



**İNSAN-ROBOT BİRLİKTE ÇALIŞMALARININ  
BİLİŞSEL ERGONOMİ AÇISINDAN GENİŞLETİLMİŞ  
BİLİŞ YAKLAŞIMIYLA DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Zeynep ÜSTÜNEL**



T.C  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İNSAN-ROBOT BİRLİKTE ÇALIŞMALARININ BİLİŞSEL ERGONOMİ  
AÇISINDAN GENİŞLETİLMİŞ BİLİŞ YAKLAŞIMIYLA  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Zeynep ÜSTÜNEL**

Doç. Dr. Tülin GÜNDÜZ  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENDÜSTRİ MÜHEENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2017

## TEZ ONAYI

Zeynep ÜSTÜNEL tarafından hazırlanan “İnsan-Robot Birlikte Çalışmalarının Bilişsel Ergonomi Açısından Genişletilmiş Biliş Yaklaşımıyla Değerlendirilmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/ oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Doç. Dr. Tülin Gündüz

**Başkan:** Doç. Dr. Tülin GÜNDÜZ  
Uludağ Ü. Mühendislik Fakültesi,  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza 

**Üye:** Yrd. Doç. Dr. Türker Özalp  
Uludağ Ü. Mühendislik Fakültesi,  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza 

**Üye:** Yrd. Doç. Dr. Demet Gönen  
Balıkesir Ü. Mühendislik Fakültesi,  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza 

Yukarıdaki sonucu onaylarım



**Prof. Dr. Ali BAYRAM**

**Enstitü Müdürü**

**20/05/2017 (Tarih)**

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

20/06/2017

Zeynep ÜSTÜNEL

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### İNSAN-ROBOT BİRLİKTE ÇALIŞMALARININ BİLİŞSEL ERGONOMİ AÇISINDAN GENİŞLETİLMİŞ BİLİŞ YAKLAŞIMIYLA DEĞERLENDİRİLMESİ

**Zeynep ÜSTÜNEL**

Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Tülin GÜNDÜZ

İnsanın aletler, cihazlar, makineler ve hatta çalışma alanları ile etkileşiminden ortaya çıkan bilişsel yük, ürün veya hizmet kalitesi açısından önemli olmakla birlikte aynı zamanda iş güvenliği açısından da dikkate alınan önemli bir konudur. Bilişsel yük konusu 1980'lerden beri çalışılmaktadır. Ancak insan zihninin çevresiyle olan etkileşimini inceleyen genişletilmiş/dağıtık biliş (extended/distributed cognition) konusu literatüre yeni girmiş bir konudur ve sanayideki kullanımı açısından özellikle ülkemiz için yeni bir alandır. Bu tez çalışmasında, insan-robot birlikte çalışmasını gerektiren montaj işleri sırasında ortaya çıkan bilişsel yük incelenmiştir. Genişletilmiş/dağıtık biliş (extended/distributed cognition) yaklaşımı ile yapılan işyeri tasarımının, cinsiyet farkının ve robot kolu hızının bireylerin bilişsel yüküne olan etkisi araştırılmıştır. Bunun için iki işyeri tasarımı kullanılmıştır. İki tasarım da oturarak çalışma gerektiren bir işyeridir ve insan-robot işbirliği gerektiren bir montaj işidir. Farklı olarak, deney grubu için bitmiş ürün örnek çizimi iş tablasına entegre edilmiştir. Tüm gruplar için NASA-RTLX (Raw Task Load Index, Ham Görev Yükü İndeksi) ve PASAT (Paced Auditory Serial Addition Test, Adımlı İşitsel Seri Toplama) yönteminden yardım alınmıştır. Deneysel çalışma sonuçları göstermiştir ki genişletilmiş biliş anlayışı ile yapılan işyeri tasarımı katılımcılarda oluşan bilişsel yükün azalmasına neden olmuştur. Ayrıca kadın ve erkek katılımcılar arasında bilişsel yük açısından farklılık olmadığı da gözlenmiştir. Bu tez çalışmasında cinsiyet farklılıkları genişletilmiş biliş yaklaşımı açısından da incelenmiş ve insan-robot işbirliği açısından işyeri tasarımının önemi vurgulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Bilişsel ergonomi, bilişsel yük, genişletilmiş biliş, insan-robot etkileşimi, insan-robot birlikte çalışması, otomotiv montaj hattı

**2017, vii + 48 sayfa.**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

### **EVALUATION OF HUMAN-ROBOT COLLABORATIVE WORKS IN TERMS OF COGNITIVE ERGONOMICS WITH EXTENDED COGNITION APPROACH**

**Zeynep ÜSTÜNEL**

Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Science  
Department of Industrial Engineering

**Supervisor:** Assoc. Prof. Dr. Tülin GÜNDÜZ

Cognitive load that arises from the interactions of human with tools, devices, machines and workplaces; is important for product and service quality and also work safety. Since the 1980's cognitive load has been studied. However, the topic of extended/distributed cognition is a new approach, especially in industrial use. In this thesis, the cognitive load that occurs in human-robot collaborative assembly works was investigated. It was aimed to detect the effects of the workplaces designed with the approach of extended cognition on cognitive load, gender differences and velocity of robot arm in cognitive load. Two workplace designs were used. In both designs there was a sedentary workplace and same assembly work which requires human-robot collaboration. Differently, for the experimental group, the manual drawing was integrated to work table to detect the effect of extended cognition. For both groups task load is measured by using NASA-TLX (Task Load Index) and PASAT (Paced Auditory Serial Addition Test) method. Experimental results showed that the design with the extended cognition concept helps to reduce mental task load for participants. Experimental results also showed that there are no significant differences in cognitive load between genders. In this thesis, human-robot cooperative works are examined according to gender difference with a point of extended cognition. The importance of the workplace design for human-robot interaction is presented.

**Key words:** Cognitive ergonomics, cognitive load, extended cognition, human-robot interaction, human-robot collaboration, automotive assembly lines

**2017, vii + 48 pages.**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında genişletilmiş/dağıtık biliş (extended/distributed cognition) yaklaşımının, cinsiyet farkının ve robot kolu hızının insan-robot birlikte çalışması gerektiren bir montaj işinde birey üzerinde oluşan bilişsel yüke etkisi araştırılmak istenmiştir.

Öncelikle tez konusunu seçerken isteklerimi göz önünde bulunduran ve tüm çalışma sürecim boyunca bilgilerimi benimle paylaşan, desteğini ve değerli zamanını esirgemeyen, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle bana her fırsatta yol gösteren değerli danışman hocam Doç. Dr. Tülin Gündüz'e ve deneysel çalışmamı gerçekleştirmem için firmalarının olanaklarını bana sunan sayın Mutlu Balkan ile bana yardımcı olan tüm BALKAN ROBOTİK TEK. MEK. SİS. END. EK. SAN. TİC. LTD. ŞTİ. çalışanlarına sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım. Hayatım boyunca manevi ve maddi desteğini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan anneme, dayıma, artık aramızda olmasa da beni izlediğine inandığım babama ve yüksek lisans öğrenimim boyunca yanımda olup, yardımlarını bir an olsun esirgemeyen değerli arkadaşım Özlem Demirci'ye en içten teşekkürlerimi sunarım.

Zeynep Üstünel  
20/06/2017

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vii
1. GİRİŞ .....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Bilişsel Yük.....	3
2.1.1. Bilişsel yükün sınıflandırılması .....	4
2.1.2. Bilişsel yük etkileri .....	6
2.1.3. Bilişsel yükün ölçüm yöntemleri .....	8
2.1.4. Bilişsel yük ve arayüz/işyeri tasarımı arasındaki ilişki.....	12
2.2. Genişletilmiş Biliş (Extended Cognition).....	15
2.3. Veri Analiz Yöntemleri.....	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	21
3.1. Deney Tasarımı .....	23
3.2. Bilişsel Yük Değerlendirilmesi .....	24
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	26
4.1. NASA-RTLX Yöntemi ile Elde Edilen Bulgular ve Tartışma .....	26
4.2. PASAT Yöntemi ile Elde Edilen Bulgular ve Tartışma .....	34
5. SONUÇ .....	39
KAYNAKLAR .....	41
EKLER.....	45
EK 1 İş Talimatı .....	46
EK 2 NASA Task Load Index (NASA Görev Yükü Endeksi) .....	47
ÖZGEÇMİŞ .....	48



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

### Açıklama

$V_i$	Hız faktörünün $i$ . seviyesindeki hız büyüklüğü
$\mu$	Ortalama
A	Hız faktörü
B	Cinsiyet faktörü
C	İşyeri tasarımı faktörü

### Kisaltmalar

### Açıklama

ANOVA	Analysis of Variance, Varyans Analizi
CLT	Cognitive Load Theory, Bilişsel Yük Teorisi
DK	Değişkenlik Kaynağı
GB	Genişletilmiş Biliş
HEC	Hypothesis of Extended Cognition, Genişletilmiş Biliş Hipotezi
KO	Kareler Ortalaması
KT	Kareler Toplamı
MS	Multiple Skleroz, Çoklu Sertleşim
NASA-TLX	The National Aeronautics and Space Administration - Task Load Index, NASA Görev Yüğü İndeksi
NASA-RTLX	The National Aeronautics and Space Administration – Raw Task Load Index, NASA Ham Görev Yüğü İndeksi
PASAT	Paced Auditory Serial Addition Test, Adımlı İşitsel Seri Toplama
RSME	Rating Scale Mental Effort, Zihinsel Çaba Değerlendirme Ölçeği
Sd	Serbestlik derecesi
SS	Standart Sapma

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1.Bilişsel yük yapısının şematik gösterimi .....	4
Şekil 2.2.Mental iş yükü unsurları ile bilişsel yük çeşitleri arasındaki ilişki.....	13
Şekil 2.3.Hafıza şeması.....	17
Şekil 3.1.Örnek işyeri.....	21
Şekil 3.2.Montaj sonrası ürün .....	22
Şekil 4.1.NASA RTLX zihinsel zorluk ve fiziksel zorluk boyutları için kutu-bıyık grafiği .....	32
Şekil 4.2.NASA-RTLX geçici zorluk ve performans boyutları için kutu-bıyık grafiği .	33
Şekil 4.3.NASA-RTLX geçici kaygı ve kaygı/boşa çaba boyutları için kutu-bıyık grafiği .....	34
Şekil 4.4.Hız faktörü için PASAT sonuçları kutu-bıyık grafiği.....	35
Şekil 4.5.Cinsiyet faktörü için PASAT sonuçları kutu-bıyık grafiği.....	36
Şekil 4.6.İşyeri tasarımı faktörü için PASAT sonuçları kutu-bıyık grafiği .....	37

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1.Kaynaklarına göre bilişsel yük sınıflandırılması .....	6
Çizelge 2.2.Bilişsel yük çeşitleri arasındaki ilişki .....	6
Çizelge 2.3.Bilişsel yük etkileri ve bunların açıklamaları .....	7
Çizelge 2.4.İş yükü araçlarının değerlendirilmesi ölçütleri .....	8
Çizelge 2.5.Bilişsel yük ölçüm yöntemlerinin sınıflandırılması .....	9
Çizelge 2.6.Aracılık çeşitleri .....	18
Çizelge 3.1.Katılımcı grupları .....	24
Çizelge 3.2.Değerlendirilecek faktörler ve etkileşimleri .....	24
Çizelge 4.1.İstatistikî veriler (Üç faktör için ayrı hazırlanmıştır) .....	26
Çizelge 4.2.NASA-RTLX zihinsel zorluk boyutu için ANOVA sonuçları .....	28
Çizelge 4.3.NASA-RTLX fiziksel zorluk boyutu için ANOVA sonuçları .....	29
Çizelge 4.4.NASA-RTLX geçici zorluk boyutu için ANOVA sonuçları .....	30
Çizelge 4.5.NASA-RTLX performans boyutu için ANOVA sonuçları .....	30
Çizelge 4.6.NASA-RTLX çaba boyutu için ANOVA sonuçları .....	31
Çizelge 4.7.NASA-RTLX kaygı/boşa çaba boyutu için ANOVA sonuçları .....	31
Çizelge 4.8.PASAT yöntemi için istatistikî veriler ve Mann-Whitney U testi sonuçları	35

## 1. GİRİŞ

Zaman içerisinde alet, makine, otomobil, bilgisayar ve diğer mekanizmaların kullanımının giderek artmasıyla birlikte insan ve makineler arasındaki etkileşim de artmaktadır. Bu etkileşimden ortaya çıkan bilişsel yük de bu artışa bağlı olarak giderek önem kazanmaktadır. Çalışan üzerindeki bilişsel yük, ürün ve hizmet kalitesi için önemli olmasının yanında iş güvenliği açısından da dikkate alınan bir konudur.

Genel anlamda bireyin belleğini kullanımı sırasında gösterdiği toplam zihinsel çaba, bilişsel yükü oluşturur. Sweller'ın (1988) CLT'yi (Cognitive Load Theory, Bilişsel Yük Teorisi) önerdiği çalışmasıyla başlayarak öğrenme alanında bilişsel yük konusunda birçok çalışma yapılmıştır. Ancak insan zihninin çevresiyle olan etkileşimini inceleyen genişletilmiş/dağıtık biliş (extended/distributed cognition) konusu literatüre yeni girmiş bir konudur ve sanayideki kullanımı açısından özellikle ülkemiz için yeni bir alandır.

Özellikle Endüstri 4.0 ile birlikte insan-robot etkileşiminin artması bu konuyu daha önemli hale getirmektedir. Her ne kadar günümüzde üretim alanlarında robotlar güvenlik çitleriyle çevrelenmiş olsa da insan ve robotlar arasındaki sınırlar ortadan kalkarak birlikte aynı hacimde çalıştığı üretim alanları da Endüstri 4.0 kapsamında artmaktadır. Bu tez çalışmasının genel amacı insan-robot birlikte çalışmalarında bilişsel yükü bu açıdan araştırmaktır.

İnsanın çalışması esnasında oluşan bilişsel yükün araştırılması konusunda yeni bir yaklaşım olan genişletilmiş/dağıtık biliş (extended/distributed cognition) kavramı ile montaj alanında robotla insanın aynı anda, aynı hacimde çalışması sırasında oluşan bilişsel yükün deneysel olarak ölçülmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda:

- İnsan ve robotların birlikte aynı anda çalışması sırasında insan üzerinde oluşan bilişsel yükü etkileyen birçok özellik vardır. Bu özelliklerden robot kaynaklı olan hız faktörünün insan üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.
- İnsan ve robotların birlikte aynı anda çalışması sırasında oluşan bilişsel yükün cinsiyetler arasında bir fark oluşturup oluşturmadığı test edilmesi amaçlanmakta

ve bu sayede montaj hatlarında daha fazla kadın istihdam edilebilmesi konusu değerlendirilebilmektedir.

- İnsan ve robotların birlikte aynı anda çalışması sırasında oluşan bilişsel yük genişletilmiş/dağıtık biliş (extended/distributed cognition) yaklaşımıyla ölçülmesi amaçlanarak genişletilmiş/dağıtık bilişin (extended/distributed cognition) bilişsel yük üzerindeki etkisi ortaya çıkarılmaktadır.

Tez çalışmasının temel hedefi insan ve robotun aynı anda çalışması sırasında, çalışan üzerinde oluşan bilişsel yükü ortaya koyabilmektir. Böylece iş ve işyeri tasarımı konularına genişletilmiş/dağıtık biliş (extended/distributed cognition) yaklaşımı ışığında yeni bir bakış açısı getirilmesi hedeflenmektedir. Bunun da verim, kalite ve çalışan motivasyonunda artışı beraberinde getirmesi beklenmektedir.

Bu amaçlar doğrultusunda insanın robot ile birlikte çalıştığı bir iş yerinde küçük parçaların monte edilmesi işinde kadın ve erkekler üzerinde oluşan bilişsel yükün, farklı robot kolu hızları altında ve genişletilmiş/dağıtık biliş (extended/distributed cognition) etkisi altında nasıl bir değişim göstereceği incelenmiştir.

## 2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Ergonomi sıklıkla cihaz, alet, makine, çevre ve işin durumunun; verimli ve güvenli olmasını ve görece düşük biyolojik zarar oluşmasını sağlayarak, bireyin anatomik ve psikofiziksel özelliklerine göre düzenlenmesiyle ilgilenen disiplinler arası bir bilim dalı olarak tanımlanmaktadır (Grajewski et al. 2013). Bilişsel ergonomi ise ergonominin algı, hafıza, muhakeme ve motor yanıt gibi süreçlerle ilgilenen bir koludur.

Bu bölümde bilişsel yük ve ölçüm yöntemleri ile genişletilmiş/dağıtık biliş (extended cognition/distributed cognition) konusu açıklanmaktadır.

