

ARALIK TİP-2 BULANIK TABANLI NASA-TLX YÖNTEMİ KULLANILARAK ZİHİNSEL İŞ YÜKÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ: OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA

Murat ÇOLAK^{1*}, Hatice ESEN²

¹ Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü
ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-8226-8067>

² Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü
ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-3641-4611>

Anahtar Kelimeler

Zihinsel iş yükü
NASA-TLX yöntemi
Aralık tip-2 bulanık kümeler
Ergonomi
Otomotiv sektörü

Öz

Günümüzde üretim faaliyetlerinde kullanılan teknolojinin sürekli gelişmesi çalışanlara yüklenen zihinsel ağırlıklı görevlerin artmasına sebep olmuştur. Bunun sonucunda iş yükünün değerlendirilmesinde fiziksel iş yükünün yanında zihinsel iş yükünün de göz önünde bulundurulması ihtiyacı doğmuştur. Zihinsel ağırlıklı çalışmalarda iş yükünün artması çalışan performansının azalmasına neden olacağından iş yükünün ölçülmesi ve gerekli önlemlerin alınması üretimin verimi açısından önem taşımaktadır. NASA-TLX (National Aeronautics and Space Administration-Task Load Index) zihinsel iş yükü ölçümünde subjektif bir yöntem olarak kolay uygulanabilir ve yüksek geçerliliğe sahip olması nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. İnsan düşüncesindeki belirsizlikleri matematiksel olarak ifade etme olanağı sağlayan bulanık küme teorisi ile bu subjektif yöntemin entegre edilmesi ile daha etkin sonuçlar elde etmek mümkün olacaktır. Bu sebeple, bu çalışmada, NASA-TLX yöntemi aralık tip-2 bulanık kümeler ile yeniden yapılandırılmış ve bu yeni bulanık tabanlı yöntem otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir firmada operatörlerin zihinsel iş yüklerinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Operatörlerin hissettikleri zihinsel iş yüklerinin yaş, tecrübe, vardiya ve görev gibi değişkenlere göre farklılık gösterip göstermediği istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Böylece, üretim kalitesinde sürdürülebilirliğin sağlanması ve firma içerisinde iş organizasyonu kapsamında gerçekleştirilebilecek iş rotasyonu, iş genişletme ve iş zenginleştirme faaliyetlerine temel oluşturacak bir yol haritası sunulması hedeflenmiştir.

EVALUATION OF MENTAL WORKLOAD BY USING INTERVAL TYPE-2 FUZZY-BASED NASA-TLX METHOD: A CASE STUDY IN AUTOMOTIVE INDUSTRY

Keywords

Mental workload
NASA-TLX method
Interval type-2 fuzzy sets
Ergonomics
Automotive industry

Abstract

Nowadays, the continuous development of technology utilized in manufacturing activities has led to increase in the mental-based tasks imposed to the employees. As a result of this, it has been necessary to consider the mental workload as well as the physical workload for workload evaluation. Since the workload increase in the mentally focused activities will cause decrease in the performance of employees, it is significant to measure mental workload and to take necessary precautions in terms of production efficiency. The National Aeronautics and Space Administration Task Load Index (NASA-TLX) method is widely utilized for mental workload evaluation as a subjective technique because of its easy applicability and high validity. It will provide to obtain more effective results by combining the fuzzy set theory which enables to state the uncertainties in human thinking as mathematically with this subjective evaluation method. Therefore, in this study, the NASA-TLX method has been reconstructed with interval type-2 fuzzy sets and this new fuzzy-based method has been utilized to evaluate mental workload of employees in a company operating in the automotive sector. It has been statistically analyzed that whether the mental workload of employees differentiate according to variables such as age, experience, shift and task. Thus, it has been aimed to provide sustainability in production quality and to present a road map for job rotation, job expansion and job enrichment activities of the company in the scope of job organization.

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi : 19.01.2023
Kabul Tarihi : 20.11.2023

Research Article

Submission Date : 19.01.2023
Accepted Date : 20.11.2023

* Sorumlu yazar e-posta: colak.murat@kocaeli.edu.tr

1. Giriş

Ergonomi, işin insana ve insanın işe olan uyumunu; insanı fizyolojik, anatomik, sosyolojik ve zihinsel gibi farklı yönlerden analiz ederek araştıran bir bilim dalıdır. Çalışma ortamının ergonomik açıdan incelenerek iyileştirilmesi ve risklerin ortadan kaldırılması çalışanın algıladığı ve maruz kaldığı iş yükünün azalmasını ve buna bağlı olarak veriminin artmasını sağlamaktadır (Ekinci ve Can, 2018).

Günümüzde üretimde meydana gelen teknolojik gelişmeler insan-makine sistemlerinde insana ve makineye düşen görevlerde farklılıklar yaşanmasına ve çalışanlar yönünden iş yükünün fiziksel boyuttan zihinsel boyuta değişmesine neden olmaktadır. Ayrıca, görevlerin bizzat yapmak yerine denetim-kontrol şeklinde değişmesi nedeniyle çalışanların fiziksel özelliklerinin yanında algılama, dikkat, farkındalık ve hafıza gibi zihinsel özelliklerinin de değerlendirilmesi gerekmektedir (Karadağ ve Cankul, 2015). Zihinsel iş yükü en basit olarak bir çalışanın belirli bir sürede verilen bir görevi tamamlaması için gerekli olan zihinsel iş miktarı olarak tanımlanmaktadır. Görevin gereklilikleri, görevin yerine getirildiği koşullar ile çalışanların algıları, davranışları ve becerileri arasındaki etkileşimden ortaya çıkmaktadır (Emeç ve Akkaya, 2018).

Zihinsel iş yükünün artması sonucunda çalışanın performansının düşmesi ve hataların artması beklenmektedir. Bu nedenle, üretimde verimliliğin düşmemesi için zihinsel iş yükünün ölçülmesi ve gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Zihinsel iş yükünün ölçülmesi için literatürde yer alan yöntemler görev ölçümleri, fizyolojik ölçümler ve subjektif ölçümler olmak üzere 3 ana başlık altında toplanmaktadır. Subjektif ölçüm yöntemleri daha esnek, daha az maliyetli, kolay uygulanabilir olması ve geçerli sonuçlar elde edilmesi sebebiyle zihinsel iş yükü ölçümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Literatürde kullanılan subjektif ölçüm yöntemleri aşağıda gibi listelenebilir: (Kılıç Delice, 2016; Emeç ve Akkaya, 2018).

- MCH - Geliştirilmiş Cooper Harper Ölçeği
- ZEIS – Ardışık Karar Ölçeği
- SWAT – Subjektif İş Yükü Ölçümü
- SWORD – Subjektif İş Yükü Üstünlük Tekniği
- Bedford Ölçütü
- NASA-TLX – NASA İş Yükü İndeksi

Hart ve Staveland (1988) tarafından geliştirilen NASA-TLX (National Aeronautics and Space Administration Task Load Index) yöntemi diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında kolay uygulanabilir olması ve geçerli sonuçlar vermesi nedeniyle literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde zihinsel iş yükünün belirlenmesinde

zihinsel talep, fiziksel talep, zamansal talep, performans, çaba ve rahatsızlık düzeyi olmak üzere 6 alt kriterden yararlanılmaktadır. Bu kriterler yardımıyla oranlama, ağırlıklandırma ve iş yükü belirleme olmak üzere 3 aşama sonucunda çalışanların zihinsel iş yükü belirlenmektedir. Oranlama aşamasında 6 kriter açısından yapılan işin değerlendirmesi belirlenen skala yardımıyla yapılırken, ağırlıklandırma aşamasında ise kriterlerin ağırlıkları ikili karşılaştırma yoluyla hesaplanmaktadır. Son aşamada ise oranlama ve ağırlıklandırma aşamasında elde edilen sonuçlar birleştirilerek zihinsel iş yükü tespit edilmektedir (Kılıç Delice, 2016).

Zadeh (1965) tarafından geliştirilen bulanık küme teorisi insan düşüncesindeki belirsizlikleri matematiksel olarak ifade etme ve karar sürecine dahil etmeye olanak sağlamaktadır. Bulanık kümeler verileri kesin olarak tanımlamak yerine belirsizliği yansıtan düşük, orta ve maksimum limit değerleri ile tanımlanmaktadır. Bulanık mantık bulanık kümeler, üyelik fonksiyonları ve bulanık sayılar yardımıyla belirsizlik içeren verinin kullanılabilir bilgiye dönüştürülmesinde kullanılmaktadır (Erdoğan ve Kaya, 2016).

Tip-2 bulanık kümeler tip-1 bulanık kümelerin bir uzantısı olarak Zadeh (1975) tarafından geliştirilmiştir. Tip-1 bulanık kümelerde her eleman $[0,1]$ aralığında bir üyelik derecesine sahipken Tip-2 bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları da bulanık kümelerdir. Tip-2 bulanık kümeler bir bulanık kümenin üyelik fonksiyonunun tam olarak belirlenemediği durumlarda oldukça kullanışlıdır. Tip-1 bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları iki boyutlu iken, tip-2 bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları üç boyutludur ve bu üçüncü boyut belirsizlikleri modelleme ve belirsizlikle başa çıkma noktasında ilave serbestlik derecesi ve esneklik sağlamaktadır (Mendel vd., 2006; Kahraman vd., 2014; Erdoğan ve Kaya, 2016). Tip-2 bulanık kümeler daha subjektif ve kesin olmayan yargılar içeren problemlerle başa çıkmada tip-1 bulanık kümelere göre daha yeteneklidir (Kılıç ve Kaya, 2015). Bunun yanında tip-2 bulanık kümeler değişkenliğin etkisini en aza indirmek için de kullanışlıdır (Erdoğan ve Kaya, 2016).

