

Galvanik Cilt Tepkisi ve Göz Takibi Tekniklerinin Entegrasyonu İle Biyometrik Ölçüm
Uygulamaları

Can Yaman

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Biyoteknoloji ve Biyogüvenlik Anabilim Dalı

Aralık 2018

Biometric Measurement Applications with the Integration of Galvanic Skin Response and
Eye Tracking Techniques

Can Yaman

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Biotechnology and Biosafety

December 2018

Galvanik Cilt Tepkisi ve Göz Takibi Tekniklerinin Entegrasyonu İle Biyometrik  l m
Uygulamaları

Can Yaman

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Biyoteknoloji ve Biyogüvenlik Anabilim Dalında
YÜKSEK L SANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç. Dr. Sertaç EROğLU

Bu tez, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi BAP 2018/46E01 no'lu projesi ile
desteklenmiştir.

Aralık 2018

ONAY

Biyoteknoloji ve Biyogüvenlik Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Can Yaman'ın Yüksek Lisans tezi olarak hazırladığı “Galvanik Cilt Tepkisi ve Göz Takibi Tekniklerinin Entegrasyonu İle Biyometrik Ölçüm Uygulamaları” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oy birliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Sertaç EROĞLU

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye: Doç. Dr. Sertaç EROĞLU

Üye: Prof. Dr. Cengiz Hakan AYDIN

Üye: Doç. Dr. İlknur DAĞ

Üye:

Üye:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Sertaç EROĞLU danışmanlığında hazırlamış olduğum “Galvanik Cilt Tepkisi ve Göz Takibi Tekniklerinin Entegrasyonu İle Biyometrik Ölçüm Uygulamaları” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 19/12/2018

CAN YAMAN

ÖZET

Biyometrik cihazlar, insan vücudunda gerçekleşen fizyolojik süreçlerin oluşturduğu sinyalleri, girişken ya da girişken olmayan ekipmanlar ve sistemler ile tespitine olanak tanıyan cihazlardır. Biyometrik ölçüm yöntemleri ile güvenlik sistemlerinden medikal uygulamalara kadar geniş bir yelpazede oldukça farklı çalışma alanlarında karşılaşılmaktadır. Gelişen biyometrik yöntem uygulamaları sayesinde, özellikle insan tutum ve davranışlarının fiziksel süreçlerle ilişkisinin araştırıldığı psikofizyoloji çalışmalarında biyometrik yöntemler sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında, Göz Takip Cihazı ve GSR (Galvanic Skin Response) cihazı en yaygın kullanım alanına sahip sistemlerden ikisini oluşturmaktadır. Vücut, uygulanan iç ve dış uyaranlara karşı tepki göstermektedir. Vücudun uyaranlara karşı gösterdiği tepki Merkezi Sinir Sistemi tarafından yönetilmekte olup bu tepki farklı organlarda farklı şekilde kendini göstermekte ve ölçümlenmektedir. Göz Takip Cihazı ile uyarana karşı göz hareketleri ve göz bebeği boyutları ölçülmekte iken, GSR ile vücudun en büyük organı olan deri içerisinde yer alan ter bezlerinin değişen faaliyetleri ölçülmektedir. Biyometrik cihazlar genellikle vücuttaki belirli bir fizyolojik değişimi ölçmek üzere tasarlandıklarından, birden fazla biyometrik ölçüm cihazından oluşan bir deneysel platformu senkronize çalışan entegre bir sistem haline getirmek özel çaba gerektirmektedir. Buradaki zorluk sistemi oluşturan cihazların çalışma prensiplerindeki ve yazılımlarındaki farklılıklardan ve ölçülen fizyolojik değişkenlerin çeşitliliğinden kaynaklanmaktadır. Öte yandan, akademik davranış bilimi araştırmalarında, birbirini destekleyen fizyolojik değişken sayısının artırılması ile deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçların ileri sürülen hipotezi destekleme doğruluğu da artar. Bu tez çalışmasında, GSR ve Göz Takibi Cihazı'nı tek bir platformda birleştirerek eş zamanlı verilerin toplaması amaçlanmaktadır. Böylece, iki farklı yazılım ve iki farklı sonucun manuel olarak karşılaştırılması süreçleri otomatikleştirilerek, farklı biyometrik ölçümlerin doğru bir şekilde senkronizasyonu, kullanım kolaylığı ve zaman tasarrufu sağlanmıştır. Ayrıca platformdan elde edilen farklı türlerdeki ham datanın (GSR için sayısal değerler, göz takibi için uyaran videosu ve konum bilgileri alınmaktadır), istenen herhangi bir veri analiz programında kullanılması mümkün olabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Biyometrik, GSR, Göz Takibi, Ortak Platform

SUMMARY

Biometric devices allow the detection of signals generated by human physiological processes by invasive and non-invasive equipment and systems. Biometric measurement methods are encountered from security systems to medical applications in a wide range of different working areas. Biometric methods are frequently used in psychophysiology studies that investigate the relation between human attitudes and behaviors with physical processes thanks to evolving biometric method applications. Among these methods, the Eye Tracking Device and GSR (Galvanic Skin Response) device are two of the most widely used systems. The body reacts to applied internal and external stimuli. The body's response to stimuli is managed by the Central Nervous System and this response is manifested and measured differently in different organs. While eye movements and eye size are measured with the Eye Tracking Device, GSR measures the changing activities of sweat glands in the skin which is the largest organ of the body. Since biometric devices are usually designed to measure a particular physiological change in the body, it must make particular effort to make an experimental platform consisting of more than one biometric measuring device into an integrated synchronized system. The difficulty here is caused due to the differences in the operating principles and software of the devices that make up the system and the variety of measured physiological variables. On the other hand, increasing number of physiological variables supporting each other in academic behavior science researches the accuracy of supporting the hypothesis of the results obtained from experimental studies increase. In this thesis, it is aimed to gather simultaneous data by combining GSR and Eye Tracking Device on a single platform. Thus, manual processing of two different software and two different results has been automated to ensure accurate synchronization of different biometric measurements, ease of use and save the time. In addition, numerical values for different types of raw data obtained from the platform (GSR), stimulus video and location information for eye tracking are taken. In addition, different types of raw data obtained from the platform (numerical values for GSR, stimulus video for eye tracking and location information) can be used in any desired data analysis program.

Keywords: Biometric, GSR, Eye Tracking, Common Platform

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın yürütülmesi sırasında bana her türlü desteği sağlayan, tecrübeleri ile bana yol gösteren, biyogeribesleme cihazları ve ekipmanları konusunda kendimi geliştirme fırsatı veren tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Sertaç EROGLU'na,

Bu tez çalışmasına 2018/46E01 no'lu proje ile destek sağlayan Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu'na,

Araştırmalarım ve çalışmalarım sırasında ufkumu genişleten Nihan Tomris Küçün'e,

Üretkenliğimi arttıran, eğlenceli bir iş ortamı oluşturan ve birlikte çalışmaktan keyif aldığım ETTOM ailesine,

Yoğun çalışma tempomda bana sabır gösteren, her koşulda yanımda duran ve beni destekleyen sevgili eşim Belma Nural Yaman'a,

Hayatımın her alanında, aldığım her kararda desteklerini hiç esirgemeyen sevgili aileme,

Bana ve bu teze emeği geçen herkese çok teşekkür ederim.

CAN YAMAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
2.1. Sempatik Sinir Sistemi	8
2.2. Parasempatik Sinir Sistemi	9
2.3. Homeostasi ve Biyogeribesleme	10
2.4. Galvanik Cilt Tepkisi.....	14
2.5. Göz Takibi Tekniği.....	24
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	31
3.1. Materyal (Cihazlar ve Ekipmanları).....	31
3.2. Yöntem.....	31
3.2.1. Arduino Uno ve Libellium Board.....	33
3.2.2. Gazepoint GP3 HD Cihazı	35
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	38
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	44
KAYNAKLAR DİZİNİ	45

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

EK AÇIKLAMALAR.....	49
Ek Açıklama-A: Arduino Uno İçerisine Yerleştirilen Kod.....	50
Ek Açıklama- B: GSR - Göz Takibi Ortak Platformu, Eye Tracker - Kalibrasyon butonu kodu	51
Ek Açıklama-C: GSR - Göz Takibi Ortak Platformu, Eye Tracker - Veri Toplama butonu kodu	52
Ek Açıklama-D: GSR - Göz Takibi Ortak Platformu, Ekran Görüntüsü butonu kodu ...	53
Ek Açıklama-E: GSR - Göz Takibi Ortak Platformu, Çalışmayı Başlat butonu kodu	63
Ek Açıklama-F: GSR - Göz Takibi Ortak Platformu, Çalışmayı Bitir butonu kodu	65
Ek Açıklama-G: GSR - Göz Takibi Ortak Platformu, Kaydı Göster butonu kodu	66
Ek Açıklama-H: GSR - Göz Takibi Ortak Platformu Sonuçlar, Tüm GSR Grafiğini Göster butonu kodu	68
Ek Açıklama-I: GSR - Göz Takibi Ortak Platformu Sonuçlar, GSR Baseline Filtre butonu kodu	69
Ek Açıklama-İ: GSR - Göz Takibi Ortak Platformu Sonuçlar, SCL Verileri butonu kodu.....	71
Ek Açıklama-J: GSR - Göz Takibi Ortak Platformu Sonuçlar, Peak Değeri Giriniz butonu kodu	72
Ek Açıklama-K: GSR - Göz Takibi Ortak Platformu Sonuçlar, Uyarılma Zaman Aralığı butonu kodu	75

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2. 1. Sinir sistemi organizasyonu.....	5
2. 2. Sempatik Sinir Sistemi (solda) ve Parasempatik Sinir Sistemi (sağda) yolları ve dağılımı.	7
2. 3. Otonom Sinir Sistemi organizasyonunda yer alan sempatik yol	8
2. 4. Otonom Sinir Sistemi organizasyonunda yer alan parasempatik yol	9
2. 5. Elektrodermal aktivitedeki genel deri tepkisi ve fazik değişim grafiği (mho, bir direnç birimi olan ohm'un iletkenliğe çevrilmiş halidir ve 1 μ mho, 1 μ S'e eşittir) ...	17
2. 6. Alışılmadık stres yanıtı neticesinde uyarı sonrasında oluşan yeni tonik seviye.....	19
2. 7. Uyarılma sonrasında gerçekleşen sürekli dinlenme hali	19
2. 8. Belirli aralıklarla alınan uyarılara karşı gevşemenin gerçekleşmediği veya kısa süreli gevşemenin gerçekleştiği durum.....	20
2. 9. Uyarılmalar sırasındaki tepkisizlik hali.....	20
2. 10. GSR'den toplanabilecek en iyi iletkenlik modeli	21
2. 11. Online alışverişlerde internet hızına bağlı olarak değişen GSR sinyalleri.....	23
2. 12. Online alışveriş sitesindeki akıllı saat sayfası.....	26
2. 13. Online alışveriş sitesindeki akıllı saat sayfası için fiksasyon haritası.....	27
2. 14. Online alışveriş sitesindeki akıllı saat sayfası için sıcaklık haritası.....	28
3. 1. Kullanım sırasında ele konumlandırılan GSR cihazı.....	33
3. 2. Libellium mysignals hardware development board	34
3. 3. Gazepoint GP3 HD göz takip cihazı	36
4. 1. GSR ve göz takibi cihazlarının ortak platformu.....	38
4. 2. GSR - Göz Takibi Ortak Platformu ekran görüntüsü.....	41

ÇİZELGELER DİZİNİ**Çizelge****Sayfa**

2. 1.Biyogeri besleme cihazları ve ekipmanları	13
--	----



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

cm	santimetre
Hz	Hertz
Mb	megabit
ms	milisaniye
s	saniye
μ mho	mikromho
μ S	mikroSiemens
°C	santigrat derece

Kisaltmalar

Açıklama

Ach	Asetilkolin
EEG	Elektroensefalografi
EKG	Elektrokardiyografi
GSR	Galvanik Cilt Tepkisi
MSS	Merkezi Sinir Sistemi
NE	Norepinefrin
OSS	Otonom Sinir Sistemi
PCCR	Göz Merkezi Kornea Yansıması
PSS	Periferik Sinir Sistemi
SCL	Deri İletkenlik Seviyesi
SCR	Deri İletkenlik Cevabı
SSS	Somatik Sinir Sistemi

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Canlılar, yaşamları boyunca çevreden gelen uyarılara maruz kalmaktadırlar. Işık, sıcaklık, koku, ses, basınç canlıların çevreden aldıkları en yaygın uyarıcı çeşitleridir. Özelleşmiş reseptör hücreler tarafından algılanan bu uyarılar, vücutta bazı cevapların ve fizyolojik reaksiyonların başlamasını tetiklemektedir. Bu süreç görme süreci için düşünüldüğünde, cisimden yansıyan ışınlar kornea, göz bebeği ve göz merceğinden geçerek retinadaki fotoreseptörlere ulaşmaktadır (Carlson, 2018). Burada ışık şiddetine bağlı elektrokimyasal sinyaller oluşmakta ve görme sinirleri ile beyin görme merkezine taşınmaktadır. Beyin tarafından algılanan görüntü beyin diğer bölgelerinde değerlendirilerek vücut görüntü uyarısına karşı çeşitli cevaplar oluşturur. Görsel uyarıcı göz bebeğinin genişlemesine veya daralmasına, tükürük salgısının artmasına ya da kalp atışının düşmesi gibi pek çok tepkiye neden olabilmektedir. Uyarılar canlıdaki duyu durumu üzerine de etki edebilmekte ve stres, heyecan, üzüntü gibi duyu durumları ortaya çıkabilmektedir. Yukarıda bahsedildiği gibi bu süreçlerin tetiklenmesinde fotoreseptörler görev almakta ve yalnızca ışık şiddeti ile uyarılabilmekte, sıcaklık ya da ses gibi uyarılardan etkilenmemektedir. Buna benzer olarak vücudun çeşitli bölgelerinde özelleşmiş reseptör hücreleri bulunmaktadır ve uyarılan türüne göre çeşitli fizyolojik süreçler başlamaktadır. Bu süreçler, Merkezi Sinir Sistemi'nin kontrolünde yönetilmekte, refleksleri, karar verme mekanizmalarını, vücut hareketlerini ve sonuçta hedef doku ve organları etkilemektedir. Etkilenme neticesinde organlar normal faaliyetlerinin dışına çıkmaktadırlar. Göz bebeğinin genişlemesi veya tükürük salgısının artması bu nedendir. Doku ve organların önceki yani normal işlevlerine geri dönebilmesi için biyogeribesleme mekanizmaları devreye girmektedir.

Bahsedilen süreçler, bilinçli ve bilinçsiz olarak gerçekleşmektedir. Özellikle “insan”ın özne olarak bulunduğu, tüm çalışmalarda ve bilim dallarında bu süreçler araştırılmaya ve anlamlandırılmaya çalışılmaktadır. Biyogeribesleme mekanizmalarının etkin olduğu bu fizyolojik reaksiyonlar sırasında ortaya çıkan biyosinyallerin tespitinde biyometrik cihazlar kullanılmaktadır. Uyarılara karşı oluşan bilinçli ve bilinçsiz tepki süreçlerinin birlikte izlenmesini olanaklı hale getiren biyometrik cihazlar, tıp ile mühendislik bilgilerinin bir arada getirilmesiyle oluşturulmaktadır. Örneğin, bir uyarıdan

dolayı ortaya çıkan strese veya heyecan duygusuna bağılı olarak vücuttaki ter bezleri, merkezi sinir sistemi tarafından aktive edilerek terleme olayı gerçekleşir. O halde biyometrik yöntemler kullanılarak ter bezlerinin aktive olduğunun ölçülmesi o anda kişinin maruz kaldığı uyarının kişide stres ve heyecan gibi duygu durumu değişikliğine neden olduğu söylenebilmektedir. Stres ve heyecan durumlarının değişim düzeyine bağılı bir araştırma yapılmak istendiğinde, biyometrik cihazlar kullanılabilir. Terlemeye bağılı olarak cilt yüzeyinde iyon dengesi değişmekte ve dolayısıyla cildin elektriksel iletkenliğinde bir artış veya azalış meydana gelmektedir. Bu değişime sebep olan fizyolojik ve homeostatik süreçlerin araştırılmasında başta sinir sistemi olmak üzere rol oynadığı düşünülen diğer doku ve organ sistemleri doğrudan ya da dolaylı olarak biyometrik cihazlar tarafından incelenebilmektedir.

Ter bezlerinin faaliyeti, Sempatik Sinir Sistemi tarafından kontrol edilir ve sempatik aktivitelerin artması ile ter sıvısı cilt yüzeyine salınır. Ter içeriğine bağılı olarak cilt yüzeyinde iyon dengesi değişir ve bu durum cildin elektrik iletkenliğini değiştirir. Cilt iletkenliğinde meydana gelen değişimlerin incelenmesinde sıklıkla kullanılan biyometrik cihazlardan biri GSR (Galvanic Skin Response -Galvanik Cilt Tepkisi-)’dir. GSR, ciltte ter bezlerinin aktive olmasına bağılı olarak değişen pozitif ve negatif iyon dengesini tespit etmeyi sağlar. Gerçekleşen fizikokimyasal reaksiyonların ve duygusal süreçlerin, Sempatik Sinir Sistemi tarafından nasıl etkilendiğini doğrudan ölçmenin zorluğundan dolayı, duygusal durum değişikliği dolaylı olarak doku ve organların uyarana karşı gösterdikleri tepkileri ölçülmesi yoluyla belirlenir. Bu dolaylı ölçümü gerçekleştirilmek amacıyla GSR cihazı kullanılmaktadır. GSR cihazı ile ter bezlerinin aktivasyon düzeyi, cilt iletkenliğindeki değişimin ölçülmesi yoluyla incelenmektedir. Bu bağlamda GSR cihazı, duygu durumundaki değişimleri yani Sempatik Sinir Sistemi’nin aktiflenip aktiflenmediğini araştırmacıya “var” ya da “yok” şeklinde göstermektedir. Sadece 2 şekilde yorumlamada bulunulduğundan günümüzde GSR cihazı, özellikle davranış bilimleri çalışmalarında destekleyici bir biyometrik cihaz olarak kullanılmaktadır. Göz takibi cihazı ise, hem nicelik hem de nitelik olarak kullanıcıya daha fazla bilgi sunan bir biyometrik cihazdır. Dış çevreden gelen uyarılara karşı göz bebeğinin çapının incelenmesi dışında göz hareketlerinin de takibinin yapıldığı bu cihazla, dikkat, odaklanma, farkındalık gibi bilinçli ve bilinçsiz süreçler üzerine yorumlar yapılabilir.

