

ALGILANAN İŞ YÜKÜ VE ÇALIŞMA DURUŞLARI DİKKATE ALINARAK OPERATÖRLERİN ERGONOMİK RİSK DÜZEYLERİNİN ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMI İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Elmas Burcu MAMAK EKİNCİ¹, Gülin Feryal CAN^{2*}

¹Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara
e-posta : burcumamak@gmail.com , ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-2633-0545>

²Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara
e-posta : gfcan@baskent.edu.tr ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-7275-2012>

ALGILANAN İŞ YÜKÜ VE ÇALIŞMA DURUŞLARI DİKKATE ALINARAK OPERATÖRLERİN ERGONOMİK RİSK DÜZEYLERİNİN ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMI İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

| Anahtar Kelimeler | Öz |
|---|---|
| CRITIC MAIRCA Çalışma Duruşu Algılanan İş Yükü | <i>Bu çalışmada, operatörlerin gerçekleştirdikleri işlere bağlı olarak ortaya çıkan algılanan iş yükü ve sergiledikleri çalışma duruşları dikkate alınarak ergonomik risk düzeylerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, Kriterler arası Korelasyona Yönelik Kriterlerin Önem Ağırlıklarının Belirlenmesi (CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation-CRITIC) yöntemi ve Çok Ölçütlü İdeal-Gerçek Karşılaştırma Analizi (Multi Attributive Ideal-Real Comparative Analysis-MAIRCA) entegrasyonundan oluşan bütünlük bir Çok Kriterli Karar Verme yöntemi önerilmiştir. Algılanan iş yükü ana kriteri çerçevesinde zihinsel gereklilik, fiziksel gereklilik, çaba, performans, zaman baskısı ve başarısızlık hissi alt kriterleri dikkate alınırken; çalışma duruşu ana kriteri kapsamında üst kol, alt kol, bilek, boyun, gövde ve ayak hareketleri ile yük/kuvvet, eşleşme kalitesi, kas kullanımı ve aktivite alt kriterleri göz önünde bulundurulmuştur. Çalışma duruşlarının değerlendirilmesinde Hızlı Tüm Vücut Değerlendirme (Rapid Entire Body Assessment-REBA) yönteminden yararlanılmış ve algılanan iş yükünün belirlenmesinde ise NASA İş Yükü İndeksi (NASA Task Load Index-NASA-TLX) kullanılmıştır. Söz konusu ana ve alt kriterlerin ağırlıkları CRITIC yöntemi ile belirlenirken alternatifleri oluşturan operatörlerin öncelik sıralaması ise MAIRCA yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Önerilen yaklaşım, 219 operatörün çalıştığı bir meyve suyu üretim sürecinde operatörlerin söz konusu iki ana kriter çerçevesinde ergonomik risk düzeylerine göre sıralanması için kullanılmıştır. Operatörler, meyve suyu üretim sürecinde ayıklama, yıkama, sınıflama, sap ayırma ve çekirdek çıkarma, parçalama, mayşenin ısıtılması, presleme, durultma, filtrasyon, pastörizasyon ve paketleme olmak üzere 10 farklı aşamada görev almaktadırlar. Sonuç olarak, operatörlerin sıralamalarına bakıldığı zaman en yüksek ergonomik risk düzeyine sahip olan 4 operatörün paketleme ve ayıklama departmanlarında olduğu görülmüştür.</i> |

EVALUATION OF WORKERS' ERGONOMIC RISK LEVELS CONSIDERING WORKING POSTURES AND PERCEIVED WORKLOAD WITH MULTI-CRITERIA DECISION MAKING APPROACH

| Keywords | Abstract |
|---|--|
| CRITIC MAIRCA Working Posture Perceived Workload | <i>In this study, it is aimed to evaluate the ergonomic risk levels by taking into consideration the perceived workload and the working postures of the operators. In this context an integrated multi criteria decision making approach based on CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation (CRITIC) and Multi Attributive Ideal-Real Comparative Analysis (MAIRCA) is proposed. In the frame work of perceived workload main criterion, mental demand, physical demand, effort, performance, temporal demand and frustration levels are considered. Also, in the context of working posture main criterion, upper arm, lower arm, wrist, neck, trunk and legs's movements are considered. Rapid Entire Body Assessment (REBA) is used for working posture analysis. NASA Task Load Index is implemented for perceived workload evaluation. The weights of main and sub criteria are computed by CRITIC. Workers who form alternatives' rankings are obtained by MAIRCA. CRITIC is a method that</i> |

* Sorumlu yazar; Tel : 0.312.246 66 66 / 1357

takes into consideration the differentiation and the degree of relationship between the criteria while determining the importance of the criteria. MAIRCA can model the theoretical and real decision processes by using the alternatives' probabilities of being selected. The proposed approach is used in the production area where 219 operators work, according to the ergonomic risk levels of the operators in the context of these two main criteria.

| | | | |
|--------------------|--------------|------------------|--------------|
| Araştırma Makalesi | | Research Article | |
| Başvuru Tarihi | : 05.11.2018 | Submission Date | : 05.11.2018 |
| Kabul Tarihi | : 15.11.2018 | Accepted Date | : 15.11.2018 |

1. Giriş

Ergonomi, insanı anatomik, antropometrik, fizyolojik, psikolojik ve sosyolojik açıdan inceleyerek işin insana, insanın işe uyumunu araştıran, disiplinler arası bir bilim dalıdır (Akın, 2013). İnsan ve yaptığı iş arasındaki uyumun sağlanamamasını veya bozulmasını sağlayan gürültü, aydınlatma, ısı, titreşim, çalışma alanı tasarımı, el aletleri tasarımı, makine tasarımı, sandalye tasarımı, çalışma duruşları, mesai saatleri, vardiya, mola saatleri, iş yükü dağılımı, yemek rejimi vb. unsurların hepsi ergonomik riskler kapsamında incelenebilir. Söz konusu riskler önlenmediği ya da iyileştirilmediği durumda çalışanın algıladığı ve maruz kaldığı iş yükü seviyesi artar. Bu artış işgücü verimini düşürerek üretim verimliliğini de olumsuz etkiler.

Çalışanın performans düzeyine, tepkilerine olumsuz yönde etki eden ve yapılan iş veya çalışılan iş ortamından kaynaklanan her türlü baskı iş yükü olarak tanımlanır (Becker vd., 1995). İş yükü niceliksel açıdan belirli bir zamanda çalışandan beklenen iş miktarını gösterir. Psikolojik açıdan ise yapılan iş nedeniyle çalışan tarafından hissedilen zorlanma düzeyidir (Cole vd., 2004). Psikolojik açıdan yapılan söz konusu iş yükü değerlendirilmesi algılanan iş yükü olarak da ifade edilir. Algılanan iş yükü yalnızca yapılan işin zorluğundan değil çalışma ortamının koşullarından da etkilenir. Bu kapsamda, çalışandan beklenen üretim hızından, iş ortamında uygulanan takdir ve ödül sistemlerine kadar her ergonomik risk unsuru algılanan iş yükü düzeyini etkiler. Bu ergonomik riskler arasında çalışanın en çok zorlayanlardan birisi de çalışma duruşlarıdır. Duruş, el, kol, gövde gibi vücut bölümlerinin boşluktaki konfigürasyonudur (Karhu vd., 1977). Çalışma duruşu ise, çalışanın sorumlu olduğu görevi gerçekleştirmek için kol, bacak, gövde gibi vücut bölümleri tarafından sergilenen hareketleri tanımlar (Karhu vd., 1981). Özetle görevi gerçekleştirme sürecinde vücudun sergilediği konfigürasyondur. Söz konusu konfigürasyonun insan vücudunun hareket sınırlarını (açısal hareket, tekrar sayısı, yüklerle birlikte çalışma vb.) zorladığı durumlar da tehlikeli çalışma duruşları ortaya çıkmakta ve bu durum belirli bir süre sonra mesleki kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına dönüşmektedir. Tehlikeli çalışma duruşları sergilendikçe çalışan işini yaparken daha çok zorlanmakta ve bu durum çalışanın tarafından algılanan iş yükü düzeyinin artmasını beraberinde

getirmektedir. Buna göre çalışma duruşlarının ve algılanan iş yükü seviyesinin sistematik bir şekilde belirlenerek kontrol edilmesi ve risk içeren durumların iyileştirilmesi üretim ve iş gücü verimliliğinin artırılması açısından önem taşımaktadır. Çalışmada algılanan iş yükü ve sergilenen çalışma duruşlarını dikkate alarak çalışanların ergonomik risk düzeylerine göre sıralanmasını sağlamak amacıyla Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yaklaşımı temelinde yeni bir metodoloji önerilmiştir. Önerilen metodolojide çalışanlar alternatifleri ve algılanan iş yükü ile çalışma duruşu ise ana kriterleri oluşturmaktadır. Algılanan iş yükü ile çalışma duruşu ana kriterleri arasındaki ilişkinin yönü ve büyüklüğünü görebilmek amacıyla kriter önem ağırlıklarını hesaplamak için Criteria Importance Through Intercriteria Correlation (CRITIC) yönteminden faydalanılmıştır (Diakoulaki vd., 1995). Söz konusu kriter önem ağırlıklarını dikkate alarak çalışanların ergonomik risk düzeyleri açısından sıralanmasında ise Multi-attribute Ideal-Real Comparative Analysis (MAIRCA) yöntemi kullanılmıştır (Gigović vd., 2016).

Çalışanların algılanan iş yükü düzeyleri NASA İş Yükü İndeksi (National Aeronautics and Space Administration Task Load Index-NASA TLX) ile belirlenmiş, çalışma duruşları ise Hızlı Tüm Vücut Değerlendirme (Rapid Entire Body Assessment-REBA) ile analiz edilmiştir. Burada REBA yöntemi operatörlerin en çok zorlandıklarını belirttikleri çalışma duruşları için kullanılmıştır (Hignett ve McAtamney, 2004). NASA TLX ve REBA yöntemlerinden elde edilen sonuçlar CRITIC-MAIRCA entegrasyonunun girdilerini oluşturmaktadır. Çalışmada dikkate alınan algılanan iş yükü ana kriteri altında algılanan iş yükünün altı boyutunu oluşturan ve NASA TLX ölçeğinde yer alan fiziksel gereklilik, zihinsel gereklilik, çaba, performans düzeyi, zaman baskısı ve başarısızlık hissi alt kriterleri değerlendirilmiştir (Hart ve Staveland, 1988). Çalışma duruşu ana kriteri altında ise REBA kapsamında değerlendirilen vücut bölümleri, kuvvet harcama/yük maruziyeti, eşleşme kalitesi ve aktivite türü alt kriterleri vücudun sağ ve sol tarafları için dikkate alınmıştır. Buna göre çalışma duruşu ana kriteri kapsamında 24 alt kriter değerlendirilmektedir.

