

## Demiryolu Makinistlerinin Zihinsel İş Yükünün Bulanık TOPSIS ve Bulanık COPRAS Teknikleriyle Analizi

Meryem Koçer<sup>1</sup> , Ömer Faruk Efe<sup>1</sup> 

### ÖZET

**Amaç:** Bu çalışmada, demiryollarında görev yapan makinistlerin zihinsel iş yükü analiz edilmiştir. Araştırmanın temel amacı, makinistlerin zihinsel iş yükünü etkileyen faktörleri belirleyerek, sürdürülebilir ve verimli bir çalışma ortamı oluşturulmasına katkı sağlamaktır.

**Yöntem:** Veri toplama aracı olarak NASA-TLX yönteminden faydalanılmış. Bu yöntemle dayalı oluşturulan anket formu, makinistlere uygulanmıştır. Çok fazla sayıda karar verici bulunması ve değerlendirmelerin, bulanık ifadeler ile yapılması nedeniyle analiz sürecinde ÇKKV (Çok Kriterli Karar Verme) yöntemi olan Bulanık TOPSIS ve Bulanık COPRAS yöntemleri kullanılmıştır.

**Bulgular:** Deneyim süresine göre oluşturulan 6-10 yıl, 11-15, 16-20 ve 21 yıl ve üzeri) çalışan gruplarında her iki karar verme yöntemine göre en yüksek zihinsel iş yükünün, İş4 (Tren seyri esnasında meydana gelen arıza ve acil durumlarla ilgili işleri yürütmek, basit arızaları gidermek vb.) görevinde yaşandığı tespit edilmiştir. Yük, Marmaray, YHT Metro birimlerinde çalışan gruplar ayrı ayrı ele alındığında, zihinsel iş yüküne sebep olan alternatifler alanlarına bakıldığında İş4'ün her üç grup açısından zihinsel iş yükünün ilk sırada olduğu görülmüştür.

**Özgünlük:** Bu çalışma, NASA-TLX, Bulanık TOPSIS ve Bulanık COPRAS yöntemlerini entegre ederek, demiryollarında çalışan makinistlerin zihinsel iş yükünü analiz eden özgün bir metodolojik yaklaşım sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Zihinsel İş Yükü, Bulanık Mantık, Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri, NASA-TLX.

## Mental Workload Analysis of Railway Drivers Through Fuzzy TOPSIS and Fuzzy COPRAS Methods

### ABSTRACT

**Purpose:** This study analyzes the mental workload of train drivers working in the railway sector. The primary objective is to identify the factors affecting their mental workload and to contribute to the creation of a sustainable and efficient working environment.

**Methodology:** The NASA-TLX method was employed as a data collection tool, and the survey questionnaire was administered to train drivers. Due to the presence of multiple decision-makers and the use of imprecise (fuzzy) expressions in evaluations, MCDM (Multi Criteria Decision Making) techniques specifically Fuzzy TOPSIS and Fuzzy COPRAS were employed for data analysis.

**Findings:** In the experience-based groups (6-10 years, 11-15 years, 16-20 years and over 21 years) both decision-making methods indicated that the task labeled as Job4 (such as managing tasks related to malfunctions and emergencies occurring during train operation, resolving minor faults, etc.) was perceived as the most mentally demanding. Similarly, when the groups working in Marmaray, freight and the other operational units were evaluated separately, Job4 consistently ranked first in terms of mental workload across all the groups.

**Originality:** This study presents an original methodological approach for analyzing the mental workload of train drivers in railway sector by combining the NASA-TLX, Fuzzy TOPSIS, and Fuzzy COPRAS methods.

**Keywords:** Mental Workload, Fuzzy Logic, Multi-Criteria Decision Making Techniques, NASA-TLX.

<sup>1</sup> Bursa Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Meryem Koçer, kcmeryem@gmail.com

DOI: 10.51551/verimlilik.1533137

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 14.08.2024 | Kabul / Accepted: 28.05.2025

Atıf/Cite: Koçer, M. ve Efe, Ö.F. (2025). "Demiryolu Makinistlerinin Zihinsel İş Yükünün Bulanık TOPSIS ve Bulanık COPRAS Teknikleriyle Analizi", *Verimlilik Dergisi*, 59(3), 609-624.

**EXTENDED ABSTRACT**

Rapid changes and innovations are taking place worldwide. In order for companies to survive, it is not only sufficient to invest in technology, but also applications for employees to work with high productivity should be addressed. Factors affecting productivity increase include the physical condition of the working environment, ergonomics of conditions, organizational ergonomics and job satisfaction.

The aim of ergonomics is to organise and implement the work by taking into account human abilities, physical and psychological conditions. Competition between companies is always felt, but the most important factor that can turn this situation into an advantage is human resources. It will be observed that the productivity and job satisfaction of motivated employees increase with appropriate ergonomic conditions. The research is designed to contribute to the literature on analysing the workloads of railway sector employees by using Fuzzy TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), Fuzzy COPRAS (Complex Proportional Assessment) and NASA-TLX (The NASA Task Load Index).

Workload, which is defined as the volume of work that the employee must perform in a certain period of time in a quality manner, the level of difficulty of the work and the working skills of the employee reveal the perception of workload. In this study, it is aimed to examine the workload felt by the machinist personnel working in the railways in terms of various factors. The sample group of the study consists of surveys conducted with 210 machinist personnel working in the railway sector. NASA-TLX method was utilised for data collection in the study, and the questionnaire created with this method was adapted and used for mechanic employees. Since there were a large number of decision makers in the study and the evaluation was made with fuzzy expressions, Fuzzy TOPSIS and Fuzzy COPRAS, which are MCDM (MultiCriteria Decision Making) techniques, were used in the analysis of the data in order to obtain a common result. The criteria accepted in NASA-TLX management were selected from the criteria applied in many studies in different sectors. While analysing the results, firstly, the answers given by all participants were examined, then the data were separated according to experience and business unit level and analysed, compared and interpreted with two different MCDM methods and recommendations were given. As a result of the research, as a result of analysing the answers given by all participants and the answers given after grouping the employees according to their experience and business units with both Fuzzy TOPSIS and Fuzzy COPRAS methods, it was seen that the work area with the highest cognitive load was Job4.

## 1. GİRİŞ

Dünya çapında hızlı değişim ve yenilikler yaşanmaktadır. Şirketlerin varlığını sürdürebilmesi için sadece teknolojiye yatırım yapılması yeterli olmamakla birlikte aynı zamanda çalışanların sürekli yüksek verimlilikte çalışmasına yönelik uygulamalar da ele alınmalıdır. Verimlilik artışını etkileyen faktörler arasında çalışma ortamının fiziki durumu, koşulların ergonomisi, organizasyon ergonomisi ve iş tatmini bulunmaktadır. İş sağlığı ve güvenliğinin yükselişinden bu yana, ergonomi organizasyon için daha önemli bir konu haline gelmiştir. Dünyadaki her şirket, işyerlerinin güvenliğini artırmayı daha fazla düşünmektedir (Pun,2011: 7; Koirala ve Nepal, 2022).

Ergonomi, Yunanca sağlık anlamına gelen nomos ve iş anlamına gelen ergo kelimelerinden gelmektedir. İnsanların nasıl çalıştığını, insanların kolayca adapte olabilmesi ve daha üretken olabilmesi için iş yerinin nasıl tasarlandığını incelemektedir. Çalışma ortamlarında ergonomi üç şekilde ele alınmaktadır. Bunlar; fiziksel ergonomi bilişsel ergonomi, örgütsel ergonomidir (Dalkılıç, 2021:18). Fiziksel ergonomi, fiziksel aktiviteye ilişkin bir kişinin anatomik, antropometrik, biyomekanik ve fizyolojik yönleriyle ilgilenmektedir. En çok ilgilenilen iş yeri ergonomisi alanıdır (Thomas ve diğerleri,2022). Örgütsel ergonomi, iş ortamında verim artırma amacıyla, iş ve çalışan arasındaki organizasyonel dengenin sağlanmasını konu edinmektedir (Yararel ve diğerleri, 2022). Bilişsel ergonominin merkezinde sistemin çalışması gereken daha geniş ortam, sistem için hem kısıtlamalar hem de fırsatlar sunan alan kavramı yer almaktadır.

İnsan hayatının devamlılığı için önemli bir meslek olan çalışma, bireyin zamanını değerlendirmesini, enerjisini faydalı hedeflere yönlendirmesini ve ruh sağlığını korumasına yardımcı olan bir faaliyettir (Yüksel, 2024, Araslar, 2021: 3). Çalışma hayatında olumlu ya da olumsuz olarak algılanan her durum, bireylerin yaşam kalitesini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, çalışma hayatı her zaman bireyler için öncelikli bir alan olmuş ve bilimsel araştırmaların odak noktalarından biri haline gelmiştir (Kayak, 2023:1). Belirli bir işin sürdürülebilirliğinin sağlanması yalnızca ekonomik bir kaynak yaratmakla sınırlı değildir. Aynı zamanda bireylerin yaşamlarını düzenleyici bir işlev de üstlenmektedir. Çalışma hayatında sorumlulukların ve görevlerin paylaşılması, dayanışmayı arttırmakta ve aidiyet duygusunun gelişimini teşvik etmektedir. Ayrıca, çalışma ortamı yalnızca bir iş yeri olarak değil, aynı zamanda bireylerin sosyal ilişkilerini geliştirebilecekleri ve psikolojik iyilik hallerini destekleyebilecekleri bir alan olarak değerlendirilmelidir (Araslar, 2021).

