



Evaluation of brain computer interface usage in terms of cognitive load: A pilot study

Emin Kahya*^{ORCID}, N. Fırat Özkan^{ORCID}, Berna Ulutaş^{ORCID}

Department of Industrial Engineering, Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir, 26480, Turkey

Highlights:

- Examining the cognitive load resulting from Brain Computer Interfaces.
- Investigation of significant physiological manifestations for different brain potentials used in Brain Computer Interfaces.
- Investigating the effects of difficulty levels and different task types on tasks performed on Brain Computer Interfaces.

Graphical Abstract

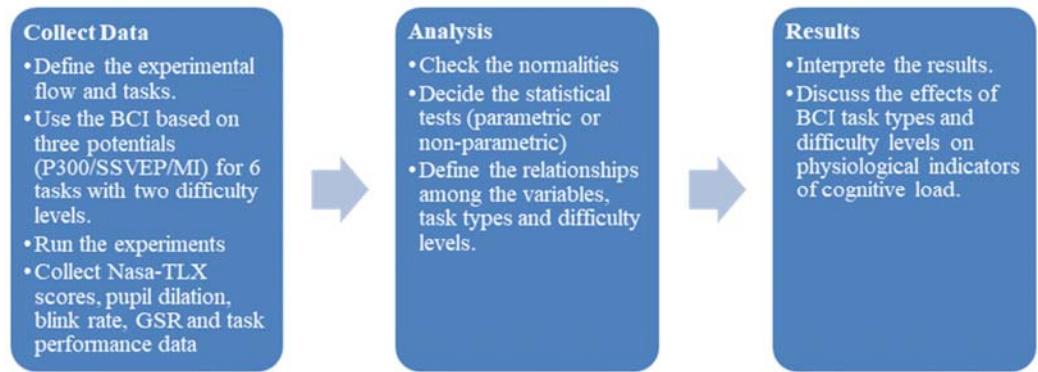


Figure A. Process of experimental approach to BCI evaluation in terms of cognitive load

Keywords:

- Cognitive Load
- Brain Computer Interface
- Nasa-TLX
- Pupil Size
- Blink Rate
- Galvanic Skin Response

Purpose: The aim of this study is to evaluate the cognitive load level of Brain Computer Interfaces, which is expected to have larger implementation areas in the near future, with a comprehensive approach. It is known that cognitive load has a large number of physical indicators and estimation methods. This study explores the different applications of Brain Computer Interfaces and which approaches can be more effective at different levels of difficulty.

Methods: In the study, easy and difficult tasks were designed in BCI applications with 3 different brain potentials. In addition to the physical symptoms that may be related to cognitive load, task completion performances and Nasa-TLX scores were also collected. The data obtained were analyzed with appropriate statistical approaches.

Results: In this pilot study, three different brain activities (P300 / SSVEP / ERD-ERS) based tasks were used in BCI systems. Analysis of the data obtained from seventy participants showed that the most sensitive cognitive load indicator was pupil dilation in BCI-based tasks. The task type that makes the difference in cognitive load in the clearest way is P 300 tasks. While blink rates were found to change significantly as the type of tasks changed, GSR data became a more meaningful indicator as the task difficulty increased.

Conclusion: In the BBA tasks, the importance of brain activities instead of motor activities requires a different approach than other cognitive studies for such tasks. At this point, it has been tried to contribute to the elimination of a gap in the literature. The fact that cognitive load is considered as an indicator in the new systems, interface and environment designs related to BCI's, the fact that meaningful results have been obtained for which brain symptoms should be prioritized shows that the study can contribute positively to BCI-based studies.

Article Info:

Received: 22.08.2017

Accepted: 24.01.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.416522

Acknowledgement:

This study was supported by ESOGÜ as Scientific Research Project numbered 2013-141. We would like to thank 70 volunteers for their contribution to the study.

Correspondence:

Author: N. Fırat ÖZKAN
e-mail: fozkan@ogu.edu.tr
phone: +90 222 239 3750



Beyin bilgisayar ara yüzü kullanımının bilişsel yüklenme açısından değerlendirilmesi: bir pilot uygulama

Emin Kahya*^{ORCID}, N. Fırat Özkan^{ORCID}, Berna H. Ulutaş^{ORCID}

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Beyin Bilgisayar Ara yüzlerinin oluşturduğu bilişsel yükün incelenmesi
- Beyin Bilgisayar Ara yüzlerinde kullanılan farklı beyin potansiyelleri için anlamlı fizyolojik belirtilerin araştırılması
- Beyin Bilgisayar Ara yüzlerinde yapılan görevlerin zorluk dereceleri ve farklı görev türlerinin etkilerinin araştırılması

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi
Geliş: 22.08.2017
Kabul: 24.01.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.416522

Anahtar Kelimeler:

Bilişsel Yük,
beyin bilgisayar ara yüzü,
NASA-TLX,
göz bebeği çapı,
göz kırpma oranı,
galvanik deri direnci

ÖZET

Beyin Bilgisayar Ara yüzleri (BBA), aslen felçli hastalara yardımcı olması amacıyla geliştirilen ve beyin aktiviteleri ile bilgisayara komut verilmesini sağlayan sistemlerdir. Bu çalışmada, BBA sistemlerinden yararlanılarak, bilişsel iş yükünün objektif, kolay uygulanabilir ve yorumlanabilir bir yöntemle incelenmesi amaçlanmıştır. Pilot uygulama kapsamında yetmiş sağlıklı katılımcı, bir BBA sistemi aracılığıyla altı adet görevi yerine getirmiş ve eş zamanlı olarak katılımcılara ait göz bebeği değişim oranı, göz kırpma oranı ve galvanik deri direnci (GDD) verileri toplanmıştır. Her bir görevden sonra katılımcılar NASA-Task Load Index (NASA-TLX) formlarını doldurmuş ve aynı zamanda katılımcıların görevlerdeki başarı düzeyleri de tespit edilmiştir. Toplanan veriler istatistikî yöntemlerle analiz edilerek sağlıklı katılımcıların farklı BBA uygulamalarındaki bilişsel yüklenme eğilimleri ve görevler esnasında anlamlı değişim gösteren belirtiler saptanmıştır.

Evaluation of brain computer interface usage in terms of cognitive load: a pilot study

H I G H L I G H T S

- Examining the cognitive load resulting from Brain Computer Interfaces
- Investigation of significant physiological manifestations for different brain potentials used in Brain Computer Interfaces
- Investigating the effects of difficulty levels and different task types on tasks performed on Brain Computer Interfaces

Article Info

Research Article
Received: 22.08.2017
Accepted: 24.01.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.416522

Keywords:

Cognitive Load,
brain computer interface,
NASA-TLX,
pupil size,
blink rate,
galvanic skin response

ABSTRACT

Brain Computer Interfaces (BCIs) are systems that are originally developed to assist patients with paralyzed illnesses and they provide commands to the computer with brain activities. In this study, it is aimed to investigate the cognitive work load with objective, easy to apply and interpretable method by using Brain Computer Interface systems. In the pilot study, seventy healthy participants performed six tasks via a BCI system and simultaneously collected participants' pupil sizes, blink rate and galvanic skin resistance (GSR) data. After each task, the participants fills out the NASA-TLX forms while the achievement levels of the participants are determined. By statistically analyzing the collected data, the tendency of cognitive load for different BCI applications of the participants and the most significant changes during tasks are identified.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte özellikle medikal amaçlar için beyin ile kontrol edilebilen bilgisayar ve cihazların geliştirilmesi konusunda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Sinirsel Geri Bildirim mantığı ve özelliklerini de içeren sistemler beyin dalgalarındaki değişimleri tespit ederek bunları bilgisayarın anlayabileceği bir komut haline getirip, bir ara yüz aracılığı ile kullanıcı ve bilgisayar arasındaki iletişimi sağlamaktadır. BBA; temelde üç nörofizyolojik olguyu algılamaktadır. Olaya ilişkin potansiyeller olarak adlandırılan bu olgulardan ilki P 300 olgusudur. 1965 yılında Sutton vd. tarafından tanımlanan P 300 bileşeninin karar verme, belirsizliğin çözümü ve görevin yerine getirilmesi gibi olaylar sonucunda oluştuğu bildirilmektedir [1]. P 300 potansiyeli 2-5 μ V genlikle ve yaklaşık 150-200 milisaniye süreyle beliren bir beyin aktivitesi olarak tanımlanabilir [2]. Standart uyaran yanıtlarında oluşmayıp hedef uyaran yanıtlarında izlenen P 300 bileşeni, karar verme ve dikkatin odaklanması ile ilgili değerlendirmelerde yaygın olarak kullanılmaktadır [3].

P 300 olgusunun algılanması üzerine geliştirilen BBA uygulaması bir heceleme ara yüzüdür. Harflerin bulunduğu bir matris üzerinde satır ve sütunlar rastgele yanıp sönerken kullanıcı yazdırmak istediği harfe odaklanmakta ve başarılı bir şekilde odaklanabilirse bu harfi ekrana yazdırabilmektedir. Bu açıdan bakıldığında ara yüzün başarılı şekilde ve hızlı kullanılabilmesi kişinin dikkatini toplayabilme ve odaklanabilme yeteneklerine bağlıdır.

Uyaran tabanlı bir diğer BBA sisteminde ise kişiye farklı frekanslarda yanıp sönen görsel uyaranlar gösterilir. Kişi bu uyaranlardan birine odaklandığı zaman beyin görüntü ile ilgili bölgelerinde odaklanılan uyaran ile aynı frekansta salınımlar gösteren örüntüler gözlemlenebilmektedir. Bu beyin aktivitesi Durağan Hal Görsel Uyarılmış Potansiyel olarak adlandırılır ve baş harflerinden oluşan SSVEP (Steady State Visual Evoked Potentials) kısaltmasıyla bilinir. Bu potansiyel ortaya çıktığı zaman yani farklı frekanstaki uyaranlar ayırt edildiği zaman, basit bir bilgisayar uygulaması ile elektronik sistemlerin kontrolü mümkün olmaktadır [4]. BBA sistemlerinde kullanılan bir diğer nörofizyolojik olgu da kişinin hareket etme istemi veya düşüncesi sonucunda beyin duyu - motor bölgelerinde birtakım elektriksel değişimlerdir. Sağ elimizi hareket ettirmek istediğimizde beyin sol bölgesi, sağ yarım küreye göre daha farklı bir elektriksel aktivite göstermektedir [4]. Bu farklılık tespit edilerek bilgisayara ilgili komut olarak iletildiğinde ekrandaki bir imleci ya da kontrol elemanını istenilen yönde hareket ettirmek mümkündür. Bu uygulamalar BBA' larda Motor İmgeleme (Mİ) uygulamaları olarak adlandırılır.

