

Beyin Bilgisayar Arayüzü ile Bilişsel Zorlanmanın İncelenmesi

Necmettin Fırat Özkan

DOKTORA TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz 2015

Investigating Cognitive Strain via Brain Computer Interface

Necmettin Fırat Özkan

DOCTORAL DISSERTATION

Department of Industrial Engineering

July 2015

Beyin Bilgisayar Arayüzü ile Bilişsel Zorlanmanın İncelenmesi

Necmettin Fırat Özkan

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Endüstri Mühendisliği Bilim Dalında
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Emin Kahya

Bu Tez Eskişehir Osmangazi Üniversitesi BAP tarafından desteklenmiştir.

Proje No: 201315A208 9

Temmuz 2015

ONAY

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora öğrencisi Necmettin Fırat Özkan'ın DOKTORA tezi olarak hazırladığı “Beyin Bilgisayar Arayüzü ile Zihinsel Zorlanmanın İncelenmesi” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Emin Kahya

İkinci Danışman : -

Doktora Tez Savunma Jürisi:

Üye : Prof. Dr. Emin Kahya

Üye : Prof. Dr. Mustafa Kurt

Üye : Prof. Dr. Sermet Anagün

Üye : Prof. Dr. Ergün Eraslan

Üye : Doç. Dr. Berna Ulutaş

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, Prof. Dr. Emin Kahya danışmanlığında hazırlamış olduğum “Sinirsel Geri Bildirim Yöntemi ile Zihinsel Performansın İncelenmesi” başlıklı DOKTORA 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; çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik, ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 03/07/2015

Necmettin Fırat Özkan

İmza

ÖZET

Beyin Bilgisayar Arayüzleri (BBA), aslen felçli hastalara yardımcı olması amacıyla geliştirilen ve beyin aktiviteleri ile bilgisayara komut verilmesini sağlayan sistemlerdir. Bu çalışmada, Beyin Bilgisayar Arayüzü sistemlerinden yararlanılarak, bilişsel durumun objektif, kolay uygulanabilir ve yorumlanabilir bir yöntemle incelenmesi amaçlanmıştır. Yetmiş sağlıklı katılımcı, bir Beyin Bilgisayar Arayüzü sistemi aracılığıyla altı adet görevi yerine getirmiş ve eş zamanlı olarak katılımcıların göz bebeği değişim oranı, göz kırpma oranı ve galvanik deri direnci (GDD) verileri toplanmıştır. Her bir görevden sonra katılımcılar Nasa-TLX formlarını doldurmuş ve aynı zamanda katılımcıların görevlerdeki başarı düzeyleri de tespit edilmiştir. Toplanan verilerin istatistiki yöntemlerle analiz edilmesinin ardından, K-Ortalamalar tekniği kullanılarak bilişsel durum kümeleri oluşturulmuştur. Bu kümelerle birlikte görev başarı düzeyleri de dikkate alınarak her bir katılımcının genel bilişsel durumları düşük riskli ve yüksek riskli olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmanın diğer tekniklerle tutarlılığını ölçmek amacıyla aynı verilerle Lojistik Regresyon, Karar Ağacı ve Yapay Sinir Ağları yöntemleri kullanılarak da sınıflandırma yapılmış ve %87,1 ile %100 arasında tutarlılık sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bilişsel Durum, Beyin Bilgisayar Arayüzü, Nasa-TLX, Göz Bebeği Çapı, Göz Kırpma Oranı, Galvanik Deri Direnci, Veri Madenciliği, Lojistik Regresyon, Karar Ağacı, Yapay Sinir Ağları

SUMMARY

Brain-Computer Interfaces provide opportunity for locked-in patients to use computers through brain activities. In this study, generating an objective, easily implementable and interpretable method to investigate cognitive state was aimed using a Brain-Computer Interface. Seventy healthy participants completed six Brain-Computer Interface based tasks. Concurrently, participants' pupil dilation, blink rate and Galvanic Skin Response data were collected. Nasa-TLX forms were filled out by the participants after each task and task performances of the participants were also retained. After the collected data were analyzed through statistical techniques, cognitive state clusters were generated through K-Means method. General cognitive state classes were obtained as low risk and high risk by considering cognitive state clusters and task performances. Logistic Regression, Decision Tree and Neural Networks were also used as other classification methods with the same data to see consistency. As a result, it has been seen that, suggested method provided %87,1-%100 consistency with other techniques.

Keywords: Cognitive State, Brain-Computer Interface, Nasa-TLX, Pupil Dilation, Eye-Blink Rate, Galvanic Skin Response, Data Mining, Logistic Regression, Decision Trees, Neural Networks

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın başından sonuna kadar geçen zaman zarfındaki desteklerinden ötürü başta danışman hocam Prof. Dr. Emin Kahya olmak üzere tez izleme komitesinde yer alan hocalarım Prof. Dr. Doğan Erol, Prof. Dr. Mustafa Kurt ve Doç. Dr. Berna Ulutaş’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın çeşitli aşamalarında ihtiyaç duyduğum ilgi ve yardımı benden esirgemeyen Prof. Dr. Sermet Anagün, Prof. Dr. Belgin Demet Özbabalık, Prof. Dr. Behice Durgun ve Dr. Fulya Gökalp Yavuz’a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca bu çalışmayı tamamlayabilmem için sıklıkla ihtiyaç duyduğum anlayış ve sabrı gösterdiklerinden dolayı ESOGÜ Endüstri Mühendisliği Bölümü öğrencilerine, hocalarına, çalışanlarına ve hep yanımda olan aileme şükranlarımı sunarım.

Bu tez çalışması Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından 201315A208 kodlu A2 türü proje olarak desteklenmiştir. Çalışmayı desteğe değer bulan tüm komisyon üyelerine ayrıca teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. BİLİŞSEL YÜK	3
2.1 İnsanın Bilişsel Yapısı	3
2.2 Bilişsel Yük ve Bilişsel Durum	4
2.2.1 Bilişsel yük ve bilişsel durum tahmin yöntemleri.....	5
2.2.1.1 Sübjektif yöntemler	6
2.2.1.2 Davranışsal yöntemler	10
2.2.1.3 Fizyolojik yöntemler	10
2.3 Bilişsel Yük ile İlgili Kaynak Araştırması.....	14
3. BEYİN BİLGİSAYAR ARAYÜZLERİ	28
3.1 BBA Sistemlerinde Kullanılan Beyin Aktiviteleri	28
3.2 BBA Sistemleri ile İlgili Kaynak Araştırması	30
4. MATERYAL VE YÖNTEM	35
4.1 P 300 Potansiyeli İçin Yapılacak Görev ve Deney Düzenegi	37
4.2 SSVEP Potansiyeli İçin Yapılacak Görev ve Deney Düzenegi.....	41
4.3 Motor İmgeleme için Yapılacak Görev ve Deney Düzenegi.....	44
4.4 Görev Başarı Düzeyi.....	46
4.5 Nasa-TLX Puanı	46
4.6 Göz Bebeği Çapındaki Değişim Oranı ve Göz Kırpma Sayısı	47

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.7 Galvanik Deri Direnci (GDD)	48
4.8 Deney Protokolü	49
5. İSTATİSTİKSEL ANALİZLER.....	52
5.1 Normallik Testleri.....	53
5.2 Nasa-TLX Skorları Analizi.....	55
5.3 Görev Başarı Düzeylerinin Karşılaştırılması	56
5.4 Toplanan Fizyolojik Belirtilerin Karşılaştırılması	57
5.5 Çoklu Karşılaştırma (Post-Hoc) Testleri	59
5.6 Parametrik Olmayan Korelasyon Analizi	60
5.7 Cinsiyet, AKTS ve Not Ortalamasının Görev Performansı ile İlişkisi	61
6. VERİ MADENCİLİĞİ İLE BİLİŞSEL DURUMUN ANALİZİ	63
6.1 Kümeleme Analizleri	65
6.2 Görev Performanslarının Sınıflandırılması.....	71
6.3 Görev Risk Sınıfları ve Genel Risk Sınıflarının Belirlenmesi.....	71
6.4 Lojistik Regresyon ile Sınıflandırma	71
6.5 Karar Ağacı ile Sınıflandırma	73
6.6 Yapay Sinir Ağları ile Sınıflandırma	78
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	80
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	85
EK AÇIKLAMALAR	94
Ek Açıklamalar-A: Bilgilendirilmiş Gönüllü Olur Formu	95
Ek Açıklamalar-B: Anket Formu	97
Ek Açıklamalar-C: Türkçe Nasa-TLX Formu.....	98
Ek Açıklamalar-D: Katılımcıların Görev Sonuçları	100
Ek Açıklamalar-E: Normallik Testi Sonuçları	112

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. İnternet Tabanlı Nasa-TLX Boyut Değerlendirme Ekranı	9
2.2. İnternet Tabanlı Nasa-TLX İkili Karşılaştırma Ekranı.....	10
2.3. Standart EKG Dalgaları.....	12
2.4. GDD'nin Zamana Göre Değişimi.....	22
2.5. Ortalama GDD ile Görev Zorluğu İlişkisi	22
3.1. Beyin-Bilgisayar Arayüzlerinin Temel Çalışma Mantığı.....	28
3.1. Heceleme Arayüzü	29
4.1. P 300 Harf Matrisi	38
4.2. Yanıp Sönme Sayısı Ayarlama.....	39
4.3. Yanıp Sönme Aralığı Ayarlama	39
4.4. G.USBamp Sinyal Yükseltici	40
4.5. EEG Bonesi	40
4.6. P 300 Elektrot Yerleşimi	41
4.7. Yükselticiye Bağlı aktif Elektrot Sürücüsü	41
4.8. SSVEP Ayar Ekranı	42
4.9. SSVEP Kumandası.....	43
4.10. SSVEP İçin Uygun elektrot yerleşimi	43
4.11. SSVEP İçin Sinyal Kutusu	44
4.12. SSVEP Başarı Grafiği	44
4.13. Motor İmgeleme Ok Uygulaması.....	45
4.14. Motor İmgeleme Elektrot Yerleşim.....	45
4.15. MI Başarı Grafiği	46
4.16. Göz Takip Cihazı.....	48
4.17. G.Tec GDD Algılayıcısı	49
4.18. Deney Protokolü Akış Şeması.....	50
4.19. P 300 Görevi Örnek Görüntüsü	51
4.20. SSVEP Görevi Örnek Görüntüsü	51
4.21. MI Görevi Örnek Görüntüsü	51

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.1. Önerilen Sınıflandırma Yönteminin Akış Diyagramı	64
6.2. CART Algoritması İle Elde Edilen Karar Ağacı Yapısı	77

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. SWAT Yönteminin Değerlendirme Boyutlar	7
2.2. Nasa-TLX Bilişsel Yük Değerlendirme Boyutları	8
4.1. Görev Özellikleri ve Beklenen Fizyolojik Etkiler	37
5.1. Demografik Bilgiler.....	52
5.2. Tanımlayıcı İstatistikler	53
5.3. Normalleştirme Öncesi Normallik Testleri Sonuçları	54
5.4. Normalleştirme Sonrası Normallik Testleri Sonuçları	55
5.5. Nasa-TLX Skorları İçin Eşleştirilmiş T Testi Sonuçları	56
5.6. Görev Başarı Düzeyleri İçin Wilcoxon Testi Sonuçları	57
5.7. Görev Tekrarlarına Ait Fizyolojik Ölçümler İçin Wilcoxon Testi Sonuçları	57
5.8. Görevlere Göre Fizyolojik Ölçümler İçin Friedman Testi Sonuçları.....	58
5.9. Çoklu Karşılaştırma (Post-Hoc) Testi Sonuçları	59
5.10. Pearson Korelasyon Analizi Sonuçları	61
5.11. Ki-Kare Bağımsızlık Testi Sonuçları	62
6.1. K-ortalamlar Kümeleme Analizi Silhouette Puanları	66
6.2. P 300/1 Görevi Kümeleme Sonuçları	67
6.3. P 300/2 Görevi Kümeleme Sonuçları	67
6.4. SSVEP/1 Görevi Kümeleme Sonuçları	68
6.5. SSVEP/2 Görevi Kümeleme Sonuçları	69
6.6. MI/1 Görevi Kümeleme Sonuçları	70
6.7. MI/2 Görevi Kümeleme Sonuçları	70
6.8. Omnibus Testi Sonuçları	72
6.9. İkili Lojistik Regresyon Sınıflandırma Tablosu	72
6.10. CHAID, CART ve QUEST ile Karar Ağaçları Sınıflandırma Tabloları.....	73
6.11. CART Algoritması ile Oluşturulan Karar Ağacı Yapısının Özeti.....	75
6.12. Yapay Sinir Ağları Sınıflandırma Sonuçları	79
D.1. P300/1 Görevi Sonuçları	100
D.2. P300/2 Görevi Sonuçları	102
D.3. SSVEP/1 Görevi Sonuçları.....	104

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
D.4. SSVEP/2 Görevi Sonuçları.....	106
D.5. Mİ/1 Görevi Sonuçları.....	108
D.6. Mİ/2 Görevi Sonuçları.....	110

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**Simgeler**

P
SD

Açıklama

P değeri
Serbestlik Derecesi

Kısaltmalar

EEG
EKK
fMRI
fNIR
GDD
KHD
MI
Ort.
SSVEP
Std.
Vb.

Açıklama

Elektroensefalografi
Elektrokardiyografi
Fonksiyonel Manyetik Rezonans Görüntüleme
Fonksiyonel Yakın Kızılötesi Görüntüleme
Galvanik Deri Direnci
Kalp Atış Değişkenliği
Motor İmgeleme
Ortalama
Durağan Hal Görsel Uyarılmış Potansiyel
Standart
Ve benzerleri

1. GİRİŞ VE AMAÇ

İnsan hataları ve kazaların azaltılmaya çalışılması ergonominin ilgilendiği en önemli konulardan biridir. Yapılan hataların bazen sistemin aksamasına bazen de insan hayatına mal olacak kadar ciddi sonuçları olabilmektedir. İnsanın hem fiziksel hem de zihinsel kapasitesinin sınırlı olduğu gerçeğinden yola çıkıldığında kişilerin yaptıkları iş ne olursa olsun insana ve insan kapasitesine uygun tasarlanmasının önemli bir gereklilik olduğu görülecektir. İnsanın fiziksel kapasitesi üzerinde derinlemesine çalışmalar yapılmış ve yapılmaya da devam edilmektedir. Fiziksel yorgunluk için; kas yorgunluğu, dinlenme süreleri, görme, işitme yetenekleri gibi pek çok konuda genel geçerliliği olan ölçüm ve hesaplama yöntemleri geliştirilmiştir. Ancak insanların zihinsel kapasitesinin de sınırlı olduğu bilindiği halde bilişsel iş yükünü, zihinsel yorgunluğu ve zihinsel performansı tam olarak saptayacak bir yöntem henüz bulunmamaktadır. Yapılan işin kişilerde oluşturduğu bilişsel yüklenmeyi tahmin edebilmek amacıyla kabul gören bazı yöntemler mevcut olsa da bu yöntemlerin güçlü ve zayıf yönleri tartışma konusudur.

Öte yandan insan hatalarının zihinsel boyutunu sadece bilişsel yüklenme ile açıklamak mümkün değildir. Aşırı bilişsel yük bir hata sebebi olsa da aşırı stres, zihinsel kaçamak, monotonluktan kaynaklı rehavet, gibi iş başındayken dikkati korumayı zorlaştıran etkenler de göz önüne alınmalıdır. Bu yüzden yapılmaya devam edilen bilişsel yük ölçüm çalışmalarının yanı sıra genellikle birden fazla ölçünün kullanımıyla belirlenmeye çalışılan bilişsel durum kavramı üzerinde de durulmaktadır.

Bu tez kapsamında bilişsel yük ve bilişsel durum tahmininde kullanılan yöntemler incelenmiş ve bir kısmının kullanımına dayanan bir deneysel çalışma yapılmıştır. Deneyler daha önce bu amaç için bu kadar kapsamlı şekilde kullanılmamış olan BBA sistemlerinden faydalanılmıştır. Aslen tıbbi amaçlarla geliştirilen bu sistemlerin beyin aktiviteleri ile bilgisayara komut verme özelliklerinden faydalanılması ve deneyde katılımcılara yaptırılacak görevlerin bu şekilde yerine getirilmesi düşünülmüştür. Deneye Eskişehir Osmangazi Üniversitesi'nde öğrenim gören 70 öğrenci katılmış ve Beyin Bilgisayar Arayüzü (BBA) aracılığıyla tasarlanan görevleri yerine getirmişlerdir. Her bir katılımcıdan toplanan sübjektif ve objektif veriler değerlendirilerek bir bilişsel durum sınıflandırması yapılmış ve kişilerin anlık bilişsel durumlarından yola çıkılarak bir risk belirleme yöntemi önerilmiştir.

İkinci bölümde, bilişsel yük ve bilişsel durumla ilgili genel tanımlar verilmiş ayrıca mevcut ölçüm yöntemleri hakkında bilgi verilerek konuyla ilgili literatürdeki çalışmalara değinilmiştir.

Üçüncü bölümde, beynin genel yapısı, BBA sistemleri üzerinde durulmuştur. BBA sistemlerinin çalışma mantığı ve ilgili beyin potansiyelleri açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde, yapılan deneysel çalışmanın özellikleri, BBA sistemi yanında kullanılan diğer ölçü cihazları ve izlenen yol açıklanmıştır. Deney protokolü üzerinde durulmuş, her bir aşama detaylarıyla anlatılmıştır.

Beşinci bölümde, deney sonucunda elde edilen sonuçlar özetlenmiş ve kullanılan istatistiki yöntemler ile yapılan analizler açıklanmıştır. Altıncı Bölümde Veri Madenciliği teknikleri ile genel bilişsel durum analiz edilmiştir.

Sonuç ve Öneriler kısmında ise elde edilen analiz sonuçlarından yola çıkılarak çalışma hakkında genel yorumlar yapılmış ve bu alanda yapılabilecek diğer potansiyel çalışmalara değinilmiştir.

2. BİLİŞSEL YÜK

Bu bölümde, öncelikle insanın bilişsel yapısı, bilişsel durum ve bilişsel yük kavramları tanıtilerak bilişsel yük teorisi üzerinde durulmuştur. Daha sonra bilişsel yük ve bilişsel durum tespiti için kullanılan yöntemler açıklanarak bu konuda yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Son aşamada ise BBA sistemleri tanıtilerak, bu sistemlerle ilgili yapılan önemli çalışmalar hakkında bilgi sunulmuştur.

2.1. İnsanın Bilişsel Yapısı

Biliş dış uyaranları algılama, düşünme ve hatırlama süreçleriyle meydana gelen bir olgudur (Taber, 2008). Biliş'in temelinde ise insanın bilişsel yapısı yatmaktadır. Bilişsel yapı bilgiyi oluşturan unsurları düzenleyen ve bir arada tutan bir zihinsel çatı olarak tarif edilebilir (Uçak ve Güzeldere, 2006).

Bilişsel süreçlerin başlaması ise dış dünyadan duyu organlarımızla algılayacağımız uyaranlar ile mümkündür. Algılanan uyaranları yorumlamak için düşünme veya hatırlamaya ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak bu devrede “Bilgi İşleme Modeli” yaklaşımına göre, gelen bilgiler beyinde işlem görmeden önce bir ön filtreden geçerler. Bu sayede beyin işlenmesine gerek olmayan bilgileri algılamayacak sadece amaca uygun bilgileri işleyecektir (Çağıltay, 2011).

“Bilgi İşleme Modeli” yaklaşımında bahsedilen filtreleme işlemi dikkat mekanizması ile mümkündür. Dikkat mekanizması, dış dünyadan duyu organlarımızla aldığımız her türlü bilgiyi bizim ihtiyacımız olanları içlerinden seçecek şekilde ayıklamayı sağlar. Bu sayede gerekli bilgiler ilk etapta, hızlı çalışan ama sadece kısa bir süre için etkili olan kısa dönem hafızaya alınıp işlenebilir (Çağıltay, 2011).

Dikkat mekanizması pek çok görevde süreklilik arz etmesi gereken ve ilgili görevin gerekliliklerine odaklanmayı sağlayan bir olgudur. Ne zaman geleceği bilinmeyen veya arka arkaya gelen uyarılara karşı dikkati korumak gereklidir. Böyle bir durumda bu olgu, “sürekli dikkat” veya “uyanıklık” yani gelebilecek uyarılara karşı tetikte olma hali olarak tanımlanabilir (Head ve Helton, 2014). Sürekli dikkat kavramının önemi otomatikleşmiş sistemlerin artışı ve insan makine sistemlerinin yaygınlaşması ile git gide daha çok artmaktadır (Sanders ve McCormick, 1992).

2.2. Bilişsel Yük ve Bilişsel Durum

Bilişsel yükün kesin kabul görmüş net bir tanımı olmamakla beraber, insanın sınırlı olan dikkat, hafıza, bilgi işleme kapasiteleri ile görevin gerektirdiği kapasite kullanım düzeyi arasındaki fark olarak açıklanabilir (Sanders ve McCormick, 1987). Bu tanımdan yola çıkıldığında kişinin ve görevin özelliklerine göre bilişsel yükün değişiklik göstereceği görülebilir. Buna göre, kişinin zihinsel kapasitesini kullanımını engelleyen, fiziksel (uykusuzluk vb.), psikolojik (mutsuzluk, gerginlik vb.) durumlar bilişsel yükün ne düzeyde oluşacağına bir etken olacağı gibi yapılan işin çok sayıda uyararı, bilgiyi aynı anda sağlaması ve farklı noktalara eş zamanlı dikkat gerektirmesi gibi özellikleri de bilişsel yük üzerindeki faktörlerdir.

Bilişsel yükün artması insanların hata yapması olasılığında da bir artış meydana getirmektedir. Bu yüzden bilişsel yükün azaltılması konusunda, yapılacak görevlerde insanların en çok ihtiyaç duyduğu bilgiyi en kolay erişebilecekleri şekilde düzenlemek gibi hem arayüz hem de ürün tasarımı çalışmalarında geçerli olan prensiplerin kullanımı ağırlık kazanmıştır (Çağıltay, 2011).

Bilişsel yükün insan performansı ile ilişkisi konusunda bilişsel yük teorisi ortaya atılmıştır. Bilişsel yük teorisi 1980'li ve 90'lı yıllarda dünya çapındaki araştırmacıların ortak bulguları ile oluşmuştur (Paas vd., 2003). Bu teori genel hatlarıyla izleyen üç varsayım üzerine kurulmuştur. Bu varsayımlar şunlardır;

- İnsanlar sınırlı bir bilişsel ve dikkat toplama kapasitesine sahiptir.
- Farklı işler aynı kişinin farklı miktarda bilişsel işleme kapasitesi kullanmasını gerektirebilir.
- Bir işi ayrı ayrı eşit oranda iyi bir şekilde yapan iki kişiden birisi işi yaparken bilişsel olarak daha fazla zorlanmış olabilir.

Bilişsel yükün üç farklı türü olduğu kabul edilmektedir. Bunlardan ilki İçsel veya Asıl (Intrinsic) Bilişsel Yüktür. Görevin, ya da ilgilenilen sistemin karmaşıklığından kaynaklanan bilişsel yük türüdür. Dışsal (Extraneous) Bilişsel Yük bir diğer bilişsel yük türüdür ve yapılan görevle, ilgilenilen işle tamamen ilgisiz ikincil kaynaklar tarafından meydana getirilen uyarılar ile oluşan yüklenmedir. Son bilişsel yük türü ise Etkili (Germane) Bilişsel Yüktür. İçsel ve Dışsal bilişsel yüklerin bir nevi tamamlayıcısıdır. Edinilen bilgilerin zihinde büyük bir şema haline getirilerek aralarındaki bağlantıların oluşturulması ve bu sayede kısa dönem hafızadaki bilgilerin uzun dönem hafızaya alınması esnasında meydana gelir. Bu açıdan daha çok öğrenme süreçleriyle ilgilidir (Kalyuga, 2011).

Sürekli devam eden bilişsel yükün zihinsel yorgunluğa sebep olacağı bilinmektedir. Ancak bu yorgunluğun anlaşılması genellikle dikkat ve konsantrasyon eksikliğinin kendini belli etmesiyle mümkündür (Boksem ve Loris, 2005). Öte yandan zihinsel açıdan yorulmanın tek nedeni aşırı bilişsel yüklenme değildir. Örneğin bilişsel açıdan fazla çaba gerektirmeyen ancak monoton olan işlerde de zihinsel yorgunluk söz konusu olmaktadır. Bu yorgunluğun ne zaman başlayacağı, nasıl etki edeceği konusunda bir diğer önemli etken olan bilişsel durum kavramını da ele almak daha kapsamlı bir yaklaşım sağlayacaktır.

Bilişsel durumu kısaca bilişsel yükün niceliksel değil niteliksel ifadesi olarak tanımlamak mümkündür (Colin vd., 2012). İş başındayken ortaya çıkan, doğrudan ölçülemeyen ancak yapılan işin performansına ve hata yapma riskine etkisi bilinen tetikte olma hali, konsantrasyon, rehavet hali, dikkatin dağılması, odaklanma veya odaklanamama, yapılan işten sıkılma, kafa karışıklığı, gerginlik gibi bilişsel durumlar insanın yaptığı işteki performansını etkiler. Bazı durumlarda başarılı bir performans için ulaşılması gereken bilişsel yüke ulaşamamasını bazı durumlarda da gereğinden fazla ve hızlı bir bilişsel yük oluşmasına neden olabilirler.

İşe bağlı bilişsel durumun çok hızlı değişkenlik gösterdiği bilinmektedir (Fadlallah vd., 2012). Bu yüzden bilişsel durumlar ile ilgili yapılabilen tahminler ancak kısa süreler için geçerli olan tahminlerdir.

2.2.1. Bilişsel yük ölçümü ve bilişsel durum tahmin yöntemleri

Bilişsel yükün ölçülebilmesi için sübjektif, davranışsal ve fizyolojik olmak üzere üç ana grupta yöntemler önerilmiştir. Bilişsel durum değerlendirme çalışmalarında Standardize Mini Mental Test (SMMT) daha çok belli bir yaşın üstündeki insanlarda herhangi bir bilişsel işlev kaybı olup olmadığının tespitinde kullanılır.

SMMT aslen nöropsikiyatrik muayene yöntemlerinden birisi olarak kabul edilmektedir. İlk kez 1975 yılında Folstein ve arkadaşları tarafından önerilmiştir. Hızlı uygulanabilmesi ve sayısal sonuç sağlaması bilişsel performansı değerlendirmek açısından en önemli avantajlarıdır (Güngen vd., 2002). Katılımcıya hafıza, dikkat, dil kullanımı gibi becerileri ölçen 30 adet soru yöneltilir. 24 doğru cevabın altında kalanlar için genel bilişsel performansta kayıp olduğu kabul edilir.

İş başındaki bilişsel durum tahmin çalışmalarında ise daha çok bilişsel yük tespitinde fizyolojik ölçümleri kullanan yöntemlerden yola çıkılmaktadır. Bu tür çalışmalarda bilişsel durum olarak genellikle tetikte olma hali, rehavet hali, bıkkınlık,

gerginlik ve konsantrasyon dikkate alınır. Bu durumlar hakkında tahminde bulunmak için bilişsel yükün fizyolojik belirtilerinden yola çıkılır yani bilişsel durum tahmini çalışmalarında, bu kavramı bilişsel yükten bağımsız ele almak mümkün değildir. Çalışmanın bu bölümünde bilişsel yük ölçüm yöntemleri üzerinde durulmuştur.

2.2.1.1. Sübjektif yöntemler

Sübjektif yöntemler, bir iş tamamlandıktan sonra o işin kişide yarattığı bilişsel yükün tespiti için doğrudan kişi tarafından değerlendirme yapılmasına dayanır. Bu yöntemlerin avantajı şöyle sıralanabilir;

- Maliyeti düşüktür.
- Uygulaması kolay ve hızlıdır.
- Doğrudan sayısal bir değer verir.

Ancak bu avantajlarının yanında bazı dezavantajları da mevcuttur. Bu dezavantajlar;

- Sonuçların güvenilirliği tartışmalıdır.
- Elde edilen sayısal değerler ancak karşılaştırma amaçlı kullanılmalıdır.

En yaygın kullanılan ve genel geçerliliği kabul görmüş sübjektif teknikler; SWAT (The Subjective Assessment Workload Technique) ve Nasa-TLX (Task Load Index) teknikleridir.

SWAT tekniği bilişsel yük tespitini üç boyutta ele alır. Bu boyutlar; süre, zihinsel çaba ve psikolojik streştir (Reid ve Nygren, 1988). SWAT tekniğinin her bir boyutunun düşük, orta, yüksek olmak üzere 3'er değerlendirme kademesi vardır (Rubio vd., 2004). Bunlar Çizelge 2.1'de sunulmuştur. Yöntemin üç farklı aşaması mevcuttur. İlk aşamada skala geliştirilir. Bunun için Çizelge 2.1'de verilen boyutlar ve kademelerin olası 27 kombinasyonun hepsi birer karta yazılır ve işi yapan operatörlerin her biri hissettiği bilişsel yüke göre bu kartları sıralar. Bu aşama aralıklı bir skala oluşturulması için kullanılır. İkinci aşamada yapılan iş, bilişsel yük açısından 0-100 arasındaki bir değerle puanlandırılır. Son aşamada ise birinci aşamadaki skala kullanılarak her üç boyutun bilişsel yük sıralamaları sayısallaştırılır ve 0-100 arası bir değer alır (Rubio vd.,2004).

Çizelge 2.1 SWAT Yönteminin Değerlendirme Boyutları

1. Süreden Kaynaklı Yüklenme • Sık sık boş zaman kaldı. Kesintiye uğrayan veya üst üste gelen aktiviteler hiç ortaya çıkmadı ya da çok seyrek. (Düşük) • Seyrek olarak boş zaman kaldı. Kesintiye uğrayan veya üst üste gelen aktiviteler seyrek olarak ortaya çıktı. (Orta) • Neredeyse hiç boş zaman kalmadı. Kesintiye uğrayan veya üst üste gelen aktiviteler çok sık ortaya çıktı. (Yüksek)
2. Zihinsel Çaba Kaynaklı Yüklenme • Çok düşük seviyede bilinçli zihinsel çaba harcama veya konsantrasyon gereksinimi vardı. Görev neredeyse tamamen otomatikti, neredeyse hiç dikkat gerektirmiyordu. (Düşük) • Orta seviyede bilinçli zihinsel çaba harcama veya konsantrasyon gereksinimi vardı. Görevin karmaşıklığı belirsizlik, tahmin edilemezlik veya göreve yabancılik nedeniyle yüksekti. Önemli ölçüde dikkat gerektiriyordu. (Orta) • Fazlasıyla zihinsel çaba ve konsantrasyon gerektiriyordu. Tam dikkat gerektiren çok yüksek karmaşıklıkta bir görevdi. (Yüksek)
3. Psikolojik Stres Kaynaklı Yüklenme • Düşük seviyede, kafa karışıklığı, risk, gerginlik ve kaygı ortaya çıktı. Kolayca bertaraf edilebildi. (Düşük) • Kafa karışıklığı, gerginlik, risk veya kaygıdan kaynaklı orta düzeyde stres hissedildi. Uygun performansı sağlama için önemli derecede çaba harcandı. (Orta) • Kafa karışıklığı, gerginlik, risk veya kaygıdan kaynaklı yoğun stres hissedildi. Çok yüksek kararlılık ve irade gerekliydi. (Yüksek)

Nasa-TLX tekniği (Hart ve Staveland,1988) SWAT tekniğine göre daha kolay anlaşılan ve uygulanan bir tekniktir. Bu yüzden araştırmacılar arasında daha çok rağbet görmüştür ve görmeye devam etmektedir. Bu yöntem bilişsel yükü değerlendirmek için 6 boyut kullanır. Bu boyutlar; zihinsel gereksinim, fiziksel gereksinim, zaman gereksinimi,

gösterilen performans, gösterilen çaba ve gerginlik düzeyidir. Bu boyutların kısa açıklamaları ve değerlendirme aralıkları Çizelge 2.2’de sunulmuştur.

Çizelge 2.2 Nasa-TLX Bilişsel Yük Değerlendirme Boyutları

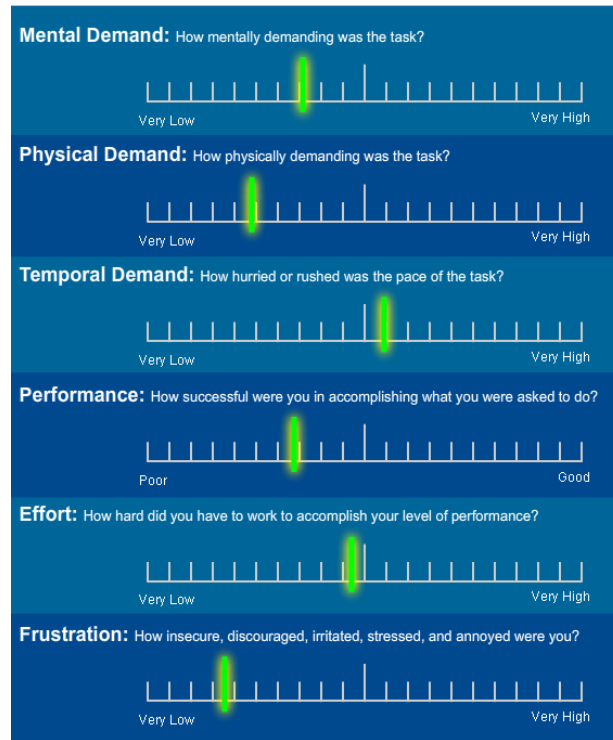
Boyut	Değerlendirme Aralığı	Tanım
Zihinsel Gereksinim	Düşük-Yüksek	Görev esnasında anlama, kavrama, düşünme, arama, hesaplama, hatırlama gibi faaliyetlere ne kadar ihtiyaç duyulduğu ve görevin karmaşık mı basit mi olduğuna dair değerlendirme boyutu.
Fiziksel Gereksinim	Düşük-Yüksek	Görev esnasında ne kadar fiziksel aktiviteye ihtiyaç duyulduğuna dair değerlendirme boyutu
Zaman Gereksinimi	Düşük-Yüksek	Görev esnasında zaman baskısı hissedilip hissedilmediğine, ne kadar acele etmek zorunda kalındığına dair değerlendirme boyutu
Performans	İyi-Kötü	Kişinin tamamladığı görevle ilgili kendi performansını değerlendirme boyutu.
Gösterilen Çaba	Düşük-Yüksek	Görevi tamamlayana kadar zihinsel ve fiziksel olarak ne kadar çaba gösterildiğine dair değerlendirme boyutu.
Gerginlik Düzeyi	Düşük-Yüksek	Görev esnasında ne kadar sinirli, güvensiz, isteksiz hissedildiğine dair değerlendirme boyutu

Nasa-TLX’ in kullanımında ilgili görevi tamamlayan kişi öncelikle Çizelge 2.2’de verilen boyutlar ve onların değerlendirme aralıkları dâhilinde ayrı ayrı değerlendirmeleri yapar. Daha sonra ise bu 6 boyutun birbirleriyle ikili kombinasyonlarının tamamı için karşılaştırmalar yapar. Kendisine göre daha önemli gördüğü boyutu tercih etmek suretiyle toplam 15 ikili karşılaştırmadan birer tane boyut seçerek bu değerlendirme boyutlarının

ağırlıklarını belirlemiş olur. Son aşamada ise ağırlıklar ile boyut değerlendirme skorları çarpılıp toplanarak 15'e bölünür ve Nasa-TLX skoru elde edilir.

Nasa-TLX yöntemi ilk olarak kağıt üzerinde kullanılmaya başlanmıştır. Kağıt üzerinde uygulanan yöntemde boyutların değerlendirme skalaları her biri 5'er puan anlamına gelen 20 aralıktan meydana gelmektedir. İkili karşılaştırmalar ise ayrı kutucuklar içinde bir tablo halinde değerlendiriciye sunulur ve değerlendirici her bir kutucuk için kendine göre daha öne çıkan boyutu daire içine alır.

İlerleyen dönemlerde bilgisayar başında ve internet üzerinden kullanıma uygun Nasa-TLX türleri geliştirilmiştir. Değerlendirme ve hesaplama mantığı tamamen aynı olmakla beraber bilgisayar ve internet tabanlı Nasa-TLX yöntemlerinde değerlendirme ölçeklerindeki ara değerler de hesaplanabildiğinden boyut skorlarının 5'er aralıkla artma zorunluluğu yoktur. İnternet tabanlı Nasa-TLX' in boyut değerlendirme ve ikili karşılaştırma aşamalarına dair örnek ekran görüntüleri Şekil 2.1 ve Şekil 2.2' de sunulmuştur.



Şekil 2.1 İnternet Tabanlı Nasa-TLX Boyut Değerlendirme Ekranı

Mental Demand
How much mental and perceptual activity was required (e.g. thinking, deciding, calculating, remembering, looking, searching, etc.)? Was the task easy or demanding, simple or complex, exacting or forgiving?

Physical Demand
How much physical activity was required (e.g., pushing, pulling, turning, controlling, activating, etc.)? Was the task easy or demanding, slow or brisk, slack or strenuous, restful or laborious?

Temporal Demand
How much time pressure did you feel due to the rate or pace at which the tasks or task elements occurred? Was the pace slow and leisurely or rapid and frantic?

Effort
How hard did you have to work (mentally and physically) to accomplish your level of performance?

Performance
How successful do you think you were in accomplishing the goals of the task set by the experimenter (or yourself)? How satisfied were you with your performance in accomplishing these goals?

Frustration Level
How insecure, discouraged, irritated, stressed and annoyed versus secure, gratified, content, relaxed and complacent did you feel during the task?

Of the two workload measures below, which one contributed the most to the task you just completed?

Mental Demand

or

Effort

SUBMIT

Şekil 2.2 İnternet Tabanlı Nasa-TLX İkili Karşılaştırma Ekranı

2.2.1.2. Davranışsal Yöntemler

Zihinsel yükün belirlenmesinde sübjektif yaklaşım ve fizyolojik yaklaşımın dışında yaygın olarak kullanılan diğer yaklaşım davranışsal yaklaşımdır. Bu yaklaşımda kişilere verilen görevlerin ne kadar başarıyla ve ne kadar zamanda tamamlandığı takip edilir. Kişilerin yaptığı hataların türü ve sayısından yola çıkılarak zihinsel yüklenme konusunda yorumlar yapılır. Genellikle görevler farklı zorluk derecelerinde birincil ve ikincil olmak üzere eş zamanlı yerine getirilirler. Bu sayede uyaran sayısı arttırılır ve zihinsel yüklenme daha net ortaya çıkar.

İkili görev yaklaşımı insanın kısıtlı bilişsel kaynaklarını esnek şekilde görevin farklı yönleri için paylaştırılabileceği varsayımına dayanır (Brünken vd., 2003). Birincil görevler katılımcıda bilişsel yük yaratan asıl görev olarak kullanılırken ikincil görevler birincil görev ile eş zamanlı yapılması gereken görsel veya sesli uyaranlar içeren görevler olarak tasarlanır. İkincil görevde gösterilen performans üzerinden bilişsel yük hakkında yorum yapılır (Çakmak, 2007).

2.2.1.3. Fizyolojik yöntemler

Fizyolojik yöntemler, bilişsel yükün beyin aktivitelerinde yarattığı değişikliklerden ve otonom sinir sisteminden kaynaklı bazı vücut tepkilerinden yola çıkan yöntemlerdir. Beyin aktivitelerinin takibi için elektroensefalografi (EEG) yöntemi bilişsel yük tespitinde objektif bir yaklaşım olarak tercih edilmektedir. EEG beyindeki sinir hücrelerine ilişkin elektrik sinyallerinin elektrot adı verilen algılayıcılar aracılığıyla saçlı deri üzerinden

algılanması ve elektrik sinyallerinin yükseltilerek bilgisayara aktarılması işlemidir. EEG sayesinde beyin dalgaları kayıt altına alınabilir (Sezer, 2008).

Dört ana beyin dalgasından söz edilebilmektedir. Bunlardan ilki olan Delta dalgası frekansı 3,5 Hz'in altında seyreden, genliği 20-400 μ V arasında olan, derin uyku ve beynin aktivitelerinin çok düşük seviyede kaldığı anlarda ortaya çıkar İkinci dalga türü olan Teta dalgasının frekans aralığı 3,5-7,5 Hz'dir. Yetişkinlerde gerginlik ve hayal kırıklığı anlarında ortaya çıkmaktadır. Alfa dalgası 8-13 Hz frekans aralığına ve 50 μ V civarında genliğe sahip aktivitelerdir. Uyku anında ortaya çıkmazlar, uyanık halde ve sakin durumdaki insanlarda gözlenirler. Beta dalgası 13 Hz'in üzerinde frekansta ve 1-5 μ V genlikteki beyin dalgasıdır. Bilişsel faaliyetler yoğunlaştığı zaman ve stres arttığında ortaya çıkarlar (Sezer,2008).

EEG kayıtları ile bir görev esnasındaki beyin aktiviteleri ve özellikle alfa dalgasından beta dalgasına geçişlerde oluşan olay ilişkili senkronizasyon bozulmaları (olay ilişkili desenkronizasyon) üzerinden kişinin bilişsel yüklenmesi ve bilişsel durumu hakkında yorumlar yapılmaya çalışılır. Bunun yanı sıra belli özellikteki uyaranlara tepki olarak ortaya çıkan beyin potansiyelleri de dikkate alınır (Bashivan vd., 2013).

Beyin aktivitelerinden yola çıkarak bilişsel yük hakkında çalışma yapma konusunda bir diğer yöntem Fonksiyonel Manyetik Rezonans Görüntüleme (fMRI) yöntemidir. Bu yöntemle herhangi bir zaman diliminde beyindeki aktiviteler ölçülerek bir beyin haritası çıkarılabilir (Mısırlıoğlu ve Yardımcı, 2012). Bunu sağlamak için bu yöntemin kullandığı ana prensip, beyindeki kan dolaşımında oluşan farklılıktır. Beyinde daha aktif çalışan bölgelerde oksijen tüketimi artar ve dolayısıyla o bölgeye kan akışı hızlanır. Bu yöntem, bilişsel yük çalışmalarında beyindeki bu kan dolaşımının değişikliğinin görüntülenmesi, böylece beynin hangi bölgesinin görev esnasında daha aktif halde olduğunun anlaşılması için kullanılır.

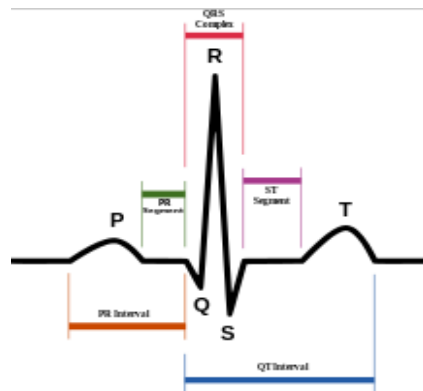
fMRI ile benzer çalışma prensibine sahip bir diğer yöntem ise Fonksiyonel Yakın Kızıl Ötesi Görüntüleme Yöntemidir (fNIR). Bu yöntem alından beynin ön bölgesine gönderdiği kızılötesi ışınlar ile bölgedeki hemoglobin yoğunluğundaki değişimleri görüntüler. Beyin aktivitesi arttıkça yani kan akışı hızlandıkça bölgedeki hemoglobin molekül sayısı artar ve kızılötesi ışının emilimi hızlanır (Ayaz vd., 2012). Bilişsel çalışmalarda daha çok dikkat ve hafıza ile ilgili olarak beyin aktivitelerinin tespitinde kullanılır.

Fizyolojik yöntemler arasında beyin aktiviteleri haricinde otonom sinir sisteminden kaynaklı, bilişsel yük ve bilişsel durumla ilişkilendirilebilen bazı vücut tepkileri de vardır. Otonom Sinir Sistemi, Merkezi Sinir Sistemi (MSS) ve Periferik Sinir Sistemi (PSS) olarak iki bölümde incelenen insan sinir sisteminde PSS'nin bileşenlerinden birisidir. Vücuttaki bezler, düz kaslar ve kalp kasını uyarmaktadır (Dere ve Durgun, 1994). Dolayısıyla vücutta meydana gelen istemsiz hareketlerden sorumludur. Parasempatik ve Sempatik Sinir Sistemi olarak ikiye ayrılır. Parasempatik Sinir Sistemi rahat olduğumuz durumlardaki istemsiz hareketleri, Sempatik Sinir Sistemi ise stres altındayken ortaya çıkan vücut tepkilerini kontrol eder.

Bilişsel yük göstergesi olarak yaygın bilinen vücut tepkileri şunlardır;

- Kalp Atış Hızı Değişkenliği (KHD)
- Galvanik Deri Tepkisi (GDD)
- Göz Bebeği Çap Değişimleri
- Göz Kırpma Oranı

Kalp atış hızı değişimleri basit olarak otonom sinir sistemi ile kardiyovasküler sistemin arasındaki etkileşim olarak tarif edilir. Kalp atış frekansı değişimi analizleri kalp atışları arasındaki geçici titreşimlerin takip edilmesi ile yapılır. Elektrokardiyografi (EKG) ile elde edilen KHD zaman serilerini elde etmek için EKG grafiğinde ortaya çıkan R dalgaları arasında geçen zaman dikkate alınmalıdır. Bu zaman dilimi RR olarak adlandırılmaktadır. Standart bir kalp atışı P-Q-R-S-T olarak tarif edilen bir döngü içinde gerçekleşir. Şekil 2.3'te standart bir EKG'de gözlenen dalgalar görülmektedir.