Çalışmada kriter ağırlıklarını hesaplamak amacıyla CRITIC yönteminin seçilmesinin nedeni çalışma duruşlarının algılanan iş yükü seviyesini etkilemesidir (Diakoulaki vd., 1995). Zorlanarak çalışan bir kişide

algılanan iş yükü seviyesi daha fazla olacaktır. Bu etkileşimin alt kriterler düzeyinde yönünü ve büyüklüğünü görebilmek için CRITIC yöntemi tercih edilmiştir. Ayrıca ilişki yönü ve büyüklüğünün operatörlerin ergonomik risk düzeylerine göre sıralamasında etkisinin yansıtılması amaçlanmıştır. Operatörlerin sıralanmasında MAIRCA yönteminin kullanılmasının sebebi ise karar aşamasının başlangıcında bütün alternatiflere eşit seçilme şansını vermesidir (Gigović vd., 2016). Algılanan iş yükü ve çalışma duruşunun ortak bir şekilde oluşturdukları risk düzeyinin bilinmediği bu ilk aşamada bütün operatörler en yüksek risk düzeyine sahip olma konusunda eşit şansa sahiptirler. MAIRCA prosedürü ilerledikçe söz konusu eşit şans operatörlerin alt kriterlere göre elde edilen değerlendirme sonuçlarından etkilenecek ve yön değiştirecektir.

Çalışma ergonomik risk analizine yeni bir bakış açısı kazandırması nedeni ile literatüre katkı sağlayabilecek bir çalışmadır. Çalışmada iki ana kriter temelinde bu ana kriterlerin alt kriterleri için yapılan değerlendirme sonuçları dikkate alınarak birleşik bir risk düzeyi elde edilmek istenmiştir. Buna göre operatörler sadece algılanan iş yükü düzeylerine göre sıralansalardı yapılması gereken toplam algılanan iş yükü puanına göre büyükten küçüğe doğru sıralamak olacaktır. Çalışma duruşları açısından da en yüksek risk düzeyine sahip operatörden başlanarak en düşük risk düzeyine sahip operatöre doğru sıralamasının yapılması yeterli olmaktadır. Ancak iki farklı ana kriterin ortak etkisini yansıtabilmek için bu tür gelişmiş yaklaşımlara ihtiyaç bulunmaktadır. Çalışma bu açılarından da literatüre katkı sağlayabilecek orijinalliğe sahiptir. Ayrıca, ÇKKV literatürüne de bakıldığı zaman CRITIC ve MAIRCA yöntemlerinin entegrasyonuna ve ergonomik analiz alanında kullanımına rastlanmamaktadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde bilimsel yazın taramasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde çalışma kapsamında kullanılan yöntemlere özetle değinilmiş ve önerilen yaklaşım tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde önerilen yaklaşımın meyve suyu üretimi yapan bir firmada uygulaması anlatılmıştır. Beşinci bölümde elde edilen sonuçlar sunularak altıncı bölümde önerilen yaklaşım ve elde edilen sonuçlara ilişkin tartışmaya yer verilmiştir.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Bu bölümde REBA, NASA TLX, CRITIC ve MAIRCA yöntemlerine ilişkin literatürde gerçekleştirilen çalışmalara özetle değinilmiştir. REBA yöntemi ergonomi alanında gerçekleştirilen birçok çalışmada kullanılan pratik bir yöntemdir. Bu nedenle yöntemin uygulandığı çalışmaların hepsine değinilmemiş, 2014-2018 yılları arasında gerçekleştirilen çalışmalardan bazılarına yer verilmiştir. Jahanimoghdam vd. (2014) tarafından 90 diş hekiminin çalışma duruşları REBA ile değerlendirilmiştir. Diş hekimlerinin

%90'ının çalışma duruşlarına ilişkin risk seviyeleri orta ve çok yüksek olarak bulunmuştur. Diş hekimleri arasında periodontistler, pedodontistler, oral ve maksillofasial cerrahların en kötü vücut duruşlarına sahip oldukları belirlenmiştir. Madani vd. (2016) REBA ile ilgili yeni gelişmeler, yöntemin sınırlılıkları, farklı uygulamaları ve farklı alanlarda yapılan geçerlilik analizlerine ilişkin literatürü gözden geçirmişlerdir. Çalışmada, REBA'nın endüstriyel alanlarda, sağlık sektörü, inşaat, kereste imalatı, süpermarket çalışmaları, gıda endüstrisi, bilgisayar tabanlı işler, ambalajlama, okul ortamlarında, odontoloji hizmetlerinde, itfaiyeciler ve acil tıbbi teknisyenlerinde görülen çalışma duruşlarının analizlerinde kullanılarak geçerlilik değerlendirmelerinin yapıldığı belirlenmiştir. Çoğu çalışmada, REBA sonuçlarının diğer analiz yöntemlerinin sonuçlarıyla karşılaştırıldığı belirlenmiştir. Bununla birlikte yöntemin bilgisayar destekli bir hale getirilmesinin faydalı olacağı belirtilmiştir. Rahman vd. (2015) tarafından geleneksel ve makine destekli bir şekilde gerçekleştirilen hasatta ortaya çıkan çalışma duruşları Hızlı Üst Ekstremité Değerlendirme (Rapid Upper Limb Assessment-RULA) ve REBA yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda geleneksel hasat yöntemlerinin sırt bölgesindeki rahatsızlık riskini artırdığı belirlenmiştir. Nihai RULA ve REBA skorlarına göre makine destekli hasat yönteminin gövdenin duruşsal riskini azalttığı ortaya çıkmıştır. Ojha ve Vinay (2018) tarafından bisiklet imalatında çalışan 111 işçinin REBA yöntemi ile duruşsal analizi gerçekleştirilmiştir. İşçilerin fiziksel kondisyon seviyeleri ölçülmüş ve işçilerin %33.33'ünün iyi bir fiziksel kondisyona sahip oldukları belirlenmiştir. Söz konusu işçilerde REBA skorları düşük çıkarken diğer işçilerde REBA skorları yüksek çıkmıştır. Can vd. (2015) tarafından REBA yöntemi bulanık mantıkla birleştirilerek metal üretimi gerçekleştirilen bir işletmede çalışan operatörlerin çalışma duruşlarının analizinde kullanılmıştır. Vücut bölümlerine ilişkin duruşların açısal değerlendirmelerindeki özneliğin modellenebilmesi için bulanık mantık teorisinden faydalanılmıştır. Ayrıca çalışmada ilgili üretim süreci için ergonomik iyileştirme önerileri geliştirilmiştir. Costa vd. (2018) endüstriyel bir mutfağın ergonomik açıdan analizini gerçekleştirmişlerdir. Bu kapsamda, belirlenen en kritik aktiviteler RULA, REBA ve Ovako Çalışma Duruşları Analiz Sistemi (Owako Working Posture Analysis-OWAS) yöntemleri ile analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. RULA yöntemiyle elde edilen sonuçlar yüksek riski gösterirken; OWAS ile elde edilen sonuçlar düşük riski göstermiştir. Gönen vd. (2017) tarafından trafo üretimi yapan bir firmada çalışanların ergonomik açıdan analizi Cornell Kas-iskelet Rahatsızlık Anketi (Cornell Musculoskeletal Discomfort Questionnaire-CMDQ, REBA ve OWAS yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre işçilerin sırt, bel, ayak, boyun, sağ üst kol ve omuz duruşlarının yüksek risk içerdiği

belirlenmiştir. Söz konusu risk seviyesini azaltmak için ayarlanabilir montaj masası tasarlanmıştır. Gönen vd. (2018) kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının değerlendirilebilmesi amacıyla yeni bir risk değerlendirme yöntemi önermişlerdir. Bu kapsamda Cornell Kas İskelet Sistemi Rahatsızlık Anketini uygulayarak önerilen yöntem için veri girdisi sağlamışlardır. Yöntem, otomotiv sektöründe kablo üretimi yapan bir yan sanayi kuruluşunda uygulanmıştır. Çalışmada, REBA, Anybody modelleme sistemi (AMS) analizleri ve elektromiyografi (EMG) ölçümleri ile önerilen yöntemin doğrulaması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen yöntemin kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının (KİSR) teşhis edilmesinde başarılı sonuçlar üretebilen bir yaklaşım olduğunu göstermiştir. Özay vd. (2018) tarafından perakende satış yapan bir firmanın şubelerinden birisinin kasap, şarküteri, depo ve manav reyonlarında ve temizlik işlerinde çalışanların elle kaldırma işleri ve çalışma pozisyonları incelenmiştir. Çalışmada, Ulusal Mesleki Sağlık ve Güvenlik Enstitüsü (National Institute of Occupational Safety and Health-NIOSH) tarafından önerilen kaldırma denklemi, REBA ve Snook'un Tabloları yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlarda, kasap ve şarküteri bölümlerinde çalışanların sergilediği duruşların yüksek risk içerdiği belirlenmiştir. Manav bölümünde çalışanların kaldırdıkları yüklerin ağırlığının azaltılması ve asimetric kaldırmanın engellenmesi gerektiği belirtilmiştir. Depoda çalışanların ise çok ağır yükleri itip çekmek zorunda kaldıkları gözlemlenmiş ve forklift veya mekanik bir aletle bu işleri yapmalarının faydalı olacağı değerlendirilmiştir. Temizlik işçileri için ise yer temizleme cihazıyla işlerini gerçekleştirmelerinin duruşsal risk açısından faydalı olacağı belirlenmiştir. Sevimli vd. (2018) tarafından REBA ve Federal Almanya İş Sağlığı ve Güvenliği Kurumu tarafından geliştirilen Tutma-kaldırma- taşıma süreçleri kontrolü yöntemleri kullanılarak bir çeltik fabrikasının paketleme bölümündeki çalışanların ergonomik açıdan risk analizi yapılmıştır. Bu kapsamda, ambalaj toplarının paletten alınması, topların paketleme makinasına götürülmesi, topun paketleme makinasına takılması, paketlerin kolilenmesi, kolilerin paletlenmesi ve paletlerin depoya yerleştirilmesi olmak üzere 6 adet iş istasyonunda çalışan kadın ve erkek çalışanlar değerlendirilmiştir. İş istasyonlarındaki ergonomik koşulların iyileştirilmesi için duruş bozuklukları ile ilgili eğitimin çalışanlara verilmesi, denetleme yapılması, iş yükü fazla olan istasyonlara bir çalışan eklenmesi, çalışanların rotasyona tabi tutulmaları ve döner tepsi yüksekliğinin ayarlanması önerilerinde bulunarak ergonomik risk düzeyinin azaltılması hedeflenmiştir.