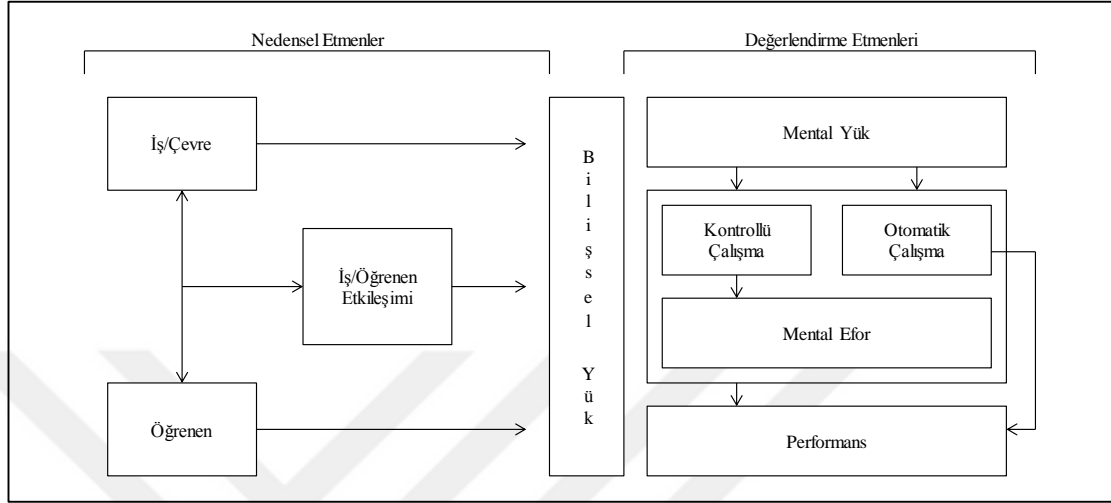
### 2.1. Bilişsel Yük

Sweller'a (2011) göre CLT, insan bilişi ile ilgili bilgilerimizden yola çıkan bir öğretim teorisidir. CLT; bilgisayar programlama, matematik, fizik ve bilim gibi karmaşık alanlarda öğrenme ve problem çözmenin, genellikle, insan hafızasının sınırlı kapasitesi ve/veya sınırlı bilgi işleme kapasitesi ile kısıtlandığını belirtmektedir (Paas ve ark. 1994, Jalani ve Sern 2015). Ayrıca bilişsel yük, genellikle belirli bir iş yerine getirilirken öğrenenin bilişsel sistemi üzerinde oluşan yükü temsil eden çok boyutlu bir yapı olarak nitelendirilmiştir (Paas ve ark. 1994, 2010). Moreno ve Park (2010) bilişsel yük yapısının, belirli bir işin bireye yüklediği zorlanmayı dikkate alması açısından, iş yükü yapısına benzer olduğunu belirtmiştir.

Bu yapı bilişsel yüke sebep olan nedensel etmenlere (iş/çevre, öğrenen ve bu iki etmen arasındaki etkileşim) sahiptir. Ayrıca, bu yapı ölçülebilir kavramları yansıtan değerlendirme etmenlerine (mental yük, mental efor ve performans) sahiptir (Paas ve ark. 1994). Yapının şematik gösterimi Şekil 2.1'de gösterilmektedir.

Bir nedensel etmen olan öğrenenin nitelikleri uzmanlık düzeyi, yaşı ve mekânsal becerisini içerirken; iş nitelikleri ise iş biçimi, iş karmaşıklığı, çoklu ortam kullanımı, zaman baskısı ve talimat adımlarını kapsamaktadır. Değerlendirme etmenlerinden mental yük, bilişsel yükün iş ve özne nitelikleri arasındaki etkileşimden meydana gelen

bir boyutuymken; mental efor görev zorlamasını karşılamak için ayrılmış kapasite veya kaynak büyüklüğünü ifade eder. Performans da öğrenenin başardıkları olarak tanımlanabilen bilişsel yük boyutudur (Paas ve ark. 1994, 2010).



**Şekil 2.1.**Bilişsel yük yapısının şematik gösterimi (Paas ve ark. 1994)

İnsan ve robotların birlikte, aynı hacimde çalıştığı montaj işlerinde bilişsel yükün analiz edilmesi önemli bir konudur. Bu tip işler yapılırken bilişsel yükü etkileyen birçok öğe bulunmaktadır. Ayrıca bilişsel yük; çalışanın performansı, verim ve kalite gibi konularda etkili olmaktadır.

### 2.1.1. Bilişsel yükün sınıflandırılması

Sweller (1988) bilişsel yükü iki sınıfa ayırmıştır: asıl bilişsel yük (intrinsic cognitive load) ve konu dışı bilişsel yük (extraneous cognitive load). Sonraki çalışmalarda ise bu iki bilişsel yük türüne etkili bilişsel yük (germane cognitive load) eklenerek bilişsel yük üç sınıfa ayrılmıştır (Martin 2015, De Jong 2010, Paas ve ark. 2010, Sweller 2011, Jalani ve Sern 2015). Bu üç tip bilişsel yük toplam bilişsel yükü oluşturmaktadır (Jalani ve Sern 2015).

Asıl bilişsel yük (Intrinsic cognitive load): İçeriğin kendi zorluğu ve karmaşıklığı ile ilişkili olan bilişsel yüküdür (De Jong 2010, Jalani ve Sern 2015). Yani asıl yük; görevin, yapılacak işin, öğrenme içeriğinin kendi karmaşıklığı ve zorluğunun bir sonucudur. Ek

olarak De Jong'a (2010) göre iki önemli özelliği vardır. Bunlardan ilki asıl yükün konunun içeriğinin yanı sıra bileşenlerinin sayısına ve etkileşimine bağlı olmasıdır. İkinci özelliği ise asıl yükün seviyesinin eğitim yöntemlerine bağlı olarak değişmiyor olmasıdır. Jalani ve Sern (2015) asıl bilişsel yük seviyesinin yalnızca bireyin konu ile ilgili uzmanlığına bağlı olarak değiştiğini belirtmiştir. Öğrenme konusu veya yerine getirilecek görev ile ilgili ön bilgisi olan bireylerin, konu veya görevle ilk kez karşılaşan bireylere göre daha düşük asıl bilişsel yük etkisi altında kaldığı söylenebilir.

Konu dışı bilişsel yük (Extraneous cognitive load): Bilginin sunumunda ve işin yapılmasında kullanılan araçlar ve bunların çeşitlerinden kaynaklanır. Öğrenme yaklaşımının zorluğundan kaynaklanan bilişsel yüküdür. Öğrenmeyi veya görev tamamlamayı zorlaştırır (De Jong 2010). Yani konu dışı yük öğrenme veya görev içeriğinin kendisinden değil sunum biçimi ve kullanılan materyallerin yetersizliği veya zayıflığı sonucu oluşur. Sunum biçimi ve materyaller iyileştirilerek konu dışı bilişsel yük azaltılabilir. Ayrıca De Jong'a (2010) göre asıl bilişsel yük gibi konu dışı bilişsel yük de kullanıcının deneyimine bağlı olarak değişebilir. Cierniak ve arkadaşlarına göre (2008) görev esnasında görüntü, yazı, video gibi araçlar arasında geçiş yaparken bilgileri bellekte tutmanın getirdiği bir yüküdür.

Etkili bilişsel yük (Germane cognitive load): Etkili bilişsel yük de konu dışı bilişsel yük gibi tasarım odaklıdır. Bu yük öğrenme için etkili öğretmeden ortaya çıkan zihinsel yapıların oluşması ve düzenlenmesini sağlayan süreçlerden kaynaklanmaktadır (Kılıç Çakmak 2007, Jalani ve Sern 2015).

Çizelge 2.1'de görüldüğü gibi asıl bilişsel yük, bilgi arka planı ve uzmanlıktan; konu dışı ve etkili bilişsel yükler ise yöntemler ve öğretim tasarımından kaynaklanır.



**Çizelge 2.1.** Kaynaklarına göre bilişsel yük sınıflandırılması

Bilişsel Yüke Neden Olan Etmenler		
	Öğrenci/Kullanıcının Uzmanlık Düzeyi	Yöntemler/Materyaller/Tasarım
Bilişsel Yük Türü	Asıl Bilişsel Yük	Konu Dışı Bilişsel Yük
		Etkili Bilişsel Yük

Bu üç yük mental kaynakların sınırları ve işleri bellekte oluşan bilişsel yük miktarı içerisinde olmalıdır. Bilişsel yük çeşitleri arasındaki ilişki ise Çizelge 2.2’de gösterilmektedir (Jalani ve Sern 2015).

**Çizelge 2.2.**Bilişsel yük çeşitleri arasındaki ilişki (Jalani ve Sern 2015)

Asıl + Etkili + Konu Dışı = Toplam Bilişsel Yük	
Durum 1	Asıl bilişsel yük düşük (öğrenme içeriği kolay) olduğunda ve mental kaynaklar yetersiz olduğunda, öğrenci için öğrenme süreci konu dışı olabilir. Böylece bilişsel yük artar.
Durum 2	Asıl bilişsel yük yüksek (öğrenme içeriği zor) olduğunda ve konu dışı bilişsel yük çok yüksek olduğunda, bilişsel yük miktarı mental kaynakları aşar ve büyük olasılıkla öğrenme süreci başarısızlıkla sonuçlanır.
Durum 3	Durum 2’deki konu dışı bilişsel yük, etkili bilişsel yükün artırılmasıyla azaltılırsa, bu öğrenme sürecine yardımcı olur.

Sonuç olarak Jalani ve Sern (2015) asıl bilişsel yük miktarının değiştirilemezken, etkili ve konu dışı bilişsel yüklerin birbirlerine ters orantılı bir şekilde değiştiğini bildirmektedir. Konu dışı bilişsel yük arttıkça, etkili bilişsel yük azalmaktadır ve tersi de doğrudur.

### 2.1.2. Bilişsel yük etkileri

Etkili öğretim tasarımları oluşturabilmek için Sweller (2011) tarafından bildirilen bilişsel yük etkileri ve bu bilişsel yük etkilerinin bilişsel yük çeşitlerini ne şekilde etkilediği Çizelge 2.3’te sunulmaktadır. Öğretim tasarımı, bileşen etkileşimi vb. asıl ve konu dışı bilişsel yük düzeyini farklı yollarla etkileyebilmektedir. Bu etmenler Sweller (2011) ve Sweller ve arkadaşları (2011) tarafından hazırlanan yayınlarda incelenebilir.

**Çizelge 2.3.**Bilişsel yük etkileri ve bunların açıklamaları (Sweller 2011)

Etki		Tanım
Değişkenlik	(Variability)	Düşük asıl bilişsel yük altında değişkenliği yükseltmek, asıl bilişsel yükü ve yeterli işler bellek varsa öğrenmeyi de yükseltir.
Yalıtılmış öğeler	(Isolated Elements)	Yüksek asıl bilişsel yük altında etkileşen bileşenleri izole edilmiş gibi sunmak, asıl bilişsel yükü azaltabilir.
Hedefsizlik	(Goal-free)	Bir problem hedefini ortadan kaldırmak, amaç-amaç analizi yapılmasını ortadan kaldırır ve dolayısıyla konu dışı bilişsel yükü azaltır.
Çözülmüş örnek	(Worked-example)	Bir problemin çözümünün gösterimini yapmak, problem çözümü ile ilgili konu dışı bilişsel yükü azaltır.
Bölünmüş dikkat	(Split-attention)	Zihinsel bütünleşme gerekliyse ayrık bilgi kaynaklarının fiziksel olarak birleştirilmesiyle konu dışı bilişsel yük azaltılabilir.
Çoklu kanal	(Modality)	Zihinsel bütünleşme, materyaller sadece görsel format yerine görsel-işitsel formatta sunulabilir.
Gereksizlik	(Redundancy)	Gerekli olmayan bilgilerin verilmesi konu dışı bilişsel yükü artırır.
Bileşen etkileşimi	(Element Interactivity)	Asıl bilişsel yük düşükse yüksek bir konu dışı bilişsel yük çalışma belleğinin kapasitesini aşmayabilir.
Uzmanlık tersliği	(Expertise reversal)	Acemi kullanıcılar için gerekli olan bilgiler, uzmanlar için fazlalık olabilir ve tasarımın etkinliğini tersine çevirebilir.
Problem tamamlama	(Problem completion)	Çözülmüş örnek etkisine benzer, kısmi çözülmüş örneklere dayanır. Rehberlik azaltma durumunda kullanılabilir.
Rehberlik azaltma	(Guidance-fading)	Uzmanlık tersliğine göre uzmanlık yükseldikçe, çözülmüş örnekler azaltılmalıdır ve sonunda kaldırılmalıdır.
Hayal gücü	(Imagination)	Yeterli uzmanlıkla prosedürleri ve konseptleri tahmin etmek çalışmaktan daha etkilidir.
Geçici bilgiler	(Transient Information)	Teknolojinin kullanımı, konu dışı bilişsel yükü artıran bilgiyi kalıcı durumdan geçici duruma getirir.

Bu etkiler arasından değişkenlik ve yalıtılmış öğeler etkileri, asıl bilişsel yük düzeyinde değişikliğe neden olabilen etkilerdir. Diğer etkiler ise (hedefsizlik, çözülmüş örnek, bölünmüş dikkat, çoklu kanal, gereksizlik, bileşen etkileşimi, uzmanlık tersliği, problem

tamamlama, rehberlik azaltma, hayal gücü, geçici bilgiler etkileri) konu dışı bilişsel yük düzeyini değişim oluşturabilen etkilerdir (Sweller 2011).

### 2.1.3. Bilişsel yükün ölçüm yöntemleri

İş yükü doğrudan gözlemlenemeyen, çeşitli yöntemlerle anlaşılan insan-makine etkileşiminin soyut bir özelliğidir. İş yükü ölçütleri genellikle daha genel psikometrik ölçütler yerine özellikle iş yükü değerlendirmesi için geliştirilen ölçütlerle değerlendirilir (Matthews 2015). Bu ölçütler için Matthews (2015) tarafından hazırlanmış tablo Çizelge 2.4’te sunulmuştur.

**Çizelge 2.4.** İş yükü araçlarının değerlendirilmesi ölçütleri (Matthews 2015)

Ölçüt	Tanım
1. Hassasiyet	Aracın iş zorluğu veya bilişsel zorluklardaki değişimleri saptama kapasitesi
2. Teşhis edebilirlik	Aracın belirli kapasiteler veya çoklu kaynaklar gibi farklı iş yükü kaynaklarını ayırt etme kapasitesi
3. Seçicilik/Geçerlilik	Aracın diğer değişkenlerdeki (fiziksel iş yükü, stres, vb.) değil sadece bilişsel zorluklardaki değişim için hassasiyeti
4. Güvenilirlik	Zihinsel iş yükünün tutarlı değerlendirmesi
5. Müdahalecilik	Ana iş performansına müdahale olmaması
6. Uygulama gereksinimleri	Enstrümantasyon, yazılım ve eğitim ile ilgili uygulama kısıtlamaları
7. Operatör kabulü	Operatörün yöntemin geçerliliği ve kullanılabilirliği algısı

Bilişsel yük ölçüm yöntemleri veri tipi açısından ise öznel ve nesnel olarak sınıflandırılmaktadır. Öznel ölçümler için tek boyutlu ve çok boyutlu anketlerden faydalanılmaktadır (Miller 2001). Nesnel ölçümler ise ilişki açısından doğrudan ve dolaylı teknikler olarak sınıflandırılmaktadır. Görev esnasında yapılabilen ölçümler, çalışma belleğinde görev ile aynı anda yer kapladığından doğrudan olarak değerlendirilir (Martin 2015). Bu iki çalışmadan derlenen bilişsel yük ölçüm yöntemleri Çizelge 2.5’te sunulmuştur. Doğrudan tekniklere göz izleme, ikili-görev, reaksiyon zamanı ölçümü ve beyin aktivite ölçümleri gibi teknikler girerken; dolaylı ölçümlere öğrenme çıktıları, görev zamanı, yardım arama davranışları gözlemi gibi teknikler girmektedir.

