

**OTOMOBİL İMALATINDA ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK
GÖZLÜĞÜ KULLANIMININ ÇALIŞAN ÜZERİNDEKİ
BİLİŞSEL YÜK ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Yağmur Dila İKİZ



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OTOMOBİL İMALATINDA ARTIRILMIŞ GERÇEKLIK GÖZLÜĞÜ
KULLANIMININ ÇALIŞAN ÜZERİNDEKİ BİLİŞSEL YÜK ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Yağmur Dila İKİZ
0000-0003-0701-2111

Prof. Dr. Tülin GÜNDÜZ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2021
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

OTOMOBİL İMALATINDA ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK GÖZLÜĞÜ KULLANIMININ ÇALIŞAN ÜZERİNDEKİ BİLİŞSEL YÜK ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Yağmur Dila İKİZ

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Tülin GÜNDÜZ

Endüstri 4.0 kapsamında ortaya çıkan teknolojilerden biri olan Artırılmış Gerçeklik (AG) teknolojisi, çalışma ortamının kullanıcının gerçek ekranında görülebilecek sanal görüntüleri sayesinde kullanıcılara yardım sağlar. AG, kullanıcılara verimlilik ve kalite açısından fayda sağlamasına rağmen, kullanıcılar üzerinde nasıl bir bilişsel etkiye sahip olduğu tam olarak bilinmemektedir. Bilişsel yük, beyinde çalışan hafızanın kullandığı kaynakları ifade eder. Bu çalışmada AG gözlük kullanımının bir otomobil şirketinin montaj hattı çalışanlarının bilişsel yükleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bilişsel yükü ölçmek için elektroensefalografi (EEG) kullanılmıştır. Çalışanların cinsiyetlerine (kadın-erkek) ve yaşlarına (35 yaş altı-35 yaş üstü) göre karşılaştırma yapılmıştır. Çalışanların uyum durumunu belirlemek için denemelerin ilk ve son günü arasındaki fark Wilcoxon testi ile incelenmiştir. Yapılan istatistik sonuçlarına göre $p < 0,05$ olduğundan ve AG gözlüğü kullanılarak alınan deneylerin ortalaması (18,96), gözlüksüz çalışılarak alınan deneylerin ortalamasından (5,24) yüksek olduğundan, AG gözlüğü takılması durumunda çalışanlar üzerinde daha az bilişsel yük olduğu görülmüştür. Kadın ve erkek katılımcılar ile 35 yaş altı ve üstü katılımcıların analizleri Mann Whitney U testi ile gerçekleştirilmiş olup sırasıyla p değerleri 0,0531 ve 0,2733 çıkmıştır. Bu sonuçlar da göstermiştir ki kadın ve erkek ile 35 yaş altı ve üstü katılımcıların karşılaştırmaları arasında anlamlı bir fark yoktur. Cihazın kullanımının ilk ve son günleri arasında karşılaştırmalar Wilcoxon testi ile gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucu p değeri 0,856 çıkmış olup ilk ve son günler arasında anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür. Bu nedenle, AG gözlüğünün cinsiyet ve yaş açısından bilişsel yük üzerinde bir etkisi olmadığı ve cihazın ilk kullanım gününden itibaren ekstra bir bilişsel yük oluşturmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Artırılmış gerçeklik, bilişsel yük, elektroensefalografi, otomotiv

2021, vii + 62 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

AN INVESTIGATION OF COGNITIVE LOAD EFFECT USING AUGMENTED REALITY GLASSES IN AN AUTOMOTIVE ASSEMBLY LINE

Yağmur Dila İKİZ

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Industrial Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Tülin GÜNDÜZ

Augmented Reality (AR) technology, one of the technologies that emerged within the scope of Industry 4.0, helps users with virtual images of the working environment that can be seen on the user's real screen. Although AR provides benefits to users in terms of efficiency and quality, but it is still not known exactly what cognitive load it has on users. Cognitive load refers to the resources used by the working memory in the brain. In this study, the effect of the use of AR glasses on the cognitive loads of assembly line employees of an automobile company was investigated. Electroencephalography (EEG) was used to measure cognitive load. A comparison was made according to the gender (female-male) and age (under 35-over 35) of the employees. The difference between first and last days of the trials was examined using the Wilcoxon test to determine the compliance status of the employees. According to the statistical results, since $p < 0.05$ and the average of the experiments using AR glasses (18.96) is higher than the average of the experiments (5.24) without AR glasses, it was observed that there is less cognitive load on the employees when they use AR glasses. Analyzes of female and male participants and participants under 35 years of age and over 35 years of age were performed with the Mann Whitney U test, and their p values were 0.0531 and 0.2733, respectively. These results also showed that there is no significant difference between the comparisons of female and male and participants under 35 years of age and over 35 years of age. Comparisons between the first and last days of device use were made using the Wilcoxon test. As a result of the analysis, the p value was found to be 0.856 and it was seen that there was no significant difference between the first and the last days. Therefore, it was concluded that AR glasses do not have an effect on cognitive load in terms of gender, age, and the device does create an extra cognitive load since the first day of use.

Key words: Augmented reality, cognitive load, electroencephalography, automotive

2021, vii + 62 pages.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	5
2.1. Artırılmış Gerçeklik.....	5
2.2. Bilişsel Yük.....	10
2.3. Bilişsel Yük Ölçüm Yöntemleri.....	11
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	17
3.1. Mevcut Sistem.....	17
3.2. Deney Ortamının Hazırlanması ve Kullanılan Materyallerin Belirlenmesi.....	18
3.3. Önerilen Sistem.....	20
3.4. Katılımcıların Seçilmesi ve Deneylere Hazırlanması.....	20
3.5. Deneylerin Gerçekleştirilmesi.....	21
3.6. Veri Analizi.....	24
3.7. İstatistiksel Analiz.....	31
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	34
4.1. 1 Numaralı Hipotezin Değerlendirilmesi ve Sonuçları.....	34
4.2. 2 Numaralı Hipotezin Değerlendirilmesi ve Sonuçları.....	35
4.3. 3 Numaralı Hipotezin Değerlendirilmesi ve Sonuçları.....	36
4.4. 4 Numaralı Hipotezin Değerlendirilmesi ve Sonuçları.....	37
4.5. AG Gözlüğü Kullanımının Bilişsel Yük Üzerindeki Etkisinin Tartışılması.....	39
5. SONUÇ.....	41
KAYNAKLAR.....	43
EKLER.....	53
ÖZGEÇMİŞ.....	62

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar	Açıklama
AG	Artırılmış Gerçeklik
CLT	Cognitive Load Theory (Bilişsel Yük Teorisi)
EEG	Elektroensefalografi
HMD	Head-Mounted Display (Başa Takılı Ekran)
SG	Sanal Gerçeklik

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Beynin yapısı	13
Şekil 2.2. Dalga şekilleri	14
Şekil 3.1. Pick-to-Light sistemi.....	17
Şekil 3.2. Deney alanı	18
Şekil 3.3. Karekod.....	18
Şekil 3.4. Sony SmartEyeglass SED-E1	19
Şekil 3.5. Elektrotlar ve kanallar.....	19
Şekil 3.6. Önerilen sistem	20
Şekil 3.7. Deneylerden bir örnek.....	22
Şekil 3.8. Smarting ana ekran görüntüsü	23
Şekil 3.9. Anlık sinyal görüntüleri	23
Şekil 3.10. Analyzer verileri	25
Şekil 3.11. Filtre değerleri.....	25
Şekil 3.12. Gözlüklü deneyler için segmentasyon adımları.....	26
Şekil 3.13. Gözlüksüz deneyler için segmentasyon adımları.....	27
Şekil 3.14. Veriler için seçilen tekrarlar.....	28
Şekil 3.15. Gözlüklü ve gözlüksüz deneyler için artefakt giderme adımları	28
Şekil 3.16. Gözlüklü ve gözlüksüz deney verileri için beta-gama dalgası filtreleme görüntüsü	29
Şekil 3.17. Deneyler için ortalama alma	29
Şekil 3.18. Fp1 kanalından örnek sinyal grafiği ve alan hesabı.....	30
Şekil 3.19. Ortalama alan hesaplatma	30
Şekil 4.1. 1. Deney normalite testi	34
Şekil 4.2. 5. Deney normalite testi	35
Şekil 4.3. 2. Deney normalite testi	38

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Kod açıklamaları	24
Çizelge 3.2. Deney verileri ($\mu V \cdot ms$)	31
Çizelge 4.1. 1 numaralı hipotez için Wilcoxon Test sonucu.....	35
Çizelge 4.2. 2 numaralı hipotez için Mann-Whitey U Test sonucu	36
Çizelge 4.3. 3 numaralı hipotez için Mann-Whitey U Test sonucu	37
Çizelge 4.4. 4 numaralı hipotez için Wilcoxon Test sonucu.....	38

1. GİRİŞ

Endüstri 4.0'ın gelişmesiyle birlikte, sektörde çeşitli yeni ve akıllı teknolojiler kullanılmaya başlanmıştır. Endüstri 4.0 çağında, asıl amaç daha yüksek iş verimliliği seviyeleri ve çalışma alanlarında verimlilikte hızlı bir artış olmasıdır (Thames ve Schaefer 2016). Teknolojik ilerlemelerle birlikte üretim alanındaki çalışanlar için taleplerin çeşitlenmesi ile birlikte sorunların da değişeceği varsayılmaktadır. Gorecky ve ark. (2014) teknolojinin ilerlemesi ile ilgili olarak, “Makineler ve bileşen parçaları giderek otonom hale gelir ve kendi kendini organize ederse, daha karmaşık üretim senaryoları yönetilebilir hale gelecektir.” yorumunda bulunmuşlardır. Endüstri 4.0 hareketinde insanlar, siber-fiziksel yapıya, bireysel becerileri ve yetenekleri tam olarak gerçekleştirilebilecek şekilde entegre edilmelidir (Gorecky ve ark. 2014).

Cozmiuc ve Petrisor (2018), literatürde Endüstri 4.0 devriminin dört sütundan oluştuğunu önermişlerdir. Bunlar; birlikte çalışabilirlik, bilgi şeffaflığı, teknik yardım ve merkezi olmayan kararlardır. Birlikte çalışabilirlik, mümkün olduğunca üretimi otomatikleştirme amacı ile insanları, cihazları, makineleri ve robotları ağa bağlamak için nesnelerin internetini (IoT) kullanmak anlamına gelir. Bilgi şeffaflığı terimi, Dijital İkizler (Miller ve ark. 2018) kavramına yöneliktir, yani gerçek nesnelerin sanal kopyaları ve sanalın gerçek sensörlerden çıkarılan verilerle zenginleştirilmesidir. Teknik yardım (Hold ve ark. 2017), Endüstri 4.0'ın dikkatini iki yıkıcı teknolojiyi tanıtmaya odakladığı başka bir alandır: operatörlere kısa sürede sorunları çözmek için gerektiğinde görselleştirilebilen bilgilerle destek verilmesi ve D3 işlemlerini (Dull, Dirty, Dangerous) gerçekleştirmek için insanların siber-fiziksel makinelerle ikame edilmesidir. Son olarak, merkezi olmayan kararlar kavramı ise (Marcon ve ark. 2017) otomatik bir şekilde kararlar alabilen, çelişkileri ve karmaşık planlama sorunlarını insan müdahalesi olmadan çözebilen, operatörün problem çözmekten sorumlu olmak yerine bir gözetmen haline geldiği akıllı makineler önermektedir. Daha pratik bir bakış açısıyla Endüstri 4.0, Peruzzini ve ark. (2017) tarafından öngörülen; şirketlerde Artırılmış Gerçeklik (AG) ve Sanal Gerçeklik (SG) gibi yeni teknolojilerin tanıtılması; verileri okunaklı ve sezgisel yollarla toplamak için faydalı yazılım algoritmaları geliştirmek; üretim sürelerini hızlandırmak ve akıllı yapılara izin vermek için katmanlı üretimden yararlanma; insan,

sanal ve gerçek donanım makineleri ve robotlar arasında gerçek bir ađ oluşturmak için fabrikaları yüksek bant internet bağlantılarıyla donatmak gibi yollarla ele alınabilir. Endüstriyel AG, alışanların fiziksel dünya ile giderek daha önemli hale gelen dijital ortam arasındaki boşluğu doldurmasını sağladığı için, Endüstri 4.0 kavramlarının ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir (Masood ve Egger 2019).

Giyilebilir teknoloji ile ilgili çalışmalar temel olarak AG gözlüklere ve başa takılan ekranlara (Azuma ve ark. 2001; Ong ve ark. 2008) ve akıllı eldivenlere (Dipietro ve ark. 2008; Kucukoglu ve ark. 2018) odaklanmaktadır. AG, yazılım tabanlı olup, kullanıcıya giyilebilir veya taşınabilir bir cihaz kullanılarak bulut bilişim yoluyla teslim edilebilmektedir (Vargas ve ark. 2020).

Taşınabilir ve giyilebilir cihaz üreticileri, araştırma ve geliştirmeye sürekli yatırım yapmaktadır ve sonuç olarak, AG uygulamalarının ve özellikle endüstriyel uygulamaların sayısı son on yılda katlanarak artmıştır (Vargas ve ark. 2020). Küresel AG pazarının tahmini büyüklüğünün 2025 yılına kadar 3.5 milyardan 198 milyar ABD Dolarının zerine çıkacağı tahmin edilmektedir (Liu 2020).

AG teknolojisine sahip sistemler şimdiye kadar inşaat (Oesterreich ve Teuteberg 2017), kalite yönetimi ve kalite güvence (Antonelli ve Astanin 2015, Qeshmy ve ark. 2019, Sauer ve ark. 2011), eğitim (Henderson ve Feiner 2011, Werrlich ve ark. 2017), bakım (Martinetti ve ark. 2017, Masoni ve ark. 2017, Mourtzis ve ark. 2017), lojistik (Renner ve Pfeiffer 2017) ve montaj (Hahn ve ark. 2015, Wang ve ark. 2016) gibi temel alanlarda kullanılmıştır. Ayrıca tasarım ve üretim uygulamalarında (Nee ve ark. 2012), depo operasyonlarında (Stoltz ve ark. 2017), operatörler için bir evrimii rehberlik sistemlerinde (Funk ve ark. 2017, Han ve Zhao 2017), denetim kontrolü ve veri toplama (SCADA) görevlerinde (Soete ve ark. 2015), yaşam boyu mühendislik hizmetlerinde (Masood ve ark. 2018) ve talimatların görselleştirilmesinde (Mourtzis ve ark. 2018) de kullanılmıştır. AG teknolojilerinin güvenlik artırımını (Makris ve ark. 2016) ve otomotiv vaka alışması (Michalos ve ark. 2018) gibi insan robot işbirliği uygulanmalarında kullanılmasına da son yıllarda büyük bir eğilim olmuştur.

AG gözlüğü uygulamalarında, bu cihazın çalışanlara operasyon konusunda yardımcı olduğu, işin hızını ve kalitesini artırdığı, çalışanlar için daha güvenli bir ortam sağladığı ve işçiler ile makineler arasında daha etkin iletişim sağladığı tespit edilmiştir (Damiani ve ark. 2018).

Yukarıdaki çalışmalardan da görüldüğü üzere AG teknolojisi birçok alanda kullanılmaktadır. AG gözlüğü kullanımı ile ilgi, dikkat ve bilişsel yükteki değişiklikler öznel yöntemlerle ölçülebilir (Beckers ve ark. 2017).

Bilişsel yük, belirli bir görevi yerine getirirken bilişsel sisteme yüklenen yükü temsil eder (Paas ve ark. 1994). Bilişsel yük, yapısal olarak nedensel ve değerlendirme boyutları olarak ikiye ayrılır (Paas ve Van Merriënboer 1994). Nedensel boyut, görev özellikleri ile öğrenen özellikleri arasındaki ilişkiyi yansıtırken, değerlendirme boyutu zihinsel yükü, zihinsel çabayı ve performansı yansıtır. Bilişsel yük teorisi (CLT- Cognitive Load Theory) araştırmasında görev karmaşıklığı, zaman baskısı, multimedya kullanımı ve öğretim hızı gibi görev özellikleri kullanılır (Paas ve ark. 2003a). CLT, işitsel ve görsel bilgi ve becerileri yeni durumlara uyarlamak için sınırlı kapasiteli çalışma belleğinin etkin kullanım yöntemlerinin geliştirilmesiyle ilgilidir (Sweller ve ark. 1998).

Temel olarak, sınırlı çalışma belleği kapasitesiyle (Miller 1956) birleşen bilgi yoğunluğu, yoğun çoklu görev koşullarında bilişsel aşırı yüklenmeye yol açar (Xie ve Salvendy 2000). Çoklu görevle ilgili bu tür bir aşırı yükün değerlendirilmesi ve tahmin edilmesi kritik bir konudur (Xie ve Salvendy 2000)

Bu çalışmada, AG gözlüklerinin bir otomotiv şirketinin montaj operatörlerinin bilişsel yükleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Firma, montaj operatörlerinin üretim siparişlerine göre montaj malzemelerini raftan alıp bir malzeme arabasına yerleştirdiği işlemi AG teknolojisi ile gerçekleştirmek istemektedir. Ancak bu işlemin montaj operatörlerinin bilişsel yükleri üzerine etkisinin ne olacağı bilinmemektedir. Sağlıklı katılımcı ile yapılan deneylerde, bilişsel yük ölçümü için EEG kullanılmıştır. AG gözlüklerin kullanımı bilişsel yüklenme açısından standart çalışma koşuluyla

karşılaştırılmıştır. Çalışanların cinsiyetlerine (kadın-erkek) ve yaşlarına (35 yaş altı-35 yaş üstü) göre karşılaştırma yapılmış, aynı zamanda deneylerin ilk ve son günleri arasındaki fark da değerlendirilmiş, böylece AG gözlüklerinde çalışanların deneyim kazanma süreci de incelenmiştir.

Bu çalışmanın ana katkıları aşağıdaki gibidir:

- Bu çalışma AG teknolojisinin çalışanlar üzerindeki bilişsel etkisini değerlendirmektedir.
- Deneyler, bir otomotiv şirketinin gerçek bir montaj hattında, bilişsel yük ölçümü için hem nesnel hem de subjektif yöntemler kullanılarak yapılmıştır.
- Bilişsel yük karşılaştırması yapılırken cinsiyet, yaş ve AG gözlüklerine alışma sürecinin etkisi de değerlendirilmiştir.
- Otomotiv endüstrisinde bilişsel yükü ölçmek amacıyla gerçek çalışma ortamında EEG ölçümünü yapan ilk çalışmadır.