CRITIC yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalara bakıldığında literatürde az sayıda çalışmanın bulunduğu görülmektedir. Bu çalışmalara aşağıda yer verilmiştir. Deng vd. (2010), CRITIC ve Technique for Order Preference by Similarity to Ideal

Solution (TOPSIS) yöntemlerini uygulayarak su tasarrufu sağlayan sulama şemalarını önceliklendirerek hangi şemanın seçilmesi gerektiğine karar vermişlerdir. Ping (2011) CRITIC yöntemini uygulayarak bir hastanenin bazı bölümlerinin tıbbi kalitesini değerlendirmiştir. Kazan ve Özdemir (2014) tarafından 14 büyük ölçekli holdingin finansal performansları karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda, 2009-2010 yılları arasındaki holdinglere ilişkin 19 finansal oran kriter olarak kullanılmıştır. Söz konusu kriterlerin ağırlıklandırılmasında CRITIC yöntemi uygulanmıştır. Sonrasında holdingler TOPSIS ile sıralanmıştır. İşletmelerin iş zekâsına ilişkin düzeyleri CRITIC ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak Çetinyokuş ve Özdil (2015) tarafından karşılaştırılmıştır. Kılıç ve Çerçioğlu (2016) Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demir Yolları (TCDD) tarafından yapılması düşünülen 78 demiryolu bağlantısının hangisi ya da hangilerinin öncelikle gerçekleştirilmesi gerektiğine dair karar problemi CRITIC, Standart Sapma (Standard Deviation-SD) ve Ortalama Ağırlık (Mean Weight- MW) yöntemlerini kullanarak 3 farklı şekilde çözülmüştür. Alternatifleri oluşturan 78 demir yolu bağlantısının sıralaması için ise TOPSIS ve Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) yöntemlerini uygulamışlardır. Çalışmanın son kısmında ise Borda sayım yöntemi ile TOPSIS ve VIKOR uygulamaları sonucunda elde edilen sıralamalar birleştirilerek bütünleşik bir sıralama ile önceliklendirme yapılmıştır. Orakçı ve Özdemir (2017) tarafından ülkelerin insani gelişmişlik düzeylerine etki eden kriterler Entropi ve CRITIC yöntemleri ile ağırlıklandırılmıştır. Ülkelerin sıralamasının elde edilmesi için Gri İlişkisel Analiz (GİA) ve MOORA (Multi-Objective Optimization on the basis Ratio Analysis) yöntemlerinden yararlanılmıştır. Ünlü vd. (2017) Borsa İstanbul (BIST) 30 endeksinde yer alan firmalardan Borsa İstanbul Kurumsal Yönetim Endeksi (XKURY) kapsamında olan ve olmayan firmaların performanslarını TOPSIS yöntemi ile karşılaştırmıştır. Performansa etki eden kriter ağırlıklarının belirlenmesinde CRITIC kullanılmıştır.

Literatüre bakıldığı zaman NASA TLX ile gerçekleştirilen çok sayıda çalışma olduğu görülmektedir. Bu nedenle çalışmada 2013-2018 yılları arasında gerçekleştirilen bazı araştırmalara yer verilmiştir. Şeker vd. (2014) tarafından yaş, cinsiyet, medeni durum eğitim seviyesi gibi demografik faktörlerin Teknoloji ve Yenilik Hibe Programları Müdürlüğü'nde çalışan uzmanların zihinsel iş yükü seviyeleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. İş yükü ölçümünde NASA TLX kullanılmıştır ve ölçekten elde edilen sonuçlar Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve TOPSIS yöntemleri entegre edilerek oluşturulan uzman bir sistemde girdi olarak değerlendirilmiştir. Bu kapsamda uzman havuzundan en uygun kişinin seçimi gerçekleştirilmiştir. Akyeampong vd. (2014) tarafından hidrolik ekskavatörlerin kullanımı sırasında ortaya çıkan öznel iş yükü seviyesi NASA TLX

kullanılarak belirlenmiştir. Çalışmada üç farklı insan-makine ara yüz tasarımının öznel iş yükü üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Malekpour vd. (2014) hemşirelerin iş yüklerini NASA TLX yöntemini kullanarak incelemişlerdir. Çalışmada, Urmia Üniversitesi Tıp Fakültesi'nde görev yapan 120 hemşire değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre örneklemi oluşturan hemşirelerde yüksek düzeyde zihinsel iş yükü olduğu belirlenmiştir. Fiziksel iş yükü ise diğer boyutlara göre en düşük seviyede çıkmıştır. Özellikle yoğun bakım servisinde çalışan hemşirelerde zihinsel iş yükünün en yüksek düzeyde olduğu görülmüştür. Ayrıca, haftalık çalışma saatleri, vardiya süresi, bir hemşirenin sorumlu olduğu hasta sayısı kriterleri ile zihinsel iş yükü arasında yüksek korelasyon elde edilmiştir. Karadağ vd. (2015) bir eğitim ve araştırma hastanesinde görevli 178 hekimin zihinsel iş yüklerini NASA TLX kullanarak belirlemiş ve zihinsel iş yükünün hekimlerin sosyo-kültürel özelliklerine göre farklılık gösterip göstermediğini araştırmıştır. Çalışma sonucunda, hekimlerin zihinsel iş yükünün yaş, meslekteki toplam çalışma süresi, çalışılan bölüm, nöbet sayısı ve meslekte genel memnuniyete göre farklılık gösterdiği görülmüş ve cinsiyet, medeni durum, unvan, çocuk sayısı ve hastanedeki toplam çalışma süresi değişkenlerine göre farklılık göstermediği belirlenmiştir. Ruan vd. (2015) tarafından kağıt kalem kullanılarak not alma ile dijital not alma işlemlerinin yarattığı öznel iş yükü NASA TLX kullanılarak karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda kağıt-kalem kullanılarak gerçekleştirilen not alma işleminin daha rahat bir insan-makine ara yüzü oluşturduğu, dijital not almanın ise daha güvenilir olduğu belirlenmiştir. Kağıt kalem ile not almada yüksek düzeyde zaman baskısı ve fiziksel yük olduğu, dijital not almada ise daha düşük seviyelerde fiziksel yük ortaya çıktığı belirlenmiştir. Lowndes vd. (2018) tarafından cerrahi ekipman ve prosedürlerdeki gelişmelerle, ameliyathanelerde insan-sistem etkileşimlerinin cerrahın iş yükünü ve performansını etkilediği belirtilmiştir. Bu kapsamda, 34 cerraha NASA TLX uygulanmış ve ameliyat prosedürleri zorlaştıkça fiziksel ve zihinsel yükün arttığı, cerrahın kendisini düşük performans sergilediği yönünde algıladığı belirlenmiştir. Galy vd. (2016) NASA TLX ölçeğinin her bir boyutu üzerinde sürücü deneyimi, sürüş koşullarının zorluğu, sürücünün gerilim düzeyi kriterlerinin etkisini araştırmışlardır. Sonuçlara göre, karmaşık sürüş koşullarında fiziksel, zihinsel ve zaman baskısı boyutlarına ilişkin iş yükü puanlarında artış gözlemlenmiştir. Ayrıca zihinsel ve fiziksel gereklilik boyutlarına ait puanlar arttıkça çaba boyuna ilişkin puanlar da artış göstermiştir. Puspawardhani vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, otomobil parçaları üreten bir işletmede, bulunulan pozisyon ve vardiya çalışma sisteminin yarattığı iş yükünün ölçülmesi amaçlanmıştır. 48 işçi ile gerçekleştirilen çalışmada gece vardiyasında çalışan işçilerde zihinsel yük puanlarının yüksek olduğu ve sabah vardiyasında

ise zaman baskısı puanının en düşük olduğu belirlenmiştir. Delice (2016) The National Aeronautics and Space Administration-Raw Task Load Index (NASA-RTLX) yöntemini uygulayarak üç hastanenin acil servislerinde çalışan hekimlerin zihinsel iş yüklerini değerlendirmiştir. Çalışmada performans faktörünün doktorların kendilerini başarılı görmelerinden dolayı iş yüklerine en az etki eden faktör olduğu ortaya çıkmıştır. Zihinsel talep, zaman baskısı, çaba ve genel iş yükü puanı açısından kadın hekimlerin erkek hekimlere göre iş yükü düzeylerinin daha fazla olduğu görülmüştür. Kahya ve Özkan (2017) beyin bilgisayar ara yüzü sistemlerinin kullanımı esnasında ortaya çıkan bilişsel yükü analiz etmiştir. 70 sağlıklı katılımcı, beyin bilgisayar ara yüzünü kullanarak altı farklı görevi yerine getirmiş ve görevler esnasında katılımcıların göz bebeği değişim oranı, göz kırpması oranı ve galvanik deri direncine ilişkin veriler toplanmıştır. Her bir görevin gerçekleştirilmesinden sonra katılımcılar NASA TLX anketini doldurmuşlardır. Sonuç olarak göz kırpması oranının farklı görev türlerinde bilişsel durumu ayırt etmede faydalı bir göstere olduğu ve GDD verisinin özellikle zorluk derecesi artırılan farklı BBA uygulamalarında daha hassas hale geldiği sonuçlarına ulaşılmıştır. Mansikka vd. (2018) ortalama atımlar arası aralık, NASA TLX ve Modifiye Edilmiş Cooper Harper (MCH) yaklaşımları tarafından üretilen sonuçları karşılaştırmışlardır. Bu kapsamda 18 pilota simülatör eşliğinde uçak kullanımı sırasında ilgili yöntemler uygulanmış ve MCH, NASA TLX tarafından üretilen sonuçlar arasında yüksek korelasyon bulunmuştur. Pilotlar, yüksek, orta ve düşük olmak üzere üç performans kategorisine ayrılarak her bir performans kategorisi için söz konusu üç yöntemle elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Sonuçlar, performans kategorileri ile üç yöntem tarafından ortaya konan sonuçlar arasında doğrusal bir bağlantı olduğunu göstermiştir. Tubbs-Cooly vd. (2018) tarafından NASA TLX yöntemi yeni doğan, çocuk ve yetişkin yoğun bakım ünitelerinde görev yapan hemşirelerin öznel iş yüklerini belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlarla sağlık hizmetlerinde çalışanlar için NASA TLX tarafından üretilen sonuçların geçerliliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Sonuçlara göre yoğun bakımda çalışan hemşireler açısından NASA TLX'in 6 boyutundan dördünün toplam iş yükü puanına göre daha güvenilir sonuçlar oldukları belirlenmiştir.

MAIRCA açısından literatür incelendiği zaman ise konuya yönelik çok az sayıda çalışmanın yapıldığı görülmektedir. Gigović vd. (2016) mühimmat depoları için yer seçimi probleminde coğrafik bilgi sistemi (Geographic Information System-GIS) ile çok kriterli karar verme yaklaşımlarını birleştirmişlerdir. Bu kapsamda, altı bölge dokuz kriter dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Kriterlerin önem ağırlıkları Decision Making Trial and Evaluation Laboratory—Analytic Network Process (DEMATEL-ANP) ile belirlenmiştir. Alternatif bölgelerin sıralaması ise

MAIRCA ile gerçekleştirilmiştir. Pamucar vd.(2017) tarafından karar süreçlerindeki belirsizliği modelleyebilmek için aralıklı genel sayılar (interval rough numbers) kullanılarak kriter ağırlıklarını bulmak için DEMATEL-Analitik Ağ Prosesi (Analytic Network Process-ANP) uygulanmıştır. Alternatifleri değerlendirmek için ise MAIRCA'dan faydalanılmıştır. Önerilen yöntem, devlet tarafından gerçekleştirilen kamu ihale prosedüründe istekli firmaların seçim sürecinde kullanılmıştır. Önerilen yöntemden elde edilen sonuçlar TOPSIS, VIKOR, Yaklaşık Sınır Alanının Çok Ölçütlü Karşılaştırması (Multi Attribute Comparison of Border Approximate Area-MABAC), Yinelemeli Çok Ölçütlü Karar Verme (Iterative Multi Criteria Decision Making-TODIM), Gerçekliğin Eliminasyon ve Seçimi 1 (Elimination and Choice Translating Reality English-ELECTRE I) ve DEMATEL-ANP yöntemlerinin bulanık versiyonlarının ürettiği sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Badi ve Ballem (2018) yine genel (rough) sayıları kullanarak En İyi-En Kötü (Best-Worst method-BWM) ve MAIRCA yöntemlerini entegre etmişlerdir. Önerilen yaklaşımı tedarikçi seçim sürecinde kullanmışlardır. Sonuç olarak maliyet, kalite ve firma profilinin en önemli üç kriter olduğu belirlenmiştir. Chattarjee vd. (2018) tarafından yeşil tedarik zinciri yönetim sürecinde genel sayılar (rough numbers) kullanılarak DEMATEL, ANP ve MAIRCA yöntemleri entegre edilmiştir. Kriter ağırlıkları değiştirilerek alternatif sıralamalarındaki farklılaşma Spearman Sıra Korelasyon Katsayısı kullanılarak belirlenmiştir.

