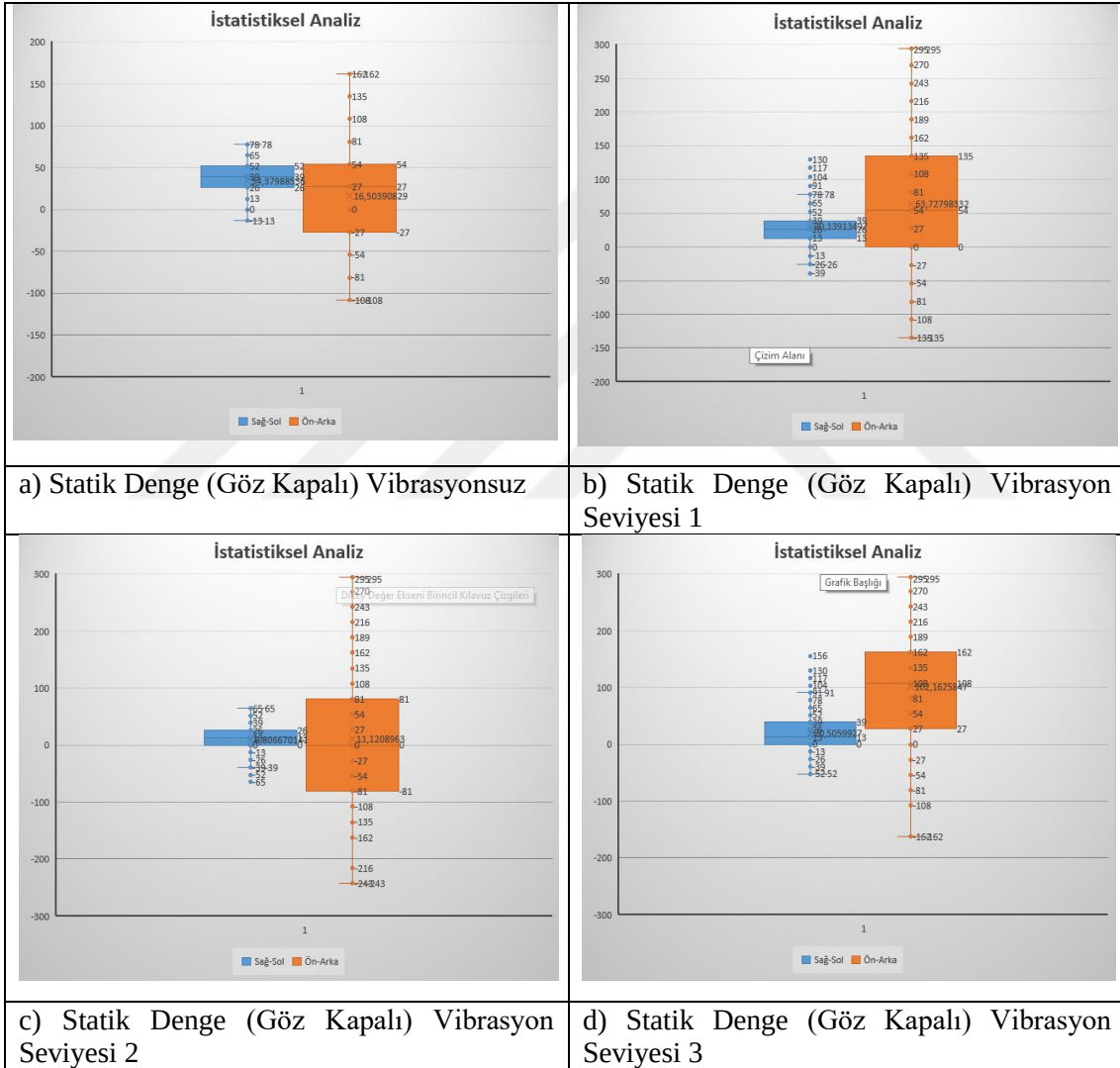
egzersiz ile yaptıkları çalışmaların proprioseptif duyuları üzerinde etkili olmasıdır. Sonuç olarak vibrasyonlu çalışmaların, kişinin statik dengesinin hangi ekseninde bozulduğunu tespit etmekte etkili olduğu gibi yapılan tekrarlı çalışmalar ile geleneksel statik denge çalışmalarına göre daha etkin bir metot olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.5 Statik Denge (Göz Açık).

Denge işitme, görme ve proprioseptif duyu sistemlerinden gelen verilerin işlenerek vücuttaki kasların agonist veya antiagonist kasılmalarının kontrol edilmesi sağlanmaktadır. Geliştirilen programdaki Test 2 modülü görme duyusundan gelen verilerin kapatılmasını sağlayarak sadece proprioseptif duyuların denge üzerindeki etkililiğini araştırmayı (Şekil 4.6) amaçlamaktadır. Şekil 4.6a ve Şekil 4.5a kıyaslandığında kişinin lateral ekseninde sağ tarafa, frontal ekseninde ise öne ve arkaya doğru savrulmasının arttığı görülmektedir. Şekil 4.6b, Şekil 4.6c ve Şekil 4.6d’de gözler kapalı

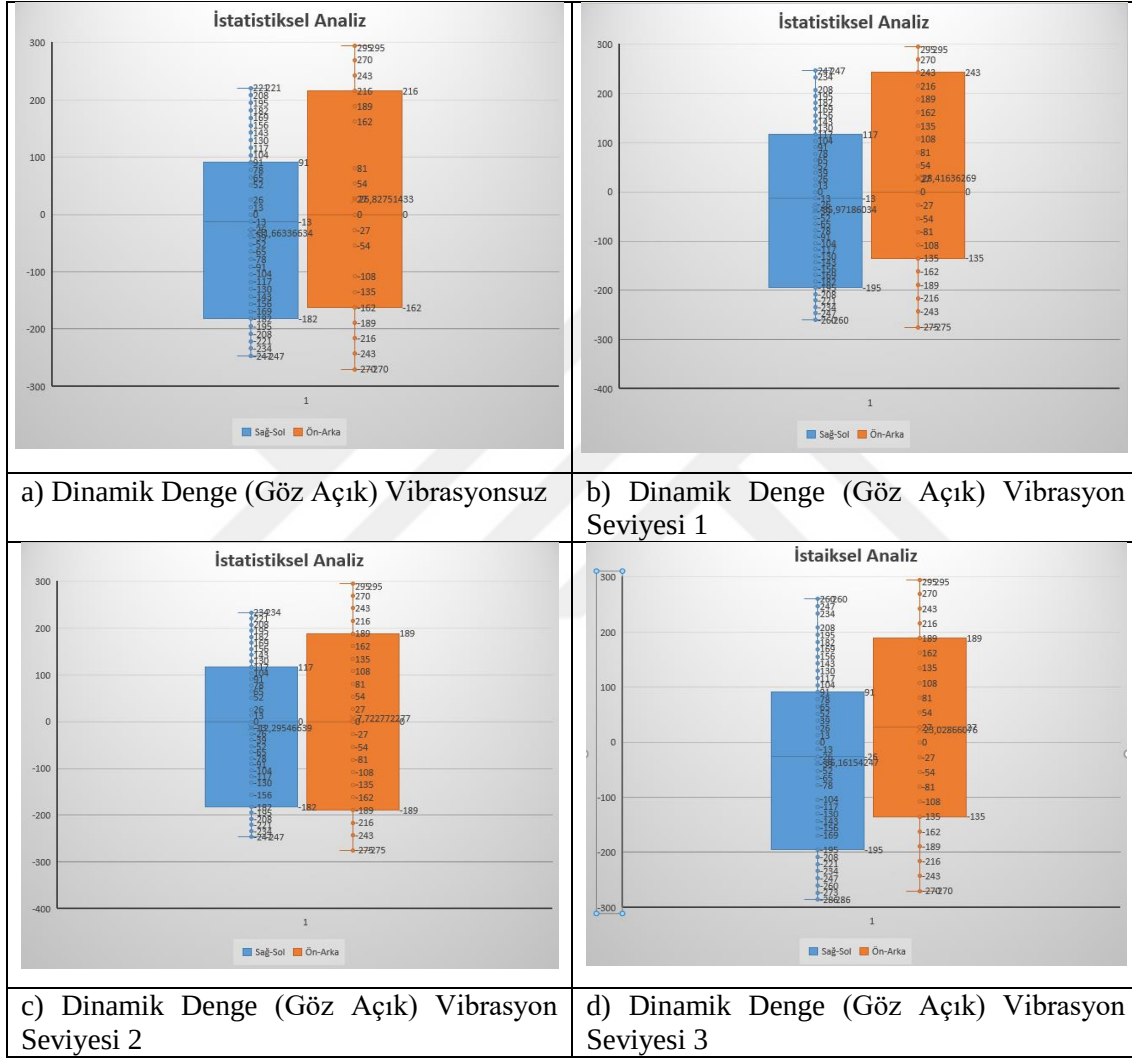
iken farklı vibrasyon seviyedeki statik dengesi ölçülmüştür. Vibrasyonlu grafikler incelendiğinde latarel eksenindeki savrulmanın Şekil 4.6a'daki savrilmaya göre daha dengeli olduğunu göstermektedir. Bunun sebebi olarak gözler kapalı ve vibrasyon yok iken kişi dengesini işitme duyu organından aldığı bilgilere göre yapmaya çalışmasıdır. Vibrasyon sayesinde denge hem işitme hem de proprioseptif duyu sisteminden gelen verileri ile sağlanmaktadır. Elde edilen sonuçların vibrasyonlu çalışmaların dengenin geliştirilmesinde etkili olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.6 Statik Denge (Göz Kapalı).

Programda kişinin dinamik denge durumunu ölçmek için Test3 olarak adlandırılan test kullanılmıştır. Burada merkezden eşit uzaklıkta hareket eden nesnenin takip edilmesi sağlanmıştır. Denge sisteminden üzerindeki kişinin yönlendirmesi ile hareket eden

nesnenin takip etmesi istenmiştir. Şekil 4.7a’ da vibrasyon olmadan kişinin dinamik denge ölçümleri alınmıştır. Şekil 4.7b, Şekil 4.7c ve Şekil 4.7d’ de farklı vibrasyon seviyelerinde yapılmış dinamik denge test sonuçları verilmiştir. Şekil 4.7’deki grafikler incelendiğinde hem lateral hem de frontal ekseninde savrulma olduğu görülmektedir. İdeal şartlarda bu savrulmaların sağa-sola ve öne-arkaya eşit olması beklenmektedir.



Şekil 4.7 Dinamik Denge (Göz Açık).

Bu eşitliğin bozulması kişinin denge durumunu ve buna bağlı olarak da alt ekstremita kas gruplarının gelişimini incelemeyi sağlamaktadır. Ayrıca hareket eden nesnenin merkezden eşit uzaklıkta sağ ve sola dönme hareketi yapmaktadır. Hareketin sağa ve sola doğru yönlendirilmesi ile kişinin baskın olarak kullandığı denge ayağı belirlenebilmektedir. Çizelge 4.1’de bölüm 4.2’de verilen lateral ve frontal eksenindeki

sapmaların kutu grafiklerindeki minimum, birinci çeyrek, ortanca, üçüncü çeyrek ve maksimum değerleri topluca verilmiştir.

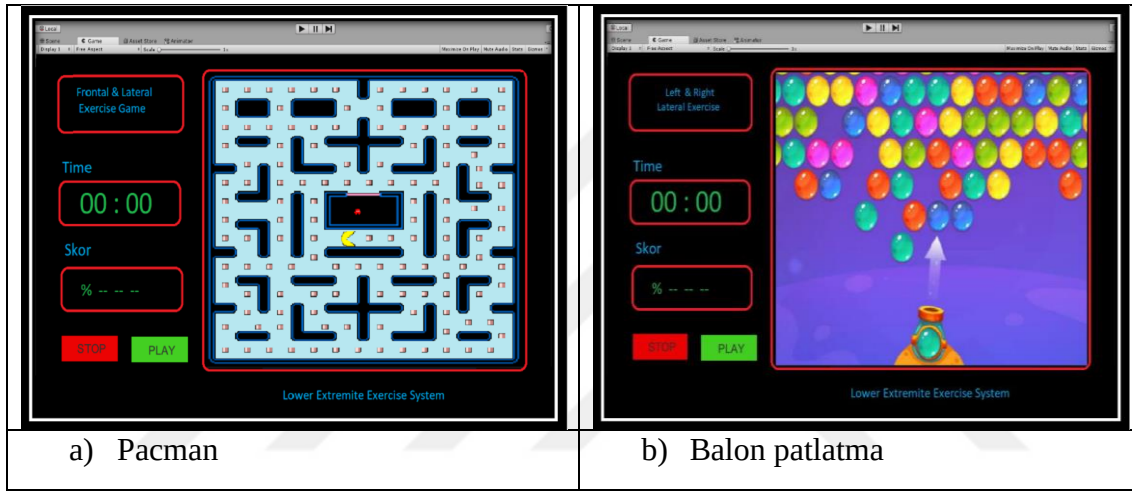
Çizelge 4.1 Lateral ve frontal eksenlerdeki sapmaların kutu grafiklerindeki minimum, birinci çeyrek, ortanca, üçüncü çeyrek ve maksimum değerleri.