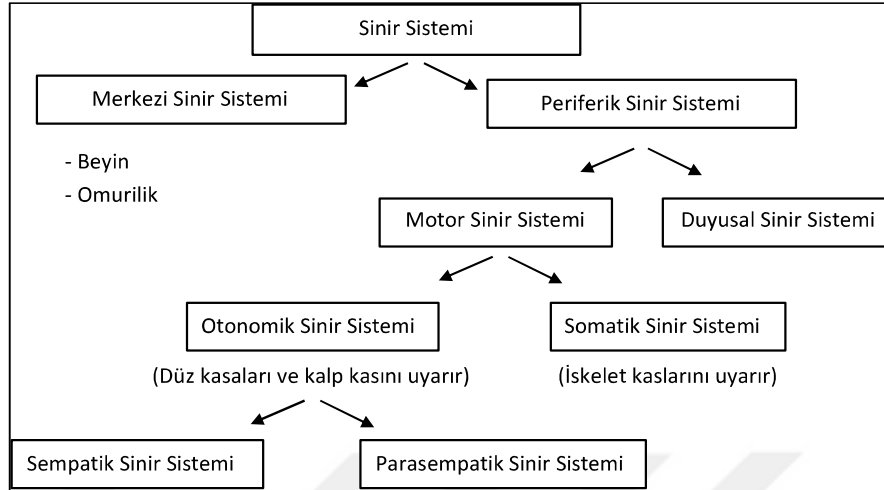
Göz organımız, dış uyaranlara karşı milisaniyeler mertebesinde tepki vermektedir. Göz takibi cihazları, temelinde göz bebeğinin büyüklük değişimini ve çevresel uyaranlara karşı odaklanma zamanı hakkında anlık bilgiler sağlayan bir biyometrik cihazdır. Laboratuvar çalışmalarında genellikle bir ekranda uyaranlar verilmekte (görseller, video ve/veya kullanıcı deneyimi için hazırlanan uygulamalı deney tasarımları vb.) ve göz hareketleri, uyaran görüntüleri ile birlikte kaydedilmekte, video halinde kullanıcıya çıktı olarak sunulmaktadır. Değerlendirmeler kaydedilen videonun incelenmesiyle olmakta ve yorumların doğruluk payının arttırılması için diğer biyometrik cihazlardan elde edilen veriler ile desteklenebilmektedir. Bunun için göz takip ve GSR cihazının birlikte kullanılması ve eş zamanlı veri toplaması gerekmektedir.

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi'nde kurulumu tamamlanan ve kısa süre önce faaliyete geçen Davranış Bilimi ve Biyometrik Ölçüm Laboratuvarı'nda birçok biyometrik cihaz ve yöntem kullanılmaktadır. GSR ve göz takip cihazının da bulunduğu bu biyometrik cihazlar, farklı üreticiler tarafından tedarik edildiklerinden kendi yazılımları ile kullanılmaktadır ve elde edilen verileri zamansal olarak örtüştürülmeye çalışılmaktadır. Burada deney tasarımına ve kullanıcının test sırasında aldığı notlara bağlı kalınarak, uyaranların verilme zamanı ve süresi dikkate alınmaktadır. Göz takibinden, uyaran videosu üzerindeki göz bebeği konumları kaydedilirken, GSR ile deri iletkenliği verileri sayısal olarak toplanmaktadır. Bu doğrultuda GSR'den elde edilen sayısal verilerle bir grafik oluşturmakta ve göz takibinden elde edilen video ile de yorumlanmaktadır. Yorumlama işlemlerinde kullanıcı, videoyu çalıştırarak GSR grafiğinin ilgili alanlarını belirlemekte ve varsa hataları ayıklamaktadır. Tez çalışmamda, GSR ve göz tabiki verilerini eş zamanlı olarak tek bir platformda birleştirmeyi, GSR verilerini yazılım üzerinden filtrelemeyi, çalışmanın hemen sonrasında önemli GSR verilerini sunmayı ve bunları ilgili zaman aralığındaki göz takibi videosu ile eşleştirerek göstermeyi amaçlamaktayım. Bu platform Matlab ortamında oluşturulduğundan ve açık kaynak kodlu olarak sunulduğundan, laboratuvardaki diğer biyometrik cihazların zamanla entegrasyonuna ve mevcut programın yazılımının geliştirilmesine olanak sağlamaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Canlı vücudunda, temel ihtiyaçların karşılanması için gerekli enerjinin üretilmesi, depolanması ve harcanması yönünden gerçekleştirilen fiziksel ve kimyasal olayların tümüne metabolizma denir. Büyüme, gelişme, hareket etme, ısı üretme ve ısıyı belirli bir seviyede koruma gibi yaşamsal etkinlikleri sürdürmede metabolizma etkindir ve metabolik olayların hassas ve sürekli bir şekilde düzenlenebilmesi için iç dengenin korunması gerekmektedir. Korunma, doku ve organların normal faaliyetlerini yerine getirmesi olarak tanımlanırken, çevrede meydana gelebilecek değişimler veya alışılmadık uyaranlar ile birlikte bu rutinin dışına çıkabilmektedirler. Sinir sisteminin yönetiminde bu duruma karşı bir vücut yanıtı oluşturulmakta ve iç dengenin kararlı tutulabilmesi için, süreç içerisinde faaliyet gösteren hücre, doku ve organlar ile bunların karşılıklı ilişkilerine en uygun cevaplar verilmektedir (Laureys vd., 2016). Sinir sistemi, dış uyaranlara karşı cevap oluşturmak için çevresel uyaranları algılama, iletme ve değerlendirme görevlerini üstlenmektedir.

Sinir sistemi, doğanın en kompleks yapısı olan beyni ve trilyonlarca sinaps ile birbirine bağlanan milyarlarca nöronu barındırır. Bu bileşenler arasındaki etkileşimler, basitçe sinyallerin alınıp cevapların gönderilmesi şeklinde ifade edilse de asıl karmaşıklık, bunların sürekli ve sınırsız bir şekilde devam etmesinden kaynaklanmaktadır (Laureys vd., 2016; Carlson, 2018). Tüm vücuda yayılmış olan sinir sistemi, iki fonksiyonel başlık altında incelenebilir: Merkezi Sinir Sistemi (MSS) ve Periferik Sinir Sistemi (PSS). Şekil 2.1.'de Sinir sistemi organizasyonun temel yapıları gösterilmektedir. MSS, beyin ve omurilik ile sinir sisteminin en büyük bileşenini oluşturmakta, PSS ise beyni ve omuriliği deriye, kaslara ve organlara bağlayan sinir ağını kapsamaktadır.



Şekil 2. 1. Sinir sistemi organizasyonu

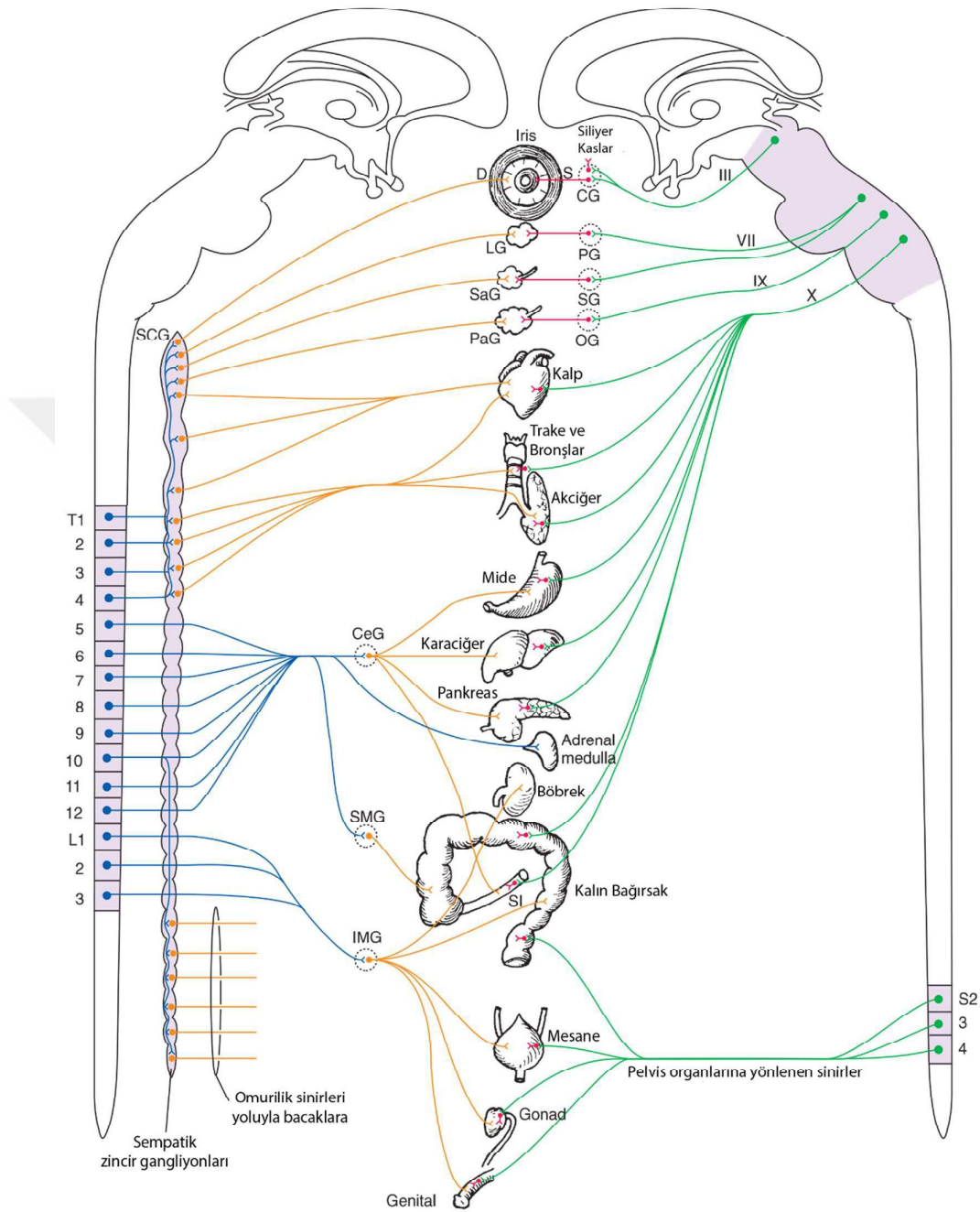
Sinir sisteminde bulunan reseptörler, çevreden veya vücut içerisinde gelen uyarıları toplamaktadır. Özelleşmiş sensör reseptörlerinden (duyma, görme, denge, tat veya koku gibi), somatik sensör reseptörlerinden (acı, basınç, dokunma, sıcaklık hissi, eklem ve iskelet kaslarının izlenmesi gibi) ve iç organların sensör reseptörlerinden (solunum, boşaltım, kardiyovasküler veya sindirim sistemleri gibi iç organların izlenmesi) toplanan sinyaller, Periferik Sinir Sistemi ile Merkezi Sinir Sistemi'ne iletilmektedir. Bu amaçla görev alan hücreler afferent yani duysal sinir hücreleridir. MSS'de bilgiler işlenerek motor komutlar yani cevaplar oluşturulmakta, efferent yani motor sinir hücreleri ile uyarılar MSS'den kaslara ve salgı bezlerine yani hedef organlara ve dokulara iletilmektedir. Burada yer alan internöronlar yani ara nöronlar ise afferent ve efferent nöronlar arasında bulunmakta ve yapılarındaki nörotransmitterler ile uyarılmaya veya inhibisyona (bastırılmışlığa) neden olmaktadır. Sinyalin iletimi neticesinde, Somatik Sinir Sistemi (SSS) ile iskelet kasları, Otonom Sinir Sistemi (OSS) ile de salgı bezleri, kardiyak ve düz kaslar uyarılmaktadır (Koçyiğit, 2013). OSS, istemsiz süreçleri yürütmekle SSS'den ayrılmakta ve iç dengenin sağlanmasında büyük bir rolü oynamaktadır.

Otonom Sinir Sistemi, kardiyak ve düz kaslar ile salgı bezlerinin istemsiz kontrolünü yürütür. Kalp atışının düzenlenmesi, göz bebeğinin büyüüp küçülmesi, terleme, yiyeceklerin dinlenme halindeyken sindirilmesi, kanın aktif kaslara yönlendirilmesi gibi faaliyetlerde görev almaktadır. Bahsedilen süreçlerde, hedef organın etkinliğinin artırılması ve azaltılması, Sempatik ve Parasempatik Sinir Sistemleri ile gerçekleştirilir. Bir üçüncü

olarak Enterik Sinir Sistemi de mevcuttur fakat diğer yapılar kadar çok bilinmemektedir. Bu sistem ise yalnızca sindirim kanallarının duvarlarında bulunan, MSS'den bağımsız bir Otonom Sinir Sistemi üyesidir. Bağırsak ve MSS arasındaki bağlantı yokluğunda bile kendi kendine işlevlerini devam ettirdiği bilinmektedir (Carlson, 2018).

Sempatik ve Parasempatik Sinir Sistemleri'nin daha iyi anlaşılabilmesi için öncelikle bazı temel terimlerin tanımlanması gerekir. Periferik Sinir Sistemi'ndeki nöron topluluklarına gangliyon denir. Sempatik ve parasempatik sistemlerin terminal nöronları ise gangliyonlarda bulunur. Terminaller, sinir hücrelerinin aksonlarındaki düğme görünümlü yapılardır ve buralarda diğer nöronlara bilgi gönderilmesi için bağlantılar (snaps'lar) oluşturulmaktadır. Gangliyonlardaki sinir hücreleri, aksonlarını hedef organlara iletiyorsa postgangliyonik nöronlar olarak isimlidir. Beyin sapından veya omurilikten, postgangliyonik nöronlara aksonlarını uzatan sinir hücrelerine de pregangliyonik nöronlar adı verilmektedir (Carlson, 2018).

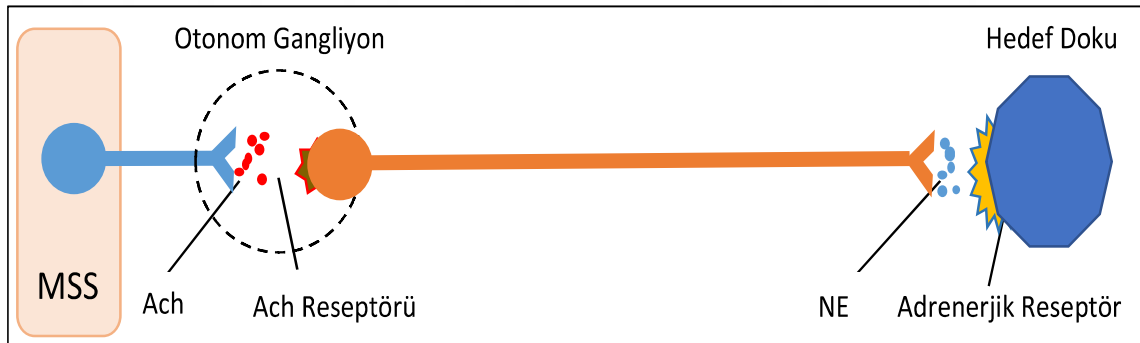
Otonom Sinir Sistemi, hedef organ ve dokulara ulaşmak için sempatik ve parasempatik yollar kullanmakta ve homeostatiği dengeleyici etkiler oluşturmaktadır. Bahsedilen terimlerin OSS'deki yerleri ve yolları, Şekil 2.2.'de ayrıntılı olarak verilmeye çalışılmıştır. SSS'i, şeklin sol tarafında gösterilirken PSS, şeklin sağ tarafında yer almaktadır. Pregangliyonik nöronlar mavi ve yeşil renklerde, postgangliyonik nöronlar ise turuncu ve kırmızı renklerde gösterilmiştir. SSS'nde gangliyonlar, MSS'ni dışındadır ve buradaki pregangliyonik nöronlar, omuriliğin torasik ve lomber bölgelerinde bulunmakta, omuriliğin her iki tarafından paralel olarak ilerlemektedir. PSS'nin nöronları ise, beyin sapından ve omuriliğin sakral bölgesinden çıkıp vücuda dağılmaktadır. Buradaki pregangliyonik nöronlar, sempatik sistemdekilere oranla daha uzundur ve hedef dokulara daha yakın noktalarda postgangliyonlarla sinapslanır.



Şekil 2. 2. Sempatik Sinir Sistemi (solda) ve Parasempatik Sinir Sistemi (sağda) yolları ve dağılımı. CeG, çölyak gangliyon; CG, siliyer gangliyon; D, pupil (göz bebeği) dilatör; IMG, alt mezenterik gangliyon; LG, lakrimal bez; OG, otik ganglion; PaG, parotis bezi; PG, pterigopalatin gangliyon; S, pupiller sfinkter; SaG, submandibular ve dil altı tükürük bezleri; SCG, üstün servikal ganglion; SG, submandibular ganglion; SMG, üstün mezenterik ganglion (Vanderah ve Gould, 2016).

2.1. Sempatik Sinir Sistemi

Torasik ve lomber bölgelerinden çıkan çoğu SSS'nin pregangliyonik nöron kısadır ve birçok farklı gangliyon ve postgangliyonik nörona sinaps yapabilir. Bağlantı noktalarından sonra SSS'nin sinyal iletim yolları 20 kat artmakta, yoğun bir çevresel yayılım ağı ortaya çıkmaktadır. Bu sayede hemen hemen her doku ve organ sistemini uyararak nöronal ve/veya hormonal yanıtlar oluşturur. Snaps yapmayan daha uzun pregangliyonik nöronlar ise bu anlamda en geniş çaplı periferel (çevresel) yanıtı ortaya çıkarabilmektedir. Şekil 2.2.'de adrenal medullaya ve glanüler dokulara direkt ulaşan pregangliyonik nöronlar sayesinde, bu bölgelerde oluşan salgılar dolaşım sistemine katılabilmekte ve vücuttaki tüm Sempatik Sinir Sistemi hedef dokuları uyarabilmektedir (Laureys vd., 2016; Carlson, 2018; McCorry, 2007). Şekil 2.3.'de Sempatik Sinir Sistemi'nin oluşturduğu nöral sinyal iletim yolu verilmektedir. Aşağıdaki gösterimde, Şekil 2.2.'ye bağlı kalınarak renkler ayarlanmıştır. SSS'nin primer nörotransmitteri norepinefrin (NE) diğer bir ismiyle noradrenalindir ve uyarıların hedef dokuya iletilmesinde görev almaktadır.



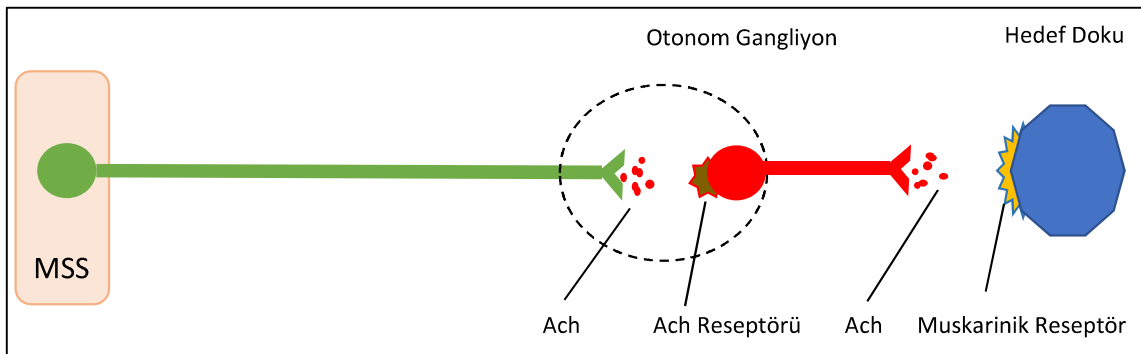
Şekil 2. 3. Otonom Sinir Sistemi organizasyonunda yer alan sempatik yol

Sempatik Sinir Sistemi postgangliyonik nöronları, omuriliği oluşturan liflerin %8'inde ve 31 çift omurga sinirinin her biri içinde yer almaktadır. Bu yapısından dolayı, ter bezleri ve kan damarları (arterioller başta olmak üzere tüm kan damarlarının vasküler düz kas tonusu sadece Sempatik Sinir Sistemi tarafından etkilenir) da dahil cildin tüm hedef dokularına ulaşmaktadır. Buna ek olarak terleme olayının sadece sempatik sistem tarafından düzenlendiği bilinmektedir (McCorry, 2007). “Savaş ya da kaç” olarak bilinen ve duygulara göre tepki gösteren Sempatik Sinir Sistemi, heyecan, sevinç, korku, öfke gibi durumlarda etkisini artırarak terlemede, kalp atışında ve kan basıncında artışa neden olmakta, glikoz

üretimini uyarmakta, göz bebeklerini genişletmekte, kanı iskelet kaslarına yönlendirmekte ve bunun gibi birçok süreci tetiklemektedir.

