

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**PİLOTLARIN ZİHİNSEL İŞYÜKLERİNİN NASA-TLX
YÖNTEMİYLE ÖLÇÜLMESİ**

HANDE GÜLKAÇ

KOCAELİ 2013

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

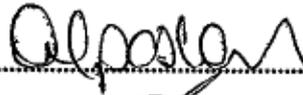
PİLOTLARIN ZİHİNSEL İŞYÜKLERİNİN NASA-TLX
YÖNTEMİYLE ÖLÇÜLMESİ

HANDE GÜLKAÇ

Prof. Dr. Alpaslan FIĞLALI
Danışman, Kocaeli Üniv.

Yrd. Doç. Dr. Alparslan Serhat DEMİR
Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.

Yrd. Doç. Dr. Celal ÖZKALE
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.





Tezin Savunulduğu Tarih: 24.06.2013

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Ülkemizde sivil havacılık gelişen teknoloji ve ekonominin sonucunda hızlı bir büyüme göstermektedir. Sivil havacılıkta en önemli konulardan biri ise güvenliği sağlamaktır. Uçuş görevini icra edecek pilot ve uçuş görevlilerinin eğitim, yetenek ve becerileri farklılıklar göstermektedir. Bu yüzden hissettikleri iş yükü ölçümü konusunda araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu tezimde sivil havacılık sektöründe pilotların hissettikleri zihinsel iş yükü ölçümü konusunda bana çalışma fırsatı veren sayın hocalarıma çok teşekkür ederim. Hayatım boyunca beni destekleyen aileme sonsuz minnet duygularımı sunarım.

Mayıs - 2013

Hande GÜLKAÇ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
TABLolar DİZİNİ	vi
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
GİRİŞ	1
1. ZİHİNSEL İŞYÜKÜ	5
1.1. Zihinsel Çalışma	5
1.1.1. Zihinsel iş yükü uygulama alanları	7
2. ZİHİNSEL İŞ YÜKÜ ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ	10
2.1. Fizyolojik Ölçüm Teknikleri	11
2.1.1. Kardiyolojik aktivitelerin ölçümü	11
2.1.1.1. Kalp atış hızı	11
2.1.1.2. Kalp atış değişkenliği	12
2.1.1.3. Kan basıncı	12
2.1.2. Solunum aktivitelerinin ölçümü	12
2.1.2.1. Solunum hızı	13
2.1.2.2. Nefes verişinde karbondioksit konsantrasyonu ve solunumdaki havanın hacmi	13
2.1.3. Göz aktiviteleri ölçümü	13
2.1.3.1. Göz kırpma sayısı ve kırpma anında gözün kapalı kalma süresi (kırpma süresi)	14
2.1.4. Konuşma ölçümleri	14
2.1.5. Beyin aktivitelerinin ölçümü	14
2.1.5.1. Elektroensefalografi (EEG)	15
2.1.6. Diğer yöntemler	15
2.1.7. Fizyolojik Ölçüm Tekniklerinin Avantaj ve Dezavantajları	15
2.1.7.1. Avantajları	15
2.1.7.2. Dezavantajları	16
2.2. Görev Ölçümü	16
2.2.1. Birincil görev ölçümü	16
2.2.2. İkincil görev ölçümleri	17
2.2.3. Görev ölçümü tekniklerinin avantaj ve dezavantajları	18
2.2.3.1. Avantajları	18
2.2.3.2. Dezavantajları	18
2.3. Sübjektif Ölçüm Yöntemleri	18
2.3.1. Geliştirilmiş Cooper-Harper (MCH) ölçütü	21
2.3.1.1. Değerlendirmede göz önünde bulunması gereken faktörler	22
2.3.1.2. Ölçümün avantajları	22

2.3.1.3. Ölçümün dezavantajları	22
2.3.2. Ardışık Karar Ölçütü (Zwei Ebenen Intensitats-Skala)	24
2.3.2.1. Değerlendirmede göz önünde bulunması gereken faktörler	25
2.3.2.2. Ölçümün avantajları	25
2.3.2.3. Ölçümün dezavantajları	25
2.3.3. Sübjektif İşyükü Ölçüm Tekniği (Subjective Workload Assessment Technique-SWAT)	26
2.3.3.1. Değerlendirmede göz önünde bulunması gereken faktörler	27
2.3.3.2. Ölçümün avantajları	27
2.3.3.3. Ölçümün dezavantajları	28
2.3.4. Sübjektif İşyükü Üstünlük Tekniği (Subjective Workload Dominance Technique SWORD)	28
2.3.4.1. Değerlendirmede göz önünde bulunması gereken faktörler	30
2.3.4.2. Ölçümün avantajları	31
2.3.4.3. Ölçümün dezavantajları	31
2.3.5. Bedford ölçütü	31
2.3.5.1. Değerlendirmede göz önünde bulunması gereken faktörler	32
2.3.5.2. Ölçümün avantajları	32
2.3.5.3. Ölçümün dezavantajları	33
2.3.6. NASA Görev Yükü İndeksi (NASA Task Load Index NASA-TLX)	35
2.3.6.1. Değerlendirmede göz önünde bulunması gereken faktörler	35
2.3.6.2. Ölçümün avantajları	35
2.3.6.3. Ölçümün dezavantajları	36
2.3.6.4. Ölçümün kullanıcı tesirinden bağımsızlığı	36
2.3.6.5. Ölçümün geçerliliği	36
2.3.6.6. Ölçümün güvenilirliği	37
2.3.6.7. Methodun uygulanabilirliği	38
2.3.6.8. Methodun ekonomisi	38
2.3.6.9. Methodun birincil görevle etkileşimi	38
2.3.6.10. Methodun tespit yeteneği	38
2.3.6.11. Methodun genellemesi	38
2.3.7. Sübjektif ölçüm tekniklerinin avantajları ve dezavantajları	39
2.4. Zihinsel İş Yükü Ölçümlemesi Alanında Yapılan Çeşitli Çalışmalar	40
3. ARAŞTIRMADA UYGULANAN MATERYAL VE YÖNTEM	44
3.1. NASA Görev Yükü İndeksi (NASA-TLX)	44
3.1.1. Genel bilgi	45
3.1.1.1. Yüklenme kaynakları (Ağırlıklar)	46
3.1.1.2. Yüklenmenin büyüklükleri (Oranlamalar)	47
3.1.1.3. Ağırlıklandırma ve ortalama işlemi (Birleştirme)	47
3.1.2. Deneysel yöntem	47
3.1.3. Veri analiz işlemi	47
3.1.3.1. Sayım kağıdı	47
3.1.3.2. Hesaplama kağıdı	47
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	49
4.1. Araştırmanın Amacı	49
4.1.1. Araştırmanın kapsamı	49
4.1.2. Araştırmanın önemi	50
4.1.3. Araştırmada veri toplama yöntemi	50
4.1.4. Uygulamanın yapılacağı kitlenin belirlenmesi	50
4.2. Değerlendirme Sonuçları	50

4.2.1. Değerlendirme sonuçlarının analizi	51
KAYNAKLAR	58
EKLER.....	63
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	68
ÖZGEÇMİŞ	69

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Geliştirilmiş Cooper Harper Ölçütü	23
Şekil 2.2. On Beş Noktalı Ardışık Karar Ölçütü	26
Şekil 2.3. Bedford Ölçütü	34

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1. SWORD Gelişim Formu	29
Tablo 2.2. SWORD Karar Matrisi	30
Tablo 3.1. NASA TLX Alt Ölçüt Tanımları	45
Tablo 4.1. Tecrübeye Göre NASA- TLX Skorları	51
Tablo 4.2. Tecrübeye Göre Mann-Whitney Analiz Sonuçları	52
Tablo 4.3. Birinci ve Üçüncü Gruplar Ağırlıklandırılmış Fiziksel İş Yüğü Ortalamaları	52
Tablo 4.4. Birinci ve Üçüncü Gruplar Ağırlıklandırılmış Zamansal İş Yüğü Ortalamaları	53
Tablo 4.5. Yaş'a Göre NASA-TLX Skorları	53
Tablo 4.6. Yaş'a Göre Mann-Whitney Analiz Sonuçları	54
Tablo 4.7. Birinci ve İkinci Gruplar Ağırlıklandırılmış Zihinsel İş Yüğü Ortalamaları	54
Tablo 4.8. Birinci ve İkinci Gruplar Ağırlıklandırılmış Fiziksel İş Yüğü Ortalamaları	55
Tablo 4.9. Birinci ve İkinci Gruplar Ağırlıklandırılmış Zamansal İş Yüğü Ortalamaları	55
Tablo 4.10. Birinci ve Üçüncü Gruplar Ağırlıklandırılmış Zamansal İş Yüğü Ortalamaları	56

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
ATL	: Atlanta Havalimanı
CDI	: Course Deviation Indicator (Rota Göstergesi)
DUS	: Düseldorf Havalimanı
EDA	: Elektrodermalaktivite
EEG	: Elektroensefalografi
EKG	: Eletrokardiyogram
EOG	: Elektrookülografi
FRA	: Frankfurt Havalimanı
GPS	: Global Positioning System (Küresel Konumlandırma Sistemi)
HAM	: Hamburg Havalimanı
LAX	: Los Angeles Havalimanı
MCH	: Modified Cooper Harper (Geliştirilmiş Cooper Harper)
NASA	: ABD Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
NASA-TLX	: NASA Task Load Index (NASA Görev Yüğü İndeksi)
SEZ	: Mahe Havalimanı
SWAM	: Sübjektif İşyüğü Ölçüm Modeli
SWAT	: Sübjektif İşyüğü Ölçüm Tekniğı
SWORD	: Sübjektif İşyüğü Üstünlük Tekniğı
VOR	: Hava Seyrüsefer Telsiz Yardımcı Cihazı
ZEIS	: Zwei Ebenen Intensitats Skala (Ardışık Karar Ölçütü)

PİLOTLARIN ZİHİNSEL İŞYÜKLERİNİN NASA-TLX YÖNTEMİYLE ÖLÇÜLMESİ

ÖZET

Zihinsel işyükünün ölçülmesi, belirlenmesi ve optimum düzeyde tutulması uzun yıllardan beri araştırılan bir konudur. Sivil havacılık sektörünün hızla büyümesi ile özel hava yollarında görev alan kokpit personelinin iş yüklerinin ölçülmesi gerekli bir konu haline gelmiştir. Bu tez çalışmasında özel bir havayolu şirketinde deneyimlerine göre gruplanmış üç ayrı pilot grubunun eğitim simülatörlerinde hissettikleri zihinsel işyükü ölçülmüş ve karşılaştırılmıştır. İkinci bir karşılaştırma araştırmaya katılan pilotlar arasında yaş grupları oluşturularak yapılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre pilotların hissettikleri zihinsel işyükü deneyim grupları açısından pek fark göstermese de, genç pilotlar ve yaşlı pilotlar arasında anlamlı işyükü farklarına rastlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: NASA-TLX, Pilot İşyükü, Zihinsel Çalışma, Zihinsel İşyükü, Zihinsel İşyükü Ölçüm Yöntemleri.

ASSESSING PILOT'S MENTAL WORKLOADS WITH NASA-TLX

ABSTRACT

Mental workload measurement, workload assessment, and keeping the workload at the optimum level are subjects studied for many years. With the rapid growth of the civil aviation sector, the workload assessment of cockpit crew have become an essential issue. In this study, in a private airline company, pilots are arranged into 3 different groups according to their experiences and NASA-TLX was applied to measure the workload they feel in test simulators. Later the results for each group compared to find out group differences. A second comparison is made according to pilots' ages. The results obtained shows that mental workload does not differentiate depending on the experience of pilots but, different mental workload levels are obtained between younger and older pilots.

Keywords: NASA-TLX, Pilot Workload, Mental Work, Mental Workload, Mental Workload Assessment Techniques.

GİRİŞ

Teknolojinin hayatımıza girmesiyle birlikte dünyada ve ülkemizde günlük hayatımızdan iş yaşantımıza kadar bir çok alanda büyük değişimler yaşanmaktadır. Bu gelişmelere uyum sağlamak, yeni trendleri yakalamak ve ihtiyaçlara cevap vermek için hayatımıza yeni bir çok donanım, yöntem ve yaklaşımlar girmektedir.

İş yükü günümüz koşullarında artarak önem kazanan bir konu olmaya devam etmektedir. İş yükü konusundaki çalışmalar insan-makine etkileşimi başladığından beri tartışılmaktadır. İşletmeler karlarını arttırmaya konsantre olurken, çalışanlar ise iş yüklerini azaltmaya odaklanmışlardır. Çözüm ise iş yükünün doğru ölçümü ve aşırı iş yükü seviyelerinin belirlenmesidir. İş yükü ilk olarak ele alındığında fiziksel iş yükünün ölçülmesi konusuna yoğunlaşmıştır. Günümüzde ise işlerin fizikselliğinin büyük bir kısmı makineler tarafından yapıldığından iş yükü ölçümü, algısal, iletişimsel vb. gibi farklı iş yükü tiplerinin ölçümlerine odaklanılmıştır (Wierwille, 1985).

Günümüze kadar iş yükü optimizasyonu üzerine çok zaman ve enerji harcandığından iş yükü ölçümü konusunda herşeyin tam tanımlı ve kabul görmüş olduğu düşünülebilir, fakat bu konu fazlaca bilinmesine rağmen hala net değildir. Zihinsel iş yükü ile ilgili birçok tanım mevcuttur. Bunlardan birisi Gopher (1986) tarafından zihinsel iş yükünü bir görevi gerçekleştirmek için gereken bilişsel kaynakların aktif olarak operatör tarafından kullanılan kısmı olarak açıklarken, bir diğeri ise zihinsel iş yükünün karar vermede gereken dikkat ile orantılı olduğunu söyler (Verwey, 2000). İş yükünün evrensel kabul görmüş bir tanımı olmadığı gibi birden çok ölçüm yöntemi mevcuttur.

Günümüzde kullanmakta olduğumuz sistemler geçmişe göre oldukça farklılaşmıştır. Günümüz modelleri; eğilimleri, amaçları, planları stratejileri ve insan algılamasına uygulanış yollarını tanımlamaktadır. Bununla birlikte çalışanların zihinsel modeli de değişmiştir, çalışan sadece ne yapabildiği ile değil ne bildiği ile de tanımlanmaktadır. Günümüzde insanın bilgi işleme prensipleri hakkında daha çok bilgi mevcuttur.

Teknolojik desteğin hayatımızda daha fazla yer alması, çalışanların işleri fiziksel olarak gerçekleştirmelerinden çok görevi yapan makinelerin kontrolleri ve denetimine dönüşmüştür. Bu sistemlerle çalışacak olan kişilerin eğitim, beceri ve yetenekleri farklı seviyede olmaktadır. Fiziksel işlerin analizi yapılırken kullanılan yöntemler makine etkileşimli iş yapan çalışanların performanslarını ölçmede yetersiz kalmaktadır. Bunun için zihinsel, psikolojik ve bilişsel özelliklerinde fiziksel özelliklerle birlikte ölçülmesi ve değerlendirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Yaşanan teknolojik ve ekonomik gelişmelerin sonucunda sivil havacılık sektörü günümüzde hızla büyümektedir. Zaman faktörünün önemli rol oynadığı günümüzde uygun koşullarda hızlı seyahat etmek artık herkesin ulaşabileceği bir hizmet haline gelmektedir. Bununla birlikte sivil havacılık otoriteleri ve havacılık sektöründe faaliyet gösteren firmaların en büyük kaygılarından biri güvenlidir. Bu yüzden görevini en iyi şekilde yerine getirebilecek nitelikli pilotlara ve uçuş personeline ihtiyaç duyulmaktadır. Görev icra edecek personelde eğitim, beceri ve yetenek seviyelerinde farklılaşma olmaktadır. Bu yüzden fiziksel güç ve özelliklerin yanısıra, uçuş personelinin zihinsel, bilişsel ve psikolojik özelliklerinin belirlenmesi, değerlendirilmesi ve bilinmesi gerekmektedir.

Otomasyonun gelişmesiyle beraber toplumda fiziksel ağırlıklı işler yerlerini zihinsel ağırlıklı işlere bırakmaya başlamışlardır. Görünüşte çalışanlar daha az iş yapmaktadırlar ancak fiziksel çabanın azalması her zaman genel işyükünün azalması anlamına gelmemektedir. Bu yüzden zihinsel işyükünü ölçücü güvenilir bir yöntem gerekmektedir. Hedeflenen bu yöntem; hassas, seçici, güvenilir ve uygulanabilir olmalıdır. Bu ölçüm yöntemi, görevlerin çalışanlar ve makineler arasında dağılımı, değişik görev ve ekipman tasarımlarının işyükü açısından karşılaştırılması, karmaşık cihazları kullanan çalışanların göreve uyumlarının sağlanması ve zihinsel yeteneği yüksek olan çalışanların özel görevlerde kullanılması sorunlarına çözüm bulmada kullanılabilir. Günümüzde geçmiş yöntemlerle çalışanların işyüklerinin ölçülmesi imkanı azalmıştır, bu yüzden farklı bilimsel yöntemlere olan ihtiyaç gittikçe artmaktadır. Bu ihtiyaç birçok sektörde olduğu gibi sivil havacılık sektörü için de büyük önem arz etmektedir.

Zihinsel iş yükünü belirlemek için günümüze kadar bir çok yöntem geliştirilmiştir. NASA bünyesinde geliştirilen NASA-TLX yöntemi zihinsel iş yükü ölçüm tekniği olarak genel olarak kabul görmüştür. Bu tez çalışmasının amacı; sivil havacılık sektöründe faaliyet

gösteren tek tip filoya sahip bir havayolu şirketinin, pilot alım aşamasında farklı deneyimlerdeki pilot adaylarının simülör eğitimlerinde hissettikleri zihinsel iş yükünün ölçülmesi ve karşılaştırılmasıdır. Katılımcıların iş yükü ölçümleri NASA-TLX yöntemi ile yapılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında temel olarak şu sorulara cevap aranmaktadır: Zihinsel iş yükü nedir? Zihinsel iş yükünün çalışanlar üzerindeki etkileri nelerdir? Zihinsel iş yükü nasıl ölçülür? Zihinsel iş yükü ölçümünde kullanılan yöntemler nelerdir? Farklı deneyimlere sahip pilot adaylarının simülör eğitimlerinde hissettikleri zihinsel iş yükünü nasıl ölçebilir ve değerlendirebiliriz?

Bu tez çalışmasında belirtilen konu Giriş, Zihinsel İşyükü, Zihinsel İşyükü Ölçüm Yönyemleri, Araştırmada Kullanılan Materyal ve Yöntem, Sonuç ve Öneriler olarak beş ana başlık altında incelenmiştir.

Birinci bölüm olan Giriş bölümünde tezin konusu belirtilmiş, bu konunun neden tez konusu olarak seçildiği açıklanmış ve çalışma kapsamında neler yapıldığı özetlenmiştir.

İkinci bölümde zihinsel çalışma ve zihinsel iş yükünün ne olduğu anlatılmış, kişi üzerindeki etkileri açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde zihinsel iş yükü ölçüm yöntemleri incelenmiştir. Zihinsel iş yükünü belirlemenin önemi ve nedenlerine değinilirken, literatürde yer alan yöntemlerin sınıflarına göre bilgi verilmiştir. Araştırmamızda kullanılan ve kabul gören sübjektif yöntemler daha detaylı olarak incelenmiştir. Zihinsel iş yükü ölçüm yöntemlerinin tanımlanmasından sonra, bu yöntemler ile yapılmış literatür çalışmalarına yer verilmiştir. Literatür çalışmaları seçilirken havacılık alanındaki uygulamaların verilmesine özen gösterilmiştir.

Dördüncü bölümde çalışmada kullanılacak olan NASA-TLX yöntemi detaylı şekilde anlatılmıştır. Veri toplama, değerlendirme ve kullanılan yöntem konusunda bilgi verilmiştir.

Beşinci bölümde ise kullanılan yöntem sonucunda değerlendirmeler yapıldıktan sonra çıkan sonuçlar paylaşılmıştır. Araştırma en başından anlatılarak bu bölümde sonuçlara doğru gidilmiştir. Araştırmaya katılan kitle hakkında bilgi verilmiş, kitlenin nasıl seçildiğine değinilmiştir. Kitlenin fark gösteren deneyimleri açıklanmış, deneyim türlerine göre hissedilen zihinsel iş yükleri arasındaki farklılara yer verilmiştir. Değerlendirmeye katılan aday pilotların simülör eğitiminde hissettikleri zihinsel iş yükleri açıklanmış, nedenleri

ortaya konulmuştur. Bu tez çalışması sonucunda konuyla ilgili ne tür çalışmalar yapılabileceği paylaşılmıştır.

1. ZİHİNSEL İŞYÜKÜ

1.1. Zihinsel Çalışma

Kişilerdeki kullanılabilir kaynakların miktarı ile işin gerektirdiği miktar arasındaki fark zihinsel iş yükü olarak tanımlanmıştır. Zihinsel iş yükü, görevin yapılması esnasındaki, işlem kapasitesinin seviyesi olarak tanımlanmaktadır (Eggemeier, 1988). Bu konudaki temel içerik bizleri, operatörün işlem kaynakları ve bu kaynakların göreve uygun olarak talep edilmesi kavramına götürmektedir (Sanders ve McCormik, 1993). Aslında, iş yükü, işi yapan operatör ve yaptığı işle etkileşimdir (Gopher ve Donchin, 1986). Başka bir ifade ile “iş yükü” insan bilgi işleme sistemiyle (performans beklentilerini karşılamak üzere) kullanabildiği gerçek performansına etki eden kapasite arasındaki farktır (Yeh ve Wickens, 1988).