Bu çalışma aşağıdaki sorulara cevap aramaktadır:

- Artırılmış gerçeklik gözlüğünün montaj hattında kullanılmasının bilişsel yüke etkisi nedir?
- Artırılmış gerçeklik gözlüğünün montaj hattında kullanılmasının kadın ve erkek operatörler üzerindeki etkisi nedir?
- Artırılmış gerçeklik gözlüğünün montaj hattında kullanılmasının yaşa bağlı etkisi nedir?
- Artırılmış gerçeklik gözlüğünün yeni kullanımı ile deneyimli kullanımı arasında fark var mıdır?

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde tanımlardan, genel bilgilerden ve araştırılan kaynaklardan bahsedilmektedir.

2.1. Artırılmış Gerçeklik

Artırılmış gerçeklik artık kolay ulaşılabilen teknolojilerden biridir. Uzun zamandır gelişimini sürdürmekte ve birçok alanda kullanılmaktadır. Teknolojinin gelişmesi ve kolay ulaşılabilmesi sayesinde, AG ile ilgili araştırmalar da artmış ve çeşitlilik kazanmıştır. Yaşamın her alanında kolaylık sağlamakta olan AG teknolojisi çeşitli yapılarla karşımıza çıkmaktadır. AG görüntüleme teknolojisi genel olarak üç alanda sınıflandırılabilir: kullanıcının kafasında (başa takılı), kullanıcının elinde (elde taşınır) veya ortama monte edilmiş (uzaysal) (Bimber ve Raskar 2006, Peddie 2017). Başa takılı AG teknolojisinde kontakt lensler, kasklar ve akıllı gözlükler, boyutlarına ve yerleşimlerine bağlı olarak farklı şekillerde kategorize edilebilir ve uygulanabilir (Peddie 2017). Elde taşınan AG teknolojisi ise, kullanıcının en az bir elini bağladığı için kullanıcı verimliliğini sınırlar (Danielsson ve ark. 2020). Uzaysal AG teknolojisinde, kullanıcının herhangi bir ekipman takması gerekmez, ancak yüzeyle sanal bilgilerin gösterilmesiyle sınırlıdır ve havadaki nesnelere görselleştiremez (Uva ve ark. 2018).

AG terimi, kullanıcının gerçek dünyaya duyuşsal algısını bilgisayar tabanlı bir bilgi katmanı ile arttırmayı ifade eder (Azuma 1997). AG teknolojisi, 1992 yılında ABD ordusu tarafından tanıtılmıştır (Rosenberg 1992) ve hem gerçek ortamı hem de ekranda görüntülenen bilgileri aynı anda görüntülemenizi sağlar (Pierdicca ve ark. 2017). AG yeni bir teknoloji değildir (Jetter ve ark. 2018); ancak son on yılda AG uygulamalarında kullanılan donanım ve yazılım olgunlaşmıştır.

AG'in endüstriyel uygulamalarına olan yaygın ilgi sayesinde, bu alandaki akademik araştırmalar önemli ölçüde büyümüştür. AG'in endüstriyel uygulamaları hakkında yayınlanan makale sayısı, yılda ortalama % 30 oranında artmaktadır (Vargas ve ark. 2020).

AG teknolojilerinin ana uygulama alanları tasarım, bakım ve montajdadır (Nee ve ark. 2012). Nee ark. (2012), AG destekli sistemleri bilgi sunum yöntemine göre üç gruba ayırır: Başa takılı ekranlar (HMD-Head Mounted Display) hakkında bilgi sunma, tablet veya akıllı telefon ve işyerinde bilgi yansıtma.

“HMD” ile ilgili olarak şu makaleler örnek gösterilebilir;

- Yüksek bilgili manuel iş desteği için AG tabanlı teknolojik platform oluşturmak (Helin ve ark. 2018)
- Zırhlı araçların rutin bakım görevlerinde, askeri teknisyenleri desteklemek için AG uygulamasının tasarımını, uygulamasını ve kullanıcı testini gerçekleştirmek (Henderson ve Feiner 2009).

Helin ve ark. (2018), AG sistemini karma gerçeklik platformu için hazırlamış, başa takılabilir bir AG teknolojisi ve modüler bir mimari ile uygulamaya geçirmiştir. AG sistemini değerlendirme amaçları, kullanıcı AG teknolojisi kullanarak bir uygulama gerçekleştirirken, AG teknolojisinin performans hatalarını azaltabileceğini, akılda kalınlığı, eğitimin maliyetini ve zaman verimliliğini artırabileceğini kanıtlamaktır. Analiz için anketler kullanılmış olup, sonuçlarında da kullanıcı deneyimi, kullanılabilirlik, kullanıcı memnuniyeti ve teknoloji kabulü için elde edilen puanların istenen ortalamaya yakın olduğu görülmüştür.

Henderson ve Feiner (2009) ise tasarlanmış metin, etiketler, oklar ve animasyonlar ile kurgulanmış başa takılan bir AG gözlüğünün zırhlı araç bakımı görevinin anlaşılmasını, konumlandırılmasını ve yürütülmesini kolaylaştırmak için kullanılmasını test etmişlerdir. Uygulanan görevler arasında zırhlı bir personel taşıyıcı kulesinin sıkışık iç kısmındaki bağlantı elemanlarının ve gösterge ışıklarının takılması ve çıkarılması ve kabloların bağlanması yer almıştır. Normal koşullarda kullanmış oldukları dizüstü bilgisayar tabanlı düz panel ekran ile metin ve grafikler ile desteklenmiş başa takılı AG gözlüğünü karşılaştırmışlardır. AG teknolojisinin kullanımı ile kullanıcıların görevleri daha hızlı gerçekleştirdiği ve bazı koşullarda daha az kafa hareketi yaptıklarını göstermişlerdir. Kullanıcılara uyguladıkları anket sonuçlarında ise kullanıcıların AG gözlüğünü daha tatmin edici buldukları sonucuna varmışlardır.

“Tablet veya akıllı telefonlar” ile ilgili olarak da aşağıdaki makaleler incelenmiştir;

- Arazi navigasyonlarının zorlu ortamlarda kullanılmasını giyilebilir teknoloji ile kolaylaştırmak (Aaltonen ve ark. 2016)
- Tasarım aşamasında insan faktörleri / ergonomi değerlendirmesini (HFE) desteklemek için sanal prototiplemenin uygulanmasının değerlendirilmesi (Aromaa ve Väänänen 2016)
- Muayene görevleri gerçekleştiren müfettişlerin, görevlerini 3 boyutlu açıklamaları gösteren bir AG arabirimi ile gerçekleştirmesinin araştırılması (Polvi ve ark. 2018).

Aaltonen ve ark. (2016), çalışmalarında giyilebilir ve çok modlu navigasyon sistemlerini, zorlu ortamlardaki arazi navigasyonunun zorluklarının üstesinden gelmek için kullanılmasını önermişlerdir. Sistemleri, başa takılan bir ekran, kulaklıklar ve dokunsal titreşimli bir yelek içermekteydi. Kullanılan sistemlerin avantaj ve dezavantajlarını anketler, görüşmeler ve gözlemlerle değerlendirmişlerdir. Kullanıcılar sistemin yorumlanmasının kolay olduğunu ve navigasyonda yardımcı olduğunu düşündüklerini söylemişlerdir.

Aromaa ve Väänänen (2016) çalışmalarında ise tasarım aşamasında insan faktörleri / ergonomi değerlendirmesini (HFE) desteklemek için sanal prototiplemenin uygunluğunu değerlendirilmesini amaçlamışlardır. Makineler için bakım platformu gibi yeni tasarım çözümlerini görselleştirmek için AG ve SG teknolojilerini kullanmışlardır. Buradaki amaç, gerçeklik-sanallık sürekliliğindeki uygunluk seviyesi prototipleri arasındaki farkları bulmaktır. Değerlendirmeler sonucunda ise, sistem modeli özelliklerinin ve kullanıcı arayüzünün yaşanan uygunluğu etkilediğini göstermektedir. Görünürlük, erişim ve araç kullanımının değerlendirilmesini desteklemek için SG sisteminin, AG sisteminden daha uygun olarak değerlendirilmiştir.

Polvi ve ark. (2018) makalelerinde, muayene görevleri gerçekleştiren müfettişlerin görevlerini kağıt, el kitabı gibi bir kılavuz kullanarak gerçekleştirmek için gösterdikleri çabanın azaltılmasına yönelik çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Kılavuzdaki bilgileri bir ortamdaki bilgilerle eşleştirmek için gereken çaba ve ikisi arasında gerekli olan sürekli bakış kaymaları, müfettişin görevlerini yerine getirirken iş verimini ciddi şekilde

düşürebildiği için, 3 boyutlu açıklamaları gösteren bir AG arabirimi ile muayenelerin gerçekleştirilmesine odaklanmışlardır. Karşılaştırmalı değerlendirmeler sonucunda, AG arayüzünün kullanımının daha düşük görev tamamlama süreleri, daha az hata, daha az bakış kayması ve daha düşük öznel iş yükü ile sonuçlandığı tespit edilmiştir.

Son olarak “İş yerinde bilgi yansıtma” ile ilgili olarak aşağıdaki makaleler örnek verilebilir;

- Araç panellerindeki nokta kaynak konumlarının, projektör tabanlı bir uzaysal AG sisteminin kullanımının değerlendirilmesi (Doshi ve ark. 2017)
- Ürün montajı için projeksiyon sistemi kullanılarak iki farklı grubun (uzman ve eğitimsiz çalışanlar) performanslarının karşılaştırılması (Funk ve ark. 2017).

Doshi ve ark. (2017) çalışmalarında manuel kaynak operatörleri için araç panellerindeki nokta kaynak konumlarını vurgulamak için bir endüstriyel kalite güvence ortamında projektör tabanlı bir uzaysal artırılmış gerçeklik sisteminin kullanımını araştırmışlardır. Çalışmanın amacı, otomotiv üreticisinin ürün kalitesini artırmak için proaktif bir adım olarak görsel ipuçlarının yardımıyla manuel punta kaynak yerleştirmelerinin hassasiyetini ve doğruluğunu iyileştirmektir. Çalışma sonuçlarında, AG görsel ipuçları kullanıldığında, manuel nokta kaynağı yerleştirmenin standart sapmasında %52'lik bir azalma gözlemlenmiştir. Görsel ipuçları, operatörlerin daha yüksek bir hassasiyet ve doğruluk derecesinde nokta kaynak yapmasını sağlamıştır.

Funk ve ark. (2017) ise, çalışanları ürün montaj görevleri sırasında desteklemek için yerinde projeksiyon kullanılmasını araştırmışlardır. Yardımcı sistemi, bir montaj salonunda yerinde projeksiyon kullanarak konuşturmuşlardır. Uzman ve eğitimsiz işçilerden oluşan iki farklı kullanıcı grubu ayrı ayrı ele alınmış olup, uzman çalışanlar için performansta bir düşüş gözlenmiştir. Eğitimsiz çalışanlar için projeksiyon sistemi ise öğrenme başarısı göstermektedir.

Bu ana sektörler dışında, AG teknolojisinin kullanımının arttığı ve güçlendiği sektörlerden biri de otomotiv imalat sektörüdür (Nee ve ark. 2012).

Fründ ve ark. (2005) yaptıkları çalışmada AG teknolojisinin otomobil geliştirme sürecini desteklemek amacıyla kullanılmasını araştırmışlardır. Gerçek prototiplerin oluşturulması için gereken zaman ve maliyet fazla olduğu gibi, dijital prototiplerin kullanımını da büyük miktarda alan ve para gerektirdiği için AG teknolojisine yönelmişlerdir. Bir otomobil firmasında gerçekleştirdikleri çalışmalarında, temel otomobil prototiplerini sanal bileşenlerle tamamlamışlardır. Çalışmalar sayesinde tasarım kararları, paketleme incelemeleri ve ergonomik analizleri AG teknolojisi kullanılarak desteklemişlerdir. Çalışma sonucunda ise yeni konsept otomobillerin AG tabanlı hızlı prototiplemesinin faydalı olduğunu görülmüştür.

Echtler ve ark. (2004) ise otomotiv endüstrisindeki kaynakçıların deneysel araçlarda yüksek hassasiyetle saplama kaynağı atmasına yardımcı olacak bir Akıllı Kaynak Tabancasının prototip tasarımı ve uygulaması üzerinde çalışmışlardır. Saplama kaynağı senaryosu ve belirlenen sistem gereksinimleri için, çalışma alanına sensörler, ekranlar ve işaretler yerleştirilerek, farklı seçeneklerin fizibilitesini analiz etmişler ve potansiyel sistem kurulumlarının tasarım alanının kapsamlı bir araştırması yapmışlardır. Akıllı Kaynak Tabancası, üzerinde ekran eki olan normal bir kaynak tabancası ile kullanıcı etkileşimleri için birkaç düğme ve sabit kameralardan tabanca konumunu izlemek için yansıtıcı işaretleyicilerden oluşmaktadır. Akıllı Kaynak Tabancası, kaynakçıların tabancayı planlanan saplama konumlarına gerekli hassasiyetle yerleştirmelerine yardımcı olmak için kullanılmıştır. Araştırma sonuçları göstermiştir ki, geleneksel saplama kaynak işlemine göre, AG teknolojisi kullanılarak yapılan saplama kaynak işlemi ile önemli zaman kazanımları sağlanmıştır.

Paulo Lima ve ark. (2017) otomotiv sektöründe, AG teknolojisi kullanılarak üretimdeki araçları izleme üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bakım asistanı, akıllı bir kılavuz ve arabalardaki birçok farklı uygulamaya uygulanabilecek belirli bir ortamda üç boyutlu koordinatların konumunu belirtmek için sistemin üstüne bir AG uygulaması oluşturmuşlardır. Değerlendirme sonuçları ise, AG sisteminin dönen bir aracı izleme, eksiksiz bir araç üzerindeki verileri izleme ve yüksek doğrulukta izleme gibi görevlerde kullanıcıların noktaları doğru bir şekilde tanımlamasına izin verdiğini göstermiştir.

Makris ve ark. (2016) ise çalışmalarını operatörlerin, insan ve robot işbirliğine dayalı hibrit endüstriyel bir ortamda bulunmasına yardımcı olacak AG teknolojisinin uygulanması doğrultusunda gerçekleştirmişlerdir. Amaçları, sistem, üretim ve süreçle ilgili bilgileri sağlamanın yanı sıra operatörlere, ihtiyaç duyulduğunda üretim verileriyle birlikte kendi görüş alanlarında kapsamlı montaj talimatları sağlayarak yardımcı olan bir sistem geliştirmektir. Uygulamaları sonucunda operatörlerin gerekli bilgilere ulaşması için gereken sürenin minimuma indiğini, operatörün güvenlik çitleri olmadan, büyük endüstriyel robotların yanında çalışma kabulünü artırdığı sonucuna varmışlardır. Buna ek olarak, AG teknolojisi kullanılarak geliştirilen hibrit sistem sayesinde, talimatlar için kullanılan kâğıt tabelalar olmadan doğrudan üretim hatlarına daha iyi ve daha sezgisel bilgiler sunulmuş olup duruş sürelerini azaltılmış ve eğitim süreci iyileşmiştir.

Üretimin dışında AG teknolojisi, otomotiv endüstrisi tarafından kaza ve acil durum hizmetlerini desteklemek için kullanılmaktadır.. Örneğin, Mercedes Benz, tüm yeni arabaların B sütunlarına ve yakıt kapılarına hızlı yanıt (QR) kodları yerleştirerek, ilk müdahale ekiplerinin, AG mobil uygulaması kullanarak kablo ve yakıt sistemlerinin renk kodlu görüntülerini hızlı bir şekilde görüntülemesini sağlamaktadır (Etherington 2016).

2.2. Bilişsel Yük

Bilişsel yük, belirli bir sorunu çözmek için kullanıcının zihinsel çabasına atıfta bulunur (Sweller 1988). Yani bilişsel yük, bir görevin gerektirdiği ve kişinin çalışma belleğinde kullanılan zihinsel çaba miktarını temsil eder (Sweller ve ark. 1998). Ortak bir bağlantı, bir görevi yerine getirmek için kullanılan çalışan bellek kaynaklarının sayısını ifade eden bir kavram olan bilişsel yük (Cabañero ve ark. 2020), başka bir deyişle çalışma belleğinde depolanan ve işlenen bilgi miktarıdır (Prabhakar ve ark. 2020).

Bilişsel yükün düzeyi, yapılacak görevin özelliklerine ve o görevi gerçekleştiren kişiye bağlıdır. Her görevin farklı bir yükü vardır, yani daha karmaşık veya daha basit olabilir (eylemi gerçekleştirmek için gereken adımlara veya hassasiyet düzeyine bağlı olarak) ve her denek, yeteneklerine göre farklı şekilde işler (Andrade-Lotero 2012). Bir görevi

gerçekleştirmek için kullanılan bilişsel kaynaklara zihinsel çaba olarak atıfta bulunmak yaygındır, bu da " bilişsel yük " ve zihinsel çaba " terimlerinin çoğu zaman birbirinin yerine kullanıldığı, ancak tamamen aynı olmadıkları anlamına gelir (Cabañero ve ark. 2020).

Bilişsel yük teorisi, yüksek bir zihinsel yükün, bilgiyi ayrıntılandırmak için zihinsel kaynakların tahsis edilmesini gerektireceğini ileri sürer (Kirschner ve ark. 2011a, b, Sweller 1988, 2010). Üç tür bilişsel yük tanımlanmıştır: içsel (asıl), etkili (ilişik) ve dışsal (konu dışı) (Sweller ve ark. 1998). İçsel bilişsel yük, bireyin geçmişiyle ilgilidir. Öğrenilen materyalin doğası ile öğrencinin ilgili uzmanlık düzeyi arasındaki etkileşim tarafından belirlenir (Sweller ve ark. 1998). Etkili bilişsel yük, soyutlamalar ve detaylandırmalar gibi faydalı bilişsel süreçlerin sonucudur. Bu süreçler, öğretici sunumla uyarılır ve teşvik edilir (Gerjets ve ark. 2004). Dışsal bilişsel yük ise, öğrenenlerin şema oluşturmayla doğrudan ilgili olmayan, işleyen bellek etkinliklerine katılımını gerektiren öğretim tekniklerinin sonucudur (Brünken ve ark. 2003). İlk araştırmalar, yaygın olarak kullanılan eğitim tasarımlarının çoğunun, öğrenenlerin, bir öğrenme görevini tamamlamak için gerekli ikincil teknik ayrıntıları aramak gibi, öğrenmeyle doğrudan ilişkili veya öğrenmeye yardımcı olmayan bilişsel kaynakları kullanmalarını gerektirdiğini ortaya koymuştur (Sweller ve ark. 1998). Dahası, içsel bilişsel yük ve dışsal bilişsel yük toplayıcı olduğundan, sonuç çalışma hafızasında şema oluşturma ve öğrenmeye ayırmak için daha az bilişsel kaynak bırakılmasına neden olur (Sweller 1994, Um ve ark. 2012).

