



**BENIGN PAROKSİSMAL POZİSYONEL VERTİGOYA
BAĞLI NİSTAGMUS TEST VE ÖLÇÜM SİSTEMİNİN
GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Furkan BAYRAKTAR

Danışman
Doç.Dr. Uğur FİDAN

BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞUBAT 2023

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BENIGN PAROKSİSMAL POZİSYONEL VERTİGOYA BAĞLI
NİSTAGMUS TEST VE ÖLÇÜM SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

Furkan BAYRAKTAR

Danışman

Doç. Dr. Uğur FİDAN

BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞUBAT 2023

TEZ ONAY SAYFASI

Furkan BAYRAKTAR tarafından hazırlanan “Benign Paroksizmal Pozisyonel Vertigoya Bağlı Nistagmus Test ve Ölçüm Sisteminin Geliştirilmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 17 / 02 / 2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Uğur FİDAN

Başkan : Doç. Dr. Fecir DURAN
Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Uçman ERGÜN
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Uğur FİDAN
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

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.

17 / 02 / 2023

FURKAN BAYRAKTAR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BENIGN PAROKSİSMAL POZİSYONEL VERTİGOYA BAĞLI NİSTAGMUS TEST VE ÖLÇÜM SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Furkan BAYRAKTAR

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Uğur FİDAN

Vertigo, vücudun denge sisteminde ortaya çıkan sorun veya sorunlar bütünü sebebiyle yaşanan dönme ilüzyonudur. Hasta bireylerin etrafında bulunan nesne veya buldukları konumun kendisi etrafında döner pozisyonda olması durumudur. Vertigo santral ve periferik vertigo olmak üzere iki ana başlık altında incelenmektedir. Santral vertigo, beyin lezyonlarından kaynaklanan anevrizmalar, tümör, kanama, beyin damarlarındaki bozulmalardan kaynaklanabilmektedir. Periferik vertigoya tiroit çeşitleri ve metabolik rahatsızlıklar neden olabilmektedir. Halk dilinde kristal oynaması olarak adlandırılan benign paroksismal pozisyonel vertigo (BPPV) periferik vertigonun en sık görülen türüdür. İç kulaktaki denge merkezinde konumlanmış olan kristallerin arka yarım daire kanallarına düşmesi sonucu oluşmaktadır. Kristallerde oluşan anomalilerde hasta birey yatar pozisyonda iken şekil değiştirdiği durumlarda baş dönmesi ile karşılaşmaktadır. Bu nedenle BPPV ile karşılaşılan durumlarda çok sayıda teşhis, egzersiz ve tedavi yöntemleri kullanılmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle beraber bilgisayar kullanımının artması sonucu tedavi etkileşimleri de önemli derecede artış göstermiştir. Bu çalışmada, oluşturulan yazılımlar doğrultusunda teşhis yöntemine uygun olarak benign paroksismal pozisyonel vertigoya bağlı nistagmus hareketlerinin bilgisayar tabanlı teşhis ve ölçüm sistemi gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen sistem mekanik, yazılım ve donanım olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Literatürden elde edilen teşhis yöntemlerine uygun olarak Visual Studio c#

yazılım arayüzü ve bağlantı kontrol yazılımları oluşturulmuştur. Bitermal kalorik ve diğer testler için arayüz yazılımında paneller bulunmaktadır. Yazılım panellerine uygun olarak hazırlanan elektronistagmografi verileri Digilent Waveforms Analog Discovery üzerinde grafikleştirilmektedir. Ayrıca diğer bir test metodu olan bitermal kalorik test mekanizması tasarımı gerçekleştirilmiş ve her iki program ve tasarım entegre edilmiştir. Böylece benign paroksizmal pozisyonel vertigoya bağlı nistagmus hareketlerinin test ve ölçüm sistemi oluşturulmuştur. Bitermal kalorik test verilerinin 3900 ml sıvı seviyesinin 30 derece sıcaklık değerine hazırlanması için gerekli sürenin standart sapması $4,00 \mp 1,8$ s, 2600 ml sıvı seviyesinin hazırlanması için gerekli süre $3,67 \mp 2,8$ s olarak hesaplanmıştır. Ayrıca bitermal kalorik test verilerinin 44 derece sıcaklık, 3900 ml sıvı seviyesinin değerinin hazırlanması için gerekli sürenin standart sapması $-1,70 \mp 2,75$ s, 2600 ml sıvı seviyesinin hazırlanması için gerekli süre $-0,70 \mp 3,09$ s olarak belirlenmiştir. Ayrıca tespit edilen hasta birey için uygulanacak olan sıvıların sıvı tahliye hızları 30 derece kalorik test düzeneği için $13,66 \text{ ml/s} \pm 1,14 \text{ ml/s}$ olarak belirlenmiştir. Kırk dört derece kalorik test düzeneği için sıvı tahliye hızları ise $16,30 \text{ ml/s} \pm 0,23 \text{ ml/s}$ yapılan tekrarlı testler sonrasında tespit edilmiştir. Sonuç olarak oluşturulan test ve ölçüm sisteminin benign paroksizmal pozisyonel vertigoya bağlı nistagmus teşhis yöntemlerinin tamamını içermesi, tüm testleri bir arada toplaması, kolay ulaşılabilir ve doğruluğunun test edilmiş olması çalışmanın diğer yöntemlere göre belirgin ve etkili özelliklerini oluşturmaktadır.

2023, xii + 81 sayfa

Anahtar Kelimeler: Bitermal Kalorik Test, BPPV, ENG, Nistagmus, Vertigo

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DEVELOPMENT OF NYSTAGMUS TEST AND MEASUREMENT FOR BENIGN PAROXYSMAL POSITIONAL VERTIGO

Furkan BAYRAKTAR

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Biomedical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Uğur FİDAN

Vertigo is the illusion of rotation caused by a problem or a set of problems in the balance system of the body. It is such a situation that objects or places around the patients are in a revolving position around themselves. Vertigo types are examined under two main headings as central and peripheral vertigo. Central vertigo may result from brain lesions, aneurysms, tumors, hemorrhage, and disruptions in cerebral vessels. Peripheral vertigo can be caused by thyroid types and metabolic disorders. Benign paroxysmal positional vertigo, colloquially called crystal floating, is the most common type of peripheral vertigo. It happens as a result of the falling of the crystals located in the balance center in the inner ear into the posterior semicircular canals. In anomalies formed in the crystals, the patient experiences dizziness when he changes his position while in the supine position. Hence, many diagnostic, exercise and treatment methods are used in case of BPPV. Today, as a result of the increase in computer use with the advance of technology, treatment interactions have increased significantly. In this research, a computer-based diagnosis and measurement system of nystagmus movements due to benign paroxysmal positional vertigo were implemented in accordance with the diagnostic method in line with the software created.

The implemented system consists of three parts: mechanical, software, and hardware. Visual Studio c# software interface and connection control software was formed following the diagnostic methods acquired from the literature. There are panels in the software interface for bithermal caloric and other tests. The electronystagmography data

following the software panels are graphed on Digital Waveforms Analog Discovery. Additionally, the bithermal caloric test mechanism which is another test method was designed and both programs and designs were integrated. Thus, a nystagmus test and measurement system for benign paroxysmal positional vertigo were created. The standard deviation of the bithermal caloric test data to the 30-degree temperature value of the 3900 ml liquid level was calculated as 4.00 ∓ 1.8 s, and the required time for the preparation of the 2600 ml liquid level was calculated as 3.67 ∓ 2.8 s. While the standard deviation of the time required to prepare the value of the bithermal caloric test data at 44 degrees temperature, 3900 ml liquid level was determined as -1.70 ∓ 2.75 s, the time required for the preparation of 2600 ml liquid level was determined as -0.70 ∓ 3.09 s. In addition, the fluid evacuation rates of the fluids to be applied for the detected patient were determined as $13.66 \text{ ml/s} \pm 1,14 \text{ ml/s}$ for the thirty-degree caloric test setup. For the forty-four-degree caloric test setup, the fluid discharge rates were determined as $16,30 \text{ ml/s} \pm 0,23 \text{ ml/s}$ after repetitive tests. As a result, the test and measurement system created includes all the diagnostic methods for nystagmus due to benign paroxysmal positional vertigo, gathering all tests together, being easily accessible and tested for accuracy, are its distinctive and effective features compared to other methods.

2023, xii + 81 pages

Keywords: Bithermal Caloric Test, BPPV, ENG, Nystagmus, Vertigo

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel alışmaların ynlendirilmesi, sonuların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu byk katkılarında dolayı tez danışmanım Sayın Do.Dr. Uğur FİDAN'a, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Furkan BAYRAKTAR
Afyonkarahisar 2023

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

| | Sayfa |
|--|-------|
| ÖZET | i |
| ABSTRACT | iii |
| TEŞEKKÜR | v |
| İÇİNDEKİLER DİZİNİ..... | vi |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ | ix |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | x |
| ÇİZELGELER DİZİNİ..... | xii |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ | 3 |
| 2.1 Vestibüler Sistem..... | 3 |
| 2.1.1 Periferik Vestibüler Sistem | 3 |
| 2.1.1.1 Kemik Labirent..... | 4 |
| 2.1.1.2 Zar Labirent | 4 |
| 2.1.1.3 Yarım Daire Kanalları | 4 |
| 2.1.2 Santral Vestibüler Sistem..... | 5 |
| 2.1.2.1 Vestibüler Sinir..... | 5 |
| 2.1.2.2 Vestibüler Nukleus | 5 |
| 2.2 Vertigo | 6 |
| 2.2.1 Santral Vertigo | 6 |
| 2.2.2 Periferik Vertigo..... | 6 |
| 2.2.2.1 Benign Paroksismal Pozisyonel Vertigo (BPPV) | 7 |
| 2.2.2.1.1 Benign Paroksismal Pozisyonel Vertigonun Belirlenmesinde Kullanılan Test Yöntemleri | 7 |
| 2.2.2.1.2 Benign Paroksismal Pozisyonel Vertigo Tedavi Yöntemleri | 10 |
| 2.3 Literatür Taraması..... | 13 |
| 2.3.1 Ulusal Çalışmalar | 13 |
| 2.3.2 Uluslararası Çalışmalar | 15 |

| | |
|---|----|
| 3. MATERYAL ve METOT | 20 |
| 3.1 Benign Paroksizmal Pozisyonel Vertigo Teşhis Yöntemleri | 20 |
| 3.1.1 VNG | 20 |
| 3.1.2 ENG | 21 |
| 3.2 Benign Paroksizmal Pozisyonel Vertigoya Bağlı Nistagmus Test ve Ölçüm Sistemi | 22 |
| 3.2.1 Benign Paroksizmal Pozisyonel Vertigoya Bağlı Nistagmus Test ve Ölçüm Sisteminin Genel Mimarisi | 22 |
| 3.2.2 Benign Paroksizmal Pozisyonel Vertigoya Bağlı Nistagmus Test ve Ölçüm Sistemi Yazılım Mimarisi | 24 |
| 3.2.3 Benign Paroksizmal Pozisyonel Vertigoya Bağlı Nistagmus Test ve Ölçüm Sistemi Mekanik Tasarımı | 27 |
| 3.2.4 Benign Paroksizmal Pozisyonel Vertigoya Bağlı Nistagmus Test ve Ölçüm Sisteminde Kullanılan Donanım ve Yazılımlar | 28 |
| 3.3 Sistem Test Düzenegi | 29 |
| 3.3.1 Bitermal Kalorik Test Düzeneginin Bland Altman Grafikleri Değerlendirilmesi | 29 |
| 3.3.2 BPPV'ye Bağlı Nistagmus Test ve Ölçüm Sisteminin Kutu Grafiği (Boxplot) ile Değerlendirilmesi | 31 |
| 4. BULGULAR | 33 |
| 4.1 Bitermal Kalorik Test Düzenegi | 33 |
| 4.1.1 Bitermal Kalorik Test Düzeneginin Bland Altman Grafikleri Değerlendirilmesi | 34 |
| 4.2 Bitermal Kalorik Test Düzenegi Sıvı Aktarım Süreleri | 39 |
| 4.2.1 Benign Paroksizmal Pozisyonel Vertigoya Bağlı Nistagmus Test Düzenegi | 40 |
| 4.3 Sistemin Geçerlilik ve Güvenilirlik Analizi | 43 |
| 5. TARTIŞMA ve SONUÇ | 52 |
| 6. KAYNAKLAR | 54 |
| ÖZGEÇMİŞ | 58 |

EKLER 59



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

| | |
|----|----------------|
| Cm | Santimetre |
| S | Saniye |
| Dk | Dakika |
| Ml | Mililitre |
| ° | Derece |
| °C | Celcius derece |
| % | Yüzde |

Kısaltmalar

| | |
|------|---|
| BPPV | Benign paroksizmal pozisyonel vertigo |
| CAVA | The continuous ambulatory vestibular assessment |
| CCD | Yük bağlaşımlı cihaz |
| CHL | Conductive hearing loss |
| ECG | Elektrokardiyografik |
| EOG | Elektro-okülografi |
| ENG | Elektronistagmografi |
| KBB | Kulak burun boğaz |
| MRG | Manyetik rezonans görüntüleme |
| PTA | Pure-tone audiometry |
| MRG | Manyetik rezonans görüntüleme |
| VEMP | Vestibular evoked myogenic potential test |
| VENG | Videoelektronistagmografi |
| VNG | Videonistagmografi |
| VOR | Vestibülo-oküler refleks |
| VHIT | Video-head impulse test |
| VSR | Vestibülo-spinal refleks |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | Sayfa |
|--|--------------|
| Şekil 2.1 Periferik vestibüler sistem..... | 3 |
| Şekil 3.1 Videonistagmografi sistemi çalışma prensibi. | 21 |
| Şekil 3.2 Hasta birey ENG elektrot yerleşimi | 22 |
| Şekil 3.3 Geliştirilen bilgisayar destekli ENG sistemi ve sıvı kalorik sistemi blok diyagramı..... | 23 |
| Şekil 3.4 Benign paroksizmal pozisyonel vertigoya bağlı nistagmus test ve ölçüm sistemi yazılım mimarisi akış diyagramı..... | 27 |
| Şekil 3.5 Bitermal kalorik test düzeneği. | 27 |
| Şekil 3.6 Kullanılan monitör. | 28 |
| Şekil 3.7 Sistemde kullanılan mikroişlemci devresinin blok diyagramı..... | 29 |
| Şekil 3.8 Sistem testinde kullanılan kutu grafikleri. | 32 |
| Şekil 4.1 Bitermal kalorik test düzeneği | 33 |
| Şekil 4.2 Bitermal kalorik test düzeneği ekran görüntüsü..... | 34 |
| Şekil 4.3 Bitermal kalorik test düzeneği 30 derece sıvı sıcaklık değerine ulaşma süreleri | 34 |
| Şekil 4.4 Bitermal kalorik test düzeneği 30 derece sıcaklık değerinin 3900 ml sıvı seviyesi için otomatik olarak hazırlanma süresinin Fluke Marka 724 model sıcaklık kalibratörü ile karşılaştırılmalı Bland Altman Grafikleri..... | 35 |
| Şekil 4.5 Bitermal kalorik test düzeneği 30 derece sıcaklık değerinin 2600 ml sıvı seviyesi için otomatik olarak hazırlanma süresinin Fluke Marka 724 model sıcaklık kalibratörü ile karşılaştırılmalı Bland Altman Grafikleri..... | 35 |
| Şekil 4.6 Bitermal kalorik test düzeneği 44 derece sıvı sıcaklık değerine ulaşma süreleri | 37 |
| Şekil 4.7 Bitermal kalorik test düzeneği 44 derece sıcaklık değerinin 3900 ml sıvı seviyesi için otomatik olarak hazırlanma süresinin Fluke Marka 724 model sıcaklık kalibratörü ile karşılaştırılmalı Bland Altman Grafikleri..... | 37 |
| Şekil 4.8 Bitermal kalorik test düzeneği 44 derece sıcaklık değerinin 2600 ml sıvı seviyesi için otomatik olarak hazırlanma süresinin Fluke Marka 724 model sıcaklık kalibratörü ile karşılaştırılmalı Bland Altman Grafikleri..... | 38 |
| Şekil 4.9 Bitermal kalorik test düzeneği sıvı çıkış tahliye süreleri | 40 |
| Şekil 4.10 Benign paroksizmal pozisyonel vertigoya bağlı nistagmus test düzeneği sistem arayüzü | 41 |
| Şekil 4.11 Bening paroksizmal pozisyonel vertigoya bağlı nistagmus 1. monitör test düzeneği arayüzü | 41 |
| Şekil 4.12 Benign paroksizmal pozisyonel vertigoya bağlı nistagmus 1. monitör test yazılımı arayüzü | 42 |

| | |
|--|----|
| Şekil 4.13 Benign paroksizmal pozisyonel vertigoya bağlı nistagmus 2. monitör test düzeneği arayüzü | 42 |
| Şekil 4.14 Sağlıklı birey gaze test verileri dağılım grafiği..... | 43 |
| Şekil 4.15 Sağlıklı birey gaze test verileri dağılım kutu grafiği..... | 43 |
| Şekil 4.16 Sağlıklı birey bitermal kalorik test verileri dağılım grafiği | 45 |
| Şekil 4.17 Sağlıklı birey bitermal kalorik test verileri kutu grafiği | 45 |
| Şekil 4.18 Sağlıklı birey Dix Hallpike test verileri dağılım grafiği | 46 |
| Şekil 4.19 Sağlıklı birey Dix-Hallpike test verileri dağılım kutu grafiği..... | 46 |
| Şekil 4.20 Sağlıklı birey Opto Kinetik test verileri dağılım grafiği | 47 |
| Şekil 4.21 Sağlıklı birey opto kinetik test verileri dağılım kutu grafiği..... | 47 |
| Şekil 4.22 Sağlıklı birey pursuit test verileri dağılım grafiği | 48 |
| Şekil 4.23 Sağlıklı birey pursuit test verileri dağılım kutu grafiği..... | 49 |
| Şekil 4.24 Sağlıklı birey sakkadik test verileri dağılım grafiği..... | 50 |
| Şekil 4.25 Sağlıklı birey sakkadik test verileri dağılım kutu grafiği..... | 50 |
| Şekil 4.26 Sağlıklı ve BPPV bulunan nistagmuslu birey gaze test verileri dağılım grafiği | 51 |
| Şekil 4.27 Sağlıklı ve BPPV bulunan nistagmuslu birey gaze test verileri dağılım sütun grafiği | 51 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | Sayfa |
|---|-------|
| Çizelge 3.1 Fluke 724 Sıcaklık Kalibratörü teknik özellikleri..... | 31 |
| Çizelge 4.1 Bland Altman yöntemi uygulanan bitermal kalorik test düzeneği 30 derece sıcaklık değerinin 3900 ml sıvı seviyesi otomatik olarak hazırlanması için geçen süre(s) ilişkili sonuçlar. | 36 |
| Çizelge 4.2 Bland Altman yöntemi uygulanan bitermal kalorik test düzeneği 30 derece sıcaklık değerinin 2600 ml sıvı seviyesi otomatik olarak hazırlanması için geçen süre(s) ilişkili sonuçlar | 36 |
| Çizelge 4.3 Bland Altman yöntemi uygulanan bitermal kalorik test düzeneği 44 derece sıcaklık değerinin 3900 ml sıvı seviyesi otomatik olarak hazırlanması için geçen süre(s) ilişkili sonuçlar. | 38 |
| Çizelge 4.4 Bland Altman yöntemi uygulanan bitermal kalorik test düzeneği 44 derece sıcaklık değerinin 2600 ml sıvı seviyesi otomatik olarak hazırlanması için geçen süre(s) ilişkili sonuçlar. | 38 |

1. GİRİŞ

Vertigo, vücudun denge sisteminde ortaya çıkan sorun veya sorunlar bütünü sebebiyle yaşanan dönme ilüzyonudur. Hasta bireylerin etrafında bulunan nesne veya buldukları konumun kendisi etrafında döner pozisyonda olması durumudur. Diğer bir deyişle iç kulak ya da orta kulaktaki denge merkezinin etkilenmesine bağlı olarak denge bozulmasıdır. Vertigo santral ve periferik olmak üzere iki ana başlık altında incelenebilir. Santral vertigo kalıtsal olarak beyin rahatsızlıkları sonucunda oluşmaktadır. Santral vertigolar, beyinde oluşan tümör, kanama, damarlarda anevrizma ya da beyin damarlarının farklı bozukluklarından kaynaklanabilmektedir. Periferik vertigoya boyun ağrıları gibi kas iskelet sistemindeki bir sıkıntı, hipotiroidi, hipertiroidi ya da hipoglisemi gibi metabolik hastalıklarda neden olabilmektedir. “Benign Paroksizmal Pozisyonel Vertigo” (BPPV) halk tarafından kristal oynaması olarak adlandırılan ve en sık görülen vertigo çeşididir. İç kulaktaki denge merkezinde konumlanmış kristallerin arka yarım daire kanallarına düşmesi sonucu oluşmaktadır.

İç kulak kristallerinde oluşan anomalilerde hasta birey yatar pozisyonda şekil değiştirdiği durumlarda baş dönmesi ile karşılaşmaktadır. Bunun haricinde üst solunum yolları enfeksiyonuna bağlı olarak oluşan nöromit sinir iltihapları ve meniere hastalığı periferik vertigo çeşitleridir ve kulak kaynaklıdır. Vertigo ve denge fonksiyonlarının araştırılması için Hallpike testi, VNG (Video Nistagmo Grafi) veya ENG (Elektro Nistagmo Grafi), sıvı veya hava kalorik testler, vHIT (Video Head Impulse Test), Posturografi, VEMP testleri kullanılmaktadır. Yapılan testlerin vertigo ve denge bozukluklarının teşhisinde olumlu sonuçlar verdiği literatürde ortaya konulmuştur. Günümüzde vertigo teşhisi klinik ve hastanelerin Kulak Burun Boğaz (KBB) anabilim dallarına bağlı olarak VNG, ENG, sıvı ve hava kalorik cihazlarından yararlanılarak yapılmaktadır. Bu sistemler maddi olarak pahalı, teşhis amaçlı kullanımlarında teşhis materyallerinin tek bir sistemde birleştirilmemesinden dolayı BPPV tedavi planlamasında kullanılamamaktadır. Diğer bir taraf olarak tespit ve tedavi aşamalarında kullanılan ENG sistemlerin teşhis ve tedavi için olumlu etkileri literatür çalışmalarında ortaya konulmuştur. Bu çalışma ile denge bozuklukları ve vertigo hastalıklarının teşhisindeki verilerin toplanması ve bu verilere uygun hastalığın tespit edilmesi hedeflenmektedir. Diğer bir hedef ise tespit edilen

hastalığın tedavisini kolay ve başarılı şekilde gerçekleştirmektir. Sonuç olarak bu çalışma, denge bozuklukları ve vertigo hastalıklarının benign paroksizmal pozisyonel vertigoya bağlı nistagmus test ve ölçüm sistemi ile teşhis ve tedavi planlamasının oluşturulmasını amaçlamaktadır.

“Benign Paroksizmal Pozisyonel Vertigoya Bağlı Nistagmus Test ve Ölçüm Sisteminin Geliştirilmesi” başlıklı bu tez çalışması 5 bölümden oluşmaktadır. Tezin Literatür Bilgileri konu başlığı altında vestibüler sistem, vertigo çeşitleri ve vertigonun hasta bireyler üzerindeki etkilerinden bahsedilmiştir. Materyal ve Metot ana başlığı altında tez çalışmasında hazırlanmış olan nistagmus hareketlerinin tespit edilmesi ve kalorik sistemde kullanılan malzemeler, kullanılan yazılım programları, tasarımı yapılan sistemlerin blok diyagramları açıklanmıştır. Bulgular ana başlığı altında nistagmus hareketlerinin tespiti, yazılımından alınan veriler incelenmiş ve grafiklerle açıklanmıştır. Sonuç ve Tartışma bölümünde gerçekleştirilen test ve ölçüm sisteminin avantaj ve dezavantajları literatürle kıyaslanmış ve sistemin geliştirilmesi için önerilerde bulunulmuştur.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

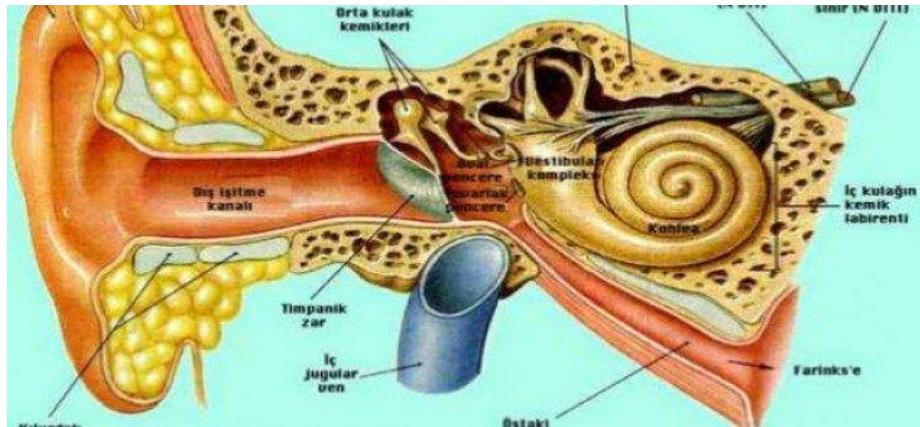
Bu bölümde vestibüler sistem, vertigo çeşitleri ve vertigonun hasta bireyler üzerindeki etkilerinden bahsedilmiştir. Ayrıca konu ile ilgili ulusal ve uluslararası alanda yapılan akademik çalışmalar irdelenmiştir.

2.1 Vestibüler Sistem

Vestibüler sistem, periferik vestibüler sistem, oküler sistem, postural kaslar, beyin sapı, beyincik ve korteks arasındaki iletişimi sağlamaktadır (Khan ve Chang 2013). Vestibüler sistem postür kontrolü, göz küresi ve baş bölgesinin birlikte çalışması ile yaşamsal faaliyetlerin devamlılığını sağlayarak denge duyusunun oluşmasını ve güvenilir bir biçimde kalmasını sağlar (Akkın 1998).

2.1.1 Periferik Vestibüler Sistem

Periferik vestibüler sistem iç kulakta bulunmaktadır. Baş kısmının uzay üzerindeki iz düşüm hareketlerine ilişkin bilgiler içerisinde bulunan özelleştirilmiş mekanoreseptörlerden oluşmaktadır. Vestibüler sinir merkezi uzantıları ile beyin sapındaki çekirdek ile kompleks yapısına ulaşmaktadır. Periferik vestibüler sistem kemik ve membranöz labirent kısımlarından oluşmaktadır (Cohen vd. 1999, Furman ve Whitney 2000, Hain ve Helminski 2014).



Şekil 2.1 Periferik vestibüler sistem (İnt.Kyn.1).

2.1.1.1 Kemik Labirent

Kemik labirent adı verilen yapı kemik içerisindeki petroz parçası içerisinde bulunmaktadır. Bu yapı zar labirenti çok sert bir zırh şeklinde sarmaktadır. Zar labirent kemik labirentten daha küçüktür bundan dolayı kemik labirent zar labirent tarafından bütün bir şekilde doldurulamaz. İki zar arasında kalan boşluk perilenfa adı verilen sıvı ve trabeküller içermektedir. Kemik labirent üç yapıya ayrılır. Bu yapılar ise vestibulum, canalis semicircularis osseus'lar, cochlea'dır. Bu kemik yapılardan ilk ikisi sadece vestibüler organın yerleşim yerleridir (Akkın 1998).

2.1.1.2 Zar Labirent

Zar labirent, kemik labirent içerisinde bulunan kanal ve kese yapılarından oluşmaktadır. İki labirent arasında perilenfa adı verilen sıvı bulunmaktadır. Ayrıca zar labirentinin içinde endolenfa sıvısı bulunmaktadır. Zar labirent utrikulus ve semisirküler kanallar, koklea ve sakkulus, duktus endolenfatikus ve sakkus endolenfatikus'tan oluşmaktadır. Utrikulus vestibulumun iç yan duvarlarına yerleşmiştir. Utrikulusun arka bölümü beş delik halinde ductus semicircularise açılmaktadır. Ayrıca duktus utrikulosakkularisin açıldığı bir adet delik bulunmaktadır. Sakkulus ise utrikulus gibi iç yan duvarda recessus sphericus ismi verilen yuvarlak çukurun içerisinde yer almaktadır. Sakkulus makula sakkuli adında denge hücreleri bulundurmaktadır. Diğer yapı olan duktus semisirkularis kemik semisirküler kanalların içinde bulunmaktadır ve kalınlığı kemik kanallarının 1/5'i kadardır. Geriye kalan kısımlar ise perilenf sıvı ile doludur. Bu kanalların içerisinde ise duyu epitelleri mevcuttur. Bu bölümlerin tamamından oluşan sisteme ise zar labirent adı verilmektedir (Akkın 1998, Baloh ve Kerber 2011, Ata 2020).

2.1.1.3 Yarım Daire Kanalları

Yarım daire kanalları baş hareketlerinin veya açısal ivmenin tespit edilmesi ve dik açılarla aktarılmasını sağlayan kinetik labirenti oluşturmaktadır. Üç adet yarım daire kanalı bulunmaktadır. Yanal kanallar ekstenel düzlem üzerinde 30 derecelik açıyla, üst ve arka kanallar ise sagittal düzlemde 45° bir açıyla hizalanmaktadır. Her kanal kendi özel

düzlemindeki harekete duyarlıdır. Bu kanallar yaklaşık 2/3 tur atarak yarım daire oluşturur. Oluşturulan yarım daireler utriküle açılır. Kanalların her birinin sonunda ampulla adı verilen duyuşal nöroepiteli, aynı zamanda bünyesinde krista ampullaris bulunduran bir dilatasyon bulunmaktadır (Cohen vd. 1999, Gittis ve Dulac 2006, Furman ve Whitney 2000, Hain ve Helminski 2014, Ata 2020).