Bir çok farklı çalışma iş yükünün ne olduğunu irdelemesine rağmen maalesef ortaya belirgin bir tanım çıkarılamamıştır. Onun yerine birbirinden oldukça uzak davranışsal, psikolojik ve sübjektif tanımlar ortaya atılmıştır. Bunlar arasındaki güvenilirlik ve uyumluluk katsayısı da oldukça düşük ve birbirleriyle ilişkisizdirler.

Günümüzde bilgisayar desteğinden her ortamda yararlanılıyor olması, İnsan-Makine(İ-M) Sistemi içerisinde insana ve makinaya düşen kısmi görevlerde farklılaşmaya neden olmakta ve çalışanlar açısından iş özelliklerini fiziksel boyuttan zihinsel boyuta ve görevi bizzat yapmaktan denetim ve kontrole doğru değiştirmektedir. Bu değişim nedeniyle günümüze kadar kullanılan ve daha çok da fiziksel ağırlıklı işlerin analizinde ve bu tür işlerde çalışan insanların performanslarını değerlendirmede kullanılan yöntemler ve teknikler yetersiz kalmaktadır. Denetim ve kontrole doğru yönlenen görev özelliklerinin ve bu özelliklere cevap verecek insanın fiziksel özelliklerinin yanında, algılama hızı ve doğruluğu, dikkat, hafıza, zeka gibi psikolojik ve bilişsel özelliklerinin de dikkate alınması ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Zihinsel ağırlıklı işler için kapsamlı analiz ve değerlendirme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Zihinsel ağırlıklı çalışmalarda, görünüşte çalışanlar daha az iş yapmaktadırlar, ancak fiziksel çabanın azalması her zaman genel iş yükünün azalması anlamına gelmemektedir. Zihinsel ağırlıklı çalışmalarda iş yükünü belirlemek, fiziksel ağırlıklı çalışmalara göre daha karmaşık ve zor olmaktadır. Çünkü iş yükü ölçümü için kabul görmüş bir metrik bulunmamaktadır. Bunun yanında zihinsel ağırlıklı çalışmaların performansını belirlemek, çalışanlara görev atamaları sırasında bir temel teşkil etmek ve İ-M Sisteminin çıktı kalitesi açısından zihinsel iş yükünün belirlenmesi ve dengelenmesi oldukça büyük bir önem taşımaktadır. Amaç zihinsel iş yükünü mümkün minimum seviyeye indirmek değil, optimize etmektir. Aşırı yüklenmeden kaçınmak öncelikli, çok az yüklenmeden kaçınmak da diğer önemli bir konudur. Gerçekten istenen şey; zihinsel iş yükündeki çok veya az olma durumlarından herhangi bir çeşidinden kaçınmak ve bozucu etkilerden uzak ve kişisel gelişmeye imkan sağlayan optimal zihinsel iş yükünü sağlamaktır.

Birçok teori iş yükünü sadece operatörün işleme kapasitesi olarak nitelemektedir. Bazı teoriler de duyuşsal ve fiziksel konuları dikkate almaktadır. Zihinsel yük kavramı çevresel talepler ve bunları karşılayacak kaynaklar arasındaki ilişkiyi nitelemektedir. Zihinsel yük teorilerinde kaynaklar özel bir görevi icra etmek için mevcut işleme kapasitesini, talepler ise görevi icra etmek için ihtiyaç duyulan işlemeyi nitelemektedir. Zihinsel yük teorileri, bilişsel ve enerjik işlemler arasındaki etkileşimi tanımlayan insan performansı araştırmalarından doğan modellere bağlıdır. Bilişsel işlemler, mantıksal operasyonları kullanarak algısal enformasyonu motor davranışlara dönüştürmektedir. Zihinsel yük, kişinin sahip olduğu mevcut kaynak miktarı ve görevin gerektirdiği kaynak miktarı arasındaki fark ile ilgili kir kavramdır. Bu zihinsel yüklenmenin hem kişideki mevcut kaynak miktarı hem de görevin kişi üzerindeki gereklerinin değiştirilmesi ile değişebileceği anlamını taşımaktadır.

Zihinsel yük büyüdükçe görevin daha da zorlaştığı varsayılmaktadır. Ayrıca operatörler arasında işleme gerektiğini ortaya çıkarmaktadır. Önemli olan ise operatörün bu görevi uzun süre icra edebilmesini sağlamaktır (günde sekiz saat ve yıllar boyu). Kapasitesi açısından farklılıklar ve bir operatörün kapasitesinde yorgunluk, uykusuzluk endişe ve psikosomatik rahatsızlıklar (örneğin baş ağrısı) nedeniyle dalgalanmalar olmaktadır. Bu ise bir çalışma çevresinin, istenen kapasitesinin operatörün kapasitesinin altında kalacak şekilde tasarlanmasıdır.

1.1.1. Zihinsel iş yükü uygulama alanları

Sander ve McCormik (1993)'e göre zihinsel iş yükünün ölçülebilmesi halinde, aşağıda verilen uygulama amaçlarına ulaşılabilir:

- Fonksiyon ve görevleri tahmin edilen iş yüküne göre operatörlere dağıtmak.
- Etkilenen alternatif ekipman ve görev tasarımlarını kıyaslayabilmek.
- Yüksek kapasiteli operatörleri, yine yüksek kapasite iş yükü olan işlere atamak.
- Operatörlerin karmaşık ve zor görevlere ya da çoklu görevlere tepkilerini ve bu tepkilerdeki artış ve azalışları gözlemlemek.

Brown (1961)'a göre zihinsel iş yükünü belirleme aşağıdaki belirtilen mekanizmaların tasarlanmasında yardımcı olur:

- Alet ve teçhizatın tasarımı,
- Hedeflenen iş oranı,
- Operatör tarafından gereksinim duyulan eğitim ihtiyacı,
- Operatör tarafından gereksinim duyulan beceriler.

Bu durumda zihinsel iş yükünü üç kategoride araştırmaya tâbi tutmak mümkündür; bunlar:

- Sistem ve görev tasarımı
- Operatör eğitimi
- Operatör seçimidir.

Mental ve enformasyonel olarak da adlandırılan zihinsel çalışmada ağırlıklı olarak duyuşal ve zihinsel aktiviteler söz konusu olmaktadır. Psikologlar zihinsel çalışmayı;

- Uyku ve ona yakın haller,
- Çaba hali,
- Dikkat hali (vigillance) olarak sınıflandırmışlardır.

Bunların yanı sıra bazı psikologlar tarafından fark etme, tanıma, karar verme ve icra etme gibi bazı alt işlevlerin bloklarının varlığına işaret edilmektedir.

Fizyologlar, psikologlar tarafından tanımlanan bu işlevsel bloklara kendi pencerelerinden bakarak insan vücudunda fizyolojik birimlere tekabül ettirmişlerdir. Bu birimler sensorik,

motorik, dolaşım sistemi, kalp, merkezi sinir sistemi vs. ya da bunların kombinasyonu olabilmektedir.

Aynı çalışmadaki farklı sınıflandırmaya göre zihinsel çalışma ise şöyledir;

- Dar anlamda zihinsel etkinlikler,
- Gözleme-Müdahale
- Kontrol (Muayene),
- Yönelme (Kumanda) olarak gruplanmaktadır.

Mühendislik yaklaşımı, “insanın zihinsel çalışmasının kantitatif olarak incelenebilmesi için gerek şart, çalışmanın ölçülebilmesinin teknik açıdan mümkün olmasıdır” teziyle hareket ederek, zihinsel çalışmaya ölçme tekniği bakış açısından yaklaşmaktadır. İnsana ait veri işleme mekanizması ile muhtemel çalışma türleri, aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Salt enformasyon girişi,
- Salt enformasyon çıkışı,
- Refleksler,
- Bilinçli tepki,
- Düşünme.

Farklı bir sınıflandırmaya göre zihinsel çalışma; enformasyonel, düşünme ve refleks olmak üzere üç grupta toplanmaktadır.

Zihinsel iş yükü için ortak bir tanıma ulaşılamamış olursa da kişideki kullanılabilir kaynakların miktarı ile işin gerektirdiği miktar arasındaki fark zihinsel iş yükü olarak tanımlanmıştır. Bu da zihinsel iş yükünün kişideki sınırlı kaynakları ya da görevin kişiden talep ettiği kaynak miktarını değiştirerek farklılaşabileceği anlamına gelir. Zihinsel yorgunluk arttıkça performans düzeyinin düşeceği açıktır. Zihinsel yorgunluk aynı zamanda bireyde tatminsizlik ve şikayetlere de yol açabilmektedir.

Yeni teknolojilerin kullanılmasında kültürel, içeriksel ve bireysel yorumların ön plana çıkması ile zihinsel çalışmaya ait ergonomik ilkelerin önemi daha da artmaktadır. Gelişen teknoloji ile ergonomi bilimi de bu alanda yapılan çalışmaların Fiziksel Ergonomi’den yavaş yavaş Organizasyon ve Yönetim Ergonomisi ile Bilişsel Ergonomi’ye doğru kaydığını

göstermektedir. Yapılan faaliyetlerdeki teknoloji ve otomasyonun artması aşağıdaki görev niteliklerinde değişime neden olmaktadır:

- Algılamamanın cinsi,
- İletilen bilgi,
- Bilginin doğruluk derecesi,
- Karar işleminin karmaşıklığı,
- Zaman baskısı,
- Bilgi ve beceri düzeyi (Özok, 1995)

Bu değişimler sonucunda enformasyon teorisi, enformasyon alma ve işleme konuları artık daha yoğun olarak gündeme gelmektedir.

2. ZİHİNSEL İŞ YÜKÜ ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Günümüze kadar yapılan çalışmalar ışığında zihinsel iş yükü ölçümü üç ana kategoride toplanabilir. Bunlar; fizyolojik, sübjektif ve görev ölçümleridir.

Fizyolojik iş yükü ölçümü, zihinsel iş yükü arttıkça bedenin verdiği tepkilerin artacağını savunur (Moray, 1979). Fizyolojik iş yükü ölçüm tekniklerinde vücudun verdiği tepkiler sürekli olarak ölçülür. Bu ölçümler kalp atış hızı, beyin dalgaları, solunum ve göz aktivitelerinin vb. takibiyle yapılır.

Sübjektif iş yükü ölçüm methodlarında zihinsel iş yükü, kişinin hissettiği iş yükünü derecelendirmesi ya da ölçeklendirmesiyle belirlenir. Sübjektif iş yükü ölçümünde zihinsel iş yükünün farklı seviyelerini belirlemek için kişiden soru-cevap şeklinde geri bildirimler alınır. Sübjektif iş yükü ölçümünde kullanılan iki ana ölçek tipi vardır, bunlar: tek ve çok boyutlu ölçeklerdir.

Görev ölçümü ise bireyin kapasitesinin birincil ve ikincil görev ölçümleri bazında zihinsel iş yükünün hesaplanmasına dayanır.

İş yükü ölçeği seçiminde dikkat edilmesi gereken bazı noktalar vardır. İş yükünün çeşitli ölçüm tekniklerini incelerken dikkat edilmesi gereken en önemli nokta hassasiyettir. Ölçüm tekniği iş yükü derecesinin değişkenliğini belirleyebilir olmalıdır. Doğruluk ve güvenilirlik ise diğer önemli etkenlerdir. Ölçüm tekniği neyi ölçeceğini vaat ediyorsa ve ölçüyorsa bu teknik doğrudur ve aynı iş yükü seviyeleri için aynı sonuçlar veriyorsa teknik güvenilirlerdir. Ölçüm tekniği seçiminde diğer önemli etkenler ise ölçüm tekniğinin maliyeti, veri toplama sıklığı, veri toplama süresi, ölçüme katılacak kişilerin müsaitliği ve gönüllülüğü, veri toplama kolaylığı, veri işleme ve analizi olarak sıralanabilir (Crabtree, 1984; Derrick, 1988; Kantowitz 1992; Muckler ve Seven, 1992; Roricki, 1995; Tatersall ve Ford, 1996, Hill ve diğ., 1992).

Yukarıda kısaca bahsedilen üç zihinsel iş yükü ölçüm tekniğinin çeşitli avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu yüzden yapılacak çalışma için tüm ölçüm yöntemleri araştırılmalı, yöntemlerin uygulandığı alanlar göz önüne alınmalı ve araştırmaya en uygun ölçüm tekniğine karar verilmelidir. Bu üç ölçüm tekniğinin detaylı analizleri ve seçilen literatür çalışmaları aşağıda verilecektir.

2.1. Fizyolojik Ölçüm Teknikleri

Fizyolojik ölçüm teknikleri bireyin zihinsel iş yükünü bulmak için bireyin bedeninin verdiği fiziksel tepkileri objektif olarak ölçümlene yöntemini kullanır. Objektif bir yöntem olduğu için en güvenilir yöntem olduğu düşünülebilir fakat vücut her zaman zihinsel iş yükü altında fiziksel tepkiler vermeyebilir ya da artan zihinsel iş yüküne paralel fiziksel iş yükü artışı da varsa zihinsel iş yüklenmesi doğru oranda tanımlanamayabilir. Fizyolojik iş yükü ölçüm tekniklerinin her biri fiziksel ve zihinsel iş yüküyle olan ilişkileri açısından tek tek incelenmelidir.

Fizyolojik ölçüm teknikleri kullanılan araştırmaların çoğunda sıralanan beş fizyolojik alanda ölçümler yapılmıştır: kardiyolojik aktiviteler, solunum aktiviteleri, göz aktiviteleri, beyin aktiviteleri ve konuşma ölçümleri.

2.1.1. Kardiyolojik aktivitelerin ölçümü

Fizyolojik ölçüm tekniklerinde kardiyolojik aktivitelerin ölçümü, kalp atış hızı, kalp atış değişkenliği ve kan basıncı ölçümleri olarak yapılır. Ölçüm kolaylığı ve zihinsel iş yüküyle olan ilişkisinin nispeten güvenilirlik arz etmesi nedeniyle fizyolojik ölçüm teknikleri içerisinde en çok kullanılan ölçümlerdir.

2.1.1.1. Kalp atış hızı

Kalp atış hızı kardiyolojik aktivitelerin ölçümü içerisinde en çok kullanılan ve en güvenilir ölçüm olarak kabul edilir. Kalp atış hızı kalp atış sinyallerinin ölçümünden elde edildiği için kesin bir ölçüm yöntemidir. Genel olarak iş yükü arttığında kalp atış hızı artmaktadır (Costa, 1993; Hankins ve Wilson, 1998; Jorna, 1993; Roscoe, 1993; Veltman ve Gaillard, 1996; Wilson ve diğ., 1994). Bu genelleme çokça kabul görsede her zaman kabul edilebilir değildir, bazı çalışmalar bu genellemeyle çelişen sonuçlar ortaya çıkartmıştır. Örneğin, belirsizlik ve anksiyete durumu kalp atış hızını arttırabilir (Jorna, 1993). G-kuvveti kalp atış hızını etkileyebilir (Roscoe, 1993; Wilson, 1992). Kalp atış hızı pilotların iş yükü ölçümünde

yegane bir ölçüm değildir, fakat sübjektif ölçümlerin güvenilirliğini arttırmak için yan bir ölçüm tekniği olarak kullanılması tavsiye edilmektedir (Roscoe, 1992). Kalp atış hızı ölçümleme tekniği kullandığı durumlarda fiziksel aktivitelerin miktarının belirlenmesi doğru sonuç çıkarımları için önemlidir.

2.1.1.2. Kalp atış değişkenliği

Kalp atış hızı değişkenliği, kalp atışlarının arasındaki aralıkların zaman içerisinde ölçümüne dayanır. Bu ölçüm tekniği kalp atış hızı kadar sıklıkla kullanılmazsa da, literatürde bu ölçümü kullanan çalışmalara rastlanmaktadır. Bazı çalışmalarda kalp atış değişkenliği ölçümü için üç değişik frekans bandı mevcuttur. (Jorna, 1993; Veltman, 1998) diğer çalışmalara göre 26'dan fazla değişik ölçek mevcuttur. (Wilson, 1992) Değişkenliğin hesaplanması için kabul edilmiş genel bir method yoktur, ancak genellikle ve en elverişli olarak kullanılan yöntem belli bir zaman aralığında ya da belli sayıda kalp atışında, kalp atışlarının arasında görülen aralıkların standard sapmasının ya da dağılımının hesaplanmasıdır. (Roscoe, 1992) Kalp atış değişkenliği ölçümü zihinsel yüklenme sonucunda değişebildiği gibi, fiziksel aktiviteler, solunum, yaş, vücut pozisyonu vb. gibi diğer faktörlerden de etkilendiğinden zihinsel iş yükü için doğru ölçüm sonucunu bulmak zordur.

2.1.1.3. Kan basıncı

Kan basıncı genellikle iş yükü ölçümlerinde ikincil bir ölçüm olarak kullanılmaktadır. Kalp atışı ve kalp atış hızı kadar sıklıkla ölçümlerde kullanılmamaktadır. Kan basıncı artan iş yükü altında artış gösterse de iş yükünün artışı konusunda kalp atışı kadar ayrıntılı bilgi vermemektedir (Veltman ve Gaillard, 1996).

2.1.2. Solunum aktivitelerinin ölçümü

Solunum en genel tanımıyla oksijen ile karbondioksitin vücut dokuları ve atmosfer arasındaki karşılıklı değişimidir. Solunum aktivitelerinin zihinsel iş yükü ölçümünde kullanımının çeşitli yolları vardır. Bunlarda bazıları sadece laboratuvar ortamında ölçümlenebilmektedir. Sıklıkla kullanılan ölçüm yöntemi solunum hızıdır. Diğer yöntemler ise ciğerlere giren ve çıkan havanın hacminin ölçümü ve nefes vermede havaya salınan karbondioksit miktarının ölçümüdür.

2.1.2.1. Solunum hızı

Solunum hızı belli bir zaman aralığında nefes alış-veriş sayısının ölçümüyle elde edilir. Solunum aktiviteleri ölçüm methodlarından en çok kullanılan methoddur. Bu ölçüm tekniği oldukça basittir, fakat iş yükü ölçümlerinde dikkat çeken bir yere sahip değildir. Genel kabul iş yükü arttığında solunum hızında arttığı yönündedir. Solunum hızı duygusal değişimlerin, stresin, uyarılmanın ve iş yükünün yaygın olarak bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Roscoe, 1992). Solunum hızı kalp atış değişkenliği gibi diğer iş yükü ölçümlerini etkilediği için, bu teknikler kullanılırken mutlaka ölçülmesi gerekir (Jorna, 1992). Solunum hızını konuşma ve fiziksel aktivite arttırabileceği için bu tür aktiviteler içeren işlerde solunum hızı ölçümü doğru sonuçlar vermeyebilir.

2.1.2.2. Nefes verişinde karbondioksit konsantrasyonu ve solunumdaki havanın hacmi

Ölçümü solunum hızı kadar kolay olmadığı için nefes verişinde karbondioksit konsantrasyonu ve solunumda kullanılan havanın hacminin ölçümü tekniği solunum hızı ölçme tekniği kadar sıklıkla kullanılmamaktadır. Hava akışını ölçmek için pnömotakograflar kullanılmaktadır. Doğrudan olmayan ölçüm tekniklerinde gerilim ölçer ve diğer ekipmanlarla hava akışındaki sıcaklık değişimleri ölçülebilir. Fakat bu teknikler daha az doğruluk sağlarlar (De Waard, 1996). Araştırmaların çoğunda iş yükü arttıkça hacmin düştüğü gözlemlenmiştir (Wilson, 1992). Fakat bu genelleme ile çelişen sonuçlar bulunmuş olup, iş yükünün solunumdaki havanın hacmini etkilemediği gözlemlenmiştir (Brookings ve diğ., 1996).

2.1.3. Göz aktiviteleri ölçümü

Zihinsel iş yükünün tespit edilmesi için gözde meydana gelen fiziksel değişikliklerin ölçümü kullanılan fizyolojik ölçüm tekniklerden biridir. Göz aktivitelerinin ölçümü tekniği yatay göz hareketleri, göz kırpma sayısı ve kırpma anında gözün kapalı kalma süresi ve diğer bazı ölçüm tekniklerini içerir. Bu ölçüm teknikleri genelde görsel iş yükü ile bağlantılıdır fakat bazı çalışmalar gözde gerçekleşen fiziksel değişimlerin zihinsel iş yükünü tanımlamada oldukça başarılı olduğunu orataya koymuştur (Van Orden, 1999).

2.1.3.1. Göz kırpma sayısı ve kırpma anında gözün kapalı kalma süresi (kırpma süresi)

Göz kırpma sayısı belli bir zaman aralığında gözün kapanma sayısı olarak ölçülür. Kırpma süresi ise, göz kırpışında gözün kapalı olduğu süreyi belirtir. Kırpma sayısı görsel iş yükü arttığında artar (De Waard, 1996). Bu konudaki çoğu çalışma uçuş ve sürüş görevlerinde yapıldığından sonuçları görsel iş yükü ve zihinsel iş yükü olarak ayrıştırmak zordur. Görsel iş yükü ayrıştırılmış çalışmalarda kırpma sayısı ve kırpma süresi ölçümlerinin zihinsel iş yükü ölçümü konusunda sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir (Van Orden, 1999). Başka bir çalışmada Stern ve Skelly (1984) ise görsel ve işitsel enformasyon işlemenin göz kırpma üzerine etkisini araştırmış ve görsel ve işitsel bilgi akışı sırasında göz kırpma hareketinin olmadığını gözlemlenmiştir. Bu bilgi akışı sonucunda karar verme işlemi tamalandığında genellikle göz kırpma eylemi gözlemlenmiştir (Stern ve Skelly, 1984).

