



Journal of Turkish Operations Management

İnsan hata yapma olasılığına dayanan yeni bir risk değerlendirme yöntemi: SPC-HEART

S. Cihan Köseoğlu^{1*}, Elif Kılıç Delice²

¹Otomotiv Teknoloji Programı, Meslek Yüksekokulu, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Erzincan
e-mail:skoseoglu@erzincan.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-5982-4168>

²Endüstri Mühendisliği A.B.D., Mühendislik Fakültesi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum

e-mail:elif.kdelice@atauni.edu.tr ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-3051-0496>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 15.11.2022

Revize: 03.12.2022

Kabul: 06.12.2022

Anahtar Kelimeler:

İnsan Hatası
HEART
SWARA
PCA
Risk değerlendirme

Özet

İnsan hatasını dikkate alarak insan güvenilirliği analizi yapmak risk değerlendirmesi için kritik öneme sahip bir konudur. İnsan Hatası Değerlendirme ve Azaltma Tekniği (Human Error Assessment and Reduction Technique-HEART); üretim, enerji, taşımacılık, sağlık vb. gibi birçok farklı alanda uygulaması bulunan bir İnsan Güvenilirlik Analizi yöntemidir. Bu yöntemde, görev bazında kişilerin hata yapma olasılıklarının tespiti çok önemlidir. Kaza nedenlerinin ve insan hata eğilimlerinin incelenmesi görevlere özgü hata üreten koşulların değerlerine bağlı olarak yapılmaktadır. Bununla birlikte; hata yapma potansiyeli, çalışanların yerine getirdikleri görevlere, çalışma ortamına, iş yüklerine ve iş koşullarına da bağlıdır. Ayrıca her çalışanın görev bazında hata yapma olasılığı kişinin fiziksel ve zihinsel özellikleri bakımından farklılık göstermektedir. Bu çalışmanın amacı zihinsel ve fiziksel faktörlerin etkisini dikkate alarak hata üreten koşulların etkisinin belirlenerek hata analizi yapan ve iş uyumu açısından karar veren metodolojik bir çerçeve sunmaktır. Bu çalışmada, kişi bazında her bir görev için hata yapma olasılıklarına bağlı olarak risk değerlendirilmesi için Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi (Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis-SWARA) ve Temel Bileşen Analizi (Principal Component Analysis-PCA) tabanlı yeni bir HEART yöntemi olan SPC-HEART yöntemi önerilmiştir. Her bir çalışan için görev bazında hata potansiyellerini hesaplayan proaktif bir risk önleme yöntemidir. Önerilen yöntemin etkinliği hemşireler üzerinde yapılan bir gerçek hayat uygulaması ile gösterilmiştir.

A new risk assessment method based on the probability of human error: SPC-HEART

Article Info

Article History:

Received: 15.11.2022

Revised: 03.12.2022

Accepted: 06.12.2022

Keywords:

Human Error
HEART
SWARA
PCA
Risk evaluation

Abstract

Performing human reliability analysis taking into account human error is a critical issue for risk assessment. Human Error Assessment and Reduction Technique (HEART); production, energy, transportation, health, etc. It is a Human Reliability Analysis method that has applications in many different fields such as. In this method, it is very important to determine the probability of making mistakes on a task basis. Examination of accident causes and human error trends is based on the values of mission-specific error-producing conditions. The probability of error also depends on the tasks performed by the employees, the work environment, workloads, and working conditions. In addition, the probability of each employee making a mistake on a task basis differs according to the physical and mental characteristics of the person. The aim of this study is to present a methodological framework that makes error analysis and decides in terms of work compliance by determining the effect of error-producing conditions, taking into account the effect of mental and physical factors. In this study, a new HEART method based on Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA) and Principal Component Analysis (PCA) for risk assessment depends on the probability of making mistakes for each task on an individual basis. The SPC-HEART method is recommended. It is a proactive risk prevention method that calculates error potentials for each employee on a per-task basis. The effectiveness of the proposed method has been demonstrated by a real-life practice on nurses.

1.Giriş

Üretim ve hizmet sektöründe yer alan farklı iş kollarında sıklıkla çalışanların hatalarına bağlı olarak işyeri kaza ve yaralanmaları ile karşılaşmaktadır. Ayrıca, bu kaza veya yaralanmalara neden olan olumsuz etkilerin ciddiyeti veya risklerinin ortaya çıkma olasılığı, özellikle tehlikeli malzeme veya ürünlerle uğraşan sektörler ya da risk seviyesi yüksek hizmet sektörü çalışanları için çok daha yüksek olabilir (Yılmaz Kaya, 2022). Bu kaza ve yaralanmaların bir kısmı aşırı iş yükünden, kötü çalışma ortamlarından ve yürütülen süreçlerden kaynaklanmaktadır. Ayrıca hataların kökeninde psikolojik, fiziksel ve çevresel etmenler yer almaktadır. Dikkat dağınıklığı, yorgunluk, hızlı iş temposu, fiziksel engeller ve hastalıklar gibi birçok bileşen, bireylerin hata yapma olasılığını etkiler. Bu olasılıklar çalışanın yerine getirdiği farklı görevler için farklı değerler alırken; aynı görev için çalışma ortamı, fiziksel ve zihinsel iş yükü faktörlerinden dolayı farklı değerler alabilirler.

Literatürde bazı durumlarda insan hata yapma olasılığının da dikkate alındığı birçok İnsan Güvenilirlik Analizi (Human Reability Analysis-HRA) yöntemi mevcuttur ve bu yöntemlerin hata tanımlama, hata niceleme ve hata azaltma olmak üzere üç temel amacı vardır. Bu yöntemlerden biri olan ve birçok sektörde kullanılan İnsan Hatası Değerlendirme ve Azaltma Tekniği (Human Error Assessment and Reduction Technique -HEART), görevlere özgü olarak tespit edilen Hata Üreten Koşul (Error Producing Condition- EPC) ve Genel Görev Tipi (Generic Task Type -GTT) değerine bağlı olarak İnsan Hatası Olasılığı (Human Error Probability-HEP) değerini belirleyen ve kullanım alanı oldukça geniş olan bir yöntemdir. Belirlenen HEP değerleri, karar vericiler tarafından karmaşık sistemlerin çeşitli iş süreçlerinde kullanılmaktadır (Williams, 1988).

HEART yönteminde; GTT, EPC ve Değerlendirilen Etki Oranı (Assessed Proportion of Affect-APOA) belirlenmesi için uzmanlar tarafından yapılan değerlendirmelere bağlı olarak ortaya çıkan HEP değeri subjektif bir değer olup başka uzmanların değerlendirmesi sonucu farklı çıkabilir. HEP değerinin doğru belirlenmesi uzman bilgi ve tecrübesine bağlıdır. Özellikle APOA değeri belirlenirken belirli bir değerlendirme skalası kullanılmamakta ve uzmanın 0 ile 1 arası herhangi bir değer atanması istenmektedir. EPC değerlerinin genel olarak göreve ait hata olasılığına olan etkisi hakkında uzmanların sahip olduğu düşünce APOA olarak kabul edilmektedir. APOA değeri tamamen subjektif olarak belirlenen ve hatalı çıkma olasılığı yüksek olan bir değerdir.

Literatürde, HEART yöntemi risk değerlendirme ve karşılaştırmalı analiz çalışmalarında APOA değerinin farklı yöntemlerle elde edilmesi, klasik HEART uygulaması ve GTT'lerin sektörler göre özelleştirilerek uygulanması durumlarında kullanılmıştır. Bunun yanı sıra, görevlere ait HEP değerlerinin belirlenmesi için APOA değerinin bilimsel yöntem ve teknikler ile elde edildiği çalışmalara rastlanmaktadır. Akyüz ve Çelik, (2016) yaptıkları çalışmada denizcilik sektörüne özgü olan Deniz İnsan Güvenilirliği Analizi (Maritime Human Reliability Analysis -MAHRA) tekniğinde Saaty nin 1-9 dilsel ölçeğini, EPC değerleri ile gösterdiği uyuma bağlı olarak karşılaştırma matrisine yerleştirmiş; ardından Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process -AHP) ile üçgenel bulanık sayıları birlikte kullanarak APOA değerlerini elde etmiş ve kullanıcı ara yüzü geliştirmiştir. Kumar vd. (2017) tarafından LPG yakıt ikmal istasyonunda insan hatası olasılıklarının ölçülmesi için yaptıkları çalışmada istasyona ait işlem bölgelerine ve belirlenen görevlere özgü ayrı ayrı yöntemler ve operasyonel işlemler için ayrı yöntemler kullanılarak insan hata değerlendirmeleri yapılmıştır. Dilsel değişkenler için bulanık mantık teorisini uygulanarak APOA değerleri elde edilmiştir. HEART yöntemi sonuçları ile Kavramsal Güvenilirlik ve Hata Analiz Yöntemi (Cognitive Reliability and Error Analysis Method-CREAM) yöntemi sonuçları kıyaslanarak önem sıralamaları oluşturulmuştur.