Eksen	Görme	Vibrasyon	Statik/Dinamik	Min	1/4	Ortanca	3/4	Max
Lateral	+	0	Statik	-26	-13	1,15	-13	39
Lateral	+	1	Statik	-26	-13	-4,07	0	13
Lateral	+	2	Statik	-26	-13	5,17	0	28
Lateral	+	3	Statik	-26	-13	0,48	13	39
Lateral	-	0	Statik	-13	26	34,37	52	78
Lateral	-	1	Statik	-26	13	25,13	39	78
Lateral	-	2	Statik	-39	0	8,80	26	65
Lateral	-	3	Statik	-52	0	20,5	39	91
Lateral	+	0	Dinamik	-247	-182	-31,66	91	221
Lateral	+	1	Dinamik	-260	-195	-35,97	117	247
Lateral	+	2	Dinamik	-242	-182	-12,29	117	234
Lateral	+	3	Dinamik	-286	-195	-36,16	91	260
Frontal	+	0	Statik	-54	-27	-13,79	0	27
Frontal	+	1	Statik	-108	-27	2,13	27	108
Frontal	+	2	Statik	-162	-54	1,8	27	135
Frontal	+	3	Statik	-108	-27	9,38	27	81
Frontal	-	0	Statik	-108	-27	16,5	54	162
Frontal	-	1	Statik	-135	0	63,72	135	295
Frontal	-	2	Statik	-243	-81	11,12	81	295
Frontal	-	3	Statik	-162	27	102,16	162	295
Frontal	+	0	Dinamik	-270	-162	26,82	216	295
Frontal	+	1	Dinamik	-275	-135	28,41	243	295
Frontal	+	2	Dinamik	-275	-189	7,72	189	295
Frontal	+	3	Dinamik	-270	-135	23,02	189	295

4.3 Egzersiz Sistemi İçin Oyun Tasarımı

Yazılım bölümüm görsel ve kullanıcı etkileşimi göz önüne alınarak Unity oyun platformu aracı ile geliştirilmiştir. Tasarlanan oyunlar ile kişinin proprioseptif duyularının geliştirilmesi için oyun tabanlı bir egzersiz sistemi oluşturulmuştur. Mekanik ve yazılım arasındaki bağlantı ve sistemin temel çalışma prensibi donanım bileşenleri tarafından

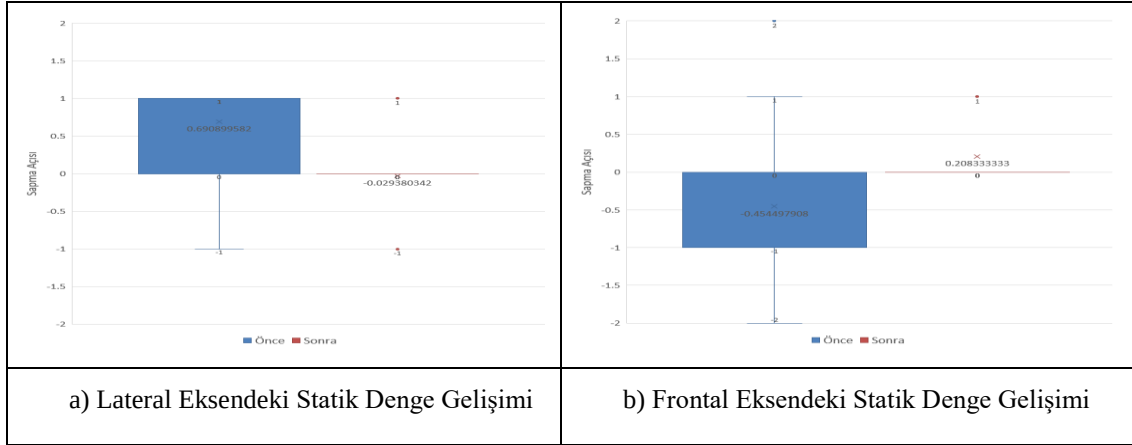
sağlanmaktadır. Oyunda oluşturulan karakter oluşturulan sistemlerden gelen veriler ile hareket etmektedir. Böylece kişi hem görsel hem de duyu sistemi ile egzersizi bir bütün olarak devam ettirmektedir. Şekil 4.8a ve Şekil 4.8b’de Unity3D oyun motorunda hazırlanmış olan pacman ve balon patlatma oyunları görülmektedir. Oyunlar lateral düzlemde sağ ve sol hareket yapacak şekilde kolay seviye ve lateral ve frontal ekseninde sağ, sol, yukarı ve aşağı hareket yapacak şekilde zor seviye olmak üzere iki farklı şekilde tasarlanmıştır. Oyunda yapılan skorlar ve oyunu tamamlama süreleri kayıt edilerek gelişim süreci ölçüm sistemi ile birlikte buradan da takip edilebilmektedir.



Şekil 4.8 Unity oyun tasarımları.

4.4 Gerçekleştirilen Sistemin Statik Denge Üzerindeki Etkisi

Sağlıklı bir birey Çizelge 3.3’deki egzersiz içeriğini Şekil 3.15’teki takvimine göre çalıştırılmıştır. Geliştirilen sistem ile bireyin ağırlık merkezinin frontal ve lateral eksenlerindeki sapma açıları ölçülmüştür. Programın ilk başlangıcında bireyin 30s test süresince frontal ekseninde $\pm 1^\circ$, lateral ekseninde $\pm 1^\circ$ salınım yaptığı görülmüştür. Egzersiz programı sonunda frontal ve lateral eksenlerdeki salınım tekrar ölçülmüştür. Egzersiz sonunda yapılan statik denge ölçümleri Şekil 4.9a ve Şekil 4.9b’deki grafikte görülmektedir. Bireyin frontal ekseninde $\pm 0.2^\circ$, lateral ekseninde $\pm 0.03^\circ$ salınım yaptığı görülmüştür. Kişinin egzersiz öncesinde alınan ölçümlerinde frontal ve lateral eksenlerde ağırlık merkezinin saptığı görülmektedir. Çalışma kapsamında geliştirilen sistem ve egzersiz programı sayesinde statik dengenin geliştirileceği kanıtlanmıştır.



Şekil 4.9 Egzersiz programının statik denge üzerine etkisi.

4.5 Sistemin Geçerlilik ve Güvenilirlik Analizi

Gerçekleştirilen sistemin geçerlilik ve güvenilirliği laboratuvar ortamında yapılan ölçümler ile araştırılmıştır. Sistemin geçerliliği %95 güven aralığında sınıf içi korelasyon kat sayısı testi ile belirlenmiştir. Bunun için uygulanan ağırlık ile yük hücreleri ile belirlenen ölçüm değerleri 0 kg ile 70kg arasında 10 kg artış değerleri ile Çizelge 4.2’deki gibi kayıt altına alınmıştır. Ayrıca güvenirliliğin belirlenmesi için her bir ağırlıkla toplam 10 tekrar yapılmış ve tekrarlı ölçümler (Çizelge 4.3) ANOVA testi ve sınıf içi korelasyon kat sayısı testleri uygulanmıştır.

Çizelge 4.2 Yük hücreleri ile kullanılan ağırlıklar arasındaki ilişkinin belirlenmesi için yapılan sınıf içi korelasyon katsayısı tablosu (geçerlik tablosu).

Ağırlık (kg)	1. Yük Hücresi		2. Yük Hücresi		3. Yük Hücresi		4. Yük Hücresi	
	$\bar{X}$	SKK	$\bar{X}$	SKK	$\bar{X}$	SKK	$\bar{X}$	SKK
00,00	0,1	0,99	0,17	0,99	0,17	0,99	0,17	0,99
10,00	9,85	1	9,75	1	9,45	1	9,95	1
20,00	19,87	1	19,97	1	19,57	1	19,65	1
30,00	30,12	1	30,07	1	30,12	1	30,1	1
40,00	39,97	1	40,12	1	40,04	1	40,24	1
50,00	49,91	1	50,17	1	50,17	1	50,32	1
60,00	60,21	1	60,26	1	60,13	1	60,46	1
70,00	70,26	1	70,34	1	70,38	1	70,04	1
80,00	80,38	1	80,42	1	80,22	1	80,18	1
90,00	90,34	1	90,35	1	90,05	1	90,17	1
100,00	100,42	1	100,38	1	100,18	1	100,41	1

$\bar{X}$: Ortalama, SS; Standart Sapma, SKK sınıf içi korelasyon katsayısı (%95)

Çizelge 4.2’de görüldüğü üzere tüm yük hücreleri ile ağırlıklar arasında anlamlı bir farklılık bulunmazken, kullanılan ağırlıklar ile yük hücrelerinin belirlemiş olduğu değerler arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır ($p<0,000$). Elde edilen bu bulgu gerçekleştirilen sistemin geçerli olduğunu göstermektedir. Ayrıca tüm ağırlık durumlarında yapılan tekrarlı ölçümler arasında anlamlı bir fark bulunmamışken, ölçümler arasında güçlü bir ilişki olduğunu göstermektedir ($p<0,000$). Tekrarlı ölçümler sonucunda elde edilen bu bulguda sistemin güvenilir olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.3 Her Bir Ağırlık Grubu İçin Tekrarlanan Ölçümler Arası Arasındaki Belirlenmesi Yapılan Tekrarlı Ölçümler Anova ve Ölçümler Arası Sınıf İçi Korelasyon Katsayısı Değerlerini Gösterim Tablosu (Güvenirlilik Tablosu).

Ağırlık (kg)	$\bar{X} \pm SS$	%95 SKK
00,00	0,29 $\pm$ 0,08	0,98
10,00	10,27 $\pm$ 0,10	1
20,00	20,19 $\pm$ 0,10	1
30,00	30,21 $\pm$ 0,11	1
40,00	40,16 $\pm$ 0,10	1
50,00	50,22 $\pm$ 0,09	1
60,00	60,24 $\pm$ 0,11	1
70,00	70,30 $\pm$ 0,11	1
80,00	80,23 $\pm$ 0,08	1
90,00	90,30 $\pm$ 0,17	1
100,00	100,31 $\pm$ 0,19	1

$\bar{X}$: Ortalama, SS; Standart Sapma, SKK sınıf içi korelasyon katsayısı (%95)

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bireyler vücudun dengesini görsel, vestibüler ve proprioseptif sistemlerden alınan veriler ile sağlamaktadır. Kas, eklem ve tendonlarda vücudun ve uzuvların konumunun beyin tarafından algılanmasına yardımcı olan özel hücreler bulunmaktadır. Bu hücreler aynı zamanda bir kas veya eklem üzerindeki baskı ve kuvvet miktarı hakkında da beyine bilgi gönderirler. Proprioseptif sistem, beynin ne çeşit bir zeminde oturduğunu ya da vücudun nasıl konumlandığını anlamasına yardımcı olur. Görsel ve vestibüler sistemlerden gelen verilerde problem olması durumunda bu rahatsızlıklar klinik olarak giderilebilmektedir. Ancak kişinin kalıtsal özelliklerine bağlı olan proprioseptif duyular yapılan egzersizler ile geliştirilebilmektedir. Alt ekstremité stabilitesi ile ilgili birçok akademik çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda denge diskleri, yıldız denge testi, flamingo denge testi gibi testler uygulanarak statik ve dinamik denge durumlarına bakılmıştır. Literatür incelemeleri sonucunda, yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunda denge ölçümleri veya egzersizleri için geliştirilmiş postürografi cihazları, VR oyunlar ile denge tahtalarının kullanıldığı görülmüştür. Konu ile ilgili yapılan bazı çalışmalarda ise proprioseptif duyuların rehabilitasyon ve antrenman teknikleri ile geliştirilebileceğini ancak bu tekniklere yardımcı olacak sistemlerin geliştirilmesi hususunda yetersiz kaldığını göstermektedir.

Bu tez çalışmasında postür ve dengeyi ölçmek ve egzersizler ile geliştirmek amacıyla yeni bir sistem geliştirilmiştir. Bu çalışma diğer çalışmalardan farklı olarak ölçüm ve egzersiz sistemini bir araya getirerek proprioseptif duyuların yeterliliklerini ölçen ve egzersiz ile geliştirilmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda ayarlanabilen vibrasyon seviyesi ile proprioseptif duyu sisteminin bir parçası olan kas içiği mekanoreseptörlerin aktifliği artırılarak konum ve hareket duyuları geliştirilmiştir. Literatürde vibrasyon egzersizlerinin denge üzerinde olumlu etkileri olduğunu gösteren çalışmalar bulunmaktadır. Yapılan incelemelerde tüm beden vibrasyon (TBV) antrenmanlarının dengeyi geliştirdiği belirtilmiştir. Geliştirilen sistemden elde edilen veriler incelendiğinde sistemin güvenilir olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak geliştirilen sistem ve egzersiz programının üst düzey denge ve hareketliliğe ihtiyaç duyan profesyonel sporcular veya herhangi bir rahatsızlık sonucunda fizik tedavi ve rehabilitasyona ihtiyaç duyulan hastalar

için propriyoseptif duyuların yeterliliğini lemeye ve bu duyuların geliştirilmesine olanak sağlayacağı görülmektedir. Ancak sistemin uygulama sahasındaki geçerliliğinin belirlenmesi için kontrol ve test gruplarının oluşturulmasına ve tekrarlama testlerinin yapılması gereklidir.



6. KAYNAKLAR

- Akseki D, Erduran M, Özarslan S, Pınar H, 2010, Patellofemoral Ağrı Sendromu Saptanan Hastalarda, Dizde Vibrasyon Duyusu, Proprioepsiyon Duyusu ile Paralel Olarak Algılanmaktadır: Pilot Çalışma, Eklem Hastalık Cerrahisi, 21, 23-30.
- Aksoy S, 2011, Konjenital İşitme Kayıplı Çocuklarda Bilgisayarlı Dinamik Postürografi ile Dengenin Değerlendirilmesi, Fizyoterapi Ve Rehabilitasyon, 22, 81-85.
- Ateş B, Çetin E, Yarım İ, 2017, Kadın Sporcularda Denge Yeteneği ve Denge Antrenmanları. Gaziantep Üniversitesi Spor Bilimleri Dergisi, 2536-5339.
- Burke D, Hagbarth K E, Löfstedt L, Wallin B G, 1976, The Responses of Human Muscle Spindle Endings to Vibration During Isometric Contraction, J Physiol, 261, 695-711.
- Cheng Y Y, Chen P Y, Hsieh W L, Cheen J R, Kao C L, 2012, Correlation of the Composite Equilibrium Score of Computerized Dynamic Posturography and Clinical Balance Tests. Journal of Clinical Gerontology and Geriatrics, 3, 77-81.
- Çiçekdemir Ç, Kesler M, Karakuzu C, Yüzgeç U, ARM Mikrodenetleyici Tabanlı Bilkopter'in 9DOF ile Dengelenmesi Balancing of ARM Microcontroller Based Bilkopter Using 9DOF, 2012, Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu 29 Kasım 2012, Bursa
- Demir A, Manolya A, 2018, Aktif Video Oyunları ve Wobble Board Denge Antrenmanının 6 Yaş Çocuklarda Dinamik Dengeye Etkisinin Karşılaştırılması. Gaziantep Üniversitesi Spor Bilimleri Dergisi, 3, 109-121.
- Duenas L, Bernat M B, Horno S M, Aguilar-Rodriguez M, Alcántara E, 2016, Development of Predictive Models For the Estimation of the Probability of Suffering Fear of Falling And Other Fall Risk Factors Based on Posturography Parameters in Community-Dwelling Older Adults, International Journal of Industrial Ergonomics, 54, 131-138.
- Erdoğan Suveren C, Er F, İpekoğlu G, Çolakoğlu, T, Zorba E, Çolakoğlu F F, 2016, Farklı Denge Egzersizlerinin Voleybolcularda Statik ve Dinamik Denge Performansı Üzerine Etkileri Spor ve Performans Araştırmaları Dergisi, 8,11-18.