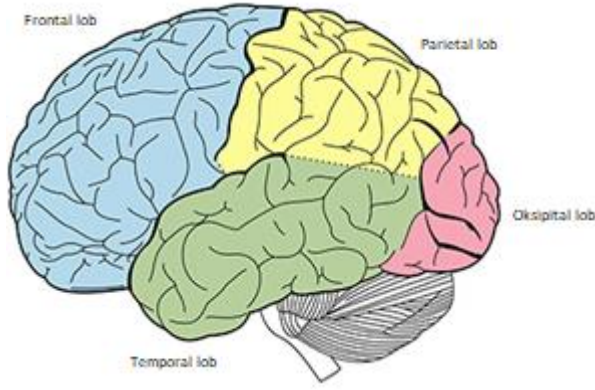
2.3. Bilişsel Yük Ölçüm Yöntemleri

Bilişsel yük, bilgi işlemedeki iç süreçlerle ilgili olduğu için doğrudan gözlenemez. Bu nedenle, araştırmacılar bilişsel yükün bir göstergesi olan algılanan zihinsel çabayı ölçmek için çeşitli yollar geliştirdiler (Paas ve Van Merriënboer 1994). Araştırmaların çoğunda bilişsel yükü belirlemek için öznel derecelendirme ölçekleri uygulanmaktadır (Paas ve ark. 2003b). Bu ölçekler, NASA Görev Yüğü İndeksi (NASA-TLX) (Hart ve Staveland 1988) ve 9 noktalı simetrik kategori zihinsel efor derecesi ölçeğini (Paas 1992) içerir. Öznel derecelendirme ölçekleri, bilişsel yükte sürekli bir salınım ölçümü

sağlamaz. Bu yüzden son zamanlarda, bilişsel yükün nesnel ölçümleri için fizyolojik metodolojiler önerilmiştir (Parasuraman ve ark. 2008). Fizyolojik indeks yanıtları, bilişsel süreçlerle ilişkili olan ve fiziksel değişimlerin izlenmesiyle elde edilen sinyallerdir (Dirican ve Göktürk 2011). Fizyolojik metodolojilerden bazıları, kalp atış hızı değişkenliği (Paas ve Van Merriënboer 1994), hormon seviyeleri (Eggemeier ve Wilson 1991) ve göz hareketi verileridir (Goldstein ve ark. 1992). Sinirbilimde kullanılan pozitron emisyon tomografisi (PET), fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI) ve elektroensefalografi (EEG) gibi diğer fizyolojik teknikler de bilişsel yük ölçümünde kullanılır (Antonenko ve ark. 2010). Diğer ölçümlerin aksine (fMRI sınırlı pozisyon, PET'in zararlı maddelerin enjeksiyonu), EEG beyin ortamını gerçek ortamlarda parazitsiz ölçebilir. Kablosuz EEG ile veriler daha kolay toplanabilir. Böyle iyi özelliklerin aksine EEG, hareket ve göz kırpmaya gibi doğal olmayan yapılardan yani artefaktlardan etkilenir.

EEG, kafa derisine yerleştirilen elektrotlar vasıtasıyla elektriksel aktiviteyi ölçen yaygın bir beyin görüntüleme tekniğidir (Antonenko ve ark. 2010). Bu elektrik sinyalleri, bilişsel bir görevde yer alan nöronların aktivasyonu ve deaktivasyonu sırasında nöronların içindeki ve etrafındaki iyonik hareketlerle üretilir. EEG, bu elektrik sinyallerindeki dalgalı voltajları ölçer (Cabañero ve ark. 2020). Ayrıca, sistem performansı ile katılımcının kabiliyeti arasında iyi bir eşleşme sağlar (Kumar ve Kumar 2016).

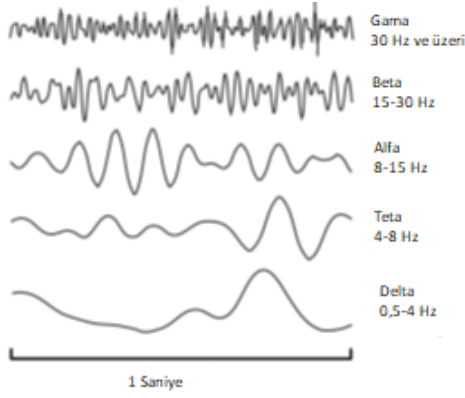
Beyin yapısı bilgisi EEG analizi için önemlidir. Şekil 2.1' de de görüldüğü üzere beyin 4 loba ayrılmıştır ve her birinin kendine özgü özellikleri vardır. Frontal lob karar verme, duyguları kontrol etme ve problem çözme ile, parietal lob görsel ve dokunsal algılama ile, temporal lob uzun süreli hafıza ve konuşma ile, oksipital lob ise görsel algı ile ilgilidir.



Şekil 2.1. Beynin yapısı

EEG sinyalleri incelendiğinde birkaç frekans bandı içerdiği görülmüştür. Bu dalgalar aşağıdaki gibidir ve dalga şekilleri Şekil 2.2' de verilmiştir;

- Delta dalgası: Delta terimi ilk olarak Walter (1936) tarafından kullanılmıştır. Yüksek dalgalara sahip bu dalgaların frekans aralığı 0,5 ila 3,5 Hz'dir. Bu dalgalar derin uyku anında belirir.
- Teta dalgası: Walter ve Dovey (1944) tarafından ilk kez kullanılan teta dalgası, 4 ila 7 Hz arasında değişen frekanslara sahiptir. Hayal gücü, düşünce ve uyku anlarında görünür.
- Alfa dalgası: Hans Berger (Başar ve ark. 1997, Berger 1934) tarafından adlandırılan alfa dalgası, 8-13 Hz frekans aralığına sahiptir. Alfa dalgası, kişi sakin, ancak uykuda değil iken görünmektedir.
- Beta dalgası: Frekans 15 ila 30 Hz arasındadır ve beta dalgaların genlik değerleri alfa dalgalarından daha düşüktür (Quiroga 1998). Bilinçli odaklanma veya problem çözme sırasında ortaya çıkar.
- Gama dalgası: 30 Hz veya daha yüksek frekansa sahiptir. Üst düzey bilişsel işlem görevleriyle ilişkilidir ve yeni bilgi edinme yeteneği ile ilgilidir.



Şekil 2.2. Dalga şekilleri

Bilişsel yük ölçümü için EEG kullanımı ile ilgili yapıların üçü aşağıda verilmiştir;

- Başar'ın nötr salınımlar teorisi (Başar 1999),
- Alfa ve teta salınımlarının işlevsel önemi (Klimesch 1999),
- Salınlı EEG dinamiklerini ölçmek için olayla ilgili (De) senkronizasyon ölçüsü (Pfurtscheller ve Aranibar 1977).

Başar (1999) nötr salınımlar teorisinde, EEG'nin beyin dalgası ritimlerini tespit etmek için nasıl kullanılabileceğini ve bu ritimlerin beyin fonksiyonları için bir alfabe olarak değerlendirilebileceğini açıklar. Klimesch (1999), bilişsel performansa bağlı alfa ve teta salınımlarının fonksiyonel topografilerinin incelenmesi gerektiğini göstermiştir. Başka bir makalede, kayıt bölgelerinin lokalizasyonunun alfa parietal ve teta frontal orta hat lokasyonlarında en belirgin olduğu belirtilmiştir (Klimesch ve ark. 2005). Üçüncü yapıda, alfa bandındaki değişikliklerin olayla ilgili (de) senkronize edilmesi, salınlı EEG dinamikleri için değişim oranının bir ölçüsüdür (Pfurtscheller ve Aranibar 1977). Uyarandan önceki bir zaman aralığıyla karşılaştırıldığında, deneysel görevin çalışıldığı zaman dilimindeki bant gücündeki yüzde azalması, olaya ilişkin desenkronizasyonu (ERD) ve yüzde artışı olaya ilişkin senkronizasyonu (ERS) yansıtır (Pfurtscheller ve Lopes da Silva, 2005). García-Larrea ve Cézanne-Bert (1998), P3 genlik değişiminin, çalışan bellek yükünü incelemek için kullanılabileceğini gösterdi. Makalede, P3 genliğindeki azalmanın, çalışma belleğindeki yük artışını gösterdiği kanıtlanmıştır.

Bilişsel yük ölçümü için EEG kullanımı son zamanlarda sıklık kazanmıştır. Kumar ve Kumar (2016), karmaşık bilgisayarlı insan etkileşiminde bilişsel yükün ölçümü için bir EEG güç spektrumunun kullanılmasını önermiştir. Amaçları, bilgisayar-insan etkileşimli sistemlerdeki bilişsel yükteki artışın, maliyetli hata olasılığının artmasına neden olabileceği kritik görevlerde insan verimliliğini analiz etmektir.

Causse ve ark. (2015), bilişsel yükün, dinamik bir pilot görevi sırasında görsel talimatların işlenmesi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Amaçları, görsel talimatların yanı sıra, sözlü talimatlar da katılımcılara aktarıldığında, katılımcıların performanslarında nasıl bir değişiklik olacağını incelemektir.

Mazher ve ark. (2017), makalelerinde multimedya öğrenme görevinin karmaşıklığını anlamak için EEG kullanarak bilişsel yükü ölçmüşlerdir. Çalışmayı, öğrenme görevinin karmaşıklığını anlamaya yardımcı olması için bilişsel yük ölçümünün önemini kanıtlamak amacı ile gerçekleştirmişlerdir.

Zhang ve ark. (2016), çalışan bellek yükü kapasiteye ulaştığında beyindeki işlevsel bağlantıyı araştırmayı amaçlamışlardır. Çalışmalarında katılımcılar, EEG başlarına takılı bir şekilde, 1-6 yük ile görsel bir çalışma belleği görevi gerçekleştirmişlerdir. Bu davranışsal sonuçlara göre bireysel çalışma belleği kapasitesi hesaplanmıştır.

Yang ve ark. (2018) makalelerinde, EEG verilerini kullanarak davranış tanımayı yönlendirmek için iki katmanlı bir öğrenme yöntemi önermişlerdir. Sürücülerin sürüş davranışları ve EEG verileri hakkında eşzamanlı olarak veri toplamak için simüle edilmiş bir araba takip sürüş deneyi tasarlamış ve gerçekleştirmişlerdir. Verileri sınıflandırarak analiz yapmışlardır.

Dan ve Reiner (2017), EEG sistemine bağlı katılımcıların, 2 ve 3 boyutlu ekranlarda basit ve karmaşık görevleri içeren origamiyi öğrenmedeki bilişsel yüklerini incelemişlerdir. Bu çalışmadaki amaçları, farklı boyutlardaki öğrenme durumlarının bilişsel yüklerindeki farklılıkları tespit etmektir.

Cabañero ve ark. (2020) çalışmalarında akıllı telefonlarla farklı tipik görevler için gereken bilişsel yükü belirlemek istemişlerdir. Hangi görevlerin daha yüksek bir bilişsel yük gerektirdiğini doğru bir şekilde belirleyerek, bilişsel patolojilerin erken teşhisine katkıda bulunan ölçümleri ve göstergeleri incelemeyi amaçlamışlardır.

Prabhakar ve ark. (2018), bir otomotiv ortamında sürüş simülatöründeki her katılımcı için serbest sürüş, şerit değiştirerek sürüş ve ikincil görevi çalışırken şerit değiştirerek sürüş olmak üzere üç farklı koşulda dikkat dağınıklığı ve bilişsel yükün tespitini araştırmışlardır. Gözbebeği genişlemesi, baş hareketi ve EEG kullanımı ile çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde sistemler hakkında bilgi verilmiş, gerçekleştirilen deneyler ve yöntemler anlatılmıştır.

3.1. Mevcut Sistem

Çalışma, otomobil şirketinin difüzyon alanında gerçekleştirilmiştir. Difüzyon alanı, montaj malzemelerinin üretim siparişine göre operatör tarafından raftan alınıp bir malzeme arabasına yerleştirildiği yerdir ve bu sürece difüzyon adı verilir. Montaj hattına alınacak malzemeler, şirkette üretilecek otomobilin modeline bağlıdır. Aynı montaj hattında bir veya daha fazla model üretilebildiğinden ve montaj sürecinde kablolar ve yumuşak malzemeler monte edildiğinden, bu işlemler operatörler tarafından manuel olarak gerçekleştirilir.

Difüzyon alanındaki operatör, gerekli malzemeyi hazırlamak ve difüzyon alanındaki işlemi takip etmek için kılavuz olarak bir ışık uyarı sistemi (Pick-to-Light veya SAG) ve bir difüzyon kâğıdı kullanır. Operatör, uyarı ışığının açık olduğu raftan malzemeyi alır ve bu rafın ışığını söndürmek için düğmeye basar. Daha sonra materyali difüzyon kâğıdı ile karşılaştırır ve malzeme arabasının doğru alanına yerleştirir. Aşağıda Şekil 3.1' de Pick-to-Light sistemi verilmiştir.



Şekil 3.1. Pick-to-Light sistemi

Bu görevde, doğru malzemenin doğru alana yerleştirildiğinden emin olunması gerekir. Bununla birlikte, farklı modellere ve üretim hacmine bağlı olarak difüzyon alanındaki malzemelerin sayısı çok fazla olduğundan, manuel sıralama işleminde hatalar oluşabilir. Bu süreçte hata riski nedeniyle, çalışanlar üzerinde ek stres ve bilişsel yük oluşabileceği düşünülmektedir. AG gözlüğünün kullanılması hata riskini azaltmak ve operatörlerin doğru malzemeyi doğru yerde sıralamasını sağlamak içindir.

3.2. Deney Ortamının Hazırlanması ve Kullanılan Materyallerin Belirlenmesi

Deneyle, gerçeğin birebir aynısı olarak hazırlanmış fabrikada oluşturulan deney ortamında gerçekleştirilmiştir. Kutuların önlerine parça numarasının yazdığı karekodlar konulmuştur. Deney alanındaki malzeme kutularında ihtiyaç duyulan malzemeler ve her malzeme kutusunun önünde de bir karekod vardır. Şekil 3.2’de deney alanı ve Şekil 3.3’te karekod verilmiştir.



Şekil 3.2. Deney alanı



Şekil 3.3. Karekod

Deneysel olarak, Sony tarafından üretilen SmartEyeglass SED-E1 AG gözlükleri kullanılmıştır (Şekil 3.4). SmartEyeglass AG gözlüğü iş verimliliğini artırmak ve hataları azaltmak için geliştirilmiştir. Gerçeği, bilgi ve grafiklerle zenginleştirerek çalışma biçimini değiştirmek için üretilmiştir. AG gözlükleri, kutuların önünde yer alan kare kodları okuyabilen ve malzeme kodlarıyla eşleştiren bir yazılıma sahiptir.



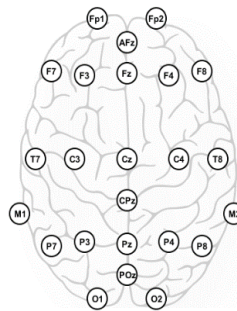
Şekil 3.4. Sony SmartEyeglass SED-E1

Bilişsel yükün ölçülmesi için, Smarting EEG Amplifikatörü (mBrainTrain,) ve EasyCap (Brain Products) kepi kullanılmıştır. Smarting cihazının 7 ile 25 m'ye kadar bluetooth özelliğinin olması sayesinde kayıtlar katılımcının hareketleri kısıtlanmadan alınmıştır. 4 saatlik pil ömrü vardır ve sinyal gösterme ekranında filtrelenmiş veriyi gösterebilir.

Easycap elektrot kepi ise 24 kanalıdır ve Smarting EEG Amplifikatörü için uygun bir keptir. Kep üzerindeki elektrotlar Gümüş/Gümüş Klorür içerir. Bu yüzden ölçümler yapıldıktan sonra kep, jelden temizlenmek için ılık su ile temizlenmiş ve kurutulmuştur. Elektrot kepi ve kanal pozisyonu Şekil 3.5' te gösterilmiştir.



A



B

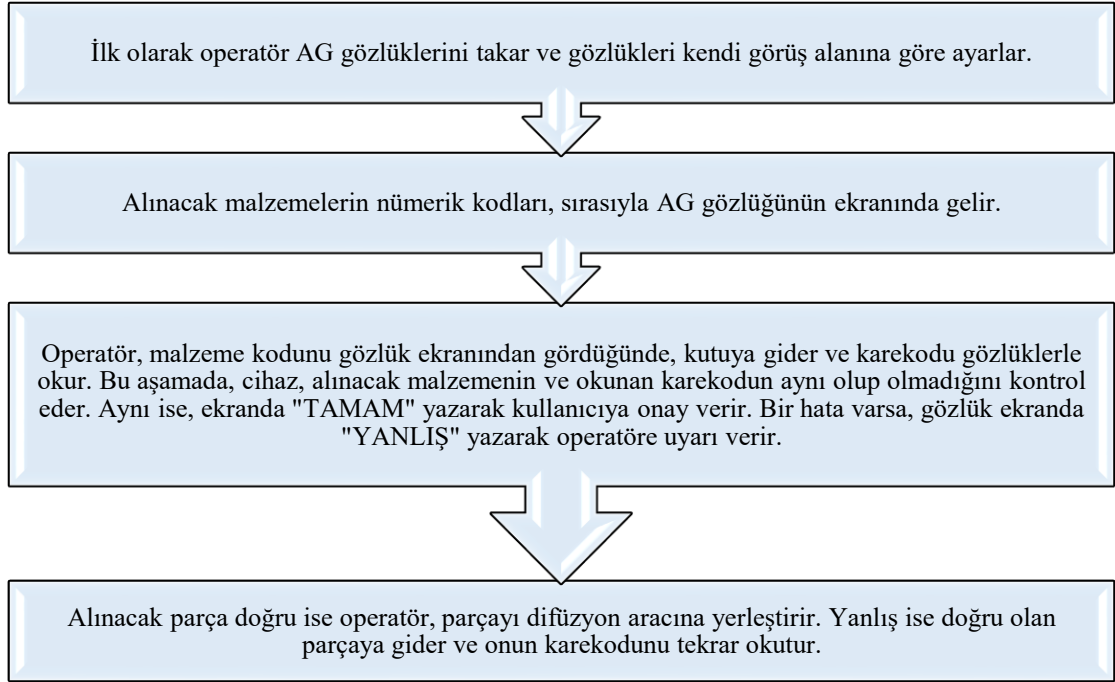
Şekil 3.5. Elektrotlar ve kanallar

A) Elektrot kepi **B)** kanal pozisyonları

EEG verilerindeki analizler için ise BrainVision Analyzer 2 (Brain Products,) kullanılmıştır.

3.3. Önerilen Sistem

Önerilen sistemde ise, mevcut sistemin, AG gözlüğü ile yapılması planlanmıştır. AG gözlüklerle çalışma prosedürü Şekil 3.6' daki gibidir.