Şekil 2.3 Standart EKG Dalgaları

Galvanik Deri Tepkisi (GDD) araştırmacılar tarafından bilişsel yükün ve duyguların fizyolojik bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Nourbakhsh vd., 2012). Aslen kişinin içinde bulunduğu stresten yola çıkılarak bilişsel yük ve bilişsel durum ile ilgili yorumlar yapmak için uygundur. Kişinin içinde bulunduğu stres arttıkça ter bezlerinin etkinliği ve buna bağlı olarak özellikle avuç içindeki ve kılısız bölgelerdeki elektrik direnci artar. Galvanik Deri Direnci ölçümü genellikle avuç içinden veya parmak uçlarına bağlanan algılayıcılar aracılığıyla yapılır. Ölçüm birimi olarak μ Siemens veya Ohm kullanılmaktadır.

Göz bebeği çapı değişimi bilişsel yük çalışmalarında kullanılan fizyolojik belirtilerden bir diğeridir. Göz bebeğinin çapının artan bilişsel yük ile beraber arttđı bilinmektedir (Liu vd.,2011). Bilişsel yükün oldukça geçerli bir gösteresi olmakla beraber, duygusal değişimlere ve ortam şartlarına karşı da fazlasıyla hassasiyet gösterir. Bilişsel yüklenmeye karşı oldukça tutarlı bir artış göstermekle beraber bilişsel olarak rahatlık durumuna geçildiğinde göz bebeği çapında küçülme eğilimi ve salınımlar gözlenmektedir (Soares vd., 2013). Göz bebeği çap değişimleri çok hızlı meydana geldiğinden hassasiyeti yüksek cihazlara takip edilmelidir. Özellikle uzaktan gözün hareketlerini takip edebilen sistemler tercih edilmektedir.

Göz bebeği çapını yorumlamak için öncelikle her bir katılımcının zihinsel yüklenme öncesi göz bebeği çapı bilinmelidir. Yerine getirilen görevler esnasında ölçülen çaplar baz alınan başlangıçtaki göz bebeği çapı ile karşılaştırılacaktır. Görev esnasındaki göz bebeği çaplarının ortalamasını veya ulaşılan en büyük çap değerini zihinsel yük tahminleyicisi olarak kullanmak mümkündür. Pomlun vd. (2003) alışmalarında göz bebeği çapı değerlerini farklı şekilde kullanmış ve formül 2.1'den faydalanılmıştır.

$$c = e^{-k(\frac{d}{d_{max}}-1)} \quad (2.1)$$

Bu formülde c ilgilenilen zihinsel yük ölçüsü, d başlangıçtaki göz bebeği çapı, d_{max} görev esnasında ulaşılan en büyük göz bebeği çap değer ve k ekran aydınlık düzeyi ile doğru orantılı olarak artan sabit bir değer olarak verilmiştir. Deneyssel olarak saptanan k değer için bu çalışmada 9,5 değer saptanmıştır.

Göz kırpma oranı bilişsel yük çalışmalarında takibi göreceli olarak kolay ve maliyetsiz olan bir başka yöntem olarak öne çıkmaktadır. Genel kabul bilişsel yüklenme ile beraber göz kırpma oranında da artış gözleneceği yönündedir. Ancak bu noktada yapılan

işin türü de önemlidir. Görsel uyaranların çok yoğun olduğu görevlerde veya idrak ve kavramayla ilgili işlerde göz kırpm oranı düşük seyretmektedir (Palinko vd, 2012). Bunun yanında göz kırpm oranı ile ilgili bir başka kabul, sürekli dikkat gerektiren işlerdeki performans düşüşü ile azalan göz kırpm oranı arasındaki korelasyondur (Van Orden vd., 2000). Bu durumda dikkatin dağılmaya başlamasıyla göz kırpm oranının azaldığı söylenebilir. Benzer bir sonucu Vikash ve Barwar (2013) tarafından yapılan çalışmada da görmek mümkündür. Burada ise yazarlar yaptıkları deneysel çalışma sonucunda araç sürücülerinin rehavet durumunda yani dikkatlerini yitirdikleri ve kaza riskinin yüksek olduğu anlarda göz kırpm oranının düştüğünü belirtmişlerdir.

2.3. Bilişsel Yük ile İlgili Kaynak Araştırması

Literatürde kolay ve maliyetsiz olmaları nedeniyle subjektif yöntemleri kullanan çok sayıda çalışma mevcuttur. Alm ve Nilsson (1995) 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.

Brewster (1997), yaptığı araştırmada bilgisayar kullanıcılarının bilgisayardan gelen sesli geri bildirimler ile görev performanslarının yükseldiğini, daha az hata yaptıklarını ve bilişsel yüklenmelerinin daha az olduğunu bulurken bilişsel yüklenme tespiti için Nasa-TLX yöntemini kullanmıştır. Nasa-TLX kullanılarak gerçekleştirilen bir diğer çalışmada (Hitchcock vd.,1999) 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 bildirimi 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.

Matthews vd. (2003), araştırmalarında otomobil sürücülerin sürüş esnasında sohbet etmelerinin kendilerinde yarattığı bilişsel yükü tespit için subjektif yöntemlerden faydalanmışlardır. Deneyde 3 tip cep telefonu karşılaştırılmıştır. Bu tipler elde tutulan normal bir cep telefonu, elde tutmak zorunda kalınmayan serbest el özellikli bir cep telefonu ve harici mikrofona sahip bir cep telefonudur. 13 kişi üzerinde yapılan deneyin

Nasa-TLX sonuçlarına göre hiç telefon görüşmesi yapılmadığı takdirde oluşan bilişsel yük diğer tüm durumlardakinden anlamlı derecede daha düşük çıkmıştır. Telefon türleri arasında ise en düşük bilişsel yükü yaratan serbest el özelliği bulunan telefon olmuştur.

Nasa-TLX ve SWAT yöntemlerinin kıyaslanması amacıyla yapılan deneysel bir çalışmada Rubio vd. (2004) 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 bulunulmuş ve iki yöntemin sonuçları arasında anlamlı bir fark olmadığı belirtilmiştir.

Otomobil sürücülerinin bilişsel yükleri hakkında bir diğer çalışmayı Horberry vd. (2005) 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.

Tracy ve Albers (2005), 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 istenir. Daha sonra ilgili internet sitesi ile ilgili verilen görevleri yerine getirmeye başlar. Katılımcı görevi yerine getirirken eşit aralıklarla ekranda bir rakam görünür ve katılımcıdan bu rakamın kendisine en başta verilen rakam seti arasında olup olmadığı sorulur. Katılımcının rakam hatırlamada gösterdiği performans üzerinden ilgilenilen internet sitesinin yarattığı bilişsel yük hakkında yorum yapılır. Çalışmada tarif edilen diğer yöntem olan Tapping testinin uygulanması ise şöyle açıklanmıştır; katılımcının daha az kullandığı 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 (2006), 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 (2007) 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 kağıt üzerinde hem de bilgisayar başında uygulanabilen Nasa-TLX formlarını doldurmuşlardır. Deneyin ikinci aşamasına ise ilk deneye 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 kağıt üzerinde hem de bilgisayar başında Nasa-TLX formlarını doldurmuşlardır. Sonuçlar incelendiğinde bilgisayar başında yerine getirilen Nasa-TLX sonuçlarının kağıt üzerindeki göre anlamlı derecede daha yüksek çıktığı belirlenmiştir.

Monotonluk ve bilişsel yük hakkında yaptıkları çalışmada Dunn ve Williamson (2009), tren makinistlerini bir simülatörde 3 saatlik testlere tabi tutmuşlardır. Testlerden biri rotası itibariyle monotonken diğeri daha çok uyaran 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 uyaran barındıran rotanın bilişsel açıdan daha zorlayıcı monotonluğunun ise daha düşük bulunması olmuştur. Monoton rota ise daha sıkıcı ve yorucu olarak değerlendirilmiştir.

Nasa-TLX yönteminin tıp alanında kullanımına dair Yurko vd. (2010) bir çalışma yayınlamışlardır. Laparoskopi ameliyatından çıkan doktorlar Nasa-TLX formlarını doldurmuş ve ameliyat esnasında yanlışlıkla yaralanmalara daha çok sebebiyet veren doktorların ameliyat esnasındaki hissettikleri bilişsel yükün daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Yiyuyan vd. (2011) 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 kokpit tasarımlarında bilişsel yük skorlarının dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir.

Leung vd. (2010) tarafından yapılan deneysel çalışmada CNC operatörlerinin zihinsel yüklenmeleri dört görevden oluşan bir deney ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada gerçek CNC tezgahlarının 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. Zihinsel yk tespit aracı olarak Nasa-TLX sübjektif yöntemi tercih edilmiş olup veriler doğrusal regresyon ile analiz edilmiştir.

Gwidzka (2009), yaptığı deneysel çalışmada internette bir bilgiye ulaşmak için araştırma yapılırken oluşan bilişsel yükü tespit için davranışsal ölçülerden faydalanmıştır. Yapılan çalışmaya 48 gönüllü katılmış ve kendilerinden istenen bilgilere internet üzerinden erişmeleri istenmiştir. Katılımcılar arama faaliyetlerini yaparken ikincil görev olarak küçük bir ekranda ortaya çıkan renk isimlerini yazının rengi ve rengin isminin eşleşip eşleşmediğini anlamaya çalışmışlardır. Eğer renk ismi ile yazının rengi eşleşiyorsa ekran üzerine farenin sağ tuşuna basarak, eşleşmiyorsa farenin sol tuşuna basarak tepki vermeleri beklenmiştir. Küçük ekranın ortaya çıkma sıklığı rassal olarak 15-29 saniye arasında, ekranın görünme süresi ise yine rassal olarak 5-9 saniye arasında olacak şekilde belirlenmiştir. Bilişsel yükün tahmini için ikincil görevdeki tepki süresi ve doğru cevabı verme oranı kullanılmıştır.

Bengler vd. (2012), yayınladıkları bir deneysel çalışmada 24 katılımcıdan birincil ve ikincil görevleri bir arada yapmalarını istemişlerdir. Çalışmada iki tür birincil görev bulunmaktadır. Bunlardan ilki kolaydan zora 3 farklı zorluk derecesine karşılık gelen 1'er 1'er ileriye doğru sayma, 7'şer 7'şer ileriye doğru sayma ve 7'şer 7'şer geriye doğru saymaktır. Diğer birincil görev ise önceden başkası tarafından kayıt edilmiş aynı şekildeki sayma görevinin hatalarını yakalamak ve hata yakalandığı anda sesli olarak "HATA" tepkisini vermektir. İkincil görev olarak katılımcılardan bileklerine bağlı bir kablo aracılığıyla gelecek titreşimli uyaranlara ellerindeki bir düğmeye basarak tepki vermelerini istenmiştir. Birincil ve ikincil görevlerdeki tepki süreleri ve hata oranları görevlerin oluşturduğu bilişsel yükün tahmininde kullanılmıştır.

Bednar vd. (2012), yaptıkları çalışmada her bir katılımcının iki farklı kişiye karşı iki farklı bilgisayar oyunu oynamasını istemiş ve bu sırada katılımcının izlediği stratejileri, hamlelerini ve hamle zamanlarını takip etmişlerdir. Toplanan veriler analiz edildiğinde

katılımcıların zihinsel yüklenmeleri arttıkça başarılı olsun olmasın bir oyundaki hamlelerini diğer oyuna aynen taşıma eğiliminde olduklarını ortaya çıkmıştır.

Gartenberg vd. (2012), çalışmalarında bir akıllı telefon uygulaması geliştirmişlerdir. Bu uygulama katılımcıya çeşitli zaman aralıklarında çeşitli sürelerde ekranda beliren görsel uyaranlar sağlamakta (güneş, ay vb.) ve katılımcının uygun tepkiyi vermesi istenmektedir. Çalışmada hem katılımcıların tepki süreleri hem görev performansları dikkate alınmış olup toplam 48 üniversite öğrencisi deneye katılmıştır. Katılımcılar iki grupta incelenmiş olup analiz yöntemi olarak ANOVA kullanılmıştır.

Takano vd. (2014), yaptıkları çalışmaya 53 katılımcıyı davet etmişlerdir. Davranışsal ölçülere farklı bir yaklaşım getirilen bu çalışmada katılımcılardan istenen görevler eş zamanlı yerine getirilmesi gereken görevler değildir. Her bir katılımcının ekranda görünen geçmiş ve gelecekle ilgili üçer konu başlığı hakkında konu başlığı ekrandan kayboluncaya kadar konuşma yapmaları istenmiştir. Görevin bir diğer aşaması katılımcıların ekranda beliren 3'er cümleyi okumalarıdır. Ancak bu görevlere geçmeden önce yine her bir katılımcının konuşma uzunlukları konusunda tahmin yürütmeleri gerekmektedir. Konuşmalar bittikten sonra da katılımcılar kendi konuşma performanslarını değerlendirmişlerdir. Çalışmanın asıl amacı farklı cinsiyetteki katılımcıların geçmiş ve gelecekteki olumlu veya olumsuz hatıraları hakkında ne kadar konuşabildiklerini saptamak bir diğer deyişle zihinlerinde geçmiş ve gelecek ile ilgili olumlu ya da olumsuz düşüncelere ne kadar yer verdiklerini saptamaktır. Sonuçta kadın katılımcıların geçmişteki olumsuz olaylar hakkında kendi tahmin ettikleri uzunluğa kıyasla daha uzun konuşabildikleri yani geçmişteki olumsuzluklara daha fazla dikkat ve zihinsel kapasite harcadıkları ortaya çıkmıştır.

Boksem vd. (2005), 17 katılımcı ile yaptıkları deneysel çalışmada katılımcılara 3 saat süren bir zihinsel görev yaptırmışlardır. Görev gereği katılımcıların bir kare içinde farklı yerleşimlerle gelecek (yatay, dikey, sağa doğru çapraz, sola doğru çapraz) harfler arasında kendilerine görev başında gösterilen 2 harften birinin olup olmadığını ve yine görev başında kendilerine gösterilen yerleşim ile uyumlu olup olmadıklarına karar vermeleri gerekmektedir. Aralıksız 3 saat boyunca toplam 160 kare gören katılımcılar mümkün olduğunca hızlı şekilde doğru cevapları vermeye çalışmışlardır. Katılımcılar görevi yerine getirirken EEG ile beyin dalgaları kayıt altına alınmış ve sonuçta zihinsel yorgunluk arttıkça teta ve düşük alfa dalgalarının gücünde de artış gözlemlenmiştir. Ayrıca yine yorgunluk ile beraber verilen hatalı cevapların sayısı da artmıştır.

Antonenko vd. (2010), yaptıkları bir derleme çalışmasında Nasa-TLX yöntemi ile EEG kullanımı karşılaştırılmış ve EEG yönteminin Nasa-TLX yöntemine göre daha objektif sonuçlar verebileceği belirtilmiştir. Aynı çalışmada Olay İlişkili Senkronizasyon ve Olay ilişkili Desenkronizasyon kavramları tariflenerek bu değerlerin birbirine oranlarının zihinsel yük tahmininde nasıl kullanılabileceği açıklanmıştır.

Jiang vd (2012), yaptıkları çalışmada olay ilişkili potansiyeller üzerinde durmuşlardır. Yaşları 20-33 arasında değişen 30 yüksek lisans ve lisans öğrencisinin katıldığı çalışmada bilgisayar başında katılımcıların çeşitli tehlike düzeylerini ifade eden renklerden oluşan görsel uyaranlar karşılığında doğru tuşa basmaları gerekmektedir. Bu sayede P 300 potansiyelinin ortaya çıkarılması düşünülmüştür. Görev performansının ve beyin aktivitelerinin incelendiği çalışmada verilerin analizi için ANOVA kullanılmıştır.

Sciarini vd. (2014), yaptıkları deneysel bir çalışmada farklı renklerde yazılmış renk isimleri ve altlarında gösterilen renklerin birbirleriyle uyumlu olup olmadıklarının tespitine dair bir görev tasarlayarak deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Görevde üstte ve altta 3'er olmak üzere toplam 6 blok yer almaktadır. Bu bloklar ya çeşitli renklerde yazılmış renk isimlerini içeren ya da belli bir renkte dolgulu olarak bulunmaktadır. Üstteki bloklar renk adı açısından değerlendirilmeli ve hemen altındaki bloğun o renk ile dolgulu olması beklenmektedir. Beklenen durumun gerçekleşip gerçekleşmediğine göre katılımcı bir cevap vermelidir. Alttaki bloklar da dolgulu oldukları renk ile hemen üstlerindeki bloklarda yer alan renk ismi tutarlılığı açısından değerlendirilmelidir. Katılımcı doğru cevapları vermek durumundadır. Çalışmada katılımcıların EEG kayıtlarının yanı sıra Nasa-TLX yöntemi de kullanılarak zihinsel zorlanma ile beyin aktivitelerindeki değişimler beraber dikkate alınmıştır. Sonuçlar EEG ölçülerinin görevin daha çok dikkate ve bilişsel süreç gerektirdiği anlarda hassasiyet gösterdiği şeklinde yorumlanmıştır.

Mitchell vd. (2004), fMRI kullandıkları bilişsel durum sınıflandırma çalışmasında 13 katılımcıya çeşitli resimler göstermiş ve cümleler okutmuşlardır. fMRI sonuçlarına göre, katılımcılar bir resme bakarken, belirli veya birden çok anlama gelebilen bir cümleyi okurken, tek anlamlı bir cümleyi okurken ve okunulan cümlenin içinde geçen kelimenin neyle ilgili olduğuna göre sınıflandırma yapmayı başarmışlardır. Sınıflandırma için Gaussian Naive Bayes ve Destek Vektör Makineleri yöntemleri kullanılmıştır.

Taube vd. (2015), çalışmalarında fMRI kullanılarak kişilerin motor imgeleme (motor İmgeleme) anında yani gerçek bir motor hareketi yapmayıp sadece bunu

yaptıklarını düşündükleri anlarda beyinlerinde oluşan aktiviteleri incelemişlerdir. Bu sayede motor hareketlerinin rehabilitasyonu konusunda yeni bir egzersiz yöntemi önermek istemişlerdir. Çalışmada yapılan deneyde hem motor imgeleme hem de hareket gözlemlene temelli görevler mevcuttur. Motor imgeleme görevinde katılımcılar bir video izlemekte ve o videodaki karakterin yerinde kendilerinin olduğunu varsayarak yapılması gereken hareketlere odaklanmışlardır. Hareket gözlemlenmede ise sadece videodaki karakterin hareketlerinin izlenmesi istenmiştir. Bu görevler sabit şekilde ayakta durarak (düz zemin üstünde) ve ayakta dengede durmaya çalışarak (yana eğik bir zemin üstünde) olmak üzere iki durum altında gerçekleştirilmiştir. Beynin motor bölgelerinin en çok aktif olduğu durumun eğik zemin üstündeyken yani denge sağlama kısıt varken ve motor imgeleme görevi yapılırken meydana geldiği saptanmıştır.

Cheng vd (2012), çalışmalarında zaman baskısının artan zihinsel stres üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Farklı zaman kısıtlamaları altında yerine getirilen zihinsel görevler sırasında beyin aktiviteleri fNIR ve EEG ile incelenmiştir. Çalışmaya 10 üniversite öğrencisi katılmış olup zihinsel yük ölçme yöntemi olarak Nasa-TLX kullanılmıştır. Verilerin değerlendirilmesi için bir istatistiki metot kullanılmamıştır.

Iwasaki ve Hagiwara (2012), yaptıkları çalışmada ürün kullanılabilirliği için beynin preforantal korteks bölgesindeki faaliyetlerini incelemişlerdir. Beynin bu bölgesinin bilişsel faaliyetler, yargılama ve dikkat ile ilgili olduğunun belirtildiği çalışmada 21-23 yaş aralığında olan 11 katılımcı mevcuttur. Bilgisayar başında fare ile tıklama ve taşıma görevlerinin kullanıldığı çalışmada fNIR ile beyin aktiviteleri incelenmiş ve zihinsel yük tespit yöntemi olarak Nasa-TLX kullanılmıştır.

Ayaz vd. (2012), 11 katılımcı üzerinde fNIR yönteminden faydalanarak bir deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. İnsanın Hava Araçları (İHA) simülatörünün kullanıldığı bu çalışmada katılımcılar 8 gün boyunca günde 10'ar kez İHA'ların piste inişini gerçekleştirmişlerdir. Bu görevler esnasında fNIR ile katılımcıların ön beyin bölgesindeki kan hacimlerindeki değişim tespit edilmiştir. Bunun yanında İHA'ların ne kadar başarıyla indirildiği de gözlenmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde katılımcıların ön beyinlerinde görev tekrarı arttıkça aktivitenin azaldığı yani daha az bilişsel yüklenmeye maruz kaldıkları saptanmıştır. Aynı şekilde görevdeki tecrübe arttıkça görev başarı düzeyinde de artış gözlenmiştir.

Basahel vd. (2012), yaptıkları çalışmada fiziksel yorgunluk ve zihinsel yüklenme arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çeşitli ağırlıklarda yük kaldıran katılımcılara eş zamanlı

olarak sesli uyarılarla zihinsel görevler de yaptırılmıştır. İki grupta incelenen 25-35 yaş aralığında toplam 30 katılımcının olduğu çalışmada fiziksel veriler oksijen doygunluğu ve kalp atış hızı değişimleridir. Zihinsel yüklenme ise Nasa-TLX ile ölçülmüştür. Verilerin analizi için tercih edilen yöntem ANOVA olmuştur.

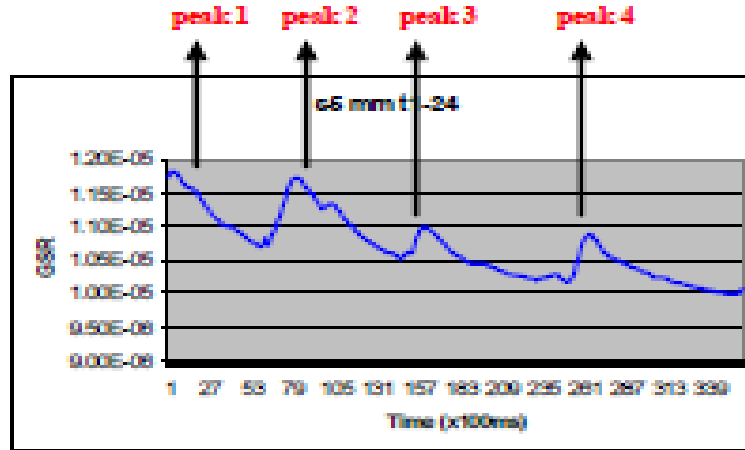
Keshvar ve Abdulrani (2012) ise çalışmalarında bir üniversite kütüphanesine davet ettikleri dört farklı ırktan 15 erkek 15 kadından oluşan toplam 120 öğrenci ile çalışmışlardır. Bilgisayar başında yaptırılan görevde katılımcıların kısa dönem hafızalarını kullanmaları sağlanmış ve görev başarı performansları incelenmiştir. Görev esnasında katılımcıların kalp atış frekansları da kayıt altına alınmış olup bu veriler regresyon analizi ile değerlendirilmiştir.

Casado vd. (2013), yaptıkları çalışmada ideal vücut kütle endeksine sahip olan ve olmayan iki denek grubuna zihinsel yüklenme sağlayacak ve beynin farklı bölgelerini hareket geçiren üç adet görev vererek KHD değerlerini gözlemlemişler ve iki grubun görev başarıları ile zihinsel yüklenmeleri arasındaki farklılaşmaları incelemişlerdir. Sonuç olarak da bedensel olarak fit olan grubun dikkatlerini toplayabilme konusunda daha başarılı olduklarını belirtmişlerdir.

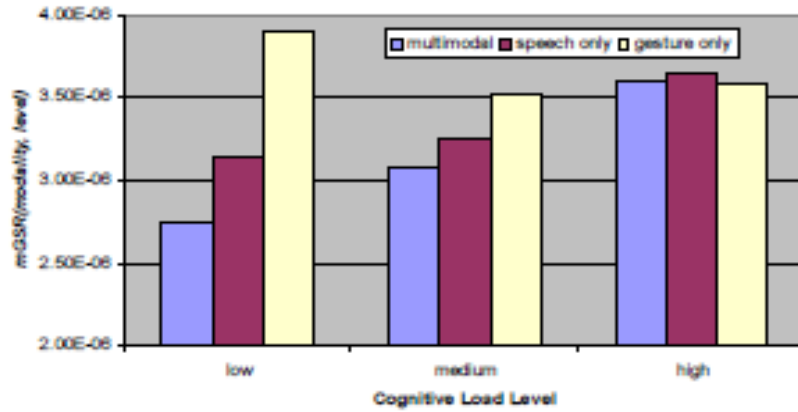
Niculescu vd. (2010), çalışmalarında bir multimedia sisteminin değerlendirilmesinde KHD ölçüsünü zihinsel yükün göstergesi olarak kabul etmiş ve GDD verilerini Nasa-TLX verileri ile destekleyerek ilgilenilen multimedia sisteminin neden olduğu zihinsel zorlanmayı bulmaya çalışmışlardır.

Tripathi vd. (2003), Kalp atış hızı değişkenliği verisini kullanarak yaptıkları deneysel çalışmaya 15 katılımcı davet etmişlerdir. Katılımcılar sesli uyarıları ayırt etme, hafıza kullanımı ve sürekli dikkatli olma durumu gerektiren görevleri farklı zorluk derecelerinde yerine getirmişlerdir. Sonuçlara göre daha zor olarak tasarlanan görevlerde anlamlı performans düşüklüğünün yanı sıra dinlenme ve zihinsel görev esnasındaki kalp atış hızı değişkenliğinin de anlamlı şekilde farklılaştığı yorumları yapılmıştır.

Shi vd. (2007), çalışmalarında galvanik deri direncinin kolay, orta ve zor görevler esnasında ulaştığı zirve noktaları ile ortalama ve birikimli olarak hesaplanan galvanik deri direnci değerlerini bir zihinsel yük göstergesi olarak kullanmışlardır. Bu çalışmada verilen bazı grafikler Şekil 2.4 ve 2.5’ de sunulmuş olup GDD değerlerinin nasıl kullanılabileceği konusunda fikir vermektedirler.



Şekil 2.4. GDD'nin Zamana Göre Değişimi (Shi vd., 2007)



Şekil 2.5. Ortalama GDD İle Görev Zorluğu İlişkisi (Shi vd., 2007)

Nourbakhsh vd. (2012), yaptıkları çalışmada GDD'ni zihinsel yüklenmenin ve duyguların bir göstergesi olarak tanımlamışlardır. Çalışma kapsamında paragraf okuma ve aritmetik işlemler görevlerini yerine getiren katılımcıların birikimli GDD'leri saptanmıştır. Zihinsel yüklenmenin galvanik deri direnci üzerindeki etkilerini görmek için katılımcıların görev esnasındaki ortalama deri dirençleri hesaplanmış ve görev öncesindeki değerler ile anlamlı bir farklılık gösterip göstermediği istatistiki olarak test edilmiştir. Bu çalışmada normalleştirilmiş GDD değerleri hesaplanmış ve buradan hareketle ortalama ve birikimli GDD değerlerine ulaşılmıştır.

$$\text{Normalize GDD (i, k, t)} = \frac{\text{GDD(i, k, t)}}{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^{T_{ij}} \text{GDD(i, j, t)}} \quad (2.2)$$

Verilen formülde GDD (i,k,t) değişkeni t zamanında k görevinin i. denek tarafından yerini getirilirken meydana gelen GDD değeri olarak tanımlanmaktadır. M değeri ise görev sayısını ifade etmektedir. Buna göre;

$$\text{Birikimli GDD}(i, k) = \sum_t \text{Normalize GDD}(i, k, t) \quad (2.3)$$

$$\text{Ort GDD}(i, k) = \frac{\sum_t \text{Normalize GDD}(i, k, t)}{T} \quad (2.4)$$

Birikimli ve Ortalama GDD değerleri yukarıdaki formüller ile hesaplanmıştır. T değeri görevin yerine getirilmesi için harcanan toplam zamanı ifade etmektedir.

Conway vd. (2013), 11 katılımcı ile gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada katılımcılara stresli ve stressiz ortamlarda zihinsel aritmetik işlemler yaptırmışlardır. Görevlerin zorluk dereceleri işlemlerdeki terim sayısının arttırılması ile sağlanmıştır. Stressiz ortamın oluşması için katılımcılara öncelikle buldukları sonuçların doğru ya da yanlış olmasının bir önemi olmadığı söylenmiştir. Stresli ortamın oluşması içinse katılımcılara mutlaka ulaşmaları gereken bir başarı puanı verilmiştir. Katılımcılar görevleri yaparken GDD'leri ölçülmüş ve stresli ortamda bu değerin daha yüksek seyrettiği sonucuna varılmıştır.

Nourbakhsh vd. (2013), yaptıkları deneysel çalışmada 13 katılımcının GDD değerleri ve göz kırpma oranlarından yola çıkarak bilişsel yükü sınıflandırmışlardır. Zihinden 0 ve 1 rakamlarından oluşan 4 sayıyı toplama görevi bilişsel yüklenme yaratıcı görev olarak belirlenmiştir. Kolay görevde tek basamaklı 4 sayı toplanırken daha zor aşamalarda 2 ve 3 basamaklı sayıların toplanması istenmiştir. Yapılan sınıflandırma denemelerinde en iyi sınıflandırma performansını GDD ve göz kırpma oranının beraber dikkate alındığı 2'li sınıflandırma sağlamıştır.

Kurniawan vd. (2013), stres seviyesi tespiti için galvanik deri direnci ve konuşma özelliklerinden faydalanmışlardır. Çalışmada zorlanma arttıkça galvanik deri direncindeki yükselmenin yanısıra konuşma esnasındaki farklılıklara da dikkat çekilmiştir. Stresli durumların nefes alıp vermeyi hızlandırdığı, bu durumun konuşma esnasında gırtlak bölgesinde bir basınca neden olduğu, nefes alışverişlerinden kaynaklı daha kısa kelime ve cümleler kullanıldığı ayrıca sesin de daha yüksek bir perdeden çıktığı belirtilmiştir.

Katılımcılara kolay ve zor aritmetik işlemler yaptırılmış ve bu sırada hem galvanik deri dirençleri kayıt edilmiş hem de katılımcılar konuşturulmuştur. Kayıt altına alınan konuşmalar ses dalgaları açısından incelenmiştir. Daha sonra hem konuşma özellikleri hem de galvanik deri direnci verileri ile sınıflandırmalar yapılmıştır. K-ortalamlar, Support Vector Machine, Gaussian Mixture Model ve Karar ağaçları yöntemleri ile yapılan stres sınıflandırmalarında en iyi performansı Support Vector Machine yöntemi sağlamıştır.

Schultheis and Jameson'un (2004), çalışmalarında hem uzaktan göz bebeği çapı ölçümü yapan bir göz takip sisteminden faydalanılmış hem de EEG yardımı ile P 300 potansiyeli saptanarak, bu potansiyel zihinsel 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 uyarılar arasında ortaya çıkan özel bir uyarana karşı dikkat toplama faaliyeti sağlanmış ve bu faaliyet bir zihinsel çaba olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmada birincil görev katılımcılara okutulan çeşitli uzunluktaki paragraflardır. Katılımcılar paragrafları okurken eş zamanlı olarak çeşitli işitsel uyarılar tarafından uyarılmışlardır. Bu sayede P 300 potansiyelinin ortaya çıkış anları daha net şekilde tespit edilebilmiştir.

Klingner vd. (2008) tarafından yapılan bir başka çalışmada da yine göz bebeği çapı bir zihinsel 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.

Gegenfurtner ve Seppanen (2013) çalışmalarında uzman doktorların sesli düşünme protokolü eşliğinde hastaların ekrandaki üç farklı görüntüleme yöntemi ile elde edilmiş Pzotiron Emisyon Tomografisi ve Bilgisayarlı Tomografi sonuçlarını inceleyip hastaları 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 görev ile ilgili ve görev ile ilgisiz bölgelerde ilgili olanlarındaki sabitlenmeler olumlu, ilgisiz olan alanlardaki sabitlenmeler ise olumsuz hareket olarak yorumlanmış ve analize katılmıştır.

Di Stasi vd. (2013), 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 2'ye 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 zihinsel yük meydana getirdiği saptanmıştır. Çalışmadaki sonuçların görsel arama ve dikkat gerektiren, özellikle bilgisayar başında gerçekleştirilen işlerde arayüzlerin nasıl tasarlanması gerektiğine dair bilgi sağlayabileceği belirtilmiştir.

Klingner vd. (2011), çalışmalarında göz bebeği çapının bilişsel yük tespiti için güçlü bir gösterge olduğunu ancak uyarıların görsel veya işitsel olmasının bu göstergenin gücünü etkileyebileceğini belirterek bir deney tasarlamışlardır. Yirmi dört katılımcının bulunduğu deneyde 3 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 uyarıların görsel veya işitsel olmasının göz bebeği çap değişimleri arasında anlamlı bir fark yaratmadığı belirtilmiştir.

Partala ve Surakka (2003), 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 uyarıların gönderilmeye başlamasından sonraki ilk 1 saniye baz çap 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 olduğu ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlardan yola çıkılarak otonom sinir sistemini duygusal uyarılara karşı oldukça hassas olduğu yorumu yapılmıştır.

Göz bebeği çapıyla bilişsel yük tespitine dair bir başka çalışma Kang vd. (2014) 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. (2015), 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 kağıt 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 (2014), 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 4 sayının zihinden toplanması istenmiştir. Kolay düzeyde sayılar birer basamaklı iken zorluk düzeyini arttırmak için toplanacak sayıların basamakları da arttırılmıştır. 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 gözlenirse bile istatistiki farklılık görülememiştir. 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. (2012), lapraoskopi ameliyatlarında görevli personelin zihinsel 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

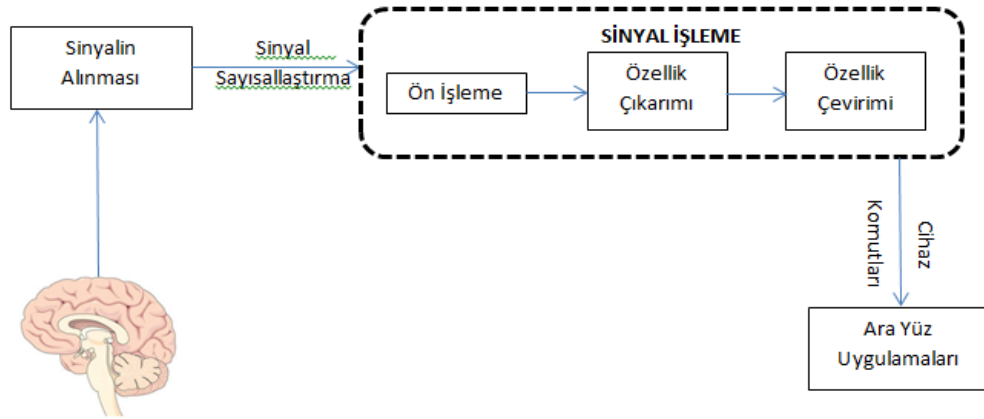
ile göz kırpma sıklıkları arasında ters bir ilişki ortaya konmuştur. Bu durum görsel uyarılara yoğun şekilde konsantre olmak suretiyle oluşan zihinsel zorlanmanın göz kırpma oranında bir düşüşe neden olduğunu doğrulamıştır.

Brandt vd. (2004), 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 görüldüğü üzere tek bir bilişsel duruma odaklanan ve kullanıcılara bu yönde görevler yaptırılarak gerçekleştirilen deneyler içermektedir. Deneyler için tercih edilen görevler katılımcıların bireysel yetenek ve donanımlarının etkisinde kalabilen aritmetik işlemler, sözel ve şekilsel uyarılar da içerebilen görevlerdir. Bu noktada sürekli dikkate dayanan, farklı beyin aktiviteleri doğrudan yerine getirilebilen ve ilave bilgi birikimi gerektirmeyecek sadelikte görevler olan BBA uygulamalarından faydalanılması düşünülmüştür.

3. BEYİN-BİLGİSAYAR ARAYÜZLERİ

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 arayüz aracılığı ile kullanıcı ile bilgisayar arasında iletişim sağlamaktadır. Beyin-Bilgisayar Arayüzünün basit çalışma mantığı Şekil 3.1' de sunulmuştur.



Şekil 3.1 Beyin-Bilgisayar Arayüzlerinin Temel Çalışma Mantığı

Basit olarak beyindeki bazı nörofizyolojik olguların algılanmasına dayanan BBA dünyada 30 yıllık bir araştırma konusu olup ülkemizde ise yaklaşık 10 yıllık bir geçmişe sahiptir (Gençer vd., 2010).

3.1. BBA Sistemlerinde Kullanılan Beyin Aktiviteleri

Beyin-Bilgisayar arayüzleri 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 (Karagöz vd, 2005). P 300 potansiyeli 2-5 μ V genlikle ve yaklaşık 150-200 milisaniye süreyle beliren bir beyin aktivitesi olarak tanımlanabilir (Amiri vd., 2013).

Standart uyaran yanıtlarında oluşmayıp hedef uyaran yanıtlarında izlenen P 300 bileşeni, karar verme ve dikkatin odaklanması ile ilgili değerlendirmelerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Alkaç, 2009)

P 300 olgusunun algılanması üzerine geliştirilen BBA uygulaması bir heceleme arayüzüdür. 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 arayüzün başarılı şekilde ve hızlı kullanılabilmesi kişinin dikkatini toplayabilme ve odaklanabilme yeteneklerine bağlıdır. Heceleme arayüzünün örnek uygulaması Şekil 3.2'de görülebilir.



Şekil 3.2. Heceleme Arayüzü

Uyaran tabanlı bir diğer BBA sisteminde ise kişiye farklı frekanslarda yanıp sönen görsel uyaranlar gösterilir. Kişi bu uyaranlardan birine odaklandığı zaman beynin görüntü ile ilgili bölgelerinde odaklanılan uyaran ile aynı frekansta salınımlar gösteren örüntüler gözlemlenebilmektedir. Bu beyin aktivitesi Durağan Hal Görsel Uyarılmış Potansiyel olarak adlandırılır ve Steady State Visual Evoked Potentials'ın baş harflerinden oluşan SSVEP kısaltmasıyla bilinir. Bu potansiyel ortaya çıktığı zaman yani farklı frekanstaki uyaranlar ayırt edildiği zaman, basit bir bilgisayar uygulaması ile elektronik sistemlerin kontrolü mümkün olmaktadır (Gençer N. vd., 2010).

BBA sistemlerinde kullanılan bir diğer nörofizyolojik olgu da kişinin hareket etme istemi veya düşüncesi sonucunda beynin duyu - motor bölgelerinde birtakım elektriksel değişimlerin oluşmasıdır. Sağ elimizi hareket ettirmek istediğimizde beynin sol bölgesi, sağ yarım küreye göre daha farklı bir elektriksel aktivite göstermektedir (Gençer N. vd., 2010). Bu farklılık tespit edilerek bilgisayara ilgili komut olarak iletilindiğinde ekrandaki bir imleci ya da kontrol elemanını istenilen yönde hareket ettirmek mümkündür. Bu uygulamalar BBA'larda Motor İmgeleme uygulamaları olarak adlandırılır.

3.2. BBA Sistemleri ile İlgili Kaynak Araştırması

Mulder (2007) yılında yayınladığı çalışmada Motor İmgeleme uygulamasının motor becerileri kullanma rahatsızlığı olan kişilerde iyileştirme sürecini destekleyici bir unsur olarak kullanılabileceğini belirtmiştir.

Schulteis ve Jameson (2004) yaptıkları deneysel çalışmada P 300 potansiyelini bir bilişsel yük göstergei olarak kullanmış ve 13 katılımcıya bilgisayar ekranındaki metinleri okutmuşlardır. Metin okunduktan sonra da katılımcılar metinle ilgili 7 adet soru cevaplamışlardır. Bu esnada hem göz bebeği çapındaki değişimlerini hem de beyinde oluşan P 300 olgularını takip etmişlerdir. Katılımcıların zorluk dereceleri artış gösteren metinleri okuma hızları davranışsal ölçü olarak kullanılmış ayrıca sübjektif olarak da katılımcıların yerine getirdikleri görevin zorluklarını değerlendirmeleri istenmiştir. Metin zorluğu arttıkça okuma hızı ve P 300 olgularının oluşumları bilişsel bir yüklenmeye işaret etse de göz bebeği çapında anlamlı bir değişiklik fark edilememiş ve bu durum çalışmada beklenmedik bir sonuç olarak yorumlanmıştır.

Wang vd. (2011) yaptıkları çalışmada beyin bilgisayar arayüzünü bir cep telefonu giriş ekranı olarak tasarlamış ve veri girişi için gerekli potansiyeli de SSVEP olarak belirlemişlerdir. On gönüllünün katıldığı çalışmada SSVEP potansiyeli ile yönlendirilen bir arayüzde 10 haneli bir telefon numarasının tuşlanıp GİRİŞ tuşuna basılması istenmiştir. Görev tamamlama süresi ve doğru giriş yapabilme oranı performans değerlendirme çıktıları olarak kullanılmış ve SSVEP tabanlı cep telefonlarının uygulanabilir oldukları yorumu yapılmıştır.

Perego vd. (2011), yaptıkları deneysel çalışmada 19 gönüllüye iki farklı zekâ testi uygulamışlardır. Bu testlerden biri kâğıt üzerinde yapılırken diğeri SSVEP potansiyeli ile kontrol edilen bir Beyin Bilgisayar Arayüzü uygulaması olarak hazırlanmıştır. Sonuçlara göre BBA tabanlı zeka testi uygulamasındaki performansın kâğıt üzerinde yapılan testteki performans ile anlamlı şekilde farklılaşmadığı ortaya koyulmuş ve bu tür testlerin BBA aracılığıyla yapılmasının beyin aktiviteleri ile ilgili daha fazla veri sağlayacağı belirtilmiştir.

Van Erp vd. (2012), BBA sistemlerinin tıp dışı alanlarda kullanımlarını konu hakkında yapılan ve yapılmakta olan araştırmalardan yola çıkarak incelemişlerdir. Bu tıp dışı alanlar arasında öne çıkanlar kullanıcıların bilişsel durum takibi, eğitim öğretim, günlük kullanılan cihazların kontrolü, güvenlik ve oyun/eğlence olarak saptanmıştır. Bu kullanım alanlarının pazarda yer bulmasının ne kadar süre alacağı konusunda yapılan

yorumlarda en yakın gelecekte bilişsel durum takibi (3-5 yıl) konusunda ilerlemeler beklenebileceği belirtilirken oyun/eğlence alanında ise zaten pazara yönelik gelişmelerin olmaya başladığı vurgulanmıştır.

Xu vd. (2013) mevcut BBA sistemlerinin görsel uyaran tabanlı çalışıklarına dikkat çekerek görme yetisi bulunmayan veya görme bozukluğu olan kişilerin de kullanabilmesi için sesli uyaran tabanlı BBA'ların da incelenmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Bu noktadan yola çıkarak sesli uyaranlar içeren bir BBA sisteminin sinyal sınıflandırma performansını incelemişlerdir. Katılımcılara tek basamaklı sayılar dinletilmiş ve bu sayılar arasında kendilerine hedef olarak verilen sayıyı duyduklarında ellerindeki düğmeye basmaları istenmiştir. Katılımcıların hedef sayıyı duydukları anda beyinlerinde meydana gelmesi beklenen aktivitenin BBA tarafından doğru sınıflandırılma oranı ortalama olarak %87.8 olarak tespit edilmiştir.

Roy vd. (2013) yayınladıkları çalışmada BBA sistemlerinin bilişsel durum takibinde ve bilişsel yük tespitinde kullanılabileceklerini belirterek bir deneysel çalışma yapmışlardır. Ekranda görünen sayı dizisinin kısa sürede ezberlenerek daha sonra bazı sayıların eksik olduğu aynı dizideki boş yerlere hangi sayının gelmesi gerektiğinin hatırlanmasına yönelik bir BBA görevi tasarlamışlardır. Görevin zorluk derecesi hatırlanması gereken sayıların 2-6 adet arası değiştirilerek ayarlanmıştır. Katılımcılardan sübjektif bilişsel zorlanma verileri ve görev tamamlama süreleri de dikkate alınmıştır. BBA sınıflandırma performansının katılımcıların zihinsel yorgunlukları arttıkça düştüğü tespit edilmiştir.

Bai vd. (2014) geliştirdikleri bir BBA sisteminin 5 katılımcı üzerinde ne kadar başarılı olduğunu araştırmışlardır. İlgili BBA sistemi beyin ile kontrol edilen bir imleç, bir harf matrisi ve içinde bazı dokümanlar bulunan bir klasörden oluşmaktadır. Harf matrisi istenilen dosya adının arama çubuğuna yazılarak aranabilmesi için, imleç her türlü tıklama ve seçme işlemleri için tasarlanmıştır. Harf matrisi P 300 potansiyeli ile imleç ise motor imgeleme ile kullanılabilmektedir. Katılımcılara en az 12 seçme ve 7 yazı yazma hamlesi gerektiren 6 görev yaptırılmıştır. Sonuçlar ilgili BBA sisteminin başarılı şekilde kullanılabildiğini ancak görevler esnasında yapılan hatalar yüzünden bazı katılımcıların daha uzun sürede görevi tamamladıklarını göstermiştir. Görevleri en hızlı tamamlayan katılımcı ortalama 633 saniye, en yavaş tamamlayan ise 1110 saniye içinde istenenleri yerine getirmiştir.