- Fidan U, Yıldız M, Şahan A, 2019, İnsan Bilgisayar Etkileşimi ile Proprioseptif Duyuların Geliştirilmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 177-184.
- Fioretti S, Scocco M, Ladislao L, Ghetti G, Rabini R A, 2010, Identification of Peripheral Neuropathy in Type-2 Diabetic Subjects by Static Posturography and Linear Discriminant Analysis, Gait & posture, 32, 317-320.
- Gorski L P, Silva A M D, Cusin F S, Cesaroni S, Ganança M M, Caovilla H H, 2019, Body Balance at Static Posturography in Vestibular Migraine, Brazilian Journal of Otorhinolaryngology, 85, 183-192.
- Halmi Z, Dinya E, Mály J, 2019, Destroyed Non-Dopaminergic Pathways in the Early Stage of Parkinson's Disease Assessed by Posturography. Brain Research Bulletin, 152, 45-51.
- Huri M, Arslanteki B A, Altuntaş O, Esra A K I, 2015, Görme Keskinliği ile Fonksiyonel Denge Arasındaki İlişkinin İncelenmesi, Ergoterapi ve Rehabilitasyon Dergisi, 3, 7-12.
- İşler K A, 2007, Titreşimin Performansa Etkisi. Spor Bilimleri Dergisi, 18, 42-56
- Jáuregui-Renaud K, Cruz-Gómez N S, Villanueva-Padrón L A, 2013, Repeatability of Static Posturography on the Follow-Up of Vestibular Rehabilitation, Archives of Medical Research, 44, 151-158.
- Kaynak H, Altun M, Özer M, Akseki D, 2015, Sporda Propriosepsiyon ve Sıcak - Soğuk Uygulamalarla İlişkisi, CBÜ Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi, 2149-1046.
- Kaçoğlu C, 2019, Akut Tüm Vücut Vibrasyon Antrenmanının Ünilateral Statik Dengeye Etkilerinin İncelenmesi. Gaziantep Üniversitesi Spor Bilimleri Dergisi, 4, 144-156.
- Llorens R, Latorre J, Noé E, Keshner E A, 2016, Posturography Using the Wii Balance Board: a Feasibility Study With Healthy Adults and Adults Post-Stroke, Gait & Posture, 43, 228-232.
- Schwabova J, Maly T, Laczó J, Zumrova A, Komarek V, Musova Z, Zahalka F, 2014, Application of a Scale for the Assessment and Rating of Ataxia (SARA) in Friedreich's Ataxia Patients According to Posturography is Limited, Journal Of The Neurological Sciences, 341, 64-67.

- Shams A, Vameghi R, Dehkordi P S, Allafan N, Bayati M, 2020, The Development of Postural Control Among Children: Repeatability and Normative Data for Computerized Dynamic Posturography System, *Gait & Posture*, 78,40-47.
- Surgent O J, Dadalko O I, Pickett K A, Travers B G, 2019, Balance and the Brain: A Review of Structural Brain Correlates of Postural Balance and Balance Training in Humans, *Gait & Posture*, 71, 245-252.
- Şahin C, 2009, Vestibüler Sistem Anatomi, Fizyolojisi Ve Bozuklukları, *Nobel Medicus Journal*, 5(3).
- Şahin G, Şeker H, Yeşilırmak M, Çadır A, 2016, Denge Diski Egzersizlerinin Dinamik Denge Ve Duruş Kontrolü Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, *Spor ve Performans Araştırmaları Dergisi*, 6, 50-57.
- Şimşek D, Ertan H, 2011, Postural Kontrol Ve Spor: Spor Branşlarına Yönelik Postural Sensör-Motor Stratejiler Ve Postural Salınım. *Spormetre Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 9 81-90.
- Torvinen S, Kannus P, Sievanen H, Jarvinen T A H, Pasanen M, Kontulainen S, Jarvinen T L N, Jarvinen M, Oja P, Vuori I, 2002, Effect of Four-Month Wholebody Vibration on Performance and Balance, *Med Sci Sport Exerc*, 34 1523-1528.
- Tükel Y, 2015, Görme Engelli Judocuların Denge Performanslarının İncelenmesi Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 84s, Konya.

İnternet Kaynakları

- 1- https://aybu.edu.tr/sinancanan/contents/files/322009_Duyu.pdf, 22.01.2019
- 2- <https://www.teknobeyin.com/gozun-kisimlari-nelerdir-ve-gorme-olayi-nasil-olur.html>, 22.01.2019
- 3- https://partners.natus.com/asset/resource/file/newbornicare/asset/2018-04/013387B_NCM%20Family%20Brochure_EN%20US_lo-res.pdf, 22.01.2019
- 4- https://www.zemiceurope.com/media/Documentation/L6E_Datasheet.pdf, 22.01.2019
- 5- https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/hx711_english.pdf, 22.01.2019
- 6- https://www.egr.msu.edu/classes/ece480/capstone/fall09/group03/AN_hemmanu

r.pdf, 22.01.2019

7- <https://www.manualslib.com/manual/1328515/Hyperice-Vyper-Vg1.html?page=12#manual>, 22.01.2019

8- <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.772-148.1.pdf>, 28.01.2019

9- <https://www.robotshop.com/media/files/pdf/arduinomega2560datasheet.pdf>, 28.01.2019

10- <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL345.pdf>, 28.01.2019

11- https://www.zemiceurope.com/media/Documentation/L6E_Datasheet.pdf, 28.01.2019

12- https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/hx711_english.pdf, 28.01.2019

13- <https://m.traningsmaskiner.com/images/1.3853.1702081642/foamrollguide2016interactive.pdf>, 28.01.2019

14- <https://www.electronicaestudio.com/docs/istd016A.pdf>, 28.01.2019

15- http://www.emo.org.tr/ekler/e2a7534da1b4734_ek.pdf, 12.02.2019

16- <https://www.slideshare.net/HakkiNUR/kaslarn-yapstiplerifonksiyonuanatomisi>, 12.02.2019

17- <http://www.sporbilimci.com/proprioepsiyonun-norofizyolojisi-ve-kas-igcigi-iliskisi>, 12.02.2019

18- http://ee.uludag.edu.tr/wp-content/uploads/2014/10/EDL-I_Deney_2_2014-15.pdf, 18.02.2019

19- http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/48893/39328/sp%C4%B1_last.pdf, 24.02.2019

20- <https://ondergormez.com/2015/02/05/spi-ile-picler-arasi-haberlesme/>, 24.02.2019

21- <http://www.teknokoliker.com/2011/11/c-nedir-c-temelleri-nelerdir.html>, 24.02.2019

22- https://icaad.org.tr/denge-nedir-nasil-saglanir_orhan-altintas/, 07.05.2020

23- <https://cengizolmez.com/yildiz-denge-testi-star-excursion/>, 07.05.2020

24- <http://atitibbicihazlar.com/shop/denge-olcum-sistemleri/izokinetik-denge-olcum-sistemi>, 07.05.2020

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Aslıhan ŞAHAN
Doğum Yeri ve Tarihi : Emirdağ – 06.06.1995
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon / e-posta) : +9 0541 205 25 13/ asihansahan00@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Afyon Anadolu Öğretmen Lisesi (2009 – 2013)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Biyomedikal Mühendisliği
Bölümü, (2013– 2017)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, (2017– 2020)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

:3D Zeka Yetenek Dikkat Ar-Ge Yazılım Danışmanlık Tic.
Ltd. Şti. (2019 – Devam Ediyor)

Yayınları (SCI ve diğer) :

Fidan U, Yıldız M, Şahan A 2019, İnsan Bilgisayar Etkileşimi ile Proprioseptif Duyuların Geliştirilmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 177-184.

Fidan U, Şahan A, 2019, Nörolojik Yürüme Bozukluklarının İvme Sensörü İle Sınıflandırılması. 3. Uluslararası Bilimsel Çalışmalar Kongresi, 533-543. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)

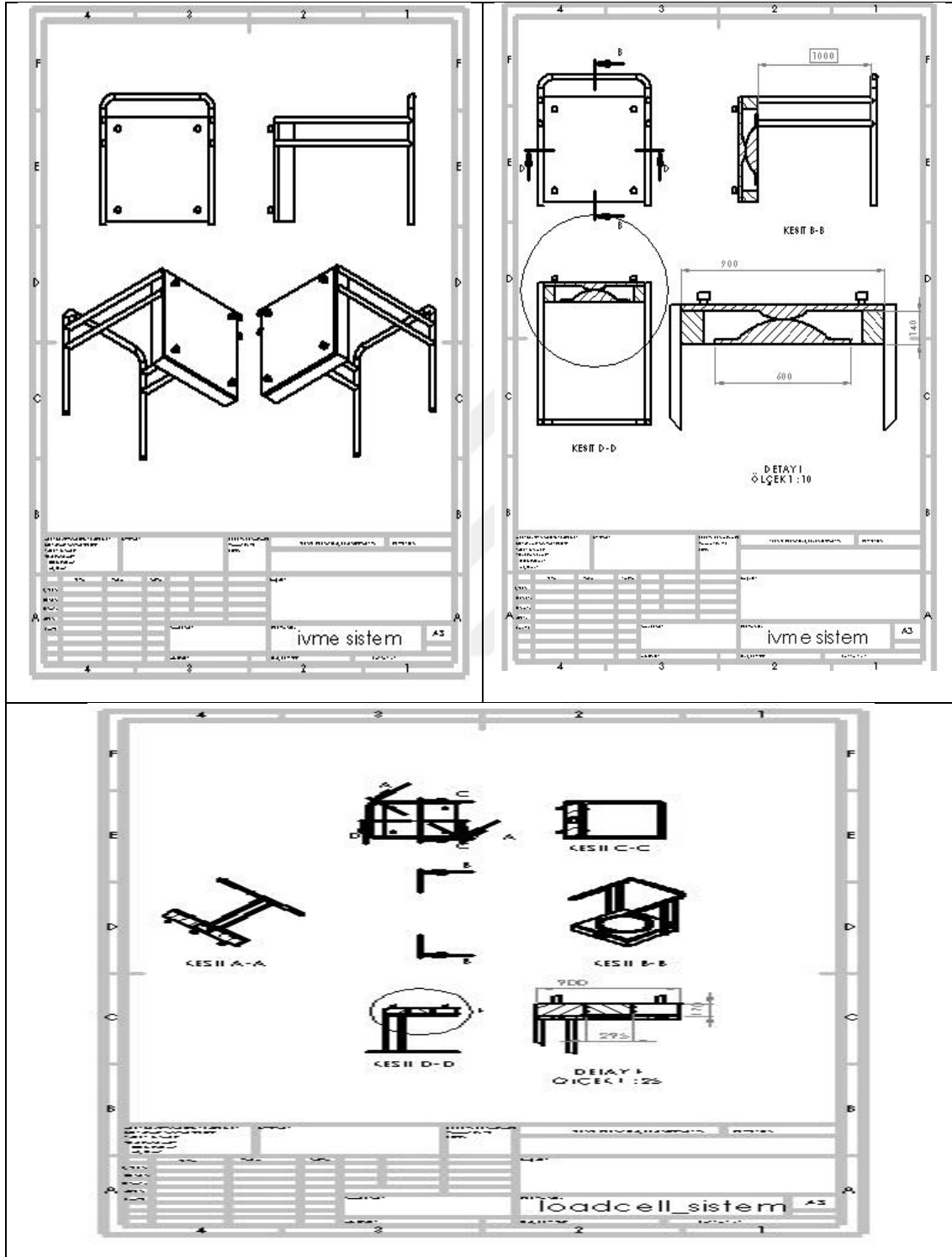
Fidan U, Yıldız M, Şahan A, Gün A 2018, Development of Static and Dynamic Equation in the Lower Extremity:Design and Verifitying of Game Based Exercise and Measurement Device. 9. Uluslararası Biyomekanik Kongresi, 521-525. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)

Fidan U, Yıldız M, Şahan A, Gün A 2018, Yürüme Bozukluklarının Ağırlık Merkezindeki Savrulma İle Sınıflandırılması. 9. Uluslararası Biyomekanik Kongresi, 209-209. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)

