

Şehir içi toplu taşıma şoförlerinin toplam iş yüklerinin fiziksel ve zihinsel iş yükü ölçütlerine göre yeni bir yaklaşımla karşılaştırılması

Comparison of the total workload of local public transportation drivers with a new approach according to physical and mental workload criteria

Tuba ADAR^{1*} , Elif KILIÇ DELİCE² 

^{1,2}Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Atatürk Üniversitesi Erzurum, Türkiye.
tuba.adar@atauni.edu.tr, elif.kdelice@atauni.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 21.01.2019, Kabul Tarihi/Accepted: 14.07.2019

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2019.93609

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Şehir içi toplu taşımada görev yapan şoförler, çalışma şekilleri sonucu hem kas iskelet sistemi sorunları ile karşılaşabilmekte hem de zihinsel olarak büyük baskı ve yorgunluk hissedebilmekte ve bu nedenle şoförlerin iş yükleri artmaktadır. Toplu taşımanın güvenli bir şekilde yapılması için şoförlerin toplam iş yüklerine dikkat edilmesi ve fazla olan iş yüklerinin azaltılması son derece önemlidir. Toplam iş yükü değerlendirilmesi, birbiriyle çelişen zihinsel ve fiziksel iş yükü ölçütlerine bağlı olarak ortaya çıkan bir Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) problemi olarak ele alınabilir. Bu çalışma kapsamında şoförlerin toplam iş yükü ölçütleri bakımından karşılaştırılması için ÇÖKV yöntemlerinden olan AHP ve COPRAS yöntemlerinin bütünlük bir yaklaşımı kullanılmıştır. İlk olarak; zihinsel iş yükü ölçütleri olarak NASA-TLX yöntem ölçütleri alınırken; fiziksel iş yükü ölçütleri özellikle şoförlerin sürekli ve tekrarlı çalışma duruşlarına bağlı olarak REBA yönteminde yer alan vücut bölümleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Ardından, AHP yöntemi ile ölçütlerin önem ağırlıkları belirlenmiş ve bu ağırlıklar kullanılarak COPRAS yöntemi ile toplam iş yükü ölçütleri açısından altmış şoför karşılaştırılmıştır. Bir Büyükşehir Belediye'sine bağlı olarak çalışan şoförler üzerinde yapılan bu çalışmada en önemli ölçütler zaman baskısı olarak belirlenirken, boyun bölümünün diğer vücut bölümlerine göre daha çok zorlandığı tespit edilmiştir. Çalışmanın sonucunda elde edilen bulgulara göre şoförlerin iş yüklerinin azaltılması için alınması gereken önlemler sunulmuştur. Sonuç olarak, şoförler için hem zihinsel iş yükü hem de fiziksel iş yükü ölçütlerini ÇÖKV yöntemleri ile analiz eden başka bir çalışma bulunmaması nedeniyle bu çalışmanın literatüre katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Fiziksel iş yükü, Zihinsel iş yükü, AHP, COPRAS, Karar verme

Abstract

The drivers working in the local public transportation may face with musculoskeletal system problems as a result of their working style and they may feel mentally great pressure and fatigue and the workloads of drivers increase. It is extremely important to determine and reduce the total workload of drivers in order to ensure public transport in a safe manner. The total workload evaluation may be considered as a Multi-Criteria Decision Making (MCDM) problem caused by conflicting mental and physical workload criteria. In this study, an integrated approach of AHP and COPRAS methods, which is one of MCDM methods, was used to compare the drivers in terms of total workload criteria. Firstly; while NASA-TLX method criteria were considered as mental workload criteria; physical workload criteria were determined by considering the body parts in REBA method especially depending on the continuous and repeated working positions of the drivers. Then, the weights of the criteria were determined by AHP method and sixty drivers were compared with COPRAS method in terms of total workload by using these weights. The most important criteria were identified as time pressure on the drivers working for a Metropolitan Municipality, while the neck part of body was found to have more strain than the other body parts. According to the results of the study, measures to be taken to reduce the workload of drivers are presented. As a conclusion, it is thought that this study will contribute to the literature since there is no study that analyzes the total workload for drivers mentally and physically by MCDM methods.

Keywords: Physical workload, Mental workload, AHP, COPRAS, Decision making

1 Giriş

Şehir içi toplu taşıma; yüksek taşıma kapasitesi, geniş ulaşım ağı ve ekonomik olması gibi nedenlerden dolayı gün içerisinde çok fazla kullanılmaktadır [1]. Bu taşıma faaliyetlerinde görev alan otobüs şoförleri, her türlü coğrafi koşulda ve iklim şartlarında, ilgili yöneticiler tarafından yapılan hat planına uyarak çalışan kişilerdir. Şehir içi otobüs şoförleri vardiyalı sistemde çalışmaktadırlar. Tatil günlerinde veya günün çeşitli saatlerinde çalışmaları gerekebilmektedir. Şoförlerin görev başında performanslarının olumsuz etkilenmemesi için önlem alınması gereken, kaza ya da meslek rahatsızlıklarına yol açan risk faktörleri bulunmaktadır [2].

Bu risk faktörleri insanın fiziksel ve zihinsel özellikleri ve fiziksel çalışma koşullarının etkisi ile ortaya çıkmaktadır. Bir çalışandan istenen fiziksel ve psikolojik davranışlar, kişinin kapasitesini zorladığında iş verimsizliği, sağlık problemleri vb.

ile karşılaşmaktadır. Aşırı çalışma süreleri kol, bacak, boyun ve sırt ağrılarına sebep olabilmektedir. Eğer çalışan aynı pozisyonda uzun süre boyunca çalışırsa, kişi bir süre sonra beden formlarını ve esnekliklerini kaybetmekte ve tekrar eden ağrılar ortaya çıkmaktadır [3]. Uzun çalışma saatleri, artan stres, düzensiz çalışma ortamları ve uygun olmayan çevresel faktörlerin neden olduğu sağlık problemlerinin önlenmesi ve toplam iş yüklerinin azaltılması için Ergonomik analiz yöntemlerinin kullanılarak iş ve iş yeri düzenlemelerinin yapılması gerekmektedir.

Çalışana etki eden iş yükü fiziksel de olsa, zihinsel de olsa operatörün sağlığını, performansını veya verimini etkilemektedir. Toplam iş yükü seviyesi, zihinsel ve fiziksel faktörlerin yanı sıra çevresel ve çalışma duruşlarından kaynaklanan konumsal faktörlerden de önemli derecede etkilenmektedir. Toplam iş yükü seviyesinin doğru belirlenmesi ile çalışanın verimini artıracak şekilde çalışma

yerinin düzenlenmesi, doğru işe doğru kişinin atanması ve daha etkin iş güvenliği tedbirlerinin alınması sağlanmaktadır [4].

Bu çalışma kapsamında, özellikle hem çalışma duruşlarından kaynaklı fiziksel zorlanmaya hem de yoğun ve stresli çalışma saatleri nedeniyle zihinsel zorlanmaya maruz kalan şoförlerin özellikle fiziksel iş yükü ve zihinsel iş yükü ölçütleri dikkate alınarak toplam iş yükleri bakımından değerlendirilmeleri için yeni bir yaklaşım önerilmiştir.

Önerilen yaklaşım Erzurum Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı şehir içi otobüs hatlarında çalışan 60 şoför üzerinde uygulanmıştır. Zihinsel ve fiziksel iş yükü ölçütlerinin ve bu ölçütlerin şoförlere göre değerlerinin belirlenmesi için NASA İş Yükü İndeksi (The National Aeronautics and Space Administration-Task Load Index- NASA-TLX) ve Hızlı Tüm Vücut Değerlendirme (Rapid Entire Body Assessment-REBA) yöntemlerinden yararlanılmıştır. NASA-TLX yöntemi zihinsel iş yükünü altı ölçüt bazında ölçen bir yöntem iken, REBA yöntemi çalışma duruşlarını baz alarak kişinin vücut bölümlerinin zorlanmasını analiz eden bir yöntemdir. Çalışanın zorlanma analizi, bu iki yöntemde yer alan ölçüt ve vücut bölümleri baz alındığında, birden fazla ölçütün dikkate alındığı bir Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) problemine dönüşmektedir. Bu nedenle ÇÖKV yöntemlerinden olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (Analytic Hierarchy Process-AHP) yöntemi ile ölçüt ağırlıkları belirlenirken, Karmaşık Oransal Analiz (Complex Proportional Assessment-COPRAS) yöntemi ile zorlanma derecesi yani toplam iş yükü en fazla olan şoför adayları belirlenmiştir.

Çalışmanın geri kalan kısmı şu şekilde oluşturulmuştur. İkinci bölümde çalışma kapsamında kullanılan yöntemler ile ilgili bilimsel yazın taraması verilmiştir. Üçüncü bölümde kullanılan yöntem adımları detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Dördüncü bölümde uygulamadan ve son bölümde çalışmadan elde edilen sonuçlar ve önerilerden bahsedilmiştir.

2 Bilimsel yazın taraması

Bilimsel yazın taramasında AHP, COPRAS, NASA-TLX ve REBA yöntemleri ile ilgili yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir.

2.1 AHP yöntemi

AHP Yöntemi Thomas L. Saaty tarafından karmaşık karar verme problemlerinin çözümü için geliştirilmiştir [5]. Literatüre bakıldığında en çok kullanılan ÇÖKV yöntemlerinden biri olan AHP yöntemi ile ilgili son yıllarda da oldukça fazla çalışma yapılmaktadır.

Kokangül ve diğ. [6], büyük bir imalat şirketinde bir risk değerlendirme çalışması yapmış ve son 10 yıllık istatistik kayıtları kategorize etmiştir. Her bir kategoriye AHP yöntemini kullanarak önceliklendirmiştir. Sahada belirlenen tehlikeleri ise, Fine Kinney metodunu kullanarak değerlendirmiştir. Öztürk ve Toptancı [7] iş güvenliği uzmanı seçimi için Benefits, Opportunities, Costs and Risks (BOCR) tabanlı entegre bir çok kriterli karar verme modeli geliştirmişlerdir. Modelde ölçüt ağırlıkları AHP yöntemi ile belirlenirken; en uygun uzmanı seçmek için COPRAS kullanılmaktadır. Gnanavelbabu ve Arunagiri [8], çalışmada Endüstriyel çevre üzerinde önemli bir etkisi olan zayıf atıkların azaltılmasına ve sınıflandırılmasına yönelik bir çalışma yapmıştır. Atıkların ağırlıklarının belirlenmesi için AHP ve Bulanık AHP yöntemleri kullanılmıştır. Ly ve diğ. [9], internete veri bağlayıp veri aktarabilen nesnelerin güvenlik sorunları, güven eksikliği ve anlaşılabilirliği gibi bazı sorunlarının üstesinden gelinmesi gerektiğini belirtmiş ve ilgili işletmeler için başarılı nesne sisteminin oluşturulmasında etkili olan faktörleri analiz etmeyi