İnsanların yaşadığı iş yükünü bilimsel yöntemlerle tespit etmek, ölçmeye çalışıp doğru çözümler getirmek çok önemlidir. Çalışanın yükü fiziksel olabileceği gibi zihinsel de olabilmektedir (Kayak, 2023). Teknolojinin gelişmesi ve bilgisayar kullanımının artması birçok alanda uzmanlaşmanın önem kazanmasını, insanların ihtiyaç ve beklentilerinin değişmesini yeni birtakım iş alanları ve işler oluşmasını sağlamaktadır. Bu durumda işlerin yeniden tasarlanmasını gerektirmektedir (Akoğlu, 2021, Çelikten, 2025). Bu değişim sürdükçe şirketlerin görevlerinin yeniden tanımlanması, işe uygun çalışanların seçilerek işe alınması, ücretlerinin belirlenmesi ve performanslarının değerlendirilmesi amacıyla işin özelliklerinin belli olması gerekmektedir (Çelikten, 2005). Yapılan işin özelliklerini ortaya koyan iş analizi çalışmaları sayesinde şirketlerin işlerini daha sağlıklı yürütmesi, örgütsel olarak gelişmesi ve gerekiyorsa yapısal değişiklikler yapması kolaylaşmaktadır (Dağdeviren ve diğerleri, 2005, Ofluoğlu ve Bircan, 2007, Nourollahi-Darabad ve diğerleri, 2022).

Zihinsel iş yükünün değerlendirilmesi için farklı yöntemler geliştirilmiştir. NASA-TLX gibi yöntemler, diğer zihinsel iş yükü ölçüm araçlarına göre daha kullanıcı dostu olduğundan, bu tür araştırmalarda yaygın olarak tercih edilmektedir. Türkiye'deki zihinsel iş yükü üzerine yapılan araştırmalar sınırlı sayıdadır. (Emeç ve Akkaya, 2018, Tosun ve Yılmaz, 2023).

Demiryolu taşımacılığına artan talepler, demiryolu taşımacılığının temeli olan çalışan makinistlerin iş yükünü arttırmaktadır. Demiryolu taşımacılığında dikkatsizlik ve ihmallerden dolayı yapılan hatalar çoğu zaman can kayıplarına neden olmaktadır. Tren makinistliği; odaklanma, özen, yüksek seviyede teknik bilgi ve beceriye sahip olunması gereken bir iş dalı olduğu için işteki verim ve özen önem arz etmektedir. Demiryolu şirketleri hedeflerine ulaşmak için hem emek yoğun teknolojileri hem de gelişmiş teknik ekipmanları kullanmaktadır. Demiryolu şirketlerinin verimli ve etkin hizmetleri sunmaya çalışması teknik personelin önemini büyük ölçüde arttırmıştır. Çalışanların çalışma koşullarının iyileştirilmesi ve sorunlarının çözülmesi sunulan ulaşım hizmetinin kalitesinin artırılması açısından önemlidir. Bu nedenle tren makinistlerinin çalışma koşullarının değerlendirilmesine yönelik araştırmaların yapılması önemlidir. Bu bağlamda tren makinistlerinin iş yüküne ilişkin görüşleri, verilen hizmetin kalitesi açısından oldukça önemli görülmektedir (Ağzıtemiz ve Bardakçı, 2021). Bu çalışmada demiryolu sektöründe faaliyet gösteren demiryolu tren işletmesindeki farklı deneyime ve iş birimine sahip makinistlerin hissettikleri zihinsel iş yükünün ölçülmesi, karşılaştırılması ve analiz edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada bilişsel iş yükü tanımı, bilişsel iş yükü ölçüm yöntemleri, ÇKKV (Çok Kriterli Karar Verme) yöntemleri gibi konulara değinilmiştir. NASA-TLX yöntemi kullanılarak anket çalışması uygulanmıştır. NASA-TLX yöntemine ek olarak ÇKKV

yöntemlerinden faydalanılmıştır. Makinistlerin algıladıkları iş yükünü etkileyen faktörler analiz edilmeye çalışılmıştır. Bu faktörlerin incelenmesinin makinistlerin performanslarına etki eden faktörlerin saptanmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışmanın sonucunda, makinistlerin iş adımlarının hangi aşamalarında daha fazla çaba sarf ettiği ve zihinsel iş yükü açısından zorlandığı belirlenmiştir. Bu doğrultuda çalışmanın temel amacı, demiryolu sektöründe kritik bir role sahip olan makinistlerin zihinsel iş yükünü önceliklendirmek, grup karar verme süreçlerindeki farklılıkları anlamak ve bu süreçlerin yorumlanması yoluyla iş akış süreçlerine katkıda bulunmaktır.

Bu çalışmada, makinistlerin günlük görevlerinin hangi aşamalarında ne düzeyde iş yükü hissettiklerini analiz etmek amaçlanmıştır. Çalışmanın giriş bölümünde araştırmanın amacı açıklanmış, ikinci bölümde ise konuya ilişkin literatür incelemesi yapılmıştır. Üçüncü bölümde, araştırmada kullanılan materyal ve yöntemler detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, karar verme süreci incelenmiş ve ÇKKV yöntemine ayrıntılı olarak yer verilerek, araştırma bulguları sunulmuştur. Son bölümde ise elde edilen analiz sonuçları yorumlanmış ve çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Pasaribu ve diğerleri (2022), yapmış olduğu çalışmada çevrimiçi dersler sırasında öğrencilerin zihinsel iş yükünü ve yorgunluğunu değerlendirmeyi amaçlamıştır. Bu çalışmanın sonuçları öğrencilerin algıladıkları zihinsel iş yükünün yüksek kategoride, yorgunluğun ise orta kategoride olduğunu göstermiştir.

Grabarek (2002), yapmış olduğu çalışmada elektrikli bir lokomotifte sürücü çalışma yerinin ergonomik analizi için bir yöntem geliştirmeyi amaçlayan araştırmayı ele almıştır.

Ağzitemiz ve Bardakçı (2021), yapmış olduğu çalışmada tren makinistlerinin algıladıkları iş yüklerinin çeşitli kriterlere göre değişkenliğini inceleyerek elde edilen sonuçlarla literatüre katkı sağlamaya çalışmıştır. Çalışmada, tren makinistlerinin iş yükü algı düzeylerine yönelik yapılan analizler sonucunda; işçi makinistlerin iş yükü algı düzeylerinin memur olan makinistlere göre daha fazla olduğu saptanmıştır.

Sennaroğlu ve Celebi (2018), yapmış olduğu çalışmada ÇKKV yöntemlerini kullanarak askeri havaalanı için yer seçimi problemini çözmeyi amaçlamıştır. Bu çalışmada, kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için AHP, alternatifleri sıralamak ve en iyi alternatifi seçmek için PROMETHEE ve VIKOR birlikte kullanılmış ve iki yöntemde de aynı lokasyon en iyi alternatif olarak önerilmiştir.

Efe ve diğerleri (2015), yapmış olduğu çalışmada, alternatifler arasından ergonomik olarak uygun olan telefon seçimi için çok kriterli grupkarar verme yöntemlerinden biri olan TOPSIS metodunun sezgisel bulanık ortamda genişletilmesi önerilmiştir.

Kayak (2023), yapmış olduğu çalışmada NASA-TLX ve Taguchi yöntemlerinden faydalanarak bir Ar-ge merkezindeki çalışanların zihinsel yüklerini ölçerek, sonuçları konjoint analizden elde edilen ağırlıklarla çarparak benzer sonuçlar üretilip üretilmediğini saptamayı amaçlamıştır.

Restuputri (2021) yapmış olduğu çalışmada insan faktörü ölçeği ile işçi performansı arasındaki ilişkiyi belirlemiş ve insan faktörü ölçeğinde işçi performansını etkileyebilecek en baskın faktörleri belirlemek için demiryolu ergonomisi anketini kullanmıştır. Analiz sonuçlarına göre performans üzerinde en yüksek katsayıya sahip değişken iş tatminidir.

Taherdoost ve Madanchian (2023), yapmış olduğu çalışmada ÇKKV alanlarında yayınlanan çalışmalara ilişkin çeşitli bilgiler ve istatistikler sunmuştur. ÇKKV yöntemlerinde kullanılan kavramlar, parametreler tanımlanmıştır. Sunulan istatistiklerde ÇKKV yöntemlerinin kullanım oranları da ele alınmış olup çalışmamızda yöntem belirlerken yol gösterici olmuştur.

Dobson (2015), yapmış olduğu çalışmada, demiryolunda insan faktörlerinin ve ergonominin gelişimini gözlemlemiştir. Kullanıcıyı desteklemek için bir iş sisteminin, ekipmanın, ortamın ve görevlerin tasarımına insan faktörlerinin entegrasyonu, operatörlerin dar zaman dilimleri içinde verimli ve güvenli bir şekilde tepki vermesini sağlamak için kritik öneme sahiptir.

Kuşaklı (2024), yapmış olduğu çalışmada hemşirelerin iş gücü verimliliğine ilişkin tutumları ve etkileyen faktörler incelenmiştir.

Ulus vd. (2024), çalışmalarında bir otomotiv tedarik şirketinde çalışan ofis çalışanlarının fiziksel ve zihinsel iş yükünü incelemiştir. Çalışmada ROSA, Cornell kas iskelet sistemi rahatsızlık anketi ve NASA-TLX yöntemlerinden faydalanılmıştır.

Yazgan ve diğerleri (2021), yapmış olduğu çalışmada bilişsel iş yükünün belirlenerek ölçüm yöntemlerinin önemi açıklanmıştır.