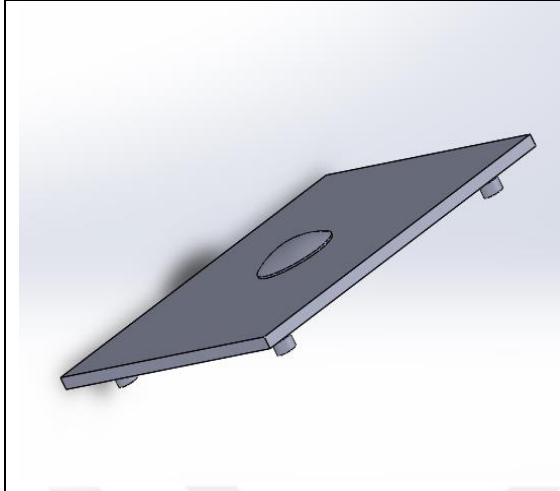
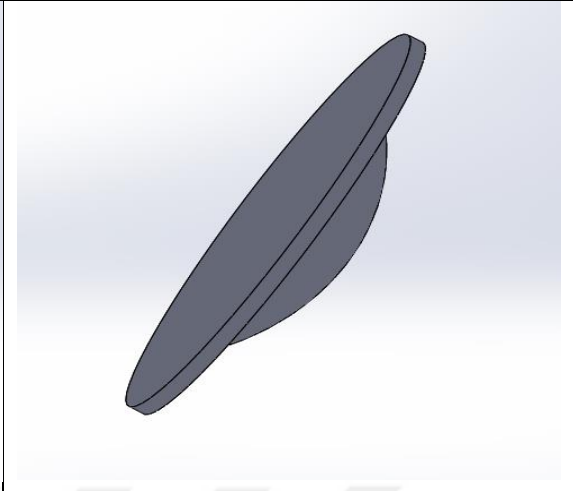
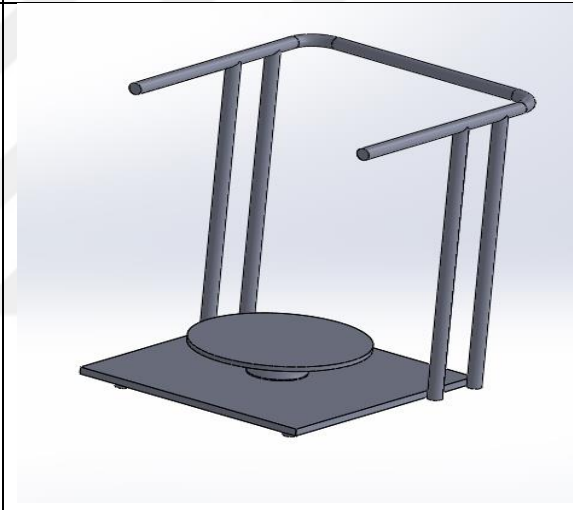
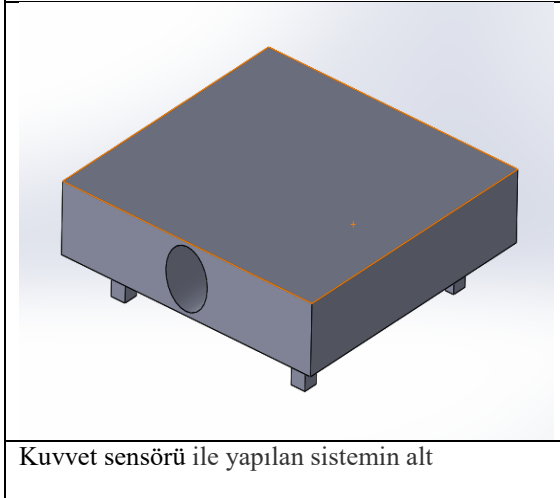
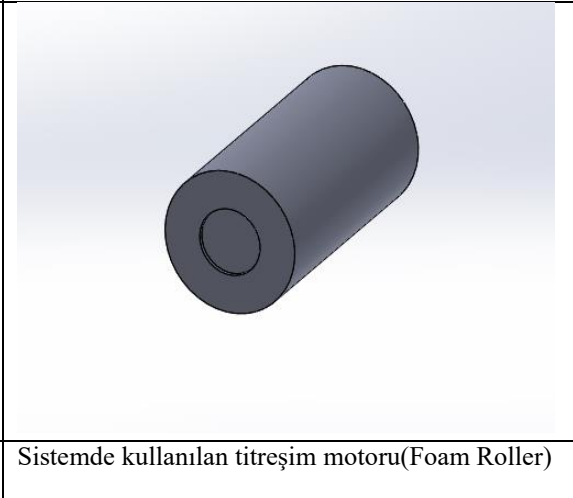


EKLER

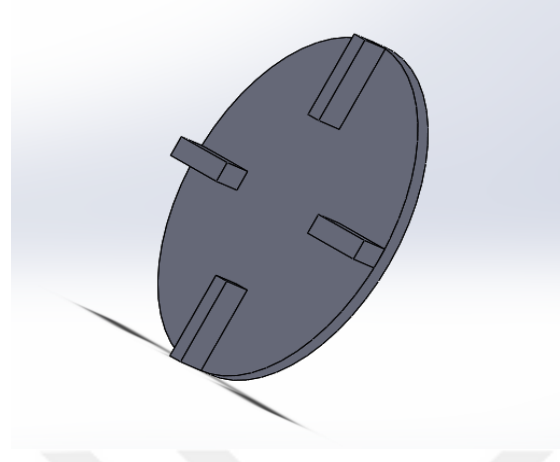
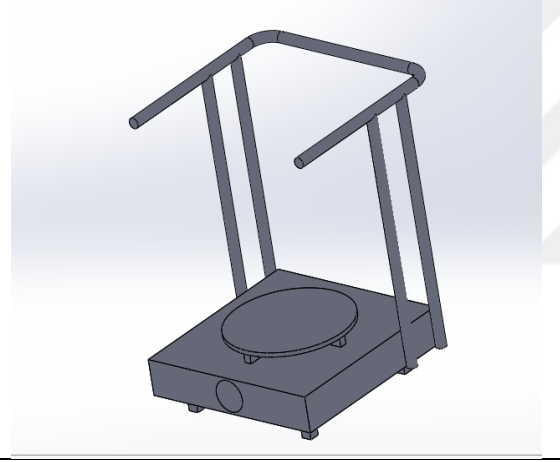
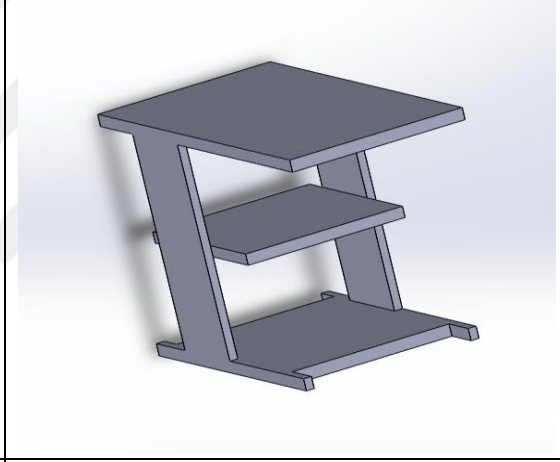
EK 1. Sistemin solidworks çizimleri.



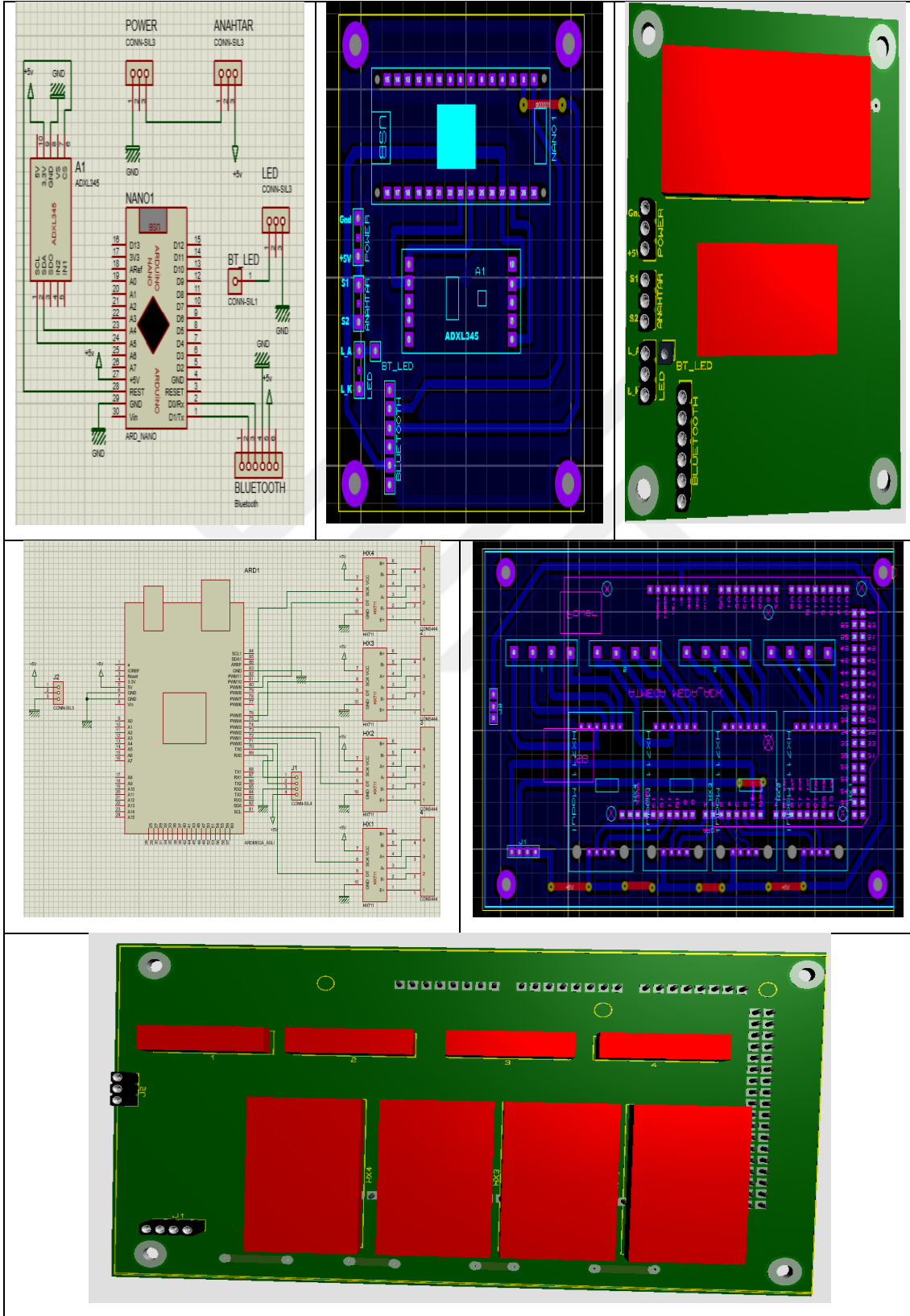
EK 1 (Devam). Sistemin solidworks çizimleri.

	
İvme sensörü ile yapılan sistemin alt tabakası	İvme sensörü ile yapılan sistemin hareketli zemini
	
İvme sensörü ile yapılan sistemin korkuluğu	İvme sensörü ile yapılan sistemin bütün hali
	
Kuvvet sensörü ile yapılan sistemin alt	Sistemde kullanılan titreşim motoru(Foam Roller)

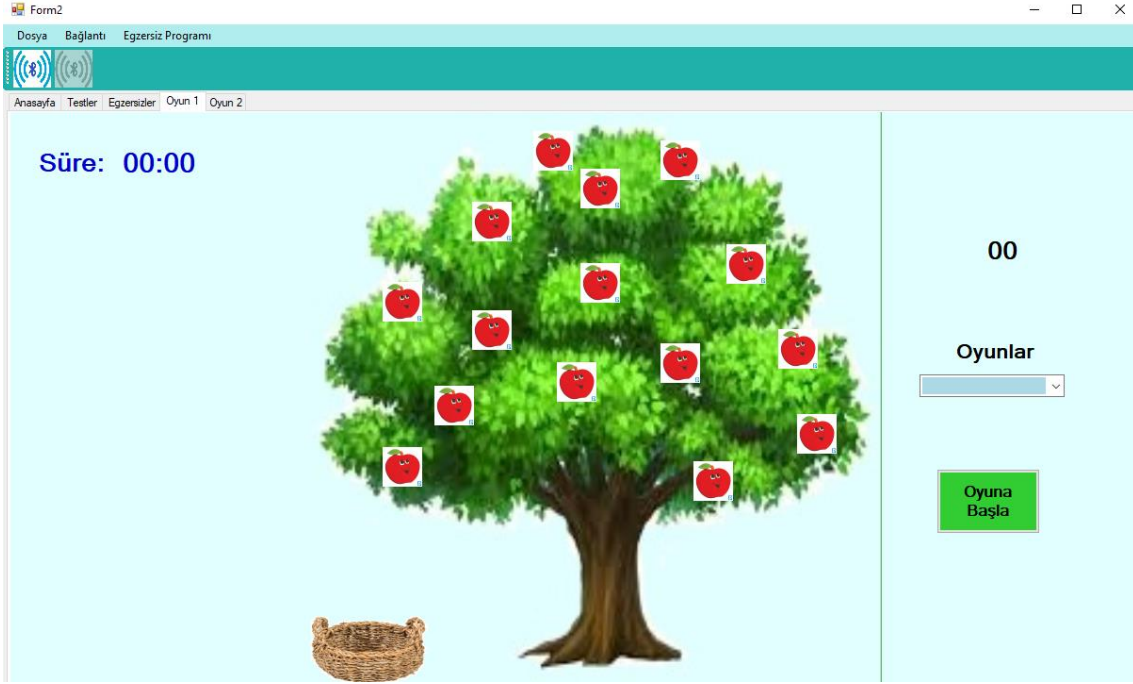
EK 1 (Devam). Sistemin solidworks çizimleri.

	
Kuvvet sensörü ile yapılan sistemin sabit zemini	Kuvvet sensörü ile yapılan sistemin korkuluğu
	
Kuvvet sensörü ile yapılan sistemin bütün hali	

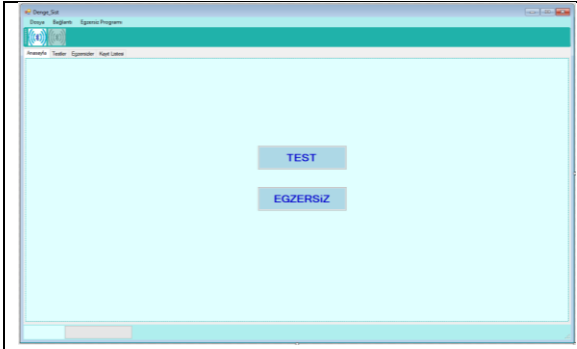
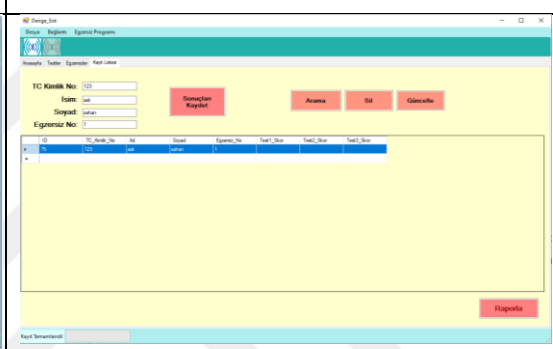
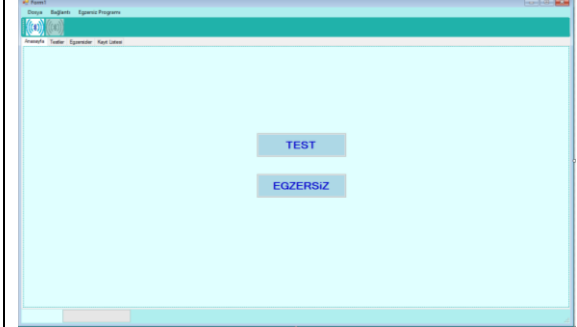
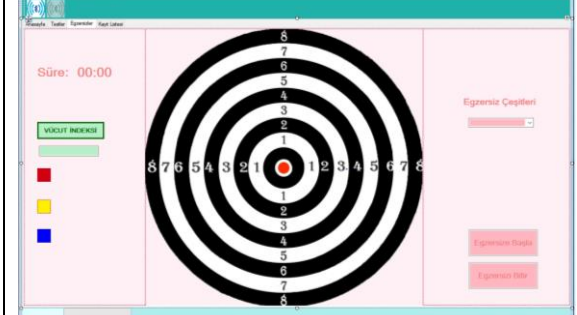
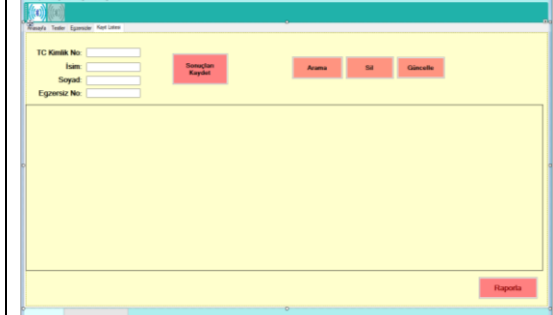
EK 2. Sistemin tasarım şemaları ve PCB ait 3D görüntüler.