BBA sistemlerinin tıbbi amaçlar haricinde kullanımına dair çalışmalar son yıllarda çoğalmış olsa da kapsamlı olarak BBA sistemlerinin tüm özelliklerini kullanan deneysel çalışmalar henüz yaygınlaşma aşamasındadır. Bu noktadan

hareketle, BBA sistemlerinin farklı beyin aktiviteleri ve farklı bilişsel durum gerektiren görevlerini kapsayan, kişilerin hem rehabet etkisi hem de bilişsel yüklenme oluşturan farklı görevleri birden fazla zorluk derecesinde yerine getirmelerine dayanan bir deneysel çalışma tasarlanmıştır. Bu sayede BBA sistemlerini kullanan sağlıklı insanların farklı zorluk derecelerindeki görevlerde ne kadar zorlandıkları ve bu esnada bilişsel açıdan nasıl değişimler gözlemlendiği araştırılmıştır. Pilot Çalışmaya, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi'nde Lisans ve Lisansüstü öğrencisi olan 70 kişi katılmıştır. Deneyler sırasında g. Tec BBA sisteminin yanı sıra Tobii-60 ekran altı göz takip sistemi ve GDD ölçer kullanılmıştır. BBA aracılığıyla yapılan görevler esnasında fiziksel belirtiler ölçülmüş ve her bir görevin arkasından katılımcılar NASA-TLX formlarını doldurmuşlardır.

2. LİTERATUR ARAŞTIRMASI (LITERATURE REVIEW)

Bilişsel yük ile ilgili literatürde kolay ve maliyetsiz olmaları nedeniyle öznel yöntemleri kullanan çok sayıda çalışma mevcuttur. Öznel yöntemler dışında fizyolojik belirtilerin kullanıldığı, ikincil görev yaklaşımının benimsendiği ya da bu yöntemlerin birden fazlasının aynı anda kullanıldığı çalışmalar da yapılarak daha gerçekçi sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır.

Deneysel çalışmalarda katılımcılara yaptırılan görevler çalışmanın amacına göre farklılık göstermektedir. Otomobil sürücülerinde yapılan çalışmalar bu alanda önemli yer tutarlar. Alm ve Nilsson [5] yaptıkları çalışmada otomobil sürücülerinin sürüş esnasındaki bilişsel yüklenmelerini NASA-TLX aracılığıyla tespit etmişlerdir. Çalışmada bir sürüş simülatörü kullanılmış ve sonuçta sürüş esnasında cep telefonu kullanmanın reaksiyon süresi üzerinde olumsuz bir etki oluşturduğunu ve bu etkinin yaş arttıkça daha çok hissedildiğini belirtmişlerdir. Matthews vd. [6], araştırmalarında otomobil sürücülerinin sürüş esnasında sohbet etmelerinin kendilerinde yarattığı bilişsel yükü tespit için öznel yöntemlerden faydalanmışlardır. Deneyde üç tip cep telefonu karşılaştırılmıştır. Bu tipler elde tutulan normal bir cep telefonu, elde tutmak zorunda kalınmayan, hoparlör ve mikrofon destekli bir cep telefonu ve harici mikrofonu sahip bir cep telefonudur. 13 kişi üzerinde yapılan deneyin NASA-TLX sonuçlarına göre hiç telefon görüşmesi yapılmadığı takdirde oluşan bilişsel yük diğer tüm durumlardan anlamlı derecede daha düşük çıkmıştır. Telefon türleri arasında ise en düşük bilişsel yükü yaratan serbest el özelliği bulunan telefon olmuştur.

Otomobil sürücülerinin bilişsel yükleri hakkında bir diğer çalışmayı Horberry vd. [7] yapmışlardır. Bir sürüş simülatörü içine yerleştirilen serbest el özellikli cep telefonu aracılığıyla sürüş esnasında konuşma ortamı sağlanmıştır. Ayrıca gidilen yolun özellikleri de basit ve karmaşık olarak iki düzeyde ayarlanmıştır. Deneyin sonuçlarına göre hem basit hem karmaşık yolda telefonla konuşmak bilişsel yükü arttırmıştır. Yaşı daha büyük katılımcıların karmaşık yolda

gençlere göre daha düşük bir hızda seyrettikleri de deneyin sonuçları arasında sunulmuştur. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde sadece otomobil sürücüleri değil benzer yaklaşımlarla uçak pilotları ve tren makinistleri üzerinde de deneyler yapıldığı görülmektedir. Monotonluk ve bilişsel yük hakkında yaptıkları çalışmada Dunn ve Williamson [8], tren makinistlerini bir simülatörde üç saatlik testlere tabi tutmuşlardır. Testlerden biri rotası itibarıyla monotonken diğeri daha çok uyarıcı içeren monotonluğu azaltılmış bir testtir. Test sonuçlarında performans çıktısı olarak kurallara uymama oranı kullanılırken bilişsel yük tespiti için NASA-TLX kullanılmıştır. Ayrıca katılımcıların rotayı sıkıcı, yorucu, bilişsel çaba gerektirici bulup bulmadıklarını tespiti yönelik nesnel bir soru seti kullanılmıştır. Çalışmanın vurguladığı en önemli sonuç daha çok uyarıcı barındıran rotanın bilişsel açıdan daha zorlayıcı monotonluğunun ise daha düşük bulunması olmuştur. Monoton rota ise daha sıkıcı ve yorucu olarak değerlendirilmiştir. Yiyuan vd. [9] ise NASA-TLX'i kokpit tasarımının değerlendirilmesi için kullanmışlar ve 8 adet uçuş mürettebatından 72 kokpit bileşeninin kendilerinde yarattığı etkiyi değerlendirmelerini istemişlerdir. Çalışma sonunda, daha az hata ve kaza için kokpitlerin henüz tasarım sırasında iken bilişsel yüklenme açısından değerlendirilmesi gerektiği ve NASA-TLX yönteminin tasarım özelliklerinin değerlendirilmesi amacıyla kullanılması sonucunda da anlamlı sonuçlar verebildiği belirtilmiştir.

NASA-TLX ve Subjective Workload Assessment Technique (SWAT) yöntemlerinin kıyaslanması amacıyla yapılan deneysel bir çalışmada Rubio vd. [10] 12'şer kişiden oluşan deney gruplarından birine tek görev ve diğerine de iki görevi eş zamanlı yaptırmışlardır. Aynı anda tek görev yapan grup uzunlukları 2 harften 4 harfe kadar git gide artan kelimeleri hafızalarında tutmak ve ekrandaki bir imleci takip etmek şeklinde iki görevi ayrı ayrı yapmışlardır. Eş zamanlı iki görev yapan grup ise bu iki görevi beraber yerine getirmişlerdir. Görevlerin sonunda NASA-TLX ve SWAT yöntemleri ile değerlendirmelerde bulunmuş ve iki yöntemin sonuçları arasında anlamlı bir fark olmadığı belirtilmiştir.

Öznel yöntemlerin kullanıldığı farklı alanlara örnek olarak imalat ve sağlık çalışanları üzerindeki incelemeler verilebilir. Leung vd. [11] tarafından yapılan deneysel çalışmada CNC operatörlerinin bilişsel yüklenmeleri dört görevden oluşan bir deney ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada gerçek CNC tezgâhlarının yerine bir sanal gerçeklik uygulaması kullanılmıştır. Ayrıca katılımcılar da gerçek operatörler değil lisans öğrencileridir. Görev tipleri zor ve kolay olarak belirlenmiş olup 2 ve 7 günlük aralıklarla tekrarlı deneyler yapılmıştır. Bilişsel yük tespit aracı olarak NASA-TLX öznel yöntemi tercih edilmiş olup veriler doğrusal regresyon ile analiz edilmiştir. NASA-TLX yönteminin tıp alanında kullanımına dair Yurko vd. [12] bir çalışma yayınlamışlardır. Laparoskopik ameliyatından çıkan doktorlar NASA-TLX formlarını doldurmuş ve ameliyat esnasında, müdahale edilmesi gereken organın çok yakınındaki başka yapılara kazayla temas ederek küçük

kanamalara sebebiyet veren doktorların, ameliyat esnasındaki hissettikleri bilişsel yükün daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır

Bilgisayar başında yapılan görevlerin bilişsel yük açısından incelenmesi için de yapılan farklı çalışmalar mevcuttur. Bu görevler amaca yönelik farklı ara yüzlerin değerlendirildiği ya da internet sitelerinin kullanılabilirliğinin incelendiği çalışmalarda göze çarpmaktadır. Brewster [13], yaptığı araştırmada bilgisayar kullanıcılarının bilgisayardan gelen sesli geri bildirimler ile görev performanslarının yükseldiğini, daha az hata yaptıklarını ve bilişsel yüklenmelerinin daha az olduğunu belirlerken, bilişsel yüklenme tespiti için NASA-TLX yöntemini kullanmıştır. NASA-TLX kullanılarak gerçekleştirilen bir diğer çalışmada [14] bir hava trafiği kontrol simülasyonu kullanılmış ve 36'şar kişiden oluşan 3 grup bu görevi farklı bilişsel şartlar altında yerine getirmişlerdir. İlk gruba simülasyondan sinyaller gelmeden önce ipucu verilmiş ve gelecek sinyallere hazır olmaları sağlanmıştır. İkinci gruba bir sinyali yakalayıp yakalayamadıkları anlık olarak bildirilerek performans geri bildirimleri sağlanmıştır. Üçüncü gruba ise ne görev başında ne görev esnasında herhangi bir bilgi verilmemiş sadece ekranı kontrol etmeleri istenmiştir. Deney sonucunda ipucu verilen grubun bilişsel yükü diğer ikisinden anlamlı şekilde düşük çıkmıştır. Tracy ve Albers [15], yaptıkları çalışmada NASA-TLX yönteminin internet sitelerinin kullanılabilirlik çalışmalarında kullanımını tartışmışlardır. Çalışmada NASA-TLX ile birlikte önerilen diğer iki yöntem Sternberg Hafıza Testi ve Tapping Testidir. Çalışmada Sternberg Hafıza Testinin kullanımı şöyle açıklanmıştır; testin başında katılımcıya 6 adet tek rakam gösterilerek bunları aklında tutması istenmektedir. Daha sonra katılımcı, ilgili internet sitesi ile ilgili verilen görevleri yerine getirmeye başlamaktadır. Katılımcı görevi yerine getirirken eşit aralıklarla ekranda bir rakam görünmekte ve katılımcıdan bu rakamın kendisine en başta verilen rakam seti arasında olup olmadığı sorulmaktadır. Böylelikle katılımcının rakam hatırlamada gösterdiği performans üzerinden, ilgilenilen internet sitesinin yarattığı bilişsel yük hakkında yorum yapmak mümkün olmaktadır. Çalışmada uygulanan Tapping Testi kapsamında katılımcının daha az elinin işaret parmağı ile saniyede yaklaşık 1 kez olmak üzere eşit aralıklarla masaya vurması istenir. Eş zamanlı olarak ilgilenilen internet sayfası hakkındaki görevleri yerine getirir. Katılımcının site ile ilgili görevleri yaparken masaya vurmasını aksatıp aksatmadığı gözlemlenerek sitenin yarattığı bilişsel yük hakkında yorum yapılır.