2.2. Parasempatik Sinir Sistemi

PSS'ndeki pregangliyonik nöronlar, beyin sapından ve omuriliğin sakrum bölgelerinden çıkmakta ve postgangliyonik nöronlara göre daha uzun olmaktadır. Postgangliyonik nöronlar ve terminal gangliyonlar hedef organlara daha yakın hatta gömülü olarak bulunduklarından sempatik sisteme oranla daha lokal faaliyet göstermektedir. Bu sayede sempatik sisteme göre daha hızlı uyarılmalar gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca sistemin pregangliyonik sinirleri ile postgangliyonik sinirleri vücutta 1'e 3 oranda dağılım göstermektedir. Beyin sapından çıkan parasempatik lifler, bu sinir sisteminin %75'ini oluşturmakta ve yaygın dağılımı ile fizyolojik açıdan büyük önem taşır. Sakral bölgesinden çıkan lifler ise pelvik sinirleri oluşturmaktadır. Böbrek ve üreme sistemleri organları ile kalın bağırsağın alt yarısını uyarmaktadır. Uyarılmalarda primer nörotransmitter olarak asetilkolin (Ach) salgılanmaktadır. (Laureys vd., 2016; Carlson, 2018; McCorry, 2007; Vanderah ve Gould, 2016; Shaffer ve Moss, 2014). Şekil 2.4.'de Parasempatik Sinir Sistemi'nin oluşturduğu nöral sinyal iletim yolu verilmektedir.



Şekil 2. 4. Otonom Sinir Sistemi organizasyonunda yer alan parasempatik yol

Parasempatik Sinir Sistemi, fonksiyonel olarak sempatik sistemi dengeleme eğilimindedir ve sempatik sistem aktifledikten sonra ortaya çıkmaktadır. İstirahat halindeyken parasempatik sistem daha aktiftir ve metabolizmanın enerji sarfiyatını düşürmektedir. Bu durum “dinlen ve sindir” olarak da bilinir. Parasempatik sistem aktifken,

kalp atışları yavaşlamakta, pankreastan insülin salgılanmakta, gözbebeği küçülmekte, bağırsak salgıları ve hareketleri artmaktadır (McCorry, 2007; Vanderah ve Gould, 2016).

2.3. Homeostasi ve Biyogeribesleme

Homeostasi, canlılar tarafından sürdürülen istikrarlı iç dengenin korunması ve vücut içerisinde gerçekleşen kimyasal reaksiyonların sabit ve kararlı tutulmasıdır. Burada dinamik bir denge söz konusudur. Bu dinamik denge fiziksel aktivite, diyet, yüksek ortam sıcaklığı gibi değişikliklere rağmen korunmakta ve vücut ısısı, sıvı dengesi, hücreler arası pH değeri ve iyon bileşimi ve kan şekeri seviyesinin konsantrasyonu belirli bir seviyede tutulmaktadır. Bu değişkenlerin ve vücut tepkilerinin her biri, yaşamı koruyan bir veya daha fazla düzenleyici ve homeostatik mekanizma tarafından kontrol edilmektedir. Mekanizmalar, bahsedilen koşullara karşı optimal değişim ile doğal bir direnç ile ortaya çıkarmakta ve denge korunmaktadır (Shaffer, ve Moss, 2014). Örneğin, memelilerdeki arteriyel kan basıncı, homeostatik olarak kontrol edilmektedir ve damar duvarlarındaki gerilme reseptörleri ile ölçülmektedir. Sensörler, beynin ilgili bölgesine (medulla oblongata) duyuusal sinirler yoluyla, kan basıncının düşüp düşmediğini veya ne kadar arttığını gösteren mesajlar göndermektedir. Medulla oblongata daha sonra otonom sinir sistemine ait olan motor veya efferent sinirler boyunca mesajları kan basıncındaki hatayı tersine çevirmek için etkinliği değiştirilen çok çeşitli efektör organlara dağıtır. Efektör organlardan biri, arteriyel kan basıncı düştüğünde hızının yükselmesi (taşikardi) veya basınç ayar noktasının üstüne çıktığında yavaşlaması (bradikardi) yönünde uyarılan kalptir. Diğer bir örnek, terleme oranıdır. Vücudun merkez ısısının yükselmesi, termoreseptörler tarafından tespit edildiğinde, ciltteki ter bezleri sempatik sinirler yoluyla uyarılır ve cilt yüzeyine ter verilmesine neden olmaktadır. Ayrıca cilde yakın bölgelerdeki kan damarları genişleyerek, terin buharlaşmasıyla oluşan sıcaklık azalması dolaşım sistemi ile vücut merkezine taşınmaktadır. Pek çok omurgada alternatif bir şekilde hızlı hızlı nefes alıp vermek de etkilidir ve vücudu suyun buharlaşmasıyla soğutmaktadır. (Longo, ve Montevil, 2014; Tortora, ve Anagnostakos, 1987).

Yukarıda bahsedilen homeostatik mekanizmaların görevleri ve işlevleri çeşitlendirilebilir. Genel olarak, dışarıdan gelen bir uyarıya karşı (sıcaklık, ışık, gürültü, görsel vb.) vücut stres oluşturursa, homeostatik mekanizmalar (biyogeribesleme -

biofeedback- mekanizmaları) bu stresi karşılamakta ve vücut içerisindeki etkileri normale döndürmeye çalışmaktadır. Eğer vücut içerisindeki stres yanıtı devam ederse ve kararlı durum korunmazsa çeşitli rahatsızlıklar meydana gelebilmektedir. Kanda artan şeker oranının düşürülmesi, üşüyen vücutta titremenin artması, karanlıkta göz bebeklerinin genişlemesi bir stres yanıtı olarak düşünülebilir. Uyarıların ortadan kalkması ya da aksi duruma doğru değişmesi (karaciğerdeki glikojenin yıkımı, oda sıcaklığının artırılması veya ortamın aydınlatılması gibi) sonrasında iç denge ve süreçler normale dönmüyorsa hipoglisemi, tremor gibi rahatsızlıklar ortaya çıkabilmektedir. Bahsedilen anormallikler biyogeribesleme mekanizmaları tarafından ortadan kaldırılarak homeostatik düzen sağlanır. Bu doğrultuda biyogeribeslemeyi, fizyolojik aktivitenin dış ortamlara ve uyarılara karşı optimum vücut performansının düzenlenmesi olarak da tanımlanabilir (Khazan, 2013).

Dış uyarılara karşı verilen fizyolojik tepkilerin algılanması ve ölçülmesi için biyometrik cihazlar geliştirilmektedir. Fizyolojik süreçlerin zayıf sinyallerinin, hassas bir şekilde tespit edilmesi ve toplanması için tasarlanan bu cihazlar, biyomedikal mühendislik prensiplerini barındırır. Sıcaklık, cilt iletkenliği, göz bebeği tepkileri, beyin dalgaları, tansiyon, kas tonusu, kan oksijen oranı gibi metabolik bilgiler, bu bilgilerin toplanmasına olanak sağlayan türde sensörlerle donatılmış cihazlar tarafından toplanır. (Shaffer ve Moss, 2014; Vincent ve Barlow, 2009). Özellikle ter bezleri aktivitesinin ölçülmesi gibi doğrudan izlenmesi zor olan süreçler, biyometrik cihazların kullanımı ile dolaylı olarak (terlemeye bağlı cilt iletkenliğinin değişmesi) ölçülmesi mümkün olabilmektedir. Cilt iletkenliği ölçümü gibi dolaylı yoldan veya nabız gibi doğrudan toplanan verilerle, dış uyarılara karşı geliştirilen fizyolojik süreçler araştırılabilir (Olton ve Noonberg, 1980).

Fizyolojik süreçlerin ve bunların fiziksel ya da duygusal yansımalarının araştırıldığı konularda çeşitli biyometrik cihazlar kullanıldığından bahsedilmişti ve genellikle EEG (elektroensefelografi), EKG (elektrokardiyografi), göz takibi, cilt iletkenliği, termal görüntüleme, nabız oksimetre gibi cihazlar ve ekipmanlar kullanılmaktadır. Çizelge 2.1.'de Eskişehir Osmangazi Üniversitesi'nde stratejik altyapı projesi kapsamında kurulan ve BAP komisyonu tarafından 2018/46E01 no'lu proje ile desteklenen Davranış Bilimi ve Biyometrik Analiz Laboratuvarı'nda bulunan cihazların çalışma prensipleri, ilgili modül ve/veya parçaları, ilişkili biyometrik sinyalleri ve bu sinyallerin hangi süreçleri tetiklediği ile hangi anlamlara geldiği listelenmiştir. Aşağıdaki tabloda EEG (elektroensefelografi),

beynin elektriksel aktivitesinin ölçülerek yorumlanmasına yönelik çalıştığından sıklıkla nörometrik bir yöntem olarak isimlendirilmektedir (Ohme vd., 2009). Diğer cihazlar ve yöntemler ise davranışsal ve fiziksel özelliklerin belirlenmesine dair ölçümleri yaparak, bu ölçümlerin yorumlanması ve istatistiksel ilişkilerin kurulmasına olanak sağlamaları nedeniyle biyometrik analiz yöntemleri olarak adlandırılmaktadır.

Davranış Bilimi ve Biyometrik Ölçüm Laboratuvarı'nda şu ana kadar yürütülen çalışmaların büyük bir kısmında GSR ve göz takibi cihazları kullanılmaktadır. Kullanım kolaylıkları nedeniyle, tüm test çalışmalarına rahatlıkla dahil edilebilmektedir. GSR, 2 adet sensörün parmak uçlarına yerleştirilmesi sayesinde, bilişsel ve duygusal süreçte Sempatik Sinir Sistemi'nin etkisiyle ciltte oluşacak bir elektriksel iletkenlik değişiminin ölçülmesi prensibine dayanan, girişimsel olmayan yüzeysel bir biyometrik ölçüm yöntemidir. Göz izleme tekniği ise temel olarak gözbebeği boyutlarını ve göz hareketlerini kızılötesi bir ışınla takip eden bir donanımdan ve buradan gelen verileri gruplandırarak yorumlayan bir yardımcı yazılımdan oluşmaktadır. Sözel veri işleme, hafıza, dikkat, sosyal biliş ve karar verme süreçleri gibi birçok bilişsel süreç için kullanılabilen bir teknolojidir.

Çizelge 2. 1.Biyometrik cihazlar ve ekipmanları

Cihaz	Ölçülen Aktivite	Modül ve Parçalar	Ölçülen Biyometrik Sinyal	İlişkili Davranış
Göz Takibi	Kornea refleksleri, göz bebeği hareketleri ve genişlemesi	Göz bebeğinden yansıyan kızılötesi ışırtı tespit eden kamera	Göz hareketleri (bakış haritası, sıçramalar, odaklanmalar, sabitlemeler), göz kırpmalar, göz bebeğinin büyümesi	Görsel dikkat, konuyla ilgilenme, duygusal uyarılma, uyuşukluk, yorgunluk
Mimik Analizi	Yüz kasları ve kas gruplarının aktiviteleri	Webcam ve analiz yazılımı	Başın ve yüzün konumu, duruşu, karakteristik duygusal mimikler, harekete geçme sinyalleri	Duygusal süreç ve durum, ilgilenim
Cilt İletkenliği	Cilt yüzeyinde terlemeye bağlı iletkenlik değişimleri	Avuç içine yakın parmak boğumlarına yerleştirilen elektrotlar ve very toplama modülü	Cilt iletkenliği tepkisi ve düzeyi	Duygusal uyarılma, stres, rahatlık, ilgilenim
Nabız Oksimetre	Parmak ucundan akan kanın hacmindeki değişiklikler ve oksideoksi hemoglobin oranı	Kızılötesi ışın ve dedektör, fotopletismografi tabanlı optic sensör	Nabız, kandaki oksijen oranı	Duygusal uyarılma, fiziksel aktivite, stres
EKG	Kalp kasılmalarından kaynaklanan elektriksel aktivite	Göğüse yerleştirilen elektrotlar	Nabız, kalp atış hızı değişimi ve düzensizlikler	Duygusal uyarılma, fiziksel aktivite, stres
Tansiyon Sensörü	Atardamarlardaki diyastolik ve sistolik kan basıncı	Pazuya yerleştirilen tansiyon modülü	Atardamarda oluşan basınç seviyesi, nabız	Duygusal uyarılma, fiziksel aktivite, yorgunluk, stres
Vücut Sıcaklığı	Deri yüzey sıcaklığı	Cilde yerleştirilen sabit sıcaklık sensörü	Deride oluşan sıcaklık değişimleri	Duygusal uyarılma, fiziksel aktivite, stres, endişe, korku, rahatlatma hisleri
EMG	Kas kasılmalarından kaynaklanan elektriksel aktivite	Kas bölgesine yerleştirilen elektrotlar	Kas kasılmaları ve gevşemeleri	Fiziksel aktivite, duygusal uyarılara cevap verme
Nefes Alma Sıklığı	Burun ve ağızdaki hava giriş çıkış süresi ve derinliği	Burun ve ağız kısmına yerleştirilen sensörler	Nefes alma sızı, sıklığı ve derinliği	Duygusal uyarılma, fiziksel aktivite, yorgunluk
Termal Görüntüleme	Vücut yüzeyinde anlık değişen bölgesel sıcaklıklar, mimik ve yüz hareketleri	Termal kamera ve bilgisayar yazılımı	Derideki bölgesel sıcaklık farklılıkları ve değişim hızları	Duygusal uyarılma, fiziksel aktivite, stres, heyecan, endişe, yorgunluk, hisleri, dikkat, ilgilenim
EEG	Beyinde oluşan elektriksel aktivite değişimleri	Scull cap başlık (Kafatasına yerleştirilir) ve 32 elektrot	Dalga boyları (alfa, beta, gama, teta, delta), osilasyonlar, olaya ilişkin ve uyarılmış potansiyeller, x-y-z baş hareketleri	Dikkat, duygusal uyarılma, motivasyon, bilişsel ve duygusal süreçler, motivasyon, uyuşukluk, yorgunluk vb.

2.4.Galvanik Cilt Tepkisi

GSR, ter bezlerinin aktiflik düzeyini, cilt iletkenlik değerlerinin değişimi olarak yani dolaylı olarak ölçebilmektedir. Bu fizyolojik süreçte; salgılanan ter miktarı, ter bezlerinin aktifliği ve süresi cildin yüzeysel elektrik iletkenliğini değiştirmektedir. Ter bezlerinin aktivasyonu ile birlikte ter sıvısı ter bezi kanallarından cildin yüzeyine atıldığından, ter bezlerinin aktive olduğu cilt bölgesinde kuru cilde nazaran iletkenlik daha farklı olacaktır. Cilt iletkenliğinin değişmesindeki en büyük etken, ter içeriğindeki tuz yani sodyum klorürün cilt yüzeyinin iyonik dengesini değiştirmesidir. Sodyum klorür haricinde çeşitli miktardaki mineraller, laktik asit ve üre de vücut dışına salınmaktadır (salınım sırasında sodyum klorürün bir kısmı geri emilmektedir).

Cilt yüzeyinde terlemeyle birlikte salınan elektrolitler neticesinde cildin negatif ve pozitif iyon dengesi değişir. Ter içeriğinde, fiziksel aktiviteye bağlı olarak oranları değişken olsa da genel olarak, sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, protein, şeker ile eser elementlerden olan çinko, bakır, demir, krom, nikel ve kurşun yer almaktadır. Milimolar düzeyinde ise 147-151 sodyum, 124 klor, 15-20 laktik anyon, 10-15 bikarbonat, 5 potasyum, az miktarda üre ve aminoasit içermektedir. Yukarıda bahsedilen ve terin kanalda ilerlemesi sırasında sodyum klorürün bir kısmı geri emilmesiyle ter, cilt yüzeyinde 0.015-0.06 milimolar sodyum klorür konsantrasyonu ile hipotonik bir sıvı olarak ortaya çıkar (Montain vd., 2007; Saraymen vd., 2004; Esen, 2000).

Vücutta süregelen metabolik faaliyetlerin kesintisiz gerçekleştirilmesi için vücut sıcaklığı önemli bir parametredir ve vücut sıcaklığı değerinin optimum bir aralıkta bulunması hayati bir önem taşır. SSS tarafından dış ortam koşullarına ve fiziksel aktivitelere bağlı olarak değişen vücut sıcaklığı bazı düzenlemeler ile optimum aralıkta tutulmaya çalışılmaktadır. Bu sayede homeostatik dengenin korunması amaçlanmaktadır. Ter bezleri; limbik sistemin amigdala ve hipokampus bölgelerinden davranışsal (duygusal) termoregülasyon olarak etkilenirken, fizyolojik termoregülasyon düzenlemelerinde hipotalamustan etkilenmektedir. Termoregülasyon, iç ve dış uyaranlar nedeniyle vücut ve dolayısıyla cilt sıcaklığının değişimine karşı vücudun göstermiş olduğu tepki olarak ortaya çıkmaktadır. Vücut sıcaklığının kritik seviyelere kadar artması veya yoğun egzersiz sırasında vücutta çok fazla miktarda terleme gerçekleşse de, aslında terleme sürekli bir

eylemdir. Talamus, frontal ve kortikal temporal lob, premotor alanlarından artan duygusal uyaranlar neticesinde oluşturulan cevaplarda da terleme gerçekleşmekte ve en yoğun parmak uçlarında, avuç içlerinde ve ayak tabanlarında terleme oluşmaktadır. Ayrıca davranışsal termoregülasyonun, fizyolojik termoregülasyona göre daha önce tepkisinin alındığı bilinmektedir. (Esen, 2000).

GSR ile ölçülen cilt iletkenliği, ekrin ter bezlerinin ürettiği ter miktarına bağlıdır ve elin avuç içlerinde, parmak uçlarında ve ayak tabanlarında yüzeye oranla daha bol miktarda bulunan vücut bölgelerinde incelenmesi daha uygun olmaktadır. Vücutta toplamda yaklaşık olarak 4 milyon ter bezi bulunmaktadır. Ekrin bezleri, tüm ter bezlerinin dörtte üçünü oluşturmakta ve vücudun çeşitli bölgelerinde farklı oranlarda bulunmaktadır. En yoğun bölgeyi ayak tabanı oluştururken (santimetrekareye yaklaşık 620 adet ekrin ter bezi bulunmaktadır) ikinci en yoğun bölge avuç içi ve parmak uçlarıdır (santimetrekareye yaklaşık 300 adet ekrin ter bezi düşmektedir). GSR ile yapılacak cilt iletkenliği araştırmaları ve davranış bilimi çalışmaları için bu alanlardan ölçüm almak basit ve pratiktir (koltuk altı, alın ve yanaklar da birim alana göre diğer yoğun bölgeleri oluşturmaktadır). GSR çalışmalarında, hazırlık ve kullanım kolaylığı açısından genellikle sensörlerin parmak uçlarına yerleştirilmesi tercih edilmektedir.