2.1.2 Santral Vestibüler Sistem

Santral vestibüler sistem, beyin sapı, vestibüler çekirdek birimleri ve sinir lifleri tarafından periferik sistemden aktarılan bilgi demetlerini işlemek ile görevlidir. Beyin sapı ve ponslar tarafından göz hareketlerinin uzay düzlemi üzerindeki konumlandırılmasından sorumludur. Serebellum, vestibüler sistem tarafından getirilen bilgi sayesinde refleks kontrolü ve yürüme esnasındaki ölçümlendirmelerde etkilidir. Serebellum vestibüler sistem ile görsel sistemlerin birleştirilmesi konusunda etkin rol oynamaktadır (Lorente 1933, Rasmussen 1946, Brown 1987, Wolff 1970, Straka vd. 2005, Baloh ve Kerber 2011).

2.1.2.1 Vestibüler Sinir

Vestibüler sinir iki tip afferent nöron tarafından oluşmaktadır. Bu nöronlar düzenli ve düzensiz ateşlemelidir. Bu sinirler başın rotasyonel hızını vestibüler çekirdeklere iletir. Düzenli ateşlemeli olan nöronlar vestibülo-oküler reflekste (VOR) önemli rol oynamaktadırlar. Düzensiz olanlar hızlı tepki verirler fakat ateşleme yapmadıklarından dolayı vestibülo-şpinal reflekste (VSR) kullanılır (Horak 2007).

2.1.2.2 Vestibüler Nukleus

Vestibüler nukleus labirentten gelen uyarıların işleme alındığı bölümdür. İşleme alınan uyarılar motor çekirdeklere hızlı bir bağlantı yoluyla aktarılır. Serebellum sistem üzerindeki ince ayar mekanizması görevini görmekte ve denetlemektedir. Vestibüler sinir, vestibüler nukleusa ulaşması esnasında iki yola ayrılmaktadır. Bu yollar

serebellum'a ve nükleusun alt kısmına gider. Vestibüler nükleus VOR ve VSR kontrolünü gerçekleştirmektedir.

Vestibuloküler Refleks (VOR): Santral vestibüler sistemin perifer kısmından gelen bilgilerin alınarak görme alanının sabitlenmesi ve vücut postürünün sağlanması için gerekli olan reflekslerin kontrolünde görevlidir. VOR vücut ve kafa sabitliğinin sağlanması esnasındaki retina hareketlerinin de sabitliğini sağlamak ile görevlidir (Hain vd. 1984, Agrawal vd. 2009, Armağan 2017).

Vestibulospinal Refleks (VSR): Vestibulospinal refleks vücut hareketlerine bağlı olarak baş hareketlerinin dengelenmesinde rol oynamaktadır. VSR için duyuşal reseptörler ve proprioseptif reseptörler uyarı niteliğinde görev yapmaktadır. Bu uyarılar sayesinde vücut dengesi sağlanmaktadır (Brown 1990, Armağan 2017).

2.2 Vertigo

Hasta bireylerin etrafında bulunan nesne veya buldukları konumun kendisi etrafında döner pozisyonda olması durumudur. Diğer bir deyişle iç kulak ya da orta kulaktaki denge merkezinin etkilenmesine bağlı olarak dengenin bozulmasıdır. Vertigo santral ve periferik olmak üzere iki ana başlık altında incelenebilir.

2.2.1 Santral Vertigo

Santral vertigolar, beyinde oluşan tümör, kanama, damarlarda anevrizma ya da beyin damarlarının farklı bozukluklarından kaynaklanabilmektedir. Çoğunlukla santral vertigoyu inme, intrakraniyal tümörler, metabolik durumlar ve paroksizmal veya dejeneratif bozukluklar oluşturmaktadır.

2.2.2 Periferik Vertigo

Periferik vertigo boyun ağrıları gibi kas iskelet sistemindeki herhangi bir rahatsızlık,

hipotiroidi, hipertiroidi ya da hipoglisemi gibi metabolik hastalıklarda neden olabilmektedir. Halk dilinde kristal oynaması olarak bilinen “Benign Paroksizmal Pozisyonel Vertigo” (BPPV) en sık görülen vertigo çeşididir.

2.2.2.1 Benign Paroksizmal Pozisyonel Vertigo (BPPV)

Benign Paroksizmal Pozisyonel Vertigo en yaygın olarak bilinen periferik vestibüler uç organ hastalığı çeşididir. Nistagmus biçiminde ortaya çıkan geçici dönme hissine verilen isimdir. Oluşan baş dönmesi baş pozisyonunun yer çekimi üzerindeki etkisi ile tetiklenmektedir. İç kulak denge merkezinde bulunan kristallerin arka yarım daire kanallarına düşmesi sonucu meydana gelen anormal sinyaller sonucunda oluşmaktadır. Halk dilinde BPPV, kristal kayması olarak nitelendirilen vertigo çeşidi hafif baş dönmesinden başlayarak mide bulantısına, kusmaya veya yürüme bozukluklarına yol açabilmektedir. Avrupa kesitsel çalışmasında 100.000 birey içerisinde 64 yeni vakanın gözlemlendiği tespit edilmiştir. BPPV'nin nüfus oranına görülme sıklığının fazla olduğu ve cinsiyete göre farklılık göstermediği tespit edilmiştir. BPPV bireylerde sağa sola dönüş bozuklukları, uyku halinde iken şiddetli baş dönmeleri tarafından uyandırılma, iş ve yaşam adaptasyonlarında zorluklar olarak ortaya çıkmaktadır. Periferik vertigo ani olarak başlayan kısa süreli ve şiddeti zamana bağlı olarak azalan vertigo çeşididir. Santral vertigoda olduğu gibi nörolojik bulguları yoktur (Mizukoshi vd. 1988, Hanley vd. 2001, Katsarkas 2007, von Brevern M vd. 2007, Kim vd. 2014, Peng vd. 2018).

2.2.2.1.1 Benign Paroksizmal Pozisyonel Vertigonun Belirlenmesinde Kullanılan Test Yöntemleri

BPPV belirlenmesinde Dix-Hallpike, sabit bakış (gaze), sinüzodial hareket (pursuit tracking), sakkadik hareket, optokinetik nistagmus, baş rotasyon, baş sallama, bitermal kalorik testler hasta bireylerin nistagmus hızını, yönünü, frekansını tespit etmek amacıyla uygulanmaktadır.

Dix-Hallpike Testi: BPPV tanı yöntemlerinden biri olan Dix-Hallpike testi vertikal

kanalları etkilenen BPPV'ye sahip olan bireylerde kullanılmaktadır. Dix ve Hallpike tarafından 1952 yılında bulunmuştur. Teste başlanırken birey muayene sedyesi üzerine oturtularak teste başlanır. Bireyin baş pozisyonu ilk olarak 30 ° ekstansiyon haline getirilir ve 30 saniye boyunca bireyler bekletilir. Bireyin nistagmus hareketleri frenzel, VNG, ENG yardımıyla gözlenmektedir. Oluşması beklenen nistagmus hareketleri 30 s veya 45 s gecikmeli olarak ortaya çıkabilmektedir. Test esnasında bireyin baş pozisyonu 45 derece açı ile sağ tarafa yatırılıp test yapılıyor ise 30 s veya 45 s bekleme sonrasında nistagmus şiddeti ve yönü tespit edilmektedir. Bireyin test yönü tam ters noktaya alınarak yinelenir. Dix-Hallpike olan bireylerde nistagmus rotasyonel veya yatay düzlemde olabilmektedir. Test esnasında bireyin baş pozisyonu sol kulak yönünde aşağı yönlü ise nistagmusu saat yönünde oluşur. Bireyin nistagmusun olduğu pozisyonda tutulması süresince nistagmusu devam eder. Testin tekrarlanması durumunda nistagmus şiddeti ve yönü aynı şekilde oluşur (Viirre vd. 2005, Dağkırın vd. 2015)

Sabit Bakış Testi (Gaze Testi): BPPV yöntemlerinden olan sabit bakış testi bireyin burun bölgesinden 30 ile 40 cm mesafe uzakta bir cismin vücut merkez noktasından sağ, sol, yukarı, aşağı 30 derece hareket ettirilmesiyle oluşur. Bireyin bu hareketler esnasında cisim gözüyle takip edilmesi istenir. Bireyin herhangi bir göz kusuru var ise göz kusurlarının giderilmiş olması gerekmektedir. Her hareket alanının tamamlanma esnasında 20-25 s kadar bireyin bakışı incelenir. Bireyin tek taraf kaynaklı labirent lezyonu bulunuyorsa, hızlı olan faz kayması sağlam tarafa doğru nistagmusun yönü aynı kalır. Farklı yönlerde bakışlarda ise nistagmusun yönü sürekli değişiklik gösterebilmektedir (Baydan ve Yılmaz 2018).

Pursuit Tracking Test: Sabit bakış testinde olduğu şekliyle bireyin göz ucunda sinüzoidal hareket yapan veya sağa sola cisim hareket edilmesiyle test başlamış olur. Test esnasında bireyin göz hareketleri takip edilerek nistagmus saptanmaya çalışılır. Hızlı hareket eden nistagmus tespit edilmesi genellikle santral bozulmalara işarettir (Baydan ve Yılmaz 2018).

Sakkadik Hareket Testi: Birey tarafından merkez hattı üzerinde bulunan burun bölgesine bakması talep edilir. Bireyin göz hareketleri 30 derecelik açılar yapacak şekilde uzmanın

ellerine bakması istenir. Testin bu aşamasında bireyin göz hareketlerindeki hedeften sapma derecesi ve süresi kontrol edilir. Bireyin göz hareketlerinde nistagmus varlığı da tespit edilmektedir. Nesne takibi çok uzun sürelerle meydana gelmesi durumunda santral vertigodan kaynaklandığı konusunda ciddi sonuçlar vermektedir (Baydan ve Yılmaz 2018).

Optokinetik Nistagmus Testi: Uzman yardımıyla bireyin baş pozisyonunun hızlı hareketler yaptırılarak görüntünün fovea üzerine düşürülmesi amaçlanmaktadır. Başın yavaş hareketlerini optokinetik sistem tarafından kontrol edilmektedir. Bu test üzerinde dikey çizgiler bulunmaktadır. Bu çizgiler hareketli ve ışıklı yapılarda kullanılarak nistagmusun tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Test biçimi esnasında veya sonrasında nistagmus tam ters yönde sağlam tarafa doğru, zayıf dalga yapısına sahip ve asimetrik şekilde oluşmaktadır (Baydan ve Yılmaz 2018).

Baş Rotasyon Testi (Head Thrust Test): Test uzmanı yardımıyla bireyin merkezdeki bir cisme odaklanması istenmektedir. Uzman ise bu esnada bireyi sağ ve sola doğru hızlanarak çevirir. Bu çevirmelerin 3-5 s aralığında bekleme süresi vardır. Devamında sağ ve sol hareketlerinin adeti arttırılarak teste devam edilir. Başın hareketi esnasında gözlerin sabit kalması istenir eğer gözler sabit kalamıyor ise gözlerdeki hareketler incelenmelidir. (Baydan ve Yılmaz 2018).

Baş Sallama Testi (Head Shaking Test): Uzman tarafından hastanın başını sağ ve sola olacak şekilde 20-25 saniye boyunca hızlıca sallaması talep edilir. Hareketin devamında nistagmus takip edilir ve belirsiz nistagmus oluşması beklenmektedir. Belirsiz oluşan nistagmus açısı, faz kayması ve yatay düzlemdeki nistagmus hakkında bilgiler vermektedir.

Bitermal Kalorik Testler: Bireyin kulak ile ilgili herhangi bir rahatsızlığının olup olmadığı tespit edilir. Kulak kiri veya buna bağlı diğer oluşumların test öncesi temizliği sağlanmalıdır. Birey sırt üstü yatırılıp baş pozisyonu 30 derece merkez hatta doğru eğimli olacak şekilde pozisyonlandırılmalıdır. Kalorik testler hava kalorik ve sıvı kalorik olmak üzere ikiye ayrılır. Kalorik testler hava kalorik olarak yapılması isteniyorsa vücut sıcaklığından soğuk olarak kabul edilen 24 derece hava sıcaklığı ve vücut sıcaklığından

sıcak olarak kabul edilen 50 derece hava sıcaklığı kullanılması gerekmektedir. Her bir sıcaklık değeri için 60 saniye boyunca sağ kulak ve sol kulaga 60 s boyunca soğuk test yapılmalıdır. Soğuk test bitiminden sonra bireye 5 dk dinlenme süresi tanınır. Sürenin bitiminden sonra tekrar sağ ve sol kulak için 50 derece sıcak hava verilip nistagmus hareketleri VNG veya ENG yardımıyla kontrol edilir. Diğer yöntem olan sıvı kalorik ise vücut sıcaklığından soğuk olarak kabul edilen 30 derecelik 250 cc sıvı bireyin öncelikle sağ kulağına sonrasında ise sol kulağına 30 saniye boyunca sıkılmalıdır. Hava kalorik testlerde olduğu gibi sıcak teste geçmeden önce 5 dakikalık molalar verilmelidir. Testin devamında 44 derece olarak hazırlanan distile edilmiş sıvı bireyin sağ ve sol kulağına sıkılmalıdır. Dış kulak yoluna verilen sıcak su horizontal kanalları uyarak nistagmus oluşturacaktır. Nistagmus hareketleri uzman tarafından test sonrasında değerlendirilmektedir (Mekki vd. 2020, Yılmaz vd. 2020).

2.2.2.1.2 Benign Paroksizmal Pozisyonel Vertigo Tedavi Yöntemleri

BPPV tespiti yapılan hasta bireylere uygun olarak Semont manevrası, Epley manevrası, Appiani manevrası, Vacovino manevrası, Barbekü manevrası, Gufoni manevrası, Brand-Daroff egzersizleri ve medikal tedavi yöntemleri uygulanmaktadır.

Semont Manevrası: Semont manevrası 1988 yılında Alain Semont ve arkadaşları tarafından ortaya çıkarılmış bir tedavi yöntemidir. Bireyin baş pozisyonu yarım daire kanalı sağlıklı olan kulak tarafına 45 derecelik açı yapacak şekilde çevrilir. Takip eden süreçte birey rahatsız olduğu kulak tarafına doğru sedyeye yatırılır. Birey bu pozisyonda 55-60 saniye boyunca bekletilir ve ani hareket ile sağlıklı kulağın olduğu tarafa döndürülür. Bireyin 10-15 dakika boyunca karşıya bakması sağlanır ve nistagmusun yönü kontrol edilir. Eğer nistagmus gözleniyor ise sağlıklı kulağın yönüne doğru olması beklenir. Eğer bu şekilde ise manevranın başarılı olduğu kabul edilir aksi takdirde manevra nistagmus istenilen yönde oluşması sağlanıncaya kadar tekrarlanır (Arbağ vd. 2003, Kılınç ve Müjdecı 2015).

Epley Manevrası: Epley Manevrası 1992 yılında Epley tarafından ortaya çıkarılmış tedavi yöntemidir. Bu yöntem ilk yıllarda bireyin muayene sedyesinde oturur pozisyonda

dururken baş pozisyonu ilk olarak sağ kulak tarafına doğru 45 derecelik açı oluşacak şekilde döndürülerek hızlıca manevra yapılır ve baş açılı bir şekilde boştta 2 dk boyunca kalması sağlanır. Bu pozisyonda bireyin başı 15 derece sedyeden aşağıya doğrudur. Sonrasında ise bireyin başı yavaş yavaş sol kulak tarafına doğru açı dereceleri aynı olacak şekilde konumlandırılır ve iki dakika bu pozisyonda sabit kalması sağlanır. Devamında hasta aynı pozisyonda iken vücut eksenini üzerinde 90 derece sağ tarafa yan yatırılması sağlanır. Testin bu aşamasında 2 dakika beklenmelidir. Yine aynı şekilde diğer tarafa yatırılıp 2 dakika bekletilir. En son olarak birey baş pozisyonu 45 derece sola döndürülmüş ve 20 derece boyun gövde açısı ile öne eğilmiş bir pozisyonda her iki yönünde iki dakikalık test uygulanır. İlk bulunduğu dönemlerde bu test aşaması sonrasında bireyin 48 saat boyunca dik konumda tutulması talep edilirdi. Yapılan çalışmalar sonucunda modern epley manevrasından kaldırılmış oldu. Manevranın birey üzerinde birden fazla kez tekrar edilmesi bireyin sağlığını olumsuz etkilememektedir ve tedavinin tekrar edilmesi bireyin sağlığını olumlu yönde etkilediği bilimsel çalışmalar üzerinde görülmüştür (Dağkiran vd. 2015).

Appiani Manevrası: Appiani manevrası 1999 yılında Ciniglio Appiani ve arkadaşları tarafından ortaya çıkarılmış bir tedavi yöntemidir. Uzman kişi tarafından birey sedyeye oturtulur. Hasta ilk önce hızlı bir şekilde sağlıklı olan tarafa doğru yatırılır. Takip eden süreçte bireyin baş pozisyonu 45 derece aşağı çevrilerek bu pozisyonda 3-5 dakika arasında sabit tutulur. Tekrardan hızlıca hasta oturur pozisyona getirilir. Yapılan işlem iki tekrarlı bir şekilde yapılabilmektedir (Vats 2020).

Yacovino Manevrası: Yacovino manevrası 2009 yılında Dario A Yacovino ve arkadaşları tarafından 2009 yılında ortaya çıkarılmış bir tedavi yöntemidir. Tedavi yönteminde bireyin sedye üzerinde oturması istenir. Uzman tarafından bireyin baş bölgesinin 30 derece eğimli olacak şekilde hızlıca sedyeye yatırılır. Uzman tarafından bireyin baş boyun bölgesi desteklenir. Nistagmus durumları kontrol edilir eğer var ise kaydedilmelidir. Nistagmusun bitiş durumu takip edilerek hasta tekrar oturma pozisyonuna alınmalıdır. Oturma pozisyonunda tekrardan nistagmus kontrol edilir. Nistagmusun yönünün tam terste olması klinisyen tarafından kontrol edilerek Yacovino manevrası tekrar edilmektedir (Yacovino ve Hain 2009, Öztürk vd. 2019).

Barbekü Manevrası (Lempert): Birey uzman tarafından sedye üzerinde oturur pozisyona getirilir. Uzman yardımıyla birey sırt üstü sedyeye uzanır ve devamında birey yavaş hareketler ile sağ kulağının olduğu yanal yüzeye doğru döndürülür. Bu yanal yüzeyde 30 saniye bireyin beklemesi gerekmektedir. Tekrar birey sırt üstü sedyede yatar pozisyona getirilir ve 30 saniye boyunca beklenir. Devamında birey sol kulağın bulunduğu yanal yüzeye döndürülür ve 30 saniye bu pozisyonda sabit kalır. Birey aynı pozisyonda baş açısı 30 ile 45 derece arasında karın bölgesine doğru yönelmesi talep edilir ve 30 saniye bu pozisyonda bireyin sabit kalması sağlanır. Tekrar rotasyonel hareket yapılarak bireyin yüz üstü uzanır şekilde başı sedyeden kaldırılmış ve karın bölgesine doğru 30 derece eğimle 30 saniye boyunca sabit kalması sağlanır. Takip edilen süreçte birey tekrar sağ kulak bölgesine döndürülür. En son olarak birey sedye üzerinde oturma pozisyonunda başı dik bir şekilde 1 dakika sabit kalması istenir. Yöntemin başarımının artması için test aralarında beş dakika beklenmelidir. Belirtilen yöntem sağ yatay kanal için anlatılmıştır, eğer sol yatay kanal için uygulanacak ise tam tersi sıralama ile uygulanmasına dikkat edilmesi gerekmektedir (Sekine vd. 2006).

Gufoni Manevrası: Gufoni Manevrası uzman tarafından bireyin sedye üzerine oturtulmasıyla başlamaktadır. Oturma pozisyonunda olan birey hızlı hareketler ile sağlam kulağın bulunduğu tarafa doğru yatırılır. Bu pozisyondaki iken 1-2 dakikalık sürelerce bireyin nistagmus hareketleri incelenir ve bitmesi beklenir. Takip eden süreçte bireyin baş bölgesi yer ile 45 derecelik açı yapacak şekilde hızlıca çevrilir. Tedavinin tekrar edilmesi nistagmus şiddetini azalttığı gibi kolay uygulanması da uzmanlar tarafından tercih edilmesini arttırmaktadır (Kılınç ve Müjdecı 2015).

Brand-Daroff Egzersizleri: Uzman yardımıyla birey oturma pozisyonundayken hızlı manevra yapılarak bireyin yan yatması sağlanır ve bireyden bu pozisyonda 30 saniye sabit kalması beklenir. Birey kaldırılarak hızlı bir şekilde diğer tarafa doğru yatırılır ve 30 saniye dinlendirilir. Birey son olarak tekrardan oturma pozisyonuna getirilir. Egzersizler bireyin baş dönmesi durumuna göre günde 5-10 tekrardan başlayarak periyotlar halinde yapılır (Tomanovic 2006).

Medikal Tedavi: Bireyin baş dönmesi beyin hasarlarından kaynaklı veya herhangi bir

şekilde manevralara cevap vermiyor ise hekim tarafından yapılacak olan diğer tetkikler yardımıyla medikal tedavi yöntemi oluşturulur.

2.3 Literatür Taraması

Tez çalışmasında yapılan literatür taraması, ulusal ve uluslararası çalışmalar kullanılarak iki farklı başlık altında toplanmıştır. Yapılan tarama ile gerçekleştirilen ürünlerin geliştirilmesi ve geliştirilebilirlik düzeyleri için izlenmesi gereken yollar araştırılmıştır.

2.3.1 Ulusal Çalışmalar

2012 yılında Vural Fidan ve Erdal Samim tarafından yapılan çalışmada Kulak Burun Boğaz bölümünde sıkça görülen etiyolojik açıdan tespiti zor olan vertigonun ayırıcı tanı ve teşhis yöntemlerinin gerekliliğine değinilmiş ve Elektronistagmografinin (ENG) vertigoya sahip hastalarda bu anlamda etkinliğini değerlendirmek amaçlanmıştır. Çalışmada Ankara Eğitim ve Araştırma Hastanesi KBB Kliniği'ne Mayıs 2002-Haziran 2003 tarihleri arasında vertigo şikâyeti ile başvuran 3 erkek 24 kadından oluşan başlıca subjektif semptomları dengesizlik hissi ve kulak çınlaması olan toplam 27 kişi kullanılmıştır. Kontrol grubuna elektronistagmografi ve alt testleri olan oküler takip, sakkadik, statik pozisyonel, Dix-Hallpike ve bitermal kalorik test uygulanmış ve sonuç olarak 4 hastanın (%14,8) sonucu normal elde edilmiş olup bir hastada (%3,7) santral patolojiye rastlanmıştır ve 22 hastada (%81,5) periferik patoloji bulunmuştur. Neticede ENG'in sebebi belirlenemeyen vertigo hastalarında etiyolojinin aydınlatılmasında yol gösterici olan güncel bir yöntem olduğu vurgulanmıştır. Bu çalışmada ENG santral ve periferik vertigo tespitinde tek başına kaynak olmadığı ancak hastanın detaylı hikayesinin elde edilmesi, oto-nörolojik muayene ve odyolojik inceleme sonrası kullanıldığında daha ileri tetkiklerin yapılmasında faydalı bir metot olduğu görülmüştür (Fidan ve Samim 2012).

2014 yılında Yaser Said Çetin tarafından yapılan çalışmada Bening paroksizmal pozisyonel vertigo belirtilerinin videoelektronistagmografi (VENG) ile tanı konulması ve tedavi sürecinin yönlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada Uludağ Üniversitesi Tıp

Fakültesi Hastanesi KBB Anabilim Dalı'na Mart 2012-Mayıs 2014 aralığında baş dönmesi şikâyetiyle gelen ve pozisyonel testler sonrasında BPPV tanısı konulmuş, yaş aralığı 27 ve 76 olan toplam 63 hastanın epidemiyolojik verileri ve VENG bulguları kullanılmıştır. Bunlarla beraber klinikte en sık karşılaşılan posterior semisirküler BPPV için başvuru alan modifiye Epley manevrasıyla Brandt-Daroff egzersizinin de tedavi sürecindeki etkinliği değerlendirilmiştir. VENG ile yapılan göz hareketlerinin kaydı neticesinde 50 hasta posterior kanal, 8 hastada lateral kanal, 2 hastada anterior kanal, 2 hastada bilateral posterior ve 1 hastada da santral pozisyonel vertigo olduğu görülmüştür. Epley manevrası ve Brandt-Daroff egzersizi ayrı ayrı 25 hastaya uygulanmış ve iyileşme süreçleri kaydedilmiştir. Epley manevrası için üç hafta boyunca oranlar %76, %96 ve %100 olarak ilerlerken Brandt-Daroff egzersizi için bu oranlar sırasıyla %64, %88 ve %100 olarak gözlemlenmiştir. Sonuç olarak VENG, Epley manevrası ve Brandt-Daroff egzersizlerinin tanı ve tedavi sürecinde oldukça etkili yöntemler olduğu görülmüştür (Çetin 2014).

2019 yılında Evren Hızal'ın yaptığı çalışmada vertigonun belirtilerine göre uygulanan pozisyonel testlerin videonistagmografi (VNG) kayıtlarını değerlendirmek ve Dix-Hallpike ile supin baş çevirme (head-roll) testlerinde teşhis edilen nistagmusun karakterini belirlemek amaçlanmıştır. Bu çalışmada Başkent Üniversitesi KBB Anabilim Dalı'na Ekim 2010 ve Şubat 2019 tarihleri arasında vertigo şikâyetiyle başvuran 7523 hastanın VNG verileri kullanılmıştır. Dix-Hallpike ve supin baş çevirme testlerinin sonuçlarının olduğu %68'i kadın ve ortalama yaşın 53 olduğu 2880 adet veri elde edilmiştir. Bu iki farklı testteki nistagmus hareketlerini içeren 148 adet video değerlendirildiğinde %8,8'inde posterior kanal, %59,4'ünde lateral kanal BPPV'si, %52,3 ageotropik varyant olduğu görülmüştür. Lateral kanal BPPV'sinde geotropik ya da ageotropik, hem supin baş çevirme hem de Dix-Hallpike testlerinde nistagmus izlendiği belirlenmiştir bu yüzden sonuç olarak BPPV'de tanının doğru bir şekilde konulabilmesi için tüm hastalarda bu testlerin uygulanması ve elde edilen verilerin bir arada değerlendirilmesi gerektiği belirtilmiştir (Hızal 2019).

2020 yılında Esin Yalçınkaya ve Mustafa Mert Başaran tarafından yapılan çalışmada Benign Paroksizmal Pozisyonel vertigo tedavisinde Epley manevrasının verimliliği

araştırılmıştır. Çalışmada Ufuk Üniversitesi ve Özel Medisun Hastanesi'ne Ağustos 2018 ve Şubat 2019 tarihleri arasında acil servis ve KBB polikliniğine başvuran ve baş dönmesi şikâyetlerinin periferik kökenli olduğu tahmin edilen 347 hasta kontrol grubu olarak oluşturulmuştur. Kontrol grubundaki 347 hastanın 201'i (%58) kadın, 146'sı (%42) erkektir. Hastalara Epley manevrası uygulanmış ve sonucu takip edilmiştir. Sonuç olarak, hastaların %54,5'inde posterior kanal, %34,9'unda horizontal kanal, %6,3'ünde anterior kanal, %4,3'ünde çoklu kanal tutulumu gözlemlenmiştir. Her hastaya yapılan Epley manevrasından neticede %94 oranında başarı sağlanmıştır. Bu sebeple en sık periferik baş dönmesi nedeni olan BPPV'de hem tanı hem de tedavi sürecinde Epley manevrası faydalı ve iyileşme sürecini hızlandıran bir yöntem olduğu belirtilmektedir (Yalçinkaya ve Başaran 2020)

2.3.2 Uluslararası Çalışmalar

2008 yılında K. Johkura ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada halk sağlığı problemi olan vertigonun yaşlı hastalarda vertigo kaynağı olup olmadığının araştırılması amaçlanmıştır. Çalışma kronik baş dönmesi bulunan 200 hasta birey ve aynı yaş grubuna dahil olan 155 baş dönmesi bulunmayan sağlıklı bireyler ile frenzel gözlükleri ve kızılötesi aydınlatmaya sahip (CCD) kamera kullanılarak yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda horizontal pozisyonel nistagmusun sağlıklı bireylerde de vertigo olmadan da görülebileceği %12 ile %80 aralığında geniş yer almaktadır. Bu nedenden dolayı frenzel gözlüğü altında konumsal nistagmusu olan hasta bireyler çalışmadan çıkarılmıştır. Kronik baş dönmesi olan hasta bireylerde, baş dönmesi bulunmayan sağlıklı bireylere oran olarak çok yüksek apogeotropik pozisyonel nistagmus yaygınlığı bulunmuştur. Denek olan bazı hasta bireylerde günlük tekrarlar ile yapılan BPPV pozisyonel egzersizleri sonucunda iyileşmeler gözlenmiştir (Jokhura vd. 2008).