Aralık tip-2 bulanık kümeler ise tip-2 bulanık kümelerin özel bir halidir. Genelleştirilmiş tip-2 bulanık kümeler karmaşık yapısı ve hesaplama zorluğu sebebiyle gerçek hayat problemlerinde yaygın olarak kullanılmamaktadır. Aralık tip-2 bulanık kümeler ise basit olması ve daha az hesaplama yükü gerektirmesi sebebiyle en sık kullanılan tip-2 bulanık kümelerdir (Kahraman vd., 2014; Çelik vd., 2015). Ayrıca tip-2 bulanık kümeler daha fazla belirsizliği ele almakta ve bu yüzden daha doğru ve kararlı sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır (Çelik vd., 2015).

Bu noktada, subjektif değerlendirmelerin gerçekleştirildiği NASA-TLX yönteminin bulanık küme teorisi ile birleştirilmesi daha etkili değerlendirme yapılmasını mümkün kılacaktır. Bu sebeple, bu çalışmada NASA-TLX yöntemi aralık tip-2 bulanık kümeler ile yeniden yapılandırılmış ve otomotiv sektörü için dikişli boru üretimi yapılan bir işletmede çalışanların zihinsel iş yüklerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Minitab programı yardımıyla da operatörlerin zihinsel iş yüklerinde yaş, tecrübe, vardiya ve görev gibi değişkenlere göre istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığı test edilmiştir.

Çalışmanın diğer bölümleri şu şekilde organize edilmiştir. İkinci bölümde zihinsel iş yükü ölçümünde NASA-TLX yönteminin kullanıldığı çalışmalara ilişkin bir literatür taraması sunulmuştur. Çalışmada kullanılan yöntem üçüncü bölümde detaylı olarak tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde çalışma kapsamında gerçekleştirilen uygulama ve bu kapsamda yapılan analizlere ait detaylar yer almaktadır. Beşinci bölümde ise sonuç ve önerilere yer verilerek çalışma sonlandırılmıştır.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Konu ile ilgili literatür incelendiğinde NASA-TLX yönteminin farklı sektörlerde kullanıldığı birçok çalışmanın yer aldığı görülmektedir. Klasik NASA-TLX yönteminin kullanıldığı çalışmalar aşağıda kısaca özetlenmektedir.

Yağmuroğlu vd. (2011) inşaat sektöründe yüksek binalarda çalışan işçilerin zihinsel iş yüklerinin hesaplamasında NASA-TLX ölçeğini kullanmışlardır. Gao vd. (2013) nükleer santrallerde acil eylem planlarının uygulanması için yedi zihinsel iş yükü ölçüm yöntemini karşılaştırmışlardır. Altı psikolojik ölçüyü kullanarak NASA-TLX yöntemi tarafından ölçülen zihinsel iş yükünü tahmin eden bir model ortaya koymuşlar ve geçerliliğini göstermişlerdir. Akyeampong vd. (2014) hidrolik ekskavatörlerin ergonomisini iyileştirmek için önerilen insan-makine arayüz tasarımlarını değerlendirmişlerdir. NASA-TLX yöntemini subjektif iş yükü skorlarını belirlemek için kullanmışlar ve insan-makine arayüz tasarım tipinin operatörlerin iş yüklerinin farklı yönlerini etkilediğini göstermişlerdir. Karadağ ve Cankul (2015) tabakalı örnekleme yöntemi ile seçilmiş 171 hemşirenin zihinsel iş yükü ölçümlerini NASA-TLX ölçeği yardımıyla yapmışlar ve sosyo-kültürel özelliklerin zihinsel iş yükü üzerinde etkisi olup olmadığını araştırmışlardır. Çalışma sonucunda, sosyo-kültürel özelliklerin zihinsel iş yükü üzerinde anlamlı etkisi olduğu tespit edildiğinden görev dağılımı esnasında hemşirelerin bu özelliklerinin dikkate alınmasının uygun olacağına karar verilmiştir. Ruiz Rabelo vd. (2015) NASA-TLX yönteminin bariatrik cerrahide geçerliliğini göstermeyi ve öğrenme eğrisi boyunca

cerrahlarda aşırı zihinsel iş yüküne sebep olan faktörleri tanımlamayı amaçlamışlardır. Kılıç Delice (2016) devlet, fakülte ve eğitim-araştırma olmak üzere üç farklı grup hastanede acil serviste çalışan doktorların zihinsel iş yüklerinin belirlenmesi için NASA-TLX yönteminden yararlanmışlardır. Elde edilen verilerin farklı yönlerden istatistiksel analizi için SPSS paket programını kullanmışlar ve analiz sonuçlarını yorumlamışlardır. Esengün ve İnce (2016) kullanıcı etkileşimi açısından farklı yöntemler uygulayan iki mobil navigasyon uygulamasını kullanıcı deneyimi yönünden karşılaştırırken, iki uygulama ile de rotalarını tamamlayan katılımcıların zihinsel iş yüklerinin değerlendirilmesi aşamasında NASA-TLX ölçeğinden yararlanmışlardır. Walters ve Webb (2017) NASA-TLX yöntemi ile bağlantılı zaman ve hareket etüdü aracı geliştirmişler ve robotik cerrahi personelinin yüksek zamansal talep, çaba ve fiziksel talebinin ortaya çıktığını göstermişlerdir. Çalışma sonucunda robotik cerrahi süreçlerinde etkinliğin enbüyüklenmesini ve maliyetlerin azaltılmasını hedeflemişlerdir. Galy vd. (2018) NASA-TLX yönteminin her boyutunu ayrı olarak dikkate almışlar ve sürüş durumu karmaşıklığı, deneyim, subjektif gerilim seviyeleri ve uyanıklık gibi mental yük faktörlerinin boyutlar ve iş yükünü değerlendirmek için kullanılan global skor üzerinde farklı etkileri olduğunu göstermişlerdir. Tubbs-Cooley vd. (2018) yoğun bakım hemşireleri için NASA-TLX yönteminde zihinsel talep, fiziksel talep, zamansal talep ve çaba faktörleri kullanılarak yapılan ölçümün daha iyi sonuç verdiğini doğrulayıcı faktör analizi yardımıyla göstermişlerdir. Ekinci ve Can (2018) bütünlük bir çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemi yardımıyla algılanan iş yükü ve çalışma duruşu ana kriterleri çerçevesinde meyve suyu üretim sürecinde çalışan operatörlerin ergonomik risk düzeylerini değerlendirmişlerdir. Algılanan iş yükünün belirlenmesinde NASA-TLX yöntemi kullanılırken çalışma duruşlarının analizinde hızlı tüm vücut değerlendirme (REBA) yönteminden yararlanmışlardır. Çalışma sonucunda, paketleme ve ayıklama bölümlerinde çalışan operatörlerin daha yüksek ergonomik risk düzeyine sahip oldukları belirlenmiştir. Emeç ve Akkaya (2018) bir devlet hastanesinde çalışan doktorların zihinsel iş yüklerinin belirlenmesi için Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi ile NASA-TLX ölçeğini bütünlük olarak kullanmışlardır. Bu çalışmada klasik yöntemden farklı olarak kriter ağırlıklarını AHS yöntemi ile hesaplamışlardır. Kılıç Delice ve Can (2018) kutu harf imalat sürecinde çalışanların zihinsel iş yüklerinin belirlenmesi amacıyla NASA-TLX ve Stokastik Çok Kriterli Kabul Edilebilirlik Analizi-2 (SMAA-2) yöntemlerini entegre eden bir metodoloji kullanmışlardır. Mansikka vd. (2019) NASA-TLX ölçeği, modifiye Cooper-Harper ölçeği ve kalp atış aralığını pilotların

zihinsel işyüklerinin değerlendirilmesi konusunda karşılaştırmışlar ve bu yöntemler arasındaki bağlantıyı ortaya koymuşlardır. Yener vd. (2019) bir çamaşır makinesi üretim hattında üretim miktarını enbüyüklerken işçilerin zihinsel ve fiziksel iş yükünü enküçükleyen bir doğrusal olmayan matematiksel programlama modeli geliştirmişlerdir. Modelde kullanılan çalışanlara ait fiziksel ve zihinsel iş yükü değerleri sırasıyla REBA ve NASA-TLX yöntemleri ile belirlenmiştir. Kahya vd. (2019) beyin bilgisayar arayüzü (BBA) sistemlerinin bilişsel iş yükünün belirlenmesinde objektif, kolay uygulanabilir ve yorumlanabilir bir yöntem olarak kullanılması üzerinde çalışmışlardır. Bir BBA sistemi kullanılarak altı görevi yerine getiren 70 katılımcıya ait göz bebeği değişimi oranı, göz kırpması oranı ve galvanik deri direnci verisini toplamışlardır. Ayrıca katılımcılara ilişkin NASA-TLX skorlarını belirlemiş ve görevlerin birbirlerine göre zorluklarının belirlenmesinde kullanmışlardır. Widiastuti vd. (2020) batik işçilerinin fiziksel ve zihinsel işyüklerinin belirlenmesinde sırasıyla hızlı üst vücut değerlendirme (RULA) ve NASA-TLX yöntemlerini kullanmışlardır. Böylece, fiziksel ve zihinsel iş yükü yönünden işçiler arasındaki farklılıkları ortaya koymayı hedeflemişlerdir. Mohammadian vd. (2022) bir maden tesisinde çalışan 63 kontrol odası operatörünün zihinsel iş yüklerini NASA-TLX yöntemini kullanarak analiz etmişlerdir. SPSS programında t testi, Mann-Whitney U testi ve doğrusal regresyon yöntemlerini kullanarak analizler gerçekleştirmişlerdir. Virtanen vd. (2022) NASA-TLX yönteminde kriter ağırlıklandırma için iki alternatif yöntem olarak AHS ve Swing yöntemlerini önermişlerdir. Bu yöntemlerin uygulanmasının avantajlarını teorik olarak anlatıp bir sanal hava muharebe simülasyonundan elde edilen verilerle deneysel olarak göstermişlerdir. Priska vd. (2022) Endonezya'da faaliyet gösteren bir telekomünikasyon şirketinde iş stresinden yakınan müşteri hizmetleri departmanı çalışanlarının zihinsel işyüklerinin belirlenmesinde NASA-TLX yöntemini kullanmışlardır. 8 çalışana ilişkin ortalama zihinsel iş yükü değerini 71,62 olarak elde etmiş ve bu skoru yüksek seviye zihinsel iş yükü olarak değerlendirmişlerdir. Hernandez vd. (2022) NASA-TLX yönteminin dört ve altı boyutlu versiyonlarının tekrarlanan ölçümler bağlamında günlük iş yükünün ölçümü için geçerliliğini incelemişlerdir. Doğrulayıcı faktör analizi yardımıyla iki versiyonun da tüm gün iş yükünün tek boyutlu bir temsili olmadığını göstermişlerdir. Hermansyah ve Handayani (2022) üretim sektöründe operatör ve kaynakçı olarak çalışan 10 işçinin zihinsel iş yükünün ölçülmesinde NASA-TLX ve hata ağacı analizi yöntemlerini kullanmışlardır. Bell vd. (2022) 7 cerrah tarafından gerçekleştirilen önceden tanımlanmış 127 operasyona ilişkin NASA-TLX skorunu kaydetmişlerdir. Bu skorların hangi klinik