NASA-TLX yönteminin geliştirilişinin 20. yılında yapılan bir literatür araştırmasında Hart [16], bu yöntemin hangi sektörlerde ve hangi ülkelerde ne kadar yaygınlıkta kullanıldığını araştırmış ve yöntemin geldiği son nokta hakkında bilgileri derlemiştir. Araştırma sonuçlarına göre NASA-TLX yönteminin en ağırlıklı olarak havacılık, kamu görevleri ve askeri görevlerle ilgili araştırmalarda kullanıldığı ortaya çıkmıştır. Yöntemi en çok kullanan ülkelerin ise Kuzey Amerika ve Avrupa ülkeleri olduğu belirtilmiştir. NASA-TLX yönteminin kullanımına dair bir

başka çalışma da Noyes ve Bruneu [17] tarafından yapılmıştır. Otuz kişinin katıldığı deneysel çalışmada 1600 kelime uzunluğunda aynı kaynaktan alınmış iki farklı kitap bölümünden biri katılımcılara kendi tercihleri doğrultusunda okutulmuş ve bu deneyin ilk aşamasını oluşturmuştur. İlk aşamanın sonunda katılımcılar hem kâğıt üzerinde hem de bilgisayar başında uygulanabilen NASA-TLX formlarını doldurmuşlardır. Deneyin ikinci aşamasına ise ilk deney katılmayan başka bir 30 kişilik grup katılmıştır. İkinci deneydeki görev bir okuma görevi değil parça içinde istenen iki kelimenin bulunması deneyidir. Beş dakika süre içerisinde kelimeleri bulan katılımcılar yine hem kâğıt üzerinde hem de bilgisayar başında NASA-TLX formlarını doldurmuşlardır. Sonuçlar incelendiğinde bilgisayar başında yerine getirilen NASA-TLX sonuçlarının kâğıt üzerindeki göre anlamlı derecede daha yüksek çıktığı belirlenmiştir.

Öznel yöntemlerin tek başına kullanımını yerine güvenilirliği arttırmak adına fizyolojik belirtilerden ya da beyin aktivitelerinin gözlenmesinden faydalanmak da mümkündür. Kullanılan fizyolojik belirtilerden en yaygınları göz bebeği çapındaki değişimler, göz kırpması oranı ve GDD olarak öne çıkmaktadırlar. Schultheis and Jameson'un [18], çalışmalarında hem uzaktan göz bebeği çapı ölçümü yapan bir göz takip sisteminden faydalanılmış hem de EEG yardımı ile P 300 potansiyeli saptanarak, bu potansiyel bilişsel zorlanmanın doğrudan bir göstergesi olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada göz bebeği çapındaki değişimler katılımcılarda P 300 potansiyelini harekete geçirici birincil ve ikincil görevlerin yerine getirilmesi esnasında takip edilmiştir. Çalışmada P 300 potansiyelinin ortaya çıkması için diğer uyaranlar arasında ortaya çıkan özel bir uyarana karşı dikkat toplama faaliyeti sağlanmış ve bu faaliyet bir bilişsel çaba olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmada birincil görev katılımcılara farklı uzunluktaki paragrafların okutulmasıdır. Katılımcılar paragrafları okurken eş zamanlı olarak çeşitli işitsel uyaranlar tarafından uyarılmışlardır. Bu sayede P 300 potansiyelinin ortaya çıkışı anları daha net şekilde tespit edilebilmiştir.

Klingner vd. [19] tarafından yapılan bir başka çalışmada da yine göz bebeği çapı bir bilişsel yük ölçüsü olarak düşünülmüş ve uzaktan kontrollü göz takip sistemi ile ölçüm yapılmıştır. Bu çalışmanın farkı çeneden destekli, alından sabitlenmiş kızıl ötesi kameralar ile yapılan göz bebeği çapı ölçümü ile uzaktan göz takip sistemi performanslarının karşılaştırılmasıdır. Katılımcılara yaptırılan görevler arasında ise zihinden çarpma işlemi, kısa süreli hafıza testi ve sözlü sayı sayma esnasında yapılan hatayı yakalama görevleri vardır. Sonuç olarak uzaktan ölçüm alan göz takip sistemlerinin de yeterli düzeyde başarılı göz bebeği çapı ölçümü yapabildiği belirtilmiştir.

Gegenfurtner ve Seppanen [20] çalışmalarında uzman doktorların sesli düşünme protokolü eşliğinde, hastaların ekrandaki üç farklı görüntüleme yöntemi ile elde edilmiş Pozitron Emisyon Tomografisi ve Bilgisayarlı Tomografi sonuçlarını inceleyip bu hastalar hakkında teşhis koymalarını istemişlerdir. Bu esnada göz hareketleri göz

takip sistemi ile kayıt edilmiştir. Sayısal analiz için kullanılan ölçülerden biri katılımcıların gözlerinin ekrandaki görüntülerin hangi bölgelerinde sabitlendiğidir. Önceden belirlenmiş bölgeler arasında ilgili olanlarındaki sabitlenmeler olumlu, ilgisiz olan alanlardaki sabitlenmeler ise olumsuz hareket olarak yorumlanmış ve analize katılmıştır. İstatistiksel analizler sonucunda göz sabitlenme süresinin, bu sabitlenmelerin toplam sayısından daha önemli ve açıklayıcı bir bilişsel süreç olduğunu yorumu yapılmıştır.

Di Stasi vd. [21], uyguladıkları deneysel çalışmada katılımcılara bilgisayar başında görsel aramaya ve dikkat toplamaya dayalı bir görev yaptırmışlardır. Ekrandaki belli nesnelerin bulunup belli yerlere taşınmasını hedefleyen bu görevler her bir katılımcı tarafından 20 kez tekrar edilmiştir. Görevler yerine getirilirken kullanılan göz takip sistemi ile göz bebeği çapları takip edilmiştir. Katılımcıların yerine getirdiği görev amacı itibarıyla ikiye ayrılmaktadır. Birinci amaç ekranda yangın imgesi gördükleri noktalara su imgesi taşımaktır. İkinci amaç ise ekranda yangın imgesi gördükleri yerlerin belli bir mesafe yakınına bir kamyon imgesi taşıyarak yangının diğer imgelere yayılmasını engellemektir. Toplanan göz bebeği çapı verilerine göre ikinci amacın birinci amaca göre katılımcılarda daha fazla bilişsel yük meydana getirdiği saptanmıştır. Çalışmadaki sonuçların görsel arama ve dikkat gerektiren, özellikle bilgisayar başında gerçekleştirilen işlerde ara yüzlerin nasıl tasarlanması gerektiğine dair bilgi sağlayabileceği belirtilmiştir.

Klingner vd. [22], çalışmalarında göz bebeği çapının bilişsel yük tespiti için güçlü bir gösterge olduğunu ancak uyaranların görsel veya işitsel olmasının bu göstergenin gücünü etkileyebileceğini belirterek bir deney tasarlamışlardır. 24 katılımcının bulunduğu deneyde üç tür görev yerine getirilmiştir. Birinci tür görevde katılımcılar görsel veya işitsel olarak kendilerine verilen sayıları zihinden birbirleriyle çarpmışlardır. İkinci tür görevde yine görsel veya işitsel olarak verilen sayı dizilerini uygun sırayla bilgisayara girmeye çalışmışlardır. Üçüncü tür görevde ise sıralı giden sayılardan oluşan dizilerde yapılan hataları yakalamaya çalışmışlardır. Bu görevde de yine sayı dizileri görsel veya işitsel olarak katılımcılara verilmiştir. Çalışmada ölçülen göz bebeği çapları sağ ve sol gözün ortalaması alınarak değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre uyaranların görsel veya işitsel olmasının göz bebeği çapı değişimleri arasında anlamlı bir fark yaratmadığı belirtilmiştir.

Partala ve Surakka [23], 30 katılımcı ile yaptıkları deneysel çalışmada katılımcılara duygusal açıdan olumsuz (bebek ağlaması), olumlu (bebek gülmesi) ve nötr (ofis uğultusu) sesler dinleterek göz bebeği çapındaki değişimleri tespit etmişlerdir. Her bir katılımcı için uyaranların gönderilmeye başlamasından sonraki ilk 1 saniye baz çapı değeri olarak kabul edilmiş ve değişim oranları buna göre hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar duygusal açıdan olumlu ve olumsuz seslerin katılımcıların göz bebeği çaplarında nötr seslere göre anlamlı bir büyümeye neden olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu sonuçlardan yola çıkılarak otonom sinir sistemini

duygusal uyaranlara karşı oldukça hassas olduğu yorumu yapılmıştır. Göz bebeği çapıyla bilişsel yük tespitine dair bir başka çalışma Kang vd. [24] tarafından yapılmıştır. Deneye katılanlara, her biri 1 saniye ekranda kalan sayılar gösterilmiş ve ilk olarak bu sayılar arasında renkli olanın tek mi çift mi? olduğu sorulmuştur. İkinci aşamada, aynı sayılar bir tanesi hariç yine gösterilmiş ve eksik olan sayının hangisi olduğunun hatırlanması istenmiştir. İkinci görevde kayıt edilen göz bebeği çaplarının birinci görevdekilere göre daha yüksek seyrettiği yani hatırlama gerektiren görevin daha fazla bilişsel yüke neden olduğu belirlenmiştir.

Rosenfield vd. [25], 16 katılımcı ile yaptıkları deneysel çalışmada ekran başında yapılan görevlerde bilişsel yük ölçüm çalışmalarında kullanılan göz kırpma oranı ölçüsünün güvenilirliğini araştırmışlardır. Göz kırpma oranındaki değişimin bilişsel faaliyetlerden mi yoksa ekran özelliklerinden mi daha çok etkilendiğini ortaya çıkarmak için katılımcılara kâğıt üzerinde ve tablet bilgisayarda yaklaşık 10 dakika süren okuma görevleri yaptırmışlardır. Elde edilen sonuçlar her iki okuma görevinde gerçekleşen göz kırpma oranlarının istatistiki açıdan anlamlı şekilde farklılaşmadığını ortaya koymuştur.

Chen ve Epps [26], çalışmalarında 22 katılımcı ile göz kırpma oranının bilişsel yüklenme ile ilişkisini incelemişlerdir. Farklı zorluk derecelerinde aritmetik işlemler ve ekranda bir hedefi arama görevleri kullanılmıştır. Aritmetik işlem görevlerinde arka arkaya ekranda görünen dört sayının zihinden toplanması istenmiştir. Kolay düzeyde sayılar birer basamaklı iken zorluk düzeyini arttırmak için toplanacak sayıların basamakları da artırılmıştır. Arama görevi ise ekranda görünen sayılar arasında istenen bir tanesini bulmak üstüne tasarlanmıştır. Kolay düzeyde tek basamaklı bir sayı aranırken; zorluk düzeyi arttıkça aranan sayının uzunluğu da artmıştır. Deney sonuçları analiz edildiğinde aritmetik işlem görevlerinde zorluk arttıkça göz kırpma oranında bir artış trendi gözlemlenebileceği istatistiksel açıdan anlamlı bir fark görülebilmiştir. Aritmetik işlem görevleri ile arama görevleri esnasındaki göz kırpma oranları karşılaştırıldığında ise aritmetik işlem esnasındaki göz kırpma oranının arama görevlerine göre anlamlı olarak daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Sonuçta göz kırpma oranının görevin zorluk derecesinden etkilendiği ancak bu noktada görevin türünün de etkili olduğu ortaya konmuştur.