amaçlamıştır. Bunun içinde Bulanık AHP yöntemi kullanmıştır. Bu çalışma, somut faktörlerin soyut faktörlerden daha önemli ve özellikle de nesne güvenliğinin çok önemli olduğunu göstermiştir. Durmusoglu [10] çalışmasında, tekno-girişimcilik projelerinin değerlendirilmesinde kullanılması gereken faktörleri belirlemek için AHP kullanmıştır. Yöntem, on tekno-girişimcilik projesinin niteliklerini ve sonuçlarını (başarı/başarısızlık) içeren gerçek verilerle test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, başarının öncül koşulunun hedef pazarlama stratejisi olduğu tespit edilmiştir. Di Angelo ve diğ. [11] çalışmasında, kültürel miras uygulamaları için en iyi 3D tarayıcının seçiminde AHP yöntemi kullanılmıştır. Ghimire ve Kim [12], Nepal perspektifinden yenilenebilir enerji geliştirmenin önündeki engelleri tespit etmeye ve bunları sıralamaya çalışmıştır. Engelleri tahmin etmek ve sıralamak için AHP metodolojisini kullanmışlardır. Suganthi [13], sürdürülebilir kalkınma için yoksulluk, eşitsizlik, kapsayıcılık, beceri geliştirme gibi çok boyutlu yönleri ele alarak yatırım projelerinin değerlendirilmesini bulanık AHP, VIKOR ve Veri Zarflama Analizi yöntemleri ile yapmıştır. Ozdemir ve Sahin [14], bir güneş PV santralinin kurulması için en iyi yeri bulmak amacıyla, Türkiye'nin Iğdır Üniversitesi, Melekli ve Kulluk yörelerini temsil eden üç farklı bölgeyi AHP yöntemi ile incelemiştir. Acar ve diğ. [15], hidrojen üretim sistemlerinin sürdürülebilirliği üzerine kapsamlı bir inceleme yapmış ve çalışmada hidrojen üretim yöntemlerinin sürdürülebilirliğini değerlendirmek için yeni bir yaklaşım olan Kararsız Bulanık AHP (HF-AHP) kullanılmıştır. Gottfried ve diğ. [16], çalışmasında Çin'deki biyogaz için aktif katılımını artırmak amacıyla yatırım ölçütlerini belirlemeye vurgu yapmıştır. Paydaşların güçlü, zayıf yönleri, fırsatları ve tehditleri SWOT yöntemi ile belirlenmiş ve AHP yöntemi kullanılarak önceliklendirilmiştir. Kumar ve diğ. [17], bir Hint Ağır Lokomotif firması için en güvenilir tedarikçilerin objektif değerlendirilmesi amacıyla, Taguchi kayıp fonksiyonu, AHP ve TOPSIS olmak üzere üç yöntemin entegrasi olan bir model önermiştir. Hsieh ve diğ. [18], Tayvan'daki acil servislerde insan hatası faktörlerini tanımlamak ve değerlendirmek için insan hata analizi ile AHP ve bulanık TOPSIS yöntemlerini entegre etmiştir. Çalışmada, insan faktörleri analizi ve sınıflandırma sistemi, hata faktörlerini tanımlamak için kullanılmıştır. AHP yöntemi ile hata faktörlerinin önem ağırlıkları belirlenmiştir. Geng ve diğ. [19], makine öğrenmesi, Entegre Yapısal Modelleme ve AHP temelli bir üretim tahmini ve enerji tasarrufu modeli önermektedir. Verimliliği etkileyen faktörler, Entegre Yapısal Modelleme tarafından farklı kademelere ayrılmıştır. Her katmanın öznelikleri, entropi ağırlığına dayalı olarak AHP tarafından birleştirilmiştir. Pamučar ve diğ. [20], üniversite web sitelerinin kalitesini değerlendirmek için çok ölçütlü bir hibrid IR-AHP-MABAC modeli sunmuştur. Grup karar verme sürecinde ölçütlerin ağırlık katsayılarını belirlemek için modifiye edilmiş IR-AHP yöntemi kullanılmıştır. IR-AHP modelinin sonuçları, geleneksel AHP yönteminin ve bulanık AHP yaklaşımının sağladığı sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sirisawat ve Kiatcharoenpol [21], elektronik endüstrisinde tersine lojistik uygulamasının hem engellerinin hem de çözümlerinin değerlendirilmesine odaklanmıştır. Her bir engelin ağırlığı Bulanık AHP ve AHP yöntemleri, tersine lojistik uygulamasının çözümlerinin sıralaması ise TOPSIS yöntemi ile elde edilmiştir. Sennaroglu ve Celebi [22], çalışmada askeri bir havaalanı için yer seçimi problemini ele almıştır. İklim, coğrafya, altyapı, güvenlik, ulaşım, çevresel ve sosyal etkileri gösteren dokuz ana ölçüt ve otuz üç alt ölçüt belirlenmiştir. Ölçüt ağırlıkları AHP yöntemi,

dört alternatifin sıralama ve seçim süreçleri, PROMETHEE ve VIKOR yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, PROMETHEE ve VIKOR yöntemlerinin sonuçları, COPRAS, MAIRCA ve MABAC yöntemlerinin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Delice ve diğ. [23] ağır ve tehlikeli iş grubuna giren bir tüp üretim fabrikasında ergonomik risk değerlendirme yöntemlerinden olan REBA, OWAS, QEC, MANTRA ile AHP yöntemlerini kullanarak riskli çalışma duruşlarını içeren görevleri ve en çok zorlanmaya maruz kalan vücut bölümlerini belirlemiştir.

2.2 COPRAS yöntemi

Copras yöntemi, Zavadskas ve diğ. tarafından 1994 yılında geliştirilen bir yöntemdir [24]. COPRAS yöntemi kullanılarak yapılan çalışmaların sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Pitchipoo ve diğ. [25], çalışmada ağır araçlarda dikiz aynasının tasarımında kullanılan tasarım parametrelerinin optimizasyonu yoluyla kör nokta alanını azaltmaya çalışmıştır. Tasarım parametrelerinin ağırlıkları AHP yöntemi, FARE yöntemi ve Entropi ölçümü gibi üç farklı yaklaşım kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Alternatif sıralamasında ise COPRAS yöntemi kullanılmıştır. Rabbani ve diğ. [26], çalışmada İran'da petrol üreten firmaların performansını değerlendirmek için ölçüt ağırlıklarını belirlemede ANP yöntemini ve değişkenlerin önceliklendirilmesi için COPRAS yöntemini kullanmıştır. Vytautas ve diğ. [27], çalışmalarında Litvanya'nın Vilnius şehir kazanımlarını değerlendirmek amacıyla ihmal edilen (kullanılmayan) kara parçalarını ekonomik, sosyal, kentsel ve doğal göstergeler açısından COPRAS metodunu kullanarak analiz etmiştir. Mulliner ve diğ. [28] çalışmada, sürdürülebilir konut satın alımını değerlendirmek amacıyla 20 ölçüt ve 10 alternatif belirlenmiş ve ağırlıklı ürün modeli, SAW, AHP, TOPSIS ve COPRAS yöntemlerini karşılaştırmalı bir şekilde kullanılmıştır. Wang ve diğ. [29], çalışmada geleneksel Hata türü etkileri ve analizi (HTEA) yönteminin gerçek durumlarda uygulandığında, özellikle başarısızlık modlarının değerlendirilmesinde, risk faktörlerinin ağırlıklandırılmasında ve başarısızlık modlarının sıralanmasında yetersiz kalabildiğini ifade etmiştir. Bu nedenle, çalışmada, aralık değerli sezgisel bulanık mantık bağlamında başarısızlık modlarının riskini değerlendirmek ve derecelendirmek için, ANP ve COPRAS yöntemlerini bütünleştiren yeni bir HTEA modeli önermiştir. Varmazyar ve diğ. [30], çalışmada İran'daki araştırma ve teknoloji örgütünün araştırma merkezlerinin performansını değerlendirmek için DEMATEL yöntemi, faktörler arasındaki ilişkiyi belirlemek için AAS yöntemi kullanmıştır. Alternatiflerin sıralanmasında ise ARAS, COPRAS, MOORA, TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır. Serrai ve diğ. [31], çalışmada web sitelerinin hizmet kalitesini belirlemek için, parametreler ile ilişkili ağırlıkların normalizasyonunda Best Worst yöntemini ve web hizmetlerini sıralamada ise VIKOR, SAW, TOPSIS ve COPRAS yöntemlerini kullanmıştır. Feizabadi ve diğ. [32], çalışmada bir kimyasal malzemenin optimum çalışma parametrelerinin belirlenmesi amacıyla, TOPSIS, VIKOR, ELECTRE ve COPRAS yöntemleri kullanmıştır. Yazdani ve diğ. [33], çalışmada çeşitli çevresel performans gereklilikleri ve ölçütlerin göz önünde bulundurularak yeşil tedarikçi seçimi için entegre bir yaklaşım ortaya koymaktadır. Müşteri gereksinimleri arasındaki ilişkileri DEMATEL yöntemi ile her bir tedarikçi seçim ölçütü ve müşteri gereksinimleri arasındaki ilişki derecesini ise Kalite Fonksiyon Yayılımı yöntemi ile elde edilmiştir. Alternatif tedarikçileri

önceliklendirmek ve sıralamak için ise COPRAS yöntemi uygulanmıştır. Ghorabae ve diğ. [34], çalışmada havayollarının hizmet kalitesi ölçütlerine göre değerlendirilmesi amacıyla karar vericilerin görüşlerini modellemek ve stokastik bir karar matrisi oluşturmak için bir olasılık dağılımı kullanmıştır. Simülasyon sürecinde alternatifleri değerlendirmek için ise TOPSIS, WASPAS, COPRAS ve EDAS yöntemleri kullanılmıştır. Önerilen yaklaşım, 58 uzman görüşü alınarak 28 ölçüte göre beş havayolunun değerlendirilmesi probleminde uygulanmıştır. Mousavi-Nasab ve Sotoudeh-Anvari [35], çalışmalarında COPRAS, TOPSIS ve VZA kullanarak malzeme seçimi problemini ele almıştır. Yaptıkları araştırmaya göre malzeme seçiminde COPRAS ve TOPSIS yöntemlerini seçmişlerdir. Zolfani ve diğ. [36], çalışmada otellerin çevresel sürdürülebilirliğine yönelik inşaat projelerini değerlendirmiştir. İran'ın Tahran şehrinde bir otel kurulması için değerlendirilen projelerde ölçüt ağırlıklarının belirlenmesinde SWARA, projelerin sıralanmasında ise COPRAS yöntemi kullanılmıştır. Mavi ve diğ. [37], çalışmada otobüs hızlı geçiş sisteminde müşteri memnuniyetini arttırmak için performans iyileştirme ve olası alternatiflerin performans değerlendirmesini göstermiştir. Bu amaçla, hatta otobüs ekleme, otobüsleri hızlandırma, gecikme süresini azaltma ve otobüslerin kapasitesini artırma Arena 14 ile simüle edilmiştir. Sürdürülebilirlik ve risk faktörlerini de içeren ölçütlerin değerlendirilmesi için, Gri-Ağırlık Değerlendirme Oranı Analizi (SWARA-G), ve alternatif senaryoları sıralamak için COPRAS-G yöntemlerini uygulamışlardır. Zheng ve diğ. [38], çalışmada Kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOA) tedavisinde hastanın gideceği hastanenin doğru belirlenmesi için doktorların hastalığın şiddetini doğru belirlemesi gerektiğini vurgulamıştır. Bu amaçla, bu çalışmada Batı Çin hastanesindeki KOAH hastalarının, hastalık şiddeti hakkında bir değerlendirme yapabilmek için HFL-COPRAS yöntemi kullanılmıştır. Büyükoğuz ve diğ. [39], çalışmada yerel enerji politikalarının daha iyi yapılandırılabilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarını değerlendirmiştir. Değerlendirme sürecindeki zorluğu aşabilmek için temeli kararsız bulanık kümeye dayanan HFL-AHP ve HFL-COPRAS yöntemleri kullanılmıştır. Mousavi-Nasab ve Sotoudeh-Anvari [40], başka bir çalışmada, yapılan karar verme çalışmalarında alternatiflerin sıralamasının, yeni bir alternatif eklenmesi veya mevcut alternatiflerden birinin çıkarılmasıyla işlemlerin en başa dönmesi gerektiğini gözlemlemiştir. Bu nedenle çalışmada, malzeme seçim alanında en popüler tekniklerden üçü olarak COPRAS, TOPSIS ve VIKOR yöntemlerini kullanmıştır. Ayrıca en iyi malzemeyi seçme konusunda yeni bir ÇÖKV yöntemi önermiştir. Maliene ve diğ. [41], ÇÖKV yöntemlerinin büyük ölçüde uzman algılarına dayandığını ve genellikle yapılan varsayımlara duyarlı olduğunu belirtmiştir. ÇÖKV yöntemlerinin güvenilirliği ve sağlamlığının, bir bilgisayar simülasyonu ve duyarlılık analizi ile test edilebilir ve doğrulanabilir olduğunu gözlemlemiş ve bunu ele almak için, SAW, WPM, revize edilmiş AHP, TOPSIS ve COPRAS yöntemlerini kullanmıştır. Asodariya ve diğ. [42], çalışmada enerji depolama cihazı tasarımını optimize etmeye çalışmıştır. Bu tasarımda kullanılacak malzemelerin belirlenmesinde, AHP ve Entropy yöntemleri ölçütlerin ağırlıklarını belirlemek için ve COPRAS ve TOPSIS yöntemleri ise optimum alternatifi seçmek için uygulanmıştır. Ayrıca, sınırlamalara göre tasarımı ağırlık optimizasyonu için Genetik Algoritma kullanılmıştır. Gomathisankar ve diğ. [43], çalışmada COPRAS karar modelini kullanarak sürtünme karıştırma kaynağının, daha iyi

sertlik ve çekme mukavemetine sahip olması için en uygun parametre kombinasyonunu incelemiştir. Parametreler, takım dönme hızı, kaynak hızı, bekleme süresi ve takım eğme açısı olarak belirlenmiştir. Parametrelerin katkı yüzdesini belirlemek için varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Teraiya ve diğ. [44], çalışmasında bağlantı çubuğunun malzeme seçimi için uygulanabilirliğini ve etkisini ÇÖKV yöntemlerini kullanarak araştırmıştır. Ölçütlerin ağırlıkları Entropi ve AHP ile belirlenmiş ve TOPSIS, COPRAS, MOORA, VIKOR ve ARAS gibi yöntemler ile alternatifler sıralanmıştır.