Wang vd. (2018) demiryolu sistemlerinde yapılan bir çalışmada Demiryolu Eylem Güvenilirlik Değerlendirmesi (Railway Action Reliability Assessment-RARA) tekniğinden kullanılan EPC ağırlıklarını, Bulanık Analitik Ağ Süreci (Fuzzy Analytic Network Process-FANP) yönteminden elde ederek uzman görüşüne olan bağımlılık azaltılmıştır. EPC arası ilişkilere bağlı olarak daha objektif sonuçlar elde edilmiştir. Zhou vd. (2019) tarafından lokomotif sürüş sürecinin incelendiği çalışmada Dempster-Shafer Kanıt teorisi kullanılarak APOA elde edilmiş ve böylece HEP değerleri elde edilmiştir. Monte Carlo simülasyonu tabanlı hata ağacı analizi ile yöntem güvenilirliği artırılmıştır. Kandemir ve Çelik (2021) gemi yardımcı makinelerinin bakım onarım süreçlerinin iyileştirilmesi çalışmalarında kural tabanlı olarak insan hatalarının incelenmesi amacıyla yapılan çalışmada GTT değerleri, denizcilik sektöründe yaygın olarak kullanılan Gemi Operasyonlarında İnsan Güvenilirliği Analizi (Shipboard Operations Human Reliability Analysis- SOHRA) gibi teknikleri kullanılarak güncellenmiştir. Böylece sektöre özgü hale getirilmiş hibrit bir HEART uygulaması gerçekleştirmiş ve daha güvenilir sonuçlar üreten insan güvenilirliği değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Aliabadi (2021), APOA değerleri belirlenirken uzman görüşünden kaynaklanan belirsizliği gidermek amacıyla APOA değerlerinin hesaplanması sırasında Sezgisel bulanık küme yönteminden yararlanmıştır. Benzerlik Kümeleme Yöntemi (Similarity Aggregation Method-SAM)) yaklaşımı kullanılarak atanan seçeneklerin tek bir sayıya entegre edilmesi sağlanarak durulaştırma sürecine geçilmiştir. Klasik bir bulanık kümeden daha fazla bulanık bilgiyi temsil etme avantajlarından dolayı Sezgisel Bulanık yöntemi tercih edilmiştir ve önerilen entegre yaklaşımı doğrulamak amacıyla duyarlılık analizi yapılmıştır. Literatürde yer alan çalışmalarda görevlere ilişkin genel değerlendirme oranlarını ortaya koyan

sonuçlar üretilmiştir. Görevlerin belirlenmesinde Hiyerarşik Görev Analizi (Torres vd., 2021), Hata Ağacı Analizi (Castiglia ve Giardina, 2013), anket (Zhou vd., 2019) ve Pareto (Kurata vd., 2015) yöntemleri tercih edilmiştir. APOA değerlerinin elde edilmesi aşamasında daha objektif sonuçlar elde etmek amacıyla çeşitli bulanık mantık uygulamaları (Wang vd., 2018) ve Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) teknikleri (Akyüz vd., 2016) tercih edilerek hesaplamalar yapılmıştır.

Bu çalışmada literatürden farklı olarak kişiye özgü bir proaktif risk değerlendirme metodu olarak SWARA ve PCA tabanlı HEART metodu yani SPC-HEART metodu önerilmiştir. Çünkü performans ve hata yapma olasılığını; fiziksel ve zihinsel iş yükü faktörlerinin etkileşimi olumlu ve olumsuz yönde etkilemektedir. İş içeriğine, gerçekleştirilen görevlerde harcanan fiziksel ve zihinsel işlev türlerine, çalışma ortamına bağlı olarak fiziksel ve zihinsel iş yükü faktörleri belirlenmelidir. Ayrıca, bu faktörlerin de etkisi dikkate alınarak kişilerin görev bazında hata yapma olasılıkları da ortaya çıkarılmalıdır. Önerilen SPC-HEART metodunda, APOA değerleri ÇKKV yöntemlerinden biri olan SWARA yöntemi ile PCA yönteminin birlikte kullanılması ile belirlenmiştir. SWARA yöntemi ile karar vericilerin EPC değerlerinin önem ağırlıklarını analitik bir yöntem ile belirlemeleri sağlanırken; her bir çalışan için fiziksel ve zihinsel iş yükü faktörlerinin bileşke etkisi PCA yöntemi ile belirlenmiştir. Böylece APOA değerleri objektif bir şekilde belirlenmiş ve bu değerlerin, EPC ve GTT değerleri ile birlikte kullanılması ile elde edilen HEP değeri üzerinde karar vericilerin sübjektif yargılarının etkisi azaltılmaya çalışılmıştır. Çalışanın hata yapma olasılığı kabul edilebilir sınırlar üzerinde olan görevlere atanmaması ile olası iş kazaları ve hatalar engellenmiş olacaktır.

Fiziksel iş yükü değerlendirmesinde insanların fiziksel ölçümleri esas alınarak çalışmalar yapılmıştır. İş sürecini aksatmadan ölçüm alınması gerektiğinden sıcaklık değişimleri, uyku seviyeleri ve yaş fiziksel faktörler olarak alınırken, NASA İş Yükü İndeksi NASA İş Yükü İndeksi (NASA Task Load Index-NASA-TLX) ile ölçülen dokuz faktör zihinsel faktörler olarak belirlenmiştir. Zihinsel iş yükü, yürütülen göreve ilişkin gereksinimler, ortam koşulları, beceri ve tecrübe seviyesi, davranışlar ve algılar arasındaki etkileşim ve hatta kişilerin anlık vitallerine bağlı olarak gelişen zihinsel eforun nihai değişimi olarak tanımlanmaktadır. Bu değişimleri NASA-TLX yöntemi 6 veya 9 ölçek altında değerlendirmektedir. Bu çalışmada, sağlık sektörü için daha uygun olacağı düşünülerek literatürde yapılan çalışmalarda genelde kullanılan 6 ölçekli NASA-TLX yöntemi yerine 9 ölçekli NASA-TLX kullanılmış ve ağırlıklandırılmış iş yükü (Weighted Workload – WWL) skoru elde edilmiştir.

Her bir kişinin fiziksel ve zihinsel iş yükü birbirinden farklıdır ve bu nedenle iş yüklerinin insanlar üzerindeki etkileri de farklılaşmaktadır. Görevlere ait HEP değerleri de kişilere bağlı olarak farklı sonuçlar gösterecektir. Farklılık gösteren bütünleşik iş yükü etkisinin belirlenmesi için PCA yöntemi kullanılmıştır. Yöntem konsepti, farklı indeks ve türdeki değişkenlerin yüksek boyutlu veri hacminde daralmaya neden olmakta ve orijin etrafında bir araya gelmelerini sağlamaktadır. Böylece verilerin bileşen etkisinin ve yönünün tespitini mümkün kılarak anlaşılması daha kolay grafiksel bir veri yapısı sunmaktadır (Dunteman, 1989).

SPC-HEART yöntemi ile her bir kişi için görev bazında HEP değerleri objektif bir şekilde belirlenerek kişilerin atanmaması gereken görevler tespit edilmiştir. Böylece karar vericilere proaktif bir risk önleme yaklaşımı sunulmuştur. SPC-HEART yöntemi yalın ve objektif sonuçlara ulaşmak amacıyla ergonomik açıdan riski en aza indirmeye yönelik bir dizi öneri sunmaktadır. Önerilen SPC-HEART yöntemi insan hata olasılığının fazla olduğu ve insan güvenirliliğinin hayati öneme sahip olduğu sağlık sektöründe hemşireler üzerinde uygulanmıştır. COVID-19 nedeniyle artan fiziksel ve zihinsel iş yükleri dikkate alınarak hemşirelerin görev bazında HEP değerleri belirlenmiştir. Böylece HEP değerlerine göre hemşirelerin çalışmaması gereken görevler ortaya çıkarılmıştır. HEART metodunun sağlık sektöründe kullanımı ve hata önleme konusu ile ilgili çalışmalar sınırlı sayıdadır. Bu çalışmada hemşirelerin hata yapma potansiyelleri gerçek bir uygulama ile kapsamlı bir şekilde analiz edilerek gelecekte yapılacak olan çalışmalara katkı sağlanmaya çalışılmıştır.

2. Materyal ve metod

Bu bölümde HEART, SWARA ve PCA yöntemleri ve HEP değerinin hesaplanmasında kullanılan fiziksel ve zihinsel iş yükü faktörleri hakkında bilgi verilecektir. Çalışmada kullanılan semboller ve tanımları Tablo 1'de özetlenmiştir.

Çalışmada uygulanan anket, mülakat, odak grup çalışması, gözlem, deney, görüşme teknikleri kullanılarak katılımcılardan veri toplanmasını gerektiren nitel ya da nicel yaklaşımlarla yürütülen her türlü araştırmalar için gerekli olan etik kurul kararı EBYU 31.03.2021 tarih ve 04/17 numaralı protokol izni ile tamamlanmıştır. Diğer resmi izinler ise 29.04.2021 tarih ve E-62639109-929 sayılı kararı ile hastane uygulama izin talebi uygun bulunmuş, komisyon kararı ile 09.08.2021 tarihinde onaylanmıştır. Bilgilendirme sürecinde katılımcılara bilgilendirilmiş gönüllü olur/onam formu imzalatılarak çalışmalar tamamlanmıştır.

Tablo 1. Semboller ve açıklamaları

Semboller	Tanımları
HEP	İnsan hata olasılığı değeri
GEP	Uzmanlar tarafından belirlenen, ilgili GTT'nin hata olasılık değeri
EPC_j	j. hata üreten koşul ($j = 1, 2, 3, \dots, n$)
$APOA_j$	Her bir j. EPC'ye ait etki oranı için uzman değerlendirmesi
s_j	Ortalama değer in göreceli veya karşılaştırmalı önem düzeyi
k_j	j. faktör için katsayı değeri
q_j	j. faktöre ait yeniden hesaplanmış ağırlık değeri
w_j	j. faktöre ait nihai ağırlık değeri
F_m	Zihinsel iş yükü bileşke kuvveti
F_p	Fiziksel iş yükü bileşke kuvveti
F_{PC}	Temel Bileşen net bileşke kuvveti
x_{ij}	i. katılımcıya ait j. faktör değeri
X_c	Merkezileştirilmiş veri matrisi
$e_{i,j}$	Özvektör sütun matrisi
$e_i g_i$	i. özvektör
$(e_{i,j})^T$	$e_{i,j}$ matrisinin transpozu
λ	Özdeğer
I	Birim vektör
Σ_X	Bir özdeğere ait özvektör
W_{if}	i. katılımcıya ait f. faktör için ağırlıklandırılmış değeri
WWL_i	i. katılımcı için WWL skor değeri
ΔT_{i_b}	i. katılımcıya ait vücut sıcaklığı
ΔT_{i_c}	i. katılımcıya ait çekirdek sıcaklık ölçümü
$\Delta T_{i_{sk}}$	i. katılımcıya ait deri sıcaklık ölçümü
X	Alpha (X) değeri
wp_{i_m}	i.inci katılımcıya ait ağırlıklandırılmış zihinsel iş yükü faktörü etkileşim oranı
wp_{i_a}	i. katılımcıya ait ağırlıklandırılmış yaş faktörü etkileşim oranı
$wp_{i_{sp}}$	i. katılımcıya ait ağırlıklandırılmış uyku faz faktörü etkileşim oranı
wp_{i_t}	i. katılımcıya ait ağırlıklandırılmış termoregülasyon (termal ölçüm) etkileşim oranı
wp_i	i. kişinin ağırlıklandırılmış bileşik etki oranı
$APOA_{ij}$	i. katılımcıya ait j. kriter için etki oranı
HEP_{i_t}	i. katılımcının t. görev için insan hata olasılığı değeri
GEP_t	t. görev için GTT'nin hata olasılık değeri