Zheng vd. [27], lapraoskopi ameliyatlarında görevli personelin bilişsel zorlanmaları ile göz kırpma sıklıkları arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Toplam 23 ameliyattaki personelin başlarına gözlerini çeken kameralar takılmış ve her bir ameliyattan sonra da NASA-TLX formlarını doldurmaları istenmiştir. Alınan 42 görüntü kaydı göz kırpma sıklıklarını belirlemek amacıyla incelenmiştir. Sonuçlara göre NASA-TLX skorları ile göz kırpma sıklıkları arasında ters bir ilişki ortaya konmuştur. Bu durum görsel uyaranlara yoğunlaşmak suretiyle oluşan bilişsel zorlanmanın göz kırpma oranında bir düşüşe neden olduğunu doğrulamıştır. Brandt vd. [28], otomobil sürücüleri üzerinde yaptıkları yorgunluk ve monotonluk ile ilgili

çalışmada göz kırpma oranı ve GDD verilerinden faydalanmışlardır. Gerçek araç sürüşleri kullanılan bu deneysel çalışmada araç içine yerleştirilen kameralar ile veriler toplanmıştır. Yazarlar iki göz kırpma aktivitesi arasında geçen zamanın uzamasının monotonluğun önemli belirtilerinden biri olduğunu vurgulamışlardır.

Bilişsel yük ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde çoğunlukla tek bir bilişsel duruma odaklanan ve kullanıcılara bu yönde görevler yaptırılarak gerçekleştirilen deneyler içerdikleri görülmektedir. Birden fazla bilişsel durumu dikkate alan çalışmalarda ise görevler motor faaliyet gerektiren görevlerdir. Ayrıca, deneyler için tercih edilen görevler katılımcıların günlük hayatta yaptıkları işler, bireysel yetenek ve donanımlarının etkisinde kalabilen aritmetik işlemler veya sözel ve şekilsel uyaranlar içeren görevlerdir. Bu noktada sürekli dikkate dayanan, farklı beyin aktiviteleri aracılığı ile doğrudan yerine getirilebilen ve ilave bilgi birikimi gerektirmeyecek sadelikte görevler olan BBA uygulamalarından yeterince faydalanılmaması bir eksiklik olarak görülmüş ve bu çalışmada BBA görevleri kullanılarak bilişsel yükün göz bebeği çap değişimi, GDD ve göz kırma frekansının dikkate alınmasıyla değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL METHOD)

Çalışmaya yaşları 18-35 arasında değişen 70 gönüllü (40'ı Kadın) katılmıştır. Deneysel araştırmalarda, örneklem büyüklüğü ne kadar fazla olursa güvenilirlik düzeyinin beklenmektedir. Her grupta 15'er denek gibi az sayıda denek olması sonuçların geçerli olmasını sağlayabilir. Diğer yandan kimi otoriteler deneysel araştırmalarda her grupta en az 30'ar denegün bulunmasının istatistiksel analizlerin elverişliliği açısından yeterli olduğunu belirtmektedirler [29]. Bu noktadan hareketle mümkün olduğunca çok katılımcıya ulaşılmaya çalışılmıştır. Deneklerin seçiminde kronik rahatsızlığı bulunmayan, sürekli ilaç kullanmak zorunda olmayan genç ve orta yaşlı (18-35 yaş arası) katılımcı adayları dikkate alınmıştır. Bu konuda yapılan deneye katılım davetlerine ESOGÜ lisans ve yüksek lisans öğrencileri gönüllü olarak karşılık vermişlerdir. Bu yüzden deneylerin eğitim öğretim dönemi içerisinde ve katılımcıların ders programlarına uygun bir çizelge dâhilinde yürütülmesi gerekmiştir. Her bir katılımcı tek başına kendisine tahsis edilen saatte laboratuvara gelmiştir. Bu kısıtlamalar altında iki ay içinde 70 kişiye ulaşılabildiği mümkün olmuştur.

Tüm katılımcılar, P300-SSVEP-Motor İmgeleme görevlerini 2'şer farklı zorluk derecesinde olmak üzere yerine getirmişlerdir. Katılımcılar görevleri yaparken eş zamanlı olarak göz bebeği çap değişimleri, GDD ve göz kırpma sayıları ölçülerek kaydedilmiştir. Üç fizyolojik gösterge (göz bebeği çapı, göz kırpma oranı ve GDD), literatürde farklı tür bilişsel süreçlerde farklı düzeylerde etkinlik gösterdiği belirlenen göstergeler olduğu için tercih edilmiştir. Göz bebeği çapı kısa dönem hafıza gibi bilişsel bir sürece işaret ederken, göz kırpma oranı görsel

yoğunluğun düzeyine göre artan yüklerle beraber artma veya azalma eğilim gösterebilmektedir. GDD ise daha çok bilişsel yükün stres artışı ile beraber seyrettiği durumlarda etkili olmaktadır. BBA görevlerinin farklı gereklilikleri dikkate alındığında bu üç göstergenin aynı anda takip edilmesi gerektiğine karar verilmiştir. Göz bebeği çap değişimleri ve göz kırpma sayıları Tobii X2-60 monitör tipi göz takip cihazı ile belirlenirken, GDD ölçümlerinde g.Tec marka bir ölçüm cihazında yararlanılmıştır. Ayrıca her bir görevin tamamlanmasının ardından katılımcılar NASA-TLX formunu doldurmuşlardır. Katılımcıların demografik verileri Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Demografik Veriler (Demographic Data)

		Sayı	Yüzde
Cinsiyet	Kadın	40	%57,1
	Erkek	30	%42,9
Yaş	18-22	61	%87,1
	22-35	9	%12,9
Eğitim	Lisans Öğrencisi	64	%91,4
	YL Öğrencisi	6	%8,6

Katılımcılar, deneyin gerçekleştirileceği laboratuvara bireysel olarak önceden belirlenmiş bir çizelge dâhilinde davet edilmişlerdir. Deney başlamadan önce kendilerine deney hakkında sözlü ve yazılı bilgilendirme yapılarak gönüllü olarak çalışmaya katıldıklarına dair onay formları imzalatılmıştır. BBA sisteminin kullanımı için gerekli elektrotlar, EEG bonesi ile beraber yerleştirildikten sonra (Şekil 1) GDD sensörleri takılmış ve göz takip sisteminin kalibrasyonu her bir katılımcıya uygun olacak şekilde

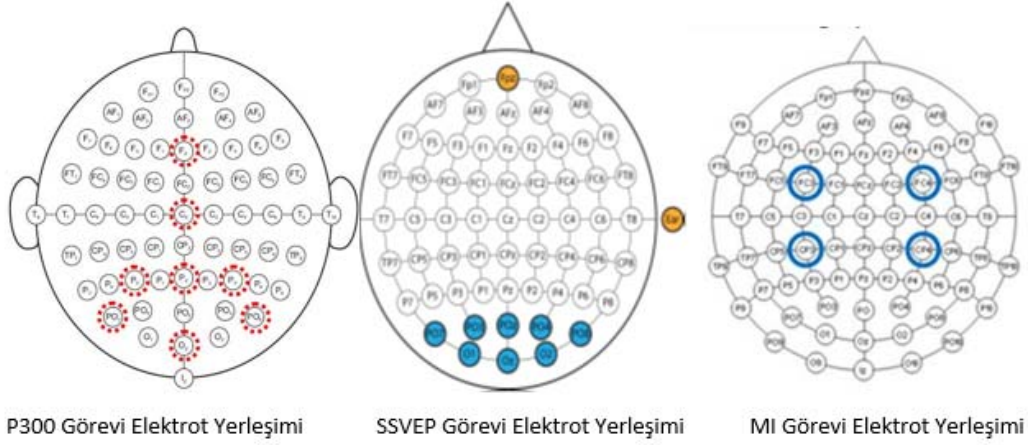
gerçekleştirilmiştir. Elektrot yerleşimleri, her bir görev esnasında ortaya çıkacak beyin aktivitelerinin, beynin hangi bölgesinde ortaya çıkacağı dikkate alınarak yapılmalıdır [30]. Elektrotların doğru yerleştirildiğini onaylamak amacıyla sinyal kontrolleri de yapıldıktan sonra görevlere geçilmiştir. Her bir görev öncesinde uygun elektrot yerleşimleri sağlanarak sinyal kontrolü tekrarlanmıştır. Deneyin akışını özetleyen akış diyagramı ve örnek bir katılımcıya ait deney görüntüleri sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3’de sunulmuşlardır.

Görev başarı düzeyleri belirlenirken ekrana yazı yazdırma hedefi bulunan P 300 görevlerinde doğru yazdırılan karakterlerin oranı kullanılmıştır. SSVEP ve MI görevlerinde ise görev esnasında sağlanan başarılı sınıflandırma yüzdesi görev performans göstergesi olarak kullanılmıştır. Göz bebeği çap değişimlerinin hesaplanması için görevin başındaki ilk 1 saniyelik dilimin ortalama çap büyüklüğü baz değer olarak alınmış ve geri kalan süreçteki ortalama değer bu baz değere oranlanmıştır.

GDD değeri hesaplanırken Nourbakash vd. [31] tarafından önerilen yöntemle verilerin normalize edilmiş değerleri kullanılmıştır. Bu yöntemle göre, her bir görevin her bir saniyesindeki GDD değeri aynı kişi tarafından gerçekleştirilen tüm görevlerin ortalama GDD değerine bölünmüştür. Daha sonra ilgili görevin her saniyesi için bulunan bu değerler toplanmış ve görevin toplam uzunluğuna bölünmüştür. Bu sayede GDD değerinin kişiden kişiye çok farklı aralıklarda değişiklik göstermesinin etkisi azaltılmıştır. Göz kırpma oranının bulmak için yine göz takip sisteminin sağladığı 17 milisaniyelik sıklıklarla alınan

Tablo 2. Görev Özellikleri ve Beklenen Fizyolojik Belirtiler (Task features and expected physiological indications)

Görev	Görev Özelliği	Beklenen Asıl Risk Faktörleri	Beklenen Fizyolojik Etkiler
1	Bilişsel Yük Artışı	Fazla Bilişsel Yüklenme	Göz Bebeğinde Büyüme
	Sürekli Dikkat Gereksinimi	Yanlış harf yazılması durumunda stres artışı	GDD Değerinde Artış
2	Görsel Uyarın Yoğun	Fazla Bilişsel Yüklenme	Göz Kırpmada Artış
	Bilişsel Yük Artışı	Yanlış harf yazılması durumunda stres artışı	Göz Bebeğinde Büyüme
3	Sürekli Dikkat Gereksinimi	Rehavet Etkisi	GDD Değerinde Artış
	Görsel Uyarın Çok Yoğun		Göz Kırpmada Azalış
4	Monotonluk		Göz Bebeğinde Küçülme
	Sürekli Dikkat Gereksinimi	Rehavet Etkisi	GDD Değerinde Azalış
5	Görsel Uyarın Yoğun		Göz Kırpmada Azalış
	Bir Düşünceye Odaklanmak	Rehavet Etkisi	Göz Bebeğinde Küçülme
6	Sürekli Dikkat Gereksinimi	Odaklanamamak	GDD Değerinde Azalış
	Görsel Uyarın Düşük Yoğunlukta	Fazla Bilişsel Yüklenme	Göz Kırpmada Azalış
6	Bir Düşünceye Odaklanmak	Anlık Geri Bildirimden Kaynaklı Stres Artışı	Göz Bebeğinde Büyüme
	Sürekli Dikkat Gereksinimi		GDD Değerinde Artış
	Ekranda ilave bir uyarını sürekli takip		Göz Kırpmada Artış



Şekil 1. Görevler İçin Uygun Elektrot Yerleşimleri (Electrode Placements for Each Task)

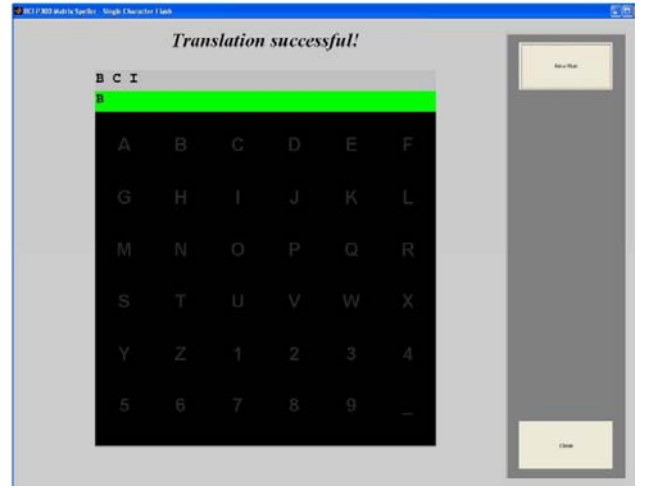
kayıtlar kullanılmıştır. İlgilenilen görev boyunca göz hareketleri ile ilgili toplanan verilerin kayıp olduğu yani satırların boş kaldığı anlar göz kırpmaları olarak kabul edilmiş ve bu satırlar sayılarak göz kırpması sayısına erişilmiştir. Katılımcıların yerine getirdiği görevlerin özellikleri ve görevler esnasında beklenen fizyolojik belirtiler Tablo 2’de sunulmuştur.