2.3 NASA-TLX yöntemi ile ilgili çalışmalar

Huggins ve diğ. [45], çalışmasında zihinsel iş yükü de dikkate alınarak bir kanser tedavi kliniğinde üretkenliği ve verimliliği arttırmayı amaçlayan bir matematiksel model kurmuştur. Her geçen gün artan talep ile kaynaklarının dağılımının iyileştirilmesi gerektiği düşünülerek, model ile insan iş yükü dengesi dikkate alınarak hasta randevularını dengelemek ve kaynak kullanımını artırmak amaçlanmıştır. Tubbs-Cooley ve diğ. [46], çalışmasında yenidoğan, çocuk ve yetişkin yoğun bakım ünitelerinde hemşire iş yüklerinin belirlenmesinde NASA-TLX yöntemindeki hangi faktörlerin çarpımı ile elde edilen skorun güvenilir olacağını göstermiştir. Çalışmaya göre, altı faktörlü NASA-TLX yönteminden dördü kullanılarak hesaplanan skorun, yoğun bakım hemşireleri için genel iş yükü değişkenini en güvenilir şekilde ölçtüğü tespit edilmiştir. Winter ve diğ. [47], çalışmasında, uçaklardaki elektronik arıza durumunda elektronik ve yazılı (kağıt) grafiklerin kullanımının performans üzerindeki etkisini araştırmıştır. Bunun için iki şehir arasında uçuş yapılırken katılımcılara bu iki grafik hakkında sorular sorulmuştur. Çalışma sonucunda elde edilenlere göre, katılımcılar, elektronik tabloların kullanılmasının NASA-TLX tarafından ölçülen zihinsel iş yüklerini azalttığını ifade etmiştir. Bakhsh ve diğ. [48] çalışmasında, otuz beş katılımcı ile bir hastanenin vasküler biriminde cerrahlar tarafından yaşanan stresi NASA-TLX yöntemi ile ölçmüştür. Çalışma sonucunda genç cerrahlarda daha yüksek fizyolojik stres gözlenmiş ve teknik becerilerin geliştirilmesinin stresi azaltmada etkili olabileceği ifade edilmiştir. Fabroyir ve Teng [49], NASA-TLX yöntemini kullanarak, bilgisayar arayüzü kullanan kişiler için iş yükü ölçümü yapmıştır. Çalışma sonucunda, oyun kumandasının çoklu dokunmatik ekrana üstün olduğunu belirlemişlerdir. Shakouri ve diğ. [50], çalışmasında simüle edilen sürüş ortamında kalp atış hızı değişkenliği ve öznel iş yükünü belirlemeyi amaçlamıştır. Yüksek ve düşük trafik yoğunluğuna sahip üç farklı yol, tam boyutlu bir sürüş simülatöründe modellenmiştir. Otuz katılımcının iş yükleri NASA-TLX yöntemi ile ölçülmüştür. Çalışma sonucunda, performans dışındaki tüm iş yükü ölçümlerinin trafik yoğunluğu ile arttığı, kalp hızı değişkenliği ölçümlerinin sürüş senaryoları ve trafik yoğunluklarından çok etkilenmediği ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte; sürüş esnasında iş yükü ölçümü ile ilgili farklı çalışmalarda yapılmıştır [51-53]. Park ve diğ. [54], NASA-TLX yönteminin her bir alt ölçeği ile bilgi işlem hızı üzerindeki zaman baskısını ölçmek için matematiksel bir metod geliştirmiştir. Önerilen metod, simüle bir deney sonucu ile karşılaştırılmış ve bu yöntemin operatörün iş yükünü kantitatif olarak tahmin etmek, iş yükünün neden olan faktörleri tasarımı aşamasında tespit etmekte kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Chen ve diğ. [55], nükleer enerji santrallerinde kullanıcı arayüz tasarımı için iş yükünün ölçümü için, temeli bulanık kapsamlı değerlendirmeye dayanan NASA-TLX yöntemini kullanmıştır. Nükleer enerji santrallerinde zihinsel iş

yükü ölçümü ile ilgili başka bir çalışma Choi ve diğ. [56] tarafından yapılmıştır. Orlandi ve Brooks [57], çalışmasında gemi el manevralarının zihinsel iş yükü üzerindeki etkilerini ve on deniz pilotundaki fizyolojik reaksiyonları incelemiştir. İş yükü ölçümünü NASA-TLX ve Likert ölçeği ile ayrı ayrı yapmıştır. Zorluk seviyesi yüksek olan veya pilot tarafından bilinmeyen rıhtımlarda iş yükü seviyesi yüksek çıkmıştır. Mizota ve diğ. [58], farklı cerrahi deneyimlere sahip bireyler arasında örüntü tanıma becerisindeki farklılıkları belirlemeye çalışmıştır. Katılımcılara çeşitli zorluklara sahip laparoskopik kolesistektomi videoları izletilmiş ve monitörde kistik kanal veya arter tespit edildiğinde duraklatmaları istenmiştir. Bu süreçte katılımcıların zihinsel iş yükü NASA-TLX yöntemi ile ölçülmüştür. Lowndes ve diğ. [59] çalışmasında, cerrah ve asistanların farklı zorluktaki ameliyatlar sırasındaki iş yükleri NASA-TLX yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. Lee ve diğ. [60], çalışmasında iki farklı faktöre sahip (genişlik ve alt çerçeve) akıllı telefon için, faktörlerin dokunma davranışları üzerindeki etkisini incelemiştir. Katılımcıların öznel iş yükü ölçümünde ise NASA-TLX yöntemi kullanılmıştır.

Eraslan ve diğ. [61], bir fakültenin akademik, idari ve teknik personelinin zihinsel iş yükünü yeni bir hiyerarşik yöntem ve geliştirilen bir ölçek yardımıyla, MCH, SWAT, NASA-TLX tekniklerini dikkate alarak bulanık ÇKKV süreçleri içinde değerlendirmiştir. Adar ve Delice [62], doktora ders, yeterlilik ve tez aşamasındaki öğrencilerin zihinsel iş yüklerinin değerlendirilmesinde yeni bir yöntem olan Çok Ölçütlü Kararsız Bulanık Terim Seti (MC-HFLTS) yöntemini kullanmıştır. Çalışmada, öğrencilerin zihinsel iş yükleri NASA-TLX yöntemi ile de hesaplanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bongo ve diğ. [63], kontrolörlerin iş yükünün karmaşıklığının çeşitli stres faktörleri nedeniyle ağırlaşmasından dolayı engellendiğini belirtmiş ve çalışmada stres unsurlarını tanımlayarak kontrolörün iş yükü stres problemini DEMATEL-ANP ve PROMETHEE II entegre yaklaşımı ile değerlendirmiştir. Delice ve Can [64], zihinsel iş yükünü analiz edebilmek için NASA-TLX ve SMAA-2 temelinde entegre bir yaklaşım önermiştir. Önerilen yaklaşıma ilişkin gerçek hayat uygulaması ise kutu harf imalat prosesinde gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamada, üç farklı problem senaryosu için NASA-TLX&SMAA-2 yöntemi kullanılarak alt prosesler Zihinsel iş yükü açısından sıralanmıştır. Delice [65], bir ilimizde yer alan üç hastanenin acil servislerinde çalışan hekimlerin zihinsel iş yüklerini The National Aeronautics and Space Administration-Raw Task Load Index (NASA-RTLX) yöntemi ile belirlemiştir. İkili karşılaştırmaların hekimler tarafından yorucu bulunmasından dolayı NASA-RTLX kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, çaba faktörü acil servis hekimlerinin zihinsel iş yüklerine etki eden en önemli faktör olarak belirlenirken, performans faktörü doktorların kendilerini başarılı görmelerinden dolayı iş yüküne en az etki eden faktör olarak karşımıza çıkmıştır.

2.4 REBA yöntemi ile ilgili çalışmalar

Can ve diğ. [66], metal aksesuar üretimi yapan bir firmada, ergonomik koşulların analizi sonucu tasarım açısından uygun olmayan iş istasyonlarını incelemiştir. Çalışanların duruşları, REBA yöntemine üçgenel bulanık skala eklenmesiyle geliştirilen Bulanık REBA (BREBA) yöntemi ile analiz edilmiştir. Hanson ve diğ. [67], çalışmasında el ile toplama işleminde, fiziksel yüklenme ve zaman tüketimi ile ilgili olarak düz ve eğimli palet konfigürasyonlarının göreceli değerlerini ve sakıncalarını karşılaştıran nicel deneyler yapmıştır. Postürel fırsatlar ve zorlukları tespit edebilmek amacıyla REBA yöntemi

kullanılmıştır. Sain ve Meena [68], çalışmasında tuğla firmasında çalışan işçilerin kas-iskelet sistemindeki sorunları belirlemiştir. Diş açma ve küf doldurma işlerinde çalışan işçilerin maruz kaldığı postural riskler RULA ve REBA yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Houshyar ve Kim [69], İran'ın Fars eyaletinde elma hasadında çalışan işçilerin iş yükü değerlendirmesi için REBA yöntemini kullanmıştır. Çalışma sonunda, uygun dinlenme sürelerinin sağlanması ile duruş bozukluklarının önemli ölçüde azaldığını ifade etmiştir. Boulila ve diğ. [70], çalışmasında REBA ve RULA yöntemlerini kullanarak, çalışma yöntemi ile enjeksiyon kalıbı imalatındaki iş istasyonları arasındaki ilişkiyi ortaya koymaya çalışmıştır. Ayrıca çalışmada, bu yöntemlerin hesabı için yeni bir standart puan önerilmiştir. Bae ve diğ. [71], çalışmasında daha rahat kullanılabilir çamaşır kurutma makinesi için yeni bir kapı sistemi önermektedir. Vücut duruşlarını değerlendirmek için ise REBA yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca çalışmada üç boyutlu sanal insan modellemesi kullanılarak insan vücudundaki iç organların biyomekanik analizi yapılmıştır. De Olivera ve diğ. [72], çalışmasında Brezilya da süt sığırlarının sağım ve taşıma faaliyetlerinde çalışan işçilerin duruşlarını REBA yöntemini kullanarak değerlendirmiştir. Khan ve Singh [73], çalışmasında Hindistan'da demiryolu sahalarında çalışan işçilerin kas iskelet sistemi rahatsızlıklarını incelemiştir. Çalışanların ergonomik risk seviyeleri REBA yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Yahya ve Zahid [74] çalışmasında, Malezya'nın Pekan kentinde bulunan elektronik komponent imalat şirketinde çekirdek montaj üretimindeki işçiler arasında işle ilgili kas-iskelet sistemi bozuklukları RULA ve REBA yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Chatterjee ve Sahu [75] çalışmasında, Hindistan'daki inşaat işçileri için duruş ve mesleğe bağlı kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları araştırılmıştır. Duruşların analizinde REBA ve OWAS yöntemleri kullanılmıştır. Gönen ve diğ. [76], çalışmasında kas-iskelet sistemi hastalıklarının değerlendirilmesinde yeni bir risk değerlendirme yöntemi önermiştir. REBA yöntemi, Anybody modelleme sistemi ve Elektromiyografi ölçümleri kullanılarak önerilen yöntem doğrulanmıştır. Sudiarno ve diğ. [77], balıkçıların çalışma duruşlarının değerlendirilmesinde REBA yöntemi kullanmıştır. Kong ve diğ. [78] çalışmasında, Kore'de tarımsal işler için geliştirilen Tarımsal Alt Ekstremitte Değerlendirmesi (ALLA) yönteminin REBA, RULA ve OWAS yöntemleri ile karşılaştırılarak doğrulanması amaçlanmıştır. Çakıt [79], 3B Statik Gücü Öngörü Programı ile kaldırma ve bagaj taşıma görevleri sırasında güç gereksinimlerini ve sırt rahatsızlıklarını değerlendirmek için REBA yöntemini kullanmıştır. Erginel ve diğ. [80], bir mobilya fabrikasında çalışma duruşlarından kaynaklanan riski değerlendirmede Bulanık REBA yöntemini kullanmak için iki farklı hesaplama metodolojisi geliştirmişlerdir. İlk metodolojide sadece açısız duruşların net belirlenemediği varsayılırken; ikinci metodolojide açısız duruş, opsiyonel hareket, yük/kuvvet, yük kavrama/tutuş ve hareket skorlarından oluşan tüm parametreler bulanık sayı olarak işleme dâhil edilmiştir.