parametreler ile ilişkili olduğunu istatistiksel olarak analiz etmişlerdir. Ege ve Haktanırlar Ulutaş (2022) görsel muayenede insan faktörünün önemini analiz edilmesi için kullanılmak üzere öğrenme stilleri anketi, göz takip teknolojisi ve NASA-TLX yöntemini içeren bir metodoloji önermişlerdir. Görsel muayenede eğitim öncesi ve sonrası arasında anlamlı bir fark olduğunu NASA-TLX yönteminin sonuçları yardımıyla göstermişlerdir. Li vd. (2023) pediatrik robotik operasyonlardaki iş yükünün belirlenmesinde NASA-TLX yönteminin geçerliliği üzerinde çalışmışlar ve yöntemin pediatrik robotik cerrahide cerrahların iş yükünün oranlanmasında geçerli bir araç olduğunu belirlemişlerdir. Uzun ameliyat sürelerinin daha yüksek iş yüküne sebep olduğunu tespit etmişlerdir. Harputlu Aksu vd. (2023) iş zorluk düzeyleri, performans göstergeleri ve subjektif iş yükü değerlendirme arasında bir ilişki olup olmadığını ve iş zorluk düzeyine bağlı olarak çeşitli beyin bölgelerinde bant gücünün nasıl değiştiğini araştırmışlardır. İş yükü skorunun belirlenmesi amacıyla NASA-TLX yöntemini kullanmışlardır. Özdemir vd. (2023) NASA-TLX yönteminin sonuçları ile gerçek zamanlı simülasyon sonuçlarını ilişkilendirerek sözde pilotların iş yükünü etkileyen faktörleri değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Uçak sayısı, kontrolör performansı ve kesinti süresini iş yükünü etkileyen temel faktörler olarak belirlemişlerdir. Liu vd. (2023) pilotların gerçek hayat zihinsel iş yüklerini tanımlama noktasında yöneticilere yardımcı olmak için fonksiyonel bir sistem geliştirmeyi ve bu sistemin etkinliğini bir uçuş simülöründe gerçekleştirilen hava sahası görevleri yardımıyla değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Pilotların zihinsel iş yüklerinin değerlendirilmesinde NASA-TLX yönteminden yararlanmışlardır. Bolton vd. (2023) NASA-TLX iş yükü ve boyutlarının ölçüm seviyesinin değerlendirilmesi için bir yöntem kullanmışlardır. Topluluk analizlerinde boyutların aralık olarak, bireysel analizlerde ise sıralı olarak ele alınabileceği sonucuna varmışlardır. Bunun yanında NASA-TLX yönteminin boyutlarını bütünlükli olmaksızın ayrı ayrı değerlendirmenin daha iyi sonuç vereceğini belirlemişlerdir. Nam vd. (2023) NASA-TLX yöntemini kullanarak canlı altyazıcıların subjektif iş yükünü ölçmeyi ve zihinsel iş yüklerini etkileyen faktörleri araştırmayı amaçlamışlardır. 30 canlı altyazıcının katıldığı anket yardımıyla zihinsel iş yüklerinin yüksek olduğunu göstermişlerdir.

Diğer taraftan, literatürde klasik NASA-TLX yönteminin bulanık kümelerle birlikte kullanıldığı çalışmalar da yer almaktadır. Bu çalışmalar aşağıda kısaca özetlenmektedir.

Mouzé-Amady vd. (2013) NASA-TLX yönteminde ağırlıkları belirlerken ikili karşılaştırmalara dayalı yöntemin yerine bulanık integralleri kullanmışlardır. Önerilen yaklaşımla laboratuvar ve sahada zihinsel iş

yükünü değerlendirmişlerdir. Adar ve Kılıç Delice (2017) mühendislik fakültesinde görev yapan ve doktora ders, doktora yeterlilik ve doktora tez aşamasında olan araştırma görevlilerinin zihinsel işyüklerini belirlemek için NASA-TLX yönteminden yararlanmışlar ve yönteme ait 6 faktörün (zihinsel talep, fiziksel talep, zamansal talep, performans, çaba, rahatsızlık düzeyi) ağırlıklarının hesaplanmasında çok üyelikli tereddütlü bulanık dilsel ifadelerle dayalı bir karar modeli kullanmışlardır. Can (2018) NASA-TLX yöntemini sezgisel bulanık kümelerle birlikte yeniden yapılandırmış ve bir endüstriyel yelken firmasında çalışanların zihinsel iş yükünün belirlenmesinde kullanmıştır. Riono vd. (2018) gemi personelinin zihinsel iş yükünün ölçümünde NASA-TLX yöntemini bulanık mantık ile birlikte kullanmışlardır. Chen vd. (2019) nükleer santralde kullanıcı arayüz tasarımını operatörlerin zihinsel iş yüklerine dayalı olarak değerlendirmek amacıyla bir bulanık değerlendirme modeli geliştirmişlerdir. Çalışmanın sonucunda NASA-TLX yönteminin kullanıcı arayüz tasarımı değerlendirilmesinde önerilen modelle birlikte etkin şekilde kullanılabileceğini göstermişlerdir. Bandonno ve Riono (2019) bulanık tabanlı NASA-TLX yöntemini kullanarak Endonezya savaş gemisi çalışanlarının zihinsel iş yüklerini ölçmüşlerdir. Çalışma sonucunda ana makine operatörlerinin en yüksek ve elektronik operatörlerinin en düşük zihinsel iş yüküne sahip olduklarını belirlemişlerdir. Gönen Ocaktan vd. (2021) sac kesim işleminde çalışanların zihinsel iş yükünün belirlenmesinde NASA-TLX yönteminden yararlanmışlardır. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde bulanık AHS yöntemini uygulamışlardır. Wang vd. (2021) bilişsel iş yükünün ölçülmesinde NASA-TLX tablosunun klasik ağırlıklı toplam yönteminin yerine TOPSIS yöntemini kullanmışlar ve kriter ağırlıklarının belirlenmesinde klasik ikili karşılaştırma, bulanık AHS ve eşit ağırlık yöntemlerinden yararlanmışlardır. Önerilen yöntemin performansı bir artırılmış gerçeklik kullanıcı deneyi ile değerlendirilmiştir. Aktaş Potur vd. (2022) bir şantiyede çalışan inşaat işçilerinin zihinsel iş yüklerinin belirlenmesi için bulanık NASA-TLX yöntemini kullanmışlardır. Önerilen yöntemin etkinliğini göstermek için elde edilen sonuçları NASA-TLX yönteminden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmışlardır.

Bu çalışmada, literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak NASA-TLX yöntemi, aralık tip-2 bulanık kümeler kullanılarak yeniden yapılandırılmıştır. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde aralık tip-2 bulanık AHS yöntemi kullanılırken, işlerin puanlanmasında aralık tip-2 bulanık sayılardan oluşan bir skala kullanılmıştır. Aralık tip-2 bulanık kümeler diğer bulanık kümelere göre insan düşüncesindeki belirsizliklerin daha güçlü ve doğru bir şekilde ifade edilmesine olanak sağlaması ve

hesaplama kolaylığı sebebiyle birçok uygulama alanında kullanılmaktadır. Klasik NASA-TLX yönteminde kullanılan kriter ağırlıklandırma yöntemi basit ikili karşılaştırmalara dayanmaktadır. 6 kriterle ilişkin 15 ikili karşılaştırma sonucunda kriter ağırlıkları tercih edilme sıklıklarına göre belirlenmektedir. Bir kriterin ağırlığı ikili karşılaştırmaların kaçında daha önemli olarak değerlendirildiğini gösteren sıklık değerinin toplam ikili karşılaştırma sayısı olan 15'e bölünmesi ile elde edilmektedir. AHS yöntemi de klasik yöntemdeki yaklaşıma benzer şekilde ikili karşılaştırma tabanlı yaygın olarak kullanılan bir çok kriterli karar verme yöntemidir. Ancak, problemin hiyerarşik olarak yapılandırılıp tutarlılığı dikkate alarak kriter ağırlıklarının daha analitik ve kapsamlı bir yaklaşımla belirlenmesini sağlamaktadır. NASA-TLX yönteminde kriter ağırlıklarının belirlenmesi aşamasında aralık tip-2 bulanık kümeler ile AHS yönteminin birleştirilmesi yoluyla literatürde kullanılan diğer yöntemlerden farklı olarak daha hassas ve gerçekçi sonuçlar elde edilmesi hedeflenmektedir. Diğer taraftan, klasik NASA-TLX yönteminde yapılan iş 6 kriter yönünden düşükten yükseğe doğru 0-100 arasında bir skala kullanılarak değerlendirilmektedir. Bu değerlendirmelere ilişkin değerlerin kriter ağırlıkları ile çarpılıp toplanması sonucunda zihinsel iş yükü değeri belirlenmektedir. Bu çalışma kapsamında önerilen yöntemde ise değerlendirme skalası klasik yöntemle uyumlu olarak 0-100 aralığını kapsayacak şekilde çok aşırı düşükten çok aşırı yükseğe doğru geniş bir aralıkta dilsel ifadeler ve karşılık gelen aralık tip-2 bulanık sayılardan oluşmaktadır. Bu skala değerlendirme aşamasında çalışana kesin bir değeri söyleme zorluğundan kurtarıp dilsel ifadeler yardımıyla belirsizlikle daha kolay başa çıkabilmesini sağlamaktadır. Böylece subjektif değerlendirme sürecinde çalışanların düşüncelerinde var olan belirsizliklerin daha etkin bir şekilde ifade edilmesi ve zihinsel işyüklerinin belirlenmesi aşamasında matematiksel işlemlerde hesaba katılması hedeflenmiştir.