Can ve diğerleri (2015) yaptığı çalışmada bir devlet hastanesinde yaşanan istifa sayılarındaki artışın sebepleri incelenerek, bunların iyileştirilmesi için hastane yönetimine öneriler sunulması amaçlanmıştır. Bu şekilde kurumda yaşanan personel değişiminin azalacağı ve kurumun daha etkin bir şekilde çalışabileceği düşünülmektedir. Çalışmada SWAT ve JSS ölçeği kullanılarak iş yükü konusunda literatüre katkı sağlanmıştır.

### 3. METOT

Karar verme pek çok alternatifin değerlendirilmesi ve bunlar arasından en iyi tercihin yapılma süreci olarak tanımlanabilir. Yani karar terimi sonuç anlamına gelmektedir. Karar verme terimi belirtilen sonuca ulaşma sürecini tanımlamaktadır (Güngör ve Özcan, 2022). Karar verme, karmaşık bir zihinsel süreç olarak, çeşitli yönleri dikkate alarak istenen sonucu belirlemeyi amaçlayan bir problem çözme programıdır (Taherdoost ve Madanchian, 2023).

ÇKKV aşamalarını şeffaf ve tutarlı olarak yapılandırmaya ve resmileştirmeye yönelik yöntemlerden oluşan çok adımlı bir süreçtir (Langemeyer ve diğerleri, 2016). Etkili kararlar alabilmek için öncelikle karar verme kavramının tanımlanması gerekmektedir (Çoşkun, 2020). Bir sorun için çok sayıda alternatif olduğunda, en uygun maliyet kriterine sahip, çevreye en az etki eden ve enerji verimliliği yüksek olan alternatifin bulunması önemlidir. Bu, ÇKKV yönteminin alternatifleri karşılaştırma aracı olarak kullanılmasıyla sağlanabilir.

Her ÇKKV yönteminin, alternatiflerin sıralandığı farklı hesaplama aşamaları bulunmaktadır ve belirli yöntemlerle aynı girdi verilerini kullanarak uygulama yapılması sonucunda aynı veriler elde edileceğini iddia etmek mümkün değildir (Ishizaka ve Nemery, 2013). ÇKKV bir kararda çeşitli potansiyel adaylar arasından en iyi alternatifin seçimini içeren kararlarla ilgilenmektedir. Her karar, birden fazla faktörün, yani kriterlerin dengelenmesini gerektirir ve bu bazen açıkça, bazen de bilinçli olarak dikkate alınmadan yapılmaktadır. Karar, iki veya daha fazla iyi tanımlanmış alternatif arasında basit bir seçim olabilir; ancak genellikle karar problemleri, farklı bakış açılarını yansıtan karmaşık ve çelişkili nitelikteki bilgileri kapsayan oldukça karmaşık problemlerdir (Triantaphyllou, 2000).

Çalışmada, NASA-TLX yöntemi kriterlerinden faydalanan anket çalışması kişisel etkileri ortadan kaldırmak için online olarak çalışanlara uygulanmıştır. Oluşturulan anketin giriş kısmında anketin yapılış amacı açıklanmıştır. Ayrıca soruların rahat algılanması için örnekler vererek, soru bazında açıklamalar yapılarak katılımcıların soruları daha rahat cevaplamasına katkı sağlanmıştır. Katılımcıların verdiği cevaplardan elde edilen sonuçlar ÇKKV yöntemlerinden Bulanık TOPSIS ve Bulanık COPRAS yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir.

İlk olarak ankete katılanlara demografikler özelliklere yönelik hazırlanmış olan toplam altı adet soru (çalışma süresi, yaş, eğitim, çalışma statüsü, iş birimi, medeni hal) yöneltilmiştir. 7.sorudan itibaren ise anket katılımcılarının rutin işlerini kriterler bazında değerlendirmeleri istenmiştir. Sonrasında makinistlerden NASA-TLX yöntemindeki kriterleri ağırlıklandırması beklendiğinden 13.soru yöneltilmiştir.

Çalışanlardan değerlendirmesi istenilen işler aşağıda liste halinde verilmiştir. Bu işler belirlenirken makinistlerin tren sevkı için günlük rutin olarak yaptığı daha detaylı olan işler sırasıyla ele alınmıştır. Ayrıca işler seçilirken ankete çok sayıda kişinin katılacağı göz önünde bulundurularak tüm makinist grupları (yük, marmaray vb.) için ortak işler olmasına özen gösterilmiştir.

İş1: İş alma işlemlerini yürütmek (astlarına eğitim vermek, günlük çalışma çizelgesini hazırlamak vb.)

İş2: Cer aracını ve treni servise hazırlamak (cer aracı kontrolleri, cer aracı çalıştırmak, trene enerji vermek vb.)

İş3: Tren seyir hizmetlerini yürütmek (Dizi ve cer aracını kontrolünü, yol işaretlerini kontrolünü yapmak vb.)

İş4: Tren seyri esnasında meydana gelen arıza ve acil durumlarla ilgili işleri yürütmek (basit arızaları gidermek vb.)

İş5: Tren seyrinden sonra cer aracının teslim edilmesini yürütmek (tamir defterini doldurmak, cer aracını depoya / görevliye teslim etmek)

İş6: Depo ve manevra işlemlerini yürütmek (yedek makinistlik nöbeti tutmak, depo manevrası yapmak vb.)

#### 3.1. NASA-TLX

NASA-TLX yöntemi, NASA-Ames Araştırma Merkezi'nden Sandra G. Hart ve San Jose Eyalet Üniversitesi'nden Lowell E. Staveland tarafından 1998 yılında geliştirilmiştir. Anket şeklinde olan bu yöntem, iş yükü ölçümlerinden daha kolay ancak daha hassas olan subjektif ölçümlere olan ihtiyacın ortaya çıkmasından yola çıkarak geliştirilmiştir (Surtiningtyas ve diğerleri, 2022).

İnsanın bilişsel iş yükü performansını derinden etkileyebilir ve bu nedenle birçok sistemin tasarımında ve işletilmesinde önemli bir husustur (Bolton ve diğerleri, 2023). NASA-TLX yöntemi, işlerinde çeşitli faaliyetlerde bulunmak zorunda olan çalışanların karşılaştıkları bilişsel iş yükünü analiz etmek için kullanılan bir yöntemdir (Ramadhana, 2021). Çalışmamızda önceki bölümlerde ele alınan ölçüm yöntemlerinden biri olan NASA-TLX yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Çalışmamızda diğer yöntemlere göre daha doğru sonuçlar vermesi ve yaygın kabul görmesi nedeniyle subjektif ölçüm yönteminden biri olan NASA-TLX yöntemi seçilmiştir. Subjektif bilişsel iş yükünü ölçen NASA-TLX'in çok boyutlu ölçüm, hızlı ve düşük araştırma maliyetleriyle veri sunma süreci gibi faydaları vardır (Pasaribu ve diğerleri, 2022).

NASA-TLX yöntemi ile bilişsel iş yükünü ölçmenin adımları:

**1. Derecelendirme Verme:** Ölçümde derecelendirme, bir değer aralığı (0-5) ile 6 boyutlu bilişsel iş yükü ölçeklerinden oluşan bir anketten hesaplanır.

NASA-TLX, altı farklı ölçüm cihazı kullanarak zihinsel iş yükünü ölçen çok boyutlu bir yöntemdir. Zihinsel, fiziksel, zamansal, performans, efor ve konfor düzeyi olmak üzere altı kriter bulunmaktadır. Bu kriterler kısaca şu şekilde ifade edilmiştir;

Zihinsel talep, işte ihtiyaç duyulan zihinsel ve algısal faaliyetlerin talepleri olarak tanımlanmaktadır. (örnek: düşünme, karar verme, hesaplama, hatırlama, görme, arama).

- Fiziksel talep, işte ihtiyaç duyulan fiziksel aktivitedir. (örnek: itme, çekme, döndürme, kontrol etme, koşma ve diğerleri).
- Zamansal talep, iş veya işin unsuru sırasında hissedilen zaman baskısıdır.
- Performans, iş hedeflerine ulaşmada başarıdır.
- Çaba, iş performansı düzeyine ulaşmak için gerekli olan zihinsel ve fiziksel olarak harcanan çabadır.
- Güvenlik, tatmin, zindelik, rahatlık ve kendini tatmin duygusu ile sahada hüsrana düzeyi, güvensizlik, umutsuzluk, gücenme, stresli ve dikkati dağılmış çalışırken hissedilir [33].

**2. Ağırlık:** Anketin ağırlık ölçümünde kriter ağırlıklarını belirlemek için katılımcılara ekstra hazırlanmış kriterlerin bulunduğu bir soru yöneltilmiş katılımcıların verdiği cevaplardan yola çıkarak ağırlıklandırma yapılmıştır.

**3. Ortalama Ağırlık İş Yükünün Hesaplanması:** Ankete katılan personelin yaptıkları kriter değerlendirmelerinin ortalaması alınıp kriter ağırlıkları saptanmıştır.

### 3.2. Bulanık TOPSIS

Bulanık TOPSIS belirsizlik altında alternatiflerin seçilmiş bir kriter veya kriterler bazında değerlendirilip sınıflandırıp en ideal seçime katkı sağlayan yöntemlerdendir (Efe ve diğerleri, 2015).