2010 yılında Arata Horii ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada inatçı BPPV'nin oluşum oranı, prognozu ve iç kulak anormalliği, uzun süreli takip edilen hastalarda 3D Manyetik Rezonans Görüntüleme kullanılarak araştırılmıştır. Çalışmada 2002 ve 2008 yılları arasında Osaka Üniversitesi Hastanesi'de BPPV teşhisi konulan 495 hastadan, her biri ilk tanıdan sonra bir yıldan fazla kalıcı bir nistagmus veya sık tekrarlama durumu

olan 13 hasta ve herhangi bir işitsel vestibüler semptomu olmayan 14 kontrol gönüllüsü denek kullanılmıştır. MRG'nin sabit durum elde etme sekanslarını kullanan T2 ağırlıklı 3 boyutlu hızlı görüntülemenin 3D rekonstrüksiyonu gerçekleştirilerek nistagmus geçişi ve nüksetmesi izlenmiştir. Yarım daire kanallarının stenoz veya obturasyon açısından değerlendirilmesiyle 495 BPPV hastası arasında 18 hasta (4'ü posterior kanal tipi, 2'si jeotropik nistagmusla horizontal kanal tipi ve 12'si ajeotropik nistagmusla) inatçı BPPV kriterlerini karşılamıştır. İnatçı BPPV'nin oluşum oranı %3,6 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, nistagmus dönüşüm oranı, jeotropik nistagmus ve posterior kanal tipi olan hastalarda, ajeotropik nistagmusu olan hastalara nazaran önemli ölçüde daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. MRG uygulanan 13 inatçı BPPV hastasından 11'inde (%84,6) anormal görünüme sahip toplam 23 kanal görülmüş ve bu kontrollere kıyasla önemli daha yüksek bir oluş göstermiştir. Sonuç olarak ajeotropik nistagmuslu hastalarda düşük nistagmus geçişi oranı, ajeotropik nistagmus ve diğer BPPV türleri arasında patofizyolojide bir fark olduğunu ortaya çıkarmıştır. Semisirküler kanalın doğuştan gelen daralmasını ve/veya otokonyal sıkışmasını gösteren MRG'deki kanalların stenozu ve obturasyon, BPPV'nin inatçılığını açıklayabileceğini göstermiştir (Horii vd. 2010).

2011 yılında Gabriella Assumpcao ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada nistagmusu bulunmayan BPPV'ye sahip hastaların teşhis ve tanısı araştırılmıştır. Çalışmada 2001 ve 2009 yılları arasında nistagmusu bulunmayan BPPV'ye sahip 9 adet çalışma incelenmiştir. İncelenen çalışmalarda BPPV'nin nistagmus bulunmayan hastalarda geçmiş BPPV teşhisleri veya fiziki kontroller sonucundaki bulgulara dayanılarak tedavisi yapılabileceği ortaya çıkmıştır. Çalışmaların sonucunda nistagmus bulunan veya bulunmayan hastalarda dâhili olarak BPPV tedavisinin yapılmasının gerekli olduğu görülmüştür (Assumpcao Alvarenga vd. 2011).

2015 yılında Theekapun Chaeroenpong ve arkadaşları tarafından yürütülen çalışmada sadece gözlemlerle tespit edilmesi zor olan nistagmus belirtilerinin göz hareket hızını (eye movement velocity) kullanarak teşhis edilmesi amaçlanmıştır. Varolan çalışmalara bakıldığında özellikle sinyal işleme algoritması açısından önerilen elektro-okülografinin (EOG) yavaş ve hızlı fazı sınıflandırdığından bahsedilmiştir. İki aşamadan oluşmakla beraber; ilkinin yavaş faz göz hızı aralıklarının ilk tahmini ve ikincisi de faz kayması ve

doğrusal olmamayı belirlemek ve bunların etkisini telafi etmek olduğu belirtilmiştir. Hızlı faz için ENG, sistemin girdisi olarak kullanıldığı ancak bu yöntemlerin sadece EOG sinyalinin yavaş ve hızlı fazı sınıflandırabildiği, istemsiz göz hareketini teşhis edemediği fikri öne sürülmüştür. Yapılan bu araştırmalara dayanarak, bu metodların sınırlarının video-okülografiden nistagmusu teşhis edemeyeceğini göstermektedir. Bu yüzden bu çalışmada göz hareketleri verisinden nistagmusun teşhis edilebileceği yeni bir metod önerilmektedir. Çalışma üç aşamadan oluşmaktadır; 1. Göz bebeğinin çıkarılması, 2. Göz hareketi hesaplama hızı ve 3. Nistagmus tespiti. Toplam 6 deneğin göz hareketlerinin diğer ışık kaynaklarından etkilenmemesi için karanlık bir ortamda binoküler bir gözlükle göz hareketlerinin kaydedildiği ve göz hareketinin hesaplanması için kızılötesi bir kamera kullanıldığı bu çalışmada araştırmacı deneğin başını aniden bir yana hareket ettirerek x-axis'de istemsiz göz hareketlerini yaratır. Kare hızı saniyede 25 kare olarak ayarlanmış olup toplam data 3,260 görüntüdür ve hız kriteri saniyede 6 pikseldir. Görüntü RGB renk alanından gri moda çevrilir. Daha sonra siyah bir lekeyle çevrilen göz bebeğinin elips bir teknikte şekli tahmin edilir ve merkezinden itibaren ölçümü yapılır. Sonuç olarak istemsiz göz hareketi tespitinin doğruluk oranı %87,21 olarak belirlenmiştir. Bu, video-okülografiden nistagmus tespit edilebilen ilk yöntemdir (Charoenpong vd. 2015).

2017 yılında Jacob L. Newman ve arkadaşları tarafından yürütülen çalışmada nistagmus tespiti için tradisyonel makine öğrenme tekniklerinin ötesinde derin öğrenme tekniğinin ışığında 1D Convolutional Neural Network (Evrişimsel Sinir Ağları) kullanımı ilk kez açıklanmıştır. Denge rahatsızlıklarını tespit etmek için birçok test bulunmakta ancak klinik ortamda gerçekleştirildiği için periodik ve anlık gerçekleşen dizziness ve vertigo gibi durumlar kısıtlı ortam içerisinde gerçekleşmeyebilir. Buna karşılık olarak bu çalışmada günde 23 saat olmak üzere 30 gün boyunca 5 elektrokardiyografik (ECG) pedle devamlı kayıt altında olan ortaya uzun-vadeli bir data koyan CAVA cihazı (The Continuous Ambulatory Vestibular Assessment) bu limitleri aşmak adına öne sürülmüştür. CAVA cihazı tarafından sağlanan data sonucu, klinisyenin manuel olarak incelemesinden önce bilgisayar algoritmalarıyla analiz edilmektedir. Bu algoritmanın geliştirilmesi bu çalışmanın ana odak noktasıdır. Çalışmada klinik araştırma olarak bilgisayar algoritmalarının geliştirme datası için Meniere hastalığı, Vestibüler migren ve

Benign paroksizmal pozisyonel vertigoya sahip olan 4 hasta dâhil edilir. Hastalar çalışma boyunca günde 23 saat olmak üzere 30 gün boyunca günlük aktivitelerinde CAVA cihazını takarlar. Çalışma bitiminde klinik ortamda anlık nistagmus yaratmak için kalorik teste tabii tutulurlar. Bu çalışmada açıklanan deneylerde, kalorik testi sırasında toplanan verilerin (4 hastadan 3'ü) ve çevrede meydana gelen vertigo atağı sırasında (1 hasta) toplanan verilen bir kombinasyonu kullanılmıştır. Deney düzeneği olarak sistemi daha da geliştirmek adına her bir hasta için çapraz-geçerlilik deneyi (cross-fold validation experiment) yapılmıştır. Bu yaklaşımı kullanarak, data, test sayısı ve çalışılan kıvrımlara bölünmüştür. Her bir test edilen kıvrım bir hastaya ait data oluşmakta ve geri kalan hastaların datası sinirsel ağların çalışılması için kullanılmaktadır. Bu deneyle dört katın tamamında ortalama 0,59 (SD = 0,24) F1 puanı elde edilmiş, bu da kullanılan yöntemlerin nistagmus dönemlerini tutarlı bir doğruluk derecesinde tanımlayabildiğini göstermiştir (Newman vd. 2017).

2021 yılında Wanlu Zhang ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada derin öğrenme tekniğine dayalı olarak torsiyonel BPPV nistagmusunun otomatik tespitinin incelenmesi amaçlanmıştır. Klinik olarak BPPV'nin en sık karşılaşılan varyantı olan Posterior semisirküler BPPV'nin (pc-BPPV) daha kompleks bir nistagmus olan torsiyonel ve yükselme eğilimli dikey hareketlerle kendini gösterdiğinden bahsedilmiş ve çalışmada bu torsiyonel nistagmusun klinik tespitini daha kolay hale getirebilecek derin öğrenmeye dayalı bir çerçeve önerilmiştir. Bu çerçevede gözlem altındaki hastaların göz kırpmalarındaki geçersiz kareleri ortadan kaldırmak, video taramada hekimlerin iş yükünü hafifletmek ve göz hareketi video yoğunlaştırması (video condensation) için evrişimli sinir ağı tabanlı (Convolutional Neural Network) bir yaklaşım öne sürülmektedir. Göz küresini içeren kare dizisinde, hareketli göz küresini merkezde sabitlemek için Hough dönüşümü (the Hough transform) ve şablon eşleştirmeye dayalı yörünge sıralamasını birleştirerek göz kapağı oklüzyonu ve gözbebeği deformasyonuna karşı sağlamlık desteklenmiştir. Torsiyonel nistagmusun karakterize edilebilmesi için, torsiyonel kareleri tanımlayan Torsion-aware Bi-Stream Identification Network model (TBSIN)'inin önerildiği torsiyonel hareket yoğunluğunun haritasını oluşturmak için yoğun optik akış alanı (the dense optical flow field) ise bir diğer adım olarak gösterilmiştir. Çalışmanın deneysel bölümünde veri kümesi Peking Union Medical

College Hospital'de kızılötesi gözlüklerle çekilen videolardan alınan data kullanılmıştır. Göz hareketi yoğunlaştırması için, 4000 geçerli kare (pozitif numune) ve 4000 geçersiz kare (negatif numune) alınmıştır. 8000 numunenin %80'i üzerinde çalışılan data olarak, kalanlar test datası olarak kullanılmıştır. Ek olarak, teşhis pozisyonel test için pc-BPPV'den şüphelenilen tüm hastalar üzerinde Dix-Hallpike manevrası uygulanmış, hepsi torsiyonel hareket içeren 77 nistagmus videosu elde edilmiştir. Vaka çalışması olarak sol ve sağ torsiyonel pc-BPPV olan iki çekilmiş torsiyonel nistagmus videoları verilmiştir. Video 841 kareden 555 kareye düşürülerek bilgi içermeyen karelerin neredeyse %34'ü elimine edilmiştir. Sonuç olarak, özellikle kare-seviyesinde tanımlama için doğruluk ve F1 ölçümleri göz önünde tutulursa %85,73 ve %81 ve son torsiyonel nistagmus segment lokalizasyonu için IOU performansı %67,45 elde edilmiştir (Zhang vd. 2021).

2022 yılında Poonam Kumar Saidha ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada Benign Paroksizmal Pozisyonel Vertigo hastalarında Vestibüler Uyarılmış Miyojenik Potansiyel (VEMP) kayıtlarındaki olası değişikliklerin sıklığı ve VEMP kayıtlarındaki değişikliklerle ortaya çıkan bir anormal klinik bulgu olup olmadığı amaçlanmıştır. Çalışma 2017 Mart'tan 2019 Aralık ayına kadar bir tıp üniversitesi hastanesinde gerçekleştirilmiş, en genç hasta 32 ve en yaşlı hasta 68 yaşında olmak üzere ortalama yaşın 50 olduğu kontrol grubu araştırmanın başında BPPV teşhisi konulan 29 kişiden oluşturulmuştur. Tanı konulmuş vestibüler nöronit veya bilinen başka herhangi bir vestibüler problem veya iletim tipi işitme kaybı [Conductive Hearing Loss (CHL)] olan hastalar çalışma dışı bırakılmıştır. Tüm hastalarda Romberg- Sharpened Romberg's test, Dix-Hallpike testinin yanında saf odyometri [Pure-tone audiometry (PTA)], elektronistagmografi kaydıyla bitermal kalorik test ve son olarak cVEMP kaydı uygulanmıştır. İncelenen çalışmada 26 hastada (%89,6) VEMP normal görülmüştür. Anormal VEMP bulguları bulunan 2 hastada kulak çınlaması (tinnitus) semptomları görülmemiştir. 2 vakada anormal VEMP, anormal ENG bulgusu ile bağlantılı olarak bulunmuştur ancak istatistiksel açıdan önemli olmadığı kanısına varılmıştır. Sonuç olarak BPPV ile istatistiksel anlamlı bir ilişki görülmediğinden VEMP, BPPV teşhisi için standartlaştırılmış bir araç olmadığı görülmüştür (Saidha vd. 2022).

3. MATERYAL ve METOT

Tez çalışması temel olarak elektronik donanım, gömülü sistem yazılımı, ENG bilgisayar yazılımı, sıvı kalorik sistemi mekanik kısımlarından oluşmaktadır. Bu bölümde çalışmada kullanılan materyaller ile Benign paroksizmal pozisyonel vertigoya bağlı nistagmus test ve ölçüm sisteminin geliştirilmesi ilkeleri açıklanmıştır.

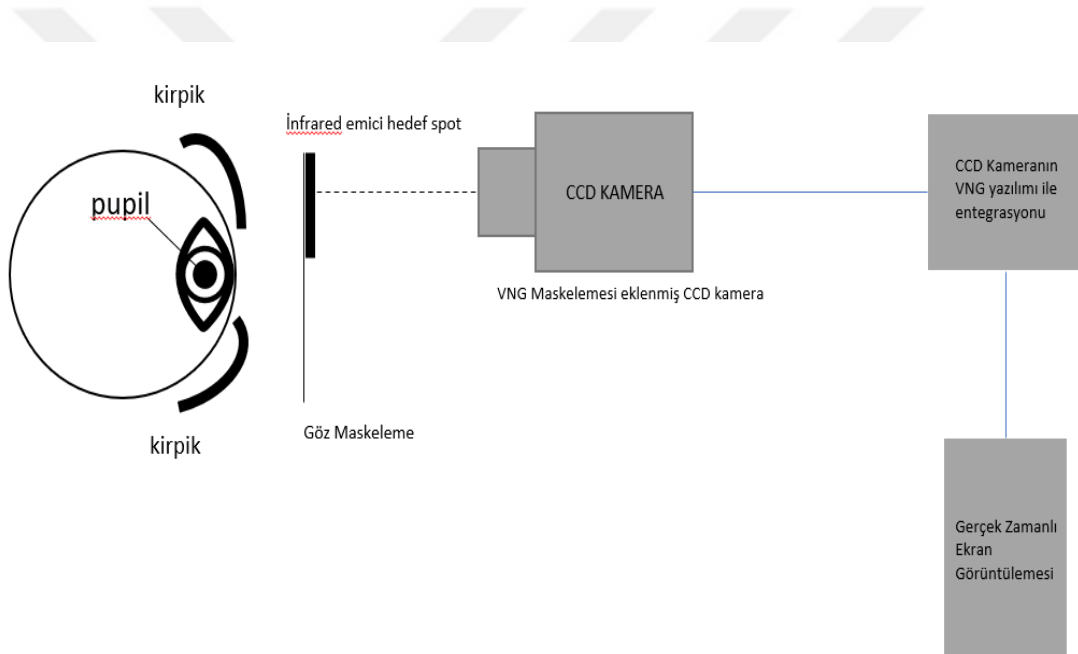
3.1 Benign Paroksizmal Pozisyonel Vertigo Teşhis Yöntemleri

Benign paroksizmal pozisyonel vertigo semisirküler kanalda, kupulaya tutunan ya da endolenf içerisinde serbest olarak yüzen kulak kristali nedeniyle oluşmaktadır. Yüzmekte olan kulak kristallerinin konumsal tespiti ve Benign paroksizmal pozisyonel vertigonun teşhisi için Dix-Hallpike, sabit bakış (gaze), sinüzoidal hareket (pursuit), optokinetik, baş rotasyon (head thrust), baş sallama (head shaking), bitermal kalorik testler teşhis yöntemleri ile teşhis edilmektedir. Uygulanan testlerin videonistagmografi (VNG) veya elektronistagmografi (ENG) kayıtları değerlendirilerek teşhis gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada ENG yazılım ve donanımları geliştirilmiştir.

3.1.1 VNG

Videonistagmografi vestibüler disfonksiyon olarak adlandırılan şüpheli baş dönmeleri olan hastaları değerlendirmek amacıyla kullanılan yöntemdir. Yöntem temel olarak baş dönmesi kaynağının tespiti amacıyla göz uzaysal düzlemindeki hareketlerinin kaydedilmesine yönelik bir tekniktir. Göz salınım hareketlerinin tespit edilmesi ve kaydedilmesi amacıyla yerine getirmek için kızılötesi video kamera veya dijital video kameralar kullanılmaktadır. VNG hastaların yatay düzlem ve dikey düzlemdeki nistagmus hareketlerinin doğrudan tespit edilmesi için görüntü işleme metotları ile hasta gözünün rotasyonel hareketlerini sürekli incelemek amaçlı üzerinde kamera bulunan gözlüktür. VNG gözlükleri hastanın başına sıkıca konumlandırılarak hastanın göz artefaktlarının en sade halinin alınması için kullanılmaktadır. Şekil 3.1 hasta gözünün hareketini kaydeden CCD kamera düzeneğini göstermektedir. Vertigo teşhisinde kullanılan Dix-Hallpike, sabit bakış (gaze), sinüzoidal hareket (pursuit tracking), opto

kinetik, baş rotasyon (head thrust), baş sallama (head shaking), bitermal kalorik testlerin uygulanması esnasında hasta bireyin göz konumuna sıkıca yerleştirilmiş VNG tasarımına sahip gözlük yerleştirilir. Hastanın gözünün bulunduğu konuma VNG maskelemesi eklenmiş CCD kamera yardımıyla kızılötesi ışınlar pupil noktasına ulaşacak şekilde gönderim sağlanır. Hastanın istenilen pupil noktasına çarpan kızılötesi ışınlar hedef spot tarafından alınıp maskelerden geçirilerek VNG maskelemesi eklenmiş CCD kamera üzerine düşer. Alınan görüntüler ve nistagmus hareketlerinin incelenmesi için hazırlanan özel VNG yazılımı ile anlık olarak elde edilir ve aynı zamanda sistem üzerinde hasta verilerinin incelenmesi amacıyla kaydedilir. Hasta verileri gerçek zamanlı olarak harici bir ekran veya yazılım üzerinde gösterilebilmektedir.

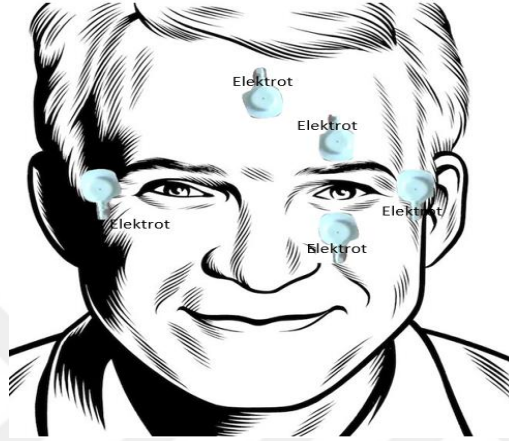


Şekil 3.1 Videonistagmografi sistemi çalışma prensibi.

3.1.2 ENG

Vertigo teşhisinde en çok tercih edilen yöntem olarak bilinen ENG yöntemi retina ile kornea arasındaki elektrik potansiyel fark kullanılarak elde edilen verilerin grafiksel aktarımıdır. ENG pupil hareket hızı, hassasiyeti, korneo-retinal potansiyel farklılık ölçümü ile göz hareketlerinin kaydedilmesidir. Şekil 3.2’de konumları gösterilen elektrotlar hasta bireyin sağ ve sol göz kenarında, sağ gözünün üst ve alt kas gruplarına en yakın noktalarda ve referans elektrotun hasta bireyin gözünden uzaklaştırılan

bölgesinde konumlandırılmasıyla elde edilir. Elde edilen elektrik potansiyel farklar elektronik yükselteç yardımıyla yükseltılarak elektronik kayıt cihazı veya kayıt cihazlarına aktarılır. Aktarılan veriler teşhis yöntemi olarak tedavinin yöntemine uygun genlik, birey nistagmus morfolojisi, yoğunluğu, fonksiyonu, patoloji durumu, santral lezyon durumları, hızı konusunda bilgiler sunmaktadır.



Şekil 3.2 Hasta birey ENG elektrot yerleşimi (İnt.Kyn.3)

3.2 Benign Paroksizmal Pozisyonel Vertigoya Bağlı Nistagmus Test ve Ölçüm Sistemi

Benign paroksizmal pozisyonel vertigoya bağlı nistagmus test ve ölçüm sistemi donanım ve yazılımı olmak üzere iki temel bölümden oluşmaktadır.

3.2.1 Benign Paroksizmal Pozisyonel Vertigoya Bağlı Nistagmus Test ve Ölçüm Sisteminin Genel Mimarisi

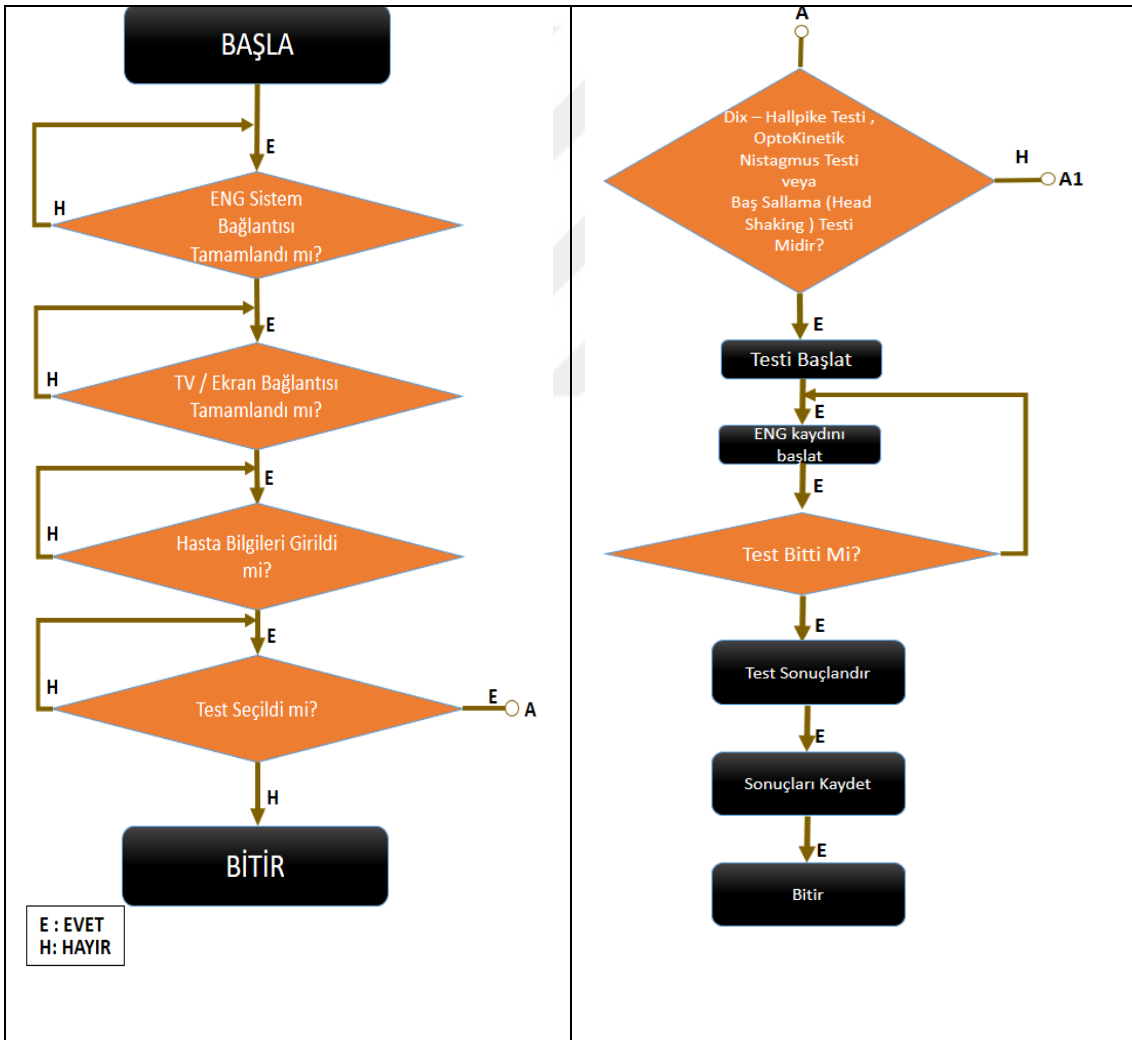
Blok diyagramda (Şekil 3.3) bilgisayar üzerinde gösterilmiş olan Visual C# programında nistagmus hareketlerinin incelenmesi için geliştirilen yazılım içerisinde hasta verilerinin saklandığı veri tabanı sistemi ve arabirim dönüştürücüsü ile test metotların aktarıldığı yazılım paneli bulundurmaktadır. Yapılan test sırasında kullanılacak test yöntemine uygun olarak hazırlanmış olan yazılımsal görseller televizyon veya monitörler üzerine yansıtılarak bireyin takip etmesi istenir ve hazırlanmış olan ENG yazılımı sayesinde kaydedilerek sınıflandırması yapılır. Ayrıca diğer bir test yöntemi olan bitermal kalorik test yöntemi kullanılarak bireyin kulağında ısı değişikliği yaratılarak endolenf akım

mikro denetleyici ile alınarak gerekli motorlara iletilir ve istenilen süre boyunca aktif kalır.