Chuang vd. (2010), yaptıkları çalışmada bir sürüş simülasyonunu BBA olarak hazırlamışlardır. Çalışmada BBA kullanıcılarında bilişsel durumun değişmesinin beyin oksipital yani görme ile ilgili kısmında önemli aktivite değişikliklerine neden olduğu vurgulanmış ve bu çalışmada da sürüş simülasyonuna katılanların bilişsel durumları uyanıklık (tetikte olma)/rehavet olarak iki sınıfa ayrılmaya çalışılmıştır. Çeşitli sınıflandırma yöntemlerinin kullanıldığı çalışmada en yüksek sınıflandırma performansı yaklaşık %90 ile Principal Component Analysis (PCA) yöntemi kullanılarak yakalanmıştır.

Blankertz vd. (2010), BBA sistemlerinin tıp dışı uygulama alanlarını incelemişlerdir. Çalışmada özellikle vurgulanan tıp dışındaki potansiyel uygulama alanları bilişsel durum takibi, zihinsel yük tespiti, dikkat performansı takibi, müziğin bilişsel etkileri, medya uygulamaları ve bilgisayar oyunları olarak belirlenmiştir.

Hashemi vd. (2014), yaptıkları deneysel çalışmada 5 katılımcı üzerinde çalışmışlar ve BBA sistemlerinin sürücülerin rehavet durumuna geçtikleri anların tespitinde kullanılabilirliğini incelemişlerdir. SSVEP potansiyelinden yararlanılan bu çalışmada katılımcılar bir araç içindeki şartlara uygun olarak hazırlanan bir laboratuvara davet edilmiş ve 4 yönde yer alan, yanıp sönen lambalara hedeflenen yöne göre odaklanmaları istenmiştir. Çalışmada SSVEP potansiyelinin dikkat seviyesi ile oldukça ilişkili bir potansiyel olduğu vurgulanmıştır. Bilişsel durumu sınıflandırmak yani rehavet durumuna geçildiği anları tespit etmek için Yapay Sinir Ağları yönteminden faydalanılmıştır.

Rozado vd. (2015), yaptıkları çalışmada Motor İmgelemenin göz bebeği çapı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Yapılan deneylerde katılımcılardan önce sol ellerini yumruk yaptıklarını hayal edip bu düşünceye odaklanmaları istenmiş daha sonra da özellikle bu düşünceyi bırakmaları ve Motor İmgeleme işlemine devam etmemeleri yani dinlenmeleri istenmiştir. Her iki durumda da katılımcıların göz bebeklerinin değişim oranları kayıt altına alınmıştır. Elde edilen sonuçlar Motor İmgeleme sırasında katılımcıların göz bebeklerinde büyümenin meydana geldiği, dinlenme sırasında ise az da olsa küçülme tespit edildiğini göstermiştir. Bu sonuçlar Motor İmgelemenin bilişsel bir süreç olduğunu bir kez daha ortaya koymuştur.

Schreuder vd. (2013), 48 yaşında, motor hareketlerinde ve iletişimde sıkıntı çeken felçli bir kadın hastaya iki tür BBA sistemi ile çalışmalar yaptırmışlardır. Bu çalışmalardan ilkinde sesli uyaranlar ile beyin aktivitelerinin harekete geçirilmesi denenmiş ancak yeterli başarıya ulaşılamamıştır. İkinci deneyse uyaranlar bu kez görsel olarak gönderilmiş ve sesli uyaranlara göre katılımcı daha olumlu gelişmeler göstermiştir.

Guger vd. (2009), yaptıkları çalışmada kendi geliştirdikleri P 300 tabanlı BBA sisteminin kullanıcılar tarafından ne kadar başarıyla kullanılabildiğini araştırmışlardır. Bir harf matrisinde hedef kelimeyi yazdırma görevi içeren deneylerde 2 farklı deney yaklaşımı kullanılmıştır. İlk yaklaşımda yanıp sönen harfin bulunduğu satır veya sütun tamamen yanıp sönerken ikinci yaklaşımda her harf kendi satır ve sütunundan bağımsız tek başına yanıp sönmüştür. Toplam 100 katılımcının davet edildiği çalışmada katılımcılardan 19 tanesi her iki deney türüne de katılmış geri kalanlardan 62 tanesi sadece birinci deney türüne, 19 tanesi de sadece ikinci deney türüne katılmıştır. Verilen görev 5 harfli bir kelime olduğu için başarı yüzdeleri 20'lik dilimler halinde hesaplanmıştır. Birinci deney türünde katılımcıların %95'inin en az %60 başarı sağladığı yani 5 harfin 3'ünü doğru yazdırabildiği tespit edilmiştir. İkinci görev türünde ise katılımcıların %87'sinin en az %60 başarı sağladığı ortaya konmuştur.

Guger ve Edlinger (2007), yaptıkları deneysel çalışmada kendi geliştirdikleri Motor İmgeleme tabanlı BBA sistemini kullananların ne kadar başarılı olabildiklerini araştırmışlardır. Sağlıklı 99 bireyin katıldığı çalışmada ekranda görünen okun gösterdiği yöndeki ellerini hareket ettirdikleri düşüncesine odaklanan katılımcıların %51.3'ü %70 ve üzerinde sınıflandırma başarıları sağlamışlardır.

Guger vd. (2012), yaptıkları bir diğer çalışmada yine kendi geliştirdikleri SSVEP tabanlı BBA uygulamasının ne kadar başarıyla kullanılabildiğini deneylerle araştırmışlardır. Toplam 53 katılımcının bulunduğu deneylerde 4 yönü gösteren lambaların bulunduğu bir kumanda da sırayla her bir yöndeki lambaya odaklanılması istenmiştir. Katılımcıların %85'i ilk deneme sonunda en az %70 sınıflandırma performansı göstermişlerdir.

Myrden ve Chau (2015), çalışmalarında BBA kullanan katılımcılarına zihinsel durumları ile görev performansları arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Deney sonuçlarına göre ortalamanın %7 altında performans sergileyen katılımcılar daha az yorgunluk hissettiklerini belirtirken, ortalamanın %7 üzerinde performans sergileyenler görev esnasında daha gergin hissettiklerini ifade etmişlerdir.

Lim vd. (2013), yayınladıkları çalışmada SSVEP tabanlı BBA ile yapılan deneylerde bu teknolojiyi kullanmakta zorlanan kişilerin göz kırpmaları oranlarının daha düşük seyrettiğini ve daha çok yorgunluk hissettiklerini belirtmişlerdir.

BBA sistemlerinin tıbbi amaçlar haricinde kullanımına dair çalışmalar son yıllarda çoğalmış olsa da kapsamlı olarak BBA sistemlerinin tüm özelliklerini kullanan deneysel

alışmalara henüz başlanmamıştır. Bu noktadan hareketle, BBA sistemlerinin farklı beyin aktiviteleri ve farklı bilişsel durum gerektiren görevlerini kapsayan, kişilerin hem rahvet etkisi hem de bilişsel yüklenme oluşturan farklı görevleri birden fazla zorluk derecesinde yerine getirmelerine dayanan bir deneysel çalışma tasarlanmıştır.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında Avusturya merkezli g.tec firması tarafından geliştirilen bir BBA sistemi, katılımcıların görevleri yerine getirme ortamı olarak kullanılmıştır. Bu sistemle beraber çalışabilen yine aynı markalı bir de GDD ölçer sistemle beraber alınmıştır. BBA'nın yanısıra göz bebeğin çağını uzaktan ölçebilmek amacıyla Tobii X2-60 göz takip sistemi kullanılmıştır. Ekranın altına sabitlenerek kullanılan ve kızılötesi kamera mantığıyla çalışarak saniyede 60 kare yakalayabilen bu cihaz sayesinde göz bebeği çapındaki değişimler hassas bir şekilde takip edilebilmiştir. Yapılan çalışmada, toplanan veriler ve uygun bir deney protokolü ile merkezinde işin değil insanın olduğu bir zihinsel iş yükü ölçüm yöntemi önermek de mümkün olmuştur. Deneye geçilmeden önce tüm katılımcılara Ek Açıklama A'da sunulan bilgilendirme formu okutulmuş ve imzalatılmıştır. Kullanılan BBA ile bilişsel yük ile en çok ilişkili potansiyellerden olan P 300 potansiyeline destek olarak SSVEP potansiyeli ve Motor İmgeleme uygulamasını da değerlendirmek mümkündür. Bu beyin aktivitelerinin ortaya çıkması ile bilgisayara komut verilerek yerine getirilecek görevler esnasında kişilerin bilişsel anlamda ne kadar zorlandıklarını tahmin etmek için eş zamanlı olarak aşağıdaki verilerin ölçülmesi ve kayıt altına sağlanmıştır.

- Görev Başarı Düzeyi
- Nasa-TLX Puanı
- Göz Bebeği Çapındaki Değişiklik Oranı
- Göz Kırpma Sayısı
- Galvanik Deri Direnci

Tasarlanan çalışmanın ana amacı; zihinsel çaba (düşünme, yorumlama, hesaplama, karar verme vb.) ve dikkat toplama gerektiren bir görevi yerine getirecek bir kişinin görev öncesindeki bilişsel durumu ve buna bağlı olarak yerine getireceği görevdeki performansı hakkında fikir yürütebilmektir. Bilişsel durum tahmin çalışmaları bilişsel yük tahmin çalışmaları kadar olmasa da, yine de son yıllarda ilgi çekiciliği artıştıran bir konudur. Bu çalışmaların bilişsel yüklenme çalışmalarından en önemli farkı, yapılan işten daha çok, işi yapan kişiye odaklanmasıdır. Kullanılan göstergeler, bilişsel yüklenme çalışmalarında kullanılan göstergeler ile büyük ölçüde aynı olup deney protokolleri ve yapılan analizler açısından farklılıklar göstermektedir.

Toplanan fizyolojik veriler ve katılımcılar tarafından doldurulan Nasa-TLX formlarının yanı sıra; öğrencilerin yaş, cinsiyet, bölümdeki not ortalaması, bölüme giriş puanı bilgileri, kayıtlı olunan kredi toplamı, bir işte çalışıp çalışmadıkları, çalıştıkları takdirde ne kadar süre ile çalıştıklarının bilgileri toplanmıştır (Ek2). Görevlerle ilgili toplanan tüm veriler Ekler 4-9'da görev yapılış sırasına göre sunulmuşlardır.

Görev başarı düzeyleri belirlenirken ekrana yazı yazdırma hedefi bulunan P 300 görevlerinde doğru yazdırılan karakterlerin oranı kullanılmıştır. SSVEP ve Mİ 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. Kullanılan göz takip sistemi hem sağ hem sol göz için çap ölçümü yaptığından iki gözün çap değeri ortalamaları kullanılmıştır. GDD değeri hesaplanırken Nourbakash vd. (2012) tarafından önerilen yöntemle verilerin normalize edilmiş değerleri kullanılmıştır. Bunun için 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. Göz kırpma oranının bulmak için yine göz takip sisteminin sağladığı 17 milisaniyelik sıklıklarla alınan kayıtlar kullanılmıştır. İlgilenilen görev boyunca göz hareketleri ile ilgili toplanan verilerin kayıp olduğu yani satırların boş kaldığı anlar göz kırpma anları olarak kabul edilmiş ve bu satırlar sayılarak göz kırpma sayısına erişilmiştir. Daha sonra görevin saniye cinsinden uzunluğu ile oranlanarak saniye başına göz kırpma sayısı elde edilmiştir. Katılımcıların yerine getirdikleri görev özellikleri ve bu görevler esnasında oluşması beklenen fizyolojik belirti hareketleri Çizelge 4.1'de özetlenmiştir.

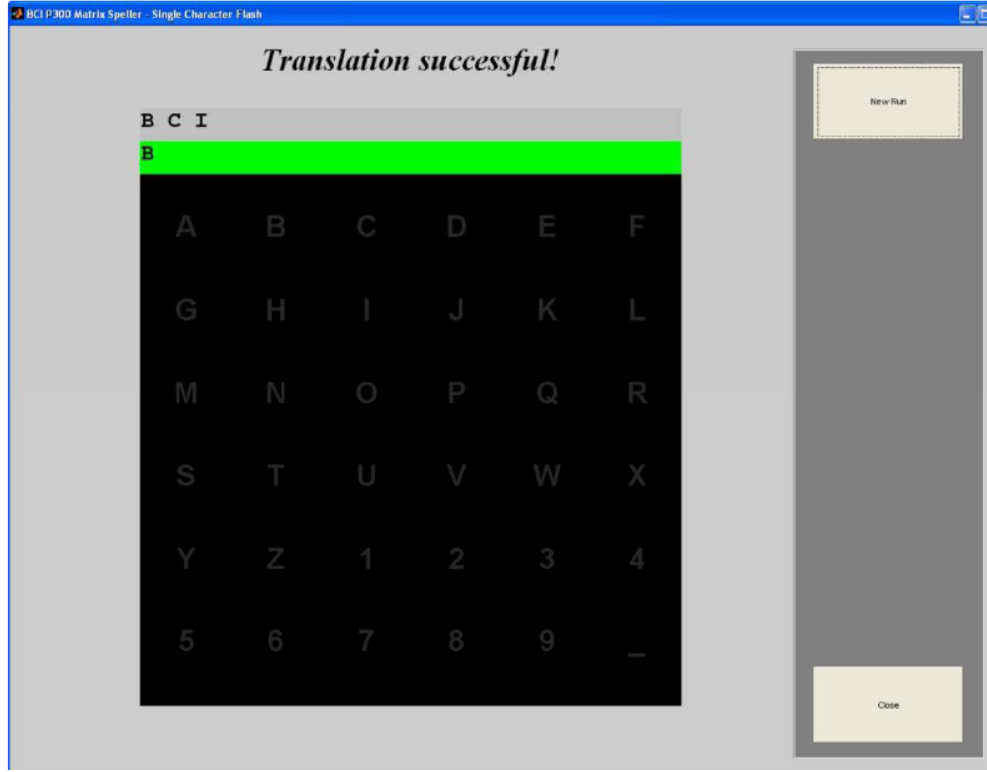
Çizelge 4.1 Görev Özellikleri ve Beklenen Fizyolojik Etkiler

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

4.1. P 300 Potansiyeli için Yapılacak Görev ve Gerekli Düzenek

Kullanılan BBA sistemi P 300 potansiyelini görsel uyarınlar 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. Tekrarlı olarak bu potansiyelin oluşabilmesi için yine tekrarlı görsel uyarınlar gerekmektedir ki ilgili arayüz bu uyarınları yanıp sönen harf satır ve sütunları ile sağlamaktadır. Matristeki her bir harfin yanıp sönmeye

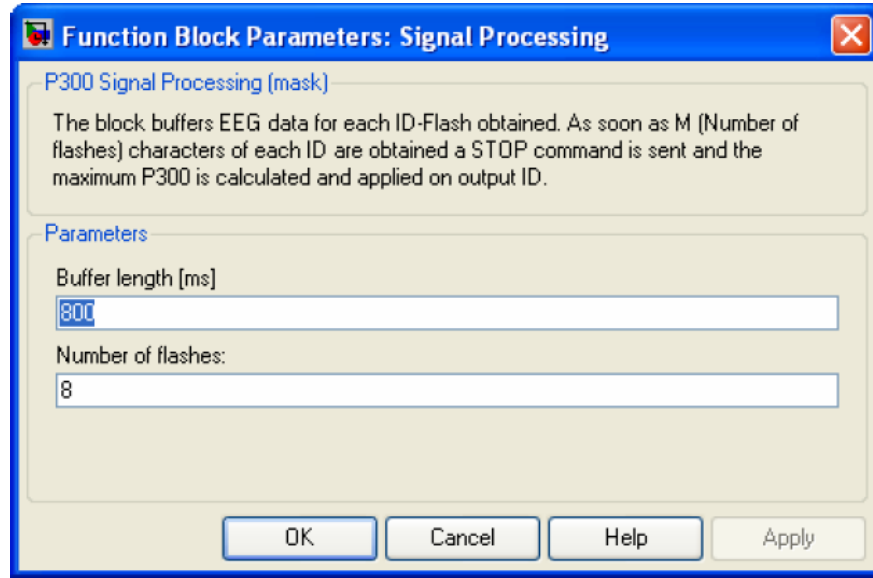
frekansı kendine özel olduğu için beynin yarattığı P 300 potansiyellerinin ortaya çıkışları arasındaki aralık katılımcının yazdırmaya çalıştığı harfin hangisi olduğunun bilgisayar tarafından algılanmasını sağlamaktadır. İlgili matris Şekil 4.1’de sunulmuştur.



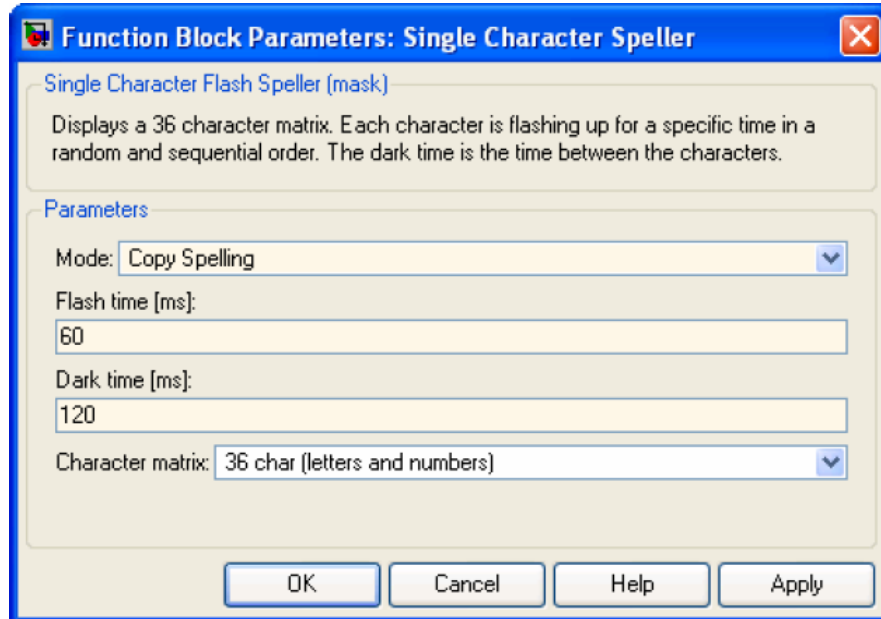
Şekil 4.1. P 300 Harf Matrisi

Katılımcı bu göreve başlamadan önce matrise aşinalığı sağlamak için en azından bir rastgele harfi başlangıçta ekrana yazdırması sağlanmıştır. Ardından katılımcıya iki adet kelime yazdırma görevi verilmiştir. Kelimelerin kolaylık ve zorluk derecelerini belirlemek için birden çok alternatif bulunmaktadır. Bu çalışmada yapılacak ilk görev ekrana matriste yan yana bulunan ABCDE harflerini yazdırması olarak tanımlanmıştır. Bu görev esnasında hedef harflerin göndereceği görsel uyarın yani parlama 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 yazacak 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 ekranda görünmemiştir. Ayrıca, parlama sayısı 10 parlama uzunluğu da 50 milisaniye olarak belirlenmiş, bu sayede kullanıcının daha fazla çaba sarf etmesi sağlanmıştır. İkinci görev olarak katılımcı tarafından ekrana

yazdırılacak karakterler dizisi ESOGU2014 olarak belirlenmiştir. Katılımcıya bu görev sadece sözlü olarak verilmiştir. Dolayısıyla katılımcı harflerin sırasını hatırlamak ve ilgili harfin matristeki yerini kendisi bulmak zorunda kalmıştır. Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de harflerin yanıp sönme sayıları ve aralıkları ile ilgili ayarların yapılabileceği ekranlar görüntüleri verilmiştir. Bu görevlerin başarı düzeyleri hedeflenen harflerin doğru yazdırılma oranı ile değerlendirilmiştir.



Şekil 4.2. Yanıp Sönme Sayısı Ayarlama



Şekil 4.3. Yanıp Sönme Aralığı Ayarlama

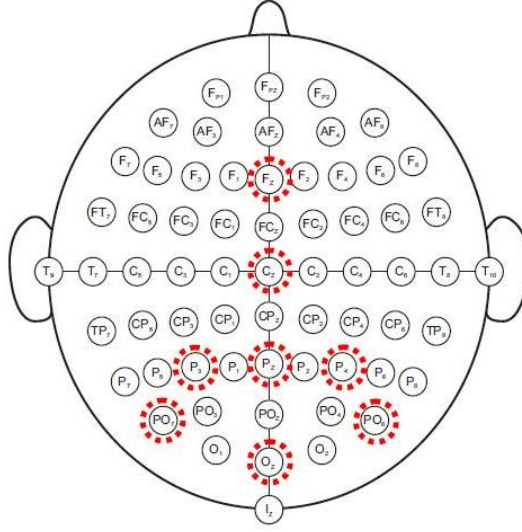
Harf matrisi (P 300) görevi için gerekli düzenek taşınabilir bilgisayara bağlı bir sinyal yükseltici (Şekil 4.4), 8 adet EEG elektrotun bağlı olduğu EEG bonesi (Şekil 4.5), (elektrotların yerleşimi Şekil 4.6'da sunulmuştur) ve bu elektrotların yükseltici ile bağlantısını sağlayacak olan bir aktif elektrot sürücüsüdür (Şekil 4.7).



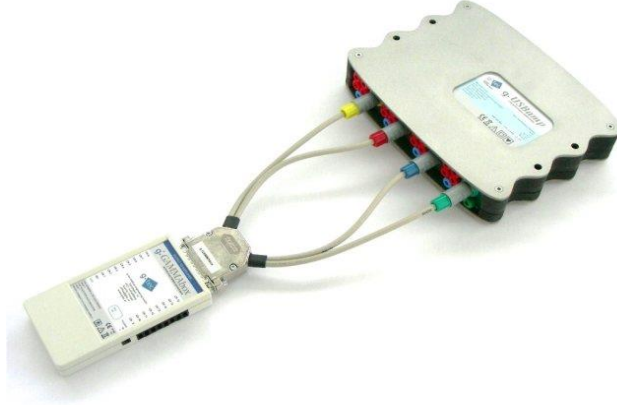
Şekil 4.4. G.USBamp Sinyal Yükseltici



Şekil 4.5. EEG Bonesi



Şekil 4.6. P 300 Elektrot Yerleşimi

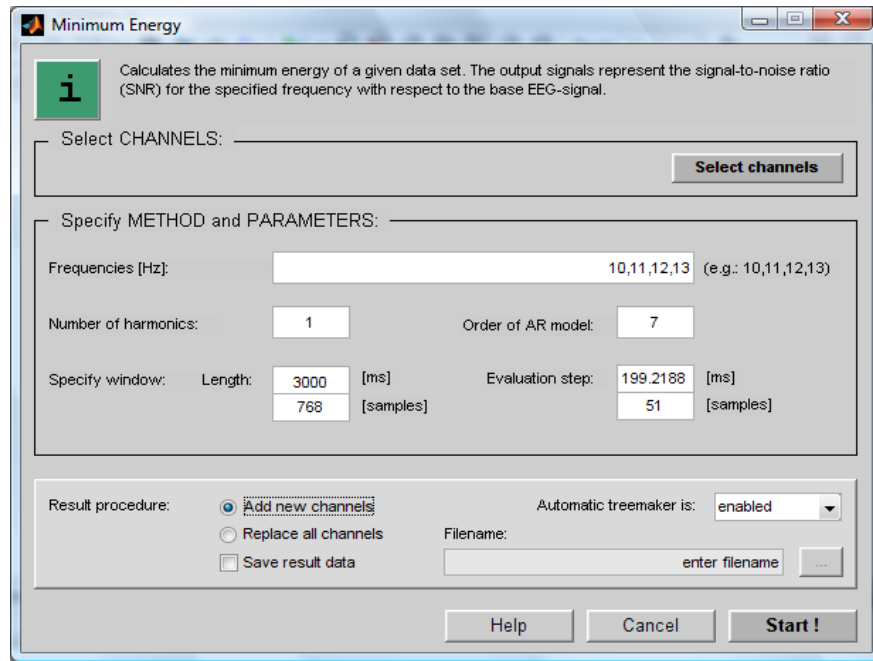


Şekil 4.7. Yükselticiye Bağlı aktif Elektrot Sürücüsü

4.2. SSVEP Potansiyeli için Yapılacak Görev ve Gerekli Düzenek

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 uyarıları takip etmesi gereklidir. Katılımcılara yine ilki daha kısa ikincisi daha uzun yoğunlaşma gerektiren görevler olmak üzere iki görev yaptırılmıştır. Görevlerin zorluk dereceleri uyarının uzunluğunu ve aralığını değiştirerek sağlanmıştır. Bununla ilgili ayarların yapılabildiği ekran Şekil 4.8’de sunulmuştur. 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 uyarın uzunluğu olarak belirlenmiş kalan %30’u ise iki yön arasındaki geçişlerde bekleme süresi olmuştur. İkinci

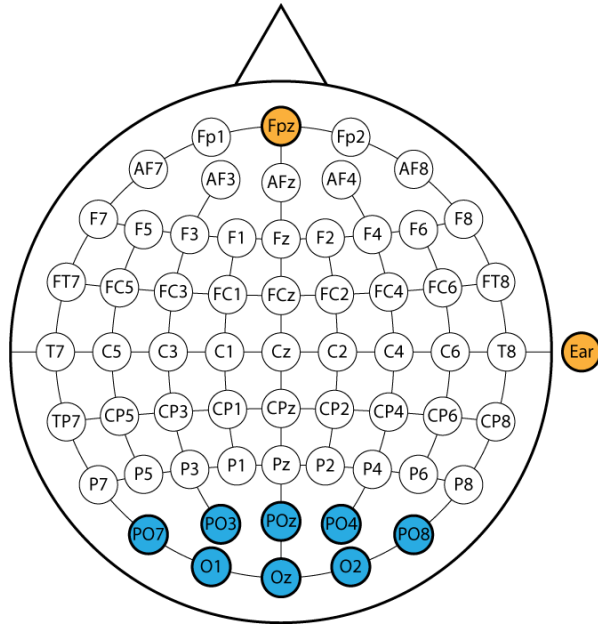
tekrarda bu kez görsel uyaran uzunluğu %95, geçiş süresi %5 olarak ayarlanmış bu sayede daha uzun süreli konsantrasyon ve daha hızlı geçişler sağlanmıştır. Bu görevin düzeneği için gerekli olanlar P 300 görevinde bulunanlar ile aynı olup ilaveten Şekil 4.9’da gösterilen SSVEP kumandası gerekmektedir. Bu cihazda ilgili yönleri ve o yönleri seçmek için gerekli uyaranların olduğu lambalar mevcuttur. Şekil 4.10’ da SSVEP potansiyeli için gerekli elektrot yerleşimi, Şekil 4.11’de ise SSVEP sinyallerini algılamak için kullanılan sinyal kutusu verilmiştir. Bu görevlerin başarı düzeyleri, kullanılan yazılım tarafından hesaplanabilmektedir. Şekil 4.12’de verilen örnek grafikte katılımcının görev esnasında yüzde kaç hata ile sinyallerin sınıflandırıldığı görülmektedir. Bu görevlerde kesikli değil, sürekli bir yoğunlaşma gerektiğinden bu tür bir performans değerlendirmesi daha uygun bulunmuştur. Başarı kriteri olarak, görev süresince sağlanan en düşük sınıflandırma hatası yüzdesi kullanılmıştır.



Şekil 4.8. SSVEP Ayar Ekranı



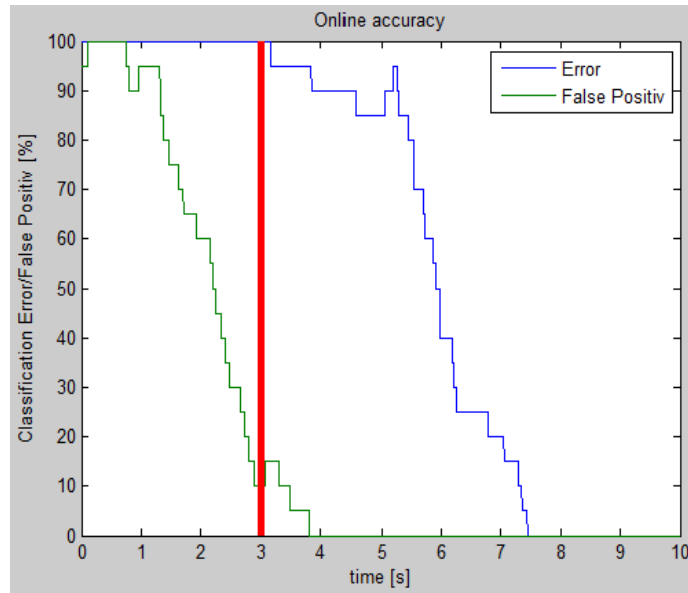
Şekil 4.9. SSVEP Kumandası



Şekil 4.10. SSVEP için Uygun elektrot yerleşimi



Şekil 4.11. SSVEP için Sinyal Kutusu

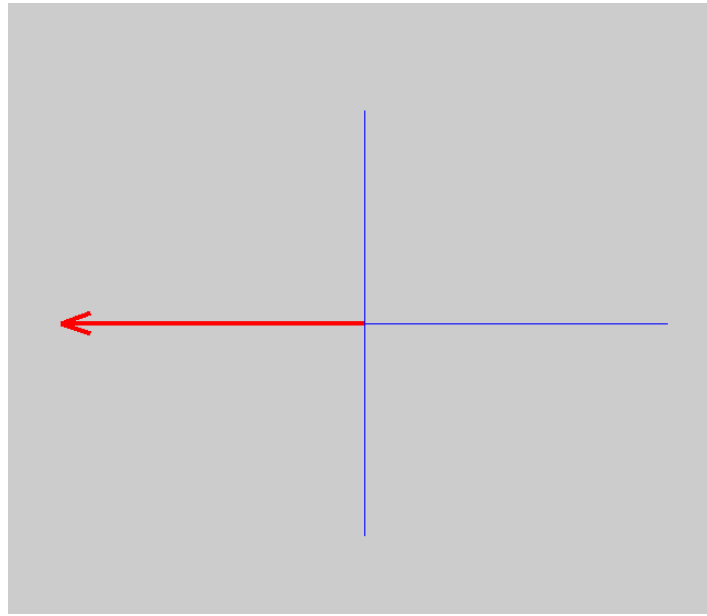


Şekil 4.12. SSVEP Başarı Grafiği

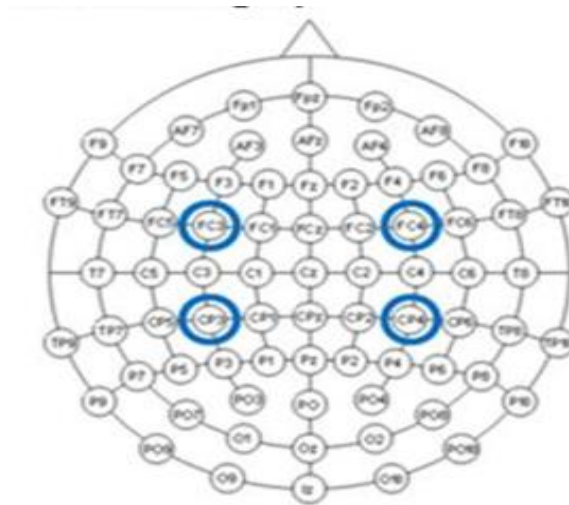
4.3. Motor İmgeleme İçin Yapılacak Görev ve Gerekli Düzenek

Kullanılan BBA Mİ çalışmaları için bir tenis oyunu içermektedir. Motor İmgeleme aslında beyinde oluşan bir olay ilişkili desenkronizasyon/senkronizasyon (ERD/ERS) aktivitesidir. Katılımcı ekranda göreceği x-y düzlemi üzerindeki x eksenini tarafından yönlendirmiştir. X eksenini üzerinde 7 saniyede bir beliren kırmızı bir ok katılımcıya odaklanması gereken yönü (sağ veya sol) göstermektedir. Katılımcı 7 saniye boyunca ilgili yöndeki elini hareket ettirmeye odaklanmış, ancak eliyle gerçek bir hareket yapmamıştır. İlk görevdeki 20'şer tekrar bitince ikinci Motor İmgeleme görevi başlatılmıştır. Bu kez katılımcıya bir geri bildirim sağlayan olan mavi bir ok daha mevcuttur. Kırmızı ok hedef

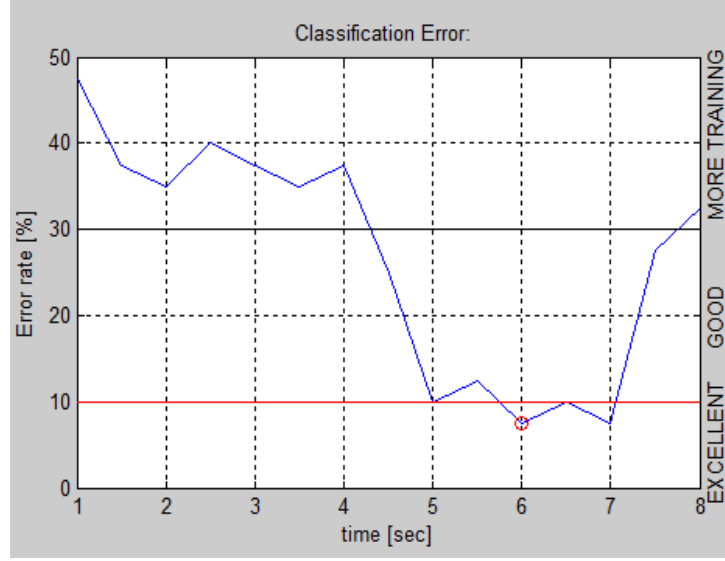
yönü gösterdikten sonra ortaya çıkan mavi ok katılımcının odaklanma başarısına göre doğru yöne ve zıt yöne hareket etmektedir. İkinci tekrarın ilk tekrardaki tek taraflı yoğunlaşmaya göre daha stres yaratıcı bir görev olması beklenmektedir. Uygulamanın ekran görüntüsü Şekil 4.13’de, gerekli elektrot yerleşimi de Şekil 4.14’de sunulmuştur. Bu uygulamaların başarı düzeyi yine ilgili yazılım tarafından sağlanmaktadır. SSVEP uygulamasındaki gibi sürekli bir yoğunlaşma gerektiğinden bir başarı grafiği oluşturulmaktadır (Şekil 4.15). En iyi sınıflandırma anı yani görev esnasındaki en düşük hata yüzdesi başarı kriteri olarak kullanılmıştır.



Şekil 4.13. Motor İmgeleme Ok Uygulaması



Şekil 4.14. Motor İmgeleme Elektrot Yerleşimi



Şekil 4.15. MI Başarı Grafiği

4.4. Görev Başarı Düzeyi

Bilişsel yük tahmini konusunda yapılan çalışmalarda Davranışsal Ölçüler olarak tanımlana kavramlardandır. Bilişsel olarak zorlayıcı işteki başarı durumu kişinin o işi yaparken ne kadar zorlandığına dair tahmin imkânı tanımaktadır. Genellikle görev esnasında yapılan hataların sayısı ve görev tamamlama süreleri dikkate alınmaktadır. BBA uygulamalarında olduğu gibi görev süresinin sabit olduğu durumlarda ise sadece görevi tamamlarken yapılan hataların oranını kullanmak mümkündür. Bu çalışma kapsamında da her bir görev için sınıflandırma başarı düzeyleri başarı göstergesi olarak kabul edilmiştir. P300 görevlerinde, hedeflenen harflerin doğru yazdırılma oranı başarı düzeyi olarak kullanılmıştır. SSVEP ve Mİ görevlerinde ise görev esnasında sağlanan en iyi sınıflandırma başarısı katılımcının o görevdeki başarı düzeyi olarak kabul edilmiştir. Bunun için deneylerde kullanılan BBA sisteminin sınıflandırma hata yüzdesi grafiklerinden faydalanılmıştır.

4.5. Nasa-TLX Puanı

Sübjektif bilişsel yük ölçüm yöntemlerinden en yaygın kullanılanı olan bu yöntem kişinin ilgili görevde ne kadar zorlandığını 100 üzerinden bir değer olarak verdiği için kullanımı ve karşılaştırılmalı yöntemler içinde faydalanılması oldukça kolay bir yöntemdir. Katılımcının yerine getirdiği her görevden sonra Nasa-TLX'in içerdiği soruları cevaplaması ile hangi görevin diğerinden daha zor olduğu bilgisi edinilebilmiştir. Nasa-TLX yönteminin internet veya bilgisayar tabanlı türlerinde Türkçe halleri mevcut olmadığından kâğıt üzerinde Türkçe Nasa-TLX formları kullanılmıştır (Ek Açıklama-C).

4.6. Göz Bebeği (Pupil) Çapındaki Değişiklik Oranı ve Göz Kırpma Sayısı

Bilişsel yüklenme arttıkça göz bebeği çapının büyüdüğü geçmiş çalışmalarla gösterilmiştir. Bu ölçümün hassas olarak yapılması ve süreklilik arz etmesi önemlidir. Bu yüzden optik amaçlı pupilometreler yerine göz takip sistemlerinin kullanılması tercih edilmektedir. Bu veri genellikle kişinin göz bebeği çapındaki değişimin yüzdesel ifadesi olarak toplanır ve kullanılır. Görevin hemen öncesindeki göz bebeği çapının taban (baseline) değeri ile görev esnasındaki ölçümlerin ortalamasının birbirlerine oranlanması ve yüzdesel olarak ifade edilmesi ile kullanımı kolay ve yaygın bir yöntemdir. Taban göz bebeği çap değerini bulmak için genellikle kullanılan yöntem ise göreve başlamadan önceki son birkaç saniyelik verinin ortalamasını almaktır. Ortalama göz bebeği çap değişimini kullanan çalışmalara örnek olarak bir bahis görevini bilişsel yükleyici olarak değerlendiren Jepma ve Nieuwenhuis (2011) verilebilir

Bu çalışmada göz bebeği ile bilgiler Tobii X2-60 (şekil 4.16) ile toplanmıştır. Kızılötesi kameralar ile çalışan bu sistem görevlerin yerine getirileceği ekranın altına takılmıştır. Göz takip sisteminin yazılımı sayesinde toplanan verilere erişmek ve bu verileri excel dosyasına aktararak yapılacak hesaplamalarla yorumlamak mümkündür. Excel dosyasına aktarılan göz bebeği çap değerleri, her 17 milisaniyede 1 kez alınan kayıtlardan oluşmaktadır. Her katılımcının, her bir görevin başındaki ilk 60 satırda yer alan, 1020 milisaniyelik göz bebeği çap büyüklüğü verilerinin ortalaması taban değer olarak kullanılmıştır. Bu taban değerle görevler esnasında oluşan göz bebeği çap değişimlerinin ortalaması kıyaslanarak bilişsel yüklenme hakkında yorum yapmak mümkün olmuştur.

Toplanan verilerden göz kırpma sayısının ve oranının hesaplanması da mümkündür. Milisaniye düzeyinde kayıt alan bu cihazın her iki gözün takibini ve göz bebeği çapının tespitini yapamadığı anlar gözün kırıldığı anlardır. Bu sayede, excel sayfasında yer alan boş satırlar sayılarak veriler içinden göz kırpma sayısı tespit edilebilmiştir.



Şekil 4.16. Göz Takip Cihazı

4.7. Galvanik Deri Tepkisi (GDD)

İnsan derisinden geçen elektrik akımının karşılaştığı direnç olarak tanımlamak mümkündür. Bu tepki otonom sinir sistemi tarafından verildiği, ter bezleri kaynaklı olduğu ve genellikle el, avuç içi bölgesinden başladığı için ele bağlanan algılayıcılar aracılığı ile ölçülür. Heyecan ve stresin bir ölçüsü dolayısıyla da bilişsel yüklenmenin bir göstergesi olarak kabul edilir. Zorluk düzeyi tek olan bilişsel görevlerde ortalama GDD değeri yeterli olmaktadır. Örnek olarak Shi vd. (2007) çalışmalarında her bir katılımcının her bir görevin yine her bir zorluk derecesindeki GDD değerlerinin ortalamalarını kullanmışlardır. Ancak bu uygulama görevin bilişsel zorluk derecesini hesaplamak için yapılmıştır. Her bir katılımcının bilişsel durumu hakkında fikir edinme amacıyla GDD kullanılacaksa göz bebeği çapında olduğu gibi her bir katılımcının görevin hemen öncesindeki GDD değeri baz olarak kabul edilerek BBA görevleri esnasındaki ortalama GDD değerleri bu baz değere oranlanabilir.

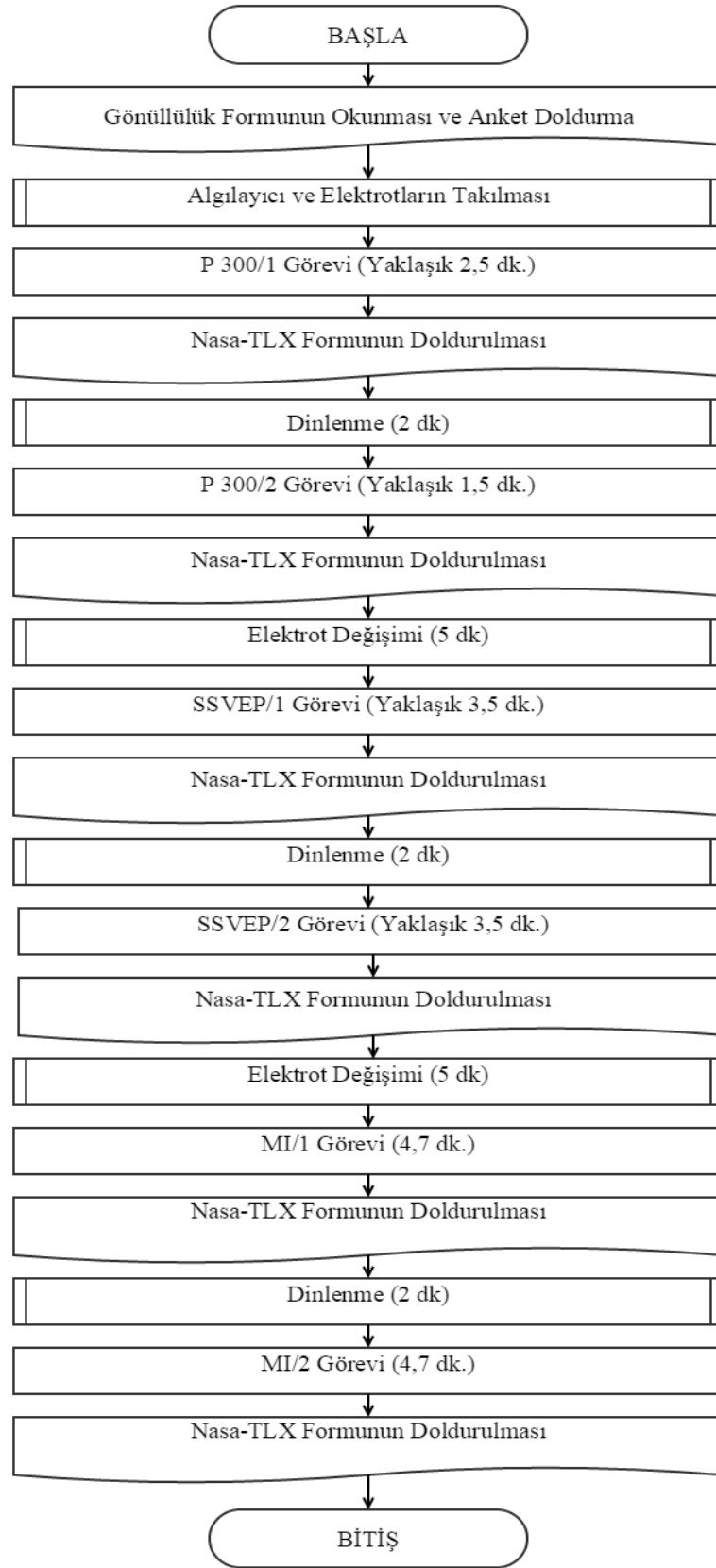
Bu çalışmada ise GDD değerini toplamak BBA sistemi ile beraber gelen parmak sensörleri ile mümkündür. Sinyal yükselticiye bağlanacak olan bu sensörler (şekil 4.17) ile görevler esnasındaki GDD değişimleri kayıt altına alınmıştır. Daha sonra normalize edilmiş GDD değerleri, 2.2, 2.3 ve 2.4 numaralı formüller ile hesaplanmış ve bu değerler kullanılmıştır. Bunun sebebi GDD ölçüsünün kişiden kişiye çok geniş bir aralıkta farklılık göstermesi ve anlık olarak çok yükselip düşebilmesidir.