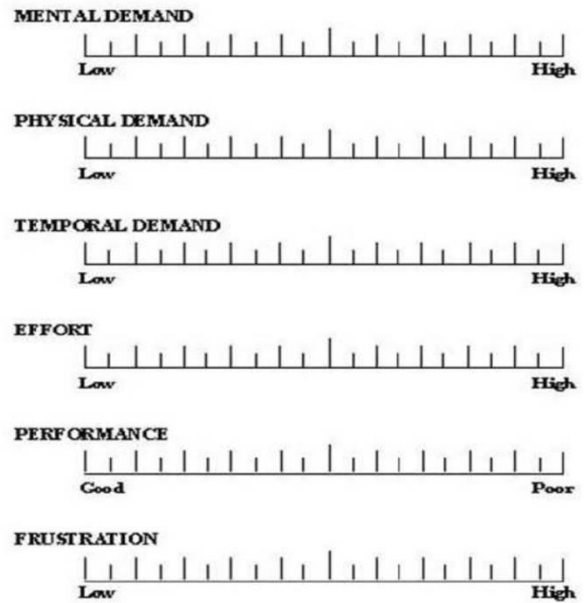
Yöntemlere ilişkin gerçekleştirilen literatür çalışmasından da görüldüğü gibi CRITIC ve MAIRCA yöntemleri hiç bir çalışmada entegre edilmemiş ve ergonomi alanında kullanılmamıştır. Bununla birlikte ÇKKV yaklaşımlarını kullanarak çok boyutlu bir ergonomik risk analizi şu ana kadar gerçekleştirilmemiştir. Çalışmanın bu açılarından literatüre katkı sağlayabileceği değerlendirilmektedir.

3. Yöntem

Çalışmada işgücünün algılanan iş yükü seviyelerini ve sergiledikleri çalışma duruşlarının risk düzeylerini dikkate alan yeni bir ergonomik risk analizi yöntemi önerilmiştir. Bu kapsamda, çalışanların algılanan iş yükü düzeylerinin belirlenmesinde NASA TLX ölçeği kullanılmış, çalışma duruşları ise REBA ile değerlendirilmiştir. NASA TLX ve REBA'dan elde edilen sonuçlar CRITIC-MAIRCA yöntemlerinin birleştirilmesi sonucu geliştirilen ÇKKV yaklaşımı ile çalışanların bütünlük ergonomik risk düzeylerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. İlerleyen bölümlerde, NASA TLX, REBA yöntemlerine ilişkin özet bilgiler ve önerilen yaklaşımın uygulama adımları yer almaktadır.

3.1. National Aeronautics and Space Administration Task Load Index (NASA TLX)

NASA TLX, Hart ve Staveland tarafından 1988 yılında geliştirilmiştir. NASA TLX ölçeğinde algılanan iş yükü altı farklı boyuta ayrılarak incelenmektedir. Bu boyutlar işle ilgili; zihinsel gereklilikler (mental demand-MD), fiziksel gereklilikler (physical demand-PD), çaba düzeyi (effort-EF), performans düzeyi (performance-PR), zaman baskısı (temporal demand-TD) ve başarısızlık hissi (frustration-FR) boyutlarıdır (Hart and Staveland, 1988). NASA TLX ölçeği iki aşamadan oluşmaktadır (Hart and Staveland, 1988). Şekil 1'de gösterilen birinci aşamada çalışanlar, altı farklı boyut açısından hissettikleri iş yükünü ilk olarak 0-100 arasında puanlarlar. Tablo 1 ile verilen ikinci aşamada ise bütün boyutlar ikili karşılaştırmaya tabi tutulur. İkili karşılaştırmada amaç, çalışan açısından herhangi iki boyuttan hangisinin işinde daha baskın veya kendisini zorlayıcı olduğunun belirlenmesidir. Bu kapsamda altı boyutu içeren 15 adet ikili karşılaştırma yapılmaktadır ve çalışanlar tarafından diğer boyuta göre daha çok zorlayıcı olduğunu düşündükleri boyut işaretlenmektedir. Buna göre her bir boyutun 15 karşılaştırma içerisinde kaç defa baskın olarak seçildiği belirlenmektedir. Bu belirlemeden sonra her bir boyutun ağırlığı Eşitlik (1) ile hesaplanmaktadır.



Şekil 1. NASA TLX ölçeği birinci bölüm
(https://www.researchgate.net/figure/NASA-TLX-Rating-Scales_fig6_38006895, 02.10.2018)

Tablo 1. NASA TLX ölçeği ikinci bölüm

| Alt Boyutlar | Alt Boyutlar |
|-----------------|-----------------|
| Effort | Performance |
| Temporal Demand | Effort |
| Performance | Frustration |
| Physical Demand | Performance |
| Temporal Demand | Frustration |
| Physical Demand | Frustration |
| Physical Demand | Temporal Demand |
| Temporal Demand | Mental Demand |
| Frustration | Effort |
| Performance | Temporal Demand |
| Mental Demand | Physical Demand |
| Frustration | Mental Demand |
| Performance | Mental Demand |
| Mental Demand | Effort |
| Effort | Physical Demand |

$$W_x = \frac{F_x}{\sum_{x=1}^6 F_x} \quad (1)$$

Burada;

W_x ; $x = MD, PD, TD, FR, EF, PR$ olmak üzere algılanan iş yükünün altı boyutunu göstermektedir.

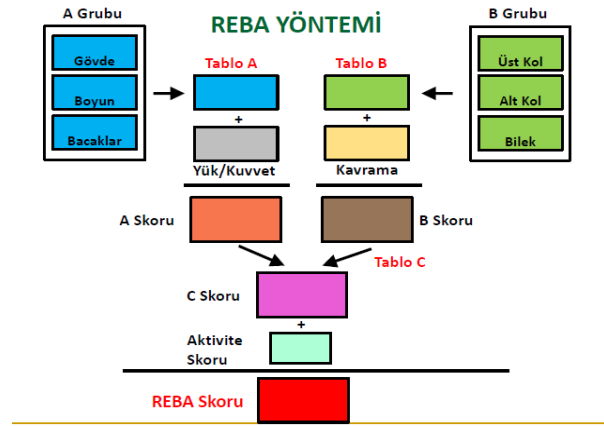
F_x ; $x = MMD, PD, TD, FR, EF, PR$ olmak üzere algılanan iş yükünün her bir boyutuna ilişkin baskın olma sıklığını göstermektedir.

Her bir boyutun ağırlık değeri hesaplandıktan sonra toplam algılanan iş yükü puanının (TLX) elde edilmesi için Eşitlik (2) kullanılır.

$$TLX = S_{MD} \times W_{MD} + S_{PD} \times W_{PD} + S_{TD} \times W_{TD} + S_{FR} \times W_{FR} + S_{EF} \times W_{EF} + S_{PR} \times W_{PR} \quad (2)$$

3.3. Hızlı Tüm Vücut Değerlendirme (Rapid Entire Body Assessment-REBA)

REBA, Hignett ve McAttamney tarafından 2004 yılında geliştirilmiştir. REBA yöntemi, bir çalışma duruşu esnasında gövdede, boyunda, bacaklarda, üst kollarda, alt kollarda ve bileklerde sergilenen duruşlara ve bu duruşlar esnasında çalışanın maruz kaldığı yüklerle, yüklerle çalışanın etkileşimine ve sergilenen duruşun statik veya dinamik olmasına bağlı olarak duruşların risk seviyelerini belirleyen bir yöntemdir (Hignett ve McAttamney, 2004).

**Şekil 2. REBA uygulama adımları**

(<http://www.ergometri.com/ergonomi/ergonomik-risk-analiz-yontemleri.html>, 03.10.2018)

Şekil 2 ile verilen REBA uygulama adımlarına bakıldığı zaman vücudun A grubu ve B grubu olmak üzere iki gruba ayrılarak incelendiği görülmektedir (Hignett ve McAttamney, 2004). A grubunda gövde, boyun ve bacak bölümlerinin açıl ve opsiyonel duruşları skorlarla değerlendirilirken, B grubunda ise üst kol, alt kol ve bilek bölümlerine ait açıl ve opsiyonel duruşlar değerlendirilmektedir. A grubundaki vücut bölümlerinin her birinden elde edilen skor değerleri Tablo A'da karşılaştırılmakta ve tek bir skor değerine indirgenmektedir. Bu değer üzerine yük/kuvvet skoru eklenerek A skoru elde edilmektedir. B grubundaki vücut bölümlerinin her birine atanan skorlar ise Tablo B'de karşılaştırılmakta ve tek bir skor değerine indirgenmektedir. Bu skor, kavrama skoru ile toplanarak B skoru elde edilmektedir. Daha sonra A skoru ve B skoru Tablo C'de karşılaştırılarak C skoru elde edilmektedir. C skorunun üzerine aktivite skoru eklenmekte ve REBA skoru elde edilmektedir. Elde edilen REBA skoru Tablo 2'de verilen skor aralıklarına göre değerlendirilmektedir (Hignett ve McAttamney; 2000).

Tablo 2. REBA eylem seviyeleri

| REBA Skoru | Risk Düzeyi |
|------------|---|
| 1 | Önemsiz risk |
| 2-3 | Düşük risk, iyileştirme gerekebilir. |
| 4-7 | Orta düzeyde risk. Daha fazla araştırma yapılmalıdır. Kısa zamanda iyileştirme gerekir. |
| 8-10 | Yüksek risk. Araştırma yapılıp hemen uygulanmalıdır. |
| 11-15 | Çok yüksek risk. Hemen iyileştirme yapılmalıdır. |

3.4. Önerilen Yöntem

Çalışanların gerçekleştirdikleri işlere bağlı olarak ortaya çıkan algılanan iş yükü ve sergiledikleri çalışma duruşları dikkate alınarak ergonomik risk düzeylerinin değerlendirilmesi sürecinde etkili olan kriterlerin önem ağırlıklarının belirlenmesinde kriterler arası Korelasyona Yönelik Kriterlerin Önem Ağırlıklarının Belirlenmesi (CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation-CRITIC) yöntemi kullanılmıştır. Çalışanların ergonomik risk düzeylerine göre sıralanmasında ise Çok Ölçütlü İdeal- Gerçek Karşılaştırma Analizi (MultiAttributive Ideal-Real Comparative Analysis-MIACRA) uygulanmıştır. Bu sıralamadaki amaç, en yüksek riske sahip çalışan ya da çalışanları belirleyerek iyileştirme faaliyetlerini öncelikle söz konusu kişilerin çalıştıkları alanlarda gerçekleştirmektir. Önerilen yaklaşıma ilişkin uygulama adımları aşağıda yer almaktadır.

Birinci Aşama: Kriterlerin Önem Ağırlıklarının Belirlenmesi

Bu amaçla kullanılan CRITIC yöntemi, Diakoulaki vd. (1995) tarafından geliştirilmiştir. CRITIC yöntemine ilişkin uygulama adımları aşağıda yer almaktadır (Diakoulaki vd., 1995; Kılıç ve Çerçioğlu, 2016; Ulutaş ve Cengiz, 2018).