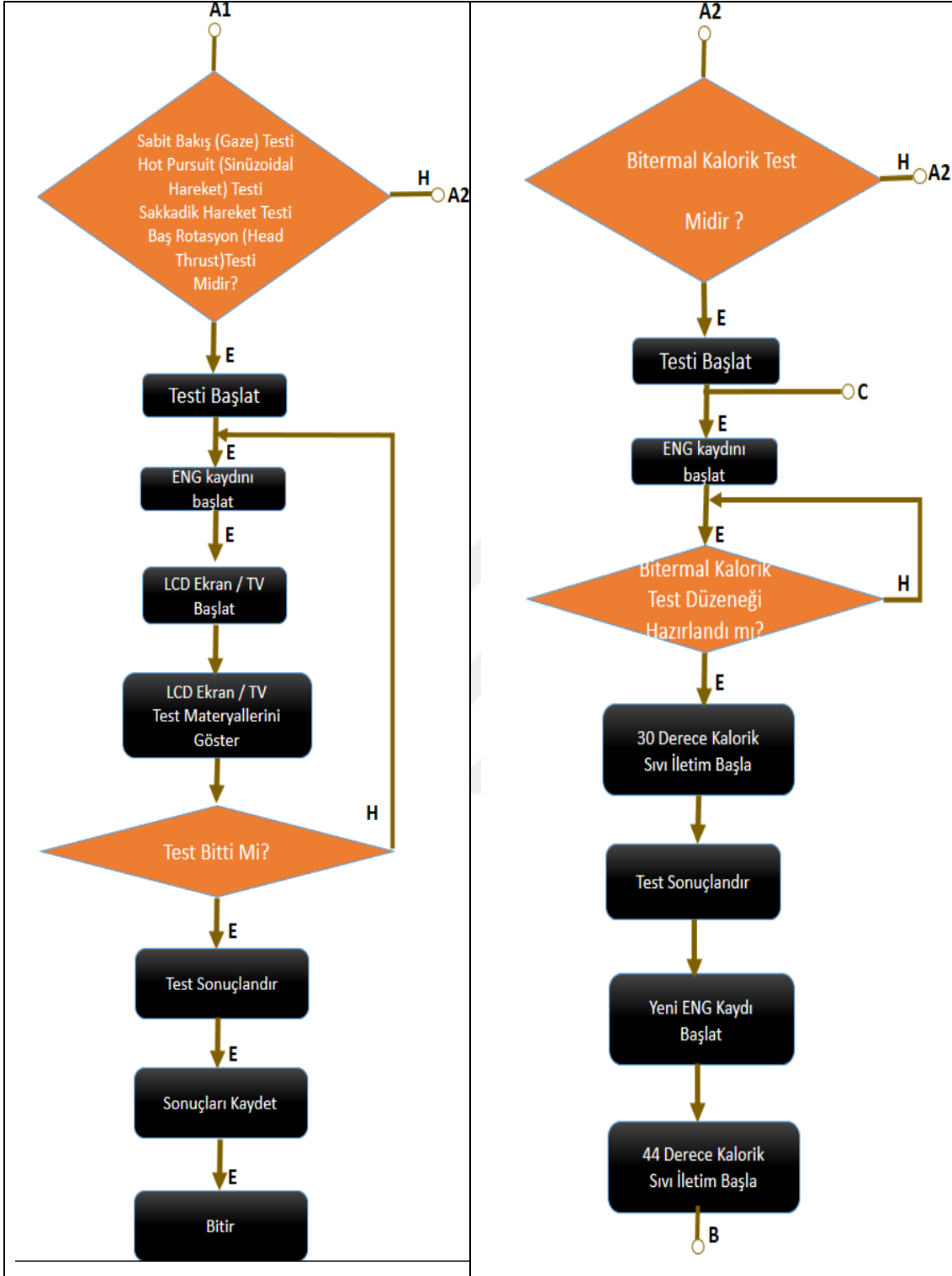
3.2.2 Benign Paroksizmal Pozisyonel Vertigoya Bağlı Nistagmus Test ve Ölçüm Sistemi Yazılım Mimarisi

Şekil 3.4'te sistemin akış diyagramı verilmiştir. Öncelikle bilgisayar ile hasta olan bireyden alınacak olan ENG verilerinin olduğu ENG sistem bağlantısının yapılmış olması gerekmektedir. Yapılan bağlantının onaylanması durumunda belirtilen test görüntülerinin uygulanması için gerekli olan televizyon veya ekran bağlantılarının yapılacağı belirtilir ve uygunluğu kontrol edilir. Daha sonra hasta olan bireyin bilgilerinin girilmesi veri analizi ve depolanması amacıyla gerekmektedir. Yazılım üzerinden tüm onaylar verildikten sonra test menüsü ortaya çıkmaktadır ve hasta için uygulanacak olan test, seçim ekranından seçimler yapılması istenmektedir. Test yöntemlerinden olan Dix-Hallpike testi, optokinetik nistagmus testi veya baş sallama (head shaking) testi uygulanacak olan hastalar için Şekil 3.4'te verilen yazılım algoritması başlatılır. Başlatılan test ENG kaydını çalıştırdıktan sonra testin uygulanması için gerekli süre kadar aktif olacaktır ve sistem üzerinden ENG testinin bittiği sinyali kullanıcıdan istenecektir. Sonuçlar kaydedilip bilgisayar üzerindeki depolama alanında saklanır. Eğer belirtilen test yöntemlerinden değil ise yazılım üzerinden A1 olarak isimlendirilen Şekil 3.4'te gösterilen diğer test yöntemi kontrolü yapılmaktadır. Yapılacak olan test kontrolleri sabit bakış testi (gaze), sinüzoidal hareket (pursuit tracking) testi, sakkadik hareket testi veya baş rotasyon testi kontrolü olmaktadır. Belirtilen testlerden bir tanesi ise "Testi başlat!" komutu ile teste başlanır ve ENG kaydı başlatılmış olur. Teste uygun olan materyaller test gereksinimlerine uygun olarak televizyon veya ekran üzerinde hasta bireye gösterilir ve test bitimine kadar gösterilmeye devam edilir. "Test bitti!" komutu kullanıcı tarafından verildikten sonra diğer test yöntemiyle aynı olacak şekilde vertigo teşhisi yapılır. Sonuçlar kaydedilerek depolama birimlerinde saklanır. Tüm test yöntemlerinden farklı test yöntemi olan bitermal kalorik test yöntemi uygulanacak ise yazılım tarafından A2 ile isimlendirilen test yöntemi aşamasına geçilmiş olur. "Test başlat!" komutu yardımıyla başlatılır ve diğer yöntemler ile aynı olan ENG kaydı başlatılır. Sistem kullanıcıdan bitermal kalorik test düzeneğinin hazırlandığı bilgisini sormaktadır. Test düzeneği

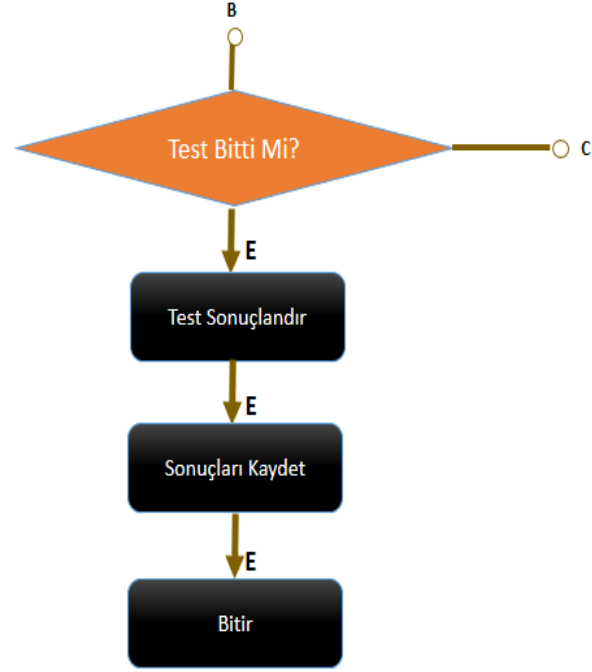
hazırlandı ise diğer aşama olan 30 derece kalorik sıvı iletim aşamasına geçilebilmektedir. Kullanıcı hasta bireyin kulak bölgesine belirlenen oranlar ve basınçlarda 30 derece sıvı sıcaklığında sıvı vermeye başlar. Gereğince uygulanan sıvı sonrasında 30 derece sıvı sıcaklığında uygulanan ENG kaydı sonlandırılır ve kaydedilir. Yeni sıvı sıcaklığına uygun olacak olan ENG kaydı diğer aşamaların tamamlanmasından sonra gerçekleştirilir. ENG kaydı başlatılır ve 44 derece olarak hazırlanan sıvı iletimi başlatılır. Bu süreç kullanıcı tarafından istenilen süreler boyunca gerçekleştirilmektedir ve sonrasında işlem sonlandırılır ve test bitirilir. Bitirilen test sonrasında diğer işlemlerde olan vertigo sınıflandırılması yapıp kayıtları gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.4 Benign paroksizmal pozisyonel vertigoya bağlı nistagmus test ve ölçüm sistemi yazılım mimarisi akış diyagramı.



Şekil 3.4 (Devam) Benign paroksizmal pozisyonel vertigoya bağlı nistagmus test ve ölçüm sistemi yazılım mimarisi akış diyagramı.



Şekil 3.4 (Devam) Benign paroksizmal pozisyonel vertigoya bağlı nistagmus test ve ölçüm sistemi yazılım mimarisi akış diyagramı.

3.2.3 Benign Paroksizmal Pozisyonel Vertigoya Bağlı Nistagmus Test ve Ölçüm Sistemi Mekanik Tasarımı

Gerçekleştirilen test ve ölçüm sisteminin mekanik tasarımı bilgisayar destekli tasarım programı Solidworks ile yapılmıştır ve 3 boyutlu görünüm haline Adobe Illustrator render programıyla dönüştürülmüştür.



Şekil 3.5 Bitermal kalorik test düzeneği.

Şekil 3.5’te gösterilen test düzeneği render alınarak 3 boyutlu hale getirilmiştir. 3 boyutlu hale getirilen sistem hasta bireyin, göz hareketlerinin kaydedildiği ENG sistemi, televizyon veya ekran ve bitermal kalorik test düzeneğinden oluşmaktadır. Şekil 3.5’te gösterilen bitermal kalorik sistem klinik içi gezdirilebilir düzeyde olmasını sağlayan tekerlekler üzerinde konumlandırılmıştır. Oluşturulan düzenek üzerinde yazılım için gerekli bilgisayar ve sıvı iletim araçları bulunmaktadır. Ayrıca sistemin elektronik donanımları devre şemaları ve PCB tasarımları Proteus programı ile gerçekleştirilmiştir. Tasarım şemaları ve PCB’ye ait hazırlanmış olan 3D görüntülere tezin Ek 1 bölümünde yer verilmiştir.

3.2.4 Benign Paroksizmal Pozisyonel Vertigoya Bağlı Nistagmus Test ve Ölçüm Sisteminde Kullanılan Donanım ve Yazılımlar

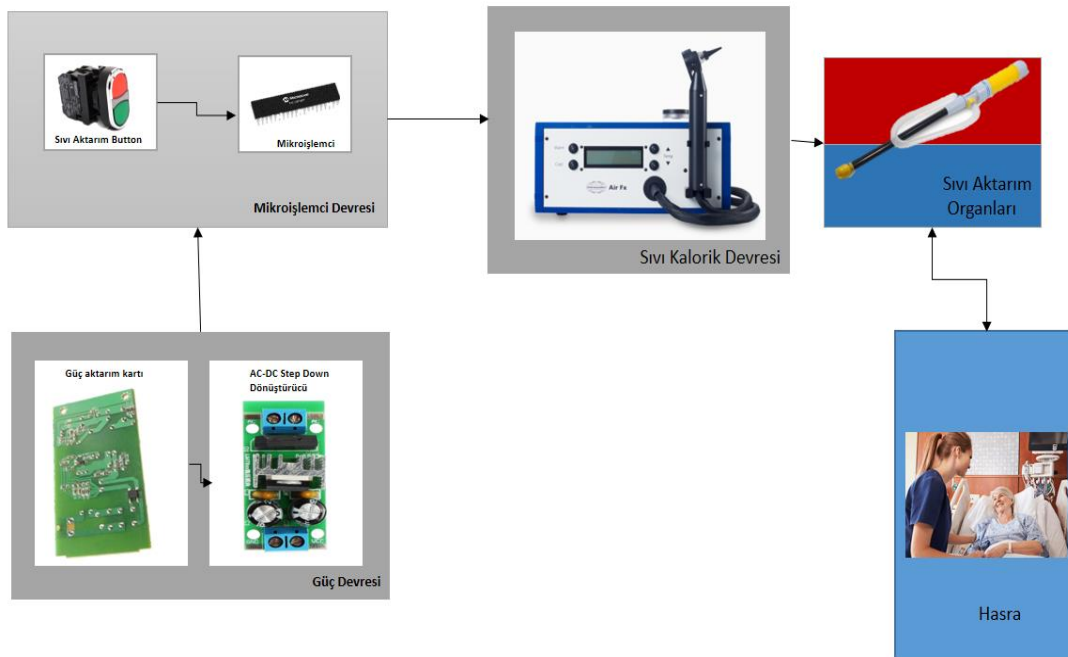
Bu başlık altında BPPV’ ye bağlı nistagmus test ve ölçüm sisteminin geliştirilmesinde kullanılan donanımların teknik özellikleri açıklanmıştır. Tez çalışmasında monitör, mikroişlemci kontrollü sıvı kalorik sistemi, Digilent Waveforms Analog Discovery ve butonlar kullanılmıştır.

Monitör: Monitörler sistem tarafından nistagmus hareketlerinin algılanması için özel olarak hazırlanmış arayüz yazılımlarının gösterilmesi ve test yöntemlerinin hastaya gösterilerek sonucunun kaydedilmesi için kullanılmaktadır. Çalışmada Şekil 3.6’ da görülen monitör kullanılmıştır.



Şekil 3.6: Kullanılan monitör (İnt.Kyn.2).

Mikroişlemci kontrollü sıvı kalorik sistemi: Sıvı kalorik sistemi hasta bireyin kulak bölgesinde ısı farklılıkları yaratarak endolenf akımının değiştirilmesi metoduyla yapılan vestibüler değerlendirme yöntemidir. Sistem tasarımı için sıvı aktarım butonlarından alınan sinyaller aktararak sıvı aktarımının başlatılması ve kontroller için mikrodenetleyiciye ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için Mikrochip firmasının ürettiği pic mikrodenetleyiciler kullanılmıştır. Oluşturulan sistemin blok diyagramı Şekil 3.7’de verilmiştir. Sistemin devre şeması ve 3D baskı devre görüntüsü Ek 1’de verilmiştir.



Şekil 3.7 Sistemde kullanılan mikroişlemci devresinin blok diyagramı.

3.3 Sistem Test Düzenegi

Oluşturulan bitermal kalorik test düzeneğinin sıvı seviyeleri, sıcaklık doğrulukları için test ve kalibrasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Alt başlıklar altında kalibrasyon ve test amaçlı kullanılan donanımlar ve donanımların teknik özellikleri detaylandırılmıştır.

3.3.1 Bitermal Kalorik Test Düzeneğinin Bland Altman Grafikleri Değerlendirilmesi

Bitermal kalorik test düzeneğinde endolenf akımının soğuk olarak oluşturulması amacıyla sıvı sıcaklığının oluşturulan bitermal kalorik test düzeneği ile 30 ve 44 dereceye

sabitlenmesi gerekmektedir. Bitermal kalorik test düzeneğinin belirlenen 30 derece sıcaklık derecesine ulaşmasının kontrolü ve otomatik belirlenen sıcaklık değerinin sabitlenmesi amacıyla Dallas firmasının ds18b20 programlanabilir dijital termometresi kullanılmıştır. Dijital termometre ile ölçülen sıcaklık değerlerinin belirlenen 30 derece sabit sıcaklık değerine ulaşması için gerekli süreler elektronik kronometre ile ölçülmüş ve saniye dönüşümleri yapılmıştır. Aynı ölçümlerin eş zamanlı sıcaklık doğruluk değerleri için Fluke marka 724 model sıcaklık kalibratörü ile sıvı sıcaklıkları kontrol edilmiş ve sıvı sıcaklığının hazır olması için gerekli süre aynı yöntem ile kayıt altına alınmıştır. Kayıt altına alınan sıcaklıkların hazırlanması için gerekli sürelerin rassal olarak dağıldığı görülmektedir. Ulaşılmak istenen sıcaklık değerleri için geçirilen süre verilerinin farklarının ortalamasının sıfır değerinin etrafında yayılım göstermesi gerektiğinden dolayı Bland-Altman metodu kullanılmıştır. Alt limit ve üst limit oluşturulması için Bland – Altman grafiklerinden yararlanılmıştır. Geçen süre değerlerinin alt limit değerleri Denklem 3.1’de ve üst limit değerleri ise Denklem 3.2’de gösterilen eşitlik ile belirlenmiştir.

$$\text{Alt Limit} = (\text{Ortalama}) - (1,96 \times \text{Standart Sapma}) \dots \dots \dots (3.1)$$

$$\text{Üst Limit} = (\text{Ortalama}) + (1,96 \times \text{Standart Sapma}) \dots \dots \dots (3.2)$$

Yukarıda denklemlerde kullanılan parametrelerin tanımları,

Ortalama = Geçen Süre Farklarının Ortalaması

Standart Sapma = Farkların Standart Sapması

Bu sabitleme işlemi sıvının sıcaklığının sürekli olarak kontrol edilmesiyle sağlanmıştır. Ortam şartları 25 derece ortam sıcaklığında ve başlangıç sıvı değerleri 20 derece olarak ayarlanmıştır. Ortam şartlarında 20 derece olan sıvının 30 ve 44 dereceye çıkarılması için gerekli olan süre kronometre ile tekrarlı olacak şekilde ölçülmüştür.

Aynı noktadan alınan sıvı sıcaklığı değerinin sistemin ekranında göstermiş olduğu değere ulaşma süresini ve sıcaklık doğruluğunu ölçmek amacıyla Fluke Marka 724 model sıcaklık kalibratörü kullanılmıştır.

Bitermal Kalorik Test Düzeneği Sıcaklık Ölçüm Cihazı: Sıcaklık cihazları taşınması kolay

aerodinamik yapısı sayesinde oda ve ortam kullanımlarına uygun olarak °C cinsinden ölçüm yapmaktadır. Bu çalışmada mikrodenetleyici kontrollü ile sıvı sıcaklıklarının 30 ve 44 derece olarak hazırlanan çıkış sıcaklıklarının doğruluğunu ölçümlemek için Fluke marka 724 Model sıcaklık kalibratörü kullanılmıştır. Kullanılan Fluke marka 724 model kalibratörün teknik özellikleri Çizelge 3.1’de görülmektedir.

Çizelge 3.1 Fluke 724 Sıcaklık Kalibratörü teknik özellikleri.

| Parametre | Ölçüm Sonucu |
|-------------------|---------------------|
| Sıcaklık | -200 ~ 0 ° C / 0 ~ |
| Ölçüm Hassasiyeti | 0,2 ° C |
| Çalışma Sıcaklığı | -10 ~ 55 ° C |
| Direnç | 0 ~ 55 ° Ω |
| Boyut | 96 x 200 x 47 mm |

3.3.2 BPPV’ye Bağlı Nistagmus Test ve Ölçüm Sisteminin Kutu Grafiği (Boxplot) ile Değerlendirilmesi

BPPV’ye bağlı nistagmus test düzeneği arayüzü içerisinde Dix-Hallpike, sabit bakış (gaze), baş rotasyon (head thrust), optokinetik nistagmus, pursuit tracking, bitermal kalorik, baş sallama (head shaking), sakkadik hareket test modülleri bulunmaktadır. Sistem testleri sistemin geçerlilik ve güvenilirlik kontrolünün sağlanması amacıyla kutu grafiği metodundan yararlanılmıştır. Şekil 3.8’de bulunan kutu grafiği metodu, minimum değer, 1.çeyrek, ortalama, üçüncü çeyrek ve maksimum değer bilgilerini içermektedir.

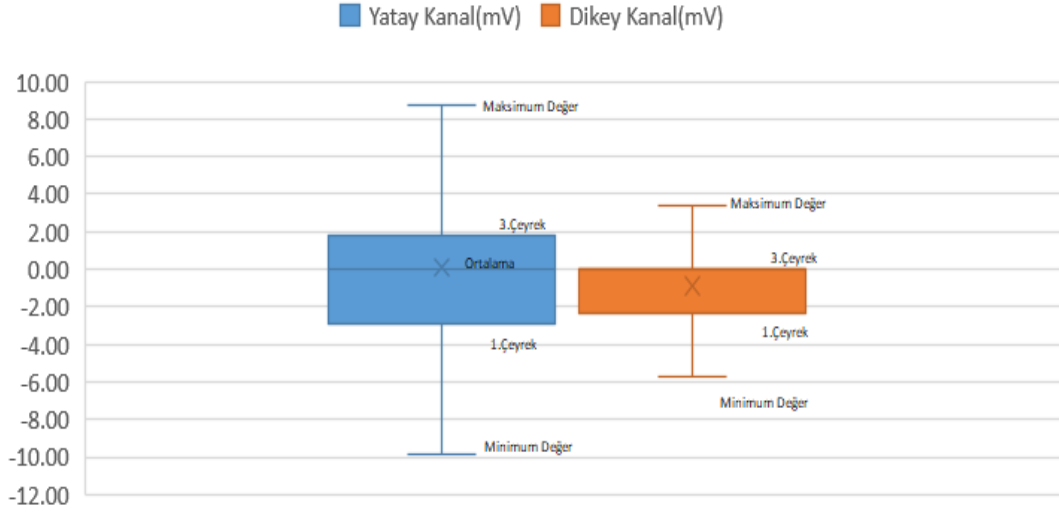
Minimum Değer: Sistem testinde bulunan aykırı değerlerin çıkarılmasından sonra elde edilen ilk değer.

1.Çeyrek: Sistem testinde %25 ‘lik dilimine karşılık gelen kısım.

Ortalama: Sistem testinde orta noktaya karşılık gelen kısım.

3.Çeyrek: Sistem testinde %75 ‘lik dilimine karşılık gelen kısım.

Maksimum Değer: Sistem testinde bulunan aykırı değerlerin çıkarılmasından sonra elde edilen en yüksek değer.



1

Şekil 3.8 Sistem testinde kullanılan kutu grafikleri.

Testler 5 adet sağlıklı bireyde 10 tekrarlı sonuçlardan oluşacak şekilde elde edilmiş ve kutu grafiği yöntemi ile sistem güvenilirliği kontrol edilmiştir.

4. BULGULAR

Şekil 4.1’de gerçekleştirilen sistem tasarımının yapısal görünüşü gösterilmektedir. Geliştirilen sistem Benign paroksizmal pozisyonel vertigoya bağlı nistagmus test ve ölçüm sisteminin geliştirilmesi ve sınıflandırması için düşük maliyetli tanı, teşhis ve yorumlamalı tedavi yardımcısı sistemine dönüştürülmüştür. Visual C# platformu kullanılarak oluşturulan arayüz yazılımı ile benign paroksizmal pozisyonel vertigo testleri ve nistagmus hareketlerinin tespiti gerçekleştirilmiştir. Kurulan kablolu bağlantı sonrasında test yapılacak bireyin göz pupil noktaları tespit edilir. Elde edilen pupil noktasına göre testler için uygun modlar seçilir. Ayrıca nistagmus hareketlerinin tespiti amacıyla sabit bakış testi (gaze), sinüzoidal hareket (pursuit tracking), sakkadik hareket, optokinetik nistagmus, pasif baş rotasyonu, baş çevirme (head thrust), baş sallama testi, dinamik pozisyonel test (Dix-Hallpike), statik pozisyonel testler ve bitermal kalorik testler tasarlanarak sisteme eklenmiştir.

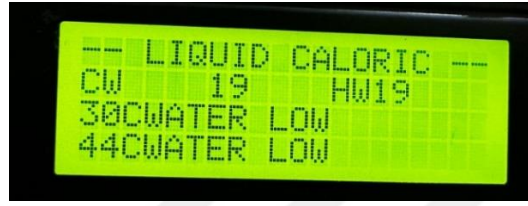


Şekil 4.1 Bitermal kalorik test düzeneği.

4.1 Bitermal Kalorik Test Düzeneği

Şekil 4.2’de gerçekleştirilen bitermal kalorik test düzeneğinin ekran görüntüsü görülmektedir. Dış kulak yolundaki soğuma ve ısıtmadan dolayı yarım daire kanallarındaki endolenf ısısının değiştirilerek endolenf akımının oluşturulmasına dayalı bir testtir. Geliştirilen test düzeneği Mikro C Pro for PIC yazılımı kullanılarak 30 derece ve 44 derece sıvı sıcaklığına sahip olacak bitermal özellikte olması sağlanmıştır.

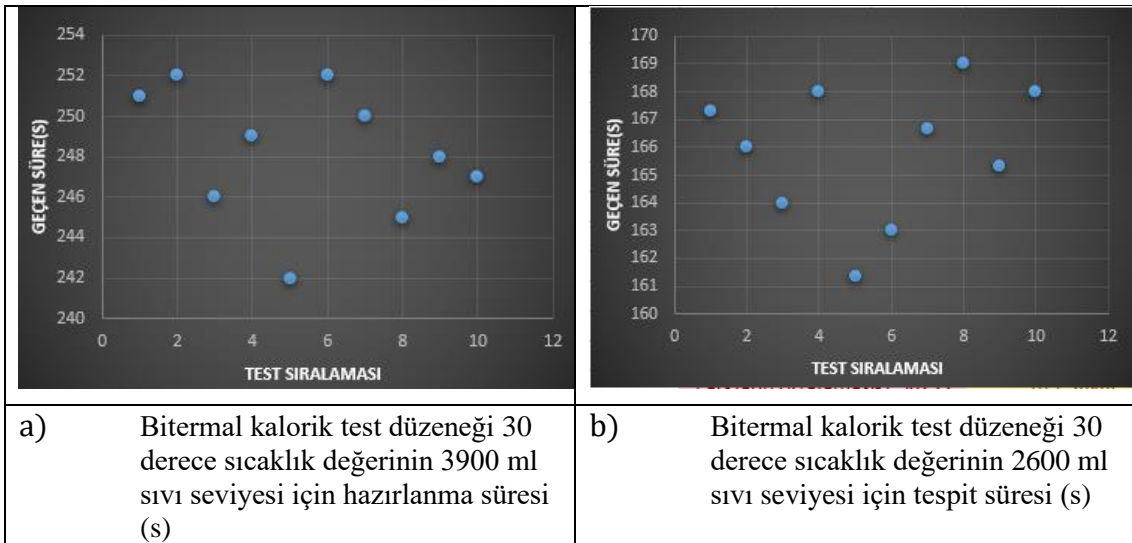
Konumlandırılan 4*20 ekran üzerinde sıvı kalorik testler (30 ve 44 derece) için hazırlanan sıvı sıcaklıkları, minimum ve maksimum sıvı seviyeleri hakkında bilgilendirmeler mevcuttur. 44 ve 30 derecelik sıvı sıcaklıklarının hazırlanması için her sıvı haznesi içerisinde minimum 2600 ml sıvı olması gerekmektedir. Minimum sıvı seviyesinin üzerine çıkılması durumunda sistem sıvı sıcaklık değerini otomatik olarak hazırlayacaktır. Maksimum sıvı seviyesi ise 3900 ml olarak belirlenmiş ve sıvı seviyesi bildirimleri ekran üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 4.2 Bitermal kalorik test düzeneği ekran görüntüsü.

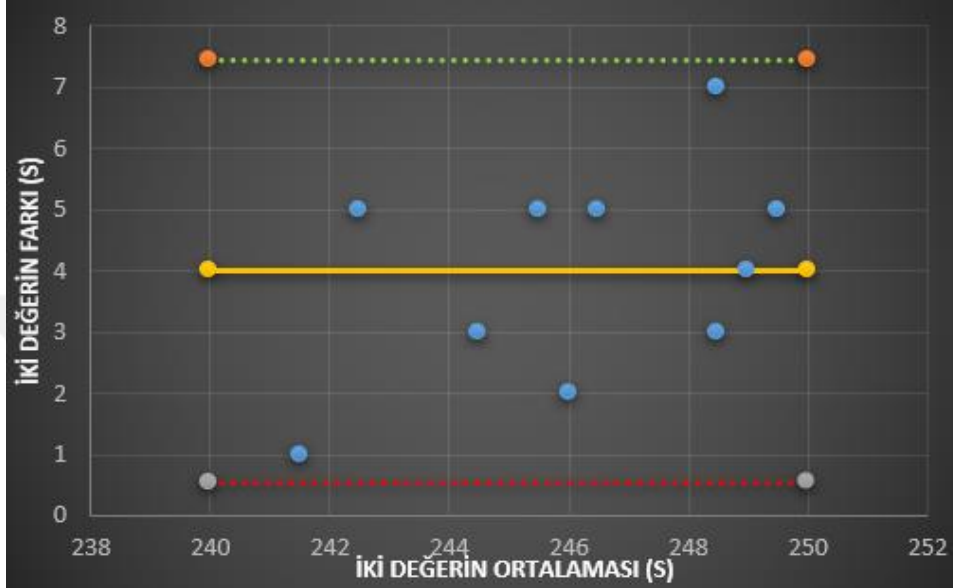
4.1.1 Bitermal Kalorik Test Düzeneğinin Bland Altman Grafikleri Değerlendirilmesi

Şekil 4.3'te Bland Altman metodu ile grafikleştirilen sistemin 3900 ml sıvı seviyesi için 30 dereceye ulaşması için gerekli sürenin standart sapma payının $\bar{\pm} 1,8$ s olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca minimum sıvı seviyesi 2600 ml için standart sapma payının $\bar{\pm} 2,8$ s olduğu tespit edilmiştir. Sıvı seviyesinin azalmasının standart sapmayı arttırdığı ortaya çıkmıştır.

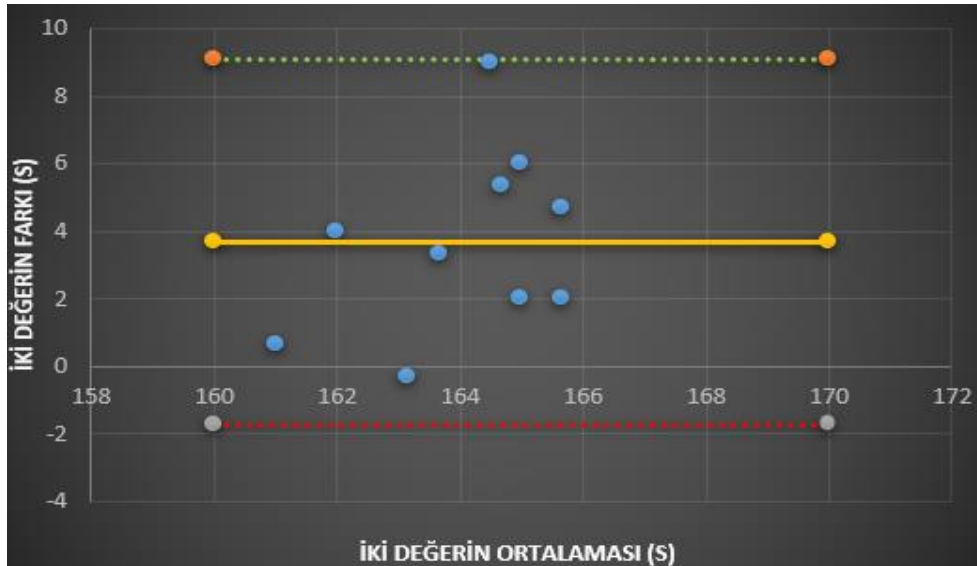


Şekil 4.3 Bitermal kalorik test düzeneği 30 derece sıvı sıcaklık değerine ulaşma süreleri.

Şekil 4.4 ve Çizelge 4.1 ile Şekil 4.5 Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi bitermal kalorik test düzeneği Bland Altman Grafiğindeki geçen süre değerlerinin farkları ve ortalamaları uyum sınırlarının içerisinde yer almaktadır. Alınan bu sonuçlar doğrultusunda geçen süre değerlerinin farkları ve ortalamaları arasında ilişki olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 4.4 Bitermal kalorik test düzeneği 30 derece sıcaklık değerinin 3900 ml sıvı seviyesi için otomatik olarak hazırlanma süresinin Fluke Marka 724 model sıcaklık kalibratörü ile karşılaştırılmalı Bland Altman Grafikleri



Şekil 4.5 Bitermal kalorik test düzeneği 30 derece sıcaklık değerinin 2600ml sıvı seviyesi için otomatik olarak hazırlanma süresinin Fluke Marka 724 model sıcaklık kalibratörü ile karşılaştırılmalı Bland Altman Grafikleri.

Çizelge 4.1 Bland Altman yöntemi uygulanan bitermal kalorik test düzeneği 30 derece sıcaklık değerinin 3900 ml sıvı seviyesi otomatik olarak hazırlanması için geçen süre(s) ilişkili sonuçlar.