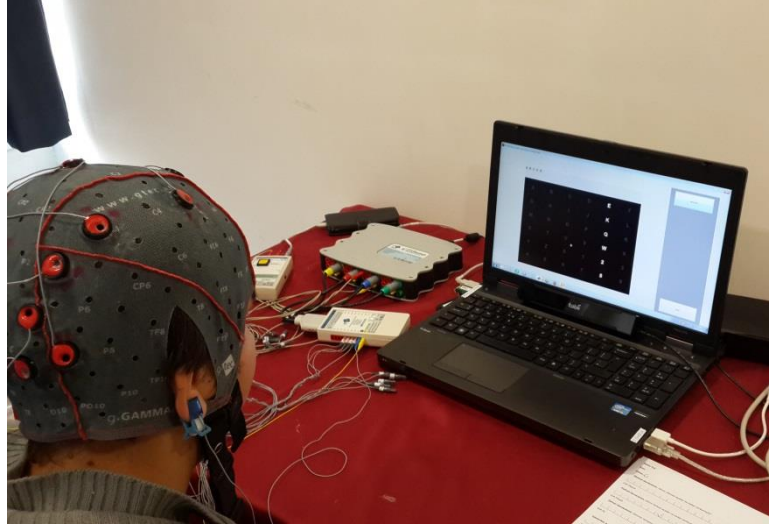
Şekil 4.17. G.Tec GDD Algılayıcısı

4.8. Deney Protokolü

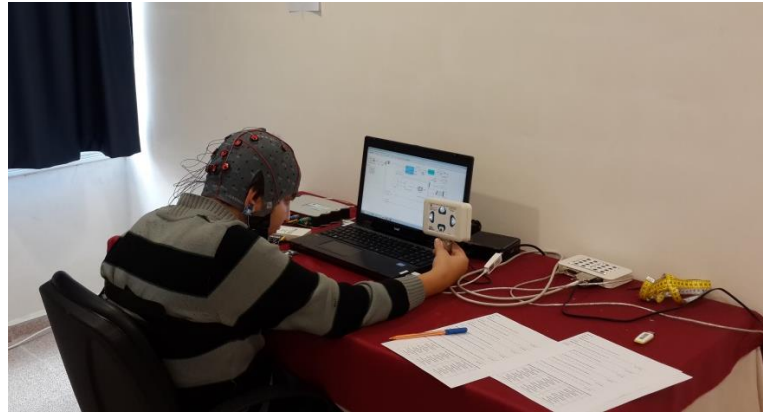
Katılımcıların BBA uygulamalarındaki görevleri yapmaları istenecek ve bu görevleri yerine getirirken maruz kaldıkları zihinsel yüklenme verilerinden hareketle sınıflama ve tahmin çalışmaları yapılarak kişilerin mevcut bilişsel durumları ve bu durumda yerine getirecekleri dikkat ve zihinsel çaba gerektiren bir görevdeki performansları kestirilmeye çalışılmıştır. Deneylerde katılımcı 2 ila 5 dakikalık dinlenme aralıkları ile 3 BBA uygulamasını farklı parametrelere ve zorluk derecelerine sahip ikişer tekrar ile uygular (P 300, SSVEP, Motor İmgeleme). Katılımcı her bir uygulamadan sonra Nasa-TLX formunu doldurur. Deney adımları aşağıda sunulmuştur. BBA uygulamalarının her birinden önce sinyal kontrolleri yapılmıştır. Şekil 4.18’de deney protokolünün adımları akış şeması olarak verilmiştir. Deneylerden örnek görüntüler de Şekiller 4.19,4.20 ve 4.21’de sunulmuştur.



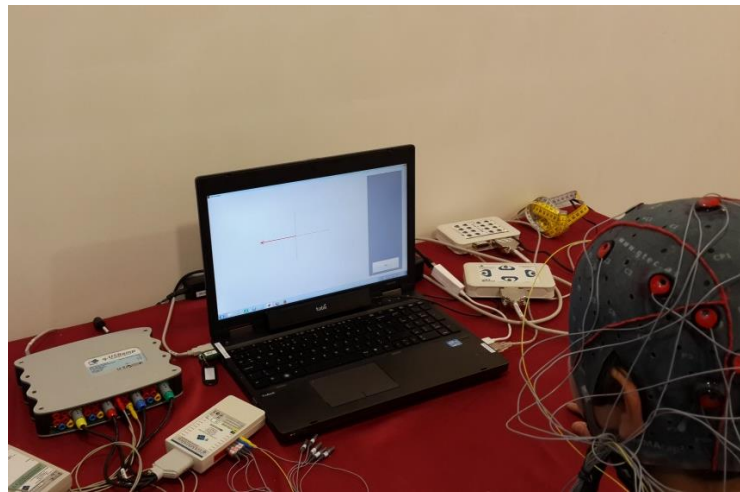
Şekil 4.18 Deney Protokolü Akış Şeması



Şekil 4.19 P 300 Görevi Deney Görüntüsü



Şekil 4.20 SSVEP Görevi Deney Görüntüsü



Şekil 4.21 MI Görevi Deney Görüntüsü

5. DENEY SONUÇLARI VE İSTATİSTİKSEL ANALİZLER

Deneye, yaşları 18-35 arasında değişen 70 gönüllü öğrenci katılmıştır. Gönüllülerin 40'ı kadın 30'u ise erkek olup, hepsi Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde lisans veya lisansüstü eğitim görmektedirler. Katılımcılardan 64'ü lisans düzeyinde iken, 6 katılımcı lisansüstü düzeydedir. Ayrıca 9 katılımcı öğrenciliğin yanında yarı ve tam zamanlı işlerde çalışmaktadırlar. Bunun yanı sıra katılımcıların 28 tanesinin AKTS kredi yükü 30'un üzerinde olup, 8 tanesinin not ortalaması 2.00'nin altında, 51 tanesinin ise 2.00-3.00 arasında ve 11 tanesinin 3.00 ve 3.00'ün üzerindedir. Demografik bilgiler özet tablosu Çizelge 5.1'de sunulmuştur.

Çizelge 5.1. Demografik Bilgiler

Cinsiyet		Yaş		Eğitim		AKTS Kredi Yüğü		Not Ortalaması			Başka İşte Çalışma	
Kadın	Erkek	18-22	22-35	Lisans Öğrencisi	YL Öğrencisi	30 ve Altı	30 Üstü	2.00'nin Altı	2.00-3.00	3.00'ün Üstü	Evet	Hayır
40	30	61	9	64	6	42	28	8	51	11	9	61
%57,1	%42,9	%87,1	%12,9	%91,4	%8,6	60%	40%	%11,4	%72,9	%15,7	%12,9	%87,1

Üç tür beyin aktivitesi için ilki kolay ikincisi zor olmak üzere 2'ser görev yerine getirilirken, katılımcıların göz bebeği çap değerleri, GDD değerleri ve göz kırpmaya sayıları ölçülmüştür. Her görevden sonra doldurulan Nasa-TLX formlarına ait sonuçlar ve kullanılan BBA sisteminin yazılımı aracılığıyla elde edilen görev başarı düzeyleri önce Excel programına aktarılarak derlenmiş sonrasında ise tanımlayıcı istatistik sonuçları elde edilmiştir. Bu sonuçlar Çizelge 5.2'de sunulmuştur. Çizelgede ilk tekrar olarak gösterilen görevler kolay görevler, ikinci tekrar olarak gösterilen görevler ise zor görevleri ifade etmektedirler. Her bir katılımcının demografik bilgileri ve görev sonuçları Ek Açıklama-D'de sunulmuştur.

Çizelge 5.2. Tanımlayıcı İstatistikler

	N	Enk.	Enb.	Ort.	Std.S.
P 300/1 BAŞARI	70	,00	100,00	56,2857	32,35543
P 300/1 GÖZ BEBEĞİ	70	-3,72	36,93	11,3636	8,74957
P 300/1 GÖZ KIRPMA	70	,0200	,3000	,063529	,0521633
P 300/1 GDD	70	,0009	,0197	,004657	,0028496
P 300/1 Nasa TLX	70	12,00	77,67	42,7383	17,61648
P 300/2 BAŞARI	70	,00	88,89	29,3644	25,87189
P 300/2 GÖZ BEBEĞİ ÇAP	70	-9,96	51,95	23,6799	12,60421
P 300/2 GÖZ KIRPMA	70	,040	,407	,07649	,070391
P 300/2 GDD	70	,0025	,0622	,006294	,0076651
P 300/2 Nasa TLX	70	17,67	95,00	60,7379	15,69537
SSVEP/1 BAŞARI	70	53,00	100,00	70,9857	9,94841
SSVEP/1 GÖZ BEBEĞİ	70	-23,67	50,68	-4,9093	12,06912
SSVEP/1 GÖZ KIRPMA	70	,020	,257	,05634	,061989
SSVEP/1 GDD	70	,0003	,0240	,004220	,0030525
SSVEP/1 Nasa TLX	70	14,00	70,00	43,9857	14,54179
SSVEP/2 BAŞARI	70	56,00	100,00	71,2143	9,24998
SSVEP/2 GÖZ BEBEĞİ	70	-31,75	28,37	-6,3953	9,40913
SSVEP/2 GÖZ KIRPMA	70	,017	,224	,04581	,040123
SSVEP/2 GDD	70	,0004	,0220	,004360	,0024832
SSVEP/2 Nasa TLX	70	23,33	83,33	52,9147	13,23726
MI/1 BAŞARI	70	68,00	85,00	75,6571	3,93750
MI/1 GÖZ BEBEĞİ ÇAP	70	-23,28	22,16	-1,9557	9,02633
MI/1 GÖZ KIRPMA	70	,020	,480	,06117	,104269
MI/1 GDD	70	,0007	,0096	,003944	,0015652
MI/1 Nasa TLX	70	21,33	75,33	51,0047	11,45983
MI/2 BAŞARI	70	70,00	100,00	76,7571	6,71454
MI/2 GÖZ BEBEĞİ ÇAP	70	-20,62	40,63	2,9474	9,58941
MI/2 GÖZ KIRPMA	70	,020	,350	,05336	,066838
MI/2 GDD	70	,0005	,0211	,004237	,0024801
MI/2 Nasa TLX	70	28,33	97,33	63,4433	13,40575

5.1. Normallik Testleri

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. Normalleştirme denemesine rağmen veri setlerinin yarısı normal dağılıma dönüşmediğinden gerektiği hallerde parametrik

olmayan yöntemlerden faydalanılmıştır. İlgili test sonuçları Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4’da sunulmuştur. Normallik testi çıktıları Ek Açıklama-E’de sunulmuştur.

Çizelge 5.3 Normalleştirme Öncesi Normallik Testleri Sonuçları

Değişken	Anderson-Darling	Ryan-Joiner	Kolmogorov-Smirnov
P 300_Kolay_BAŞARI	p<0,05	p>0,05	p<0,05
P 300_Kolay_GÖZ BEBEĞİ	p<0,05	p<0,05	p>0,05
P 300_Kolay_GÖZ KIRPMA	p<0,05	p<0,05	p<0,05
P 300_Kolay_GDD	p<0,05	p<0,05	p<0,05
P 300_Kolay_Nasa_TLX	p>0,05	p>0,05	p>0,05
P 300_Zor_BAŞARI	p<0,05	p<0,05	p<0,05
P 300_Zor_GÖZ BEBEĞİ ÇAP	p>0,05	p>0,05	p>0,05
P 300_Zor_GÖZ KIRPMA	p<0,05	p<0,05	p<0,05
P 300_Zor_GDD	p<0,05	p<0,05	p<0,05
P 300_Zor_Nasa_TLX	p>0,05	p>0,05	p>0,05
SSVEP_Kolay_BAŞARI	p>0,05	p>0,05	p>0,05
SSVEP_Kolay_GÖZ BEBEĞİ ÇAP	p<0,05	p<0,05	p<0,05
SSVEP_Kolay_GÖZ KIRPMA	p<0,05	p<0,05	p<0,05
SSVEP_Kolay_GDD	p<0,05	p<0,05	p<0,05
SSVEP_Kolay_Nasa_TLX	p>0,05	p>0,05	p>0,05
SSVEP_Zor_BAŞARI	p<0,05	p<0,05	p<0,05
SSVEP_Zor_GÖZ BEBEĞİ ÇAP	p<0,05	p<0,05	p<0,05
SSVEP_Zor_GÖZ KIRPMA	p<0,05	p<0,05	p<0,05
SSVEP_Zor_GDD	p<0,05	p<0,05	p<0,05
SSVEP_Zor_Nasa_TLX	p>0,05	p>0,05	p>0,05
MI_Kolay_BAŞARI	p<0,05	p>0,05	p<0,05
MI_Kolay_GÖZ BEBEĞİ ÇAP	p>0,05	p>0,05	p>0,05
MI_Kolay_GÖZ KIRPMA	p<0,05	p<0,05	p<0,05
MI_Kolay_GDD	p<0,05	p<0,05	p<0,05
MI_Kolay_Nasa_TLX	p>0,05	p>0,05	p>0,05
MI_Zor_BAŞARI	p<0,05	p<0,05	p<0,05
MI_Zor_GÖZ BEBEĞİ ÇAP	p<0,05	p<0,05	p<0,05
MI_Zor_GÖZ KIRPMA	p<0,05	p<0,05	p<0,05
MI_Zor_GDD	p<0,05	p<0,05	p<0,05
MI_Zor_Nasa_TLX	p<0,05	p<0,05	p>0,05

Çizelge 5.4 Normalleştirme Sonrası Normallik Testleri Sonuçları

Değişken	Log 10-AD	Log 10-RJ	Log 10-KS
P 300_Kolay_BAŞARI	-	-	-
P 300_Kolay_GÖZ_BEBEĞİ	-	-	-
P 300_Kolay_GÖZ_KIRPMA	p<0,05	p<0,05	p<0,05
P 300_Kolay_GDD	p<0,05	p<0,05	p<0,05
P 300_Kolay_Nasa_TLX	-	-	-
P 300_Zor_BAŞARI	p<0,05	p<0,05	p<0,05
P 300_Zor_GÖZ_BEBEĞİ ÇAP	-	-	-
P 300_Zor_GÖZ_KIRPMA	p<0,05	p<0,05	p<0,05
P 300_Zor_GDD	p<0,05	p<0,05	p<0,05
P 300_Zor_Nasa_TLX	-	-	-
SSVEP_Kolay_BAŞARI	-	-	-
SSVEP_Kolay_GÖZ_BEBEĞİ ÇAP	p<0,05	p<0,05	p<0,05
SSVEP_Kolay_GÖZ_KIRPMA	p<0,05	p<0,05	p<0,05
SSVEP_Kolay_GDD	p<0,05	p<0,05	p<0,05
SSVEP_Kolay_Nasa_TLX	-	-	-
SSVEP_Zor_BAŞARI	p<0,05	p<0,05	p<0,05
SSVEP_Zor_GÖZ_BEBEĞİ ÇAP	p>0,05	p<0,05	p>0,05
SSVEP_Zor_GÖZ_KIRPMA	p<0,05	p<0,05	p<0,05
SSVEP_Zor_GDD	p<0,05	p<0,05	p<0,05
SSVEP_Zor_Nasa_TLX	-	-	-
MI_Kolay_BAŞARI	-	-	-
MI_Kolay_GÖZ_BEBEĞİ ÇAP	-	-	-
MI_Kolay_GÖZ_KIRPMA	p<0,05	p<0,05	p<0,05
MI_Kolay_GDD	p<0,05	p<0,05	p<0,05
MI_Kolay_Nasa_TLX	-	-	-
MI_Zor_BAŞARI	p<0,05	p>0,05	p<0,05
MI_Zor_GÖZ_BEBEĞİ ÇAP	p<0,05	p<0,05	p>0,05
MI_Zor_GÖZ_KIRPMA	p<0,05	p<0,05	p<0,05
MI_Zor_GDD	p<0,05	p<0,05	p<0,05
MI_Zor_Nasa_TLX	-	-	-

5.2. Nasa-TLX Skorları Analizi

Çalışmada Nasa-TLX skorları, yaptırılan görevlerin birbirlerine göre zorluklarını değerlendirmek için kullanılmıştır. Nasa-TLX skorları en az bir normallik testine göre normal dağıldıklarından eşleştirilmiş t testi ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar Çizelge

5.5’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.

Çizelge 5.5 Nasa-TLX Skorları İçin Eşleştirilmiş T Testi Sonuçları

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

5.3. Görev Başarı Düzeylerinin Karşılaştırılması

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 (Tekin, 2009). Çizelge 5.6, 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. 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 Motor İmgeleme 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.

Çizelge 5.6 Görev Başarı Düzeyleri İçin Wilcoxon Testi Sonuçları

	P 300/1 BAŞARI P 300/2 BAŞARI	SSVEP/1 BAŞARI SSVEP/2 BAŞARI	MI/1 BAŞARI MI/2 BAŞARI
Z	-6,231	-,006	-,751
P	0,000	0,995	0,452

5.4. Toplanan Fizyolojik Verilerin Karşılaştırılması

Toplanan veriler arasında normal dağılmayanlar olduğu için parametrik olmayan testlere yönelinmiş 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 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 (Çizelge 5.7). 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 uygulanmış ve sonuçlar Çizelge 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.7 Görev Tekrarlarına Ait Fizyolojik Ölçümler İçin Wilcoxon Testi Sonuçları

	Z	P
P 300_Zor_GÖZ_BEBEĞİ_ÇAP - P 300_Kolay_GÖZ_BEBEĞİ	-5,914	0
SSVEP_Zor_GÖZ_BEBEĞİ_ÇAP - SSVEP_Kolay_GÖZ_BEBEĞİ_ÇAP	-0,322	0,748
MI_Zor_GÖZ_BEBEĞİ_ÇAP - MI_Kolay_GÖZ_BEBEĞİ_ÇAP	-3,731	0
P 300_Zor_GÖZ_KIRPMA - P 300_Kolay_GÖZ_KIRPMA	-1,118	0,263
SSVEP_Zor_GÖZ_KIRPMA - SSVEP_Kolay_GÖZ_KIRPMA	-0,572	0,567
MI_Zor_GÖZ_KIRPMA - MI_Kolay_GÖZ_KIRPMA	-1,215	0,224
P 300_Zor_GDD - P 300_Kolay_GDD	-5,668	0
SSVEP_Zor_GDD - SSVEP_Kolay_GDD	-1,209	0,227
MI_Zor_GDD - MI_Kolay_GDD	-1,696	0,09

Çizelge 5.7'nin Z ve P sütunları incelendiğinde, görev türlerinin kolay ve zor tekrarlarının fizyolojik belirtileri üzerinde en yoğun etkinin bilişsel yüklenme ağırlıklı P300 görevleri sırasında göz bebeği çap değişimlerinde olduğu görülmektedir. Yine bu görevlerde GDD değeri de oldukça hassas bir değişim göstermiştir. Göz bebeği çap değişimi, benzer şekilde Mİ görevlerinde de anlamlı şekilde farklılaşmış ve bu görev türleri için de oldukça hassas bir ölçü olduğunu göstermiştir. Bu durum, rahavet etkisinin yoğun olduğu birinci Mİ görevi ile bilişsel yüklenmenin ön plana çıktığı ikinci Mİ 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 Motor İmgeleme 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 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.

Çizelge 5.8 Görev Türlerine Göre Fizyolojik Ölçümler İçin Friedman Testlerinin Sonuçları

	Sıra Ortalaması	N	Ki-Kare	Sd	P
P 300_Kolay_GÖZ_BEBEĞİ	2,86	70	79,457	2	0,000
SSVEP_Kolay_GÖZ_BEBEĞİ_ÇAP	1,44				
MI_Kolay_GÖZ_BEBEĞİ_ÇAP	1,70				
P 300_Kolay_GÖZ_KIRPMA	2,56	70	36,705	2	0,000
SSVEP_Kolay_GÖZ_KIRPMA	1,88				
MI_Kolay_GÖZ_KIRPMA	1,56				
P 300_Kolay_GDD	2,17	70	8,629	2	0,013
SSVEP_Kolay_GDD	2,09				
MI_Kolay_GDD	1,74				
P 300_Zor_GÖZ_BEBEĞİ_ÇAP	2,87	70	94,200	2	0,000
SSVEP_Zor_GÖZ_BEBEĞİ_ÇAP	1,24				
MI_Zor_GÖZ_BEBEĞİ_ÇAP	1,89				
P 300_Zor_GÖZ_KIRPMA	2,68	70	49,138	2	0,000
SSVEP_Zor_GÖZ_KIRPMA	1,64				
MI_Zor_GÖZ_KIRPMA	1,69				
P 300_Zor_GDD	2,45	70	25,484	2	0,000
SSVEP_Zor_GDD	1,86				
MI_Zor_GDD	1,69				

Çizelge 5.8'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.

5.5. Çoklu Karşılaştırma (Post-Hoc) Testleri

Friedman testi sonucunda anlamlı farklılaşmalar tespit edildikten sonra hangi belirtilerin birbirleri arasında farklılaştığını anlamak için ikili karşılaştırma testi olarak Wilcoxon testleri uygulanmıştır. Sonuçlar Çizelge 5.9'da sunulmuştur.

Çizelge 5.9 Çoklu Karşılaştırma (Post-Hoc) Testi Sonuçları

	Z	P
SSVEP_Kolay_GÖZ_BEBEĞİ_ÇAP - P 300_Kolay_GÖZ_BEBEĞİ	-6,136	0,000
SSVEP_Kolay_GÖZ_KIRPMA - P 300_Kolay_GÖZ_KIRPMA	-2,696	0,007
SSVEP_Kolay_GDD - P 300_Kolay_GDD	-,540	0,589
SSVEP_Zor_GÖZ_BEBEĞİ_ÇAP - P 300_Zor_GÖZ_BEBEĞİ_ÇAP	-7,067	0,000
SSVEP_Zor_GÖZ_KIRPMA - P 300_Zor_GÖZ_KIRPMA	-4,902	0,000
SSVEP_Zor_GDD - P 300_Zor_GDD	-4,254	0,000
MI_Kolay_GÖZ_BEBEĞİ_ÇAP - P 300_Kolay_GÖZ_BEBEĞİ	-7,014	0,000
MI_Kolay_GÖZ_KIRPMA - P 300_Kolay_GÖZ_KIRPMA	-3,896	0,000
MI_Kolay_GDD - P 300_Kolay_GDD	-1,395	0,163
MI_Zor_GÖZ_BEBEĞİ_ÇAP - P 300_Zor_GÖZ_BEBEĞİ_ÇAP	-6,868	0,000
MI_Zor_GÖZ_KIRPMA - P 300_Zor_GÖZ_KIRPMA	-3,962	0,000
MI_Zor_GDD - P 300_Zor_GDD	-4,276	0,000
MI_Kolay_GÖZ_BEBEĞİ_ÇAP - SSVEP_Kolay_GÖZ_BEBEĞİ_ÇAP	-1,999	0,046
MI_Kolay_GÖZ_KIRPMA - SSVEP_Kolay_GÖZ_KIRPMA	-1,247	0,212
MI_Kolay_GDD - SSVEP_Kolay_GDD	-1,640	0,101
MI_Zor_GÖZ_BEBEĞİ_ÇAP - SSVEP_Zor_GÖZ_BEBEĞİ_ÇAP	-5,235	0,000
MI_Zor_GÖZ_KIRPMA - SSVEP_Zor_GÖZ_KIRPMA	-,141	0,888
MI_Zor_GDD - SSVEP_Zor_GDD	-1,046	0,296

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. Mİ ve SSVEP görevleri hariç diğer ikili karşılaştırmaların tamamında anlamlı farklılaşma göstermiştir. GDD ise sadece zor P300 görevleri ile yine zor SSVEP ve Mİ 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.

5.6. Parametrik Olmayan Korelasyon Analizi

Çizelge 5.10'da verilen anlamlı korelasyonlar incelendiğinde, 1. İlişkinin beklendiği gibi göz bebeği çapı ile göz kırpma oranının aynı yönde hareket ettiğini gösterdiği görülmektedir. İkinci ilişki ise beklenmeyen bir ilişkidir. Göz bebeği çapı ile GDD'nin ters yönlü hareketine işaret eden bu ilişkinin, GDD'nin duygusal değişimlere daha hassas olması ve birinci görevde ilk kez BBA kullanan katılımcıların ikinci görevde biraz daha sakinleşerek streslerinin dramatik şekilde azalmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Üçüncü ilişki, rehabet 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. Dördüncü ilişki rehabet etkisi gereği küçülmesi beklenen göz bebeği çapı ile azalması beklenen göz kırpma oranı çıktılarını doğrulayan bir sonuçtur. Beşinci ilişki benzer şekilde rehabet ile azalmaları beklenen göz bebeği çapı ve GDD arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Altıncı ilişki de yine rehabet ile azalmaları beklenen göz bebeği çapı ile göz kırpma oranı arasındaki beklenen sonucu doğrulamaktadır. Yedinci ilişki rehabet etkisinin yoğun olması beklenen Mİ/1 görevi ile ilgili olup beklentinin dışında olmayan bir sonuçtur. Sekizince ve dokuzuncu ilişkiler ise bilişsel yük ağırlıklı Mİ/2 görevindeki başarı düzeyinin katılımcının bilişsel yükü düştükçe arttığını göstermektedir.

Çizelge 5.10 Pearson Korelasyon Analizi Sonuçları

	Aralarında Korelasyon Bulunan Değişkenler		Pearson Katsayısı
1	P 300_Kolay_GÖZ_BEĞİ_ÇAP	P 300_Kolay_GÖZ_KIRPMA	0,319**
2	P 300_Zor_GÖZ_BEĞİ_ÇAP	P 300_Zor_GDD	-0,278*
3	SSVEP_Kolay_BAŞARI	SSVEP_Kolay_GÖZ_KIRPMA	0,467**
4	SSVEP_Kolay_GÖZ_BEĞİ_ÇAP	SSVEP_Kolay_GÖZ_KIRPMA	0,398**
5	SSVEP_Kolay_GÖZ_BEĞİ_ÇAP	SSVEP_Kolay_GDD	0,402**
6	SSVEP_Zor_GÖZ_BEĞİ_ÇAP	SSVEP_Zor_GÖZ_KIRPMA	0,487**
7	MI_Kolay_GÖZ_BEĞİ_ÇAP	MI_Kolay_GÖZ_KIRPMA	0,365**
8	MI_Zor_BAŞARI	MI_Zor_GDD	-0,290*
9	MI_Zor_GÖZ_KIRPMA	MI_Zor_BAŞARI	-0,281*
* 0,05 Düzeyinde Anlamlı İlişki ** 0,01 Düzeyinde Anlamlı İlişki			

5.7. Cinsiyet, AKTS Yüğü ve Not Ortalamasının Görev Performansı ile İlişkisi

Bu bölümde katılımcıların cinsiyetleri, dönemlik ders kredi yükleri not ortalamalarının yaptıkları Beyin Bigisayar Arayüzü görevlerindeki performansları ile ilişkili olup olmadıkları Ki-Kare Bağımsızlık testleriyle araştırılmıştır. Her bir görevin performans kategorilerinin sırasıyla Cinsiyet, AKTS ve Not Ortalaması değişkenleri ile ilişkili olup olmadıkları %95 güven aralığında aşağıdaki hipotezler ile incelenmiştir.

H₀: Değişkenler Arası İlişki Yoktur.

H₁: Değişkenler Arası İlişki Vardır.

Ancak MI/1 ve MI/2 görevlerinde başarı düzeyi tek grupta toplandığından test sonucu elde edilememiştir. Bunun yanı sıra 2x2'lik tablolarda yani karşılaştırılan her iki değişkenin de 2'şer kategorili olduğu durumlarda tabloda beklenen değer frekanslarından herhangi biri 5'den az olduğu durumlarda ki-kare yerine Fisher Tam Olasılık Testi kullanılmıştır (Bayram, 2009). SSVEP görevleri ile Not Ortalaması karşılaştırılması normal şartlarda 2x3'lük bir tablo oluşturduğu halde tabloda beklenen frekanslardan %20'den fazlası 5'den küçük olduğu için ki-kare testi kullanımı uygun değildir (Yıldız ve Bircan,2008). Bu durumu ortadan kaldırmak için Not Ortalamasının normalde 2.00'ın altı, 2.00-3.00 arası ve 3.00'ün üstü şeklinde 3'e ayrılmış olan kategorileri birleştirilerek 2,5 altı ve 2,5 üstü olarak 2 kategoriye indirilmiştir. Tek anlamlı ilişki AKTS kredi yükü ile SSVEP/2 görevi arasında ortaya çıkmıştır. Özet sonuçlar Çizelge 5.11'de sunulmuştur.

Çizelge 5.11 Ki-Kare Bağımsızlık Testi Sonuçları

Değişkenler		Çapraz Tablo	Beklenen Değeri 5'den Küçük Hücre Oranı	Pearson Ki-Kare	Fisher Tam Olasılık Testi (2 Yönlü)
CİNSİYET	P 300/1	2*2	0%	0,388	0,455
CİNSİYET	P 300/2	2*2	50%	0,421	0,452
CİNSİYET	SSVEP/1	2*2	0%	0,268	0,335
CİNSİYET	SSVEP/2	2*2	0%	0,268	0,335
AKTS	P 300/1	2*2	0%	0,309	0,445
AKTS	P 300/2	2*2	50%	0,515	0,694
AKTS	SSVEP/1	2*2	0%	0,922	1
AKTS	SSVEP/2	2*2	0%	0,019	0,027
NOT ORT.	P 300/1	2*2	0%	0,227	0,306
NOT ORT.	P 300/2	2*2	50%	0,567	0,699
NOT ORT.	SSVEP/1	2*2	0%	0,508	0,624
NOT ORT.	SSVEP/2	2*2	0%	0,866	1

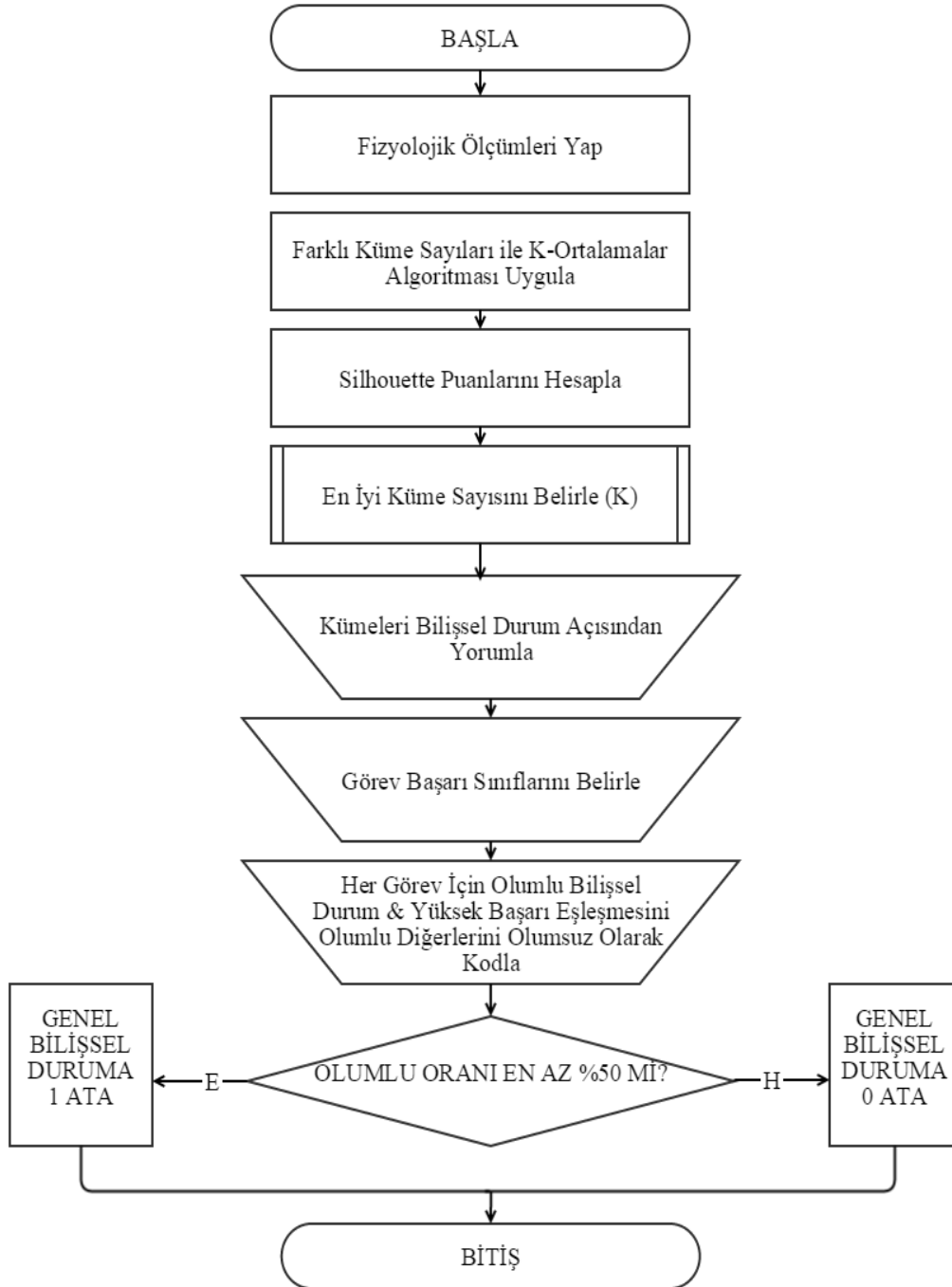
6. VERİ MADENCİLİĞİ İLE BİLİŞSEL DURUMUN ANALİZİ

Veri Madenciliği, büyük miktardaki verilerin çözümlenerek içlerinden önemli olanların ayıklanması ve bu sayede bilginin elde edilerek yorumlanabilmesi için kullanılan yöntemler bütünüdür (Albayrak ve Yılmaz, 2009). Geliştirilen bazı algoritmalar ve bu algoritmaları kullanmayı kolaylaştıran programlar sayesinde yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Sınıflandırma ve Kümeleme sıkça kullanılan veri madenciliği yöntemlerindendir. Sınıflandırmada sınıflar önceden belirlidir ve belli kurallar dahilinde gözlemler uygun sınıflara atanır. Yaygın kullanılan sınıflandırma yöntemleri arasında, Lojistik Regresyon, Bayes Sınıflandırıcıları, Doğrusal Diskriminant Analizi, Karar Ağacı ve Yapay Sinir Ağları sayılabilir. Kümeleme ise verilerin birbirlerine benzerliklerine göre gruplara ayrılması işlemidir. Genellikle aynı kümede yer alan veriler arasındaki uzaklıkların en küçüklenmesini sağlayan algoritmalarından faydalanılır. Kümeleme analizi, değişkenlerin veri noktalarının küme üyeliği, amaç fonksiyonunun ise bu kümelere atanan üyeler arasındaki benzerliği en büyükmek olduğu optimazasyon problemleri olarak da tanımlanabilir (Aggarwal, 2015). Kümelemede Hiyerarşik olan ve Hiyerarşik olmayan yöntemler mevcuttur. Hiyerarşik olan yöntemler arasında en çok bilinenleri En Yakın Komşu ve En Uzak Komşu algoritmalarıdır. Hiyerarşik olmayan yöntemler arasında ise K-Ortalamlar algoritması sayılabilir.

Bu çalışma kapsamında, bilişsel durumlar fizyolojik ölçüm verilerinden faydalanılarak, K-Ortalamlar yöntemi ile kümelendi. Bu kümelerdeki katılımcıların görev performansları da dikkate alınarak bir sınıflandırma yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntemin adımları şöyle sıralanabilir:

- Bilişsel durumun yorumlanması için fizyolojik verilerin toplanması,
- Bu veriler ile 2'li 3'lü ve 4'lü küme sayıları için Silhouette Puanlarının belirlenmesi
- En iyi puana sahip küme sayısının seçilmesi ve bu kümelerin bilişsel durum açısından yorumlanarak etiketlenmesi
- Görevlerdeki başarı düzeylerinin en az 2 sınıfa ayrılması
- Bilişsel durumlar ile başarı durumlarının incelenerek her ikisinde de olumlu sınıfta yer alan kişilerin belirlenmesi.

Yapılan sınıflandırmanın tutarlılığı, Lojistik Regresyon, Karar ağacı ve Yapay Sinir Ağı yöntemleriyle kıyaslanarak incelenmiştir. Önerilen sınıflandırma yönteminin akış diyagramı Şekil 6.1’de sunulmuştur.



Şekil 6.1. Önerilen Sınıflandırma Yönteminin Akış Diyagramı

6.1. K-Ortalamlar Algoritması ile Fizyolojik Verilerin Kümelenmesi

Katılımcıların bilişsel durumlarını gruplandırmak amacıyla K-Ortalamlar kümeleme algoritması kullanılmıştır. K-Ortalamlar algoritması kümeleme algoritmaları arasında en eski ve en yaygın kullanılan yöntemlerden birisidir (Wu, 2012). Bu yöntem kısaca sürekli kümelerin yenilendiği ve en uygun çözüm bulunana kadar da bu yenileme işlemine devam eden bir algoritma olarak tanımlanabilir (Silahtaroglu, 2013). Eldeki verileri önceden belirlenmiş k adet kümeye ayırmak ve küme merkezlerini de her bir kümedeki verilerin ortalaması olarak belirlemek bu yöntemin temelini oluşturur. Bu algoritma için en iyi çözüm küme içi varyansın en düşük ve kümeler arası varyansın da en yüksek olduğu çözümdür (Özdamar, 2011). Arka arkaya iki kez aynı çözüm bulununca, algoritma çalışmayı durdurur. K-ortalamlar yönteminde küme sayısının önceden bilinmesi gerektiği için 2'li 3'lü ve 4'lü kümeler için denemeler yapılmış ve kümeleme kalitesini gösteren içsel sına yöntemlerinden biri olan Silhouette skorları hesaplanmıştır.

Silhouette puanı -1 ile +1 arasında değer alabilen ve kümelemenin kalitesini gösteren bir göstergedir. Bu değer 1'e ne kadar yakınsa yapılan kümeleme o kadar başarılı olmuş demektir. Bu puan K-Ortalamlar gibi küme sayısının önceden bilinmesini gerektiren yöntemlerde en iyi küme sayısını bulmak için de kullanılır. Bu çalışmada 2'li kümelemenin en başarılı sonuçları verdiği belirlenmiştir. Ayrıca fizyolojik verilere performans düzeyi verisi de eklenerek yeniden 2-3-4'lü kümeleme analizleri denenmiş, ancak Silhouette skorlarının düşüş gösterdiği ve fizyolojik belirtilerin sonuçlarının yorum yapılacak kadar net şekilde kümelenemediği görülmüştür. Bu yüzden bilişsel durum sınıfları kümelendikten sonra ilgili kümeler hakkında bireysel performans verilerinden yola çıkılarak yorum yapma yoluna gidilmiştir. Fizyolojik belirtilerin Silhouette puanları Çizelge 6.1'de sunulmuştur.

Çizelge 6.1 K-Ortalamlar Kümeleme Analizi Silhouette Puanları

Görevler	Küme Sayısı	Silhouette Puanı	Yüzde Karşılığı
P 300/1	2	0.65	82.50%
	3	0.57	78.50%
	4	0.64	82%
P 300/2	2	0.60	80%
	3	0.54	77%
	4	0.59	79.50%
SSVEP/1	2	0.78	89%
	3	0.59	79.50%
	4	0.60	80%
SSVEP/2	2	0.59	79.50%
	3	0.58	79%
	4	0.55	77.50%
MI/1	2	0.59	79.50%
	3	0.59	79.50%
	4	0.58	79%
MI/2	2	0.60	80%
	3	0.52	76%
	4	0.60	80%

Oluşturulan 2'li kümeler görevin gerektirdiği bilişsel çabaya ve risk oluşturmaları beklenen bilişsel duruma göre yorumlanmıştır:

- Ağırlıklı olarak bilişsel çaba gerektiren P 300 görevleri için daha yüksek bilişsel yüklenmeye işaret eden küme riskli küme olarak etiketlenmiştir.
- SSVEP görevinin özellikleri gereği asıl risk monotonluk durumu olduğundan bilişsel yüklenmenin tersi yönde hareket eden fizyolojik belirtilerin toplandığı grup riskli olarak etiketlenmiştir.
- Motor İmgeleme/1 görevinde bilişsel talep daha az, yoğunlaşma gereksinimi daha yüksek olduğundan bilişsel yüklenmenin tersi eğilim gösteren küme riskli küme olarak etiketlenmiştir.
- Motor İmgeleme/2 görevinde ise yoğunlaşma yanında anlık geri bildirim sağlayan ve devamlı takip edilen bir gösterge bulunduğundan bilişsel çaba gerektiren kaynak daha fazla olduğu için bilişsel yüklenme eğilimi gösteren grup riskli olarak etiketlenmiştir.

- Kümeler yorumlanırken, fizyolojik belirtilerin hepsinin bu yorumu desteklememesi durumunda, daha önce yapılan istatistiksel analizlerde hem aynı görevin farklı zorluk derecelerindeki tekrarlarında hem de farklı görev türleri arasında çoğunlukla anlamlı farklılaşmalar gösteren ve en hassas fizyolojik ölçü olarak ön plana çıkan göz bebeği çap değişimi baz alınmıştır.

Tüm görevler için daha riskli görülen kümeler 0 ile daha az riskli görünen kümeler 1 ile etiketlenmiştir. P 300/1 görevinde 0 kümesine 26 kişi, 1 kümesine ise 44 kişi atanmıştır (Çizelge 6.2).

Çizelge 6.2 P 300/1 Görevi Kümeleme Sonuçları

	Küme Merkezleri	
	0	1
P 300/1 Göz Bebeği Çap Değişimi	20.84	5.76
P 300/1 Göz Kırpma Oranı	0.0754	0.0565
P 300/1 GDD	0.0047	0.0046
Küme Büyüklüğü	26	44

Çizelge 6.2 incelendiğinde Göz bebeği çapı değişimi daha fazla seyreden grubun daha fazla bilişsel yüke maruz kaldıkları yorumu yapılabilir. Görsel çaba gereksinimi düşük bir görev olduğundan, Göz Kırpma oranının 0 kümesinde yani daha çok bilişsel yüklenen kümede daha yüksek seyrettiği görülmüştür. GDD değerleri merkezleri ise her iki kümede hemen hemen aynıdır. Bilişsel yüke daha fazla kalanların oluşturduğu 0 kümesinde daha farklı şekilde yüksek çıkması beklenmekle beraber görevin kolay ve stresten uzak olması nedeniyle ciddi farklılaşmalar olmaması anlaşılabilir.

Çizelge 6.3 P 300/2 Görevi Kümeleme Sonuçları

	Küme Merkezleri	
	0	1
P 300/2 Göz Bebeği Çap Değişimi	32.36	11.41
P 300/2 Göz Kırpma Oranı	0.065	0.093
P 300/2 GDD	0.0058	0.0071
Küme Büyüklüğü	41	29

Çizelge 6.3 P 300/2 görevi için oluşan küme bilgilerini göstermektedir. Bu görevde tablo içinde harf arama, daha hızlı ve daha sık yanıp sönen harfleri yakalama gibi görsel çaba gereksinimi daha yoğun olduğundan 0 kümesinde göz kırpma oranı daha düşük seyretmiştir. Yine bu nedenlerde bilişsel çaba da arttığından göz bebeği çap değerinin büyüklüğü 0 kümesindekilerin daha çok bilişsel yüklendiğine işaret etmektedir. Bu noktada beklenmeyen tek sonuç daha fazla bilişsel yüklendiği düşünülen 0 kümesinde GDD değerinin 1 kümesine göre daha düşük olmasıdır. Bu durumun nedenlerinden birisi K-ortalamlar yönteminin küme merkezlerini belirlerken ortalama değerleri kullanması ve bu nedenle uç değerlerden etkilenmesidir. Çalışmada 0,0622 ile en yüksek GDD değerine sahip katılımcı bu görevde 1 kümesine atanmıştır. Bir diğer nedenin ise bu görevdeki hızlı davranma baskısı nedeniyle 1 kümesindekilerin daha az bilişsel yüklenmelerine rağmen daha fazla stres ve duygusal değişime maruz kalmış olabilecekleridir. GDD'ın stres ve duygusal değişimlere karşı oldukça hassas olduğu düşünülürse böyle bir neden mümkün görünmektedir. Bu konuyu netleştirmek için Nasa-TLX skorları incelenmiştir. Nasa-TLX ölçülerinden birisi olan Gerginlik Düzeyinin katılımcıların toplam Nasa-TLX skorları üzerindeki etkilerine bakıldığında 0 kümesine atananların Gerginlik Düzeyi puanlarının toplam Nasa-TLX puanları içindeki etkisinin ortalama %13,26 olduğu görülmüştür. Aynı oran 1 kümesine atananlarda %15.03 olarak saptanmıştır. Başka bir deyişle 1 kümesine atananlar görev esnasında Gerginliğin Etkisini daha fazla hissettiklerini beyan etmişlerdir. Bu durum da GDD küme merkezleri ile örtüşmektedir.

Çizelge 6.4 SSVEP/1 Görevi Kümeleme Sonuçları

	Küme Merkezleri	
	0	1
SSVEP/1 Göz Bebeği Çap Değişimi	-7.21	32.99
SSVEP/1 Göz Kırpma Oranı	0.05	0.154
SSVEP/1 GDD	0.004	0.0085
Küme Büyüklüğü	66	4

Çizelge 6.4, SSVEP görevinin kümeleme sonuçlarını göstermektedir. Bu görev, sabit frekanslarla yanıp sönen lambalara eşit sürelerle ve sabit bir sırayla odaklanmayı gerektirmektedir. Dolayısıyla, bu yönüyle monoton bir görevdir. Dolayısıyla bu görevde bilişsel bir çabadan ziyade bu monotonluktan kaynaklanan rahavet etkileri beklenmektedir.