3.1. Görev Tanımları (Definitions of Tasks)

Kullanılan BBA sistemi, P 300 potansiyelini görsel uyarılar aracılığıyla oluşturmaktadır. Bunun için de bir harf matrisi kullanılmakta olup katılımcılar ekrana bu matris aracılığı ile kelimeler yazdırmaktadır. Hedef harfin yazdırılmasını, P300 potansiyelinin tekrarlı olarak ortaya çıkması sağlamaktadır. Katılımcı bu göreve başlamadan önce matrise aşinalığı sağlamak için en azından bir rastgele harfi başlangıçta ekrana yazdırması istenmiştir. Ardından katılımcıya iki adet kelime yazdırma görevi verilmiştir.

Bu çalışmada yapılacak ilk görev ekrana matrisi yan yana bulunan ABCDE harflerini yazdırması olarak tanımlanmıştır. Bu görev esnasında hedef harflerin göndereceği görsel uyarı yani parlaması sayısı 30 olarak ayarlanmıştır. Görsel uyarının uzunluğu ise 100 milisaniye olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu ilk görevde yazı kopyalama yöntemi kullanılmıştır. Buna göre hedef harfler ekranda yer almış ve sıra hangi harfteyse o harfin başlangıçta tek başına 1 saniye kadar yanarak kullanıcıya yerini göstermesi sağlanmıştır. İkinci görevde ise serbest yazı yazma yöntemi kullanılmıştır. Yani katılımcının yazacağı harfler matrisin üzerinde görünmemiştir. Ayrıca, parlaması sayısı 10, parlaması uzunluğu da 50 milisaniye olarak belirlenmiş, bu sayede kullanıcının daha fazla çaba sarf etmesi sağlanmıştır.

İkinci görev, katılımcı tarafından ekrana ESOGU2014 karakterler dizisinin yazdırılması olarak belirlenmiştir. Katılımcıya bu görev sadece sözlü olarak verilmiştir. Dolayısıyla katılımcı harflerin sırasını hatırlamak ve ilgili harfin matristeki yerini kendisi bulmak zorunda kalmıştır. Şekil 2’de örnek bir harf matrisi ekranı verilmiştir.



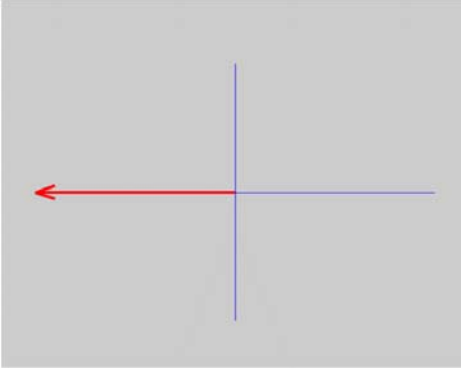
Şekil 2. Harf Matrisi Ekranı (Letter Matrix)

SSVEP potansiyeli, sabit görsel frekanslı uyarılara odaklanarak ortaya çıkmaktadır. Bunun için üzerinde yukarı, aşağı, sağ, solu gösteren bir kumanda üzerine yönleri temsil eden lambaların yanıp sönmesi ve katılımcının hedef yöndeki lambadan gelen uyarıyı takip ederek görsel olarak odaklanması gereklidir. Katılımcılara yine ilki daha kısa ikincisi daha uzun yoğunlaşma gerektiren görevler olmak üzere iki görev yaptırılmıştır. Görevlerin zorluk derecelerini değiştirmek, uyarının uzunluğunu ve aralığını değiştirerek sağlanmıştır. Katılımcı ilk görevinde sırasıyla sol-yukarı-sağ-aşağı yönlerdeki ışıkların parlamalarına odaklanmıştır. İki yön arasında 10,5 saniye vardır. İlk görevde bu 10,5 saniyenin %70’i aktif uyarı uzunluğu olarak belirlenmiş kalan %30’u ise iki yön arasındaki geçişlerde bekleme süresi olmuştur. İkinci tekrarda bu kez görsel uyarı uzunluğu %95, geçiş süresi %5 olarak ayarlanmış bu sayede daha uzun süreli konsantrasyon ve daha hızlı geçişler sağlanmıştır. Görevler esnasında Şekil 3’de gösterilen SSVEP kumandası ekranının yanına sabitlenmiş böylece göz takip sisteminin veri toplamaya devam etmesi sağlanmıştır.



Şekil 3. SSVEP Kumandası (SSVEP Controller)

Motor İmgeleme, özünde beyinde oluşan bir olay ilişkili desenkronizasyon / senkronizasyon (ERD/ERS) aktivitesidir. Katılımcı ekranda göreceği x - y düzlemi üzerindeki X eksenini yönlendirilmiştir. X ekseninde 7 saniyede bir beliren kırmızı bir ok katılımcıya odaklanması gereken yönü (sağ veya sol) göstermektedir. Katılımcı 7 saniye boyunca ilgili yöndeki elini hareket ettirdiğini düşünmeye odaklanmış, ancak eliyle gerçek bir hareket yapmamıştır. İlk görevdeki 20'şer tekrar bitince ikinci Mİ görevi başlatılmıştır. Bu kez katılımcıya anlık geri bildirim sağlayan mavi bir ok daha mevcuttur. Kırmızı ok hedef yönü gösterdikten sonra ortaya çıkan mavi ok, katılımcının odaklanma başarısına göre doğru yöne ve zıt yöne hareket etmektedir. Şekil 4'de Mİ görevinden bir görüntü sunulmuştur.



Şekil 4. Motor İmgeleme Görevi Örnek Ekran Görüntüsü (Screenshot of the Motor Imagery Task)

Deney protokolünün özetleyen akış şeması Şekil 5'te, deney sırasında alınan görüntüler ise Şekil 6'da sunulmuştur. Görevler arasındaki dinlenme süreleri, elektrot yerleşimi değişikliği gereken durumlarda 5 dakika, diğer durumlarda 2 dakika olarak verilmiştir. Dinlenme sürelerinin fiziksel belirtilerin normal dönmesi içi verilmesi gerekmektedir. Ancak bilişsel yüklenmenin fiziksel belirtileri ve değişme düzeyleri kişiden kişiye farklılık gösterebilmektedir. Örneğin göz bebeği çapının ışıktan, GDD'nin ortam ısısından etkilenecek hızlı ve küçük değişikliklerde gösterebildiği bilinmektedir. Dolayısıyla bu tür çalışmalarda farklı dinlenme süreleri kullanılmaktadır. Tüm göstergelerin deney öncesi durumuna dönmesini beklemek ortamın

fiziksel şartlarına göre vücudun verdiği tepkiler nedeniyle mümkün olamamaktadır. Bu yüzden tüm gösterge sonuçları görev bazında kıyaslanarak farklı dinlenme süresi ihtiyaçlarının etkilerinin, hesaplamalara olumsuz etkilerinin engellenmesi çalışılmıştır. Göz bebeği çapı değeri için deneyin hemen başında ilk 1 saniyelik ölçümün ortalaması baz değer olarak kullanılırken, GDD için normalize edilen değerler kullanılarak geniş bir skaladaki değişimlerin etkilerinin görev süresine indirgenmesi sağlanmıştır. Göz kırpması ise her bir görev için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

4.1. Normallik Testleri (Normality Tests)

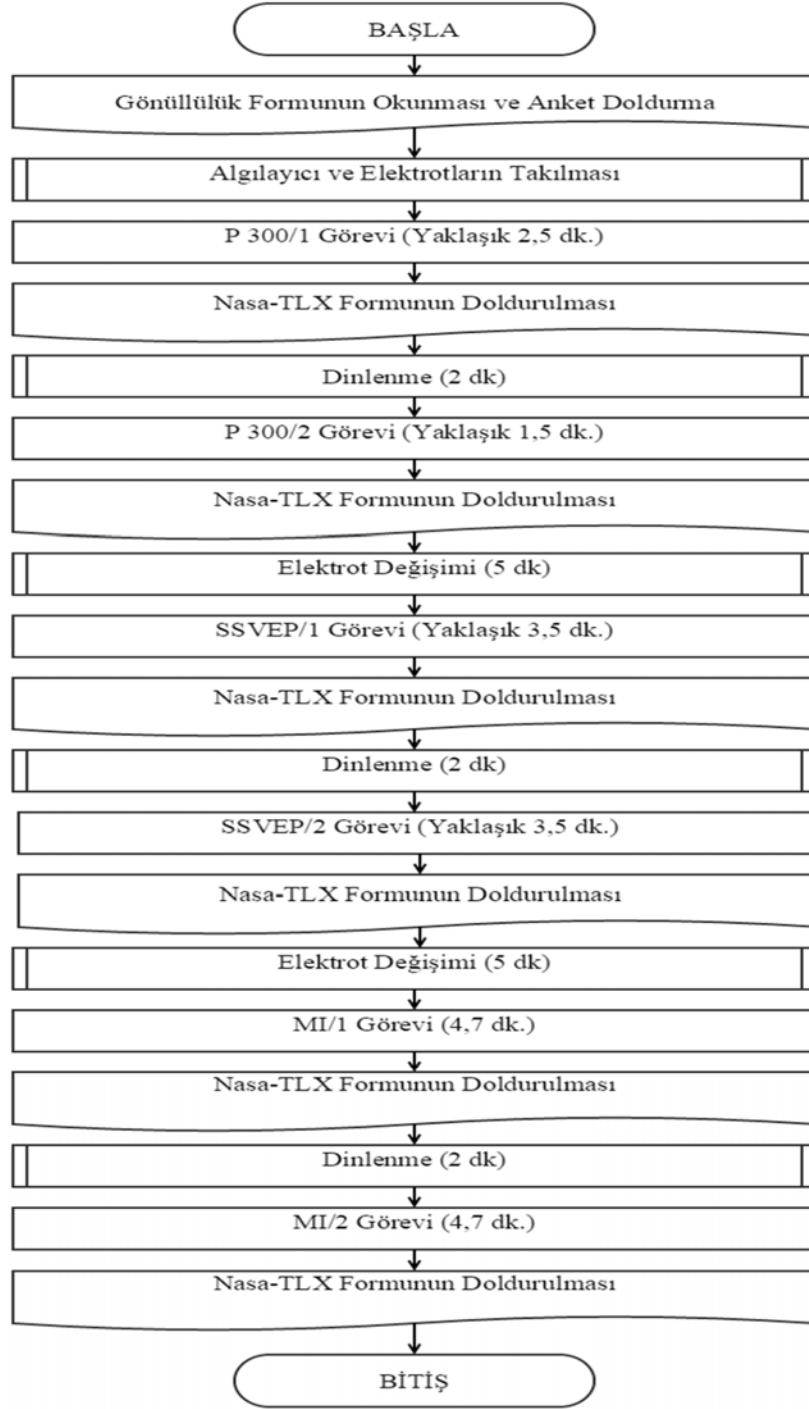
Tüm verileri dikkate almak için ilk olarak toplanan veriler üzerinde normallik testleri yapılmıştır. MINITAB 17 programı kullanılarak uygulanan Anderson-Darling, Roy-Joiner ve Kolmogorov-Smirnov testlerinden en az bir tanesinde normal dağılmayan veri setleri için Log10 normalleştirme yöntemi denenmiştir. Bu işlemin yapılabilmesi için 0 değeri içeren *Başarı Düzeyi* gibi veri setlerine 1, negatif değer içeren *Göz Bebeği Çap Değişimi* gibi veri setlerine de 60 değeri eklenmiştir. Değer ekleme ile ilgili veri setlerindeki tüm değerleri pozitif hale getirilmesini amaçlanmaktadır. Normalleştirme denemesine rağmen veri setlerinin yarısı normal dağılıma dönüşmediğinden, gerektiği hallerde, parametrik olmayan yöntemlerden de faydalanılmıştır.