Şekil 3.6. Önerilen sistem

3.4. Katılımcıların Seçilmesi ve Deneylere Hazırlanması

Çalışmaya, bir otomobil firmasının üretim departmanında, montaj hattının difüzyon alanında çalışan, sağlıklı ve gönüllü kişiler seçilmiştir.

Çalışanların pozisyon olarak birbirinden farklı olmaması, yaş kriterlerine uyum sağlaması, sağlıklı olmaları gibi seçim alanını daraltan kriterlerden ve deneyler esnasında çalışanların çalışma saatlerinde çağrılması gibi şirketi etkileyen durumlardan dolayı deneyler 4 kişi ile gerçekleştirilebilmiştir.

AG gözlüğünün belirlenen yaş ve cinsiyet üzerindeki etkilerini ölçmek için 35 yaş altı 1 kadın ve 1 erkek, 35 yaş üstü 1 kadın ve 1 erkek toplamda 4 katılımcı (2 kadın-2 erkek) belirlenmiştir.

Deneylerden önce çalışanlara kısa bir eğitim verilmiştir. Deneyler gerçek çalışma ortamında yapıldığı için katılımcılara, EEG kayıtlarını etkilememek için deneyden önce çok çalışmaktan ve yorulmaktan kaçınmaları söylenmiştir. Deneyler sabah yapılmıştır. Katılımcılardan, normal rutinlerinde kahvaltı yapmaları ve deneyden önceki 24 saat içinde alkol kullanmamaları istenmiştir. Hazırlanan deney programı Ek 1’de verilmiştir.

Her deneyden önce katılımcılara Hamilton Depresyon Derecelendirme Ölçeği (HAM-D) (Hamilton 1960) ve Hamilton Anksiyete Derecelendirme Ölçeği (HAM-A) (Hamilton 1959) uygulanmıştır. Hamilton Depresyon Derecelendirme Ölçeği Ek 2’ de, Hamilton Anksiyete Derecelendirme Ölçeği Ek 3’ te verilmiştir. Bu anketler, operatörün herhangi bir depresyon veya anksiyeteye sahip olup olmadıklarını anlamak için uygulanmıştır. Böylece, deneye katılımlarını engelleyebilecek herhangi bir depresyon veya anksiyete koşulunun olup olmadığı tespit edilmiştir. HAM-D, 17 maddeli ve 0-52 puan arasında puanlanmaktadır (Hamilton 1960). Sonuçlar; 0-7 puan arası depresyon yok, 8-15 puan arası minor depresyon, 16 puan ve üstü ise major depresyon olarak değerlendirilmektedir. HAM-A, 14 maddeli ve 0-56 puan arasında puanlanmaktadır (Hamilton 1959). 0-5 puan arası çıkan sonuçlar için anksiyete olmadığı, 6-14 puan arası çıkan sonuçlarda minör anksiyete görüldüğü, 15 puan ve üzeri sonuçların ise major anksiyeteye işaret ettiği bilinmektedir. Her katılımcının anketi deneye başlamadan önce incelenmiş olup, hiç bir katılımcıda anksiyete ve depresyon görülmemiştir. Katılımcılar deneyden önce, Bursa Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'nun gerektirdiği gönüllülük formlarını da imzalamışlardır.

3.5. Deneylerin Gerçekleştirilmesi

Deneyler otomobil firmasının montaj hattının difüzyon alanında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.7). Deneylerin fiili çalışma durumunu mümkün olduğunca yansıtmaları

amaçlanmıştır. Böylece AG gözlüklerin etkisinin gerçekçi bir şekilde ortaya çıkabileceği düşünülmüştür.

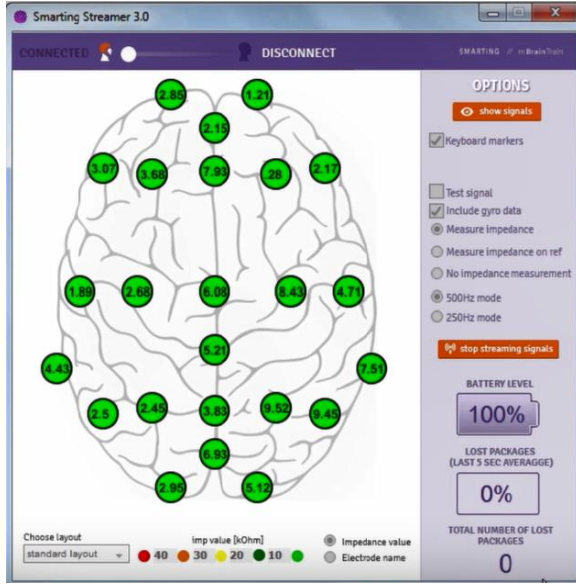


Şekil 3.7. Deneylerden bir örnek

4 katılımcı ile Ek 1'deki deney planında görüldüğü üzere 20 adet deney planlanmıştır. Her deney 3 tekrarlı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Deneyler gözlüklü ve gözlüksüz olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Gözlüksüz deneyler, standart çalışma prosedürü kullanılarak gerçekleştirilmiş, diğer deneyler ise AG gözlüğü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. AG gözlüklü deneylerin her biri arasında çalışanlara iki günlük aralar verilmiştir. Bu mola zamanlarında hiçbir ölçüm kaydedilmemiş ve çalışanların AG gözlükleriyle çalışması ve bu cihaza alışması beklenmiştir. AG gözlüğü, 10 parçalık ürünlerde programlanmış ve operatör, seti bittiğinde gözlükteki tuşa basarak deneyi tekrar başlatmıştır.

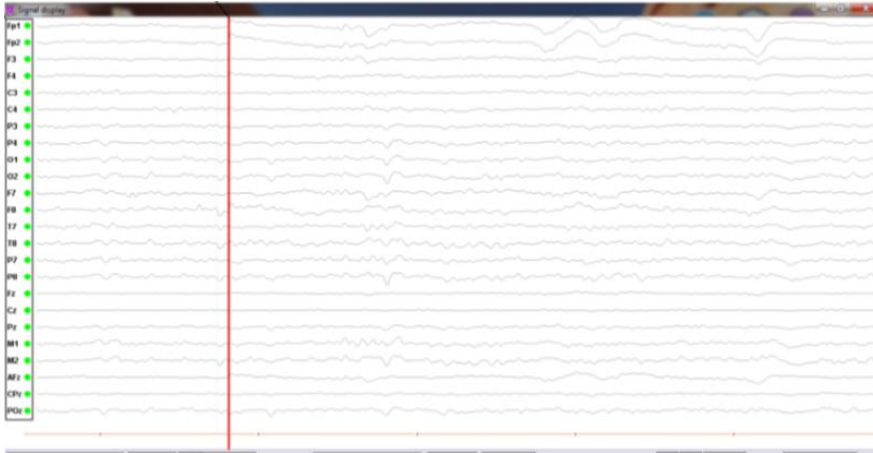
AG gözlüğü ile deneylere başlanmadan önce elektrot kepi başa geçirilmiş ve gerekli ayarlamalar yapılmıştır. Kullanılan 24 kanallı elektrot kepinin referans elektrodu, uluslararası 10-20 sistemine dayanan, kafa derisinin merkezi olan Cz ve CPz arasına yerleştirilmiştir. Örneklem hızı 500 Hz olarak belirlenmiştir. Katılımcıların kafa derisinin kuru ve temiz olmasına özellikle dikkat edilmiştir. Elektrot empedansları, uygun miktarda iletken jel kullanılarak 10 k Ω altında tutulmuştur. Jel, düşük elektrot empedansı sağlamak ve bazı elektrot artefaktlarını önlemek için kullanılmıştır. Şekil

3.8’ de Smarting cihazının elektrot empedansları, örnekleme hızı ve batarya seviyesi görülmektedir. Elektrotların açık yeşil görünmesinin sebebi empedansların 10 k Ω ’un altına düşürülmüş olmasıdır.



Şekil 3.8. Smarting ana ekran görüntüsü

Sinyalleri göster seçeneği ile de kayıt esnasında elektrot empedanslarının ve sinyallerin istenilen düzeyde olmaları izlenmiştir. Şekil 3.9’deki sinyal görüntülerinde de empedanslar ve sinyal görülmektedir.



Şekil 3.9. Anlık sinyal görüntüleri

3.6. Veri Analizi

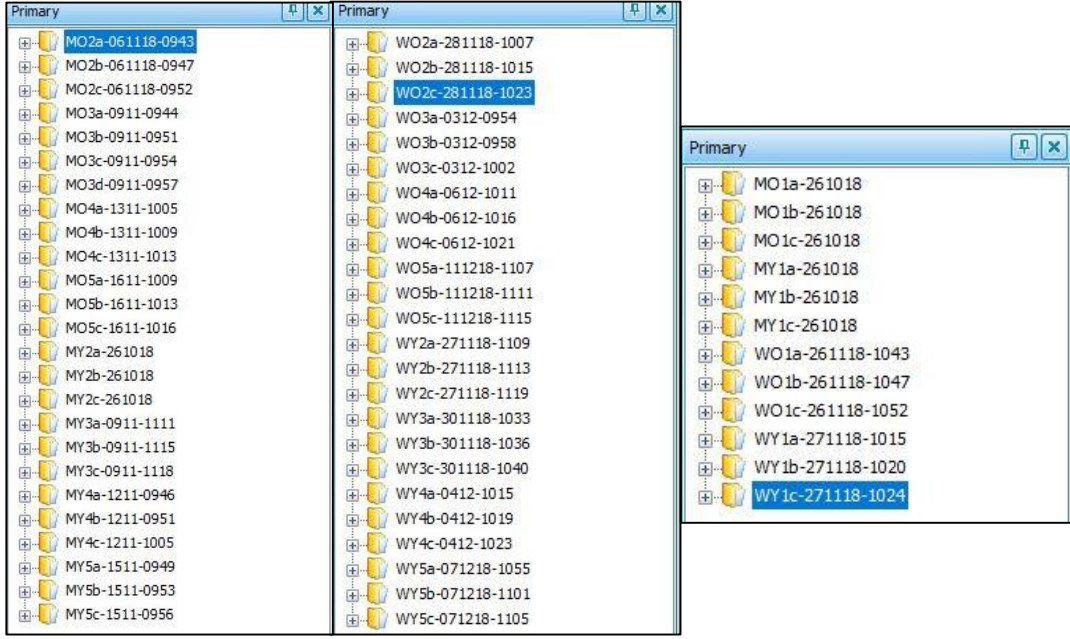
Sinyaller, 24 kanallı EasyCap ile kaydedilmiştir. Analizler, deneylerde karar verme ve dikkatli çalışma süreçleri olduğu için frontal bölge, uzun süreli hafıza ve gözlüğü alışma gibi durumlar olduğundan temporal, gözlüğün üzerine gelen görselin algılanması ile ilgili olduğu için de oksipital bölge kanallarına (Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, T7, T8, O1, O2) dayanmaktadır. EEG verilerindeki analizler BrainVision Analyzer 2 (Brain Products) ile yapılmıştır.

Toplanan veriler kodlanarak kaydedilmiş ve Analyzer programında açılmıştır. Kodlar farklı durumları simgelemektedir. Bu kodların açıklamaları Çizelge 3.1’de verilmiştir. Örneğin 35 yaş üstü kadın çalışanın gözlüksüz deneyinin (1. deney) 2. tekrarı “WO1b” olarak, 35 yaş altı erkek çalışanın gözlüklü 3. deneyinin (gözlüklü 3. deney olması, totalde 4. deney anlamına gelir) 1. tekrarı “MY4a” olarak kodlanmıştır.

Çizelge 3.1. Kod açıklamaları

	Tanım	Kod
Cinsiyet	Kadın	W
	Erkek	M
Yaş	35 yaş altı	Y
	35 yaş üstü	O
Deney Sayısı	1. deney	1
	2. deney	2
	3. deney	3
	4. deney	4
	5. deney	5
Deney Tekrarı	1. tekrar	a
	2. tekrar	b
	3. tekrar	c

Şekil 3.10, Analyzer programına girilen verileri göstermektedir.



A

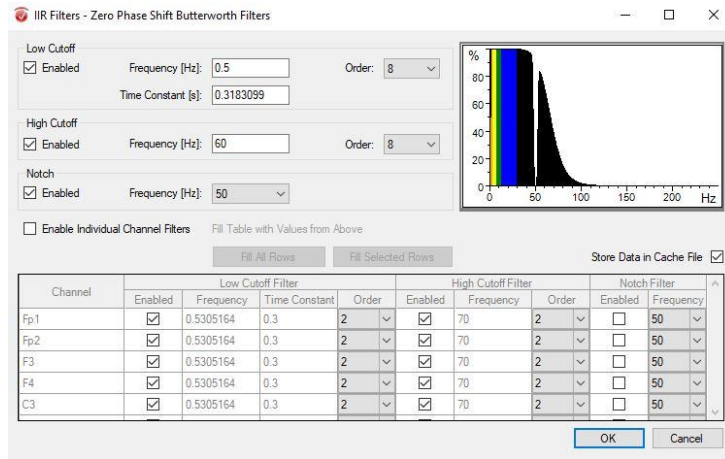
B

C

Şekil 3.10. Analyzer verileri

A) Erkek deney verileri B) Kadın deney verileri C) Kadın ve erkek ilk deney verileri

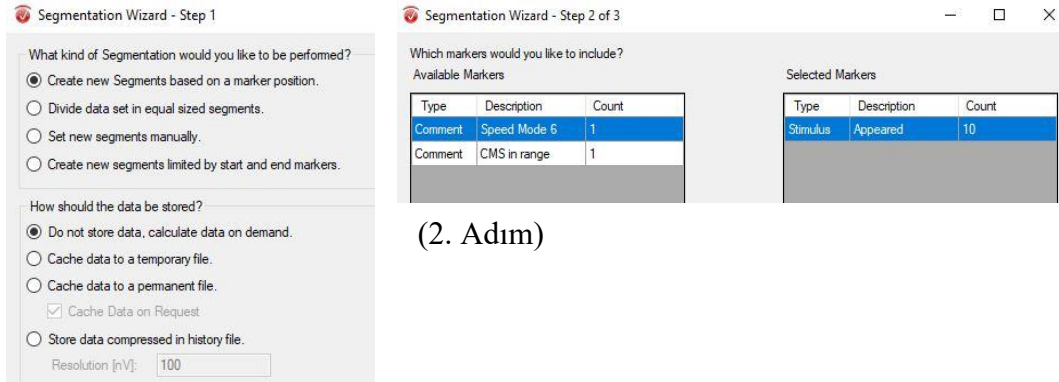
Sonrasında verilerin her biri üst ve alt veri değerlerine göre filtrelenmiştir. Şekil 3.11’ de filtre değerleri verilmiştir. Düşük değer 0,5 Hz ile, yüksek değer ise 60 Hz ile sınırlandırılmıştır.



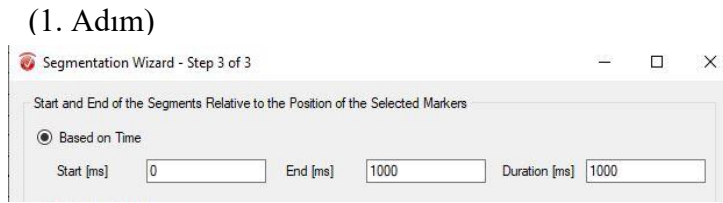
Şekil 3.11. Filtre değerleri

Bu filtreleme işlemi hem gözlüklü hem de gözlüksüz deney verileri için aynı şekilde gerçekleştirilmiştir. Daha sonraki adım olan segmentasyon adımı, iki veri seti için farklı uygulanmıştır. Bu adımın amacı verideki artefaktların (veride istenmeyen gürültüler) giderilmesidir. Analyzer programında artefaktların giderilmesinden önce segmentasyon adımının yapılması gerekmektedir. Segmentasyon, EEG verilerinin ayrı bölümlere ayrılması anlamına gelmektedir. Gözlüklü deneyin verileri için segmentasyon, veri üzerine malzeme kodunun geldiği zamanın işaretlemesi yapılarak gerçekleştirilmiştir. Veriler bu sayede 10 segmente ayrılmıştır. Şekil 3.12’ de adım adım bu işlemin nasıl yapıldığı anlatılmıştır.

Gözlüksüz deney verilerinin segmentasyonu ise veriler eşit aralıklara bölünerek gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.13’ te gözlüksüz deneyler için segmentasyon adımları verilmiştir.



(2. Adım)



(3. Adım)

Şekil 3.12. Gözlüklü deneyler için segmentasyon adımları

Segmentation Wizard - Step 1

What kind of Segmentation would you like to be performed?

Create new Segments based on a marker position.

Divide data set in equal sized segments.

Set new segments manually.

Create new segments limited by start and end markers.

How should the data be stored?

Do not store data, calculate data on demand.

Cache data to a temporary file.

Cache data to a permanent file.

Cache Data on Request

Store data compressed in history file.

Resolution [nV]:

(1. Adım)

Segmentation Wizard - Step 2 of 3

Size of Segments

Based on Time: s

Based on Data Points: Points

Overlap Segments

Based on Time: s

Based on Data Points: Points

Skip Bad Intervals

(2. Adım)

Segmentation Wizard - Step 3 of 3

Would you like to create a separate data set for each new segment?

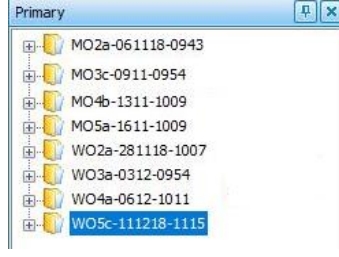
No

Yes

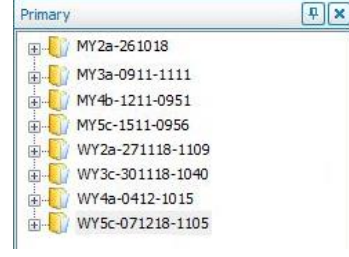
(3. Adım)

Şekil 3.13. Gözlüksüz deneyler için segmentasyon adımları

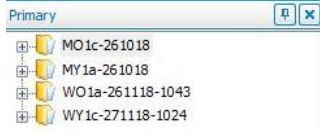
Yukarıdaki veri setleri incelendiğinde, segmente edilen verilerin içerisinde artefaktların yer aldığı görülmüştür. Bu artefaktların EEG kaydı doğruluğu açısından çıkarılması gerekmektedir. Her deneyde gerçekleştirilen üçer tekrarın içerisinde en az artefakt bulunan veri seti seçilmiş ve bu veri setleri Şekil 3.14' te verilmiştir.