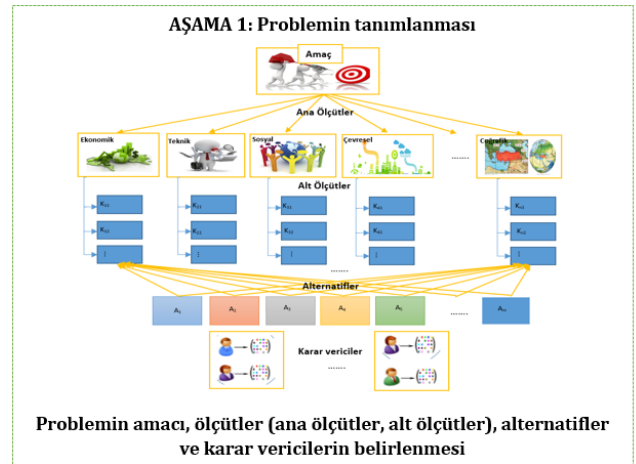
Li ve diğ. [81], çalışmasında REBA ve RULA yöntemlerinin entegre edildiği 3D modellemeye dayalı ergonomik risk değerlendirme yöntemi önermiştir. Bu yöntem, ergonomik riski proaktif olarak azaltmak ve yaralanma ile işçi tazminat maliyetlerini azaltmak amacıyla bir iş yeri tasarımında kullanılmıştır.

Dört başlık altında yapılan literatür taraması sonucunda; zihinsel ve fiziksel iş yükü değerlendirmede AHP ve COPRAS yöntemlerinin kullanıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Ayrıca, toplu taşıma şoförleri için hem zihinsel iş yükü hem de fiziksel iş yükü ölçütlerini ÇÖKV yöntemleri ile analiz eden bir çalışma bulunamamıştır. Literatürdeki bu eksikliklerin giderilmesi için bu çalışmada; hem zihinsel hem de fiziksel iş yükü ölçütleri şoförler için ele alınmış ve ölçütlerin değerlendirilmesinde ÇÖKV yöntemlerinden olan AHP ve COPRAS yöntemleri kullanılmıştır. Ayrıca, şoförlerin iş yüklerinin konu edinilmesi ile araştırmacıların bu konuya ilgilerinin çekilmesi hedeflenmiştir. Çalışma sırasında yapılan gözlemlerden yola çıkılarak şoförlerin iş yüklerini azaltabilecek önerilerde bulunulmuştur.

3 Yöntemler

Çalışmada ölçüt ağırlıklarının belirlenmesi için AHP yöntemi, alternatiflerin değerlendirilerek şoför seçimi için ise COPRAS yöntemi kullanılmıştır. İlk aşama problemin tanımlanması aşamasıdır. Burada amaç, ölçütler ile alt ölçütlerin belirlenerek hiyerarşik yapının kurulmasıdır. Aşama 2'de ölçütlerin ağırlıkları hesaplanır. Aşama 3'te ise alternatifler sıralanır (Şekil 1). Bu aşamalarda kullanılan yöntem adımları aşağıda detaylı bir şekilde anlatılmıştır.



AŞAMA 2: AHP yöntemi ile ölçüt ağırlıklarının hesaplanması

- Adım 1:** Karar matrislerinin oluşturulması
- Adım 2:** Normalize matrisin oluşturulması
- Adım 3:** Öncelik vektörünün hesaplanması
- Adım 4:** Tutarlılık oranının (TO) hesaplanması

AŞAMA 3: COPRAS yöntemi ile alternatiflerin sıralanması

- Adım 1:** Karar matrislerinin oluşturulması
- Adım 2:** Karar matrisinin standartlaştırılması
- Adım 3:** Ağırlıklı normalize indekslerin toplanması
- Adım 4:** Alternatiflerin göreceli önemlerinin hesaplanması
- Adım 5:** Alternatiflerin fayda derecesinin belirlenmesi

Şekil 1: Karar verme aşamaları.

3.1 AHP yöntem adımları

AHP yöntemi Thomas L. Saaty tarafından karmaşık karar verme problemlerinin çözümü için geliştirilen ve en yaygın olarak kullanılan ÇÖKV yöntemidir [5],[82]. AHP yöntemi çok sayıda ölçüt ile uygulanabilen, nitel ve nicel faktörleri değerlendirebilen, diğer yöntemlere göre uygulaması kolay olan ve sistematik yapısı sayesinde çok karmaşık problemleri basitleştiren bir yöntemdir. Ayrıca, duyarlılık analizi sayesinde sonuçların esnekliğini analiz edebilmeyi sağlar.

AHP yöntemi 4 adımdan oluşmaktadır [5],[82]:

Adım 1: Karar matrislerinin oluşturulması

Ölçütler arasında ikili karşılaştırma matrisleri kurularak karar verici görüşleri alınır. Karar verici tarafından ölçüt *i* ile ölçüt *j* karşılaştırıldığı zaman, ölçüt *i*'nin ölçüt *j*'ye göre ne oranda tercih edildiğini belirlemek için Saaty tarafından önerilen ve Tablo 1'de gösterilen 1-9 skalası kullanılır [5].

Tablo 1: Karşılaştırma ölçeği.

Önemi	Tanım	Açıklama
1	Eşit öneme sahip	Her iki seçenekte eşit önem düzeyine sahip
3	Biraz önemli	Bir ölçüt diğerine göre biraz daha önemlidir
5	Fazla önemli	Bir ölçüt diğerine göre çok daha önemlidir
7	Çok fazla önemli	Bir ölçüt diğerine göre çok daha fazla önemlidir
9	Son derece önemli	Bir ölçütün diğerine göre son derece önemli olduğu çeşitli bilgi/kaynaklara dayandırılmıştır.
2, 4, 6, 8	Ara değerler	

İkili karşılaştırmalar, köşegen elemanları 1 olan matrisin üst üçgen matris kısmı için yapılır. x_{ij} , *i* ve *j*. ölçütün ikili karşılaştırma değeri ise, x_{ji} değeri $1/x_{ij}$ eşitliğinden elde edilir. İkili karşılaştırma matrisleri Denklem (1)'de verildiği gibi oluşturulur.

$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} = 1/x_{12} & 1 & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} = 1/x_{1n} & x_{n2} = 1/x_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

n ölçütün yer aldığı durumda oluşturulacak ikili karşılaştırma matrisi *X*, *n*×*n* boyutundadır.

Ana ölçütler ve alt ölçütler arasında ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulduktan sonra Adım 2'ye geçilir.

Adım 2: Normalize matrisin oluşturulması

İkili karşılaştırma matrisindeki (*X*) her eleman Denklem (2)'ye göre kendi sütun toplamına bölünerek normalize edilir.

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \quad (2)$$

Adım 3: Öncelik vektörünün hesaplanması

Normalize edilmiş matrisin her bir sütun toplamı 1'e eşittir. Denklem (3) kullanılarak, normalize edilmiş matrisin her bir satır toplamı, matrisin boyutuna bölünerek ortalaması elde edilir. Elde edilen bu değer her bir ölçüt için hesaplanan önem ağırlığıdır. Bu ağırlıklar öncelik vektörü olarak adlandırılır.

$$w_i = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{j=1}^n x'_{ij} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

Adım 4: Tutarlılık oranının (TO) hesaplanması

Ölçütler arasında yapılan ikili karşılaştırmalar sonucu elde edilen yargıların tutarlı olup olmadığı kontrol edilir. Karar vericinin yargıları ile oluşturulan bir *A* matrisinin tutarlı olup olmadığı Denklem (4)'te verilen "Tutarlılık İndeksi (TI)" katsayısının hesaplanması ile elde edilir.

$$TI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

Tutarlılık indeksi hesabı yapabilmek için önce Özdeğer olarak adlandırılan λ_{max} , Denklem (5) kullanılarak hesaplanmalıdır.

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{\sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot w_j}{w_i} \right] \quad (5)$$

Tutarlılığı kontrol edebilmek için "Rassal İndeks (RI)" değerinin de bilinmesi gerekir. Her bir matris boyutu *n*'e karşılık gelen RI değerleri Tablo 2'de verilmiştir. RI değeri, boyutu en çok 15 olan matrisler için hesaplanabilmektedir.

Tablo 2: Matris boyutuna göre RI değerleri.

n	1	2	3	4	5	6	7	8
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41
n	9	10	11	12	13	14	15	
RI	1.45	1.49	1.51	1.53	1.56	1.57	1.59	

TI ve RI oranları belirlendikten sonra TO değeri Denklem (6) kullanılarak hesaplanır.

$$TO = \frac{TI}{RI} \quad (6)$$

Matrisin tutarlı olması için TO değerinin 0.1'den küçük çıkması gerekmektedir. Eğer TO değeri 0.1'den büyük çıkarsa matrisin tutarsız olduğu kanaatine varılır ve ikili karşılaştırma matrisi tekrar gözden geçirilir.

3.2 COPRAS yöntem adımları

COPRAS yöntemi Zavadskas ve Kaklauskas tarafından 1994 yılında geliştirilmiştir [24]. COPRAS yöntemi çok sayıda ölçüt ile uygulanabilen, nitel ve nicel faktörleri değerlendirebilen, ölçütlerin maksimizasyon ve minimizasyon yönlü oluşlarını dikkate alarak karar seçeneklerinin sıralanması ve değerlendirilmesini sağlayan bir ÇÖKV yöntemidir. Ayrıca, COPRAS yöntemi, alternatiflerin önem derecesi ve önceliğinin doğrudan ve oransal bağımlılığından hareket etmektedir. Yani COPRAS yönteminin en önemli özelliği karar seçeneklerini birbiriyle karşılaştırarak diğer alternatiflerden ne kadar iyi veya kötü olduğunu yüzde olarak ortaya koymasındır [82].

COPRAS yöntemi 5 adımdan oluşmaktadır [24],[82]:

Adım 1: Karar matrislerinin oluşturulması

Karar matrisinin satırlarında alternatifler (*i*, *i* = 1, 2, ..., *m*) ve sütunlarında ise ölçütler (*j*, *j* = 1, 2, ..., *n*) yer almaktadır. Karar matrisi Denklem (7)'deki gibi oluşturulur.

$$K_{ij} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{i1} & k_{i2} & \dots & k_{in} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ k_{m1} & k_{m2} & k_{11} & k_{mn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Adım 2: Karar matrisinin standartlaştırılması

Karar matrisi Denklem (8) kullanılarak normalize edilir. Burada w_j ölçüt ağırlıklarını göstermektedir. Bu ağırlıklar Aşama 2'de verilen AHP yöntem adımları ile hesaplanmıştır.

$$d_{ij} = \frac{k_{ij} \cdot w_j}{\sum_{i=1}^m k_{ij}} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

İlgili ölçütlerin ağırlık değeri (w_j), her bir ölçüt k_i 'ye göre ağırlıklandırılmış d_{ij} değerlerinin toplamına eşittir (Denklem (9)).

$$w_j = \sum_{i=1}^n d_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

Adım 3: Ağırlıklı normalize indekslerin toplanması

Minimizasyon yönlü ölçütlere göre hesaplanan S_{-i} değeri ne kadar küçük olursa amaca erişim o kadar yüksek olmaktadır. Maksimizasyon yönlü ölçütlere göre hesaplanan S_{+i} değeri ne kadar büyük olursa amaca erişim o kadar yüksek olmaktadır. İndeksler Denklem (10) kullanılarak hesaplanır.

$$S_{+i} = \sum_{j=1}^n d_{+ij}; \quad S_{-i} = \sum_{j=1}^n d_{-ij} \quad (10)$$

Adım 4: Alternatiflerin göreceli önemlerinin hesaplanması

Alternatiflerin göreceli önem derecelerini gösteren Q_i , Denklem (11) kullanılarak hesaplanır.

$$Q_i = S_{+i} + \frac{S_{-min} \sum_{i=1}^m S_{-i}}{S_{-i} \sum_{i=1}^m \frac{S_{-min}}{S_{-i}}} \quad (11)$$

Q_i , küçükten büyüğe doğru sıralanır. Bu değer ne kadar büyük olursa göreceli önemde o kadar büyük olur.