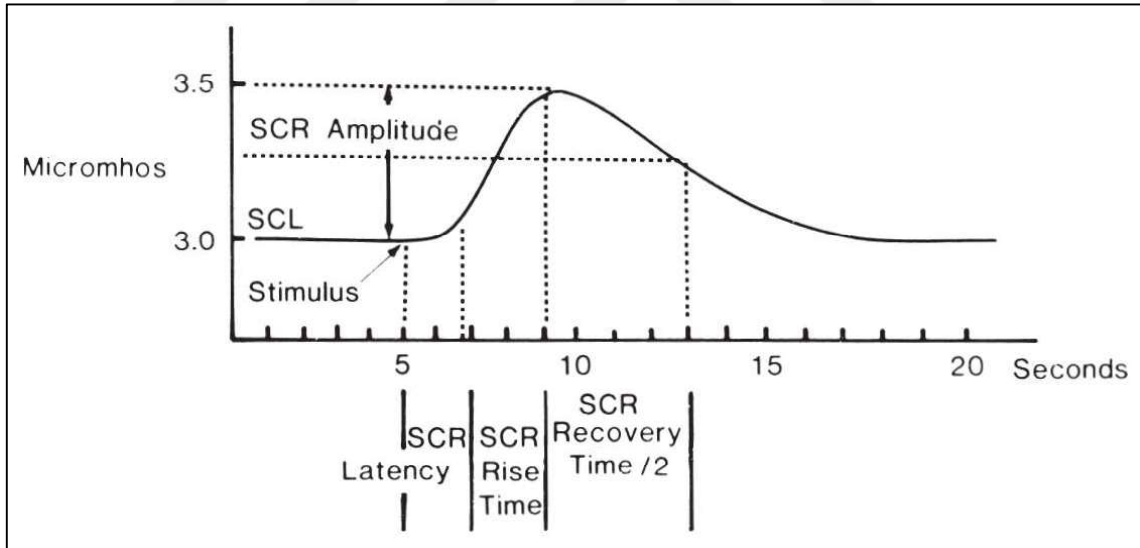
Sıcaklığa nazaran stresin, heyecanın ya da herhangi bir duyguya bağlı oluşturulacak tepkinin avuç içlerindeki ve parmak uçlarındaki ekrin bezlerini daha çabuk tetiklediği ve cilt iletkenliğini değiştirdiği bilinmektedir (Khazan, 2013). Ekrin bezleri haricinde apokrin ve apoekrin bezleri de terlemede görev almaktadır. Bu ter bezleri vücudun çeşitli bölgelerinde bulunmaktadır ve toplam ter bezlerinin dörtte biri oranında bulunmaktadır. Aşırı ter üretebilen bu ter bezlerinin termoregülasyon (vücut ısısının düzenlenmesi) haricinde koltuk altındaki yoğunluklarından dolayı duygusal uyaranlara da tepki verdikleri düşünülmektedir. Apoekrin ter bezleri koltuk altı haricinde meme başı çevresinde ve perinümde (anüsü genital organlardan ayıran bölge) bulunmaktadır. Ergenlikten önce küçük ve inaktif olan apokrin bezleri yetişkinlikte ekrin bezlerinden daha büyük bir yapıya kavuşmaktadır. Ayrıca ter kanalları ekrin bezleri gibi cilt yüzeyine değil, kıl folikülüne açılmaktadır. Apoekrin bezleri ise koltuk altı ve perianal bölgelerinde yer alan, ekrin ve apokrin ter bezleri arasında bir büyüklüğe sahiptir.

GSR, duygu durumu değişikliğinin ter bezi aktivasyonunda yarattığı değişikliğin sayesinde belirlenmesine olanak sağlayan bir yöntemdir (Villarejo vd., 2012). GSR’de ölçömlenen elektrodermal aktivite sinyalinin kullanılan en yaygın ölçüsü direnç değil iletkenliktir. İletkenlik, matematiksel olarak direncin tersidir ve Siemens (S) birimi ile ifade edilir. GSR cihazları, bu iletkenlik değerlerinin ölçölmesi için (genelde) 2 adet sensör ve sinyallerin işlendiği 1 adet modölden oluşur.

GSR cihazında en yaygın olarak Ag/AgCl (gümüş/gümüş-klorür) elektrotlar, sensör olarak kullanılmaktadır. Parmaklara yerleştirilen sensörlere düşük ama sabit bir voltaj uygulanır. Burada sensörler, devredeki bir direncin iki ucu olarak düşünölebilir. GSR devresinde ayrıca, cilt direncinden çok daha düşük bir direnç bulunur ve bu direnç devreye seri olarak bağlıdır. Böylece cilt iletkenliği Ohm yasası kullanılarak hesaplanabilir. Ohm yasası, elektrik devrelerindeki akım, voltaj ve direnç arasındaki ilişkiyi verir (iki nokta arasındaki elektrik akımı potansiyel farkla doğru, direnç ile ters orantılıdır). Gerilimin sabit tutulduğu bir devrede, dirençten geçen akım yoğunluğu ile cilt iletkenliği hesaplanabilmektedir. Oluşacak dalgalanmalar, cildin elektriksel değerleri ve dolayısıyla ter bezlerindeki uyarılma düzeyleri hakkında bilgi verir. GSR cihazlarındaki mevcut akım 0.5 volt veya altında tutulduğundan ter bezleri uyarılmamakta, yalnızca Sempatik Sinir Sistemi’nin etkileri ölçölebilmektedir (Zangroniz vd., 2017). Literatürde belirtilen tipik cilt direnç değerleri ise, kişiden kişiye değişmekle birlikte, 45 kohm ile 1 Mohm arasındadır. İletkenlik ile direnç birbirine ters orantılı olduğundan bu değerler 21 μ S ile 1 μ S arasında tespit edilmektedir (Cacioppo vd., 2007). Ölçüm yapılacak cihazın da bu değer aralıklarını kapsaması gerekmektedir. Toplanan veriler, iletkenlik-zaman grafikleri üzerinden değerlendirilmektedir. Ter bezleri, sadece Sempatik Sinir Sistemi ile uyarıldığından (Parasempatik Sinir Sistemi ile dengelenmediğinden), ani bir terleme ile cilt yüzeyinde iletkenlik artışı, uyarılma ortadan kalktığında veya rahatlama aşamasında yavaş bir iletkenlik düşüşü gerçekteşmektedir (Braithwaite vd., 2013). Bu da, GSR çalışmasındaki uyarın zamanları dikkate alınarak, GSR grafiklerinde rahatlıkla yorumlanabilmektedir. GSR grafiğinde uyarılmanın olmaması halinde ortaya çıkan ve bu sürede aynı seviyelerde dolaşan fakat sabit olmayan, taban seviye olarak nitelendirilebilecek düzeye tonik seviye (deri iletkenliği seviyesi -SCL-) denmektedir. Tonik seviye, kişiden kişiye değişmekte ve aynı kişiye bile dinlenme süresince farklılık gösterebilmektedir. Uyarılma halinde ise bir deri tepkisi oluşmakta ve bunlar fazik değişim (deri iletkenlik cevabı -SCR-) olarak

adlandırılmaktadır. GSR grafiğinde ise artan iletkenlik atakları şeklinde görülebilmektedir (Benedek ve Kaernbach, 2010).

SCR, uyarının etki düzeyine bağlı olarak, farklı eğimlerde, genliklerde ve çeşitli seviyelerdeki pikler şeklinde gözlemlenir. SCL ise fizyolojik durumlar veya otonom düzenlemelere bağlı test süresince farklılık göstermekte fakat belirli bir iletkenlik seviyesi aralığında sabit kalmaktadır. Bu açılarından bakıldığında elektrodermal aktivite, yavaş değişen bir SCL bileşeni tarafından modüle edilen, hızlı değişkenlik gösteren bir SCR sinyaliyle tarif edilir. SCL'nin yavaş yanıtları dikkate alındığında, faydalı bilgilerin 0 ila 0,05 Hz arasında olduğu bilinmektedir. Hızlı yanıtların gerçekleştiği SCR sinyallerinin enerjisi ise 0,05 ila 1,5 Hz arasında değişmektedir. Ter bezlerini aktive eden ve SCR sinyal değişimlerinden sorumlu olan sinirlerin (sudomotor lifler) ortalama aktivasyon hızı 0,62 Hz olarak ölçüldüğü kaynaklarda belirtilmiştir (Zangroniz vd., 2017).

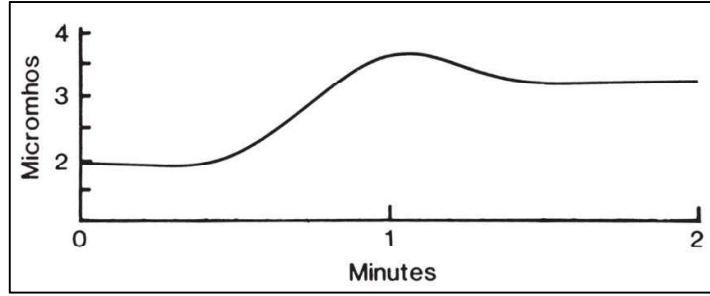


Şekil 2. 5. Elektrodermal aktivitedeki genel deri tepkisi ve fazik değişim grafiği (mho, bir direnç birimi olan ohm'un iletkenliğe çevrilmiş halidir ve 1 μ mho, 1 μ S'e eşittir)

SCL seviyesi kişiden kişiye değişmektedir ve bu durum yapılacak her çalışma için dikkate alınmalıdır. Ayrıca test çalışmaları, kişinin kendisini rahat hissedeceği ortamlarda ve uygun oda sıcaklığı olan 25 °C civarlarında gerçekleştirilmelidir. GSR çalışmalarında önemli olan parametre, SCL seviyesinden belirli bir zamanda oluşacak sapmalardır. Şekil 2.5 yorumlanacak olursa, 3 μ S düzeyindeki SCL, uyarının verilmesiyle belirli bir SCR seviyesine yükselmektedir. Spesifik bir uyarının başlattığı ve oluşturduğu fizyolojik

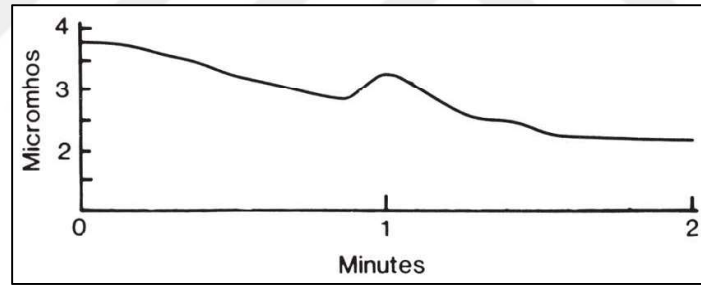
reaksiyon (ter bezlerinin aktiflenmesi) 0,5 μmho 'luk (μS 'lik) bir artış olarak görülmektedir. Artış süresince grafikte, SCR'nin gecikme süresi ve SCR'nin yükselme zamanı da verilmektedir. Bu gecikme süresi, uyarı sonrasında oluşan terleme ve ciltte oluşan iletkenlik değişim sinyallerinin tespit edilme süresi olarak tanımlanmaktadır ve minimum 0.8 ile maksimum 3 saniye arasında gerçekleşmektedir (Christopoulos vd., 2016). SCR maksimumu ve gecikme süresi dikkate alınarak, SCR tepki süresi hesaplanmaktadır. Uyarının ortadan kalkması veya uzun süreli uyarana karşı verilen tepkisizlik dinlenme halini yani başlangıç tonik seviyeye dönme eğimini göstermektedir. Bu dönüşte 12 ila 15 saniye arasındaki süre, tonik seviyeye dönme için yeterli olmaktadır. Tepe noktasına ulaşan SCR, dinlenme aşamasına geçmektedir ve bu grafikte bir düşüşle açıklanmaktadır. Dinlenme aşamasında parasempatik sistem görev almadığından simetrik olarak düşüş gözlenmemektedir. Geniş bir aralığa yayılan dinlenme yani SCR düzelme zamanı tam olarak başlangıç tonik seviyeye inmemektedir. Bu durumda yarı iyileşme zamanı dikkate alınır. Yukarıdaki grafik için bu süre pik ile 3,25 μS seviyesine denk gelen zaman arasındaki süredir. Bu süre sonunda, sempatik uyarılma sonlanmıştı denebilir. Uyarılara karşı oluşan tepkinin devam etmesi yani birkaç yönlü ve sık SCR artış-azalışları gerçekleşebilmektedir. Bu durumda literatürde bahsedilen GSR grafik farklılıkları dikkate alınarak yorumlar yapılmıştır (Christopoulos vd., 2016; Schwartz ve Andrasik, 2016; Cacioppo vd., 2007). Çalışmalardan elde edilmesi muhtemel grafikler, temelde 5 karakteristik farklılık gösterir ve bunlar yorumlanır.

İlk olarak, uyarılmanın gerçekleşmesiyle normal bir tepki olarak iletkenliğin artması ve grafiklerde yukarı yönlü bir kayma gerçekleşmesi beklenir. Uyarının ortadan kalkmasından bir süre sonra grafikte dinlenme sürecine geçildiği gözlemlenmektedir. Burada başlangıç tonik seviyeye dönüş olmayabilir ve yeni bir tonik seviye oluşabilir. Sürekli dalgalanmaların görülebileceği bu grafikte Sempatik Sinir Sistemi aktifliğini çeşitli düzeyde sürdürmeye devam ettiği anlaşılmaktadır. Sağlıklı bir bireyde bir süre sonra başlangıç tonik seviyeye dönülmektedir fakat bu tür grafiklerde uyarın etkisinin belirli bir düzeyde devam ettiği söylenebilir (Şekil 2.6.).



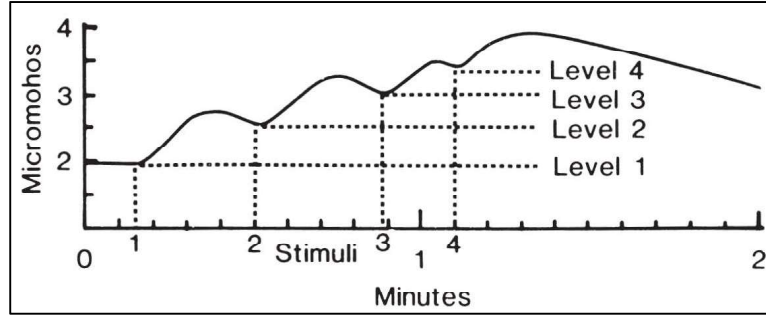
Şekil 2. 6. Alışılmadık stres yanıtı neticesinde uyarı sonrasında oluşan yeni tonik seviye

İkinci durumda ise, uyarılma oluştuktan sonra artan fazik seviyenin zaman içerisinde sürekli aşağı yönde ilerlemesini, tonik seviyenin sürekli aşağı yönlü hareket oluşturduğunu ve zaman ilerledikçe gevşemenin devam ettiğini göstermektedir. Bu durumda uyarının ortadan kalktığı söylenebilir. Dinlenme sürecinde karşılaşılan bu grafikte başlangıç tonik seviyeye yaklaşılması ile yeni uyarının verilmesi uygundur (Şekil 2.7.).



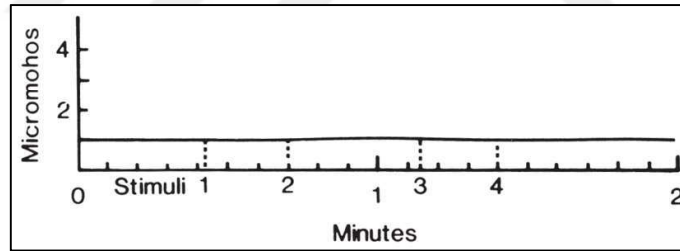
Şekil 2. 7. Uyarılma sonrasında gerçekleşen sürekli dinlenme hali

Üçüncü durumda, yukarıda bahsedilen devamlı yukarı yönlü ve devamlı aşağı yönlü grafikler, tek bir çalışmada da görülebilmektedir. Burada birbirini takip eden basamaklı bir grafik elde edilebilir. Uyarılma sonucu ani artan fazik değişim, gevşemenin gerçekleşmesi ve bir önceki tonik seviyenin üzerinde sonlanarak tekrar artış göstermesi ile artan basamaklı bir grafik oluşur. Tekrarlanan stres verici durumlar sonucu oluşan bu grafikte sürekli aktivasyon, sıfır ya da az gevşeme olarak yorumlanır. Belirli aralıklarla devamlı uyarıların verilmesi ya da bir ürünün incelenmesi gibi kullanıcı deneyimi test çalışmalarında karşılaşılabilecek bir grafikdir (Şekil 2.8.).



Şekil 2. 8. Belirli aralıklarla alınan uyarılara karşı gevşemenin gerçekleşmediği veya kısa süreli gevşemenin gerçekleştiği durum

GSR sinyalinde uyarana karşı tepkisizlik de gözlenebilir ve stres değerlendirilmesi sırasında tonik seviyenin belirli değerler arasında kalması olarak karşımıza çıkar. Gevşeme anlamına gelmeyen bu tepkisizlik, uygun olmayan uyarılma, kişinin aşırı kontrollü olması, dikkatsizlik gibi nedenlerden ortaya çıkabilmektedir. Bu durumla karşılaşıldığında öncelikle GSR cihazı ve bağlantılarının kontrol edilmesi gerekir. Aynı zamanda çok kuru cilt de bu tür bir grafiğin elde edilmesine neden olabilir (Şekil 2.9.).

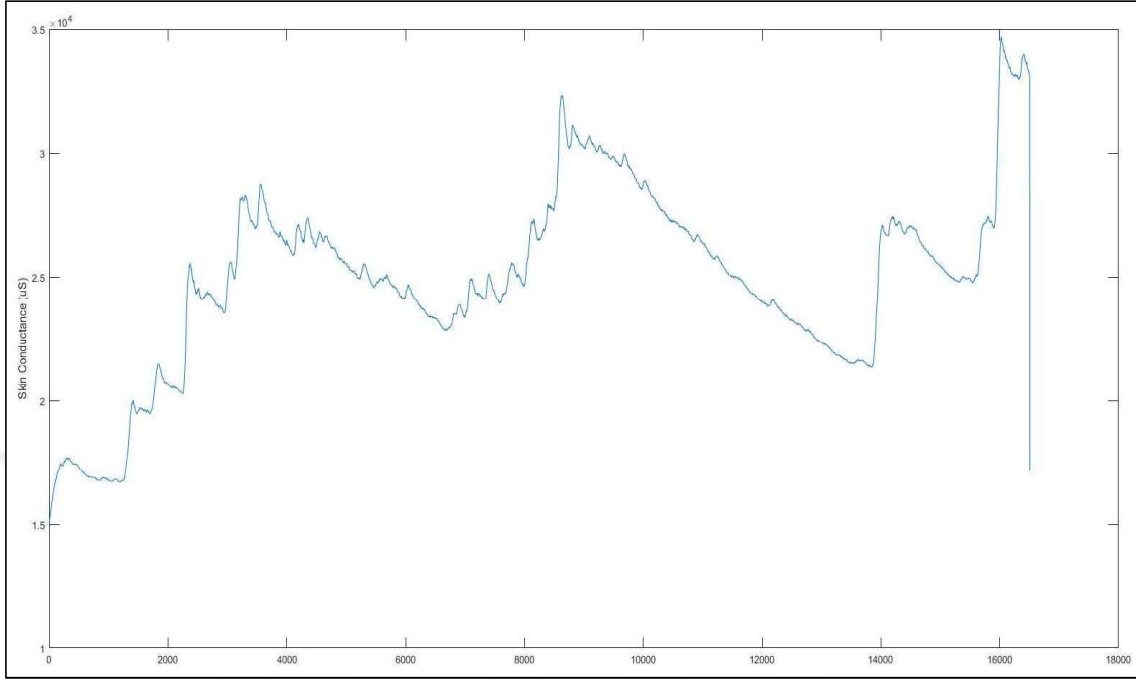


Şekil 2. 9. Uyarılmalar sırasındaki tepkisizlik hali

Uyarılma gerçekleştiğinde fazik tepkiler oluşmakta ve gevşeme hali ile birlikte başlangıç tonik seviyeye geri dönmektedir. Yeni uyarılma şiddetine bağlı olarak orantısız fazik tepkiler oluşur ve yine aynı tonik seviyelere inilir. Bu sağlıklı bir Otonom Sinir Sistemi'ni de işaret etmekte ve en iyi iletkenlik modeline bir örnektir. Test çalışılmasında da gevşeme düzeyine sadık kalınarak uyarıların verilme zamanları optimum düzeyde olduğu anlaşılmaktadır. (Şekil 2.10.) (Schwartz ve Andrasik, 2016; Cacioppo vd., 2007; Kula ve Süer, 2006).

neticesinde avuç içlerine yerleştirilen elektrotlardan diğer bölgelerdeki elektrotlara kıyasla daha kısa sürede tepki aldığını ve grafiklerde oluşan piklerin genliklerinin daha büyük olduğunu göstermiştir. Ohme ve arkadaşları 2009'da pazarlamanın nörofizyolojiden nasıl faydalanabileceğini araştırmışlar ve bir cilt bakım ürününün reklamı üzerinde çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. Bu reklamın 2 sürümü mevcuttur ve aralarındaki tek fark belirli bir saniyede kadın bir modelin özel bir jest, mimik sergilemesidir. Yarattığı etkileri hem bilişsel (genel ve özel faydasının hatırlanması) hem de davranışsal (raf testi) olarak değerlendirmişlerdir. Elektroensefelografi ve GSR cihazlarının kullanıldığı bu çalışmada yapılan testlerde, dışarıdan fiziksel olarak bilinçli bir hareket ya da davranış görülmese de toplanan verilerde belirli saniyede, hem EEG hem de GSR için ciddi bir kolerasyon farklılığının olduğunu göstermişlerdir.