2.1.4. Konuşma ölçümleri

Konuşmada bulunan çeşitli fizyolojik değişkenlerin ölçümü literatürde çeşitli çalışmalarda zihinsel iş yükünün ölçülmesi için kullanılmıştır. Konuşma ölçümlerinde ses perdesi, konuşma hızı, ses yüksekliği, titreme üzerinde ölçümler yapılır (Brenner ve diğ., 1994). Bu konuda yapılan çalışmaların azlığı sebebiyle zihinsel iş yükü ile olan ilişkisi tam olarak desteklenmemiştir.

2.1.5. Beyin aktivitelerinin ölçümü

Fizyolojik ölçüm teknikleri çerçevesinde bahsedilen kardiyolojik aktiviteler, solunum, göz ve konuşma aktivitelerinin tümü zihinsel iş yükü altında beyin tarafından gönderilen sinyaller tarafından kontrol edilmektedir. Beyin bilginin işlenmesi, karar verilmesi ve aksiyon almada sorumludur. Bu yüzden en kesin zihinsel iş yükü ölçümünün doğrudan beyin aktivitelerinin ölçümüyle yapılacağı genel bir kabuldür (Brookings ve diğ., 1996). Beyin aktivitelerinin ölçümünün bir avantajı kesintisiz mevcut olması ve görevi engellememesidir. Fakat görevi engellemese bile kullanılan özel ekipmanlar bazen dikkat dağıtıcı olabilmektedir. En geniş kullanıma sahip ölçüm yöntemi elektroensefalografi (EEG)'dir. EEG'nin yanısıra elektrookülografi (EOG)'de beyin aktivitelerinin ölçümü için kullanılan yöntemler arasındadır.

2.1.5.1. Elektroensefalografi (EEG)

Zihinsel iş yükü ölçümü için kullanılan fizyolojik ölçümlerden beyin aktivitelerinin ölçümü için sıklıkla kullanılan yöntem elektroensefalografi'dir. EEG kafatası yüzeyinden geniş bir nöron grubunun spontan elektriksel aktivitesindeki dalgalanmaların kayıt edilmesidir. EEG dalgaları Delta dalgaları (0-4 Hertz), Teta dalgaları (4-8 Hertz), Alfa dalgaları (8-13 Hertz), Beta dalgaları (13+ Hertz), Ultra Beta dalgaları (31-42 Hertz) olmak üzere beş gruba ayrılırlar.

Zihinsel iş yükünün artmasıyla, Alpha dalgalarının kaybolduğu ve Teta dalgalarının arttığı, Beta dalgalarının Alpha dalgalarının yerini aldığı gözlemlenmiştir (Sabbatini, 1997, Hankins ve Wilson, 1998). EEG gözlemleri yapılırken fiziksel aktiviteler analiz sonuçlarına etkide bulunabilir. EEG ölçümleri değişkenlerin iş yüküne olan göreceli katkılarının ortaya konmasını sağlasada maliyeti ve uygulamada kullanışsızlığı olan bir yöntemdir.

2.1.6. Diğer yöntemler

Yukarıda bahsedilen ölçüm yöntemlerinin yanısıra kullanılan ve yeni araştırılmaya başlanılan bir çok fizyolojik ölçüm yöntemi mevcuttur. Elektrokardiyogram (EKG) kardiyolojik ölçümlerinde kalp atış değişkenliğini ölçümlemede kullanılan bir tekniktir, göz bebeklerinde oluşan fiziksel değişimlerin zihinsel iş yüküyle ilişkili olduğunu savunan araştırmalar mevcuttur. Elektrodermalaktivite (EDA) deride oluşan elektriksel değişimleri ölçer, hormonal düzey değişimleri uzun zamana yayılan iş yükü araştırmalarında kullanılmaktadır (De Waard, 1996).

2.1.7. Fizyolojik Ölçüm Tekniklerinin Avantaj ve Dezavantajları

2.1.7.1. Avantajları

- Genel olarak bakıldığında fizyolojik ölçümlerin avantajı iş yükü ölçümünde süreklilik sağlamasıdır.
- Farklı fizyolojik ölçüm teknikleri iş yükünün farklı açılardan ölçümlemesini sağlar. İş yükünün objektif olarak ölçümlemesini sağlar.
- Objektif methodlarda beklenen iş yükü sonuçlarının gerçekleşen iş yükü sonuçları ile karşılaştırılması sağlanır.
- Devamlı görevlerin iş yüküne olan etkisinin uzun vadede değerlendirilmesini sağlar.

- Bazı ölçüm teknikleri (EKG gibi) eş zamanlı olarak iş yükünün farklı yönlerini ortaya çıkartabilecek ölçüm yapmayı sağlar. Örneğin kalp atış hızı ve değişkenliğinin eş zamanlı ölçülmesi.
- Eş zamanlı olarak birden çok farklı fizyolojik ölçüm methodu üzerinde çalışılabilir.
- Denek bilinçli olarak sonucu etkileyemez.
- Ölçümler genellikle temel görevin icra edilmesine engel olmaz.
- Çalışan kişinin ek bir çaba harcaması gerekmemektedir.

2.1.7.2. Dezavantajları

- Fizyolojik ölçüm yöntemleri fiziksel ve duygusal değişimlerden etkilenebilirler.
- Dış etkenlerin ölçüme etki etmesi nedeniyle sonuçlarda hatalar oluşabilir.
- Bazı fizyolojik ölçüm methodlarının uygulanması için önemli gereksinimler mevcuttur .
- Literatürde yapılan uygulamalarda bazı çelişkili sonuçlar mevcuttur.
- Ölçüm methodları ilave ekipmanlar gerektirdiğinden, görev sırasında deneğin hareketlerini kısıtlayabilirler.
- Bireysel kapasite farklılıkları konusunda tartışmalar devam etmektedir, ölçüm sonucunda çıkan sonuçlar belirli bir düzeydeki stresin göstergesi olmayabilirler.

2.2. Görev Ölçümü

Performans belirli bir işin tamamlanmasında gösterilen verimlilik olarak tanımlanır. Performans yardımıyla zihinsel iş yükü hesaplanırken kullanılan iki yol vardır, bunlar birincil ve ikincil görev ölçümleridir. Bu ölçümlerinin kullanılmasının temel çıkış noktası insanların kısıtlı kaynaklara sahip olmasıdır. Zihinsel iş yükündeki bir artış birincil ya da ikincil görevdeki performansta düşüşe sebep olacaktır.

2.2.1. Birincil görev ölçümü

Birincil görev ölçümü, temel görevi gerçekleştirmek için gereken iş yükünü ölçer. İş yükü basit olarak görevi gerçekleştirmek için gereken zamanın, görevi gerçekleştirmek için mevcut olan zamana oranı olarak hesaplanmaktadır. Bir görev boyunca bu ölçümler yapılmaya devam edilir. Birincil iş ölçümü iş ve görevin geniş bir dalgalanması olduğundan duyarlıdır (Sirevaag ve diğ., 1993). Fakat bazı durumlarda performansta görülen değişiklik iş yükü hakkında fikir vermeyebilir. İki görev eşit olarak icra edilsede iki operatörün zihinsel kapasiteleri eşit olamayabilir, bir operatör tüm kapasitesini zorlarken diğeri normal yükleme

ile aynı performansı sergileyebilir. Ancak operatörlerde değişen durumlara uyum sağlayacağından değişen iş yükünede uyum sağlayabilirler, bu durumda iş yükünün gerçek değeri doğru şekilde anlaşılabilir.

Birincil görev ölçümü konusunda geliştirilen ilk model İstatistiksel İşyükü Tayin Modeli'dir (Statistical Workload Assessment Model-SWAM). Diğer bir araç ise İşyükü İndeksi (Workload Index-W/INDEX)'tir. Bu yöntem Wickens'in Çoklu Kaynak Modeli'ne göre zaman paylaşımli görevler arasındaki rekabetin derecesini belirleyen bir çatışma matrisini kullanır.

Birincil görev ölçümü diğer iş yükü ölçümlerini destekleme amaçlı ek bir yöntem olarak kullanılabilir (Hicks ve diğ., 1979). Birincil görev ölçümlerinde zihinsel yüklemde, ölçümlerin ölçülen göreve özel olmaları ve farklı görevlerin yüklerinin karşılaştırılmasının zor olması temelde karşılaşılan problemdir.

2.2.2. İkincil görev ölçümleri

İkincil görev ölçümü, birincil görev ölçümü tekniğine ek olarak ele alınır. İkincil görev ölçümlerinin kullanımındaki temel mantık, temel görevin yapılmasına yönlendirilmiş ayrı bir kapasitenin ikincil bir görev tarafından kullanılabilmesi'dir. İkincil görev ölçüm methodu, operatörün temel görevine ikinci bir görevin ilave olması durumunu incelemektedir. Bu yöntemin birincil görev ölçümüne ek olarak kullanılmasındaki en önemli etken kullanılmayan kapasite kontrolünü sağlayabilmektir. Ölçümlerde genellikle birincil işteki performansın sürdürülmesi istenmekte, böylece ikincil görev için daha az kaynağın mevcut kalarak ikincil görevde daha düşük bir performansın gerçekleşmesi anlamına gelmektedir.

İkincil görev olarak genellikle ritmik vuruşlar, reaksiyon zamanı, izleme, hafıza arama, zaman tahmini, rastsal sayıların üretimi, aritmetik işlemler verilir. Zaman tahmini, algısal, arabulucu, iletişim ve motor görevleri arasında Casali ve Wiewille'e (1984) göre en duyarlı ölçümdür. Sanders ve McCormick'e (1993) göre zaman tahmini dikkat gerektiren bir görev olmasından dolayı ikincil görev olarak kullanılmalıdır.

Aynı ikincil görev ölçümü birbirinden farklı birden çok birincil göreve ek olarak uygulanabilir. Fakat bu sonuçlar karşılaştırılmaz. Çünkü farklı birincil görevlerle aynı ikincil görevin etkileşimi aynı değildir.

2.2.3. Görev ölçümü tekniklerinin avantaj ve dezavantajları

2.2.3.1. Avantajları

- Sübjektif faktörlerin minimum etkisinde objektif ölçümler sağlar.
- Farklı ikincil görevler kullanıldığında iş yükü tanımlamasında güzel sonuçlar ortaya çıkartır.
- İzleme, takip gibi bazı ikincil görevler kullanıldığında sürekli ölçümleme olanağı sağlar.

2.2.3.2. Dejavantajları

- İkincil görev ölçümüyle ilgili yapılan çalışmalarda farklı sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. İkincil görev performanslarının iş yükü karşısında bazen arttığı, bazen değişmediği ve bazen azaldığı tespit edilmiştir (Lysaght, 1989).
- İkincil görev birincil görevin performansında düşüşe sebebiyet verebilir.
- İkincil görevler bazen belirli miktar eğitim gerektirebilir.
- İkincil görevler operatörler tarafından yapılmak istenmeyebilir.
- Birincil ve ikincil görevler arasında dikkat dağılımı istikrarsız ve yanlış sonuçlar ortaya çıkartabilir.
- Eğer önceden bilinen bir ikincil görev kullanılmayacaksa, uygulama maliyeti yüksek olabilir.
- İkincil görevlerin seçimi konusunda tartışmalar devam etmektedir. Bazı araştırmacılar ikincil görevin birincil görev ile etkileşime girmesini diğer araştırmacılar ile girmemesini savunmaktadır.
- Sonuçlar deneğin iki işi aynı anda yapabilme kapasitesine bağlıdır.

2.3. Sübjektif Ölçüm Yöntemleri

Sübjektif ölçüm teknikleri kişinin hissettiği iş yükünü ölçmek için çeşitli derecelendirmeler ve ölçekler kullanır. Standart sorulardan oluşan anketlerin çalışanlar tarafından doldurulmasıyla iş yükü ölçümü gerçekleştirilir. Fizyolojik ölçüm teknikleri daha hassas olsa da sübjektif ölçüm yöntemleri uygulamada daha pratiktir. Sübjektif ölçüm yöntemleri kişilere ve sahip oldukları farklı kapasitelere göre daha esnektir. Çünkü sübjektif ölçüm yöntemleri kişilerin yeteneklerindeki, durumlarındaki ve tavırlarındaki farklılıkları dikkate alır, bu farklılıklar objektif ölçüm yöntemlerinde analiz edilmedikçe belirsizdir (Muckler ve

Seven, 1992). Zihinsel yüklenmenin ortaya çıkartılmasında sübjektif ölçüm teknikleri önemli sonuçlar vermektedir.

Zihinsel iş yükü ölçüm yöntemine karar verirken en önemli kriterden biri uygulama kolaylığı ve performansa etkisidir. Sübjektif ölçüm teknikleri zihinsel iş yükünün ölçümü için en kolay teknikler olarak kabul edilir. Hill ve diğerlerine göre (1992) sübjektif ölçüm teknikleri iş yükünün doğru bir göstergesidir, bu alanda yapılan çalışmaların artışı operatör geri bildirimlerinden alınan iş yükü sonuçlarının fizyolojik ölçümlere göre daha doğrudan sonuç verdiğini ortaya çıkartmıştır. Sübjektif ölçüm teknikleri iş yükü ölçüm teknikleri içerisinde en esnek, en az zaman gerektiren, işin yapılışını en az etkileyen ve en ucuz olan tekniklerdir.

Sübjektif iş yükü ölçüm tekniklerinin eksi bir yanı ise devamlı olarak ölçümleme sağlayamamasıdır (Yeh ve Wickens, 1988). Ölçümler işin yapıldığı sırada alınabilir ama bu yöntem zorunlu değildir. Eğer ölçümler doğru zamanlarda alınırsa işin yapılışını etkilemeyecektir, fakat yanlış zamanda ölçümleme yapılırsa işin performansını olumsuz yönde etkileyebilir. Bireylerin ölçümlemeleri tamamlamaları için gereken zaman göz önüne alınmalıdır. Fakat kişilerin iş sırasında hissettikleri iş yükü seviyesini unutmamaları için ölçümler işin üzerinden çok zaman geçtikten sonra yapılmamalıdır.

Sübjektif bir ölçüm yöntemi kullanılırken göz önünde bulundurulması gereken konulardan biri ise ölçümün yapılacağı ortamın şartları ve değerlendirme ölçeği olmalıdır. Ölçekler ve yöntem gerekirse kişilere örneklerle açıklanmalıdır.

İşe olan aşinalıkta ölçümleri etkileyebilir. Bir kişi işi yapmaya alıştıysa hissettiği iş yükünde düşüş yaşanabilir. Bu durum çok tekrarlı deneylerde ya da işe çok aşına olan bir kişinin deneyere katılımında yaşanabilir. Bazı durumlarda ise kişiler zihinsel iş yükü ile fiziksel iş yükünü ayırt etmekte zorlanabilirler (Hicks, 1979).

Sübjektif ölçüm yöntemleri temel olarak iki kategoriye ayrılabilir: tek boyutlu skalalar kullanılan ölçüm yöntemleri ve çok boyutlu skalalar kullanılan ölçüm yöntemleri. Bu yöntemler kullanım kolaylığı ve kullananlar arasında kabul görmesiyle iş yükünün belirlenmesi için sıklıkla kullanılmaktadır.

Tek boyutlu skalalar zihinsel iş yükü ölçümünde en basit yöntem olarak görülmektedir, çünkü kompleks analiz teknikleri kullanılmamaktadır. Tek boyutlu skala sadece tek bir boyutu inceler. Çok boyutlu skalalarda ise üç ile altı arasında değişen boyut söz konusudur.

Tek boyutlu skalaların iş yükünün kompleksliği karşısında doğru bir ölçüm sağlayamayacağı düşünülsede daha sonraları tek boyutlu skalaların iş yükünü ölçmede oldukça başarılı olduğu görülmüştür (Vidulich, 1987). Çok boyutlu skalalarda ise birden fazla boyut bulunur. Deneklerin anketleri doldururken bu boyutları karıştırma ve doğru dolduramama olasılığı bulunur.

Çok boyutlu skalaların yardımıyla zihinsel iş yükü ölçümünde Sheridan ve Simpson (1979) zaman yükü, zihinsel çaba yükü ve psikolojik yük olmak üzere sıralanan üç boyutu kullanmışlardır. Daha sonra Reid ve diğerleri (1981) bu üç boyuttan Subjektif İşyükü Belirleme Tekniği'ni (Subjective Workload Assesment Technique-SWAT) ortaya çıkartmışlardır. SWAT tekniğinde bu üç boyut her biri üç puanlık skalalar olmak üzere değerlendirilmekte ve sonrasında bu değerlendirmeler iş yükü ile ilgili tek bir işyükü indeksine dönüştürülmektedir.

Çok boyutlu skalaların kullanıldığı diğer bir iş yükü ölçüm tekniği ise Hart ve Staveland (1988) tarafından geliştirilen NASA Görev Yükü İndeksi'dir (NASA Task Load Index). Bu yöntem ise altı adet boyut üzerinde yapılan değerlendirmelerin ağırlıklı ortalamasının hesaplanması sonucu ortaya çıkan işyükü değerini vermektedir. NASA-TLX yönteminin kullandığı boyutlar: zihinsel talep, fiziksel talep, zaman talebi, kişinin performansı, kişinin çabası ve kişinin stres düzeyidir. Bu yöntem çok geniş görev kitlelerine uygulamaya elverişli bir yöntemdir. NASA-TLX yönemi geniş bir geçerliliğe sahip bir yöntemdir. Altı boyutta ölçüm yeteğine sahiptir. İş yükünün düşük olduğu durumlarda bile diğer oranlı ölçek yöntemlerine göre daha hassas ölçümler sağlamaktadır.

NASA-TLX gibi SWAT yöntemide geniş bir kullanım alanına sahiptir fakat düşük iş yükü seviyelerinde NASA-TLX kadar hassas ölçümler sağlayamadığı tespit edilmiştir. Geçerliliğinin NASA-TLX'e oranla daha az olduğu kabul edilmiştir. Üç boyuta sahip olması uygulamada karışıklık ihtimalini azaltırken ölçüm detayınıda düşürmektedir.

Sübjektif ölçüm teknikleri içerisinde en eski yöntem olan, Geliştirilmiş Cooper-Harper Ölçütü (Modified Cooper Harper-MCH) tek boyutlu skalalardandır. Bu yöntem gelişmiş otomasyona sahip sistemlerde operatörlerin sisteme az dahil olduğu durumlar için geliştirilmiştir. Hassasiyetinin SWAT ve NASA-TLX tekniklerine göre daha az olduğu belirlenmiştir. Tek boyutlu olduğundan genel iş yükü hakkında bilgi vermesine rağmen daha detaylı bilgi elde etmek için kullanışlı değildir.

Bir karar ağacı ile 10 noktalı tek boyutlu bir skalayı birleştirerek Wierwille ve Casali (1983) Cooper Harper skalasını algısal, bilişsel ve haberleşme görevlerinde kullanılabilir şekilde modifiye etmişlerdir. 1 ile 10 arasında değerlendirilen bu skalada 1 görevin çok kolay olduğunu ve kişiden beklenen performansın yüksek olduğunu vurgularken, skala 10'a yaklaştıkça görevin imkansızlaştığını ve kişinin belirtilen görevi güvenli olarak başaramayacağını vurgular.

Elle kontrol edilen makinelerin geliştirilmesi için oluşturulan Ardışık Karar Ölçütü (Zwei Ebenen Intensitäts-Skala) geniş bir kullanım alanına sahip olmasına rağmen genellikle fiziksel yüklemelerin zihinsel yüklemelerden daha çok olduğu durumlarda kullanılmaktadır. 0 ile 14 arasında değerlendirilen bu skalada kullanıcılardan sırayla iki değerlendirme yapılması istenir. Karşılaştırmalı sonuçlara göre ZEIS'in doğruluk oranı oldukça yüksektir fakat bu doğruluk oranı genellikle fiziksel yüklemelerin çok olduğu görevlerde geçerlidir. Tek boyutlu bir ölçüm yöntemi olduğundan ZEIS görev ölçümünde birincil işi etkilemeyecek şekilde uygulanabilir.

Cooper Harper skalasının bir başka modifiye edilmiş şekli olan Bedford İşyükü Skalası tek boyutlu bir skala olup, kişilerin işi bitirmenin mümkün olup olmadığını, iş yükünün tolere edilebilir olup olmadığını, iş yükünün azaltılmadan yeterli olup olmadığını değerlendirdikleri bir skaladır. MCH kadar kullanışlı olan bu skala havacılık sistemleri için geliştirilmiş olup, sürücüler üzerinde de uygulanabilmektedir.