**Çizelge 2.5.**Bilişsel yük ölçüm yöntemlerinin sınıflandırılması

Veri Tipi	İlişki Tipi	Bilişsel Yük Ölçüm Yöntemleri
Öznel		Tek boyutlu ölçekler Çok boyutlu ölçekler
Nesnel	Doğrudan	Göz izleme (Eye-tracking) İkili görev yöntemi Beyin aktivite ölçümleri (ör. MRI, fNIRS)
	Dolaylı	Öğrenme çıktıları Görev süresi Yardım arama davranışları EEG veya kardiyovasküler ölçüleri kullanan fizyolojik yaklaşımlar Etkililik ölçümleri

Öznel ölçütler şimdiye kadar yapılan bilişsel yük ölçümü ile ilgili çalışmalarda da görüleceği gibi bireysel raporlamaya dayanır (Chevalier ve Kicka 2006, Cierniak ve ark. 2008, Van Cauwenberge ve ark. 2014). Martin'in (2015) çalışmasında belirttiği Likert tipi ölçeklere veya görev sırasında veri toplamaya dayanan stres ve zihinsel çabanın bireysel raporlanması öznel ölçütler sınıfına girmektedir. Seçkiner ve Toraman (2015) ve Matthews ve arkadaşları (2015) tarafından yapılan çalışmada kullanılan NASA-TLX (The National Aeronautics and Space Administration - Task Load Index, NASA İş Yükü İndeksi) ve RSME (Rating Scale Mental Effort, Zihinsel Çaba Değerlendirme Ölçeği) metotları bunlara örnektir. Tek boyutlu değerlendirme ölçekleri kullanım açısından daha kolay olmasına rağmen, sadece iş yükünün tek bir boyutta ölçülebilmesini sağlarlar. Çok boyutlu değerlendirme ölçekleri ise iş yükünün çok boyutta ölçülebilmesini sağlayan daha karmaşık metotlardır (Miller 2001). Martin'e (2015) göre öznel ölçütler, zihinsel çaba veya bilişsel yük hakkında kesin değerler vermese de aynı örneklem grubuyla tekrarlayan karşılaştırmalar yapmada oldukça kullanışlıdır. Van Gog ve arkadaşlarına (2009a) göre eşzamanlı ve geriye dönük sözlü raporlama teknikleri en sık kullanılan yöntemlerdir.

Göz izleme yöntemi bilişsel yük ölçümü ve kullanılabilirlik testi için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir (Sharma ve Dubey 2014). Genellikle gözbebeği odaklanma süresi ve sayısı, gözbebeği çapı, göz kırpması süresi ve sayısının ölçülerek bilişsel yükün ölçümü için kullanılır (Ahlstrom ve Freidman-Berg 2006, Van Gog ve ark. 2009b, De Koning

ve ark. 2010, Liu ve Chuang 2010, Wang ve ark. 2014, Huang ve Chen 2015, Jiang ve ark. 2015, Majooni ve ark. 2015).

Öğrenme çıktıları yöntemi bireyin görevde başarılı olup olmamasını kontrol eden bir yöntemdir. (De Koning ve ark. 2010, Huang ve Chen 2015, Majooni ve ark. 2015, Evans ve Gibbons 2007, Austin 2009, Van Cauwenberge ve ark. 2014, Van Gog ve ark. 2009b, Galy ve ark. 2012).

İkili-görev yöntemi ise bilişsel yükün ölçümünü bir ana görev ve bir ikincil görevin birleşimi ile yapmayı amaçlamaktadır. Bu yöntemle, eğer ana görev ile yüksek bir bilişsel yük oluşuyorsa ikincil görev performansında düşüş yaşanmaktadır (Sweller ve ark. 2011). İkili-görev yöntemi işitsel veya görsel sinyaller yardımıyla farklı şekillerde kullanılabilir (Chevalier ve Kicka 2006, Wästlund ve ark. 2008, Horrey ve ark. 2009, Cierniak ve ark. 2009).

Reaksiyon zamanı ölçüm yöntemi ise katılımcıya bir uyarıcının sunulması ile söz konusu uyarıcıya katılımcının verdiği kas tepkisi arasında geçen sürenin ölçüldüğü bir yöntemdir. Bu yöntemle bilişsel süreç araştırılmaktadır (Stevens ve ark. 2011, Schoor ve ark. 2012).

Bu bilişsel yük ölçüm yöntemleri içinden tez çalışması kapsamında kullanılmak için seçilen yöntemler nesnel ve doğrudan bir ölçüm yöntemi olan ikili görev yöntemi PASAT (Adımlı İşitsel Seri Toplama, Paced Auditory Serial Addition Test) ile bireysel raporlamaya dayalı öznel bir yöntem olan NASA-TLX'in bir uyarlaması olan NASA-RTLX(NASA Raw Task Load Index, Ham İş Yükü İndeksi) yöntemleridir.

PASAT: Gronwall (1977) tarafından geliştirilen işitsel bilgi işleme hız ve esnekliğini hesaplama becerisi ile değerlendiren bir bilişsel işlev ölçütüdür. Hafif baş yaralanmaları olan hastaların iyileşme sürecini izlemek için geliştirilmiş, daha sonra Rao ve arkadaşları (1989) tarafından yapılan çalışma ile başlayarak MS (Çoklu Sertleşim, Multiple Skleroz) hastaları için kullanılmıştır. PASAT yöntemine göre her 3 s veya 2 s'de bir rakamlar hastaya sesli olarak sunulur ve hastadan ardı sıra bunu bir önceki

rakamla toplaması istenir. Test puanı toplam doğru sonuç olarak belirlenir (<http://pasat.us>, 2017a). Horrey ve ark. (2009) ise, bu yöntemin Brookhuis ve arkadaşları (1991) ve Patten ve arkadaşları (2004) tarafından yapılan çalışmaları örnek göstererek, sürücü dikkat dağılması çalışmalarında kullanıldığını ve zihinsel tekrarlar ve işler bellekteki bilgi işleme işlerini temsil ettiğini belirtmiş ve çalışmalarında rakamları katılımcılara 7 s'de bir sunarak kullanmıştır. Böylece iş; işler bellek, mental aritmetik ve sesli cevaplardan oluşmuştur.

NASA-TLX: NASA-TLX, Hart ve Staveland (1988) tarafından geliştirilen, çeşitli insan-makine arayüzü sistemlerinde çalışan bireylerin ağırlıklı iş yükünü değerlendirebilmek için kullanılan bir çok boyutlu öznel iş yükü değerlendirme aracıdır. İş yükünün bireylerce aşağıdaki altı alt ölçekte değerlendirilmesi istenmektedir ([https://humansystems.arc.nasa.gov/groups/tlx/downloads/TLX\\_pappen\\_manual.pdf](https://humansystems.arc.nasa.gov/groups/tlx/downloads/TLX_pappen_manual.pdf), 2017b):

- Zihinsel zorluk (Mental demand): İş yapılırken gerek duyulan zihinsel ve algısal etkinliğin büyüklüğü belirlenir.
- Fiziksel zorluk (Physical demand): İş yapılırken gerek duyulan fiziksel etkinliğin büyüklüğü belirlenir.
- Geçici zorluk (Temporal demand): İş ve iş unsurlarının oluşturduğu zaman baskısı belirlenir.
- Performans (Performance): Bireyin işi ne derecede başarıyla tamamladığı ölçülür.
- Çaba (Effort): İş tamamlamak için ne kadar çaba sarf edildiği belirlenir.
- Kaygı/Boşa çaba (Frustration): İş yapılırken ne kadar güvensiz, cesareti kırılmış, tedirgin, stresli ve kızgın hissedildiği değerlendirilir.

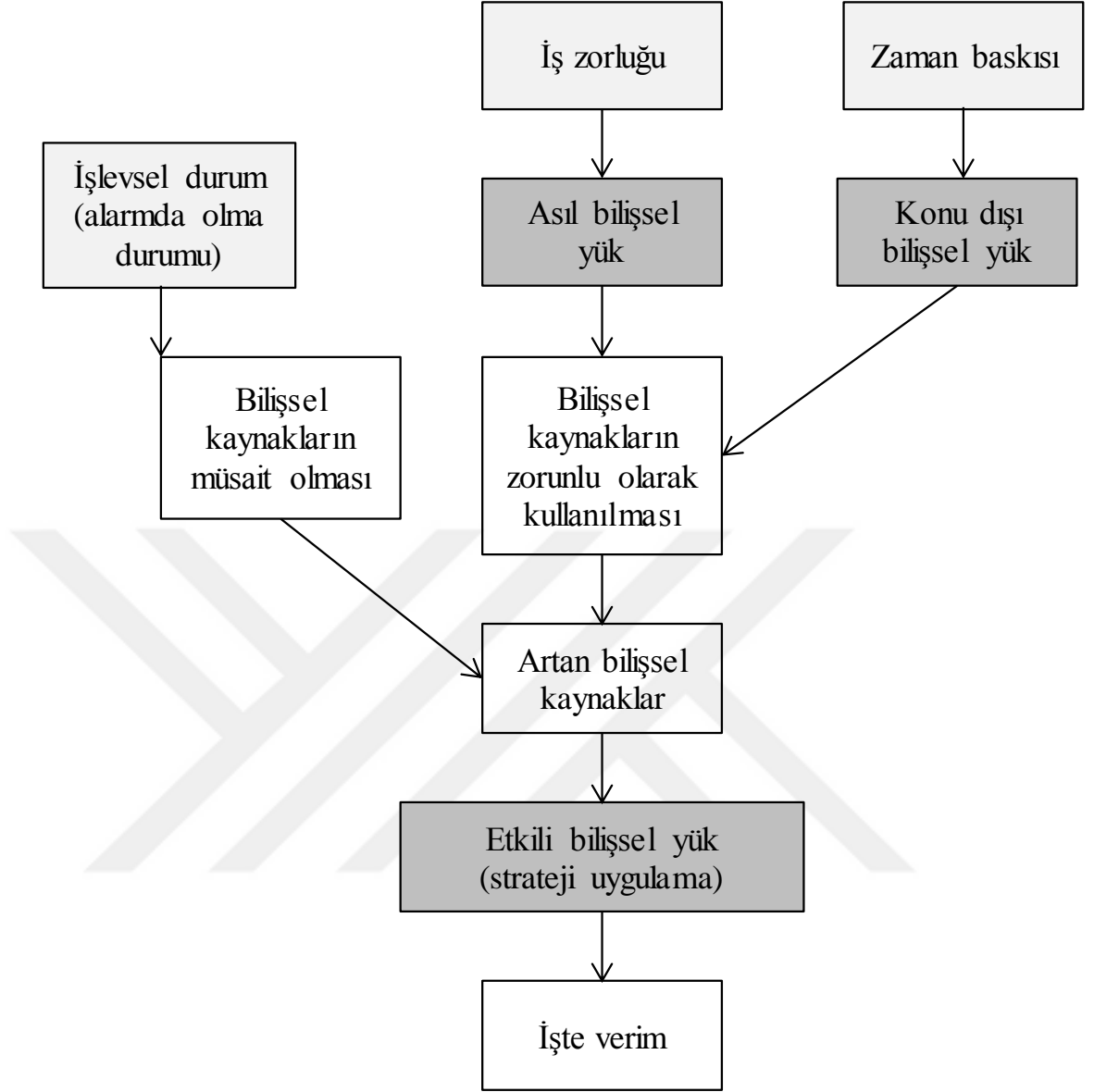
Ayrıca Yağmuroğlu ve ark. (2011), NASA-TLX yönteminin bu ağırlıklandırılmış halinin dışında farklı çalışmaların yapısına göre uyarlamalarının da bulunmakta olduğunu belirtmiştir. Delice'ye (2016) göre bunlardan en sık kullanılan yöntem Byers ve arkadaşları (1989) tarafından geliştirilen NASA-RTLX yöntemidir (Delice 2016). Bu

yöntem, altı ölçek için ham veriler kullanılarak uygulanmakta olup NASA-TLX yönteminin ağırlıklandırmasız bir uyarlamasıdır.

#### **2.1.4. Bilişsel yük ve arayüz/işyeri tasarımı arasındaki ilişki**

Makine başında çalışmaktan bir ders öğretmeye, müşteriye yardımcı olmaktan taşıt kullanmaya, yemek yapmaktan bina inşa etmeye kadar hayatın tüm alanlarında insanlar çeşitli makine ve aletlerle temas halindedir. Yapılan her bir iş için insan-makine arayüzünün varlığından söz edilebilir. Bu işler, arayüzler ve bireyler her zaman ilişki içinde çalışır ve bireyde oluşan bilişsel yükü etkiler. Bu ilişki ve etki ile ilgili bilişsel ergonomi alanında kullanılabilirlik ve CLT çalışmaları yapılmıştır (Ahlstrom ve Freidman-Berg 2006, Evans ve Gibbons 2007, Cierniak ve ark. 2008, Austin 2009, Van Gog ve ark. 2009b, De Koning ve ark. 2010, Liu ve Chuang 2010, Liu ve ark. 2011, Galy ve ark. 2012, Wang ve ark. 2014, Van Cauwenberge ve ark. 2014, Huang ve Chen 2015, Jiang ve ark 2015, Majooni ve ark. 2015, Vatavu ve Mancas 2015).

Galy ve ark. (2012) mental işyükü unsurları (iş zorluğu, zaman baskısı ve alarında olma durumu) ile bilişsel yük çeşitleri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Sonuç olarak iş zorluğunun asıl bilişsel yüke, zaman baskısının konu dışı bilişsel yüke ve üç unsurun birlikte etkili bilişsel yüke sebep olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Bu üç unsurun bilişsel yük çeşitlerine ne şekilde etki ettikleri şematik olarak Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



**Şekil 2.2.**Mental iş yükü unsurları ile bilişsel yük çeşitleri arasındaki ilişki (Galy ve ark. 2012)

Bu durumda belirli bir iş üzerinde çalışan bireyin bilişsel yükünü azaltmak için sadece konu dışı ve etkili bilişsel yüklerin azaltılabileceği söylenebilmektedir. Bunu sağlayabilmek için ise işyeri tasarımı konusunda zaman baskısı ve alarmda olma durumu unsurları incelenmelidir.

İnsan-bilgisayar arayüzleri alanında arayüz tasarımı oldukça önemli bir konudur. Bu konuda çeşitli çalışmalar yürütülmüştür (Evans ve Gibbons 2007, Liu ve Chuang 2010, Majooni ve ark. 2015).



Arayüz tasarımı alanında yapılmış çalışmaların bir kısmı; yazı, resimler, animasyonlar, sesler vb. ile bunların kombinasyonlarının bireyler üzerindeki etkilerini incelemektedir (Austin 2009, Liu ve Chuang 2010, Liu ve ark. 2011, Majooni ve ark. 2015). Liu ve Chuang (2010) ve Liu ve ark. (2011) gereksizlik etkisinin özelliklerini araştırmış ve gereksiz resim ve bilgilerin insan üzerindeki olumsuz etkilerini göstermişlerdir. Diğer taraftan Majooni ve ark. (2015) deneyleri ile resim yazıdan önce sunulduğunda, ters sıralamaya göre, daha az bilişsel yük oluştuğunu ortaya çıkarmışlardır.

Arayüz tasarımının önemli bir noktası, özellikle bilgisayar temelli sistemler için arayüzlerin etkileşimidir. Evans ve Gibbons (2007) etkileşimli unsurların yer aldığı ve almadığı iki farklı çoklu ortam sistemi kullanarak etkileşimin öğrenimin etkililiğini azaltıp azaltmadığını incelemiştir.

Van Gog ve ark. (2009b) ve De Koning ve ark. (2010) dikkat rehberliğinin etkisini araştırmışlardır. Bunun için De Koning ve ark. (2010) bir eğitim içeriği için üç farklı arayüz tasarımı (ipucu olmayan durum, tek ipucu olan durum ve çoklu ipucu olan durum); Van Gog ve ark. (2009b) ise iki farklı arayüz tasarımı (dikkat rehberliği olmayan ve olan tasarım) ile deneylerini yapmışlardır. Benzer biçimde Jamet (2014) ise bir diyagram tamamlama işinde ipucu kullanımını araştırmıştır.

Jiang ve ark. (2015) işin zorluk seviyesinin bilişsel yüke olan etkisini üç farklı zorluk seviyesi belirleyerek araştırmışlardır.

Bazı araştırmacılar ise görev ve arayüz arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır (Ahlstrom ve Freidman-Berg 2006, Wästlund ve ark. 2008, Cierniak ve ark. 2009, Van Gog ve ark. 2009b, Wang ve ark. 2014, Van Cauwenberge ve ark. 2014, Vatavu ve Mancas 2015). Ahlstrom ve Freidman-Berg (2006), Van Cauwenberge ve ark. (2014) ve Vatavu ve Mancas (2015) ek olarak ikincil bir ekranı izleme durumunu da araştırmışlardır.

Bazı çalışmalarda birey ve arayüz arasındaki ilişki de araştırılmıştır (Chevalier ve Kicka 2006, Huang ve Chen 2015, Baber ve ark. 2015).

## 2.2. Genişletilmiş Biliş (Extended Cognition)

Son yıllarda araştırmalar yeni bir kavram üzerinde yoğunlaşmaktadır: “Extended Mind”, “Extended Cognition” ve “Distributed Cognition”.