GSR cihazı ile yapılan cilt iletkenlik araştırmaları, beyin aktivitesiyle ilişkili akut ağrılardan (Dubé vd., 2008), riskli finansal karar alma sürecindeki risk değerlendirilmesinden (Holper vd., 2014) hatta beynin sağ ve sol yarım kürelerinin cilt iletkenliği üzerindeki etkilerinin araştırılmasına (Svetlak vd., 2013) kadar çok geniş bir yelpazede yapılmaktadır. Sağ ve sol yarım küre çalışmasında sol ve sağ el işaret parmaklarında meydana gelen cilt iletkenlik farklılıkları açısından değerlendirme yapılmıştır. 99 üniversite öğrencisi üzerinde yapılan bu çalışmada, dinlenme ve uyarılma durumlarında sağ elde yaklaşık 0,5 μ S daha yüksek SCL verileri elde edilmiştir. Şekil 2.13.'de ise Davranış Bilimi ve Biyometrik Ölçüm Laboratuvarı'nda gerçekleştirdiğimiz bir çalışmanın GSR grafiği paylaşılmaktadır. Toplamda 20 kişi üzerinde yapılan bu çalışmada, dijital yerliler ile (kişi doğduğundan bu yana internet kullanmaktadır) dijital göçmenler (kişi internet kullanımına sonradan adapte olmuştur) arasında gerçekleşen internet hızına karşı kişilerin toleransı araştırılmıştır (Küçün vd, 2018). Bu çalışmanın sonuçları, cilt iletkenliği ve göz takibi tekniklerinin tek bir test çalışmasında kullanılması ile elde edilmiştir.



Şekil 2. 11. Online alışverişlerde internet hızına bağlı olarak değişen GSR sinyalleri

Yukarıdaki grafikte online alışveriş yapan dijital yerlideki internet hızındaki düşüşe bağlı stres oluşumları kaydedilmiştir. Grafikte cilt iletkenliğine (μS) karşılık gelen anlık ölçüm sayısı verilmektedir. Kişiye, iki ayrı online alışveriş sitesinden 2.000 TL'lik bir bütçe ile bir akıllı saat ve bir kulaklık almaları görevi verilmiştir. Grafikte ilk pikler, sitede araştırma yapmaya başladıkları anlara denk gelirken, internet bağlantı hızının 100 Mb/s'den 2 Mb/s'ye düşürülmesiyle başlangıçtaki en yüksek artış değeri alınmaktadır. İnternet hızının başlangıçta değerine geri gelmesiyle birlikte deri iletkenliğinde düşüşler görülmektedir. Ödeme işlemine geçildiğinde ise iletkenlik seviyesi yükselmekte ve ikinci alışveriş sitesine geçilmesiyle tekrar bir rahatlama gözlemlenmektedir. Azalan grafik ikinci internet sitesinde ürün araştırması yaparken artışa geçse de en yüksek artış ve pik değeri, internet hızının tekrar 2 Mb/s'ye inmesi durumunda gözlenmiştir. İnternet hızının 100 Mb/s'ye çıkarılmasından sonra kişi streslenmeden alışverişine rahatlıkla devam etmektedir. Ödeme işlemleri öncesinde yapılan hız düşürümü ile tekrar strese giren katılımcı, grafikteki x-ekseninde 14000 civarlarında yeni bir pik oluşturmaktadır. Buradan sonra oluşan pikler testin bitimi ve araştırmacının katılımcı ile görüşmesi sırasında kaydedilmiştir. İşlemlerin tamamlanmasının ardından hala kayıttaki cihazın çıkarılması ile grafikte ani bir düşüşle karşılaşılmaktadır. Test çalışması süresince gerçekleşen ve yukarıda bahsedilen olaylar, göz takibi cihazından elde edilen video ile karşılaştırılmıştır.

Davranış araştırmalarında, katılımcının rahat ve yalnız olması deneyin doğruluğu için gerekli bir parametredir. Burada katılımcı bir webcam ya da göz takibi cihazının kamerası ile birlikte izlenebilmektedir. İki farklı durumda da GSR yorumlanmasında zamansal kaymalar yaşanabilmektedir. Bu nedenle GSR ile birlikte kullanılacak her yöntem için eş zamanlı görüntüleme ve kayıt alma önemli olmaktadır.

2.5.Göz Takibi Tekniği

Özellikle davranış bilimlerinde kullanılan diğer bir etkin biyometrik analiz yöntemi, göz izleme tekniğidir. Temel olarak gözbebeği boyutlarını ve göz hareketlerini kızılötesi bir ışınla takip eden bir donanımdan ve buradan gelen verileri gruplandırarak yorumlayan bir yardımcı yazılımdan oluşur.

Göz, dış ortamdaki ışık yansımalarını toplayarak, yapısındaki özelleşmiş hücrelerin aksiyon potansiyeli oluşturmasına ve oluşan potansiyelin optik sinirler ile beyne iletilmesi görevini yerine getirmektedir. Gözün doğru işleminde, ışığın odaklanması ve doğru kırılması, yakın ve uzak nesnelere odaklanma süreçlerini dengeli bir şekilde gerçekleşmesi beklenmektedir (Ludwig vd., 2018). Gözün verdiği tepkilere, sempatik ve parasempatik yollar perspektifinden bakıldığında ise gözün 3 işlevi vardır:

- Göz bebeği çapı ve oküler yerleşiminin irise bağlı kaslarla kontrol edilmesi
- Göz damar ağının uyarılmasıyla oküler kan akımının kontrol edilmesi
- Göz içi, yani intra-oküler basıncın ayarlanması (McDougal ve Gamlin, 2015).

Biyometrik cihazlar ile yukarıda bahsedilen işlevlerden yalnızca göz bebeği çapı ve kaslarla kontrol edilen gözün hareketleri izlenebilmektedir. Göz bebeğinde tespit edilen genişlemeler Sempatik Sinir Sistemi'nin, daralmalar ise Parasempatik Sinir Sistemi'nin aktif olduğunu göstermektedir. Genellikle duygusal sinyallerde ve dikkat, hafıza gerektiren bilinçli süreçlerde göz bebeği çapı artmaktadır. Eğlence, haz, neşe gibi pozitif duygular yanında korku, acı, üzüntü gibi negatif duygularda da göz bebeği boyutunda bir artış mevcuttur. Fakat yapılan çalışmalarda pozitif ve negatif durumların hangisinde daha fazla artışla karşılaşıldığı hala tartışma konusudur. PSS ise SSS'ni dengeleme eğiliminde

olduğundan, uyarılara verilen tepkiler azaldığında göz bebeğinin normal boyutlarına gelmesinde görev almaktadır (Everly ve Lating, 2013; Koss, 1986; Oliva ve Anikin, 2018).

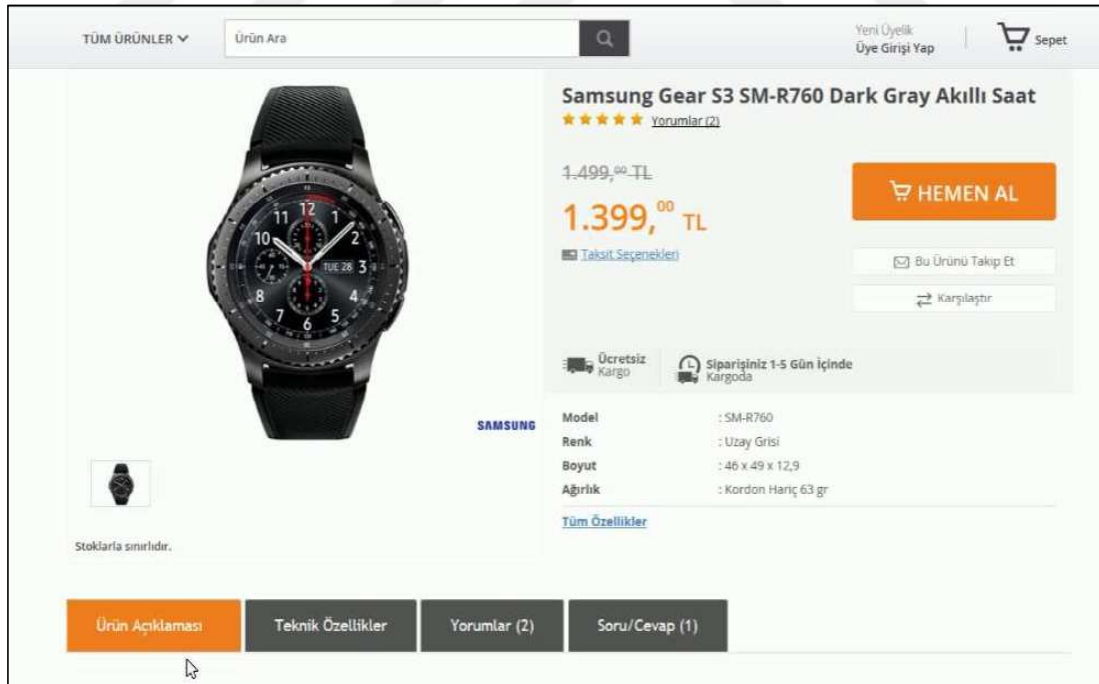
Göz bebeği boyutları haricinde göz hareketleri de çalışmalar için yararlı bilgiler vermektedir. Göz hareketleri (sakadik hareketler gibi), çoğu zaman istemsiz olarak, küçük ya da büyük görsel alanlarında gözün bir bölgeden başka bir bölgeye hızlı atlamaları şeklinde olmaktadır. Burada gözler, hızlı bir biçimde odaklandıkları noktaları değiştirmektedir. Odaklanılan bölgeden yansıyan ışınlar (görselin rengi, boyutu gibi bilgileri), retinadan geçerek özelleşmiş hücrelerde sinyaller oluşturmaktadır. Bu sinyaller optik sinir yollarıyla beynin oksipital lobuna ve ardından frontal lobuna iletilmektedir. Bu bölgelerde ve beynin bakış merkezlerinde oluşan cevaplar ile sakkadik sinyaller oluşturulur ve okülomotor sistem tetiklenir. Süreçler sonunda göz, 20 ila 40 ms'ler düzeyinde atlamalar, 100 ms ve üzerinde odaklanmalar gerçekleştirebilmektedir. Dikkatin azaldığı durumlarda bu atlamalar azalmakta fakat atlama mesafesi artmaktadır. Odaklanmada ise görsel üzerinde daha kısa mesafeli atlamalar yapılmaktadır (Özkan ve Duman, 1995).

Göz takibi cihazları, kablosuz (mobil) ve yerleşik (remote) olarak iki çeşitte alınıp kullanılabilir. Laboratuvar ortamında kullanılan göz takip cihazları, genellikle bilgisayar ekranına konumlandırılmış, remote cihazlardır ve laboratuvar ortamlarında daha düzenli veriler aktarabilme kapasitesine sahip olduğu bilinmektedir. Remote sistemler, belirli bir alana odaklandığından, çalışmaya katılan kişilerin hareketleri bu alan ile kısıtlanmaktadır. Böylece dikkatlerini tek bir bölgeye veren katılımcılardan (örneğin bir bilgisayar ya da televizyon ekranı) daha sağlıklı veriler toplanabilmektedir. Kablosuz gözlükler ise alternatiflerine göre daha maliyetli olmalarına karşın, 360 derece kullanım alanına sahip, daha hareketli uygulamalar yapmaya izin veren ve araştırma kısıtlarını esneterek uyarıların daha bağımsız ve daha kapsamlı hazırlanmasına imkan veren cihazlardır.

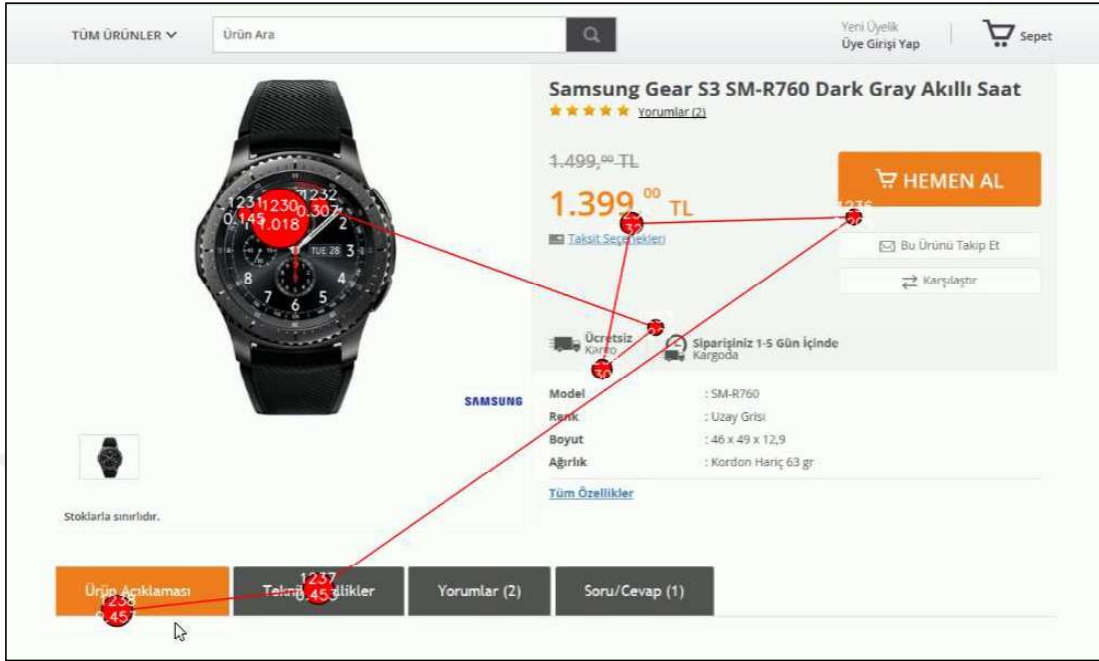
Mobil ya da remote göz takip cihazlarının yazılımları, çalışmanın doğruluğunun artırılması amacıyla bazı ayarlamalar sunmaktadır. Bunlar her çalışma öncesinde yapılması gereken düzenlemeler olmakla birlikte, uzaklık ayarını, kalibrasyonu ve sistem kontrolünü içermektedir. Göz bebeği konumlarını, zamana bağlı olarak ekran üzerindeki izdüşümlerini haritalayan göz takibi yazılımları, bu haritaların birden fazla türevini oluşturarak farklı değerlendirme seçenekleri sunmaktadır. Görselleştirme ayarları olarak tanımlanan bu

seçeneklerde, çalışma sonrasında kaydedilen verilerin görselleştirme ve analiz ayarlarına, çalışmanın tasarımına ve oluşturulan hipotezlere göre 3 farklı şekilde inceleme imkanı tanımaktadır.

- a) Fiksasyon haritası yani sabitleme haritası, gözün ekran üzerindeki hareketlerini bir yol çizerek göstermektedir. Göz hareketlerinin bir noktadan bir noktaya geçerken nerelerde duraklandığını (fiksasyon sayısı) ve bu duraklamada ne kadar kalındığını (fiksasyon süresi), test sonunda ise toplamda kaç bakış attıldığını göstermektedir. Bu karitalama yöntemi ile görsel dikkat açısından mükemmele yakın sonuçlar alınabileceğinden, insan davranışları araştırmalarında sıklıkla bu haritalama tekniğı kullanılmaktadır. şekil 2.12. ve şekil 2.13.'da 10 adet dijital yerli ve 10 adet dijital göçmen ile ilgili internet hızı toleransı çalışmasının bir bölümü verilmiştir (Kn vd., 2018). Bu şekilde online bir alışveriş sitesinden akıllı saat almakta olan bir kişinin göz hareketleri, göz takip cihazı ile tespit edilebilebilmektedir.



şekil 2. 12. Online alışveriş sitesindeki akıllı saat sayfası

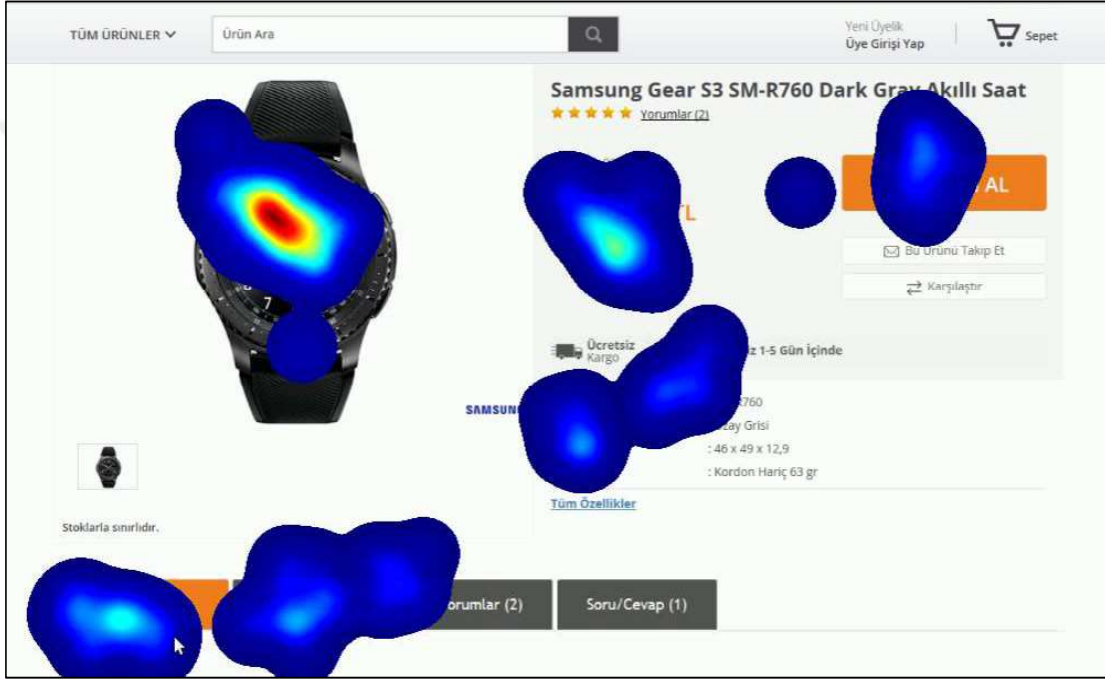


Şekil 2. 13. Online alışveriş sitesindeki akıllı saat sayfası için fiksasyon haritası

Şekil 2.13.'da çalışmanın kısa bir bölümü paylaşılmıştır. Toplamda 9 bakışın (1230. bakıştan 1238. bakışa kadar) gösterildiği şekilde, bakış noktalarının genişlikleri ilgili bölgeye odaklanmanın ne kadar çok ya da ne kadar az olduğunu göstermektedir. Ayrıca sayfa açıldığında ilk olarak ürüne bakıldığı fiksasyon sayılarına bakılarak tespit edilebilmektedir. 9 bakış içerisinde en çok ürüne odaklanıldığı (ilk bakışta 1,018 sn), üründen sonra fiyatla ilgili bölümlere gidildiği ve teknik açıklamalara en son bakıldığı görülmektedir. Göz takibi analizlerinden en yaygın kullanılan teknik, fiksasyon haritasının çıkartılmasıdır ve bu tez çalışmasında, fiksasyon tekniğinin kullanılması amaçlanmıştır. Diğer iki teknik ise aşağıda özetlenmiştir.