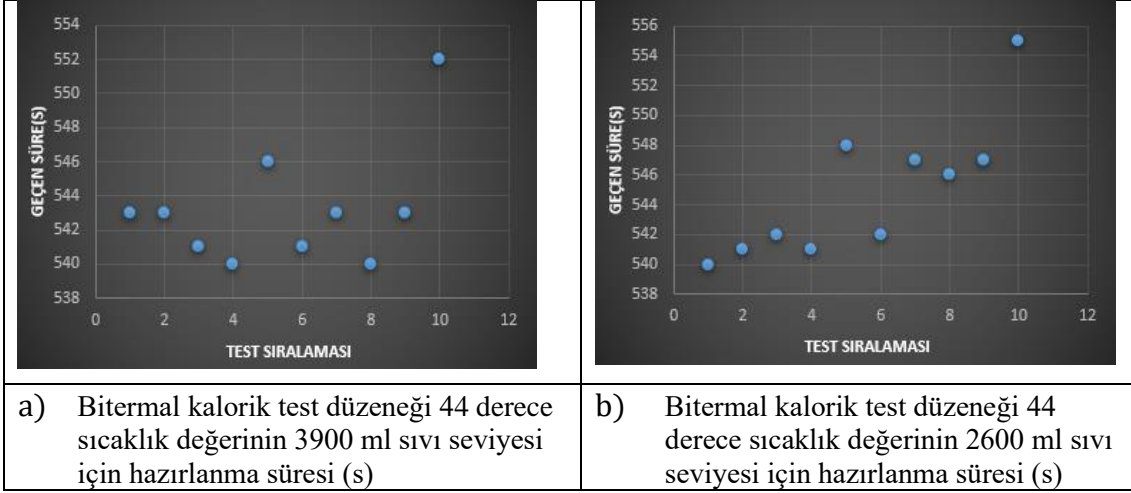
| Geçen Süre | Farklar (s) |
|---------------------------|--------------------|
| Ortalama $\bar{x} \pm SS$ | 4,00 \bar{x} 1,8 |
| Alt Limit | 0,54 |
| Üst Limit | 7,46 |

Çizelge 4.2 Bland Altman yöntemi uygulanan bitermal kalorik test düzeneği 30 derece sıcaklık değerinin 2600 ml sıvı seviyesi otomatik olarak hazırlanması için geçen süre(s) ilişkili sonuçlar

| Geçen Süre | Farklar (s) |
|---------------------------|--------------------|
| Ortalama $\bar{x} \pm SS$ | 3,67 \bar{x} 2,8 |
| Alt Limit | -1,74 |
| Üst Limit | 9,07 |

Bitermal kalorik test düzeneği 30 derece sıcaklık değerinin 3900 ml sıvı seviyesi otomatik olarak hazırlanması için geçen süre değerleri ile diğer test aracı ile arasındaki değerler karşılaştırıldığında farkların ortalaması 4,00 s standart sapma değeri ise 1,8 s 'dir. En düşük sıvı seviyesi için değerler diğer test aracı ile karşılaştırıldığında farkların ortalaması 3,67 s, standart sapma değeri ise -1,74 s olarak test sonuçlarından oluşturulmuştur.

Şekil 4.6'da hazırlanmış olan bitermal kalorik test düzeneğinin belirlenen 44 derece sıcaklık derecesine ulaşmasının kontrolü ve otomatik belirlenen sıcaklık değerinin sabitlenmesi için gerekli sürelerin grafiksel gösterimi yapılmıştır. Yöntem olarak otuz derece sıcaklık değerinin oluşum süresi için gerekli olan aynı ortam şartları ve test aletleri kullanılmıştır. Kırk dört derece sıvı sıcaklığına ulaşması için gerekli süreler incelendiğinde çalışmanın otuz derece sıcaklık değerinde olduğu gibi rassal olarak dağıldığı tespit edilmiştir. Bland Altman metodu ile grafikleştirilen sistemin 3900 ml sıvı seviyesinin kırk dört derece sıvı sıcaklığına ulaşması için gerekli süre standart sapma payının $\bar{x} \pm 2,75$ s olduğu tespit edilmiştir. Hazırlanmış olan test düzeneğinin minimum seviyesinin (2600 ml) kırk dört derece sıvı seviyesine ulaşması için gerekli süre standart sapması $\bar{x} \pm 3,09$ olarak tespit edilmiştir.

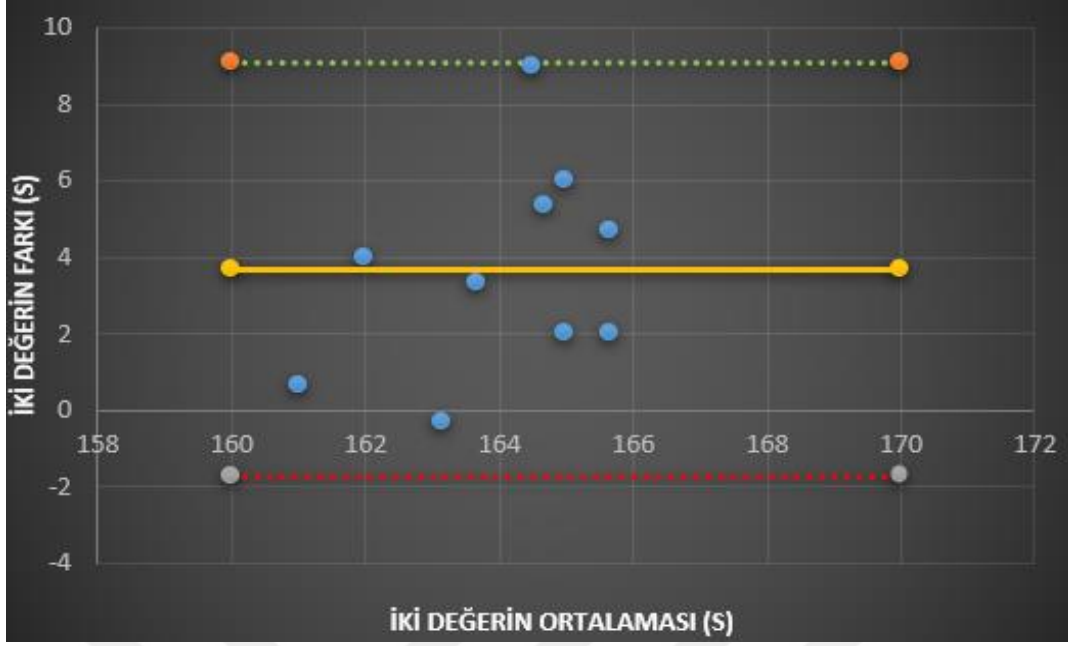


Şekil 4.6 Bitermal kalorik test düzeneği 44 derece sıvı sıcaklık değerine ulaşma süreleri.

Şekil 4.7 ve Çizelge 4.3 ile Şekil 4.8 ve Çizelge.4.4'te kırk dört derece sıvı seviyesi için hazırlanmış olan Bland- Altman grafiğindeki geçen süre değerlerinin farkları ve ortalamaları sınır değerlerinin içerisinde konumlanmıştır. Sınır değerleri arasında bulunan sonuç değerleri için geçen süre değerlerinin farklar ve ortalamaları arasında ilişki olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 4.7 Bitermal kalorik test düzeneği 44 derece sıcaklık değerinin 3900 ml sıvı seviyesi için otomatik olarak hazırlanma süresinin Fluke Marka 724 model sıcaklık kalibratörü ile karşılaştırılmalı Bland Altman Grafikleri.



Şekil 4.8 Bitermal kalorik test düzeneği 44 derece sıcaklık değerinin 2600 ml sıvı seviyesi için otomatik olarak hazırlanma süresinin Fluke Marka 724 model sıcaklık kalibratörü ile karşılaştırılmalı Bland Altman Grafikleri.

Çizelge 4.3 Bland Altman yöntemi uygulanan bitermal kalorik test düzeneği 44 derece sıcaklık değerinin 3900 ml sıvı seviyesi otomatik olarak hazırlanması için geçen süre(s) ilişkili sonuçlar.

| Geçen Süre | Farklar (s) |
|---------------------------|------------------|
| Ortalama $\bar{x} \pm SS$ | -1,70 \pm 2,75 |
| Alt Limit | -7,09 |
| Üst Limit | 3,69 |

Çizelge 4.4 Bland Altman yöntemi uygulanan bitermal kalorik test düzeneği 44 derece sıcaklık değerinin 2600 ml sıvı seviyesi otomatik olarak hazırlanması için geçen süre(s) ilişkili sonuçlar.

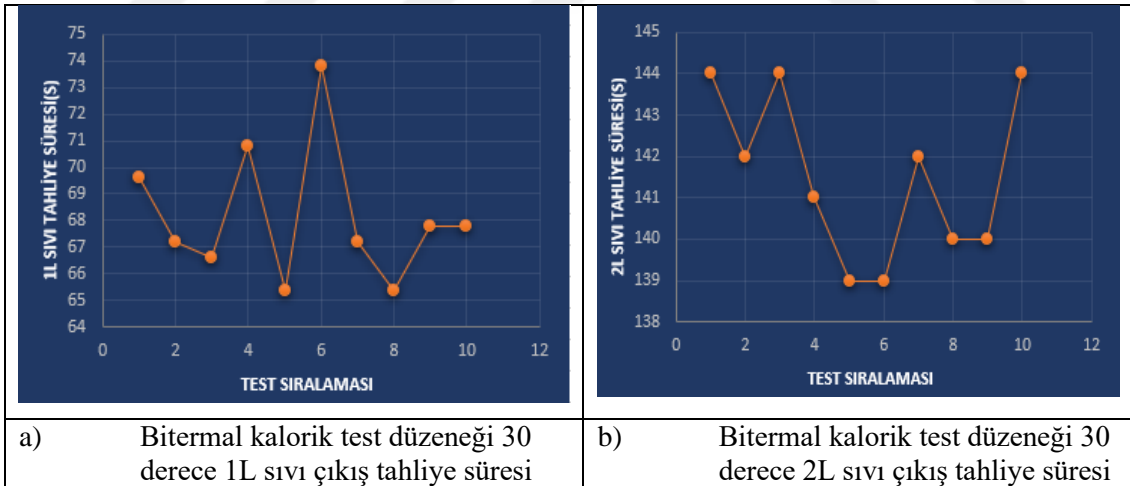
| Geçen Süre | Farklar (s) |
|---------------------------|------------------|
| Ortalama $\bar{x} \pm SS$ | -0,70 \pm 3,09 |
| Alt Limit | -6,76 |
| Üst Limit | 5,36 |

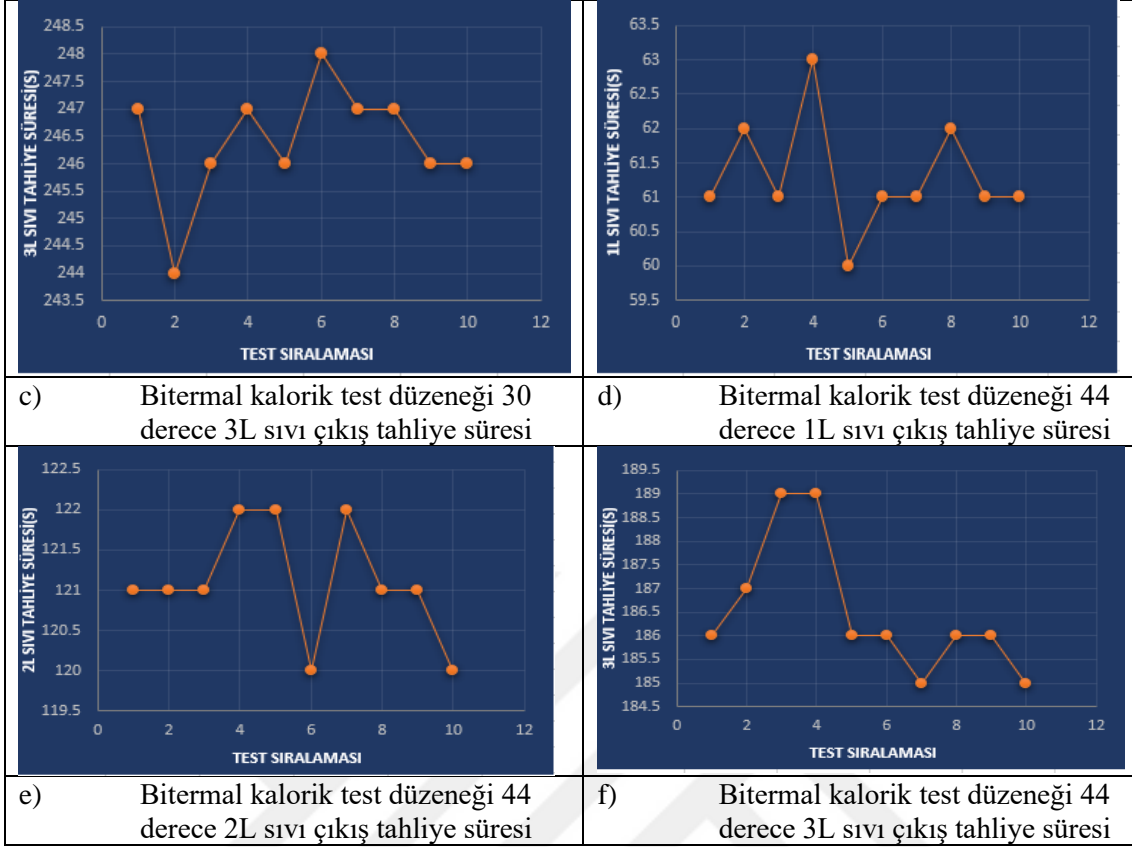
Bitermal kalorik test düzeneği kırk dört derece sıcaklık değerinin otomatik olarak hazırlanması için geçen süre değerleri ile diğer test aracı olan Fluke marka 724 model ile arasındaki değerler karşılaştırıldığında farkların ortalaması -1,70 standart sapma değeri ise $\pm 2,75$ 'dir. Değerler Çizelge 4.3'te gösterilmiştir. Limit değerlerin belirlenmesinde

Bland-Altman metodundan yararlanılmıştır. En düşük sıvı seviyesi için değerler diğer test aracı ile karşılaştırıldığında farkların ortalaması -0,70, standart sapma değeri ise 3,09 olarak test sonuçlarından oluşturulmuştur. Geçen süre değerlerinin alt limit değerleri Denklem 3.1’de ve üst limit değerleri ise Denklem 3.2’de gösterilen eşitlik ile belirlenmiştir.

4.2 Bitermal Kalorik Test Düzenegi Sıvı Aktarım Süreleri

Bitermal kalorik test düzenegi sıvı aktarım süreleri için sistemin çıkış hızları tespit edilmiş olup 30 ve 44 derece sıvı sıcaklıklarında aktarım süreleri Şekil 4.9’da gösterilmiştir. Yapılan testler sonucunda sıvı sürelerinin belirlenen en yüksek sıvı seviyesinden başlayarak 44 ve 30 sıvı derecesi hazır olmasını takip eden süreçte bir litre, iki litre ve üç litre tahliye süreleri ölçülmüştür. Ölçülen tekrarlı tahliye süreleri matematiksel işleme tabi tutularak akış hızı tespit edilmiştir. Tespit edilen sıvı tahliye hızları otuz derece kalorik test düzenegi için $13,66 \text{ cm}^3/\text{s}$ ($13,66 \text{ ml/s}$) $\pm 1,14 \text{ cm}^3/\text{s}$ ($1,14 \text{ ml/s}$). Kırk dört derece kalorik test düzenegi için sıvı tahliye hızları ise $16,30 \text{ cm}^3/\text{s}$ ($16,30 \text{ ml/s}$) $\pm 0,23 \text{ cm}^3/\text{s}$ ($0,23 \text{ ml/s}$) yapılan tekrarlı sonuçlar sonrasında tespit edilmiştir.





Şekil 4.9 Bitermal kalorik test düzeneği sıvı çıkış tahliye süreleri.

4.2.1 Benign Paroksizmal Pozisyonel Vertigoya Bağlı Nistagmus Test Düzeneği

Microsoft Visual C# ortamında hazırlanan benign paroksizmal pozisyonel vertigoya bağlı nistagmus test düzeneği (Şekil 4.10) arayüzünde Digilent Waveforms Analog Discovery bağlantı kontrol butonları, Dix-Hallpike test, sabit bakış test, baş rotasyon (head thrust test), optokinetik nistagmus test, sinüzoidal (pursuit tracking) test, bitermal kalorik test, baş sallama (head shaking) test, sakkadik hareket test modülleri seçimi yapılabilmektedir.

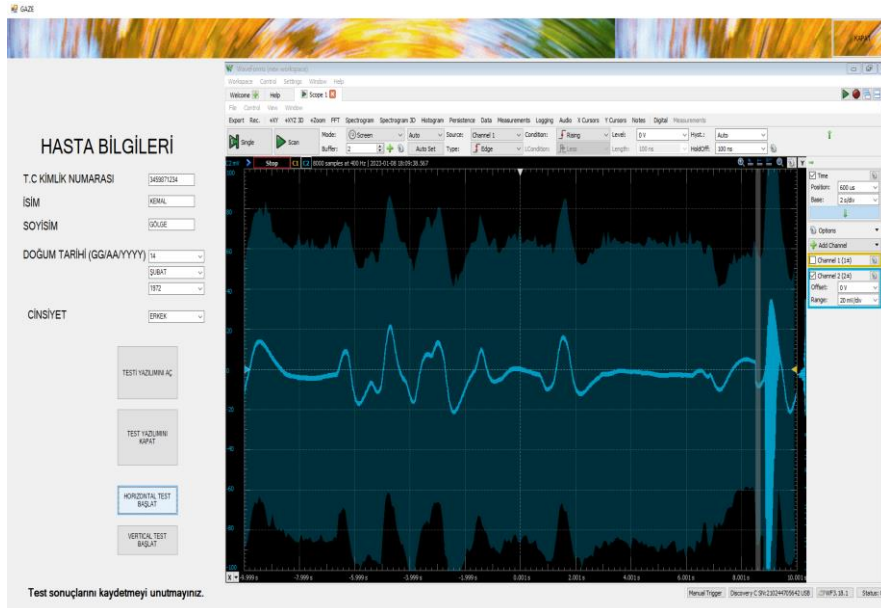
İstenilen test metodu seçilmesi durumunda test metoduna uygun olarak oluşturulmuş arayüz modülü yapılacak olan test sistemine uygun olarak 1. monitör ve 2. monitöre aktarılmaktadır. Aktarılan 1. monitör görüntüsünde konumlandırılmış modüller Şekil 4.11’de gösterilen hasta birey kayıt ekranı ve test yazılımı olarak kullanılan Digilent Waveforms Analog Discovery kullanılarak oluşturulan test yazılımının başlatılması gerçekleştirilmektedir. 2. monitörde ise test düzeneğinde bulunan hasta bireyin test düzeneğine uygun olarak takip etmesi gereken nesnelere veya ışıklandırmanın

bulunduğu paneller ve yönlendirmeler mevcuttur.



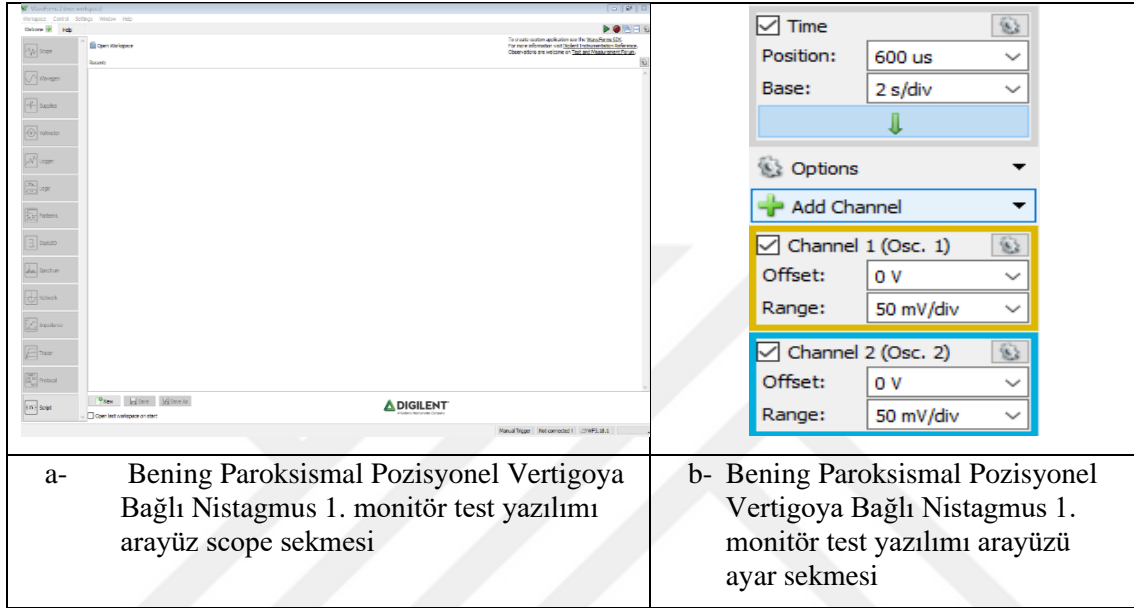
Şekil 4.10 Benign paroksizmal pozisyonel vertigoya bağlı nistagmus test düzeneği sistem arayüzü.

Şekil 4.10'de konumlandırılmış BPPV'ye bağlı nistagmus test düzeneği arayüzü içerisinde Dix-Hallpike, sabit bakış (gaze), baş rotasyon (head thrust), optokinetik nistagmus, pursuit tracking, bitermal kalorik, baş sallama (head shaking), sakkadik hareket test modülleri bulunmaktadır. Test modülleri içerisinde tedaviye uygun olarak hasta bilgileri ve test yazılım modülleri Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



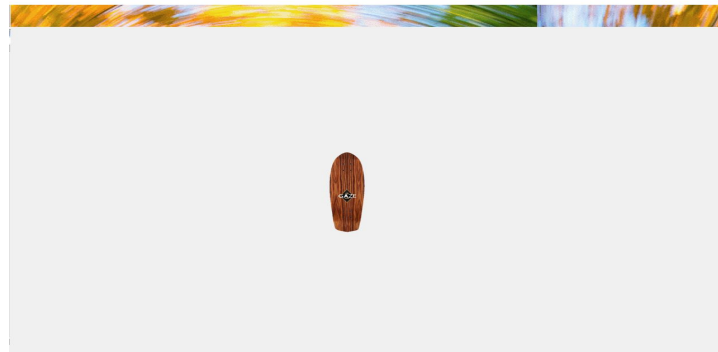
Şekil 4.11 Bening paroksizmal pozisyonel vertigoya bağlı nistagmus 1. monitör test düzeneği arayüzü.

1.ekran arayüz modülü içerisinde hasta bilgileri kayıt ekranı, test yazılımının açılması ve kapatılması ve testlere uygun başlangıç modülleri konumlandırılmıştır. Test yazılımını aç butonu kullanılarak açılan yazılım içerisinde bulunan Şekil 4.12 a’da gösterilen scope butonuna tıklanmalıdır. Açılan yeni sekme üzerinde Şekil 4.12 b’de bulunduğu şekilde test yazılımı time ve channel 2 offset ve range değerleri ayarlanmalıdır.



Şekil 4.12 Benign paroksizmal pozisyonel vertigoya bağlı nistagmus 1. monitör test yazılımı arayüzü.

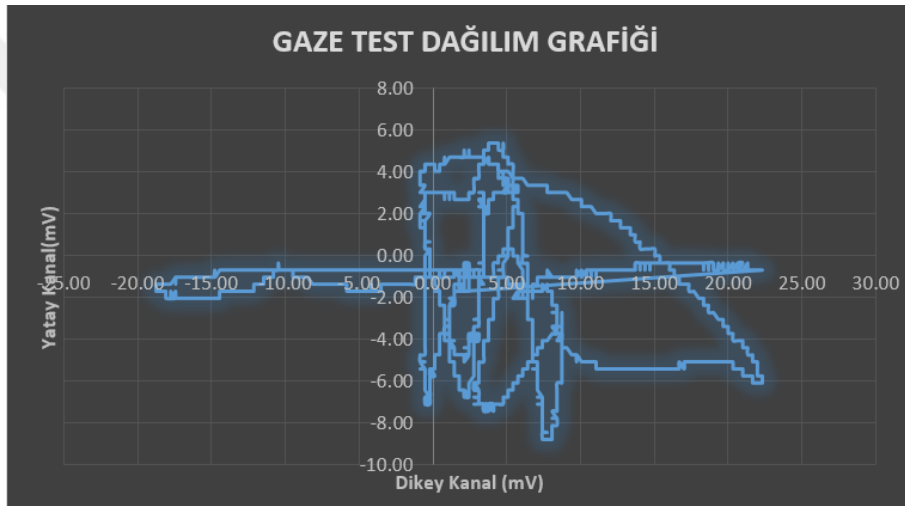
Şekil 4.13’te BPPV’ye bağlı nistagmus 2. monitör test düzeneği arayüzü şekli gösterilmiştir. Dix-Hallpike, sabit bakış (gaze), baş rotasyon (head thrust), opto-kinetik nistagmus, pursuit tracking, bitermal kalorik, baş sallama (head shaking), sakkadik hareket test modülleri oluşturulmuş ve her modül içerisinde uygun tedavi yöntemleri hazırlanmıştır.



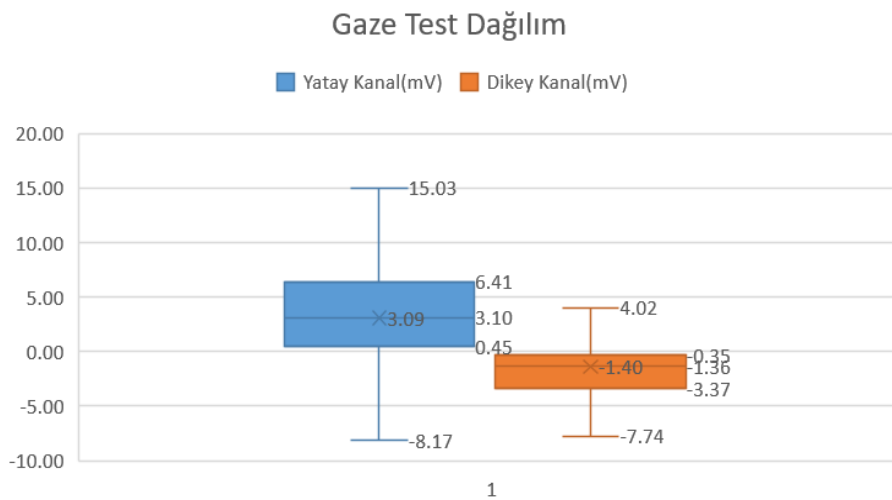
Şekil 4.13 Benign paroksizmal pozisyonel vertigoya bağlı nistagmus 2. monitör test düzeneği arayüzü.

4.3 Sistemin Geçerlilik ve Güvenilirlik Analizi

Gerçekleştirilen sistemin geçerlilik ve güvenilirliği laboratuvar ortamında yapılan sağlıklı bireylerden elde edilen verilerin tekrarlı olarak ölçülmesi ile araştırılmıştır. Bunun için sabit bakış (gaze test), sinüzoidal hareket (pursuit tracking), sakkadik hareket, optokinetik nistagmus, pasif baş rotasyonu, baş çevirme (head thrust), baş sallama, dinamik pozisyonel (Dix-Hallpike), statik pozisyonel ve bitermal kalorik test yöntemleri sağlıklı bireylere uygulanmış olup kayıt altına alınmıştır. Şekil 4.14'te sağlıklı bireyden alınmış olan gaze test verileri dağılım grafiği bulunmaktadır.