3. Materyal ve Yöntem

Hart ve Staveland (1988) tarafından geliştirilen National Aeronautics and Space Administration Task Load Index (NASA-TLX) yönteminde çalışanların zihinsel iş yüklerinin değerlendirilmesi için zihinsel talep (MT), fiziksel talep (FT), zamansal talep (ZT), performance (P), çaba (Ç) ve rahatsızlık düzeyi (RD) olmak üzere 6 alt kriter kullanılmaktadır. NASA-TLX yönteminde kullanılan alt kriterlerin açıklamaları aşağıda sunulmaktadır (Adar ve Kılıç Delice, 2017):

K1-Zihinsel talep (MT): Çalışma esnasında düşünme, karar verme, araştırma ve algılama gibi zihinsel aktivitelere ne kadar yer verildiğini değerlendiren kriterdir.

K2-Fiziksel talep (FT): Çalışma esnasında itme, çekme, kontrol etme gibi fiziksel aktivitelerin ne kadar gerçekleştirildiğini değerlendiren kriterlerdir.

K3 Zamansal talep (ZT): Çalışma esnasında verilen görevi yerine getirirken hissedilen zamansal baskıyı değerlendiren kriterlerdir.

K4-Performans (P): Verilen görevin ne kadar başarılı olarak yerine getirildiğini değerlendiren kriterlerdir.

K5-Çaba (Ç): Görevi yerine getirirken fiziksel ve zihinsel olarak gösterilen çabayı değerlendiren kriterlerdir.

K6-Rahatsızlık düzeyi (RD): Görevi yerine getirirken çalışanın hissettiği güvensizlik, stres, memnuniyetsizlik ve gerginlik seviyelerini değerlendiren kriterlerdir.

Bu çalışma kapsamında klasik NASA-TLX yönteminin aralık tip-2 bulanık kümelerle birlikte kullanıldığı bir yöntem önerilmektedir. Önerilen yöntemde klasik NASA-TLX yönteminden farklı olarak oranlama aşamasında işlerin değerlendirilmesinde aralık tip-2 bulanık sayılardan oluşan bir skala, ağırlıklandırma aşamasında ise aralık tip-2 bulanık analitik hiyerarşi süreci (AHS) yöntemi kullanılmıştır.

3.1. Aralık Tip-2 Bulanık Kümeler

Bu bölümde aralık tip-2 bulanık kümelerle ilişkin temel kavramlar ve tanımlar sunulmuştur (Mendel vd., 2006; Chen ve Lee, 2010; Kahraman vd., 2014; Çelik ve Akyüz, 2018).

X evrensel kümesinde yer alan bir \tilde{A} tip-2 bulanık kümesi $\mu_{\tilde{A}}$ tip-2 üyelik fonksiyonu ile aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$\tilde{A} = ((x, u), \mu_{\tilde{A}}(x, u)) \mid \forall x \in X, \forall u \in J_x \subseteq [0, 1], 0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x, u) \leq 1 \quad (1)$$

Burada J_x [0,1] aralığını ifade ederken, \tilde{A} tip-2 bulanık kümesi aşağıdaki şekilde de gösterilebilmektedir.

$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} \mu_{\tilde{A}}(x, u) / (x, u) \quad (2)$$

Burada $J_x \subseteq [0,1]$ olmak üzere \int tüm kabul edilebilir x ve u değerlerinin birleşimini ifade etmektedir. \tilde{A} , X evrensel kümesinde $\mu_{\tilde{A}}$ tip-2 üyelik fonksiyonu ile tanımlanan bir tip-2 bulanık küme olsun. Eğer bütün $\mu_{\tilde{A}}(x, u) = 1$ ise \tilde{A} aralık tip-2 bulanık küme olarak adlandırılır. Aralık tip-2 bulanık küme tip-2 bulanık kümenin özel bir hali olarak sayılır ve aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} \frac{1}{(x, u)} \quad (3)$$

Burada J_x [0,1] aralığını ifade etmektedir.

Aralık tip-2 yamuk bulanık sayılarda toplama, çarpma ve k pozitif skalar bir sayı olmak üzere sabit bir sayı ile çarpma işlemleri aşağıda verilmiştir.

$$\tilde{A}_1 = (\tilde{A}_1^u, \tilde{A}_1^l) = ((a_{11}^u, a_{12}^u, a_{13}^u, a_{14}^u; H_1(\tilde{A}_1^u), H_2(\tilde{A}_1^u))$$

$$(a_{11}^l, a_{12}^l, a_{13}^l, a_{14}^l; H_1(\tilde{A}_1^l), H_2(\tilde{A}_1^l)))$$

$$\tilde{A}_2 = (\tilde{A}_2^u, \tilde{A}_2^l) = ((a_{21}^u, a_{22}^u, a_{23}^u, a_{24}^u; H_1(\tilde{A}_2^u), H_2(\tilde{A}_2^u))$$

$$(a_{21}^l, a_{22}^l, a_{23}^l, a_{24}^l; H_1(\tilde{A}_2^l), H_2(\tilde{A}_2^l)))$$

$$\tilde{A}_1 \oplus \tilde{A}_2 = (\tilde{A}_1^u, \tilde{A}_1^l) \oplus (\tilde{A}_2^u, \tilde{A}_2^l)$$

$$= (((a_{11}^u + a_{21}^u, a_{12}^u + a_{22}^u, a_{13}^u + a_{23}^u, a_{14}^u + a_{24}^u;$$

$$\min(H_1(\tilde{A}_1^u), H_1(\tilde{A}_2^u)), \min(H_2(\tilde{A}_1^u), H_2(\tilde{A}_2^u))), \quad (4)$$

$$(a_{11}^l + a_{21}^l, a_{12}^l + a_{22}^l, a_{13}^l + a_{23}^l, a_{14}^l + a_{24}^l;$$

$$\min(H_1(\tilde{A}_1^l), H_1(\tilde{A}_2^l)), \min(H_2(\tilde{A}_1^l), H_2(\tilde{A}_2^l)))$$

$$\tilde{A}_1 \otimes \tilde{A}_2 = (\tilde{A}_1^u, \tilde{A}_1^l) \otimes (\tilde{A}_2^u, \tilde{A}_2^l)$$

$$= (((a_{11}^u \times a_{21}^u, a_{12}^u \times a_{22}^u, a_{13}^u \times a_{23}^u, a_{14}^u \times a_{24}^u;$$

$$\min(H_1(\tilde{A}_1^u), H_1(\tilde{A}_2^u)), \min(H_2(\tilde{A}_1^u), H_2(\tilde{A}_2^u))), \quad (5)$$

$$(a_{11}^l \otimes a_{21}^l, a_{12}^l \otimes a_{22}^l, a_{13}^l \otimes a_{23}^l, a_{14}^l \otimes a_{24}^l;$$

$$\min(H_1(\tilde{A}_1^l), H_1(\tilde{A}_2^l)), \min(H_2(\tilde{A}_1^l), H_2(\tilde{A}_2^l)))$$

$$k \times \tilde{A}_1 = ((k \times a_{11}^u, k \times a_{12}^u, k \times a_{13}^u, k \times a_{14}^u; H_1(\tilde{A}_1^u), H_2(\tilde{A}_1^u)), \quad (6)$$

$$(k \times a_{11}^l, k \times a_{12}^l, k \times a_{13}^l, k \times a_{14}^l; H_1(\tilde{A}_1^l), H_2(\tilde{A}_1^l)))$$

3.2 Aralık Tip-2 Bulanık AHS Yöntemi

Bu bölümde aralık tip-2 AHS yönteminin adımları kısaca açıklanmıştır (Kahraman vd., 2014; Çelik ve Akyüz, 2018).

Adım 1: Kriterler için ikili karşılaştırma matrisleri dilsel ifadeler kullanılarak oluşturulur. \tilde{A} matrisinde yer alan her bir a_{ij} elemanı aralık tip-2 bir bulanık sayı ve karşılık gelen dilsel ifadeyi göstermektedir. Bu çalışma kapsamında aralık tip-2 bulanık AHS yönteminde kullanılan dilsel ifadeler ve karşılık gelen aralık tip-2 bulanık sayılar Tablo 1’de sunulmaktadır.

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Tablo 1. Dilsel İfadeler ve Karşılık Gelen Aralık Tip-2 Bulanık Sayılar (Çelik ve Akyüz, 2018)

Dilsel ifadeler	Aralık tip-2 bulanık sayılar
Aşırı Derecede Önemli (ADÖ)	(8,9,9,10;1,1) (8.5,9,9,9.5;0.9,0.9)
Çok Güçlü Derecede Önemli (ÇGDÖ)	(6,7,7,8;1,1) (6.5,7,7,7.5;0.9,0.9)
Güçlü Derecede Önemli (GDÖ)	(4,5,5,6;1,1) (4.5,5,5,5.5;0.9,0.9)
Orta Derecede Önemli (ODÖ)	(2,3,3,4;1,1) (2.5,3,3,3.5;0.9,0.9)
Eşit Derecede Önemli (EDÖ)	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;0.9,0.9)

Adım 2: İkili karşılaştırma matrislerinin tutarlılığı incelenir. Dilsel ifadeler karşılık gelen bulanık sayılara ait durulaştırılmış değerler üzerinden tutarlılık analizi yapılır ve tutarlılık oranı (TO) < 0.1 olmayan matrisler için yeniden değerlendirme yapılması istenir.