2.1 HEART (İnsan Hatası Değerlendirme ve Azaltma Tekniği)

HEART metodu; insan güvenilirliğinin bağımlı olduğu düşünülen bir görevin performansını olumsuz yönde etkileyebilecek tüm faktörleri dikkate almakta ve bu faktörlerin her biri, daha sonra, bağımsız bir şekilde

incelenerek bir HEP değerinin elde edilmesinde kullanılmaktadır. HEART yöntemi, görev bazlı araştırmalarda incelenen HEP değerlerini hesaplamakta kullanılan oldukça basit bir yöntemdir (Williams, 1988). Bu yöntem, bir görevin gerçekleştirildiği her seferde bir başarısızlık olasılığı olduğu ve bunun olasılığının bir veya daha fazla EPC tarafından etkilendiği ilkesine dayanır. Geleneksel HEART yönteminin 1985 versiyonunda 38 EPC ve farklı görev türlerinin karşılaştırması olarak tanımlanan dokuz adet GTT tanımlanmıştır (Kirwan, 1988). Eşitlik (1) de her bir görev için HEP değerleri hesaplanırken her EPC'nin farklı ağırlık değeri kullanılmaktadır.

$$HEP = GEP \times \prod_{j=1}^n [(EPC_j - 1)APOA_j + 1] \quad (1)$$

2.2 SWARA (Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi)

Keršulienė vd. (2010) tarafından geliştirilen SWARA metodu; karar verme sürecinde var olan probleme ilişkin olası sonuçlara yönelik alternatif çözümlerin anlam ve önemlerine bağlı olarak şekillenen, uzmanlar ile birlikte çalışmaya uyumlu olan basit bir ÇKKV tekniğidir. Kriter ağırlıklarını belirlemek amacıyla kullanılan yöntem aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır (Keršulienė vd., 2010).

Adım 1. Kriterlerin önem sıralarının belirlenmesi

n tane kriter (C_j , $j=1,2,\dots,n$) ve k tane karar vericinin (KV_k , $k=1,2,\dots,K$) bulunduğu bir karar probleminde her karar verici bilgi ve tecrübesine göre en önemli olanı en başta olacak şekilde önem derecesine göre tüm kriterleri sıralar. Daha sonra karar vericilerin önem sıralamaları birleştirilerek bütünlük bir sıralama elde edilir.

Adım 2. Her bir kriter için göreceli önem düzeyleri belirlenmesi

Bütünleştirilmiş sıralama dikkate alınarak her karar verici, j. kriterini kendisinden daha yüksek önem seviyesine sahip j-1. kriter ile karşılaştırarak j. kriterin önem ağırlığını belirler. Daha sonra her karar verici tarafından belirlenen önem ağırlıklarının ortalaması alınarak göreceli önem düzeyi s_j değeri hesaplanır.

Adım 3. k_j katsayı değeri hesaplanması

Her bir kriter için k_j katsayı Eşitlik (2) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır. Kriterlerin ortak sıralamasında en önemli kriterin k_j katsayısı 1 olarak atanmaktadır.

$$k_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ s_j + 1 & j > 1 \end{cases} \quad j = 1,2,3,\dots, n \quad (2)$$

Adım 4. Anlamlılık vektörü q_j hesaplanması

Her bir kriter için q_j katsayı Eşitlik (3) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır. En önemli kriterin q_j katsayısı 1 olarak atanmaktadır.

$$q_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ \frac{q_{j-1}}{k_j} & j > 1 \end{cases} \quad j = 1,2,3,\dots, n \quad (3)$$

Adım 5. Kriterlerin w_j göreceli önem ağırlıklarının hesaplanması

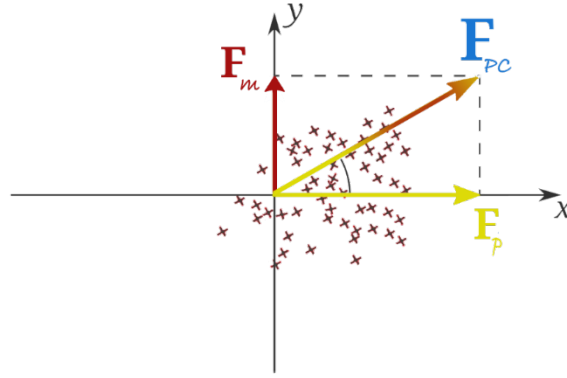
Kriter ağırlıkları Eşitlik (4) kullanılarak hesaplanır.

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_k^n q_k} \quad j = 1,2,3,\dots, n \quad (4)$$

w_j , 0 ile 1 arasında olmak üzere $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ dir.

2.3 PCA (Temel Bileşen Analizi)

PCA çok faktörlü bir istatistiksel analiz tekniğidir ve faktörler arasındaki ilişkinin yapısını irdelemek için kullanılmaktadır. Temel fikir, veriler arasındaki kovaryansı kullanarak birbirleriyle ilişkili birçok faktör içeren veri setinin boyutlarını azaltmaktır. PCA; mevcut veri setinde aralarında korelasyon olan faktörleri bazı lineer transformasyonlarla aynı sayıda ama aralarında korelasyon olmayan (ortogonal) faktörlere dönüştürmeye dayanmaktadır. Bu yeni faktörler mevcutların bir lineer kombinasyonu olup *Asal Bileşenler* olarak anılmaktadır (Tharwat, 2016). Bu yazıda kullanılan PCA mekanik gibi düşünülürse; bir kuvvet bileşenlerine ayrılabilir - y eksenini zihinsel iş yükü ve x eksenini fiziksel iş yükü olarak tanımlayan Şekil 1'de gösterildiği gibi, kendisiyle geometrik olarak ilişkili iki dik kuvvet doğuracaktır.



Şekil 1. Kuvvetler bileşimi olarak zihinsel ve fiziksel iş yükünün gösterimi

Şekil 1'de F_m zihinsel iş yükü değişiminin yapısını, F_p fiziksel iş yükü değişiminin yapısını ve F_{PC} temel bileşen değişiminin yapısını göstermektedir. Bir bütün olarak zihinsel ve fiziksel iş yükünün birleşik etkisi F_{PC} ile temsil edilmektedir. PCA genel olarak 5 temel adımdan oluşur (Jolliffe ve Cadima, 2016):

1. Adım: Ham verileri standart hale getirilmesi ve merkezileştirme

İlk olarak her bir katılımcıya ait ölçüm faktörü için ham veriler toplanır. Faktörler aynı ölçü birimlerine sahip değilse standartlaştırılmış gözlem değerleri kullanılmalıdır. Bu nedenle her faktörden sütun ortalaması çıkartılır ve veri merkezlenir (Jolliffe ve Cadima, 2016). Merkezileştirilmiş veri matrisi Eşitlik (5) te gösterilmiştir.

$$X_c = \begin{bmatrix} X_{11} - \bar{X} & \dots & X_{1n} - \bar{X} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} - \bar{X} & \dots & X_{mn} - \bar{X} \end{bmatrix} \quad (5)$$

2. Adım: Kovaryans/Korelasyon matrisinin özdeğerlerinin ve özvektörlerinin hesaplanması

Korelasyon matrisi, faktörlerin farklı ölçekleri olduğunda ve tüm faktörler eşit olarak değerlendirmek istenildiğinde kullanılmaktadır (Shlens, 2014). Önceki adımda bulunan kovaryans matrisinin özdeğer ve özvektörlerini bulabilmek için Eşitlik (6) kullanılarak determinant hesaplamasının yapılması gerekmektedir.

$$cov_{X_c} = \begin{bmatrix} cov(X, X) & cov(X, Y) \\ cov(X, Y) & cov(Y, Y) \end{bmatrix} \quad (6)$$

Bu hesaplama sonucu belirlenen kökler $\{\lambda_1, \lambda_2\}$ özdeğerlerini verecektir.

3. Adım: Matrisin özdeğer ve özvektörlerini hesaplanması

Özdeğerler büyükten küçüğe sıralanır ve karşı gelen özvektörler, Eşitlik (7)-(8) kullanılarak bulunmaktadır (Shlens, 2014).

$$\begin{pmatrix} cov(X, X) & cov(X, Y) \\ cov(X, Y) & cov(Y, Y) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e_{1,j} \\ e_{2,j} \end{pmatrix} = \lambda_1 \begin{pmatrix} e_{1,j} \\ e_{2,j} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_1 e_{1,j} \\ \lambda_1 e_{2,j} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{pmatrix} cov(X, X) & cov(X, Y) \\ cov(X, Y) & cov(Y, Y) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e_{i,1} \\ e_{i,2} \end{pmatrix} = \lambda_2 \begin{pmatrix} e_{i,1} \\ e_{i,2} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_2 e_{i,1} \\ \lambda_2 e_{i,2} \end{bmatrix} \quad (8)$$

4. Adım: Özellik vektörünün oluşturulması

En büyük özvektör birinci temel faktör olmak üzere tüm özvektörler sıra ile temel bileşen olarak atanmaktadır.

5. Adım: Yeni veri setinin hesaplanması

Yeni veri seti; özvektörlerin Transpoze ile ayarlanmış veri setinin çarpılması sonucu elde edilmektedir. $e_1 \dots e_m$ değerleri, yeni boyut vektörleri olacaktır. Merkezileştirme işlemi sonunda oluşan yoğunlaşmaya ait yeni koordinatlar $x' = \{x'_1 \dots x'_m\}$ şeklinde olacaktır. $e_{i,j}$ matrisi, varimaks rotasyonunun yapıldığı özvektör matrisidir. Eşitlik (9) de gösterildiği gibi $(e_{i,j})$ özvektörlerin yer aldığı matristir.

$$(e_{i,j}) = (eig_1 \ eig_2 \ eig_3 \ \dots \ eig_n) \quad (9)$$

$i=1\dots m$ ve $j=1\dots n$ olmak üzere yeni veri seti Eşitlik (10) te gösterildiği gibi X_c matrisinin transpozu ile $e_{i,j}$ matrisinin çarpımı elde edilmiştir.

$$X_c(e_{i,j})^T \quad i = 1 \dots m \quad j = 1 \dots n \quad (10)$$

2.4 NASA-TLX (NASA İş Yükü İndeksi)

NASA-TLX, çok boyutlu bir derecelendirme prosedürü kapsamında, altı veya dokuz faktörlü derecelendirmelerin ağırlıklı ortalamasına dayalı olarak genel bir iş yükü puanı hesaplayan zihinsel iş yükü değerlendirme aracıdır. Bu çalışmada; Görev Zorluğu (TD - Task Difficulty), Zaman Baskısı (TP - Time Pressure), Performans (P - Performance), Zihinsel Duyuların Çabası (MSE - Mental Sensory Effort), Fiziksel Çaba (PE - Physical Effort), Başarısızlık Hissi (FL - Frustration Level), Stres Seviyesi (SL - Stress Level), Yorgunluk (F - Fatigue), Aktivite Tipi (AT - Activity Type) faktörlerini içeren dokuz faktörlü NASA-TLX yöntemi kullanılmıştır. Dokuz faktörlü değerlendirmede altı faktörlü versiyonundan farklı olarak Stres Seviyesi, Yorgunluk ve Aktivite Tipi faktörleri dikkate alınmaktadır. Diğer altı faktörün yanı sıra bu üç faktöründe insanın hata yapma olasılığını artırmada etkisi olduğundan bu çalışmada dokuz faktörlü NASA-TLX yöntemi kullanılmıştır. Bu faktörler kullanarak çalışanlar için WWL skoru subjektif olarak ölçülmekte ve değerlendirilmektedir (Hart ve Staveland, 1988).