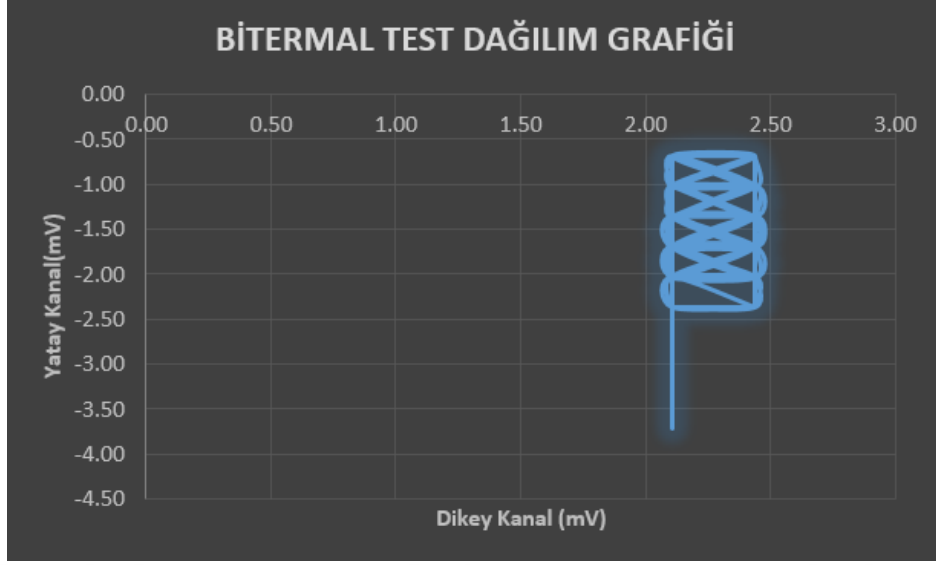
Şekil 4.14 Sağlıklı birey gaze test verileri dağılım grafiği



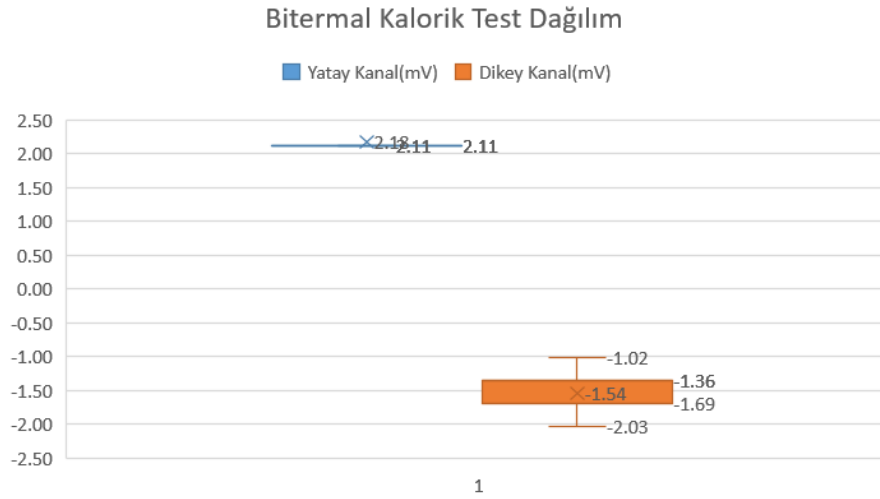
Şekil 4.15 Sağlıklı birey gaze test verileri dağılım kutu grafiği

Şekil 4.14'te elde edilen yatay ve dikey kanal verileri gaze nistagmus testi sonrasında elde edilmiştir. Şekil 4.14'te yatay ve dikey kanallardaki salınım verileri verileridir. Elde edilen veriler Şekil 4.15'te bulunan gaze test dağılım kutu grafiğinde verilmiştir. Sağlıklı birey yatay kanal değeri min -8.17, 1.çeyrek değeri 0.45, ortalama 3.09, max 15.03'mV'tur. Dikey kanal için ise min değer -7.74, ilk çeyrek -3.37, ortalama -1.40, 3.çeyrek -0.35 ve 4.02 mV'tur. Veriler incelendiğinde yatay kanal üzerinde dikey kanal verilerine göre daha geniş aralıkta test verileri elde edilmiştir. Bu verilerden yola çıkarak testin bireyler üzerindeki etkisi ve sistemin geçerliliği kontrol edilmiştir. Ek 6'da verilen aynı sağlıklı birey için 10 tekrardan oluşan gaze nistagmus test ortalama kutu grafiği sonuçları min -10.32, ilk çeyrek -0.04, ortalama 3.60, 3.çeyrek 6.94 ve max değer 17.18'mV'tur. Ayrıca 5 farklı sağlıklı bireylere uygulanan test verileri Ek 7'de verilmiştir.

Şekil 4.16'da elde edilen yatay ve dikey kanal verileri bitermal kalorik testi sonrasında elde edilmiştir. Şekil 4.16 sağlıklı bireyden elde edilen dikey kanal ve yatay kanaldaki salınımlarını göstermektedir. Salınımların kutu grafiğinde gösterilmesi Şekil 4.17'de gösterildiği gibi yatay kanalda sabit değişmeyen bir veri elde edilmiştir. Elde edilen yatay kanal verisi kutu grafiğinde eşit değerler almıştır. Eşit alınan değerler sağlıklı bireylere uygulanan bitermal testin sonuç oluşturmayacağı fakat hasta bireylerde ise salınımların şiddet ve sıklığının değişebileceğini göstermektedir. Dikey kanal verileri testin yönteminden kaynaklı ve duruş farklılıklarından dolayı min -2.03, 1.çeyrek -1.69, ortalama -1.54, üçüncü çeyrek -1.36 ve max -1.02 mV olarak oluşmaktadır. Bu nedenle sistemin tekrarlı sonuçlarındaki verileri Ek 8'de verilmiştir. Testler 5 sağlıklı bireye uygulanmış ve Ek 9'da verilmiştir.



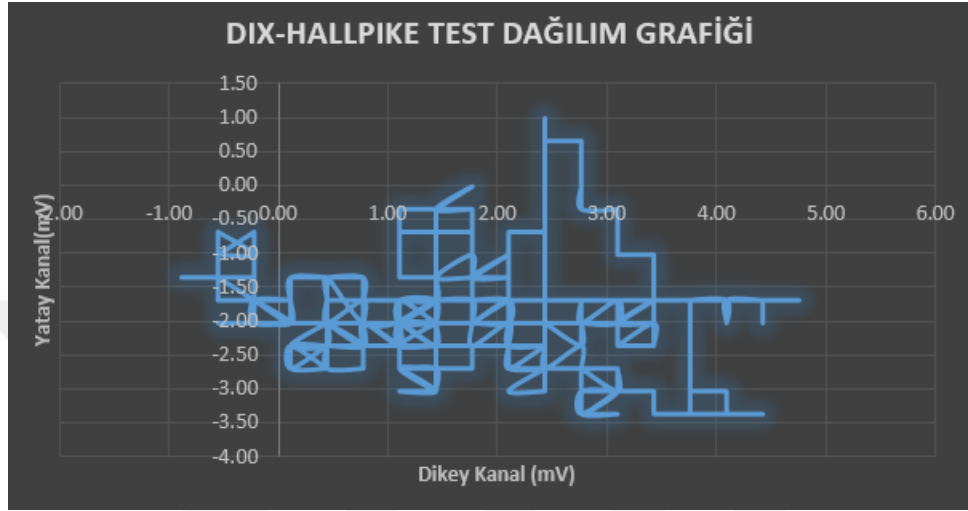
Şekil 4.16 Sağlıklı birey bitermal kalorik test verileri dağılım grafiği



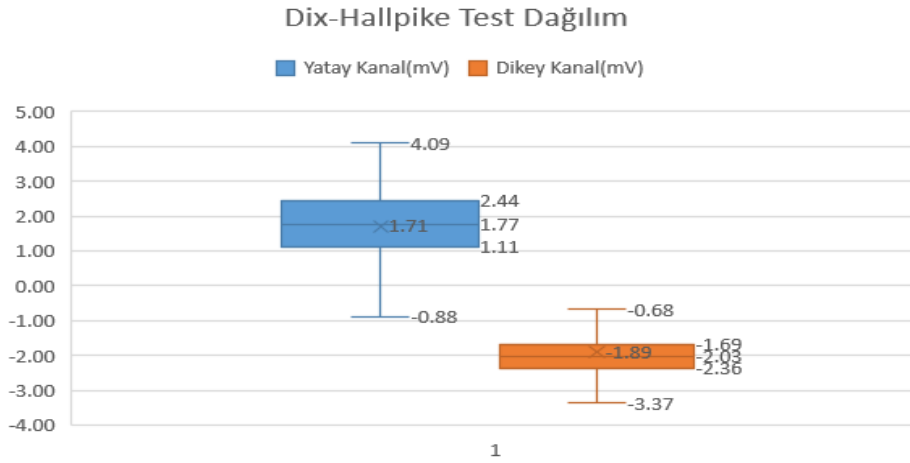
Şekil 4.17 Sağlıklı birey bitermal kalorik test verileri kutu grafiği

Şekil 4.18’de sağlıklı bireye uygulanan dix-hallpike test ile sağlıklı bireyin salınımları kontrol edilmiştir. Şekil 4.19’da bulunan kutu grafiğinde yatay kanal min -0.88,1.çeyrek 1.11, ortalama 1.71, 3.çeyrek 2.44, max 4.09 mV ve dikey kanal min -3.37, 1.çeyrek -2.36, ortalama -1.89,3.çeyrek -1.69, max -0.68 mV olarak tekrarlı testler sonucunda oluşmaktadır. Sağlıklı bireylerde uygulanan testin ortalama değer etrafında yayılımı görülmektedir. Test koşulları uygun olarak hazırlanan sağlıklı bireylerde yayılımın ortalama değer etrafında bulunduğu gözlenmiştir. Yapılan gözlemlerde bireyin konumlandırıldığı pozisyondan kaynaklı istemsiz göz hareketleri yaptığı fakat bu

hareketlerin belirli periyodik tekrarlar gerçekleşmediğinden nistagmus olmadığı tespit edilmiştir.5 sağlıklı bireyden alınan 10 tekrarlı sonuçların dağılım test verileri Ek 11’de verilmiştir. BPPV’ye sahip olan hasta bireylerde gerçekleştirilen test sonucunda Ek 10’da görüldüğü gibi periyodik hareketler oluşmaktadır.



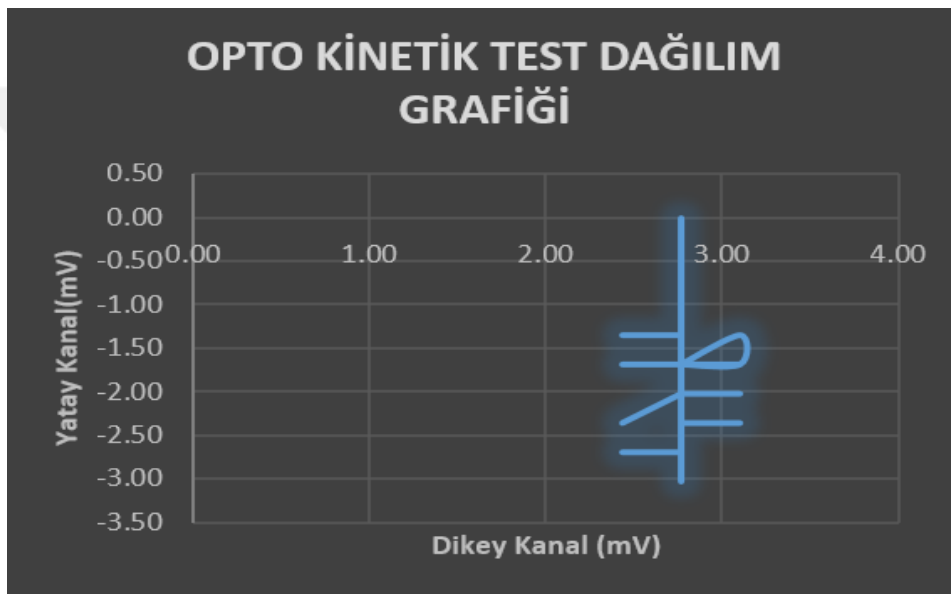
Şekil 4.18 Sağlıklı birey Dix Hallpike test verileri dağılım grafiği



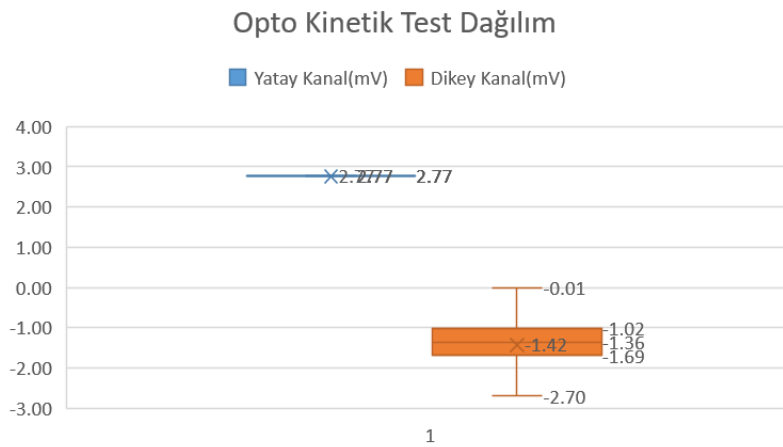
Şekil 4.19 Sağlıklı birey Dix-Hallpike test verileri dağılım kutu grafiği

Sağlıklı bireyden elde edilmiş tekrar eden nesnelere takip eden bireyin opto kinetik test dağılım grafiği Şekil 4.20’de verilmiştir. Sağlıklı bireylerde takip edilen nesnelere yatay kanal üzerinde sabit bir bakış verisi elde edilmiştir. Elde edilen Şekil 4.21’de bulunan bakış verisi dikey kanal üzerinde ortalama değerlerin etrafında istemsiz pupil hareketlerinden kaynaklandığı gözlenmiştir. Bu veriler yatay kanalda min, 1.çeyrek,

ortalama, 3.çeyrek ve max değerleri için 2.77 mV olarak dikey kanalda ise min -2.70, 1.çeyrek -1.69, ortalama -1.42, 3.çeyrek -1.02 ve max değerleri -0.01 olarak elde edilmiştir. Yapılan tekrarlı sonuçlarda grafiklerin yatay kanallarda sabit fakat dikey kanallarda ortalama değere yakın konumlandığı gözlenmiştir. Gözlenen test verileri Ek 14'te ve 5 sağlıklı bireylerden 10 tekrar sonucunda elde edilen veriler Ek 15'te verilmiştir. Bu nedenle verilerin belirli süreler boyunca sabit veya sabit değere yakın bulunması yapılacak olan nistagmus bulgusu bulunan BPPV'ye sahip bireylerde periyodikliğin ölçülmesinde uygun olacaktır.

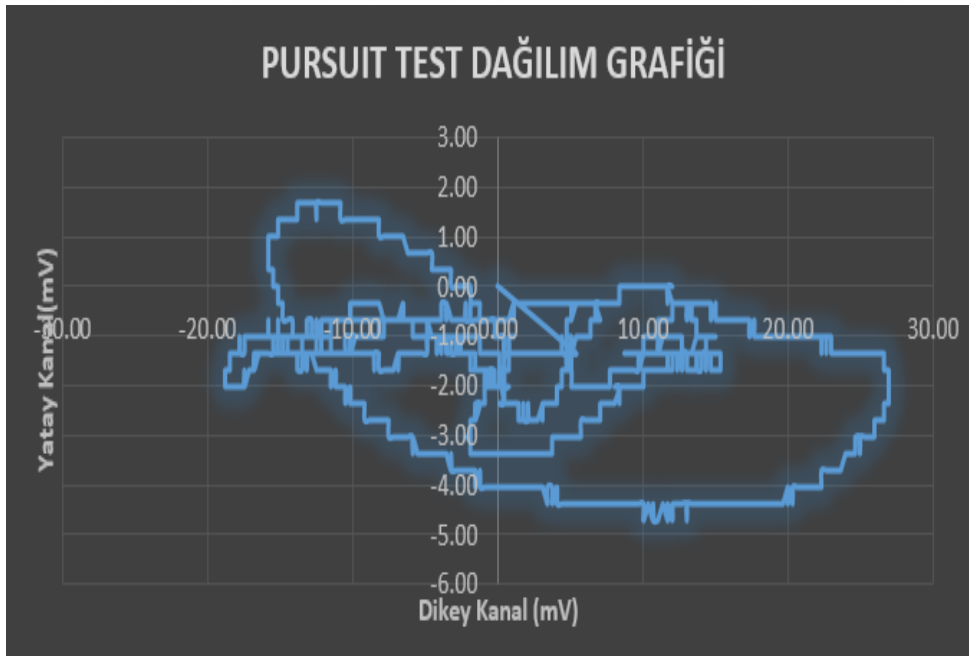


Şekil 4.20 Sağlıklı birey Opto Kinetik test verileri dağılım grafiği

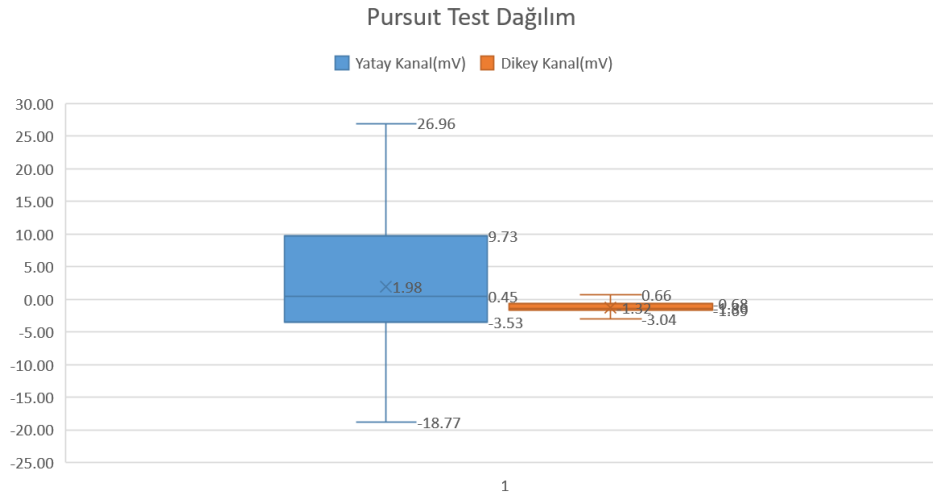


Şekil 4.21 Sağlıklı birey opto kinetik test verileri dağılım kutu grafiği

Sağlıklı birey üzerinde gerçekleştirilen yatay kanal üzerinde gerçekleştirilen pursuit test dağılım grafiği Şekil 4.22’de gösterilmiştir. Gösterilen dağılım grafiğinde sağlıklı bireyin pupil hareketlerinin yatay kanal üzerinde gerçekleştirdiği ve hareketler esnasında tekrarlı testler sonucunda pupil hareketlerinin istemsizce ortalama değere yakın dikey kanal verileri oluşturduğu Ek 12’de ve ayrıca sağlıklı bireylerdeki tekrarlı sonuç verileri Ek 13’te tespit edilmiştir. Oluşturulan verilerin sağlıklı bireyin göz hareketlerinin incelenmesi sonucunda nesne takibinin gerçekleştirilmesi için dikey kanal üzerinde salınımlar gerçekleştirmiştir. Tespit edilen salınımlar bireyin göz kırpması ve pupil açısının değişmesinden kaynaklanmaktadır. Dikey kanal salınımları Şekil 4.23’te bulunan min -3.04’ten başlayarak max 0.66 aralığında gerçekleşmiş ve ortalama 1.32 mV olarak gözlenmiştir. Yatay kanal değerleri min -18.77, 1.çeyrek -3.53, ortalama 1.98, 3.çeyrek 9.73, max 26.96 mV olarak dağılım gösterdiği Şekil 4.23’te bulunan kutu grafiğinde gösterilmiştir. Elde edilen veriler sonucunda BPPV’ye sahip birey olması durumunda yatay kanal aralığı yayılımı daha fazla olacağı, dikey kanal değerlerinde sapmaların artacağı tespit edilmiştir. Bu nedenle test yöntemi kullanılarak BPPV’ye sahip olan bireylerin tespiti ve nistagmus yön ve şiddetleri tespit edilebilecektir.

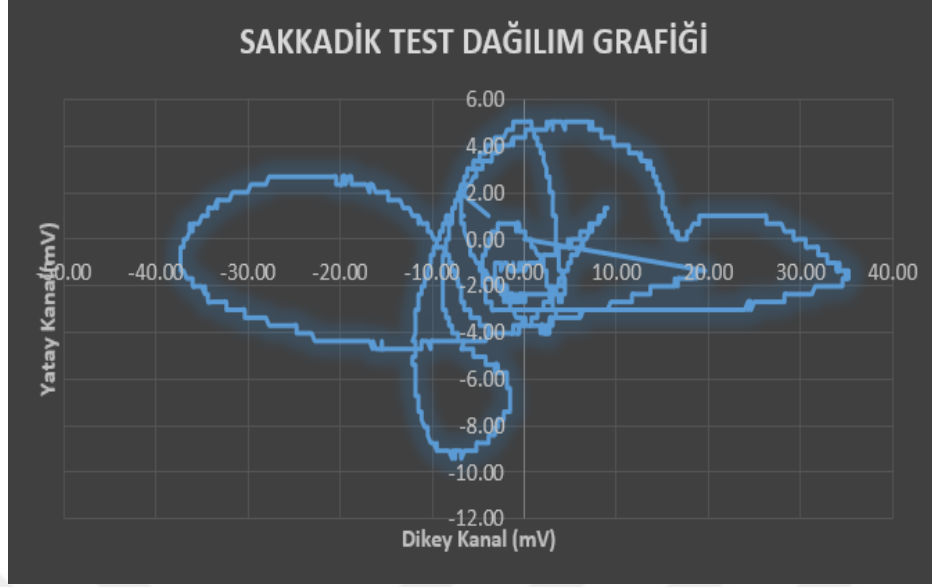


Şekil 4.22 Sağlıklı birey pursuit test verileri dağılım grafiği

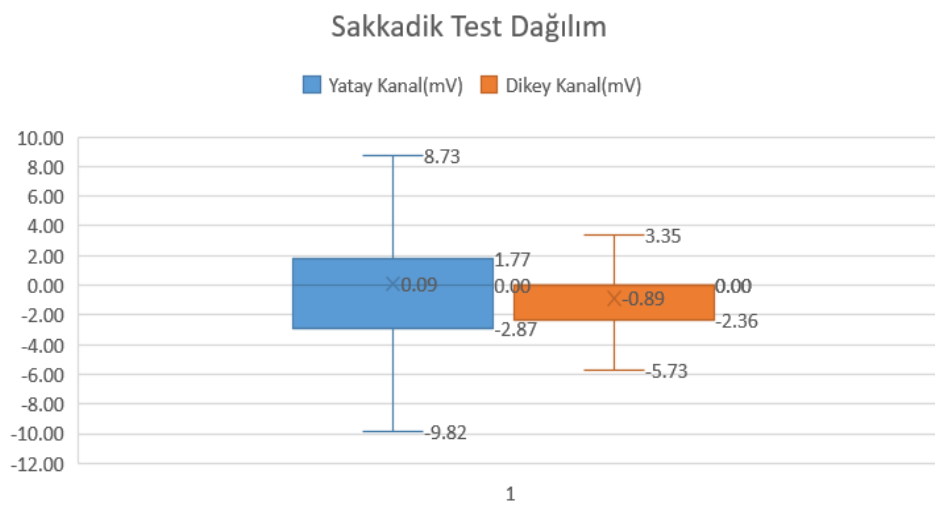


Şekil 4.23 Sağlıklı birey pursuit test verileri dağılım kutu grafiği

Şekil 4.24'te sağlıklı bireylerden elde edilen sakkadik test sonuçları gözlenmektedir. Sakkadik test bireyin nesneyi takip etmesi esnasında oluşan nistagmus değeri ve şeklini tespit etmek amacıyla kullanılmaktadır. Şekil 4.24'te gözlenen sağlıklı bireyin dağılımı belirli kanal üzerinde yatay ve dikey kanal boyunca takip edilmiştir. Nistagmus bulunan bireylerde göz hareketlerinin belirli bölgelerde uzun süren ataklar şeklinde gözlendiği ve bireyin nesnelere takip edemediği gözlenmiştir. Bu nedenle şekil üzerinde sağlıklı bireyin göz hareketleri tekrarlı testler sonucunda işlenmiş ve Ek 16'da görüldüğü gibi verilmiştir. Göz hareketlerinin yatay kanal min -9.82, 1.çeyrek -2.87, ortalama 0.09, 3.çeyrek 1.77, max 8.73 mV dikey kanal ise min -5.73, 1.çeyrek -2.36, ortalama -0.89, 3.çeyrek 0, max 3.35 mV olarak gözlenmiştir. Dikey ve yatay kanalda bulunan salınımlar testteki nesnenin yukarı, aşağı, sağ ve sol hareketlerinden oluşan salınımlar tespit edilebilmektedir. Salınımlardan elde edilen tekrarlı test verileri Ek 18'de verilmiştir. Tespitler bireyin nistagmus süresini, şiddetini, yönünü ve bireyin nesne takibinin eksenler boyunca yapılabildiği yapılamadığı bilgilerini iletmektedir. Yapılan tespitler dikey ve yatay kanal kullanılmasından dolayı BPPV'ye sahip bireylerin nistagmus tespitinde önemli rol oynayacağı kanıtlanmıştır.



Şekil 4.24 Sağlıklı birey sakkadik test verileri dağılım grafiği



Şekil 4.25 Sağlıklı birey sakkadik test verileri dağılım kutu grafiği

Gaze testi hem dikey hem de yatay eksen nistagmus tespitinde kullanılan yöntemdir. Şekil 4.26 'da bulunan bireyler için sistem gaze testi uygulanmıştır. Uygulanan testler sonucunda taklit yöntemi ile elde edilen hasta birey verisi yatay hareketlerinde periyodik tekrar eden bölgeler rastlanmıştır ve grafik incelendiğinde dikey kanal üzerinde tekrar eden verilerin sıklığı daha yoğun olarak gözlenmektedir. Bu nedenle sağlıklı birey testin tüm bölümlerinde gaze testine uygun grafik değerleri Şekil 4.26'da verilmiştir. Fakat Şekil 4.26'da ise dikey kanalda bozukluklar olduğu ve nistagmus oluşumu gözükmemektedir. Şekil 4.27'de ise sütun grafiklerinde hasta bireyin yatay ve dikey kanal dağılım yoğunluklarının 0' bölgesine daha yakın olduğu ve bu bölgede yatay ve dikey düzlemde aynı test yapılmasına rağmen daha geniş aralıklarda dağılım

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Benign Paroksizmal Pozisyonel Vertigo halk tarafından kristal oynaması olarak adlandırılan ve en sık görülen vertigo çeşididir. İç kulaktaki denge merkezinde konumlanmış kristallerin arka yarım daire kanallarına düşmesi sonucu oluşmaktadır. Benign paroksizmal pozisyonel vertigo teşhisi yapılacak olan hasta bireylerde sabit bakış (gaze test), sinüzoidal hareket (pursuit tracking), sakkadik hareket, optokinetik nistagmus, pasif baş rotasyonu, baş çevirme (head thrust), baş sallama, dinamik pozisyonel (Dix-Hallpike), statik pozisyonel ve bitermal kalorik test yöntemleri kullanıldığı görülmüştür. Konu ile ilgili olarak yapılan bazı çalışmalarda hekim tarafından uygulanan test sistemlerinin yeterli seviyede olmadığı ve yardımcı sistemlerin geliştirilmesi gerektiği gösterilmiştir. 2012 yılında Vural Fidan ve Erdal Samim ve 2014 yılında Yaser Said Çetin tarafından yapılan çalışmalarda ENG sisteminin periferik ve santral vertigo teşhislerinde etkili olacağı söylenmiştir. Yapılan çalışmada testlerin uygulandığı fakat testlerin farklı bireyler üzerinde tekrarsız uygulanması sonucunda bireylerden alınan verilerin veya oluşturulan test düzeneğinin güvenilirliği hususunda bilgiler verilmemektedir. 2019 yılında Evren Hızal tarafından yapılan çalışmada videoelektronistagmografi ile dix hallpike ve head roll testleri gerçekleştirilmiş fakat tüm bireylere uygulanamamıştır. Tüm bireylere iki testin yanında diğer tüm testlerin de uygulanması vertigo teşhisinde önemli rol oynayacaktır. 2008 yılında K. Johkura ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada CCD kameralar ve frenzel gözlüğünün kullanılması göz kusuru olmayan bireylerde uygulanabilmektedir. Fakat göz kusuru bulunan bireylerde uygulanması oldukça zor bir yöntemdir. 2017 yılında Jacob L. Newman ve arkadaşları tarafından yürütülen çalışmada sürekli olarak alınan uzun süreli veriler ve elektrotlar birey ergonomisi ve çevresel faktörler test başarımını etkileyen parametreler arasında yer almaktadır.

Bu tez çalışmasında benign paroksizmal vertigoya bağlı nistagmus test ve ölçüm sisteminin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma diğer çalışmalardan farklı olarak tüm tedavi yöntemlerini hazırlanan tek bir arayüz yazılımı ve donanımların uyumuna sahip olmasıdır. Aynı zamanda uyarlanabilir monitör ekran uyumu ve teşhise uygun yöntemlerin hekim bilgisine sunulması teşhis başarı oranını arttırmaktadır. Literatürde

görsel uyarıların teşhise olumlu etkilerinin olduğunu gösteren çalışmalar mevcuttur ve bu nedenle görsel uyarılar monitör yardımıyla hasta bireye aktarılmaktadır. Geliştirilen sistemden elde edilen veriler güvenilirliği kabul görmüş olan Digilent Waveforms Analog Discovery yardımıyla dönüşüm yapılmış ve sistemin güvenilir olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca sistemin bütün olarak çalışması, taşınabilir olması, üretim maliyet dengesi, hasta ve uzman ergonomisi ele alınmış ve uygulanmıştır. Sonuç olarak geliştirilen sistem Benign paroksizmal pozisyonel vertigoya sahip olan hasta bireylerin teşhisini doğru ve ergonomik ortam şartlarında bütünleştirilmiş görsel uyarılara uygun olarak tespit olarak sağlayacağı görülmektedir. Ancak sistemin üzerine tedavi modüllerinin eklenmesi ve saha geçerliliğinin belirlenmesi için etik kurul kararları alınarak kontrol ve test gruplarının oluşturularak sistemin hasta bireyler üzerinde tekrarlı testlerinin yapılması gerekmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Agrawal Y, Carey JP, Della Santina CC, et al., 2009, Disorders of balance and vestibular function in US adults: data from the national health and nutrition examination survey, 2001-2004. *Arch Intern Med*, 169(10):938-944.
- Akkin M.S., 1998, Baş Ağrıları – Baş Dönmeler Sempozyumu, 10-11 Aralık, İstanbul, 133-145
- Alvarenga, G. A., Barbosa, M. A., & Porto, C. C., 2011, Benign paroxysmal positional vertigo without nystagmus: diagnosis and treatment. *Brazilian journal of otorhinolaryngology*, 77(6), 799-804.
- Arbağ, H., Özer, B., Keleş, B., Ülkü, Ç. H., & Öztürk, K., 2003, Benign paroksizmal pozisyonel vertigo tedavisinde kullanılan Semont ve Epley manevralarının karşılaştırılması. In *KBB-Forum* (Vol. 2, No. 3, pp. 44-49).
- Armağan O., 2017, *Türk Beyin Damar Hastalıkları Dergisi*, 23(1): 1-9.
- Ata G, 2020, Akut Benign Paroksizmal Pozisyonel Vertigo Tanısı Olan Hastalara Uygulanacak Medikal Tedavi ve Vestibüler Rehabilitasyon Uygulamalarının Etkinliklerinin Karşılaştırılması, İstanbul Medipol Üniversitesi, 119s, İstanbul.
- Baloh, Robert W. (Robert William), 1942, *Clinical neurophysiology of the vestibular system* / Robert W. Baloh, Kevin A. Kerber. — 4th ed. p.; cm. — (Contemporary neurology series; 77).
- Baydan M, Yılmaz S., 2018, Denge testleri. *Ankara Sağlık Bilimleri Dergisi*, 7.2:70-76
- Bergenius J, Tomanovic T., 2006, Persistent geotropic nystagmus—a different kind of cupular pathology and its localizing signs. *Acta Otolaryngol*, 126:698-704.
- Brown MC., 1987, Morphology of labeled efferent fibers in the guinea pig cochlea. *J Comp Neurol*, 260: 605.
- Brown JJ.,1990, Asystematic approach to dizzy patient. *Neurol clin*, 8:209-224.
- Charoenpong, T., Nuthong, C., & Watchareeruetai, U., 2014, May, A new method for occluded face detection from single viewpoint of head. In *2014 11th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology*
- Cohen, Helen Sue, 1999, ed. *Neuroscience for rehabilitation*. Lippincott Williams & Wilkins.