Göz bebeği çapı düşüş gösteren 0 kümesindeki katılımcıların rehavet etkisinde oldukları yorumu yapılabilir. Monotonluk arttıkça göz bebeği kırpma oranının azalması ve 0 kümesindekilerin göz kırpma oranının da daha düşük seyretmesi bu durumu desteklemektedir. Benzer şekilde rahatlık, rehavet etkisindeki kişilerin GDD değerleri de düşeceğinden tüm göstergeler 0 kümesinin rehavet etkisinde olduğunu destekler niteliktedir.

Çizelge 6.5 SSVEP/2 Görevi Kümeleme Sonuçları

	Küme Merkezleri	
	0	1
SSVEP/2 Göz Bebeği Çap Değişimi	-10.55	5.59
SSVEP/2 Göz Kırpma Oranı	0.038	0.068
SSVEP/2 GDD	0.0044	0.0042
Küme Büyüklüğü	52	18

SSVEP/2 görevinde lambalara odaklanma süreleri uzatılmış böylece monotonluk etkisinin artırılması hedeflenmiştir. Çizelge 6.5 incelendiğinde rehavet etkisinde kalanların sayısı azalmış olmakla beraber bu etkinin göz bebeği çapı ve göz kırpma üzerindeki değişiklikleri daha nettir. GDD küme merkezleri hemen hemen aynı olmakla beraber 0 kümesinde 1 kümesine göre daha düşük seyretmesi beklenmektedir. Bu durum işin monotonluğunun artmasının anlık duygu değişimlerine ve gerginliğin artışına bağlanmıştır. Bu görev için Nasa-TLX skorlarının Gerginlik Ölçüsü incelendiğinde 0 kümesindekilerin gerginlik puanlarının toplam puan üzerindeki etkisi %13,68 çıkarken 1 kümesindekilerin %11,62 çıkmıştır. Bu da monotonluktan daha fazla etkilenen grubun aynı zamanda içerik olarak ilk SSVEP görevinin tekrarı olan bu görevden sıkıldıkları, gerginliği daha fazla hissettikleri ve bu durumun GDD seviyelerini etkilediği şeklinde yorumlanmıştır.

Çizelge 6.6 MI/1 Görevi Kümeleme Sonuçları

	Küme Merkezleri	
	0	1
MI/1 Göz Bebeği Çap Değişimi	-7.35	7.76
MI/1 Göz Kırpma Oranı	0.042	0.096
MI/1 GDD	0.0039	0.0041
Küme Büyüklüğü	45	25

MI/1 görevi içerik olarak bilişsel bir süreç olsa da asıl önemli noktası özel bir düşünceye odaklanabilmektir. İçeriğinde görsel çaba, anlama, yorumlama, hafıza kullanımı yoktur. Görevin asıl riski ise odaklanmayı kaybetmektir. Buna rehavet etkisi veya düşüncenin dağılması bir başka deyişle zihinsel kaçamaklar neden olabilmektedir. Bu görev yoğun bir bilişsel veya görsel çaba gerektirmediğinden Çizelge 6.6’da verildiği üzere 0 ile etiketlenen riskli kümeye göz bebeği çapı ve göz kırpma sayısı düşük olanlar girmiştir. GDD değerleri de bu kişilerin muhtemel bir rehavet etkisinde olduklarını desteklemektedir.

Çizelge 6.7 MI/2 Görevi Kümeleme Sonuçları

	Küme Merkezleri	
	0	1
MI/2 Göz Bebeği Çap Değişimi	14.82	-1.48
MI/2 Göz Kırpma Oranı	0.069	0.047
MI/2 GDD	0.0048	0.004
Küme Büyüklüğü	19	51

İkinci Mİ görevi içerik olarak birincisinden farklıdır. Burada katılımcılara sağa ve sola hareket halinde olan mavi bir çizgi aracılığıyla anlık geri bildirim sağlanmıştır. Bu mavi çizgi katılımcının odaklanma başarısına göre ya istenilen yöne ya da tam tersi yöne hareket etmektedir. Katılımcılar bu mavi oku kendi istedikleri yöne mümkün olduğunca çok hareket ettirmeye çalışmışlardır. Bu sayede birinci Mİ görevinden farklı olarak bir takip gereksinimi oluşturulmuştur. Bu durum bilişsel çabayı arttırdığından risk grubu olarak daha fazla bilişsel yüklenenler Çizelge 6.7’te gösterildiği gibi 0 kümesinde toplanmışlardır. Bu görevdeki görsel takip bir bilişsel çabayı arttırmaktan daha çok

monotonluğu azalttığından göz kırpması oranı bilişsel olarak daha fazla yüklenen grupta tıpkı göz bebeği çapı gibi artış göstermiştir. GDD değerleri de bu durumu destekler niteliktedir.

6.2. Görev Performanslarının Sınıflandırılması

Yorumlar yapılırken kullanılan G.tec Beyin Bilgisayar Arayüzü Sisteminin önerdiği performans 3'lü sınıflandırmasından (Kötü-İyi-Mükemmel) yararlanılmıştır. Bu performans sınıflarının yaratılması Guger vd. (2007), Guger vd. (2009) ve Guger vd. (2012) çalışmalarına dayanmaktadır. Bu çalışmalarda P 300, SSVEP ve Motor İmgeleme görevlerinde insanların ne kadar başarılı olabildiği araştırılmıştır. Her üç görev türü için de katılımcıların en az %50'sinin %70 sınıflandırma başarısı sağladığı görüldüğünden bu performansın altında kalanların başarısı düşük, %70-90 arası kalanlar iyi, %90 ve üzeri ise mükemmel performans olarak kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında da öncelikle ikili bir sınıflandırma hedeflendiğinden %70 başarı eşik değeri kabul edilerek bunun altı düşük performans olarak yorumlanmıştır. Böylece 2'li görev performansı sınıfları elde edilmiştir. Düşük başarı 0, yüksek başarı 1 ile kodlanmıştır.

6.3. Görev Risk Sınıfları ve Genel Risk Sınıflarının Belirlenmesi

Görev risk sınıflarının belirlenmesi için kişilerin bilişsel durumları ve görev performansları dikkate alınmıştır. Düşük risk sınıfının belirlenmesinde Risksiz Bilişsel Durum-Yüksek Performans kombinasyonunun sağlanması şartı aranmıştır. Bunun dışındaki tüm kombinasyonlar yüksek risk sınıfına atanmıştır. Bu sayede hem bilişsel durumu görevin özellikleri gereği düşük risk teşkil eden hem de sürekli dikkati ve odaklanmayı korumayı gerektiren görevlerdeki başarısı yüksek olanlar genel olarak zihinsel ağırlık bir görev için düşük riskli kabul edilmiştir.

Genel risk sınıflarının belirlenmesinde 6 görevin tamamındaki risk sınıfları dikkate alınmıştır. Bu sınıflandırma aşamasında Lojistik Regresyon ile sınıflandırmada da kullanılan %50 kesme şartı uygulanmıştır yani 6 görevin 3 ve daha fazlasında düşük riskli grupta olanlar genel risk sınıfı olarak da düşük risk sınıfına atanmıştır. Bu şartı sağlamayanlar yüksek genel risk sınıfına atanmışlardır. Bu durumda 70 katılımcının 59'u yüksek risk, 11'i ise düşük risk sınıfında yer almışlardır.

6.4. Lojistik Regresyon Analizi ile Sınıflandırma

Yapılan sınıflandırmanın diğer yöntemlerle tutarlılığının incelenmesi için kullanılan ilk yöntem İkili Lojistik Regresyon olmuştur. Lojistik Regresyon Analizi yöntemi kategorik bağımlı değişkenlerle uygulanabilen, neden sonuç ilişkilerinin araştırılmasında,

bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi incelemeye ve sınıflandırmada kullanılan bir yöntemdir. Regresyon analizinin bazı varsayımlarının sağlanmaması durumunda kullanılabilmesi bu yöntemi avantajlı kılmaktadır (Girginer ve Cankuş, 2008). Lojistik Regresyon modeli aşağıda sunulmuştur.

$$\pi(x) = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x}} \quad (6.1)$$

Bu çalışmada sınıflandırma amaçlı kullanılan ve tüm değişkenlerin aynı anda blok halinde modele katıldığı ENTER metodunun kullanıldığı analizde, fizyolojik belirti ölçümleri ve görev performans değerlerinin bağımsız değişkenler olarak yer aldığı bir model kurularak sınıflandırma tutarlılığı incelenmiştir. İlk denemede kesme değeri olarak 0,50, ikinci denemede 0,70 kullanılmıştır. Her iki denemede de aynı sınıflandırma tablosu oluşmuş ve sınıflandırma tutarlılığı %100 olmuştur (Çizelge 6.9). Modelin Nagelkerke R² değeri 1.0 çıkmış yani model, bağımlı değişkendeki (Risk Sınıfları) varyansı tam olarak açıklayabilmiştir. Modelin geçerliliğini gösteren Omnibus Testi sonuçları Çizelge 6.8’te sunulmuş modelin %95 güven aralığında anlamlı olduğu görülmüştür.

Çizelge 6.8 Omnibus Testi Sonuçları

	Ki-Kare	SD	P
Adım	60.886	24	.000
Blok	60.886	24	.000
Model	60.886	24	.000

Çizelge 6.9 İkili Lojistik Regresyon Sınıflandırma Tablosu

Gözlenen			Tahmin Edilen		
			Genel Risk Sınıfı		Tahmin Doğruluğu
			Yüksek Risk	Düşük Risk	
Adım 1	Genel Risk Sınıfı	Yüksek Risk	59	0	100.0
		Düşük Risk	0	11	100.0

6.5. Karar Ağaçları ile Sınıflandırma

Lojistik Regresyonun ardından tahmin tutarlılığını test etmek için Karar Ağaçları yöntemi de uygulanmıştır. Karar ağaçları veri madenciliğinde maliyeti düşük, yorumlanması kolay ve güvenilirliği yüksek olması nedeniyle yaygın kullanılan bir yöntemdir (Emel ve Taşkın, 2005). Karar Ağaçları, kök, dal ve yaprak adı verilen yapılarla oluşturulur. Veriler, kök ile başlayıp dallanarak sonunda yaprak adı verilen yapılara kadar bölünür. Ağaç yapısı tüm verilerin bulunduğu kök ile başlar ve gözlemlerin hepsi aynı sınıfa aitse dallanma olmaz. Gözlemlerin hepsi aynı sınıfa atanmayacaksa ayrımı sağlayacak en iyi özelliğe göre gözlemler bölünmeye başlar (Kavzoğlu ve Çölkesen, 2010). Bu aşamada SPSS 22 paket programı tarafından sağlanan CHAID, CART ve QUEST algoritmaları için denemeler yapılmıştır. Görev performans yüzde değerleri ve fizyolojik ölçüm verileri ile oluşturulan karar ağaçlarında CHAID algoritması %90, CART algoritması %100 ve QUEST algoritması %87,1 tahmin doğruluğu sağlamışlardır (Çizelge 6.10).

CHAID algoritması Ki-Kare testlerini kullanarak bir ağaç oluşturur. Bu yönüyle aynı zamanda istatistiğe de dayanan bir algoritmadır. (Silahtaroglu, 2013). Bu algoritma ikili ağaç oluşturmaktadır. Bu yüzden de her bir değişkendeki 2 değere indirilerek ilerler. CART algoritması ayırma kriterini belirlemek için entropiden yararlanır ve 2'li ağaç yapısını benimser. QUEST algoritması ise en son geliştirilen karar ağacı algoritmalarından biri olup verilerin özelliğine göre sürekli değişkenler için ANOVA, kategorik değişkenler için Pearson Ki-Kare testlerinden faydalananak hangi değişkene göre ayırım yapılacağını belirler.

Çizelge 6.10 CHAID, CART ve QUEST ile Karar Ağaçları Sınıflandırma Tabloları

CHAID ALGORİTMASI	Gözlenen	Tahmin Edilen		
		Yüksek Risk	Düşük Risk	Tahmin Doğruluğu
	Yüksek Risk	59	0	100.0%
	Düşük Risk	7	4	36.4%
	Genel Tahmin	94.3%	5.7%	90.0%
CART ALGORİTMASI	Gözlenen	Tahmin Edilen		
		Yüksek Risk	Düşük Risk	Tahmin Doğruluğu
	Yüksek Risk	59	0	100.0%
	Düşük Risk	0	11	100.0%
	Genel Tahmin	84.3%	15.7%	100.0%
QUEST ALGORİTMASI	Gözlenen	Tahmin Edilen		
		Yüksek Risk	Düşük Risk	Tahmin Doğruluğu
	Yüksek Risk	59	0	100.0%
	Düşük Risk	9	2	18.2%
	Genel Tahmin	97.1%	2.9%	87.1%

Çizelge 6.10 incelendiğinde %100 tutarlılık sağlayamayan karar ağacı algoritmalarında tutarsızlıkların hepsinin düşük risk grubu atamalarında olduğu görülmektedir. CHAID algoritması düşük risk grubunda yer alması beklenen 7 katılımcıyı (Katılımcı 3, 12, 13, 14, 39, 67, 68) yüksek risk grubuna atamıştır. Bu katılımcılar incelendiğinde Katılımcı 3'ün P300/1 görevinde göz bebeği çap değişim oranının (%20,03) ortalamasının (%11,36) oldukça üzerinde olduğu ayrıca P300/1 ve P300/2 görev başarı düzeylerinin de yine ortalamasının sırasıyla %16,29 ve %18,37 kadar altında kaldığı görülmüştür. Katılımcı 12'nin en çok sapma gösteren değişkenleri ise P300/1, P300/2 ve SSVEP/1 görevlerindeki göz bebeği çap değişimleridir. Bu değerler ortalamaya göre P300/1 ve P300/2 görevlerinde sırasıyla %13 ve %20,19 yüksek çıkmıştır. SSVEP/1 görevinde ise yaklaşık %18 daha fazla düşüş göstermiştir. Katılımcı 13'ün ortalamaya göre en çok sapma gösteren verisi P300/1 görevindeki göz kırpmadır. Bu görevde saniyede ortalama göz kırpması tüm katılımcılar için 0,064 iken katılımcı 13 P300/1 görevi sırasında saniyede 0,218 kez göz kırpmıştır. Katılımcı 14 ise P300/1 ve P300/2 görevlerinde sırasıyla %36,29 ve %29,37 daha düşük başarı göstermiştir. Katılımcı 39'un verileri incelendiğinde tüm görev türlerinde göz kırpması sayısının ortalamasının altında kaldığı görülmektedir. Bu durum rehabet ağırlıklı görevlerde istenmeyen bir durum olduğundan katılımcının algoritma tarafından yüksek riskli olarak algılandığı düşünülmektedir. Katılımcı 67, P300/2 görevi sırasında daha fazla ortalamaya göre daha fazla bilişsel yüklendiğini göz bebeği çapındaki %17,19'luk daha fazla büyüme ile görmek mümkündür. Aynı katılımcı Mİ/1 görevinde de %10,89 kadar daha fazla göz bebeği küçülme oranına sahip olarak bu görev sırasında rehabetten de oldukça etkilendiğini göstermiştir. Katılımcı 68'in verileri incelendiğinde ise P300/2 görevi başarı düzeyinde ortalamasının %18,26 kadar altında kaldığı ayrıca Mİ/1 görevinde de ortalamaya göre saniyede 0,041 kez daha az göz kırptığı görülmektedir.

QUEST algoritması ise düşük risk grubunda yer alması beklenen 9 katılımcıyı yüksek risk grubuna atamıştır. Bu katılımcılar; 8, 11, 13, 14, 35, 39, 42, 67 ve 68 numaralı katılımcılardır. CHAID algoritmasından farklı olarak düşük risk grubuna atanması beklenirken yüksek risk grubuna atanan katılımcılar ise; 8, 11, 35 ve 42 numaralı katılımcılardır. Katılımcı 8'e ait deney sonuçları incelendiğinde P300/1 ve P300/2 görev başarı düzeylerinin ortalamasının yarısından daha az olduğu görülmektedir. Katılımcı P300/1 görevinde %20, P300/2 görevinde ise %11,1 düzeyinde başarı sağlamıştır. Katılımcı 11 ise P300/2 görevinde bilişsel yüklenme belirtilerinden göz kırpması değişim

oranı ve göz kırpma oranında ortalamanın oldukça üstünde değerlere sahiptir. P300/2 görevinde 11. Katılımcının göz bebeği büyüme oranı ortalamanın %10,71 kadar üzerinde seyretmiş ayrıca aynı görevdeki göz kırpma sayısı da saniyede 0,056 daha fazla da olmuştur. Katılımcı 35'in verileri incelendiğinde MI/1 görevindeki göz bebeği çap değerinin, ortalamanın %14,43 kadar üzerinde seyrettiği görülmektedir. Katılımcı 42'nin deney sonuçlarına göre ise bu katılımcının SSVEP/2 görevi sırasında göz bebeği küçülme oranının ortalamaya göre %16,69 daha fazla olduğu ve bu görevdeki rahavet etkisini en yoğun yaşayanlardan biri olduğu görülmektedir.

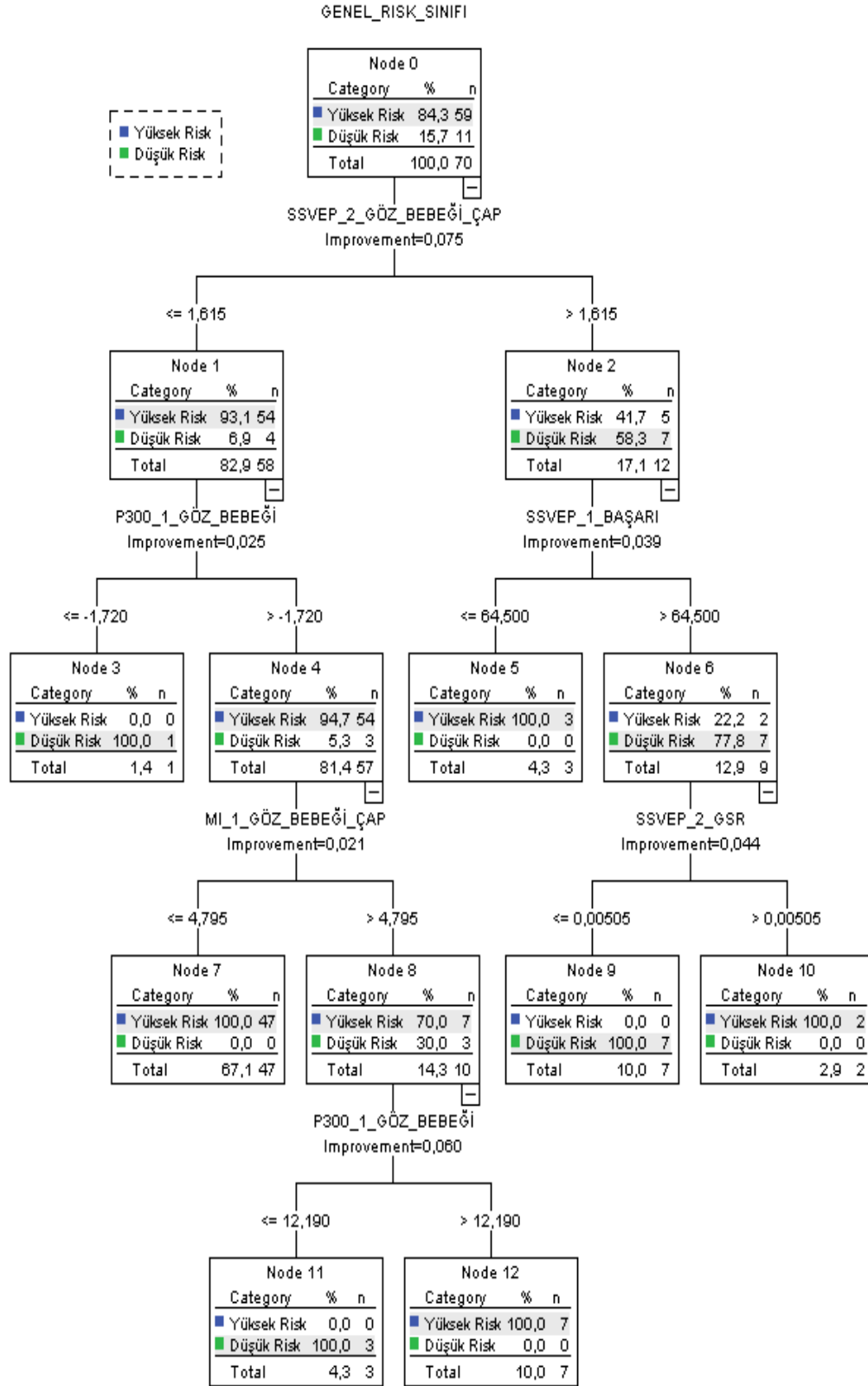
Tam tutarlılık sağlayan CART algoritması ile oluşturulan karar ağacı yapısı incelendiğinde Çizelge 6.11'de özetlenen yapı gözlenmiştir. Sınıflandırmada en etkili değişken SSVEP/2 Görevi Göz Bebeği Çapı olurken sınıflandırmayı dolaylı etkileyen diğer değişkenler P 300/1 Göz Bebeği Çapı, SSVEP/1 Başarı Düzeyi, MI/1 Göz Bebeği Çapı ve SSVEP/2 GDD değişkenleri olmuştur.

Çizelge 6.11 CART Algoritması ile Oluşturulan Karar Ağacı Yapısının Özeti

Düğüm	Dal Sayısı	Değişken	Ayrım Noktası	Yüksek Risk (N)	Düşük Risk (N)
Düğüm 0	2	SSVEP/2 Göz Bebeği Çapı	1.615	59	11
Düğüm 1	2	P 300/1 Göz Bebeği Çapı	1.72	54	4
Düğüm 2	2	SSVEP/1 Başarı Düzeyi	64.5	5	7
Düğüm 3	-	-	-	0	1
Düğüm 4	2	MI/1 Göz Bebeği Çapı	4.795	54	3
Düğüm 5	-	-	-	3	0
Düğüm 6	2	SSVEP/2 GDD	0.00505	2	7
Düğüm 7	-	-	-	47	0
Düğüm 8	2	P 300/1 Göz Bebeği Çapı	12.19	7	3
Düğüm 9	-	-	-	0	7
Düğüm 10	-	-	-	2	0
Düğüm 11	-	-	-	0	3
Düğüm 12	-	-	-	7	0

Şekil 6.2'de sunulan Karar Ağacı üzerinden daha detaylı yorum yapmak mümkündür. Karar Ağacının çıkartılabilecek önemli bazı noktalar şöyle sıralanabilir;

- SSVEP/2 görevi esnasında göz bebeği çap $\%1,615$ 'den daha az büyüyen ya da bu görev esnasında göz bebeği küçülen 58 katılımcının 54'ü ($\%93,1$ 'i) Yüksek Risk sınıfına girmişlerdir.
- İlk adımda yüksek risk sınıfına giren 54 kişinin tamamının P 300/1 görevi esnasında gözbebeği çapları en az $\%1.72$ büyümüştür.
- SSVEP/2 görevi esnasında göz bebeği çapı en az $\%1,615$ büyüyen ve Düşük Risk sınıfında yer alan katılımcıların tamam aynı zamanda SSVEP/1 görevinde $\%64,5$ ve daha fazla başarı sağlayan kişilerdir.
- P 300/1 görevinde göz bebeği çapı en az $\%1,72$ büyüyen katılımcıların (54 kişi) $\%87$ 'sinin (47 kişi) MI/1 görevi sırasında göz bebekleri en fazla $\% 4,795$ büyümüş veya küçülme göstermiştir. Bu kişilerin tamamı Yüksek Risk sınıfında yer almışlardır.



Şekil 6.2 CART Algoritması ile Elde Edilen Karar Ağacının Yapısı

6.6. Yapay Sinir Ağları ile Sınıflandırma

Önerilen bilişsel durum kümeleri ve görev performansları temelli sınıflandırma yönteminin diğer sınıflandırma teknikleri ile tutarlılığını test etmek için, Lojistik Regresyon ve Karar Ağaçlarıyla birlikte kullanılan son yöntem Yapay Sinir Ağları olmuştur.

Yapay Sinir Ağları, girdi ve çıktı parametrelerinin arasındaki doğrusal ya da doğrusal olmayan ilişkiler kurabilen yapılardır. İnsan beyninin işleyişini taklit ederler. Örnekleri kullanarak öğrenebilmeleri ve daha önce karşılaşmadıkları örnekler hakkında bilgi üretebilmeleri en önemli avantajlarındandır (Güven ve Sağiroğlu, 2008). Bu sayede öğrendikleri olaylardan yola çıkarak tutarlı kararlar verebilirler. Yapay sinir ağları, her biri birer bilgi işleme ünitesi olarak görev yapan yapay sinir hücrelerinin birbirine bağlanmasıyla meydana gelmektedirler (Kantardzic, 2011). Tek katmanlı ve çok katmanlı yapılarda olabilirler. Çok katmanlı yapay sinir ağlarında giriş katmanı, ara katmanlar ve çıkış katmanı bulunmaktadır. Giriş katmanı dışardan alınan verileri işleyerek ara katmanlara gönderir. Ara katmanların sayısı ağın yapısına bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Ara katmanlarda yapılan hesaplamalardan sonra veriler çıktı katmanına iletilirler.

Çalışmanın bu aşamasında gizli katman aktivasyon fonksiyonu olarak Hiperbolik Tanjant, çıktı katmanı Softmax olan çok katmanlı bir ağ yapısı kullanılmıştır. Fizyolojik ölçümlerin ve görev performanslarını girdi olarak kullanıldığı bu uygulamada verilerin tamamı eğitim seti olarak ayrılmıştır. SPSS 22 paket programında sunulan Batch, Online ve Mini-Batch eğitim yöntemleriyle, çok katmanlı ağ yapıları oluşturularak denemeler yapılmış ve sırasıyla Batch eğitim yöntemi ile %100, Online yöntemi ile %97,1 ve son olarak Mini-Batch yöntemi ile %98,6 düzeyinde tahmin başarısı sağlanmıştır. Bu denemeler ile elde edilen sınıflandırmaların detayları Çizelge 6.12’de sunulmuştur.

Çizelge 6.12 Yapay Sinir Ağları Sınıflandırma Sonuçları

BATCH			Tahmin Edilen		
			Yüksek Risk	Düşük Risk	Doğru Tahmin
Eğitim		Yüksek Risk	59	0	100.0%
		Düşük Risk	0	11	100.0%
		Toplam Doğru Tahmin Oranı	84.3%	15.7%	100.0%
ONLINE			Tahmin Edilen		
			Yüksek Risk	Düşük Risk	Doğru Tahmin
Eğitim		Yüksek Risk	58	1	98.3%
		Düşük Risk	1	10	90.9%
		Toplam Doğru Tahmin Oranı	84.3%	15.7%	97.1%
MINI-BATCH			Tahmin Edilen		
			Yüksek Risk	Düşük Risk	Doğru Tahmin
Eğitim		Yüksek Risk	59	0	100.0%
		Düşük Risk	1	10	90.9%
		Toplam Doğru Tahmin Oranı	85.7%	14.3%	98.6%

Çizelge 6.12'ye göre Online eğitim yönteminde düşük risk sınıfında olması beklenen bir katılımcı yüksek risk sınıfına ve yüksek risk sınıfında olması beklenen bir katılımcı da düşük risk sınıfına atanmıştır. Yüksek Risk sınıfına atanan katılımcı 67 numaralı katılımcı olup, karar ağaçları sonuçları değerlendirilirlen verileri incelenmiştir. Düşük Risk sınıfına atanan katılımcı ise 66 numaralı katılımcıdır. Bu katılımcının verileri incelendiğinde P300/1, P300/2, SSVEP/1 ve SSVEP/2 görevlerinde sağladığı başarı düzeyinin ortalamalara göre sırasıyla %43,71, %26,19, %5 ve %8,79 daha yüksek olduğu görülmüştür. 6 görevin 4'ünde sağlanan bu yüksek başarı düzeylerinin katılımcının düşük riskli gruba atanmasında etkili olduğu söylenebilir.

Mini-Batch yönteminde beklenen gruba atanmayan tek katılımcı 42 numaralı katılımcıdır. Bu katılımcı karar ağacının QUEST algoritmasında da aynı şekilde düşük riskli sınıfta beklenirken yüksek riskli sınıfa atanmıştır. Bu katılımcının yüksek risk sınıfında yer almasında SSVEP/2 görevindeki yoğun rahvet etkisine işaret eden ve ortalamanın %16,69 üzerinde küçülme gösteren göz bebeği çap değişimi verisinin etkili olduğu söylenebilir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

İnsan hatalarından kaynaklı hata ve kazalar hayatın her alanında karşılaşılabılır durumlardır. Özellikle üretim, ulaşım gibi alanlarda bu tür hataların hem insan sağlığına hem de sistemin işleyişine etkileri daha büyük olabilmektedir. İnsanlardan kaynaklamam hataların birden fazla boyutu vardır. Çalışma ortamının tasarımı ve şartları, fiziksel yorgunluk, zihinsel yorgunluk, insanın bilişsel durumu ve işin bilişsel gereksinimleri bunlar arasında sayılabilir. Bu etkenlerden takip ve tespit edilmesi en zor olanı insanın bilişsel durumudur. Bilişsel durum aşırı bilişsel yüklenme, işin monotonluğundan kaynaklı rehabet, dikkat dağılması, odaklanamama gibi yapılan işe bağlı olarak çeşitli düzeylerde risk oluşmasına neden olmaktadır. Bu alanda yapılan çalışmaların pek çoğu araç sürücülerinin rehabet etkisine girip girmediğinin tespiti üzerine yoğunlaşmıştır. Bunun yanında bilişsel yükün ve zihinsel yorgunluğun tespitine yönelik çalışmalarda çok çeşitli yaklaşımlarla irdelenmektedir.

İş başında yapılan bir hatanın ya da oluşan bir kazanın analizi yapılmaya çalışılırken genellikle insanın bilişsel durumu göz ardı edilir veya edilmek zorunda kalınır. Bunun sebebi bu bilgileri sağlayacak, direkt ölçüm imkânlarının olmamasıdır. Bu konudaki çalışmalar bu yüzden bazı sübjektif ve objektif yöntemlerle mevcut durumun kestirilmeye çalışılmasından ibarettir.

Sübjektif yöntemler arasında, Nasa-TLX gibi genel geçerliliği kabul görmüş yöntemler olsa da daha güçlü araçlara ihtiyaç duyulması araştırmacıları yeni yollar bulmaya itmiştir. Bir görevdeki performansın takip edilmesi gibi davranışsal ölçüler, otonom sinir sisteminden kaynaklı fiziksel belirtilerin takibi bu arayış sonucunda alternatifler haline gelmiştir. Özellikle Otonom Sinir Sistemine bağlı fizyolojik belirtiler objektif olmalarından dolayı oldukça ilgi çekmektedirler. Kalp atış hızı değişkenliği, nefes alma hızı, göz bebeği çapı değişimleri, göz kırpma sayısı ve süresi, galvanik deri direnci gibi fizyolojik yöntemler bilişsel yük ve bilişsel durum tespiti çalışmalarında ön planda çıkmaktadırlar. Daha doğrudan veri toplamak için ise beyin aktiviteleri tercih edilmektedir. Gelişen teknolojinin sadece beyin dalgalarının takibine değil, beyin aktivitelerini detaylı şekilde görüntülemeye de fırsat tanınması bu alandaki çalışmaları daha çok bu yöne kaydırmıştır. Yine gelişen teknolojinin etkisiyle göz bebeği çapı gibi bilişsel anlamda hassasiyeti kanıtlanmış bir ölçünün de hızlı ve doğru şekilde takip edilebilmesi bu konuda araştırma yapanlara avantaj sağlamaktadır.

Her ne kadar fizyolojik belirtilerin ve beyin aktivitelerin takibi konusunda kullanılabilecek cihaz ve yöntemler artsa da, bu durum fizyolojik belirtilerin özellikle yorumlanma konusundaki karmaşıklığını tam olarak giderememiştir. Çevresel etkilerden çok çabuk etkilenebilen bu tür belirti ve aktivitelerin kontrollü laboratuvar ortamlarında veri toplanarak yorumlanmasını daha olası hale getirmektedir. Özellikle beyin aktivitelerinin yorumlanması özel uzmanlık gerektirdiğinden, doğrudan çalışma hayatına yönelik çalışmalarda kullanılması kolay değildir.

Bu noktada, aslında felçli hastaların hayatını kolaylaştırmak üzere geliştirilen ve beyin aktiviteleri ile bilgisayar ve cihazları kontrol etme imkânı tanıyan Beyin Bilgisayar Arayüzleri bilişsel çalışmalar yapan araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Bazı özel beyin aktiviteleri ile kullanılabilen bu arayüzler son yıllarda bilişsel durum ve bilişsel yük tespiti çalışmalarında kullanılmaya başlanmıştır. Sinyal verisi dışında arayüzler aracılığıyla doğrudan ilgili beyin aktivitesinin ortaya çıkıp çıkmadığının tespit edilebilmesi bu cihazların sağladığı verilerin daha kolay yorumlanabilmesi demektir.

Bu tez kapsamında bir BBA sistemi kullanılarak 6 adet görev geliştirilmiş ve görevlerle eş zamanlı olarak da göz bebeği çapı, göz kırpma sayısı ve GDD verileri kayıt altına alınmıştır. Bu sayede hem doğrudan dikkat ve konsantrasyon gerektiren görevlerin yine doğrudan beyin aktiviteleri ile yerine getirilmesi sağlanmış hem de fizyolojik ölçümler ile davranışsal ölçümlerin avantajları bir araya getirilmiştir. Destekleyici bir unsur olarak da sübjektif yöntemlerden en bilineni olan Nasa-TLX yönteminden faydalanılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmada bazı sınırlılıklar ile karşılaşmıştır. Katılımcıların öğrenci olması, öğrencilerin derslerinin devam ediyor oluşu ve deneylerin uzun sürmesi nedeniyle katılımcı sayısı daha fazla arttırılamamıştır. Yine katılımcıların öğrencilerden bulunması nedeniyle sınırlı bir yaş aralığı dikkate alınabilmektedir. Fabrika çalışanları, sürücüler gibi farklı sektörlerden katılımcıların çalıştıkları zaman dilimlerinde veri toplamak, deneylerin uzun sürmesi nedeniyle mesai saatlerini olumsuz etkileyebileceğinden mümkün olmamıştır.

Deneylere 30 Erkek, 40 kadın olmak üzere toplam 70 lisans ve lisansüstü düzeyde üniversite öğrencisi katılmıştır. Katılımcılar 2 adet P 300 görevi, 2 adet SSVEP görevi 2 adet de Motor İmgeleme görevi olmak üzere toplam 6 görevi yerine getirmişlerdir. Bu görevlerin her birinin kendi karakteristikleri vardır. P 300 görevleri beyindeki P 300 potansiyelinin oluşturulmasını gerektiren görevler olup bilişsel yükü arttırıcı türden

görevlerdir. SSVEP potansiyeli ile yerine getirilen görevler monoton görevler olup katılımcıların görev esnasında rehavete kapılma eğilimlerini arttıran görevlerdir. Motor İmgeleme görevleri ise sağ veya sol elle bazı motor hareketlerinin yapıldığı düşüncesine odaklanarak yerine getirilen görevlerdir. Bu görevlerden ilkinde katılımcıya geri bildirim sağlanamadığından daha çok odaklanabilme başarısı ile ilgilidir. İkinci Motor İmgeleme görevi ise katılımcıya sağlanan anlık geri bildirim ve gözle görülebilen bir hedef olması nedeniyle bilişsel açıdan daha çok yük oluşturma potansiyeline sahiptir. Bu görevlerde sağlanan başarı düzeyleri, toplanan göz bebeği çapı, göz kırpma sayısı ve GDD verileri derlenmiş ve istatistiki bazı analizler uygulanmıştır. Benzer çalışmalarda deney tasarımı yöntemlerinden faydalanılması, bir gönüllü havuzu oluşturularak uygun özellikteki katılımcıların deneye davet edilmesi faktör etkileri ve faktör etkileşimlerinin dikkate alınması konusunda avantaj sağlayacaktır.

Yapılan istatistiki analizler bu alanda yapılacak benzer çalışmalar için bazı öneriler geliştirmeye imkân tanımıştır. Görev başarı düzeylerinin karşılaştırılmasında zor görev ile kolay görev arasında performans farkını anlamlı şekilde ortaya koyan görev türü P/300 olmuştur. Bu tür çalışmalarda sadece davranışsal ölçülerden yola çıkılarak bilişsel yük tahmini yapılacaksa BBA uygulaması olarak P300 görevlerinin tasarlanması daha uygun görünmektedir. SSVEP görevleri için bir robot veya cihaz kullanımı, Mİ görevleri için de bilgisayar oyunu benzeri görevler tasarlanması görevlerin zorluk derecelerinin performans üzerindeki etkilerini görmeyi kolaylaştırabilecektir. Yapılan analizler rehavet ve bilişsel yük seviyesinin ayrımını yaparken en hassas ölçünün göz bebeği çapı olduğunu göstermiştir. Hem görev zorluklarına göre, hem de görev türlerine göre karşılaştırılmalar yapıldığında en çok anlamlı farklılaşma gösteren ölçü göz bebeği çapı olmuştur. Yapılacak benzer deneylerde bu ölçünün kullanılması avantaj sağlayacaktır. Göz kırpma oranı ölçüsü P300 görevleri ile SSVEP ve Mİ görevleri arasında anlamlı sonuçlar sağlamaktadır. Bu ölçünün farklı görev türlerindeki davranışların incelenmesi açısından faydalı olabileceği görülmüştür. GDD ölçüsü ise özellikle bilişsel yükün yüksek seyrettiği P300 görevlerinde, anlamlı sonuçlar verebilecek bir ölçü olarak ön plana çıkmaktadır.

Sonraki aşamalarda ise tüm katılımcı verileri dikkate alınarak önce istatistiki testler ile olası etkileşimler anlaşılmaya çalışılmış daha sonra ise verilerin kümelenmesi yoluna gidilmiştir. Yapılan kümeleme analizlerinde yöntem olarak K-ortalamlar tekniği kullanılmış ve en güçlü kümelemelerin küme sayısının 2 olduğu durumda elde edildiği sonucu Silhouette puanları yardımıyla tespit edilmiştir. Her bir görev için, katılımcıların

fizyolojik verileri ile ikili kümeler oluşturulduktan sonra kümeler tek tek incelenmiş ve katılımcıların bilişsel yük, rahavet etkisi, odaklanma gibi durumları hakkında yorumlar yapılmıştır. Bu yorumlar yapılırken görevin özellikleri gereği katılımcıların girmesi beklenen bilişsel durum ve bu durumların beklenen fizyolojik etkileri dikkate alınmıştır.

Bilişsel durum kümeleri oluşturulup görev bazında olumlu ve olumsuz grupta bulunanlar etiketlendikten sonra her bir görev için bilişsel risk sınıfları oluşturulmuştur. Bu aşamada katılımcıların bilişsel durumları ve BBA görevlerindeki performansları karşılaştırılmıştır. Hem bilişsel durumu olumlu hem de görev performansı yüksek olanlar olumlu bilişsel risk sınıfına atanmıştır. Bilişsel durumu olumsuz ve/veya görev performansı düşük olanlar olumsuz bilişsel risk sınıfına atanmışlardır. Böylece katılımcıların dikkat gerektiren görevlerde gerçekleşen performansları ve bu görevler yapılırken içinde bulundukları bilişsel durum beraber dikkate alınmıştır. Genel risk sınıfları ise 6 görev için oluşturulan bilişsel risk sınıflarında %50 kesme şartı aranarak oluşturulmuştur. Yapılan 6 görevin en az 3 tanesinde olumlu bilişsel risk sınıfında yer alanlar genel risk sınıflandırılmasında da olumlu yani genel riski düşük görülen tarafta yer almışlardır. Bu şartı sağlayamayanlar ise olumsuz yani genel riski yüksek olan sınıfa atanmışlardır.

Sonraki aşamada yapılan bu risk sınıflandırması süreci başka sınıflandırma yöntemleriyle karşılaştırılmıştır. Bu yöntemlerden ilki olan İkili Lojistik Regresyonu ile yapılan iki farklı denemede de (kesme şartı %50 ve %70) %100 tutarlılık sağlanmıştır. İkinci yöntem olarak kullanılan Karar Ağacı yönteminde SPSS 22 paket programının sağladığı 3 farklı algoritma denenmiştir. Bu algoritmalarından biri olan CRT algoritması ile yapılan sınıflandırma da %100 tutarlılık göstermiştir. Uygulanan son sınıflandırma yöntemi Yapay Sinir Ağları yöntemidir. %100 eğitim verisi ile oluşturulan Yapay Sinir ağının BATCH eğitim yöntemiyle yaptığı sınıflandırma %100 tutarlılık sağlamıştır.

Bu çalışma BBA sistemlerinin tıp dışı kullanım alanlarına bir örnek teşkil etmektedir. Beyin aktivitelerinin bilişsel durum çalışmalarındaki güvenilirliğini, yorumlama zorluğundan arındırarak koruyan bu deney yöntemi aynı zamanda diğer fizyolojik belirtiler ile de desteklenmiştir. Deney esnasında yaptırılan görevlerin kişilerin kişisel yetenek ve donanımlarından bağımsız olması ve doğrudan beyin aktiviteleri ile yerine getirilmesi yöntemin bir başka avantajıdır.