Clark ve Chalmers (1998) tarafından beynin sadece deri ve kemiklerin arasında olmadığını belirtilmesiyle ortaya çıkarılmış bir konudur. Bilişsel süreçlerde dışsal varlıkların aktif rol oynamasıyla beynin aslında dışsal objelere genişlediğini belirtmişlerdir. Clark ve Chalmers (1998) bu düşünceyi Otto ve Inga rneği ile tartışmışlardır. Otto ve Inga'nın bir müzenin adresini hatırlamaları gerekmektedir. Inga kendi biyolojik hafızasını kullanırken, Otto adresi not etmek için bir not defteri kullanmaktadır. Bu durumda “Not defteri, genellikle biyolojik hafızanın oynadığı rolü üstlenmektedir”. Gallagher (2013) ise teknolojinin bilişsel süreçlerimizdeki rolünü göstermek için “Ben restoranın nerede olduğu hatırlayamıyorum ama teknolojim ve ben hatırlayabiliriz,” demiştir. Bilişimizin bu örnekler gibi evre ve sinirsel olmayan cihazlara bağlandığı birçok durum vardır.

Gallagher (2013), Clark ve Chalmers (1998) için genişletilmiş bilişin (extended cognition) kavramının eşit paylaşım ilkesi (parity principle) temelli olduğunu belirtmiştir. Eşit paylaşım ilkesine göre, bir iş gerçekleştirilirken çevrenin bazı yönleri bireyin dikkatini eker ve bireyin bilişsel sürecinin bir parçası haline gelir (Gallagher 2013).

Bu ilke HEC'nin (Hypothesis of Extended Cognition, Genişletilmiş Biliş Hipotezi) temelini oluşturmaktadır. HEC'ye göre evre işlevleri sadece iş sırasında bireyin dikkatini çekmekle kalmaz ve biliş basitçe beyinden dışarı genişlemez, aynı zamanda evre bilişsel süreçleri şekillendirir. Bu durumda zihin, çevresine bağlanmış olmaktadır (Sprevak 2010, Gallagher 2013).

HEC zihnin çevreye nedensel ve kurucu biçimle bağlı olduğunu ifade eder. Bu, evresel koşulların sadece “zihinsel olmayan araçlar” olarak değerlendirilemeyeceği ve çevrenin bireyin zihin mekanizmasını şekillendirdiği anlamına gelmektedir (Sprevak 2010).

Clark (2010) dışsal fiziksel süreçlerin bireyin bilişsel sürecinin bir parçası olabilmesi için ölçütler belirlemiştir (Michaelian 2012, Nakayama 2013, Gallagher 2013, Anderson 2015, Greif 2015):

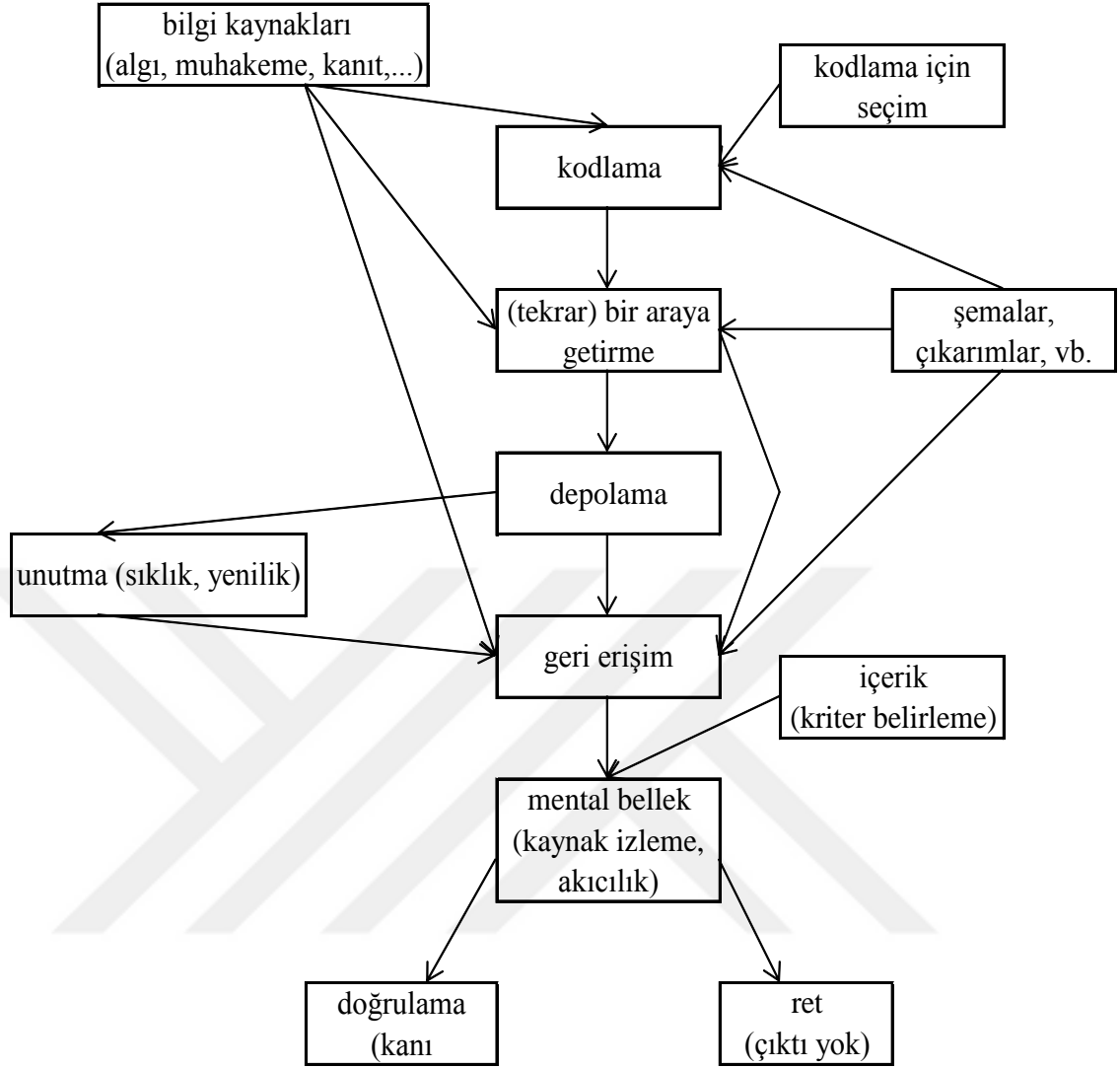
1. Dışsal kaynak ‘‘güvenilir, mevcut ve sıklıkla çağrılabilir’’ olmalıdır.
2. Dışsal kaynak ‘‘kısmen otomatik olarak onaylanmış’’ olmalıdır.
3. Dışsal kaynak ‘‘kolayca erişilebilir’’ olmalıdır.

Ancak Michaelian (2015) bir hafıza şeması hazırlamış ve bu hafıza şemasında bulunan süreç adımlarını kapsayacak şekilde bu ltleri yorumlayarak ölçütler üzerinde değişiklikler yapmıştır. Hafıza şeması şekil 2.3’te gösterilmektedir.

Michaelian’a (2012) göre dışsal süreçlerin bireyin bilişsel sürecinin bir parçası olabilmesi için ölçütler şu şekilde değiştirilmelidir:

1. Kaynak sürekli erişilebilir olmalıdır.
2. Kaynaktaki bilgilerin en azından bazıları mevcut olmalıdır.
3. Erişilen bilginin onaylanmasına ve reddedilmesine karar verilebilir.
4. Bilgi ilgisinin bir fonksiyonunu olarak depolanır.

Michaelian (2012) Otto rneği üzerinden gitmiş ve böylece Otto’nun not defterinden bilgi çekmeye kendisi karar vereceğini ve notu, kendisi ile ilgili olmaması durumunda depolamayacağını belirtmiştir.



**Şekil 2.3.**Hafıza şeması (Michaelian 2012)

Shapiro (2008) “Eğer zihinler genişlerse sosyal etkileşimin birimlerini tanımlayan sınırları daha az kesin olur. Muhtemelen zihinler çakışır. Eğer bazı genişletilmiş bilişçilerin (extended cognitvists) inandığı gibi, çevrenin özellikleri bilişsel sistemin parçalarını içermekteyse, dünyanın tek bir parçası da belirli bilişsel sistemlerin parçasını oluşturabilir. Daha dramatik olarak, muhtemelen bir bireyin zihninin parçaları başka bir bireyin zihninde konumlanabilir,” diyerek HEC’nin sosyal etkileşim açısından belirtmektedir.

Baber (2003) insanın kullandığı aletlerle bilişinin katılım halinde olduğunu ve bu katılımı şu dört madde ile açıklamıştır:

1. Kullanıcının bir aleti kullanmama seçeneği olduğunda alet kullanımının bilişsel bir boyuta sahip olduğu kabul edilebilir.
2. Kullanıcı bir takım olası aletler arasından seçim yapabildiğinde alet kullanımı bilişsel olabilir.
3. Kullanıcı alet kullanmaya yönelik işlemleri çevresel kısıtlamaları kullanmak için değiştirebildiğinde alet kullanımı bilişsel olabilir.
4. Kullanıcının bir aleti belirli bir hedefle eşleştirmesi zorunlu olarak biliş gerektirmez.

Bu katılımın farklı biçimleri olduğu belirtilmiş ve bunların aracılık türleri ise Çizelge 2.6'da sunulmuştur.

**Çizelge 2.6.**Aracılık çeşitleri (Baber 2003)

Katılım Biçimi	Aracılık Türü
Çevresel	Algı-eylem bağlantısı
Biçimsel	Araştırma işlemleri; el-tutamak bağlantısı
Motor	Kavrama ve kavrama gücü beklentisi
Algısal	Aletten gelen görsel, dokunsal ve işitsel bilgiler ve kullanımda olan aletin ağırlık, denge gibi özellikleri
Bilişsel	?
Kültürel	Aletin fiziksel görünümü kullanımını ve dolaylı olarak aleti kullanan kişinin ayırt edici özelliklerini ortaya koyar.

Ayrıca Baber (2003) bilişsel katılım biçimi için ise şema kavramından bahsetmiştir. Buna göre bir iş yerine getirilirken davranışlar yeniden oluşturulmakta ancak daha önce öğrenilen ve uygulanan davranışların bileşenleri ve parçaları birleştirilerek oluşturulmaktadır.

Ayrıca Baber ve ark. (2014) bilişin insan-çevre-arac-nesne sisteminde ne kadar önemli olduğunu belirtmişlerdir. Makalelerinde mücevher tasarımcısının işini yaparken çeşitli aletlerin arasından bir aleti seçtiğini, onu kullandığını ve ardından çalışma alanında bir

yere bıraktığını belirtmişlerdir. Böylece işini yerine getirirken, ayrıca işyeri yerleşimini de yeniden düzenlemektedir ve bu da dağıtık bilişin (distributed cognition) bir biçimidir.

Bu bilgilerin ışığında tez çalışmasının amacı genişletilmiş/dağıtık bilişin (extended/distributed cognition) insan-robot işbirliği gerektiren işlerde insandaki bilişsel yük üzerindeki etkilerini incelemektir. Buna göre işyeri tasarımının genişletilmiş biliş (extended cognition) yaklaşımına göre yapılmasının insan üzerindeki bilişsel yükü azaltması beklenmektedir.

### **2.3. Veri Analiz Yöntemleri**

2<sup>3</sup> faktöryel tasarımın analiz edilebilmesi için NASA-RTLX yöntemi ile elde edilen sonuçlar ANOVA (Analysis of Variance, Varyans Analizi) yöntemi kullanılmıştır.

ANOVA iki veya daha fazla popülasyon ortalamalarının eşit olması hipotezini test eder. Bir veya daha fazla faktörün önemini bu faktörlerin farklı seviyelerdeki ortalamalarını karşılaştırarak inceler. Sıfır hipotezi tüm popülasyon ortalamalarının (faktör seviye ortalamaları) eşit olduğunu belirtirken, alternatif hipotez en azından bir tanesinin farklı olduğunu belirtir (<http://support.minitab.com/en-us/minitab/17/topic-library/modeling-statistics/anova/basics/what-is-anova>, 2017c).

PASAT yöntemi ile elde edilen sonuçların test edilmesi için ise Mann-Whitney U testi kullanılmıştır. Bunun nedeni PASAT yöntemi ile elde edilen sonuçların doğru yanıt sayısı olarak elde edilmesi ve belirli süre içerisinde katılımcılara eşit sayıda soru sorulabildiğinden, katılımcıların doğru yanıt sayıları normal dağılıma uymamasıdır.

Mann-Whitney U testi popülasyonun medyanlarının farklı olup olmadığına karar veren bir istatistiksel analiz yöntemidir. Popülasyon medyanları arasındaki farkı kapsayacak olası bir değer aralığını hesaplar. Popülasyonlar normal dağılıma uymadığında parametrik olmayan bir test olan Mann-Whitney U testi uygulanır. Mann-Whitney U testi istatistiksel anlamlılığı saptamak için örneklem verilerinin verilerin özgül değerleri yerine sıralarını kullanır. Sıfır hipotezi birinci popülasyonun medyanının ikinci

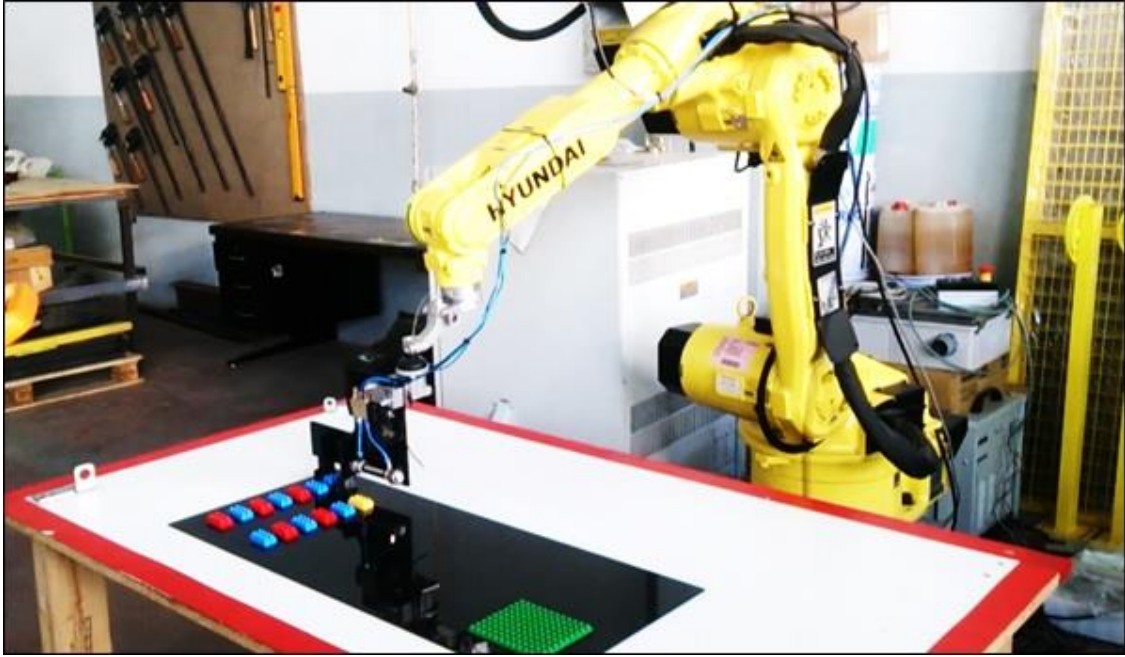
popülasyonun medyanına eşit olduğunu belirtirken, alternatif hipotez ise birinci popülasyonun medyanının ikinci popülasyonun medyanına eşit olmadığını veya ikinci popülasyonun medyanından büyük veya küçük olduğunu belirtir (<http://support.minitab.com/en-us/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/hypothesis-tests/nonparametrics-tests/why-use-mann-whitney>, 2017d).



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

İnsan-robot birlikte çalışmalarında genişletilmiş/dağıtık biliş (Extended/distributed cognition) yaklaşımıyla yapılan iş yeri tasarımlarının, cinsiyet faktörünün ve farklı robot kolu hızlarının çalışanların bilişsel yükü üzerindeki etkisinin incelenmesi için deneysel bir çalışma yapılmıştır.

Deneysel çalışma için BALKAN ROBOTİK TEK. MEK. SİS. END. EK. SAN. TİC. LTD. ŞTİ.'den destek alınmış ve firmada bulunan serbestlik derecesi altı olan eğitim robotu kullanılarak Şekil 3.1'de gösterilen örnek işyeri oluşturulmuştur. İşyeri yaklaşık 4 m<sup>2</sup> ve iş oturarak yapılan bir iştir.