Adım 3: Geometrik ortalama yardımıyla uzman görüşleri birleştirilir. Her bir satır için geometrik ortalama Eşitlik (8) yardımıyla hesaplanır.

$$\tilde{r}_i = [\tilde{a}_{i1} \otimes \tilde{a}_{i2} \otimes \dots \otimes \tilde{a}_{in}]^{\frac{1}{n}} \quad (8)$$

Adım 4: Kriterlere ilişkin aralık tip-2 bulanık ağırlıklar Eşitlik (9) kullanılarak hesaplanır.

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes [\tilde{r}_1 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_i \oplus \dots \oplus \tilde{r}_n]^{-1} \quad (9)$$

Adım 5: Kriterlere ilişkin kesin ağırlık değerlerini elde etmek için aralık tip-2 bulanık ağırlık değerleri uygun bir yöntem ile durulaştırılır. Bu çalışma kapsamında Kılıç ve Kaya (2015) tarafından kullanılan ve Eşitlik (10)'da verilen yaklaşım uygulanmıştır.

$$w_j = \frac{\int xu(x)dx}{\int u(x)dx} = \frac{-w_{j1} \times w_{j2} + w_{j3} \times w_{j4} + \frac{1}{3}(w_{j4} - w_{j3})^2 - \frac{1}{3}(w_{j2} - w_{j1})^2}{-w_{j1} - w_{j2} + w_{j3} + w_{j4}} \quad (10)$$

Önerilen yöntem kapsamında ilk aşamada kriterlere ilişkin ağırlık değerleri aralık tip-2 bulanık AHS yöntemi kullanılarak hesaplanmaktadır. İkinci aşamada klasik NASA-TLX yönteminde yapılan işin 6 kriter yönünden değerlendirilmesinde kullanılan ve düşükten yükseğe doğru 0-100 arasında kesin değerleri içeren skala yerine çok aşırı düşük ile çok aşırı yüksek arasında dilsel ifadeleri içeren bir skala

kullanılmaktadır. Böylece çalışanların hissettikleri zihinsel iş yükünü kesin değerler yerine dilsel ifadeler kullanarak belirsizlikle baş edecek şekilde daha kolay ifade etmeleri hedeflenmektedir. Hissedilen zihinsel iş yükünün değerlendirmesinde kullanılan dilsel ifadeler ve karşılık gelen aralık tip-2 bulanık sayılar Tablo 2'de sunulmaktadır.

Tablo 2. Aralık Tip-2 Bulanık Zihinsel İş Yükü Puanlama Skalası

Dilsel ifadeler	Aralık tip-2 bulanık sayılar
Çok Aşırı Düşük (ÇAD)	(0,0,0,10;1,1) (0,0,0,5;0,9,0,9)
Aşırı Düşük (AD)	(0,10,10,20;1,1) (5,10,10,15;0,9,0,9)
Çok Düşük (ÇD)	(10,20,20,30;1,1) (15,20,20,25;0,9,0,9)
Düşük (D)	(20,30,30,40;1,1) (25,30,30,35;0,9,0,9)
Biraz Düşük (BD)	(30,40,40,50;1,1) (35,40,40,45;0,9,0,9)
Orta (O)	(40,50,50,60;1,1) (45,50,50,55;0,9,0,9)
Biraz Yüksek (BY)	(50,60,60,70;1,1) (55,60,60,65;0,9,0,9)
Yüksek (Y)	(60,70,70,80;1,1) (65,70,70,75;0,9,0,9)
Çok Yüksek (ÇY)	(70,80,80,90;1,1) (75,80,80,85;0,9,0,9)
Aşırı Yüksek (AY)	(80,90,90,100;1,1) (85,90,90,95;0,9,0,9)
Çok Aşırı Yüksek (ÇAY)	(90,100,100,110;1,1) (95,100,100,105;0,9,0,9)

Üçüncü aşamada ise kriterlere ait puan değerleri ile ağırlık değerleri çarpılıp toplanarak aralık tip-2 bulanık zihinsel iş yükü değeri (İYD) Eşitlik (11) yardımıyla belirlenmektedir. Elde edilen bulanık iş yükü değeri Eşitlik (10) kullanılarak durulaştırılıp kesin zihinsel iş yükü değeri elde edilmektedir.

$$\tilde{IYD} = (w_{MT} \times P_{MT}) \oplus (w_{FT} \times P_{FT}) \oplus (w_{ZT} \times P_{ZT}) \oplus (w_P \times P_P) \oplus (w_C \times P_C) \oplus (w_{RD} \times P_{RD}) \quad (11)$$

Burada x, kriterleri ifade etmek üzere;

w_x , ilgili kritere ait durulaştırılmış normalize kesin ağırlık değerini ve \tilde{P}_x , ilgili kritere ilişkin aralık tip-2 bulanık puan değerini belirtmektedir.

4. Uygulama

Bu çalışmada otomotiv sektöründe faaliyet gösteren ve dikişli çelik boru imalatı yapılan bir firmada çalışanların zihinsel işyüklerinin değerlendirilmesi amacıyla aralık tip-2 bulanık tabanlı NASA-TLX yöntemi kullanılmıştır. 40 çalışana ilişkin zihinsel iş yükleri önerilen metodoloji yardımıyla hesaplanmış ve yaş, tecrübe, vardiya ve görev gibi değişkenlere göre çalışanlar arasında fark olup olmadığı istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

Zihinsel iş yükünün, belirli çevresel ve operasyonel koşullar altında bir görevin yerine getirilmesinden kaynaklanan zihinsel zorlanma olduğu çalışanlara anlatılmıştır. Çalışanların, bu yüke maruz kalmadan normal performansla daha rahat, tatmin edici ve verimli çalışabileceği belirtilerek yürütülen çalışma ile bu amaca hizmet edildiği açıkça belirtilmiştir. Bu kapsamda kullanılacak olan subjektif bir zihinsel iş yükü değerlendirme yöntemi olan NASA-TLX tüm boyutlarıyla çalışanlara tanıtılmıştır. Çalışanlar önerilen yöntem hakkında bilgilendirildikten sonra hazırlanan anket yardımıyla veri toplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Belirtilen anket için Fen ve Mühendislik Bilimleri Etik Kurulunun 18/05/2023 tarih ve 2023/08 nolu toplantısında etik kurul izni alınmıştır. Ankette çalışmanın adımları açıkça belirtilmiş ve örnekler yardımıyla çalışanların değerlendirmelerini kolayca yapması sağlanmıştır. İlk aşamada yaptıkları işi düşündüklerinde ankette yer alan dilsel ifadeleri kullanarak hangi kriterin daha önemli olduğunu belirtmeleri istenmiştir. Böylece ikili karşılaştırmalar yardımıyla 6 kriterin ağırlıklarının belirlenmesi hedeflenmiştir. İkinci aşamada ise sunulan dilsel ifadeleri kullanarak her kriter yönünden yaptıkları işin sebep olduğu zihinsel iş yükünü değerlendirmeleri istenmiştir. Çalışanların uygulama kapsamında ele alınan değişkenlere göre dağılımı Tablo 3'te sunulmaktadır.

Tablo 3. Çalışanların Değişkenlere Göre Dağılımı

Değişken	Grup	N	%
Yaş	(1) 23-28	14	35
	(2) 29-34	14	35
	(3) 35-40	12	30
Tecrübe	(1) 1-2	14	35
	(2) 3-5	18	45
	(3) 5+	8	20
Vardiya	(1) 08-16	12	30
	(2) 16-24	10	25
	(3) 24-08	18	45
Görev	(1) Hammadde Dilme	8	20
	(2) Kaynak	10	25
	(3) Kesme	10	25
	(4) Besleme	12	30

Çalışanların zihinsel iş yüklerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemin adımları bir çalışana ilişkin hesaplamalar üzerinden gösterilmiştir. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan ikili karşılaştırma matrisi Tablo 4'te sunulmaktadır.

Tablo 4. Kriterlere İlişkin İkili Karşılaştırma Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
K1	EDÖ	ADÖ	ÇGDÖ	GDÖ	ADÖ	ODÖ
K2	1/ADÖ	EDÖ	1/GDÖ	1/ÇGDÖ	1/ODÖ	1/ADÖ
K3	1/ÇGDÖ	GDÖ	EDÖ	1/ODÖ	ODÖ	1/GDÖ
K4	1/GDÖ	ÇGDÖ	ODÖ	EDÖ	GDÖ	1/ODÖ
K5	1/ADÖ	ODÖ	1/ODÖ	1/GDÖ	EDÖ	1/ÇGDÖ
K6	1/ODÖ	ADÖ	GDÖ	ODÖ	ÇGDÖ	EDÖ

Tablo 4'te belirtilen dilsel ifadeler karşılık gelen aralık tip-2 bulanık sayılara ait durulaştırılmış değerler üzerinden ikili karşılaştırma matrisine ilişkin tutarlılık oranı 0,0773 olarak hesaplanmıştır. Bir sonraki aşamada satırlara ilişkin geometrik ortalama değerleri hesaplanıp Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Satırlara İlişkin Geometrik Ortalama Değerleri

K1	(3.81,4.52,4.52,5.17;1,1)(4.17,4.52,4.52,4.85;0,9,0,9)
K2	(0.20,0.22,0.22,0.27;1,1)(0.21,0.22,0.22,0.24;0,9,0,9)
K3	(0.59,0.72,0.72,0.89;1,1)(0.65,0.72,0.72,0.80;0,9,0,9)
K4	(1.13,1.38,1.38,1.70;1,1)(1.25,1.38,1.38,1.53;0,9,0,9)
K5	(0.32,0.38,0.38,0.47;1,1)(0.35,0.38,0.38,0.42;0,9,0,9)
K6	(2.14,2.60,2.60,3.14;1,1)(2.38,2.60,2.60,2.86;0,9,0,9)