BBA sistemlerinin yakın gelecekte bilişsel yüklenme ve bilişsel durum çalışmalarında çok daha yoğun şekilde kullanılacağı beklenmektedir. Bu sistemlerine

esnek yapılarda olması sektöre ve amaca özel arayüzler oluşturulabilmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda 3 boyutu sanal ortamlar ile entegre edilen BBA sistemlerinin gerçeğe uygun simülasyon ortamları yaratması da mümkündür. Uygulama ve yorumlama kolaylığı bu tür sistemlerin iş hayatında kendilerine kullanım alanı yaratabileceklerini göstermektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Aggarwal, C. C., 2015, Data Mining: The Textbook, Springer, p.16.
- Albayrak, A.,Yılmaz, Ş., 2009, Veri Madenciliği: Karar Ağacı Algoritmaları ve İMKB Verileri Üzerine Bir Uygulama, Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 14(1).
- Alkaç Ü., 2009, Beyin Araştırmaları Tarihinde Bir Gezinti:Elektronörofizyoloji, Klinik Gelişim, 2009-3, 14-19
- 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.
- 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.
- Antonenko, P., Paas, F., Grabner, R., Van Gog, T. 2010, Using electroencephalography to measure cognitive load, Educational Psychology Review, 224, 425-438.
- Ayaz, H., İzzetoğlu, K., Çakır, M. P., Curtin, A., Harrison, J., İzzetoğlu, M., Onaral, B. 2012, April. Functional brain activity monitoring during unmanned aerial vehicle coordination. In Signal Processing and Communications Applications Conference SIU, 2012 20th pp. 1-4. IEEE.
- Bai, L., Yu, T., Li, Y., 2015. A brain computer interface-based explorer, Journal of neuroscience methods, 244, 2-7.
- Abdulrahman B., Young M., Ajovalasit M., 2012 Interaction Effects of Physical and Mental Tasks on Auditory Attentional Resources, Advances in Cognitive Engineering and Neuroergonomics, 16, 81.
- Bashivan, P., Bidelman, G. M., Yeasin, M., 2013, Neural correlates of visual working memory load through unsupervised spatial filtering of EEG, InProceedings of 3rd workshop on Machine Learning and interpretation in neuroimaging.
- Bayram, N., 2009, Sosyal Bilimlerde SPSS ile Veri Analizi, Ezgi Kİtabevi, s.125-135
- Bednar, J., Chen, Y., Liu, T. X., Page, S., 2012., Behavioral spillovers and cognitive load in multiple games: An experimental study, Games and Economic Behavior, 741, 12-31.
- Bengler, K., Kohlmann, M., Lange, C. 2011, Assessment of cognitive workload of in-vehicle systems using a visual peripheral and tactile detection task setting. Work Reading, Mass., 41, 4919-4923.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Blankertz, B., Tangermann, M., Vidaurre, C., Fazli, S., Sannelli, C., Haufe, S., Müller, K. R., 2010, The Berlin brain–computer interface: non-medical uses of BCI technology. *Frontiers in neuroscience*, 4.
- Boksem, M. A., Meijman, T. F., Lorist, M. M. 2005, Effects of mental fatigue on attention: an ERP study., *Cognitive brain research*, 251, 107-116.
- 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.
- Brewster, S. A., 1991. Using non-speech sound to overcome information overload. *Displays*, 17(3), 179-189.
- Brunken, R., Plass, J. L., Leutner, D., 2003, Direct measurement of cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 53-61.
- Casado, A., Zabala M., Morales E., March M., Sanabria D., 2013, Cognitive Performance and Heart Rate Variability: The Influence of Fitness Level, *PLoS ONE* 82.
- Chen, S., Epps, J., 2014, Using task-induced pupil diameter and blink rate to infer cognitive load, *Human–Computer Interaction*, 294, 390-413.
- Cheng, Shyh-Yueh, Lo C., Chen J., 2012 fNIRS and EEG Study in Mental Stress Arising from Time Pressure, *Advances in Cognitive Engineering and Neuroergonomics* 16, 249.
- Chuang, C. H., Lai, P. C., Ko, L. W., Kuo, B. C., Lin, C. T., 2010, Driver's cognitive state classification toward brain computer interface via using a generalized and supervised technology, In *Neural Networks IJCNN, The 2010 International Joint Conference on* pp. 1-7.
- Colin, T. R., Mioch, T., Smets, N. J., Neerincx, M. A., 2012, September. Estimating an operator's cognitive state in real time: A user modeling approach. In *RO-MAN, 2012 IEEE* pp. 627-633. IEEE.
- Conway, D., Dick, I., Li, Z., Wang, Y., Chen, F., 2013, The Effect of Stress on Cognitive Load Measurement. In *Human-Computer Interaction–INTERACT 2013* p. 659-666. Springer Berlin Heidelberg.
- Çağıltay, K., 2011, İnsan Bilgisayar Etkileşimi ve Kullanılabilirlik Mühendisliği: Teoriden Pratiğe, ODTÜ Yayınları, s.51-58
- Çakmak, E. K., 2007, Çoklu Ortamlarda Dar Boğaz: Aşırı Bilişsel Yüklenme. *Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 27(2), 1-24.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Dere F., Durgun B., Spor Eğitimi İçin Fonksiyonel Anatomi, Okullar Pazarı Kitapevi, Adana, 1994
- 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.
- 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.
- Emel, G. G., Taşkın, Ç. 2005, Veri Madenciliğinde Karar Ağaçları ve Bir Satış Analizi Uygulaması. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 62.
- Fadlallah, B., Seth, S., Keil, A., Principe, J., 2012. Quantifying cognitive state from EEG using dependence measures. *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, 5910, 2773-2781.
- Gartenberg, D., McGarry, R., Pfannenstiel, D., Cisler, D., Shaw, T., Parasuraman, R., ,2012, Development of a Neuroergonomic Application to Evaluate Arousal. *Advances in Cognitive Engineering and Neuroergonomics*, 239.
- Gegenfurtner A., Seppänen M., 2013, Transfer of expertise: An eye tracking and think aloud study using dynamic medical visualizations, *Computers Education* 63, 393–403.
- Gençer N., Uşaklı A., Erdoğan H., Akıncı B., Acar E., 2010, ODTÜ Beyin Araştırmaları Laboratuvarı: Beyin-Bilgisayar Arayüzü çalışmaları , *ODTÜLÜ*, 45, 20-21
- Girginer, N., Cankuş, B., 2008, Tramvay Yolcu Memnuniyetinin Lojistik Regresyon Analiziyle Ölçülmesi: Estraam Örneği. *Yönetim ve Ekonomi: Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 151, 181-193.
- Guger, C., Edlinger, G., 2007, How many people can control a brain-computer interface BBA. *Proc. BrainPlay*, 29-32.
- Guger, C., Allison, B. Z., Großwindhager, B., Prückl, R., Hintermüller, C., Kapeller, C., Edlinger, G., 2012, How many people could use an SSVEP BBA?. *Frontiers in neuroscience*, 6.
- Guger, C., Daban, S., Sellers, E., Holzner, C., Krausz, G., Carabalona, R., Edlinger, G., 2009, How many people are able to control a P 300-based brain-computer interface BBA?, *Neuroscience letters*, 4621, 94-98.
- Güngen, C., Ertan, T., Eker, E., Yaşar, R., Engin, F., 2002, Standardize mini mental test'in Türk toplumunda hafif demans tanısında geçerlik ve güvenilirliği. *Türk Psikiyatri Dergisi*, 13, 273-281.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Güven, E. N., Onur, H., & Sağiroğlu, Ş., 2008, Yapay Sinir Ağları ile Web İçeriklerini Sınıflandırma, *Bilgi Dünyası*, 9(1), 158-178.
- Gwizdka, J., 2010, Assessing cognitive load on Web search tasks. arXiv preprint arXiv:1001.1685.
- Hart, S. G., Staveland, L. E. 1988, Development of Nasa-TLX Task Load Index: Results of empirical and theoretical research. *Advances in psychology*, 52, 139-183.
- 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.
- Hashemi, A., Saba, V., Resalat, S. N., 2014, Real Time Driver's Drowsiness Detection by Processing the EEG Signals Stimulated with External Flickering Light. *Basic and clinical neuroscience*, 51, 22.
- Head, J., Helton, W. S., 2014, Sustained attention failures are primarily due to sustained cognitive load not task monotony. *Acta psychologica*, 153, 87-94.
- 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.
- 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.
- Iwasak H., Hagiwara H., 2012 Availability and Future Prospects of Functional Near-infrared Spectroscopy fNIRS in Usability Evaluation, *Advances in Cognitive Engineering and Neuroergonomics* 16, 259.
- Jepma, M., Nieuwenhuis, S., 2011,. Pupil diameter predicts changes in the exploration–exploitation trade-off: evidence for the adaptive gain theory. *Journal of cognitive neuroscience*, 23(7), 1587-1596.
- Jiang, Y., Hong, J., Li, X., Wang, W., 2012, An ERP Study on Instrument Form Cognition. *Advances in Cognitive Engineering and Neuroergonomics*, 308.
- Kalyuga, S. 2011, Cognitive load theory: How many types of load does it really need?. *Educational Psychology Review*, 231, 1-19.
- Kang OE., Huffer KE., Wheatley TP., 2014, Pupil Dilation Dynamics Track Attention to High-Level Information, Geng JJ, ed. *PLoS ONE*, 98:e102463. doi:10.1371/journal.pone.0102463.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Kantardzic, M., 2011, Data mining: concepts, models, methods, and algorithms. John Wiley & Sons, p. 202.
- Karagöz M., Alkaç Ü., Ergen N., Eradaımlar N., Alpkan L., 2005, Psikiyatrik Hastalıklarda Elektrofizyolojik P 300 Yöntemler, Düşünen Adam, 184,210-216
- Kavzoğlu, T., Çölkesen, İ., 2010, Karar Ağaçları İle Uydu Görüntülerinin Sınıflandırılması. Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2(1), 36-45.
- Keshvari B., Abdulrani M., 2012 Effect of Occupational Stress among Workshop Trainees, Advances in Cognitive Engineering and Neuroergonomics 16, 99.
- 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.
- Klingner, J., Tversky, B., Hanrahan, P., 2011. Effects of visual and verbal presentation on cognitive load in vigilance, memory, and arithmetic tasks. Psychophysiology, 483, 323-332.
- Kurniawan, H., Maslov, A. V., Pechenizkiy, M., 2013, Stress detection from speech and galvanic skin response signals, In Computer-Based Medical Systems CBMS, IEEE 26th International Symposium on pp. 209-214, IEEE.
- Lan, T., Adami, A., Erdogmus, D., Pavel, M., 2003, Estimating Cognitive State using EEG signals. Journal of Machine Learning, 4, 1261-1269.
- 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.
- Lim, J. H., Hwang, H. J., Han, C. H., Jung, K. Y., Im, C. H., 2013, Classification of binary intentions for individuals with impaired oculomotor function: 'eyes-closed' SSVEP-based brain-computer interface BBA, Journal of neural engineering, 102, 026021.
- Liu, H. C., Lai, M. L., Chuang, H. H. 2011, Using eye-tracking technology to investigate the redundant effect of multimedia web pages on viewers' cognitive processes. Computers in Human Behavior, 276, 2410-2417.
- Marshall, S. P., 2007, Identifying cognitive state from eye metrics. Aviation, space, and environmental medicine, 78Supplement 1, B165-B175.
- 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.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Mısırlıoğlu, M., Yardımcı, S. Y., 2012, Orofasial Ağrıların Değerlendirilmesinde Yeni Vizyon: fMRI, KÜ Tıp Fak Derg., 143
- Mitchell, T. M., Hutchinson, R., Niculescu, R. S., Pereira, F., Wang, X., Just, M., Newman, S., 2004, Learning to decode cognitive states from brain images. *Machine Learning*, 571-2, 145-175.
- Mulder, T. 2007, Motor İmgeleme and action observation: cognitive tools for rehabilitation. *Journal of neural transmission*, 11410, 1265-1278.
- Myrden, A., Chau, T. 2015, Effects of user mental state on EEG-BBA performance, *Name: Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 308.
- Niculescu, A. I., vd., 2010, Measuring stress and cognitive load effects on the perceived quality of a multimodal dialogue system, *Proceedings of Measuring Behavior 2010*
- Nourbakhsh, N., Wang, Y., Chen, F., 2013, GDD and blink features for cognitive load classification. In *Human-Computer Interaction–INTERACT 2013*, pp. 159-166. Springer Berlin Heidelberg.
- 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.
- Noyes, J. M., & Bruneau, D. P. (2007). A self-analysis of the Nasa-TLX workload measure. *Ergonomics*, 50(4), 514-519.
- Özdamar K., 2011, Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi, Cilt 2, Kaan Kitabevi
- Paas F., Renkl A., Sweller J., 2003, Cognitive load theory and instructional design: Recent developments, *Educational psychologist* 38.1, 1-4.
- Palinko, O., Kun, A. L., Shyrovkov, A., Heeman, P., 2010, March. Estimating cognitive load using remote eye tracking in a driving simulator. In *Proceedings of the Symposium on Eye-Tracking Research Applications* pp. 141-144. ACM.
- Partala, T., Surakka, V., 2003, Pupil size variation as an indication of affective processing. *International journal of human-computer studies*, 591, 185-198
- Perego, P., Turconi, A. C., Andreoni, G., Maggi, L., Beretta, E., Parini, S., Gagliardi, C., 2011, Cognitive ability assessment by Brain–Computer Interface: Validation of a new assessment method for cognitive abilities. *Journal of neuroscience methods*, 239-250.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Pomplun, M., vd., 2003, Pupil dilation as an indicator of cognitive workload in human-computer interaction. In Proceedings of the International Conference on HCI.
- Rosenfield, M., Jahan, S., Nunez, K., Chan, K. 2015, Cognitive demand, digital screens and blink rate. *Computers in Human Behavior*, 51, 403-406.
- Roy, R. N., Bonnet, S., Charbonnier, S., Campagne, A., 2013, Mental fatigue and working memory load estimation: Interaction and implications for eeg-based passive BBA, In Engineering in Medicine and Biology Society EMBC, 2013 35th Annual International Conference of the IEEE p. 6607-6610. IEEE.
- Rozado, D., Duenser, A., Howell, B., 2015, Improving the Performance of an EEG-Based Motor Imagery Brain Computer Interface Using Task Evoked Changes in Pupil Diameter, *PloS one*, 103.
- 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*, 531, 61-86.
- Sanders, M. S., McCormick, E. J., 1987, Human factors in engineering and design, McGRAW-HILL book company, p.655..
- Schreuder, M., Riccio, A., Riseti, M., Dähne, S., Ramsay, A., Williamson, J., Tangermann, M., 2013. User-centered design in brain-computer interfaces—A case study. *Artificial intelligence in medicine*, 592, 71-80.
- Schultheis H., Jameson A., 2004, Assessing Cognitive Load in Adaptive Hypermedia Systems: Physiological and Behavioral Methods, *Proceedings of AH*, 225-234.
- Sciarini, L. W., Grubb, J. D., Fatolitis, P. G., 2014, September. Cognitive State Assessment Examination of EEG-based Measures on a Stroop Task. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Vol. 58, No. 1*, pp. 215-219. SAGE Publications.
- Sezer, E., 2008, Epilepsi teşhisi için EEG sinyal analizi Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Shi Y., Ruiz N., Taib R., Choi E., Chen F., 2007, Galvanic Skin Response GDD as an Index of Cognitive Load, CHI EA '07 CHI '07 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, 2651-2656.
- Silahtaroglu, G., 2013, Veri Madenciliği, Papatya Yayınevi, s.67.
- Soares, V. C. G., Souza, J. K. S., Ginani, G. E., Pompéia, S., Tierra-Criollo, C. J., Melges, D. B., 2013, Identification of drowsiness and alertness conditions by means of Spectral F-Test applied to pupillometric signals. In *Journal of Physics: Conference Series Vol. 477, No. 1*, p. 012027. IOP Publishing.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Taber, K. S., 2008, Conceptual resources for learning science: Issues of transience and grain-size in cognition and cognitive structure. *International Journal of Science Education*, 308, 1027-1053.
- Takano, K., Iijima, Y., Sakamoto, S., Tanno, Y., 2014, Exploring the cognitive load of negative thinking: A novel dual-task experiment. *Journal of behavior therapy and experimental psychiatry*, 454, 435-440.
- Taube, W., Mouthon, M., Leukel, C., Hoogewoud, H. M., Annoni, J. M., Keller, M., 2015, Brain activity during observation and motor İmgeleme of different balance tasks: An fMRI study. *Cortex*, 64, 102-114.
- Tekin, V., 2009, SPSS Uygulamalı İstatistik Teknikleri, Seçkin Yayınevi, s.162.
- 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.
- Tripathi, K. K., Mukundan, C., Mathew, T. L., 2003, Attentional modulation of heart rate variability KHD during execution of PC based cognitive tasks. *Ind J Aerospace Med*, 471, 1-10.
- Uçak N., Güzeldere Ş., 2006, Bilişsel yapının ve işlemlerin bilgi arama davranışı üzerine etkisi, *Türk Kütüphaneciliği* 20.1, 7-28.
- Van Erp, J. B., Lotte, F., Tangermann, M., 2012, Brain-computer interfaces: beyond medical applications. *Computer*, 4, 26-34.
- Van Orden, K. F., Jung, T. P., Makeig, S., 2000, Combined eye activity measures accurately estimate changes in sustained visual task performance. *Biological psychology*, 523, 221-240.
- Vikash, D. N., Barwar N., 2013, Monitoring of Driver Vigilance Using Viola-Jones Technique, *International Journal of Application or Innovation in Engineering Management*, 35.
- Wu, J., 2012, *Advances in K-means clustering: a data mining thinking*, Springer Science & Business Media, p.7.
- Wang, Y. T., Wang, Y., Jung, T. P., 2011, A cell-phone-based brain-computer interface for communication in daily life, *Journal of neural engineering*, 82, 025018.
- Xu, H., Zhang, D., Ouyang, M., Hong, B., 2013, Employing an active mental task to enhance the performance of auditory attention-based brain-computer interfaces, *Clinical Neurophysiology*, 1241, 83-90.
- Yıldız N., Bircan H., 2008, *Uygulamalı İstatistik*, Nobel Yayınevi, s.277.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- 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.
- 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.
- Reid, G. B., Nygren, T. E., 1988, The subjective workload assessment technique: A scaling procedure for measuring mental workload. *Advances in psychology*, 52, 185-218.
- 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.

EK AÇIKLAMALAR

Ek Açıklama-A: Bilgilendirilmiş Gönüllü Olur Formu

Ek Açıklama-B: Anket Formu

Ek Açıklama-C: Türkçe Nasa-TLX Formu

Ek Açıklama-D: Katılımcıların Görev Sonuçları

Ek Açıklama-E: Normallik Testi Çıktıları

Ek Açıklamalar-A

BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU

Sayın Gönüllü,

Bu çalışma Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü bünyesinden yürütülmekte olan bilimsel bir araştırmadır. Araştırmanın amacı zihinsel yüklenme, zihinsel yorgunluk ve zihinsel performans üzerindeki etkileri konusunda Beyin Bilgisayar Arayüzü destekli bir inceleme sistemi geliştirmektir.

Katılacağınız deney yaklaşık 1 saat sürecektir. Çalışmada Elektroansefalografi (EEG) tabanlı Beyin Bilgisayar Arayüzü (BBA) uygulamaları kullanılacaktır. Beyin dalgalarınız ile bilgisayara komut verebileceğiniz bu uygulamalar esnasında otonom sinir sisteminizden kaynaklanan bazı fiziksel belirtileriniz takip edilecektir. Deney esnasında başınızdaki boneye bağlanacak elektrotlar yardımıyla beyin dalgalarınız algılanacak ve beyniniz ile komut vermeniz sağlanacaktır. Eş zamanlı olarak otonom sinir sisteminizden kaynaklı değişiklikleri belirlemek için, galvanik deri direnciniz ve göz hareketleriniz takip edilecektir. Bunun için vücudunuza ilgili algılayıcıların bağlanması ve göz takip işlemini gerçekleştirecek kameralara sahip ekran başında olmanız gerekmektedir. Bone ve tüm algılayıcıların bağlanması ve bunların verileri aktaracağı bilgisayarın hazır hale getirilmesinin ardından BBA uygulamaları ile bilgisayara komut vererek yerine getireceğiniz görevleri yapmanız istenecektir.

Çalışmanın sonunda görevleri yerine getirme başarı düzeyiniz ve hızınızın yanı sıra zihinsel yüklenmenizi tahmin edebileceğimiz otonom sinir sisteminden kaynaklı belirtiler kayıt altına alınacaktır. Çalışmaya toplamda 200 gönüllünün davet edilmesi planlanmıştır. Toplanan tüm veriler katılımcıların **isimleri gizli kalacak şekilde** istatistiki metotlar ile analiz edilecektir.

Çalışmaya Katılmaması Gerekenler:

- 18 yaşını doldurmamışlar.
- Kronik rahatsızlığı bulunanlar.
- Herhangi bir nedenle ilaç kullanmakta olanlar.
- 24 saat ve daha öncesine kadar aşırı derecede alkol ve sigara tüketmiş olanlar.

- Hamile kadınlar.

Bilinmesi Gereken Önemli Noktalar:

- Katılımınız kesinlikle isteğinize bağlıdır. Çalışmaya katılmayabilir veya herhangi bir yerinde bırakabilirsiniz. Böyle bir durumda herhangi bir ceza, tazminat vb. söz konusu değildir.
- Üzerinizde kesinlikle herhangi bir ilaç, tedavi vb. denenmeyecektir. Kullanılacak sistem yalnızca görevleri yerine getirmeniz ve bu esnadaki mevcut durumunuzun gözlenmesi içindir.
- Sizden kesinlikle hiçbir biyolojik materyal elde edilmeyecektir.
- Çalışma esnasında herhangi bir nedenle kendinizi kötü hisseder ve devam edemeyeceğinizi düşünürseniz mutlaka bu konuda yetkili kişiyi bilgilendirmeli ve çalışmayı sonlandırmalısınız.

Bilgilendirilmiş Gönüllü Olur Formundaki tüm açıklamaları okudum. Bana gerekli yazılı ve sözlü bilgilendirme yapıldı. Araştırmaya gönüllü olarak katıldığımı ve istediğim zaman ayrılabileceğimi biliyorum. Söz konusu çalışmaya hiçbir baskı olmadan kendi rızamla katılmayı kabul ediyorum.

Gönüllünün Adı-Soyadı:

İmza:

Tarih:

Araştırma Ekibi Temsilcisinin Adı-Soyadı:

İmza:

Tarih:

Ek Açıklamalar-B

ANKET FORMU

Cinsiyetiniz	K ☐ E ☐							
Yaşınız								
Öğreniminiz	<table border="1"> <tr><td>Lise</td></tr> <tr><td>Lisans Öğrenci</td></tr> <tr><td>YL Öğrenci</td></tr> <tr><td>Doktora Öğrenci</td></tr> <tr><td>Lisans Mezun</td></tr> <tr><td>YL Mezun</td></tr> <tr><td>Doktora Mezun</td></tr> </table>	Lise	Lisans Öğrenci	YL Öğrenci	Doktora Öğrenci	Lisans Mezun	YL Mezun	Doktora Mezun
Lise								
Lisans Öğrenci								
YL Öğrenci								
Doktora Öğrenci								
Lisans Mezun								
YL Mezun								
Doktora Mezun								
Öğrenciyseniz Okul/Bölümünüz								
Öğrenciyseniz Genel Not Ortalamanız								
Öğrenciyseniz Üniversite Giriş Puanınız								
Öğrenciyseniz Bu Dönem Kayıtlı Olduğunuz Toplam Kredi								
Bir İşte Çalışıyor musunuz?	E ☐ H ☐							
Çalışıyorsanız Haftalık Çalışma Saatiniz								

Ek Açıklamalar-C

TÜRKÇE NASA-TLX FORMU

Nasa-TLX

İsim:

Görev:

Zihinsel Gereksinim: Görev zihinsel açıdan ne kadar zorlayıcıydı?

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Çok Düşük

Çok Yüksek

Fiziksel Gereksinim: Görev fiziksel açıdan ne kadar zorlayıcıydı?

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Çok Düşük

Çok Yüksek

Zaman Gereksinimi: Görevin temposu size ne kadar acele ettirdi?

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Çok Az

Çok Fazla

Gösterilen Performans: Görevinizi sizce ne kadar başarıyla tamamladınız?

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Mükemmel

Çok Kötü

Gösterilen Çaba: Performansınız için ne kadar çaba göstermek zorunda kaldınız?

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Çok Düşük

Çok Yüksek

Gerginlik Düzeyi: Görevi yaparken kendinizi ne kadar güvensiz, hevesiz, tedirgin ve sinirli hissettiniz?

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Çok Az

Çok Fazla

Aşağıdaki ikili karşılaştırmalardan hangisinin görev esnasında daha ön plana çıktığını düşünüyorsanız onu işaretleyiniz.

Gösterilen Çaba Veya Gösterilen Performans	Zaman Gereksinim Veya Gerginlik Düzeyi	Gösterilen Performans Veya Zaman Gereksinim
Zaman Gereksinim Veya Gösterilen Çaba	Fiziksel Gereksinim Veya Gerginlik Düzeyi	Zihinsel Gereksinim Veya Fiziksel Gereksinim
Gösterilen Performans Veya Gerginlik Düzeyi	Fiziksel Gereksinim Veya Zaman Gereksinimi	Gerginlik Düzeyi Veya Zihinsel Gereksinim
Fiziksel Gereksinim Veya Gösterilen Performans	Zaman Gereksinimi Veya Zihinsel Gereksinim	Zihinsel Gereksinim Veya Gösterilen Çaba
Gerginlik Düzeyi Veya Gösterilen Çaba	Gösterilen Performans Veya Zihinsel Gereksinim	Gösterilen Çaba Veya Fiziksel Gereksinim

Ek Açıklamalar-D

KATILIMCILARIN GÖREV SONUÇLARI

Çizelge D.1. P300/1 Görevi Sonuçları

KATILIMCI	YAŞ	CİNSİYET	TOPLAM KREDİ (akts)	DIŞ ÇALIŞMA SAATİ	NOT ORT.	P 300/1 BAŞARI	P 300/1 GÖZ BEBEĞİ ÇAP DEĞİŞİMİ	P 300/1 GÖZ KIRPMA (Saniyede)	P 300/1 GDD	P 300/1 Nasa- TLX
KATILIMCI 1	20	1	35	0	2.83	60.00	21.20	0.050	0.0197	67.00
KATILIMCI 2	23	1	26	15	2.91	80.00	20.20	0.300	0.0047	47.33
KATILIMCI 3	20	2	34	0	2.2	40.00	20.03	0.161	0.0048	60.67
KATILIMCI 4	20	2	30	0	2.43	100.00	18.50	0.181	0.0050	68.33
KATILIMCI 5	20	1	30	0	2.1	100.00	18.57	0.064	0.0050	30.67
KATILIMCI 6	20	1	31	0	2.89	40.00	4.87	0.055	0.0051	52.33
KATILIMCI 7	20	1	31	0	2.49	100.00	33.44	0.110	0.0063	61.67
KATILIMCI 8	21	1	34	0	2.12	20.00	4.07	0.070	0.0056	13.33
KATILIMCI 9	20	1	36	0	2.27	20.00	10.84	0.220	0.0046	27.67
KATILIMCI 10	20	1	31	0	2.71	100.00	22.73	0.046	0.0038	12.00
KATILIMCI 11	18	1	29	0	2.82	100.00	9.48	0.046	0.0048	37.00
KATILIMCI 12	21	2	33	0	1.88	60.00	23.62	0.045	0.0047	43.00
KATILIMCI 13	21	1	31	24	2.65	80.00	10.91	0.218	0.0022	31.00
KATILIMCI 14	19	1	30	0	2.44	20.00	-3.22	0.022	0.0037	77.67
KATILIMCI 15	20	1	31	0	3.1	100.00	9.32	0.066	0.0038	21.00
KATILIMCI 16	20	2	34	0	2.23	60.00	36.93	0.204	0.0040	52.33
KATILIMCI 17	20	2	30	0	2.55	40.00	12.52	0.097	0.0030	64.00
KATILIMCI 18	22	2	28	0	2.37	80.00	3.60	0.054	0.0044	30.00
KATILIMCI 19	18	2	29	0	2.37	60.00	14.64	0.045	0.0034	52.00
KATILIMCI 20	18	1	29	0	2.87	100.00	6.56	0.044	0.0025	39.00
KATILIMCI 21	18	1	29	0	2.21	60.00	2.44	0.021	0.0056	43.33
KATILIMCI 22	19	1	30	0	2.24	100.00	15.80	0.048	0.0045	14.00
KATILIMCI 23	18	1	29	0	2.29	20.00	5.43	0.043	0.0049	47.00
KATILIMCI 24	22	1	37	40	2.03	40.00	19.21	0.042	0.0046	50.00
KATILIMCI 25	20	2	32	0	2.72	40.00	6.11	0.075	0.0047	47.33
KATILIMCI 26	19	2	30	0	3.6	60.00	19.54	0.046	0.0069	63.33
KATILIMCI 27	20	2	30	0	2.63	60.00	5.76	0.161	0.0041	62.00
KATILIMCI 28	19	2	30	0	2.19	60.00	14.90	0.045	0.0040	43.00
KATILIMCI 29	18	1	29	0	2.24	80.00	18.02	0.020	0.0036	50.33
KATILIMCI 30	21	1	31	0	2.21	40.00	2.47	0.022	0.0032	27.67
KATILIMCI 31	22	2	28	0	2.26	80.00	9.76	0.045	0.0036	22.33
KATILIMCI 32	19	1	30	0	3	60.00	31.29	0.048	0.0029	14.67
KATILIMCI 33	18	1	28	0	2.47	20.00	10.24	0.046	0.0034	45.33
KATILIMCI 34	27	2	27	40	1.96	20.00	10.06	0.054	0.0039	39.33
KATILIMCI 35	20	1	30	0	3.19	100.00	4.20	0.045	0.0037	41.33
KATILIMCI 36	22	2	25	0	1.88	80.00	6.84	0.044	0.0040	16.67
KATILIMCI 37	20	2	30	0	2.21	60.00	3.15	0.048	0.0038	46.67
KATILIMCI 38	20	1	30	0	2.43	100.00	1.17	0.044	0.0040	52.00
KATILIMCI 39	20	2	30	0	2.22	100.00	7.87	0.064	0.0038	39.00
KATILIMCI 40	20	2	30	0	2.34	40.00	5.66	0.043	0.0033	43.33
KATILIMCI 41	19	1	30	0	2.1	20.00	0.53	0.041	0.0035	21.00
KATILIMCI 42	21	1	31	0	2.59	100.00	-3.72	0.044	0.0036	77.67
KATILIMCI 43	21	1	31	0	2.25	20.00	17.09	0.051	0.0040	50.67
KATILIMCI 44	19	2	30	0	2.98	40.00	23.06	0.049	0.0039	68.33
KATILIMCI 45	20	1	31	0	2.34	80.00	20.46	0.077	0.0040	39.67

KATILIMCI 46	24	2	34	0	2.49	60.00	7.63	0.046	0.0027	64.33
KATILIMCI 47	21	1	31	0	2.12	40.00	3.53	0.045	0.0037	71.00
KATILIMCI 48	19	1	20	0	3.41	0.00	11.88	0.029	0.0037	31.00
KATILIMCI 49	21	1	28	0	2.83	40.00	18.90	0.037	0.0009	20.33
KATILIMCI 50	21	2	31	0	2.3	100.00	16.55	0.045	0.0046	19.00
KATILIMCI 51	20	2	30	0	2.43	0.00	28.55	0.048	0.0025	42.67
KATILIMCI 52	22	2	22	0	1.78	0.00	1.67	0.037	0.0076	35.67
KATILIMCI 53	20	2	32	0	2.23	60.00	18.54	0.056	0.0048	42.67
KATILIMCI 54	19	1	30	0	1.5	0.00	1.97	0.053	0.0080	27.33
KATILIMCI 55	20	1	30	0	3.15	60.00	16.24	0.046	0.0033	47.67
KATILIMCI 56	19	1	31	0	2.01	40.00	8.89	0.046	0.0040	49.67
KATILIMCI 57	28	2	19	45	1.63	60.00	18.84	0.048	0.0040	40.33
KATILIMCI 58	19	2	29	0	2.68	80.00	11.48	0.060	0.0100	39.67
KATILIMCI 59	22	1	31	0	1.99	60.00	8.42	0.037	0.0019	22.67
KATILIMCI 60	22	2	29	0	1.67	0.00	2.17	0.042	0.0044	75.00
KATILIMCI 61	21	2	34	0	2.36	0.00	3.38	0.028	0.0041	47.00
KATILIMCI 62	22	1	36	15	2.61	40.00	1.05	0.029	0.0019	60.00
KATILIMCI 63	22	1	34	0	2.41	20.00	15.08	0.049	0.0031	19.67
KATILIMCI 64	21	1	31	0	2.77	40.00	2.32	0.055	0.0022	24.67
KATILIMCI 65	21	1	31	0	2.26	80.00	10.45	0.047	0.0037	14.67
KATILIMCI 66	24	2	22.5	40	3.5	100.00	0.28	0.049	0.0177	31.00
KATILIMCI 67	35	2	30	40	3.14	80.00	9.15	0.026	0.0049	41.67
KATILIMCI 68	26	1	22.5	0	3	100.00	8.16	0.029	0.0055	30.00
KATILIMCI 69	26	1	22.5	0	3	40.00	11.74	0.049	0.0084	75.00
KATILIMCI 70	25	2	22.5	40	3	0.00	2.43	0.047	0.0058	65.00

Çizelge D.2. P300/2 Görevi Sonuçları

KATILIMCI	YAŞ	CİNSİYET	TOPLAM KREDİ (akts)	DIŞ ÇALIŞMA SAATİ	NOT ORT.	P 300/2 BAŞARI	P 300/2 GÖZ BEBEĞİ ÇAP	P 300/2 GÖZ KIRPMA	P 300/2 GDD	P 300/2 Nasa- TLX
KATILIMCI 1	20	1	35	0	2.83	22.22	24.65	0.060	0.0300	71.33
KATILIMCI 2	23	1	26	15	2.91	33.33	11.05	0.041	0.0051	50.00
KATILIMCI 3	20	2	34	0	2.2	11.11	-2.86	0.070	0.0048	70.33
KATILIMCI 4	20	2	30	0	2.43	77.78	22.05	0.110	0.0053	75.67
KATILIMCI 5	20	1	30	0	2.1	77.78	42.77	0.051	0.0051	58.33
KATILIMCI 6	20	1	31	0	2.89	33.33	14.92	0.122	0.0061	67.67
KATILIMCI 7	20	1	31	0	2.49	55.56	18.01	0.042	0.0060	74.33
KATILIMCI 8	21	1	34	0	2.12	11.11	14.12	0.174	0.0066	33.00
KATILIMCI 9	20	1	36	0	2.27	11.11	4.08	0.050	0.0057	37.33
KATILIMCI 10	20	1	31	0	2.71	66.67	17.06	0.040	0.0038	17.67
KATILIMCI 11	18	1	29	0	2.82	88.89	34.39	0.132	0.0053	42.00
KATILIMCI 12	21	2	33	0	1.88	22.22	36.49	0.352	0.0048	56.33
KATILIMCI 13	21	1	31	24	2.65	55.56	-9.96	0.066	0.0622	48.67
KATILIMCI 14	19	1	30	0	2.44	0.00	6.38	0.331	0.0037	80.33
KATILIMCI 15	20	1	31	0	3.1	55.56	10.34	0.045	0.0039	59.67
KATILIMCI 16	20	2	34	0	2.23	77.78	44.61	0.161	0.0060	52.67
KATILIMCI 17	20	2	30	0	2.55	22.22	3.47	0.407	0.0035	68.67
KATILIMCI 18	22	2	28	0	2.37	88.89	29.37	0.049	0.0085	48.67
KATILIMCI 19	18	2	29	0	2.37	22.22	16.49	0.040	0.0049	68.33
KATILIMCI 20	18	1	29	0	2.87	66.67	13.02	0.144	0.0030	81.00
KATILIMCI 21	18	1	29	0	2.21	33.33	17.19	0.100	0.0065	56.33
KATILIMCI 22	19	1	30	0	2.24	44.44	22.71	0.048	0.0051	58.00
KATILIMCI 23	18	1	29	0	2.29	0.00	27.63	0.046	0.0054	67.33
KATILIMCI 24	22	1	37	40	2.03	22.22	51.95	0.040	0.0051	55.00
KATILIMCI 25	20	2	32	0	2.72	11.11	14.49	0.153	0.0052	60.67
KATILIMCI 26	19	2	30	0	3.6	22.22	31.06	0.090	0.0071	66.33
KATILIMCI 27	20	2	30	0	2.63	66.67	23.23	0.042	0.0039	63.00
KATILIMCI 28	19	2	30	0	2.19	33.33	31.27	0.092	0.0045	66.33
KATILIMCI 29	18	1	29	0	2.24	11.11	38.54	0.049	0.0036	95.00
KATILIMCI 30	21	1	31	0	2.21	0.00	7.57	0.144	0.0035	42.00
KATILIMCI 31	22	2	28	0	2.26	11.11	28.88	0.099	0.0037	63.00
KATILIMCI 32	19	1	30	0	3	11.11	34.78	0.041	0.0031	36.00
KATILIMCI 33	18	1	28	0	2.47	0.00	25.80	0.051	0.0039	61.00
KATILIMCI 34	27	2	27	40	1.96	11.11	28.42	0.049	0.0050	58.00
KATILIMCI 35	20	1	30	0	3.19	44.44	19.83	0.085	0.0037	89.67
KATILIMCI 36	22	2	25	0	1.88	11.11	26.79	0.110	0.0049	58.33
KATILIMCI 37	20	2	30	0	2.21	66.67	18.81	0.042	0.0038	45.33
KATILIMCI 38	20	1	30	0	2.43	33.33	22.00	0.041	0.0057	68.33
KATILIMCI 39	20	2	30	0	2.22	77.78	21.93	0.041	0.0039	81.00
KATILIMCI 40	20	2	30	0	2.34	33.33	29.49	0.049	0.0036	56.33
KATILIMCI 41	19	1	30	0	2.1	11.11	17.27	0.043	0.0047	59.67
KATILIMCI 42	21	1	31	0	2.59	77.78	2.22	0.041	0.0036	80.33
KATILIMCI 43	21	1	31	0	2.25	0.00	16.32	0.043	0.0039	57.00
KATILIMCI 44	19	2	30	0	2.98	0.00	36.59	0.054	0.0049	73.33
KATILIMCI 45	20	1	31	0	2.34	11.11	33.14	0.043	0.0039	50.33
KATILIMCI 46	24	2	34	0	2.49	33.33	24.88	0.042	0.0036	72.33
KATILIMCI 47	21	1	31	0	2.12	0.00	23.58	0.041	0.0038	82.33
KATILIMCI 48	19	1	20	0	3.41	11.11	33.70	0.045	0.0036	47.00
KATILIMCI 49	21	1	28	0	2.83	11.11	27.78	0.051	0.0042	62.67
KATILIMCI 50	21	2	31	0	2.3	44.44	37.10	0.041	0.0066	38.67
KATILIMCI 51	20	2	30	0	2.43	22.22	38.38	0.040	0.0056	59.00
KATILIMCI 52	22	2	22	0	1.78	11.11	29.47	0.046	0.0093	60.00
KATILIMCI 53	20	2	32	0	2.23	22.22	35.29	0.043	0.0059	87.67
KATILIMCI 54	19	1	30	0	1.5	0.00	13.52	0.042	0.0082	59.67
KATILIMCI 55	20	1	30	0	3.15	22.22	36.02	0.049	0.0039	52.00
KATILIMCI 56	19	1	31	0	2.01	22.22	45.86	0.048	0.0059	71.67
KATILIMCI 57	28	2	19	45	1.63	22.22	26.42	0.052	0.0039	82.67
KATILIMCI 58	19	2	29	0	2.68	44.44	39.88	0.042	0.0095	52.00
KATILIMCI 59	22	1	31	0	1.99	11.11	12.92	0.048	0.0028	61.67

KATILIMCI 60	22	2	29	0	1.67	0.00	33.09	0.041	0.0045	86.67
KATILIMCI 61	21	2	34	0	2.36	0.00	42.35	0.041	0.0036	60.00
KATILIMCI 62	22	1	36	15	2.61	11.11	36.75	0.052	0.0050	76.00
KATILIMCI 63	22	1	34	0	2.41	66.67	9.88	0.091	0.0034	37.00
KATILIMCI 64	21	1	31	0	2.77	0.00	14.74	0.048	0.0025	44.33
KATILIMCI 65	21	1	31	0	2.26	33.33	18.02	0.047	0.0036	27.33
KATILIMCI 66	24	2	22.5	40	3.5	55.56	7.32	0.115	0.0154	41.33
KATILIMCI 67	35	2	30	40	3.14	22.22	40.87	0.040	0.0058	53.67
KATILIMCI 68	26	1	22.5	0	3	11.11	11.59	0.041	0.0077	49.33
KATILIMCI 69	26	1	22.5	0	3	33.33	26.74	0.043	0.0089	83.00
KATILIMCI 70	25	2	22.5	40	3	0.00	13.08	0.042	0.0069	74.00

Çizelge D.3. SSVEP/1 Görevi Sonuçları

KATILIMCI	YAŞ	CİNSİYET	TOPLAM KREDİ (akts)	DIŞ ÇALIŞMA SAATİ	NOT ORT.	SSVEP/1 BAŞARI (%)	SSVEP/1 GÖZ BEBEĞİ ÇAP	SSVEP/1 GÖZ KIRPMA	SSVEP/1 GDD	SSVEP/1 Nasa- TLX
KATILIMCI 1	20	1	35	0	2.83	73	50.68	0.100	0.0240	54
KATILIMCI 2	23	1	26	15	2.91	71	-3.76	0.230	0.0050	70
KATILIMCI 3	20	2	34	0	2.2	73	4.49	0.100	0.0050	66
KATILIMCI 4	20	2	30	0	2.43	82	-15.65	0.081	0.0052	69
KATILIMCI 5	20	1	30	0	2.1	90	-7.70	0.043	0.0050	46
KATILIMCI 6	20	1	31	0	2.89	80	25.27	0.160	0.0048	48
KATILIMCI 7	20	1	31	0	2.49	80	-4.45	0.030	0.0067	66
KATILIMCI 8	21	1	34	0	2.12	88	19.58	0.210	0.0016	14
KATILIMCI 9	20	1	36	0	2.27	84	9.00	0.060	0.0016	20
KATILIMCI 10	20	1	31	0	2.71	67	-11.76	0.022	0.0038	31
KATILIMCI 11	18	1	29	0	2.82	74	4.58	0.113	0.0045	30
KATILIMCI 12	21	2	33	0	1.88	72	-18.81	0.021	0.0045	35
KATILIMCI 13	21	1	31	24	2.65	77	-1.64	0.250	0.0021	37
KATILIMCI 14	19	1	30	0	2.44	88	36.44	0.146	0.0036	46
KATILIMCI 15	20	1	31	0	3.1	78	-2.93	0.075	0.0040	56
KATILIMCI 16	20	2	34	0	2.23	100	-5.11	0.236	0.0039	61
KATILIMCI 17	20	2	30	0	2.55	69	-23.67	0.032	0.0038	67
KATILIMCI 18	22	2	28	0	2.37	82	-0.70	0.257	0.0044	46
KATILIMCI 19	18	2	29	0	2.37	63	-8.75	0.028	0.0004	52
KATILIMCI 20	18	1	29	0	2.87	74	-2.51	0.020	0.0005	35
KATILIMCI 21	18	1	29	0	2.21	71	-13.30	0.022	0.0056	60
KATILIMCI 22	19	1	30	0	2.24	84	-7.78	0.182	0.0055	39
KATILIMCI 23	18	1	29	0	2.29	74	-0.17	0.028	0.0052	45
KATILIMCI 24	22	1	37	40	2.03	71	11.37	0.026	0.0048	39
KATILIMCI 25	20	2	32	0	2.72	77	-15.43	0.028	0.0050	65
KATILIMCI 26	19	2	30	0	3.6	86	-6.40	0.029	0.0067	41
KATILIMCI 27	20	2	30	0	2.63	76	-7.89	0.020	0.0043	41
KATILIMCI 28	19	2	30	0	2.19	79	-13.38	0.025	0.0040	49
KATILIMCI 29	18	1	29	0	2.24	80	-7.44	0.124	0.0036	68
KATILIMCI 30	21	1	31	0	2.21	74	-4.34	0.021	0.0035	28
KATILIMCI 31	22	2	28	0	2.26	73	-15.19	0.029	0.0039	56
KATILIMCI 32	19	1	30	0	3	72	-10.05	0.020	0.0033	33
KATILIMCI 33	18	1	28	0	2.47	63	-11.02	0.025	0.0040	40
KATILIMCI 34	27	2	27	40	1.96	71	-3.86	0.023	0.0039	23
KATILIMCI 35	20	1	30	0	3.19	61	-9.53	0.028	0.0037	63
KATILIMCI 36	22	2	25	0	1.88	60	-7.98	0.022	0.0038	28
KATILIMCI 37	20	2	30	0	2.21	53	-2.26	0.023	0.0038	40
KATILIMCI 38	20	1	30	0	2.43	58	-4.93	0.020	0.0038	24
KATILIMCI 39	20	2	30	0	2.22	65	-1.06	0.025	0.0039	51
KATILIMCI 40	20	2	30	0	2.34	62	-11.44	0.023	0.0037	44
KATILIMCI 41	19	1	30	0	2.1	78	-10.49	0.021	0.0038	41
KATILIMCI 42	21	1	31	0	2.59	68	-3.04	0.023	0.0035	42
KATILIMCI 43	21	1	31	0	2.25	66	0.27	0.022	0.0039	34
KATILIMCI 44	19	2	30	0	2.98	59	3.34	0.037	0.0038	62
KATILIMCI 45	20	1	31	0	2.34	66	-19.37	0.020	0.0038	69
KATILIMCI 46	24	2	34	0	2.49	76	-8.58	0.020	0.0034	62
KATILIMCI 47	21	1	31	0	2.12	63	-18.72	0.021	0.0038	65
KATILIMCI 48	19	1	20	0	3.41	76	-7.22	0.021	0.0036	30
KATILIMCI 49	21	1	28	0	2.83	83	-4.60	0.028	0.0027	51
KATILIMCI 50	21	2	31	0	2.3	62	2.41	0.036	0.0003	33
KATILIMCI 51	20	2	30	0	2.43	64	-3.98	0.021	0.0011	43

KATILIMCI 52	22	2	22	0	1.78	65	-6.69	0.026	0.0019	24
KATILIMCI 53	20	2	32	0	2.23	63	-16.19	0.028	0.0033	59
KATILIMCI 54	19	1	30	0	1.5	63	-6.27	0.105	0.0041	26
KATILIMCI 55	20	1	30	0	3.15	55	-4.69	0.023	0.0039	39
KATILIMCI 56	19	1	31	0	2.01	59	-4.49	0.043	0.0039	27
KATILIMCI 57	28	2	19	45	1.63	61	-13.97	0.026	0.0039	52
KATILIMCI 58	19	2	29	0	2.68	65	-16.92	0.025	0.0026	46
KATILIMCI 59	22	1	31	0	1.99	59	-4.18	0.022	0.0139	35
KATILIMCI 60	22	2	29	0	1.67	57	-13.66	0.022	0.0016	47
KATILIMCI 61	21	2	34	0	2.36	58	-2.09	0.066	0.0035	42
KATILIMCI 62	22	1	36	15	2.61	66	-17.81	0.037	0.0095	61
KATILIMCI 63	22	1	34	0	2.41	77	-16.97	0.032	0.0036	16
KATILIMCI 64	21	1	31	0	2.77	57	-17.71	0.022	0.0030	23
KATILIMCI 65	21	1	31	0	2.26	57	4.11	0.030	0.0036	27
KATILIMCI 66	24	2	22.5	40	3.5	76	-14.03	0.025	0.0017	32
KATILIMCI 67	35	2	30	40	3.14	90	-1.21	0.027	0.0045	39
KATILIMCI 68	26	1	22.5	0	3	74	-12.94	0.030	0.0038	35
KATILIMCI 69	26	1	22.5	0	3	64	-4.79	0.101	0.0033	43
KATILIMCI 70	25	2	22.5	40	3	67	-3.69	0.027	0.0057	48