EK 3. Egzersiz için tasarlanan oyunlar.



EK 4. Visual Studio programında hazırlanmış arayüz programları görselleri.

	
Denge Sisteminin (İvme Sensörü) Arayüz Yazılımı	Denge Sistemi (İvme Sensörü) Arayüz Yazılımı Test Sayfası
	
Denge Sistemi (İvme Sensörü) Arayüz Yazılımı Egzersiz Sayfası	Denge Sistemi (İvme Sensörü) Arayüz Yazılımı Kayıt Sayfası
	
Denge Sisteminin (Kuvvet Sensörü) Arayüz Yazılımı	Denge Sistemi (Kuvvet Sensörü) Arayüz Yazılımı Test Sayfası
	
Denge Sistemi (Kuvvet Sensörü) Arayüz Yazılımı Egzersiz Sayfası	Denge Sistemi (Kuvvet Sensörü) Arayüz Yazılımı Kayıt Sayfası

EK 5. Sistemden alınan verilerin excel de oluşturulan rapor görüntüleri.



EK 5 (Devam). Sistemden alınan verilerin excel de oluşturulan rapor görüntüleri.

<table> <tr> <th>Merkez</th><th>1. Bölge</th><th>2. Bölge</th><th>3. Bölge</th><th>4. Bölge</th><th>Genel</th></tr> <tr> <td>Süre</td><td>0,55</td><td>20,97</td><td>2,16</td><td>2,14</td><td>4,19</td><td>30,00</td></tr> <tr> <td>Uzaklık</td><td>0,00</td><td>104,96</td><td>110,53</td><td>73,61</td><td>62,60</td><td>94,44</td></tr> <tr> <td>Açı</td><td>0,00</td><td>80,71</td><td>91,86</td><td>266,97</td><td>298,84</td><td>65,17</td></tr> </table> Adı Soyadı: Not: İstatistik Analiz	Merkez	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	Genel	Süre	0,55	20,97	2,16	2,14	4,19	30,00	Uzaklık	0,00	104,96	110,53	73,61	62,60	94,44	Açı	0,00	80,71	91,86	266,97	298,84	65,17	<table> <tr> <th>Merkez</th><th>1. Bölge</th><th>2. Bölge</th><th>3. Bölge</th><th>4. Bölge</th><th>Genel</th></tr> <tr> <td>Süre</td><td>0,55</td><td>12,23</td><td>4,58</td><td>6,22</td><td>6,42</td><td>30,00</td></tr> <tr> <td>Uzaklık</td><td>0,00</td><td>96,98</td><td>78,04</td><td>92,41</td><td>94,08</td><td>12,22</td></tr> <tr> <td>Açı</td><td>0,00</td><td>86,39</td><td>96,29</td><td>269,30</td><td>273,79</td><td>282,54</td></tr> </table> Adı Soyadı: Not: İstatistik Analiz	Merkez	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	Genel	Süre	0,55	12,23	4,58	6,22	6,42	30,00	Uzaklık	0,00	96,98	78,04	92,41	94,08	12,22	Açı	0,00	86,39	96,29	269,30	273,79	282,54
Merkez	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	Genel																																																		
Süre	0,55	20,97	2,16	2,14	4,19	30,00																																																	
Uzaklık	0,00	104,96	110,53	73,61	62,60	94,44																																																	
Açı	0,00	80,71	91,86	266,97	298,84	65,17																																																	
Merkez	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	Genel																																																		
Süre	0,55	12,23	4,58	6,22	6,42	30,00																																																	
Uzaklık	0,00	96,98	78,04	92,41	94,08	12,22																																																	
Açı	0,00	86,39	96,29	269,30	273,79	282,54																																																	
Denge Sistemi (Kuvvet Sensörü) 1.Vibrasyon Seviyesinde 2.Test Sonuçları	Denge Sistemi (Kuvvet Sensörü) 2.Vibrasyon Seviyesinde 2.Test Sonuçları																																																						
<table> <tr> <th>Merkez</th><th>1. Bölge</th><th>2. Bölge</th><th>3. Bölge</th><th>4. Bölge</th><th>Genel</th></tr> <tr> <td>Süre</td><td>0,59</td><td>19,70</td><td>5,84</td><td>1,48</td><td>2,38</td><td>30,00</td></tr> <tr> <td>Uzaklık</td><td>0,00</td><td>136,12</td><td>121,35</td><td>85,94</td><td>51,76</td><td>127,49</td></tr> <tr> <td>Açı</td><td>0,00</td><td>85,53</td><td>91,97</td><td>259,63</td><td>297,68</td><td>83,24</td></tr> </table> Adı Soyadı: Not: İstatistik Analiz	Merkez	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	Genel	Süre	0,59	19,70	5,84	1,48	2,38	30,00	Uzaklık	0,00	136,12	121,35	85,94	51,76	127,49	Açı	0,00	85,53	91,97	259,63	297,68	83,24	<table> <tr> <th>Merkez</th><th>1. Bölge</th><th>2. Bölge</th><th>3. Bölge</th><th>4. Bölge</th><th>Genel</th></tr> <tr> <td>Süre</td><td>0,02</td><td>6,42</td><td>8,86</td><td>8,20</td><td>6,50</td><td>30,00</td></tr> <tr> <td>Uzaklık</td><td>0,00</td><td>232,31</td><td>228,88</td><td>172,54</td><td>212,62</td><td>173,19</td></tr> <tr> <td>Açı</td><td>0,00</td><td>74,33</td><td>128,16</td><td>213,99</td><td>295,99</td><td>222,08</td></tr> </table> Adı Soyadı: Not: İstatistik Analiz	Merkez	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	Genel	Süre	0,02	6,42	8,86	8,20	6,50	30,00	Uzaklık	0,00	232,31	228,88	172,54	212,62	173,19	Açı	0,00	74,33	128,16	213,99	295,99	222,08
Merkez	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	Genel																																																		
Süre	0,59	19,70	5,84	1,48	2,38	30,00																																																	
Uzaklık	0,00	136,12	121,35	85,94	51,76	127,49																																																	
Açı	0,00	85,53	91,97	259,63	297,68	83,24																																																	
Merkez	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	Genel																																																		
Süre	0,02	6,42	8,86	8,20	6,50	30,00																																																	
Uzaklık	0,00	232,31	228,88	172,54	212,62	173,19																																																	
Açı	0,00	74,33	128,16	213,99	295,99	222,08																																																	
Denge Sistemi (Kuvvet Sensörü) 3.Vibrasyon Seviyesinde 2.Test Sonuçları	Denge Sistemi (Kuvvet Sensörü) 3.Test Sonuçları																																																						
<table> <tr> <th>Merkez</th><th>1. Bölge</th><th>2. Bölge</th><th>3. Bölge</th><th>4. Bölge</th><th>Genel</th></tr> <tr> <td>Süre</td><td>0,02</td><td>7,36</td><td>9,19</td><td>6,70</td><td>6,73</td><td>30,00</td></tr> <tr> <td>Uzaklık</td><td>0,00</td><td>231,86</td><td>227,20</td><td>214,61</td><td>205,73</td><td>181,59</td></tr> <tr> <td>Açı</td><td>0,00</td><td>80,18</td><td>148,98</td><td>222,71</td><td>311,91</td><td>194,95</td></tr> </table> Adı Soyadı: Not: İstatistik Analiz	Merkez	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	Genel	Süre	0,02	7,36	9,19	6,70	6,73	30,00	Uzaklık	0,00	231,86	227,20	214,61	205,73	181,59	Açı	0,00	80,18	148,98	222,71	311,91	194,95	<table> <tr> <th>Merkez</th><th>1. Bölge</th><th>2. Bölge</th><th>3. Bölge</th><th>4. Bölge</th><th>Genel</th></tr> <tr> <td>Süre</td><td>0,02</td><td>7,28</td><td>8,23</td><td>7,25</td><td>7,22</td><td>30,00</td></tr> <tr> <td>Uzaklık</td><td>0,00</td><td>264,52</td><td>210,52</td><td>214,37</td><td>205,64</td><td>78,31</td></tr> <tr> <td>Açı</td><td>0,00</td><td>74,34</td><td>152,11</td><td>250,28</td><td>302,88</td><td>195,80</td></tr> </table> Adı Soyadı: Not: İstatistik Analiz	Merkez	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	Genel	Süre	0,02	7,28	8,23	7,25	7,22	30,00	Uzaklık	0,00	264,52	210,52	214,37	205,64	78,31	Açı	0,00	74,34	152,11	250,28	302,88	195,80
Merkez	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	Genel																																																		
Süre	0,02	7,36	9,19	6,70	6,73	30,00																																																	
Uzaklık	0,00	231,86	227,20	214,61	205,73	181,59																																																	
Açı	0,00	80,18	148,98	222,71	311,91	194,95																																																	
Merkez	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	Genel																																																		
Süre	0,02	7,28	8,23	7,25	7,22	30,00																																																	
Uzaklık	0,00	264,52	210,52	214,37	205,64	78,31																																																	
Açı	0,00	74,34	152,11	250,28	302,88	195,80																																																	
Denge Sistemi (Kuvvet Sensörü) 1.Vibrasyon Seviyesinde 3.Test Sonuçları	Denge Sistemi (Kuvvet Sensörü) 2.Vibrasyon Seviyesinde 3.Test Sonuçları																																																						
<table> <tr> <th>Merkez</th><th>1. Bölge</th><th>2. Bölge</th><th>3. Bölge</th><th>4. Bölge</th><th>Genel</th></tr> <tr> <td>Süre</td><td>0,02</td><td>7,88</td><td>9,22</td><td>8,08</td><td>4,81</td><td>30,00</td></tr> <tr> <td>Uzaklık</td><td>0,00</td><td>186,95</td><td>192,71</td><td>224,07</td><td>204,23</td><td>102,73</td></tr> <tr> <td>Açı</td><td>0,00</td><td>63,61</td><td>129,22</td><td>211,92</td><td>312,50</td><td>207,68</td></tr> </table> Adı Soyadı: Not: İstatistik Analiz	Merkez	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	Genel	Süre	0,02	7,88	9,22	8,08	4,81	30,00	Uzaklık	0,00	186,95	192,71	224,07	204,23	102,73	Açı	0,00	63,61	129,22	211,92	312,50	207,68																												
Merkez	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	Genel																																																		
Süre	0,02	7,88	9,22	8,08	4,81	30,00																																																	
Uzaklık	0,00	186,95	192,71	224,07	204,23	102,73																																																	
Açı	0,00	63,61	129,22	211,92	312,50	207,68																																																	
Denge Sistemi (Kuvvet Sensörü) 3.Vibrasyon Seviyesinde 3.Test Sonuçları																																																							

EK 6. Tez için yapılan yayınlar.

DEVELOPMENT OF STATIC AND DYNAMIC EQUATION IN THE LOWER EXTREMITY: DESIGN AND VERIFYING OF GAME BASED EXERCISE AND MEASUREMENT DEVICE

Uğur Fidan¹, Mehmet Yıldız², Aslıhan Şahan¹ and Ali Gün¹

Biomedical Engineering, Afyon Kocatepe University, Afyonkarahisar, Turkey¹

Beden Eğitimi ve Spor Yüksek Okulu, Afyon Kocatepe University, Afyonkarahisar, Turkey²

Equilibrium is the ability of the body to remain in a stable position, or to make steady movements against external forces. Another definition is that the gravitational center of the person can be held within the perceptual frame. Balance can be examined under two main headings as static and dynamic. Static equilibrium is a skill that involves maintaining the position of the centre of gravity in very few moving situations. Dynamic equilibrium can be considered as stabilization or maintenance of some movements or non-constant surfaces. Equilibrium skill is known to play an important role in preserving the position of the body in a spectacularly successful exhibition, changing direction, stopping, starting, holding, moving the object. Equilibrium control is a complex motor skill that involves the integration of sensory inputs as well as the planning and execution of flexible motion patterns. The coordination of the whole body as a whole takes place in direct proportion to its balance. This study aims to measure and improve the adequacy of proprioceptive senses for professional athletes who need top level balance and mobility. The realized system consists of two main parts as hardware and software. The data received by the ADXL 345 acceleration sensor, which measures the deviation of the body from the centre of gravity, is transferred to the microcontroller via serial synchronous communication. With the transmitted data controller software, the pitch, roll and yaw angles are calculated and sent to the PC software via the wireless communication module. Analysis of the data transferred to the PC was performed with the interface software prepared in the C # programming language of Microsoft® under the .NET® platform. The developed software has enabled the person to measure the adequacy of the proprioceptive senses and has been transformed into a game-

EK 6 (Devam). Tez için yapılan yayınlar.

based exercise system for the development of the proprioceptive senses of the person with the developed games. The validity and reliability of the system has been tested with the open access Kinevoa software which is the image processing program. During the test, a high speed Gopro Hero 4 action camcorder was used at a shooting speed of 240fps. When the data obtained from the developed system and the data obtained by image analysis are compared, it is seen that the system is reliable. However, in order to determine the system validity, it is necessary to make repetition tests by creating control and test groups.