2.3.1. Geliştirilmiş Cooper-Harper (MCH) ölçütü

Cooper Harper ölçütü Cooper ve Harper (1969) tarafından özellikle havacılık alanında ve diğer motor görevlerinde iş yükünün ölçülmesinde başarılı bir şekilde kullanılmıştır. İnsan hayatına daha gelişmiş kompleks otomasyon sistemlerinin girmesiyle operatörler sistemlerin aktif kontrolünden çok monitör etme, algılama, iletişim, değerlendirme ve problem çözme aktiviteleriyle karşılaşmaya başlamışlardır. Cooper-Harper ölçütü bu aktivitelerin iş yüküne getirdiği katkıyı ölçemediğinden Wierwille ve Casali (1983) modern sistemlerde kullanabilmek için Cooper-Harper ölçütünü geliştirerek Geliştirilmiş Cooper-Harper ölçütünü ortaya çıkartmıştır. MCH tarafından kullanılan karar ağacı (Şekil 2.1.) Cooper-Harper ölçütünde kullanılan karar ağacının içeriğinin değiştirilmiş halidir. MCH ölçütü iş yükü hakkında genel olarak güvenilir bir ölçüm sunmaktadır.

2.3.1.1. Değerlendirmede göz önünde bulunması gereken faktörler

MCH'nin etkin uygulanması için Wierwille ve Casali (1983) bazı önerilerde bulunmuşlardır:

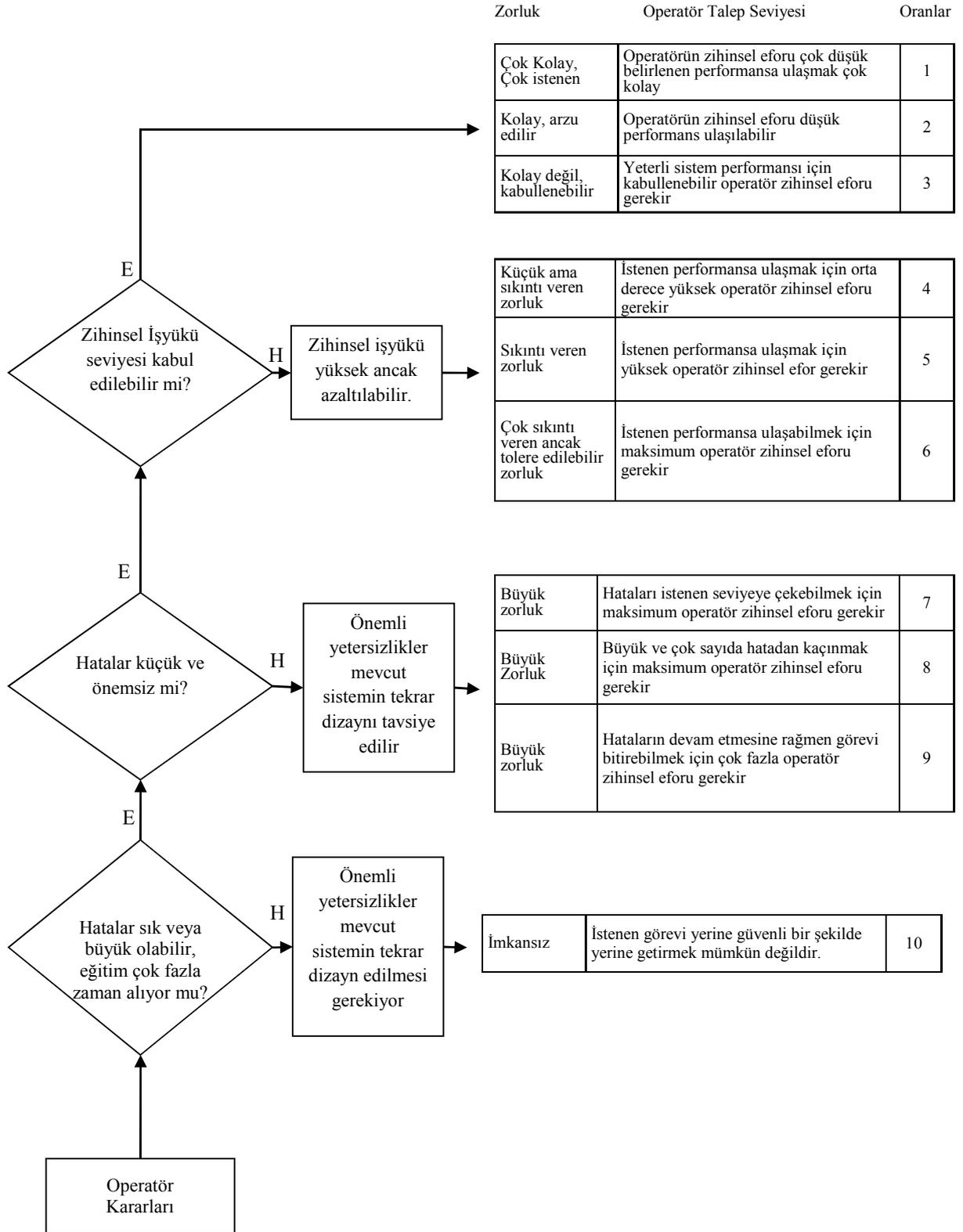
- MCH ölçeği toplam işyükü ölçümlerinde kullanılmalıdır.
- MCH ölçeği simüle edilmiş uçuş ortamlarında algısal, bilişsel ve iletişim görevlerini içeren çalışmalarda onaylanmıştır. Fakat gelişmiş otomasyon sistemleri kullanıcılarının iş yükleri üzerinde yapılacak çalışmalarda da kullanılabilir.
- MCH kullanılırken iyi bir deney tasarımı gereklidir. Sunum sırası iyi dengelenmeli ve ortaya çıkabilecek karışıklıklar kontrol altına alınmalıdır.
- Ölçek, ölçüm yapılacak iş biter bitmez verilmelidir.
- Katılımcılara yeterli düzeyde bilgi verilmeli ve talimatlar dikkatlice açıklanmalıdır.
- Ölçek, kullanıcılara doğru boyutlarda basılmış şekilde verilmelidir. Wierwille ve Casali ölçeğin 26.5 cm yatay boyutlu olmasını önermektedir.
- Lysaght ve diğerlerine (1989) göre MCH ölçümlerini sıralama ölçeği seviyesinde yaptığı için parametrik olmayan istatistiksel testler kullanılmalıdır.

2.3.1.2. Ölçümün avantajları

- Karar ağacı sıralı karar vermeye yardımcı olduğu için ölçümlemede kullanım kolaylığı sağlar.
- Ölçümleme kısa sürede tamamlanabildiği için görev yapılırken ölçümleme yapılabilme olanağı sağlar.

2.3.1.3. Ölçümün dezavantajları

- MCH ölçümleri performans ve efor ile ilgili değerlendirmeye dayanır, fakat gerçekte bu iki boyut arasında çok daha kompleks bir ilişki mevcuttur.
- MCH ölçütü düşük iş yükü seviyesinin iyi olduğu düşüncesine dayanır. Fakat düşük iş yükü durumları genellikle monotonluk ve dikkat durumlarında ortaya çıkmaktadır.
- Ölçeğin iş yükü tanım yeteği çok boyutlu ölçeklere göre daha düşüktür.
- MCH ölçümleri sıralama ölçeği seviyesinde yapmaktadır.
- Ölçek kategori puanlaması olarak sunulduğu için, elde edilen sonuçlar sıralama ölçeği verisi olabilir.



Şekil 2.1. Geliştirilmiş Cooper Harper Ölçütü

2.3.2. Ardışık Karar Ölçütü (Zwei Ebenen Intensitäts-Skala)

ZEIS ölçütü Pitrella ve Kappler'in (1988) literatür taramalarından, ergonomik tasarım prensiplerinden ve ölçümleme skalalarına güvenilirlik ve doğruluk bakımından pozitif etki eden araştırmalardan derledikleri sonucunda ortaya çıkmıştır. ZEIS on dört ölçütten oluşmaktadır. Ölçütün tasarım prensipleri aşağıda sıralanan prensiplere dayanmaktadır:

- Kategori skalaları yerine sürekli ölçütler kullan.
- Skalada sözel ve sayısal ifadeler kullan.
- Skalanın tümünde tanımlayıcılar kullan.
- Dikey skala düzeni yerine yatay skala formatı kullan.
- Son noktalarda ya çok ya da hiç açıklama kullanma.
- Tanımlamaları kısa, net ve değer yüklenmemiş olarak kullan.
- Deneysel olarak elde edilmiş ve hiyerarşik sıralı tanımlamalar kullan.
- Eşit olarak bölünmüş tanımlayıcılar kullan.
- Psikolojik olarak skalalandırılmış tanımlayıcılar kullan.
- Sadece pozitif sayılar kullan.
- İstenilen özellikleri sağa doğru artarak sırala.
- Talep ve önyargı oluşturabilecek tanımlamalardan kaçın.
- Tanımlayıcıların uygun olduğu sürece 11 ya da daha fazla skala kullan.
- Yüksek iş yükünü uygun desteklerle azalt.

Araç sürücülerinin iş yüklerinin daha iyi ölçülmesi için hazırlanan yöntem görevlerin zorluğunu ölçmede ve çok çeşitli alanlarda kullanılabilir. Sübjektif olarak hissedilen görev zorluğu ölçümü iş yükü ölçümlerinde önemli bir rol oynadığından bu yöntem ile iş yükünün önemli açıları ölçülebilir.

Şekil 2.2.'de ölçütün 15 skalalı versiyonun açıklamalı ve ölçekli yerleşimi görülebilir. Kappler ve Pitrella'ya (1988) göre kişiler iki aşamalı bir değerlendirmeden geçirilir. İlk aşamada görevin zorluk derecesinin belirlendiği zor, orta ve kolay olmak üzere üç seçim mevcuttur. İlk aşamada seçim yapan kişi bu seçimi doğrultusunda daha hassas değerlendirmede bulunacağı ikinci aşamaya yönlendirilir. İkinci aşamada kişi ilk seçimine istinaden sunulan sayısal skaladan değer belirler. Kişilerin hassas değerlendirme yapabilmeleri için komşu skalalar kullanımı mevcuttur. Ölçüt içerisinde daha kısa skalalar kullanılabilir, ancak kısa skalalar detaylı tahminler için yeterli olmayacaktır. Benzer şekilde

çok uzun skalalar ise ortak bir karara varmada güçlük yaratacaktır. Açıklamalar ve bilgilendirme olabildiğince ölçütün içerisinde verilmiştir. Bu sayede ölçütün objektivitesi artırılmış, kullanıcıların ölçüt hakkında belirli bilgi düzeyine sahip olmaları amaçlanmıştır.

Derecelendirme işlemi kişilerin puan skalasından seçtikleri değerlerin ölçülmesiyle yapılır. Diğer ölçümlerle uyumlu sonuçlar çıkartmak için seçilen değerlerin skalanın sağ tarafına olan uzaklığının tüm skala uzunluğuna oranlanması tavsiye edilir. Bu sayede yapılan çalışmanın farklı uzunluktaki skalalar ile karşılaştırma olanağı sağlanır.

2.3.2.1. Değerlendirmede göz önünde bulunması gereken faktörler

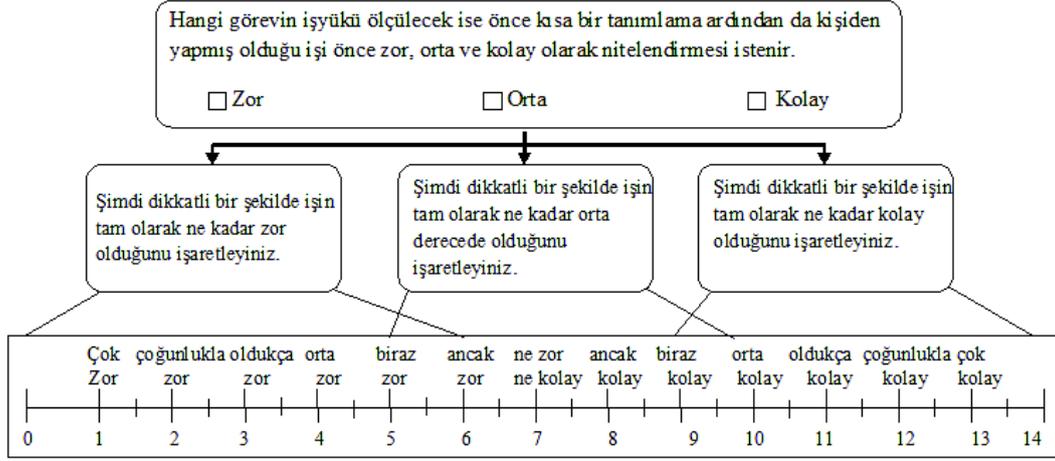
- Grafiklerde verilen açıklamalar her göreve adapte edilmelidir.
- ZEIS ölçütü aralıklı skala değerlerine sahip olduğu için istatistiksel analizlerde parametrik testler kullanılabilir.
- Diğer iş yükü ölçüm sistemlerinin tersine ZEIS ölçütünde yüksek skala sonucu düşük zorluk seviyesini gösterir.

2.3.2.2. Ölçümün avantajları

- Kullanıcılar tarafında kabul oranı yüksektir.
- Puanlama skalası, skala performansını olumlu yönde etkileyen tasarım prensibi çerçevesinde yapılandırılmıştır.
- Diğer tekniklere göre önyargıya daha az açıktır.
- Diğer bazı iş yükü ölçüm teknikleriyle kullanılabilir.
- Ölçütün Flemenkçe, İngilizce ve Almanca versiyonları mevcuttur.
- Ölçülecek görevin hemen bitişinde ölçüt çok az zaman aldığı için uygulanabilir.
- Objektivitesi diğer subjektif yöntemlere göre fazladır.

2.3.2.3. Ölçümün dezavantajları

- Toplam iş yükü hesaplamalarında iş yükü teşhis yeteneği azdır.
- Ölçütün geçerliliği ile ilgili kısıtlı bilgi mevcuttur.



Şekil 2.2. On Beş Noktalı Ardışık Karar Ölçütü

2.3.3. Sübjektif İş yükü Ölçüm Tekniği (Subjective Workload Assessment Technique-SWAT)

SWAT sübjektif iş yükü ölçümleme tekniği iş yükünü üç boyutta ele alır. Bunlar zaman yükü, zihinsel çaba ve psikolojik strestir. Bu boyutlar Sheridan ve Simpson 'ın (1979) iş yükü tanımlarından çıkartılmıştır. Teknik, birleşik ölçümleme, skalalama ve bu üç boyut üzerinde yapılan değerlendirmeleri sıralı ölçüt seviyelerini birleştireilen alt ölçütleri kullanır. Her boyutun kendi içerisinde üç ayrı sözel seviyesi mevcuttur. Aşağıda boyutlar ve alt seviyeleri verilmiştir.

1- Zaman Yükü

- Çoğu kez boş vakit olabiliyor. Çalışma süresince kesintiler veya aşırı yüklenmeler çok seyrek oluşur ya da hiç oluşmaz.
- Boş vakit olabiliyor. Çalışma süresince kesintiler veya aşırı yüklenmeler seyrek oluyor.
- Hemen hemen hiç boş vakit oluşmaz. Çalışma süresince kesintiler veya aşırı yüklenmeler çok sık veya sürekli oluşur.

2- Zihinsel Efor Yüklenmesi

- Çok az miktarda bilişsel zihin efor veya konsantrasyon gerekli. Aktivite neredeyse otomatik haldedir ve hiç veya çok az miktarda dikkate ihtiyaç duyar.
- Orta derece bilişsel zihin eforuna veya konsantrasyona ihtiyaç duyulur. Belirsizliğe bağlı olarak aktivitenin karmaşıklığı orta seviyelerdedir. Hatırı sayılır bir dikkate ihtiyaç duyulmaktadır.

- Büyük bir zihinsel efor ve konsantrasyona ihtiyaç duyulmaktadır. Aktivite çok karmaşık ve önemli bir oranda dikkat edilmesi gereklidir.

3- Psikolojik Baskı Yüğü

- Az miktarda karışıklık, risk, rahatsızlık veya endişe içermektedir ve kolay uyum sağlanabilir.
- Karışıklığa bağlı olarak orta derecede stres, rahatsızlık veya endişe işyüküne dikkate değer katkılarda bulunmaktadır. Gerekli performansı sağlamak için belirgin miktarda bir bedele ihtiyaç duyulmaktadır.
- Karışıklığa bağlı olarak yüksek derecede stres, rahatsızlık veya endişe. Yüksek kararlılık ve kişisel kontrol gereklidir.

SWAT analizi uygulanırken ölçüt geliştirme ve olay skora fazları karıştırılabilir. Ölçüt geliştirme fazında kişi üç boyutun üç alt seviyesinin 27 kombinasyonuna cevap verir. Bunun için 27 kombinasyonun bulunduğu 27 adet kart bulunur. Bu işlemden sonra kart sıralamanın matematik aksiyomlara uygun olup olmadığı kontrol edilir. Bu prosedürden sonra ek bir analiz ile veriler 0 ile 100 arasında kodlanır.

2.3.3.1. Değerlendirmede göz önünde bulunması gereken faktörler

- SWAT ile görev devam ederken yapılan çalışmalarda, birincil görevin ölçümden etkilenmemesine dikkat edilmelidir.
- SWAT bilgilendirmesi ve kart sıralama teknikleri kişi başı yaklaşık 1,5 saat sürer.
- Birleşik ölçümleme yapabilmek için bir yazılım gereklidir
- Kırmızı çizgi değerleri geliştirilmiştir. 30-50 arasındaki puanlarda iş yükü performans düşüş problemlerine yol açmaya başlayabilir.
- Ölçüt tiplerinin belirlenmesi ve yeterlilik tespitinde araştırmacının kararı gerekir.
- SWAT sonuçları oran ölçütlü sonuçlar değildir.

2.3.3.2. Ölçümün avantajları

- SWAT ölçüt seviyesi aralığında iş yükünün belirlenmesini sağlar.
- SWAT ölçümü görev bitişinin hemen sonrasında kullanılabilir
- İleriye dönük iş yükü tahminlerinde kullanılabilir.
- Geniş uygulama alanına sahiptir.
- Operatör yüklenmesinin belirlenebileceği kritik SWAT değerleri mevcuttur.

- Literatürde örnek uygulamalar bulunduğundan geçmiş tecrübelerden faydalanma olanağı vardır.
- Gerçek zamanlı uygulamalarda zaman ve kullanım kolaylığı açısından avantaj sağlar. SWAT genellikle kritik zaman ve kaynak olan durumlarda kullanılmaktadır.

2.3.3.3. Ölçümün dezavantajları

- Ölçek geliştirmesi çokça zaman aldığından ve iyi düzeyde sözel çaba gerektirdiğinden problemlili olabilir. Kart sıralama ilgi çekici olmadığı için görülen motivasyon düşüklüğü sonuçlarda ciddi hatalara yol açabilir. Araştırmacı kişilere bu tekniği daha cazip hale getirmelidir.
- SWAT skorları bir aralığı ifade etmektedir, oran ya da skala içeren veriler değildirler.
- Boyutların alt ölçütleri incelenirken, boyut bazında limitleti oldukları anlaşılmıştır.
- Veri analizi bilgisayarlı olsada diğer işyükü ölçüm tekniklerinde çok daha karmaşıktır.
- Görev icrası sırasında yapılan ölçümlerde birincil görev ile çakışma gösterebilir.
- SWAT boyutları deneysel olarak değil, sezgisel olarak türetilir.
- SWAT kısa aralıklı ölçümlerde düşük hassasiyet göstermektedir.
- SWAT boyutları arasında önemli derecede korelasyon olduğu belirlenmiştir (Boyd, 1983).

2.3.4. Sübjektif İşyükü Üstünlük Tekniği (Subjective Workload Dominance Technique SWORD)

SWORD tekniği Vidulich (1989) tarafından Saaty'nin Analitik Hiyerarşi Prosesi'nden (AHP) faydalanılarak geliştirilmiştir. AHP yöntemini kullanarak sübjektif ölçümlere ilk defa Lidderdale tarafından 1987 yılında kullanılmıştır. Orjinal AHP özvektör matris hesaplamasını kullanarak ham veriyi puan cetveline çevirirken Lidderdale geometrik ortalamalar yöntemini kullanarak daha kolay anlaşılır karşılaştırmalı sonuçlar elde etmiştir. Lidderdale AHP'den farklı olarak daha az sayıda skala puanı kullanmıştır. SWORD tekniğinde ise Saaty tarafından tavsiye edilen özvektör matris hesaplaması, geometrik ortalama hesaplaması ile kombine edilerek kullanılmıştır. Vidulich tarafından geliştirilen bu yöntemin sonuçları incelendiğinde ideal sonuçlar elde edildiği görülmüştür. SWORD diğer sübjektif yöntemlerden bazı farklılıklar göstermektedir. Diğer yöntemlerin çoğunluğunda bir görevin herhangi bir aşaması ya da farklı bir görev referans alınmamaktadır. SWORD tekniği ise her görev birbiriyle karşılaştırılmaktadır. Bu nedenle SWORD tekniği

kullanılırken ölçümlenmeler tüm görevler bitirdikten sonra yapılmalıdır. NASA-TLX ve SWAT gibi yöntemlerde hafızanın negatif etkilerini ortadan kaldırmak için değerlendirme her görevin sonunda yapılır. SWORD tekniği oranlı ölçüt seviyesine sahipken, diğer yöntemler genellikle aralık ve sıralı ölçüt seviyesine sahiptir. Bu nedenle SWORD kullanırken ek olarak istatistiksel veri analizine ihtiyaç duyulmaz.