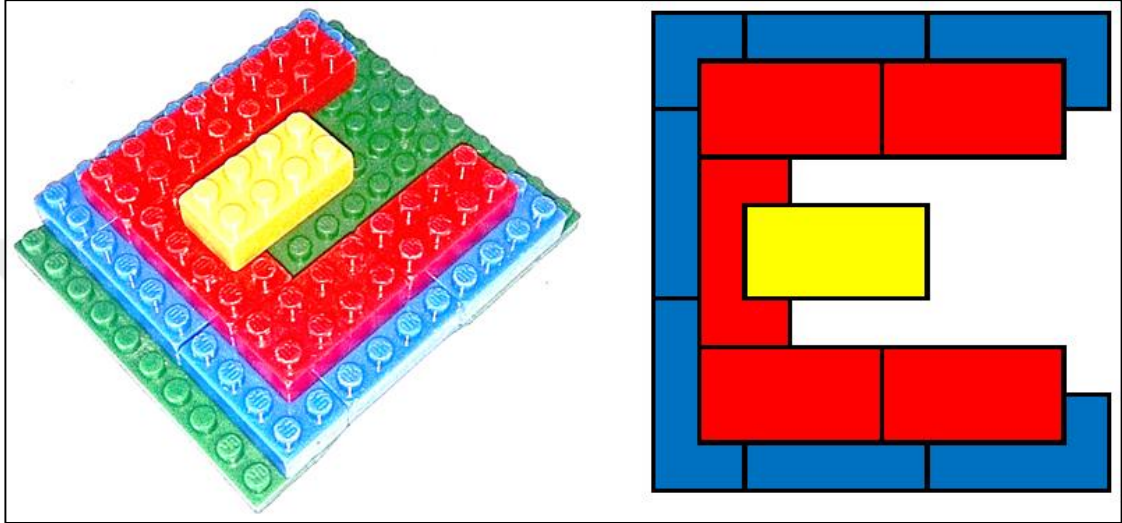


Şekil 3.1.Örnek işyeri

Bu çalışma 18-46 yaşları arasında, yaş ortalaması 26,31 olan 40 katılımcı (20 kadın, 20 erkek) ile gerçekleştirilmiştir. Katılımcılardan sabit hızlı robot kolunun kendilerine önceden belirlenmiş bir sırayla taşıyacağı bileşenler ile Şekil 3.2'de gösterilen iş örneğini meydana getirmeleri istenmiştir. Bunun için bir adet 2×2 ve on iki adet 4×2 boyutunda toplam 13 bileşen kullanılmıştır. Bu bileşenlerin renkleri bitmiş üründeki konumlarına göre farklılık göstermektedir. İlk katman için (bir adet 2×2 boyutunda ve



altı adet 4×2 boyutunda olmak üzere) yedi adet mavi, ikinci katman için beş adet kırmızı ve üçüncü katman için bir adet sarı parça kullanılmıştır. Robot kolu; bileşenleri, 2×2 boyutundaki mavi parçadan başlayarak mavi, kırmızı ve sarı sırasıyla iş tablasında önceden belirlenmiş yere bırakmış ve her katılımcı parçaları tek tek alarak montaj ürününü oluşturmuştur.



**Şekil 3.2.**Montaj sonrası ürün

Deney öncesinde katılımcılar, iş talimatı ile ve sözlü olarak iş, robot kolu hızı ve bileşen sırası hakkında bilgilendirilmiştir. Katılımcıları iş hakkında bilgilendirmek için hazırlanan iş talimatı Ek 1’de sunulmuştur. Ana görev sırasında bilişsel yük ölçümü için kullanılan ikili görev yönteminin ayrıntılarına da bu talimatta yer verilmiştir.

Konu dışı bilişsel yüke etkisi olmaması adına herhangi bir zaman kısıtlaması yapılmamıştır. Tamamlama zamanı (robot kolunun hareketiyle eş zamanlı olarak görevi tamamlamak veya robot kolunun taşıma işlemi bittikten sonra da işe devam etmek) katılımcının kararına bırakılmıştır. Katılımcıların robot kolu taşıma işlemini bitirdiği zaman işi bitirmek zorunda bırakılmamıştır. İş tamamlayana kadar çalışma veya işi bırakma tercihi katılımcıya bırakılmıştır.

### 3.1. Deney Tasarımı

Çalışma için üç parametre belirlenmiştir. Bunlar; robot kolunun hızı, cinsiyet faktörü ve genişletilmiş/dağıtık biliş (extended/distributed cognition) etkisidir.

- Robot kolunun hızı: El-göz-beyin koordinasyonu açısından ve iş güvenliği çerçevesinde ürünlerdeki hata oranlarını minimize etmek ve çıktıları maksimize etmek için önemli bir değişkendir. Bu sebeple bu parametre  $V_1=1000$  mm/s ve  $V_2=5000$  mm/s olmak üzere iki farklı robot kolu hızı belirlenerek iki seviyede incelenmiştir.
- Genişletilmiş/dağıtık biliş (extended/distributed cognition) etkisi: Bu faktör de genişletilmiş bilişten faydalandığı ve faydalanılmadığı durumda iki seviyede incelenmiştir. Bunun için iki işyeri tasarımı kullanılmıştır. Hazırlanan standart iş alanı ve bu işyerinde Şekil 3.2’de gösterilen örnek parça gösterimi iş tablasına Clark’ın (2010) belirlediği üç ölçüte uygun olacak şekilde yerleştirilmesiyle değiştirilen iş alanında deneyler yapılmıştır. Bu şekilde sanayide işyerlerinde her istasyon için belirlenmiş yerlerinde duran iş talimatlarının bir bölümüne çalışan bilişinin genişletilmesi sağlanmıştır.
- Cinsiyet faktörü: Yukarıdaki iki faktörün yanında cinsiyet faktörü de deneysel çalışmaya dahil edilmiştir. Kadın ve erkek arasında robot ile birlikte çalışmalarda bilişsel zorlanma açısından farklılık olmadığı gösterilmek istenmiştir.

Bu parametrelerin belirlenmesiyle hız ( $V_1$  ve  $V_2$ ), işyeri tasarımı (standart işyeri ve genişletilmiş/dağıtık biliş yaklaşımıyla tasarlanan işyeri) ve cinsiyet (kadın ve erkek) faktörleri ile 8 farklı alternatifli deneyler gerçekleştirilmiştir. Çalışma için dört katılımcı grubu hazırlanmış ve Çizelge 3.1’de gösterilmiştir. Katılımcılar cinsiyetlerine göre ayrıldıktan sonra rassal olarak ikişer gruba dağıtılmış ve böylece onar kişilik gruplar oluşturulmuştur. Tüm katılımcılar belirlenen iki hız seviyesinde(hem  $V_1$  hem  $V_2$  hızları için) deneyi gerçekleştirmiştir. Öğrenme durumunu ortadan kaldırabilmek için her bir katılımcı için hız sırası rassal olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 3.1.**Katılımcı grupları

Gruplar	Cinsiyet	İşyeri tasarımında genişletilmiş/dağıtık biliş yaklaşımı
1. grup	Kadın	yok
2. grup	Kadın	var
3. grup	Erkek	yok
4. grup	Erkek	var

Yukarıdaki gibi hazırlanan 2<sup>3</sup>alternatifli deney planına uygun olarak Çizelge 3.2'deki ana etkiler ve bunların etkileşimleri incelenmiştir.

**Çizelge 3.2.**Değerlendirilecek faktörler ve etkileşimleri

Faktörler	Ana Etkiler	İkili Etkileşimler	Üçlü Etkileşimler
A Hız	A	AB	ABC
B Cinsiyet	B	AC	
C Genişletilmiş/Dağıtık Biliş Yaklaşımı	C	BC	

### 3.2. Bilişsel Yük Değerlendirilmesi

Değerlendirme yöntemi olarak öznel ve nesnel yöntemlerden birlikte faydalanılmıştır.

Öznel değerlendirme yöntemi: Katılımcılar üzerinde oluşan iş yükünün değerlendirilmesi amacıyla bireysel raporlama yöntemlerinden NASA RTLX yöntemi tercih edilmiştir. Böylece deney yapısına uygun olması açısından bu yöntemle ölçütler ayrı ayrı değerlendirilebilmiştir. İş tamamlamalarının hemen ardından katılımcılardan Ek 2'de sunulmuş olan bireysel raporlama formunu doldurmaları istenmiştir.

Nesnel değerlendirme yöntemi: Literatürdeki objektif değerlendirme yöntemlerinden doğrudan ölçüm yöntemi olan ikili-görev yöntemi ve dolaylı ölçüm yöntemi olan görev süresi yöntemi kullanılmıştır. İkili-görev yöntemi PASAT yönteminden yola çıkılarak uygulanmıştır. Uygulama sırasında sayılar katılımcılara 1'den başlanarak sırayla

söylenmiştir. Söylenen her sayının katılımcı tarafından aklında tutması istenmiş ve bir önceki söylediği sayıyla toplayarak sesli olarak söylemesi istenmiş ve hataları not edilmiştir. Ek olarak görev esnasında zaman ölçümü tekniği uygulanmıştır. Bitirme zamanı konusunda serbest bırakılan katılımcıların görevi bitirme süreleri kaydedilmiştir.



## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

İnsan-robot birlikte çalışması gerektiren montaj işlerinde birey üzerinde oluşan bilişsel yük; robot kolunun hızı, cinsiyet ve genişletilmiş/dağıtık biliş (extended/distributed cognition) yaklaşımının etkilerini incelemek üzere hazırlanan örnek işyeri, katılımcılar ve deney önceki bölümde açıklanmıştır. Yapılan bu deneylerin sonucunda elde edilen bulgular ise deneyde kullanılan bilişsel yük ölçüm yöntemine göre ayrılarak bu bölümde açıklanmaktadır.

### 4.1. NASA-RTLX Yöntemi ile Elde Edilen Bulgular ve Tartışma

Katılımcılardan, işlerini tamamlamalarının hemen arkasından üzerlerinde oluşan iş yükünü altı boyutta belirleyen NASA-RTLX formunu doldurmaları istenmiştir. Bu öznel değerlendirme yöntemi ile elde edilen sonuçlar kullanılarak, her bir faktör için ayrı ayrı hazırlanmış istatistiki veriler çizelgesi Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.1.** İstatistiki veriler (Üç faktör için ayrı hazırlanmıştır)

NASA-RTLX Boyutları	Faktörler	Gruplar	$\mu$	SS
Zihinsel zorluk	Hız faktörü	V <sub>1</sub>	8,95	4,73
		V <sub>2</sub>	8,88	4,70
V <sub>1</sub>		3,25	2,72	
V <sub>2</sub>		4,85	4,61	
V <sub>1</sub>		7,98	5,15	
V <sub>2</sub>		9,70	5,48	
Performans	V <sub>1</sub>	8,55	5,78	
	V <sub>2</sub>	7,40	5,47	
Çaba	V <sub>1</sub>	7,33	4,50	
	V <sub>2</sub>	9,00	5,02	
Kaygı / Boşa Çaba	V <sub>1</sub>	7,28	5,02	
	V <sub>2</sub>	7,70	4,78	

**Çizelge 4.1.** İstatistikî veriler (Üç faktör için ayrı hazırlanmıştır) (devam)

NASA-RTLX Boyutları	Faktörler	Gruplar	$\mu$	SS
Zihinsel zorluk	Cinsiyet faktörü	Kadın	9,15	4,93
		Erkek	8,68	4,47
Kadın		3,40	3,73	
Erkek		4,70	4,66	
Geçici zorluk		Kadın	8,88	5,39
		Erkek	8,80	5,39
Performans		Kadın	8,00	4,60
		Erkek	7,95	6,55
Çaba		Kadın	7,15	4,16
		Erkek	9,18	5,25
Kaygı / Boşa Çaba	Kadın	7,68	5,10	
	Erkek	7,30	4,70	
Zihinsel zorluk	İşyeri tasarımı faktörü	Standart işyeri	10,42	4,61
		GB yaklaşımı ile işyeri	7,40	4,30
Standart işyeri		3,45	3,18	
GB yaklaşımı ile işyeri		4,65	4,38	
Fiziksel zorluk		Standart işyeri	10,63	5,79
		GB yaklaşımı ile işyeri	7,05	4,23
Geçici zorluk		Standart işyeri	6,60	5,93
		GB yaklaşımı ile işyeri	9,35	5,01
Performans		Standart işyeri	8,88	5,51
		GB yaklaşımı ile işyeri	7,45	3,95
Çaba	Standart işyeri	8,80	5,58	
	GB yaklaşımı ile işyeri	6,18	3,68	
Kaygı / Boşa Çaba	Standart işyeri	8,80	5,58	
	GB yaklaşımı ile işyeri	6,18	3,68	

Ayrıca sonuçlar üç faktörlü ANOVA uygulanarak analiz edilmiş ve NASA-RTLX yönteminin altı boyutu ayrı ayrı incelenmiştir. Bu boyutlardan bilişsel yükü doğrudan ilgili olan “zihinsel zorluk” ve “geçici zorluk” boyutları açısından farklılık oluşması beklenmekteyken, görev fiziksel olarak zorlayıcı bir iş olmadığından ve kolaylıkla başarıyla sonuçlandırılabilir bir iş olduğundan diğer boyutlarda farklılık oluşması beklenmemektedir. Zihinsel iş yükünü temsil eden boyutlarda GB yaklaşımı ile işyeri tasarımında daha düşük iş yükü oluşması beklenmektedir. Bunun yanında cinsiyet faktörü için de tüm boyutlarda farklılık beklenmemektedir.

Zihinsel zorluk boyutu için ANOVA sonuçları Çizelge 4.2’de, fiziksel zorluk boyutu için ANOVA sonuçları Çizelge 4.3’te sunulmuştur. Beklenildiği gibi genişletilmiş/dağıtık biliş (extended/distributed cognition) yaklaşımı ile tasarlanmış işyerinde çalışan birey ile standart işyerinde çalışan bireyler üzerinde oluşan zihinsel zorluk bakımından anlamlı farklılık olduğu görülmüştür. İnsan bilişinin çevreye genişlemesi bireyin üzerinde oluşan bilişsel yükü azaltmaktadır. Yine öngörüldüğü gibi kadın ve erkek bireyler arasında zihinsel zorluk boyutu bakımından anlamlı bir farklılık olduğu söylenememektedir. Bu, ağır fiziksel güç gerektirmeyen işlerde kadın çalışanlar ve erkek çalışanlar arasında bilişsel yük açısından da bir farklılık olmadığı için benzer işlerde kadın çalışan sayısının artırılması gerektiğinin de bir göstergesidir. Bunların yanı sıra zihinsel zorluk boyutu için hız faktörü ve ikili ve üçlü etkileşimler arasında anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir. İşin süre bakımından kısa süren bir iş olması, robot kolu hareketinin karmaşıklığının düşük olması gibi durumlar böyle bir sonuca ortaya çıkarmış olabilir.

Fiziksel zorluk boyutu için ise tahmin edildiği gibi hiçbir faktör için anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir. Bunun sebebi işin; bireyin büyük bir fiziksel güç harcamasını gerektirmeyen veya bireyi fiziki olarak kısıtlamayan bir iş olmasıdır.

**Çizelge 4.2.**NASA-RTLX zihinsel zorluk boyutu için ANOVA sonuçları

DK (Değişkenlik Kaynağı)	KT (Kareler Toplamı)	Sd (serbestlik derecesi)	KO (Kareler Ortalaması)	F	p-değeri
A (Hız)	0,112	1	0,112	0,003	0,959
B (Cinsiyet)	4,512	1	4,512	0,106	0,747
C (İşyeri Tasarımı)	183,013	1	183,013	4,295	0,046
A x B	0,313	1	0,313	0,007	0,932
A x C	27,613	1	27,613	0,648	0,427
B x C	90,312	1	90,312	2,120	0,155
A x B x C	63,013	1	63,013	1,479	0,233
Hata	1363,500	32	42,609		
Toplam	1732,388	39			

**Çizelge 4.3.** NASA-RTLX fiziksel zorluk boyutu için ANOVA sonuçları

DK	KT	Sd	KO	F	p-değeri
A (Hız)	51,200	1	51,200	1,621	0,212
B (Cinsiyet)	33,800	1	33,800	1,070	0,309
C (İşyeri Tasarımı)	28,800	1	28,800	0,912	0,347
A x B	20,000	1	20,000	0,633	0,432
A x C	5,000	1	5,000	0,158	0,693
B x C	20,000	1	20,000	0,633	0,432
A x B x C	0,200	1	0,200	0,006	0,937
Hata	1010,800	32	31,588		
Toplam	1169,800	39			

Geçici zorluk boyutu için ANOVA sonuçları Çizelge 4.4'te, performans boyutu için ANOVA sonuçları ise Çizelge 4.5'te gösterilmektedir. Buna göre birey üzerindeki zaman baskısını ölçmeyi hedefleyen geçici zorluk boyutunda da işyeri tasarımı faktörü için anlamlı bir farklılığın gözlenmiştir. Katılımcılara zaman kısıtlaması uygulanmamış olsa da robot kolunun hareketi ile birlikte aynı anda çalışmak durumunda olmaları bu baskıyı ortaya çıkarmaktadır. Geçici zorluk boyutunda oluşan bu anlamlı farklılık, zaman baskısının da bilişsel yük oluşturan etmenlerden biri olması sebebiyle, birey üzerinde oluşan bilişsel yükün genişletilmiş/dağıtık biliş (extended/distributed cognition) yaklaşımıyla azaldığını göstermektedir. Ancak burada hız faktörünün ve faktör etkileşimlerinin geçici zorluk üzerinde anlamlı bir farklılık oluşturmadığı gözlenmektedir.