Niteliksel ve niceliksel kriterler açısından Bulanık TOPSIS yöntemi ile değerlendirme yapmak mümkündür. Bulanık TOPSIS fazlasıyla esnek yapıdadır. Karar vericilerin farklı kararlar verdiği durumlarda, grup kararı gerektiren problemlerin çözümü için Bulanık TOPSIS yöntemi oldukça uygundur. Değişik kriterler açısından alternatiflerin kriter önemini ve kriter değerini belirlemek amacıyla karar verici dilsel değişkenleri kullanmaktadır. Alternatiflerin en iyisinin seçim kararını ve değişik dil değerlendirmelerini sağlamak amacıyla çok kriterli bulanık karar yöntemi gereklidir. Bulanık sayılardan, bulanık modellerde belirtilen dilsel değişkenleri tanımlamak amacıyla faydalanılmaktadır (Beki, 2022).

**Adım 1:** Karar vericiler tarafından karar matrisi oluşturulur.

**Adım 2:** Normalize karar matrisi oluşturulur. Bunu yaparken her bir  $x_{ij}$  değerinin karesi alınır ve sütun toplamı oluşturulur. Her bir  $x_{ij}$  değer bu sütun toplamına bölünüp normalize karar matrisi oluşturulur.

**Adım 3:** Normalize karar matrisinin her bir değeri  $w_{ij}$  gibi kriter ağırlıklarıyla çarpılıp ağırlıklandırılmış normalize matrisi elde edilmektedir.  $W_{ij}$  değerlerinin toplamı bir olmalıdır.

**Adım 4:** İdeal çözümlerin bulunması Maksimizasyon amaçlanıyorsa her bir sütundaki en büyük değerler alınarak pozitif ideal çözüm değerleri her bir sütuna ait minimum değerler alınıp negatif ideal çözüm değerleri saptanır. Eğer minimizasyon amaçlanıyorsa tam tersi işlem yapılarak değerler bulunur.

**Adım 5:** Pozitif ve negatif ideal noktalara uzaklıklar Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 'deki formül ile belirtilmiştir.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v^+)^2} \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (1)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v^-)^2} \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (2)$$

**Adım 6:** Daha sonra her alternatif için pozitif ideal çözüme uzaklıklar toplanıp  $d_i^*$  ve negatif ideal çözüme uzaklıklar toplanıp  $d_i^-$  değerleri saptanır. İdeal çözüme yakınlık Eşitlik 3 yardımıyla hesaplanır. İdeal çözüme yakınlık  $C_i^*$  ile simgelenmiştir (Arslan, 2010:23).

$$C_i^* = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (3)$$

### 3.3. Bulanık COPRAS

Karar problemleriyle ilişkili doğal belirsizlik, etkili karar vermeyi engellemektedir. Literatürde karar verme sürecinde belirsizliği ortadan kaldırmak için bulanık kümeler, şekiller ve sistemlerin değişik ÇKKV yöntemleriyle birlikte kullanıldığı birçok çalışma bulunmaktadır. COPRAS yöntemi, belirsizlikten dolayı etkili karar verememeyi ortadan kaldırmak için bulanık mantığın entegre edilmesiyle tasarlanan Bulanık COPRAS yöntemi şeklinde de kullanılabilir. Bulanık COPRAS yöntemi bulanık sayılardan oluşan performans değerlerini kullanır. Karar verme probleminin subjektif yargılar içerdiği durumlarda etkili karar vermeyi mümkün kılan Bulanık COPRAS yönteminde dil ölçekleri kullanılmaktadır. Örneğin personel seçim kararında adayları (alternatifleri) kesin rakamlarla görünüş kriterlerine göre değerlendirmek yerine, “iyi”, “kötü”, “çok iyi”, “çok kötü” vb. değerlendirmek için dil bilimin kullanılması kararın daha etkili olmasını sağlar. Bulanık COPRAS yönteminde bulanık sayılar üzerinde COPRAS yönteminin adımları esas alınarak işlemler gerçekleştirilir (Yıldırım, 2016:105).

**Adım 1:** Karar vericiler tarafından karar matrisi oluşturulur.

**Adım 2:**  $w_j$  ile ifade edilen kriter ağırlıkları belirlenir.

**Adım 3:** Kriter ağırlıkları ve karar matrisindeki sayıların çarpılması sonucu ağırlıklandırılmış bulanık karar matrisi elde edilir.

**Adım 4:** Eşitlik 4 yardımıyla kriter ağırlıkları ve alternatif değerleri için durulaştırılmış karar matrisi hesaplanır. Denklemde bulunan değerlerden  $l$  bulanık sayılarla oluşturulan karar matrisindeki ilk değeri,  $m$  ikinci değeri,  $u$  ise üçüncü değeri ifade etmektedir.

$$\text{Durulaştırılmış sayılar} = \frac{(u-l)+(m-l)}{3} + l \quad (4)$$

**Adım 5:** Durulaştırılmış karar matrisinden Eşitlik 5 ile normalize karar matrisi oluşturulur.

$$\frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^n x_{ij}} \quad (5)$$

**Adım 6:** Alternatifler bazındaki bütün fayda kriterlerinin değerleri Eşitlik 6'daki gibi toplanarak  $S_i^+$  değeri, alternatifler bazındaki bütün maliyet kriterlerinin değerleri Eşitlik 7'deki gibi toplanarak  $S_i^-$  değeri bulunur.

$$S_i^+ = \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$S_i^- = \sum_{j=1}^m x_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

**Adım 7:** Her alternatif için Eşitlik 8 kullanılarak görece önem düzeyleri Eşitlik 9 kullanılarak performans indeks değerleri belirlenir. Alternatifler arasında görece önem değeri en yüksek olan alternatif en iyi olarak belirlenir

$$Q_i = S_i^+ + \frac{\sum_{i=1}^n S_i^-}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{S_i^-}} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

$$P_i = \frac{Q_i}{Q_{imax}} * 100 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

### 4. BULGULAR

Bu çalışmada demiryolu taşımacılığında faaliyet gösteren bir işletmedeki makinist personelin iş yükünün zihinsel boyutları ele alınmıştır. Çalışma sonucunda personelin iş adımlarının hangi aşamasında daha çok çaba sarf ettiği ve zihinsel açıdan zorlandığı belirlenerek değerlendirilmesi amaçlanmıştır. NASA-TLX yöntemi kriterlerinde faydalanarak anket çalışması oluşturularak kişisel etkileri kaldırmak için online oluşturulan form üzerinden çalışanlara uygulanmıştır. Katılımcıların verdiği cevaplardan elde edilen sonuçlar Bulanık TOPSIS ve Bulanık COPRAS yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir.

Ülkemizde faaliyet gösteren demiryolu tren işletmesinde makinist olarak çalışan personellerin deneyimlerine, çalıştıkları iş birimine göre zihinsel iş yükü düzeylerinin görevlerinin hangi aşamalarında farklılaştığı üzerine bir inceleme yapılmıştır. Çalışmanın amacı demiryolu sektöründe kritik personel olan makinistin zihinsel iş yükünü önceliklendirmek ve grup karar vermedeki farklılıkları anlamak ve yorumlamaktır. Araştırmanın uygulama bölümünde; NASA-TLX ölçeğindeki zihinsel iş yükü kriterlerinden

faýdalanılmış, makinist personelin yaptıkları kriter değerlendirmelerinin ortalaması alınıp kriter ağırlıkları saptanmış ve ÇKKV yöntemlerinden olan Bulanık TOPSIS ve Bulanık COPRAS yöntemi kullanılarak alternatif işlerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışma online anket yoluyla, işletmedeki 221 makinist personele yapılmıştır. Elde edilen anket çalışmaları incelendiğinde 11 tanesinin eksik ve hatalı olması nedeniyle 210 anketle uygulama yapılmıştır (Kurtgün, 2022:47).

Araştırmanın uygulama bölümünde; NASA-TLX ölçeğindeki zihinsel iş yükü kriterlerinden faydalanılmış, makinist personelin yaptıkları kriter değerlendirmelerinin ortalaması alınıp kriter ağırlıkları saptanmış ve ÇKKV yöntemlerinden olan Bulanık TOPSIS ve Bulanık COPRAS yöntemi kullanılarak alternatif işlerin değerlendirilmesi yapılmıştır.

Karar vericilerden oluşan küme ve değerlendirmede kullanılacak kriterler belirlenir. Daha sonra alternatif ve kriter belirlenmesinde kullanılacak sözel değişkenler belirlenir. Karar vericiler sözel değişkenleri kullanarak alternatifleri değerlendirir. Sözel değişkenlerin bulanık sayı karşılıkları bulunur. Kriterler ve alternatifler için çalışmada yer alan personel tarafından alternatif işler için yaptığı değerlendirmelerden yola çıkılarak Tablo 1'deki karar matrisi oluşturulmuştur.