Çizelge D.4. SSVEP/2 Görevi Sonuçları

KATILIMCI	YAŞ	CİNSİYET	TOPLAM KREDİ (akts)	DIŞ ÇALIŞMA SAATİ	NOT ORT.	SSVEP/2 BAŞARI	SSVEP/2 GÖZ BEBEĞİ ÇAP	SSVEP/2 GÖZ KIRPMA	SSVEP/2 GDD	SSVEP/2 Nasa- TLX
KATILIMCI 1	20	1	35	0	2.83	69	-5.99	0.050	0.0220	55.33
KATILIMCI 2	23	1	26	15	2.91	67	8.54	0.192	0.0052	71.67
KATILIMCI 3	20	2	34	0	2.2	72	9.18	0.133	0.0050	67.00
KATILIMCI 4	20	2	30	0	2.43	70	-18.95	0.070	0.0047	69.33
KATILIMCI 5	20	1	30	0	2.1	64	-12.12	0.050	0.0050	48.33
KATILIMCI 6	20	1	31	0	2.89	63	17.27	0.070	0.0051	58.00
KATILIMCI 7	20	1	31	0	2.49	73	-7.78	0.052	0.0063	76.33
KATILIMCI 8	21	1	34	0	2.12	80	-11.09	0.050	0.0056	23.33
KATILIMCI 9	20	1	36	0	2.27	65	-7.72	0.084	0.0046	25.00
KATILIMCI 10	20	1	31	0	2.71	67	-2.85	0.022	0.0038	32.67
KATILIMCI 11	18	1	29	0	2.82	66	-15.54	0.028	0.0047	31.33
KATILIMCI 12	21	2	33	0	1.88	71	8.35	0.088	0.0048	44.33
KATILIMCI 13	21	1	31	24	2.65	68	5.59	0.065	0.0020	51.67
KATILIMCI 14	19	1	30	0	2.44	100	28.37	0.224	0.0037	53.00
KATILIMCI 15	20	1	31	0	3.1	69	-12.50	0.110	0.0036	50.67
KATILIMCI 16	20	2	34	0	2.23	100	-4.36	0.027	0.0039	45.00
KATILIMCI 17	20	2	30	0	2.55	59	-11.80	0.032	0.0040	65.33
KATILIMCI 18	22	2	28	0	2.37	100	-9.33	0.052	0.0040	59.00
KATILIMCI 19	18	2	29	0	2.37	67	-14.42	0.023	0.0004	68.00
KATILIMCI 20	18	1	29	0	2.87	88	-7.61	0.106	0.0004	48.67
KATILIMCI 21	18	1	29	0	2.21	76	-13.44	0.028	0.0056	69.00
KATILIMCI 22	19	1	30	0	2.24	72	-7.26	0.027	0.0049	47.67
KATILIMCI 23	18	1	29	0	2.29	71	-4.79	0.020	0.0053	48.67
KATILIMCI 24	22	1	37	40	2.03	67	-10.86	0.021	0.0047	54.00
KATILIMCI 25	20	2	32	0	2.72	74	-15.52	0.026	0.0047	52.33
KATILIMCI 26	19	2	30	0	3.6	77	-23.51	0.021	0.0077	42.67
KATILIMCI 27	20	2	30	0	2.63	67	-5.49	0.039	0.0042	78.33
KATILIMCI 28	19	2	30	0	2.19	67	-7.18	0.077	0.0039	56.00
KATILIMCI 29	18	1	29	0	2.24	74	-17.41	0.020	0.0036	70.00
KATILIMCI 30	21	1	31	0	2.21	64	-1.10	0.022	0.0037	52.33
KATILIMCI 31	22	2	28	0	2.26	70	-6.83	0.032	0.0037	59.00
KATILIMCI 32	19	1	30	0	3	60	-13.65	0.022	0.0038	48.67
KATILIMCI 33	18	1	28	0	2.47	69	-1.95	0.057	0.0040	46.67
KATILIMCI 34	27	2	27	40	1.96	80	-0.53	0.021	0.0039	47.67
KATILIMCI 35	20	1	30	0	3.19	73	-11.95	0.020	0.0037	65.67
KATILIMCI 36	22	2	25	0	1.88	67	-5.24	0.021	0.0037	27.00
KATILIMCI 37	20	2	30	0	2.21	66	-2.65	0.034	0.0037	50.67
KATILIMCI 38	20	1	30	0	2.43	77	-13.61	0.028	0.0038	61.67
KATILIMCI 39	20	2	30	0	2.22	64	2.45	0.029	0.0039	52.00
KATILIMCI 40	20	2	30	0	2.34	80	-9.35	0.021	0.0037	55.33
KATILIMCI 41	19	1	30	0	2.1	63	-12.37	0.021	0.0039	46.33
KATILIMCI 42	21	1	31	0	2.59	65	-23.09	0.020	0.0035	52.67
KATILIMCI 43	21	1	31	0	2.25	67	-5.18	0.022	0.0038	42.33
KATILIMCI 44	19	2	30	0	2.98	59	3.17	0.039	0.0039	65.67
KATILIMCI 45	20	1	31	0	2.34	68	-10.75	0.144	0.0037	71.67
KATILIMCI 46	24	2	34	0	2.49	67	-0.88	0.028	0.0061	71.33
KATILIMCI 47	21	1	31	0	2.12	56	-14.45	0.027	0.0038	72.33
KATILIMCI 48	19	1	20	0	3.41	73	-17.78	0.029	0.0036	48.67
KATILIMCI 49	21	1	28	0	2.83	89	0.78	0.029	0.0028	62.33
KATILIMCI 50	21	2	31	0	2.3	63	-4.01	0.027	0.0023	45.67
KATILIMCI 51	20	2	30	0	2.43	72	-9.67	0.022	0.0049	46.67

KATILIMCI 52	22	2	22	0	1.78	82	-6.25	0.022	0.0026	39.67
KATILIMCI 53	20	2	32	0	2.23	69	-11.67	0.021	0.0038	66.67
KATILIMCI 54	19	1	30	0	1.5	66	-1.64	0.101	0.0038	33.67
KATILIMCI 55	20	1	30	0	3.15	63	-13.63	0.020	0.0040	52.33
KATILIMCI 56	19	1	31	0	2.01	67	4.53	0.047	0.0038	61.67
KATILIMCI 57	28	2	19	45	1.63	79	-6.51	0.023	0.0058	59.00
KATILIMCI 58	19	2	29	0	2.68	69	-8.19	0.023	0.0023	55.00
KATILIMCI 59	22	1	31	0	1.99	62	-31.75	0.020	0.0021	50.67
KATILIMCI 60	22	2	29	0	1.67	69	-7.73	0.039	0.0041	54.67
KATILIMCI 61	21	2	34	0	2.36	65	-6.58	0.037	0.0032	49.33
KATILIMCI 62	22	1	36	15	2.61	58	-8.29	0.017	0.0083	83.33
KATILIMCI 63	22	1	34	0	2.41	68	-7.29	0.023	0.0040	26.67
KATILIMCI 64	21	1	31	0	2.77	73	-5.64	0.101	0.0032	30.67
KATILIMCI 65	21	1	31	0	2.26	70	-5.71	0.037	0.0036	36.67
KATILIMCI 66	24	2	22.5	40	3.5	80	-15.03	0.047	0.0048	35.67
KATILIMCI 67	35	2	30	40	3.14	80	3.26	0.024	0.0039	49.00
KATILIMCI 68	26	1	22.5	0	3	70	5.89	0.029	0.0045	53.33
KATILIMCI 69	26	1	22.5	0	3	90	9.42	0.032	0.0047	55.67
KATILIMCI 70	25	2	22.5	40	3	70	-6.00	0.022	0.0054	55.33

Çizelge D.5. Mİ/1 Görevi Sonuçları

KATILIMCI	YAŞ	CİNSİYET	TOPLAM KREDİ (akts)	DIŞ ÇALIŞMA SAATİ	NOT ORT.	MI/1 BAŞARI	MI/1 GÖZ BEBEĞİ ÇAP	MI/1 GÖZ KIRPMA	MI/1 GDD	MI/1 Nasa- TLX
KATILIMCI 1	20	1	35	0	2.83	80	10.86	0.250	0.0096	55.67
KATILIMCI 2	23	1	26	15	2.91	72	17.21	0.061	0.0050	53.00
KATILIMCI 3	20	2	34	0	2.2	72	2.26	0.480	0.0048	67.33
KATILIMCI 4	20	2	30	0	2.43	75	11.10	0.151	0.0048	67.67
KATILIMCI 5	20	1	30	0	2.1	78	22.16	0.470	0.0049	49.33
KATILIMCI 6	20	1	31	0	2.89	70	-3.14	0.381	0.0045	54.67
KATILIMCI 7	20	1	31	0	2.49	76	-11.20	0.040	0.0057	64.33
KATILIMCI 8	21	1	34	0	2.12	74	6.14	0.031	0.0015	50.00
KATILIMCI 9	20	1	36	0	2.27	75	-10.23	0.032	0.0016	26.67
KATILIMCI 10	20	1	31	0	2.71	80	17.74	0.021	0.0038	67.00
KATILIMCI 11	18	1	29	0	2.82	74	4.95	0.028	0.0045	30.33
KATILIMCI 12	21	2	33	0	1.88	70	6.62	0.031	0.0046	48.33
KATILIMCI 13	21	1	31	24	2.65	76	12.39	0.386	0.0021	49.33
KATILIMCI 14	19	1	30	0	2.44	75	-3.36	0.022	0.0086	55.67
KATILIMCI 15	20	1	31	0	3.1	70	-12.86	0.031	0.0033	71.67
KATILIMCI 16	20	2	34	0	2.23	70	-2.03	0.290	0.0037	43.33
KATILIMCI 17	20	2	30	0	2.55	80	1.55	0.043	0.0039	52.33
KATILIMCI 18	22	2	28	0	2.37	78	-8.17	0.036	0.0026	56.67
KATILIMCI 19	18	2	29	0	2.37	72	-5.01	0.024	0.0074	50.67
KATILIMCI 20	18	1	29	0	2.87	75	-2.27	0.026	0.0073	49.33
KATILIMCI 21	18	1	29	0	2.21	75	-6.00	0.025	0.0053	67.67
KATILIMCI 22	19	1	30	0	2.24	76	12.53	0.024	0.0052	46.00
KATILIMCI 23	18	1	29	0	2.29	74	-16.60	0.023	0.0049	52.00
KATILIMCI 24	22	1	37	40	2.03	75	10.16	0.066	0.0048	61.33
KATILIMCI 25	20	2	32	0	2.72	70	4.27	0.024	0.0048	47.67
KATILIMCI 26	19	2	30	0	3.6	72	-3.75	0.020	0.0072	57.67
KATILIMCI 27	20	2	30	0	2.63	75	2.18	0.028	0.0039	43.33
KATILIMCI 28	19	2	30	0	2.19	70	10.88	0.078	0.0039	51.67
KATILIMCI 29	18	1	29	0	2.24	75	-8.87	0.021	0.0037	49.67
KATILIMCI 30	21	1	31	0	2.21	75	-3.92	0.214	0.0038	39.33
KATILIMCI 31	22	2	28	0	2.26	78	-4.89	0.023	0.0039	57.00
KATILIMCI 32	19	1	30	0	3	70	3.02	0.022	0.0044	49.33
KATILIMCI 33	18	1	28	0	2.47	72	2.61	0.027	0.0040	42.67
KATILIMCI 34	27	2	27	40	1.96	82	-2.48	0.022	0.0039	40.00
KATILIMCI 35	20	1	30	0	3.19	80	11.47	0.024	0.0037	75.33
KATILIMCI 36	22	2	25	0	1.88	80	-12.62	0.020	0.0037	21.33
KATILIMCI 37	20	2	30	0	2.21	78	-8.82	0.025	0.0036	43.33
KATILIMCI 38	20	1	30	0	2.43	72	-5.92	0.025	0.0037	48.00
KATILIMCI 39	20	2	30	0	2.22	78	8.85	0.024	0.0038	52.67
KATILIMCI 40	20	2	30	0	2.34	78	-6.31	0.023	0.0042	55.67
KATILIMCI 41	19	1	30	0	2.1	75	-8.18	0.021	0.0039	63.33
KATILIMCI 42	21	1	31	0	2.59	70	-9.49	0.022	0.0035	55.00
KATILIMCI 43	21	1	31	0	2.25	74	4.64	0.020	0.0037	64.00
KATILIMCI 44	19	2	30	0	2.98	72	-1.99	0.025	0.0038	50.67
KATILIMCI 45	20	1	31	0	2.34	75	-2.79	0.022	0.0036	57.67
KATILIMCI 46	24	2	34	0	2.49	82	-10.40	0.023	0.0034	63.67
KATILIMCI 47	21	1	31	0	2.12	82	-3.85	0.026	0.0037	61.33
KATILIMCI 48	19	1	20	0	3.41	75	-4.22	0.022	0.0036	31.33
KATILIMCI 49	21	1	28	0	2.83	85	3.65	0.024	0.0026	55.33
KATILIMCI 50	21	2	31	0	2.3	78	-0.13	0.030	0.0023	49.00
KATILIMCI 51	20	2	30	0	2.43	80	-3.15	0.025	0.0007	42.67

KATILIMCI 52	22	2	22	0	1.78	76	-13.70	0.022	0.0025	34.00
KATILIMCI 53	20	2	32	0	2.23	75	-11.28	0.025	0.0047	70.33
KATILIMCI 54	19	1	30	0	1.5	72	-17.10	0.023	0.0036	23.67
KATILIMCI 55	20	1	30	0	3.15	75	-3.47	0.022	0.0039	44.33
KATILIMCI 56	19	1	31	0	2.01	78	-3.73	0.021	0.0038	43.00
KATILIMCI 57	28	2	19	45	1.63	80	-4.81	0.022	0.0038	48.67
KATILIMCI 58	19	2	29	0	2.68	76	-0.78	0.020	0.0021	51.33
KATILIMCI 59	22	1	31	0	1.99	70	-14.66	0.022	0.0023	63.67
KATILIMCI 60	22	2	29	0	1.67	80	-23.28	0.021	0.0051	50.33
KATILIMCI 61	21	2	34	0	2.36	80	-0.87	0.028	0.0028	64.00
KATILIMCI 62	22	1	36	15	2.61	85	0.53	0.035	0.0017	49.00
KATILIMCI 63	22	1	34	0	2.41	75	-5.60	0.020	0.0042	46.67
KATILIMCI 64	21	1	31	0	2.77	70	-2.61	0.021	0.0037	35.00
KATILIMCI 65	21	1	31	0	2.26	80	4.28	0.023	0.0036	62.33
KATILIMCI 66	24	2	22.5	40	3.5	68	-10.80	0.022	0.0011	27.33
KATILIMCI 67	35	2	30	40	3.14	80	-12.85	0.021	0.0042	44.67
KATILIMCI 68	26	1	22.5	0	3	76	1.84	0.020	0.0021	47.33
KATILIMCI 69	26	1	22.5	0	3	80	-13.07	0.020	0.0015	52.67
KATILIMCI 70	25	2	22.5	40	3	75	-9.53	0.022	0.0040	53.00

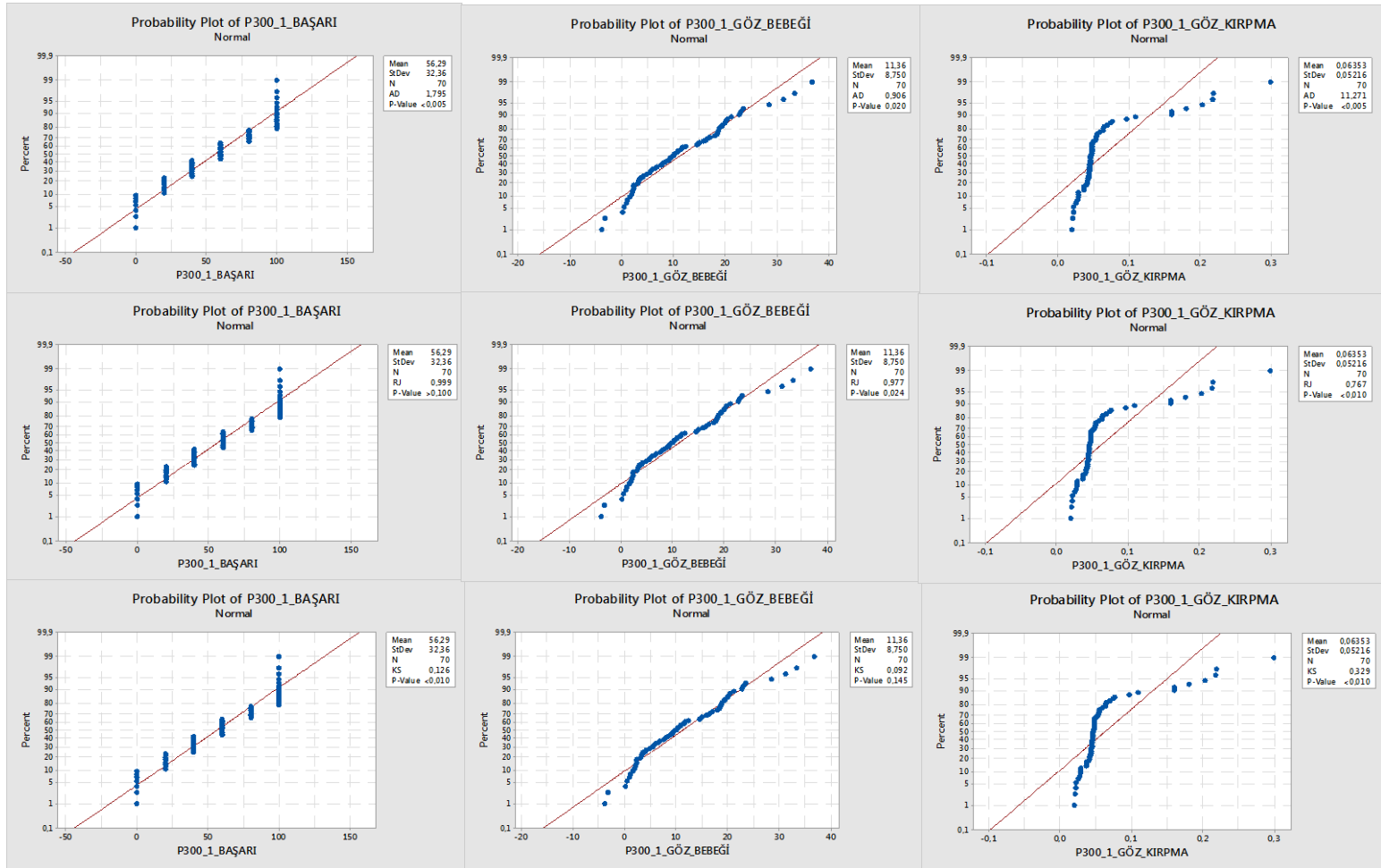
Çizelge D.6. Mİ/2 Görevi Sonuçları

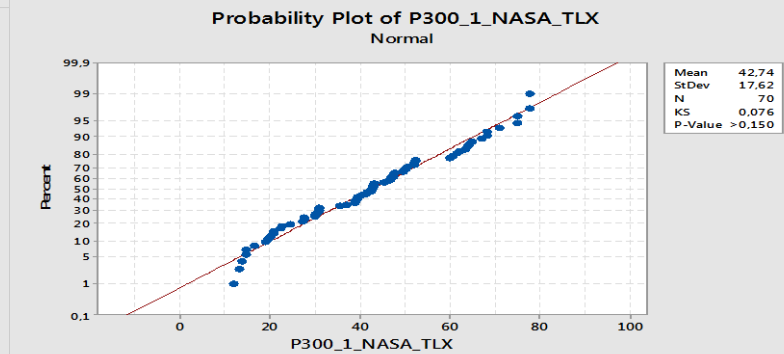
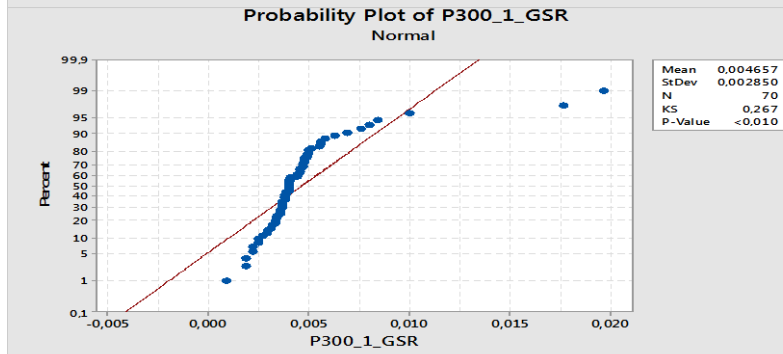
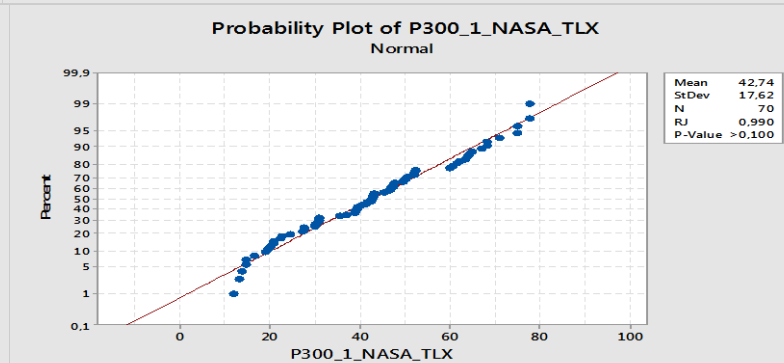
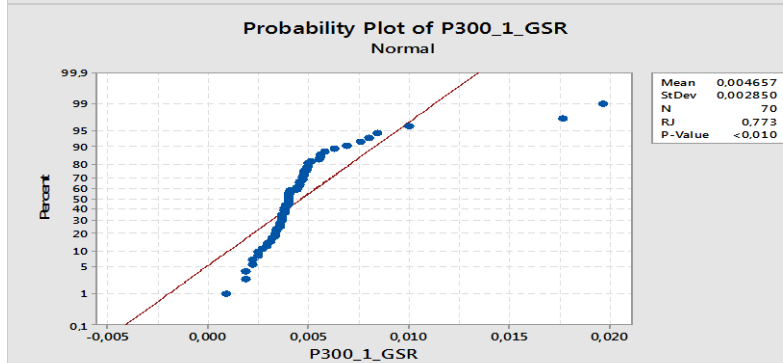
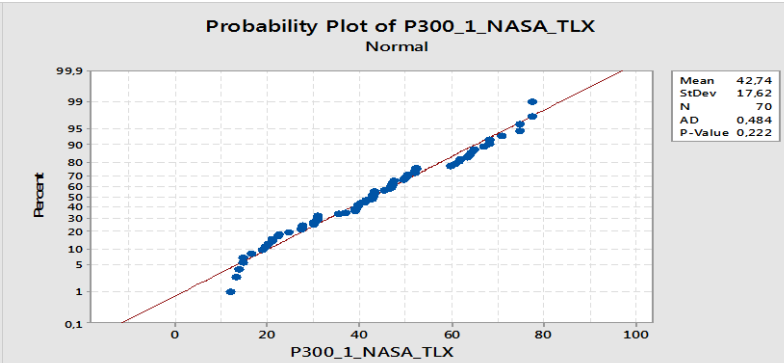
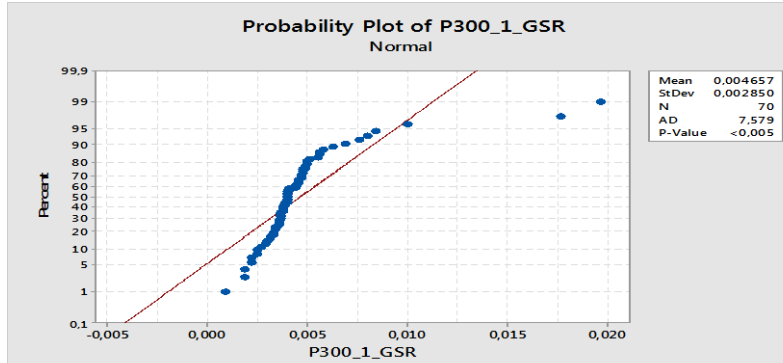
KATILIMCI	YAŞ	CİNSİYET	TOPLAM KREDİ (akts)	DIŞ ÇALIŞMA SAATİ	NOT ORT.	MI/2 BAŞARI	MI/2 GÖZ BEBEĞİ ÇAP	MI/2 GÖZ KIRPMA	MI/2 GDD	MI/2 Nasa- TLX
KATILIMCI 1	20	1	35	0	2.83	75	25.91	0.060	0.0211	63.00
KATILIMCI 2	23	1	26	15	2.91	70	-9.06	0.100	0.0050	60.67
KATILIMCI 3	20	2	34	0	2.2	70	-4.60	0.292	0.0054	73.67
KATILIMCI 4	20	2	30	0	2.43	72	15.70	0.122	0.0049	71.33
KATILIMCI 5	20	1	30	0	2.1	70	12.81	0.350	0.0050	51.33
KATILIMCI 6	20	1	31	0	2.89	70	40.63	0.160	0.0054	63.00
KATILIMCI 7	20	1	31	0	2.49	72	15.50	0.150	0.0055	66.33
KATILIMCI 8	21	1	34	0	2.12	72	-5.30	0.031	0.0046	56.33
KATILIMCI 9	20	1	36	0	2.27	70	4.50	0.041	0.0056	32.33
KATILIMCI 10	20	1	31	0	2.71	72	5.32	0.028	0.0038	63.00
KATILIMCI 11	18	1	29	0	2.82	70	-17.84	0.033	0.0047	32.33
KATILIMCI 12	21	2	33	0	1.88	70	3.10	0.329	0.0049	69.67
KATILIMCI 13	21	1	31	24	2.65	70	0.79	0.163	0.0022	52.67
KATILIMCI 14	19	1	30	0	2.44	82	-20.62	0.024	0.0037	59.00
KATILIMCI 15	20	1	31	0	3.1	75	-8.16	0.030	0.0035	89.67
KATILIMCI 16	20	2	34	0	2.23	70	-6.47	0.054	0.0040	64.00
KATILIMCI 17	20	2	30	0	2.55	92	1.62	0.094	0.0039	56.67
KATILIMCI 18	22	2	28	0	2.37	72	1.26	0.027	0.0025	93.67
KATILIMCI 19	18	2	29	0	2.37	72	1.89	0.062	0.0074	72.00
KATILIMCI 20	18	1	29	0	2.87	70	-3.10	0.036	0.0083	67.00
KATILIMCI 21	18	1	29	0	2.21	72	-6.97	0.026	0.0057	78.00
KATILIMCI 22	19	1	30	0	2.24	70	10.05	0.027	0.0053	75.00
KATILIMCI 23	18	1	29	0	2.29	78	2.83	0.024	0.0048	51.67
KATILIMCI 24	22	1	37	40	2.03	70	7.70	0.093	0.0049	62.00
KATILIMCI 25	20	2	32	0	2.72	70	0.32	0.022	0.0045	74.67
KATILIMCI 26	19	2	30	0	3.6	70	-4.74	0.060	0.0074	59.00
KATILIMCI 27	20	2	30	0	2.63	70	10.07	0.057	0.0038	72.00
KATILIMCI 28	19	2	30	0	2.19	90	21.96	0.047	0.0040	68.33
KATILIMCI 29	18	1	29	0	2.24	78	-0.52	0.083	0.0037	97.33
KATILIMCI 30	21	1	31	0	2.21	70	-0.98	0.021	0.0039	54.00
KATILIMCI 31	22	2	28	0	2.26	88	-0.49	0.021	0.0039	63.67
KATILIMCI 32	19	1	30	0	3	78	4.52	0.027	0.0045	82.00
KATILIMCI 33	18	1	28	0	2.47	80	-0.22	0.026	0.0039	55.00
KATILIMCI 34	27	2	27	40	1.96	78	7.00	0.027	0.0039	44.67
KATILIMCI 35	20	1	30	0	3.19	85	2.35	0.028	0.0035	76.33
KATILIMCI 36	22	2	25	0	1.88	82	1.28	0.086	0.0037	28.33
KATILIMCI 37	20	2	30	0	2.21	80	10.43	0.025	0.0037	57.33
KATILIMCI 38	20	1	30	0	2.43	75	0.23	0.020	0.0037	70.67
KATILIMCI 39	20	2	30	0	2.22	82	6.65	0.021	0.0038	57.67
KATILIMCI 40	20	2	30	0	2.34	80	4.79	0.028	0.0035	58.67
KATILIMCI 41	19	1	30	0	2.1	80	-1.36	0.026	0.0038	70.67
KATILIMCI 42	21	1	31	0	2.59	85	-5.24	0.021	0.0035	63.67
KATILIMCI 43	21	1	31	0	2.25	70	15.84	0.027	0.0037	65.00
KATILIMCI 44	19	2	30	0	2.98	82	-1.60	0.043	0.0038	60.00
KATILIMCI 45	20	1	31	0	2.34	85	7.66	0.026	0.0036	69.67
KATILIMCI 46	24	2	34	0	2.49	88	2.54	0.083	0.0032	76.67
KATILIMCI 47	21	1	31	0	2.12	75	3.16	0.021	0.0038	74.67
KATILIMCI 48	19	1	20	0	3.41	78	4.48	0.022	0.0036	57.67
KATILIMCI 49	21	1	28	0	2.83	78	8.62	0.020	0.0027	65.67
KATILIMCI 50	21	2	31	0	2.3	78	-3.60	0.020	0.0023	79.33
KATILIMCI 51	20	2	30	0	2.43	100	16.72	0.028	0.0005	56.33

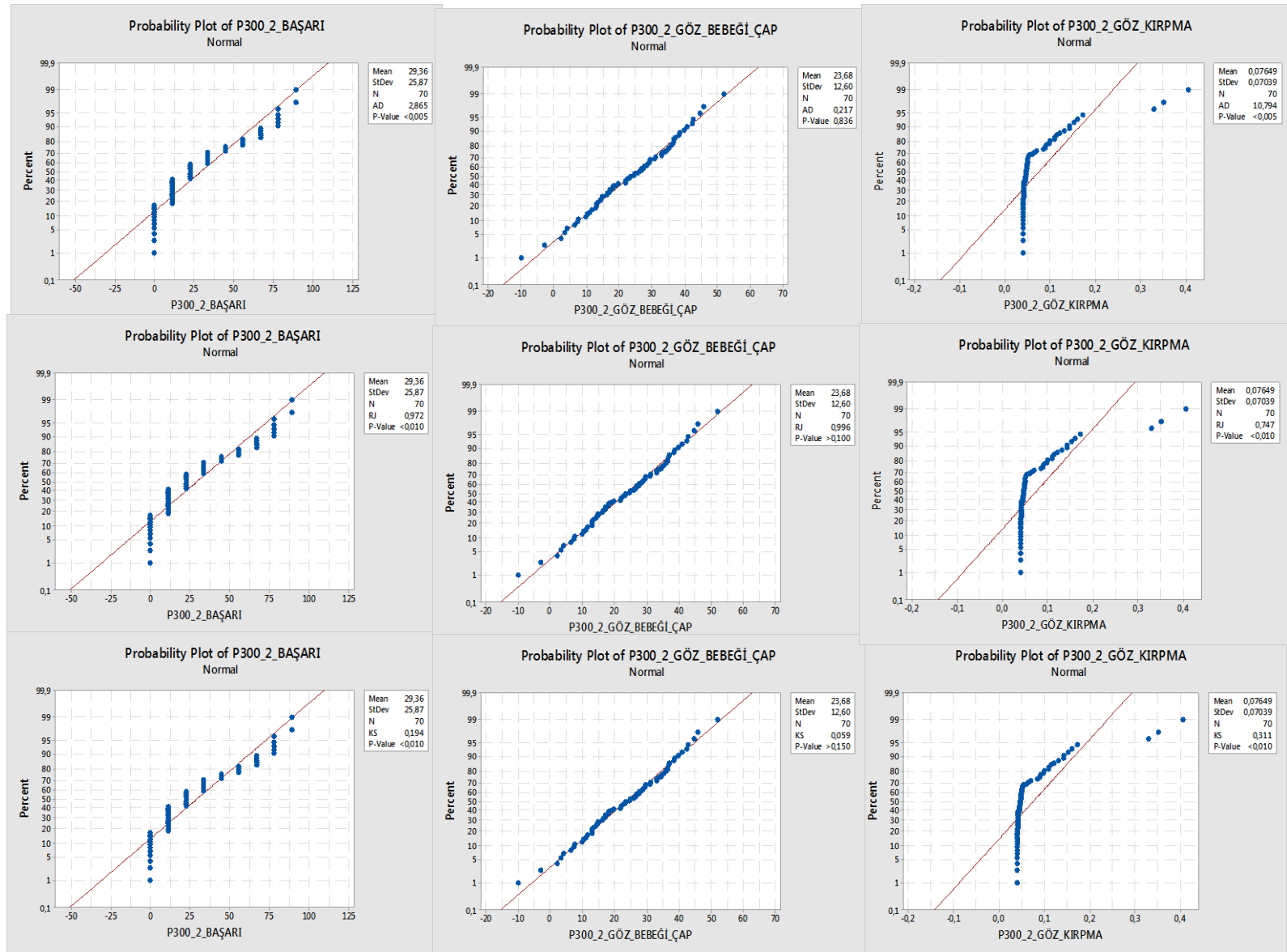
KATILIMCI 52	22	2	22	0	1.78	88	-4.87	0.020	0.0027	46.00
KATILIMCI 53	20	2	32	0	2.23	82	1.26	0.023	0.0039	81.00
KATILIMCI 54	19	1	30	0	1.5	70	-8.47	0.029	0.0055	31.67
KATILIMCI 55	20	1	30	0	3.15	78	11.22	0.023	0.0039	63.33
KATILIMCI 56	19	1	31	0	2.01	80	0.26	0.020	0.0038	73.33
KATILIMCI 57	28	2	19	45	1.63	75	5.07	0.023	0.0038	64.67
KATILIMCI 58	19	2	29	0	2.68	75	0.94	0.020	0.0021	67.00
KATILIMCI 59	22	1	31	0	1.99	90	-0.60	0.020	0.0021	73.67
KATILIMCI 60	22	2	29	0	1.67	78	1.63	0.027	0.0051	66.33
KATILIMCI 61	21	2	34	0	2.36	85	2.43	0.024	0.0030	67.33
KATILIMCI 62	22	1	36	15	2.61	75	20.06	0.027	0.0017	61.67
KATILIMCI 63	22	1	34	0	2.41	70	11.15	0.024	0.0041	60.33
KATILIMCI 64	21	1	31	0	2.77	72	1.64	0.022	0.0061	42.33
KATILIMCI 65	21	1	31	0	2.26	72	12.58	0.024	0.0036	63.67
KATILIMCI 66	24	2	22.5	40	3.5	75	-4.95	0.020	0.0008	39.00
KATILIMCI 67	35	2	30	40	3.14	75	-5.38	0.020	0.0016	73.33
KATILIMCI 68	26	1	22.5	0	3	82	-4.88	0.028	0.0036	55.67
KATILIMCI 69	26	1	22.5	0	3	75	-8.53	0.023	0.0014	69.67
KATILIMCI 70	25	2	22.5	40	3	75	-1.60	0.026	0.0058	57.67