Kriterlere ilişkin aralık tip-2 bulanık değerleri Eşitlik (9) kullanılarak ve kesin aralık değerleri ise Eşitlik (10) yardımıyla hesaplanmış ve Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. Kriterlere İlişkin Aralık Tip-2 Bulanık ve Normalize Kesin Ağırlıklar

	Aralık Tip-2 Bulanık Ağırlıklar	Normalize Kesin Ağırlıklar
K1	(0.33,0.46,0.46,0.63;1,1)(0.39,0.46,0.46,0.54;0,9,0,9)	0.456
K2	(0.02,0.02,0.02,0.03;1,1)(0.02,0.02,0.02,0.03;0,9,0,9)	0.023
K3	(0.05,0.07,0.07,0.11;1,1)(0.06,0.07,0.07,0.09;0,9,0,9)	0.074
K4	(0.10,0.14,0.14,0.21;1,1)(0.12,0.14,0.14,0.17;0,9,0,9)	0.142
K5	(0.03,0.04,0.04,0.06;1,1)(0.03,0.04,0.04,0.05;0,9,0,9)	0.039
K6	(0.18,0.27,0.27,0.38;1,1)(0.22,0.27,0.27,0.32;0,9,0,9)	0.266

Yapılan işin kriterler yönünden Tablo 6'da verilen skala kullanılarak değerlendirilmesine ilişkin puanlama Tablo 7'de sunulmaktadır.

Tablo 7. Yapılan İşin Kriterler Yönünden Değerlendirilmesine İlişkin Puanlama

K1	K2	K3	K4	K5	K6
ÇY	Y	BY	BD	BY	ÇAY

$$IYD = [(0.456) \times [(70,80,80,90; 1,1)(75,80,80,85; 0.9,0.9)]] \oplus [(0.023) \times [(60,70,70,80; 1,1)(65,70,70,75; 0.9,0.9)]] \oplus [(0.023) \times [(50,60,60,70; 1,1)(55,60,60,65; 0.9,0.9)]] \oplus [(0.142) \times [(30,40,40,50; 1,1)(35,40,40,35; 0.9,0.9)]] \oplus [(0.039) \times [(50,60,60,70; 1,1)(55,60,60,55; 0.9,0.9)]] \oplus [(0.266) \times [(90,100,100,110; 1,1)(95,100,100,105; 0.9,0.9)]] = (67.16,77.16,77.16,87.16; 1,1)(72.16,77.16,77.16,82.16; 0.9,0.9)$$

Aralık tip-2 bulanık zihinsel iş yükü değeri Eşitlik (11) yardımıyla hesaplanmıştır. Durulaştırılmış değeri ise 77,2 olarak elde edilmiştir. Önerilen yönteme ilişkin hesaplamalar bütün operatörler için gerçekleştirilmiş ve tüm operatörlere ilişkin bilgiler ve zihinsel iş yükü değerleri Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Operatörlere İlişkin Bilgiler ve Zihinsel İş Yükü Değerleri

SN	Yaş	Tecrübe	Vardiya	Görev	Zihinsel İş Yükü
1	23	1	24-08	Hammadde Dilme	33.5
2	30	1	24-08	Hammadde Dilme	54.5
3	32	6	24-08	Hammadde Dilme	59.2
4	29	2	08-16	Hammadde Dilme	61.3
5	28	3	08-16	Hammadde Dilme	86.0
6	26	2	08-16	Hammadde Dilme	76.5
7	35	12	08-16	Hammadde Dilme	89.6
8	29	1	16-24	Hammadde Dilme	79.4
9	35	3	24-08	Kaynak	49.4
10	34	5	24-08	Kaynak	46.9
11	27	2	08-16	Kaynak	69.9
12	28	3	16-24	Kaynak	60.5
13	30	3	08-16	Kaynak	70.7
14	28	3	16-24	Kaynak	89.8
15	25	2	16-24	Kaynak	73.7
16	29	5	16-24	Kaynak	88.4
17	25	3	24-08	Kaynak	80.0
18	29	3	24-08	Kaynak	70.5
19	25	1	08-16	Kesme	74.3
20	36	3	08-16	Kesme	70.3
21	30	6	08-16	Kesme	49.2
22	37	3	16-24	Kesme	65.4
23	24	1	16-24	Kesme	86.1
24	25	1	24-08	Kesme	60.7
25	30	4	24-08	Kesme	39.9
26	30	6	24-08	Kesme	22.1
27	28	1	24-08	Kesme	66.0
28	34	3	24-08	Kesme	48.8
29	27	5	24-08	Besleme	65.6
30	38	5	24-08	Besleme	92.0
31	37	5	08-16	Besleme	72.7
32	37	6	08-16	Besleme	90.5

33	32	5	16-24	Besleme	77.8
34	39	2	16-24	Besleme	81.9
35	35	4	16-24	Besleme	70.9
36	29	1	24-08	Besleme	88.8
37	40	10	24-08	Besleme	74.8
38	40	9	24-08	Besleme	76.1
39	38	16	24-08	Besleme	62.4
40	26	1	08-16	Besleme	77.2

NASA-TLX yöntemi yapılan işe ait zihinsel iş yükü seviyesini belirlemek amacıyla kullanılan subjektif bir değerlendirme yöntemidir. Bu yöntemde zihinsel iş yükü; zihinsel talep, fiziksel talep, zamansal talep, performans, çaba ve rahatsızlık düzeyi bileşenlerinin ağırlıklı toplamından oluşmaktadır. Bu bileşenler yönünden kişilerin hissettikleri ise öncelikli olarak yaptığı görevle ilişkili olmakla birlikte kişinin yaşına, cinsiyetine, tecrübesine hatta çalıştığı vardiya göre değişiklik gösterebilmektedir. Tablo 8 'de görüldüğü gibi aynı görevi yapan farklı kişilere ait zihinsel iş yükü değerleri, sayılan bu değişkenlere bağlı farklılıklardan dolayı farklı seviyelerde olabilmektedir.

Tablo 9. Klasik ve Aralık Tip-2 Bulanık NASA-TLX Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Kriterler	Klasik NASA-TLX	Aralık Tip-2 Bulanık NASA-TLX Kesin Değerler	
			Sıra
MT	10.23	10.34	4
FT	9.04	9.08	5
ZT	13.88	14.15	2
P	13.22	12.96	3
Ç	14.29	14.38	1
RD	7.03	7.91	6
Toplam	67.69	68.82	

Tablo 9'da görüldüğü gibi klasik ve aralık tip-2 bulanık NASA-TLX yöntemlerinde ortalama zihinsel iş yükü değerleri sırasıyla 67.69 ve 68.83 olarak elde edilmiştir. Her iki yöntemde de alt kriterler için aynı sıralama elde edilmiştir. En önemli kriter çaba iken, bu kriteri sırasıyla zamansal talep, performans, mental talep, fiziksel talep ve rahatsızlık düzeyi kriterleri takip etmektedir.

İnsan-Makine sistemlerinde, sistemin temel elemanlarından olan insan, sistemi amacına ulaştırmak üzere fiziksel veya zihinsel ağırlıklı görevler yerine getirmektedir. İyi bir sistemin tasarımındaki temel unsur görevin özellikleri ve gereklerine uygun çalışan atamasını yapabilmektir. Çalışanın performansı yerine getirdiği göreve göre şekillenmektedir. Zihinsel iş yükü ölçümünün temel nedeni, operatör ve sistem performansını tahmin etmek ve görevi yerine getirmenin veya belirlenen hedefe ulaşmanın zihinsel maliyetini belirlemektir. Bu sebeple önerilen yöntem yardımıyla belirlenen

zihinsel iş yükü değerleri istatistiksel analizlere temel oluşturmuş ve böylece sistemin çalışan performansını artırıcı yönde iyileştirmesi amacıyla kullanılması hedeflenmiştir.

Elde edilen zihinsel iş yükü değerlerine dayalı olarak yaş, tecrübe, vardiya ve görev değişkenleri yönünden gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olup olmadığı Varyans Analizi (ANOVA) kullanılarak test edilmiştir. ANOVA'nın normallik ve varyansların homojenliği varsayımları Minitab programında sırasıyla Anderson-Darling ve Levene testleri ile sınanmıştır. Bu kapsamda aşağıda belirtilen 3 farklı hipotez sırasıyla test edilmiştir.

Normallik testi için;

H_0 : Grup verileri normal dağılıma uygundur.

H_1 : Grup verileri normal dağılıma uygun değildir.

Varyansların homojenliği testi için;

H_0 : Grupların varyansları birbirine eşittir.

H_1 : Grupların varyansları eşit değildir.

Varyans analizi için;

H_0 : Grup ortalamaları arasında fark yoktur.

H_1 : En az bir grup ortalaması farklıdır.

Belirtilen hipotezlerin kabul veya ret kararı p değerine göre verilmektedir. H_0 hipotezi p değerinin anlamlılık düzeyinden büyük olduğu durumda kabul edilmektedir. Aksi takdirde H_0 hipotezi reddedilmekte ve alternatif hipotez kabul edilmektedir.