**Tablo 1. Değerlendirme sonuçlarının üçgensel bulanık sayılarla gösterilmesi**

|      | <i>Zihinsel Talep</i> | <i>Fiziksel Talep</i> | <i>Çaba</i> | <i>Performans</i> | <i>Zamansal Talep</i> | <i>Başarısızlık Hissi</i> |
|------|-----------------------|-----------------------|-------------|-------------------|-----------------------|---------------------------|
| İş 1 | 0,2548                | 0,1845                | 0,1917      | 0,2464            | 0,4881                | 0,2143                    |
|      | 0,4619                | 0,3714                | 0,3726      | 0,4548            | 0,7333                | 0,4012                    |
|      | 0,6798                | 0,5988                | 0,5976      | 0,6762            | 0,9060                | 0,6214                    |
| İş2  | 0,2702                | 0,1964                | 0,2262      | 0,3012            | 0,5167                | 0,2143                    |
|      | 0,4726                | 0,3762                | 0,4226      | 0,5226            | 0,7655                | 0,4012                    |
|      | 0,6917                | 0,5964                | 0,6452      | 0,7298            | 0,9179                | 0,6179                    |
|      | 0,2821                | 0,2159                | 0,2464      | 0,3167            | 0,5226                | 0,2369                    |
| İş3  | 0,4964                | 0,3988                | 0,4452      | 0,5345            | 0,7679                | 0,4226                    |
|      | 0,7083                | 0,6146                | 0,6524      | 0,7417            | 0,9179                | 0,6345                    |
|      | 0,3361                | 0,2786                | 0,3095      | 0,3750            | 0,5048                | 0,2976                    |
| İş4  | 0,5574                | 0,4821                | 0,5238      | 0,6024            | 0,7500                | 0,5024                    |
|      | 0,7512                | 0,6917                | 0,7262      | 0,7940            | 0,9083                | 0,6976                    |
|      | 0,1607                | 0,1262                | 0,1655      | 0,1952            | 0,4881                | 0,1762                    |
| İş5  | 0,3476                | 0,2929                | 0,3512      | 0,4012            | 0,7310                | 0,3500                    |
|      | 0,5821                | 0,5321                | 0,5833      | 0,6298            | 0,8976                | 0,5762                    |
|      | 0,2333                | 0,1881                | 0,2583      | 0,2845            | 0,5202                | 0,2095                    |
| İş6  | 0,4405                | 0,3750                | 0,4679      | 0,5071            | 0,7667                | 0,3917                    |
|      | 0,6655                | 0,5976                | 0,6845      | 0,7214            | 0,9167                | 0,6095                    |

Zihinsel ve fiziksel talep, çaba, performans, zamansal talep, başarısızlık hissi olmak üzere altı kriter bazında değerlendirmeler yapılmış olup karar vericilerin bu kriterleri değerlendirmelerinin bulanık sayı karşılıkları alınmıştır. Bu bulanık sayıların da ortalaması alınarak oluşturulan kriter ağırlıkları Tablo 2'de gösterilmiştir.

Karar vericiler işleri 6 kriter için değerlendirmiştir. Bu nedenle ek olarak karar vericilerden kriterleri ağırlıklandırması beklenmiş ek olarak ankette bununla ilgili soru sorulmuştur. Karar vericilerin verdiği sözel cevapların bulanık sayı karşılıkları alınmıştır. Bu bulanık sayıların da ortalaması alınarak oluşturulan kriter ağırlıkları Tablo 2'de gösterilmiştir.

**Tablo 2. Kriter ağırlıkları**

|              | <i>Zihinsel Talep</i> | <i>Fiziksel Talep</i> | <i>Çaba</i> | <i>Performans</i> | <i>Zamansal Talep</i> | <i>Başarısızlık Hissi</i> |
|--------------|-----------------------|-----------------------|-------------|-------------------|-----------------------|---------------------------|
| Tüm          | 0,3333                | 0,3071                | 0,3583      | 0,3548            | 0,3952                | 0,4024                    |
| katılımcılar | 0,5464                | 0,5238                | 0,5845      | 0,5821            | 0,6214                | 0,6250                    |
|              | 0,7405                | 0,7274                | 0,7798      | 0,7726            | 0,8060                | 0,7917                    |

#### 4.1. Demografik Özelliklere İlişkin Bulgular

Uygulanan anket sonucu incelendiğinde ankete 221 kişi katılmış olup 210 tanesi değerlendirmeye alınmıştır. 210 kişinin %45'inin çalışma süresinin 5 yılın altında olduğu, %11'inin bulunduğu pozisyonda deneyiminin 6-10 yıl arası olduğu bilinmektedir. Bu çalışmaya katılan çalışanların çoğunun deneyiminin 5 yıl altında olduğu görülmektedir. Ayrıca katılım sağlayan kişilerin %22'si, 21 yıl üzeri gibi çalışma süresiyle uzun deneyim süresine sahiptir (Tablo 3).

Anket verilerine ilişkin yaş analizi yapıldığında çalışanların %55'inin 35 yaş altında olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum deneyime ilişkin analizde katılımcıların %56'sının çalışma süresinin 10 yıl altında olması ile ilişkilendirilebilir. Bu çalışmaya katılan 210 çalışanın %63'ünün evli olduğu ve %37'sinin bekar olduğu bilinmektedir (Tablo 3).

**Tablo 3. Demografik bulgulara ilişkin veriler**

| <i>Demografik Değişken</i> | <i>Kategori</i>    | <i>Sıklık</i> | <i>Yüzde</i> |
|----------------------------|--------------------|---------------|--------------|
| Çalışma süresi             | 0-5 yıl            | 95            | 45           |
|                            | 6-10 yıl           | 23            | 11           |
|                            | 11-15 yıl          | 20            | 10           |
|                            | 16-20 yıl          | 25            | 12           |
|                            | 21 yıl ve üzeri    | 47            | 22           |
| Yaş                        | 18-25              | 35            | 15           |
|                            | 26-35              | 85            | 40           |
|                            | 36-45              | 38            | 18           |
|                            | 46-55              | 29            | 14           |
|                            | 56 -64             | 27            | 13           |
| Eğitim düzeyi              | İlköğretim         | -             | -            |
|                            | Lise               | 7             | 0,35         |
|                            | Meslek lisesi      | 8             | 0,4          |
|                            | Ön lisans          | 135           | 64           |
|                            | Lisans             | 55            | 26           |
| Çalışma statüsü            | Yüksek lisans      | 5             | 0,25         |
|                            | Doktora            | -             | -            |
|                            | İşçi makinist      | 128           | 61           |
|                            | Memur makinist     | 82            | 39           |
|                            | Yük makinisti      | 81            | 39           |
| İş birimi                  | Marmaray makinisti | 70            | 33           |
|                            | Yolcu makinisti    | 20            | 10           |
|                            | YHT makinisti      | 1             | -            |
|                            | Metro makinisti    | 38            | 18           |

#### 4.2. Bulanık TOPSIS ile Veri Analizi

Yapılan çalışmada karar vericilerin alternatif işlere vermiş olduğu puanlar ve kriter ağırlıklandırmasının analizi yapılırken Bulanık TOPSIS yönteminden faydalanılmıştır. Bu yöntem kullanılarak katılımcıların vermiş oldukları puanlamalardan yola çıkılarak en az iş yükü hissedilen iş saptanmıştır.

Bulanık TOPSIS adımları takip edilerek tüm katılımcıların yapmış oldukları Tablo 1 ve Tablo 2'deki kriter ve alternatif değerlendirmelerden yola çıkılarak her bir iş için görece uzaklık değerleri hesaplanır. Katılımcılar çalışma deneyimi, iş birimine göre gruplandırılarak tekrardan Bulanık TOPSIS adımları uygulanarak her grup için görece uzaklık değerleri hesaplanarak gruplar arası farklılaşma var mı analiz edilmiştir (Çakır, 2016).

Bulanık TOPSIS ile veriler analiz edilirken çalışmanın daha anlaşılır olması adına tüm katılımcılar bazında İş1 için zihinsel talep kriteri için elde edilen değerler örneklendirilecektir. Tablo 1'deki değerler incelendiğinde İş1 için zihinsel talep bazında değerler sırasıyla 0,2548; 0,4619 ve 0,6798 olarak görülmektedir. Tablo 2'deki değerler incelendiğinde İş1 için zihinsel talep kriter ağırlıkları sırasıyla 0,3333; 0,5464 ve 0,7405 olarak görülmektedir. Karar vericilerin işlere verdiği değerler ağırlıklarla çarpılarak ağırlıklı değerler bulunur. Çarpım sonucunda sırasıyla 0,0849; 0,2524 ve 0,5033 değerleri elde edilir.

$A^+ = ((0.05, 0.05, 0.05))$  ve  $A^- = ((0.56, 0.56, 0.56))$  olarak bulanık pozitif ideal çözüm ve bulanık negatif ideal çözümler tanımlanır. İş1 için 1.denklem ve 2.denklem yardımıyla  $A^+ = 0,2845$  ve  $A^- = 0,3252$  olarak bulanık pozitif ideal çözüm ve bulanık negatif ideal çözümlere olan uzaklıklar bulunur.

Tüm kriterler bazında İş1 için  $A^+$  ve  $A^-$  sırasıyla Tablo 4'deki şekilde bulunmuştur.

**Tablo 4. Pozitif ve negatif ideal çözüme uzaklıklar**

| Kategori           | A*     | A <sup>-</sup> |
|--------------------|--------|----------------|
| Zihinsel Talep     | 0,2845 | 0,3252         |
| Fiziksel Talep     | 0,2463 | 0,3157         |
| Zamansal Talep     | 0,2521 | 0,3555         |
| Performans         | 0,3682 | 0,2851         |
| Çaba               | 0,3453 | 0,3558         |
| Başarısızlık Hissi | 0,2645 | 0,3224         |

İş1 için  $d_i^*$  ve  $d_i^-$  değerleri saptanır. ( $A^-$  değerleri tüm işler için toplanır ve aynı şekilde  $A^*$  tüm işler için toplanır.)

İş1 için  $d_i^*$  ve  $d_i^-$  sırasıyla 1,7609 ve 1,9597'dir.  $d_i^*$  ve  $d_i^-$  toplamı 3,7206 olarak saptanır.  $CC_1$  değeri ise  $\frac{1,9597}{3,7206}=0,5267$  olarak hesaplanır. Tüm gruplar için Bulanık TOPSIS adımları uygulanarak hesaplanan görece önem düzeyleri olan  $C_i$  değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tüm katılımcılar için alternatif işlerin görece uzaklık değerleri incelendiğinde İş5 (Tren seyrinden sonra cer aracının teslim edilmesini yürütmek) için hesaplanan değerinin en yüksek olduğu ve bu işin en iyi alternatif olduğu görülmektedir. Başka bir ifadeyle İş5'in ankete katılan tüm çalışanlar üzerinde oluşturduğu iş yükü etkisi diğer iş adımlarına göre daha azdır. İş4'ün oluşturduğu zihinsel iş yükü diğer işlere göre daha fazladır. Zihinsel iş yüküne göre işler analiz edildiğinde sıralamanın İş4 > İş3 > İş6 > İş2 > İş1 > İş5 şeklinde olduğu görülmektedir. Ayrıca İş1, İş2 ve İş6'nın oluşturduğu etkinin benzer olduğu görülmektedir.