A



B



C

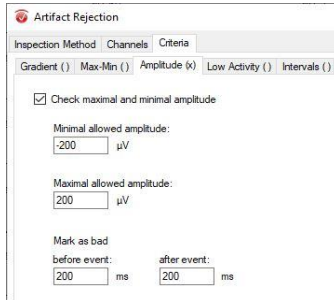
Şekil 3.14. Veriler için seçilen tekrarlar

A) 35 yaş üstü kadın-erkek B) 35 yaş altı kadın-erkek C) Gözlüksüz veriler

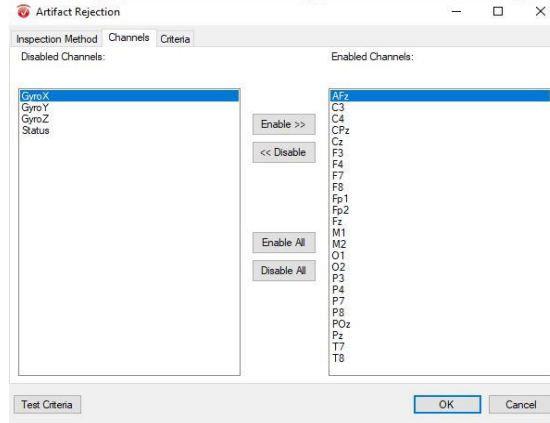
Seçilen gözlüklü ve gözlüksüz deney verilerini bu artefaktlardan arındırmak için Şekil 3.15' te verilen artefakt giderme adımları izlenmiştir.



(1. Adım)



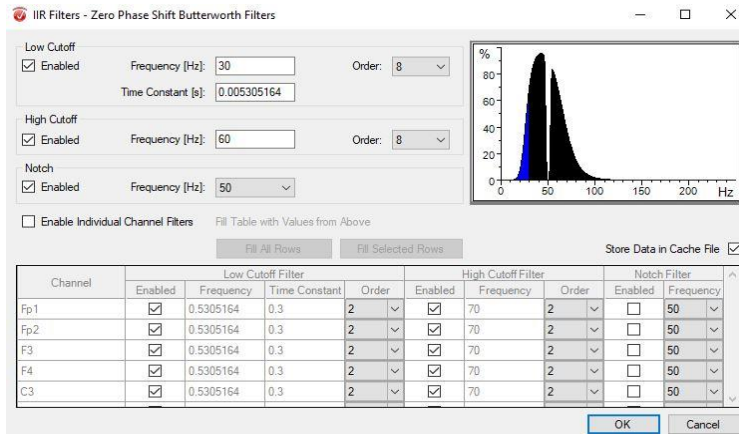
(3. Adım)



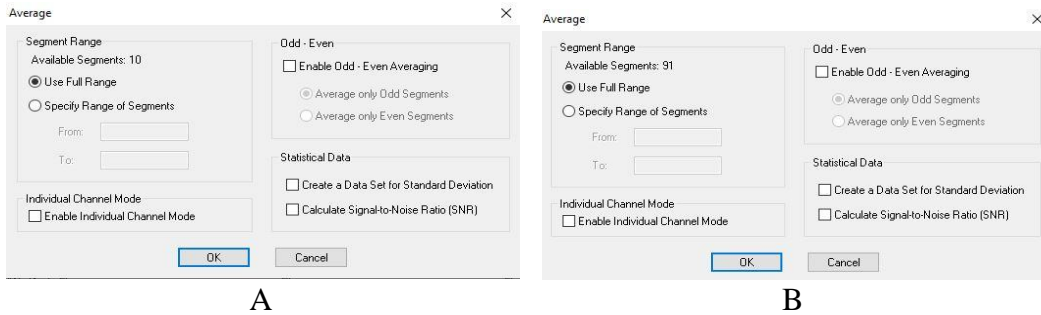
(2. Adım)

Şekil 3.15. Gözlüklü ve gözlüksüz deneyler için artefakt giderme adımları

Yukarıda anlatılan adımlar tekrarlı alınan deneylerden hangi tekrarın seçileceğini ve bu verilerin artefaktlarından nasıl arındırılacağını anlatmaktadır. Bu veri setleri ile yeni bir çalışma sayfası oluşturulmuştur. Bu çalışma sayfasında seçilen verilerin EEG sinyalleri, beta ve gama dalgalarına göre filtrelenmiştir. Çünkü beta (Wróbel 2000) ve gama (Ginter et al. 2005) dalgaları, sensorimotor ve görsel dikkat alanlarında en yüksek beyin aktivitesi ile ilişkilidir. Bu çalışmadaki görevler yüksek dikkat, odaklanma ve karar verme süreçlerini içerdiği için, bu dalgalar seçilmiş ve tekrar filtreleme yapılmıştır. Aşağıda gösterilen Şekil 3.16’ da filtreleme için seçilen alt ve üst değerler gösterilmiştir. Tekrar filtrelenen veri setlerinde segmentasyon ve artefakt giderme adımları aynı kalmıştır. Sonrasında hem gözlüklü hem de gözlüksüz veri seti için ortalama alınmıştır. Ortalamalar, kanalların segmentleri üzerinden yapılmıştır (Şekil 3.17).



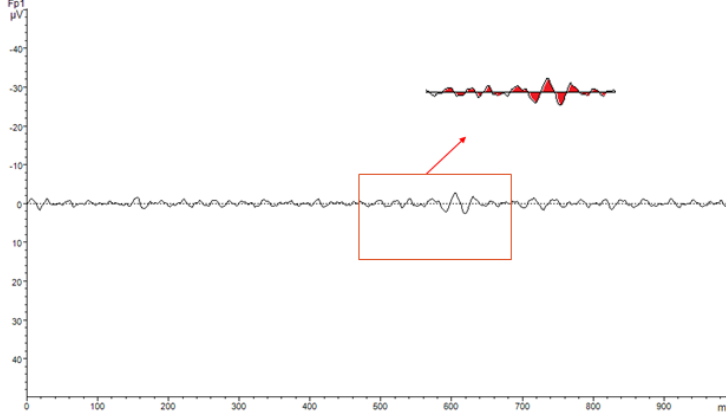
Şekil 3.16. Gözlüklü ve gözlüksüz deney verileri için beta-gama dalgası filtreleme görüntüsü



Şekil 3.17. Deneyler için ortalama alma

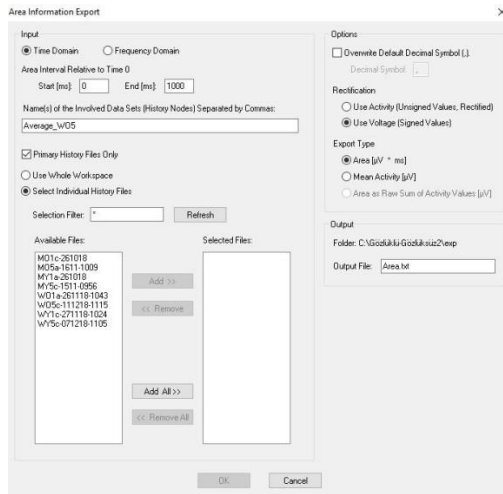
A) Gözlüklü deneyler **B)** Gözlüksüz deneyler

Segmentlere göre alınan ortalamaların altında kalan alan, çalışmadaki karşılaştırmalar için hesaplanmıştır. Şekil 3.18’ de grafiğin altında kalan alan, örnek olarak Fp1 kanalı için görülmektedir.



Şekil 3.18. Fp1 kanalından örnek sinyal grafiği ve alan hesabı

Dikey eksen, genliği, mikro volt (μV) cinsinden, yatay eksen, zamanı, milisaniye (ms) cinsinden gösterir. Dolayısıyla, hesaplanan alan değerinin birimi $\mu\text{V} * \text{ms}$ ' dir. Bilişsel yük ile EEG sinyal genliği arasındaki ilişki hakkındaki bilgilere dayanarak (García-Larrea ve Cézanne-Bert 1998); hesaplanan alanın düşük olduğu deneyde bilişsel yük değerinin yüksek olduğu varsayılmıştır. Analyzer yardımıyla bu alanlar hesaplanarak, excele aktarılmıştır (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Ortalama alan hesaplatma

EEG grafiğinin taban çizgisinin altında ve üstünde genlikler olduğundan, alan değerleri içinde hem artı hem de eksi değerler vardır. Mikrovoltlardaki eksi ve artı genlikler aynı duruma karşılık gelmektedir. Bu nedenle, alan karşılaştırmaları mutlak değerlerle yapılmıştır. Çizelge 3.2’ de mutlak değerlere çevrilmiş bu veriler verilmiştir.

Çizelge 3.2. Deney verileri ($\mu V \cdot ms$)

Kanal Deney No	Fp1	Fp2	F3	F4	O1	O2	F7	F8	T7	T8
WY1	1,49	1,60	2,39	2,30	2,40	3,43	2,43	2,21	4,86	2,55
WY2	10,01	6,11	7,27	8,32	22,42	6,78	28,74	22,10	28,15	19,85
WY3	47,96	46,15	18,38	13,31	84,75	59,68	15,78	17,26	38,02	9,29
WY4	26,38	8,87	1,89	6,16	4,63	3,08	24,14	18,65	11,29	6,96
WY5	34,56	17,96	9,12	3,09	23,47	26,91	2,28	13,69	11,22	4,04
MY1	1,75	0,42	1,19	1,65	0,34	0,82	2,53	1,17	2,18	3,24
MY2	24,41	27,27	14,75	11,55	18,15	0,28	11,19	32,92	0,72	7,07
MY3	3,94	18,22	1,19	9,47	3,42	43,69	5,01	28,01	4,59	43,66
MY4	5,67	3,96	4,73	9,95	34,09	12,31	27,94	33,20	6,89	53,24
MY5	14,60	9,97	5,39	11,60	18,66	39,79	14,58	4,53	10,73	15,48
WO1	18,90	15,38	3,62	2,68	6,39	3,25	4,02	13,50	1,74	49,03
WO2	47,62	32,88	17,52	12,74	19,80	9,94	32,82	12,32	42,33	9,31
WO3	25,08	25,10	8,74	11,81	17,50	38,20	21,80	21,99	9,45	0,31
WO4	10,02	4,40	6,57	9,50	43,75	76,53	31,42	25,71	55,27	21,53
WO5	17,85	29,82	29,50	35,81	92,13	51,83	27,80	38,55	27,19	4,01
MO1	5,62	4,05	4,19	3,90	5,24	3,49	3,63	3,48	9,63	6,75
MO2	3,11	3,63	4,50	0,36	40,43	33,02	15,92	2,13	21,11	7,97
MO3	11,72	4,01	1,82	13,12	4,27	12,39	13,91	19,52	28,13	14,57
MO4	1,60	10,78	14,36	2,06	16,69	9,41	8,77	26,66	1,66	27,67
MO5	9,48	6,43	4,91	1,60	17,27	37,09	7,42	4,81	3,22	19,98

3.7. İstatistiksel Analiz

İstatistiksel çalışmalar Minitab yardımıyla, aşağıdaki hipotezler kullanılarak gerçekleştirilmiştir;

1) AG gözlüğü kullanımının bilişsel yük üzerine etkisi,

H₀: Artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanılarak çalışılması ile artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanılmadan çalışılması arasında fark yoktur.

H₁: Artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanılarak çalışılması ile artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanılmadan çalışılması arasında fark vardır.

2) AG gözlüğü kullanımının kadın ve erkek üzerine etkisi,

H₀: Artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanarak çalışan kadınlar ile artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanarak çalışan erkeklerin bilişsel yükleri arasında fark yoktur.

H₁: Artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanarak çalışan kadınlar ile artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanarak çalışan erkeklerin bilişsel yükleri arasında fark vardır.

3) AG gözlüğü kullanımının 35 yaş altı ve 35 yaş üstü çalışanlar üzerine etkisi,

H₀: Artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanarak çalışan 35 yaş altı çalışanlar ile artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanarak çalışan 35 yaş üstü çalışanların bilişsel yükleri arasında fark yoktur.

H₁: Artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanarak çalışan 35 yaş altı çalışanlar ile artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanarak çalışan 35 yaş üstü çalışanların bilişsel yükleri arasında fark vardır.

4) AG gözlüğünün uzun süre kullanımının etkisi,

H₀: Artırılmış gerçeklik gözlüğünü ilk kullanımın bilişsel yüke etkisi ile uzun süre kullanımın bilişsel yüke etkisi arasında anlamlı bir fark yoktur.

H₁: Artırılmış gerçeklik gözlüğünü ilk kullanımın bilişsel yüke etkisi ile uzun süre kullanımın bilişsel yüke etkisi arasında anlamlı bir fark vardır.

İstatistiksel çalışmaların başında 1 ve 4 numaralı hipotezlerin veri setlerine normalite testi uygulanmıştır. 2 ve 3 numaralı hipotezlerin verilerine ise normalite testi uygulanamamıştır. Çünkü kadın-erkek ve 35 yaş altı-35 yaş üstü katılımcıların veri sayıları normalite testi yapılmaya yeterli değildi. Veri sayılarının yeterli olmamasının sebebi, şirketi etkileyen bazı durumlardan dolayı katılımcı sayısının 4 ile sınırlanmış olmasıdır.

1 ve 4 numaralı hipotezlere parametrik olmayan Wilcoxon testi uygulanmıştır. Wilcoxon testinin kullanılmasının amacı, bir değişkene ait iki ayrı zamanda toplanan tekrarlı ölçümlere ait verilerini değerlendirmek için kullanılmasıdır.

2 ve 4 numaralı testlere normalite dağılım uygulanamadığı için parametrik olmayan Mann-Whitney U testi kullanılmıştır. Mann-Whitney U testi iki bağımsız grubun karşılaştırılmasında kullanılır.

1. Hipotezin analizinde 1. ve 5. deneyler , yani ilk ve son deneyler, 2. hipotezin analizinde kadın ve erkek çalışanların 5. deneyleri, yani son deneyleri, 3. hipotezin analizinde 35 yaş altı ve 35 yaş üstü çalışanların 5. deneyleri, yani son deneyleri, 4. hipotezin analizinde ise 2. ve 5. Deneyler, yani gözlükle alınan ilk ve son deneyler, kullanılmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4 katılımcı ile gerçekleştirilen deney verileri Minitab aracılığıyla analiz edilmiştir.

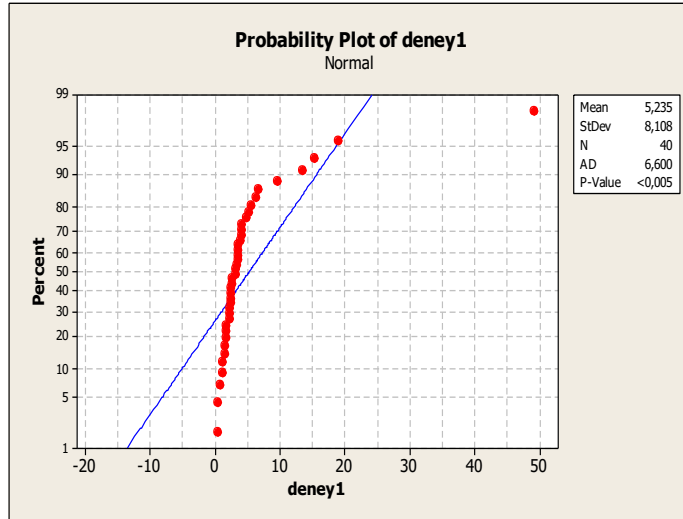
4.1. 1 Numaralı Hipotezin Değerlendirilmesi ve Sonuçları

1 numaralı hipotezde, artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanımının bilişsel yük üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bunun için tüm katılımcıların gözlüksüz gerçekleştirilen 1. deney verileri ile gözlüklü gerçekleştirilen 5. deney verileri kullanılmıştır. 5. deney verilerinin kullanılma sebebi, çalışanların gözlüğe en çok alıştığı deney olmasıdır.

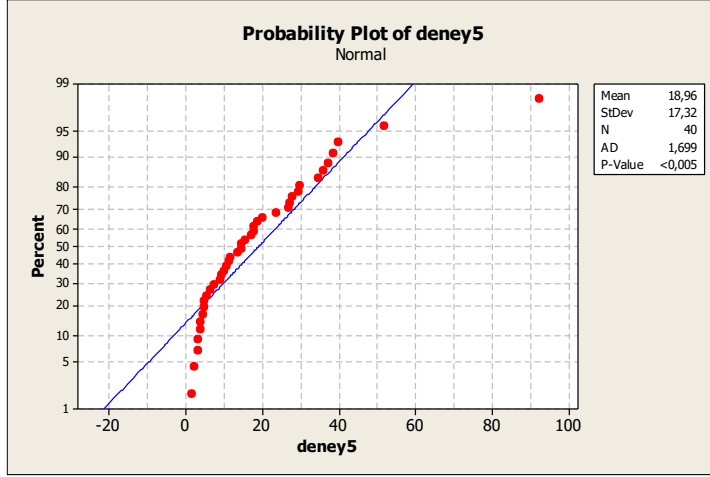
H_0 : Artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanılarak çalışılması ile artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanılmadan çalışılması arasında fark yoktur.

H_1 : Artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanılarak çalışılması ile artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanılmadan çalışılması arasında fark vardır.

Minitab üzerinden 1. ve 5. deneylerin verilerine normalite testi uygulanmış, $p < 0,05$ olduğundan normal dağılıma uymadıkları görülmüştür (Şekil 4.1. ve Şekil 4.2.). İki grubun fark değerleri araştırılmak istenilen nokta olduğu için, parametrik olmayan testlerden Wilcoxon Testi kullanılmıştır.



Şekil 4.1. 1. Deney normalite testi



Şekil 4.2. 5. Deney normalite testi

Minitab sonuçları incelendiğinde (Çizelge 4.1.), p değeri $0,000 < 0,05$ olduğundan H_0 reddedilmiştir. Artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanılarak çalışılması ile artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanılmadan çalışılması arasında anlamlı bir fark olduğu söylenilir.

Çizelge 4.1. 1 numaralı hipotez için Wilcoxon Test sonucu

Wilcoxon Signed Rank Test: 1-5 Fark					
Test of median = 0,000000 versus median not = 0,000000					
	N	N for Test	Wilcoxon Statistic	P	Estimated Median
1-5 Fark	40	40	64,0	0,000	-12,44

Veri setleri incelendiğinde gözlüklü deneylerin ortalaması 18,96, gözlüksüz deneylerin ortalaması ise 5,24 olarak hesaplanmıştır. Yukarıda bahsedilen teoriden yola çıkarak, gözlüklü deneylerin ortalaması, gözlüksüz deneylerin ortalamasından büyük olduğu için gözlüklü deneylerin bilişsel yükünün daha az olduğu söylenilebilir.

4.2. 2 Numaralı Hipotezin Değerlendirilmesi ve Sonuçları

2 numaralı hipotezde, artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanımının kadın ve erkek kullanıcıların bilişsel yükleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bunun için gözlüklü gerçekleştirilen 5. deney verileri kullanılmıştır. 5. deney verilerinin kullanılma sebebi, çalışanın gözlüğe en çok alıştığı deney olmasıdır.

H₀: Artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanarak çalışan kadınlar ile artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanarak çalışan erkeklerin bilişsel yükleri arasında fark yoktur.