Tablo 10. Bütün Değişkenler İçin Gruplara İlişkin Normallik Testi Sonuçları

Gruplar	Değişkenler			
	Yaş	Tecrübe	Vardiya	Görev
1	0,228	0,295	0,407	0,585
2	0,862	0,508	0,884	0,523
3	0,672	0,355	0,993	0,772
4	-	-	-	0,679

Bütün değişken gruplarına ilişkin Minitab programında Anderson Darling normallik testi sonucunda elde edilen p değerleri Tablo 10'da sunulmaktadır. Bu değerler incelendiğinde bütün değerlerin 0.05 anlamlılık düzeyinden büyük olduğu görülmüş ve H_0 hipotezlerinin kabulüne karar verilmiştir. Dolayısıyla bütün değişkenler için her grupta verilerin normal dağılıma uyduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 11. Bütün Değişkenler İçin Gruplara İlişkin Varyansların Homojenliği Testi Sonuçları

Değişkenler	p-değeri
Yaş	0,223
Tecrübe	0,517
Vardiya	0,096
Görev	0.195

Bütün değişkenler için varyansların homojenliği varsayımının sağlanıp sağlanmadığına yönelik Minitab programında gerçekleştirilen Levene testi sonucunda elde edilen p değerleri Tablo 11'de sunulmaktadır. Bu değerler incelendiğinde bütün değerlerin 0.05 anlamlılık düzeyinden büyük olduğu belirlenmiş ve varyansların eşit olduğuna yönelik kurulan H_0 hipotezinin kabulüne karar verilmiştir. Dolayısıyla bütün değişkenler için gruplarda varyansların homojenliği varsayımının sağlandığı belirlenmiştir.

Tablo 12. Bütün Değişkenler İçin Varyans Analizi (ANOVA) Sonuçları

Değişkenler	f-değeri	p-değeri
Yaş	2,63	0,086
Tecrübe	0,14	0,873
Vardiya	5,09	0,011
Görev	2,91	0,047

Bütün değişkenler için Minitab programında gerçekleştirilen tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonucunda elde edilen f ve p değerleri Tablo 12'de sunulmaktadır. Bu tabloda verilen p değerleri incelendiğinde yaş ve tecrübe değişkenleri için gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı ve vardiya ve görev değişkenleri için ise en az bir grup ortalamasının diğerlerinden istatistiksel olarak farklı olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 13. Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi Sonuçları

Gruplar	Vardiya			Görev		
	N	Ort	Gruplama	N	Ort	Gruplama
1	12	74,02	A B	8	67,50	A B
2	10	77,39	A	10	69,98	A B
3	18	60,62	B	10	58,28	B
4	-	-	-	12	77,56	A

Gruplar arasındaki farkın anlamlı çıktığı vardiya ve görev değişkenleri için Minitab programında gerçekleştirilen Tukey çoklu karşılaştırma testi

sonuçları Tablo 13'te sunulmaktadır. Bu tabloda verilen gruplama sonuçları incelendiğinde vardiya değişkeni için farkın 2. ve 3. vardiyalardan, görev değişkeni yönünden ise kesme ve besleme operasyonlarından kaynaklandığı belirlenmiştir.

5. Sonuç ve Tartışma

Teknolojik gelişmelerin üretim ortamlarındaki artan kullanımı işlerin fiziksel yönlerinin yanı sıra zihinsel yönlerinin de dikkate alınma ihtiyacını doğurmakta ve çalışanlar için zihinsel iş yükü ölçümünü de gerekli kılmaktadır. Çalışanların kendilerine verilen görevleri yerine getirirken hissettikleri zihinsel iş yükünün belirlenmesinde kullanılan NASA-TLX yöntemi yaygın bir şekilde kullanılmakta ve etkin sonuçlar alınmasını sağlamaktadır. Yöntem çalışanların subjektif değerlendirmelerine dayalı olduğu için insan düşüncesindeki belirsizleri ifade etme noktasında etkili bir şekilde kullanılan bulanık küme teorisi ile bu yöntemin birlikte kullanılması etkin sonuçlar alınmasını sağlayacaktır. Bu bağlamda, çalışmada klasik NASA-TLX yönteminin aralık tip-2 bulanık kümelerle birlikte kullanıldığı bir yöntem önerilmekte ve önerilen yöntemin otomotiv sektöründe yer alan bir firmada uygulamasına yer verilmektedir. NASA-TLX yöntemi aralık tip-2 bulanık kümeler ile yeniden yapılandırılarak firmanın dikişli boru üretim hattında faaliyet gösteren operatörlere ait zihinsel iş yüklerinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Çalışma sonucunda firmada yer alan görevlere ait zihinsel iş yükleri belirlenmiş ve belirlenen iş yükünün seçilen değişkenlerle olan ilişkisi araştırılmıştır. Analizler sonucunda yaş ve tecrübe değişkenlerine göre operatörler arasında zihinsel iş yükü yönünden anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, ANOVA sonucunda operatörlerin zihinsel iş yükleri arasında vardiya ve görev değişkenleri yönünden istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu görülmektedir. Bu farkın vardiya değişkeninde 16-24 ve 24-08 vardiyalarından, görev değişkeninde ise kesme ve besleme operasyonlarından kaynaklandığı Tukey çoklu karşılaştırma testi sonucunda tespit edilmiştir.

Ele alınan görevlerin değişmesi ve bu görevleri yerine getiren çalışanların farklılaşmasının belirlenen iş yükünü değiştireceği açıktır. Benzer şekilde ele alınan uygulama alanı için zihinsel iş yükünü etkileyen değişkenler farklılık gösterecektir. Farklı sektörlerde farklı görevlerin yerine getirilmesi ve farklı demografik özelliklerdeki çalışanların varlığı farklı zihinsel iş yükleri ile sonuçlanacaktır. Elde edilen sonuçlardan hareketle görevlere, çalışma ortamına ve çalışma şartlarına özgü iyileştirmeler ile iş yükü azaltılarak performansın artması ve çalışan sağlığının korunması mümkün olacaktır. Sistemin iyileştirilmesinin birincil şartı mevcut durumun doğru tespit edilebilmesidir. Bu noktada, zihinsel iş yükü hesabında kullanılan yöntemin doğruluğunu

arttırmak üzerine odaklanması uygun olacaktır. Bu amaçla çalışmada, klasik NASA-TLX yönteminden farklı olarak oranlama aşamasında işlerin değerlendirilmesinde aralık tip-2 bulanık sayılardan oluşan bir skala, ağırlıklandırma aşamasında ise aralık tip-2 bulanık AHS yöntemi kullanılarak çalışanların subjektif değerlendirmelerini daha kolay yapmalarını sağlayan bir yöntem önerilmiştir. Böylece insan düşüncesindeki belirsizliklerin daha güçlü ve doğru bir şekilde ifade edilmesi ve daha gerçekçi sonuçlar elde edilmesi hedeflenmiştir.

Çalışma sonucunda farklı değişkenler yönünden zihinsel iş yükünün operatörler arasında farklılık gösterip göstermediğinin analiz edilmesi ve buna yönelik mümkün olan önlemlerin gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Çalışmada elde edilen zihinsel iş yükleri arasında vardiya ve görev değişkenleri yönünden istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu tespit edildiğinden çalışanların farklı zaman dilimlerinde farklı işlerde görev almasını sağlayacak bir iş rotasyon planı önerilmiştir. Vardiya bazındaki iş yükü değişimi de planlanan iş rotasyonunda göz önünde bulundurulmuştur. Kesme ve besleme operasyonlarında görev alan çalışanların uzun süreli bu pozisyonlarda çalışmaması önerilerek yapılan iş rotasyonunda çalışanların zihinsel iş yüklerini azaltmak amacıyla farklı işler ile iş zenginleştirme yapılması da önerilmiştir. Özellikle bu görevdeki çalışanların vardiyalardaki mola zamanları ve mola sıklıkları da hesaplanan iş yüklerine bakılarak belirlenmelidir. Böylece planlanan zaman diliminde çalışanların maruz kaldıkları iş yükleri açısından büyük farkların olmaması sağlanabilecektir.