SWORD tekniği ikili karşılaştırmaları kullanır ve üç ana adımı vardır. Adımların ayrıntılı açıklamaları aşağıdaki gibidir:

1- Ham karar verme verileri toplama: Tüm görevler icra edildikten sonra anketör bütün olası görev kombinasyonlarını arasında ikili karşılaştırmalar matrisi hazırlar. Her karşılaştırma için 17 ayrı adımdan oluşan oranlandırma ölçütü sunulmuştur. Bir görev ölçütün sol tarafında iken diğer bir görev sağ tarafında yer alır. Kişi iki işin yüklenmesinin eşit olduğu durumlarda Tablo 2.1.'de görülen "Eşit" bölümünü işaretler. İşyükünde daha baskın olan görev kendine daha yakın olan ve iş yüküne karşılık gelen ölçüt kategorisine işaretlenir. İki görevden birisinin göreceli iş yükü baskınlığını ifade etmek için dokuz sözlü ifade kullanılır: Eşit, Zayıf, Kuvvetli, Çok Kuvvetli, Aşırı Derecede.

Tablo 2.1. SWORD Gelişim Formu

	Aşırı derecede	Çok Kuvvetli	Kuvvetli	Zayıf	Eşit	Zayıf	Kuvvetli	Çok Kuvvetli	Aşırı derecede	
Görev	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Görev
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	E
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	F
B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C
B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D
B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	E
B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	F
C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D
C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	E
C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	F
D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	E
D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	F
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	F

2- Karar verme matrisi oluşturma: Karşılaştırma matrisinde satır ve sütunlar ikili karşılaştırılan görevlere denk gelir. Tablo 2.2.'de görülen matristeki her hücre karşılıklı satır ve sütuna denk gelen görevlerin ikili karşılaştırma sonucunu gösterir. Sol üstten sağ alt köşeye uzanan diagonalin değeri görevlerin kendileri ile karşılaştırmalarını gösterdiğinden

1'dir. Karşılaştırılan görevler neredeyse eşit iş yüküne sahipse matrisin sağ üst parçası 1 değerini alır. Ölçüt skalasının sol tarafındaki görev baskın olduğunda 2,3,4,5,6,7,8,9 (2 en düşük baskınlık seviyesi, 9 en yüksek baskınlık seviyesi) değerlerinden birini, ölçüt skalasının sağ tarafındaki görev baskın olduğunda 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9 (1/2 en düşük baskınlık seviyesi, 1/9 en yüksek baskınlık seviyesi) değerlerinden birini alır. Matrisin sol alt kısmı sağ üst kısımdaki değerlerin tersleriyle doldurulur.

Tablo 2.2. SWORD Karar Matrisi

	A	B	C	D	E	F
A	1					
B		1				
C			1			
D				1		
E					1	
F						1

3- Oranları Hesaplama: Matrisin her satırı için geometrik ortalama hesaplanır. Bu değerler normalize edilir. Çıkan değerler her görev için iş yükü oranını ifade eder. Çıkan oranlar tutarlı değilse problem oluşturabilir. Görev A görev B'den iki kat zor, görev B ise görev C'den üç kat zor olarak değerlendirildiyse, görev A görev C'den altı kat daha zor olmalıdır (Vidulich ve diğerleri, 1991).

2.3.4.1. Değerlendirmede göz önünde bulunması gereken faktörler

- Ölçümler tüm görevler icra edildikten sonra yapılmalıdır.
- Karşılaştırılabilecek görev sayısı kısıtlıdır.
- Geçmiş veriler için geriye dönüş gerektirir.
- İkili karşılaştırma formunda görevler ayırt edilebilir olmalıdır.
- SWORD oran ölçütlü özelliklere sahiptir ve bu nedenle veri analizi ve çıkarımlar için elverişlidir.

2.3.4.2. Ölçümün avantajları

- SWORD oran ölçüt seviyesine sahiptir.
- NASA-TLX ve OW (Overall Workload Scale)'den daha yüksek duyarlılık göstermiştir.
- SWORD geçmiş verilerden faydalanmaya dayalı bir teknik olduğundan NASA-TLX gibi eş zamanlı değerlendirilen tekniklere göre daha güvenilir yeniden test etme oranına sahiptir.
- Kişi iki koşul arasındaki ilişkiye odaklandığından, ikili karşılaştırma yapmak mutlak karşılaştırma yapmaktan daha kolaydır.
- Değerlendiren kişilerin tutarlılığı ölçülebilir.

2.3.4.3. Ölçümün dezavantajları

- SWORD görev tamamlanması sırasında yapılamaz, tüm görevlerin bitmiş olması beklenmelidir.
- SWORD geçmiş verilere dayalı bir teknik olduğundan kişilerin hafızasına bağlı olarak değerlendirmeler negatif etkilenebilir.
- Görevler ikili karşılaştırma formunda mutlaka ayırt edilebilir olmalıdır.
- SWORD tekniği ikili karşılaştırmalara dayandığından, karşılaştırılabilecek görev sayısı kısıtlıdır. Bir çok görev karşılaştırıldığında hafıza aşırı yüklenir. Karşılaştırmaların sayısı $\frac{n}{2} \cdot (n - 1)$ 'dir.

2.3.5. Bedford ölçütü

Bedford ölçütü Ellis ve Roscoe (1982) tarafında Cooper-Harper ölçeğinden uyarlanarak oluşturulmuştur. Bedford ölçütü Cooper-Harper ölçütünde kullanılan karar ağacını kullanır, fakat Cooper Harper ölçütü uçağın deneyim edilmiş kullanım niteliklerini ölçerken, Şekil 2.3.'te görüldüğü gibi Bedford ölçütü pilotların boş kapasitelerini ölçmeye odaklanmıştır. Diğer hiyerarşik ölçütlerden farklı olarak Bedford ölçütünde buçuklu derecelendirmeler kullanılabilir. Roscoe (1987)'ya göre "Pilotların işyükü belirli bir uçuş görevinin gereksinimleri gerçekleştirirken hissettikleri birleşik zihinsel ve fiziksel iş yüküdür.". Bu iş yükü ölçüm yöntemi çoğu sivil ve askeri havacılık pilotları tarafından kabul görmüştür. Ölçüt genel olarak işi bitirmenin mümkün olup olmadığını, iş yükünün tolere edilebilir olup olmadığını ve iş yükünün azaltılmadan yeterli olup olmadığını değerlendirir.

2.3.5.1. Değerlendirmede göz önünde bulunması gereken faktörler

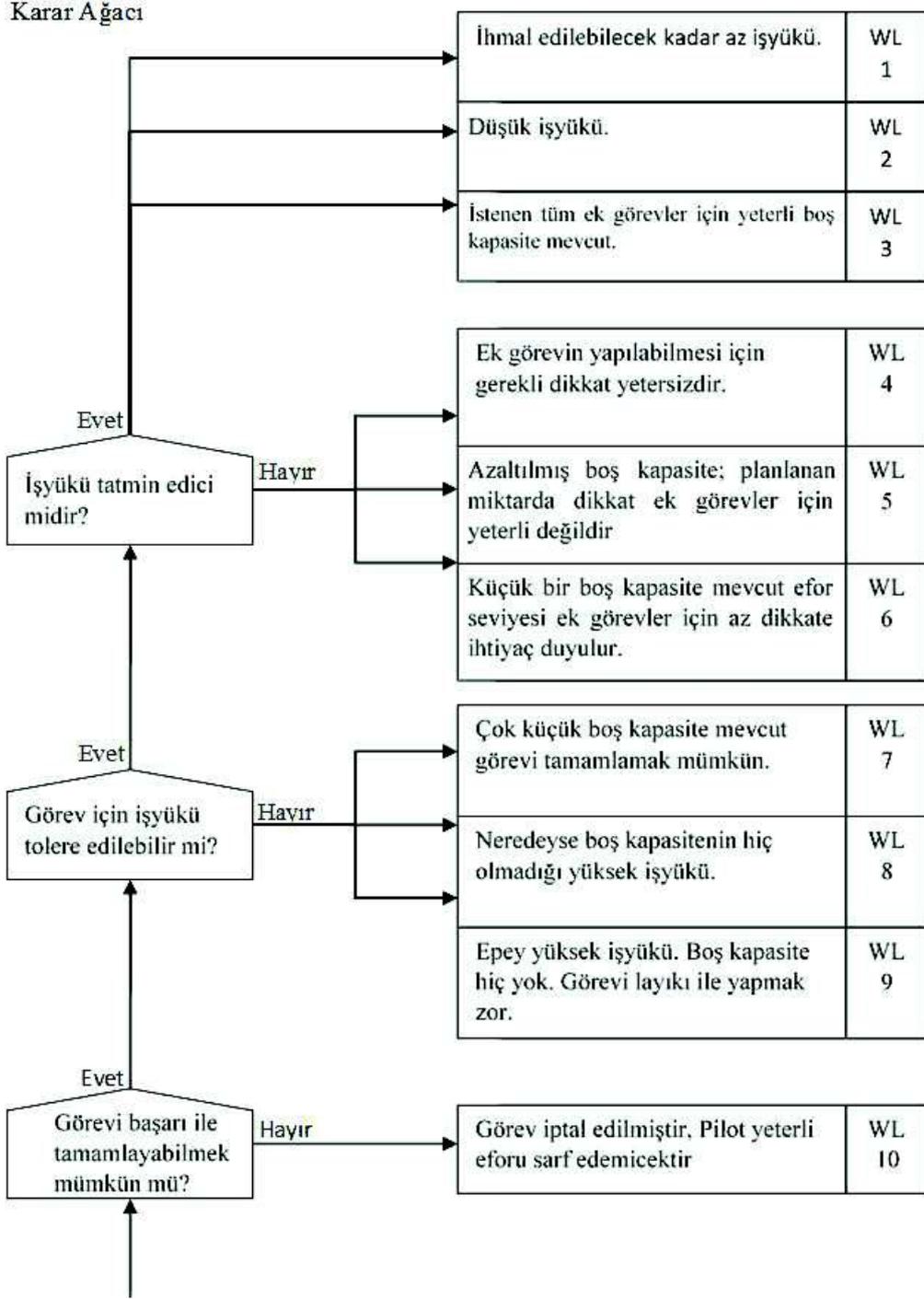
- Ana görevi etkileyebileceğinden tek pilotlu uçuşlarda uygulanması tavsiye edilmez (Roscoe, 1987; Lidderdale, 1987).
- Bedford ölçütü pilotlar manuel uçuş gerçekleştirirken en gerçekçi sonuçları vermektedir, fakat pilotlar sadece gözleme ve kontrol görevlerini gösterdiğini sırada yapılırsa çıkan sonuçlar çok etkin değildir (Roscoe, 1987).
- Ölçüt uçuş sonrası yapılan brifingler için geçerli değildir (Lidderdale, 1987).
- Uçuş esnasında ölçümleme için 10 butonlu diz pedleri kolay hatırlama için kullanılabilir (Lidderdale, 1987).
- Ölçüt eğitimi yarın saatten az bir sürede tamamlanmaktadır.
- Görev bitiminden 15 dakika sonra ölçümler tamamlanmalıdır.
- Veri toplama sırasında Bedford ölçütü için hazırlanmış veri toplama kağıtlarının olması gerekir. Katılımcıların yorumları ile anketler daha etkin hale getirilebilir.
- Kapsamlı not ve yorumların anketör, kayıt cihazı yada video kaydedici ile kayıt altına alınması gerekir.
- Bedford ölçütü lineer olmadığından, sonuçların değerlendirilmesinde parametrik olmayan istatistiksel testlerin kullanılması gerekmektedir (Roscoe, 1987).
- Farklı deneyim düzeylerinde olan pilotların değerlendirmeleri farklı olacağından, sonuçlar kesin işyükü değerlendirmeleri değildir. Bu nedenle farklı pilotların iş yüklerinin karşılaştırılması doğru olmayacaktır (Roscoe, 1987).
- 1-3 arasındaki değerlendirme sonuçları tolere edilebilirdir (Wainwright, 1987).

2.3.5.2. Ölçümün avantajları

- Bedford ölçütü genel çapta iş yükünün değerlendirilmesi için kullanılır.
- Ölçüt basit bir ölçüttür, test sonuçları daha önce konu hakkında ilgisi olmayan bir kişiye de kolaylıkla aktarılabilir.
- Bedford ölçütü pilotlar tarafından kabul görmektedir.
- Karar ağacı değerlendirmelerde sıralı karar vermeye yardımcı olduğu için kullanımı kolaylaştırır.
- Ölçüt kısa sürede tamamlanabilmekte ve görev icrası sırasında kullanılabilir.

2.3.5.3. Ölçümün dezavantajları

- Methodun geçerliliği ve güveninliliği ile ilgili yeterli kaynak yoktur.
- Ölçütün kolaylığı katılımcıları ölçütlere farklı bir anlam yüklemesi ve yorum yapmasına neden olabilmektedir.
- Pilotlar değerlendirdiklere görevlere düşük puanlar verme eğilimindedirler.
- Ölçüt 1-3 arasındaki iş yükü farkını ayırt etmede yetersizdir. Ölçüt düşük iş yükü seviyelerinde düşük hassasiyet göstermektedir.
- Ölçüt sonuçlarının teşhis edebilme özelliği düşüktür. Çıkarımlardan işyükü seviyelerinde bir problem olduğu görülsedei problemin gerçek kaynağını bulmak zordur.
- Değerlendirmeler sıralı ölçek düzeyindedir.



Şekil 2.3. Bedford Ölçütü

2.3.6. NASA Görev Yükü İndeksi (NASA Task Load Index NASA-TLX)

NASA İş Yükü İndeksi Hart ve Staveland tarafından 1988 yılında ortaya çıkartılmıştır. NASA-TLX yöntemi, genel iş yükünü altı farklı alt ölçütle değerlendirmeye tabi tutan çok boyutlu subjektif bir yöntemdir. Kullanılan alt ölçütler: Zihinsel talep, fiziksel talep, zaman talebi, performans, efor ve stres düzeyidir. Ölçüt uygulanırken katılımcılar bu altı alt ölçütü skala üzerinde puanladıktan sonra ikinci aşamada ölçütlerin ikili karşılaştırmaları yapılır.

2.3.6.1. Değerlendirmede göz önünde bulunması gereken faktörler

- Operasyonel sistemlerde ölçütün görev esnasında uygulanması sırasında altı alt ölçütün değerlendirmesinin ana görev ile etkileşime girmesi güvenlik problemleri doğurabilir.
- İkili karşılaştırmalar yapmak için ek zaman gereklidir.
- NASA-TLX farklı görevlerde kullanılacaksa, ikili karşılaştırmaların yapılması gereklidir.
- Ham datanın değerlendirilmesi için yazılım programlarının kullanılması tavsiye edilir.
- NASA-TLX aralık ölçüt seviyesinde sonuç verdiğinden, veri analizinde parametrik testlerin uygulanması gerekir.

2.3.6.2. Ölçümün avantajları

- NASA-TLX methodu iş yükü ölçümlerinde oldukça güvenilir sonuçlar vermektedir ve kullanıcılar tarafında geniş kabul görmektedir (Hill ve diğ., 1992).
- NASA-TLX methodu aralık ölçüt seviyesine ölçümler yapmaya olanak sağlar.
- NASA-TLX yöntemi diğer iş yükü ölçüm yöntemlerine göre çok daha geniş alanda görevlerin iş yükü ölçümünde kullanılabilir (Hart ve Wickens, 1990).
- Yöntemin birçok dile çevirisi bulunmaktadır.
- SWAT methodunda karşılaşılan sonuçlara göre NASA-TLX düşük iş yükü seviyelerinde hasas ölçüm yapabilme yeteğine sahiptir.
- NASA-TLX'in SWAT, Geliştirilmiş Cooper-Harper ölçeklerine göre daha doğru iş yükü ölçümü yaptığı kanıtlanmıştır (Byers ve diğ., 1988; Battiste ve Bortolusi, 1988; Hancock ve diğ., 1989).
- Sistem hakkında yeterli bilgiye sahip olduğu durumlarda, NASA-TLX konsept geliştirme seviyelerinde de uygulanabilmektedir (Beevis, 1992).
- Ağırlıklandırılmış ölçüm yöntemi sayesinde, kişilerden kaynaklanan farklılıkların en aza indirildiği farzedilmiştir.

2.3.6.3. Ölçümün dezavantajları

- NASA-TLX methodunun Almanca ve Flemenkçe çevirileri İngilizce versiyonuyla karşılaştırıldığında, hassasiyetinin ZEIS ölçeğine göre düştüğü gözlemlenmiştir. Bunun nedeni çevirilerden kaynaklanan anlam kaymalarıdır. Ölçütün çevirisi uygulanacaksa, altı alt ölçütün açıklamaları birebir çeviriden çok anlam bütünlüğü sağlayacak şekilde çevirilmelidir.
- Orijinal eğitimleri çok detaylı ve teknik terimler içermektedir. Bu yüzden anlaşılması güç olabilir.
- Altı alt ölçüt zaman zaman belirgin bir korelasyon gösterdiği gözlemlenmiştir (Pfendler ve Wiedel, 1988).
- Göreceli olarak diğer ölçeklerden daha fazla boyut değerlendirildiğinden görev sırasında sürekli ölçümleme yapmak için ideal değildir.
- Bazı deneylerde bazı alt ölçütlerin iş yüküne katkısı olmadığı ortaya çıkmıştır (Pfender ve Widdel, 1988; Sepehr, 1988; Veltman ve Gaillard, 1993).
- Ağırlıklandırma prosedürü sonucunda bir ölçüt elenebilir. Eğer iki farklı katılımcı tarafından iki farklı ölçüt elenirse, bu iki kişinin ortalama ağırlıklandırılmış skorları karşılaştırılmaz. Bu yüzden Sepehr (1988) tarafından ağırlıkların 0'dan değil 1 'den başlaması tavsiye edilmiştir.

2.3.6.4. Ölçümün kullanıcı tesirinden bağımsızlığı

NASA-TLX methodunun uygulamasından önce, uygulamaya katılacak kişiler eğitimden geçirilmelidir. Böylece kişi farklılıklarından kaynaklanan etkilerin en aza indirgenmesi sağlanmaya çalışılmaktadır. Diğer sübjektif ölçüm yöntemleri gibi norm ve tolerans seviyeleri olmadığından verilerin yorumlama objektifliği kısıtlıdır.

2.3.6.5. Ölçümün geçerliliği

Yapılmış bir çok çalışmanın sonuçlarına göre NASA-TLX iş yükü ölçümünde geçerli sonuçlar ortaya çıkartmıştır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Hill ve diğerlerinin (1992) dört farklı sübjektif yöntem ile üç farklı silah sistemi üzerinde yaptıkları araştırmanın sonucuna göre, iş yükü boyutunda faktör analizi yapıldığında NASA-TLX'in en yüksek faktör yüklemesine sahip olduğu görülmüştür.

Uçuş simülöründe pilot görevleri üzerinde Nataupsky ve Abbott (1987) yaptıkları çalışmada NASA-TLX ve SWAT yöntemleri arasında ciddi farklılıklar tespit etmişlerdir.

Battiste ve Bortolussi (1988) yaptıkları çalışmada ,Boeing 727 tipi uçak simülöründe normal ve sistem hatası içeren uçuşlar gerçekleştirilmiştir. NASA-TLX'in düşük iş yükü seviyelerinde SWAT yönteminden daha hassas sonuçlar ortaya çıkardığı görülmüştür. Aynı zamanda artan iş yükü seviyesinin belirlenmesinde NASA-TLX, SWAT yönteminden daha doğru sonuçlar vermiştir.

Hancock ve diğerlerinin (1989) yaptıkları çalışmada bir görev takibinin öğrenme aşamalarında azalan iş yükünün NASA-TLX tarafından ölçümlerinin SWAT ile yapılan ölçümlere göre daha hassas sonuçlar çıkarttığı gözlemlenmiştir.

Pfendler'ın (1993) yaptığı çalışmada benzer şekilde örüntü arama işi öğrenim aşamalarında gözlemlenen iş yükü düşüşünü NASA-TLX, ZEIS yöntemine göre daha hassasiyetle ölçümlemiştir.

Görsel örüntü tanıma görevi dört farklı zorluk seviyesinde katarize edildiğinde, en zor kategori ve en kolay kategori arasındaki iş yükü farkı NASA-TLX ile tespit edilebilmiştir. (Pfender ve Wiedel, 1988)

Deneysel sonuçlara bakıldığında NASA-TLX ve diğer oran ölçütlü skalalar arasında yüksek korelasyon ölçülebilir. (Lysahgt ve diğ., 1989)

2.3.6.6. Ölçümün güvenilirliği

Vidulich ve Tsang 1987 yılında testi tekrar yapma katsayılarının Ağırlıklı İşyükü Skor ortalamaları için $r = 0,42$ olduğunu tespit etmişlerdir. Ölçütün Almanca versiyonunu kullanarak Pfendler ve Widdel 1988 yılında varyans analizi ile sınıflar arası katsayısını $r = 0,84$ olduğunu hesaplamışlardır. Aynı metotla Pfendler NASA-TLX yönteminin karşılaştırdığı uygulamasında bulmuş olduğu sınıflar arası katsayısının ($r = 0,56$) ardışık karar ölçütünden ($r = 0,87$) düşük olduğunu görmüştür. Ağırlıklı işyükü skoru ortalaması yerine ağırlıklandırılmamış işyükü skoru kullanıldığında, NASA-TLX'in faktör katsayısının, uygulayıcıları değiştirmeden $r = 0,75$ 'e kadar yükseldiği görülmüştür. Battiste

ve Bortolussi'ye göre (1988) NASA-TLX, SWAT analizine göre daha yüksek bir güvenilirliğe sahiptir.