Adım 1.1. Karar matrisini oluştur.

Karar matrisini oluşturan kriterler, $C_j; j = 1, 2, \dots, n$ ve alternatifler $A_i; i = 1, 2, \dots, m$ ile gösterilir ve karar matrisi X , Eşitlik (3)'teki gibi alternatiflerin kriterlere göre aldıkları değerleri gösterir.

$$X = [x_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Burada;

x_{ij} : i . alternatifin j . kriterine göre değeridir.

Adım 1.2. Karar matrisini normalize et.

Karar matrisinin elemanları fayda ve maliyet türü kriterler için sırasıyla Eşitlik (4) ve (5) kullanılarak normalize edilir.

$$\text{Fayda kriteri için } r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (4)$$

$$\text{Maliyet kriteri için } r_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (5)$$

Burada;

r_{ij} : x_{ij} değerlerinin normalize edilmiş değerlerini

x_j^{\min} : j . kriterin alternatiflere göre en küçük değerini

x_j^{\max} : j . kriterin alternatiflere göre en büyük değerini göstermektedir.

Çalışmada dikkate alınan kriterler, maliyet türü kriterler olduğu için normalizasyonda Eşitlik (5)'deki formül kullanılmıştır. Çünkü algılanan iş yükü ve

çalışma duruşu risk seviyesinin her zaman en küçüklenmesi istenir.

Adım 1.3. Kriterler arasındaki ilişki düzeyini ve kriterlere ait toplam bilgiyi belirle.

Kriterler arasındaki ilişki düzeyinin belirlenmesi için normalize karar matrisi üzerinden çoklu korelasyon katsayıları hesaplanır ve $n \times n$ tipinde korelasyon matrisi elde edilir. Çalışmada kriterler arasındaki ilişkinin hesaplanması için Eşitlik (6)'da verilen Spearman korelasyon katsayısı kullanılmıştır.

$$\rho_{jk} = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^m d_i^2}{n(n^2-1)} ; j, k = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

Kriterdeki toplam bilgi S_j olarak gösterilir ve Eşitlik (7) ile hesaplanır.

$$S_j = \sigma_j \sum_{k=1}^n (1 - \rho_{jk}), j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

Burada;

σ_j standart sapmadır ve Eşitlik (8) ile elde edilir.

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2}{m}} \quad (8)$$

Adım 1.4. Kriter ağırlıklarını bul.

Kriter ağırlıkları (w_j), Eşitlik (9) ile elde edilir.

$$w_j = \frac{S_j}{\sum_{k=1}^n S_k}, j = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

İkinci Aşama: Alternatiflerin Sıralanması

Bu kapsamda kullanılan MAIRCA yöntemi, Pamučar vd. (2014) tarafından alternatiflerin, teorik ve gerçek tercih edilme düzeyleri arasındaki farkın belirlenmesi varsayımına dayanarak alternatiflerin sıralanması için önerilmiştir. Aşağıda MAIRCA yöntemine ait uygulama adımları yer almaktadır (Gigović vd., 2016).

Adım 2.1. Karar matrisini oluştur.

Karar matrisi birinci aşamada Eşitlik (3)'te yer alan matristir.

Adım 2.2. Her bir alternatifin seçilme olasılıklarını belirle.

Yöntemde karar sürecinin başlangıç aşamasında karar vericiler açısından bütün alternatiflerin eşit seçilme olasılığına sahip olduğu varsayılır. Bu kapsamda m alternatiften birisi karar verici tarafından Eşitlik (10)'daki gibi tercih edilir.

$$P_{A_i} = \frac{1}{m} ; \sum_{i=1}^m P_{A_i} = 1 ; i = 1, 2, \dots, m \quad (10)$$

Burada;

m , toplam alternatif sayısı olmak üzere,

$P_{A_1} = P_{A_2} = \dots = P_{A_m}$ 'dir.

Adım 2.3. Teorik değerlendirme matrisini oluştur.

Teorik değerlendirme matrisi T_p , P_{A_i} ve w_j değerlerinin çarpımı ile Eşitlik (11)'deki gibi elde edilir.

$$T_p = \begin{matrix} & w_1 & w_2 & \cdots & w_n \\ \begin{matrix} P_{A_1} \\ P_{A_2} \\ \vdots \\ P_{A_m} \end{matrix} & \begin{bmatrix} t_{p11} & t_{p12} & \cdots & t_{p1n} \\ t_{p21} & t_{p22} & \cdots & t_{p2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ t_{pm1} & t_{pm2} & \cdots & t_{pmn} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$= \begin{bmatrix} P_{A_1} w_1 & P_{A_1} w_2 & \cdots & P_{A_1} w_n \\ P_{A_2} w_1 & P_{A_2} w_2 & \cdots & P_{A_2} w_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{A_m} w_1 & P_{A_m} w_2 & \cdots & P_{A_m} w_n \end{bmatrix} \quad (11)$$

Teorik değerlendirme matrisinin her bir elemanı t_{pij} olarak gösterilir. n , toplam kriter sayısı ve t_{pi} teorik değerlendirme olmak üzere, T_p matrisi Eşitlik (12)'deki gibi de ifade edilebilir.

$$T_p = P_{A_i} [t_{p1} \quad t_{p2} \quad \cdots \quad t_{pn}]$$

$$= [P_{A_i} w_1 \quad P_{A_i} w_2 \quad \cdots \quad P_{A_i} w_n], i = 1, 2, \dots, m \quad (12)$$

Adım 2.4. Reel değerlendirme matrisini oluştur.

n , kriter sayısı ve m , alternatif sayısı olmak üzere reel değerlendirme matrisi (T_r), teorik değerlendirme matrisi (T_p) ile Eşitlik (5)'de bulunan normalize edilmiş karar matrisinin çarpımı ile elde edilir.

t_{rij} ile gösterilen T_r reel değerlendirme matrisinin elemanları Eşitlik (13) ile hesaplanır.

$$t_{rij} = t_{pij} \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

Adım 2.5. Toplam fark matrisini oluştur.

Toplam fark matrisinin elemanları g_{ij} , $i = 1, 2, \dots, m$ ve $j = 1, 2, \dots, n$ olmak üzere Eşitlik (14) ile elde edilir.

$$G = T_p - T_r, g_{ij} \in [0, (t_{pij} - t_{rij})] \quad (14)$$

$$g_{ij} = \begin{cases} 0, & t_{pij} = t_{rij} \\ t_{pij} - t_{rij}, & t_{pij} > t_{rij} \end{cases}$$

Adım 2.6. Alternatifler için kriter fonksiyon değerini hesapla.

Alternatifler için kriter fonksiyonu Q_i olmak üzere;

$$Q_i = \sum_{j=1}^n g_{ij}, i = 1, 2, \dots, m \quad (15)$$

ile hesaplanır.

4. Önerilen Yöntemin Meyve Suyu Üreten Bir Firmada Uygulaması

4.1. Katılımcılar

Çalışmada, bir meyve suyu fabrikasında çalışan 219 operatör ergonomik risk düzeyleri açısından değerlendirilmiştir. Çalışmanın gerçekleştirilmesi için

ilgili fabrikada 1 hafta boyunca gözlem yapılmıştır. 219 operatörün hepsi son gözlem gününün vardiya bitiminde NASA TLX anketini doldurmuşlardır. Anketi doldurmadan önce NASA TLX'e ilişkin kısa bir bilgi kendilerine çalışmanın araştırmacıları tarafından verilmiştir. Operatörlerin ankete ilişkin herhangi bir sorularının olup olmadığı kendilerine sorulmuştur. Bununla birlikte araştırmacılar tarafından örnek olması açısından bir anket doldurularak operatörlerin konuyu daha iyi anlamaları sağlanmıştır. Doldurulan anketlerde katılımcıyı tanımlayan hiçbir soru sorulmamıştır. Anket, cinsiyet, deneyim süresi ve yaş bilgileri ile NASA TLX'in iki aşamasını içermektedir. Anketleri cevaplama işlemi bittikten sonra üretim alanında belirlenen ortak bir noktaya bir kutu koyularak anketlerin bu kutu içerisinde toplanması sağlanmıştır. Böylece, elden verme durumu ve yüz yüze gelme durumları da ortadan kaldırılmıştır. Bir haftalık gözlem sürecinde operatörler tarafından en çok zorlandıkları belirtilen çalışma duruşlarının REBA ile analizi de gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar tarafından anlık gözlemlerde bilgi kaybı olacağı düşünüldüğü için operatörler tarafından belirtilen duruşların fotoğrafları çekilmiş ve sonrasında bu fotoğraflar üzerinden değerlendirme yapılmıştır. REBA analizleri vücudun hem sağ hem de sol tarafı için gerçekleştirilmiştir. Operatörler arasında, birden fazla duruş için zorlandığını ifade edenler olmuştur. Söz konusu duruşların hepsi incelenmiş ancak analiz kapsamına risk düzeyi en yüksek çıkan duruşlar alınmıştır. Bu kapsamda 219 operatörün 219 farklı duruşu analiz edilmiştir. Analiz kapsamına alınan 219 operatöre ilişkin demografik bilgiler ve frekans dağılımları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Yaş ve Cinsiyet Dağılımı

| Yaş | Cinsiyet | | Genel Toplam |
|---------------------|-----------|------------|--------------|
| | Kadın | Erkek | |
| 18-25 | 1 | 44 | 45 |
| 26-33 | 4 | 50 | 54 |
| 34-41 | 0 | 25 | 25 |
| 42-49 | 5 | 53 | 58 |
| 50+ | 0 | 37 | 37 |
| Genel Toplam | 10 | 209 | 219 |

Tablo 3'den de görüldüğü gibi 219 katılımcıdan 209'unun erkek 10'unun kadın olduğu görülmektedir. Yaş gruplarına bakıldığında ise operatörlerin büyük çoğunluğunun 42-49 yaş aralığında oldukları belirlenmiştir. Operatörlere ilişkin deneyim süresi ve cinsiyet bilgileri Tablo 4'de sunulmuştur.

Tablo 4. Deneyim yılı ve Cinsiyet Dağılımı

| Deneyim (a,b) | Cinsiyet | | Genel Toplam |
|---------------------|-----------|------------|--------------|
| | Kadın | Erkek | |
| 0 - 1 | 2 | 50 | 52 |
| 1-3 | 2 | 37 | 39 |
| 3-6 | 0 | 12 | 12 |
| 6-9 | 2 | 26 | 28 |
| 9-12 | 2 | 18 | 20 |
| 12-15 | 1 | 29 | 30 |
| 15 üstü | 1 | 37 | 38 |
| Genel Toplam | 10 | 209 | 219 |

Tablo 4’de görüldüğü gibi 219 çöperatörün 116’sının (%53) 6 yıldan fazla iş deneyimine sahiptir.

4.2. Önerilen Yöntem ile Ergonomik Risk Analizinin Yapılması

Operatörlerin gerçekleştirdikleri işlere bağlı olarak ortaya çıkan algılanan iş yükü ve sergiledikleri çalışma duruşları kapsamında ergonomik risk düzeylerinin değerlendirilmesi için Tablo 5’de gösterilen 24 kritere göre analizleri gerçekleştirilmiştir. 24 kriterin 6 tanesi NASA TLX yöntemi ile analiz edilen algılanan iş yükünün altı alt boyutunu oluşturmaktadır. 18 tanesi ise REBA kapsamında değerlendirilen vücut bölümleri, kuvvet uygulaması/yük maruziyeti, eşleşme kalitesi ve aktivite skorundan oluşturmaktadır.