4.2. NASA-TLX Skorları Analizi (Analysis of NASA-TLX Scores)

Çalışmada NASA-TLX skorları, yaptırılan görevlerin birbirlerine göre zorluklarını değerlendirmek için kullanılmıştır. NASA-TLX skorları en az bir normallik testine göre normal dağıldıklarından eşleştirilmiş ve *t-testi* ile değerlendirilmişlerdir. Sonuçlar Tablo 2'de gösterilmiş olup beklendiği üzere anlamlı bir farklılığı yani bütün görev türlerinde ikinci görevlerin birincilerden daha zor olduğunu ortaya koymuşlardır. Eşleştirilmiş *t-testi* analizler için SPSS 22 programı kullanılmıştır.

4.3. Görev Başarı Düzeylerinin Karşılaştırılması (Comparison of Task Success Levels)

NASA-TLX skorlarının aynı görevlerin iki tekrarı arasında farklı çıkmasının ardından yine aynı görevlerin iki tekrarında gerçekleşen başarı düzeyleri karşılaştırılmıştır. Bunun için %95 güven düzeyinde Wilcoxon Testi uygulanmıştır. Wilcoxon testi normal dağıldığı söylenemeyen iki ana kütle aritmetik ortalamasının belli bir anlam düzeyinde birbirinden farklı olup olmadığını araştırır [32]. Tablo 3, P 300 görevinin iki tekrarı arasındaki başarı düzeyleri arasında anlamlı bir fark olduğunu göstermektedir. Z değerinin negatif olması P300 görevlerinde zor olan görevdeki katılımcı performanslarının kolay göreve göre anlamlı şekilde daha düşük olduğunu işaret etmektedir. Bu noktadan hareketle görev zorluklarının değiştirilme çabasının, P300 görevi performansları üzerinde daha etkili olduğu söylenebilir.



Şekil 5. Deney Protokolü Akış Şeması (Flow chart for Experimental Protocol)

Bunda harf yazdırma görevlerinin tasarlanmasında daha çok parametre çeşitliliği olması, bunun da görevin oluşturulması sırasında daha fazla esneklik tanınmasının payı vardır. Aynı durum SSVEP ve Motor İmgeleme görevleri için geçerli değildir. SSVEP ve MI başarı düzeyleri arasında anlamlı bir fark yoktur. Öte yandan Log 10 düzeltmesi uygulanan MI/1 ve MI/2 Başarı düzeyleri arasında anlamlı fark ($p < 0,05$) ortaya çıkmaktadır.

4.4. Toplanan Fizyolojik Verilerin Karşılaştırılması (Comparison of Physiological Data)

Toplanan veriler arasında normal dağılmayanlar olduğu için parametrik olmayan testlere yönelmiş ve görev türleri arasında aynı fizyolojik belirtiler arasında anlamlı farklar olup olmadığı Friedman testi ile araştırılmıştır. Aynı tür görevlerin farklı zorluk dereceleri arasındaki farklılık ise



Şekil 6. Deney Görüntüleri a) P300 b) SSVEP c) Motor İmgeleme
(Photos from Experiments a) P300 b) SSVEP c) (Motor Imagery))

Tablo 2. NASA-TLX Skorları için Eşli t-testi Sonuçları (Paired t-test Results for NASA-TLX Scores)

	Ort.	Std. S.	Std. Hata Ort.	%95 Güven Aralığı		t	Ser. Der.	p
				Alt S.	Üst S.			
P 300 Görevleri	-18,000	13,418	1,604	-21,199	-14,800	-11,223	69	0,00
SSVEP Görevleri	-8,929	9,217	1,102	-11,127	-6,731	-8,105	69	0,00
MI Görevleri	-12,439	10,116	1,209	-14,851	-10,026	-10,287	69	0,00

* $p < 0,05$

Tablo 3. Görev Başarı Düzeyleri için Wilcoxon Testi Sonuçları (Wilcoxon Test Results for Task Success Levels)

	1. P300 Görevi	2. P300 Görevi	1. SSVEP Görevi	2. SSVEP Görevi	1. Mİ Görevi	2. Mİ Görevi
Ortalama	56,29	29,37	70,99	71,21	75,66	76,76
Medyan	60,00	22,22	71,00	69,00	75,00	75,00
Maksimum	100,00	88,89	100,00	100,00	85,00	100,00
Minimum	0,00	0,00	53,00	56,00	68,00	70,00
Z	-6,231		-0,006		-0,751	
P	0,000		0,995		0,452	

* $p < 0,05$

Wilcoxon testleri ile incelenmiştir. Çıkan sonuçlara göre görev türlerinin kendi içlerindeki tekrarlarında yalnızca P 300 görevlerinin göz bebeği çap değişimleri ve GDD değerleri ile MI görevlerinin göz bebeği çap değişimleri birbirlerinden anlamlı şekilde farklı çıkmıştır (Tablo 4). MI görevlerinin Log 10 ile düzeltilmiş hallerine uygulanan eşleştirilmiş *t-testi* sonuçları da ayrıca anlamlı farklılaşma göstermiştir. Farklı görev türlerinin aynı fizyolojik belirtileri arasında ise en az bir tanesinin diğerlerinden anlamlı şekilde farklılaştığı belirlenmiştir. Bunun için hipotezleri

- H0: Tüm Görev Türü Etkileri Sıfırdır,
- H1: Görev Türü Etkilerinin Hepsisi Sıfır Değildir,

Şeklinde kurulan ve Tekrarlı ANOVA'nın parametrik olmayan karşılığı olan Friedman testi %95 güven aralığında uygulanmıştır (Tablo 5).

Tablo 4'ün Z ve p sütunları incelendiğinde, görev türlerinin kolay ve zor tekrarlarının fizyolojik belirtileri üzerinde en yoğun etkinin bilişsel yüklenme ağırlıklı P300 görevleri

Tablo 4. Görev Tekrarlarına Ait Fizyolojik Ölçümler için Wilcoxon Testi Sonuçları
(Wilcoxon Test Results for Physiological Measures of Task Repetitions)

	Ortalama		Medyan		Maksimum		Minimum		Z	p
	1. Tekrar	2. Tekrar	1. Tekrar	2. Tekrar	1. Tekrar	2. Tekrar	1. Tekrar	2. Tekrar		
<i>P 300</i>										
<i>Görevlerinde</i>										
<i>Göz Bebeği</i>	11,36	23,68	9,91	24,12	36,93	51,95	-3,72	-9,96	-5,914	0*
<i>Çap Değişimi</i>										
<i>SSVEP</i>										
<i>Görevlerinde</i>										
<i>Göz Bebeği</i>	-4,91	-6,40	-5,69	-7,22	50,68	28,37	-23,67	-31,75	-0,322	0,748
<i>Çap Değişimi</i>										
<i>Motor</i>										
<i>İmgeleme</i>										
<i>Görevlerinde</i>										
<i>Göz Bebeği</i>	-1,96	2,95	-3,14	1,62	22,16	40,63	-23,28	-20,62	-3,731	0*
<i>Çap Değişimi</i>										
<i>P 300</i>										
<i>Görevlerinde</i>										
<i>Göz Kırpma Oranı</i>	0,064	0,076	0,047	0,048	0,300	0,407	0,020	0,040	-1,118	0,263
<i>SSVEP</i>										
<i>Görevlerinde</i>										
<i>Göz Kırpma Oranı</i>	0,056	0,046	0,028	0,028	0,257	0,224	0,020	0,017	-0,572	0,567
<i>Motor</i>										
<i>İmgeleme</i>										
<i>Görevlerinde</i>										
<i>Göz Kırpma Oranı</i>	0,061	0,053	0,024	0,027	0,480	0,350	0,020	0,020	-1,215	0,224
<i>P 300</i>										
<i>Görevlerinde</i>										
<i>Galvanik</i>	0,0047	0,0063	0,0040	0,0049	0,0197	0,0622	0,0009	0,0025	-5,668	0*
<i>Deri Direnci</i>										
<i>SSVEP</i>										
<i>Görevlerinde</i>										
<i>Galvanik</i>	0,0042	0,0044	0,0038	0,0039	0,0240	0,0220	0,0003	0,0004	-1,209	0,227
<i>Deri Direnci</i>										
<i>Motor</i>										
<i>İmgeleme</i>										
<i>Görevlerinde</i>										
<i>Galvanik</i>	0,0039	0,0042	0,0038	0,0038	0,0096	0,0211	0,0007	0,0005	-1,696	0,09
<i>Deri Direnci</i>										