Bunun yanında katılımcıların performans değerlendirmeleri açısından da herhangi bir faktör veya etkileşimde anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir. Yukarıda da belirtildiği gibi işin yapısı gereği zorluk içermemesi, uzun süre gerektirmemesi gibi durumlar nedeniyle beklenildiği üzere tüm katılımcılar işi başarıyla sonuçlandırmış, bitmiş ürünü hazırlamıştır. Bu sebeple performans boyutu için de herhangi bir farklılık oluşmamıştır.



**Çizelge 4.4.**NASA-RTLX geçici zorluk boyutu için ANOVA sonuçları

DK	KT	Sd	KO	F	p-değeri
A (Hız)	59,512	1	59,512	0,996	0,326
B (Cinsiyet)	0,112	1	0,112	0,002	0,966
C (İşyeri Tasarımı)	255,613	1	255,613	4,276	0,047
A x B	6,613	1	6,613	0,111	0,742
A x C	5,513	1	5,513	0,092	0,763
B x C	21,012	1	21,012	0,352	0,557
A x B x C	3,613	1	3,613	0,060	0,807
Hata	1912,900	32	59,778		
Toplam	2264,888	39			

**Çizelge 4.5.**NASA-RTLX performans boyutu için ANOVA sonuçları

DK	KT	Sd	KO	F	p-değeri
A (Hız)	26,450	1	26,450	0,396	0,534
B (Cinsiyet)	0,050	1	0,050	0,001	0,978
C (İşyeri Tasarımı)	151,250	1	151,250	2,265	0,142
A x B	4,050	1	4,050	0,061	0,807
A x C	68,450	1	68,450	1,025	0,319
B x C	18,050	1	18,050	0,270	0,607
A x B x C	92,450	1	92,450	1,384	0,248
Hata	2137,200	32	66,788		
Toplam	2497,950	39			

Çaba boyutu için ANOVA sonuçları Çizelge 4.6’da, kaygı/boşa çaba boyutu için ANOVA sonuçları Çizelge 4.7’de sunulmuştur. İki boyut için de tahmin edildiği gibi faktörler ve etkileşimleri açısından anlamlı farklılık gözlenmemiştir. Belirlenen işin fiziksel bir zorluk gerektirmemesi çaba boyutunda anlamlı bir farklılık oluşmamasını sağlamıştır. Ayrıca işin yapısı gereği zor bir iş olmaması ve katılımcıların başarıyla montaj işini tamamlayabilmiş olmaları da katılımcılar üzerinde kaygı vb. hisler oluşmasını önlemiş ve kaygı/boşa çaba boyutunda da anlamlı bir farklılık oluşmamasına sebep olmuştur.

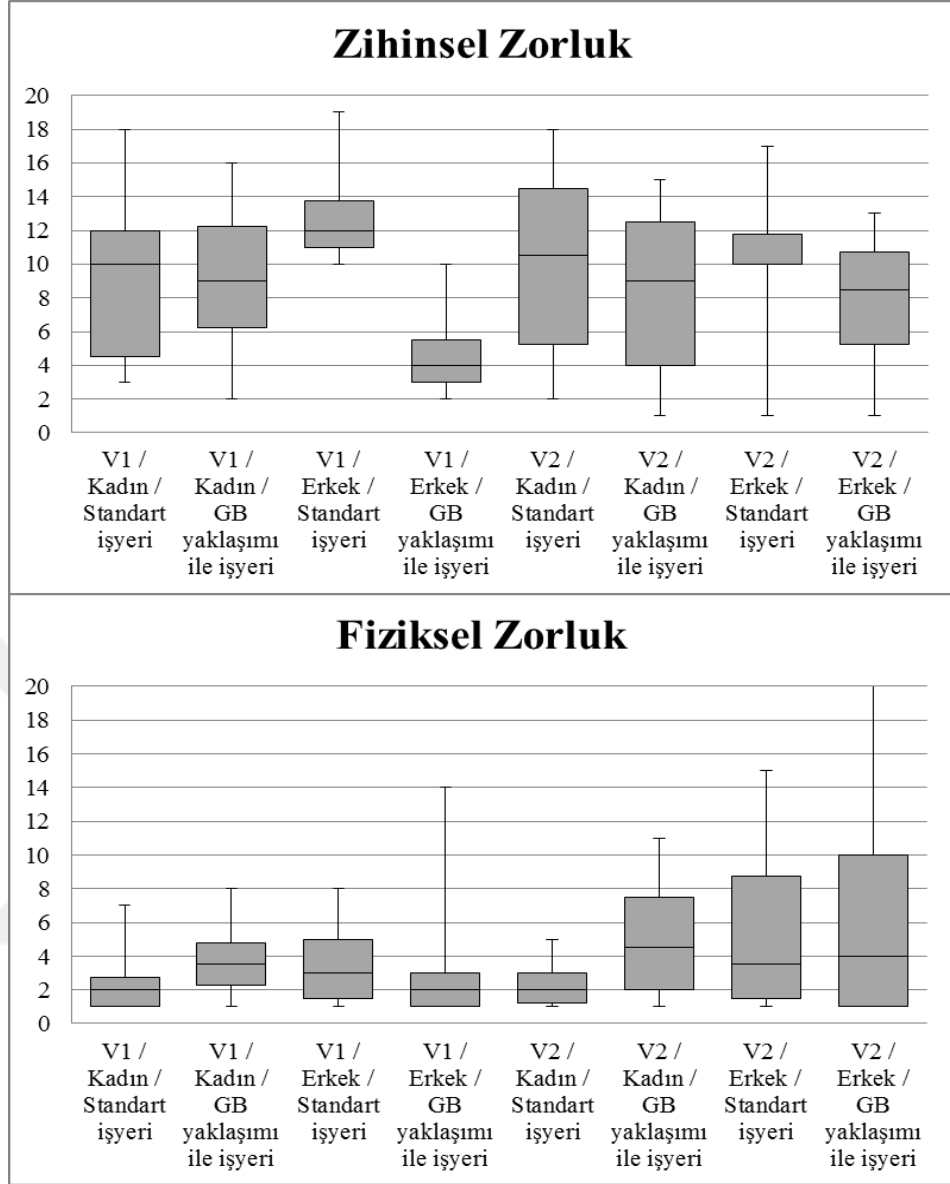
**Çizelge 4.6.**NASA-RTLX çaba boyutu için ANOVA sonuçları

DK	KT	Sd	KO	F	p-değeri
A (Hız)	56,113	1	56,113	1,158	0,290
B (Cinsiyet)	82,013	1	82,013	1,692	0,203
C (İşyeri Tasarımı)	40,613	1	40,613	0,838	0,367
A x B	32,513	1	32,513	0,671	0,419
A x C	2,112	1	2,112	0,044	0,836
B x C	66,613	1	66,613	1,374	0,250
A x B x C	0,012	1	0,012	0,000	0,987
Hata	1550,900	32	48,466		
Toplam	1830,888	39			

**Çizelge 4.7.**NASA-RTLX kaygı/boşa çaba boyutu için ANOVA sonuçları

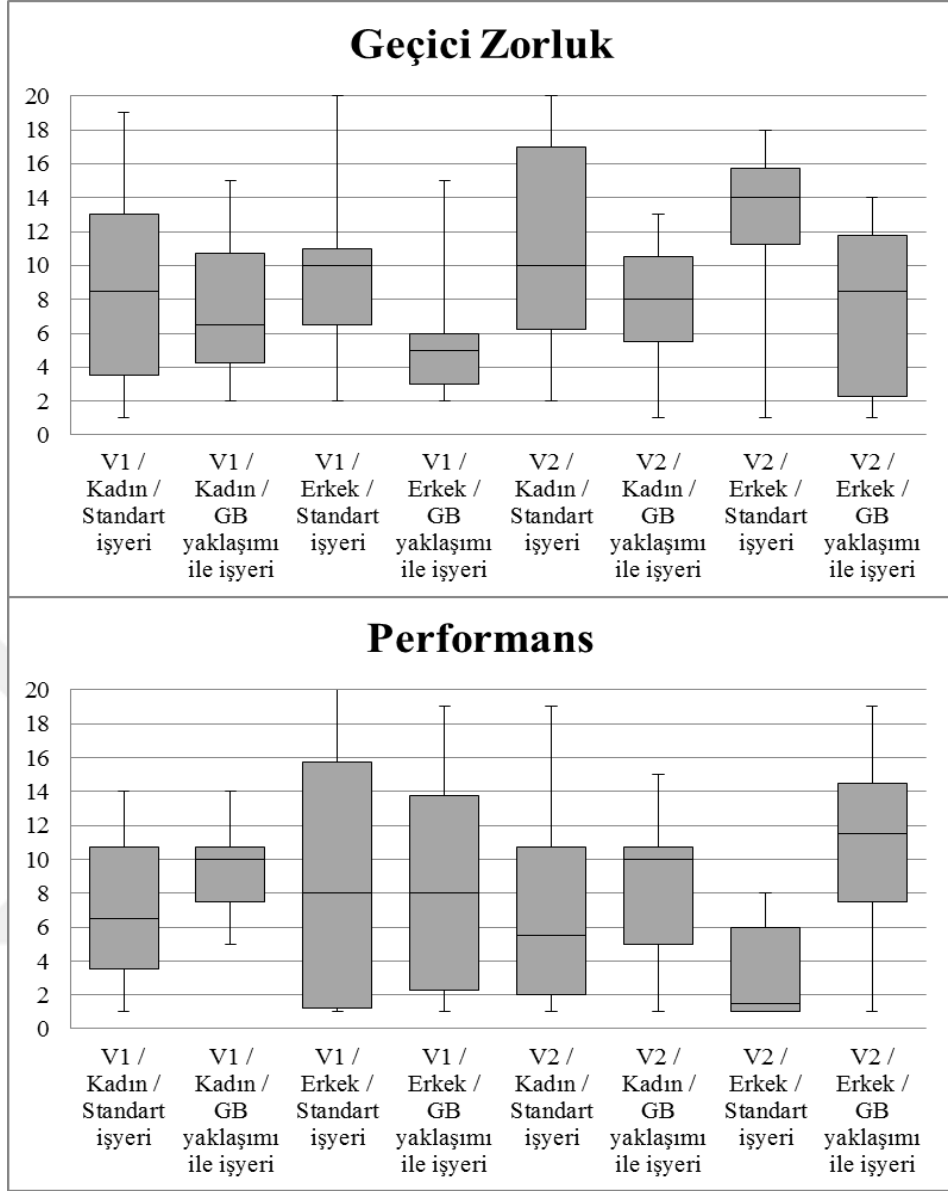
DK	KT	Sd	KO	F	p-değeri
A (Hız)	3,613	1	3,613	0,069	0,794
B (Cinsiyet)	2,812	1	2,812	0,054	0,818
C (İşyeri Tasarımı)	137,813	1	137,813	2,636	0,114
A x B	1,513	1	1,513	0,029	0,866
A x C	0,312	1	0,312	0,006	0,939
B x C	15,313	1	15,313	0,293	0,592
A x B x C	43,513	1	43,513	0,832	0,368
Hata	1673,100	32	52,284		
Toplam	1877,988	39			

Ayrıca NASA-RTLX'in zihinsel zorluk ve fiziksel zorluk boyutları için hazırlanan kutu-bıyık(box-plot) grafikleri ise Şekil 4.1'de sunulmuştur. Bu grafikler incelendiğinde zihinsel zorluk için aynı hız ve cinsiyet grupları kendi aralarında incelendiğinde GB yaklaşımı ile işyeri tasarımı yapıldığında ortalama olarak zihinsel zorluğun daha düşük olduğu gözlenmektedir. Fiziksel zorluk boyutu için ise yukarı da olduğu gibi dikkat çekici bir farklılık görülmemektedir. İki boyut için ise cinsiyet faktörü de incelendiğinde farklılık görülmemektedir. Ancak her ne kadar istatistiki analiz sonucu anlamlı bir farklılık ortaya çıkmasa da hız faktörü açısından fiziksel zorluk ortalamalarının bir miktar yüksek olduğu görülmektedir.



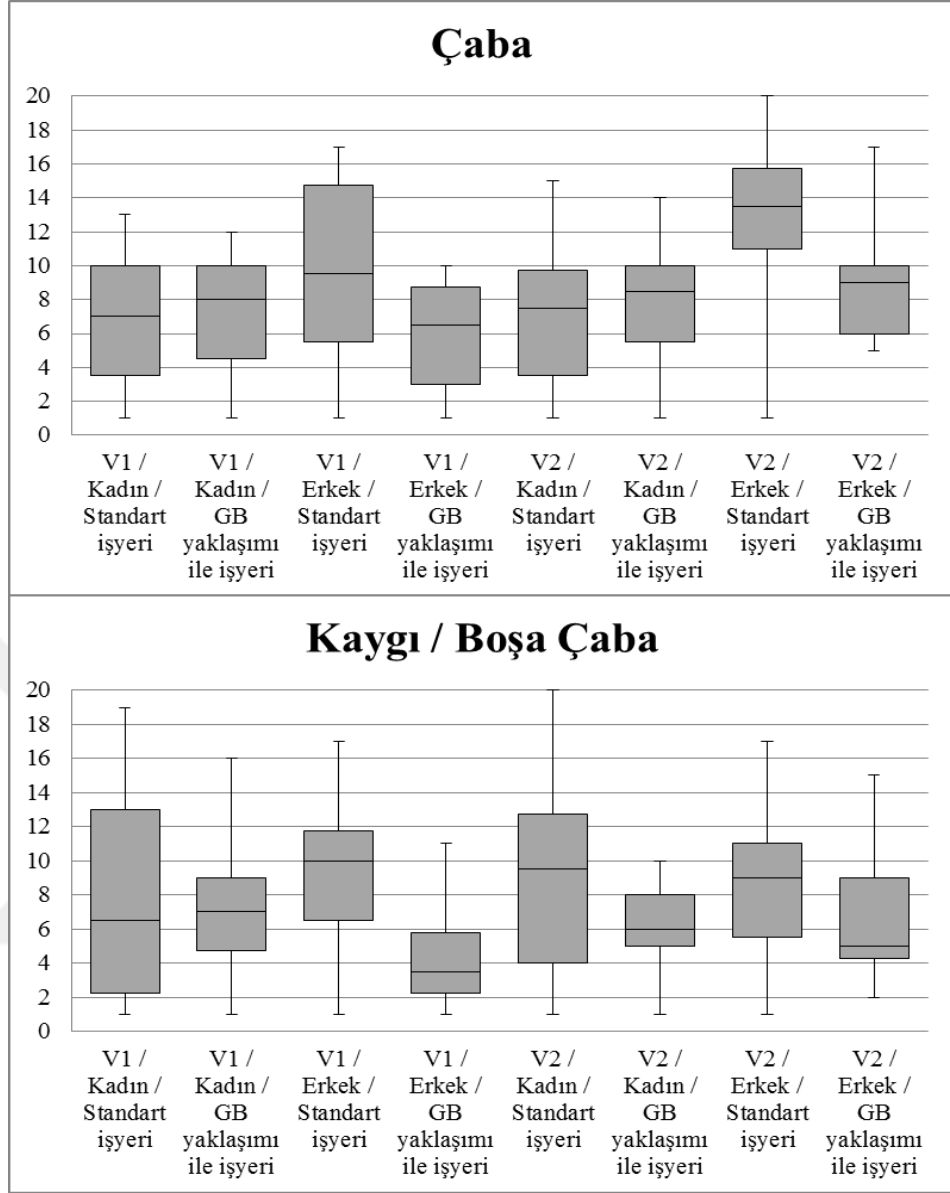
**Şekil 4.1.**NASA RTLX zihinsel zorluk ve fiziksel zorluk boyutları için kutu-bıyık grafiği

NASA RTLX'in geçici zorluk ve performans boyutları için hazırlanmış olan kutu-bıyık grafikleri ise Şekil 4.2'de sunulmuştur. Buna göre geçici zorluk boyutunda da zihinsel zorluk boyutuyla benzer bir görüntü ortaya çıkmaktadır. Burada da geçici zorluk için hız ve cinsiyet grupları kendi aralarında incelendiğinde GB yaklaşımı ile tasarlanan işyerinde daha düşük geçici zorluk görülmektedir. Performans boyutunda ise ortalamalarda büyük bir farklılık görülmemektedir.