Bu yöntemde önem düzeyi açısından ikili olmak üzere, dokuz faktörün kendi içerisinde 36 karşılaştırması yapılmaktadır. Katılımcılar ikili karşılaştırmalar sırasında iş yüküne en fazla katkıda bulunduğunu düşündüğü ölçütü işaretler. Her ölçütün kaç kez seçildiği yani frekans değeri elde edilir. Daha sonra ise söz konusu iş veya görev her bir faktör açısından 0 ile 100 arasında puanlanır. Son aşamada ise, WWL değeri Eşitlik (11)-(12) ile belirlenir. Burada f parametresi için sırasıyla TD , TP , P , MSE , PE , FL , SL , F ve AT faktörleri için ayrı ayrı uygulanarak ilgili W_{if} değerleri elde edilmektedir. Kişilere ait ağırlıklandırılmış iş yükleri; faktör puanları ve W_{if} değerleri kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$W_{if} = \frac{\text{ilgili faktör için toplam işaretlenme sayısı}}{36} \quad (11)$$

$$WWL_i = TD_i x W_{iTD} + TP_i x W_{iTP} + P_i x W_{iP} + MSE_i x W_{iMSE} + PE_i x W_{iPE} + FL_i x W_{iFL} + SL_i x W_{iSL} + F_i x W_{iF} + AT_i x W_{iAT} \quad (12)$$

2.5 Termoregülasyon

Fizyolojik açıdan insan vücudu çekirdek ve kabuk olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Çekirdek; kafa, göğüs ve karından oluşmaktadır. Kabuk ise deri, derialtı dokular ve extremitelerden (uzantı) oluşmaktadır. Bireysel farklılıklar ve günlük varyasyonlara bağlı olarak iç çekirdek sıcaklıkları öğleden sonra ve akşam saatlerinde (Guyton ve Hall, 2013) en yüksek noktalara ve sabahın erken saatlerinde en düşük noktalarına ulaşır. Mental aktiviteler çekirdek içindeki ısıyı arttırmaktadır. Hall vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada öğleden sonra saat altı 6 civarı kan basıncının ve vücut sıcaklığının en yüksek seviyede olduğunu belirlenmiştir. Bununla birlikte, herhangi bir sebepten ötürü stres oluşumunda çekirdek sıcaklığı artmaktadır (Oka, 2015). Bu çalışmada kişilerin ortalama vücut sıcaklığındaki değişimlerini belirlemek için Burton (1935) tarafından Eşitlik (13) de önerilen geleneksel iki bölmeli termometre modeli kullanılmıştır. Alpha (X) değeri Cronbach's Alpha formülü ile hesaplanmıştır (Nunnally ve Bernstein, 1994).

$$\Delta \bar{T}_{ib} = (X \cdot \Delta T_{ic}) + ([1 - X] \cdot \Delta T_{isk}) \quad (13)$$

2.6 Uyku fazları

Uyku fazlarındaki değişim davranışsal sorunlara ve hata eğilimine yol açmaktadır. Ayrıca, yorgunluğun hata eğilimini artıran önemli bir faktör olduğu belirlenmiştir. Rogers vd., (2004) yaptıkları çalışmada hemşirelere yönelik olarak, 12.5 saatlik vardiyalarda 8.5 saatlik vardiyalardan 3.3 kat daha fazla tıbbi hata görüldüğü belirtilmiştir. Tipik olarak, optimal dinlenme için ortalama uyku süresi 6-8 saat arasında olmalıdır. Ancak, çalışma koşulları, yaşam tarzı veya günlük yorgunluk kişinin uyku bozukluklarına veya uyku fazlarının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu durumda çalışan üretkenliğini, etkinliğini ve refahını azaltabilmektedir (Stampi, 1992).

Uyku fazları çok çeşitli olmakla birlikte çalışma kapsamında tek, çift ve çok fazlı olmak üzere üç uyku fazı dikkate alınmıştır. Tek fazlı uyku, kişinin günde tipik olarak bir kez gecede 8 saate kadar uyuduğu zaman aralığıdır. Çift fazlı uyku, her defasında kişinin gecede 6.3 saate kadar uyuduğu zaman aralığıdır. Çok fazlı uyku, 24 saat boyunca

birden fazla kısa bölümlerden oluşan çok parçalı uyku bölümlenmesidir. Bu uygulama özellikle genç yetişkinler arasında daha çok tercih edilmektedir. Her defasında en fazla 4.5 saat kadar uyku durumu söz konusudur (Weaver vd,2021).

2.7 Yaş

Çalışan performansı; algılanan iş yüküne, çalışma ortamının etkilerine, iş içeriği gibi görevle ilgili etmenlerin yanı sıra; kişisel yeteneğe, çabaya, duyarlılığa ve yaş faktörü gibi görev dışı faktörlere de bağlıdır (Warm vd, 1996). Bu bağlamda, yaşlı çalışanların iş yükünde önemli ölçüde daha fazla artış algıladıkları belirlenmiştir. Ayrıca, bilişsel performanstaki azalma yaş ilerledikçe kaynakları işleme sürecinde azalış meydana getiren ve bilişsel yaşlanma olarak tanımlanan bir durum ortaya çıkarmaktadır. Yaş faktörünün, bilişsel yaşlanma teorisinin önemli bir bileşeni olduğu vurgulanmıştır (Salthouse, 1991).

4. Araştırma bulguları ve tartışma

4.1 SPC-HEART yöntemi ve uygulanması

Bu çalışmada önerilen SPC-HEART yöntemi, görev bazlı insan hata olasılığına bağlı olarak risk değerlendirmek için önerilmiştir. Bu yöntem, hem deneysel hem de uzmanların görüşlerine bağlı objektif sonuçları olan bir çözüm yaklaşımı sağlamaktadır. SPC-HEART metodunda HEP değerlerinin, ölçülebilir fiziksel ve zihinsel özelliklere bağlı olarak kişilere özgü olarak hesaplanması ile klasik HEART yöntemine katkı sağlanmıştır. Ayrıca risk analizi yapılırken aralarındaki etkileşimleri göz ardı ederek risk faktörlerini birbirinden bağımsız olarak değerlendirmek güvenilirlik açısından olumsuz bir etkiye neden olacaktır (Fang vd, 2018). Her faktörün doğrudan etkisi ile dolaylı etkisi farklı şekillerde süreci etkilemektedir. Katılımcıların hata eğilimlerini tespit edebilmek amacıyla zihinsel ve fiziksel iş yükleri modele dâhil edilerek modelin boyutları belirlenmiştir. Farklı nitelikteki faktörlerin bileşke etkisini dikkate alarak yapılacak değerlendirmeler, farklı fikirler ve sonuçlar sunması açısından aydınlatıcı olacaktır.

Aşama 1. Katılımcıların belirlenmesi

Uygulama Eğitim ve Araştırma hastanesi olarak faaliyet gösteren bir hastanede gerçekleştirilmiştir. %71.32 kadın (N=97) ve %28.68 erkek (N=39) olmak üzere 136 hemşire çalışmaya katılmıştır. Çalışmaya katılan hemşirelerin yer aldıkları departmanlar Tablo 2' de verilmiştir. Katılım oranı olarak 35 kişinin katılımı ile en yüksek değer acil bölümüne aittir.

Tablo 2. Departmanlara göre katılımcıların frekans tablosu

Bölüm	Frekans/ Sıklık Değeri	Bölüm	Frekans/ Sıklık Değeri
Acil Servis	35	İç Hastalıkları / Dahiliye	3
Beyin ve Sinir Cerrahi	3	İntaniye	1
Çocuk Cerrahi	2	Kalp Damar Cerrahisi	5
Çocuk Hastalıkları	15	Kardiyoloji	4
Çocuk Hematolojisi ve Onkolojisi	2	Kulak Burun Boğaz	3
Çocuk Kardiyoloji	1	Ortopedi ve Travmatoloji	3
Çocuk Nefrolojisi	1	Palyatif Bakım Merkezi	5
Diğer (Listede olmayan bölümler)	25	Plastik ve Rekonstrüktif Cerrahi	1
Enjeksiyon	2	Radyoloji Ünitemiz	1
Fizik Tedavi	2	Romatoloji	2
Genel Cerrahi	3	Üroloji	10
Göz Hastalıkları	5	Yoğun Bakım Ünitesi	2

Aşama 2. Görevlerin, GTT ve EPC değerlerinin belirlenmesi

Bu adımda ilk olarak hemşirelerin iş akışına bağlı olarak ortaya çıkan görevleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için ülkemizde ve dünyada faaliyet gösteren hastanelerde hemşireler için tanımlanmış olan genel ve özel olmak üzere 100 den fazla görev belirlenmiş ve daha sonra bu görevler zorluk açısından puanlamıştır. Bu çalışmaya katılan hemşireler ile yapılan beyin fırtınası ve pareto analizi sonucunda en çok zorlanılan 45 adet görev belirlenmiştir. Bu görevlerin 38 tanesinin EPC içerdiği tespit edilmiştir (Ek 1). Her bir göreve uygun olarak GTT ve EPC belirlenmiştir.