Adım 5: Alternatiflerin fayda derecesinin belirlenmesi

Denklem (12) kullanılarak alternatiflerin fayda derecesi belirlenir. Fayda derecesi 100 olan alternatif en iyi seçenek olmaktadır.

$$N_i = \left(\frac{Q_i}{Q_{max}} \right) \times 100\% \quad (12)$$

4 Uygulama

Uygulama çalışmasında; Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı şehir içi otobüs hatlarında çalışan 60 şoför, zihinsel ve fiziksel iş yükü ölçütleri açısından değerlendirilmiştir. Amacımız; toplam iş yükü en fazla olan şoförün belirlenmesi ve buna sebebiyet veren ölçütlerin tespit edilerek gerekli önlemlerin alınmasını sağlamaktır. Şoförlerin toplam iş yükü hesabında Zihinsel iş yükü ölçütleri olarak NASA-TLX yöntem boyutları ve Fiziksel iş yükü ölçütleri olarak REBA yöntemi boyutları dikkate alınmıştır. Ölçüt ağırlıklarının belirlenmesinde bir ağırlıklandırma yöntemi olan AHP yöntemi, şoförlerin ölçütlere göre değerlendirilmesinde ve şoförlerin toplam iş yüklerine göre seçilmeleri için bir seçim yöntemi olan COPRAS yönteminin kullanılması uygun görülmüştür.

AHP yönteminde karar vericinin hem objektif hem de subjektif düşünceleri karar sürecine dâhil edebilmektedir [83]. Ayrıca hiyerarşik yapı oluşturularak problemin detaylı bir şekilde ortaya koyulması ve ayrıştırılması sağlanmaktadır [84]. AHP yöntemi ikili karşılaştırmaların tutarlılık oranını kontrol edilmesini sağlayarak karar vericilerin ikili karşılaştırmalarında tutarlı davranıp davranmadıklarının tespit edilmesini ve güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır.

COPRAS yöntemi ise karar seçeneklerini, performanslarına göre azalan yönde sıralamaya imkân veren ve karar seçeneklerini birbirleriyle karşılaştırarak diğer alternatiflerden ne kadar iyi ya da ne kadar kötü olduğunu yüzdesel oran olarak ortaya koyabilmektedir. İkili karşılaştırmalar yapılmadığı için alternatif sayısının fazla olması uzun ikili karşılaştırmaların yapıldığı yöntemlere (PROMETHEE, ELECTRE vs.) göre işlem sürecini çok zorlaştırmamaktadır [85]. Bununla birlikte; COPRAS yöntemi AHP, VIKOR ve TOPSIS gibi yöntemlerine göre oldukça kolay ve daha basit işlemler içermektedir [86].

İlk olarak Ergonomi, NASA-TLX ve REBA konusunda yeterli bilgiye sahip üç karar verici belirlenmiştir. Daha sonra gözlemlenecek şoför adayları seçilmiştir. Bazı şoförlerin çalışmaya katılmak istememeleri ve belediyeden kısıtlı bir zaman aralığı için izin alınması nedeniyle 60 şoför çalışmaya katılmıştır. Bu şoförler otobüs seferleri sırasında görev başında gözlemlenmiştir. Bu gözlemlerde amaç; ana ve alt ölçütlerin ağırlıklarının belirlenmesi ve şoförlerin sözkonusu fiziksel ve zihinsel iş yükü ölçütleri açısından değerlendirilmeleri için gerekli verilerin toplanmasıdır. Daha sonra bu gözlemlerden elde edilen veriler AHP ve COPRAS yöntemleri kullanılarak iş yükü en fazla olan veya en fazla zorlanmaya maruz kalan şoförün belirlenmesinde kullanılmıştır.

AŞAMA 1: Ölçüt ve alt ölçütlerin belirlenmesi

Ana ölçütlerden biri olan Zihinsel iş yükü (K_1) değerlendirilmede, NASA-TLX yönteminin altı boyutu kullanılmıştır [87]. Geniş kullanım alanına sahip olması ve düşük iş yükü seviyelerinde daha hassas ölçümler yapması nedeniyle NASA-TLX yöntemi, iş yükü ölçümünde kabul görmüştür. Bu yöntemin kullandığı boyutlar alt ölçütler olarak dikkate alınmıştır:

Çaba (K_{11}): Görevi yerine getirmek için ne kadar ağır çalışma gerektirdiğidir.

Performans (K_{12}): Verilen görevin hedeflerine ulaşmada ne derece başarılı olduğudur.

Fiziksel talep (K_{13}): İş yapılırken fiziksel aktiviteye (kontrol etme, çalıştırma, vb.) ne kadar ihtiyaç duyulmaktadır?

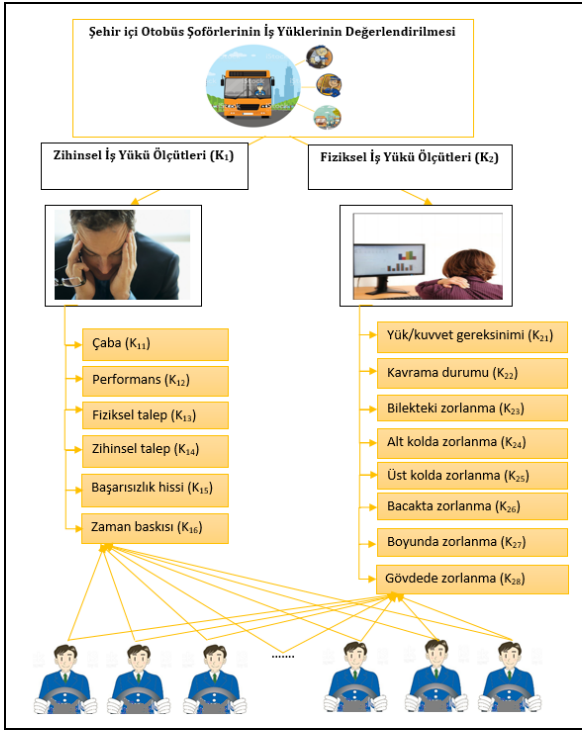
Zihinsel talep (K_{14}): İş yapılırken zihinsel ve algılama aktivitesine (düşünme, karar verme, hesaplama, hatırlama, bakma, arama vb.) ne kadar ihtiyaç duyulduğunu ifade eder.

Başarısızlık hissi (K_{15}): Görevi yerine getirirken kişinin hissettiği güvensiz, gayri memnun, zarar görmüş, gerilmiş, sinirlenmiş, karışık, gevşek ya da karmaşık hissetmesidir

Zamansal baskısı (K_{16}): Belirli bir görevi yerine getirirken ne kadarlık bir zaman baskısı hissedildiğini ifade eder.

Diğer bir ana ölçüt olan fiziksel iş yükünün (K_2) değerlendirilmesinde ise REBA yönteminin bileşenleri kullanılmıştır. REBA, Hignett ve McAtamney (2000) tarafından duruşları analiz etmek üzere geliştirilmiştir [88]. Bu yöntem; elle yapılan taşıma, kaldırma işlemlerindeki riskleri hesaplamak için kullanışlı bir araçtır. REBA yöntemiyle dinamik hareketler ve sabit duruşlar analiz edilebilmektedir. Tüm vücut faaliyetleri esnasında çalışanın duruşunu analiz ederek mesleki kas iskelet rahatsızlıklarına neden olabilecek çalışma şeklinin saptanmasına ve önlem alınmasına olanak sağlayan gözleme dayalı bir yöntemdir. REBA yönteminden yararlanılarak belirlenen ölçütler: Yük/Kuvvet gereksinimi (K_{21}), Kavrama durumu (K_{22}), Bilekteki zorlanma (K_{23}), Alt kolda zorlanma (K_{24}), Üst kolda zorlanma (K_{25}), Bacakta

zorlanma (K₂₆), Boyunda zorlanma (K₂₇), Gövdede zorlanma (K₂₈)'dir. Ana ölçüt ve alt ölçütlerden oluşturulan hiyerarşik yapı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2: Problem hiyerarşisi.

Tablo 4: REBA ölçütleri için karar matrisi.

Krit	K ₂₁	K ₂₂	K ₂₃	K ₂₄	K ₂₅	K ₂₆	K ₂₇	K ₂₈
K ₂₁	1.00	0.25	0.50	0.33	0.20	0.20	0.14	0.33
K ₂₂	4.00	1.00	1.00	3.00	4.00	1.00	2.00	0.25
K ₂₃	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.25	0.33	0.50
K ₂₄	3.00	0.33	1.00	1.00	1.00	0.14	0.33	0.20
K ₂₅	5.00	0.25	1.00	1.00	1.00	0.20	0.20	0.25
K ₂₆	5.00	1.00	4.00	7.00	5.00	1.00	1.00	1.00
K ₂₇	7.00	0.50	3.00	3.00	5.00	1.00	1.00	2.00
K ₂₈	3.00	4.00	2.00	5.00	4.00	1.00	0.50	1.00

Tablo 5: NASA-TLX alt ölçütleri için birleştirilmiş karar matrisi.

Ölçüt	K ₁₁	K ₁₂	K ₁₃	K ₁₄	K ₁₅	K ₁₆
K ₁₁	1.00	2.76	1.10	0.41	3.91	0.58
K ₁₂	0.36	1.00	0.49	0.36	2.47	0.19
K ₁₃	0.91	2.03	1.00	0.63	3.56	0.41
K ₁₄	2.47	2.76	1.59	1.00	3.66	0.93
K ₁₅	0.26	0.41	0.28	0.27	1.00	0.16
K ₁₆	1.71	5.19	1.19	1.08	6.26	1.00

Tablo 6: REBA alt ölçütleri için birleştirilmiş karar matrisi.

Ölçüt	K ₂₁	K ₂₂	K ₂₃	K ₂₄	K ₂₅	K ₂₆	K ₂₇	K ₂₈
K ₂₁	1.00	0.36	0.38	0.33	0.23	0.20	0.18	0.21
K ₂₂	2.71	1.00	0.69	1.71	1.58	0.58	0.87	0.25
K ₂₃	2.62	1.44	1.00	1.00	0.69	0.25	0.28	0.32
K ₂₄	3.00	0.58	1.00	1.00	0.69	0.21	0.23	0.23
K ₂₅	4.21	0.63	1.44	1.44	1.00	0.49	0.23	0.30
K ₂₆	5.00	1.71	3.91	4.71	2.02	1.00	1.00	0.69
K ₂₇	5.27	1.14	3.55	4.21	4.21	1.00	1.00	1.81
K ₂₈	4.71	3.91	3.10	4.21	3.30	1.44	0.55	1.00

AŞAMA 2: AHP yöntemi ile ölçüt ağırlıklarının hesaplanması:

Adım 1: Karar matrislerinin oluşturulması

İlk olarak Tablo 1'de verilen karşılaştırma ölçeği kullanılarak, üç karar vericinin gözlem sonuçları ile ölçütler arasında ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. Karar verici 1 tarafından alt ölçütler için oluşturulan matrisler Tablo 3 ve 4'te verilmiştir. Çok fazla yer kaplayacağından tüm karar vericilere ait matrisler verilmemiştir. Üç karar verici tarafından oluşturulan matrisler geometrik ortalama ile birleştirilmiştir ve oluşan karar matrisleri Tablo 5 ve 6'da verilmiştir.

Tablo 3: NASA-TLX ölçütleri için karar matrisi.

Ölçüt	K ₁₁	K ₁₂	K ₁₃	K ₁₄	K ₁₅	K ₁₆
K ₁₁	1.00	1.00	4.00	0.33	4.00	1.00
K ₁₂	1.00	1.00	3.00	0.33	5.00	0.25
K ₁₃	0.25	0.33	1.00	0.25	3.00	0.20
K ₁₄	3.00	3.00	4.00	1.00	7.00	4.00
K ₁₅	0.25	0.20	0.33	0.14	1.00	0.14
K ₁₆	1.00	4.00	5.00	0.25	7.00	1.00

Adım 2: Normalize matrisin oluşturulması

Denklem (2) kullanılarak Tablo 5 ve 6'daki değerler normalize edilmiştir. Oluşan normalize matrisler Tablo 7 ve 8'de verilmiştir. **K₁₁** için normalize değerın hesabı Denklem (13) ile gösterilmiştir.

$$x'_{11} = \frac{1}{(1 + 0,36 + 0,91 + 2,47 + 0,26 + 1,71)} = 0,15 \quad (13)$$

Tablo 7: NASA-TLX alt ölçütleri için normalize edilmiş karar matrisi.