2.3.6.7. Methodun uygulanabilirliği

NASA-TLX yöntemi her ortamda çok az enstrüman ile çok geniş görev çeşitlerinde kolaylıkla uygulanabilmektedir.

2.3.6.8. Methodun ekonomisi

NASA-TLX kullanılan personel ve enstrüman açısından çok düşük maliyete sahiptir. Değerlendirme sürecinde yazılım programlarının kullanılması avantaj sağlamaktadır. Diğer tüm sübjektif methodlar gibi, değerlendirme sürecinden önce katılımcıların yeterli düzeyde eğitimden geçirilmesi gerekmektedir.

2.3.6.9. Methodun birincil görevle etkileşimi

Görev bitiminden sonra yapılan değerlendirmelerde yöntemin birincil görevle hiçbir etkileşimi yoktur. Altı alt ölçütün değerlendirilmesi biraz zaman aldığından, görev icrası sırasında yapılan değerlendirmeler birincil işi etkileyebilir. Fakat bu durum görevin zorluğu ve katılımcının NASA-TLX'e olan alışkanlığı ile değişebilir. Sistem güvenliği çok önem taşıyan görevlerde, görev bitiminde ölçümlemenin yapılması önerilen bir çözümdür.

2.3.6.10. Methodun tespit yeteneği

Altı farklı alt skala ayrı analizlere tabi tutulabildiği için NASA-TLX metodu iş yükünü tespit edebilme yeteneğine sahiptir. Fakat bazı çalışmalar göstermiştir ki, farklı dillere yapılan çevirilerde bazı alt skalaların iş yüküne etkilerinin az olduğu tespit edilmiştir. Örneğin Almanca versiyonunda stres düzeyi ve fiziksel talep gibi bazı alt skalaların iş yüküne katkısı oldukça azdır ve alt skalalar arası korelasyon düzeyi %50'den fazladır.

2.3.6.11. Methodun genellemesi

NASA-TLX ergonomi, endüstriyel psikoloji ve insan-makine etkileşimi alanlarında uygulanabilir. NASA-TLX laboratuvar ortamlarından, sivil helikopter, havacılık, ulaşım, askeri jet ve uçak simülatörleri ve yer sistemlerinde uygulanmıştır (Hart ve Wickens, 1990). Ayrıca ölçütün diğer dillere çevirileri laboratuvar ortamında görsel örüntü tanıma görevlerinde, programda hata belirleme görevlerinde, simülatör ve gerçek ortam sürüş

görevlerinde, uçuş simülatörlerinde görev takip ve kontrol etme görevlerinde kullanılmıştır (Pfendler ve Wiedel, 1988).

2.3.7. Sübjektif ölçüm tekniklerinin avantajları ve dezavantajları

Bahsedilen sübjektif ölçüm yöntemlerinin genel olarak avantajları ve dezavantajları toparlanacak olursa;

Avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Veri elde edilirken yüksek maliyetlere gerek yoktur.
- Uygulamada kolaylardır.
- Geniş alanlardaki iş yükü değerlendirmeleri için kullanılabilirler.
- Görev sırasında ve görev bitiminde uygulama sağlarlar.
- Sistemlerin kuruluş aşamalarında uygulanabilirler.
- Görev sırasında ölçüm yapılamıyorsa ya da tehlikeli ise görev esnasında gözlemler veya kayıtlar alınarak daha sonra değerlendirme yapılabilir.
- Ağırlıklılandırılmalı değerlendirmeler sonucunda yüksek geçerlilikleri vardır.
- Farklı ölçüm yöntemleri ile yapılan çalışma sonuçları karşılaştırıldığında, diğer yöntemlere göre yüksek geçerliliğe sahiptirler (Hicks ve Wierwille, 1979; Pfender, 1982).

Dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Bilgiler sınırlı olabilir.
- Katılımcı karakterleri veya buldukları durum, eğilimleri oranlama derecesi sonuçlarında karışıklığa neden olabilir. Kişiler önyargı ile kesin iyi bir sonuca veya değerlendirmeye eğilimlidirler ya da testin öne sürdüğü hipoteze karşıt olabilirler. Tepki eğilimi katılımcıların soruların bir kısmına ya da tamamına tepkisel olarak yanlı olarak cevap vermesine neden olabilir. Ayrıca istem dışı yanlış değerlendirme ve soruların yanlış anlaşılması gibi durumlar ortaya çıkabilir. Bu durum test öncesi bilgilendirme ve eğitimlerle en aza indirgenmeye çalışılmalıdır.
- Katılımcıların dürüstlüklerinden şüphe ediliyorsa, katılımcılarda motivasyon düşüklüğü varsa, kayırma, taraf tutma gibi hatalı sonuçlar ortaya çıkartabilecek değerlendirmelerin yapılmaması tavsiye edilir.
- Katılımcılar arasında ciddi boyutlarda iş yükü farkları olduğu durumlarda sonuçlar tutarlı olmayabilir.

- Ölçütler uygulanmadan önce katılımcıların eğitilmesi gereklidir.
- Kişisel görüşler sonucu değerlendirmeler iş dışı faktörlerden etkilenebilirler.
- Ölçütler iş yükünün sürekli ölçümünü sağlayamamaktadır, bu yüzden periyodik ölçümler gerekebilir.
- Görev sonrası yapılan ölçümlerde negatif hafıza etkisi gözlemlenebilir.
- Yüksek iş yüküne sahip görevlerin düşük işyüküne sahip görevlerle karşılaştırılması negatif etkiye yol açabilir.

2.4. Zihinsel İş Yükü Ölçümlemesi Alanında Yapılan Çeşitli Çalışmalar

Bu bölümde, önceki bölümlerde bahsedilen iş yükü ölçüm methodları ile literatürde yapılan çalışmalara bazı örnekler verilecektir. Örnekleme alanlarında genellikle havacılık alanında yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

Lahtinen ve diğerleri (2007), yaptıkları çalışmada kalp atışı ve iş yükü arasındaki ilişkiyi uçuş simülöründe gözlemlemiştir. Uçuş sırasında zihinsel iş yükü artışı kalp atış hızında da artışa yol açmaktadır. Fakat kalp atış hızı değişiklikleri ve uçuş performansı arasındaki ilişki kesin net değildir. Bu çalışmada F-18 tipi uçak simülöründe 15 pilot savaş senaryoları gerçekleştirmiştir. Uçuş 13 farklı faza ayrılmış ve bu süreçler 1 ve 5 arasında eğitimler tarafından değerlendirilmiştir. Uçuş sırasında kalp atış hızını ve değişiklikleri kaydetmek için sürekli EKG ölçümleri yapılmıştır. Sonuç olarak pilotların tümünde görev esnasında iş yükü artışına paralel olarak kalp atış hızının arttığı görülmüştür. Deneyimli ve deneyimsiz pilotlar arasında kalp atış hızı değişkenliği gözlemlenmemiştir. Değerlendirmelerin sonucunda artan iş yükü sonucunda kalp atış hızının arttığı gözlemlenmiştir. Fakat eğitimler tarafından yapılan performans değerlendirmeleri ile kalp atış hızı arasında bağlantı olmadığı tespit edilmiştir.

Wilson (2002) yılında yaptığı çalışmada pilotların uçuş sırasında hissettikleri iş yükünü birden fazla fizyolojik yöntem kullanarak ölçmeyi hedeflemiştir. Uçağın pilot edilmesi ve uçuş görevleri kompleks görevler olduğundan pilotların üzerindeki iş yüklerinin farklı yöntemlerle ölçülmesi gerektiğini savunan Wilson, 10 pilotun katılımında 90 dakikalık bir uçuş simülasyonu üzerinde gözlemler yapmıştır. Her katılımcı fizyolojik ölçümlerin güvenilirliğini sağlamak için aynı uçuşu iki kez gerçekleştirmiştir. Bu uçuşlar sırasında katılımcıların kalp atışları, kalp atış değişkenlikleri, göz kırpmaları, elektrodermal

aktiviteleri ve EEG'leri kayıt edilmiştir. Sonuç olarak gerçekleştirilen her iki uçuşta da alınan ölçümlerin benzer olduğu görülmüştür. Kardiyolojik ölçümler ve elektrodermal ölçümler uçuş esnasında değişen gereksinimlerin yarattığı iş yüküyle yüksek korelasyon göstermişlerdir. Beyin aktivitelerinin ölçüm sonuçları ise alfa ve delta frekanslarının iş yükü değişimlerinde belirli değişimler gösterdiğini ortaya koymuştur. Göz kırpma süresi ise uçuşun yüksek görsel takip ve kontrol gerektiren kısımlarında düşüş göstermiştir.

NASA TLX yöntemi subjektif ölçüm yöntemleri içerisinde zihinsel iş yükü ölçümünde diğer yöntemlere oranla daha geçerli sonuçlar verdiği için çok geniş bir alanda uygulama örneklerine sahiptir. NASA-TLX yönteminin çeşitli uygulamalarına aşağıda yer verilmiştir.

Wastlund ve diğerleri tarafından 2005 yılında yapılan araştırmaya göre bilgisayar ile yapılan okuma ve bilgiyi algılama işlemlerinin kağıt üzerinde yapılan işlemlere göre daha fazla iş yükü getirdiği söylenmiştir. Noyes ve diğerleri ise bu çalışmalarında NASA-TLX'in kağıt ve bilgisayar versiyonları arasındaki iş yükü farkını karşılaştırmışlardır. Her iki çeşit NASA-TLX testini yapan denekler arasında çıkan sonuçlara göre bilgisayar versiyonu kağıt versiyonunda daha fazla yük getirdiği gözlemlenmiştir.

NASA TLX yöntemi bir çok alanda uygulandığı gibi çeşitli uygulamalarına havacılık sektöründe de rastlıyoruz. Pilotların farklı uçuş tiplerinde hissettikleri iş yükünden, öğrenci pilotların eğitim sürecinde hissettikleri iş yüküne, kokpit tasarımı ve tasarımların iyileştirmesine kadar her süreçte NASA TLX uygulamalarını görüyoruz. NASA TLX ile havacılık sektöründe yapılan çalışma örneklerinden bazılarını aşağıda kısaca değinilmiştir.

Shon ve Jo 2003 yılında yaptıkları çalışmada Kore'de pilot adayı öğrencilerin Myers Briggs Kişilik Ölçeği'ne göre sahip oldukları kişilik ve hissettikleri zihinsel iş yüküne daha verimli bir eğitim uçuş planlaması nasıl yapılabilir soru üzerinde çalışmışlardır. İş yükü ölçümünü gerçek uçuşlar sırasında nabız ve göz hareketleri ve daha sonrasında zihinsel iş yükünü ise NASA TLX yöntemini kullanarak ölçmüşlerdir. Pilot performansı, pilot işyükü ve kişilik tipi sonuçlarına göre genelde bilinen zıt Myers Briggs Kişilik Tiplerinin daha iyi anlaşıldığı kabulünün tam tersi bir sonuç elde ederek benzer kişilikteki öğrenci pilot ve öğretmen pilotlar eşleştiğinde daha verimli bir uçuş eğitimi geçirildiği gözlemlenmiştir. Kişilik tipi C olan yani gerçekçi ve mekanik yeteneklere sahip olan kişilerin ise en başarılı adaylar olduğu saptanmıştır.

Ülkemizde yapılan çalışmalarda Türk Hava Kuvvetlerine mensup F-16 pilotlarının gerçekleştirdikleri farklı görev tipi olan hava muharebe görevi, himaye görevi, önleme/devriye görevi, lantırn görevi, yakın hava desteği görevi ve havadan yere taaruz görevlerinde hissettikleri zihinsel iş yükü NASA TLX yöntemi ile ölçülerek bu görev tiplerinin pilotlarda yarattığı iş yükü somutlaştırmaya çalışılmıştır.

Samel ve diğerleri 1997 yılında yaptıkları çalışmada uzun menzilli uçuların pilotların üzerindeki yorulma derecelerini hesaplamışlardır. Çalışmada transmeridyen uçuşları olarak HAM Hamburg-LAX Los Angeles ve DUS Duseldorf-ATL Atlanta kuzey-güney uçuşu olarakta FRA Frankfurt-SEZ Mahe uçuşu ele alınmıştır. Gidiş dönüş ve gündüz gece uçuşları olmak üzere seçilen uçuşlarda pilotların işyüklerini ölçmek için psikofizyolojik ölçümleme için uçuş boyunca EEG (Electroencephalogram), EOG(electrooculogram), EKG(electrocardiogram) sürekli olarak kayıt edilmiştir. Sübjektif ölçümleme içinse pilotlar yorgunluk düzeylerini girdikleri bir anket yanında NASA-TLX anketini doldurmuşlardır. Sonuçlar göstermiştir ki, gidiş uçuşları dönüş uçuşlarından gündüz uçuşları ise gece uçuşlarından daha az streslidir. LAX-HAM en stresli uçuş olup sırasıyla SEZ-FRA, FRA-SEZ, ATL-DUS-HAM-LAX ve DUS-ATL olarak uçuşların stres düzeyi hesaplanmıştır. Pilotların iş yüklerine katkıda buluna en önemli 3 faktör bioritmik olarak vücudun fonksiyonalitesini yitirdiği gece uçuşları, gündüzleri gün ışığında kaliteli uyku alınmadığından yaşanan uyku yoksunluğu ve dinlenme için zaman bulunamayan uzun süreli uçuşlardır. Çalışma sonucunda 2 kokpit görevlisi olarak yapılan uçuşlarda pilotların yorgunluk ve stres düzeyini sınırlarda tutmak için gündüz uçuşlarının 12 saat gece uçuşlarının ise 10 saat ile sınırlanması gerekliliği bulunmuştur.

Son yıllarda yapılan araştırmalara göre pilotlar yeni nesil gelişmiş kokpit sistemlerinin (örn. GPS navigasyon, otopilot, elektronik göstergeler, trafik ve hava durumu önlem sistemleri) iş yüklerini azalttığını, kazaları önlediğini ve farkındalıklarını arttırdığını düşünmektedir. Casner'in 2005 yılında yaptığı başka bir araştırmaya göre tanıdık olmadıkları bir yerde uçan pilotlarından GPS kullanarak yol bulan pilotlar kağıt harita kullanan pilotlara göre daha avantajlı olduklarını düşünürken pratikte tam tersi bir sonuç elde edilerek, GPS navigasyonda daha düşük bir performans sergilemişlerdir. Bu sonucun üzerinde Casner 2009 yılında gelişmiş kokpit sistemlerinin pilotların iş yükünü ve hatalarını nasıl etkilediği konusunda daha ayrıntılı bir araştırma yapmıştır. Benzer tecrübe seviyelerindeki deneyimli pilotlar aynı uçak modelinin farklı iki farklı tipinde uçmuşlardır. Bir uçak tipi klasik kokpit

sistemiyle donatılmışken diğeri ise gelişmiş kokpit sistemiyle donatılmıştır. Deney dört farklı tip kokpit sisteminin dört farklı uçuş fazında pilotların iş yükü ve hata oranlarını ölçmek için tasarlanmıştır. Pilotların iş yükleri NASA TLX ile ölçülmüştür. Deneyde kullanılan farklı kokpit donanımı navigasyon donanımı (VOR veya GPS), kontrol methodu (elle yönlendirme veya otopilot), uçuş aletleri (çevirmeli veya elektronik), navigasyon aletleridir (çevirmeli CDI veya CDI ve hareketli harita gösterimi). Deneyde yer alan uçuş fazları ise hazırlık, uçuş, iniş ve inişi kaçırmadır. Sonuç olarak ise gelişmiş kokpit sistemlerinin pilot işyükünü ve hataların oluşma sıklığını azalttığı az da olsa desteklenmiştir. GPS navigasyon bilgisayarlarının iş yükünü arttırdığı ve bazı uçuş fazlarında hata oranını arttırdığı gözlemlenmiştir. Genel olarak sonuçlar gözlemlendiğinde gelişmiş kokpit sistemlerinin, klasik kokpit sistemlerine göre pilotların işyükünü azalttığı fakat hata oranını arttırdığı gözlemlenmiştir. Bir diğer gözlem ise uçuş sırasında gelişmiş sistemlerin iş yüklerini azaltmalarında çok etkisi olmadığını söyleyen pilotların, hemen uçuş sonrasında bu gelişmiş sistemlerin iş yüklerini azalttığını veya kesin azalttığını söylemişlerdir.

Sivil havacılık için güvenlik en önemli konudur ve insan faktörü doğrudan bir uçağın güvenliğini etkiler. Tekniklerin gelişmesiyle birlikte uçak kazalarında ciddi bir düşüş görülmüştür. NASA istatistiklerince kazaların %75'i insan performansı kaynaklıdır. Zheng ve diğerleri (2011) yaptıkları çalışmada kokpit tasarım aşamasında NASA TLX pilotların iş yüklerini ölçerek en doğru tasarımı bulmak için tasarım aşamasında uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Aldıkları sonuca göre NASA TLX kokpit tasarımı aşamasında pilotların hissettikleri iş yüküne göre en uygun tasarımı bulmada yardımcı bir araç olarak kullanılabilir. Böylece tasarım aşamasında ileride oluşabilecek tasarımsal güvenlik riskleri azaltılabilir.

3. ARAŞTIRMADA UYGULANAN MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. NASA Görev Yüğü İndeksi (NASA-TLX)

Araştırmamızda önceki bölümlerde incelenen ölçüm yöntemlerinden NASA-TLX yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Sübjektif yöntemler uygulamada sağladıkları kolaylık, düşük maliyet ve iş yükü ölçüm sonuçlarındaki hassasiyeti sayesinde araştırmada kullanılması için elverişlidir. Sübjektif ölçüm yöntemlerinden NASA-TLX ise diğer yöntemlere nazaran daha doğru sonuçlar verdiği ve geniş kabul gördüğü için araştırmamızda kullanılmıştır.

NASA-TLX altı farklı alt ölçütü zihinsel iş yükünü ölçümleyen çok boyutlu oranlamalı bir yöntemdir. Bu altı ölçüt: Zihinsel Talep, Fiziksel Talep, Zamansal Talep, Performans, Efor ve Rahatsızlık Seviyesidir. Bu altı alt ölçütün tanımları Tablo 3.1.'de verilmiştir.

Altı alt ölçüt üç gruba ayrılabilir. Görevin karakteristiği: Zihinsel, Fiziksel ve Zamansal talepler. Davranışsal karakteristikler: Performans ve Efor. Bireysel karakteristik: Rahatsızlık Seviyesi.

NASA-TLX'in ilk versiyonu dokuz alt ölçüt içermekteydi. Teknik ağırlıklar ve ortalamalarla iş yüküne katılımcı farklarını en az düzeye indirmek için tasarlanmıştır. Bu teknik NASA Çift Taraflı Oranlandırılmış Ölçüt olarak adlandırılmış ve kısmende olsa katılımcılar arasındaki farkların en aza indirgenmesini sağlamıştır. Fakat deneysel uygulamalardaki belirlenen hassasiyeti hali hazırda mevcut olan metotların bir çoğuna göre iyi sonuç vermesine rağmen tatmin edici bulunmamıştır (Hart ve diğ, 1984). Ayrıca ölçütün simülasyonlarda ve gerçek ortamlarda etkin şekilde kullanımı için dokuz alt ölçütün çok fazla olduğuna kanaat getirilmiştir. Sonuç olarak bazı alt ölçütlere iş yüküne etkilerinin ilgisiz olduğu bulunmuş ve ölçüt yeniden revize edilerek NASA İş Yüğü İndeksi geliştirilmiştir. Bu süreçte Yorgunluk gibi alt ölçütler çıkartılmış, bazı yeni ölçütler eklenmiş ve diğer ölçütler ise yeniden düzenlenmiştir.

Tablo 3.1. NASA TLX Alt Ölçüt Tanımları

Başlık	Aralık Değerlendirme /	Tanım
Zihinsel Talep	Düşük/Yüksek	Ne kadar zihinsel ve algılama aktivitesine ihtiyaç duyulduğu. (Düşünme, karar verme, hesaplama, hatırlama, bakma, arama vb.) Görevin icrası hatasız ve kesin mi olmalı yoksa hata kabul edilebilir mi? Görev kolay mı zor mu? Sade mi karmaşık mı?
Fiziksel Talep	Düşük/Yüksek	Ne kadar fiziksel aktiviteye ihtiyaç duyulduğu?(ittirme, çekme, çevirme, kontrol etme, çalıştırma vb.) Görev basit mi yoksa yorucu mu, yavaş mı hızlı mı, gelişi güzel yapılabilir mi özel bir özen mi istiyor?
Zamansal Talep	Düşük/Yüksek	Belirli görevin bir aşamasını yerine getirirken ne kadarlık bir zaman baskısı, kısıtı üzerinizde hissetmektesiniz? Görevi yerine getirmek için atılan adımların hızlı ya da yavaş olması?
Performans	İyi/kötü(yetersiz)	Verilen görevin hedeflerine ulaşmada sizi göre veya denetçilere göre ne derece başarılı olduğunuzu düşünüyorsunuz? Görevinizi yerine getirirken ne derece tatmin edilmiş oluyorsunuz?
Efor	Düşük/Yüksek	Görevinizi yerine getirmek için ne kadar ağır çalışma gereklidir?(Zihinsel ve fiziksel)
Rahatsızlık Seviyesi	Düşük/Yüksek	Görevinizi yerine getirirken kendinizi ne kadar güvensiz, gayri memnun, zarar görmüş, gerilmiş, sinirlenmiş, karışık, gevşek ya da karmaşık hissediyorsunuz?