- b) Sıcaklık haritası, yaygın kullanılan ikinci analiz tekniğidir ve bu haritalama ile kişi tarafından dikkat edilen genel bölgeler gösterilmektedir. Bakış noktalarındaki genel dağılımın gösterildiği bu teknikte, sunulan görüntü ve/veya uyarın üzerinde bir renk gradyanı oluşturulmaktadır. Odaklanma alanının en yoğun olduğu bölgeler kırmızı tonlarında gösterilirken, en az odak bölgeleri ise mavi tonlardır. Şekil 2.14.'de yukarıda bahsedilen çalışmanın sıcaklık haritası tekniği ile görüntülenmesi verilmiştir. Anlaşılabileceği gibi saat üzerinde odaklanma süresi fazla olduğundan daha sıcak renkler ile karşılaşılmaktadır. Fiksasyon haritasında sunulan dairelere nazaran,

bu haritalama tekniğinde daha dağınık ve simetrik olmayan işaretleyiciler görülebilmektedir. Bunun nedeni, cihazın frekansına bağlı olarak ekranda kaydedilen göz bebeği izdüşümlerinin çok ufak titremeleridir. Fiksasyon haritasında bunların ortalamaları alınarak daire çizdirilirken, sıcaklık haritasında tüm göz hareketleri (cihazda kaydedilen titremeler ile birlikte) çizdirilmektedir.



Şekil 2. 14. Online alışveriş sitesindeki akıllı saat sayfası için sıcaklık haritası

- c) Opaklık haritası da aslında sıcaklık haritasının bir türevini oluşturmaktadır. Bu teknik sıcaklık haritasına benzemektedir fakat renk gradyanlarının olduğu bölgeler ekranda gösterilmekte, göreselin diğer alanları karartılmaktadır. Özellikle web sitesi, dergi sayfası tasarımları gibi müşteri deneyimi ve kullanım kolaylığı araştırmalarında hangi bölgelerin dikkate alındığını göstermekte ve göresel konumlandırmaların nasıl yapılması gerektiği hakkında bilgiler sunmaktadır. Diğer bir ifadeyle opaklık haritası, siyah bir fon üzerinde yalnızca kişinin göz gezdirdiği bölgeleri göstermektedir.

Yukarıda bahsedilen teknikler ile görüntüler haricinde belirlenmiş bir bölgeye bakışların ilk olarak ne zaman girdiği ve ne zaman çıktığı, orada harcanılan zamanı, belirli

bölgelerin karşılaştırılması ve bu bölgelere tekrar bakış atılma zamanları gibi çeşitli verileri de toplamak mümkün olmaktadır. Göz takibi cihazlarının yazılımları, bu çaptaki bilgileri kullanıcılara yıllık üyelikler ile sunmakta veya 30 günlük deneme sürümünde vermektedir. İnsan davranış çalışmalarının sürdürülebilirliği ve yazılım geliştiriciliği için biyometrik cihazlarının ve sistemlerinin birbirleri ile entegrasyonu gerekmektedir.

Celine ve arkadaşları 2018’de yürüttükleri çalışmada göz izleme teknolojisini kullanarak çocukların dış hekimine baktıklarında en çok neyi fark ettiğini belirlemeye çalışmışlardır. Yaşları 4 ila 12 arasında değişen toplam 41 çocukla gerçekleştirilen araştırmada çocuklar, bir bilgisayar ekranında farklı cinsiyet ve etnik kökenlerden oluşan ve farklı kıyafetler giyen 10 dış hekimini incelemişlerdir. Dış hekimlerinin kendilerini sunuş şekilleri, dış görünüşleri ve çocuk hastalarla etkileşimleri hakkında bilgiler sağlaması düşünülen bu çalışmada, fiksasyon haritası kullanılarak fiksasyon sayısı ve ortalama fiksasyon süresi hesaplanmıştır. En yüksek değerlerin yüz ve gözlerde toplandığı, kalem ve kravat gibi dış unsurların ise de dikkat dağıtıcılar arasında en yüksek değerlere sahip olduğunu göstermişlerdir.

Desmet ve Diependaele’nin 2018’de göz takip cihazı ile yaptıkları bir çalışmada, trafikte telefonla konuşmanın dikkat dağınıklığını ne ölçüde etkilediğini araştırmışlardır. Kablosuz bir şekilde yapılan telefon görüşmesinin, elle yapılan telefon görüşmesinden daha güvenli olmadığını ileri süren çalışmada, trafikte sürüş sırasında ahizesiz telefon görüşmesinin göz hareketleri düzenine etkilerini incelemişlerdir. 30 katılımcıya üç şeritli bir karayolu üzerinde yaklaşık 14 km’lik iki ardışık gezi yaptırılmış, bu iki seyahattan birinde şöför telefonla görüştürülmüştür. Göz takibinden alınan veriler karşılaştırıldığında, yol işaretlerine, diğer araçlara ve hız göstergelerine daha az bakıldığı ve bakıldığında ise buralara sabitlenildiğini göstermişlerdir. Bahsedilen çalışmalar haricinde göz takibi, insan makine etkileşimleri (Peysakhovich vd., 2018), işitme kaybı, gürültü vb. alanlarda karşılaşılan konuşma anlama zorlukları (Van Engen ve McLaughlin, 2018) karar destek sistemlerinin tasarımı (Shojaeizadeh vd., 2018) gibi birçok araştırma alanında kullanılmaktadır.

Göz takibi ve GSR, genellikle sosyal deneylerde kullanılan, Sempatik Sinir Sistemi’nden etkilenen ve birlikte kullanıldıklarında sonuçların doğruluk paylarını arttıran

biyometrik cihazlardır. Davranış Bilimi ve Biyometrik Ölçüm Laboratuvarı'nda yürüttüğümüz ve tamamladığımız çalışmalarda da GSR ve göz takibi cihazları sıklıkla kullanılmaktadır. Tez içeriğinde verilen ve literatürde karşılaşılan diğer çalışmalarda, cihazların kendi yazılımları kullanılmıştır. Bu zamansal olarak eşleştirmeyi zorlaştırmaktadır. Yani GSR ve göz takibi yazılımları tek bir test için ayrı ayrı çalıştırıldığından, testin başlangıç ve bitiş zamanlarında saniyeler düzeyinde kaymalar yaşanmaktadır. Ayrıca göz takibi cihazı, topladığı verileri kullanıcıya video şeklinde sunarken, GSR sayısal değerler olarak sunar ve zamansal olarak grafiğe dökülmesi gerekmektedir. Ek olarak GSR verileri filtre edilerek uygun SCL ve SCR değerleri elde edilmelidir. Sonrasında video ile grafik karşılaştırılarak değerlendirmeler yapılmaktadır. Tüm bu işlemler bu cihazlar hakkında bilgi sahibi olan kullanıcılar tarafından yapılmaktadır. Bu doğrultuda, test çalışmalarının ve değerlendirmelerin hızlandırılması için kullanıcı dostu, verileri tek bir platformda toplayan ve çıktıları arzulanan formatta gösteren bir yazılıma ihtiyaç vardır.

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal (Cihazlar ve Ekipmanları)

GSR ve göz takibi cihazlarının Matlab ortamında oluşturulan bir platformda buluşturulması için aşağıda liste halinde verilen cihazlar, ekipmanlar ve yazılımlar kullanılmıştır.

- a) Arduino Uno mikroişlemci kartı ve Arduino 1.8.5 yazılımı
- b) Libellium MySignals Hardware Development Board
- c) GSR sensörü
- d) Gazepoint GP3 HD göz takip cihazı ile Gazepoint Control yazılımı
- e) Matlab 2018b

3.2. Yöntem

Davranış Bilimi ve Biyometrik Ölçüm Laboratuvarı'nda yapılan çalışmalarda, bahsedilen iki cihaz uygun şekilde kullanılsa da analiz ve yorumlama süreçlerinde iyileştirmeler ve iş yükünün azaltılması için çalışmalar yapılması gerekmektedir (Küçün vd., 2018; Yaman vd., 2018). Bu çalışmalarda GSR analizleri, Gazepoint'den gelen veriler ve deney tasarımıdaki uyaranlara göre yapılmış, her iki cihazın da ayrı ayrı çalıştırılmasından dolayı entegrasyonlarının sağlanması amaçlanmıştır. GSR verileri filtrelenip düzenlense de göz takip cihazından elde edilen videodaki bölgelerin uyaranlar neticesinde belirlenmesi gerekmektedir. Bunlar göz hareketlerinin uyaran anında nerelere konumlandığı ve hangi bölgelerde ne kadar hareket ettiği. Daha sonrasında GSR ve göz takip cihazından elde edilen veriler birleştirilerek analiz süreci tamamlanmaktadır. Bu işlemler her test çalışması için tekrarlanmaktadır. Bu bağlamda araştırmacının işinin kolaylaştırılması, analiz süresinin kısaltılması, cihazların eş zamanlı başlatılarak eş zamanlı sonlandırılması ve filtrasyon işlemlerinin otomatik yapılması için bahsedilen iki cihazın ortak bir platformda buluşturulması gerekmektedir.

GSR - Göz Takibi Ortak Platformu, laboratuvar çalışmalarında karşılaşılan zorluklar dikkate alınarak hazırlanan taslağa göre oluşturulmuştur. Algoritma, eş zamanlı verilerin toplanması, çalışma devam ederken görüntülenmesi ve filtrasyon aşamalarından sonra analizlerin sunulması temelinde oluşturulmuştur. Burada kullanıcı, platform üzerinde saniye bazında işlemler yaparak araştırmayı çeşitlendirebilmekte ve istenilen verilere otomatik olarak erişebilmektedir. Bu sayede platform esnek ve dinamik bir yapıya bürünmüştür. Çalışmaların doğru yapılabilmesi için belirlenen aşamaları aşağıda sıralanmaktadır.

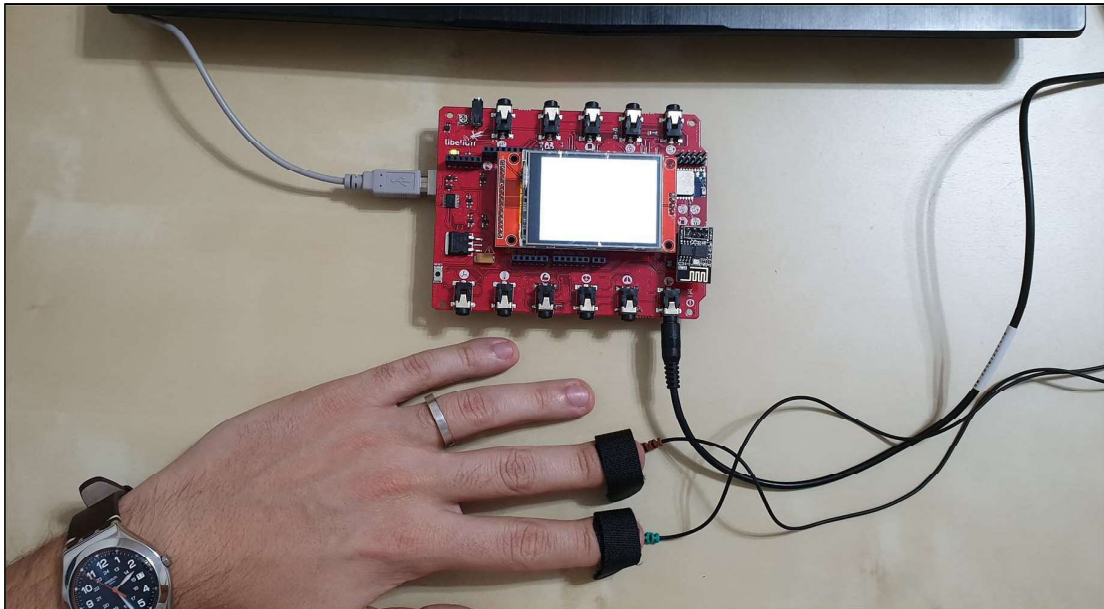
1. Çalışma başlamadan önce cihazların kontrolü yapılır. Cilt iletkenliği ve göz takip değerlerinin düzenli toplandığı tespit edilmelir. Bu doğrultuda cildin sahip olduğu tonik seviye yani SCL çalışma öncesinde ölçülmeli ve zaman içerisinde sabit ilerlediğine emin olunmalıdır. Artı olarak göz takibi cihazından alınan veriler, uyarıların verildiği ekrana göre kalibre edilmektedir ve ekrandan kayıt örneği alınmaktadır.
2. Cihazlar ve ekran kaydı eş zamanlı olarak başlatılır. Bu sayede, zamansal kaymalardan kaynaklı hatalar en düşük seviyeye indirgenir.
3. Kayıtlar tek bir klasörde toplanır. GSR ve göz takip cihazı verileri excel dökümanı şeklinde, ekran kaydı ise “.avi” uzantılı bir video halinde depolanmaktadır (Gazepoint verileri ekranın düzleminde x-y koordinatları şeklinde kaydedilmektedir). Matlab harici diğer platformlar için kullanılmaya uygun olan bu ham datalar sayesinde platform haricinde diğer yazılımlarda da değerlendirmeler yapılmaktadır.
4. Analiz için ise GSR verileri filtrelenmekte ve grafiğe dökülmekte; göz takip cihazı verileri ise ekran görüntüsü üzerine işlenmekte ve aynı pencerede gösterilmektedir.
5. GSR grafiğindeki SCR değişimlerine yönelik değerlerin ya da istenilen zaman aralığının platformda ilgili alana girilmesi ile SCR ve SCL verilerine erişilmekte, aynı zamanda girilen değerlere ilişkin göz takip verileri video halinde gösterilmektedir.

Bu aşamaların sonunda elde edilen veriler tasarlanan çalışmaya uygun olarak frekans dağılımı, ortalama değer, Mann Whitney U Testi gibi yöntemler ile yorumlanabilmektedir.

Yukarıda bahsedilen aşamalar için kullanılan cihaz ve ekipman bilgileri aşağıda verilmektedir.

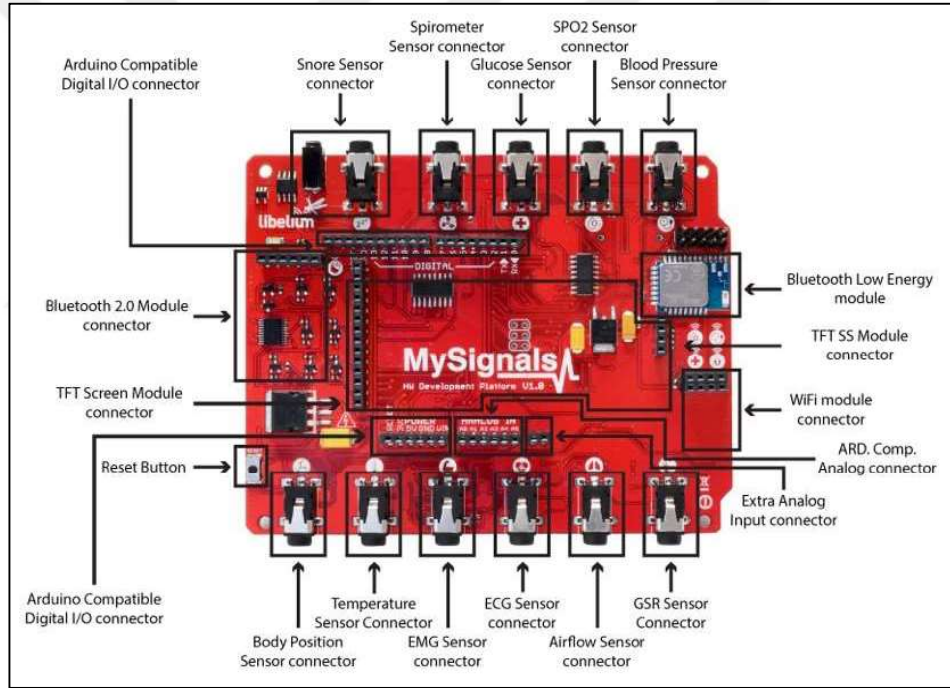
3.2.1. Arduino Uno ve Libellium Board

Libellium firması MySignal ürünü ile 20 biyometrik parametreyi tek bir e-sağlık platformunda birleştirmiştir. MySignals geliştirme kiti, içerisindeki farklı sensörler ve ekipmanlar ile yazılımcılara, akademisyenlere ve sağlık alanında faaliyet gösteren firmalara mevcut yazılımı ve donanımları geliştirmeleri için fırsat sunmaktadır. Mysignals board'ın çalıştırılması için Arduino Uno mikroişlemci kartı kullanılması gerekmektedir. Arduino burada hem güç kaynağı niteliği taşımakta hem de içerisine kaydedilen yazılım ile birlikte sensörlerden toplanan verilerin anlamlandırılmasını sağlamaktadır. Sistemin tamamlanması ise GSR sensörlerinin eklenmesi ile mümkün olmaktadır. 2 adet GSR sensörü, işaret ve orta parmaklara yerleştirilerek cildin elektrik direnç değişimini karta aktarmaktadır. Direnç değişimini hesaplamak için devre üzerinden Libellium MySignals'ın belirlediği (yaklaşık 0,5 V) düşük bir akım geçmektedir. Ter bezlerinin aktiflenmeyeceği düzeyde olan bu akım ile cildin iletkenlik değerleri okunabilmektedir. Bu nedenden dolayı oluşturulan GSR cihazına girişimsel olmadığı söylenebilir. Şekil 3.1.'de GSR modülü gösterilmektedir.



Şekil 3. 1. Kullanım sırasında ele konumlandırılan GSR cihazı

GSR, temelde iki bileşenden oluşmaktadır: sinyalleri tespit eden 2 adet sensör ve sinyallerin toplandığı 1 adet modül. Modül ise 1 adet Arduino Uno mikroişlemci kart ile bu karta eklenecek Libellium MySignals board ile oluşturulmuştur. Şekil 3.2.'de gösterilen Libellium MySignals board, üzerine 12 adet farklı sensörün bağlanabileceği toplayıcı bir sistem olarak düşünülebilir. Veriler, bu karta yerleştirilecek hafıza kartına kaydedilebileceği gibi direkt bilgisayar ortamına da aktarılabilir. Aktarım kablolu ve kablosuz gerçekleştirilebilmektedir. Kablosuz veri aktarımının daha yavaş olacağı düşünüldüğünden GSR cihazının oluşturulmasında kablolu bağlantı yapılması tercih edilmiştir. 2 adet sensör ise Libellium MySignals kartına jack girişi ile bağlanmaktadır.