**Şekil 4.2.**NASA-RTLX geçici zorluk ve performans boyutları için kutu-bıyık grafiği

NASA-RTLX'in çaba ve kaygı/boşa çaba boyutları için ise hazırlanan kutu-bıyık grafiği ise Şekil 4.3'te sunulmuştur. Bu iki grafik incelendiğinde, çaba boyutu için ortalamalar arasında büyük bir farklılık görülmemektedir. Ancak kaygı/boşa çaba boyutu için her ne kadar ANOVA sonucu anlamlı bir farklılık düzeyi oluşmamış olsa da GB yaklaşımı ile tasarlanan işyerindeki çalışmaların ortalama olarak katılımcılar üzerinde bir miktar düşük yük oluşturduğu görülmektedir.



Şekil 4.3.NASA-RTLX geçici kaygı ve kaygı/boşa çaba boyutları için kutu-bıyık grafiği

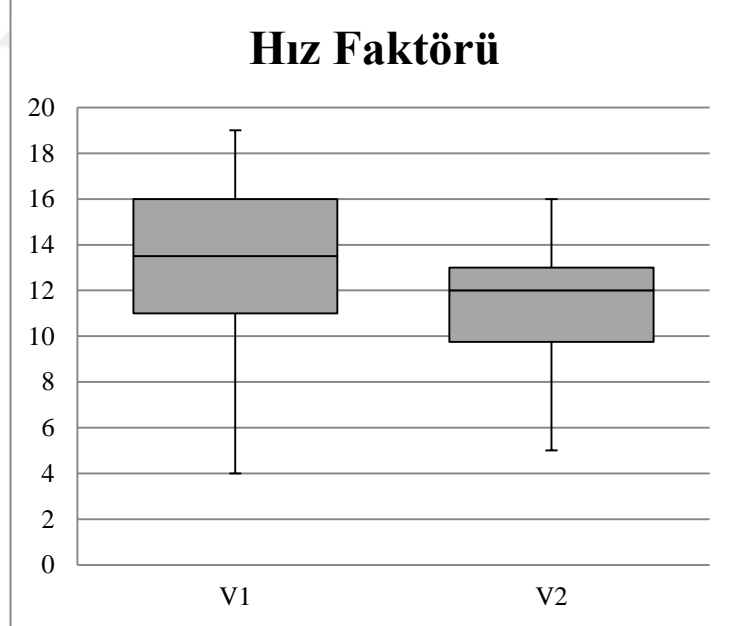
#### 4.2. PASAT Yöntemi ile Elde Edilen Bulgular ve Tartışma

Deney sırasında katılımcılara uygulanan PASAT yönteminden elde edilen doğru yanıt adetleri, normal dağılıma uymayan bir veri tipi olduğundan bu gibi durumlar için geliştirilmiş, verilerin aynı dağılımdan gelip gelmediğini kontrol etmekte kullanılan Mann-Whitney U testi kullanılarak üç faktörün etkisi analiz edildi. Analiz sonuçları Çizelge 4.8’de gösterilmektedir.

**Çizelge 4.8.**PASAT yöntemi için istatistikî veriler ve Mann-Whitney U testi sonuçları

Faktörler	Faktör seviyesi	$\mu$	SS	U-değeri	p-değeri
Hız	V <sub>1</sub>	12,800	3,589	522,500	0,004
	V <sub>2</sub>	11,050	2,745		
Cinsiyet	Kadın	11,825	3,296	758,500	0,345
	Erkek	12,025	3,332		
İşyeri tasarımı	Standart işyeri	11,375	3,349	617,000	0,039
	GB yaklaşımı ile tasarlanmış işyeri	12,475	3,186		

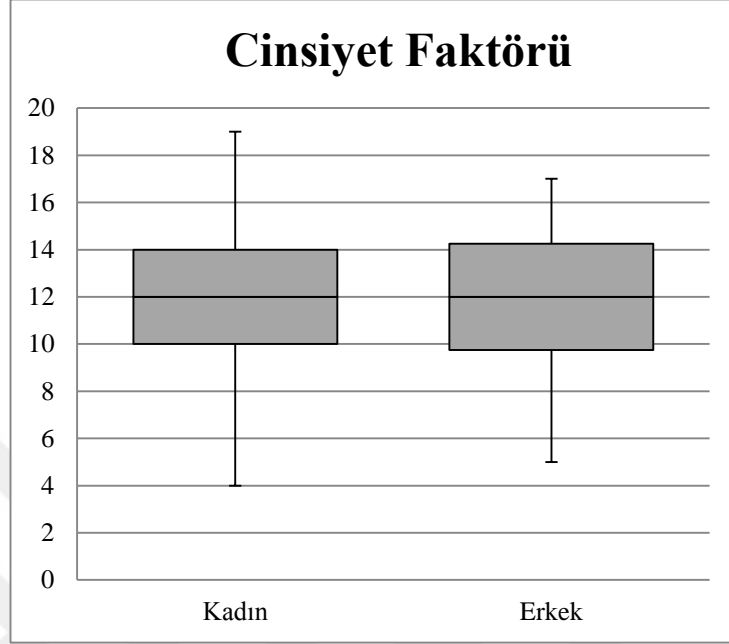
Hız faktörü açısından incelendiğinde, V<sub>2</sub> hızı ile yapılan deneylerde katılımcıların verdiği doğru yanıt sayısı ile V<sub>1</sub> hızı ile yapılan deneylerde katılımcıların verdiği doğru yanıt sayısı arasında anlamlı bir farklılık gözlenmiş, V<sub>1</sub> hızı ile yapılan deneylerde daha fazla doğru yanıt sayısına ulaşılmıştır. Ancak bu farklılığın temel sebebi daha yavaş robot kolu hızı ile deneyin daha uzun sürmesi ve süre içinde daha fazla soruya doğru yanıt verilmesidir. Kutu-bıyık grafiği Şekil 4.4'te gösterilmektedir.



**Şekil 4.4.**Hız faktörü için PASAT sonuçları kutu-bıyık grafiği

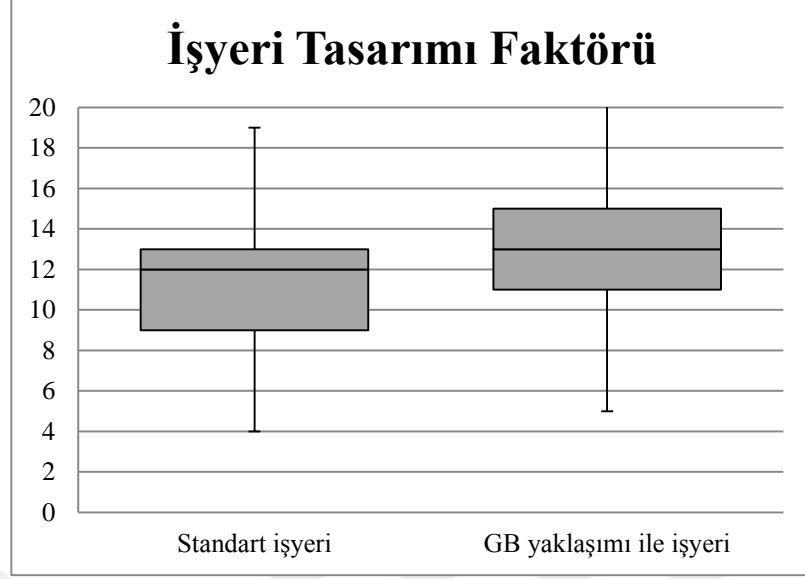
Öte yandan cinsiyet faktörü incelendiğinde iki cinsiyet arasında anlamlı bir farklılık ortaya çıkmadığı görülmektedir. Bu da beklenildiği gibi cinsiyetler arasında bilişsel yük

bakımından farklılık olmadığını desteklemektedir. Cinsiyet faktörü için hazırlanmış kutu-bıyık grafiği Şekil 4.5'te gösterilmektedir.



**Şekil 4.5.**Cinsiyet faktörü için PASAT sonuçları kutu-bıyık grafiği

İşyeri tasarımı açısından sonuçlar incelendiğinde ise iki tasarım arasında anlamlı bir farklılık olduğu görülmektedir. Genişletilmiş/dağıtık biliş (extended/distributed cognition) yaklaşımı göz önünde bulundurularak hazırlanan iş alanında çalışan katılımcıların doğru yanıt sayılarının standart iş alanında çalışan katılımcılardan anlamlı olarak daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Buna, genişletilmiş/dağıtık biliş (extended/distributed cognition) yaklaşımı ile hazırlanan iş alanında yapılan işin birey üzerinde daha az bilişsel yük oluşturması ve böylece ikincil işte bireylerin daha başarılı olması neden olarak gösterilebilir. İşyeri tasarımı açısından hazırlanmış kutu-bıyık grafiği Şekil 4.6'da gösterilmektedir.



**Şekil 4.6.**İşyeri tasarımı faktörü için PASAT sonuçları kutu-bıyık grafiği

Bu tez çalışmasında bilişsel yük, bilişsel yükün etkileri ve çeşitleri açıklanarak genişletilmiş bilişle olan etkileşimini gözlemlemek için deneysel bir çalışma yapıldı. Literatürde bilişsel yük ölçümü konusunda birçok çalışma olsa da genişletilmiş biliş ile bağlantı kurulmamıştır. Ancak, bu deneysel çalışmanın sonuçları göstermiştir ki genişletilmiş bilişin bilişsel yük üzerindeki etkileri dikkate alınmalıdır. Genişletilmiş biliş; varlığıyla alet, makine, arayüz kullanımı ve hayatın çeşitli alanlarında iş yükünü etkilediği ve oluşturduğu için, bilişsel yükü doğrudan etkileyebilmektedir. Ahlstrom ve ark. (2006) da işyeri tasarımının kontrolörün verimliliğinde etkisi olduğunu belirtmişlerdir.

Van Gog ve ark. (2009b) ve De Koning ve ark. (2010) çalışmalarında bilişsel yük üzerindeki dikkat rehberliği etkisini araştırmışlardır. Benzer biçimde Jamet (2014) de ipucu kullanımı etkisini araştırmıştır. Van Gog ve ark. (2009b) dikkat rehberliğinin bilişsel yük üzerindeki etkisini ispatlayamamış olsalar da, Jamet (2014) diyagram tamamlama işi için ipucu kullanımının daha başarılı sonuç ortaya çıkardığını gözlemlemiştir. Montaj işyerleri için benzer uygulamalar kullanılmak istendiğinde, bu uygulamalar çalışanın bilişinin işyerine genişlemesine neden olmaktadır.



Ayrıca, başlangıçta çalışmalar genellikle bilişsel yükü ortaya çıkarmak amaçlı olsa da, günümüzde yapılan çalışmalar odak noktasını zihin ve çevresine, genişletilmiş biliş ve dağıtık bilişe yöneltmektedir. Genişletilmiş/dağıtık biliş, insan-robot birlikte çalışmalarını için endüstriyel kullanım açısından yeni bir konudur.

Bu tez çalışmasında bir montaj işi için genişletilmiş/dağıtık biliş yaklaşımı kullanılmış ve sonuç olarak çalışan üzerindeki bilişsel yükün işyeri tasarımında genişletilmiş/dağıtık biliş yaklaşımı kullanıldığında azaldığı görülmüştür. Ayrıca bulgular göstermiştir ki iş yükü kadın ve erkek bireyler arasında farklılık göstermemektedir. Bu bulgunun, bu çeşit insan-robot birlikte çalışması gerektiren montaj işlerinde kadın çalışan sayısının artırılmasına yardım etmesi beklenmektedir.

## 5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında bilişsel yük, genişletilmiş biliş ve bilişsel ergonomi ilişkisi üzerinde durulmuştur. Çalışanın, bir robot ile işbirliği içinde küçük parçaların monte edilmesi işini yaparken, bilişinin iş alanına genişletilmesini sağlayacak işyeri tasarımının bilişsel yüküne olan etkisini araştırmak için bir deneysel çalışma yapılmıştır.

İnsan ve robotun birlikte çalıştığı bir işyeri tasarımı yapılırken bilişsel yük de en az fiziksel yük kadar dikkate alınmalıdır. Deneysel çalışmanın bulguları, işyerlerini genişletilmiş biliş yaklaşımı ile tasarlanmanın çalışan üzerindeki bilişsel yükü azaltmaya yardımcı olduğunu göstermiştir.

Belirtildiği gibi bilişsel yükün hem etkileri hem de çeşitleri birbirleriyle ilişkilidir ve birbirlerinden etkilenmektedir. Buna göre bilişsel iş yükünü optimize etmek için sadece toplam bilişsel yükü azaltmak değil, bunun yanında çeşit ve etkilerini de dikkate alarak optimize etmek gerekmektedir.

Ayrıca oldukça yeni bir konu olan genişletilmiş zihin (extended mind) (veya genişletilmiş/dağıtık biliş) gittikçe ön plana çıkmaktadır. Bu konunun bilişsel yükle olan ilişkisi dikkate alınmalıdır.

Bir ürün, işyeri, iş metodu veya bir arayüz vb. tasarlanırken bilişsel yük ile ilgili faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Tasarımların bilişsel yük etki ve çeşitleri ile genişletilmiş biliş konusuna uygun olması gerekmektedir. Bu yolla, işyeri tasarımı için kullanıcı kaynaklı hatalar azalmakta ve süreçler için standardizasyon artmaktadır. Ayrıca kalite hataları da azalmakta ve bu azalışla birlikte verim de artmaktadır. Ürün tasarımı için ise kullanılabilirlik artar ve müşteri memnuniyeti ile birlikte verim de artırılmış olur.

Ek olarak bu tez çalışmasıyla ağır fiziksel çaba gerektirmeyen montaj işlerinde kadın çalışan sayısının az olmasının önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Bulgular kadın ve erkek bireyler arasında bilişsel yük anlamında da bir farklılık olmadığını göstermektedir. Bu

durumda deneysel çalışmadaki gibi ağır fiziksel çaba gerektirmeyen işlerde kadın istihdamının artmasının önünde engel bulunmamaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında incelenen bir diğer faktör olan robot kolu hızı konusunda deney grupları arasında farklılık gözlenmemiştir. Buna işin yapısından kaynaklı çeşitli etmenlerin sebep olabileceği belirtilmiştir. Ancak yine de robot kolu hızı konusu göz-el-beyin koordinasyonu açısından önemli bir konudur.