Aşama 3. SWARA yöntemi ile EPC ağırlıklarının belirlenmesi

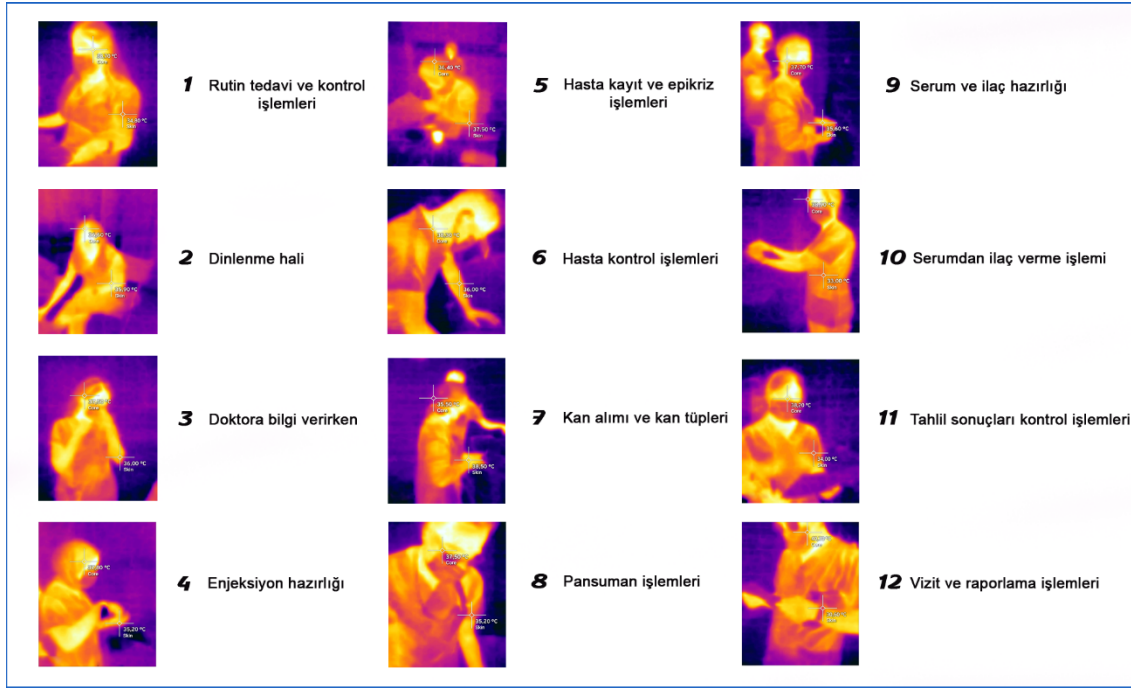
Uzman görüşleri ve SWARA yöntemi kullanılarak her bir EPC için görevin zorluk açısından önem ağırlığı belirlenir. Bu aşamada Tablo 3'te gösterildiği gibi SWARA yönteminde Eşitlik (2) – (4) kullanılarak her bir EPC için önem ağırlıkları hesaplanmıştır. Başlangıçta, s_j değerleri hesaplanırken 45 görevdeki EPC frekansları kullanılmıştır.

Tablo 3. SWARA yöntemi ile hesaplanan EPC'lerin ağırlıkları

EPC	Sıralama	Nihai EPC Önem Sıralaması	s_j	k_j	q_j	w_j
EPC_1	2	EPC_5		1	1.0000000000	0.147
EPC_2	5	EPC_1	0.25	1.25	0.8000000000	0.118
EPC_3	17	EPC_{15}	0.2	1.2	0.6666666667	0.098
EPC_4	6	EPC_{24}	0.25	1.25	0.5333333333	0.078
EPC_5	1	EPC_2	0.05	1.05	0.50793650794	0.075
EPC_6	21	EPC_4	0.2	1.2	0.42328042328	0.062
EPC_7	11	EPC_{29}	0.05	1.05	0.40312421265	0.059
EPC_8	22	EPC_{31}	0.2	1.2	0.33593684387	0.049
EPC_9	23	EPC_{22}	0.25	1.25	0.26874947510	0.039
EPC_{10}	18	EPC_{11}	0.05	1.05	0.25595188105	0.038
...
...
EPC_{33}	14	EPC_{18}	0.2	1.2	0.00738799289	0.001
EPC_{34}	39	EPC_{21}	0.05	1.05	0.00703618370	0.001
EPC_{35}	29	EPC_{23}	0.15	1.15	0.00611842061	0.001
EPC_{36}	38	EPC_{30}	0.1	1.1	0.00556220055	0.001
EPC_{37}	15	EPC_{36}	0.15	1.15	0.00483669613	0.001
EPC_{38}	12	EPC_{34}	0.15	1.15	0.00420582272	0.001

Aşama 4. Fiziksel ve zihinsel iş yükü faktörlerinin belirlenmesi

Fiziksel iş yükü faktörlerinden biri olan termoregülasyon ölçümleri için kızılötesi termografi kullanılarak sıcaklık ölçümü çekirdek ve deri sıcaklıkları ölçülerek gerçekleştirilmiştir. Termal Sıcaklık ölçümlerinde 50 cm mesafeden insan ölçümleri için standart olarak kabul edilen 0.98 emisivite (yayınım) ölçüm değeri ayarlanarak kızılötesi termal görüntüleme kamerası yardımıyla ölçümler yapılmıştır. Şekil 2.'de çeşitli ölçüm örnekleri gösterilmektedir.



Şekil 2. Kızılötesi Termografi araçları kullanılarak hemşirelerin sıcaklık değişimlerinin ölçülmesi

Genel olarak termoregülasyon değerleri ortalama 36.8528 değeri ile normal aralıkta seyretmektedir. X değeri 0.65 olarak hesaplanmıştır. Termoregülasyon değerleri Eşitlik (13) kullanılarak Tablo 4’de verilmiştir.

Hemşirelerin uyku fazları ve yaşları ile ilgili veriler ise demografik anketten elde edilmiş ve Tablo 4’ de gösterilmiştir. Ayakta çalışma süresi 10.2574 ortalama saat ile önemli bir yorgunluk göstergesi olarak ve ortalama uyku fazları süresi 6.3324 saat vasat düzeyde görülmektedir.

Son olarak; NASA-TLX yöntemi hemşirelere uygulanmış ve Eşitlikler (11)-(12) de kullanılarak elde edilen WWL_i değeri zihinsel iş yükü faktörü olarak dikkate alınmıştır (Tablo 4).

Tablo 4. PCA için kullanılacak girdi veri matrisi(x_{ij})

Hemşireler	WWL_i	Termoregülasyon	Uyku Fazı	Yaş
H_1	63.8888	37.33	6.3	23
H_2	98.0555	36.35	4.5	24
H_3	96.25	36.97	4.5	39
H_4	97.9166	36.89	4.5	33
H_5	75.4166	36.78	6.3	44
H_6	86.1111	37.49	6.3	45
H_7	84.3055	36.55	8	32
H_8	87.5	36.69	8	45
H_9	79.8611	36.96	6.3	25
H_{10}	98.8888	36.83	6.3	29
...
...
...
H_{130}	75	36.84	6.3	22
H_{131}	94.4444	37.81	6.3	30
H_{132}	74.0277	36.42	6.3	33
H_{133}	78.8888	37.33	8	33
H_{134}	89.7222	36.35	8	45
H_{135}	48.8888	36.97	8	25
H_{136}	71.1111	36.89	8	24

H: Hemşire, G: Görev

Aşama 5. PCA kullanarak fiziksel ve zihinsel iş yükü faktörlerinin bütünlük etkisinin belirlenmesi

Girdi verileri Eşitlik (5-10) kullanılarak PCA işlem süreci gerçekleştirilerek APOA'ya olan bağımlılık problemi tek faktöre $\{wp_i\}$ dönüştürülmüştür. Tablo 4'te gösterilen girdi matrisi için Minitab 18 yazılımı kullanılmıştır. Tablo 5'te girdi ağırlıklı verilerin dağılımları gösterilmektedir.

Sıcaklık değişikliklerinin, uyku seviyelerinin, yaş ve zihinsel iş yükü faktörlerinin birleşik etkilerini gösteren ve Tablo 5 'te yer alan wp_i değerlerini elde etmek için ağırlıklı birleşik etkiler Eşitlik (14)'te gösterildiği gibi geometrik ortalama ile birleştirilmiştir.

$$w_{pi} = \begin{bmatrix} wp_{1m} & wp_{1a} & wp_{1sp} & wp_{1t} \\ wp_{2m} & wp_{2a} & wp_{2sp} & wp_{2t} \\ wp_{3m} & wp_{3a} & wp_{3sp} & wp_{3t} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ wp_{im} & wp_{ia} & wp_{isp} & wp_{it} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt[4]{wp_{1m} \times wp_{1a} \times wp_{1sp} \times wp_{1t}} \\ \sqrt[4]{wp_{2m} \times wp_{2a} \times wp_{2sp} \times wp_{2t}} \\ \sqrt[4]{wp_{3m} \times wp_{3a} \times wp_{3sp} \times wp_{3t}} \\ \vdots \\ \sqrt[4]{wp_{im} \times wp_{ia} \times wp_{isp} \times wp_{it}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} wp_1 \\ wp_2 \\ wp_3 \\ \vdots \\ wp_i \end{bmatrix} \quad (14)$$

Tablo 5. Ağırlıklı birleşik etki matrisi $X_c(e_{i,j})^T$ ve wp_i

Hemşireler	wp_{im}	wp_{ia}	wp_{isp}	wp_{it}	wp_i
H_1	63.8888	37.33	6.3	23	0.77057
H_2	98.0555	36.35	4.5	24	0.584467
H_3	96.25	36.97	4.5	39	0.403081
H_4	97.9166	36.89	4.5	33	0.130864
H_5	75.4166	36.78	6.3	44	0.400556
H_6	86.1111	37.49	6.3	45	0.636306
H_7	84.3055	36.55	8	32	0.3981
H_8	87.5	36.69	8	45	0.730291
H_9	79.8611	36.96	6.3	25	0.364676
H_{10}	98.8888	36.83	6.3	29	0.612786
...
...
...
H_{130}	75	36.84	6.3	22	0.390247
H_{131}	94.4444	37.81	6.3	30	0.300506
H_{132}	74.0277	36.42	6.3	33	0.50408
H_{133}	78.8888	37.33	8	33	0.625886
H_{134}	89.7222	36.35	8	45	0.761376
H_{135}	48.8888	36.97	8	25	0.446066
H_{136}	71.1111	36.89	8	24	0.20527