Uygulama aşamasının otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir firmada gerçekleştirilmiş olması çalışmanın sınırlılıklarından ilki olarak söylenebilir. Yöntemin genelleştirilebilir olduğunu göstermek amacıyla farklı sektörler ve üretim ortamlarında yöntem uygulandıktan sonra sonuçlar analiz edilebilir. Bunun yanında, ankete katılım sağlayan çalışan sayısı da bir sınırlılık olarak ele alınıp çalışan sayısı artırılarak bu durumun sonuçlara etkisi değerlendirilebilir. Diğer taraftan, AHS yöntemi kapsamında gerçekleştirilen tutarlılık kontrolü ve ikili karşılaştırma sayısı faktörleri de sınırlılık olarak dikkate alınabilir. Buradan yola çıkarak, farklı aralık tip-2 bulanık tabanlı ikili karşılaştırmaya dayalı yöntemler kriter ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılıp sonuçlar karşılaştırılabilir. Geleceğe ilişkin çalışma önerisi olarak, bu çalışma kapsamında önerilen ve basit olup daha az hesaplama yükü gerektiren aralıklı tip-2 bulanık kümelerle dayalı yöntemin farklı sektörler ve çalışma alanları için uygulanması ve sonuçların analiz edilmesi söylenebilir. Ayrıca, klasik NASA-TLX yönteminin oranlama ve ağırlıklandırma aşamalarında farklı bulanık tabanlı yaklaşımların kullanılması gelecek çalışmalar için konu olabilir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Adar, T. & Kılıç Delice, E. (2017). Evaluating mental work load using Multi-criteria Hesitant Fuzzy Linguistic Term Set (HFLTS). *Turkish Journal of Fuzzy Systems*, 8(2), 90-101.
- Aktaş Potur, E., Toptancı, Ş. & Kabak, M. (2022). Mental Workload Assessment in Construction Industry with Fuzzy NASA-TLX Method. *Sixteenth International Conference on Management Science and Engineering Management*, 729-742, Springer, Cham.
- Akyeamong, J., Udoka, S., Caruso, G. & Bordegoni, M. (2014). Evaluation of hydraulic excavator Human-Machine Interface concepts using NASA TLX. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 44(3), 374-382.
- Bandoni, A. & Riono, O. S. S. (2019). Applied Fuzzy and Nasa Tlx Method to Measure of the Mental Workload. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. 97(2), 476-489.
- Bell, S. W., Kong, J. C. H., Clark, D. A., Carne, P., Skinner, S., Pillinger, S., Burton, P. & Brown, W. (2022). The National Aeronautics and Space Administration-task load index: NASA-TLX: evaluation of its use in surgery. *ANZ Journal of Surgery*, 92, 3022-3028.
- Bolton, M. L., Biltekkoff, E., Humphrey, L. (2023). The Mathematical Meaninglessness of the NASA Task Load Index: A Level of Measurement Analysis. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 53(3), 590-599.
- Can, G. F. (2018). Intuitionistic Fuzzy Tlx (IF-TLX): Implementation Of Intuitionistic Fuzzy Set Theory For Evaluating Subjective Workload. *Journal of Turkish Operations Management*, 2(1), 79-90.
- Chen, SM. & Lee, LW. (2010). Fuzzy multiple attributes group decision-making based on the ranking values and the arithmetic operations of interval type-2 fuzzy sets. *Expert Systems with Applications*, 37, 824-833.
- Chen, Y., Yan, S. & Tran, C. C. (2019). Comprehensive evaluation method for user interface design in nuclear power plant based on mental workload. *Nuclear Engineering and Technology*, 51, 453-462.
- Çelik, E. & Akyüz, E. (2018). An interval type-2 fuzzy AHP and TOPSIS methods for decision-making problems in maritime transportation engineering: The case of ship loader. *Ocean Engineering*, 155, 371-381.
- Çelik, E., Gül, M., Aydın, N., Taşkın Gümüş, A., Güneri, A. F. (2015). A comprehensive review of multi criteria decision making approaches based on interval type-2 fuzzy sets. *Knowledge-Based Systems*, 85, 329-341.
- Ege, B. & Haktanırlar Ulutaş, B. (2022). A novel approach to assess search and decision-making process in visual inspection. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 37(3), 1535-1551.
- Emeç, Ş. & Akkaya, G. (2018). Sağlık Sektöründe Zihinsel İş Yükü Değerlendirmesi Ve Bir Uygulama. *Ergonomi*, 1(3), 156-162.
- Erdoğan, M., Kaya, İ. (2016). A combined fuzzy approach to determine the best region for a nuclearpower plant in Turkey. *Applied Soft Computing*, 39, 84-93.
- Esengün, M. & İnce, G. (2016). Mobil Navigasyon Uygulamalarının Kullanıcı Deneyimi Açısından Karşılaştırılması. *24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU)*, 241-244, Zonguldak.
- Galy, E., Paxion, J. & Berthelon, C. (2018). Measuring mental workload with the NASA-TLX needs to examine each dimension rather than relying on the global score: an example with driving. *Ergonomics*, 61(4), 517-527.
- Gao, Q., Wang, Y., Song, F., Li, Z. & Dong, X. (2013). Mental workload measurement for emergency operating procedures in digital nuclear power plants. *Ergonomics*, 56(7), 1070-1085.
- Gönen Ocaktan, D., Karaoğlan, A. D., Akça, A. & Oral, A. (2021). Tekrarlanan işlerde algılanan zihinsel iş yükü. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(1), 84-95.
- Harputlu Aksu, Ş., Çakıt, E. & Dağdeviren, M. (2023). Investigating the Relationship Between EEG Features and N-Back Task Difficulty Levels With NASA-TLX Scores Among Undergraduate Students. *Intelligent Human Systems Integration*, 69, 115-123.
- 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.
- Hermansyah, M. S. A. & Handayani, N. U. (2022). NASA-TLX Assessment of Mental Workload in Manufacturing Industry. *Spektrum Industri*, 20(2), 1-14.
- Hernandez, R., Roll, S. C., Jin, H., Schneider, S. & Pyatak, E. A. (2022). Validation of the National Aeronautics and Space Administration Task Load Index (NASA-TLX) adapted for the whole day repeated measures context. *Ergonomics*, 65(7), 960-975.
- Kahraman, C., Öztayşi, B., Uçal Sarı, İ. & Turanoğlu, E. (2014). Fuzzy analytic hierarchy process with interval type-2 fuzzy sets. *Knowledge-Based Systems*, 59, 48-57.
- Kahya, E., Özkan, N. F. & Ulutaş, B. (2019). Evaluation of brain computer interface usage in terms of cognitive load: A pilot study. *Journal of the Faculty*

- of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(2), 647-662.
- Karadağ, M. & Cankul, İ. H. (2015). Hemşirelerde Zihinsel İş Yükü Değerlendirmesi. *Anadolu Hemşirelik ve Sağlık Bilimleri Dergisi*, 18(1), 26-34.
- Kılıç Delice, E. & Can, G. F. (2018). An Integrated Mental Workload Assessment Approach Based on NASA-TLX and SMAA-2: A Case Study. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(2), 88-99.
- Kılıç Delice, E. (2016). Acil Servis Hekimlerinin Nasa-Rtlx Yöntemi İle Zihinsel İş Yüklerinin Değerlendirilmesi: Bir Uygulama Çalışması. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 30(3), 645-662.
- Kılıç, M. & Kaya, İ. (2015). Investment project evaluation by a decision making methodology based on type-2 fuzzy sets. *Applied Soft Computing*, 27, 399-410.
- Li, S., Liu, Y., Li, K., Cao, G., Li, S., Mao, Y., Wang, Y., Feng, J. & Tang, S. (2023). Validation and effect of the NASA-TLX score on the assessment of the workload of pediatric robotic operations. *Surgical Endoscopy*, 37, 5077-5085.
- Liu, C., Zhang, C., Sun, L., Liu, K., Liu, H., Zhu, W., Jiang, C. (2023). Detection of Pilot's Mental Workload Using a Wireless EEG Headset in Airfield Traffic Pattern Tasks. *Entropy*, 25, 1035.
- Mamak Ekinci, E. B. & Can, G. F. (2018). Algılanan İş Yükü Ve Çalışma Duruşları Dikkate Alınarak Operatörlerin Ergonomik Risk Düzeylerinin Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı İle Değerlendirilmesi. *Ergonomi*, 1(2), 77-91.
- Mansikka, H., Virtanen, K. & Harris, D. (2019). Comparison of NASA-TLX scale, modified Cooper-Harper scale and mean inter-beat interval as measures of pilot mental workload during simulated flight tasks. *Ergonomics*, 62(2), 246-254.
- Mendel, J. M., John, R. I. & Liu, F. (2006). Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems Made Simple. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 14(6), 808-821.
- Mohammadian, M., Parsaei, H., Mokarami, H. & Kazemi, R. (2022). Cognitive demands and mental workload: A field study of the mining control room operators. *Heliyon*, 8, e08860.
- Mouzé-Amady, M., Raufaste, E., Prade, H. & Meyer JP. (2013). Fuzzy-TLX: using fuzzy integrals for evaluating human mental workload with NASA-Task Load index in laboratory and field studies. *Ergonomics*, 56(5), 752-763.
- Nam, S., Karam, M., Christelis, C., Bhargav, H. & Fels, D. I. (2023). Assessing subjective workload for live captioners. *Applied Ergonomics*, 113, 104094.
- Özdemir, M., Dönmez, K. & Demirel, S. (2023). Determining the Key Factors Affecting Pseudo-Pilot Workload Based on Real-Time Simulations. *Transportation Research Record*, 2677(7), 718-732.
- Priska, H. A., Aurellia, K., Putri, F. A., Zaidan, A. & Basumerda, C. (2022). Mental Workload Analysis of Employees in the Customer Care Department of PT. XYZ Using NASA-TLX Method. *Proceeding International Conference on Religion, Science and Education*, 1, 735-738.
- Riono, R., Suparno, S. & Bandonno, A. (2018). Analysis of Mental Workload with Integrating NASA-TLX and Fuzzy Method. *International Journal of ASRO*, 1(1), 37-45.
- Ruiz-Rabelo, J. F., Navarro-Rodriguez, E., Di-Stasi, L. L., Diaz-Jimenez, N., Cabrera-Bermon, J., Diaz-Iglesias, C., Gomez-Alvarez, M. & Briceno-Delgado, J. (2015). Validation of the NASA-TLX Score in Ongoing Assessment of Mental Workload During a Laparoscopic Learning Curve in Bariatric Surgery. *Obesity Surgery*, 25(12), 2451-2456.
- Tubbs-Cooley, H. L., Mara, C. A., Carle, A. C. & Gürses, A. P. (2018). The NASA Task Load Index as a measure of overall workload among neonatal, paediatric and adult intensive care nurses. *Intensive & Critical Care Nursing*, 46, 64-69.
- Virtanen, K., Mansikka, H., Kontio, H. & Harris, D. (2022). Weight watchers: NASA-TLX weights revisited. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 23(6), 725-748.
- Walters, C. & Webb, P. J. (2017). Maximizing Efficiency and Reducing Robotic Surgery Costs Using the NASA Task Load Index. *AORN JOURNAL*, 106(4), 283-294.
- Wang, Y., Chardonnet, JR. & Merienne, F. (2021). Enhanced cognitive workload evaluation in 3D immersive environments with TOPSIS model. *International Journal of Human-Computer Studies*. 147, 102572.
- Widiastuti, R., Nurhayati, E., Wardani, D. P., & Sutanta, E. (2020). Workload measurement of batik workers at UKM batik jumputan Yogyakarta using RULA and NASA-TLX. *Journal of Physics: Conference Series*, 1456, 1-7.
- Yağmuroğlu, Z., Günaydın, H. M. & Kale, S. (2011). İş Gereksinim Analizi Yönteminin İş Güvenliği Bağlamında İncelenmesi. 3. *İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu*, 195-200, Çanakkale.
- Yener, Y., Can, G. F. & Toktaş, P. (2019). Fiziksel Zorlanma Ve Algılanan İş Yükü Düzeylerini Dikkate Alan Bir İş Rotasyonu Önerisi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(1), 9-20.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353.
- Zadeh, L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-I. *Information Sciences*, 8(3), 199-249.