- Çetin Y S, 2014, Benign Paroksizmal Pozisyonel Vertigo Varyantlarının Video Elektronistagmografi ile Değerlendirilmesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Uzmanlık Tezi, 63s., Bursa.
- Dağ Kıran M, Sürmelioglu Ö, Özlem A, 2015, Diagnosis and treatment approach in benign paroxysmal positional vertigo. *Archive Med Rev J*, 24:555-564.
- Fidan V, Samim E, 2021, Vertigo Etiyolojisinin Tesbitinde Elektronistagmografinin Rolü, *Konuralp Medical Journal*, 4 (2), 20-26.
- Furman, J. M., & Whitney, S. L., 2000, Central causes of dizziness. *Physical Therapy*, 80(2), 179-187.
- Gittis A, Dulac S., 2006, Intrinsic And Synaptic Plasticity In The Vestibular System. *Curr Opin Neurol*, (16); 385–390.
- Hain TC, Helminski JO., 2014, Anatomy and Physiology of the Normal Vestibular System. In: *Vestibular Rehabilitation*. 4th ed. Wolf JS (ed.). Philadelphia, E.A. Davis Company, pp 2–19.
- Hain TC, Hilman MA., 1994, Anatomy and physiology of the normal vestibular system. In: Herman SJ editör, *Vestibular Rehabilitation*. Philadelphia: F.A Davis Company, 287-315.
- Hanley K, O'Dowd T, Considine N., 2001, A systematic review of vertigo in primary care. *Br J Gen Pract*, 51(469):666-671.
- Horak F., 2007, Role of the Vestibular System in Postural Control. In: *Vestibular Rehabilitation 3rd Edition*. pp 32–53.
- Horii, A., Kitahara, T., Osaki, Y., Imai, T., Fukuda, K., Sakagami, M., & Inohara, H., 2010, Intractable benign paroxysmal positioning vertigo: long-term follow-up and inner ear abnormality detected by three-dimensional magnetic resonance imaging. *Otology & Neurotology*, 31(2), 250-255.
- Jokhura K, Momoo T, Kuroiwa Y, 2008, Positional Nystagmus in patients with chronic dizziness, *J Neurol Neosurg Psychiatry*, 79:1324-1326.
- Katkarsas A., 1999, Benign paroxysmal positional vertigo (BPPV): idiopathic versus post-traumatic. *Acta Otolaryngol*, 119(7):745-749.
- Khan S., Chang R., 2013, Anatomy of the vestibular system: a review. *NeuroRehabilitation*, 32(3), 437-443.
- Kim J-S, Zee DS., 2014, Benign Paroxysmal Positional Vertigo. *N Engl J Med*,

370(12):1138-1147.

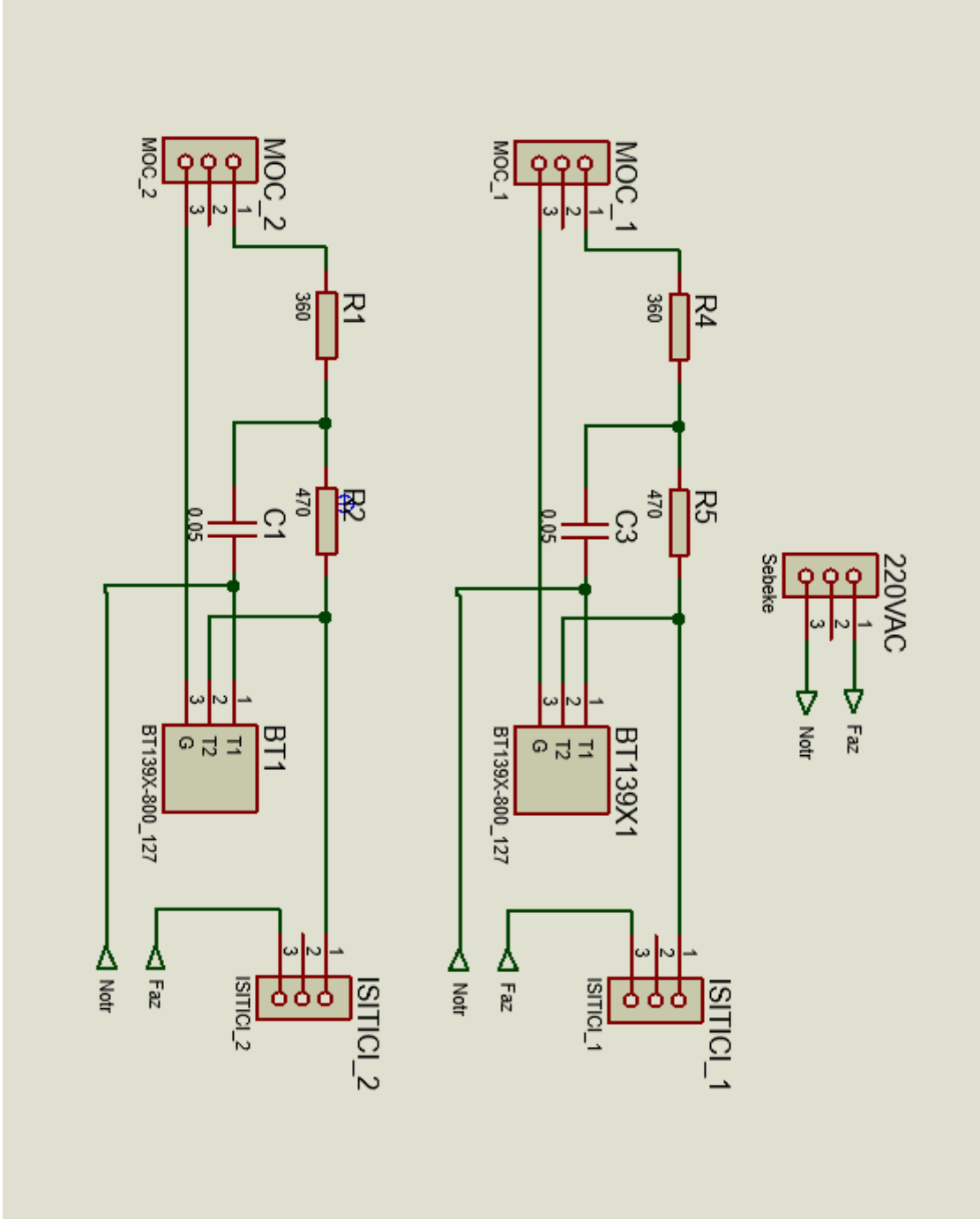
- Kılınç S. B., Müjdecı, B., 2015, Benign Paroksizmal Pozisyonel Vertigo'da Tanı, Tedavi ve Rehabilitasyon Yaklaşımları. *Ortadoğu Medical Journal/Ortadoğu Tıp Dergisi*, 7(4).
- Lorente de Nó R., 1933, Anatomy of the eighth nerve. The central projection of the nerve endings of the internal ear . *Laryngoscope*, 43: 1.
- Mizukoshi K, Watanabe Y, Shojaku H, Okubo J, Watanabe I., 1988, Epidemiological studies on benign paroxysmal positional vertigo in Japan. *Acta Otolaryngol Suppl*, 447:67-72.
- Newman, J. L., Phillips, J. S., & Cox, S. J., 2020, 1D convolutional neural networks for detecting nystagmus. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 25(5), 1814-1823.
- Öztürk B, Güleç M, Deveci, TN, Güler MT, 2019, *Türk Odyoloji ve İşitme Araştırmaları Dergisi* 2 (1), 18-28.
- Rasmussen G., 1946, The olivary peduncle and other fiber projections of the superior olivary complex. *J Comp Neurol.*, 84: 141.
- Saidha, P. K., Chandran, D., Sima, N., & D'souza, O., 2022, A study of vestibular evoked myogenic potential and clinical features in benign paroxysmal positional vertigo: An institutional experience. *Indian Journal of Otology*, 28(1), 26.
- Sekine K, Imai T, Sato G, Ito N, Takeda N, 2006, Natural History of benign paroxysmal positional vertigo and efficacy of Epley and Lempert maneuvers, *Otolaryngology—Head and Neck Surgery* 135 (4), 529-533.
- Straka H, Vibert N, Vidal PP, 2005, Moore LE, Dutia MB. Intrinsic membrane properties of vertebrate vestibular neurons: function, development and plasticity . *Prog Neurobiol*, 76 (6): 349.
- S. Mekki, W.Mohamed, S. Omar&N. Gad, 2020, Caloric test *versus* video head impulse test in vestibular neuritis patients, *Hearing, Balance and Communication*, DOI: 10.1080/21695717.2020.1727237.
- Vats AK, Kothari S, Biswas A., 2020, A case of right apogeotropic posterior semicircular canal BPPV that initially emulated as left anterior semicircular canal BPPV. *Ann Otol Neurotol*.
- Viirre E, Purcell I, Baloh R.W, 2005, The Dix-Hallpike test and the canalith repositioning

- maneuver *The Laryngoscope* 115(1), 184-187.
- Von Breven M, Radtke A, Lezius F, et al., 2007, Epidemiology of benign paroxysmal positional vertigo: a population based study. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 78(7):710-715.
- Yacovino DA, Hain TC, Gualtieri F., 2009, New therapeutic maneuver for anterior canal benign paroxysmal positional vertigo. *J Neurol*, 256:1851-1855.
- Yalçınkaya E, Başaran M, 2020, The use of Canalith Reposition Maneuvers in Treatment of Benign Paroxysmal Positional Vertigo. *Turkish Journal of Family Medicine and Primary Care*, 14(1), 123 – 130.
- Yilmaz, M. S., Egilmez, O. K., Kara, A., Guven, M., Demir, D., & Genc Elden, S., 2021, Comparison of the results of caloric and video head impulse tests in patients with Meniere's disease and vestibular migraine. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 278(6), 1829-1834.
- You, P., Instrum, R., & Parnes, L., 2019, Benign paroxysmal positional vertigo. *Laryngoscope investigative otolaryngology*, 4(1), 116-123.
- Zhang, W., Wu, H., Liu, Y., Zheng, S., Liu, Z., Li, Y., ... & Zhu, Z., 2021, Deep learning based torsional nystagmus detection for dizziness and vertigo diagnosis. *Biomedical Signal Processing and Control*, 68, 102616.
- Wolff HG, 1970, Efferente Aktivität in den Statonerven einiger Landpulmonaten (Gastropoda). *Z Vergl Physio*, 70:401.

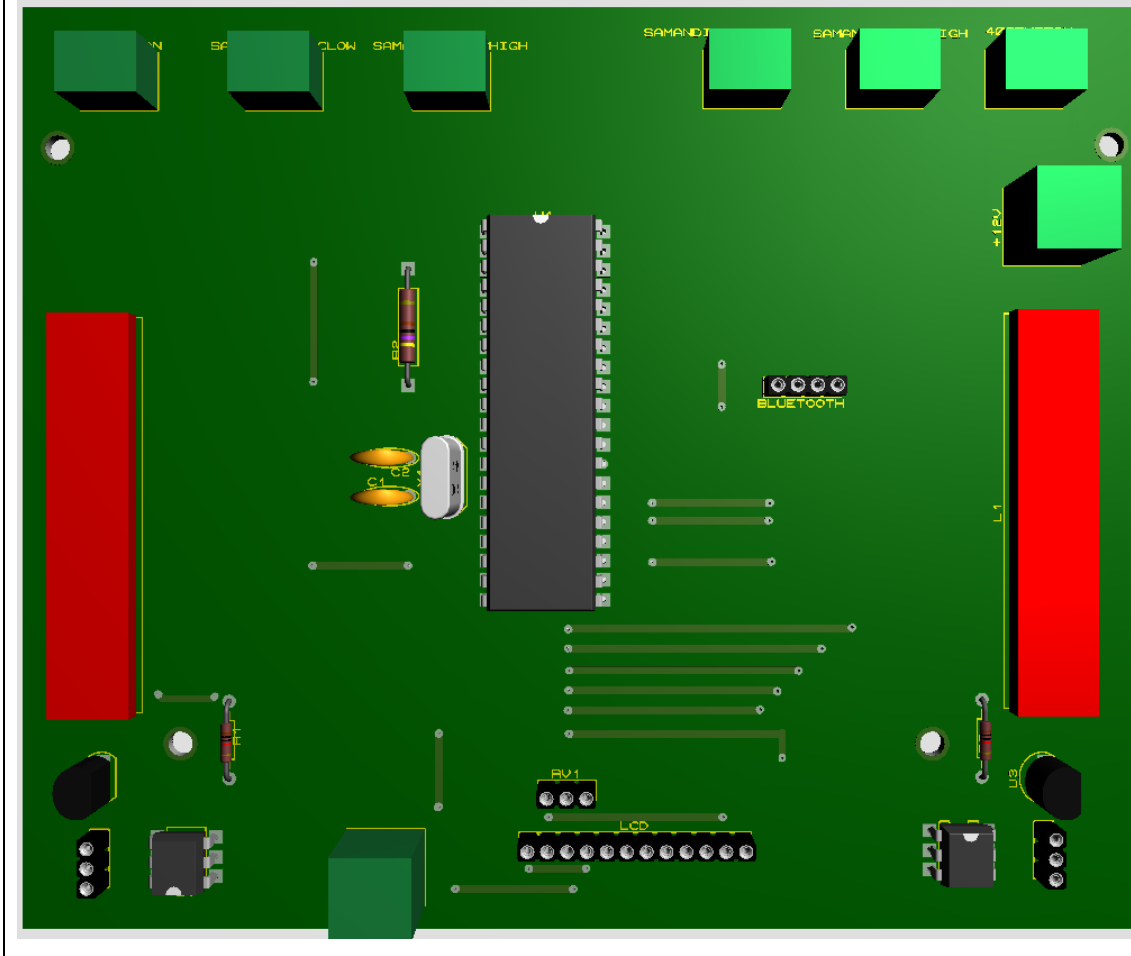
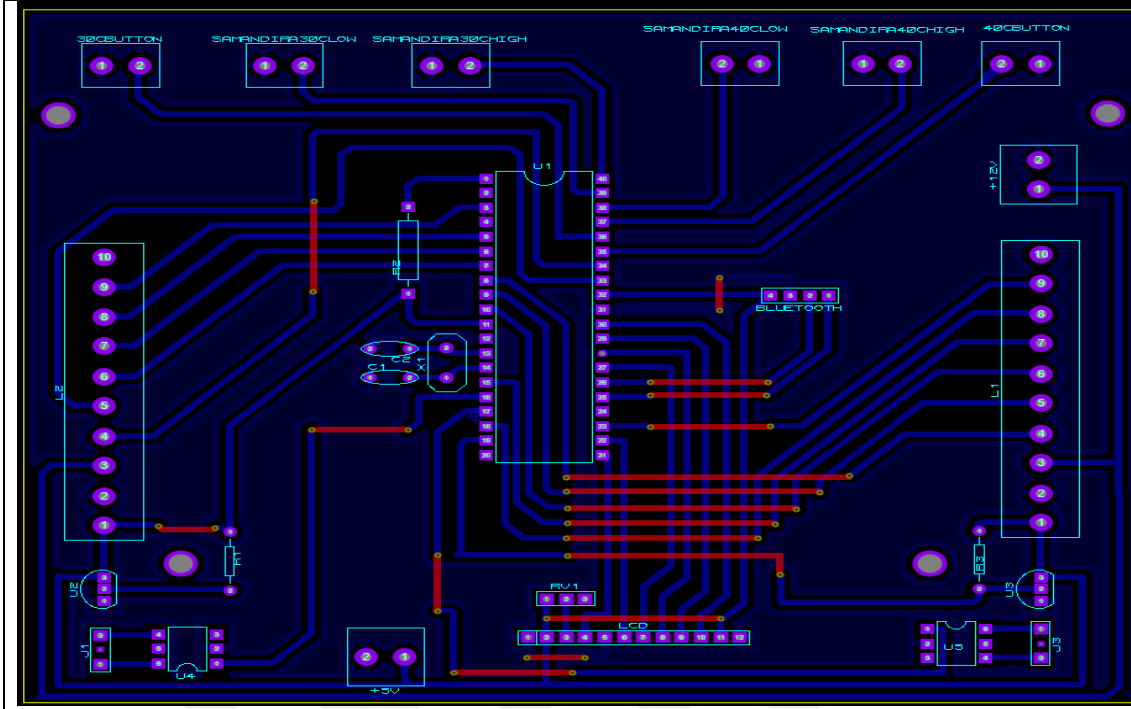
İnternet Kaynakları

- 1- <https://www.haber46.com.tr/insan-vucudunun-hangi-bolumunde-labirent-isminde-bir-yer-vardir>
- 2- <https://www.teknosa.com/lg-27gl63tb-27-144-hz-1-ms-ips-pivot-gsync-adaptivesync-teknolojisi-gaming-monitor-p-785790289>
- 3- <https://freeyork.org/art/illustrator-charles-burns/>

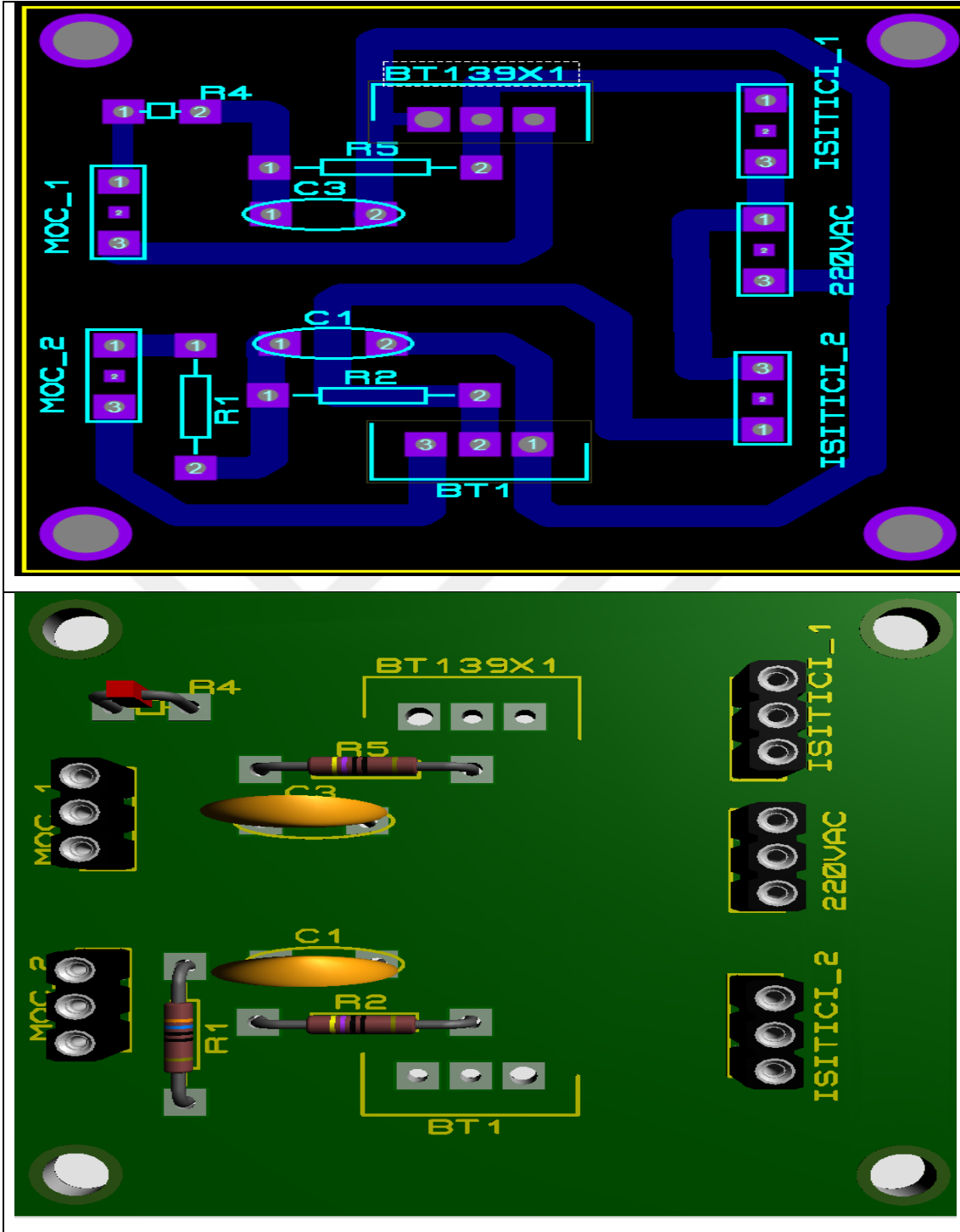
EK 1.(DEVAM)Sıvı kalorik sistemin açık devre şeması ve ares çizimleri



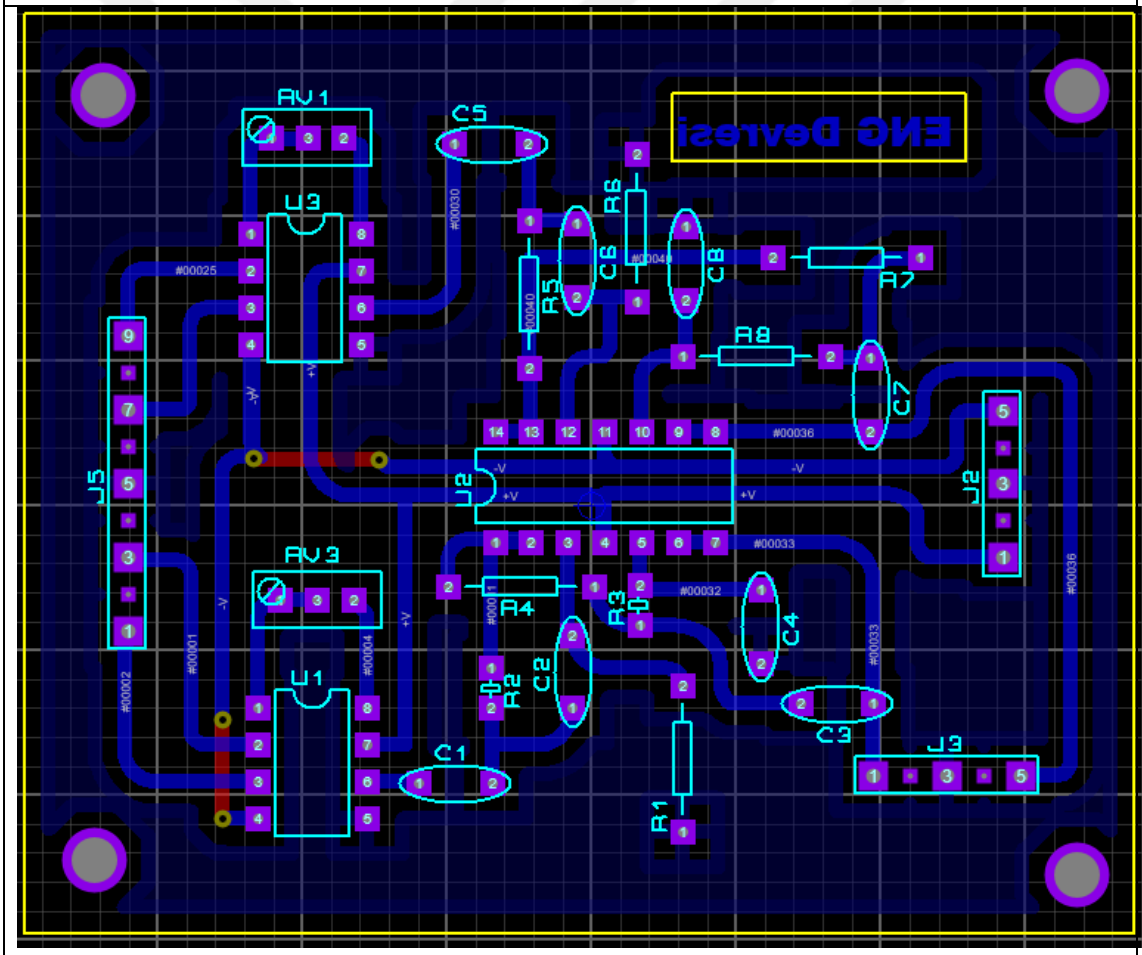
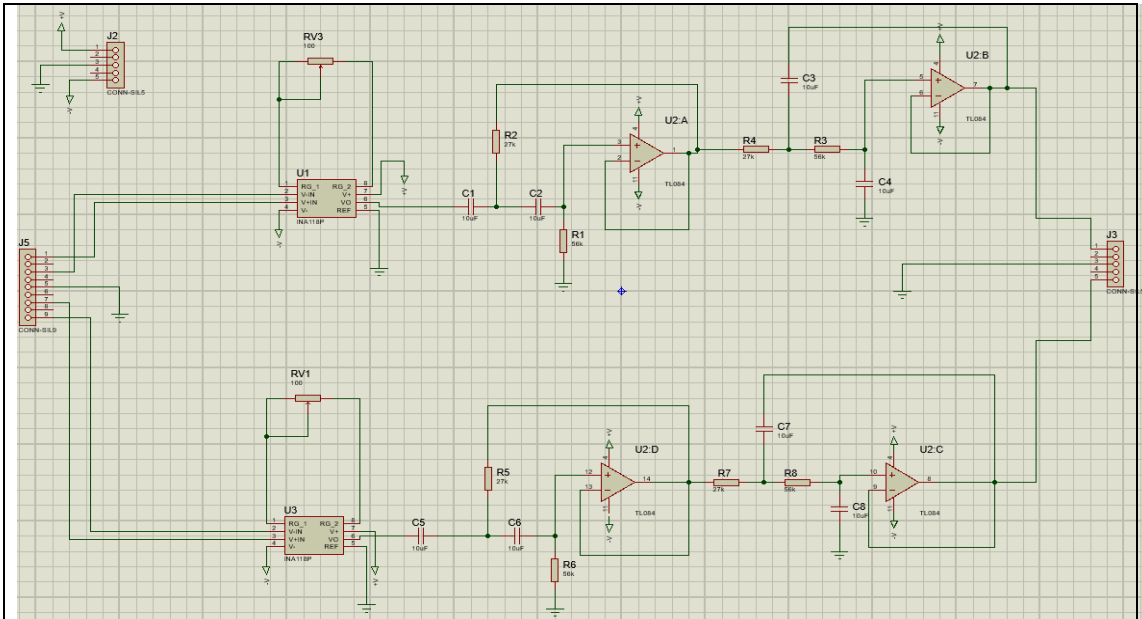
EK 1.(DEVAM)Sıvı kalorik sistemin açık devre şeması ve ares çizimleri



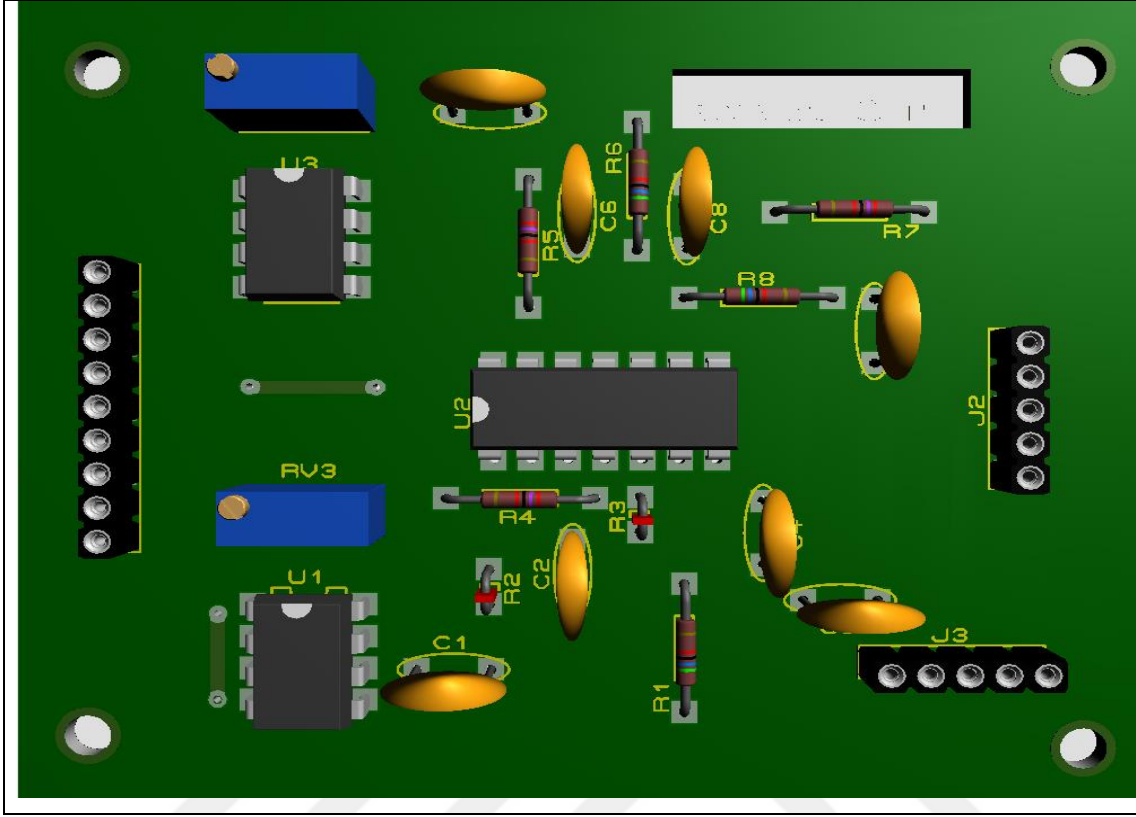
EK 1.(DEVAM)Sıvı kalorik sistemin açık devre şeması ve ares çizimleri



EK 2 ENG sisteminin açık devre şeması ve ares çizimleri



EK 2.(DEVAM) ENG sisteminin açık devre şeması ve ares çizimleri



EK 3.Sistemin Render Alınmış Görüntüleri



EK 4. Sistemin Arayüz Görünümü



EK 5. Sistemin Test Arayüz Görünümü

The screenshot displays the GAZE test system interface. On the left, there is a section titled "HASTA BİLGİLERİ" (Patient Information) with the following fields:

- T.C KİMLİK NUMARASI: 345971234
- İSİM: KEMAL
- SOYİSİM: GÖLGE
- DOĞUM TARİHİ (GG/AA/YYYY): 14 / 01 / 1972
- CİNSİYET: ERKEK

Below these fields are four buttons: "TESTİ YAZILIMINI AÇ", "TEST YAZILIMINI KAPAT", "HORIZONTAL TEST BAŞLAT", and "VERTİCAL TEST BAŞLAT".