Ölçüt	K ₁₁	K ₁₂	K ₁₃	K ₁₄	K ₁₅	K ₁₆
K ₁₁	0.15	0.20	0.19	0.11	0.19	0.18
K ₁₂	0.05	0.07	0.09	0.10	0.12	0.06
K ₁₃	0.14	0.14	0.18	0.17	0.17	0.12
K ₁₄	0.37	0.20	0.28	0.27	0.18	0.28
K ₁₅	0.04	0.03	0.05	0.07	0.05	0.05
K ₁₆	0.26	0.37	0.21	0.29	0.30	0.31

Tablo 8: REBA alt ölçütleri için karar normalize edilmiş karar matrisi.

Ölçüt	K ₂₁	K ₂₂	K ₂₃	K ₂₄	K ₂₅	K ₂₆	K ₂₇	K ₂₈
K ₂₁	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04
K ₂₂	0.10	0.09	0.05	0.09	0.12	0.11	0.20	0.05
K ₂₃	0.09	0.13	0.07	0.05	0.05	0.05	0.06	0.07
K ₂₄	0.11	0.05	0.07	0.05	0.05	0.04	0.05	0.05
K ₂₅	0.15	0.06	0.10	0.08	0.07	0.10	0.05	0.06
K ₂₆	0.18	0.16	0.26	0.25	0.15	0.19	0.23	0.14
K ₂₇	0.18	0.11	0.24	0.23	0.31	0.19	0.23	0.38
K ₂₈	4.71	3.91	3.10	4.21	3.30	1.44	0.55	1.00

Adım 3: Öncelik vektörünün hesaplanması

Denklem (3) kullanılarak, normalize edilmiş matrisin her bir satır toplamı, matrisin boyutuna bölünerek ölçütlerin önem ağırlıkları yani öncelik değerleri elde edilir (Tablo 9 ve Tablo 10). **K₁₁** için öncelik değeri hesabı Denklem (14) ile gösterilmiştir.

$$w_{11} = \left(\frac{1}{6}\right) (0,15 + 0,20 + 0,19 + 0,11 + 0,19 + 0,18) \quad (14)$$

$$= 0,17$$

Tablo 9: NASA-TLX alt ölçüt için öncelik vektörü.

Ölçüt	Satır top.	Öncelik değerleri (w_j)
K₁₁	1.01	0.17
K ₁₂	0.49	0.08
K ₁₃	0.92	0.15
K ₁₄	1.57	0.26
K ₁₅	0.29	0.05
K ₁₆	1.73	0.29

Tablo 10: REBA alt ölçütleri için öncelik vektörü.

Ölçüt	Satır top.	Öncelik değerleri (w_j)
K ₂₁	0.26	0.03
K ₂₂	0.81	0.10
K ₂₃	0.58	0.07
K ₂₄	0.47	0.06
K ₂₅	0.66	0.08
K ₂₆	1.56	0.19
K ₂₇	1.86	0.23
K ₂₈	1.81	0.23

Adım 4: Tutarlılık oranının (TO) hesaplanması

Denklem (5), Denklem (4) ve Tablo 2 kullanılarak matrislerin Tutarlılık Oranları hesaplanmıştır ve Tablo 11, 12'de gösterilmiştir.

Tablo 11: NASA-TLX alt ölçüt matrisi için TO.

Ölçüt	$\sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot w_j$	$\frac{\sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot w_j}{w_i}$
K ₁₁	1.022	6.048
K ₁₂	0.486	5.996
K ₁₃	0.922	6.022
K ₁₄	1.586	6.062
K ₁₅	0.284	5.957
K ₁₆	1.759	6.117
	$\lambda_{max} = 6.03386,$	$TO = 0.00546$

Tablo 12: REBA alt ölçütleri matrisi için TO.

Ölçüt	$\sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot w_j$	$\frac{\sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot w_j}{w_i}$
K ₂₁	0.267	8.361
K ₂₂	0.845	8.381
K ₂₃	0.606	8.413
K ₂₄	0.493	8.332
K ₂₅	0.690	8.316
K ₂₆	1.645	8.445
K ₂₇	1.977	8.521
K ₂₈	1.927	8.515
	$\lambda_{max} = 8.4106998,$	$TO = 0.04161$

Bütün bu adımlar ana ölçütler için de uygulanmıştır. Elde edilen ana ölçüt ve alt ölçüt yerel ağırlıkları çarpılarak alt ölçütlerin bütünsel ağırlığı elde edilmiştir (Tablo 13).

Tablo 13: Ölçütlerin yerel ve bütünsel ağırlıkları.

Ana Ölçütler	Ana ölçüt ağırlıkları	Alt ölçüt	Yerel ağırlıklar	Bütünsel ağırlıklar		
K ₁	0.781	K ₁₁	0.169	0.132		
		K ₁₂	0.081	0.063		
		K ₁₃	0.153	0.119		
		K ₁₄	0.262	0.204		
		K ₁₅	0.048	0.037		
		K ₁₆	0.288	0.224		
		K ₂	0.219	K ₂₁	0.032	0.007
				K ₂₂	0.101	0.022
				K ₂₃	0.072	0.016
				K ₂₄	0.059	0.013
				K ₂₅	0.083	0.018
				K ₂₆	0.195	0.043
				K ₂₇	0.232	0.051
				K ₂₈	0.226	0.050

AŞAMA 3: COPRAS yöntemi ile alternatiflerin sıralanması:

Adım 1: Karar matrislerinin oluşturulması

Alternatifler (şöförler), belirlenen ana ve alt ölçütlere göre karar vericilerin yaptıkları gözlemler sonucunda 1-5 (1: Çok kötü, 5: Çok iyi) skalası kullanılarak değerlendirilmiştir. Karar verici görüşleri geometrik ortalama ile birleştirilerek Denklem (7)'deki gibi karar matrisi oluşturulmuştur (Tablo 14).

Tablo 14: Ölçütlere göre alternatiflerin değerlendirildiği birleştirilmiş karar matrisi.

Alt/Kri.	K ₁₁	K ₁₂	K ₁₃	...	K ₂₅	K ₂₆	K ₂₇	K ₂₈
A ₁	2.08	3.58	3.30	...	3.18	3.92	2.88	1.59
A ₂	3.92	2.71	3.11	...	4.00	1.82	1.26	2.88
A ₃	2.92	2.88	1.44	...	1.44	1.71	1.59	3.68
A ₄	3.92	2.47	2.62	...	2.71	2.71	2.29	1.82
A ₅	1.71	4.31	2.52	...	2.88	3.63	2.47	3.42
A ₆	3.92	4.64	1.44	...	2.71	2.29	2.71	1.59
A ₇	3.11	3.92	2.88	...	4.31	2.92	1.82	2.71
A ₈	1.59	3.56	3.11	...	2.52	1.82	2.08	1.59
A ₉	2.08	3.58	3.30	...	3.18	3.92	2.88	1.59
A ₁₀	2.00	1.00	3.11	...	2.88	3.56	3.92	2.29
A ₁₁	3.63	2.29	2.62	...	3.18	1.26	1.26	1.71
A ₁₂	3.68	2.15	2.29	...	2.29	1.59	1.59	1.59
A ₁₃	1.59	2.29	2.88	...	1.59	1.59	3.11	1.82
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
A ₅₇	2.89	2.47	3.42	...	1.82	2.47	1.26	2.00
A ₅₈	2.29	2.00	2.15	...	3.42	4.00	2.71	2.29
A ₅₉	3.11	4.31	2.47	...	3.63	2.29	3.42	3.92
A ₆₀	2.71	2.47	2.62	...	1.26	2.47	3.68	2.00

Adım 2: Karar matrisinin standartlaştırılması

Karar matrisi Denklem (8) ve AHP yönteminden elde edilen ölçüt ağırlıkları (Tablo 14) kullanılarak normalize edilir (Tablo 15).

Tablo 15: Standartlaştırılmış matris.

	K ₁₁	K ₁₂	K ₁₃	...	K ₂₆	K ₂₇	K ₂₈
A ₁	0.0017	0.0014	0.0024	...	0.0010	0.0010	0.0005
A ₂	0.0032	0.0011	0.0097	...	0.0005	0.0004	0.0009
A ₃	0.0024	0.0011	0.0047	...	0.0004	0.0005	0.0012
A ₄	0.0032	0.0010	0.0078	...	0.0007	0.0008	0.0006
A ₅	0.0014	0.0017	0.0079	...	0.0009	0.0008	0.0011
A ₆	0.0032	0.0018	0.0044	...	0.0006	0.0009	0.0005
A ₇	0.0025	0.0016	0.0082	...	0.0008	0.0006	0.0009
A ₈	0.0013	0.0014	0.0108	...	0.0005	0.0007	0.0005
A ₉	0.0015	0.0006	0.0072	...	0.0004	0.0008	0.0015
A ₁₀	0.0016	0.0004	0.0098	...	0.0009	0.0013	0.0007
A ₁₁	0.0030	0.0009	0.0090	...	0.0003	0.0004	0.0006
A ₁₂	0.0030	0.0009	0.0080	...	0.0004	0.0005	0.0005
A ₁₃	0.0013	0.0009	0.0100	...	0.0004	0.0010	0.0006
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
A ₅₇	0.0023	0.0010	0.0110	...	0.0006	0.0004	0.0006
A ₅₈	0.0019	0.0008	0.0061	...	0.0010	0.0009	0.0007
A ₅₉	0.0025	0.0017	0.0060	...	0.0006	0.0011	0.0013
A ₆₀	0.0022	0.0010	0.0078	...	0.0006	0.0012	0.0006

Adım 3: Ağırlıklı normalize indekslerin toplanması

Bu uygulamadaki bütün ölçütler minimizasyon yönlüdür. S_{-i} değeri Denklem (10) kullanılarak hesaplanmıştır (Tablo 16).

Tablo 16: Alternatiflerin göreceli önem ve fayda dereceleri.

	S_{-i}	S_{-min}	Q_i	N_i	Alt. Sıra
A ₁	0.016	0.016	0.071	100	1
A ₂	0.035		0.033	45.852	32
A ₃	0.028		0.041	56.887	5
A ₄	0.043		0.026	36.612	58
A ₅	0.030		0.037	52.477	14
A ₆	0.036		0.032	44.715	36
A ₇	0.043		0.026	37.076	57
A ₈	0.028		0.041	57.148	4
A ₉	0.032		0.036	50.059	21
A ₁₀	0.033		0.034	47.726	26
A ₁₁	0.038		0.030	42.196	47
A ₁₂	0.033		0.034	47.794	25
A ₁₃	0.030		0.038	53.827	8
⋮	⋮		⋮	⋮	⋮
A ₅₇	0.033		0.034	47.617	27
A ₅₈	0.038		0.030	42.163	48
A ₅₉	0.030		0.037	52.232	15
A ₆₀	0.039		0.029	40.823	50

Adım 4: Alternatiflerin göreceli önemlerinin hesaplanması

Alternatiflerin göreceli önem derecelerini gösteren Q_i , Denklem (11) kullanılarak hesaplanmıştır (Tablo 16).

Adım 5: Alternatiflerin fayda derecesinin belirlenmesi

Denklem (12) kullanılarak alternatiflerin fayda derecesi belirlenmiştir (Tablo 16). Belirlenen fayda derecelerine göre; birinci şoför (A₁) iş yükü bakımından birinci sırada çıkmıştır.

5 Sonuçlar ve öneriler

Şoför için ortaya çıkabilecek problemlerin çözülmesi veya en aza indirilmesi, toplu taşımanın güvenli bir şekilde yapılmasını sağlayacaktır. Bu çalışmada, bunu sağlayabilmek amacıyla toplu taşımanın en büyük kısmını oluşturan otobüslerde, çalışma şekilleri sonucu hem kas iskelet sistemi sorunları ile hem de zihinsel olarak büyük baskı ve yorgunluk problemleri ile karşılaşabilen şoförler, zihinsel ve fiziksel iş yükü ölçütleri dikkate alınarak toplam iş yüklerine göre değerlendirilmiştir.

Hesaplamalar sonucunda elde edilen verilere göre, toplu taşıma otobüs şoförleri için zihinsel iş yükünün önem derecesi 0.781 olup fiziksel iş yüküne göre daha yüksek bir önem derecesine sahiptir. Araba kullanmak, dikkat, algı, görsel motor entegrasyonu, hafıza ve karar alma gibi bir dizi bilişsel faktör gerektiren bir aktivitedir [89]. Sürüş aktivitesine eşlik eden birçok faktör vardır ve sürücüler genellikle gereksiz veya ikincil görevlerde bulunurlar. Bu nedenle şoförlerin zihinsel iş yükünün fiziksel iş yüküne göre önem derecesinin yüksek çıkması kabul edilebilir bir sonuçtur [90].