İş yükü tanımı katılımcılar ve araştırmacılar arasında çok farklı şekillerde algılandığında (iş yükü literatüründe ve ölçütü yapanlar arasındaki değişikliğin karışıklığa katkısı), değişik kaynaklar tarafından etkilenen özel kaynakların yüklenmesi iş yükü ölçümü tecrübelerine göre daha fazla belirleyici konumdadır. Bu nedenle görev yükü indeksi alt ölçütleri içeriklerinin önemlerinin ağırlıklandırılması ile birleştirilir.

3.1.1. Genel bilgi

NASA-TLX’de bulunan altı ölçütün her birinin bir işin yüküne katkıda bulunduğu oranlar ölçüme katılan kişiler tarafından ikili karşılaştırmalarla ölçülmüştür. Alt ölçütlerin oranlarının büyüklükleri görevin veya görevin belirli bir bölümünün tamamlanmasının ardından ölçümlenmiştir. Bir görevin iş yükünün oluşmasında önemli katkısı olduğu

düşünülen faktörlere programın hesaplanmasında daha fazla ağırlık verilerek ölçümün hassasiyeti arttırılabilir.

Ağırlıklar ve oranlar birbiriyle ilişki olabilirde olmayabilirdir. Örnek olarak görevin iş yüklenmesinde zihinsel taleplerin temel kaynağı oluşturmasına karşın zihinsel taleplerin varlığı düşük olabilir. Buna karşın zaman baskısı altında çalışma belirli bir işin yüklenmesinin temel kaynağı olabilmesine karşın görevin belirli aşamasında zaman baskısının oranı yüksek diğerlerinde düşük olabilir.

İş yükünün ölçülmesi katılımcıların oranlandırmayı hızlı verebileceklerinden ötürü operasyonel ortamlarda yapılabilir. Faaliyetlerin yapılması esnasında video çekimleri ile veya bilgisayar desteği ile kaydedilerek daha sonra değerlendirilmesi sonucunda da ölçümlenebilir.

İş yükü indeksi uçuş simülasyonlarından denetçi kontrol simülasyonlarına ve laboratuvar görevlerine kadar bir çok tecrübe edilmiş görevlerde test edilmiştir. Ölçümlenmiş iş yükü skorları tek boyutlu iş yükü oranlamalarına nazaran oranlayanların değişikliği durumlarında daha az tatmin edici sonuçlar sunmuşlardır. Alt ölçütler yüklenme kaynakları ile ilgili teşhissel bilgi sağlamaktadırlar.

3.1.1.1. Yüklenme kaynakları (Ağırlıklar)

NASA- TLX yöntemi ağırlıklandırma ve oranlamadan oluşan iki aşamalı bir yöntemdir. İlk gereksinim her katılımcı için alt ölçütleri iş yüküne katkısı oranında ağırlıklandırmasıdır. Bu ağırlıklar iki duruma kaynak oluşturur: katılımcılar arasında iş yükü tanımlarının değişkenliği, görevler arasındaki kaynakların değişkenliği. Ayrıca ağırlıklar kendi başına görev tarafından maruz bırakılan işyükünün doğasının tanımlama olanağı sağlar.

Altı alt ölçütün onbeş adet ikili kombinasyonu bulunur. Her çift bir kartta gösterilir. Ek A'da 15 adet ikili karşılaştırmanın bulunduğu kart verilmiştir. Katılımcılar iş yüküne en fazla katkıda bulunduğunu düşündüğü ölçütü yuvarlak içine alır. Her ölçütün kaç kez seçildiği sayılır. Bu sayımlar 0 (hiç ilişkisi yok) ile 5 (diğer faktörlerden çok daha önemli) arasında olabilir.

3.1.1.2. Yüklenenin büyüklükleri (Oranlamalar)

İkinci gereksinim ise her ölçütün belirli görevin yarattığı yüklenmeye olan yansımasının sayısal olarak belirlenmesidir. Altı ölçüt Ek B'de verilen ölçüt kartı ile ölçümlenir. Oranlamalar görev esnasında, görev bölümleri sonunda ve görevden hemen sonra değerlendirilebilir.

3.1.1.3. Ağırlıklandırma ve ortalama işlemi (Birleştirme)

Katılımcılar için genel iş yükü bir ölçüte verilen ağırlıkla karşısındaki oranı çarparak bulunur. Sayım kağıdı ve Hesaplama kağıdı örnekleri Ek C ve Ek D'de sırasıyla verilmiştir.

3.1.2. Deneysel yöntem

Genel olarak NASA-TLX yönteminde bir görev için veri toplama adımları aşağıdaki sırayla ilerler:

- Katılımcıların bilgilendirilir. Katılımcılar bu adımda ölçek tanımlarını ve talimatları okurlar.
- Katılımcılar yönteme alışık hale gelirler.
- Katılımcılar oranlamaları doldururlar.
- Katılımcılar oranlamaları doldurduktan sonra ağırlıkları doldururlar.

3.1.3. Veri analiz işlemi

Ağırlıklandırılmış işyükü skorları aşağıdaki şekilde hesaplanır.

3.1.3.1. Sayım kağıdı

Her katılımcı için Ek C'de bulunan sayım kağıdı her ölçütün ağırlığını bulmak için doldurulur. Katılımcının her yuvarlak içine aldığı faktör için sayım kağıdının sayım kolonuna o faktör için 1 işaret koyulur ve sonuçta işaret sayısı kadar ağırlık ağırlıklar kolonuna yazılır.

3.1.3.2. Hesaplama kağıdı

Sayım kağıdındaki ağırlık kolonu daha sonra Ek D'de bulunan hesaplama kağıdına transfer edilir. Bu ağırlıklar toplanan ham ağırlık verisiyle çarpılarak her ölçüt için ağırlıklar

hesaplanmış olur. Tüm ağırlıklar toplanıp 15'e bölünerek katılımcı için ağırlıklandırılmış işyükü skoru hesaplanır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma özel bir havayolu şirketinde Boeing 737-800 tipi uçaklar için tip eğitimi alan farklı deneyime sahip pilotların eğitim simulatörleri sırasında hissettikleri zihinsel işyükünü ölçmek amacıyla yapılmıştır. Araştırmada subjektif yöntemlerden NASA-TLX yöntemi kullanılmıştır. Veri toplama işlemi hazırlanan anket kağıdı ile yapılmış, daha sonra, üçüncü bölümde anlatılan yöntemle verilerin değerlendirme sonuçları elde edilmiştir. Uygulamaya farklı deneyimlerde farklı yaş gruplarından 45 adet pilot katılmıştır.

4.1. Araştırmanın Amacı

Araştırmanın temel amacı farklı deneyimlere sahip pilotların eğitim simulatörlerinde hissettikleri zihinsel işyükünün NASA-TLX yöntemi ile ölçülerek karşılaştırmalarının yapılmasıdır. İkinci bir karşılaştırma ise pilotların yaş grupları arasında yapılacaktır. Uygulamaya üç grup pilot katılmıştır, bunlardan birinci grup uçuş tecrübesi 500 saat altında ve havayolu uçuş tecrübesi olmayan pilotlar, ikinci grup uçuş tecrübesi 1500 saat üzerinde olan askeri pilotlar, üçüncü grup ise daha önceden başka bir uçak tipinde uçmuş, uçuş tecrübesi 5000 saat üzerindeki havayolu pilotlarıdır. Bu üç grup pilot arasında deneyim ve yaş gruplarının zihinsel yüklenmede ne tür değişiklikler yaratabileceği araştırılmıştır. Konu ile ilgili literatürde benzer çalışma bulunmadığından bundan sonraki çalışmalara kaynak olması arzusu ile tezin devamında yapılabilir çalışmalar belirtilmiştir.

4.1.1. Araştırmanın kapsamı

Bu çalışmada aktif olarak eğitim gören pilotlar arasından belirlenen üç deneyim kriterine uygun olan pilotlar çalışmaya katılmıştır. Bu grupların zihinsel iş yüküleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca yaş kriteri göz önüne alınmıştır. Katılımcı pilotlar yaş gruplarına ayrılarak ikinci bir karşılaştırma yapılmıştır. Karşılaştırmalarda bu grupların zihinsel işyüküne olan tesiri incelenmiştir.

4.1.2. Araştırmanın önemi

Günümüzde sivil havacılık hızla büyüyen ve gelişen bir sektördür. Sivil havacılık otoriteleri ve özel havayolları için en önemli konulardan biri ise güvenliği sağlamaktır. Güvenlik dış etkenlerden etkilendiği kadar, kokpit personelinin deneyimi, becerileri ve yeteneklerine de bağlıdır. Ayrıca kokpit personelinin yaşanabilecek zor durumlara hazırlıklı olması gereklidir. Bu yüzden havayolları uçak tipleri için geliştirilen eğitim simülatörlerini kullanırlar. Bu simülatör eğitimlerinde çeşitli uçuş tipleri ve arıza senaryoları simüle edilerek pilotların uçuş yetenekleri ölçümlenir. Bu çalışmada deneyimin ve yaşın bu simülatörlerde hissettikleri iş yüküne etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar pilot seçimi aşamasında veri olarak kullanılabilir.

4.1.3. Araştırmada veri toplama yöntemi

Araştırma yöntemi olarak NASA-TLX yöntemi belirlenmiştir. Veri toplama süreci NASA-TLX anket formlarıyla sağlanmıştır. Kişisel etkilerin ortadan kaldırılması için anket katılımcılara bire bir uygulanmıştır. Bu şekilde hem sorulara daha bilinçli yaklaşımları hem de tereddütte buldukları en küçük ayrıntılar dahi açıklanarak anketin etkili olması sağlanmıştır. Ankete başlamadan önce uygulama hakkında eğitim verilmiştir. Daha sonra bu veriler üçüncü bölümde anlatılan analiz yöntemiyle değerlendirilmiş ve ağırlıklandırılmış iş yükleri elde edilmiştir.

4.1.4. Uygulamanın yapılacağı kitlenin belirlenmesi

Uygulamanın yapılacağı kitle, tezin hedefleri doğrultusunda, özel bir hava yolu şirketi bünyesinde Boeing 737-800 tip eğitimi alan farklı deneyimlere sahip pilotlar olarak belirlenmiştir. Belirlenen deneyim kriterlerini sağlayan pilotlar NASA-TLX anketine katılmışlardır.

4.2. Değerlendirme Sonuçları

NASA-TLX anketlerinin değerlendirilmesinden sonra 45 kişi için elde edilen işyükü ölçümleri elde edilmiştir. Grupların farklarını ortaya koymak için bu veriler üzerinden Mann-Whitney analizi yapılacaktır. Mann-Whitney analizi istatistik bilim dalında niceliksel ölçekli gözlemleri verilen iki örneklemin aynı dağılımdan gelip gelmediğini incelemek için kullanılan parametrik olmayan istatistik testidir. Bu testle iki bağımsız örneklemden elde edilen verilerin birbirlerinden anlamlı bir şekilde farklılık gösterip gösterilmediği test edilir.

Başka bir değişle, bu test iki bağımsız grubun, ilgilenilen değişken bakımından evrende benzer dağılımlara sahip olup olmadığını test eder. U-testi, bağımlı değişkenin en az sıralama ölçeğinde ve gözlemlerin birbirinden bağımsız olmasını gerektirir.

Deneyim seviyeleri olarak ayırdığımız üç grubun iş yükü dağılımlarının analizinde ve araştırmaya katılan pilotların yaş grupları için ayrı ayrı Mann-Whitney analizi uygulanmıştır.

4.2.1. Değerlendirme sonuçlarının analizi

3 grup arasındaki deneyim farklarının hissedilen iş yüküne etkisini gözlemleyebilmek için NASA-TLX skorlarının karşılaştırılmasında Mann-Whitney analizi kullanılmıştır.

Deneyimlerine göre ayrılmış üç grup pilot: birinci grup uçuş tecrübesi 500 saat altında ve havayolu uçuş tecrübesi olmayan pilotlar, ikinci grup uçuş tecrübesi 1500 saat üzerinde olan askeri pilotlar, üçüncü grup ise daha önceden başka bir uçak tipinde uçmuş, uçuş tecrübesi 5000 saat üzerindeki havayolu pilotlarıdır. Bu üç grubun hissettiği iş yüklerine deneyimlerinin etkisini araştırmak için Mann-Whitney analizi uygulanmıştır.

Tablo 4.1. Tecrübeye Göre NASA- TLX Skorları

	Grup	Toplam	Zihinsel	Fiziksel	Zamansal	Performans	Çaba	Rahatsızlık	Yaş
Tecrübeye Göre	1	64,97357	16,96455	3,828889	11,11778	9,121818	19,20636	12,668333	27,66667
	2	65,56333	16,15308	8,185556	11,728	8,25	15,62357	11,414	43,8
	3	69,47133	14,04417	8,017273	12,86154	6,861538	16,06667	16,796429	49,2

Tablo 4.1.'de tecrübeye göre elde edilen NASA-TXL skorları, 6 alt ölçek ve toplam işyükü olmak üzere 7 faktör, 3 grup için toplam 21 karşılaştırma yapılarak Tablo 4.2. 'deki sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 4.2. Tecrübeye Göre Mann-Whitney Analiz Sonuçları

Tecrübeye Göre						
	1 2		1 3		2 3	
	Tek kuyruk	İki kuyruk	Tek kuyruk	İki kuyruk	Tek kuyruk	İki kuyruk
Toplam	0,567	0,548	0,285	0,272	0,486	0,468
Zihinsel	0,325	0,309	0,098	0,097	0,595	0,589
Fiziksel	0,461	0,431	0,037	0,035	0,325	0,315
Zamansal	0,056	0,056	0,021	0,022	0,412	0,406
Performans	0,217	0,215	0,116	0,11	0,775	0,771
Çaba	0,512	0,506	0,486	0,48	1	1
Rahatsızlık	0,775	0,755	0,089	0,085	0,187	0,184

Tablo 4.2.'ye göre gruplar arası tecrübeye göre yapılan karşılaştırmalarda elde edilen sonuçların yorumları aşağıda verilmiştir. $p < 0,05$ olan sonuçlar anlamlı fark içeren sonuçlar olarak değerlendirilir. $p > 0,05$ olan sonuçlar ise karşılaştırılan gruplar arasında anlamlı fark olmadığını göstermektedir.

Buna göre birinci ve üçüncü gruplar arasında fiziksel ağırlıklı iş yükü karşılaştırmasının anlamlı fark oluşturduğu gözlemlenmektedir. Tablo 4.3.'te verilen ortalamalar dikkate alındığında üçüncü grubun fiziksel iş yükünün birinci grubun fiziksel iş yükünden daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Deneyimli havayolu pilotları, deneyimi olmayan pilot adaylarına göre eğitim simülatörlerinde fiziksel iş yükünü daha fazla hissetmektedir. Deneyimli pilotlar yaş ortalaması olarak daha yaşlı oldukları için fiziksel iş yükünü daha fazla hissetmeleri yaşları ve kondisyonları ile bağlantılı olabilir.

Tablo 4.3. Birinci ve Üçüncü Gruplar Ağırlıklandırılmış Fiziksel İş Yükü Ortalamaları

	G	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Ağırlıklandırılmış Fiziksel İşyükü	1	15	12,13	182,00
	3	15	18,87	283,00
	Total	30		

Tablo 4.3'e göre birinci ve üçüncü gruplar arasında zaman ağırlıklı iş yükü karşılaştırması anlamlı fark olduğunu göstermektedir. Tablo 4.4'de verilen ortalamalar dikkate alındığında üçüncü grubun zamansal iş yükünün birinci grubun zamansal iş yükünden daha fazla olduğu

anlaşılmaktadır. Deneyimli havayolu pilotları, deneyimi olmayan pilot adaylarına göre eğitim simülatörlerinde zamansal iş yükünü daha fazla hissetmektedir. Deneyimli pilotların zamansal iş yükünü fazla hissetmelerinin nedeni, daha önce bir havayolunda pilotluk görevini icra etmeleri ve simülatörlerde başarısız olma kaygılarını taşımaları olabilir. Deneyimsiz pilot adayları ise yaşları ve konumları itibari ile simülatörlerde bu tip kaygılar taşımamaktadırlar. Deneyimli pilotlar simülatör esnasında verilen görevleri en kısa ve en doğru şekilde tamamlamaya odaklandıklarından zamansal iş yükü ile yüklenmektedirler.

Tablo 4.4. Birinci ve Üçüncü Gruplar Ağırlıklandırılmış Zamansal İş Yükü Ortalamaları

	G	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Ağırlıklandırılmış Zamansal İşyükü	1	15	11,83	177,50
	3	15	19,17	287,50
	Total	30		

Deneyim bazlı karşılaştırmada bu farklılıklar dışında alınan sonuçlar gruplar arasında anlamlı bir fark olmadığını göstermektedir. Bu farklar deneyimin iş yüküne olan etkisi bakımından sonuç çıkartmak için yeterli olmadığından farklı karşılaştırmalar araştırılmış, gruplar yaşlarına göre düzenlenerek ikinci bir analiz yapılmıştır.

Araştırmaya katılan pilotlar 23-30 yaş, 31-47 yaş ve 48-52 yaş olmak üzere üç yaş grubuna ayrılarak, pilotların hissettikleri iş yüklerine yaşlarının etkisini araştırmak için Mann-Whitney analizi uygulanmıştır.

Tablo 4.5. Yaşa Göre NASA-TLX Skorları

	Grup	Toplam	Zihinsel	Fiziksel	Zamansal	Performans	Çaba	Rahatsızlık	Yaş
Yaşa Göre	20-30	64,762	17,60667	3,606	10,106	8,705833	19,83333	12,890833	27,625
	30-40	66,53692	14,1875	10,24444	12,49333	7,151818	15,75727	12,961	42,46154
	40-50+	72,68154	15,2	6,806	12,27167	8,981429	16,52727	18,897273	52,92308

Tablo 4.5.'te yaşa göre elde edilen NASA-TXL skorları, 6 alt ölçek ve toplam işyükü olmak üzere, 7 faktör 3 grup için toplam 21 karşılaştırma yapılarak Tablo 4.6.'daki sonuçlar sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 4.6. Yaşa Göre Mann-Whitney Analiz Sonuçları

Yaşa Göre						
	1-2		1-3		2-3	
	Tek kuyruk	İki kuyruk	Tek kuyruk	İki kuyruk	Tek kuyruk	İki kuyruk
Toplam	0,563	0,544	0,142	0,141	0,683	0,662
Zihinsel	0,028	0,029	0,892	0,89	0,123	0,117
Fiziksel	0,043	0,039	0,097	0,089	0,274	0,265
Zamansal	0,048	0,049	0,044	0,045	0,786	0,764
Performans	0,432	0,414	0,249	0,261	0,618	0,612
Çaba	0,65	0,63	0,278	0,273	0,618	0,612
Rahatsızlık	0,65	0,629	0,027	0,028	0,108	0,102

Tablo 4.6.'ya göre gruplar arası yaşa göre yapılan karşılaştırmalarda elde edilen sonuçların yorumları aşağıda verilmiştir. $p < 0,05$ olan sonuçlar anlamlı fark içeren sonuçlar olarak değerlendirilir. $p > 0,05$ olan sonuçlar ise karşılaştırılan gruplar arasında anlamlı fark olmadığını göstermektedir.

Buna göre gruplar arası yaş farkı bazında birinci ve ikinci gruplar arasında zihinsel ağırlıklı iş yükü karşılaştırmasında anlamlı bir fark olduğu ortaya çıkmıştır. Tablo 4.7.'de verilen ortalamalar dikkate alındığında, zihinsel iş yükü genç yaş grubunda daha fazladır, bunun nedeni olarak bu grubun daha tecrübesiz olması büyük etkindir. Deneyimli pilotlar simülasyon uçuşunda karşılaştıkları durumları gerçek deneyimleri ile karşılaştırma yoluyla problemleri daha kolay aşabilmektedir. Genç grup ise teorik olarak öğrendiklerini pratikte uygulamada eksik olduklarından zihinsel iş yükünü daha fazla hissetmektedir.

Tablo 4.7. Birinci ve İkinci Gruplar Ağırlıklandırılmış Zihinsel İş Yükü Ortalamaları

	G	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Ağırlıklandırılmış Zihinsel İşyükü	1	17	18,56	315,50
	2	13	11,50	149,50
	Total	30		

Sonuçlara göre birinci ve ikinci yaş grubu arasında fiziksel ağırlıklı iş yükü karşılaştırmasında anlamlı bir fark olduğu ortaya çıkmıştır. Tablo 4.8.'de verilen ortalamalar dikkate alındığında, fiziksel ağırlıklı iş yükü orta yaş grubunda, genç gruba göre daha fazladır.

Tablo 4.8. Birinci ve İkinci Gruplar Ağırlıklandırılmış Fiziksel İş Yükü Ortalamaları

	G	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Ağırlıklandırılmış Fiziksel İşyükü	1	17	12,65	215,00
	2	13	19,23	250,00
	Total	30		

Sonuçlara göre ayrıca birinci ve ikinci yaş grubu arasında zamansal ağırlıklı iş yükü karşılaştırmasında anlamlı bir fark olduğu ortaya çıkmıştır. Tablo 4.9.'da verilen ortalamalar dikkate alındığında, zamansal ağırlıklı iş yükü orta yaş grubunda, genç yaş grubuna göre daha fazladır.