KEYWORDS: Lower extremity, Static and Dynamic Balance, Game Based Exercise

INTRODUCTION: Balance is an ability that is effective in exhibiting sports skills, changing direction, stopping, moving the object, or protecting the body position. Individuals provide the balance of the body with data from visual, vestibular, and proprioceptive systems. When studies are investigated in the literature which to measure and develop the static and dynamic balance of athletes who need to perform at high levels or who need physical therapy and rehabilitation; In 2014, Şahin et al investigated the effect of balance disk exercises on dynamic balance and posture control. 10 individuals participated in this study as a control group and 10 individuals participated as a test group. The test group applied the exercises, using the balance disk for 50 minutes 3 days of a week, and during 6 weeks. As a result of the research, it was seen that dynamic balance and posture control of the test group increased with respect to the control group (Gulsah Sahin et al. 2014). In 2015, Kaynak et al investigated whether hot and cold applications affect proprioception in joints. According to the results of the study, it was determined that the proprioception level increased after the hot application and the proprioceptive deteriorated with the cold application (Haydar Kaynak et al. 2015). In 2016, Erdogan and his colleagues investigated the effects of dynamic and static balance exercises on the lower extremity. The participants were subjected to a star balance test for dynamic balance measurement and a flamingo balance test for static balance measurement. After exercise, a positive difference was found in the dynamic and static balance parameters of both groups ($p<0,05$). In comparison between the groups, static balance exercises were found to be more effective than dynamic balance exercises ($p<0,05$). As a result, it has been proven that balance exercises increase lower extremity muscle stabilization and that static balance exercises are more effective on balance performance than dynamic balance exercises (Ceren Suveren Erdogan et al. 2016).

The fact that the whole body can move in a coordinated manner as a whole is proportional to the balance. Equilibrium control is a complex motoric skill that involves the integration of

EK 6 (Devam). Tez için yapılan yayınlar.

sensory inputs as well as the planning and execution of flexible modes of motion. This study aims to measure and improve the adequacy of proprioceptive senses for patients with physiological disorders (Stroke, Parkinson, orthopedic trauma, etc.) and professional athletes who need high level balance and mobility.

METHODS: The proprioceptive system (figure 1) first begins with the mechanoreceptors perceive the changing position, state or forces. Mechanoreceptors are found in all tissues within the nervous tissue. Histologic studies reveal the presence of different mechanoreceptors. The most well-known can be summarized as ruffini endings, pacinian bodies, golgi tendon organ receptors and muscle spindle (Haydar Kaynak et al. 2015).

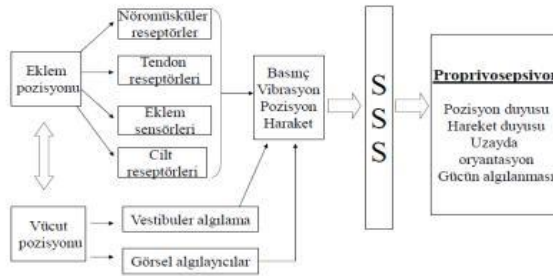


Figure 1: Process of Proprioception Process

These cells transform the compression, traction, bending, and rotational deformations that act on them into chemical effects, by using sodium potassium ion pump. The resulting electrical current is delivered to free nerve endings where each receptor cell is bound. The process then reached the somatosensory cortex. Somatosensory cortex is the essential region where all information from the target tissue is synthesized, analysed and the response to this situation is organized. Decision to be delivered to tissue, muscle, bone, tendon region through efferent networks and by providing the response, the joint will be kept in the safest position, protected from injury (Sharma, 1999). A general exercise and measurement system that measures the adequacy of the proprioceptive senses and aims to improve the proprioceptive senses by exercise is shown in Figure 2. This system consists of two main parts, hardware and software. The data received by the ADXL345 acceleration sensor, which measures the deviation of the body from the balance centre, is transferred to the microcontroller through serial synchronous communication. The transmitted data is sent to the PC software via the wireless communication module by calculating pitch roll and yaw angles with the controller software. Analysis of the

EK 6 (Devam). Tez için yapılan yayınlar.

data transferred to the PC was performed by Microsoft® interface software prepared in the C # programming language under the .NET® platform. The developed software allows one to measure the adequacy of the proprioceptive senses; has been transformed into a game-based exercise system for the development of the proprioceptive senses of the person with the developed games.

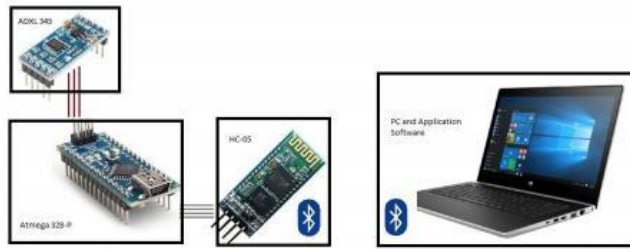


Figure 2: Exercise and Measurement System for Proprioceptive Sensory Enhancement

RESULTS: Figure 3 shows the balance measurement system and PC interface software. Once wireless communication is provided between the interface software and the balance measurement system, the measurement or exercise mode is selected. In exercise mode, training is carried out without time limit. The static or dynamic balance of the lower extremity is measured within 30 seconds of measurement mode. The measured data are saved in an excel file format for analysis.

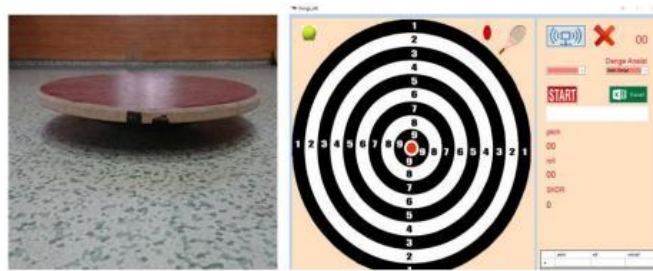


Figure 3: Balance Measurement System and PC Interface Software

Figure 4 shows the effect of visibility on static balance. These graphs show that equilibrium is not only related to the proprioceptive process but also to the ability to see.

EK 6 (Devam). Tez için yapılan yayınlar.

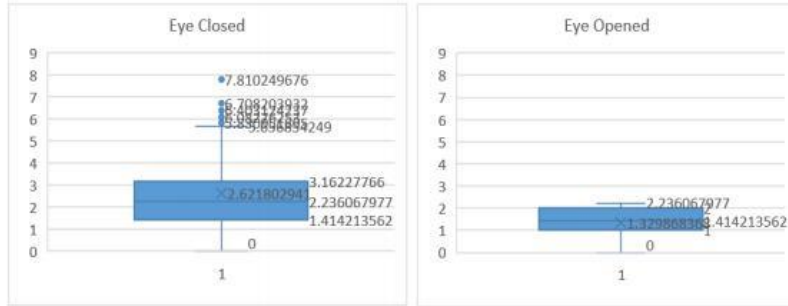


Figure 4: The Effect of Sight on Static Equilibrium

DISCUSSION: The improving of balance ability creates a more stable lower limb, resulting in more controlled and consistent movements. Lots of studies have been performed on lower extremity stability. In these studies, static and dynamic equilibrium conditions were examined by applying tests such as balance discs, star balance test, flamingo equilibrium test. Unlike other studies, this study combines the measurement and exercise system to measure the adequacy of the proprioceptive senses and to develop them through exercise.

CONCLUSION: This study provides the ability to measure and improve the adequacy of proprioceptive senses for physiological disorders (Stroke, Parkinson, orthopaedic trauma, etc.) and for professional athletes requiring high levels of balance and mobility. When the data obtained from the developed system and the data obtained by image analysis are compared, it is determined that the system is reliable. However, in order to determine the system validity, it is necessary to form control and test groups and perform repetition tests.

REFERENCES

1. Şahin, G., Şeker, H., Yeşilırmak, M., Çadır, A., (2016). Denge diski egzersizlerinin dinamik denge ve duruş kontrolü üzerindeki etkisinin incelenmesi. Spor ve Performans Araştırmaları Dergisi
2. Kaynak, H., Altun, M., Özer, M., Akseki, D., (2015). Sporda Propriosepsiyon ve Sıcak - Soğuk Uygulamalarla İlişkisi. CBÜ Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi
3. Erdoğan, C.S., Er, F., İpekoğlu, G., Çolakoğlu, T., Zorba, E., Çolakoğlu, F.F., (2016). Farklı denge egzersizlerinin voleybolcularda statik ve dinamik denge performansı üzerine etkileri. Spor ve Performans Araştırmaları Dergisi

EK 6 (Devam). Tez için yapılan yayınlar.

4. İşler, K.A., (2007). Titreşimin performansa etkisi. Spor Bilimleri Dergisi, 18 (1): 42-56
5. Akseki, D., Erduran, M., Özarslan S., Pınar, H.,(2010). Patellofemoral ağrı sendromu saptanan hastalarda,dizde vibrasyon duyusu, propiosepsiyon duyusu ile paralel olarak algılanmaktadır: Pilot çalışma. Eklem Hastalık Cerrahisi
6. Ateş, B., Çetin, E., Yarım, İ., (2017). Kadın Sporcularda Denge Yeteneği ve Denge Antrenmanları. Gaziantep Üniversitesi Spor Bilimleri Dergisi
7. Şimşek, D., Ertan, H., (2011). Postural Kontrol Ve Spor: Spor Branşlarına Yönelik Postural Sensör-Motor Stratejiler Ve Postural Salınım. SPORMETRE Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi, 2011, IX (3) 81-90
8. <https://www.robotistan.com/adxl345-3-eksen-ivme-olcer-triple-axis-accelerometer-breakout-adxl345>
9. <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/unity3d-oyun-motoru-nedir/15164#ad-image-0>

ACKNOWLEDGEMENTS: We would like to thank the Afyon Kocatepe University Scientific Research Projects Coordination Office for the support (18. Fen.Bil.43).

EK 7. Tez için yapılan yayınlar.

İNSAN BİLGİSAYAR ETKİLEŞİMİ İLE PROPRİOSEPTİF DUYULARIN GELİŞTİRİLMESİ

Uğur Fidan¹, Mehmet Yıldız², Aslıhan Şahan³

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0356-017X)

² Afyon Kocatepe Üniversitesi, Beden Eğitimi ve Spor Yüksek Okulu, Antrenörlük Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3481-7775)

³ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2102-1164)

Öz

Dış ortamdan gelen kuvvetlere karşı kararlı hareketler yapabilme veya vücut postürünün korunmasından sorumlu olan denge yön değiştirme, durma, tutma, nesneyi hareket ettirme vb. kinetik ve kinematik hareketleri kontrol etmektedir. Bu hareketler görsel, vestibüler ve proprioseptif sistemlerden alınan verilerin beyin denge merkezinde işlenmesi ile sağlanmaktadır. Kas, eklem ve tendonlarda bulunan mekanoreseptörlerin değişen pozisyon, durum ya da güçleri algılaması ile başlayan proprioseptif sistem vücudun ve uzuvların konumunun beyin tarafından algılanmasına yardımcı olur. Herhangi bir rahatsızlık nedeni ile fizik tedavi ve rehabilitasyona ihtiyaç duyan hastalar veya üst düzey performans göstermesi gereken sporcuların hareket yeteneklerini geliştirmek için farklı tedavi ve egzersiz programları bulunmaktadır. Günümüzde gelişmekte olan insan bilgisayar etkileşim (HMI) araçları her alanda olduğu gibi fizik tedavi ve rehabilitasyon ile spor alanında da kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışma, proprioseptif duyularının geliştirilmesi ve gelişimin sürecinin takip edilebildiği bir ölçüm sistemini gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır. Gerçekleştirilen sistem donanım, mekanik ve yazılım olmak üzere üç temel bölümden oluşmaktadır. Kişinin denge merkezinden sapmasını ölçen Zemic L6E kuvvet sensörü ile alınan veriler seri senkron haberleşme ile mikrodenetleyiciye aktarılır. Aktarılan veriler denetleyici yazılımı ile kuvvet değerleri hesaplanarak kablosuz haberleşme modülü üzerinden PC yazılımına gönderilir. PC'ye aktarılan veriler işlenerek Unity oyun motorunda tasarlanan oyunlarda cisimleri yönlendirmek için kullanılmıştır. Böylece kişilerin proprioseptif duyularının geliştirilmesi için oyun tabanlı bir egzersiz sistemi oluşturulmuştur. Geliştirilen sistem ile bireyin ağırlık merkezinin frontal ve lateral eksenlerdeki sapması ölçülmüştür. Sağlıklı bir bireyin 30 s test süresince frontal ekseninde $\pm 1^\circ$, lateral ekseninde $\pm 1^\circ$ salınım yaptığı görülmüştür. Geliştirilen ölçüm ve egzersiz programı ile sağlıklı bir birey programın uygulama takvimine bağlı kalınarak çalıştırılmıştır. Egzersiz programı sonunda frontal ve lateral eksenlerdeki salınım açıları tekrar ölçülmüştür. Egzersiz sonunda bireyin

EK 7 (Devam). Tez için yapılan yayınlar.

frontal eksen $\pm 0.2^\circ$, lateral eksen $\pm 0.03^\circ$ salınım yaptığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlar proprioseptif duyuların insan bilgisayar etkileşim araçları ile hem ölçülebileceği hem de geliştirilebileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Alt ekstremité, Denge, Proprioseptif Duyu, Unity, Oyun Tabanlı Egzersiz

Development of Proprioceptive Senses by Human Machine Computer Interacation

Abstract

Balance that is responsible for maintaining stable movements against external forces or maintaining body posture; change direction, stop, hold, move the object and so on. controls kinetic and kinematic movements. These movements provide visual, vestibular and proprioceptive systems by processing the data in the brain balance center. The proprioceptive system, which starts with the mechanoreceptors in the muscles, joints and tendons, perceives changing positions, states or forces, helps the brain to perceive the position of the body and limbs. There are different treatment and exercise programs to improve the mobility of the patients who need physical therapy and rehabilitation due to any discomfort or the athletes who need to perform at high level. Today, developing human computer interaction (HMI) tools are being used as in all areas, physical therapy and rehabilitation as well as in sports. This study aims to develop a proprioceptive senses and to realize a measurement system in which the progress of development can be followed. The system consists of three basic parts: hardware, mechanical and software. The data received by the Zemic L6E force sensor which measures the deviation from the center of balance of the person is transferred to the microcontroller via serial synchronous communication. The transmitted data is sent to the PC software via wireless communication module by calculating the force values with the controller software. The data transferred to the PC were processed and used to manipulate objects in games designed in the Unity game engine. Thus a person of game-based exercise system was created for the development of proprioceptive sense. The deviation of the center of gravity of the individual on the frontal and lateral axes was measured with the developed system. A healthy individual oscillated $\pm 1^\circ$ on the frontal axis and $\pm 1^\circ$ on the lateral axis during the 30 s test. With the developed measurement and exercise program, a healthy individual was employed by adhering to the application schedule of the program. At the end of the exercise program, oscillation angles in the frontal and lateral axes were measured again. At the end of the exercise, it was observed

EK 7 (Devam). Tez için yapılan yayınlar.

that the individual oscillated ± 0.20 in the frontal axis and ± 0.030 in the lateral axis. The results show that proprioceptive senses can be measured and improved by human computer interaction tools.