H₁: Artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanarak çalışan kadınlar ile artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanarak çalışan erkeklerin bilişsel yükleri arasında fark vardır.

Kadın ve erkek çalışanların 5. deneylerinin verilerine normallik testi uygulanamamıştır. Çünkü veri sayıları normal dağılım testi için yeterli değildir. Bu yüzden bu veri setlerinin karşılaştırılması için parametrik olmayan testlerden Mann-Whitney U testi kullanılmıştır. Bu testin kullanılmasının sebebi de iki bağımsız grubun kıyaslamasının yapılacak olmasıdır.

Minitab sonuçları incelendiğinde (Çizelge 4.2.), p değeri $0,0531 > 0,05$ olduğundan H₀ reddedilemez. Artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanarak çalışan kadınlar ile artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanarak çalışan erkeklerin bilişsel yükleri arasında anlamlı bir fark olmadığı söylenilir.

Çizelge 4.2. 2 numaralı hipotez için Mann-Whitey U Test sonucu

Mann-Whitney Test and CI: Kadın; Erkek		
	N	Median
Kadın	20	25,19
Erkek	20	10,35
Point estimate for ETA1-ETA2 is 10,69		
95,0 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,14;19,76)		
W = 482,0		
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,0531		

4.3. 3 Numaralı Hipotezin Değerlendirilmesi ve Sonuçları

3 numaralı hipotezde, artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanımının 35 yaş altı ve 35 yaş üstü kullanıcıların bilişsel yükleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bunun için gözlüklü gerçekleştirilen 5. deney verileri kullanılmıştır. 5. deney verilerinin kullanılma sebebi, çalışanın gözlüğe en çok alıştığı deney olmasıdır.

H₀: Artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanarak çalışan 35 yaş altı çalışanlar ile artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanarak çalışan 35 yaş üstü çalışanların bilişsel yükleri arasında fark yoktur.

H₁: Artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanarak çalışan 35 yaş altı çalışanlar ile artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanarak çalışan 35 yaş üstü çalışanların bilişsel yükleri arasında fark vardır.

35 yaş altı ve 35 yaş üstü çalışanların 5. deneylerinin verilerine normallik testi uygulanamamıştır. Çünkü veri sayıları normal dağılım testi için yeterli değildir. Bu yüzden bu veri setlerinin karşılaştırılması için parametrik olmayan testlerden Mann-Whitney U testi kullanılmıştır. Bu testin kullanılmasının sebebi de iki bağımsız grubun kıyaslamasının yapılacak olmasıdır.

Minitab sonuçları incelendiğinde (Çizelge 4.3.), p değeri $0,2733 > 0,05$ olduğundan H₀ reddedilemez. Artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanarak çalışan 35 yaş altı çalışanlar ile artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanarak çalışan 35 yaş üstü çalışanların bilişsel yükleri arasında anlamlı bir fark olmadığı söylenilir.

Çizelge 4.3. 3 numaralı hipotez için Mann-Whitey U Test sonucu

Mann-Whitney Test and CI: 35 Yaş Altı; 35 Yaş Üstü		
	N	Median
35 Yaş Altı	20	12,65
35 Yaş Üstü	20	18,91
Point estimate for ETA1-ETA2 is -4,33		
95,0 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-16,12;4,19)		
W = 369,0		
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,2733		

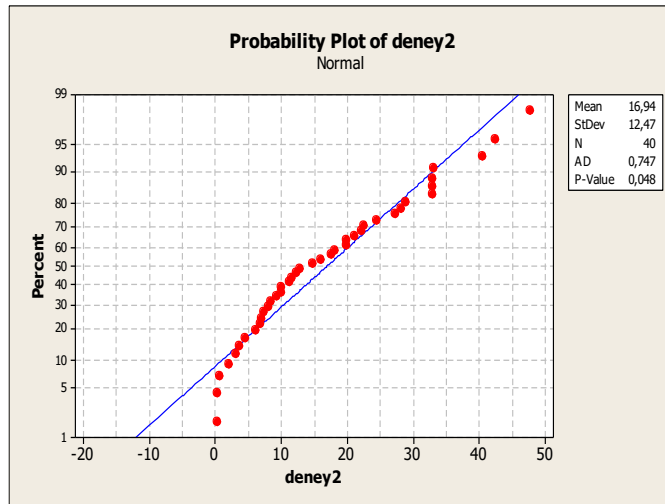
4.4. 4 Numaralı Hipotezin Değerlendirilmesi ve Sonuçları

4 numaralı hipotezde, artırılmış gerçeklik gözlüğünün uzun süre kullanımının bilişsel yük üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bunun için gözlüklü gerçekleştirilen 2. ve 5. deney verileri kullanılmıştır.

H₀: Artırılmış gerçeklik gözlüğünü ilk kullanımın bilişsel yüke etkisi ile uzun süre kullanımın bilişsel yüke etkisi arasında anlamlı bir fark yoktur.

H₁: Artırılmış gerçeklik gözlüğünü ilk kullanımın bilişsel yüke etkisi ile uzun süre kullanımın bilişsel yüke etkisi arasında anlamlı bir fark vardır.

Minitab üzerinden 2. ve 5. deneylerin verilerine normallik testi uygulanmış ve 5. deney verilerinin normal dağılıma uymadığı görülmüştür (Şekil 4.3. ve bkz. Şekil 4.2.). 2. ve 5. deneyler arasındaki fark değerleri araştırılmak istenilen nokta olduğu için, parametrik olmayan testlerden Wilcoxon Testi kullanılmasına karar verilmiştir.



Şekil 4.3. 2. Deney normalite testi

Minitab sonuçları incelendiğinde (Çizelge 4.4.), p değeri $0,856 > 0,05$ olduğundan H₀ reddedilemez. Artırılmış gerçeklik gözlüğünü ilk kullanımın bilişsel yüke etkisi ile uzun süre kullanımın bilişsel yüke etkisi arasında anlamlı bir fark olmadığı söylenilir.

Çizelge 4.4. 4 numaralı hipotez için Wilcoxon Test sonucu

Wilcoxon Signed Rank Test: 2-5 Fark					
Test of median = 0,000000 versus median not = 0,000000					
	N	N for Test	Wilcoxon Statistic	P	Estimated Median
2-5 Fark	40	40	396,0	0,856	-0,6052

4.5. AG Gözlüğü Kullanımının Bilişsel Yük Üzerindeki Etkisinin Tartışılması

AG teknolojisi son zamanlarda birçok alanda kullanılmaya başlamıştır. Eğitimden, üretime, sağlık sektöründen, destek sistemlerine kadar kullanılması hem bilinilirliğini arttırmış, hem de yeni çalışma alanları kazandırmıştır. Örneğin, endüstriyel üretimde bu teknolojiler, ilk ürün tasarımı ve montaj işlemlerinden başlayarak üretim süreci boyunca uygulanmış, bu da daha az tasarım hatası, gelişmiş iş akışı verimliliği ve maliyetler ve çalışma saatleri açısından artan tasarruflarla sonuçlanmıştır (Aukstakalnis 2017). Aynı zamanda Tang ve ark. (2003), montaj işlemleri yapılan bir işyerinde, HMD ile birleştirilen AG teknolojisi talimatlarını kullanmanın, kağıt tabanlı talimatlara, bir monitördeki talimatlara veya bir HMD'de sürekli olarak görüntülenen talimatlara kıyasla montaj görevlerindeki hata oranını % 82 azalttığını göstermiştir.

Otomotiv imalat endüstrisi, 1990'ların sonlarında AG gibi yeni teknolojileri entegre etmeye başladı (Doshi et al. 2017). Örneğin Reiners ve ark. (1999) bir kapı kilidi tertibatında bir HMD tabanlı AG sistemini araştırdı. Aynı zamanda BMW (Echtler et al. 2004) ve Volkswagen'de (Pentenrieder et al. 2007), üretim hatlarında AG sistemini kullanmıştır.

AG teknolojisi kullanımının bilişsel yük üzerindeki etkisi de araştırılan çalışmalardan olmuş ve uzaysal artırılmış gerçekliğin performansın artmasına ve bilişsel yükün azalmasına yol açtığını görülmüştür (Baumeister ve ark. 2017). Ancak aynı zamanda Baumeister ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada, başa takılan ekranların bazı doğal kısıtlamalarının artan kullanıcı bilişsel yüküne de sebep olduğunu göstermiştir.

Gattullo ve ark. (2019)' da AR'nin teknik dokümantasyonu kullanırken bilişsel yükü azaltabileceği de kanıtlanmışlardır.

Bilişsel yük perspektifinden bakıldığında, önceki bilgi veya uzmanlığın bilişsel yükü azaltması, daha otomatik hale getirmesi ve bireylerin çalışma belleğinde daha az yük oluşturması muhtemeldir (Shiffrin ve Schneider 1977; Sweller 2010).

AG gözlüğü kullanımının bilişsel yükü azalttığı, bazı çalışmalar tarafından belirtilmişken Wang ve ark. (2019), bu çalışmanın aksine cep telefonu demontaj işlerinde AG gözlüğü kullanmanın, manuel yönteme göre, zihinsel iş yükü ve sistem kullanılabilirliği konusunda daha kötü sonuçlar verdiğini, ancak AG teknolojisinin hataları azalttığı ve verimliliği artırdığı sonucuna ulaşmışlardır.

Blattgerste ve ark. (2018) ve Funk ve ark. (2015), yapılan işleme yerinde entegre edilmiş mekansal doğruluğun, zamansal tasarruflara ve daha az bilişsel yüke yol açtığını tam olarak bildirmişlerdir.

Lampen ve ark. (2019) ise algılanan bilişsel yük, kullanılabilirlik ve performans gibi değerlendirme kriterleri ile ilgili olarak; AG tabanlı talimatların, araştırılan ortam için temel resimli kağıt tabanlı talimatlara göre daha uygun olduğunu göstermişlerdir.

Prabhakar ve ark. (2018), sürüş simülöründe katılımcılar ikincil görev ile çalışırken gözbebeği genişlemesi, baş hareketi ve EEG'nin, bilişsel yükteki artışı algılayabildiğini tespit etmişlerdir.

5. SONUÇ

AG teknolojisi 1990'lı yılların başında hayatımıza girmiş olmasına rağmen kullanımı son zamanlarda yaygınlaşmıştır. Bu yaygınlaşma hem kişisel alanlarımızda, hem de üretim veya hizmet gibi diğer bir çok alanda gerçekleşmiştir. AG teknolojinin artmasına üretim firmaları karşı koyamamış ve daha rekabetçi ortamlar için firmalarının ilgili alanlarında kullanmaya başlamışlardır.

AG teknolojisi kuruluma yüksek maliyetli olsa da, daha verimli iş akışı sağladığı ve daha az hata ile çalışıldığı çalışmalar tarafından kanıtlanmıştır. İmalat sektöründeki artan AG teknoloji uygulamaları ile duruş ve bekleme süreleri kısalmış, montaj faaliyetleri daha kolay, doğru ve hızlı hale gelmiştir.

Ancak AG teknolojisinin bu kadar yaygınlaşması akıllara “Bilişsel yükü nasıl etkiler?” sorusunu da akıllara getirmektedir. Beyindeki çalışma belleğindeki artışı ifade eden bilişsel yük terimi birçok yolla araştırılmaktadır. EEG, bilişsel yük ölçümü için en kullanışlı fizyolojik ölçüm tekniklerinden biridir.

Bu çalışmada da, bir otomotiv montaj hattında çalışan katılımcıların, AG gözlüğü kullanmaları durumunda bilişsel yüklerinde nasıl bir değişikliğe sebep olabileceği araştırılmıştır. Gözlüğü kullanıp kullanmaması, cinsiyet, yaş ve gözlüğe alışma gibi durumların bilişsel yüke etkisi incelenmiştir.

Deneyle fabrikada ancak gerçek çalışma ortamının birebir aynısının oluşturulduğu deney ortamında gerçekleştirilmiştir. Bunun sebebi bilişsel yükü ölçmek için kullanılacak olan EEG'nin gürültü gibi artefaktlardan etkilenmesidir. Katılımcılar montaj hattında çalıştıkları ortamın birebir aynısı ortamda çalıştıklarından, çalışma gerçekleştirilirken zorluk yaşamamışlardır.

EEG sonuçları bir takım işlemlerden geçirilerek, istatistiksel analizlerle incelenmiştir. İlk analiz AG gözlüğü kullanmadan ve kullanılarak gerçekleştirilen deneyler üzerinden yapılmıştır. Aynı görevi AG gözlükleri ile yapmak, çalışanların bilişsel yükünü negatif

yönde etkilemiştir. İki deney grubu için istatistiksel analizler incelendiğinde, AG gözlüğü ile çalışılması ile AG gözlüğü olmadan çalışılması arasında anlamlı fark olduğu görülmüştür. Deney verilerinin alan ortalamaları incelendiğinde gözlüklü deneylerin ortalamasının 18,96, gözlüksüz deneylerin ortalamasının ise 5,24 olduğu hesaplanmış ve gözlüklü deneylerin ortalamasının daha yüksek olmasından dolayı, çalışanların gözlük ile daha az bilişsel yüklendikleri söylenmiştir.

İkinci analiz kadın ve erkek karşılaştırması üzerinden yapılmıştır. Analiz sonuçları incelendiğinde AG gözlüğü kullanarak çalışan kadınlar ile artırılmış gerçeklik gözlüğü kullanarak çalışan erkeklerin bilişsel yükleri arasında anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür. Buradan yola çıkılarak, AG gözlüğünün cinsiyete bağlı kalınmadan kullanılabilmesi söylenebilir.

Bir diğer analiz katılımcıların yaşlarına göre yapılmıştır. 35 yaş altı ve 35 yaş üstü çalışanlardan alınan veriler incelendiğinde, iki deney grubunun bilişsel yükleri arasında anlamlı bir fark olmadığı söylenilir. Çalışma ortamında AG gözlüğü kullanımının yaş ile de kısıtlanamayacağı görülmüştür. Her yaşta çalışanın, AG gözlüğü kullanarak çalışmasında bilişsel yüklenme açısından bir sakınca görülmemiştir.

Son olarak AG teknolojisine alışma sürecinde, çalışanların bilişsel yükleri de incelenmiştir. Adaptasyon sürecini incelemek için AG gözlüklerinin kullanıldığı ilk gün ve aynı koşulların son gününde yapılan deneylerin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Karşılaştırma sonuçları incelendiğinde, iki deney grubu arasında anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür.

Sonuç olarak, AG gözlüklerinin otomotiv montaj hatlarında çalışan kullanıcılara ekstra bir bilişsel yük getirmediği tespit edilmiştir. AG gözlüklerinin otomotiv montaj hatlarında kullanılabilmesi bu çalışma doğrultusunda söylenebilir.

KAYNAKLAR

- Aaltonen, I., Kuula, T., Helin, K., Karjalainen, J. 2016.** Maintenance past or through the tablet? Examining tablet use with AR guidance system. Proceedings of European Association for Virtual Reality and Augmented Reality Conference (EuroVR), Athens.
- Aukstakalnis, S. 2017.** Applications of Augmented and Virtual Reality in Science and Engineering: Practical augmented reality: A guide to the technologies, applications and human factors for AR and VR, Pearson Education, America, pp: 249-261.
- Andrade-Lotero, L. A. 2012.** Teoría de la carga cognitiva, diseño multimedia y aprendizaje: Un estado del arte. *Magis*.
- Antonelli, D., Astanin, S. 2015.** Enhancing the quality of manual spot welding through augmented reality assisted guidance. *Procedia CIRP*, 33: 556-561. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.06.076>
- Antonenko, P., Paas, F., Grabner, R., van Gog, T. 2010.** Using Electroencephalography to Measure Cognitive Load. *Educational Psychology Review*, 22(4): 425-438. <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9130-y>
- Aromaa, S., Väänänen, K. 2016.** Suitability of virtual prototypes to support human factors/ergonomics evaluation during the design. *Applied Ergonomics*, 56: 11-18. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.02.015>
- Azuma, R., Baillet, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., MacIntyre, B. 2001.** Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21(6): 34-47. <https://doi.org/10.1109/38.963459>
- Azuma, R. T. 1997.** A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4): 355-385. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>
- Başar, E., Schürmann, M., Başar-Eroglu, C., Karakaş, S. 1997.** Alpha oscillations in brain functioning: An integrative theory. *International Journal of Psychophysiology*, 26(1-3): 5-29. [https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(97\)00753-8](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(97)00753-8)
- Başar, Erol 1999.** Brain Function and Oscillations: Volume II: Integrative Brain Function. Neurophysiology and Cognitive Processes. Springer, Berlin, Germany, 476 pp.
- Baumeister, J., Ssin, S. Y., Elsayed, N. A. M., Dorrian, J., Webb, D. P., Walsh, J. A., Simon, T. M., Irlitti, A., Smith, R. T., Kohler, M., Thomas, B. H. 2017.** Cognitive Cost of Using Augmented Reality Displays. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 23(11): 2378-2388. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2017.2735098>
- Beckers, N., Schreiner, S., Bertrand, P., Mehler, B., Reimer, B. 2017.** Comparing the demands of destination entry using Google Glass and the Samsung Galaxy S4

during simulated driving. *Applied Ergonomics*, 58: 25-34. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.05.005>

Berger, H. 1934. Über das Elektrenkephalogramm des Menschen. *Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 60(51): 1947-1949. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1130334>

Bimber, O., Raskar, R. 2006. Modern approaches to augmented reality. ACM Siggraph 2006 Courses, July 2006, Boston, USA. <https://doi.org/10.1145/1185657.1185796>

Blattgerste, J., Renner, P., Streng, B., Pfeiffer, T. 2018. In-situ instructions exceed side-by-side instructions in augmented reality assisted assembly. Proceedings of the 11th Pervasive Technologies Related to Assistive Environments Conference, June 2018, New York, USA. <https://doi.org/10.1145/3197768.3197778>

Brünken, R., Plass, J. L., Leutner, D. 2003. Direct measurement of cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38(1): 53-61. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_7

Cabañero, L., Hervás, R., González, I., Fontecha, J., Mondéjar, T., Bravo, J. 2020. Characterisation of mobile-device tasks by their associated cognitive load through EEG data processing. *Future Generation Computer Systems*, 113: 380-390. <https://doi.org/10.1016/j.future.2020.07.013>

Causse, M., Fabre, E., Giraudet, L., Gonzalez, M., Peysakhovich, V. 2015. EEG/ERP as a Measure of Mental Workload in a Simple Piloting Task. *Procedia Manufacturing*, 3: 5230–5236. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.594>

Cozmiuc, D., Petrisor, I. 2018. Industrie 4.0 by siemens: Steps made today. *Journal of Cases on Information Technology*, 20(2): 30-48. <https://doi.org/10.4018/JCIT.2018040103>