Aşama 6. Her katılımcı için görev bazlı APOA değerlerinin hesaplanması

Aşama 3 te elde edilen EPC ağırlıkları ile Aşama 5 de elde edilen bileşik etki değerleri Eşitlik (15) kullanılarak i. kişi için j. EPC nin etki oranı olan $APOA_{ij}$ ($0 \leq APOA_{ij} \leq 1$) belirlenir.

$$APOA_{ij} = wp_i \times w_j \quad (15)$$

Örneğin H_{14} olarak kodlanan hemşire için EPC_1 için $APOA_{14_1}$ değeri aşağıdaki gibi olacaktır.

$$APOA_{14_1} = wp_{14} \times w_1$$

Aşama 7. Her bir katılımcı için görev HEP değerlerinin belirlenmesi

Aşama 2 de belirlenen görevlere ait GTT kategorilerine göre belirlenen GEP değerleri, EPC değerleri ve Aşama 6 da belirlenen APOA değerleri Eşitlik (16) da kullanılarak kişisel bazda her bir göreve ait HEP değeri belirlenmektedir.

$$HEP_{it} = GEP_t \times \prod_{j=1} [(EPC_j - 1)APOA_{ij} + 1] \quad (16)$$

Herbir göreve ait farklı GEP ve EPC değerlerinin bulunmasına bağlı olarak her bir katılımcı için görev bazlı $APOA_{ij}$ değerlerinin yanısıra katılımcılara özgü HEP değerlerinin hesaplanması mümkün olmaktadır.

Örneğin H_{14} kodlu hemşire için görev G20'ye ait HEP_{1420} değeri; görev ile ilişkili tüm EPC ve APOA değerleri kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanacaktır:

$$HEP_{1420} = GEP_{20} \times \prod_{j=1}^{n} [(EPC_j - 1)APOA_{14j} + 1]$$

Herbir hemşire için hesaplanmış göreve özgü HEP_{it} Tablo 6'da gösterilmiştir.

Aşama 8. Görevler için her bir katılımcının risk düzeylerinin belirlenmesi

Bu aşamada, bir önceki aşamada belirlenen HEP_{it} değerlerine göre hemşireler için riskli ve risksiz görevlerin belirlenmiştir. Bunun için Tablo 7'da Garvey tarafından hazırlanan risk kategorileri kullanılmıştır.

Tablo 7. Risk tanımlama aralıkları tablosu (Garvey, 2001)

Risk Olasılık Tablosu	Tanımlama	Değerlendirme
> 0 - ≤ 0.05	Gerçekleşme ihtimali yok	Düşük
> 0.05 - ≤ 0.15	Gerçekleşmeme ihtimali çok yüksek	Düşük
> 0.15 - ≤ 0.25	Gerçekleşmeme ihtimali yüksek	Düşük
> 0.25 - ≤ 0.35	Gerçekleşmeme ihtimali az	Düşük
> 0.35 - ≤ 0.45	Gerçekleşmeme ihtimali gerçekleşmesinden fazla	Orta
> 0.45 - ≤ 0.55	Gerçekleşmeme ihtimali gerçekleşme ihtimaliyle aynı	Orta
> 0.55 - ≤ 0.65	Gerçekleşme ihtimali gerçekleşmemesinden fazla	Orta
> 0.65 - ≤ 0.75	Gerçekleşme ihtimali var	Yüksek
> 0.75 - ≤ 0.85	Gerçekleşme ihtimali yüksek	Yüksek
> 0.85 - ≤ 0.95	Gerçekleşme ihtimali çok yüksek	Yüksek
> 0.95 - < 1	Gerçekleşme ihtimali kesin	Yüksek

Tablo 6. Hemşirelerin görevlerdeki HEP_{it} değerleri

Görevler	G1	G2	...	...	G7	G8	G9	G10	G11	...	...	G43	G44	G45
H1	46.19%	3.43%	...	...	3.42%	26.11%	18.50%	26.32%	77.71%	...	...	33.00%	3.38%	18.17%
H2	38.12%	3.32%	...	...	3.32%	23.61%	17.89%	21.31%	72.14%	...	...	28.55%	3.29%	17.64%
H3	30.73%	3.22%	...	...	3.22%	21.21%	17.30%	16.94%	66.76%	...	...	24.42%	3.20%	17.13%
H4	20.53%	3.07%	...	...	3.07%	17.67%	16.42%	11.31%	58.79%	...	...	18.62%	3.06%	16.36%
H5	30.63%	3.22%	...	...	3.22%	21.17%	17.30%	16.88%	66.69%	...	...	24.36%	3.20%	17.12%
H6	40.31%	3.35%	...	...	3.35%	24.30%	18.06%	22.65%	73.68%	...	...	29.77%	3.31%	17.78%
H7	30.54%	3.22%	...	...	3.21%	21.14%	17.29%	16.82%	66.62%	...	...	24.31%	3.20%	17.11%
H8	44.40%	3.41%	...	...	3.40%	25.57%	18.37%	25.19%	76.50%	...	...	32.02%	3.36%	18.05%
H9	29.23%	3.20%	...	...	3.20%	20.70%	17.18%	16.07%	65.63%	...	...	23.57%	3.18%	17.02%
H10	39.31%	3.34%	...	...	3.33%	23.99%	17.99%	22.03%	72.98%	...	...	29.21%	3.30%	17.72%
H11	32.70%	3.25%	...	...	3.24%	21.86%	17.46%	18.08%	68.22%	...	...	25.52%	3.22%	17.26%
H12	42.70%	3.38%	...	...	3.38%	25.04%	18.24%	24.13%	75.34%	...	...	31.09%	3.34%	17.94%
H13	33.96%	3.27%	...	...	3.26%	22.27%	17.57%	18.82%	69.15%	...	...	26.23%	3.24%	17.35%
H14	67.72%	3.69%	...	...	3.67%	32.29%	19.96%	40.64%	91.33%	...	...	44.64%	3.61%	19.46%
H15	40.57%	3.36%	...	...	3.35%	24.38%	18.08%	22.81%	73.86%	...	...	29.91%	3.32%	17.80%
...
...
...
H132	34.78%	3.28%	...	...	3.27%	22.54%	17.63%	19.31%	69.75%	...	...	26.69%	3.25%	17.41%
H133	39.87%	3.35%	...	...	3.34%	24.16%	18.03%	22.38%	73.37%	...	...	29.52%	3.31%	17.76%
H134	45.78%	3.42%	...	...	3.41%	25.99%	18.47%	26.06%	77.43%	...	...	32.78%	3.38%	18.14%
H135	32.44%	3.25%	...	...	3.24%	21.77%	17.44%	17.93%	68.03%	...	...	25.38%	3.22%	17.25%
H136	23.22%	3.11%	...	...	3.11%	18.63%	16.66%	12.74%	60.96%	...	...	20.16%	3.10%	16.57%

Tablo 6 'ye göre, bazı görevlerin yüksek EPC değerleri nedeniyle bireysel HEP_{it} değerleri oldukça yüksektir. Ayrıca her hemşirenin risk düzeyine göre asla verilmemesi gereken görevler belirlenmiştir. Örneğin Tablo 8,

hemşire H_{14} için görev-risk değerlendirmesini göstermektedir. H_{14} ; acil serviste çalışan kadın servis hemşiresidir. Bir lisans programından mezun olmuştur ve 5 yıldan az deneyime sahiptir. Ayrıca 24 saat ayakta çalışmak zorunda kalmaktadır. Uyku bozuklukları nedeniyle termoregülasyon ölçümlerinde (34.47 °C) hafif hipotermi tanısı ile değerlendirilmektedir. Ayrıca titreme, muhakemede azalma, hafıza kaybı, ilgisizlik ve kalp ve solunum hızında artış gibi belirtiler gösterebileceği öngörülmektedir. Hemşire H_{14} için NASA-TLX değeri 87.5 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 8. Hemşire H_{14} için görev bazlı risk değerlendirmesi

Görevler	Değerlendirme	Tanımlama
G11, G13, G33, G35, G39, G40	<i>Yüksek</i>	Gerçekleşme ihtimali var
G1, G30, G34	<i>Yüksek</i>	Gerçekleşme ihtimali gerçekleşmemesinden fazla
G10, G43	<i>Orta</i>	Gerçekleşme ihtimali az
G15	<i>Orta</i>	Gerçekleşme ihtimali gerçekleşmesinden fazla
G31	<i>Orta</i>	Gerçekleşme ihtimali gerçekleşme ihtimaliyle aynı
G2, G3, G5, G6, G7, G14, G17, G18, G21, G23, G24, G26, G28, G38, G41, G42, G44	<i>Düşük</i>	Gerçekleşme ihtimali çok yüksek
G12, G16, G20, G22, G36, G37	<i>Düşük</i>	Gerçekleşme ihtimali yok
G9, G19, G27, G29, G32, G45	<i>Düşük</i>	Gerçekleşme ihtimali çok yüksek
G4, G8, G25	<i>Düşük</i>	Gerçekleşme ihtimali yüksek
EPC olmayan görevler: G3, G5, G6, G14, G17, G21, G24		

Tablo 8'de görüldüğü gibi H_{14} , birçok görev için yüksek risk değerlerine sahiptir. Bu hemşire uyum sorunlarıyla baş edebilmesi için psikolojik destek almalı ve risk düzeyi yüksek görevlere atanmamalıdır. İş güvenliği ile ilgili bazı önlemlerin alınması da önemlidir. Ayrıca hizmet içi eğitimler ile yetkinliği geliştirilmeli, görev tanımları netleştirilmeli ve iş kapsamı daraltılarak yazılı yönergelerle belirlenmelidir. Etkin bir geri bildirim sağlayacak şekilde hata raporları hazırlanmalıdır. İç denetimler kıdemli hemşireler tarafından düzenli olarak yapılmalıdır.

5. Tartışma ve öneriler

Görevler incelendiğinde en fazla ortaya çıkan hata üreten koşul, EPC 5 olarak görülmektedir. “Mekânsal ve işlevsel bilgileri operatörlere kolayca özümseyebilecekleri bir biçimde aktarmanın hiçbir yolunun olmaması durumu” olarak tanımlanan EPC 5 koşulu; vardiya değişiklikleri veya farklı hemşire hizmetlerinde ortaya çıkan bir durumdur. EPC 5 koşulunun ortadan kaldırılması ile elde edilen yüzdesel hata olasılık değerleri Tablo 9’da gösterilmiştir.