* $p < 0,05$

sırasında göz bebeği çap değişimlerinde olduğu görülmektedir. Yine bu görevlerde GDD değeri de oldukça hassas bir değişim göstermiştir. Göz bebeği çap değişimi, benzer şekilde MI görevlerinde de anlamlı şekilde farklılaşmış ve bu görev türleri için de oldukça hassas bir ölçü olduğunu göstermiştir. Bu durum, rahavet etkisinin yoğun olduğu birinci MI görevi ile bilişsel yüklenmenin ön plana çıktığı ikinci MI görevi arasındaki bu farkın göz bebeği çapı tarafından hassas bir şekilde tespit edilebildiğini göstermektedir. Bu görevlerde GDD değeri anlamlı

farklılaşma göstermese bile buna çok yaklaşmıştır. Bu açıdan MI görevlerinde GDD ölçüsünün de hassas bir gösterge olduğunu söylemek mümkündür. Göz kırpma oranları ise bu deneyler kapsamında beklendiği gibi daha çok görevin türü ile ilgili olduğundan aynı görev türlerinin kolay ve zor tekrarları arasında anlamlı bir farklılaşma göstermemiştir. SSVEP görevlerinin sonuçlarına bakıldığında, hiçbir fizyolojik belirtinin anlamlı farklılaşmadığı görülmektedir. Tablo genel olarak ele alındığında, bilişsel yüklenmenin ağırlıkta olduğu görev

Tablo 5. Görev Türlerine Göre Fizyolojik Ölçümler için Friedman Testlerinin Sonuçları
(Friedman Test Results for Physiological Measures of Different Task Types)

	Sıra Ortalaması	N	Ki-Kare	Sd	p
1. P300 Görevinde Göz Bebeği Çap Değişimi	2,86				
1. SSVEP Görevinde Göz Bebeği Çap Değişimi	1,44	70	79,457	2	0,000*
1. Motor İmgeleme Grevinde Göz Bebeği Çap Değişimi	1,70				
1. P 300 Görevinde göz Kırpma Oranı	2,56				
1. SSVEP Görevinde göz Kırpma Oranı	1,88	70	36,705	2	0,000*
1. Motor İmgeleme Görevinde göz Kırpma Oranı	1,56				
1. P 300 Görevinde Galvanik Deri Direnci	2,17				
1. SSVEP Görevinde Galvanik Deri Direnci	2,09	70	8,629	2	0,013
1. Motor İmgeleme Görevinde Galvanik Deri Direnci	1,74				
2. P300 Grevinde Göz Bebeği Çap Değişimi	2,87				
2. SSVEP Grevinde Göz Bebeği Çap Değişimi	1,24	70	94,200	2	0,000*
2. Motor İmgeleme Grevinde Göz Bebeği Çap Değişimi	1,89				
2. P 300 Görevinde göz Kırpma Oranı	2,68				
2. SSVEP Görevinde göz Kırpma Oranı	1,64	70	49,138	2	0,000*
2. Motor İmgeleme Görevinde göz Kırpma Oranı	1,69				
2. P 300 Görevinde Galvanik Deri Direnci	2,45				
2. SSVEP Görevinde Galvanik Deri Direnci	1,86	70	25,484	2	0,000*
2. Motor İmgeleme Görevinde Galvanik Deri Direnci	1,69				

* $p < 0,05$

türlerinde özellikle göz bebeği çapının hassas bir şekilde değişim gösterdiği, monoton görevler olan SSVEP görevlerinde ise, fizyolojik belirtilerin anlamlı farklılaşma yaratacak kadar değişim göstermediği söylenebilir.

Tablo 5'e göre tüm görev türlerinin aynı ilk ve ikinci tekrarları arasındaki fizyolojik ölçümlerinde en az bir görev türü diğerlerinden anlamlı şekilde farklılaşmaktadır. Bu yüzden görev türlerinin ayrı ayrı ele alınarak analiz edilmesi ve yorumlanması yoluna gidilmiştir.

4.6. Çoklu Karşılaştırma Testleri (Post-Hoc Tests)

Friedman testi sonucunda anlamlı farklılaşmalar tespit edildikten sonra hangi belirtilerin birbirleri arasında farklılaştığını anlamak için ikili karşılaştırma testi olarak Wilcoxon testleri uygulanmıştır. Sonuçlar Tablo 6'da sunulmuştur.

Çoklu karşılaştırma amacıyla yapılan Wilcoxon testi sonuçlarına göre göz bebeği çapı ölçüsü tüm görev türlerinde anlamlı şekilde farklılaşırken, göz kırpma oranı, MI ve SSVEP görevlerinin her iki düzeyinde de anlamlı şekilde farklılaşma göstermemiş ve GDD verisi de hiçbir görev türünde anlamlı şekilde farklılaşmamıştır. Bu durum, göz bebeği çap değişiminin sadece görevlerin zorluk dereceleri konusunda değil görevin türleri arasında da ayırt edici bir ölçü olduğunu göstermektedir. Göz kırpma oranı ise beklendiği gibi görev türleri kıyaslanırken görev zorluk derecelerine göre daha hassas bir hal almıştır. MI ve SSVEP görevleri hariç diğer ikili karşılaştırmaların tamamında

anlamlı farklılaşma göstermiştir. GDD ise sadece zor P300 görevleri ile yine zor SSVEP ve MI görevleri ile karşılaştırılırken anlamlı bir değişim göstermektedir. Bu durum zorluk dereceleri yüksekken ve bu görevlerden biri P300 türünde iken GDD'nin daha anlamlı bir ölçü haline geldiğini göstermektedir.

4.7. Parametrik Olmayan Korelasyon Analizi (Non-Parametric Correlation Analysis)

Çalışma kapsamında, aynı görev esnasında gözlenen fiziksel belirtilerin arasındaki ilişki araştırılmıştır. Tablo 7'de verilen 0,01 düzeyinde anlamlı olan korelasyon değerleri incelendiğinde, birinci ilişkinin beklendiği gibi göz bebeği çapı ile göz kırpma oranının aynı yönde hareket ettiğini gösterdiği görülmektedir. İkinci ilişki, rahvet etkisi nedeniyle göz kırpma oranının azalması beklenen SSVEP/1 görevi ile o görevdeki başarı düzeyi ile ilişkilidir. Göz bebeği kırpma oranı azaldıkça yani göz kırpma oranı azaldıkça başarının da düşmesi beklendiğinden bu da beklenen bir sonuç olarak yorumlanmıştır. Üçüncü ilişki rahvet etkisi gereği küçülmesi beklenen göz bebeği çapı ile azalması beklenen göz kırpma oranı çıktılarını doğrulayan bir sonuçtur. Dördüncü ilişki de yine rahvet ile azalmaları beklenen göz bebeği çapı ile göz kırpma oranı arasındaki beklenen sonucu doğrulamaktadır. Beşinci ilişki rahvet etkisinin yoğun olması beklenen MI/1 görevi ile ilgili olup beklentinin dışında olmayan bir sonuçtur. Altıncı ve yedinci ilişkiler ise bilişsel yük ağırlıklı MI/2 görevindeki başarı düzeyinin katılımcının bilişsel yükü düştükçe arttığını göstermektedir.

Tablo 6. Çoklu Karşılaştırma Testi Sonuçları (Post-Hoc Test Results)

	Z	p
1. SSVEP Görevi Göz Bebeği Çapı - 1. P300 Görevi Göz Bebeği Çapı	-6,136	0,000*
1. SSVEP Görevi Göz Kırpma - 1. P300 Görevi Göz Kırpma	-2,696	0,007
1. SSVEP Görevi GDD - 1. P300 Görevi GDD	-,540	0,589
2. SSVEP Görevi Göz Bebeği Çapı - 2. P 300 Görevi Göz Bebeği Çapı	-7,067	0,000*
2. SSVEP Görevi Göz Kırpma - 2. P 300 Görevi Göz Kırpma	-4,902	0,000*
2. SSVEP Görevi GDD - 2. P 300 Görevi GDD	-4,254	0,000*
1. Mİ Görevi Göz Bebeği Çapı - 1. P300 Görevi Göz Bebeği Çapı	-7,014	0,000*
1. Mİ Görevi Göz Kırpma - 1. P300 Görevi Göz Kırpma	-3,896	0,000*
1. Mİ Görevi GDD - 1. P300 Görevi GDD	-1,395	0,163
2. Mİ Görevi Göz Bebeği Çapı - 2. P 300 Görevi Göz Bebeği Çapı	-6,868	0,000*
2. Mİ Görevi Göz Kırpma - 2. P 300 Görevi Göz Kırpma	-3,962	0,000*
2. Mİ Görevi GDD - 2. P 300 Görevi GDD	-4,276	0,000*
1. Mİ Görevi Göz Bebeği Çapı - 1. SSVEP Görevi Göz Bebeği Çapı	-1,999	0,046
1. Mİ Görevi Göz Kırpma - 1. SSVEP Görevi Göz Kırpma	-1,247	0,212
1. Mİ Görevi GDD - 1. SSVEP Görevi GDD	-1,640	0,101
2. Mİ Görevi Göz Bebeği Çapı - 2. SSVEP Görevi Göz Bebeği Çapı	-5,235	0,000
2. Mİ Görevi Göz Kırpma - 2. SSVEP Görevi Göz Kırpma	-,141	0,888
2. Mİ Görevi GDD - 2. SSVEP Görevi GDD	-1,046	0,296

* $p < 0,05$ **Tablo 7.** Spearman Korelasyon Analizi Sonuçları (Results of Pearson Correlation Analysis)

Aralarında Korelasyon Bulunan Değişkenler	Spearman Katsayısı
1 Göz Bebeği Çapı (1. P300 Görevi)	Göz Kırpma (1. P 300 Görevi) 0,369
2 Başarı Düzeyi (1. SSVEP Görevi)	Göz Kırpma (1. SSVEP Görevi) 0,360
3 Göz Bebeği Çapı (1. SSVEP Görevi)	Göz Kırpma (1. SSVEP Görevi) 0,379
4 Göz Bebeği Çapı (2. SSVEP Görevi)	Göz Kırpma (2. SSVEP Görevi) 0,357
5 Göz Bebeği Çapı (1. Mİ Görevi)	Göz Kırpma (1. Mİ Görevi) 0,399
6 Başarı Düzeyi (2. Mİ Görevi)	GDD (2. Mİ Görevi) -0,507
7 Başarı Düzeyi (2. Mİ Görevi)	Göz Kırpma (2. Mİ Görevi) -0,353

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Yakın gelecekte BBA sistemlerinin kullanım alanının artması beklenmektedir. Beyin aktiviteleri ile bilgisayarlara komut vermenin çeşitli sektörlerde ve günlük hayatta getireceği faydalar araştırma konusudur. Bu noktadan hareketle, sağlıklı insanların da bu sistemin kullanıcı kitlesi haline gelmesi beklenmektedir. Yapılan bu pilot çalışmada BBA sistemlerinde kullanılan beyin aktivitelerinden P300, SSVEP ve ERD/ERS ile çalıştırılan 3 farklı görev türü kullanılmıştır. Sağlıklı ve bu sisteme daha önce aşına olmayan insanların bu sistemleri kullanmadaki başarıları, bilişsel yük durumları da dikkate alınarak incelenmiştir. İstatistiksel analiz sonuçlarına göre bilişsel yüklenme farkının en net görüldüğü görev türü beklendiği üzere P300 görevleri çıkmıştır. En hassas bilişsel yüklenme göstergesi ise göz bebeği çapıdır. Görevlerin farklı zorluk derecelerini değerlendirmede en hassas sonuçları yine P300 görevleri

sağlamıştır. Göz kırpma oranının farklı görev türlerinde bilişsel durum ayırt etmede faydalı bir gösterge olduğu ve GDD verisinin özellikle zorluk derecesi artırılan farklı BBA uygulamalarında daha hassas hale geldiği sonuçlarına ulaşılmıştır. Ayrıca günümüzde bilgisayara komut vermek için kullanılan beyin aktivitelerinin bilişsel iş yükü olarak karşılıklarının ne olduğu, hangi fiziksel çıktılarla takip edilmesi gerektiğine dair yorum imkânı elde edilmiştir. Buna göre P300 potansiyeline dayanan görevler, bilişsel yüklenmeyi arttıran ve öncelikle göz bebeği çapı ile takip edilmesi gereken görevler olarak belirlenmiştir. P300 görevlerinde ayrıca GDD verisi de anlamlı ve yorumlanabilir değişiklikler göstermektedir. Özellikle ekrana yazdırılan harfin anlık olarak görülmesi hata yapılması durumunda stres artışına yol açtığından GDD değerinin önemli bir veri olduğu söylenebilir. SSVEP potansiyeliyle yerine getirilen görevlerde ise görevin zorluğu arttıkça monotonluk ve buna bağlı rahvet etkisinin arttığı gözlenmiştir. Ancak fiziksel

belirtiler SSVEP görevlerinde anlamlı şekilde farklılaşmamıştır. Bu durumda, SSVEP görevlerinde ancak görev süresinin uzatılması ile anlamlı farklılaşmaların elde edilebilmesi beklenebilir. MI görevleri ise aynı beyin aktivitesine dayanmasına rağmen görevin içsel bilişsel yüküne göre fiziksel belirtiler farklılık göstermektedir. Özellikle göz bebeği çap değişiminde 1. MI görevlerinde rehabet etkisinin, 2. MI görevlerinde ise bilişsel yüklenme etkisinin ön plana çıktığı görülmektedir.