Damiani, L., Demartini, M., Guizzi, G., Revetria, R., Tonelli, F. 2018. Augmented and virtual reality applications in industrial systems: A qualitative review towards the industry 4.0 era. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11): 624-630. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.388>

Dan, A., Reiner, M. 2017. EEG-based cognitive load of processing events in 3D virtual worlds is lower than processing events in 2D displays. *International Journal of Psychophysiology*, 122: 75-84. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2016.08.013>

Danielsson, O., Holm, M., Syberfeldt, A. 2020. Augmented reality smart glasses in industrial assembly: Current status and future challenges. *Journal of Industrial Information Integration*, 20: 100175. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2020.100175>

Dipietro, L., Sabatini, A. M., Dario, P. 2008. A survey of glove-based systems and their applications. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part C:*

Dirican, A. C., Göktürk, M. 2011. Psychophysiological measures of human cognitive states applied in Human Computer Interaction. *Procedia Computer Science*, 3: 1361-1367. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2011.01.016>

Doshi, A., Smith, R. T., Thomas, B. H., Bouras, C. 2017. Use of projector based augmented reality to improve manual spot-welding precision and accuracy for automotive manufacturing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 89(5-8): 1279-1293. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9164-5>

Echtler, F., Sturm, F., Kindermann, K., Klinker, G., Stilla, J., Trilk, J., Najafi, H. 2004. The Intelligent Welding Gun: Augmented Reality for Experimental Vehicle Construction: Virtual and Augmented Reality Applications in Manufacturing, Editors: Nee, A. Y. C., Ong, S. K., Springer, London, England, pp: 333–360. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-3873-0_17

Eggemeier, F. T., Wilson, G. F., Kramer, A. F. and Damos, D. L. 1991. Workload assessment in multi-task environments: Multiple-Task Performance, Editor: Diane D., CRC Press, London, England, pp: 207-216

Fründ, J., Gausemeier, J., Matyszczok, C., Radkowski, R. 2005. Using Augmented Reality Technology to Support the Automobile Development: Computer Supported Cooperative Work in Design I, Editors: Shen, W., Lin, Z., Barthes, J.-P. A., Li, T., Springer, Berlin, Germany, pp: 289-298. https://doi.org/10.1007/11568421_29

Funk, M., Bächler, A., Bächler, L., Korn, O., Krieger, C., Heidenreich, T., Schmidt, A. 2015. Comparing projected in-situ feedback at the manual assembly workplace with impaired workers. 8th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments, July 2015, Corfu, Greece. <https://doi.org/10.1145/2769493.2769496>

Funk, M., Bachler, A., Bachler, L., Kosch, T., Heidenreich, T., Schmidt, A. 2017. Working with augmented reality? Proceedings of the 10th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments, June 2017, Island of Rhodes, Greece. <https://doi.org/10.1145/3056540.3056548>

García-Larrea, L., Cézanne-Bert, G. 1998. P3, Positive slow wave and working memory load: A study on the functional correlates of slow wave activity. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology - Evoked Potentials*, 108(3): 260-273. [https://doi.org/10.1016/S0168-5597\(97\)00085-3](https://doi.org/10.1016/S0168-5597(97)00085-3)

Gattullo, M., Scurati, G. W., Fiorentino, M., Uva, A. E., Ferrise, F., Bordegoni, M. 2019. Towards augmented reality manuals for industry 4.0: A methodology. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 56: 276-286. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2018.10.001>

Gerjets, P., Scheiter, K., Catrambone, R. 2004. Designing instructional examples to reduce intrinsic cognitive load: Molar versus modular presentation of solution procedures. *Instructional Science*, 32(1/2): 33-58. <https://doi.org/10.1023/b:truc.0000021809.10236.71>

Ginter, J., Blinowska, K. J., Kamiński, M., Durka, P. J., Pfurtscheller, G., Neuper, C. 2005. Propagation of EEG activity in the beta and gamma band during movement imagery in humans. *Methods of Information in Medicine*.

Goldstein, R., Bauer, L. O., Stern, J. A. 1992. Effect of task difficulty and interstimulus interval on blink parameters. *International Journal of Psychophysiology*, 13(2): 111-117. [https://doi.org/10.1016/0167-8760\(92\)90050-L](https://doi.org/10.1016/0167-8760(92)90050-L)

Gorecky, D., Schmitt, M., Loskyll, M., Zühlke, D. 2014. Human-machine-interaction in the industry 4.0 era. 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN), 27-30 July 2014, Porto Alegre, Brazil. <https://doi.org/10.1109/INDIN.2014.6945523>

Hahn, J., Ludwig, B., Wolff, C. 2015. Augmented reality-based training of the PCB assembly process. Proceedings of the 14th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia, November 2015, Linz, Austria. <https://doi.org/10.1145/2836041.2841215>

Hamilton, M. 1959. The assessment of anxiety states by rating. *Br J Med Psychol*, 32(1): 50-55.

Hamilton, M. 1960. A rating scale for depression. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 23: 56-62.

Han, P., Zhao, G. 2017. Line-based initialization method for mobile augmented reality in aircraft assembly. *Visual Computer*, 33(9): 1185-1196. <https://doi.org/10.1007/s00371-016-1281-5>

Hart, S. G., Staveland, L. E. 1988. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research: Advances in Psychology, Volume 52; Human Mental Workload, Editors: Hancock, P. A., Meshkati, N., North Holland, Holland, pp: 139-183. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9)

Helin, K., Kuula, T., Vizzi, C., Karjalainen, J., Vovk, A. 2018. User experience of augmented reality system for astronaut's manual work support. *Frontiers Robotics AI*, 5(SEP): 106. <https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00106>

Henderson, S. J., Feiner, S. 2009. Evaluating the benefits of augmented reality for task localization in maintenance of an armored personnel carrier turret. 8th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, October 2009, USA. <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2009.5336486>

Henderson, S. J., Feiner, S. K. 2011. Augmented reality in the psychomotor phase of a

procedural task. 10th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 26-29 October 2011, Basel, Switzerland. <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2011.6092386>

Hold, P., Erol, S., Reisinger, G., Sihm, W. 2017. Planning and Evaluation of Digital Assistance Systems. *Procedia Manufacturing*, 9: 143-150. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.024>

Jetter, J., Eimecke, J., Rese, A. 2018. Augmented reality tools for industrial applications: What are potential key performance indicators and who benefits?. *Computers in Human Behavior*, 87: 18-33. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.04.054>

Kirschner, F., Kester, L., Corbalan, G. 2011a. Cognitive load theory and multimedia learning, task characteristics and learning engagement: The Current State of the Art. *Computers in Human Behavior*, 27(1): 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2010.05.003>

Kirschner, P. A., Ayres, P., Chandler, P. 2011b. Contemporary cognitive load theory research: The good, the bad and the ugly. *Computers in Human Behavior*, 27(1): 99-105. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2010.06.025>

Klimesch, W. 1999. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: A review and analysis. *Brain Research Reviews*, 29(2-3): 169-195. [https://doi.org/10.1016/S0165-0173\(98\)00056-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0173(98)00056-3)

Klimesch, W., Schack, B., Sauseng, P. 2005. The functional significance of theta and upper alpha oscillations. *Experimental Psychology*, 52(2): 99-108. <https://doi.org/10.1027/1618-3169.52.2.99>

Kucukoglu, I., Atici-Ulusu, H., Gunduz, T., Tokcalar, O. 2018. Application of the artificial neural network method to detect defective assembling processes by using a wearable technology. *Journal of Manufacturing Systems*, 49: 163-171. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.10.001>

Kumar, N., Kumar, J. 2016. Measurement of Cognitive Load in HCI Systems Using EEG Power Spectrum: An Experimental Study. *Procedia Computer Science*, 84: 70-78. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.04.068>

Lampen, E., Teuber, J., Gaisbauer, F., Bär, T., Pfeiffer, T., Wachsmuth, S. 2019. Combining simulation and augmented reality methods for enhanced worker assistance in manual assembly. *Procedia CIRP*, 81: 588-593. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.160>

Liu, S., 2020. Augmented reality market size worldwide 2017-2025. <https://www.statista.com/statistics/897587/world-augmented-reality-market-value/#statisticContainer>. Html-(Erişim tarihi: 13.12.2020).

Makris, S., Karagiannis, P., Koukas, S., Matthaiakis, A. S. 2016. Augmented reality system for operator support in human–robot collaborative assembly. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 65(1): 61-64. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.04.038>

- Marcon, P., Zezulka, F., Vesely, I., Szabo, Z., Roubal, Z., Sajdl, O., Gescheidtova, E., Dohnal, P. 2017.** Communication technology for industry 4.0. Progress in Electromagnetics Research Symposium, 22-25 May 2017, St Petersburg, Russia. <https://doi.org/10.1109/PIERS.2017.8262021>
- Martinetti, A., Rajabalinejad, M., Van Dongen, L. 2017.** Shaping the Future Maintenance Operations: Reflections on the Adoptions of Augmented Reality Through Problems and Opportunities. *Procedia CIRP*, 59: 14-17. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.10.130>
- Masoni, R., Ferrise, F., Bordegoni, M., Gattullo, M., Uva, A. E., Fiorentino, M., Carrabba, E., Di Donato, M. 2017.** Supporting Remote Maintenance in Industry 4.0 through Augmented Reality. *Procedia Manufacturing*, 11: 1296-1302. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.257>
- Masood, T., Egger, J. 2019.** Augmented reality in support of Industry 4.0—Implementation challenges and success factors. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 58: 181-195. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.02.003>
- Masood, T., Egger, J., Kern, M. 2018.** Future-proofing the through-life engineering service systems. *Procedia Manufacturing*, 16: 179-186. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.162>
- Mazher, M., Abd Aziz, A., Malik, A. S., Ullah Amin, H. 2017.** An EEG-Based Cognitive Load Assessment in Multimedia Learning Using Feature Extraction and Partial Directed Coherence. *IEEE Access*, 5: 14819-14829. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2731784>
- Michalos, G., Kousi, N., Karagiannis, P., Gkournelos, C., Dimoulas, K., Koukas, S., Mparis, K., Papavasileiou, A., Makris, S. 2018.** Seamless human robot collaborative assembly – An automotive case study. *Mechatronics*, 55: 194-211. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2018.08.006>
- Miller, A. M. D., Alvarez, R., Hartman, N. 2018.** Towards an extended model-based definition for the digital twin. *Computer-Aided Design and Applications*, 15(6): 880-891. <https://doi.org/10.1080/16864360.2018.1462569>
- Miller, G. A. 1956.** The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2): 81-97. <https://doi.org/10.1037/h0043158>
- Mourtzis, D., Zogopoulos, V., Vlachou, E. 2017.** Augmented Reality Application to Support Remote Maintenance as a Service in the Robotics Industry. *Procedia CIRP*, 63: 46-51. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.154>
- Mourtzis, D., Zogopoulos, V., Katagis, I., Lagios, P. 2018.** Augmented Reality based Visualization of CAM Instructions towards Industry 4.0 paradigm: A CNC Bending Machine case study. *Procedia CIRP*, 70: 368-373.

<https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.02.045>

Nee, A. Y. C., Ong, S. K., Chryssolouris, G., Mourtzis, D. 2012. Augmented reality applications in design and manufacturing. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 61(2): 657-679. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2012.05.010>

Oesterreich, T., Teuteberg, F. 2017. (Impo) Evaluating Augmented Reality Applications in Construction – a Cost-Benefit Assessment Framework Based on Vofi. Ecis2017.

Ong, S. K., Yuan, M. L., Nee, A. Y. C. 2008. Augmented reality applications in manufacturing: A survey. *International Journal of Production Research*, 46(10): 2707-2742. <https://doi.org/10.1080/00207540601064773>

Paas, F. 1992. Training Strategies for Attaining Transfer of Problem-Solving Skill in Statistics: A Cognitive-Load Approach. *Journal of Educational Psychology*, 84(4): 429-434. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.84.4.429>

Paas, F., Renkl, A., Sweller, J. 2003a. Cognitive load theory and instructional design: Recent developments. *Educational Psychologist*, 38(1); 1-4. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_1

Paas, F., Tuovinen, J. E., Tabbers, H., Van Gerven, P. W. M. 2003b. Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educational Psychologist*, 38(1): 63-71. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_8

Paas, F., Van Merriënboer, J. J. G. 1994. Instructional control of cognitive load in the training of complex cognitive tasks. *Educational Psychology Review*, 6(4): 351-371. <https://doi.org/10.1007/BF02213420>

Paas, F., van Merriënboer, J. J. G., Adam, J. J. 1994. Measurement of Cognitive Load in Instructional Research. *Perceptual and Motor Skills*, 79(1): 419-430. <https://doi.org/10.2466/pms.1994.79.1.419>

Parasuraman, R., Sheridan, T. B., Wickens, C. D. 2008. Situation Awareness, Mental Workload, and Trust in Automation: Viable, Empirically Supported Cognitive Engineering Constructs. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 2(2): 140-160. <https://doi.org/10.1518/155534308X284417>

Paulo Lima, J., Roberto, R., Simões, F., Almeida, M., Figueiredo, L., Marcelo Teixeira, J., Teichrieb, V. 2017. Markerless tracking system for augmented reality in the automotive industry. *Expert Systems with Applications*, 82: 100-114. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.03.060>

Peddie, J. 2017. Technology Issues: Augmented Reality, Springer International Publishing, pp: 183-289. https://doi.org/10.1007/978-3-319-54502-8_8

Pentenrieder, K., Bade, C., Doil, F., Meier, P. 2007. Augmented reality-based factory

planning - An application tailored to industrial needs. 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 13-16 November 2007, Nara, Japan. <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2007.4538822>

Peruzzini, M., Grandi, F., Pellicciari, M. 2017. Benchmarking of Tools for User Experience Analysis in Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 11: 806-813. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.182>

Pfurtscheller, G., Aranibar, A. 1977. Event-related cortical desynchronization detected by power measurements of scalp EEG. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 42(6): 817-826. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(77\)90235-8](https://doi.org/10.1016/0013-4694(77)90235-8)

Pfurtscheller, G., & Lopes da Silva, F. H. 2005. Event-related desynchronization (ERD) and event-related synchronization (ERS): Electroencephalography: Basic principles, clinical applications and related fields (5th ed.), Editors: Niedermeyer E., Lopes da Silva F., Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, pp: 1003-1016.

Pierdicca, R., Frontoni, E., Pollini, R., Trani, M., Verdini, L. 2017. The use of augmented reality glasses for the application in industry 4.0. International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics, 12-15 June 2017, Ugento, Italy. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60922-5_30

Polvi, J., Taketomi, T., Moteki, A., Yoshitake, T., Fukuoka, T., Yamamoto, G., Sandor, C., Kato, H. 2018. Handheld Guides in Inspection Tasks: Augmented Reality versus Picture. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 24(7): 2118-2128. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2017.2709746>

Prabhakar, G., Madhu, N., Biswas, P. 2018. Comparing pupil dilation, head movement, and EEG for distraction detection of drivers. Proceedings of the 32nd International BCS Human Computer Interaction Conference, 4-6 July 2018, Swindon, UK. <https://doi.org/10.14236/ewic/HCI2018.69>

Prabhakar, G., Mukhopadhyay, A., Murthy, L., Modiksha, M., Sachin, D., Biswas, P. 2020. Cognitive load estimation using ocular parameters in automotive. *Transportation Engineering*, 2: 100008. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2020.100008>

Qeshmy, D. E., Makdisi, J., Ribeiro da Silva, E. H. D., Angelis, J. 2019. Managing Human Errors: Augmented Reality systems as a tool in the quality journey. *Procedia Manufacturing*, 28: 24–30. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.12.005>

Quiroga, R. Q. 1998. Quantitative analysis of EEG signals : Time-frequency methods and Chaos theory. *Institute of Physiology Medical University Lubeck and Institute of Signal Processing Medical University Lubeck*. <https://doi.org/10.1196/annals.1314.032>

Reiners, D., Stricker, D., Klinker, G., Müller, S. 1999. Augmented Reality for Construction Tasks: Doorlock Assembly: Augmented Reality, Editors: Behringer, R., Klinker, G., Mizell, D., A K Peters / CRC Press, USA, pp: 51–66. <https://doi.org/10.1201/9781439863992-10>

- Renner, P., Pfeiffer, T. 2017.** Augmented Reality Assistance in the Central Field-of-View Outperforms Peripheral Displays for Order Picking: Results from a Virtual Reality Simulation Study. *IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR-Adjunct)*, 9-13 October 2017, Nantes, France. <https://doi.org/10.1109/ISMAR-Adjunct.2017.59>
- Rosenberg, L. 1992.** The use of virtual fixtures as perceptual overlays to enhance operator performance in remote environments. Technical report, No. A054292, USAF Armstrong. <https://doi.org/10.1109/VRAIS.1993.380795>
- Sauer, S., Berndt, D., Schnee, J., Teutsch, C. 2011.** Worker assistance and quality inspection - Application of optical 3D metrology and augmented reality technologies. Joint International IMEKO TC1+ TC7+ TC13 Symposium, 31 August-2 September 2011, Jena, Germany.
- Shiffrin, R. M., Schneider, W. 1977.** Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending and a general theory. *Psychological Review*, 84(2): 127-190. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.84.2.127>
- Soete, N., Claeys, A., Hoedt, S., Mahy, B., Cottyn, J. 2015.** Towards mixed reality in SCADA applications. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3): 2417-2422. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.450>
- Stoltz, M. H., Giannikas, V., McFarlane, D., Strachan, J., Um, J., Srinivasan, R. 2017.** Augmented Reality in Warehouse Operations: Opportunities and Barriers. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1): 12979-12984. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1807>
- Sweller, J. 1988.** Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2): 257-285. [https://doi.org/10.1016/0364-0213\(88\)90023-7](https://doi.org/10.1016/0364-0213(88)90023-7)
- Sweller, J. 1994.** Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction*, 4(4): 295-312. [https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90003-5](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90003-5)
- Sweller, J. 2010.** Element interactivity and intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Educational Psychology Review*, 22(2): 123-138. <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9128-5>
- Sweller, J., Van Merriënboer, J. J. G., Paas, F. 1998.** Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review*. <https://doi.org/10.1023/A:1022193728205>
- Tang, A., Owen, C., Biocca, F., Mou, W. 2003.** Comparative effectiveness of augmented reality in object assembly. Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings, 5-10 April 2003, Florida, USA. <https://doi.org/10.1145/642611.642626>
- Thames, L., Schaefer, D. 2016.** Software-defined Cloud Manufacturing for Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 52: 12-17. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.041>