Ankete katılanlar çalışma yılına göre analiz edildiğinde, 221 kişinin %45'inin 0-5 yıl arası deneyimi olması, iş birimi olarak analiz edildiğinde ise en çok yük servisinde çalışan makinist bulunması nedeniyle özellikle bu iki gruba ait görece uzaklık değerlerine bakılarak yapılan inceleme yorumlarına yer verilmiştir. Ankete katılan çalışanlar deneyimine göre analiz edildiğinde 0-5 yıl arası deneyime sahip olanların verdiği cevaplara göre İş5'in en iyi alternatif olduğu görülmektedir. İş4'ün oluşturduğu zihinsel iş yükü diğer işlere göre daha fazladır. Zihinsel iş yüküne göre işler analiz edildiğinde sıralamanın İş4>İş6>İş3>İş1>İş2>İş5 şeklinde olduğu görülmektedir. Ayrıca İş3, İş4 ve İş6'nın oluşturduğu etkinin benzer olduğu yine İş1'in ve İş2'nin işlerinde oluşturdukları etkinin yakın sonuçlarda olduğu görülmektedir.

İş birimi olarak katılımcılar gruplandığında yük makinistlerinin verdiği cevaplar incelenip analiz edildiğinde İş5'in en iyi alternatif olduğu görülmektedir. İş4'ün oluşturduğu zihinsel iş yükü diğer işlere göre daha fazladır. Zihinsel iş yüküne göre işler analiz edildiğinde sıralamanın İş4 > İş2 > İş3 > İş1 > İş6 > İş5 şeklinde olduğu görülmektedir.

#### 4.3.Bulanık COPRAS ile Veri Analizi

Yapılan çalışmada karar vericilerin alternatif işlere vermiş oldukları puanlar ve kriter ağırlıklandırmalarının analizi yapılırken Bulanık COPRAS yönteminden faydalanılmıştır. Bu yöntem kullanılarak katılımcıların vermiş oldukları puanlamalardan yola çıkılarak en az iş yükü hissedilen iş saptanmıştır. Sonuçlar Bulanık TOPSIS sonucu elde edilen bulgularla karşılaştırılmıştır.

Tüm katılımcıların verdiği Tablo 1 ve Tablo 2'deki kriter ve alternatif değerlendirmelerden yola çıkılarak COPRAS yöntemi adımları takip edilerek veriler analiz edilmiştir. Her alternatif için görece önem düzeyleri ve fayda dereceleri hesaplanır. Fayda derecesi en yüksek alternatif en iyi alternatiftir Katılımcılar çalışma deneyimi, iş birimine göre gruplandırılarak tekrardan Bulanık COPRAS adımları uygulanarak her grup için görece önem düzeyleri ve fayda dereceleri hesaplanarak gruplar arası farklılaşma var mı analiz edilmiştir (Türkmen ve Demirel, 2022).

Bulanık COPRAS ile veriler analiz edilirken çalışmanın daha anlaşılır olması adına tüm katılımcılar bazında İş1 için zihinsel talep kriteri için elde edilen değerler örneklendirilecektir.

Tablo 1'deki değerler incelendiğinde İş1 için zihinsel talep bazında değerler sırasıyla 0,2548; 0,4619 ve 0,6798 olarak görülmektedir. Tablo 2'deki değerler incelendiğinde İş1 için zihinsel talep kriter ağırlıkları sırasıyla 0,3333; 0,5464 ve 0,7405 olarak görülmektedir. Tablo 1'deki İş1 için değerler 4.denklem yardımıyla durulaştırılır. Sonuç olarak İş1'in zihinsel talep bazında durulaştırılmış karşılığı 0,4655 olarak bulunur. Tablo 2'deki İş1 için değerler 4.denklem yardımıyla durulaştırılır. Sonuç olarak zihinsel talep kriteri için İş1'in durulaştırılmış kriter ağırlığı 0,5401 olarak bulunur.

Durulaştırılmış Tablo 1 ve Tablo 2'deki değer çarpılarak ağırlık karar matrisi değeri  $0,4655 \times 0,5401 = 0,2514$  olarak hesaplanır. Eşitlik 5'ten faydalanarak; normalize karar değeri  $0,2514 / 1,519 = 0,1664$  olarak hesaplanır. Buradaki 1,519 değeri zihinsel talep bazında İş1'den İş6'ya kadar ağırlıklı karar matrisi değerlerinin toplamı sonucu bulunmuştur.

Eşitlik 6 ve 7 yardımıyla  $S_i^+$  ve  $S_i^-$  İş 1 için sırasıyla 0,1525 ve 0,7920 şeklinde hesaplanır. (Başarısızlık hissi fayda bazlı diğer kriterler maliyet bazlı olarak ele alınmıştır.) Tüm işler için  $S_i^-$  değerleri hesaplanarak toplamı alınır ve 5 olarak bulunur. Sonrasında tüm işler için  $S_i^-$  değerlerinin tersleri alınarak toplanır ve 7,2883 olarak bulunur. Eşitlik 8 yardımıyla performans indeks değerleri (Q1) İş1 için 1,0187 bulunur ( $0,1525 + (5/(0,7920 * (1/7,2883)))$ ).

Her iş için ayrı ayrı performans indeks değeri bulunarak maksimum Q değeri 1,1378 olarak saptanır. Q1 değeri maksimum Q değerine bölünerek her alternatif için görece önem düzeyleri(P) hesaplanır.  $P = (1,0187 / 1,1378) * 100 = 89,5260$  olarak hesaplanır. Tüm gruplar için Bulanık COPRAS adımları uygulanarak hesaplanan fayda dereceleri olan  $P_i$  değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

Ankete katılan tüm çalışanların vermiş olduğu cevaplar Bulanık COPRAS yöntemi ile analiz edildiğinde İş5'in en iyi alternatif olduğu görülmektedir. İş4'ün oluşturduğu zihinsel iş yükü diğer işlere göre daha fazladır. Zihinsel iş yüküne göre işler analiz edildiğinde sıralamanın İş4 > İş3 > İş6 > İş2 > İş1 > İş5 şeklinde olduğu görülmektedir. Ayrıca İş2 ve İş6'nın oluşturduğu etkinin benzer olduğu görülmektedir.

Ankete katılanlar çalışma yılına göre analiz edildiğinde 221 kişinin %45'nin 0-5 yıl arası deneyimi olması, iş birimi olarak analiz edildiğinde ise en çok yük servisinde çalışan makinist bulunması nedeniyle özellikle iki gruba ait fayda dereceleri değerlerine bakılarak yapılan inceleme yorumlarına yer verilmiştir.

Ankete katılan çalışanlar deneyimine göre analiz edildiğinde 0-5 yıl arası deneyime sahip olanların verdiği cevaplara göre İş5'in en iyi alternatif olduğu görülmektedir. İş4'ün oluşturduğu zihinsel iş yükü diğer işlere göre daha fazladır. Zihinsel iş yüküne göre işler analiz edildiğinde sıralamanın İş4 > İş6 > İş3 > İş1 > İş2 > İş5 şeklinde olduğu görülmektedir. İş3 ve İş6'nın iş yükü etkilerinin ayrıca benzer olduğu da analiz edilmiştir.

İş birimi olarak katılımcılar gruplandırıldığında yük makinistlerinin verdiği cevaplar incelenip analiz edildiğinde İş5'in en iyi alternatif olduğu görülmektedir. İş4'ün oluşturduğu zihinsel iş yükü diğer işlere göre daha fazladır. Zihinsel iş yüküne göre işler analiz edildiğinde sıralamanın İş4 > İş2 > İş3 > İş1 > İş6 > İş5 şeklinde olduğu görülmektedir.