Görev türlerine göre fiziksel belirtiler incelendiğinde ise göz bebeği çap değişiminin görev türlerine göre yine anlamlı değişiklikler gösterdiği ayrıca göz kırpmaya oranının da aynı görev türünün farklı zorluk derecelerinde değil, farklı görev türlerinin bilişsel yüklenme ve rehabet etkilerinin ağırlığına göre anlamlı bir veri olduğu görülmüştür. Bu noktadan hareketle sağlıklı insanların günlük yaşantısına yakın gelecekte girmesi beklenen BBA sistemlerinin özellikle ara yüz, sanal gerçeklik ve benzetim ortamlarının tasarımları esnasında yapılacak kullanıcı testlerinde bu verilerin fayda sağlayacağı ve özel amaçlı uygulamaların geliştirilmesi çalışmalarına ışık tutması beklenmektedir.

BBA görevlerinde motor faaliyetler yerine beyin aktivitelerinin ön planda olması, bu tür görevler için diğer bilişsel yüklenme çalışmalarından farklı bir yaklaşım gerektirmektedir. Yapılan çalışma ile bu noktada literatürdeki bir boşluğun giderilmesine katkı sağlamaya çalışılmıştır. BBA'leri ile ilgili yapılacak yeni sistem, ara yüz ve ortam tasarımlarında bilişsel yüklenmenin bir gösterge olarak dikkate alınması halinde, hangi beyin potansiyelleri için hangi fiziksel belirtilerin ön planda tutulması gerektiğine yönelik anlamlı sonuçların elde edilmiş olması, çalışmanın BBA temelli araştırmalarda olumlu katkılar sağlayabileceğini göstermektedir.

Çalışmada veri toplamayı güçleştiren bazı unsurlar ile karşılaşmıştır. Bunlardan en önemlisi; elektrot yerleşiminin, iletken jel kullanımının ve bonenin tam oturmasının çok kritik öneme sahip olması nedeniyle deneye başlamadan önceki hazırlık aşamasının birçok katılımcı için beklenenden uzun sürmesidir. Herhangi bir nedenle, tekrar edilen denemelere rağmen sağlıklı sinyal alınmadığı durumlarda ilgili katılımcının deney oturumu iptal edilmiştir. Bu katılımcılar başka bir deney oturumu gün ve saatinde uygun olduğunu belirttiği takdirde tekrar çağırılmış, aksi takdirde ise diğer katılımcılar ile veri toplama sürecine devam edilmiştir. Bu durum, beş adet deney oturumunun telafisinin yapılamamasına, veri toplama aşamasının uzamasına ve tüm gönüllülerin katılımının sağlanamamasına yol açmıştır. Kablosuz elektrotların geliştirilmiş olmasıyla bu alandaki benzer deneysel çalışmalarda bu tür zorluklarla karşılaşmayacağı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, ESOGÜ tarafından 2013-141 numaralı Bilimsel Araştırma Projesi olarak desteklenmiştir. Gönüllü olarak

katılım sağlayan 70 öğrenciye de çalışmaya sağladıkları katkıdan dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Karagöz M., Alkaç Ü., Ergen N., Eradamlar N., Alpkan L., 2005, Psikiyatrik Hastalıklarda Elektrofizyolojik P 300 Yöntemler, Düşünen Adam, 184,210-216
2. Amiri, S., Rabbi, A., Azinfar, L., Fazel-Rezai, R. 2013. A review of P 300, SSVEP, and hybrid P 300/SSVEP brain-computer interface systems. Brain-Computer Interface Systems—Recent Progress and Future Prospects.
3. Alkaç Ü., 2009, Beyin Araştırmaları Tarihinde Bir Gezinti:Eletronörofizyoloji, Klinik Gelişim, 2009-3, 14-19
4. Gençer N., Uşaklı A., Erdoğan H., Akıncı B., Acar E., 2010, ODTÜ Beyin Araştırmaları Laboratuvarı: Beyin-Bilgisayar Arayüzü Çalışmaları , ODTÜLÜ, 45, 20-21
5. Alm, H., Nilsson, L.,1995, The effects of a mobile telephone task on driver behaviour in a car following situation. Accident Analysis & Prevention, 27(5), 707-715.
6. Matthews, R., Legg, S., Charlton, S., 2003, The effect of cell phone type on drivers subjective workload during concurrent driving and conversing, Accident Analysis & Prevention, 35(4), 451-457.
7. Horberry, T., Anderson, J., Regan, M. A., Triggs, T. J., Brown, J., 2006, Driver distraction: the effects of concurrent in-vehicle tasks, road environment complexity and age on driving performance. Accident Analysis & Prevention, 38(1), 185-191.
8. Dunn, N., Williamson, A., 2012, Driving monotonous routes in a train simulator: the effect of task demand on driving performance and subjective experience, Ergonomics, 55(9), 997-1008.
9. Yiyuan, Z., Tangwen, Y., Dayong, D., Shan, F., 2011, Using Nasa-TLX to evaluate the flight deck design in design phase of aircraft. Procedia Engineering, 17, 77-83.
10. Rubio, S., Díaz, E., Martín, J., Puente, J. M., 2004, Evaluation of subjective mental workload: A comparison of SWAT, NASA-TLX, and workload profile methods. Applied Psychology, 53(1), 61-86.
11. Leung, Gilbert TC, Yucel, G., Vincent G. Duffy., 2010, The effects of virtual industrial training on mental workload during task performance., Human Factors and Ergonomics in Manufacturing Service Industries, 20.6, 567-578.
12. Yurko, Y. Y., Scerbo, M. W., Prabhu, A. S., Acker, C. E., Stefanidis, D., 2010, Higher mental workload is associated with poorer laparoscopic performance as measured by the NASA-TLX tool, Simulation in healthcare, 5(5), 267-271.
13. Brewster, S. A., 1999, Using non-speech sound to overcome information overload. Displays, 17(3), 179-189.
14. Hitchcock, E. M., Dember, W. N., Warm, J. S., Moroney, B. W., See, J. E.,1999, Effects of cueing and

- knowledge of results on workload and boredom in sustained attention, *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 41(3), 365-372.
15. Tracy, J. P., Albers, M. J., 2006, Measuring cognitive load to test the usability of web sites. In *Annual Conference-society for technical communication*, 53, p. 256.
 16. Hart, S. G. (2006, October). NASA-task load index (NASA-TLX); 20 years later. In *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting* (Vol. 50, No. 9, pp. 904-908), Sage Publications.
 17. Noyes, J. M., & Bruneau, D. P. (2007). A self-analysis of the NASA-TLX workload measure. *Ergonomics*, 50(4), 514-519.
 18. Schultheis H., Jameson A., 2004, Assessing Cognitive Load in Adaptive Hypermedia Systems: Physiological and Behavioral Methods, *Proceedings of AH*, 225-234.
 19. Klingner, J., Kumar R., Hanrahan P., 2008, Measuring the Task-Evoked Pupillary Response with a Remote Eye Tracker *Proceedings of the 2008 Symposium on Eye Tracking Research Applications*, 69-72.
 20. Gegenfurtner A., Seppänen M., 2013, Transfer of expertise: An eye tracking and think aloud study using dynamic medical visualizations, *Computers Education*, 63, 393-403.
 21. Di Stasi, L. L., Antolí, A., Cañas, J. J., 2013, Evaluating mental workload while interacting with computer-generated artificial environments, *Entertainment Computing*, 41, 63-69.
 22. Klingner, J., Tversky, B., Hanrahan, P., 2011. Effects of visual and verbal presentation on cognitive load in vigilance, memory, and arithmetic tasks. *Psychophysiology*, 48(3), 323-332.
 23. Partala, T., Surakka, V., 2003, Pupil size variation as an indication of affective processing. *International Journal of Human-Computer Studies*, 59(1), 185-198
 24. Kang OE., Huffer KE., Wheatley TP., 2014, Pupil Dilation Dynamics Track Attention to High-Level Information, *Geng JJ, ed. PLoS ONE*, 9(8):e102463. doi:10.1371/journal.pone.0102463.
 25. Rosenfield, M., Jahan, S., Nunez, K., Chan, K. 2015, Cognitive demand, digital screens and blink rate. *Computers in Human Behavior*, 51, 403-406.
 26. Chen, S., Epps, J., 2014, Using task-induced pupil diameter and blink rate to infer cognitive load, *Human-Computer Interaction*, 29(4), 390-413.
 27. Zheng, B., Jiang, X., Tien, G., Meneghetti, A., Panton, O. N. M., Atkins, M. S., 2012, Workload assessment of surgeons: correlation between NASA-TLX and blinks. *Surgical Endoscopy*, 26(10), 2746-2750.
 28. Brandt, T., Stemmer, R., Rakotonirainy, A., 2004, Affordable visual driver monitoring system for fatigue and monotony, In *Systems, Man and Cybernetics, 2004 IEEE International Conference on Vol. 7*, pp. 6451-6456, IEEE.
 29. Arlı, M. ve Nazik, H. (2001). *Bilimsel araştırmaya giriş*. Ankara: Gazi Kitabevi, s.77
 30. Guger, C., Edlinger, G., Harkam, W., Niedermayer, I., & Pfurtscheller, G. (2003). How many people are able to operate an EEG-based brain-computer interface (BCI)? *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering*, 11(2), 145-147.
 31. Nourbakhsh, N., Wang, Y., Chen, F., Calvo, R. A., 2012, November. Using galvanic skin response for cognitive load measurement in arithmetic and reading tasks, In *Proceedings of the 24th Australian Computer-Human Interaction Conference* pp. 420-423, ACM.
 32. Tekin, V., 2009, *SPSS Uygulamalı İstatistik Teknikleri*, Seçkin Yayınevi, 162