Şekil 3. 2. Libellium mysignals hardware development board (Libellium MySignals Hardware Teknik Rehber'den alınmıştır)

Sensörler, avuç içersine veya ayak tabanına yerleştirilebileceği gibi kullanım kolaylığı açısından parmak uçlarına da yerleştirilebilmektedir. Bu bölgeler sıcaklığa nazaran stres gibi duygusal etmenlerden daha çok etkilenen ekran ter bezlerini ve kanallarını barındırmaktadır (Cacioppo vd., 2007). Buralardan toplanan sinyaller ile ter bezi aktivitelerine bağlı olarak cilt yüzeyinde oluşacak elektrodermal direnç ölçülmektedir. Yani cildi, devreyi tamamlayan bir direnç elemanı gibi basitçe tanımlayabilmekteyiz fakat

belirtmek gerekir ki bu akım devresinden oldukça küçük miktarda akım geçmektedir. Cilt ne kadar nemli veya ıslak olursa aynı derecede direnç düşük, ne kadar kuru olursa direnç o kadar yüksek olmaktadır. Toplanan veriler iletkenlik, direnç ve voltaj olarak kullanıcıya sunulmaktadır. Üçü de hesaplamalar açısından birbirinin türevleri olduğundan, kullanım ve yorumlama kolaylığı açısından bu tez çalışmasında, iletkenlik değerleri kullanılarak yorumlama yapılmıştır.

Tasarlanan GSR cihazının gömülü yazılımı Arduino 1.8.5 programında yazılmıştır. Libellium, MySignals ürününü açık kaynak kodlu olarak yazılım geliştiricilere sunmaktadır. Burada, GSR sensörüne ait kütüphaneler modifiye edilerek cihaza yüklenebilmektedir. Yazılım, GSR cihazından sadece iletkenlik değerlerinin toplanması için programlanmıştır. Arduino yazılımında ve seri port ekranında test edilen ve olumlu sonuçlar alınan veriler Matlab'e aktararak kaydedilmekte ve zamana bağlı iletkenlik değişimi μS biriminde çizdirilmiştir. Matlab programı, toplanan verilerin eş zamanlı grafiğinin çizilmesine, işlem bittikten sonra kaydedilmesine ve çeşitli sistemler ile birleştirilmesine olanak tanımaktadır.

3.2.2. Gazepoint GP3 HD Cihazı

Gazepoint göz takibi cihazı, içerisinde 1 adet kamera ve 2 adet infrared sensör bulunduran, remote olarak monitör altına yerleşik veya tripot ile ekran önüne konumlandırılan bir biyometrik cihazdır. Göz hareketlerinin ekran üzerindeki izdüşümlerini tespit etmeye yarayan bu cihazın kullanımı basit ve etkilidir. Her test çalışması için hassasiyetinin ayarlanması gerekmektedir. Bu nedenle çalışmalar öncesinde en az 1 kere kalibrasyonu yapılmaktadır. Firmanın sunduğu Gazepoint Control yazılımı kalibrasyon seçeneğini sunmaktadır ve Gazepoint Analysis yazılımı ile de çalışma gerçekleştirilmektedir. Analysis programı, uyaranların verildiği ekran görüntülerini kaydederken aynı zamanda göz hareketlerini de kaydetmekte ve görüntülerin üzerine eklemektedir. Böylece, kişinin görsel alanın hangi bölgeleri ile ilgilendiğini, hangi bölgelerde daha fazla zaman geçirdiğini ve göz hareketlerini fiksasyon haritasını kullanıcıya sunmaktadır.

Gazepoint GP3 HD remote göz takip cihazı (Şekil 3.3.) kısaca, kızılötesi teknolojisini ve yüksek çözünürlüklü kamerasını kullanarak, göz hareketlerini ve odaklanma sürelerini sürekli takip etmektedir. Göz Merkezi Kornea Yansıması (Pupil Center Corneal

Reflection -PCCR-) olarak adlandırılan bir algılama mekanizması ile çalışmaktadır. Yakın kızılötesi ışık, bir kamera tarafından izlenen korneadaki görünür yansımalarla neden olan gözbebeğine yönelmektedir. Göz hareketi ölçümünün doğruluğu, gözbebeğinin açık bir sınır çizgisine ve kornea yansımasının saptanmasına dayanmaktadır. Gözle görülebilen spektrumlar kontrolsüz speküler yansıma üretirken, insan gözü tarafından algılanamayan kızıl ötesi ışıkla aydınlatılmakta, gözbebeğinin sınırını ve irisini kolay görüntülenebilir bir hale getirmekte, yani ışık doğrudan gözbebeğine girmekte ve sadece irisinden yansımaktadır.



Şekil 3. 3. Gazepoint GP3 HD göz takip cihazı

Remote göz izleme cihazları, bilgisayar monitörüne veya televizyona monte edilen, kişinin cihazın önünde oturmasını gerektiren, laboratuvar ortamı için daha uygun cihazlardır. Cihazın güç beslemesi USB 2.0 kabloyla yapılırken, görüntü ve veri aktarımları USB 3.0 kablo ile yapılmaktadır. Cihaz içerisinde 1 adet kamera ve 2 adet infrared sensör bulunmaktadır. Kamera, kişinin videosunu çekerken 2 infrared sensör, katılımcının sağ ve sol gözünü takip etmektedir. Gazepoint GP3 HD, 150 Hz örnekleme oranında çalışmakta, 20 ms'nin altında göz takibi yapabilmekte ve 50-80 cm arasında çalışma menziline sahiptir. Cihaz, Gazepoint Control ve Gazepoint Analysis adlarında yüksek performanslı yazılımları ile birlikte kullanılmaktadır. Bu yazılımlardan ilki; uzaklık ayarı, kalibrasyon ve sistem kontrolü yapmakta olup ikincisi ise test çalışmasını, deney tasarımını, analiz ve değerlendirme için görselleştirme ayarları gibi bir çok seçenek sunmaktadır.

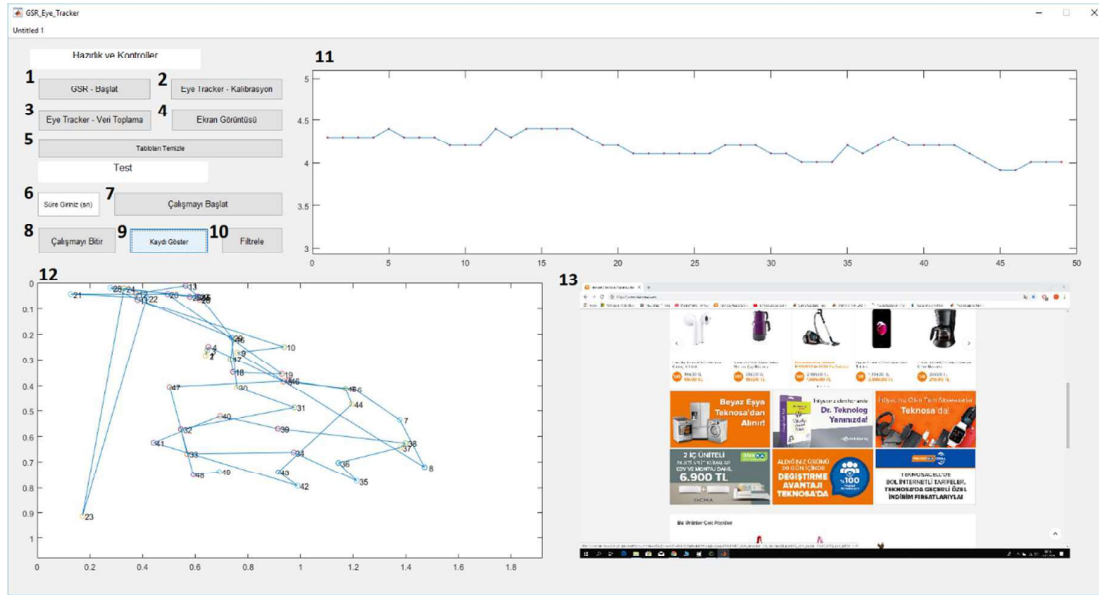
Yukarıdaki bölümünlerde, GSR ve Göz Takibi Cihazı'nın ayrı ayrı kullanımı anlatılmaktadır. Bu sistemler biyometrik analizler için tasarlanan test çalışmalarında birlikte kullanıldığında araştırmacıya bazı zorluklar yaşatmaktadır. GSR ve göz takibi yazılımlarının

aynı anda çalıştırılmasında, test süresince verilerin eş zamanlı görüntülenmesinde ve alınan sonuçların birlikte incelenmesinde bazı sorunlarla karşılaşabilmektedir. Ayrıca sistemler kendi yazılımları için periyodik olarak kullanıcıdan lisanslama ücreti talep etmektedir. Bu zorlukların giderilmesi amacıyla Matlab ortamında Graphical User Interface (Grafiksel Kullanıcı Arayüzü) kullanılması amaçlanmıştır. Menüler, araç çubukları, butonlar ve grafikler gibi kontroller içeren Matlab kullanıcı arayüzleri sinyal işleme, görüntü işleme, kontrol sistemi araç kutusu (toolbox) gibi birçok destekleyici uygulamaları da içermektedir. Özel uygulamaların ve tasarımların oluşturulması Matlab sayesinde gerçekleşebilmekte ve GSR – Göz Takibi Ortak Platformu bu sayede mümkün olabilmektedir.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

GSR ve göz takibi cihazları kullanım ve analiz kolaylığı için tek bir ortamda birleştirilmesi gerekmektedir. GSR cihazının platforma bağlanabilmesi için Arduino mikroişlemci kartının içerisine gömülü bir yazılım yerleştirilmelidir. Verilerin Matlab ortamına aktarılmasının ardından elde edilen değerler düzenlenerek grafiğe dönüştürülmektedir. Göz Takibi Cihazı'ndan ise infrared sensörün sağladığı, belirlenen ekran çerçevesi üzerindeki göz bebeği izdüşümleri alınmaktadır. Bu veriler de Matlab ortamında x-y konum grafiğine (yatay eksene karşılık dikey eksendeki değeri) aktarılmaktadır. Test çalışmasının uyarın görselleri ise masaüstü bilgisayar monitörüne görüntü olarak kaydedilmektedir. GSR - Göz Takibi Ortak Platformu için Şekil 4.1.'de verilen arayüz tasarlanmıştır. Bu tasarımda, 1 adet hazırlık ve kalibrasyon alanı, 1 adet test alanı ve bu alanlarda uygulanacak işlemlerin çıktılarının gözlenebileceği 3 adet grafik alanı bulunmaktadır.



Şekil 4. 1. GSR ve göz takibi cihazlarının ortak platformu

Platform çalıştırılmadan önce GSR ve göz takibi cihazları bilgisayara bağlanmalıdır. Cihazların çalıştırılmasının ardından platform üzerinden açılması ve verilerin alınması sağlanır. Arayüzde ilk alan hazırlık ve kontrolleri içerir ve toplamda 5 kısımdan oluşmaktadır. Hazırlık ve kontroller alanı, çalışmaya başlamadan önce cihazların düzgün

çalıştığını ve verilerin düzgün alındığını kontrol etmek amacıyla oluşturulmuştur. Şekil 4.1.1 ile numaralandırılan GSR - Başlat butonu, GSR cihazı sensörlerinden tespit edilen sinyalleri platforma aktararak sağ üstte gösterilen (Şekil 4.1.11’de gösterilmiştir) grafik alanına eş zamanlı olarak çizdirilmektedir. Şekil 4.1.11’deki grafikten verilerin alındığına ve herhangi bir bağlantı problemi olmadığına emin olunduğunda göz takibi ile ilgili işlemlere geçilmektedir. GSR - Başlat butonu için yazılmış Matlab kodları EK-A’da verilmektedir. Ayrıca, cihazdaki Aduino Uno’ya yüklenen program da EK-A’da verilmektedir.

Eye Tracker - Kalibrasyon butonu (Şekil 4.1.2 ile gösterilmiştir) ile Gazepoint GP3 HD cihazının kalibrasyonu başlatılmaktadır. Kalibrasyon sırasında test çalışmasına katılan kişiden, ekranda beliren 5 adet noktayı sırayla gözleriyle takip etmesi istenmektedir. İlk önce ekranın ortasında daha sonrasında ekranın 4 köşesinde beliren noktaların takip edilmesi ile Gazepoint cihazı için bir çerçeve çizilir. Kalibrasyon kontrolü için ise kişiden, ekranın çeşitli bölgelerinde bulunan simgelere bakması istenmektedir. Bu kontrol sırasında göz bebeği izdüşümleri yeşil halkalar ve çizgiler olarak görülür ve eğer simgelere bakıldığında bu yeşil çizgiler ve halkalar simgelerden uzakta ortaya çıkıyorsa kalibrasyon tekrarlanmalıdır. İzdüşümler, hedef simgelerin yakınlarında kalıyor ise Gazepoint’den veriler uygun şekilde alınabilmektedir. Eye Tracker - Kalibrasyon butonu için yazılmış Matlab kodları EK-B’de verilmektedir.

Eye Tracker - Veri Toplama butonu (Şekil 4.1.3 ile gösterilmiştir) ile Gazepoint GP3 HD cihazından infrared sensör verileri alınmaktadır. Sağ ve sol göz bebeklerinin ekran üzerindeki izdüşümleri tespit edilerek sol alt köşede (Şekil 4.1.12 ile gösterilmiştir) bulunan grafik alanına bu izdüşümler eş zamanlı olarak çizdirilmektedir. Ekran çözünürlüğü 1960x1080 olarak belirlendiğinden x-y eksen değerleri de bu çözünürlük ile sınırlıdır ve infrared sensörden gelen (x,y) konum verisine göre grafiğe çizdirilmektedir. Bu noktalar arasındaki geçişler birbirini takip eden çizgiler şeklinde grafiğe yansıtılmakta ve bakışların duraklama ya da atlama sayıları etiketlenerek grafik üzerinde gösterilmektedir. Grafiğin uygun çizdirildiğine kanaat getirdikten sonra diğer aşamalara geçilir. Eye Tracker – Veri Toplama butonu için yazılmış Matlab kodları EK-C’de verilmektedir.

Ekran Görüntüsü butonu (Şekil 4.1.4 ile gösterilmiştir) ile test çalışmasına katılan kişinin kullandığı monitörün masaüstü görüntüsü eş zamanlı kaydedilebilmekte ve bu

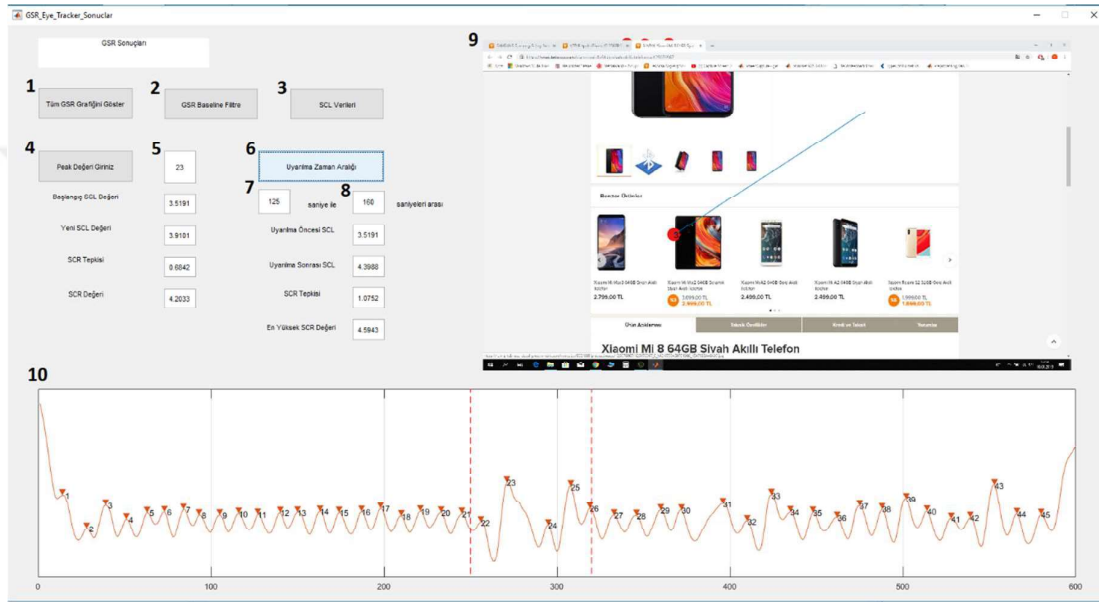
görüntü sağ alt köşede (Şekil 4.1.13 ile gösterilmiştir) bulunan alana aktarılmaktadır. Tüm masaüstü görüntüsünün bu alana aktarıldığının tespit edilmesi ile Hazırlık ve Kontrol aşamaları tamamlanmış olmaktadır. Tabloları Temizle butonu (Şekil 4.1.5 ile gösterilmiştir) ile de grafik alanlarının kontrol verilerinden temizlenmesi, test çalışmasına hazır hale getirilmesi sağlanmaktadır. Ekran Görüntüsü butonu ve Tabloları Temizle butonu için yazılmış Matlab kodları EK-D’de verilmektedir.

Arayüzün ikinci ana kontrol alanı, test alanı olarak isimlendirilmiştir ve buradaki kontrollerle test çalışmasının süresine bağlı olarak eş zamanlı GSR, göz takibi ve ekran görüntüsü elde edilmesine, başlanmasına ve kaydedilmesine olanak sağlanmaktadır. Bu alanda ilk olarak çalışma süresi girilmelidir. Şekil 4.1.6’da gösterilen alana tasarlanan çalışmanın süresi saniye cinsinden yazılmalıdır. Çalışmayı Başlat butonuna (Şekil 4.1.7 ile gösterilmiştir) tıklanarak tüm veriler sisteme aktarılmakta ve 3 grafik alanında da görüntülenmesi sağlanmaktadır. Test süresi boyunca Şekil 4.1.11’de μS birimindeki deri iletkenliği verilerinin zamana bağlı grafiği çizdirilmektedir. Eş zamanlı olarak göz takibi cihazından gelen izdüşümler Şekil 4.1.12’ye çizdirilirken, Şekil 4.1.13’de de monitörden gösterilen görsel uyaranlar aktarılmaktadır. Tek bir buton ile tüm işlemler başlatılırken, eş zamanlı olarak da tüm veriler gösterilebilmektedir. Çalışmayı Başlat butonu için yazılmış Matlab kodları EK-E’de verilmektedir.

Çalışmanın tamamlanması ardından Çalışmayı Bitir butonu (Şekil 4.1.8 ile gösterilmiştir) ile test durdurulur. Bu butonun tıklanması ile aynı zamanda GSR verileri ve göz takip verileri daha sonra kullanılması amacı ile excel dosyalarına ayrı ayrı kaydedilmektedir. Bunun haricinde, masaüstü görüntüsünde “.avi” uzantılı bir video halinde yedeklenmektedir. Bahsedilen bu 3 ham data, sonradan tekrar incelenmesi ve filtrelenmesi için kaydedilmektedir. Çalışmayı Bitir butonu için yazılmış Matlab kodları EK-F’da verilmektedir.