**Tablo 5. Bulanık TOPSIS ve Bulanık COPRAS Uygulama sonucuna ait  $C_i$  ve  $P_i$  değerleri**

| Sınıflandırma Kategorisi | Yöntem    | İş1     | İş2     | İş3     | İş4     | İş5    | İş6     |
|--------------------------|-----------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|
| Tüm katılımcılar         | ( $C_i$ ) | 0,5267  | 0,5238  | 0,5161  | 0,4923  | 0,5508 | 0,5219  |
|                          | ( $P_i$ ) | 89,526  | 87,3745 | 84,9738 | 78,0138 | 100    | 87,4305 |
| 0-5 yıl deneyim          | ( $C_i$ ) | 0,5209  | 0,5222  | 0,5095  | 0,5008  | 0,5426 | 0,5090  |
|                          | ( $P_i$ ) | 92,8272 | 92,8425 | 88,986  | 86,5491 | 100    | 88,6337 |
| 6-10 yıl deneyim         | ( $C_i$ ) | 0,5203  | 0,4987  | 0,4963  | 0,4607  | 0,5744 | 0,5322  |
|                          | ( $P_i$ ) | 83,8328 | 79,3495 | 78,5478 | 72,6369 | 100    | 86,652  |
| 11-15 yıl deneyim        | ( $C_i$ ) | 0,5192  | 0,5268  | 0,5117  | 0,4814  | 0,5520 | 0,5263  |
|                          | ( $P_i$ ) | 90,0403 | 91,1725 | 87,5336 | 80,9467 | 100    | 91,7415 |
| 16-20 yıl deneyim        | ( $C_i$ ) | 0,5388  | 0,5497  | 0,5348  | 0,4804  | 0,5607 | 0,5455  |
|                          | ( $P_i$ ) | 91,5255 | 94,5321 | 90,7769 | 79,0721 | 100    | 94,4255 |
| 21 yıl üstü deneyim      | ( $C_i$ ) | 0,5380  | 0,5256  | 0,5322  | 0,5018  | 0,5508 | 0,5302  |
|                          | ( $P_i$ ) | 93,7771 | 90,6623 | 92,7102 | 83,9364 | 100    | 93,2005 |
| Yük makinisti            | ( $C_i$ ) | 0,5134  | 0,4974  | 0,5017  | 0,4726  | 0,5546 | 0,5312  |
|                          | ( $P_i$ ) | 88,6495 | 85,3848 | 86,2546 | 80,6776 | 100    | 93,4953 |
| Marmaray makinisti       | ( $C_i$ ) | 0,5416  | 0,5439  | 0,5335  | 0,5006  | 0,5607 | 0,5162  |
|                          | ( $P_i$ ) | 92,1989 | 92,7996 | 88,4141 | 79,7869 | 100    | 83,4879 |
| Yolcu+Metro+             | ( $C_i$ ) | 0,5297  | 0,5372  | 0,5175  | 0,5138  | 0,5381 | 0,5246  |
| YHT makinisti            | ( $P_i$ ) | 96,4497 | 99,3605 | 92,1279 | 90,6704 | 100    | 94,2927 |

## 5. SONUÇ

Yapılan çalışmada ilk aşamada NASA-TLX yönteminde faydalanarak oluşturulan anket çalışması çalışanlara uygulanmıştır. Sonrasında işe ÇKKV yöntemi olan Bulanık TOPSIS ve Bulanık COPRAS yöntemleriyle veriler analiz edilmiş çalışanlarda en çok zihinsel yük hissettiren iş alanı saptanmıştır. Her çalışma grubu için iş yükü hissedilen işin aynı olması hangi aşamalarda iyileştirme ve değişiklik yapılacağı konusunda yol gösterici olacaktır. Her ne kadar çalışanların deneyim ve iş birimlerine göre gruplandırılarak verdikleri cevapların analizde en çok zihinsel etki hissedilen işin aynı olduğu görülse de etki görülen ikinci, üçüncü işlerde gruplar arası farklılaşmalar da olduğu da görülmektedir. Bu farklılaşmalarda anket katılımcılarının iş birimlerinin değişmesi, her iş birimi için iş alanının yani sürüş hattının farklı olması dolayısıyla çalışma koşullarının değişmesi etkili olabilmektedir. Ayrıca çalışma sürelerinin farklı olabilmesi, görev başlangıç ve bitiş saatlerinin önceden belli olmaması veya çalışma çizelgelerinin değişkenlik

göstermesi, vardiyalı çalışma olması gibi durumlar da iş yükünü farklılaştıran etkenler arasındadır. Çalışmada kullanılmış olan kriterler analiz edildiğinde ise çalışanların verdiği cevaplardan yola çıkılarak zaman faktörü ve başarısızlık hissi faktörleri üzerinde daha çok durdukları ve bu kriterlerin çalışma süresinde daha çok etki oluşturduğu anlaşılmıştır.

Tüm katılımcıların dikkate alındığı uygulama sonuçlarına bakıldığında, grup karar verme yöntemleri incelendiğinde en fazla iş yükü hissedilen alternatifin İş4 (Tren seyri esnasında meydana gelen arıza ve acil durumlarla ilgili işleri yürütmek) olduğu görülmüştür. Sadece 0-5 yıl arasında deneyime sahip katılımcılar dikkate alındığında da İş4 yine ilk sırada yer almaktadır. 6-10 yıl, 11-15 yıl, 16-20 yıl ve 21 yıl üzeri deneyime sahip çalışanlar için oluşturulan gruplara ayrı ayrı bakıldığında, her iki karar verme yöntemi sonuçlarına göre en fazla iş yükü hissedilen işin yine İş4 olduğu anlaşılmıştır. Marmaray ve diğer iş birimindeki gruplar ayrı ayrı incelendiğinde, zihinsel iş yüküne sebep olan alternatifler arasında İş4'ün yine üç grup için de ilk sırada olduğu gözlemlenmiştir. Bu bulgular doğrultusunda, arıza ve acil durumlarla ilgili uygulanan adımlara yönelik kurum içi eğitimlerin artırılması gereklidir. Ayrıca, personelle yüz yüze görüşerek iş yükünün bu aşamada oluşmasının alt nedenleri araştırılabilir ve düzeltici faaliyetler planlanabilir.

Anketler bir ya da iki yerine gruplar halinde doldurularak subjektifliğin önüne geçmeye çalışılmıştır. Grupta kriterler ve alternatif ağırlıklar belirlense de insan kaynaklı belirsizlik bir ölçüde engellenebilmektedir. Bu nedenle bulanık mantık teorisinin karar verme sürecine dahil edilmesi gerekmiştir. Örnekleme, kullanılan kriterler ve alternatifler yönlendirmek amacıyla oluşturulmuştur. Sonuçların güvenilirliği ve değişkenliği, farklı yöntem ve yöntemlerin karşılaştırılması yoluyla gözlemlenebilir. Alınacak kararların veya hali hazırda alınmış olan kararların grupları ne ölçüde etkileyebileceği ve düzeltici faaliyetler belirlenebilir. Ramak kala olaylar, olası geri bildirim veya olay yoğunlukları, bu yoğunlukların hangi alternatif altında meydana geldiği ve bu durumun en çok hangi grubu etkilediği göz önünde bulundurularak düzeltici ve önleyici faaliyetler yapılabilir. Bu nedenle iş yükünü minimum düzeyde ve dengede tutacak yöntem ve yöntemlerin geliştirilmesi, güvenilir sürüşün yanı sıra makinistlerin çalışma yeteneği ve motivasyonunun artırılması açısından da oldukça önemlidir. Yapılan çalışmada demiryolu çalışanlarından makinist personelle dijital ortamda anket uygulaması yapılmış ve sonuçlar analiz edilerek en çok iş yükü oluşturan faktörler saptanmaya çalışılmıştır.

Yapılan çalışmanın demiryolu sektöründe zihinsel iş yükü analizinde ÇKKV yöntemi olan Bulanık TOPSİS ve Bulanık COPRAS yaklaşımının birlikte kullanılması yönünden literatüre katkı sunması beklenmektedir. Önerilen yöntem karar vericilerin belirsizlik ortamında karar vermelerine yardımcı olmakla birlikte birçok farklı alanda uygulanabilmektedir. Bulanık PROMETHEE, VIKOR gibi diğer ÇKKV yöntemleri, demiryolu çalışanlarının zihinsel iş yükü analizi için gelecekteki araştırmalarda kullanılabilir. Sonuç olarak, karmaşık ortamlarda karar vermek, subjektif gözlemlerden ve deneyimlerden kaynaklanan belirsizlikler nedeniyle oldukça zorlu bir süreçtir. Bu tür belirsizliklerin etkili bir şekilde temsil edilmesi ve daha doğru kararlar alınabilmesi açısından bulanık küme yaklaşımı etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Sayısal verilerin ifade edilmesinin zor olduğu durumlarda, sözel değişkenlerin kullanılması pratik ve uygun bir çözüm sunmaktadır. Dolayısıyla, alternatiflerin kriterlere ve önem ağırlıklarına göre değerlendirilmesinde, sayısal ifadeler yerine sözel değişkenlerin kullanılması bulanık karar teorisinin değerli bir çerçeve sunduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada elde edilen bulgular mevcut demiryolu ulaşım sistemi üzerinde iyileştirme stratejilerinin geliştirilmesinin yanı sıra, güvenliği artıracak ve uygunsuz iş yükü düzeylerine atfedilen potansiyel kaza riskini azaltacak çalışma ortamlarının tasarlanması için temel olarak kullanılabilir. Farklı sektörlerde çalışanların zihinsel iş yükünü analiz etmeye yönelik çalışmalar yapılabilir.

#### **Yazar Katkıları /Author Contributions**

*Meryem Koçer:* Kavramsallaştırma, Metodoloji, Analiz, Makale Yazımı-rijinal taslak *Ömer Faruk Efe:* Metodoloji, Makale Yazımı-inceleme ve düzenleme

*Meryem Koçer:* Conceptualization, Methodology, Analysis, Writing-original draft *Ömer Faruk Efe:* Methodology, Writing-review and editing

#### **Çatışma Beyanı /Conflict of Interest**

Yazarlar tarafından herhangi bir potansiyel çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

*No potential conflict of interest was declared by the authors.*

#### **Fon Desteği / Funding**

Bu çalışmada herhangi bir resmi, ticari ya da kâr amacı gütmeyen organizasyondan fon desteği alınmamıştır.

*Any specific grant has not been received from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.*

#### **Etik Standartlara Uygunluk / Compliance with Ethical Standards**

Bu çalışma için Bursa Teknik Üniversitesi Etik Kurulu'nun 07.05.2024 tarihli ve 4 numaralı kararı ile onay alınmıştır.

*For this study, the approval of the Ethics Committee of Bursa Technical University was obtained with the decision dated 07.05.2024 and numbered 4.*

#### **Etik Beyanı / Ethical Statement**

Yazarlar tarafından bu çalışmada bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan edilmiştir.