Tablo 9. EPC 5 dahil ve göz ardı edilerek elde edilen HEP_{it} değerleri

		GÖREV HEP_{it} (%)																				
		G13	G13	G19	G19	G20	G20	G22	G22	G26	G26	G30	G30	G33	G33	G35	G35	G40	G40	G43	G43	
HEMŞİRELER	H1	87,35	48,74	17,99	10,04	8,78	4,90	6,01	3,35	3,73	2,08	45,16	25,20	57,69	32,19	100,00	88,06	96,70	93,01	33,00	18,41	
	H2	67,86	42,39	15,66	9,78	6,72	4,20	5,23	3,27	3,30	2,06	36,78	22,98	49,03	30,63	92,03	63,73	100,00	66,12	28,55	17,83	
	H3	51,97	36,74	13,49	9,54	4,97	3,52	4,50	3,18	2,89	2,04	29,44	20,81	41,23	29,15	63,14	44,64	64,52	45,61	24,42	17,26	
	H4	33,16	29,23	10,41	9,17	2,83	2,49	3,47	3,06	2,28	2,01	19,93	17,56	30,64	27,00	26,58	23,43	26,71	23,54	18,62	16,41	
	H5	51,77	36,67	13,46	9,53	4,95	3,51	4,49	3,18	2,88	2,04	29,34	20,78	41,13	29,13	62,69	44,40	64,04	45,36	24,36	17,26	

	H11	56,02	38,23	14,07	9,60	5,42	3,70	4,70	3,21	3,00	2,05	31,36	21,40	43,30	29,55	72,42	49,43	74,29	50,70	25,52	17,42	
	H12	78,67	45,97	16,99	9,93	7,87	4,60	5,67	3,31	3,55	2,07	41,51	24,26	53,94	31,52	91,97	77,13	98,30	80,82	31,09	18,17	
	H13	58,68	39,19	14,45	9,65	5,72	3,82	4,82	3,22	3,07	2,05	32,61	21,78	44,63	29,80	78,78	52,61	81,01	54,10	26,23	17,52	

	H31	72,60	43,98	16,26	9,85	7,23	4,38	5,43	3,29	3,41	2,07	38,88	23,55	51,22	31,03	94,84	69,57	99,67	72,50	29,68	17,98	
	H32	74,02	44,45	16,43	9,87	7,38	4,43	5,49	3,29	3,45	2,07	39,50	23,72	51,86	31,15	98,78	71,34	93,94	74,43	30,02	18,03	
	H33	37,20	30,95	11,13	9,26	3,29	2,74	3,71	3,09	2,43	2,02	22,06	18,35	33,08	27,51	33,43	27,81	33,70	28,04	19,98	16,62	

	H45	55,55	38,06	14,01	9,60	5,37	3,68	4,68	3,20	2,99	2,05	31,14	21,34	43,06	29,50	71,33	48,87	73,14	50,11	25,40	17,40	
	H46	59,63	39,52	14,57	9,66	5,82	3,86	4,86	3,22	3,10	2,05	33,04	21,90	45,09	29,89	81,07	53,74	83,44	55,31	26,47	17,55	
	H47	75,66	44,99	16,63	9,89	7,55	4,49	5,55	3,30	3,48	2,07	40,21	23,91	52,60	31,28	93,39	73,37	98,94	76,68	30,40	18,08	

	H133	71,90	43,75	16,17	9,84	7,15	4,35	5,40	3,28	3,40	2,07	38,57	23,47	50,90	30,97	92,93	68,71	97,60	71,55	29,52	17,96	
	H134	86,31	48,41	17,87	10,02	8,67	4,86	5,97	3,35	3,71	2,08	44,73	25,09	57,24	32,11	100,00	86,73	93,18	91,53	32,78	18,39	
H135	55,48	38,03	14,00	9,60	5,36	3,68	4,67	3,20	2,99	2,05	31,10	21,32	43,02	29,50	71,15	48,78	72,94	50,01	25,38	17,40		
H136	37,75	31,17	11,23	9,27	3,36	2,77	3,75	3,09	2,45	2,02	22,34	18,45	33,40	27,58	34,41	28,42	34,71	28,66	20,16	16,64		
EPC5 işlemlere dâhil edildi												EPC5 işlemlere dâhil edilmedi										

Tablo 9 ‘da yer alan görevlerde EPC5’in etkilerinin olmadığı kabulü ile yapılan hesaplamalarda HEP_{it} değerlerinin azaldığı, hatta HEP_{it} değerleri arasında çok büyük farklar olduğu tespit edilmiştir. Örneğin G40 “Tıbbi cihazların işleyişinde görülen sıkıntılar, bozukluklar vb. gibi istenmeyen şartlar altında çalışmak” görevinde hemşire H2 için HEP_{it} değerinde ciddi oranda iyileşme olduğu görülmektedir. Bilgilerin doğru aktarılması ve operatör tarafından özümsebilmesi durumunda %33,88 oranında daha az hata eğilimi anlamına gelen bir iyileşme oranı elde edilmiş olacaktır.

Hastaya ait geçmiş ve diğer rutin bilgiler sağlıklı ve eksiksiz bir şekilde aktarılamamaktadır. Sürekli gelişen ve kaliteli sağlık hizmetleri için sürekli ve net veri aktarımı yapılmalıdır. Hizmet akışını devam ettiren hemşirenin hastanın tedavi geçişine tam olarak hâkim olması gerekmektedir. Bu noktada meydana gelen aksaklıklar hemşirelerin görevlerinde hata olasılığı olarak ortaya çıkmaktadır. Araştırma sonuçlarına bağlı olarak önerilebilecek çözümler çerçevesinde teknolojik gelişmeler umut vadetmektedir. Eş zamanlı olarak veri akışı sağlayan özel sistemlerin tasarlanması ile bu tip hatalar önlenebilecektir. Yapay zeka ile güçlendirilmiş ve bellek yönetimi tabanlı çevrimiçi uygulamalar ile arzu edilen kalite düzeyi elde edilebilmektedir. Uluslararası gıda şirketlerinin algısal algoritma tabanlı olarak bu tip önleyici yazılımlar geliştirdikleri ve uygulamaları bilinmektedir. Yadsınamaz bir gerçek olarak özellikle hizmet sektöründe büyük zorluklara yol açan; hızlı, etkin ve derin teknolojik çözümleri tetikleyen pandemi etkileri, insanların davranış, beklenti ve algı biçimlerini yeniden şekillendirmiş, buna göre hizmetlerin içeriği kuruluş ile müşterileri arasındaki temas noktasındaki etkileşimler çerçevesinde yeni koşullar doğurmuştur (Yılmaz Kaya, 2022). Bu nedenlerle, çalışma sonuçlarına dayanarak bu araştırmada geliştirilen bir diğer öneri olarak karar destek sistemlerinin yardımı ile yeni riskler oluşmadan bertaraf edilebilecekken bu çalışmada önerilen yaklaşım temelinde çalışma yeri ve durumuna bağlı riskler de tespit edilerek iş sisteminden kolaylıkla çıkarılabilecektir. Özellikle bulaş riskinin fazla olduğu özel uygulama alanlarında ve pandemi gibi özel durumların yaşanabileceği gerçeği altında gerek ölçüm gerek yönetsel seviyelerde teknolojik gelişmelerden en uça yararlanacak sistemlerin tasarlanmasında bu çalışmanın önermekte olduğu yaklaşım risk belirleme, değerlendirme ve önleme faaliyetleri için bel kemiğini oluşturabilecek yapıdadır.

6. Sonuç

Bu çalışmada SPC-HEART adı verilen yeni bir yöntem önerilmektedir. Daha somut APOA değerlerinin elde edilmesi açısından daha kolay; uygulama alanları açısından daha zengin ve sağlam bir yöntem sunulmaktadır. Önerilen yöntemde klasik HEART yönteminden farklı olarak her bir kişinin her bir görev için HEP değerleri hesaplanmıştır. Klasik HEART yöntemi uygulansaydı; belirlenen bir görevler için genel bir HEP değeri elde edilir ve bireysel farklılıkların yol açtığı değişimler incelenemezdi. Yeni yöntemde kişilerin görev bazında risk düzeyleri belirlenerek kişinin çalışmaması gereken görevler ortaya çıkarılmaktadır. Çalışma bu yönü ile literatüre katkı sağlamaktadır. Önleyici faaliyetlerin yapılması ile kişilere ait risk düzeyleri düşürülebilir ve her görevde yer almaları sağlanabilir.

Uygulama sürecinde pandemi kısıtlamalarının negatif etkilerinin yanı sıra iş ekosisteminin diğer bir deyişle hizmetin işbirliği yoluyla devam etmesi sürekliliğinin sağlanması mecburiyetinden ötürü çalışma dar kapsamlı olarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca tanımlanan çalışma aralıkları ve vardiya değişkenliği de olumsuz yönde etkili olmuştur. Bahsedilen sınırlılıklara rağmen ulaşılan sonuçlar; kişilerin hata eğilimlerinde iş ortamları ile birlikte bireysel özelliklerinin de etkili olduğunu göstermiştir. Böylelikle literatüre yeni katkılar yapması ile birlikte insan-hata ilişkisine farklı bakış açısı getirmiştir. İşgücü, iş ahlakı, ergonomik çalışma ortamı, ekip işbirliği, ekip deneyimleri, organizasyon kalitesi, bilgi birikimi ve zaman mevcudiyeti vb. gibi değişkenleri ideal seviyede olması, stres ve zihinsel iş yükünü azaltacaktır.

Gelecekteki çalışmalarda SPC-HEART yöntemi farklı sektörlerde çalışan katılımcılar için görev bazında risk düzeylerinin belirlenmesi için kullanılabilir. GTT, EPC ve APOA değerlerinin belirlenmesinde belirsizlik bulanık küme teorisi tabanlı yaklaşımlar ile ele alınarak HEART yöntemi geliştirilebilir. Ayrıca daha fazla fiziksel iş yükü ve zihinsel iş yükü faktörü dikkate alınarak daha kapsamlı sonuçlar elde edilebilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada S. Cihan Köseoğlu, verilerin toplanması, hedef probleme yönelik modelinin oluşturulması, yöntemin uygulanması, sonuçların yorumlanması ve makalenin oluşturulması, sonuçların yorumlanması, konu ve literatür araştırmasının yapılması; Elif Kılıç Delice, problemin tanımlanması, bilimsel yayın araştırmasının yeterliliğinin incelenmesi, yöntem ve uygulamanın incelenmesi, makalenin oluşturulması ve genel makale incelemesi konularında katkı sağlamışlardır.