## KAYNAKLAR

- Ahlstrom, U., Friedman-Berg, F J. 2006.** Using eye movement activity as a correlate of cognitive workload. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36: 623-636.
- Anderson, M. 2015.** The Extended Mind: The Renaissance Extended Mind. Palgrave Macmillan, Hampshire, UK, 285 pp.
- Anonim, 2017a.** Paced auditory serial addition test. <http://pasat.us->(Erişim tarihi: 12.05.2017).
- Anonim, 2017b.** NASA Task Lod Index (TLX) v. 1.0 Paper and Pencil Package. [https://humansystems.arc.nasa.gov/groups/tlx/downloads/TLX\\_pappen\\_manual.pdf](https://humansystems.arc.nasa.gov/groups/tlx/downloads/TLX_pappen_manual.pdf)- (Erişim tarihi: 28.05.2017).
- Anonim, 2017c.** What is ANOVA?<http://support.minitab.com/en-us/minitab/17/topic-library/modeling-statistics/anova/basics/what-is-anova->(Erişim tarihi: 28.05.2017).
- Anonim, 2017d.** Why shoul I use Mann-Whitney test? <http://support.minitab.com/en-us/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/hypothesis-tests/nonparametrics-tests/why-use-mann-whitney->(Erişim tarihi: 28.05.2017).
- Austin, K. A. 2009.** Multimedia learning: Cognitive individual differences and display design techniques predict transfer learning with multimedia learning modules. *Computers & Education*, 53: 1339-1354.
- Baber, C. 2003.** Cognition and tool use. Taylor & Francis, London, 166 pp.
- Baber, C., Parekh, M., Cengiz, T. G. 2014.** Tool use as distributed cognition: How tools help, hinder and define manual skill. *Frontiers in Psychology*, 5: 116.
- Brookhuis, K. A., De Vries, G., De Waard, D. 1991.** The effects of mobile telephoning on driving performance. *Accident Analysis and Prevention*, 23(4):309-316.
- Byers, J. C., Bittner, A. C. Jr., Hill, S. G. 1989.** Traditional and raw Task Load Index (TLX) correlations: Are paired comparisons necessary?: Advances in industrial ergonomics and safety I, Ed.: Mital, A., Taylor & Francis, London, pp: 481-485.
- Chevalier, A., Kicka, M. 2006.** Web designers and web users: Influence of the ergonomic quality of the web site on the information search. *International Journal of Human-Computer Studies*, 64: 1031-1048.
- Cierniak, G., Scheiter, K., Gerjets, P. 2008.** Explaining the split-attention effects: Is the reduction of extraneous cognitive load accompanied by an increase in germane cognitive load? *Computers in Human Behavior*, 25: 315-324.
- Clark, A., Chalmers, D. J. 1998.** The extended mind. *Analysis*, 58: 7-19.
- Clark, A. 2010.** Memento's Revenge: The Extended Mind Extended: The Extended Mind, Ed.: Menary, R., MIT Press, pp:43.
- De Jong, T. 2010.** Cognitive load theory, educational research, and instructional design: some food for thought. *Intr Sci*, 38: 105-134.
- De Koning B. B., Tabbers, H. K., Rikers, R. M. J. P., Paas, F. 2010.** Attention guidance in learning from a complex animation: Seeing is understanding? *Learning and Instruction*, 20: 111-122.
- Delice, E. K. 2016.** Acil servis hekimlerinin NASA-RTLX yöntemi ile zihinsel iş yüklerinin değerlendirilmesi: Bir uygulama çalışması. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 30(3): 645-662.
- Evans, C., Gibbons N. J. 2007.** The interactivity effect in multimedia learning. *Computers & Education*, 49: 1147-1160.
- Gallagher, S. 2013.** The socially extended mind. *Cognitive Systems Research*, 25-26: 4-12.

- Galy, E., Cariou, M., Mélan, C. 2012.** What is relationship between mental workload factors and cognitive load types? *International Journal of Psychophysiology*, 83: 269-275.
- Grajewski, D., Górski, F., Zawadzki, P., Hamrol, A. 2013.** Application of virtual reality techniques in design of ergonomic manufacturing workplaces. *Procedia Computer Science*, 25: 298-301.
- Greif, H. 2015.** What is the extension of the extended mind? *Synthese*, 1-26.
- Gronwall, D. M. A. 1977.** Paced auditory serial-addition task: A measure of recovery from concussion. *Perceptual and Motor Skills*, 44: 367-373.
- Hart, S. G., Staveland, L. E. 1988.** Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *Advances in Psychology*, 52: 139-183.
- Horrey, W. J., Lesch, M. F., Garabet, A. 2009.** Dissociation between driving performance and drivers' subjective estimates of performance and workload in dual-task conditions. *Journal of Safety Research*, 40: 7-12.
- Huang, P. S., Chen, H. C. 2015.** Gender differences in eye movement in solving text-and-diagram science problems. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 1-20.
- Jalani, N. H., Sern, L. C. 2015.** The example-problem-based learning model: applying cognitive load theory. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 195: 872-880.
- Jamet, E. 2014.** An eye-tracking study of cueing effects in multimedia learning. *Computers in Human Behavior*, 32: 47-53.
- Jiang, X., Zheng, B., Bednarik, R., Atkins, M. S. 2015.** Pupil responses to continuous aiming movements. *International Journal of Human-Computer Studies*, 83:1-11.
- Liu, H. C., Chuang, H. H. 2010.** An examination of cognitive processing of multimedia information based on viewers' eye movements. *Interactive Learning Environments*, 19(5): 503-517.
- Liu, H. C., Lai, M. L., Chuang, H. H. 2011.** Using eye-tracking technology to investigate the redundant effect of multimedia web pages on viewers' cognitive processes. *Computers in Human Behavior*, 27: 2410-2417.
- Kılıç Çakmak, E. 2007.** Çoklu ortamlarda dar boğaz: Aşırı bilişsel yüklenme. *Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 27(2): 1-24.
- Majooni, A., Masood, M., Akhavan, A. 2015.** Scientific visualizations based on integrated model of text and picture comprehension via eye-tracking. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 176: 52-59.
- Martin, S. 2015.** Measuring cognitive load and cognition: metrics for technology-enhanced learning. *Educational Research and Evaluation: An International Journal on Theory and Practice*, 20: 592-621.
- Matthews, G., Reinerman-Jones, L. E., Barber, D. J., Abich IV, J. 2015.** The psychometrics of mental workload: Multiple measures are sensitive but divergent. *Human Factors*, 57(1): 125-143.
- Michaelian, K. 2012.** Is external memory memory? Biological memory and extended mind. *Consciousness and Cognition*, 21: 1154-1165.
- Miller, S., 2001.** Workload Measures, National Advanced Driving Simulator, Iowa City, United States.
- Moreno, R., Park, B. 2010.** Cognitive load theory: Historical development and relation to other theories, Ed.: Plass, J. L., Moreno, R., Brünken, R., Cambridge University Press, New York, USA, pp: 9-28.
- Nakayama, Y. 2013.** The extended mind and the extended agent. The 9th International

- Conference on Cognitive Science, 27-30 August, 2013, Kuching, Sarawak, Malaysia.
- Paas, F. G. W. C., Van Merriënboer J. J. G. 1994.** Instructional control of cognitive load in the training of complex cognitive tasks. *Educational Psychology Review*, 6(4): 351-371.
- Paas, F., Tuovinen J. E., Tabbers, H., Van Gerven, P. W. M. 2010.** Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educational Psychologist*, 38(1): 63-71.
- Patten, C. J. D., Kircher, A., Östlund, J., Nilsson, L. 2004.** Using mobile telephones: cognitive workload and attention resource allocation. *Accident Analysis and Prevention*, 36:341-350.
- Rao, S. M., Leo, G. J., Haughton, V. M., ST. Aubin-Faubert, P., Bernadin, L. 1989.** Correlation of magnetic resonance imaging with neuropsychological testing in multiple sclerosis. *Neurology*, 39:161-166.
- Schoor, C., Bannert, M., Brünken, R. 2012.** Role of dual task design when measuring cognitive load during multimedia learning. *Education Tech Research Dev*, 60: 753-768.
- Seçkiner, S. U., Toraman, N. 2015.** Zihinsel ağırlıklı çalışmalarda iş yükünü belirlemek için yeni bir model. 21. Ulusal Ergonomi Kongresi, 2-4 Ekim 2015, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Shapiro, L. A. 2008.** Functionalism and mental boundaries. *Cognitive Systems Research*, 9(1): 5-14.
- Sharma, C., Dubey, S., K. 2014.** Analysis of eye tracking techniques in usability and HCI perspective. Computing for Sustainable Global Development. IEEE, pp. 607-612.
- Sprevak, M. 2010.** Inference to the hypothesis of extended cognition. *Studies in History and Philosophy of Science*, 41: 353-362.
- Stevens, C. J., Gibert, G., Leung, Y., Zhang, Z. 2011.** A flexible dual task paradigm for evaluating an embodied conversational agent: Modality effects and reaction time as an index of cognitive load. The 11 th International Conference on Intelligent Virtual Agents, September 2011, Reykjavik, Iceland.
- Sweller, J. 1988.** Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12: 257-285.
- Sweller, J. 2011.** Cognitive load theory: The psychology of learning and motivation. Ed.: Mestre, J. P., Ross, B. H., Elsevier Inc, pp: 37-76.
- Sweller, J., Ayres, P., Kalyuga, S. 2011.** Measuring Cognitive Load: Cognitive Load Theory, Ed.: Spector, J. M., Lajoie, S. P., Springer, New York, USA, pp: 71-85.
- Van Cauwenberge, A., Schaap, G., van Roy, R. 2014.** "TV no longer commands our full attention": Effects of second-screen viewing and task relevance on cognitive load and learning from news. *Computers in Human Behavior*, 38: 100-109.
- Van Gog, T., Kester, L., Nieuvelstein, F., Giesbers, B., Paas, F. 2009a.** Uncovering cognitive processes: Different techniques that can contribute to cognitive load research and instruction. *Computers in Human Behavior*, 25: 325-331.
- Van Gog, T., Jarodzka, H., Scheiter, K., Gerjets, P., Paas, F. 2009b.** Attention guidance during example study via the model's eye movements. *Computers in Human Behavior*, 25: 785-791.
- Vatavu, R. D., Mancas, M. 2015.** Evaluating visual attention for multi-screen television: Measures, toolkit, and experimental findings. *Personal and Ubiquitous Computing*, 19: 781-801.
- Wang, Q., Yang, S., Liu, M., Cao, Z., Ma, Q. 2014.** An eye-tracking study of website complexity from cognitive load perspective. *Decision Support Systems*, 62: 1-10.

**Wästlund, E., Norlander, T., Archer, T. 2008.** The effect of page layout on mental workload: A dual-task experiment. *Computers in Human Behavior*, 24: 1229-1245.

**Yağmuroğlu, Z., Günaydın, H. M., Kale, S. 2011.** İş gereksinim analizi yönteminin iş güvenliği bağlamında incelenmesi. 3. İşçi Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu, 21-22 Ekim 2011, Çanakkale.



## **EKLER**

**EK 1** İş Talimatı

**EK 2** NASA Task Load Index (NASA Görev Yüğü Endeksi)





## EK 1 İş Talimatı

### **Zihinsel Yük Belirleme Çalışması:**

İnsan-robot etkileşimi sırasında çalışanlar üzerinde oluşan zihinsel yükün belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen çalışmamıza katıldığınız için teşekkür ederiz.

Ana görev ve ikincil görevden oluşan çalışmayı iki kere tekrarlamamız ve her tekrarın sonunda bir anket doldurmanız istenmektedir.

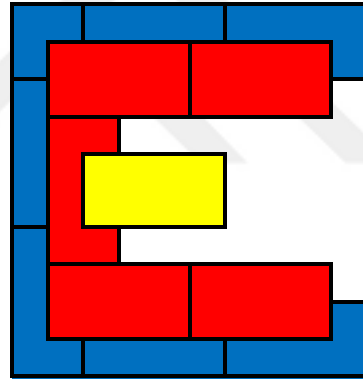
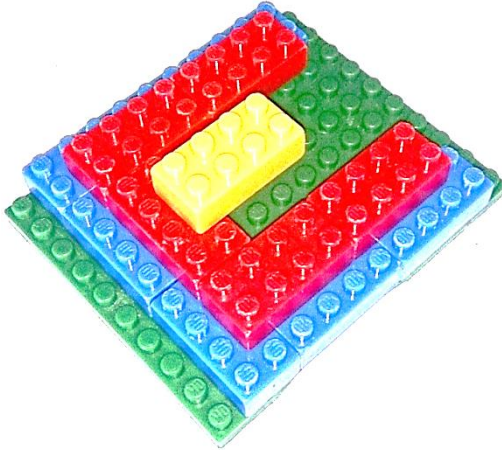
Görevler aşağıda ayrıntılı bir biçimde anlatılmıştır.

### **Ana Görev:**

Aşağıdaki resimde görmüş olduğunuz şekli oluşturacak şekilde robot kolunun size sırayla getireceği mavi, kırmızı ve sarı parçaları yeşil tablanın üzerine yerleştiriniz.

Robot kolu parçayı bırakmadan almaya çalışmayınız!

Parçalar 1 adet 2x2 boyutunda ve 12 adet 2x4 boyutunda olmak üzere 13 adettir.



### **İkincil Görev:**

Ana görevin yerine getirilmesi sırasında size belirli aralıklarla sayılar söylenecektir.

İlk duyduğunuz sayıyı sesli olarak tekrar ediniz.

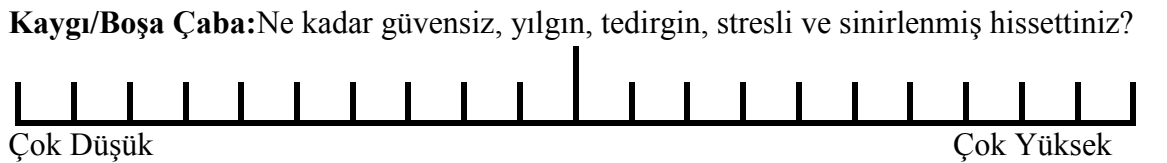
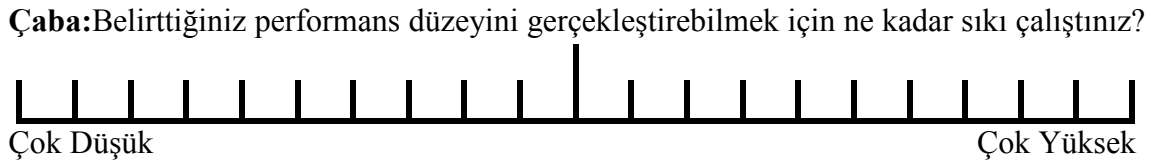
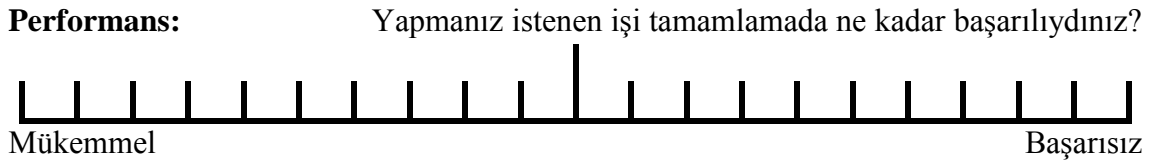
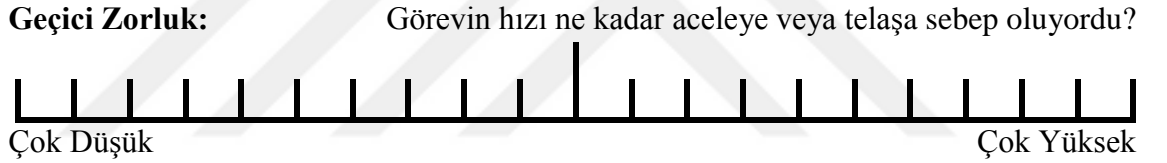
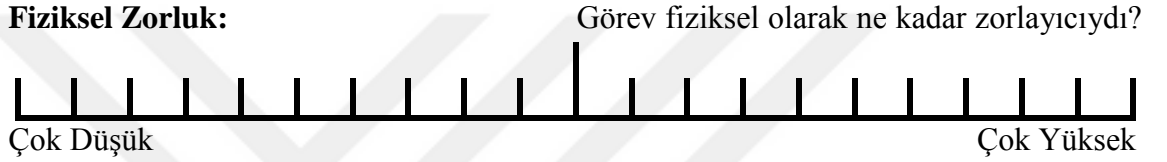
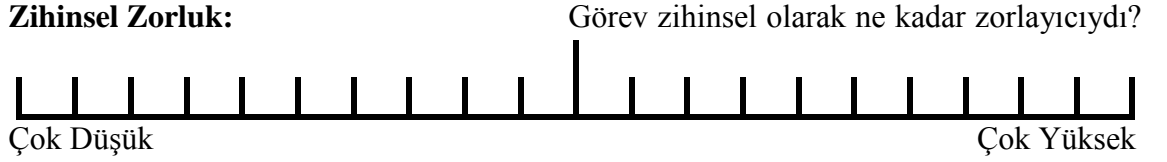
İkinci duyduğunuz sayıyı ilk sayıyla toplayarak toplamı sesli olarak söyleyiniz.

Ardından duyduğunuz tüm sayıları bir önceki toplam ile toplayarak sesli olarak söyleyiniz.

## EK 2 NASA Task Load Index (NASA Görev Yüğü Endeksi)

Hart ve Staveland'ın NASA Görev Yüğü Endeksi (TLX) yöntemi, iş yükünü beş adet 7'li ölçek yardımıyla değerlendirir. Artışlar yüksek, orta ve düşük tahminler arasında 21 aralıklı ölçek ile belirtilir.

Sadece ana görevi temel alarak anketi doldurunuz.



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Zeynep ÜSTÜNEL  
Doğum Yeri ve Tarihi : Osmangazi/01.11.1989  
Yabancı Dili : İngilizce

### Eğitim Durumu

Lise : Bursa Anadolu Lisesi  
Lisans : Uludağ Üniversitesi Endüstri Mühendisliği / 2011  
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Endüstri Mühendisliği / 2017

İletişim : zeynep.ustunel.6@gmail.com