The main area shows a waveform graph with a blue signal and a black background. The graph is overlaid on a software interface with various menus and toolbars. The x-axis of the graph ranges from -8.999 s to 10.001 s. The y-axis ranges from -100 to 100. The graph shows a complex waveform with a prominent peak at approximately 8.999 s.

At the bottom of the interface, there is a status bar with the text "Test sonuçlarını kaydetmeyi unutmayınız." (Do not forget to save test results.) and "Manual Trigger | Discovery C:\SH\2\024\705642\USB | 3746P3_18.1 | Status".

The bottom part of the image shows a large, empty white area with a small, dark, vertical, oval-shaped object in the center, which appears to be a test component or a sensor.

EK 6. Sağlıklı birey tekrarlı gaze test verileri

| Yatay Kanal | | | | | |
|--------------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|
| n | Min | 1/4 | Ortalama | 3/4 | Max |
| 1 | -8.17 | 0.45 | 3.09 | 6.41 | 15.03 |
| 2 | -7.84 | 0.45 | 3.95 | 6.08 | 14.37 |
| 3 | -6.51 | 0.78 | 2.94 | 5.75 | 13.04 |
| 4 | -8.17 | 1.11 | 4.06 | 7.41 | 16.69 |
| 5 | -17.12 | 0.12 | 6.68 | 11.63 | 28.62 |
| 6 | -14.46 | -1.21 | 2.93 | 7.74 | 21.00 |
| 7 | -10.49 | -0.21 | 3.86 | 6.75 | 17.02 |
| 8 | -10.16 | -0.88 | 2.63 | 5.42 | 14.70 |
| 9 | -8.83 | -0.13 | 3.21 | 5.75 | 14.37 |
| 10 | -11.48 | -0.88 | 2.61 | 6.41 | 17.02 |

| Dikey Kanal | | | | | |
|--------------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|
| n | Min | 1/4 | Ortalama | 3/4 | Max |
| 1 | -7.74 | -3.37 | -1.40 | -0.35 | 4.02 |
| 2 | -11.11 | -4.05 | -1.52 | 0.66 | 7.39 |
| 3 | -13.80 | -4.38 | -1.35 | 2.01 | 11.42 |
| 4 | -12.12 | -4.05 | -1.45 | 1.33 | 9.07 |
| 5 | -6.74 | -3.04 | -1.43 | -0.35 | 3.35 |
| 6 | -8.75 | -3.37 | -1.45 | 0.33 | 5.71 |
| 7 | -12.45 | -4.72 | -1.75 | 0.66 | 8.73 |
| 8 | -10.43 | -3.71 | -1.58 | 1.00 | 0.77 |
| 9 | -9.76 | -3.71 | -1.51 | 0.33 | 6.38 |
| 10 | -8.08 | -3.04 | -1.42 | 0.33 | 5.37 |

n: n.tekrar sayısı

EK 7. Sağlıklı 5 adet birey tekrarlı gaze test verileri.

| Yatay Kanal | | | | | |
|--------------------|-----------------|----------------|---------------------|----------------|----------------|
| n | Min (mV) | 1/4(mV) | Ortalama(mV) | 3/4(mV) | Max(mV) |
| 1 | -10.32 | -0.04 | 3.60 | 6.94 | 17.18 |
| 2 | -19.74 | -5.58 | -0.11 | 5.43 | 18.72 |
| 3 | -7.74 | -0.35 | 2.17 | 4.32 | 12.08 |
| 4 | -19.74 | -5.58 | -0.11 | 5.43 | 18.72 |
| 5 | -10.62 | -1.79 | 1.32 | 4.22 | 13.04 |

| Dikey Kanal | | | | | |
|--------------------|----------------|----------------|---------------------|----------------|----------------|
| n | Min(mV) | 1/4(mV) | Ortalama(mV) | 3/4(mV) | Max(mV) |
| 1 | -10.10 | -3.74 | -1.48 | 0.59 | 6.22 |
| 2 | -7.65 | -3.15 | -1.58 | 0.02 | 4.65 |
| 3 | -6.67 | -2.70 | -1.51 | -0.01 | 3.96 |
| 4 | -7.65 | -3.15 | -1.58 | 0.02 | 4.65 |
| 5 | -12.83 | -5.84 | -3.41 | -1.10 | 5.17 |

n: n.tekrar sayısı

EK 8. Sağlıklı birey tekrarlı bitermal kalorik test verileri.

| Yatay Kanal | | | | | |
|--------------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|
| n | Min | 1/4 | Ortalama | 3/4 | Max |
| 1 | 2.11 | 2.11 | 2.11 | 2.11 | 2.18 |
| 2 | 2.11 | 2.11 | 2.11 | 2.11 | 2.18 |
| 3 | 2.11 | 2.11 | 2.11 | 2.11 | 2.18 |
| 4 | 2.11 | 2.11 | 2.11 | 2.11 | 2.18 |
| 5 | 2.11 | 2.11 | 2.11 | 2.11 | 2.18 |
| 6 | 2.11 | 2.11 | 2.11 | 2.11 | 2.18 |
| 7 | 2.11 | 2.11 | 2.11 | 2.11 | 2.18 |
| 8 | 2.11 | 2.11 | 2.11 | 2.11 | 2.18 |
| 9 | 2.11 | 2.11 | 2.11 | 2.11 | 2.18 |
| 10 | 2.11 | 2.11 | 2.11 | 2.11 | 2.18 |

| Dikey Kanal | | | | | |
|--------------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|
| n | Min | 1/4 | Ortalama | 3/4 | Max |
| 1 | -2.03 | -1.69 | -1.54 | -1.36 | -1.02 |
| 2 | -2.03 | -1.69 | -1.54 | -1.36 | -1.02 |
| 3 | -2.03 | -1.69 | -1.54 | -1.36 | -1.02 |
| 4 | -2.03 | -1.69 | -1.54 | -1.36 | -1.02 |
| 5 | -2.03 | -1.69 | -1.54 | -1.36 | -1.02 |
| 6 | -2.03 | -1.69 | -1.54 | -1.36 | -1.02 |
| 7 | -2.03 | -1.69 | -1.54 | -1.36 | -1.02 |
| 8 | -2.03 | -1.69 | -1.54 | -1.36 | -1.02 |
| 9 | -2.03 | -1.69 | -1.54 | -1.36 | -1.02 |
| 10 | -2.03 | -1.69 | -1.54 | -1.36 | -1.02 |

n: n.tekrar sayısı

EK 9. Sağlıklı 5 adet birey tekrarlı bitermal kalorik test verileri.

| Yatay Kanal | | | | | |
|--------------------|----------------|----------------|---------------------|----------------|----------------|
| n | Min(mV) | 1/4(mV) | Ortalama(mV) | 3/4(mV) | Max(mV) |
| 1 | 2.11 | 2.11 | 2.11 | 2.11 | 2.18 |
| 2 | 0.60 | 0.68 | 0.68 | 0.68 | 0.68 |
| 3 | 2.44 | 2.77 | 2.77 | 2.77 | 2.77 |
| 4 | -1.98 | -1.31 | -1.04 | -0.65 | 0.03 |
| 5 | -1.55 | -1.02 | -0.81 | -0.51 | 0.03 |

| Dikey Kanal | | | | | |
|--------------------|----------------|----------------|---------------------|----------------|----------------|
| n | Min(mV) | 1/4(mV) | Ortalama(mV) | 3/4(mV) | Max(mV) |
| 1 | -2.03 | -1.69 | -1.54 | -1.36 | -1.02 |
| 2 | -0.66 | -0.42 | -0.35 | -0.25 | 0.00 |
| 3 | -2.70 | -1.69 | -1.42 | -1.02 | 0.01 |
| 4 | 1.23 | 1.23 | 1.23 | 1.23 | 1.23 |
| 5 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 |

n: n.tekrar sayısı

EK 10. Sağlıklı birey tekrarlı dix-hallpike test verileri.

| Yatay Kanal | | | | | |
|--------------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|
| n | Min | 1/4 | Ortalama | 3/4 | Max |
| 1 | -0.88 | 1.11 | 1.71 | 2.44 | 4.43 |
| 2 | -4.53 | -2.54 | -1.94 | -1.22 | 0.77 |
| 3 | -8.04 | -7.03 | -6.56 | -6.36 | -5.35 |
| 4 | -6.67 | -5.66 | -5.19 | -4.99 | -3.98 |
| 5 | -1.20 | 0.79 | 1.39 | 2.12 | 4.10 |
| 6 | -1.01 | -0.98 | 1.58 | 2.30 | 4.29 |
| 7 | -0.75 | 1.24 | 1.84 | 2.56 | 4.55 |
| 8 | -1.02 | 0.97 | 1.57 | 2.29 | 4.28 |
| 9 | -1.03 | 0.96 | 1.56 | 2.28 | 4.27 |
| 10 | -0.55 | 1.44 | 2.04 | 2.76 | 4.75 |

| Dikey Kanal | | | | | |
|--------------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|
| n | Min | 1/4 | Ortalama | 3/4 | Max |
| 1 | -3.04 | -23.64 | -1.89 | -1.69 | -1.02 |
| 2 | 5.41 | 6.09 | 6.56 | 6.76 | 7.44 |
| 3 | -1.83 | -0.82 | -0.35 | -0.15 | 0.86 |
| 4 | -2.83 | -1.82 | -1.35 | -1.15 | -0.14 |
| 5 | -5.37 | -4.70 | -4.23 | -4.03 | -3.36 |
| 6 | -2.67 | -2.00 | -1.53 | -1.33 | -0.65 |
| 7 | -2.05 | -1.38 | -0.91 | -0.70 | -0.03 |
| 8 | -3.19 | -2.52 | -2.05 | -1.84 | -1.17 |
| 9 | -3.29 | -2.62 | -2.15 | -1.95 | -1.27 |
| 10 | -2.90 | -2.23 | -1.76 | -1.56 | -0.89 |

n: n.tekrar sayısı

EK 11. Sağlıklı 5 adet birey tekrarlı dix-hallpike test verileri.

| Yatay Kanal | | | | | |
|--------------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|
| n | Min | 1/4 | Ortalama | 3/4 | Max |
| 1 | -2.57 | -0.97 | -0.20 | 0.42 | 2.21 |
| 2 | -0.60 | 0.39 | 0.84 | 1.22 | 2.21 |
| 3 | -0.95 | 1.03 | 1.93 | 2.69 | 4.68 |
| 4 | -0.22 | 2.01 | 2.90 | 3.67 | 5.66 |
| 5 | -0.64 | 1.34 | 2.24 | 3.00 | 4.99 |

| Dikey Kanal | | | | | |
|--------------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|
| n | Min | 1/4 | Ortalama | 3/4 | Max |
| 1 | -2.18 | -3.56 | -0.97 | -0.76 | -0.02 |
| 2 | -1.18 | -1.01 | -0.95 | -6.78 | -0.51 |
| 3 | -1.71 | -1.37 | -1.24 | -0.70 | -0.36 |
| 4 | -2.07 | -1.74 | -0.93 | -0.39 | -0.05 |
| 5 | -1.71 | -1.38 | -1.24 | -1.04 | -0.70 |

n: n.tekrar sayısı

EK 12. Sağlıklı birey tekrarlı pursuit test verileri.

| Yatay Kanal | | | | | |
|--------------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|
| n | Min | 1/4 | Ortalama | 3/4 | Max |
| 1 | -18.77 | -5.19 | 2.18 | 10.39 | 26.96 |
| 2 | -18.11 | -4.19 | 2.35 | 8.73 | 27.95 |
| 3 | -20.76 | -6.84 | 2.18 | 10.06 | 25.64 |
| 4 | -20.10 | -3.20 | 1.57 | 8.07 | 20.33 |
| 5 | -25.40 | -7.17 | 1.89 | 10.39 | 36.57 |
| 6 | -19.77 | -4.19 | 2.32 | 9.73 | 22.65 |
| 7 | -191.04 | -2.53 | 2.07 | 8.73 | 23.65 |
| 8 | -29.05 | -58.48 | 1.57 | 9.73 | 23.98 |
| 9 | -28.05 | -4.19 | 1.56 | 12.05 | 16.36 |
| 10 | -19.77 | -7.17 | 1.62 | 6.75 | 27.62 |

n: n.tekrar sayısı

EK 13. Sağlıklı 5 adet birey tekrarlı pursuit test verileri.

| Yatay Kanal | | | | | |
|--------------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|
| n | Min | 1/4 | Ortalama | 3/4 | Max |
| 1 | -39.08 | -10.32 | 1.93 | 9.46 | 25.17 |
| 2 | -16.78 | -4.52 | 3.77 | 11.05 | 34.25 |
| 3 | -35.34 | -7.50 | 2.35 | 12.05 | 40.55 |
| 4 | -15.79 | -3.86 | 3.04 | 10.39 | 31.60 |
| 5 | -22.75 | -38.59 | 2.79 | 10.39 | 31.60 |
| 5 | -39.08 | -10.32 | 1.93 | 9.46 | 25.17 |

n: n.tekrar sayısı



EK 14. Sağlıklı birey tekrarlı opto-kinetik verileri.

| Yatay Kanal | | | | | |
|--------------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|
| n | Min | 1/4 | Ortalama | 3/4 | Max |
| 1 | 2.77 | 2.77 | 2.77 | 2.77 | 2.77 |
| 2 | 2.77 | 2.77 | 2.77 | 2.77 | 2.77 |
| 3 | 2.77 | 2.77 | 2.77 | 2.77 | 2.77 |
| 4 | 2.77 | 2.77 | 2.77 | 2.77 | 2.77 |
| 5 | 2.77 | 2.77 | 2.77 | 2.77 | 2.77 |
| 6 | 2.77 | 2.77 | 2.77 | 2.77 | 2.77 |
| 7 | 2.77 | 2.77 | 2.77 | 2.77 | 2.77 |
| 8 | 2.77 | 2.77 | 2.77 | 2.77 | 2.77 |
| 9 | 2.77 | 2.77 | 2.77 | 2.77 | 2.77 |
| 10 | 2.77 | 2.77 | 2.77 | 2.77 | 2.77 |

| Dikey Kanal | | | | | |
|--------------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|
| n | Min | 1/4 | Ortalama | 3/4 | Max |
| 1 | -2.70 | -1.69 | -1.42 | -1.02 | 0.01 |
| 2 | -2.70 | -1.69 | -1.42 | -1.02 | 0.01 |
| 3 | -2.70 | -1.69 | -1.42 | -1.02 | 0.01 |
| 4 | -2.70 | -1.69 | -1.42 | -1.02 | 0.01 |
| 5 | -2.70 | -1.69 | -1.42 | -1.02 | 0.01 |
| 6 | -2.70 | -1.69 | -1.42 | -1.02 | 0.01 |
| 7 | -2.70 | -1.69 | -1.42 | -1.02 | 0.01 |
| 8 | -2.70 | -1.69 | -1.42 | -1.02 | 0.01 |
| 9 | -2.70 | -1.69 | -1.42 | -1.02 | 0.01 |
| 10 | -2.70 | -1.69 | -1.42 | -1.02 | 0.01 |

n: n.tekrar sayısı

EK 15. Sağlıklı 5 adet birey tekrarlı opto-kinetik test verileri.

| Yatay Kanal | | | | | |
|--------------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|
| n | Min | 1/4 | Ortalama | 3/4 | Max |
| 1 | 2.77 | 2.77 | 2.77 | 2.77 | 2.77 |
| 2 | 0.60 | 0.68 | 0.68 | 0.68 | 0.68 |
| 3 | 2.44 | 2.77 | 2.77 | 2.77 | 2.77 |
| 4 | -1.98 | -1.31 | -1.04 | -0.65 | 0.03 |
| 5 | -1.55 | -1.02 | -0.81 | -0.51 | 0.03 |

| Dikey Kanal | | | | | |
|--------------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|
| n | Min | 1/4 | Ortalama | 3/4 | Max |
| 1 | -2.70 | -1.69 | -1.42 | -1.02 | 0.01 |
| 2 | -0.66 | -0.42 | -0.35 | -0.25 | 0.00 |
| 3 | -2.70 | -1.69 | -1.42 | -1.02 | 0.01 |
| 4 | 1.23 | 1.23 | 1.23 | 1.23 | 1.23 |
| 5 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 |

n: n.tekrar sayısı

EK 16. Sağlıklı birey tekrarlı sakkadik test verileri.

| Yatay Kanal | | | | | |
|--------------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|
| n | Min | 1/4 | Ortalama | 3/4 | Max |
| 1 | -9.82 | -2.87 | 0.09 | 1.77 | 8.73 |
| 2 | -41.61 | -13.44 | 0.74 | 11.41 | 48.53 |
| 3 | -31.70 | -8.50 | -0.36 | 7.08 | 30.27 |
| 4 | -43.96 | -15.79 | -1.60 | 9.07 | 46.18 |
| 5 | -34.35 | -10.49 | -1.26 | 5.42 | 89.49 |
| 6 | -305.86 | -7.39 | 0.75 | 8.19 | 31.39 |
| 7 | -30.33 | -10.89 | -1.11 | 6.25 | 31.87 |
| 8 | -34.35 | -8.50 | 0.64 | 8.73 | 34.58 |
| 9 | -33.59 | -10.40 | -2.26 | 5.18 | 28.38 |
| 10 | -25.87 | -8.00 | -1.74 | 3.99 | 21.85 |

| Dikey Kanal | | | | | |
|--------------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|
| n | Min | 1/4 | Ortalama | 3/4 | Max |
| 1 | -5.73 | -2.36 | -0.89 | 0.00 | 3.35 |
| 2 | -10.20 | -3.81 | -1.56 | 0.56 | 6.95 |
| 3 | -8.42 | -3.04 | -1.20 | -0.66 | 6.04 |
| 4 | -10.43 | -4.05 | -1.79 | 0.33 | 6.71 |
| 5 | -11.78 | -4.05 | -1.11 | 2.01 | 7.39 |
| 6 | -8.65 | -3.27 | -1.43 | 0.43 | 5.81 |
| 7 | -7.20 | -2.79 | -1.23 | 0.22 | 4.63 |
| 8 | -7.74 | -3.71 | -1.38 | 0.33 | 5.71 |
| 9 | -8.53 | -3.15 | -1.31 | 0.55 | 5.93 |
| 10 | -6.57 | -2.42 | -1.01 | 0.42 | 4.57 |

n: n.tekrar sayısı

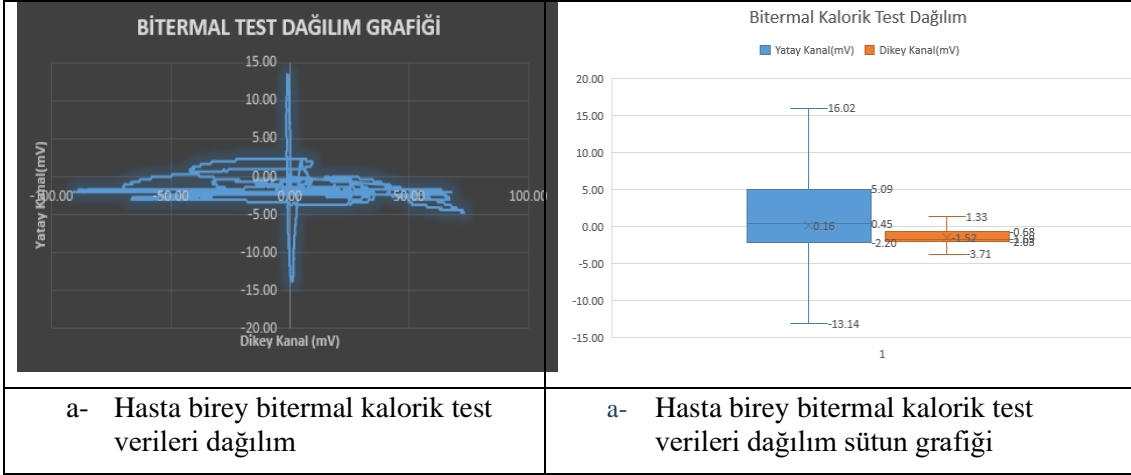
EK 17. Sağlıklı 5 adet birey tekrarlı sakkadik test verileri.

| Yatay Kanal | | | | | |
|--------------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|
| n | Min | 1/4 | Ortalama | 3/4 | Max |
| 1 | -59.144 | -9.627 | -0.611 | 6.709 | 37.127 |
| 2 | -34.47 | -8.62 | 0.52 | 8.61 | 34.46 |
| 3 | -26.11 | -6.53 | 0.39 | 6.52 | 26.11 |
| 4 | -13.00 | -4.20 | 0.23 | 3.57 | 15.16 |
| 5 | -6.73 | -2.08 | -0.45 | 1.04 | 5.68 |

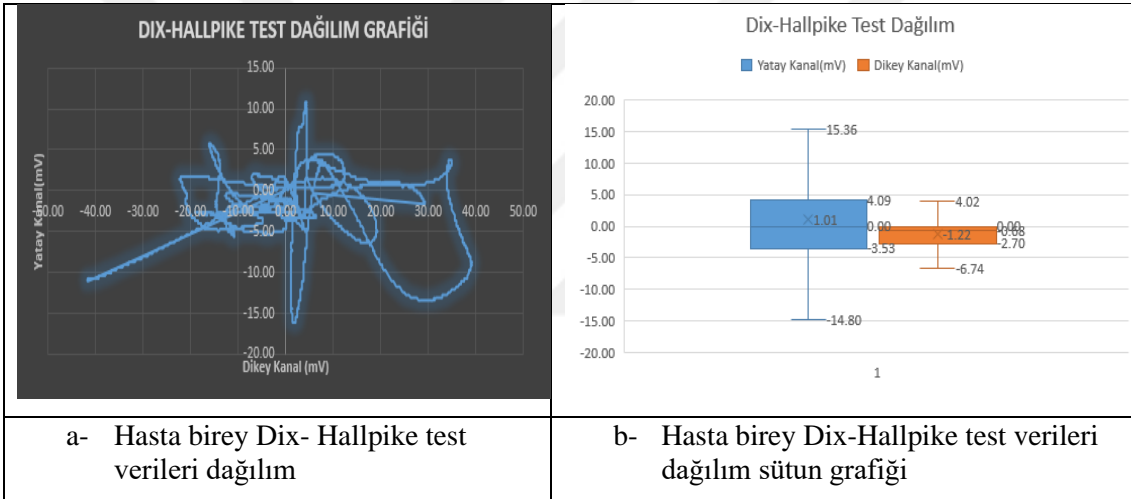
| Dikey Kanal | | | | | |
|--------------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|
| n | Min | 1/4 | Ortalama | 3/4 | Max |
| 1 | -8.525 | -3.265 | -1.291 | 0.419 | 5.709 |
| 2 | -7.78 | -3.74 | -1.42 | 0.29 | 5.67 |
| 3 | -5.89 | -2.84 | -1.07 | 0.22 | 4.30 |
| 4 | -3.19 | -1.19 | -0.49 | 0.17 | 2.17 |
| 5 | -1.71 | -0.63 | -0.26 | 0.11 | 1.19 |

n: n.tekrar sayısı

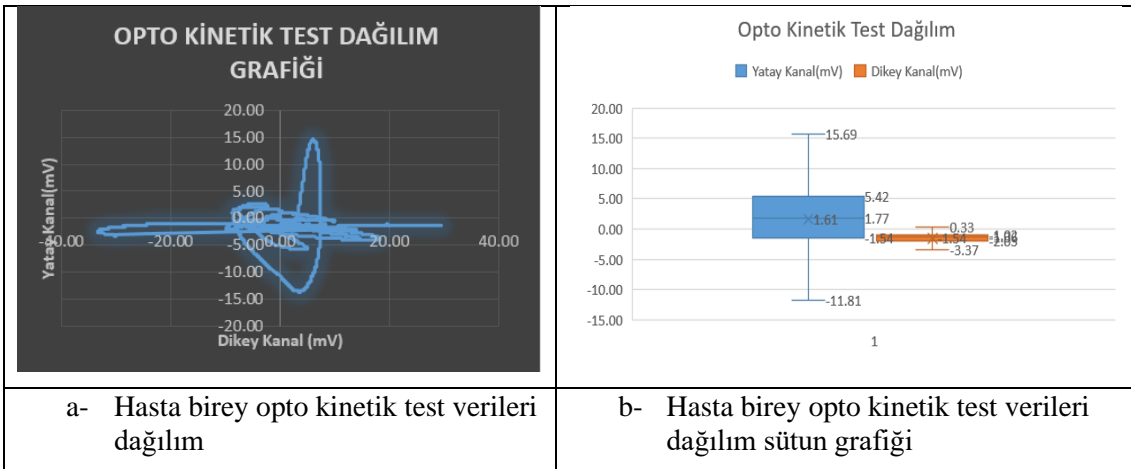
EK 18. Hasta birey bitermal kalorik test verileri dağılım ve sütun grafiği



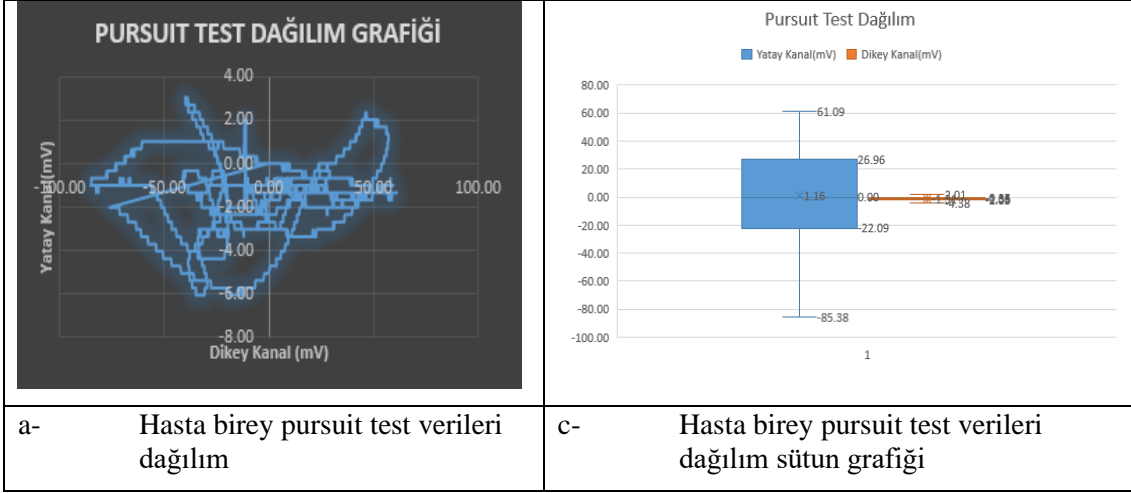
EK 19. Hasta birey Dix-Hallpike verileri dağılım ve sütun grafiği



EK 20. Hasta birey opto kinetik test verileri dağılım ve sütun grafiği



EK 21. Hasta birey pursuit test verileri dağılım ve sütun grafiği



EK 22. Hasta birey sakkadik test verileri dağılım ve sütun grafiği