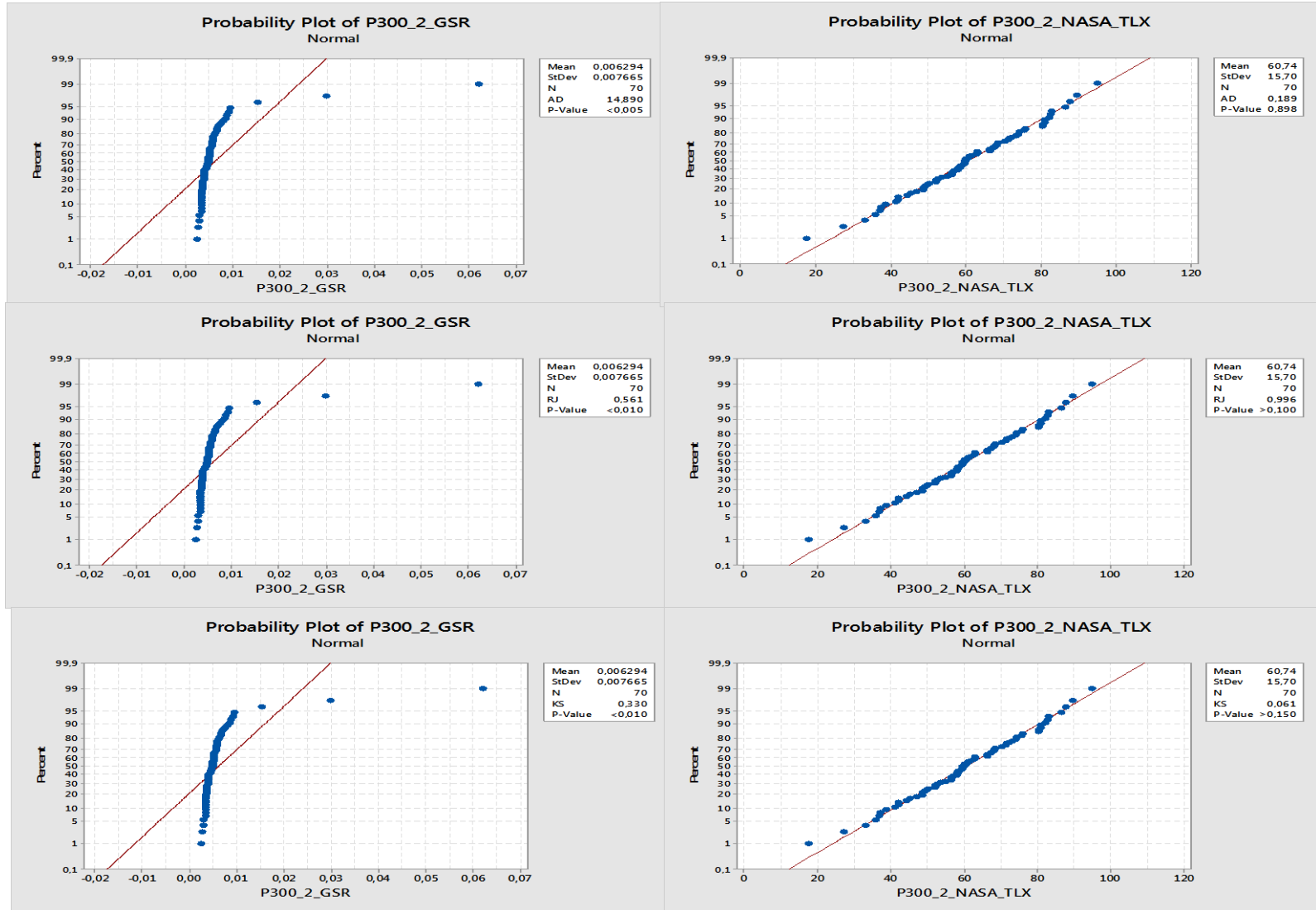
Ek Açıklamalar-E

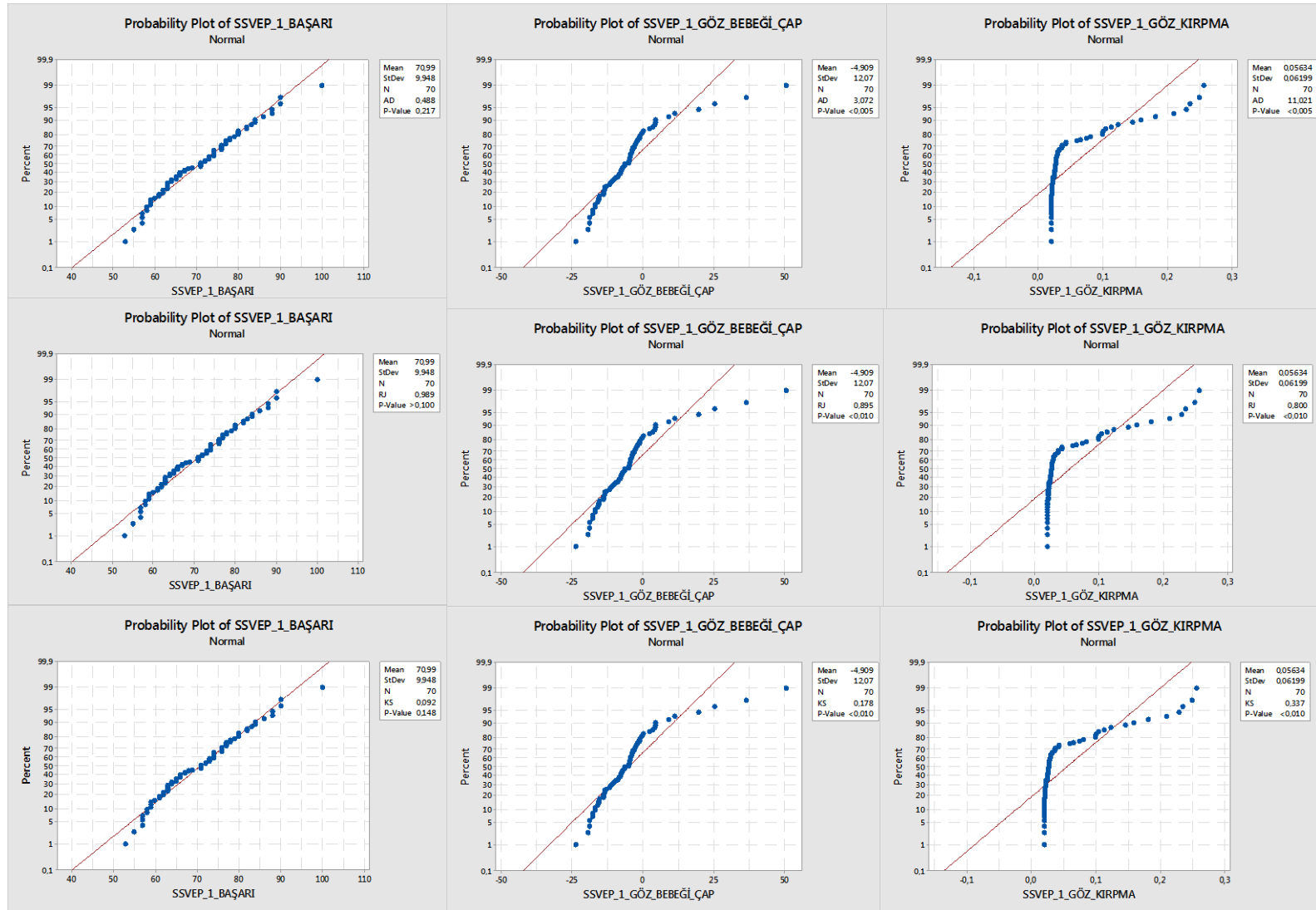
NORMALLİK TESTİ SONUÇLARI

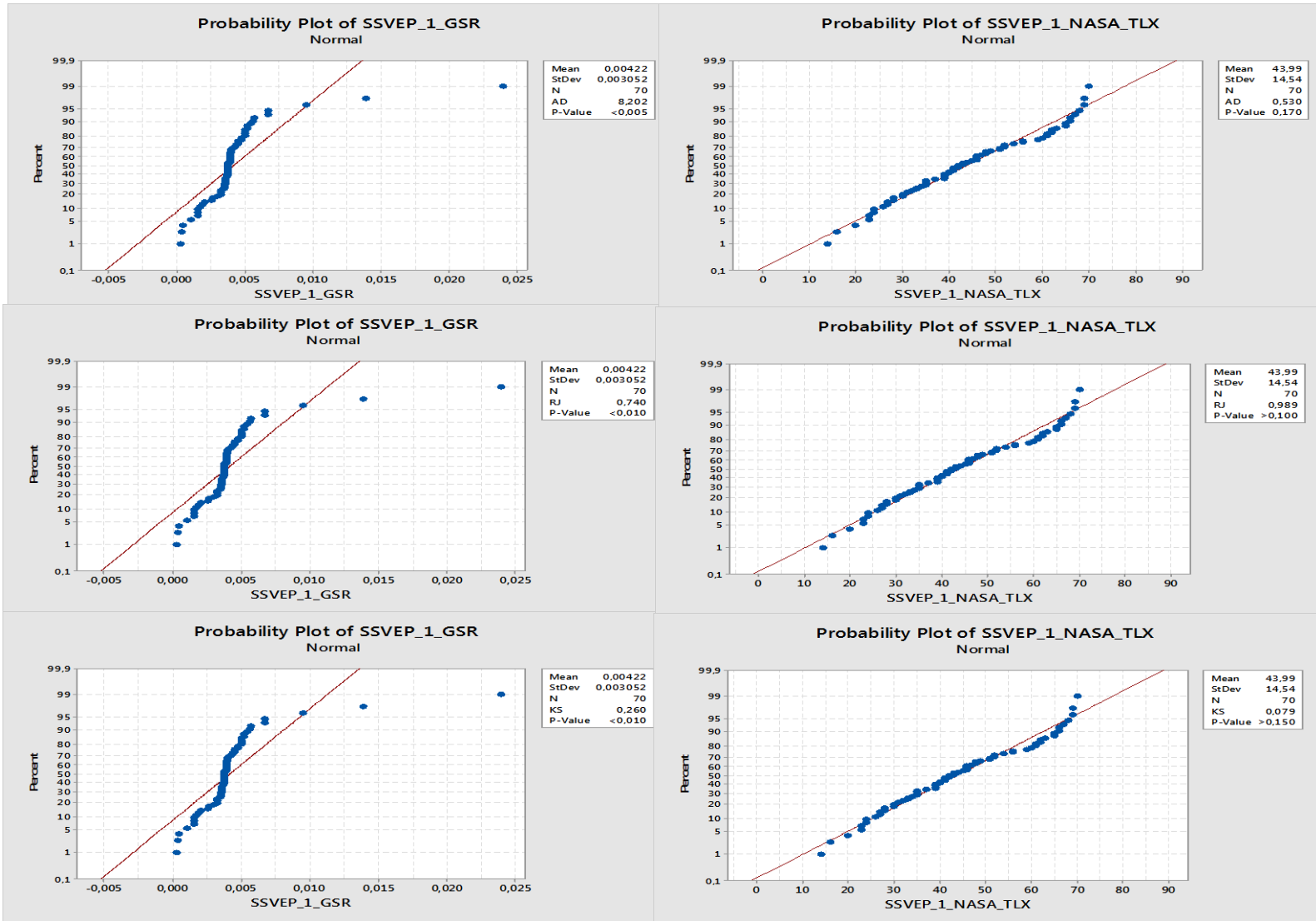


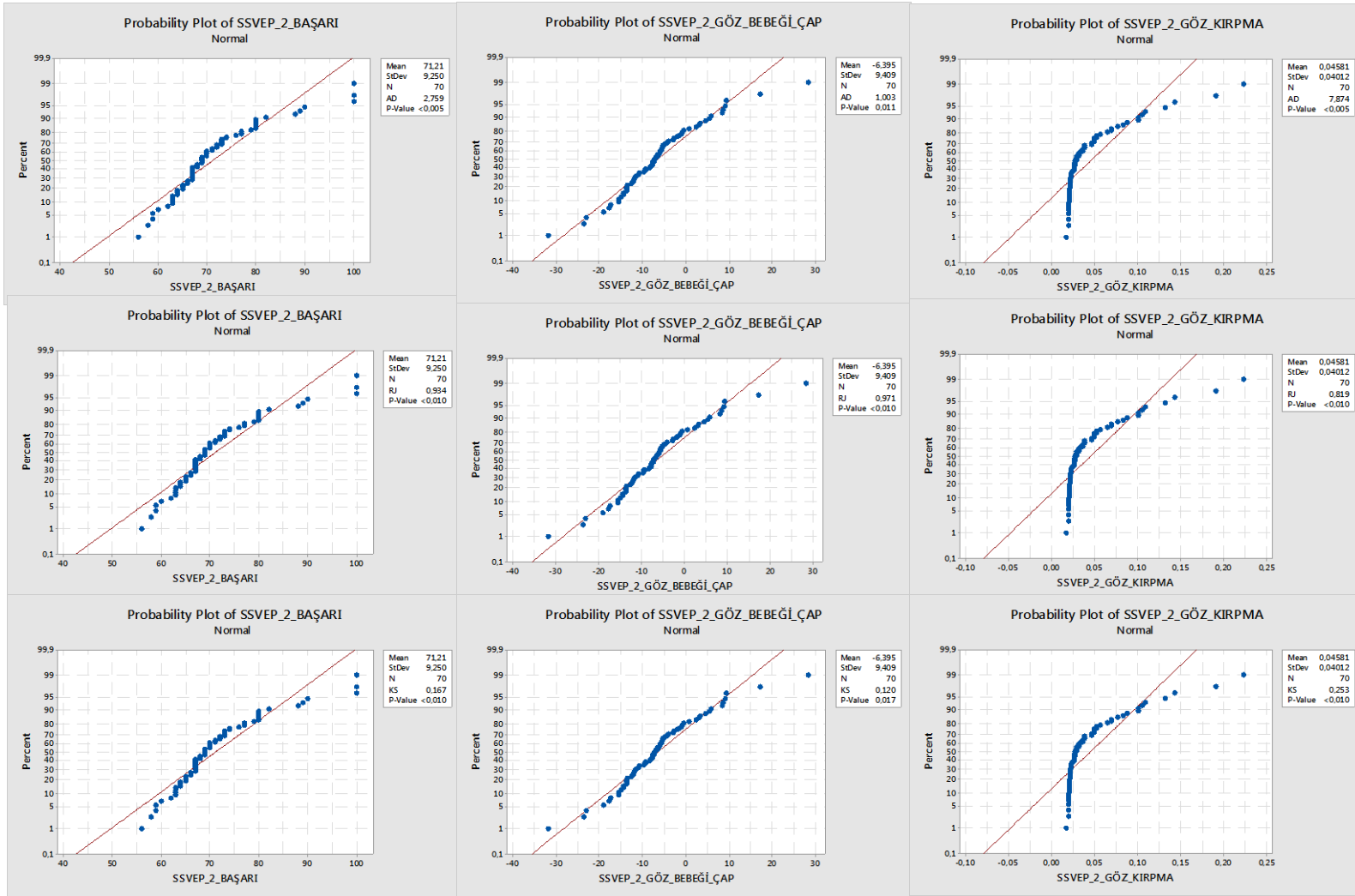


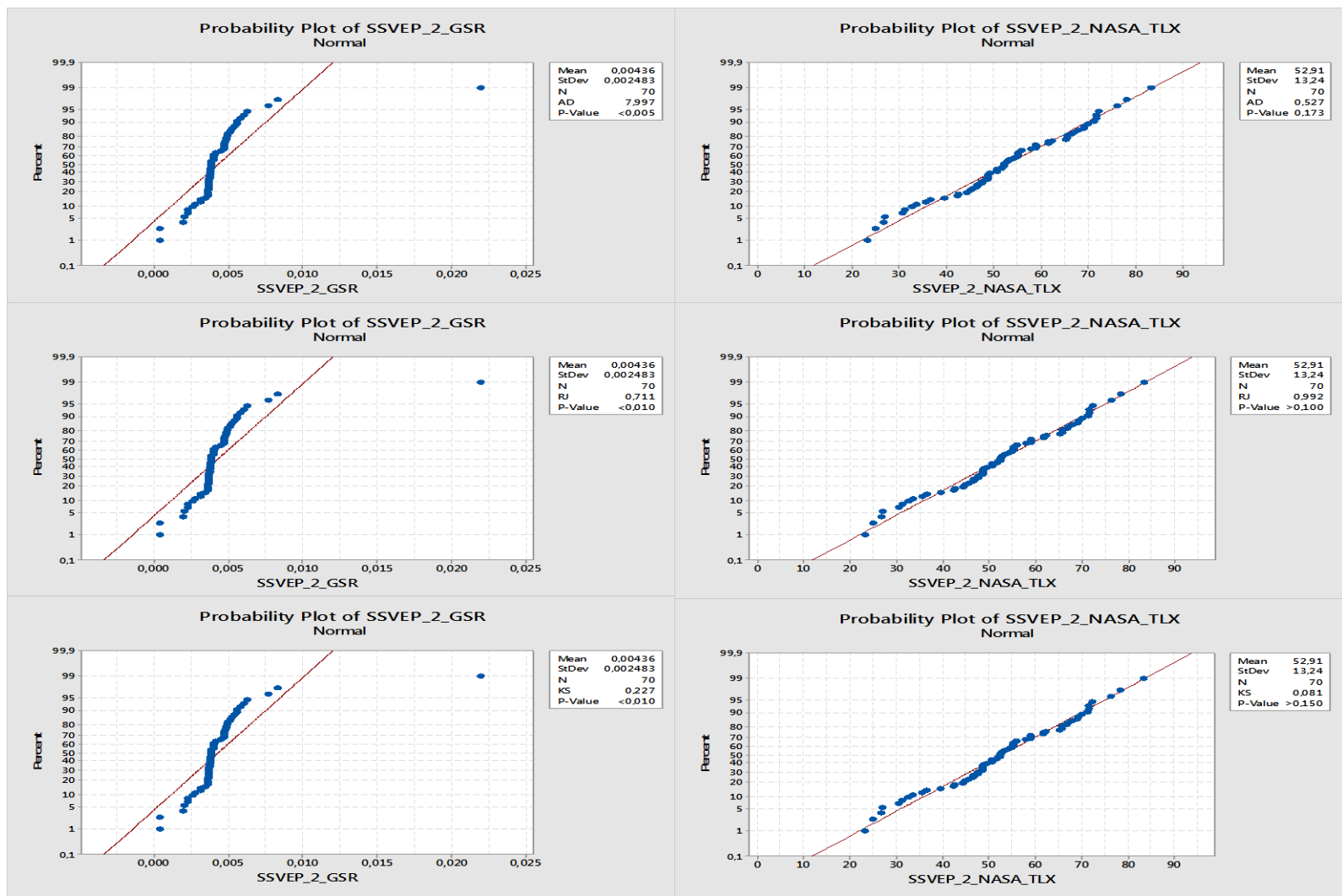


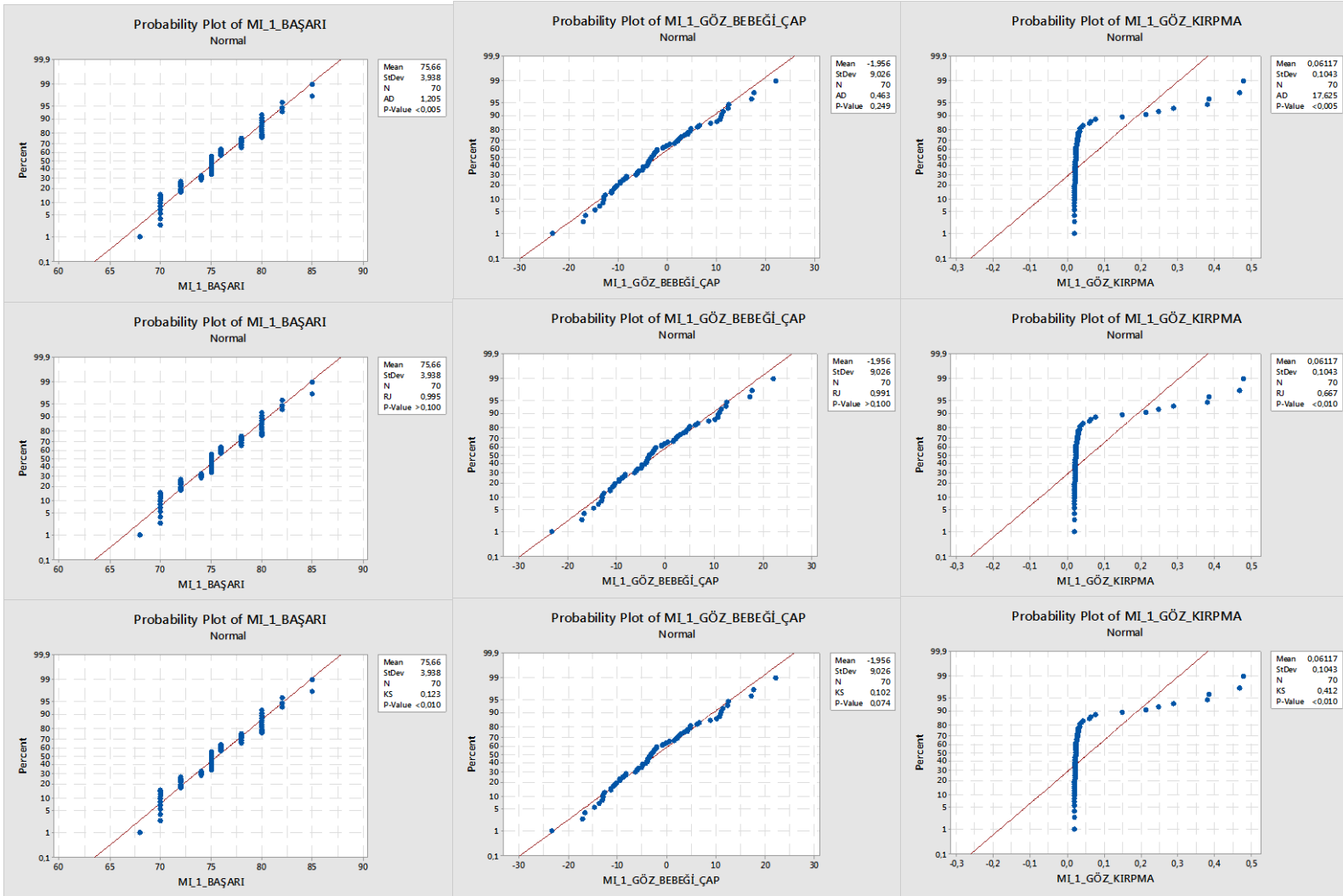


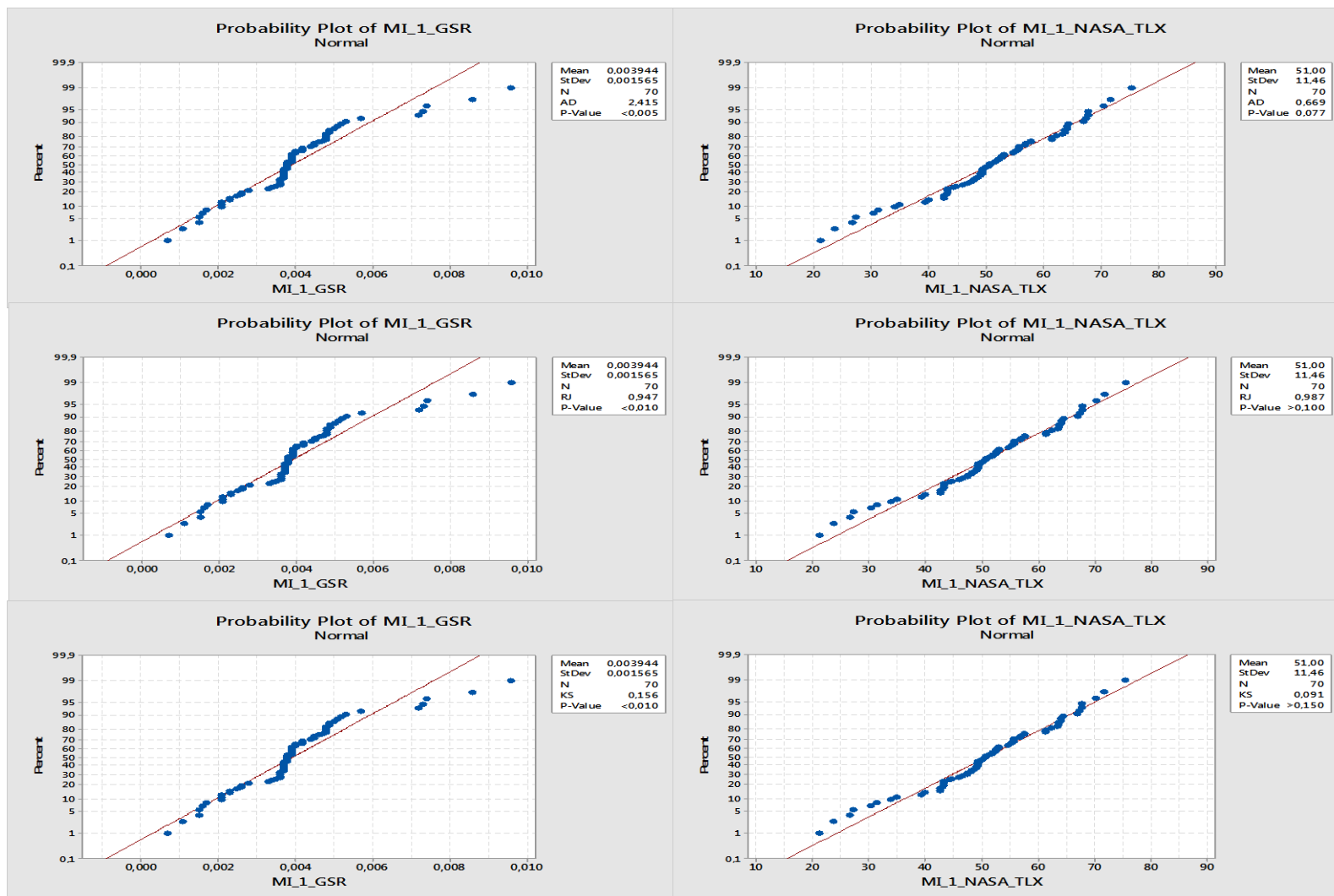


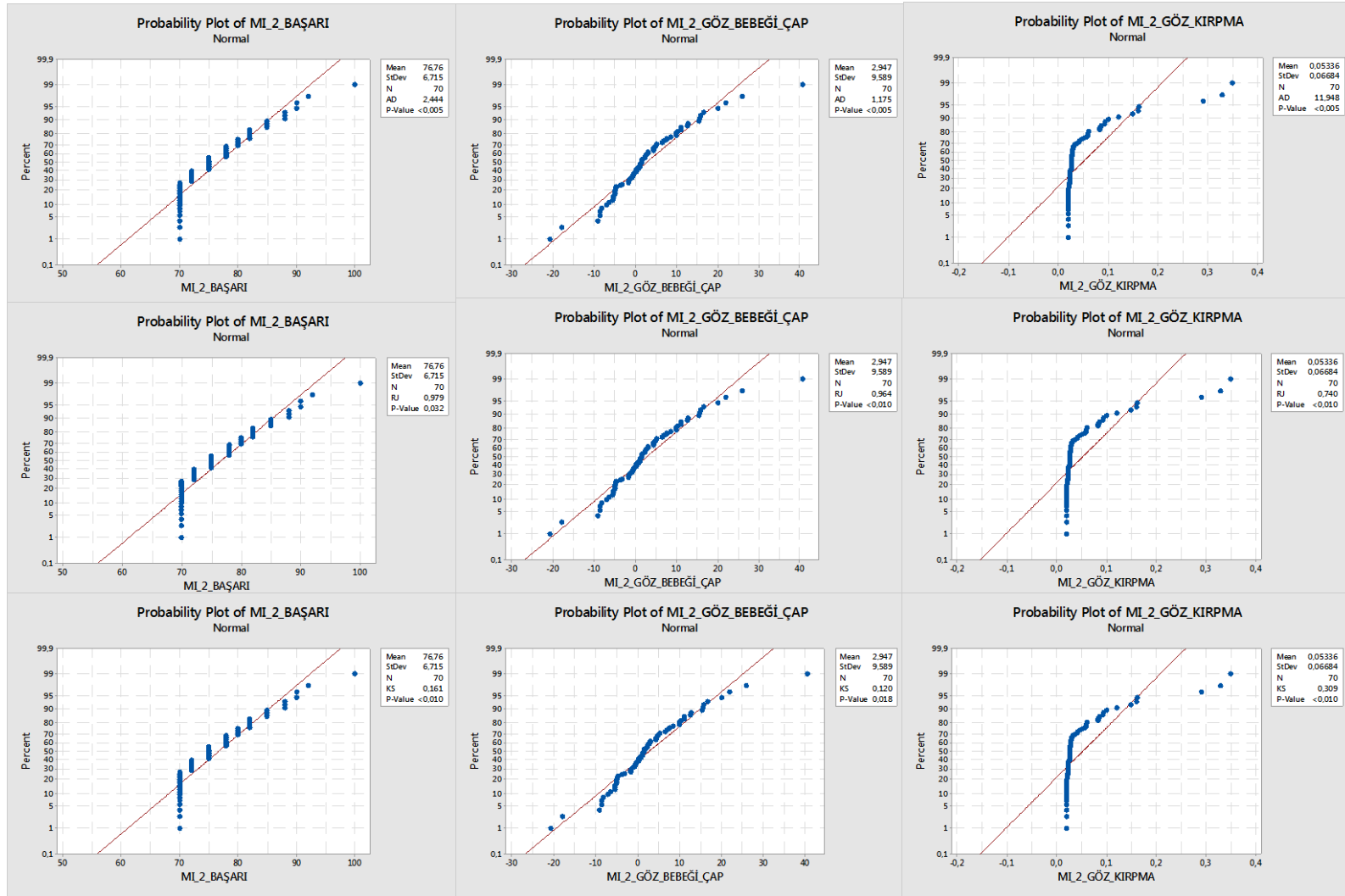


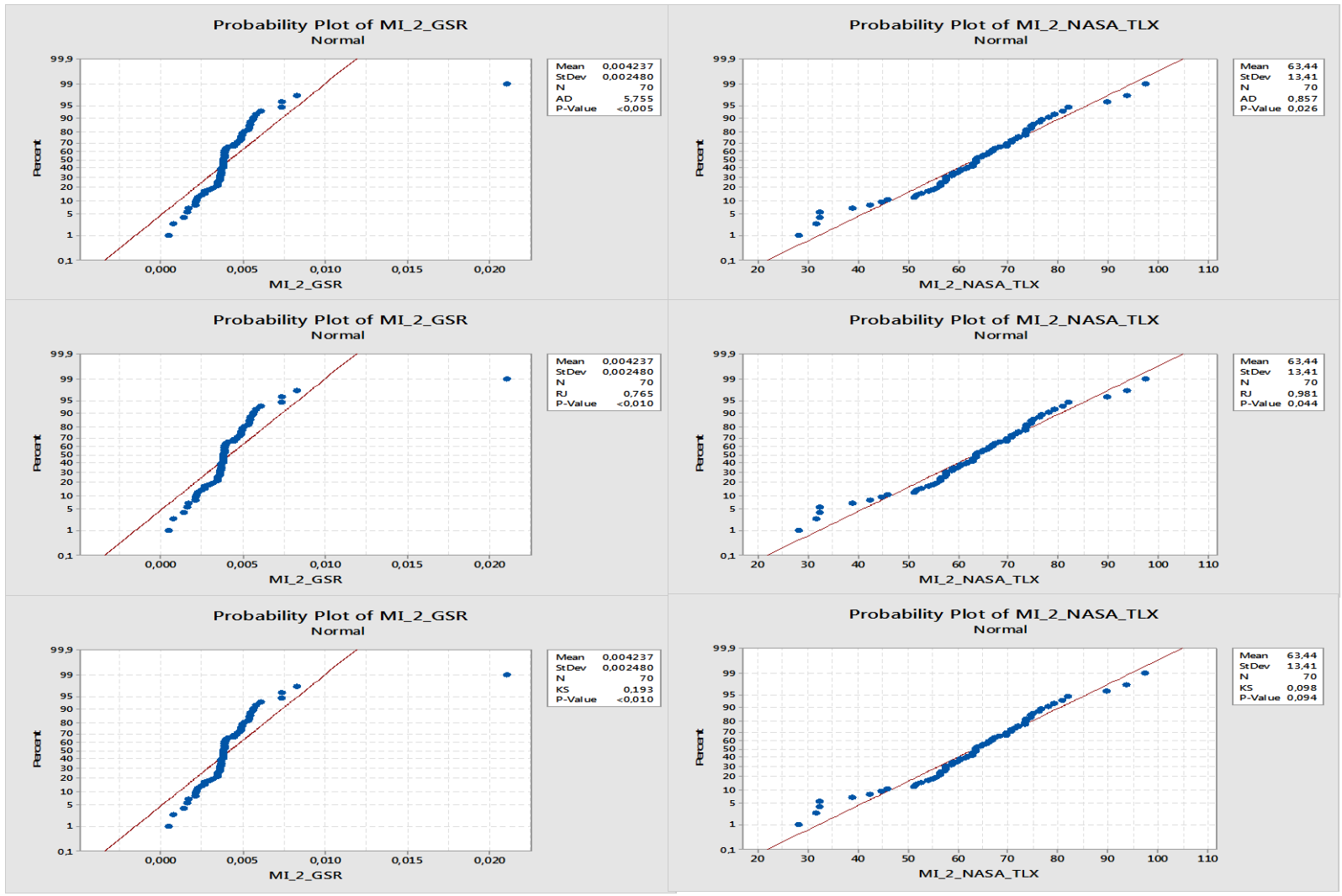


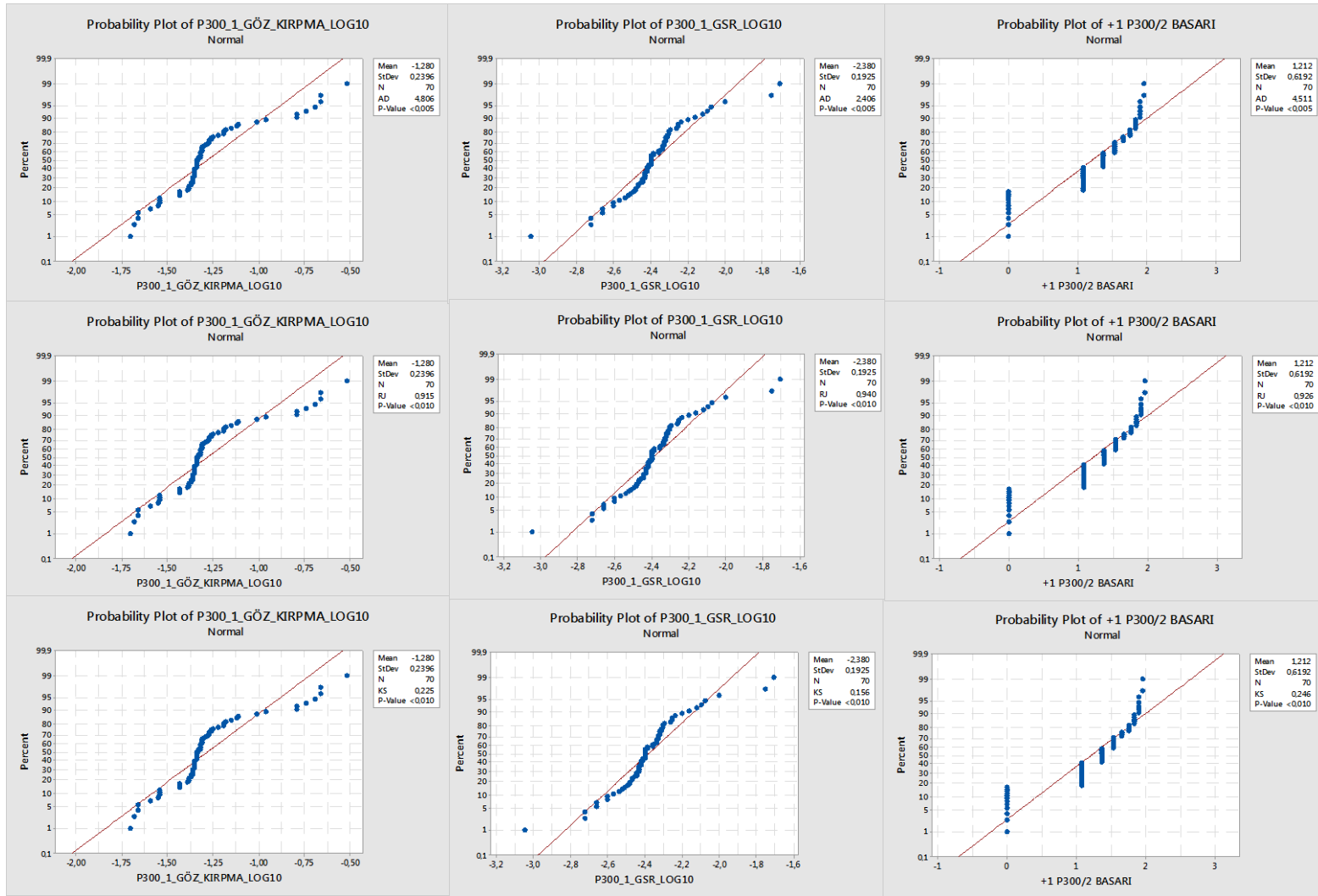


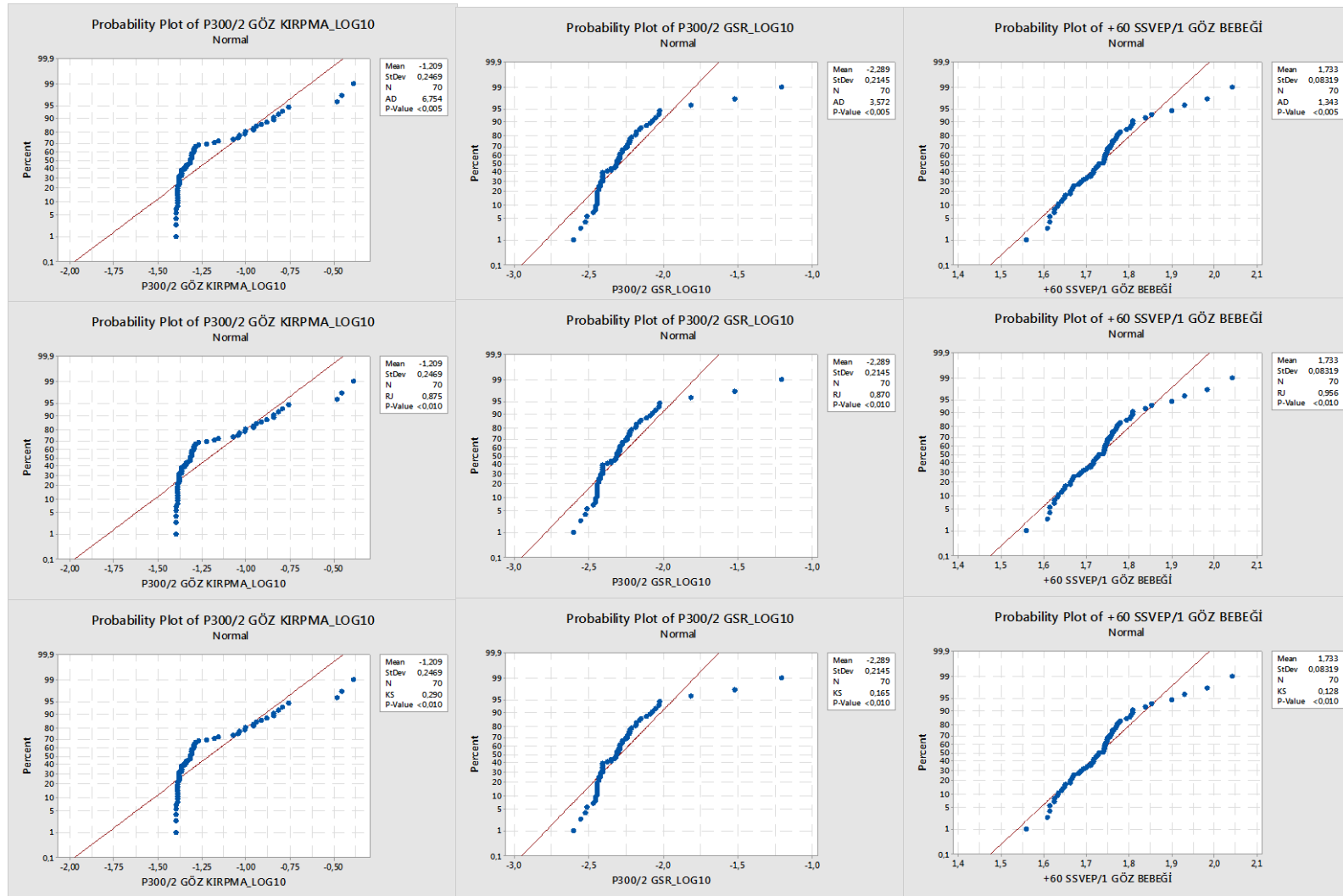


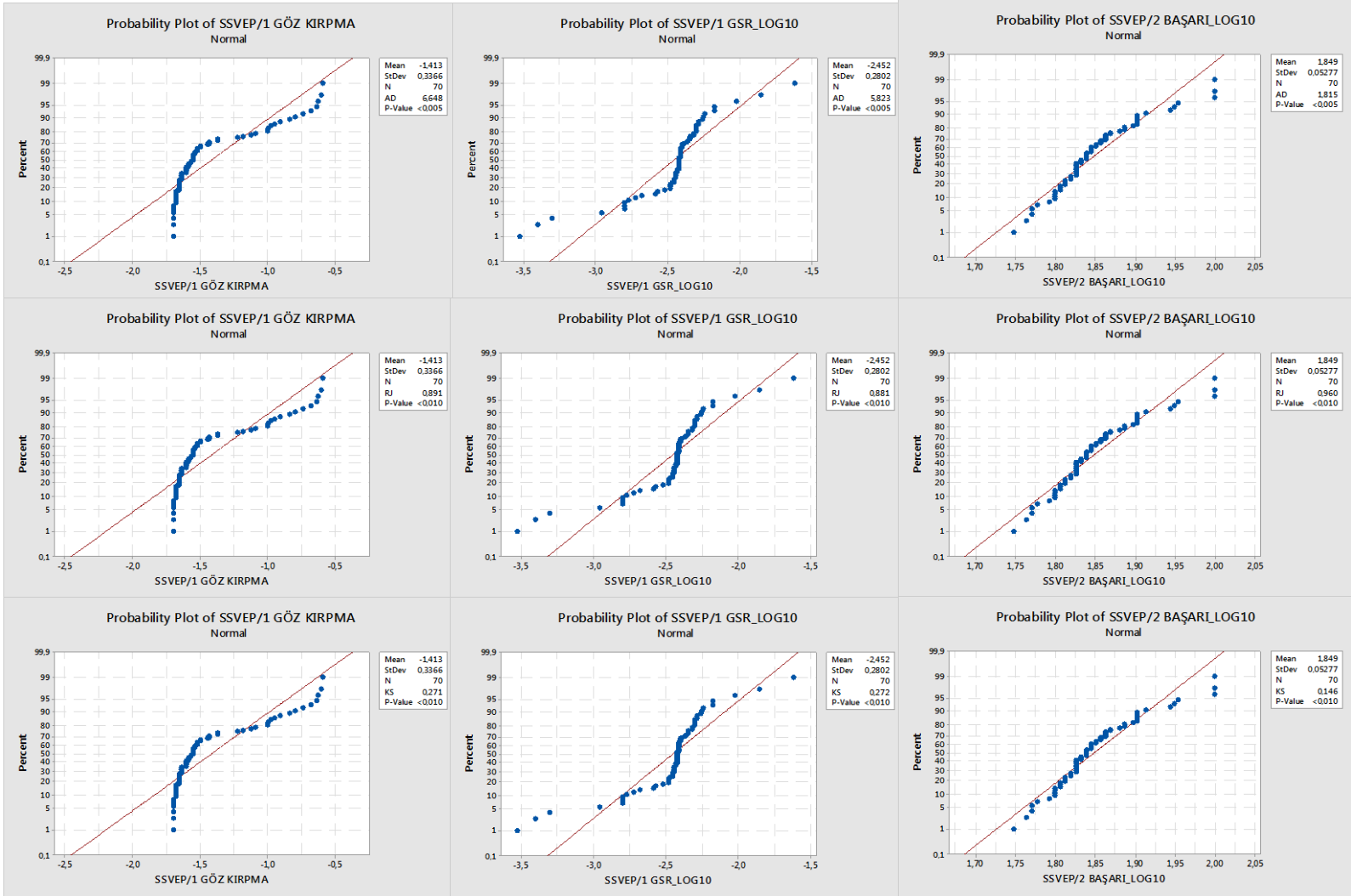


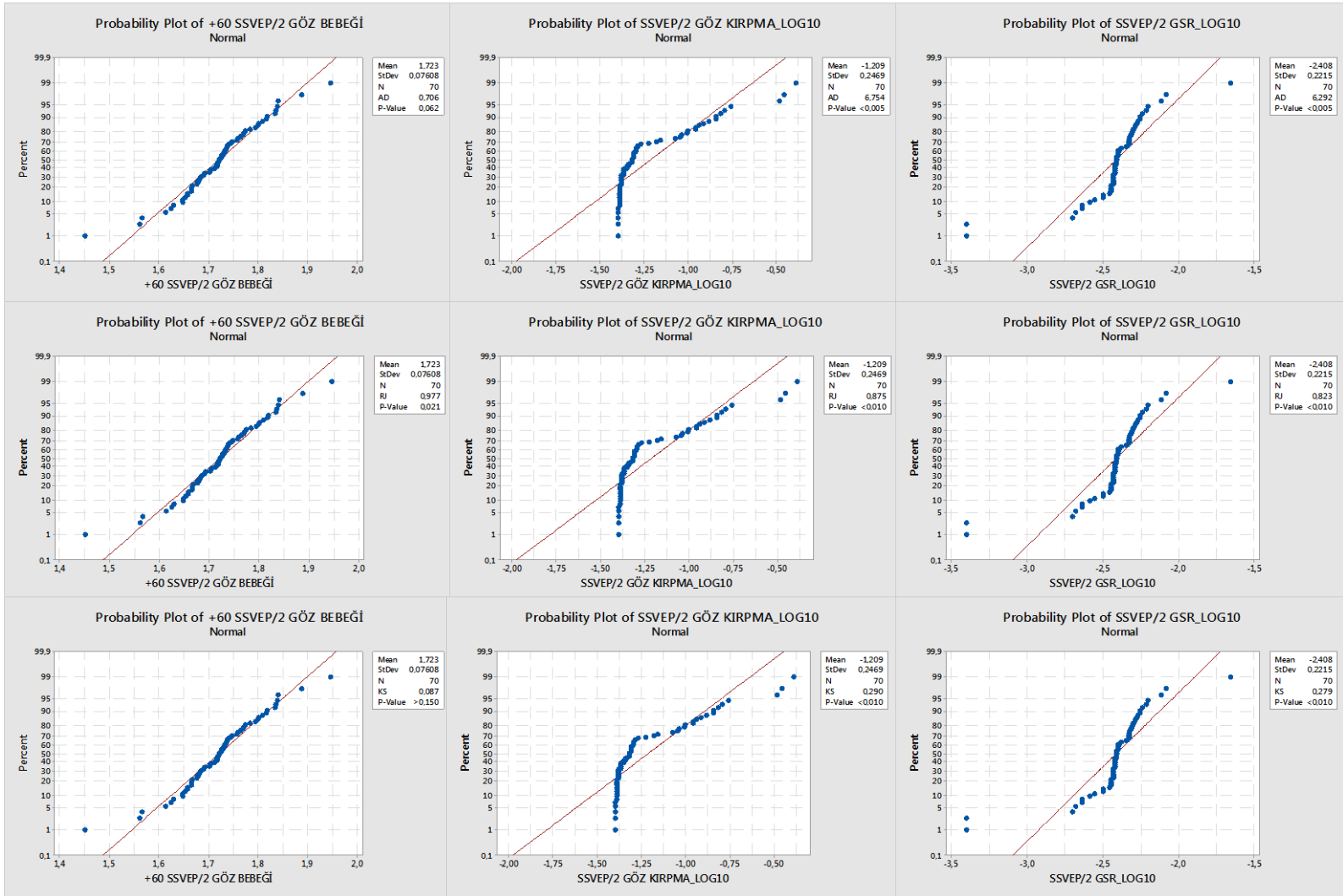


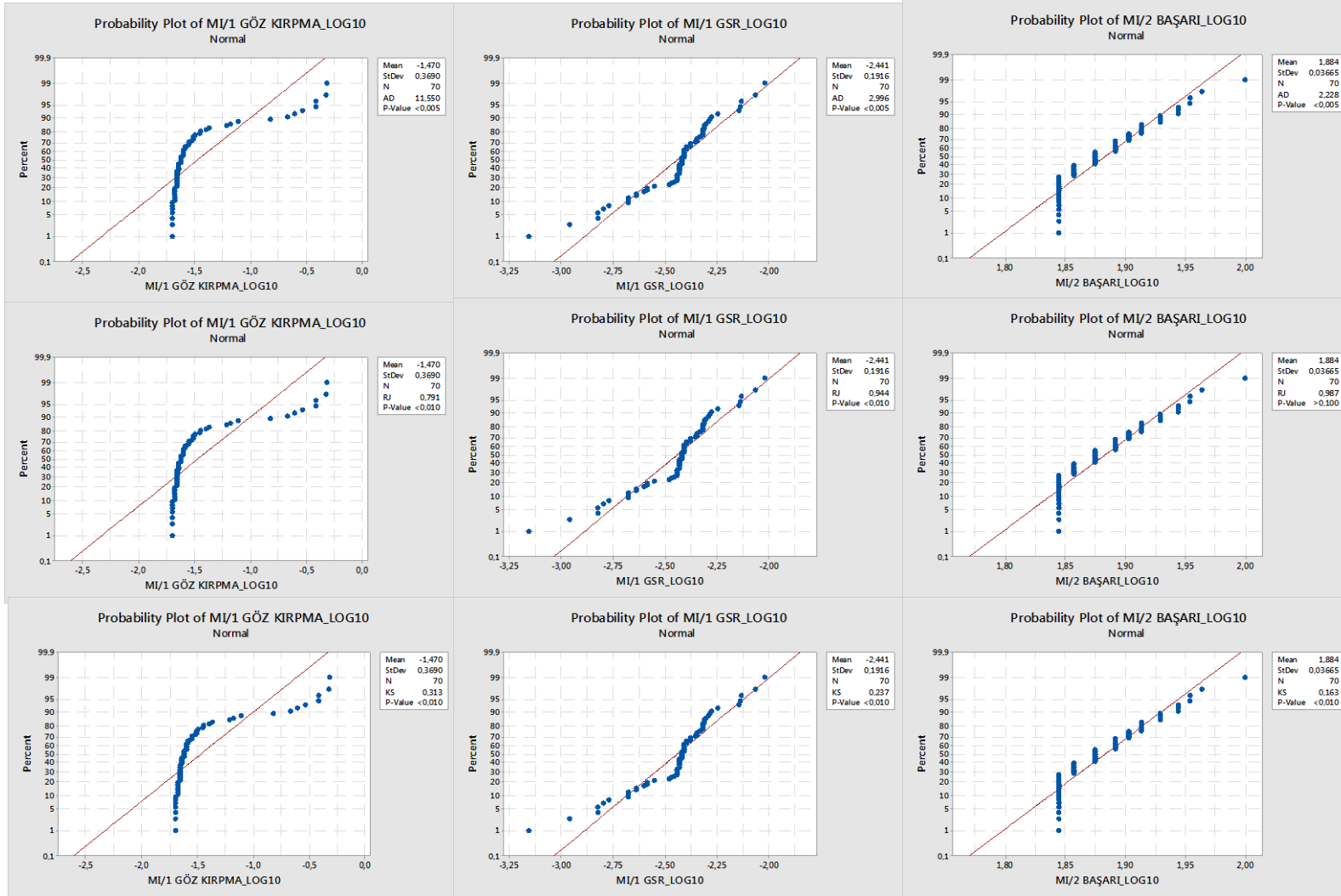


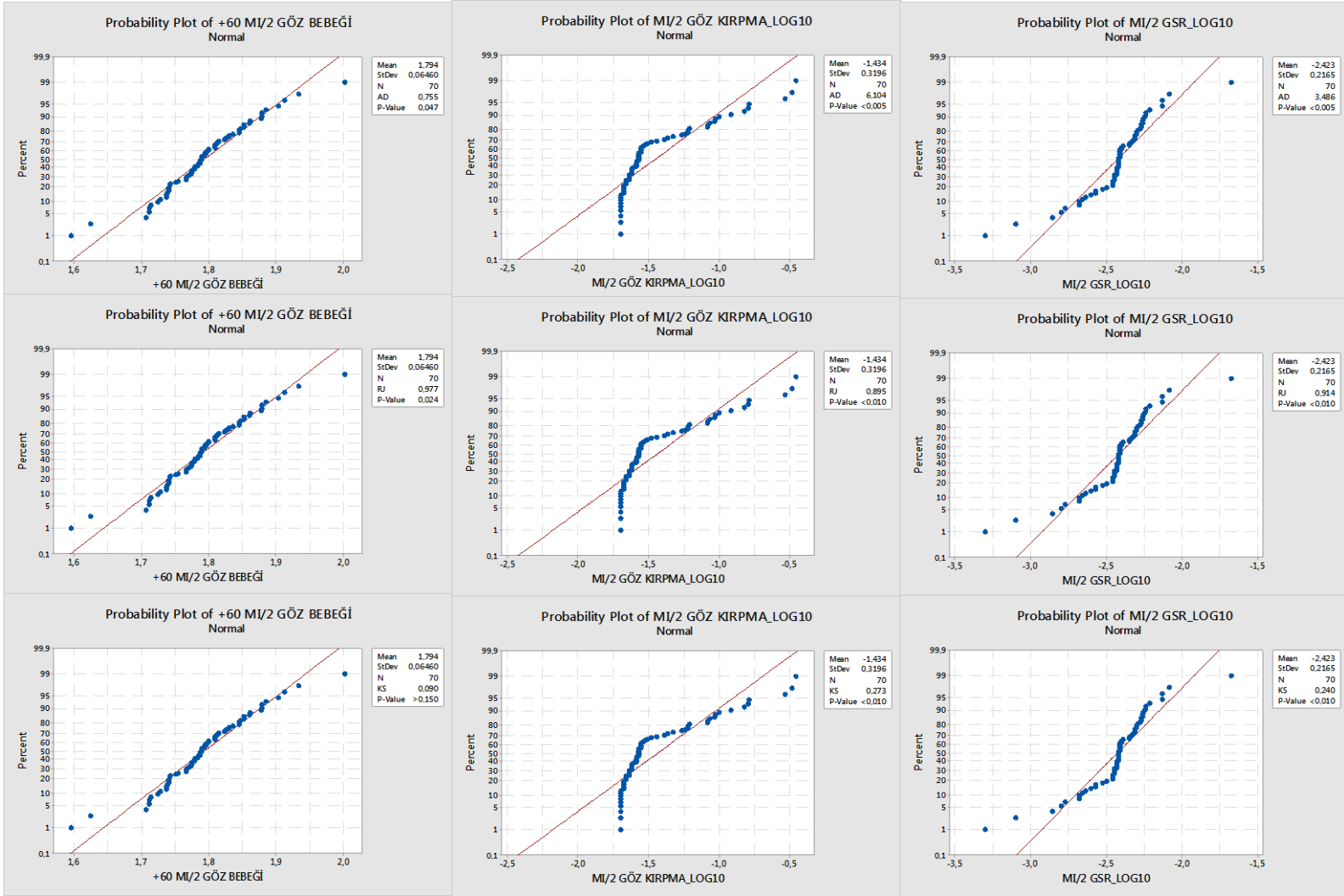












ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi: 05/12/1983

Doğum Yeri: Sivas

Uyruk: Türkiye Cumhuriyeti

EĞİTİM

Doktora : Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Endüstri Mühendisliği
Bölümü, 2010-2015

Yüksek Lisans : Clemson University Department of Industrial Engineering,
2007-2009

Lisans : Başkent üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, 2002-2006

İŞ TECRÜBESİ : Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi
,Endüstri Mühendisliği Bölümü, 2009-.....