Keywords: Lower extremity, Balance, Proprioceptive Sense, Unity, Game Based Exercise

1. Giriş

Tüm vücudun koordineli şekilde hareket edebilmesi denge becerisiyle doğru orantılı olarak gerçekleşir. Dengenin kontrolü, duyuşal girdilerin bütünleşmesi yanında esnek hareket şekillerinin planlanması ve uygulamasını içeren karmaşık bir motorik beceridir. Bireyler vücudun dengesini görsel, vestibüler ve Proprioseptif sistemlerden alınan veriler ile sağlamaktadır. Kas, eklem ve tendonlarda bulunan mekanoreseptörlerin değişen pozisyon, durum ya da güçleri algılaması ile başlayan proprioseptif sistem vücudun ve uzuvların konumunun beyin tarafından algılanmasına yardımcı olur. Herhangi bir rahatsızlık nedeni ile fizik tedavi ve rehabilitasyona ihtiyaç duyan hastalar veya üst düzey performans göstermesi gereken sporcuların hareket yeteneklerini geliştirmek için farklı tedavi ve egzersiz programları bulunmaktadır. Günümüzde gelişmekte olan insan bilgisayar etkileşim (HMI) araçları her alanda olduğu gibi fizik tedavi ve rehabilitasyon ile spor alanında da kullanılmaya başlanmıştır.

Konu ile ilgili literatür incelendiğinde; 2016 yılında Erdoğan ve arkadaşları dinamik ve statik denge egzersizlerinin alt ekstremité üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışmalarında deneklere dinamik denge ölçümü için yıldız denge testi ve statik denge ölçümü için flamingo denge testi uygulanmıştır. Çalışma sonucunda denge egzersizlerinin alt ekstremité kas stabilizasyonunu arttırdığı ve statik denge egzersizlerinin dinamik denge egzersizlerine göre denge performansı üzerinde daha etkili olduğu kanıtlanmıştır (Ceren Suveren Erdoğan et al. 2016). 2017 yılında Ateş ve arkadaşlarını yaptığı çalışma, denge antrenmanlarının sakatlık sonrası rehabilitasyon programının bir parçası olarak veya sportif performansı arttırmak için uygulandığını göstermektedir (Bahar Ateş et al. 2017). 2018 yılında Demir ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ise nintendo wii video oyunu ile wobble board denge antrenmanlarının statik denge gelişimleri üzerine etkisini karşılaştırmıştır. Araştırma sonrasında hem wobble board hem de nintendo wii video oyunlarının çocuklarda statik dengeyi geliştirdiğini saptanmıştır. Bu araştırma aktif video oyunlarının denge antrenmanları kadar etkili olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda aktif video oyunları dengeyi geliştirmek için alternatif bir yöntem olarak araştırmacılar tarafından önerilmektedir. (Abdurrahman Demir et al. 2018). Konu ile ilgili

EK 7 (Devam). Tez için yapılan yayınlar.

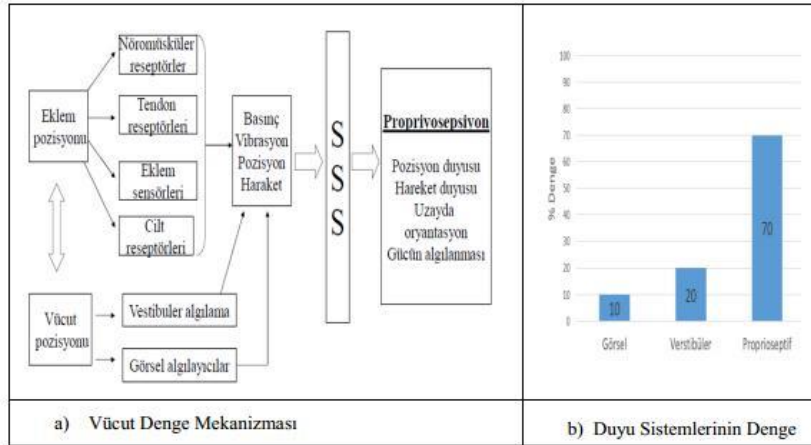
yapılan çalışmalar incelendiğinde proprioseptif duyuların geliştirilebileceğini göstermekle birlikte bu sistemlerin tasarımı ve gerçekleştirilmesi üzerine yapılan çalışmaların yetersiz olduğunu göstermektedir. Denge ölçümü için kliniklerin denge merkezinde bulunan posturografi cihazlarından yararlanılmaktadır. Bu sistemler pahalı ve denge ölçümüne yönelik olup bünyesinde egzersiz ile gelişim modülleri bulunmamaktadır.

Günümüzde oyun oynama fikri pek çok alanda kullanılmakta ve bu sayede zorlanarak ya da sıkılarak yapılan uygulamalar daha eğlenceli hale getirilebilmektedir. Bu çalışma, üst düzey denge ve hareketliliğe ihtiyaç duyan profesyonel sporcular veya herhangi bir rahatsızlık sonucunda fizik tedavi ve rehabilitasyona ihtiyaç duyulan hastalar için proprioseptif duyuların yeterliliğini ölçmeyi ve tasarlanan oyunlar ile bu duyuları geliştirmeyi amaçlamaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Denge ve Duyu Sistemleri

Şekil 1'de vücut denge mekanizması ve görsel, vestibüler ve proprioseptif duyularının denge üzerindeki etki oranları görülmektedir. Şekil 1b'de görüldüğü üzere vücut dengesinin sağlanmasında proprioseptif sistemin daha etkili olduğu görülmektedir. Proprioseptif sistem, ilk olarak mekanoreseptörlerin değişen pozisyon, durum ya da güçleri algılaması ile başlamakta. Mekanoreseptörler, içerisinde sinir dokusu bulunan tüm dokularda bulunurlar. Yapılan histolojik çalışmalar farklı mekanoreseptörlerin varlığını ortaya koymaktadır. En çok bilinenleri ruffini sonlanmaları, pacinian cisimcikleri, golgi tendon organ reseptörleri, kas içiği olarak özetlenebilir. (Haydar Kaynak et al. 2015).



EK 7 (Devam). Tez için yapılan yayınlar.

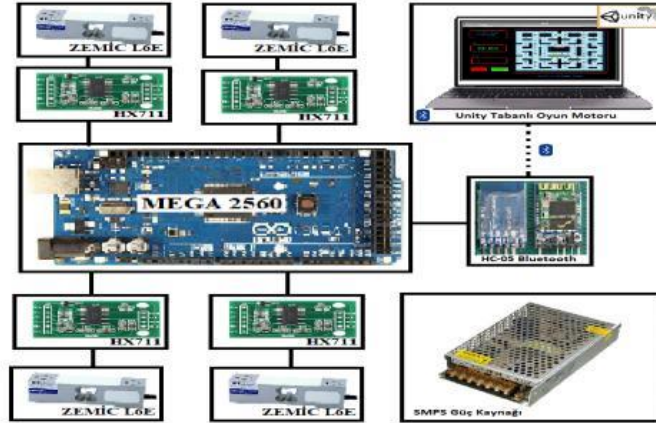
	Üzerine Etkisi
--	----------------

Şekil 1. Denge Mekanizması ve Duyu Sistemlerinin Etkisi

Mekanoreseptörler her dokuda farklı oranlarda bulunmaktadır. Örneğin tendonlarda ki gerilimi algılayan golgi tendon organı tendon bölgelerinde daha yoğun bulunmaktadır. Ağırlık kaldırıldığında, golgi tendon organı kasın ne kadar gergin olduğunu göstermektedir. Çok fazla kas gerginliği varsa, golgi tendon organı refleks yayı ile kasın herhangi bir kuvvet yaratmasını engeller ve bu sayede kas iskelet sistemini yaralanmalara karşı korur. Kas dokusu içerisinde bulunan kapsüllü yapıdaki kas içcikleri kas lifinin gerilme ve ksalmasına karşı duyarlıdır. Aktif veya pasif şekilde kasta oluşan gerilim değişimlerini santral sinir sistemine iletirler ve özel reflekslerin ortaya çıkmasını sağlar.

2.2. Ölçüm Egzersiz Sistemi

Şekil 2’de proprioseptif duyuların yeterliliklerini ölçen ve proprioseptif duyuları egzersiz ile geliştirmeyi sağlayan sistemin genel blok diyagramı görülmektedir. Gerçekleştirilen sistem mekanik, donanım ve yazılım olmak üzere üç temel bölümden oluşmaktadır. Mekanik sistemin 4 bir yanına yerleştirilen Zemic L6E kuvvet sensörleri ile vücudun ağırlık merkezindeki sapması ölçülmektedir. Ölçülen bu değerler I2C protokü üzerinden mikrodenetleyiciye aktarılır. Aktarılan veriler denetleyici yazılımı ile kutupsal forma dönüştürülerek merkezden olan sapma ve sapma açısı değerlerine dönüştürülür. Kutupsal formadaki bu veriler 2.4GHz çalışma frekanslı bluetooth 2.0 üzerinden PC yazılımına gönderilir. PC’ ye aktarılan veriler Unity3D oyun motorunda hazırlanmış oyunlardaki imleçlerin kontrolünü sağlamaktadır.

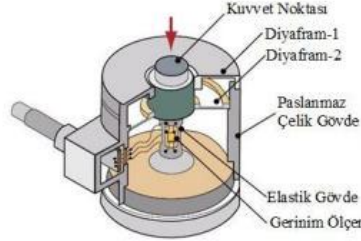


Şekil 2. Proprioseptif Duyuların Geliştirilmesi İçin Egzersiz ve Ölçüm Sistemi Blok Diyagramı

EK 7 (Devam). Tez için yapılan yayınlar.

2.2.1. Yük Hücresi

Şekil 3’de genel yapısı görülen yük hücresi üzerine uygulanan kuvveti elektrik sinyaline çevirmektedir. Hidrolik, pnömatik ve gerinim ölçerler gibi çeşitli yük hücre tipleri bulunmaktadır. Gerinim ölçer yük hücreleri, yük hücrelerinin elastik malzemesi uygun biçimde deforme olduğunda bu deformeye bağlı olarak gerinim ölçerde de gerinime neden olur. Bu deforme sonucu düzlemsel olarak oluşturulmuş hassas yüzeydeki direnç telleri uzayıp kısalarak direnç değişikliği oluşmaktadır. Gerinim ölçerin deformasyonu, uygulanan kuvvetle orantılı elektrik sinyallerine dönüştürülür (İnt.Kyn.6). Bu çalışmada kişinin denge durumunun ölçümünde platform tipi, alüminyum alaşımlı, IP65 koruma sınıfına sahip 200 kg kapasiteli Zemic L6E yük hücresi kullanılmıştır (İnt.Kyn.16).

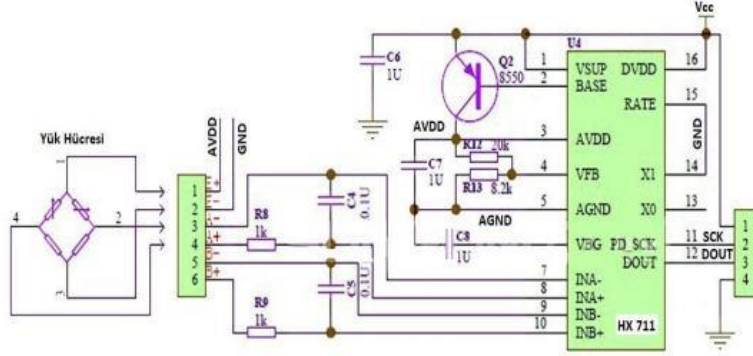


Şekil 3. Yük hücresi

2.2.1. HX 711Yük Hücre Yükseltici

Yük hücreleri, kesiti çok küçük iletken bir telin çok ince bir şerit üzerine tekrarlı sarımlar şeklinde yerleştirilmesinden oluşmaktadır. Temelde bir direnç olan bu sensörün görevi yüzeyin uzama miktarını ölçmektir. Kuvvet uygulandığında gerinim ölçerlerin üzerindeki tellerin çapı da yapıştırılan parçanın uzaması ile birlikte değişmektedir. Direnci değişen tellerin üzerinden geçen akımda değişmektedir. Bu çalışma prensibine göre değişen akım değeri Wheatstone köprüsü ile hassas bir şekilde ölçülebilmektedir. Şekil 4’de yük hücresinin ölçüm devresi görülmektedir. Devrede kullanılan HX711 entegre bünyesinde 24bit çözünürlüklü diferansiyel ADC bulunmaktadır. Saniyede 80 adet ölçümü dijital veriye dönüştürüp I2C protokolü üzerinden mikrodenetleyici devresine aktarmaktadır.

EK 7 (Devam). Tez için yapılan yayınlar.