Tablo 4.9. Birinci ve İkinci Gruplar Ağırlıklandırılmış Zamansal İş Yükü Ortalamaları

	G	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Ağırlıklandırılmış Zamansal İşyükü	1	17	12,74	216,50
	2	13	19,12	248,50
	Total	30		

Yaşa göre yapılan karşılaştırma sonuçlarına göre birinci ve üçüncü yaş grubu arasında zamansal ağırlıklı iş yükü karşılaştırmasında anlamlı bir fark olduğu ortaya çıkmıştır. Tablo 4.10.'da verilen ortalamalar dikkate alındığında, zamansal ağırlıklı iş yükü yaşlı grupta daha fazladır.

Tablo 4.10. Birinci ve Üçüncü Gruplar Ağırlıklandırılmış Zamansal İş Yükü Ortalamaları

	G	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Ağırlıklandırılmış Zamansal İşyükü	1	17	13,38	227,50
	3	15	20,03	300,50
	Total	32		

Araştırma sonucuna göre pilotlar arasındaki deneyim farkı eğitim simülatörlerinde hissettikleri işyükü açısından farklılığa sebep olmamaktadır. Fakat farklı yaş gruplarında bulunan pilotların hissettikleri iş yükü zihinsel talep, fiziksel talep ve zamansal talep açısından farklılıklar göstermektedir. Yaş faktörü pilotların hissettikleri zihinsel işyükünü etkilemektedir.

Deneyimli askeri ve havayolu pilotları, simülatörlerde deneyimlerinden kaynaklı bir baskı hissetmektedir. Bu gruptaki pilotlar simülatör uçuşlarında deneyimli olmalarından ötürü başarısız olmamaları gerektiğini düşünmekte, bu yüzden zamansal ve fiziksel talep açısından genç ve deneyimsiz gruptan daha fazla iş yükü hissetmektedir.

Buna karşın deneyimsiz pilotlar ise deneyimli pilotlara göre zihinsel talep bakımından daha fazla yüklenmektedir. Deneyimsiz pilotların uçuş tecrübelerinin azlığı karşılaştıkları senaryolarda teorik bilgileri içerisinden gerekli veriyi işlemelerini gerektirir. Deneyimli pilotlarda ise artık senaryolar problem çözmeden çok reflekse dönüşmüştür. Bu yüzden zihinsel yüklenmeleri daha azdır.

Araştırmaya katılan pilotlarda kadın sayısı erkek sayısına göre çok az olduğu için cinsiyet bakımından karşılaştırma yapılamamıştır, fakat cinsiyet farkına göre pilotların zihinsel yüklenmeleri incelemeye açık bir konudur. Ayrıca deneyim grupları, yaş grupları ve cinsiyet açısından daha geniş kapsamlı farklı gruplar üzerinden araştırma ve analiz yapılması daha önce çalışılmamış incelemeye açık bir alandır. Çalışma genişletilerek bu konudaki literatür açığı kapatılabilir. Böyle bir çalışma sonucuna göre farklı yaş gruplarında farklı deneyime sahip pilotların en uygun görevlere dağıtımı için bir taslak hazırlanabilir.

Hangi tip senaryoların pilotlar üzerinde en fazla işyükünü yarattığını ölçmek içinse simülatörlerde kullanılan farklı senaryo tipleri için NASA-TLX tek tek uygulanarak analiz yapılabilir. Daha detaylı bir araştırma ise bu senaryolarda pilotların deneyim, yaş ve cinsiyet kırımlarına göre analizler yapılabilir.

KAYNAKLAR

Battiste V., Bortolussi M., Transport Pilot Workload: A Comparison of Two Subjective Techniques, Santa Monica, *Human Factors Society 32nd Annual Meeting*, Santa Monica, USA, 24-28 October 1988.

Beevis D., Analysis Techniques for Man-Machine Systems Design, *NATO Defence Research Group*, Report AC/243 (Panel 8) TR/7 Vol. 2, 1992.

Boyd S.P., Assessing the Validity Of SWAT as a Workload Measurement Instrument, *Proceedings of the Human Factors Society - 27th Annual Meeting*, Norfolk Virginia, USA, 22-26 October 1983.

Brenner M., Doherty E. T., Shipp T., Speech Measures Indicating Workload Demand, *Aviation Space and Environmental Medicine*, 1994, **65**(1), 21-26.

Brookings J. B., Wilson G. F., Swain C. R., Psychophysiological Responses to Changes in Workload During Simulated Air Traffic Control, *Biological Psychology*, 1996, **42**(3), 361-377.

Brown I. D., Poulton E. C., Measuring the spare mental capacity of a car driver by a subsidiary task, *Ergonomics*, **4**, 35-40, 1961.

Byers J. C., Bittner A. C., Hill S. G., Zaklad A. L., Christ R. E., Workload Assessment of a Remotely Piloted Vehicle (RPV) System, *Human Factors Society 32nd Annual Meeting*, Santa Monica, USA, 24-28 October 1988.

Casali J., Wierwille W. W., On the Measurement of Pilot Perceptual Workload: A Comparison Of Assesment Techniques Addressing Sensivity And Intrusion Issues, *Ergonomics*, 1984, **27**(10), 1033–1050.

Casner S. M., Perceived vs. Measured Effects of Advanced Cockpit Systems on Pilot Workload and Error: Are Pilots' Beliefs Miss Aligned with Reality?, *Applied Ergonomics*, 2009, **40**, 448-456.

Cooper G., Harper R., The Use Of Pilot Ratings In The Evaluation Of Aircraft Handling Qualities, NASA Ames Research Center, NASA Ames Technical Report TN-D-5153, 1969.

Costa G., Evaluation of Workload in Air-Traffic Controllers, *Ergonomics*, 1993, **36**(9), 1111-1120.

Crabtree M. S., Benefits of Using Objective and Subjective Workload Measure, *Proceedings of the Human Factors Society-28th Annual Meeting*, San Antonio, Texas, 22-26 October 1984.

De Waard D., The Measurement of Drivers' Mental Workload, Phd Thesis, University of Groningen, Traffic Research Centre, 1996.

- Derrick W. L., Dimensions of Operator Workload, *Human Factors*, 1988, **30**(1), 95-110.
- Eggemeier F. T. Properties Of Workload Assessment Techniques., *Human Mental Workload*, 1988, **12**, 41-62.
- Ellis G. A. and Roscoe, A. H. The *Airline Pilot's View of Flight Deck Workload: A Preliminary Study Using a Questionnaire*, Royal Aircraft Establishment Technical Memorandum, No FS (b) 465, 1982.
- Gopher D. and Donchin E., Workload- An Examination of the Concept, *Handbook of Perception and Human Performance: Sensory processes and perception*, 1986, **41**,1-49.
- Hancock P. A., Robinson M. A., Chu A. L., Hansen D. R., Vercryuysen M., The Effect Of Practice on Tracking and Subjective Workload, *Human Factors Society 33rd Annual Meeting*, Santa Monica, USA, 16-20 October 1989.
- Hankins T. C., Wilson G. F., A Comparison of Heart Rate, Eye Activity, EEG and Subjective Measures of Pilot Mental Workload During Flight, *Aviation Space and Environmental Medicine*, 1998, **69**(4), 360-367.
- Hart S. G., Staveland L. E., Development of NASA – TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research, Editors: Hancock P. A., Meshkati N., *Human Mental Workload*, 1st ed, North Holland, Amsterdam, 139-183,1988.
- Hart S. G., Wickens C. D., Workload assessment and prediction, Editor: H.R. Boohar, *Manprint: An approach to systems integration*, 1st ed, Van Nosstrand Reinhold, New York, 257 – 296, 1990.
- Hicks T. G., Wierwille W. W., Comparison of Five Mental Workload Assessment Procedures in a Moving-Base Driving Simulator, *Human Factors*, 1979, **35**(4), 129-143.
- Hill S. G., Iavecchia H. P., Byers J. C., Bittner A. C., Zakland A. L., Christ R. E., Comparison of 4 Subjective Workload Rating-Scales, *Human Factors*, 1992, **21**(2), 129-143.
- Jorna P. G. A. M., Spectral Analysis of Heart Rate and Psychological State: A Review of Its Validity as a Workload Measure, *Biological Psychology*, 1992, **34**, 237-257.
- Jorna P. G. A. M., Heart-Rate and Workload Variations in Actual and Simulates Flight, *Ergonomics*, 1993, **36**(9), 1043-1054.
- Kantowitz B. H., Selecting Measures for Human-Factors Research, *Human Factors*, 1992, **34**(4), 387-398.
- Lahtinen T. M. M., Koskelo J. P., Leino T. K., Heart Rate and Performance During Combat Missions in a Flight Simulator, *Aviation Space and Environmental Medicine*, 2007, **78**(4), 378-391.
- Lidderdale I. G., Measurement of Aircrew Workload During Low-Level Flight, The Practical Assessment Of Pilot Mental Workload, AGARDograph, No.282, 78-82, 1987
- Lysaght R. J., Hill S. G., Dick A. O., Plamondon B. D., Linton P. M., Wierwille W. W., Zaklad A. L., Bittner A. C., and Wherry R. J., Operator workload: Comprehensive Review

and Evaluation of Operator Workload Methodologies, U.S. Army Research Institute, Report 851, 1989.

Moray N., Models and Measures of Mental Workload, Part I, Mental Workload, *NATO Conference Series*, 1979, **8**, 13-21.

Muckler F. A., Seven S. A., Selecting Performance-Measures-Objective versus Subjective Measurement, *Human Factors*, 1992, **34**(4),441-455.

Nataupsky M. and Abbott T. S., Comparison of Workload Measures on Computer Generated Primary Flight Displays, *Human factors Society 31st Annual Meeting*, Santa Monica, USA, 19-22 October 1987.

Noyes J. M., Bruneau D. J. P., A-Self Analysis of the NASA-TLX Workload Measure, *Ergonomics*, 2007, **50**(4), 514-519.

Özok A. F., Ergonomi Alanındaki Son gelişmeler ve Türk Sanayisinin Bu Açıdan Değerlendirilmesi, *5. Ergonomi Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 15-17 Kasım 1995.

Pfendler C., Vergleich der Zwei-Ebenen Intensitäts-Skala und des NASA Task Load Index bei der Beanspruchungsbewertung während Lernvorgängen. *Z. Arb. Wiss.* 47 (19 NF) 1993/1, 26-33,1993.

Pfendler C., Widdel H., Gedächtnisleistung und Beanspruchung beim Wiedererkennen von farbigen und schwarzweißen Reizmustern auf elektronischen Anzeigen., Forschungsinstitut für Anthropotechnik, Report No. 81,1988.

Pitrella F. D., Käppler W. D., Identification and evaluation of scale design principles in the development of the Sequential Judgement, extended range Scale., Forschungsinstitut für Anthropotechnik, Report No. 80, 1988.

Reid G. B., Shingledecker C. A., Nygren T. E., Eggemeier F. T., Development of Multidimensional Subjective Measures of Workload, *IEE International Conference on Cybernetics and Society*, 26-28 October 1981.

Rokicki S. M., Psychophysiological Measures Applied to Operational Test and Evaluation, *Biological Psychology*, 1995, **40**(1-2), 223-228.

Roscoe A. H., In-Flight Assessment of Workload Using Pilot Ratings and Heart Rate, The Practical Assessment Of Pilot Workload, AGARDograph No. 282, 78-82, 1987.

Roscoe A. H., Assessing Pilot Workload – Why Measure Heart-Rate, Hrv, and Respiration, *Biological Psychology*, 1992, **34**(2-3), 259-287.

Roscoe A. H., Heart-Rate as a Psychophysiological Measure for in-Flight Workload Assessment, *Ergonomics*, 1992, **36**(9), 1055-1062.

Sabbatini R.M.E., The History of the Electroencephalogram., *Brain and Mind Magazine.*, <http://www.epub.org.br/cm/n03/tecnologia/historia/htm> (Ziyaret tarihi: 12 Ekim 2012).

Samel A., Wegman H. M., Vejvoda M., Aircrew Fatigue In Long-Haul Operations, *Accident Anaysis.and Prevention*, 1997, **29**(4) 439-452.

- Sanders M. S., McCormick E. J., *Human Factors in Engineering and Design*, McGraw Hill Int. Editions, Psychology Series, 1993.
- Sepehr M. M., Assessment of Subjective Mental Workload Using NASA-Task Load Index. *7th European Annual Conference on Human Decision Making and Manual Control*, France, 10-12 October 1988.
- Sirevaag E. J., Kramer A. F., Wickens C. D., Reisweber M., Strayer D. L., Grenell J. F., Assessment of Pilot Performance and Mental Workload in Rotary Wing Aircraft, *Ergonomics*, 1993, **36**(9), 1121-1140.
- Sohn S. Y., Jo Y. K., A Study on the Student Pilot's Mental Workload Due to Personality Types of Both Instructor and Student, *Ergonomics*, 2003, **46**(15), 1566-1577.
- Stern A. J., Skelly J. J., The eye blink and Workload Considerations, *Human Factors Society – 28th Annual Meeting*, San Antonio, USA, 22-26 October 1984.
- Tattersall A. J., Foord P. S., An Experimental Evaluation of Instantaneous Self-Assessment as a Measure of Workload, *Ergonomics*, 1996, **39**(5), 740-748.
- Van Orden K. F., Makeig S., Jung T. P., Limbert W., Eye Activity Correlates of Workload During a Visuospatial Memory Task, *Human Factors*, 2001, **43**(1), 111-121.
- Veltman J. A., Gaillard A. W. K., Indices of Mental Workload in a Complex Task Environment, *Neuropsychobiology*, 1993, **28**, 72-75.
- Veltman J. A., Gaillard A. W. K., Measurement of pilot workload with subjective and physiological techniques. *Workload Assessment and Aviation Safety Conference*, Royal Aeronautical Society, London, England, 27-28 April 1993.
- Veltman J. A., Gaillard A. W. K., Physiological Indices of Workload in a Simulated Flight Task, *Biological Psychology*, 1996, **42**(3), 323-342.
- Veltman J. A., Gaillard A. W. K., Physiological Workload Reactions to Increasing Levels of Task Difficulty, *Ergonomics*, 1998, **41**(5), 656-669.
- Verwey W. B. On-Line Driver Workload Estimation. Effects of Road Situation and Age on Secondary Task Measures, *Ergonomics*, 2000, **4**(2), 187- 209.
- Vidulich M. A., The use of judgement matrices in subjective workload assessment: The subjective workload dominance (SWORD) technique, *Proceedings of the 33rd Annual Meeting of the Human Factors Society*, 1989, **2**, 1406-1410.
- Vidulich M. A. and Tsang P. S., Absolute Magnitude Estimation and Relative Judgement Approaches to Subjective Workload Assessment, *Human Factors Society 31st Annual Meeting*, Santa Monica, USA, 19-22 October 1987.
- Vidulich M. A., Ward G. F., Schueren J., Using the Subjective Workload Dominance (SWORD) Technique for Projective Workload Assessment, *Human Factors*, 1991, **33**(6), 667-691.

Wainwright W.A., Flight Test Evaluation of Crew Workload The Practical Assessment of Pilot Workload, AGARDDograph, P736500, 60-68,1987.

Wierwille W. W., Casali J. G., A Validated Rating Scale for Global Mental Workload Measurement Applications, *Human Factors Society – 37th Annual Meeting*, Norfolk, Virginia, USA, 10-14 October 1983.

Wierwille W. W., Casali J. G., Connor S. A., Rahimi M., Evaluation of the sensitivity and intrusion of mental workload evaluation techniques., Editor: Rouse W.B., *Advances in Man-Machine Systems Research*, Volume II., JAI Press, Greenwich, 51- 127, 1985.

Wierwille W. W., Rahimi M., Casali J. G., Evaluation of 16 Measures of Mental Workload Using a Simulated Flight Task Emphasizing Mediation Activity, *Human Factors*, 1985, **27**(5), 489-502.

Wilson G. F., Applied Use of Cardiac and Respiration Measures—Practical Considerations and Precautions, *Biological Psychology*, 1992, **34**(2-3), 163-178.

Wilson G. F., An Analysis of Mental Workload in Pilots During Flight Using Multiple Psychophysiological Measures, *The International Journal of Aviation Psychology*, 2002, **12**(1), 3-18.

Yeh Y., Wickens C. D., Why do performance and subjective measures dissociate?, *Human Factors Society 28th Annual Meeting*, Santa Monica, USA, 22-26 October 1984.

Yeh Y., Wickens C. D., Dissociation of Performance and Subjective Measures of Workload, *Human Factors*, 1992, **30**(1), 111-120.

Yiyuan Z., Tangwen Y., Dayong D., Shan F., Using NASA-TLX to Evaluate the Flight Deck Design in Design Phase of Aircraft, *The 2nd International Symposium on Aircraft Airworthiness Procedia Engineering*, 2011, **17**, 77-83.

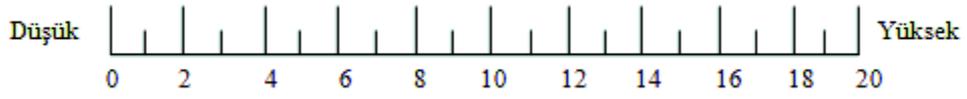
EKLER

EK A - İKİLİ KARŞILAŞTIRMALAR

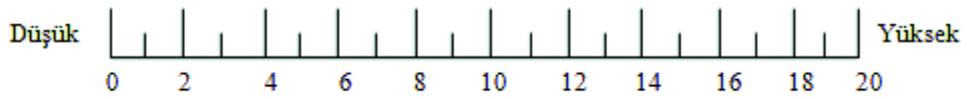
ZİHİNSEL TALEP	FİZİKSEL TALEP
ZAMANSAL TALEP	FİZİKSEL TALEP
PERFORMANS	ZİHİNSEL TALEP
RAHATSIZLIK SEVİYESİ	ZAMANSAL TALEP
EFOR	PERFORMANS
ZAMANSAL TALEP	PERFORMANS
EFOR	ZAMANSAL TALEP
FİZİKSEL TALEP	EFOR
ZİHİNSEL TALEP	ZAMANSAL TALEP
RAHATSIZLIK SEVİYESİ	FİZİKSEL TALEP
EFOR	ZİHİNSEL TALEP
RAHATSIZLIK SEVİYESİ	ZİHİNSEL TALEP
PERFORMANS	FİZİKSEL TALEP
RAHATSIZLIK SEVİYESİ	PERFORMANS
RAHATSIZLIK SEVİYESİ	EFOR

EK B- ORANLAMALAR

ZİHİNSEL TALEP



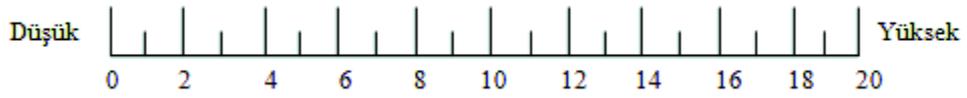
FİZİKSEL TALEP



ZAMANSAL TALEP



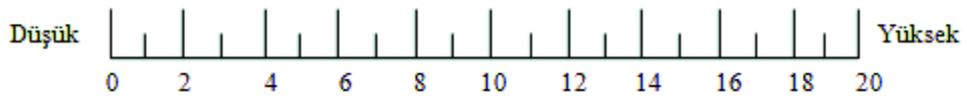
EFOR



PERFORMANS



RAHATSIZLIK SEVİYESİ



EK C- SAYIM KAĞIDI

Katılımcı No:

Tarih:

İŞ YÜKÜ KAYNAKLARI SAYIM KAĞIDI		
ÖLÇEK ADI	SAYIM	AĞIRLIK
ZİHİNSEL TALEP		
FİZİKSEL TALEP		
ZAMANSAL TALEP		
EFOR		
PERFORMANS		
RAHATSIZLIK SEVİYESİ		

Toplam =

EK D - HESAPLAMA KAĞIDI

Katılımcı No:

Tarih:

AĞIRLIKLI PUANLAMA KAĞIDI			
ÖLÇEK ADI	AĞIRLIK	HAM PUAN	AĞIRLIK X HAM PUAN
ZİHİNSEL TALEP			
FİZİKSEL TALEP			
ZAMANSAL TALEP			
EFOR			
PERFORMANS			
RAHATSIZLIK SEVİYESİ			

Toplam=

Ağırlıklı Puan=

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Baynal K., Gürsoy A., **Gülkaç H.**, Aktel A., Okuma Hızını Etkileyen Önemli Faktörlerin Deney Tasarımı İle Optimizasyonu, *XI. Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 23-24 Haziran 2011.

Çakmak E., **Gülkaç H.**, Tanyaş M., Managing Subassemblies And Components for Safety Stock of Multi Products, *EURO 2010 24th European Conference on Operational Research*, Lisboa, Portugal, 11-14 July 2010.

Gülkaç H., Fırlalı A., Gönüloğlu S., Cihan A., Şahin H., A Data Mining Based Heuristic Approach for Solution of Travelling Salesman Problem, *EURO 2010 24th European Conference on Operational Research*, Lisboa, Portugal, 11-14 July 2010.

ÖZGEÇMİŞ

Hande GÜLKAÇ 1987 yılında Malatya’da doğdu. İlk, orta ve lise öğretimini Kocaeli’de tamamladı. 2004 yılında Kocaeli Anadolu Lisesi’nden mezun oldu. 2008 Yılında Bilkent Üniversitesi Bilgisayar Teknolojisi ve Bilişim Sistemleri bölümünü bitirdi. 2009-2011 yılları arasında Okan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yaptı. 2011 yılında özel bir havayolu şirketinde İş Analisti olarak başladığı görevini halen devam ettirmektedir.