Zihinsel iş yükü ölçütleri arasında en yüksek ağırlığa sahip ölçütler Zaman Baskısı ve Zihinsel Talep çıkarken, fiziksel iş yükü ölçütleri arasında en çok zorlanma boyun, gövde ve bacak bölümlerinde ortaya çıkmıştır. Ölçüt ağırlıklarının COPRAS yönteminde kullanılması ile birinci şoför en fazla iş yükü yüzdeliğine sahip şoför olarak belirlenmiştir. Bu sonuç; çalışma koşulları ve şartları aynı olmasına rağmen insanların bu koşullardan farklı şekilde etkilendiklerini ve aynı derecede yüklenme olmasına rağmen farklı zorlanma derecelerine sahip olduklarını göstermektedir.

Zamansal baskı: Şoförlerde, belirlenen rotayı tamamlama süresini aşmamak için oluşan baskının etkisi yüksektir.

Zihinsel talep: Şoförün aynı anda birkaç işle uğraşması nedeniyle (yolcu ücretleri, rota, süre, trafik vb.) zihinsel iş yükü artmaktadır.

Fiziksel talep: Şoförlerin sürekli oturarak çalışması ve uygun olmayan çalışma duruşları nedeniyle kas iskelet sistemi rahatsızlıkları belirmektedir. Özellikle boyun ve sırt ağrıları gözükmektedir. Ayrıca, çoğu şoförün sindirim sistemi problemi yaşadığı ve ülser gibi mide problemlerinin olduğu belirlenmiştir.

Bu problemlerin giderilmesi için;

- Antropometrik ölçülere göre koltuk, direksiyon ve kontrol paneli ve oturma yeri tasarımı yapılmalıdır,
- Mola aralıkları iş yüküne bağlı olarak düzenlenmelidir,
- Zaman çizelgeleri doğru düzenlenmeli (istikrarlı ve uzun dönemli) ve zaman baskısı azaltılmalıdır,
- Şoför çalışma alanı ergonomik açıdan yeniden düzenlenmelidir. (Örneğin; ergonomik koltuklar kullanılarak şoförlerin boyun ve bel boşluğunun desteklenmesi, pedalların büyüklük ve eğiminin doğru ayarlanması),
- Haftalık çalışma saatleri 40 sa. aşmamalıdır,
- Günlük çalışma en fazla 8 sa. olmalıdır,
- Yolcu ücretlerinin alınması veya kontrolünün şoför tarafından yapılması engellenmelidir.

Obelenis [91] çalışmasında, şoförlerin %46.2 kas-iskelet sistemi, %22.2 solunum yolu, %17.3 gastrointestinal, %32.2 merkezi sinir sistemi problemleri ile karşı karşıya kaldıklarını ortaya çıkarmıştır. Okunribido ve diğ. [92]'de şehir içi otobüs şoförlerinin günlük çalışma sürelerinin %60'ında gövdenin doğrudan desteklenmediği ve rahatsız edici titreşim olayları yaşadıkları tespit edilmiştir. Sonuç olarak sürücü koltuğunun ergonomik olarak değerlendirilmesi gerekliliğini öne sürmüşlerdir. Bulduk ve diğ. [93] tarafından yapılan çalışmada ise taksi şoförlerinin yaş ve şoförlük yaptıkları yıl sayısı arttıkça kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının da daha fazla ortaya çıktığı belirtilmiştir. Peruzzinia ve diğ. [90] ise araba kullanmanın; insan kapasitesi, gerekli performans ve dış ortamda meydana gelen olaylar ile ilgili yüksek talep gerektiren bir iş olduğunu ve zihinsel iş yükünü ölçmenin bundan dolayı önemli olduğundan bahsetmiştir. Zihinsel iş yükünün görev zorunluluğu, görev karmaşıklığı, hareket düzeyi, sürücünün düzenlediği sürüş hareketinin gerektirdiği ek faaliyetler ve strese karşı gösterilen bireysel tepkiye bağlı olduğunu vurgulamıştır. Farklı yıllarda yapılan bu çalışmalarda görüldüğü üzere şoförlerde en çok gözlemlenebilecek rahatsızlıklardan ikisi kas-iskelet sistemi ve sinir sistemi rahatsızlıklarıdır.

Bu sonuçlar bizim sonuçlarımızı ve çalışmamızda özellikle zihinsel ve fiziksel iş yükü ölçütlerini dikkate alma nedenimizi desteklemektedir. Ayrıca bu iki ölçüt grubunun AHP ve COPRAS yöntemleri ile birlikte daha önce başka bir çalışmada ele alınmamasıyla bu çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Gelecek çalışmalarda ise; şoförlerin değerlendirme süreçlerine tasarım ve çevresel ölçütler gibi farklı ölçütlerin eklenmesi düşünülmektedir. Temeli, Bulanık, Sezgisel Bulanık veya Kararsız Bulanık yöntemlerine dayanan teknikler kullanılarak, karar vericilerin belirsiz yargıları ve belirsizlik içeren çalışma koşulları dikkate alınabilir. Ayrıca farklı ÇÖKV yöntemleri kullanılarak sonuçlar karşılaştırılabilir.

6 Kaynaklar

- [1] Erkol B. Şehiriçi Yolcu Otobüsleri ve Şoför Mahali Tasarımı Konusunda Bir Araştırma: Mercedes-Benz Örneği. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2004.
- [2] Mesleki Yeterlilik Kurumu. "Şehir içi Toplu Taşıma Otobüs Şoförü (Seviye 3) Ulusal Meslek Standardı". https://portal.myk.gov.tr/dl=Yeterlilik_option=com_yeterlilik (02.01.2019).
- [3] Kennedy J and Sharp C. "Getting Better by Design Evaluation of a programme to support the voluntary sector in Scotland". Big Lottery Fund, Europe (Western) Scotland, JCCI Reports, Director, 54-85, 2000.
- [4] Dağdeviren M, Eraslan E, Kurt M. "Çalışanların toplam iş yükü seviyelerinin belirlenmesine yönelik bir model ve uygulaması". *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20(4), 517-525, 2005.
- [5] Saaty TL. *The Analytic Hierarchy Process*, New York, USA, McGraw-Hill, 1980.
- [6] Kokangül A, Polat U, Dağsuyu, C. "A new approximation for risk assessment using the AHP and Fine Kinney methodologies". *Safety science*, 91, 24-32, 2017.
- [7] Öztürk ZK, Toptancı Ş. "An integrated MCDM model for occupational safety specialist selection". *Journal of Business Research Turk*, 9(4), 419-435, 2017.
- [8] Gnanavelbabu A, Arunagiri P. "Ranking of MUDA using AHP and fuzzy AHP algorithm". *Materialstoday Proceedings*, 5(5), 13406-13412, 2018.
- [9] Ly PTM, Lai WH, Hsu CW, Shih FY. "Fuzzy AHP analysis of Internet of Things (IoT) in enterprises". *Technological Forecasting and Social Change*, 136, 1-13, 2018.
- [10] Durmusoglu ZDU. "Assessment of techno-entrepreneurship projects by using analytical hierarchy process (AHP)". *Technology in Society*, 54, 41-46, 2018.
- [11] Di Angelo L, Di Stefano P, Fratocchi L, Marzola A. "An AHP-based method for choosing the best 3D scanner for cultural heritage applications". *Journal of Cultural Heritage*, 34, 109-115, 2018.
- [12] Ghimire LP, Kim Y. "An analysis on barriers to renewable energy development in the context of Nepal using AHP". *Renewable Energy*, 129, 446-456, 2018.
- [13] Suganthi L. "Multi expert and multi criteria evaluation of sectoral investments for sustainable development: An integrated fuzzy AHP, VIKOR/DEA methodology". *Sustainable Cities and Society*, 43, 144-156, 2018.
- [14] Ozdemir S, Sahin G. "Multi-criteria decision-making in the location selection for a solar PV power plant using AHP". *Measurement*, 129, 218-226, 2018.
- [15] Acar C, Beskese A, Temur GT. "Sustainability analysis of different hydrogen production options using hesitant fuzzy AHP". *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(39), 18059-18076, 2018.
- [16] Gottfried O, De Clercq D, Blair E, Weng X, Wang C. "SWOT-AHP-TOWS analysis of private investment behavior in the Chinese biogas sector". *Journal of Cleaner Production*, 184, 632-647, 2018.
- [17] Kumar R, Padhi SS, Sarkar A. "Supplier selection of an indian heavy locomotive manufacturer: an integrated approach using taguchi loss function, TOPSIS and AHP". *IIMB Management Review*, 31(1), 78-90, 2019.
- [18] Hsieh MC, Wang EMY, Lee WC, Li LW, Hsieh CY, Tsai W, Liu TC. "Application of HFACS, fuzzy TOPSIS, and AHP for identifying important human error factors in emergency departments in Taiwan". *International Journal of Industrial Ergonomics*, 67, 171-179, 2018.
- [19] Geng Z, Li H, Zhu Q, Han Y. "Production prediction and energy-saving model based on extreme learning machine integrated ISM-AHP: Application in complex chemical processes". *Energy*, 160, 898-909, 2018.
- [20] Pamučar D, Stević Ž, Zavadskas EK. "Integration of interval rough AHP and interval rough MABAC methods for evaluating university web pages". *Applied Soft Computing*, 67, 141-163, 2018.
- [21] Sirisawat P, Kiatcharoenpol T. "Fuzzy AHP-TOPSIS approaches to prioritizing solutions for reverse logistics barriers". *Computers & Industrial Engineering*, 117, 303-318, 2018.
- [22] Sennaroglu B, Celebi GV. "A military airport location selection by AHP integrated PROMETHEE and VIKOR methods". *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 59, 160-173, 2018.
- [23] Delice EK, Ayık İ, Abidinoğlu ÖN, Çiftçi NN, Sezer Y. "Ergonomik risk değerlendirme yöntemleri ve ahp yöntemi ile çalışma duruşlarının analizi: ağır ve tehlikeli işler için bir uygulama". *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6, 112-124, 2018.