Tablo 5. Ana ve Alt Kriterler

| Ana Kriter Tanımı | Alt Kriter | Tanım |
|-------------------|-----------------|------------------------|
| Algılanan iş yükü | C ₁ | Zihinsel Gereklilik |
| | C ₂ | Fiziksel Gereklilik |
| | C ₃ | Zaman Baskısı |
| | C ₄ | Başarısızlık Hissi |
| | C ₅ | Performans |
| | C ₆ | Çaba |
| | C ₇ | Üst Kollar (sağ) |
| | C ₈ | Alt Kollar (sağ) |
| | C ₉ | Bilek (sağ) |
| | C ₁₀ | Kuvvet/yük skoru (sağ) |
| Çalışma duruşu | C ₁₁ | Boyun (sağ) |
| | C ₁₂ | Gövde (sağ) |
| | C ₁₃ | Bacak (sağ) |
| | C ₁₄ | Üst Kollar (sol) |
| | C ₁₅ | Alt Kollar (sol) |
| | C ₁₆ | Bacak (sol) |
| | C ₁₇ | Bilek (sol) |
| | C ₁₈ | Aktivite skoru (sağ) |
| | C ₁₉ | Aktivite skoru (sol) |
| | C ₂₀ | Eşleşme (sağ) |
| | C ₂₁ | Eşleşme (sol) |
| | C ₂₂ | Kuvvet/yük skoru (sol) |
| | C ₂₃ | Boyun (sol) |
| | C ₂₄ | Gövde (sol) |

Uygulamanın gerçekleştirildiği meyve suyu üretimi yapan fabrikada operatörler ayıklama, yıkama, sınıflama, sap ayırma/çekirdek ayıklama, meyve parçalama, mayşenin ısıtılması, presleme, durultma, filtrasyon ve pastörizasyon aşamalarında çalışmaktadır. Aşağıda bu aşamalara ilişkin bilgiler verilmektedir.

Ayıklama: Fabrikaya gelen meyveler, içindeki yaprak, sap gibi yabancı maddeler ile çürük, ezik ve küflü olanlarından ayrılır. Bu arada, ham olanların da seçilmesi gerekir. Ayıklama yürüyen bantlarda işçiler tarafından yapılır. Uygulamanın yapıldığı firmada bu bölümde 29 operatör çalışmaktadır.

Yıkama: Yıkama, ürünün toz, toprak, yaprak ve kırıntılarının uzaklaştırılması için yapılır. Ayrıca, mikroorganizma yükü de azalır. Genelde meyve ağırlığının 2-3 katı fazlası yıkama suyu gerekir. Su sıcaklığı arttıkça yıkama etki artsa da, aroma kaybının önlenmesi için su sıcaklığının 35 derecenin altında tutulması gerekir. Bu işlemin gerçekleştiği yıkama makinelerinde püskürtme ve çalkalama düzenli olmalıdır. Firmada bu bölümde 20 operatör çalışmaktadır.

Sınıflama: Turunçgillerde iriliğe göre bir ayırma yapmak gerekir. Firmada bu bölümde 35 operatör çalışmaktadır.

Sap ayırma, çekirdek çıkarma: Üzüm, vişne vs. gibi zorunlu olarak sapları ile elde edilen meyvelerin sapları, işlenmeden önce özel makinelerde ayrılır. Aksi halde saptan geçerek fenollü maddeler ve klor gibi bileşikler meyve suyunun tadını bozar. Çekirdek çıkarma işlemi, sadece pulpa işlenecek şeftali, kayısı ve erik gibi sert çekirdekli meyvelere uygulanır. Firmada bu bölümde 38 operatör çalışmaktadır.

Meyvenin parçalanması: Meyvenin parçalanması özel meyve değirmenlerinde yapılır. Meyve değirmenleri, işlenen meyve çeşidine göre farklı yapıdadır. Domates ve yumuşak meyveler döner bıçaklarda, elma gibi sert meyveler de özel kıyma makinelerin da parçalanır. Meyvelerin öğütülmesi çok ince olursa presleme ve durultma güçleşir, kaba olursa da meyve suyu randımanı düşer. Bu nedenle bu işlem itina ile yapılır. Firmada bu bölümde 32 operatör çalışmaktadır.

Mayşenin ısıtılması: Parçalanmış meyveye mayşe denir. Mayşenin ısıtılması ile enzimler inaktif hale getirilir, böylece meyve suyu randımanı artar. Isıtılan renkli üzüm, vişne gibi meyvelerin kabuklarındaki renk maddeleri meyve suyuna geçer. Mikroorganizma yükü de artar. Firmada bu bölümde 23 operatör çalışmaktadır.

Presleme: Presleme ile mayşedeki sıvı faz, meyve suyu olarak ayrılır. Presler, paketli, pnomatik, vidalı veya bant tipi olabilir. Firmada bu bölümde 18 operatör çalışmaktadır.

Durultma: Preslenen meyve suyu bu haliyle de şişlenebilir, fakat görünüşünü daha cazip kılmak için

genelde durultma yapılır. Meyve suyunda bulanıklık yapan etmenler (meyve parçacıkları, parçalanmış hücreler ve diğer koloidal parçalardır), meyve suyundaki pektin nedeni ile dibe çökmez. Bu bakımdan pektinler, pektolitik enzimler katılarak parçalanır. 3-4 saat sonra da jelatin çözeltisi (yaklaşık % 10'luk) katılarak bulanıklık yapan parçalar bir araya getirilip çöktürülür. Üstte kalan berrak kısım filtre edilir. Firmada bu bölümde 12 operatör çalışmaktadır.

Filtrasyon: Berrak meyve suyunun içinde bulanıklık yapan parçalar, filtrasyonla ayrılır. Ancak meyve suyu fazlaca bulanıklık unsurları içeriyorsa o zaman önce bir seperatörden geçirilerek kaba parçalara ayrılır. Sonra filtre edilir. Firmada bu bölümde 12 operatör çalışmaktadır.

Pastörizasyon ve Paketleme: Meyve suyu elde edildikten sonra hemen ısıtma işlemi uygulanarak dayanıklı hale getirilir ve steril ambalaj kaplarına doldurulur veya şişelenip ağzaları kapatıldıktan sonra ısıya arz edilir. Bazı hallerde meyve suları, kimyasal katkıları kullanılarak ve ek filtrelerinden geçirilerek de dayanıklı hale getirilebilirler. Firmada bu bölümde 29 kişi çalışmaktadır.

Kampanya döneminde kısa sürede fazla miktarda meyve işleme zorunluluğu olduğu için elde edilen ürünün ambalajlanması sorun yaratır. Bu nedenle filtrasyondan ve ısıtma işleminden sonra meyve suyu konsantre edilerek hacmi azaltılır. Sonra da kış aylarında tekrar orijinal kıvamına kadar su katılarak ambalajlanır. Ana konsantrasyon sırasında meyve suyunun aromasının da ayrılıp sınıflandırma sırasında tekrar katılması gerekir.

Çalışanların ergonomik risk düzeylerine göre sıralanması işleminden önce NASA TLX anketinden elde edilen algılanan iş yükünün altı alt boyutu için frekans dağılımları oluşturulmuştur. 219 çalışan üzerinde yapılan anket sonucunda altı alt boyut için zihinsel yük boyutunda 85 kişi (%39), fiziksel yük boyutunda 137 (%63), zaman baskısı boyutunda 212 (%97), başarısızlık hissi boyutunda 160 (%73), çaba boyutunda 208 (%95) ve performans boyutunda operatörlerin tamamının 50 ve üzerinde puan verdikleri görülmüştür.

Çalışma duruşlarına ilişkin analizde, REBA kapsamında değerlendirilen vücut bölümleri için puan dağılımları da elde edilmiştir. Ölçülen en yüksek risk skorları aşağıda verilmiştir.

Üst kolda (sağ) 21 (%10) kişinin 4 puan, alt kolda (sağ) 39 (%18) kişinin 3 puan, bilekte (sağ) 87 (%40) kişinin 4 puan, boyunda (sağ) 27 (%12) kişinin 4 puan, gövdede (sağ) 207 (%95) kişinin 3 puan, bacakta (sağ) 10 (%5) kişinin 2 puan, üst kolda (sol) 98 (%45) kişinin 4 puan ve 18 (%8) kişinin 5 puan, alt kolda (sol) 102 (%47) kişinin 3 puan, bilekte(sol) 161 (%74) kişinin 4 puan, boyunda (sol) 5 kişinin (%2) 4 puan, gövdede (sol) 197 (%89) kişinin 3 puan ve 22 (%11) kişinin 4 puan, bacakta (sol) 10 kişinin (%5) 2 puan

aldıkları görülmüştür.

Aşağıda ergonomik risk düzeylerinin sıralanmasına için önerilen yöntemin uygulanmasına yönelik adımlar yer almaktadır.

Birinci Aşama: Kriterlerin Önem Ağırlıklarının Belirlenmesi

Adım 1.1. Karar matrisini oluştur.

C_j 'ler kriterler ($j = 1, 2, \dots, 24$), A_i 'ler alternatifler ($i = 1, 2, \dots, 219$) ve x_{ij} : i . alternatifin j . kriterdeki değeri olmak üzere Eşitlik (3) kullanılarak Eşitlik (16)'daki gibi karar matrisi oluşturulmuştur.

$$X = [x_{ij}]_{219 \times 24} = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & C_3 & \dots & C_{24} \\ A_1 & \begin{bmatrix} 9.33 & 0.00 & 13.33 & \dots & 3.00 \\ 23.33 & 10.67 & 13.33 & \dots & 3.00 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1.33 & 0.00 & 13.33 & \dots & 4.00 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (16)$$

Adım 1.2. Karar matrisini normalize et.

Eşitlik (5) kullanılarak Eşitlik (17)'deki normalize edilmiş karar matrisi bulunmuştur.

$$[r_{ij}]_{219 \times 24} = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & C_3 & \dots & C_{24} \\ A_1 & \begin{bmatrix} 0.72 & 1.00 & 0.60 & \dots & 1.00 \\ 0.30 & 0.62 & 0.60 & \dots & 1.00 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0.96 & 1.00 & 0.60 & \dots & 0.00 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (17)$$

Adım 1.3. Kriterler arasındaki ilişki düzeyini ve kritere ait toplam bilgiyi belirle.

Eşitlik (6) kullanılarak Spearman korelasyon katsayıları hesaplanmış ve Eşitlik (18)'deki gibi korelasyon matrisi elde edilmiştir.

$$\rho = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & C_3 & \dots & C_{24} \\ C_1 & \begin{bmatrix} 1.000 & 0.012 & -0.075 & \dots & 0.085 \\ 0.012 & 1.000 & -0.047 & \dots & 0.062 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0.085 & 0.062 & 0.016 & \dots & 1.000 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (18)$$

Sonrasında Eşitlik (7) kullanılarak her bir kriter için toplam bilgi ve Eşitlik (9) kullanılarak ise kriter ağırlıkları bulunmuştur. Kriter ağırlıkları (w_j) ve her bir kriter için toplam bilgi (S_j) Tablo 6'da yer almaktadır.