- Um, E. R., Plass, J. L., Hayward, E. O., Homer, B. D. 2012.** Emotional Design in Multimedia Learning. *Journal of Educational Psychology*. <https://doi.org/10.1037/a0026609>
- Uva, A. E., Gattullo, M., Manghisi, V. M., Spagnulo, D., Cascella, G. L., Fiorentino, M. 2018.** Evaluating the effectiveness of spatial augmented reality in smart manufacturing: a solution for manual working stations. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94(1–4): 509–521. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0846-4>
- Vargas, D. G. M., Vijayan, K. K., Mork, O. J. 2020.** Augmented reality for future research opportunities and challenges in the shipbuilding industry: A literature review. *Procedia Manufacturing*, 45: 497-503. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.063>
- Walter, W. G. 1936.** The location of cerebral tumors by electroencephalography. *Lancet.*, 2: 305–308.
- Walter, W. G., Dovey, V. J. 1944.** Electroencephalography in cases of sub-cortical tumour. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*, 7(3–4): 57–65. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21610865>
- Wang, C. H., Tsai, N. H., Lu, J. M., Wang, M. J. J. 2019.** Usability evaluation of an instructional application based on Google Glass for mobile phone disassembly tasks. *Applied Ergonomics*, 77: 58-69. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.01.007>
- Wang, X., Ong, S. K., Nee, A. Y. C. 2016.** A comprehensive survey of augmented reality assembly research. *Advances in Manufacturing*, 4(1): 1-22. <https://doi.org/10.1007/s40436-015-0131-4>
- Werrlich, S., Nitsche, K., Notni, G. 2017.** Demand analysis for an augmented reality based assembly training. Proceedings of the 10th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments, June 2017, Island of Rhodes, Greece. <https://doi.org/10.1145/3056540.3076190>
- Wróbel, A. 2000.** Beta activity: A carrier for visual attention. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 60(2): 247-60.
- Xie, B., Salvendy, G. 2000.** Review and reappraisal of modelling and predicting mental workload in single- and multi-task environments. *Work and Stress*, 14(1): 74-99. <https://doi.org/10.1080/026783700417249>
- Yang, L., Ma, R., Zhang, H. M., Guan, W., Jiang, S. 2018.** Driving behavior recognition using EEG data from a simulated car-following experiment. *Accident Analysis and Prevention*, 116: 30-40. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.11.010>
- Zhang, D., Zhao, H., Bai, W., Tian, X. 2016.** Functional connectivity among multi-channel EEGs when working memory load reaches the capacity. *Brain Research*, 1631: 101-112. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2015.11.036>

EKLER

- EK 1** Deney Programı
EK 2 Hamilton Depresyon Derecelendirme Ölçeği
EK 3 Hamilton Anksiyete Derecelendirme Ölçeği

EK 1 Deney Programı

	Cinsiyet	Erkek	Erkek			Cinsiyet	Kadın	Kadın
	Yaş	35 yaş altı	35 yaş üstü			Yaş	35 yaş altı	35 yaş üstü
	Gün					Gün		
Hafta 1	1	E		Hafta 5	21			
	2	AE			22			
	3	A			23	E		
	4	A			24	AE		
	5	AE			25	A		
Hafta 2	6	A		Hafta 6	26	A		
	7	A			27	AE		
	8	AE			28	A		
	9	A			29	A		
	10	A			30	AE		
Hafta 3	11	AE		Hafta 7	31	A		
	12		E		32	A		
	13		AE		33	AE		
	14		A		34		E	
	15		A		35		AE	
Hafta 4	16		AE	Hafta 8	36		A	
	17		A		37		A	
	18		A		38		AE	
	19		AE		39		A	
	20		A		40		A	
Hafta 5	21		A	Hafta 9	41		AE	
	22		AE		42		A	
	23				43		A	
	24				44		AE	
	25				45			

- E: Operatör üzerinde EEG ölçümü yapılıyor (AG gözlüğü takılı değil).
- A: Operatör AG gözlüğü takılı olarak iş yapıyor.
- AE: Operatör AG gözlüğü takılı olarak iş yapıyor ve aynı zamanda EEG ölçümü yapılıyor.

EK 2 Hamilton Depresyon Değerlendirme Anketi

Hamilton Depresyon Değerlendirme					
DEPRESE DUYGUDURUM	0= Yok	1= Şüpheli	2= Hafif	3= Orta	4= Ağır
Son 7 gün içerisinde moraliniz nasıldı?					
Kendinizi çöküntüde veya kötü hissediyor muydunuz?					
Kederlilik, umutsuzluğunuz var mıydı?					
Son 7 gün içinde ne kadar süreyle kendinizi böyle hissettiniz? Her gün? Bütün gün?					
Hiç ağlıyor muydunuz?					
İŞ VE ETKİNLİKLER*1	0	1	2	3	4
Son 7 gün içerisinde zamanınızı nasıl geçiriyordunuz (iş dışı zamanlarda)?					
Bunları ilgi duyarak mı, yapmak zorunda olduğunuz için mi yaptınız?					
Eskiden yapıp da şu anda yapmayı bıraktığınız şeyler var mı?					
Hevesle beklediğiniz herhangi bir şey var mı?					
GENİTAL BELİRTİLER (CİNSEL İLGI)	0= Yok		1= Şüpheli		2= Var
Son 7 gün içerisinde cinsel isteğiniz nasıldı? (Cinsel ilişkide bulunup bulunmadığınızı değil, cinsel isteğinizi soruyorum, bu konuyu ne kadar düşünüyorsunuz?)					
Cinsel isteğinizde bir değişiklik oldu mu? (Çökkün olmadığınız döneme göre)					
Cinsellik sıkça düşündüğünüz bir konu mu?					
Hayır ise: Bu sizin için farklı bir durum mu?					
SOMATİK BELİRTİLER (GASTROİNTESİTİNAL)	0= Yok		1= Şüpheli		2= Var
Son 7 gün içerisinde iştahınız nasıldı? (Her zamanki iştahınızla karşılaştırdığınızda nasıl?)					
Yemek için kendinizi zorlamak zorunda kaldınız mı?					
Çevrenizdeki insanlar yemeniz için ısrar etmek zorunda kaldı mı?					

*1: (0= Normal iş etkinlikleri, 1= Yetersizlik duyguları, işi belirgin bir aksama görülmeden yapabilmek, 2= Motivasyon eksikliği, çalışma kapasitesinde azalma, 3= İşe ayrılan zaman ileride derecede az, verim düşük, 4= Kesinlikle çalışamaz)

Hamilton Depresyon Değerlendirme			
<i>ERKEN UYKUSUZLUK (UYKUYA DALMA GÜÇLÜĞÜ)</i>	0= Yok	1= Şüpheli	2= Var
Geçtiğimiz hafta boyunca uykunuz nasıldı?			
Geceleri uykuya dalmakta zorluk çektiniz mi? (Yatağa yattıktan sonra, uykuya dalmanız ne kadar süre alıyordu?)			
Son 7 gün içinde kaç gece uykuya dalmakta güçlük çektiniz.			
<i>ORTA UYKUSUZLUK (UYKUYU SÜRDÜRME GÜÇLÜĞÜ)</i>	0= Yok	1= Şüpheli	2= Var
Son 7 gün boyunca gece yarısı uyanıyor muydunuz?			
EVET ise: Yataktan kalkıyor musunuz?			
Kalkınca ne yaparsınız?(Sadece banyoya, tuvalete mi gidersiniz?)			
Peki yatağa döndüğünüzde hemen uyuyabiliyor musunuz?			
Bazı geceler uykunuzun rahatsız ve huzursuz olduğunu hissettiniz mi?			
<i>GECE UYKUSUZLUK (ERKEN UYANMA)</i>	0= Yok	1= Şüpheli	2= Var
Son 7 gün içerisinde sabahlan en geç olarak ne zaman uyanıyordunuz?			
ERKEN ise: Saatin alarmıyla mı, yoksa kendi kendinize mi uyanıyordunuz?			
Genellikle ne zaman uyanırsınız ?			
<i>GENEL BEDENSEL BELİRTİLER</i>	0= Yok	1= Şüpheli	2= Var
Son 7 gün içerisinde gücünüz-kuvvetiniz nasıldı?			
Her zaman yorgun muydunuz?			
Bu hafta hiç sırt ağrınız, baş ağrısı ya da adale ağrınız oldu mu?			
Bu hafta kol ve bacaklarınızda, sırtınızda veya başınızda herhangi bir ağırlık hissettiniz mi?			

Hamilton Depresyon Değerlendirme					
SUÇLULUK DUYGULARI	0= Yok	1= Şüpheli	2= Hafif	3= Orta	4= Ağır
Son 7 gün içerisinde, özellikle, bazı şeyleri yanlış yaptığınız veya insanları hayal kırıklığına uğrattığınızı hissederek kendinizi eleştiriyor muydunuz?					
Yaptığınız ya da yapamadığınız herhangi bir şey için suçluluk hissediyor muydunuz?					
Bu rahatsızlığı (çöküntüyü) bir şekilde kendi başınıza kendinizin getirdiğini düşündünüz mü?					
Hasta olmakla cezalandırılıyormuş gibi hissediyor muydunuz?					
İNTİHAR	0= Yok	1= Şüpheli	2= Hafif	3= Orta	4= Ağır
Geçen hafta içerisinde hiç hayatın yaşamaya değer olmadığı şeklinde düşünceleriniz oldu mu?					
Geçen hafta içerisinde ölsem daha iyi diye düşündüğünüz oldu mu?					
Peki ya kendinize zarar verme veya hatta kendinizi öldürmeyle ilgili bir planınız oldu mu?					
EVET ise: Neler düşündünüz?					
Gerçekten kendinize zarar verecek bir şey yaptınız mı?					
RUHSAL ANKSİYETE	0= Yok	1= Şüpheli	2= Hafif	3= Orta	4= Ağır
Son 7 gün içerisinde kendinizi özellikle gergin veya sinirli hissediyor muydunuz?					
Normalde kaygılanmayacağınız önemsiz küçük şeyler için çok fazla kaygılandınız mı?					
Bunlar günlük hayatınızı etkiledi mi?					
EVET ise: Örneğin ne gibi?					
BEDENSEL ANKSİYETE*2	0= Yok	1= Şüpheli	2= Hafif	3= Orta	4= Ağır
Son 7 gün içerisinde aşağıdaki bedensel belirtilerden herhangi biri var mıydı?					
Geçen hafta bu şeyler sizi ne kadar rahatsız ediyordu? (Ne kadar kötüydü, ne kadar zaman ve ne sıklıkta bunlar vardı?)					

*2: (Gastrointestinal: Ağız kuruluğu, gaz, hazımsızlık, ishal, kramplar, geğirme, Kardiyovasküler: Kalp çarpıntısı, baş ağrıları, Solunum: Aşırı nefes alma, iç çekme,)

Hamilton Depresyon Değerlendirme					
<i>HİPOKONDRIYAZİS</i>	0= Yok	1= Şüpheli	2= Hafif	3= Orta	4= Ağır
Son 7 gün içerisinde, düşünceleriniz ne kadar vücut sağlığınız veya vücudunuzun nasıl çalıştığı üzerinde toplanmıştı? (Normal düşüncenize kıyasla)					
Bedensel olarak kendinizi nasıl hissettiğiniz konusunda çok şikayet eder miydiniz?					
Aslında kendi başınıza yapabileceğiniz şeyler için başkalarından yardım istediniz mi?					
EVET ise: Örneğin ne gibi? Bu ne sıklıkta oldu?					
<i>KİLO KAYBI (ZAYIFLAMA)</i>	0= Yok	1= 1-2.5 kg kayıp	2= 3 kg'dan fazla kayıp		
Bu çöküntü başladığından beri kilo kaybettiniz mi?					
EMİN DEĞİL ise: Giyeceklerinizin size bol gelmeye başladığını düşündünüz mü?					

EK 3 Hamilton Anksiyete Değerlendirme Anketi

Hamilton Anksiyete Değerlendirme					
	Yok	Hafif	Orta	Şiddetli	Çok Şiddetli
<i>ANKSİYETELİ MİZAÇ</i>					
Geçtiğimiz hafta içinde ruh haliniz nasıldı?					
Kendinizi endişeli hissettiniz mi? Kötü bir şey olacak beklentisi oldu mu?					
Korkulacak bir şey olacak hissine kapıldığınız veya çabuk parladığınız oluyor mu?					
<i>GERGİNLİK</i>					
Geçen hafta içinde gergin olduğunuz ve kolayca yorulduğunuz oldu mu?					
Sık sık irkildiniz mi?					
Kolayca ağlamaklı oldunuz mu?					
Titremeler oldu mu? Yerinizde duramadığınızı ve bir türlü gevşeyemediğinizi hissettiniz mi?					
<i>KORKULAR</i>					
Geçen hafta içinde karanlıktan korktunuz mu?					
Tanımadığınız insanlardan korktuğunuz mu? Yalnız kalmaktan çekindiniz mi? Hayvanlardan? Trafikten? Kalabalıktan?					
<i>UYKUSUZLUK</i>					
Geçtiğimiz hafta içinde uykunuz nasıldı? Yatağa girince uykuya dalmakta zorlandınız mı?					
Uykuya dalmanız her zamankine göre nasıl? Bazı geceler huzursuz, rahatsız uyuduğunuzu veya dinlenemediğinizi farkettiniz mi? Uykularınız bölündü mü? Sabah uyandığınızda kendinizi yorgun veya halsiz hissettiniz mi? Hiç kötü rüya veya kâbus gördünüz mü?					
<i>ENTELLEKTÜEL (kognitif)</i>					
Geçen hafta dikkatinizi toplamakta zorluk çektiniz mi (örn. kitap veya dergi okurken, televizyon seyredirken, biriyle konuşurken, araba kullanırken)?					
Hatırlamakta zorlandığınız şeyler oldu mu?					
Her zamankine göre (sıkıntıların başlamadan önceki halinize göre) hafızanızda bir değişiklik var mı?					
<i>DEPRESİF MİZAÇ</i>					
Geçtiğimiz hafta kendinizi çökkün (örn. üzüntülü, ümitsiz, ağlamaklı) hissettiniz mi?					
Her zaman ilgilendiğiniz şeylere karşı ilgisizlik veya zevk alamama var mı? Hiç sabahları erken uyandınız mı?					
Günün belli saatlerinde, örn. sabahları veya akşamları kendinizi daha iyi veya daha kötü hissediyor musunuz?					
Sabahları ve öğleden sonra kendinizi ne kadar daha kötü hissettiniz?					

Hamilton Anksiyete Değerlendirme					
	Yok	Hafif	Orta	Şiddetli	Çok Şiddetli
BEDENSEL					
Geçen hafta bedeninizi nasıl hissettiniz?					
Soracağım belirtilerden herhangi biri oldu mu: Ağrılar, sızılar, kaslarda seyirme, tutulma (sertlik), diş gıcırdatma, sesin titremesi, kaslarda gerginlik, kaslarda kasılmalar veya sıçramalar?					
SOMATİK					
Geçtiğimiz hafta içinde kulaklarınızda hiç çınlama oldu mu?					
Vızıltı, tıkırtı veya gürleme gibi sesler?					
Hiç görme bulanıklığı oldu mu?					
Ateş basması veya üşüme? Takatsizlik?					
Hiç iğnelenmeler oldu mu?					
KARDİOVASKÜLER SEMPTOMLAR					
Geçen hafta nabzınızda hızlanma oldu mu? Kalbiniz hızlı atıyormuş gibi hissettiniz mi?					
Hiç göğsünüzde ağrı hissettiniz mi?					
Damarlarınızın attığını hissettiniz mi? Hiç bayılacak gibi oldunuz mu?					
Kalbinizin teklediğini hissettiniz mi?					
SOLUNUM SEMPTOMLARI					
Geçen hafta göğsünüzde baskı veya sıkışma hissettiniz mi? Hiç boğuluyormuş gibi hissettiniz mi?					
Her zamankinden daha fazla iç çektiniz mi?					
Nefes alırken zorlandığınız, güçlükle nefes aldığınız oldu mu?					
Nefesiniz yetmiyor gibi hissettiniz mi?					
GASTROİNTESTİNAL SEMPTOMLAR					
Geçen hafta boyunca hiç midenizde veya karnınızda ağrı veya rahatsızlık hissi oldu mu? Yutkunma zorluğu oldu mu?					
Her zamankinden fazla yellenme oldu mu? Hiç midenizde ekşime, yanma hissettiniz mi?					
Hiç karnınızda şişkinlik veya gerilme hissi oldu mu?					
Mide bulantısı oldu mu? Kustunuz mu?					
Midenizde her zamankinden fazla guruldama oldu mu?					
Barsaklarınızda gevşeklik veya ishal oldu mu? Peklik oldu mu?					
Kilo kaybı oldu mu? (Yok= Kilo kaybı yarım kilodan azsa, Hafif= 0.5 kg - 1 kg, Orta=1 kg- 2 kg, Şiddetli=2 kg'dan fazla, Çok Şiddetli= Güçsüzleştirir)					
GENİTOÜRİNER SEMPTOMLAR					
Geçtiğimiz hafta her zaman olduğundan daha sık idrara çıktınız mı? Her zamankinden daha sık, sıkıştığınızı hissettiniz mi? Adet gecikmesi veya kesilme oldu mu? Adetiniz boyunca aşırı kanama oldu mu?					
Geçtiğimiz hafta içinde kendinizi cinsel bakımdan soğuk veya tepkisiz hissettiniz mi? Cinsel dürtü veya isteğinizde azalma oldu mu? Erken boşalma oldu mu? Sertleşme sorunu oldu mu?					

Hamilton Anksiyete Değerlendirme					
	Yok	Hafif	Orta	Şiddetli	Çok Şiddetli
<i>OTONOMİK SEMPTOMLAR</i>					
Geçtiğimiz bir hafta içinde aşağıdaki belirtilerden herhangi biri oldu mu?					
Ağız kuruluğu?					
Her zamankinden daha fazla terleme?					
Yüz kızarması? Solgunluk? Sersemlik/baş dönmesi?					
Gerginlik baş ağrısı? Tüylerin diken diken olması?					

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Yağmur Dila İKİZ
Doğum Yeri ve Tarihi : Seyhan, 01.01.1996
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Gemlik Celal Bayar Anadolu Lisesi, 2013
Lisans : Dokuz Eylül Üniversitesi-Endüstri Mühendisliği, 2017
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi- Endüstri Mühendisliği, 2021

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Çimtaş Çelik A.Ş.

İletişim (e-posta) : yagmurdila.ikiz@gmail.com

Yayınları :

İkiz, Y. D., Atıcı-Ulus, H., Taşkaplıoğlu, Ö., Gündüz, T. 2019. Effects of Augmented Reality Glasses on the Cognitive Load of Different Age Groups. Proceedings of The 2nd International Conference on Modern Research in Science, Engineering and Technology, 5-7 April, 2019, Barcelona, Spain.

İkiz, Y. D., Atıcı-Ulus, H., Taşkaplıoğlu, Ö., Gündüz, T. 2019. Usage of Augmented Reality Glasses in Automotive Industry: Age-Related Effects on Cognitive Load. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 8(3): 1-6.