- [24] Zavadskas EK, Kaklauskas A, Sarka V. "The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects". *Technological and economic development of economy*, 1(3), 131-139, 1994.
- [25] Pitchipoo P, Vincent DS, Rajini N, Rajakarunakaran S. "COPRAS decision model to optimize blind spot in heavy vehicles: A comparative perspective". *Procedia Engineering*, 97, 1049-1059, 2014.
- [26] Rabbani A, Zamani M, Yazdani-Chamzini A, Zavadskas EK. "Proposing a new integrated model based on sustainability balanced scorecard (SBSC) and MCDM approaches by using linguistic variables for the performance evaluation of oil producing companies". *Expert Systems with Applications*, 41(16), 7316-7327, 2014.
- [27] Vytautas B, Marija B, Vytautas P. "Assessment of neglected areas in Vilnius city using MCDM and COPRAS methods". *Procedia Engineering*, 122, 29-38, 2015.
- [28] Mulliner E, Malys N, Maliene V. "Comparative analysis of MCDM methods for the assessment of sustainable housing affordability". *Omega*, 59, 146-156, 2016.
- [29] Wang LE, Liu HC, Quan MY. "Evaluating the risk of failure modes with a hybrid MCDM model under interval-valued intuitionistic fuzzy environments". *Computers & Industrial Engineering*, 102, 175-185, 2016.
- [30] Varmazyar M, Dehghanbaghi M, Afkhami M. "A novel hybrid MCDM model for performance evaluation of research and technology organizations based on BSC approach". *Evaluation and Program Planning*, 58, 125-140, 2016.
- [31] Serrai W, Abdelli A, Mokdad L, Hammal Y. "Towards an efficient and a more accurate web service selection using MCDM methods". *Journal of Computational Science*, 22, 253-267, 2017.
- [32] Feizabadi A, Doolabi MS, Sadrnezhaad SK, Zafarani HR, Doolabi DS, AsadiZarch M. "MCDM selection of pulse parameters for best tribological performance of Cr-Al₂O₃ nano-composite co-deposited from trivalent chromium bath". *Journal of Alloys and Compounds*, 727, 286-296, 2017.
- [33] Yazdani M, Chatterjee P, Zavadskas EK, Zolfani SH. "Integrated QFD-MCDM framework for green supplier selection". *Journal of Cleaner Production*, 142, 3728-3740, 2017.
- [34] Ghorabae MK, Amiri M, Zavadskas EK, Turskis Z, Antucheviciene J. "A new hybrid simulation-based assignment approach for evaluating airlines with multiple service quality criteria". *Journal of Air Transport Management*, 63, 45-60, 2017.
- [35] Mousavi-Nasab SH, Sotoudeh-Anvari A. "A comprehensive MCDM-based approach using TOPSIS, COPRAS and DEA as an auxiliary tool for material selection problems". *Materials & Design*, 121, 237-253, 2017.
- [36] Zolfani SH, Pourhossein M, Yazdani M, Zavadskas EK. "Evaluating construction projects of hotels based on environmental sustainability with MCDM framework". *Alexandria engineering journal*, 57(1), 357-365, 2018.
- [37] Mavi RK, ZARBAKHSHNIA N, KHAZRAEI A. "Bus rapid transit (BRT): A simulation and multi criteria decision making (MCDM) approach". *Transport Policy*, 72, 187-197, 2018.
- [38] Zheng Y, Xu Z, He Y, Liao H. "Severity assessment of chronic obstructive pulmonary disease based on hesitant fuzzy linguistic COPRAS method". *Applied Soft Computing*, 69, 60-71, 2018.
- [39] Büyüközkan G, Karabulut Y, Mukul E. "A novel renewable energy selection model for United Nations' sustainable development goals". *Energy*, 165, 290-302, 2018.
- [40] Mousavi-Nasab SH, Sotoudeh-Anvari A. "A new multi-criteria decision making approach for sustainable material selection problem: A critical study on rank reversal problem". *Journal of Cleaner Production*, 182, 466-484, 2018.
- [41] Maliene V, Dixon-Gough R, Malys N. "Dispersion of relative importance values contributes to the ranking uncertainty: sensitivity analysis of multiple criteria decision-making methods". *Applied Soft Computing*, 67, 286-298, 2018.
- [42] Asodariya H, Patel HV, Babariya D, Maniya KD. "Application of multi criteria decision making method to select and validate the material of a flywheel design". *Materials Today: Proceedings*, 5(9), 17147-17155, 2018.
- [43] Gomathisankar M, Gangatharan M, Pitchipoo P. "A novel optimization of friction stir welding process parameters on aluminum alloy 6061-T6". *Materials Today: Proceedings*, 5(6), 14397-14404, 2018.
- [44] Teraiya V, Jariwala D, Patel HV, Babariya D. "Material selection of connecting rod using primary multi attribute decision making methods: a comparative study". *Materials Today: Proceedings*, 5(9), 17223-17230, 2018.
- [45] Huggins A, Claudio D. "A mental workload based patient scheduling model for a Cancer Clinic". *Operations Research for Health Care*, 20, 56-65, 2019.
- [46] Tubbs-Cooley HL, Mara CA, Carle AC, Gurses AP. "The NASA Task Load Index as a measure of overall workload among neonatal, paediatric and adult intensive care nurses". *Intensive and Critical Care Nursing*, 46, 64-69, 2018.
- [47] Winter SR, Milner MN, Rice S, Bush D, Marte DA, Adkins, E, ... Tamilselvan G. "Pilot performance comparison between electronic and paper instrument approach charts". *Safety Science*, 103, 280-286, 2018.
- [48] Bakhsh A, Martin GF, Bicknell CD, Pettengell C, Riga C. "An evaluation of the impact of high-fidelity endovascular simulation on surgeon stress and technical performance". *Journal of surgical education*, 76(3), 864-871, 2019.
- [49] Fabroyir H, Teng WC. "Navigation in virtual environments using head-mounted displays: Allocentric vs. egocentric behaviors". *Computers in Human Behavior*, 80, 331-343, 2018.
- [50] Shakouri M, Ikuma LH, Aghazadeh F, Nahmens I. "Analysis of the sensitivity of heart rate variability and subjective workload measures in a driving simulator: the case of highway work zones". *International Journal of Industrial Ergonomics*, 66, 136-145, 2018.
- [51] Foy HJ, Chapman P. "Mental workload is reflected in driver behaviour, physiology, eye movements and prefrontal cortex activation". *Applied ergonomics*, 73, 90-99, 2018.
- [52] Shi J, Liu M. "Impacts of differentiated per-lane speed limit on lane changing behaviour: A driving simulator-based study". *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 60, 93-104, 2019.
- [53] Stapel J, Mullakkal-Babu FA, Happee R. "Automated driving reduces perceived workload, but monitoring causes higher cognitive load than manual driving". *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 60, 590-605, 2019.

- [54] Park S, Jeong S, Myung R. "Modeling of multiple sources of workload and time pressure effect with ACT-R". *International Journal of Industrial Ergonomics*, 63, 37-48, 2018.
- [55] Chen Y, Yan S, Tran CC. "Comprehensive evaluation method for user interface design in nuclear power plant based on mental workload". *Nuclear Engineering and Technology*, 51(2), 453-462, 2019.
- [56] Choi MK, Lee SM, Ha JS, Seong PH. "Development of an EEG-based workload measurement method in nuclear power plants". *Annals of Nuclear Energy*, 111, 595-607, 2018.
- [57] Orlandi L, Brooks B. "Measuring mental workload and physiological reactions in marine pilots: Building bridges towards redlines of performance". *Applied ergonomics*, 69, 74-92, 2018.
- [58] Mizota T, Anton NE, Stefanidis D. "Surgeons see anatomical structures faster and more accurately compared to novices: Development of a pattern recognition skill assessment platform". *The American Journal of Surgery*, 217(2), 222-227, 2018.
- [59] Lowndes BR, Abdelrahman AM, Thiels CA, Mohamed AO, McConico AL, Bingener J, Hallbeck MS. "Surgical team workload comparison for 4-port and single-port laparoscopic cholecystectomy procedures". *Applied Ergonomics*, 78, 277-285, 2018.
- [60] Lee SC, Cha MC, Hwangbo H, Mo S, Ji YG. "Smartphone form factors: Effects of width and bottom bezel on touch performance, workload, and physical demand". *Applied Ergonomics*, 67, 142-150, 2018.
- [61] Eraslan E, Can GF, Atalay KD. "Mental workload assessment using a fuzzy multi-criteria method". *Tehnički vjesnik*, 23(3), 667-674, 2016.
- [62] Adar T, Delice EK. "Evaluating Mental Work Load Using Multi-Criteria Hesitant Fuzzy Linguistic Term Set (HFLTS)". *Turkish Journal of Fuzzy Systems (TJFS)*, 8(2), 2017.
- [63] Bongo MF, Alimpangog KMS, Loar JF, Montefalcon JA, Ocampo LA. "An application of DEMATEL-ANP and PROMETHEE II approach for air traffic controllers' workload stress problem: A case of Mactan Civil Aviation Authority of the Philippines". *Journal of Air Transport Management*, 68, 198-213, 2018.
- [64] Delice EK, Can GF. "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, 2018.
- [65] Delice EK. "Acil Servis Hekimlerinin NASA-RTLX yöntemi ile zihinsel iş yüklerinin değerlendirilmesi: bir uygulama çalışması". *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 30(3), 645-662, 2016.
- [66] Can GF, Atalay KD, Eraslan E, "Çalışma Duruşlarının Bulanık Ortamda Analizi ve Ergonomik İş İstasyonu Tasarım Önerileri". *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 30(3), 451-460, 2015.
- [67] Hanson R, Medbo L, Berlin C, Hansson J. "Manual Picking From Flat and Tilted Pallet Containers". *International Journal of Industrial Ergonomics*, 64, 199-212, 2018.
- [68] Sain MK, Meena ML. "Exploring the musculoskeletal problems and associated risk-factors among brick kiln workers". *International Journal of Workplace Health Management*, 11(6), 395-410, 2018.
- [69] Houshyar E, Kim IJ. "Understanding musculoskeletal disorders among iranian apple harvesting laborers: ergonomic and stop watch time studies". *International Journal of Industrial Ergonomics*, 67, 32-40, 2018.
- [70] Boulila A, Ayadi M, Mrabet K. "Ergonomics study and analysis of workstations in tunisian mechanical manufacturing". *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 28(4), 166-185, 2018.
- [71] Bae SH, Kim DH, Kim HS, Kim KC. "biomechanical study on the convenience of loading and unloading laundry in clothes dryer". *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 19(6), 907-915, 2018.
- [72] De Oliveira CC, De Paula Xavier AA, Ulbricht L, Moro ARP, Belinelli MM. "Health in the rural environment: a postural evaluation of milking workers in brazil". *Cahiers Agricultures*, 27(3), 1-8, 2018.
- [73] Khan MR, Singh NK. "Prevalence of musculoskeletal disorders among indian railway sahayaks". *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 24(1-2), 27-37, 2018.
- [74] Yahya NM, Zahid MNO. "Work-related musculoskeletal disorders (wmds) risk assessment at core assembly production of electronic components manufacturing company". *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Journal)*, 319(1), 1-7, 2018.
- [75] Chatterjee A, Sahu S. "A physiological exploration on operational stance and occupational musculoskeletal problem manifestations amongst construction labourers of West Bengal, India". *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 31(4), 775-783, 2018.
- [76] Gonen D, Karaoglan AD, Ocaktan MA, Oral A, Aticti H, Kaya B. "A new risk assessment approach for the analysis of musculoskeletal disorders". *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33(2), 423-438, 2018.
- [77] Sudiarno A, Dewi DS, Putri MA. "Bio-mechanical Assessment toward throwing and lifting process of I-LOCA (Innovative Lobster Catcher)". *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Journal)*, 337(1), 1-6, 2018.
- [78] Kong YK, Lee SY, Lee KS, Kim DM. "Comparisons of ergonomic evaluation tools (ALLA, RULA, REBA and OWAS) for Farm Work". *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 24(2), 218-223, 2018.
- [79] Çakıt E. "Ergonomic assessment of airport shuttle driver tasks using an ergonomic analysis toolset". *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 24(2), 286-293, 2018.
- [80] Erginel N, Toptancı Ş, Acar I. "Bulanık REBA ile bir mobilya imalat firmasında ergonomik risk değerlendirme". *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*. 6, 92-101, 2018.
- [81] Li X, Han S, Gül M, Al-Hussein M. "Automated post-3D visualization ergonomic analysis system for rapid workplace design in modular construction". *Automation in Construction*, 98, 160-174, 2019.
- [82] Özbek A. *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Excel ile Problem Çözümleri*. Birinci baskı. Ankara, Türkiye, Seçkin, 2017.
- [83] Kuruüzüm A, Atsan N. "Analitik hiyerarşi yöntemi ve işletmecilik alanındaki uygulamaları". *Akdeniz İ.İ.B.F Dergisi*, 1, 83-105, 2001.

- [84] Polat DŞ. Askeri Helikopter Alımı Problemine Analitik Hiyerarşi Metodu ile Bir Yaklaşım. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2000.
- [85] Özdağoğlu A. "İmalat işletmeleri için eksantrik pres alternatiflerinin COPRAS yöntemi ile karşılaştırılması". *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Elektronik Dergisi*, 4(8), 1-22, 2013.
- [86] Özbek A. "Türkiye Diyanet Vakfı'nın SAW, COPRAS ve TOPSIS yöntemi ile performans değerlendirmesi". *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 15(1), 66-84, 2017.
- [87] Hart SG, Staveland LE. *Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research*, Editors: Hancock PA, Meshkati N. Human Metal Workload, 139-183, Amsterdam: North-Holland, Elsevier, 1988.
- [88] Hignett S, McAtamney L. "Rapid entire body assessment (REBA)". *Applied Ergonomics*, 31, 201-205, 2000.
- [89] Sena P, D'Amore M, Brandimonte MA, Squitieri R, Fiorentino A. "Experimental framework for simulators to study driver cognitive distraction: brake reaction time in different levels of arousal". *Transp. Res. Procedia*, 14, 4410-4419, 2016.
- [90] Peruzzini M, Tonietti M, Iani C. "Transdisciplinary design approach based on driver's workload monitoring". *Journal of Industrial Information Integration*, 15, 91-102, 2019.
- [91] Obelenis V, Gedgaudienė D, Vasilavičius P. "Working conditions and health of the employees of public bus and trolleybus transport in Lithuania". *Medicina*, 39(11), 1103-1109, 2003.
- [92] Okunribido OO, Shimbles SJ, Magnusson M, Pope M. "City bus driving and low back pain: a study of the exposures to posture demands, manual materials handling and whole-body vibration". *Applied ergonomics*, 38(1), 29-38, 2007.
- [93] Bulduk EÖ, Bulduk S, Süren T, Ovalı F. "Assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders using Quick Exposure Check (QEC) in taxi drivers". *International Journal of Industrial Ergonomics*, 44(6), 817-820, 2014.