Şekil 4. HX711 Devre Şeması

2.2. Egzersiz Programı

Tablo 1’de ölçüm ve egzersiz program içeriği görülmektedir. Geliştirilen içerik test, statik egzersiz ve dinamik egzersiz olmak üzere 3 bölümden oluşturulmuştur. Şekil 5’de ölçüm ve egzersiz programının uygulanması için 20 bölümden oluşturulan uygulama takvimi görülmektedir. Programdaki her bir bölüm statik ve dinamik olmak üzere 6 farklı aktivite içermektedir. Program bölümleri kolaydan zora doğru derecelendirilmiştir. Programın hafta içi hergün hafta sonları ise bireylerin kendi yaşam alanlarındaki egzersizler ile tamamlaması planlanmıştır. Programın ilk bölümü statik ve dinamik postür testlerini içermekte olup her 5 bölümde bir test tekrarlanarak gelişim sürecinin takibi sağlanmıştır. Elde edilen veriler Access veri tabanında tutularak program sonunda raporlanmıştır.

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Ölçüm ve Egzersiz Program İçeriği

Sıra	Test	Statik Egzersiz	Dinamik Egzersiz
1	Göz açık iken imlecin sagittal ekseninde 30s sabit tutulması	İmleci (Göz açık) merkezde tutma	Hareketli nesneyi imleç ile takip etme
2	Göz kapalı iken imleci merkezde 30s sabit tutulması	İmleci (Göz açık) sünger zemin üzerinde merkezde tutma	Hareketli nesneyi imleç ile sünger zemin üzerinde takip etme
3	Göz açık iken lateral ve anterior eksenlerde 6 derece posterior ekseninde 4.5 derece hareketli nesne takibi	İmleci (Göz açık) çim halı zemin üzerinde merkezde tutma	Hareketli nesneyi imleç ile çim halı üzerinde takip etme
4		İmleci (Göz açık) imleci pürüzlü zemin üzerinde merkezde tutma	Hareketli nesneyi imleç ile pürüzlü zemin üzerinde takip etme
5		Göz kapalı imleci merkezde tutma	Hareketli nesneyi imleç ile takip etme (Sağ el topu havaya atıp yakalama)
6		Göz kapalı imleci sünger zemin	Hareketli nesneyi imleç ile takip

EK 7 (Devam). Tez için yapılan yayınlar.

		üzerinde merkezde tutma	etme (Sol el topu havaya atıp yakalama)
7		Göz kapalı imleci çim halı zemin üzerinde merkezde tutma	Hareketli nesneyi imleç ile takip etme (Her iki eldeki topu yerdeğiştirme)
8		Göz kapalı imleci pürüzlü zemin üzerinde merkezde tutma	Hareketli nesneyi imleç ile takip etme (Eldeki üç topu çevirme)
9		İmleci (Göz açık) merkezde tutma (Sağ el topu havaya atıp yakalama)	Balon Patlatma Oyununun alt postür ile kontrol edilmesi
10		İmleci (Göz açık) merkezde tutma (Sol el topu havaya atıp yakalama)	Pacman'nin alt postür ile kontrol edilmesi ve karşıdan gelen topu yakalayıp geri verilmesi
11		İmleci (Göz açık) merkezde tutma (Her iki eldeki topu yerdeğiştirme)	Pacman'nin alt postür ile kontrol edilmesi ve eldeki iki topun çevrilmesi
12		İmleci (Göz açık) merkezde tutma (Eldeki üç topu çevirme)	

	Testler			Statik Egzersizler												Dinamik Egzersizler											
	Test 1	Test 2	Test 3	S_E1	S_E2	S_E3	S_E4	S_E5	S_E6	S_E7	S_E8	S_E9	S_E10	S_E11	S_E12	D_E1	D_E2	D_E3	D_E4	D_E5	D_E6	D_E7	D_E8	D_E9	D_E10	D_E11	
1. Program																											
2. Program																											
3. Program																											
4. Program																											
5. Program																											
6. Program																											
7. Program																											
8. Program																											
9. Program																											
10. Program																											
11. Program																											
12. Program																											
13. Program																											
14. Program																											
15. Program																											
16. Program																											
17. Program																											
18. Program																											
19. Program																											
20. Program																											

Şekil 5. Ölçüm ve Egzersiz Programı

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Şekil 6'da gerçekleştirilen sistemin genel yapısı görülmektedir. Geliştirilen sistem proprioseptif duyuların yeterliliklerinin ölçülmesini sağlandığı gibi geliştirilen oyunlar ile kişinin proprioseptif duyularının geliştirilmesi için oyun tabanlı bir egzersiz sistemine dönüştürülmüştür. Arayüz yazılımı ile denge ölçüm sistemi arasında kablosuz bağlantı kurulduktan sonra ölçüm veya egzersiz modu seçilir. Egzersiz modunda süre sınırlaması olmaksızın antrenman yapılır. Ölçüm modunda 30s süresi içerisinde alt ekstremitenin statik veya dinamik dengesi ölçülür. Ölçülen veriler analiz edilmek üzere Access veri tabanına kayıt edilir. Lateral düzlem için balon patlatma ve lateral - frontal düzlemler için pacman oyunları unity oyun motoru ile tasarlanarak sisteme entegrasyonu sağlanmıştır.

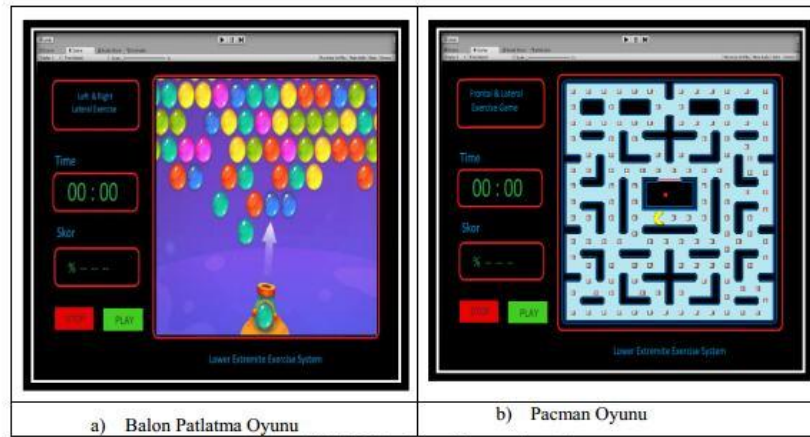
EK 7 (Devam). Tez için yapılan yayınlar.



Şekil 6. Proprioseptif Duyuların Geliştirilmesi İçin Egzersiz ve Ölçüm Sistemi

3.1 . Oyun Tabanlı Egzersizler

Şekil 7’de Unity oyun motorunda tasarlanan Pacman ve Balon Patlama Oyunlarına ait bilgisayar arayüzleri görülmektedir. Oyunlar lateral düzlemde sağ ve sol hareket yapacak şekilde kolay seviye ve lateral ve frontal ekseninde sağ, sol, yukarı ve aşağı hareket yapacak şekilde zor seviye olmak üzere iki farklı şekilde tasarlanmıştır. Oyunda yapılan skorlar ve oyunu tamamlama süreleri kayıt edilerek gelişim süreci ölçüm sistemi ile birlikte buradan da takip edilebilmektedir.

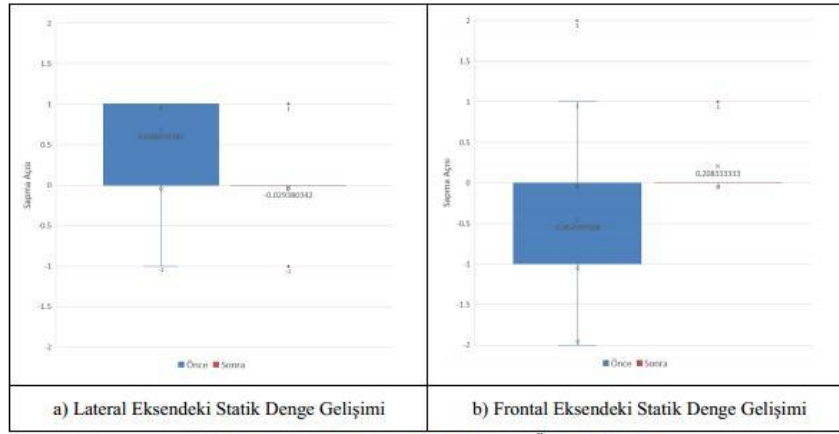


Şekil 7. Unity Oyun Motoru Arayüzler

EK 7 (Devam). Tez için yapılan yayınlar.

3.2 Gerçekleştirilen Sistemin Statik Denge Üzerindeki Etkisi

Sağlıklı bir birey Tablo 1'deki egzersiz içeriği ve Şekil 5'deki uygulama takvimine göre çalıştırılmıştır. Geliştirilen sistem ile bireyin ağırlık merkezinin frontal ve lateral eksenlerindeki sapma açıları ölçülmüştür. Programın ilk başlangıcında bireyin 30s test süresince frontal ekseninde $\pm 1^\circ$, lateral ekseninde $\pm 1^\circ$ salınım yaptığı görülmüştür. Egzersiz programı sonunda frontal ve lateral eksenlerdeki salınım tekrar ölçülmüştür. Egzersiz sonunda yapılan statik denge ölçümleri Şekil 8a ve Şekil 8b'deki grafikte görülmektedir. Bireyin frontal ekseninde $\pm 0.2^\circ$, lateral ekseninde $\pm 0.03^\circ$ salınım yaptığı görülmüştür. Kişinin egzersiz öncesinde alınan ölçümlerinde frontal ve lateral eksenlerde ağırlık merkezinin saptığı görülmektedir. Belli bir program ile yapılan egzersiz sonrasında bu sapmaların azaldığı ölçümler ile görülmektedir.



Şekil 8. Egzersiz Programının Statik Denge Üzerindeki Etkisi

4. Sonuç

Denge, vücudun sabit bir pozisyonda kalma yeteneği veya dış kuvvetlere karşı kararlı hareketler yapabilmesidir. Bir başka tanımla kişinin yerçekimi merkezinin algısal çerçevede dayanma alanı içerisinde tutabilmesidir. Denge yeteneğinin geliştirilmesi daha stabil alt ekstremiteler yaratarak daha kontrollü ve tutarlı hareketlerin yapılmasını sağlamaktadır. Alt ekstremiteler stabilitesi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda denge diskleri, yıldız denge testi, flamingo denge testi gibi testler uygulanarak statik ve dinamik denge durumlarına bakılmıştır. Bireyler vücudun dengesini görsel, vestibüler ve Proprioseptif sistemlerden alınan veriler ile sağlamaktadır. Kas, eklem ve tendonlarda vücudun ve uzuvların konumunun beyin tarafından algılanmasına yardımcı olan özel hücreler bulunmaktadır. Bu hücreler aynı zamanda bir kas veya eklem üzerindeki baskı ve kuvvet miktarı hakkında da beyine bilgi gönderirler.

EK 7 (Devam). Tez için yapılan yayınlar.

Proprioseptif sistem, beynin ne çeşit bir zeminde oturduğunu ya da vücudun nasıl konumlandığını anlamasına yardımcı olur. Görsel ve vestibüler sistemlerden gelen verilerde problem olması durumunda bu rahatsızlıklar klinik olarak giderilebilmektedir. Ancak kişinin kalıtsal özelliklerine bağlı olan Proprioseptif duyular yapılan egzersizler ile geliştirilebilmektedir. Bu çalışma diğer çalışmalardan farklı olarak ölçüm ve egzersiz sistemini bir araya getirerek proprioseptif duyuların yeterliliklerini ölçen ve egzersiz ile geliştirilmesini sağlamaktadır. Geliştirilen sistemden elde edilen veriler incelendiğinde sistemin güvenilir olduğu tespit edilmiştir. Ancak sistem geçerliliğinin belirlenmesi için kontrol ve test gruplarının oluşturulmasına ve tekrarlama testlerinin yapılması gereklidir. Sonuç olarak geliştirilen sistem ve egzersiz programının üst düzey denge ve hareketliliğe ihtiyaç duyan profesyonel sporcular veya herhangi bir rahatsızlık sonucunda fizik tedavi ve rehabilitasyona ihtiyaç duyulan hastalar için proprioseptif duyuların yeterliliğini ölçmeye ve bu duyuların geliştirilmesine olanak sağlayacağı ön görülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi için gereken altyapı desteğinden dolayı Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederiz (18.Fen.Bil.43).

Kaynakça

- Akseki, D., Erduran, M., Özarslan S., Pınar, H.,(2010). Patellofemoral ağrı sendromu saptanan hastalarda,dizde vibrasyon duyusu, proprioepsiyon duyusu ile paralel olarak algılanmaktadır: Pilot çalışma. *Eklemler Hastalıkları Cerrahisi*
- Ateş, B., Çetin, E., Yarım, İ., (2017). Kadın Sporcularda Denge Yeteneği ve Denge Antrenmanları. *Gaziantep Üniversitesi Spor Bilimleri Dergisi*
- Demir, A. ve Akın, M. (2018). Aktif Video Oyunları ve Wobble Board Denge Antrenmanının 6 Yaş Çocuklarda Dinamik Dengeye Etkisinin Karşılaştırılması. *Gaziantep Üniversitesi Spor Bilimleri Dergisi*, 3(4): 109- 121.
- Erdoğan, C.S., Er, F., İpekoğlu, G., Çolakoğlu, T., Zorba, E., Çolakoğlu, F.F., (2016). Farklı denge egzersizlerinin voleybolcularda statik ve dinamik denge performansı üzerine etkileri. *Spor ve Performans Araştırmaları Dergisi*
- İşler, K.A., (2007). Titreşimin performansa etkisi. *Spor Bilimleri Dergisi*, 18 (1): 42-56
- Fidan, U., Yıldız, M., Şahan, A., Gün, A., (2018). Development Of Static And Dynamic Equation In The Lower Extremity: Design And Verifying Of Game Based Exercise And Measurement Device. *9 Th International Biomechanics Congress*
- Kaynak, H., Altun, M., Özer, M., Akseki, D., (2015). Sporda Proprioepsiyon ve Sıcak -

EK 7 (Devam). Tez için yapılan yayınlar.

Soğuk Uygulamalarla İlişkisi. *CBÜ Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*

Şahin, G., Şeker, H., Yeşilırmak, M., Çadır, A., (2016). Denge diski egzersizlerinin dinamik denge ve duruş kontrolü üzerindeki etkisinin incelenmesi. *Spor ve Performans Araştırmaları Dergisi*

Şimşek, D., Ertan, H., (2011). Postural Kontrol Ve Spor: Spor Branşlarına Yönelik Postural Sensör-Motor Stratejiler Ve Postural Salınım. *SPORMETRE Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 2011, IX (3) 81-90

EK 8. Sistemin mekanik görüntüleri.