Tablo 6. Her bir Kriter için Toplam Bilgi ve Kriter Ağırlıkları

| Kriterler | w_j | S_j |
|-----------|----------|-----------|
| C_1 | 0.045156 | 5.961962 |
| C_2 | 0.041625 | 5.495777 |
| C_3 | 0.038736 | 5.114296 |
| C_4 | 0.047502 | 6.271635 |
| C_5 | 0.047144 | 6.224374 |
| C_6 | 0.030168 | 3.983117 |
| C_7 | 0.039311 | 5.190151 |
| C_8 | 0.036243 | 4.785091 |
| C_9 | 0.067205 | 8.872972 |
| C_{10} | 0.000000 | 0.000000 |
| C_{11} | 0.061071 | 8.063096 |
| C_{12} | 0.037548 | 4.957493 |
| C_{13} | 0.034506 | 4.555783 |
| C_{14} | 0.053151 | 7.017535 |
| C_{15} | 0.087995 | 11.617885 |
| C_{16} | 0.034506 | 4.555783 |
| C_{17} | 0.041492 | 5.478215 |
| C_{18} | 0.079959 | 10.556928 |
| C_{19} | 0.079959 | 10.556928 |
| C_{20} | 0.000000 | 0.000000 |
| C_{21} | 0.000000 | 0.000000 |
| C_{22} | 0.000000 | 0.000000 |
| C_{23} | 0.046610 | 6.153881 |
| C_{24} | 0.050112 | 6.616209 |

İkinci Aşama: Alternatiflerin Sıralanması

İkinci aşamada CRITIC yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları, MAIRCA yönteminde girdi olarak kullanılmış ve operatörler ergonomik risk düzeyleri açısından sıralanmıştır.

Adım 2.1. Karar matrisini oluştur.

MAIRCA yönteminin ilk adımındaki karar matrisi Eşitlik (17)'de yer alan matristir.

Adım 2.2. Her bir alternatifin seçilme olasılıklarını belirle.

İkinci adımda m alternatiften birini seçme olasılığı Eşitlik (10)'daki gibi hesaplanır. Buna göre;

$$P_{A_i} = \frac{1}{m} = \frac{1}{219} = 0.004566 ; \sum_{i=1}^{219} P_{A_i} = 1 ; i = 1, 2, \dots, 219$$

olmaktadır.

Adım 2.3. Teorik değerlendirme matrisini oluştur.

Eşitlik (11) ve (12) kullanılarak teorik değerlendirme matrisi Eşitlik (19)'daki gibi edilmiştir.

$$T_p = 0.004566 [0.045156 \ 0.041625 \ \dots \ 0.050112]$$

$$T_p = \begin{bmatrix} 0.000206 & 0.000190 & \dots & 0.000229 \\ 0.000206 & 0.000190 & \dots & 0.000229 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0.000206 & 0.000190 & \dots & 0.000229 \end{bmatrix} \quad (19)$$

Adım 2.4. Reel değerlendirme matrisini oluştur.

Teorik değerlendirme matrisi (T_p) ile Eşitlik (5) kullanılarak edilen normalize edilmiş karar matrisinin çarpılması ile reel değerlendirme matrisi Eşitlik (20)'deki gibi oluşturulmuştur.

$$T_r = \begin{bmatrix} 0.000148 & 0.000190 & \dots & 0.000229 \\ 0.000061 & 0.000118 & \dots & 0.000229 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0.000197 & 0.000190 & \dots & 0.000000 \end{bmatrix} \quad (20)$$

Adım 2.5. Toplam fark matrisini oluştur.

Toplam fark matrisi (G), Eşitlik (14) kullanılarak (21)'deki gibi elde edilmiştir.

$$G = \begin{bmatrix} 0.000058 & 0.000000 & \dots & 0.000000 \\ 0.000144 & 0.000072 & \dots & 0.000000 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0.000009 & 0.000000 & \dots & 0.000229 \end{bmatrix} \quad (21)$$

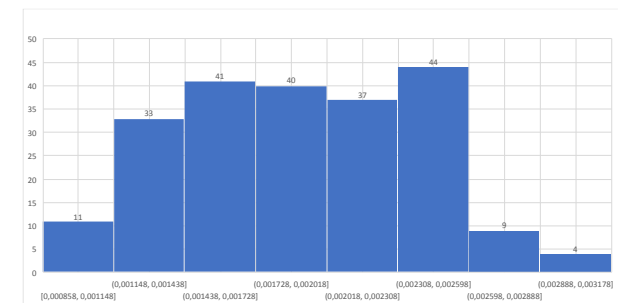
Adım 2.6. Alternatifler için kriter fonksiyon değerini hesapla.

Eşitlik (15) ile elde edilen kriter fonksiyonu Q_i değerlerinin küçükten büyüğe sıralaması Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Kriter Fonksiyonu Değerleri (Q_i)

| Sıra No | Kişi No | Q_i |
|----------|----------|----------|
| 1 | 2 | 0.000858 |
| 2 | 9 | 0.000889 |
| 3 | 4 | 0.000891 |
| 4 | 8 | 0.000913 |
| 5 | 1 | 0.000917 |
| \vdots | \vdots | \vdots |
| 215 | 215 | 0.002863 |
| 216 | 217 | 0.002905 |
| 217 | 58 | 0.002943 |
| 218 | 219 | 0.002983 |
| 219 | 218 | 0.003148 |

Tablo 7'De gösterilen değerler Şekil 1'deki histograma aktarılmıştır.

**Şekil 3. Kriter Fonksiyonu Değerlerine (Q_i) İlişkin Histogram**

Şekil 3'den de görüldüğü gibi ergonomik risk düzeyi açısından operatörler sekiz sınıfta toplanmışlardır. 0.000858 ile 0.001148 arası birinci sınıf ve 0.002888 ile 0.003178 arası sekizinci sınıf olarak

adlandırıldığında en fazla operatörün (44) altıncı sınıftaki risk düzeyine sahip olduğu görülmektedir.

5. Sonuçlar

Operatörlerin sıralamalarına bakıldığı zaman en yüksek ergonomik risk düzeyine sahip olan 4 operatörün paketleme ve ayıklama departmanlarında olduğu görülmüştür. Bu operatörlerden 2 tanesi paketleme ve 2 tanesi ayıklama bölümünde çalışmaktadır. Paketleme bölümünde operatörler, manuel olarak ve sürekli ayakta durarak konveyör üzerinde hareket eden şişelerin üzerine firmanın marka etiketini yapıştırılmaktadırlar. Söz konusu etiketleme işini gerçekleştirirken operatörler belden eğilmiş bir pozisyonda ve hatta hareket eden şişelere yakın bir konumda durmak zorunda kalmaktadırlar. Buna göre sürekli eğilmiş bir pozisyonda çalışmak bel ve sırt ağrılarına sebep olmakla birlikte, etiketleme işinde fazla zorlandıkları algısını da oluşturmaktadır.

Ayıklama bölümünde ise yaprak, sap gibi malzemeler ve çürükler, ezikler ayrılmaktadır. Bu bölümde yine ayakta durarak ve sürekli kasalarla gelen meyvelere uzanıp almak kaydı ile hat üzerine ayıklanan meyveleri koymaktadırlar. Yine bu işte, eller, kollar, gövde ve bacaklar yoğun olarak çalışmaktadır. En yüksek ilk üç seviyedeki ergonomik risk sınıfı dışındaki diğer sınıflar için düşünüldüğünde, fabrikada çalışan operatörlerin %73,5'inin düşük ergonomik risk seviyesine sahip olduğu söylenebilir. Bu durumun meyve suyu üretim aşamalarının büyük bir kısmının otomasyona dayalı bir şekilde ilerletilmesinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

En yüksek sıklıkla 44 kişinin bulunduğu altıncı ergonomik risk sınıfında ise yıkama, sınıflama, sap ayırma, çekirdek çıkarma işlemlerinde çalışan operatörlerin bulunduğu görülmektedir. Bakıldığı zaman bu operatörlerin 9 tanesinin yıkamada, 10 tanesinin sınıflamada, 12 tanesinin sap ayırmada, 11 tanesinin ise çekirdek çıkarmada çalıştığı belirlenmiştir. İncelendiği zaman bu sınıfa giren en az sayıdaki operatörün yıkamada olduğu görülmüştür. Bu durumun meyve yıkama işlerinin büyük bölümünün otomatik yıkama makinelerinde gerçekleştirilmesi nedeniyle ortaya çıktığı düşünülmektedir. Buradaki operatörler bu otomasyonu kullanmakla yükümlüdürler. Ayrıca konveyörlerle gelen kasaları yıkama makinelerine boşaltmakla sorumludurlar. Sınıflama kısmında ise hareketli konveyörle gelen turuncuğiller iriliklerine göre gruplandırılmaktadır. Operatörler bu işi ayakta durarak ve kendi kas güçleri ile gerçekleştirmektedirler. Sap ayırma işleminde ise sap ayırma makineleri kullanılır. Operatörler tarafından ayakta durularak gerçekleştirilen bir işlemdir. Konveyörle gelen saplı meyveler operatör tarafından alınarak sap ayırma makinasına atılır. Çekirdek çıkarma ise özel pres makinelerinde gerçekleşen bir

iştir. Operatör kasaları bu makinalara boşaltır ve makine çekirdekleri ayırıştırır. Kasaların kaldırılması ve boşaltılması aşamaları operatörü zorlayıcı aşamalardır.

Ergonomik risk düzeyi en düşük çıkan operatörlerin ise meyve parçalama, pastörizasyon, presleme, durultma ve filtrasyon bölümlerinde çalıştıkları görülmektedir. Bu kapsama giren 11 operatörün 2 tanesi meyve parçalama, 3 tanesi pastörizasyon, 3 tanesi presleme, 2 tanesi durultma ve bir tanesi ise filtrasyon bölümlerinde çalışmaktadır. Bu bölümlerde gerçekleştirilen işler kas gücünün etkin olduğu işler değildir. Daha çok otomatizme edilmiş işlerdir.

Genel olarak bakıldığında operatörlerin ayakta çalıştıkları ve makineleri yönlendirdikleri görülmektedir. Ayakta çalışmak uygun olmayan çalışma duruşlarının sergilenmesine yol açmakta ve fiziksel yükü de etkilemektedir. Makine kullanımı ise zihinsel yükün ortaya çıkmasına sebep vermektedir.