*It was declared by the authors that scientific and ethical principles have been followed in this study and all the sources used have been properly cited*



Yazarlar, Verimlilik Dergisi'nde yayımlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmaları CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır.

*The authors own the copyright of their works published in Journal of Productivity and their works are published under the CC BY-NC 4.0 license.*

## KAYNAKÇA

- Ağzitemiz, R. ve Bardakçı, S. (2021). "Demiryolu Tren İşletmelerinde Görev Yapan Makinistlerin İş Yükü Algılarının İncelenmesi", *Sosyal Bilimlerde Nicel Araştırmalar Dergisi*, 1(2), 3-29.
- Akoğlu Kozak, M. (2001). "Konaklama İşletmelerinde İş Analizi", *Anadolu Üniversitesi Yayınları*, Eskişehir, 3-118.
- Araslar, A. (2021). "İş Yükü ile İş-yaşam Dengesinin İşten Ayrılma Niyeti Üzerine Etkisi", *Yayınlanmamış Doktora Tezi*, Bursa Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bursa.
- Arslan, M. (2010). "Bulanık TOPSIS Metodu ile Türk Şeker Fabrikalarının Performansının Değerlendirilmesi", *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Atıcı Ulusu, H., Gencer, M. ve Gündüz, T. (2024). "Assessment of Musculoskeletal Disorders and Mental Workload among Office Workers in the Automotive Industry", *SIGMA*, 42(5):1519-31. <https://dx.doi.org/10.14744/sigma.2024.00117>
- Beki, B. (2022). "Otomotiv Sektöründe TOPSIS, ORESTE, Bulanık TOPSIS ve Bulanık ORESTE Yöntemleri İle Proje Seçimi", *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Bolton M.L., Bilteko E. ve 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. <https://doi.org/10.1109/THMS.2023.3263482>
- Can, G.F., Atalay, K.D., Eraslan, E. ve Özçakmak, B.C. (2015). "Bir Devlet Hastanesinde Yaşanan İstifa Sayılarındaki Artışın Nedenlerinin Araştırılması", *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 583-590.
- Coşkun, Ü. (2020). "Karar ve Karar Verme Süreci", *Ulakbilge Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(53), 1181-1191.
- Çakır, E. (2016). "Bulanık COPRAS Yöntemi ile Elektronik Belge Yönetim Sistemi (EBYS) Yazılımı Seçimi: Bir Belediye Örneği", <https://akademiksunum.com/index.jsp?modul=document&folder=b75d8f4ad0b4d84e7bccdb68544439aec8eff>, (Erişim Tarihi: 14.06. 2024).
- Çelikten, M. (2005). "Neden İş Analizi Yapılmalıdır?", *Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 1(18), 127-135.
- Dağdeviren, M., Eraslan, E. ve Kurt, M. (2005). "Çalışanların Toplam İş Yükü Seviyelerinin Belirlenmesine Yönelik Bir Model ve Uygulaması", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20(4), 517-525.
- Dalkılıç, T. (2021). "Fiziksel Ergonomik Risk Faktörlerinin İş Yükü Algısı ile İlişkisi: Tekstil Sektörüne Yönelik Bir Uygulama", *Yüksek Lisans Tezi*, İzmir Ekonomi Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İzmir.
- Dobson, K. (2015). "Human Factors and Ergonomics in Transportation Control Systems", *Procedia Manufacturing*, 3, 2913-2920. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.815>
- Efe, B., Boran, F. ve Kurt, M. (2015). "Sezgisel Bulanık TOPSIS Yöntemi Kullanılarak Ergonomik Ürün Konsept Seçimi". *Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 433-440.
- Emeç, Ş. ve Akkaya, G. (2018). "Sağlık Sektöründe Zihinsel İş Yükü Değerlendirmesi ve Bir Uygulama", *Ergonomi*, 1(3), 156-162. <https://doi.org/10.33439/ergonomi.470474>
- Grabarek I. (2002). "Ergonomic Diagnosis of the Driver's Workplace in an Electric Locomotive". *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 8(2), 225-42. <https://doi.org/10.1080/10803548.2002.11076526>
- Güngör, S. ve Özcan, U. (2022). "Karar Kuramı ve Karar Verme", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (33), 119- 125. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1035682>
- Ishizaka, A. ve Nemery, P. (2013). "Multi-Criteria Decision Analysis: Methods and Software", John Wiley&Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118644898>
- Kayak, M. (2023). "NASA-TLX Yönteminde Ağırlıkların Belirlenmesinde Konjoint Analizinin Kullanımı", *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*, Balıkesir Üniversitesi, FBE, Balıkesir.
- Koirala, R. ve Nepal, A. (2022). "Literature Review on Ergonomics, Ergonomics Practices, and Employee Performance", *Quest Journal of Management and Social Sciences*, 4, 273-288. <http://dx.doi.org/10.3126/qjmss.v4i2.50322>
- Kurtgün, M. (2022). "Bulanık VIKOR yöntemi ile Zihinsel İş Yükünün Belirlenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir
- Langemeyer J., Gomez-Baggethun E., Haase D., Scheuer S. ve Elmqvist T. (2016). "Bridging the Gap Between Ecosystem Service Assessments and Land-Use Planning through Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA)", *Environmental Science & Policy*, 62, 45–56. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.02.013>

- Nourollahi-Darabad M., Afshari D. ve Gomari A.E. (2022). "The Relationship Between Lifestyle and Mental Workload With the Prevalence of Musculoskeletal Discomfort: A Case Study in the Automotive Industry", *Journal of Occupational Hygiene Engineering*, 9:102 – 110. <http://dx.doi.org/10.52547/johe.9.2.102>
- Ofluoğlu, G. ve Bircan, H. (2007). "Sağlık Hizmetlerinde İş Analizinin Etkileri ve Zonguldak Atatürk Devlet Hastanesi Uygulaması", *Kamu-İş*, 9, 75-118.
- Pasaribu, I. A., Yeni Vera, Sulaiman, ve Sari, R. A. (2022). "NASA-TLX and SOFI Methods as a Tool for Measuring Students Mental Load and Failure During Online Learning Basic Neurology Physiotherapy Courses", *Science Midwifery*, 10(4), 3112-3121. <https://doi.org/10.35335/midwifery.v10i4.774>
- Pun, K. (2011). "Current Situation of Occupational Safety and Health in Nepal", *General Federation of Nepalese Trade Unions*, 80(1),1-86.
- Ramadhana H., Nasution H. ve Absah Y. (2021). "Mental Workload Analysis Using NASA-TLX Method at Bank Xyz - Medan Balai Kota Consumer Loan Unit", *International Journal of Research and Review*, 8(12), 2454-2237. <http://dx.doi.org/10.52403/ijrr.20211275>
- Restuputri, D. P., Elvera, A. R., Nugraha, A. ve Masudin, I. (2021). "Ergonomic Approach on Rai Industry Workers Using Rail Ergonomics Questionnaire", *IEOM Society International*, 14(16), 3797-3812.
- Sennaroglu B. ve Varlik Celebi G. (2018). "A Military Airport Location Selection By AHP Integrated PROMETHEE and VIKOR Methods", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 59, 160–173. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.12.022>
- Surtiningtyas S., Purwaningtyas D. ve Putriekapuja R., (2022). "Systematic Literature Review of Workload Calculation Using NASA-TLX", *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, 34(2), 178-190.
- Taherdoost, H. ve Madanchian, M. (2023). "Multi-criteria Decision Making (MCDM) Methods and Concepts", *Encyclopedia*, 3(1), 77-87. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia3010006>
- Thomas, C.D., Eno, G.U. ve Usoro, M.U. (2022). "Ergonomics and Organizational Sustainability: a Study of Peacock Paint Limited, Ikot Ekan, Etinan lga Akwa Ibom State", *International Journal of Business and Management Review*, 10(4), 7594.
- Tosun, S. ve Yılmaz, İ. (2023). "Uzman ve Pratisyen Doktorların Zihinsel İş Yüklerinin Nasa-Tlx Yöntemi ile Karşılaştırılması". 3. 2023. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10477459>
- Triantaphyllou, E. (2000). "Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study", Baton Rouge, Springer, US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3157-6>
- Türkmen, M. ve Demirel, A. (2022). "SWARA Ağırlıklı Bulanık COPRAS Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi", *Alanya Akademik Bakış*, 6(1), 1739-1756. <https://doi.org/10.29023/alanyaakademik.986700>
- Yararel, B., Arslan, K., Kılıç, S. ve Arpacı, G.S. (2022). "Ofis Tasarımında Ergonomik Koşullarının Sağlanmasının Önemi", *Ergonomi*, 5(2), 84-97. <https://doi.org/10.33439/ergonomi.1111957>
- Yazgan, E., Sert, E. ve Şimşek, D. (2021). "Overview of Studies on the Cognitive Workload of the Air Traffic Controller", *International Journal of Aviation Science and Technology*, 2(01), 28-36. <https://doi.org/10.23890/IJAST.vm02is01.0104>
- Yıldırım, B.H. (2016). "Fuzzy Grey COPRAS Yöntemleri ile Çok Kriterli Karar Verme Uygulaması", Yayımlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Yılmaz Kuşaklı, B. (2024). "Hemşirelerin İş Gücü Verimliliğine İlişkin Tutumları ve Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi", *Verimlilik Dergisi*, 58(3), 399-412. <https://doi.org/10.51551/verimlilik.1434115>
- Yüksel, İ. (2004). "Çalışma Yaşamı Kalitesinin Tipik ve Atipik İstihdam Açısından İncelenmesi", *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 5(1), 47-58.