Çalışmada elde edilen verilerinin görüntülenmesi için Kaydı Göster butonu (Şekil 4.1.9 ile gösterilmiştir) tıklanarak ilgili verilerin yukarıda bahsedilen grafik alanlarında gösterilmesi sağlanmaktadır. Verilerin tekrar birlikte incelenmesine olanak sağlayan bu buton ile GSR - Göz Takibi Ortak Platformu’nun Test aşaması tamamlanmış olmaktadır. Kaydı Göster butonu için yazılmış Matlab kodları EK-G’de verilmektedir. Platformun Test

aşaması tamamlandıktan sonra kullanıcı tarafından toplanan verilerin filtrelenebilir ve incelenmesi gerekmektedir. Bu amaçla platforma Şekil 4.1.10’da gösterilen Filtrele butonu yerleştirilmiştir. Butona tıklanması ile kullanıcıya yeni bir pencere açılmakta ve değerlendirme için ihtiyacına yönelik seçenekler sunulmaktadır. Filtreleme ve değerlendirme aşamasında platformdan elde edilen görüntü Şekil 4.2.’de verilmektedir.



Şekil 4. 2. GSR - Göz Takibi Ortak Platformu’nun filtreleme ve değerlendirme aşamasındaki ekran görüntüsü

GSR – Göz Takibi Ortak Platformu, eş zamanlı görüntülemeyi ve verileri kaydetmenin dışında sonuçların analiz edilmesinde imkan sağlamaktadır. Analizler, test çalışmasında uyarının verilme ve takibi süresince gerçekleşen olayların dikkate alınmasıyla yapılmaktadır. Bu süre zarfında ekran üzerindeki uyarın görüntü, bu uyarana karşı yapılan göz hareketleri ve cilt iletkenliği değerleri tespit edilmekte ve yorumlanmaktadır. Yorumların yapılabilmesi için ilk önce cilt iletkenliği değerlerinin filtelenmesi gerekmektedir.

Tüm GSR Grafiğini Göster butonu (Şekil 4.2.1 ile gösterilmiştir) çalışma esnasında elde edilen tüm GSR verilerini pencerenin alt kısmındaki (Şekil 4.2.10 ile gösterilmiştir) grafik alanında göstermektedir. Tüm GSR Grafiğini Göster butonu için yazılmış Matlab kodları EK-H’de verilmektedir.

Şekil 4.2.10'da çizdirilen tüm GSR grafiklerinde çeşitli sebeplerden dolayı gürültü görülebilmektedir ve bunların temizlenmesi gerekmektedir. GSR Baseline Filtre butonu (Şekil 4.2.2 ile gösterilmiştir) verideki gürültünün giderilmesi amacıyla verilere önce lowpass filtre uygulamaktadır. Bu filtre sonrasında bir de baseline filtre uygulayarak, grafikteki taban noktalarına bir taban çizgisi çekmektedir. Bunun amacı, tespit edilen SCR tepkilerinin kullanıcıya grafik olarak sunulması ve analizin kolaylaştırılmasıdır. Çünkü basamaklı bir GSR grafiğinin yorumlanması daha fazla dikkat gerektirmekte ve bazen artan SCR değerleri gözden kaçmaktadır. Baseline filtre ile yalnızca oluşan SCR tepkileri grafiğe dökülmektedir. GSR Baseline Filtre butonu için yazılmış Matlab kodları EK-I'da verilmektedir.

SCL Verileri butonu (Şekil 4.2.3 ile gösterilmiştir) GSR grafiğini, yalnızca cildin elektrik iletkenliğinin arttığı ve dinlenme haline geçildiği durumların belirtilmesi yönünde çizdirmektedir. Şekil 4.2.10'da gösterilen turuncu grafikte, bu uyarılma ve dinlenme değerlerini gösteren pikler etiketlenmiş olarak görülmektedir. Grafik incelendiğinde, cildin iletkenlik değerlerinde toplamda 45 kere artış ve onu takip eden dinlenme halleri olduğu anlaşılmaktadır. İlk pikler dikkate alındığında, çalışmaya başlandığında bir cilt tepkisi meydana gelmekte (1. pik), dinlenme halinde bir süre geçirildikten sonra ufak bir iletkenlik artışı (2. pik), yine dinlenme ve sonrasında daha güçlü bir SCR tepkisi (3. pik) olduğu yorumu yapılabilmektedir. Grafikteki farklılıklar ise uyaranların verildiği zamanlara göre kendisini belli etmektedir. Piklerdeki farklılıkların zamansal olarak incelenmesi ve sistemin sunduğu SCL ile SCR değerlerinin belirlenmesi ile çalışmanın değerlendirmeleri yapılabilmektedir. SCL Verileri butonu için yazılmış Matlab kodları EK-I'da verilmektedir.

Grafik değerlendirilirken önemli olduğu düşünülen piklerin ve zamanların, SCL ve SCR değerleri hesaplanmaktadır. Bu hesaplamayı yapmanın bir yöntemi yalnızca deri iletkenliğinin artış gösterdiği zamanları yani pik değerlerinin girilmesidir. Yorumlanmak istenen pikin etiket numarasının Şekil 4.2.5'de gösterilen alana yazılması ve Şekil 4.2.4'de gösterilen Peak Değerini Giriniz butonuna tıklanması gerekmektedir. Bu sayede çalışma için önemli olduğu düşünülen pikin ya da uyaranın yarattığı etkinin verileri incelenebilmektedir. Çalışmada örneğin, 23 nolu pikin seçilmesi ile uyarılmanın başlangıç anındaki tonik seviye (Başlangıç SCL Değeri=3.5191 μ S olarak tespit edilmiştir), dinlenme haline geçiş sonrası oluşan yeni tonik seviye (Yeni SCL Değeri=3.9101 μ S), uyarana karşı verilen cilt iletkenlik

değeri değişimi (SCR Tepkisi= $0.6842 \mu\text{S}$) ve bu değişimde oluşan maksimum cilt iletkenlik değeri (SCR Değeri= $4.2033 \mu\text{S}$) otomatik bir şekilde kullanıcıya sunulabilmektedir. Ayrıca 23. pik değerleri için hesaplanan zaman aralığına ait ekran görüntüsü ile göz takip cihazından toplanan veriler üst üste bindirilerek Şekil 4.2.9'daki grafik alanında oynatılmaktadır. Bu sayede arzu edilen her uyarılma için ilgili ekran görüntüleri ve göz hareketleri rahatlıkla oynatılabilmekte ve sonuçlar yorumlanabilmektedir. Peak Değeri Giriniz butonu için yazılmış Matlab kodları EK-J'de verilmektedir.

Çalışma tasarımı uyarının verildiği zamanı platforma girilmesi ile de o zaman aralığı için oluşan SCL ve SCR verilerine ulaşılabilir. Bunun için, Şekil 4.2.7'de gösterilen uyarın başlangıç zamanı ve Şekil 4.2.8'de gösterilen uyarın bitiş zamanı saniye cinsinden girilmeli ve Şekil 4.2.6'da gösterilen Uyarılma Zaman Aralığı butonuna tıklanmalıdır. Bu sayede o zaman aralıklarına bağlı, örneğin Şekil 4.2.'de 125. ve 160. saniyeler arasındaki grafik ve değerler incelenebilmektedir. Zaman aralığı, Şekil 4.2.10'da gösterilen grafik alanında çizilerek belirtilmiştir. Bu zaman aralığı için, 125. saniyedeki cilt iletkenlik değerine (Uyarılma Öncesi SCL= $3.5191 \mu\text{S}$ olarak tespit edilmiştir), 160. saniyedeki cilt iletkenlik değerine (Uyarılma Sonrası SCL= $4.3988 \mu\text{S}$), 125. saniye sonrasında uyarının oluşturduğu cilt iletkenlik değeri değişimine (SCR tepkisi= $1.0752 \mu\text{S}$) ve bu süre zarfında oluşan maksimum cilt iletkenlik değerine (En Yüksek SCR Değeri= $4.5943 \mu\text{S}$) ulaşılabilir. Ayrıca 125. ve 160. saniyeler arasındaki ekran görüntüsü ve göz takip verileri Şekil 4.2.9'da oynatılmaktadır. Böylece hem istenilen zaman aralığındaki önemli verilere ulaşılabilir hem de bu zaman aralığı için ekran görüntüsü tespit edilerek göz takip cihazından elde edilen değerlerle birlikte kullanıcıya sunulmaktadır. Uyarılma Zaman Aralığı butonu için yazılmış Matlab kodları EK-K'de verilmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Elektrodermal aktivitenin ölçülmesini sağlayan GSR cihazı ile göz takibi analizini sağlayan Gazepoint GP3 HD göz takibi cihazı kendilerine ait yazılımları kullanmaktadır. Test çalışmalarında bu sistemlerin birlikte kullanılması istendiğinde manuel olarak ayrı ayrı başlatılmaları, durulmaları ve ayrı alınan sonuçların manuel olarak birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu araştırmacılar için hem verilerin senkronize edilmesinde bir zorluk hem de fazladan harcanan zaman demektir. Ayrıca yazılımların yıllık olarak lisans ücretleri de maddi külfet oluşturmaktadır. Oluşturulan bu platform sayesinde GSR ve göz takibi cihazlarının verileri tek bir tuşla sisteme aktarılmakta ayrıca çalışmaya katılan kişinin ekran görüntüsü de dahil diğer verilerle birlikte eş zamanlı olarak alınmaktadır. Sonrasındaki incelemeler ve filtrasyonlar için ise GSR ve Gazepoint ham dataları excel dosyasına yazdırılmakta, test çalışmasındaki göreseller de video halinde kaydedilmektedir. Farklı çalışmalardan alınan verilerin de sonradan incelenmesi için platformun uygulama dosyasının içerisine bu verilerin yüklenmesi ve platformdan ilgili butonun tıklanması yeterli olacaktır. Bu yararları haricinde tasarlanan bu platformun en büyük faydası, kaydedilen bu dökümanların ve videoların arasından istenilen cilt iletkenlik tepkisine ya da belirlenen zaman aralığına bağlı verilerin filtrelenerek kullanıcıya sunmasıdır. Böylece yapılacak birkaç işlem sonrasında tüm çalışma içerisinde istenilen zaman aralıklarına ait SCL, SCR, göz takibi ve ekran kayıt bilgilerine ulaşılabilir. Ayrıca verilerin elde edilmesinde Matlab'in kullanılması ve kodlarının açık olarak verilmesi, GSR - Göz Takibi Ortak Platformu'nun geliştirilebilirliğini ve sürdürülebilirliğini sağlamaktadır. Arayüz platform ilk aşama olarak, birden çok zaman aralığının girilmesi ya da göz takibi verilerinin sıcaklık haritası şeklinde ekran videosuna işlenmesi olarak geliştirilebilmektedir. Mevcut platformda göz takibi için fiksasyon harita tekniği kullanılmıştır. Bu teknik en sık kullanılan göz takibi tekniğidir ve gerekli kodlamalar yapılarak grafik üzerinden sıcaklık haritasına veya diğer tekniklere dönüştürülebilmesi mümkündür. Farklı ekipmanların da eklenmesi ile platformun, sürekli gelişen ve kullanım amacı artan bir sistem haline gelmesi muhtemel görünmektedir.

Platformda kullanılan tüm kodlar tez çalışmasının EK'ler kısmında mevcuttur.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Benedek, M., ve Kaernbach, C., (2010). A Continuous Measure of Phasic Electrodermal Activity, *Journal of Neuroscience Methods*, 190, 80-91.
- Braithwaite, J., J., Watson, D., G., Jones, R., ve Rowe, M., (2013). *A Guide for Analysing Electrodermal Activity (EDA) and Skin Conductance Responses (SCRs) for Psychological Experiments*, Technical Report: Selective Attention & Awareness Laboratory (SAAL) Behavioural Brain Sciences Centre, Birmingham Üniversitesi, İngiltere, 1-42.
- Cacioppo, J., T., Tassinary, L., G., ve Berntson, G., G., (2007). The Electrodermal System, *The Handbook of Psychophysiology*, Third Edition, Cambridge University Press, Cambridge, İngiltere, 159-177.
- Carlson, B., (2018). *The Nervous System*, The Human Body: Linking Structure and Function, First Edition, 137-175.
- Celine, G., Cho, V., Kogan, A., Anthonappa, R., ve King, N., (2018). *Eye-Tracking in Dentistry: What do Children Notice in the Dentist?*, *Journal of Dentistry*, 78, 72-75.
- Christopoulos, G., C., Uy, M., A., ve Yap, W., J., (2016). *The Body and The Brain: Measuring Skin Conductance Responses to Understand to Emotional Experience*, *SAGE Journals*, 1-26.
- Desmet, C., ve Diependaele, K., (2018). *An Eye-Tracking Study on the Road Examining the Effects of Handsfree Phoning on Visual Attention*, *Transportation Research*, 60, 549-559.
- Dubé, A., A., Duquette, M., Roy, M., Lepore, F., Duncan, G., ve Rainville P., (2008). *Brain Activity Associated with the Electrodermal Reactivity to Acute Heat Pain*, *NeuroImage*, 45, 169–180.
- Esen, F., (2000). *Elektrodermal Aktivite*, *Türkiye Klinikleri Tıp Bilimleri Dergisi*, 20(1), 27-34.
- Everly, G., S., ve Lating, J., M., (2013). A Cilinical Guide to the Treatment of the Human Stress Response, Third Edition, *Springer*, ABD, 17-51.
- Giromini L., Ando, A., Morese, R., Salatino, A., Girolamo, M., D., Viglione, D., J., ve Zennaro, A., (2016). *Rorschach Performance Assessment System (R-PAS) and Vulnerability to Stress: A Preliminary Study on Electrodermal Activity During Stress*, *Psychiatry Research*, 246, 166–172.
- Holper, L., Wolf, M., ve Tobler P., N., (2014). *Comparison of Functional Near-Infrared Spectroscopy and Electrodermal Activity in Assessing Objective Versus Subjective Risk During Risky Financial Decisions*, *NeuroImage*, 84, 833–842.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Khazan, I., Z., (2013). *The Clinical Handbook of Biofeedback: A Step-by-Step Guide for Training and Practice with Mindfulness*, Wiley-Blackwell, 179-185.
- Koçyiğit, Y., (2013). *Periferik Sinir Sistemi Fizyolojisi Ders Notları*, Dicle Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji A.D.
- Kula, H., ve Süer, C., (2006). *Kısa Süreli Egzersizin Antrene Sporcularda Deri İletkenliğine Etkisi*, Sağlık Bilimleri Dergisi, 15(2), 107-115.
- Küçük, N., T., Yaman, C., Güngör, S., ve Eroğlu, S., (2018). *Online Alışveriş Süreçlerinde Dijital Yerlilerin ve Dijital Göçmenlerin Stres Düzeylerinin Biyometrik Analizi*, Journal of Life Economics, 5(4), 178-190.
- Laureys, S., Gosseries, O., ve Tononi, G., (2016). *The Neurology of Consciousness: Cognitive Neuroscience and Neuropathology, Second Edition*, Elsevier Academic Press, ABD.
- Longo, G., ve Montevil, M., (2014). *Perspectives on Organisms: Biological Time, Symmetries and Singularities*, Springer, Berlin, Germany.
- Ludwig, P., E., ve Czyn, C., N., (2018). Physiology: Eye, StatPearls, 1-5.
- McCorry, L., K., (2007). *Physiology of the Autonomic Nervous System*, American Journal of Pharmaceutical Education, 71(4), 1-11.
- McDougal, D., H., ve Gamlin, P., D., (2015). *Autonomic Control of the Eye*, Comprehensive Physiology, 5(1), 439-473.
- Montain, S., J., Cheuvront, S., N., ve Lukaski, H., C., (2007). *Sweat Mineral-Element Responses During 7 h of Exercise-Heat Stress*, International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism, 17 (6), 574-582.
- Ohme, R., Wiener, D., Reykowska, D., ve Choromanska, A., (2009). *Analysis of Neurophysiological Reactions to Advertising Stimuli by Means of EEG and Galvanic Skin Response Measures*, Journal of Neuroscience, Psychology and Economics, 2 (1), 21-31.
- Oliva, M., ve Anikin, A., (2018). *Pupil Dilation Reflects the Time Course of Emotion Recognition in Human Vocalizations*, Scientific Reports, 4871, 1-10.
- Olton, D., S., ve Noonberg, A., R., (1980). *Biofeedback: Clinical Applications in Behavioral Medicine*, First Edition, Prentice Hall, ABD.
- Özkan, S., B., ve Duman, S., (1995). *Sakkadik Göz Hareketleri: Değerlendirme Parametreleri ve Ölçüm Metodları*, Oftalmoloji, 4 (1), 78-80.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Peysakhovich, V., Dehais, F., ve Duchowski, A., T., (2018). *Why is Eye Tracking an Essential Part of Neuroergonomics?*, Neuroergonomics: The Brain at Work and in Everyday Life, Chapter 4, 27-30.
- Saraymen, R., Kılıç, E., ve Yazar, S., (2004). Sweat Copper, Zinc, Iron, Magnesium and Chromium Levels in National Wrestler, *İnönü Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*, 11 (1), 7-10.
- Schwartz, M., S., ve Andrasik, F., (2016). Biofeedback: A Practitioner's Guide, Fourth Edition, *The Guilford Press*, Londra, İngiltere, 55-67.
- Shaffer, F., ve Moss, D., (2014). *Biofeedback*, Textbook of Complementary and Alternative Medicine, Second Edition, 1-22.
- Shojaeizadeh, M., Djamasbi, S., Paffenroth, R., C., ve Trapp, A., C., (2018). *Detecting Task Demand via an Eye Tracking Machine Learning System*, Decision Support Systems, 116, 91-101.
- Svetlak, M., Bob, P., Roman, R., Jezek, S., Damborska, A., Chladek, J., Shaw, D., J., ve Kukleta, M., (2013). *Stress-Induced Alterations of Left-Right Electrodermal Activity Coupling Indexed by Pointwise Transinformation*, *Physiol. Res.*, 62, 711-719.
- Tortora, G., J., ve Anagnostakos, N., P., (1987). *Principles of Anatomy and Physiology*, Fifth Edition, Harper and Row Publishers, New York.
- Toyokura, M. (2009). *Paradoxical Shortening of Sympathetic Skin Response Latency at Distal Recording Sites*, *Clinical Neurophysiology*, 120, 123-127.
- Van Engen, K., J., ve McLaughlin, D., J., (2018). *Eyes and Ears: Using Eye Tracking and Pupilometry to Understand Challenges to Speech Recognition*, *Hearing Research*, 369, 56-66.
- Vanderah, T., W., ve Gould, D., J., (2016). Nolte's The Human Brain: An Introduction to its Functional Anatomy, Elsevier, ABD.
- Villarejo, M., V., Zapirain, B., G., ve Zorrilla, A., M., (2012). *A Stress Sensor Based on Galvanic Skin Response (GSR) Controlled by ZigBee*, *Sensors*, 6075-6101.
- Vincent, M., D., ve Barlow, D., H., (2009). *Abnormal Psychology: An Integrative Approach. Fifth Edition*, Wadsworth Cengage Learning, 331.
- Yaman, C., Küçün, N., T., Güngör, S., ve Eroğlu, S. (2018). *Reklamlara Yönelik Dikkatin Göz İzleme Tekniği ile Ölçülmesi ve Bağlam Etkisi*, *Journal of Life Economics*, 5(4), 221-232.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Zangroniz, R., Rodrigo, A., M., Pastor, J., M., Lopez, M., T., ve Caballero, A., F., (2017).
Electrodermal Activity Sensor for Classification of Calm/Distress Condition,
Sensors, 17, 2324, 1-14.