Bununla birlikte aynı bölümlerde çalıştıkları halde farklı düzeyde ergonomik risk düzeylerine sahip olan operatörler de vardır. Bu durum her operatörün algılanan iş yükü düzeyinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

6. Tartışma

Çalışmada önerilen yöntem ergonomik risk düzeyine etki eden iki farklı faktörünün bir arada değerlendirilerek operatörlerin bütünsel ergonomik risk düzeylerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Bu kapsamda, gelecek çalışmalarda ikiden fazla, farklı ergonomik risk faktörü bir araya getirilerek ÇKKV yöntemleri ile bütünsel bir ergonomik risk değerlendirme yaklaşımı önerilebilir. Bununla birlikte, önerilen yöntemde, uzman kararları dikkate alınmamış, doğrudan kriterleri oluşturan ergonomik risk faktörlerinin analiz sonuçları üzerinden kriter önem ağırlıkları hesaplanmıştır. Gelecek çalışmalarda, analiz sonuçları ile birlikte, çalışma ortamına ilişkin ergonomik risk faktörlerinin etki düzeylerine ilişkin uzmanların görüşleri de dikkate alınarak kriter önem ağırlıkları hesaplanabilir. Ayrıca önerilen yöntemde operatörler tarafından en çok zorlanıldığı belirtilen çalışma duruşlarının analizi REBA ile gerçekleştirilmiştir. Gelecek çalışmalarda daha uzun bir zamana yayılarak her bir operatör için yaptığı iş süreci boyunca sergilediği farklı duruşların analizleri yapılarak ortalama bir duruşsal risk düzeyi elde edilebilir. Ayrıca, her bir duruş sergilendiği süre ile ilişkilendirilerek REBA analizine yeni bir bakış açısı kazandırılabilir. Yine algılanan iş yükü düzeyini ölçmek için gözlem süresi boyunca her gün vardiya sonunda NASA TLX anketi uygulanarak ortalama bir algılanan iş yükü düzeyi ile önerilen yöntem işletilebilir. Son olarak, önerilen yöntem, başka ÇKKV yaklaşımları kullanılarak farklı çalışma ortamlarına uygulanabilir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Akın, G. (2013). *Ergonomi*. Alter Yayıncılık, Ankara.

Akyeampong, J., Udoka, S., Caruso, G. ve Bordegoni, M. (2014). Evaluation of hydraulic excavator Human-Machine Interface concepts using NASA TLX. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 44(3), 374-382.

Al Madani, D. ve Dababneh, A. (2016). Rapid entire body assessment: a literature review. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 9(1), 107-118.

Badi, I. ve Ballem, M. (2018). Supplier selection using the rough BWM-MAIRCA model: A case study in pharmaceutical supplying in Libya. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 1(2), 16-33.

Becker, A. B., Warm, J. S., Dember, W. N. ve Hancock, P. A. (1995). Effects of jet engine noise and performance feedback on perceived workload in a monitoring task. *The international journal of aviation psychology*, 5(1), 49-62.

Can, G. F., Atalay, K. D. ve Eraslan, E. (2015). Working posture analysis in fuzzy environment and ergonomic work station design recommendations. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30(3), 451-460.

Chatterjee, K., Pamucar, D. ve Zavadskas, E. K. (2018). Evaluating the performance of suppliers based on using the R'AMATEL-MAIRCA method for green supply chain implementation in electronics industry. *Journal of Cleaner Production*, 184, 101-129.

Cole, D., Panchanadeswaran, S. ve Daining, C. (2004). Predictors of job satisfaction of licensed social workers: Perceived efficacy as a mediator of the relationship between workload and job satisfaction. *Journal of Social Service Research*, 31(1), 1-12.

Costa, D. M. B., Ferreira, R. V., Galante, E. B. F., Nóbrega, J. S. W., Alves, L. A. ve Morgado, C. V. (2018, March). Comparative assessment of work-related musculoskeletal disorders in an industrial kitchen. In *Occupational Safety and Hygiene VI: Proceedings of the 6th International Symposium on Occupation Safety and Hygiene (SHO 2018), March 26-27, 2018, Guimarães, Portugal* (p. 325). CRC Press.

Çetinyokuş, T. ve Özdil, L. (2015). İş Zekası Yazılımı Alternatiflerinin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi ile Değerlendirilmesi. *Yönetim Bilişim Sistemleri Dergisi*, 1(2), 48-61.

Deng, L. J. ve MA, A. L. (2010). Discuss on water-saving irrigation schemes optimization based on TOPSIS model and CRITIC weights method. *Water Sciences and Engineering Technology*, 2, 006.

Delice, E. K. (2016). Acil servis hekimlerinin nasa-rtlx yöntemi ile zihinsel iş yüklerinin değerlendirilmesi: bir uygulama çalışması. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 30(3), 645-662.

Diakoulaki, D., Mavrotas, G. ve Papayannakis, L., (1995). Determining Objective Weights in Multiple Criteria Problems: The CRITIC Methods. *Computers & Operations Researches*, 22(7), 763-770.

Galy, E., Paxion, J. ve Berthelon, C. (2018). Measuring mental workload with the NASA-TLX needs to examine each dimension rather than relying on the global score: an example with driving. *Ergonomics*, 61(4), 517-527.

Gigović, L., Pamučar, D., Bajić, Z. ve Milićević, M., (2016). The Combination of Expert Judgment and GIS-MAIRCA Analysis for the Selection of Sites for Ammunition Depots. *Sustainability*, 8(4), 2-30.

Gönen, D., Oral, A., Ocaktan, M. B., Karaoğlu, A. D. ve Cicibaş, A. (2017). Bir transformatör işletmesinde montaj ünitesinin ergonomik analizi. *Sakarya University Journal of Science*, 21(5), 1067-1080.

Gönen, D., Karaoglan, A. D., Ocaktan, M. A. B., Oral, A., Atıcı, H. ve Kaya, B. (2018). Kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının analizinde yeni bir risk değerlendirme yaklaşımı. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 425-440.

Hart, S. G. ve Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In *Advances in psychology* (52, 139-183). North-Holland.

Hignett, S. ve McAtamney, L. (2004). Rapid entire body assessment. In *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods* (97-108). CRC Press.

<http://www.ergometri.com/ergonomi/ergonomik-risk-analiz-yontemleri.html>, 03.10.2018.

https://www.researchgate.net/figure/NASA-TLX-Rating-Scales_fig6_38006895, 02.10.2018.

Iglesias, C., ve Briceño-Delgado, J. (2015). Validation of the NASA-TLX score in ongoing assessment of mental workload during a laparoscopic learning curve in bariatric surgery. *Obesity surgery*, 25(12), 2451-2456.

Jahanimoghadam, F., Horri, A., Hasheminejad, N., Nejad, N. H. ve Baneshi, M. R. (2018). Ergonomic Evaluation of Dental Professionals as Determined by Rapid Entire Body Assessment Method in 2014. *Journal of Dentistry*, 19(2), 155.

Kahya, E., Özkan, N. F. ve Ulutaş, B.H. (2018). Beyin bilgisayar ara yüzü kullanımının bilişsel yüklenme

- açısından değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 1-24.
- Kazan, H. ve Ozdemir, O. (2014). Financial performance assessment of large scale conglomerates via TOPSIS and CRITIC methods. *International Journal of Management and Sustainability*, 3(4), 203-224.
- Karadağ, M. ve Cankul, İ. H. (2015). Hekimlerde Zihinsel İş Yükü Değerlendirmesi. *The Journal of Academic Social Science Studies*, 35, 361-370.
- Karhu, O., Kansi, P. ve Kuorinka, I. (1977). Correcting working postures in industry: a practical method for analysis. *Applied ergonomics*, 8(4), 199-201.
- Karhu, O., Härkönen, R., Sorvali, P. ve Vepsäläinen, P. (1981). Observing working postures in industry: Examples of OWAS application. *Applied Ergonomics*, 12(1), 13-17.
- Kılıç, O. ve Çerçioğlu, H. (2016). TCDD İltisak Hatları Projelerinin Değerlendirilmesinde Uzlaşık Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri Uygulaması. *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 31(1), 211-220.
- Lowndes, B. R., Forsyth, K. L., Blocker, R. C., Dean, P. G., Truty, M. J., Heller, S. F. ve Nelson, H. (2018). NASA-TLX Assessment of Surgeon Workload Variation Across Specialties. *Annals of surgery*.
- Malekpour, F., Malekpour, A. R., Mohammadian, Y., Mohammadpour, Y., Shakarami, A. ve Sheikh Ahmadi, A. (2014). Assessment of mental workload in nursing by using NASA-TLX. *The Journal of Urmia Nursing and Midwifery Faculty*, 11(11), 892-899.
- Mansikka, H., Virtanen, K. ve Harris, D. (2018). Comparison of NASA-TLX scale, Modified Cooper-Harper scale and mean inter-beat interval as measures of pilot mental workload during simulated flight tasks. *Ergonomics*, (just-accepted), 1-22.
- Ojha, P. ve Vinay, D. (2018). Assessment of physical fitness and postural discomfort among assembly workers. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(1), 1812-1814.
- Orakçı, E. ve Özdemir, A. (2017). Telafi Edici Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Türkiye ve AB Ülkelerinin İnsani Gelişmişlik Düzeylerinin Belirlenmesi. *Journal of Economics & Administrative Sciences/Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19(1), 61-74.
- Özay, M. E. ve Doğanbatır, Ç. Ş. (2018). Perakende sektöründe bir süpermarkette REBA, NIOSH ve Snook tabloları yöntemlerini kullanarak ergonomik risk analizi vaka çalışması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(3), 448-459.
- Pamuçar, D., Vasin, L. ve Lukovac, V. (2014). Selection of railway level crossing for investing in security equipment using hybrid DEMATEL-MARICA model. In *Proceeding of the XVI International Scientific-expert Conference on Railways, Railcon, Niš, Serbia, 9-10 October 2014*, 89-92.
- Pamuçar, D., Mihajlović, M., Obradović, R. ve Atanasković, P. (2017). Novel approach to group multi-criteria decision making based on interval rough numbers: Hybrid DEMATEL-ANP-MAIRCA model. *Expert Systems with Applications*, 88, 58-80.
- Ping, X. (2011). Application of CRITIC Method in Medical Quality Assessment. *Value Engineering*, 1, 200-201.
- Puspawardhani, E. H., Suryoputro, M. R., Sari, A. D., Kurnia, R. D. ve Purnomo, H. (2016). Mental workload analysis using NASA-TLX method between various level of work in plastic injection division of manufacturing company. In *Advances in Safety Management and Human Factors* (311-319). Springer, Cham.
- Rahman, M. K. F. A., Shahrman, A. B., Desa, H., Daud, R., Razlan, Z. M., Wan, K., ... ve Afendi, M. (2015). Comparative Study of Rapid Upper Limb Assessment (RULA) and Rapid Entire Body Assessment (REBA) Between Conventional and Machine Assisted Napier Grass Harvest Works. *Applied Mechanics & Materials*, 786.
- Ruan, L., Xiong, Z., Jiang, L. ve Zhou, X. (2015). Comparison between digital and paper note-taking based on NASA-TLX. In *Progress in Informatics and Computing (PIC), 2015 IEEE International Conference on* (pp. 221-225). IEEE.
- Sevimli, M., Ulusu, H. A. ve Gündüz, T. (2018). Pirinç paketleme işinde çalışanların çalışma koşullarının ergonomik risk analizleri ile geliştirilmesi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(1), 38-54.
- Şeker, A. (2014). Using outputs of NASA-TLX for building a mental workload expert system. *Gazi University Journal of Science*, 27(4), 1131-1142.
- Tubbs-Cooley, H. L., Mara, C. A., Carle, A. C. ve Gurses, A. P. (2018). 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.
- Ulutaş, A. ve Cengiz, E., (2018). CRITIC ve EVAMIX Yöntemleri ile Bir İşletme İçin Dizüstü Bilgisayara Seçimi. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 11(55), 881-887.
- Ünlü, U., Yalçın, N. ve Yağlı, İ. (2017). Kurumsal Yönetim ve Firma Performansı: TOPSIS Yöntemi ile BIST 30 firmaları Üzerine Bir Uygulama. *Dokuz Eylül University Journal of Graduate School of Social Sciences*, 19(1), 63-81.