Teşekkür

Bu çalışmayı gerçekleştirmek için hem izin hem de uygulama aşamasında yardımlarını esirgemeyen Eğitim ve Araştırma Hastanesi yöntemine ve yoğun iş yüklerine rağmen çalışmaya gönüllü olarak katılan hemşirelere minnettarız.

Çıkar Çatışması

Bu makalenin yazarları arasında herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynakça

Akyuz, E., Celik, M. & Cebi, S. (2016). A phase of comprehensive research to determine marine-specific EPC values in human error assessment and reduction technique. *Saf Sci*, 87, pp.63–75.

doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.03.013>

Aliabadi, M. M. (2021). Human error analysis in furnace start-up operation using HEART under intuitionistic fuzzy environment, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 69, 104372.

doi: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104372>.

Burton, A. (1935). Human calorimetry: II. the average temperature of the tissues of the body: three figures. *J. Nutr.*, 9 (3), pp.261–280. doi: <https://doi.org/10.1093/jn/9.3.261>

Castiglia, F. & Giardina, M. (2013). Analysis of operator human errors in hydrogen refuelling stations: comparison between human rate assessment techniques. *Int J Hydrogen Energy*, 38 (2), pp.1166–1176.

doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.10.092>

Dunteman G, H. (1989). *Principal components analysis (quantitative applications in the social sciences)*, 1st ed.; SAGE Publications; California, USA, pp.7–55.

Fang, L., Xiao, B., Yu, H., You, Q. (2018). A stable systemic risk ranking in china's banking sector: based on principal component analysis. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 492, pp. 1998–2006.

doi: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.11.115>

Garvey, P. R. (2001). Track 2: Implementing a risk management process for a large scale information system upgrade- a case study. *INCOSE*, 4 (1), pp.14–18. doi: <https://doi.org/10.1002/inst.20014115>.

Guyton, A. C. & Hall, J. E. (2013). *Tıbbi Fizyoloji*. Çeviri Ed: Prof. Dr. Berrak ÇAĞLAYAN YEĞEN. Nobel Tıp Kitapevleri, 868-877, İstanbul.

Hall, J. C.: Rosbash, M.; Young, Michael. W. (2017). Discoveries of molecular mechanisms controlling the circadian rhythm. *The University of Maine*, pp. 1-7. <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/press-39.pdf>

Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). *Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research*. *Human Mental Workload*, 139–183. doi: [https://doi.org/10.1016/s0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/s0166-4115(08)62386-9)

Jolliffe, I. T. & Cadima, J. (2016). Principal Component analysis: a review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374[2065]. doi: <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>

Kandemir, C. & Celik, M. (2021). Determining the error producing conditions in marine engineering maintenance and operations through HFACS-MMO, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 206, 107308. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.107308>.

Keršulienė, V., Zavadskas, E. K. & Turskis, Z. (2010). Selection Of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *J Bus Econ Manag*, 11 (2), pp.243–258. doi: <https://doi.org/10.3846/jbem.2010.12>

Kirwan, B. (1988). A comparative evaluation of five human reliability assessment techniques. In *Human Factors and Decision Making: Their Influence on Safety and Reliability*, Elsevier; London, U.K., pp.87–109.

Kotek, L., Zuma, Z., Blecha, P. & Mukhametzianova, L. (2016). In *Risk based workload and staffing level analysis. Risk, Reliability and Safety: Innovating Theory and Practice*, Walls, L.; Revie, M.; Bedford, T. Eds.; CRC Press, London, pp. 87-90. doi: <https://doi.org/10.1201/9781315374987>

Kumar, A. M., Rajakarunakaran, S. & Arumuga Prabhu, V. (2017). Application of fuzzy HEART and expert elicitation for quantifying human error probabilities in LPG refuelling station, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 48, 186–198. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2017.04.021>.

Kurata, Y. B., Acula, D. J. L., Galingan, R. L., Palines, A. M. J. & Viterbo, J. C. L. (2015). Human Error Reduction for Cost Efficiency Improvement in the Butchery Area of a Chicken Processing Company, *Procedia Manufacturing*, Vol. 3, 346–353. doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.170>.

Lucas-Estañ, M. C., Sepulcre, M., Raptis, T. P., Passarella, A., Conti, M. (2018). Emerging trends in hybrid wireless communication and data management for the Industry 4.0. *Electronics*, 7 (12), 400-405. doi: <https://doi.org/10.3390/electronics7120400>

Nunnally, J. C. & Bernstein, I. H. (1994). *Psychometric theory* 3rd ed., New York: McGraw-Hill, 232. ISBN: 007047849X,9780070478497

Oka, T. (2015). Psychogenic Fever: How psychological stress affects body temperature in the clinical population. *Temperature*, 2(3), pp.368–378. doi: <https://doi.org/10.1080/23328940.2015.1056907>

Rogers, A. E., Hwang, W. T., Scott, L. D., Aiken, L. H. & Dinges, D. F. (2004). The working hours of hospital staff nurses and patient safety. *Health Aff.* , 23 (4), pp.202–212. doi: <https://doi.org/10.1377/hlthaff.23.4.202>

Salthouse, T. A. (1991). Mediation of adult age differences in cognition by reductions in working memory and speed of processing. *Psychol Sci*, 2 (3), pp.179–183. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1991.tb00127.x>

Shlens, J. (2014). *A tutorial on principal component analysis 2005. Educational International Journal of Remote Sensing*, 51(2), pp.1–12. [Google Scholar](#)

Stampi, C. (1992). *Why We Nap*, Birkhäuser: Boston, pp.142–258. doi: <https://www.gwern.net/docs/zeo/1992-stampi-whywenap.pdf>

Tharwat, A. (2016). Principal component analysis- a tutorial. *International Journal of Applied Pattern Recognition*, 3 (3), pp.197–240. doi: <https://doi.org/10.1504/IJAPR.2016.079733>

Torres, Y., Nadeau, S. & Landau, K. (2021). Classification and quantification of human error in manufacturing: a case study in complex manual assembly, *Appl. Sci.*, Vol. 11, No. 2, 749.

doi: <https://doi.org/10.3390/app11020749>

Wang, W., Liu, X. & Qin, Y. (2018). A modified HEART method with FANP for human error assessment in high-speed railway dispatching tasks, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 67, 242–258.

doi: <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2018.06.002>.

Warm, J. S. , Dember, W. N. & Hancock, P. A. (1996). Vigilance and workload in automated systems. In R. Parasuraman & M. Mouloua (Eds.), *Automation and Human Performance: Theory and Applications*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum, 183-200. [Google Scholar](#) ISBN: 9781315137957

Weaver, M. D., Sletten, T. L., Foster, R. G., Gozal, D., Klerman, E. B., Rajaratnam, S. M. W., Roenneberg, T., Takahashi, J. S., Turek, F. W., Vitiello, M. v., Young, M. W. & Czeisler, C. A. (2021). Adverse impact of polyphasic sleep patterns in humans: report of the national sleep foundation sleep timing and variability consensus panel. *Sleep Health*, 7 (3), pp.293–302. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2021.02.009>

WHO. (2018). A global imperative for universal health coverage. *Delivering Quality Health Services*, World Health Organization, OECD, and International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank; pp. 45-55. ISBN:9789241513906

Williams, J. C. (1988). Data-based method for assessing and reducing human error to improve operational performance. IEEE Fourth Conference on Human Factors and Power Plants, Monterey, USA, pp. 436-450. doi: <https://doi.org/10.1109/HFPP.1988.27540>

Wu, Y., Wang, J., Luo, C., Hu, S., Lin, X., Anderson, A. E., Bruera, E., Yang, X., Wei, S. & Qian, Y. A. (2020). Comparison of burnout frequency among oncology physicians and nurses working on the frontline and usual wards during the covid-19 epidemic in Wuhan, China. *J Pain Symptom Manage*, 60 (1), pp.60–65. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpainsymman.2020.04.008>.

Yılmaz Kaya, B. (2022). Minimizing OHS Risks with Spherical Fuzzy Sets as a Verdict to Inventory Management: A Case Regarding Energy Companies. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, Article ID 9511339, 1-26. <https://doi.org/10.1155/2022/9511339>

Yılmaz Kaya, B. (2022). Contemplation and analysis of pandemic impacts on accommodation industry and a system reformulation proposal with Kano model: Turkey case. *Current Issues in Tourism*, 25(8), 1226-1241. <https://doi.org/10.1080/13683500.2021.2007860>

Zhou, J. L., Lei, Y. & Chen, Y. (2019). A hybrid HEART method to estimate human error probabilities in locomotive driving process, *Reliability Engineering and System Safety*, 80–89.

doi: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.03.001>

Ek 1 Görev listesi

No	GÖREVLER
1.	Acil durumlar ile ilgilenmek
2.	Belirsiz rolleri ya da çelişkili vazifeleri yürütmek zorunda kalarak çalışmak
3.	Bilgi toplayıp, kabul-transfer işlemlerini tamamlayarak hastayı üniteye yönlendirmek
4.	Birden fazla işin bir araya gelmesi ve aynı zaman aralığında yapılması
5.	Diğer ekip çalışanlarıyla yaşanan iletişim bozuklukları, çatışmalar vb. gibi şartlar altında çalışmak
6.	Doğrudan ve dolaylı hasta bakım işlemlerini yürütmek
7.	Ekip arkadaşları tarafından uygulanan mobbing (Bezdirme) davranışları altında işlemleri yürütmek
8.	Ekipmanların işleyişi hakkında yeterli bilgiye sahip olamama, oluşan yeni koşullarda ihtiyaca cevap verememe vb. gibi engeller ile çalışmak
9.	Eş zamanlı olarak hekim bilgisi gerektiren işlemlerin, yetkililere zamanında ulaşılamadığı için bireysel bilgi ve deneyimlerle yapılması
10.	Gerekli ilaç ve müdahale işlemleri hakkında yeterli bilginin bulunmadığı işlemlerin yaptırılması
11.	Hasta geçmişi hakkında lazım olan bilgiler olmadan işlemlerin yürütülmesi
12.	Hasta haklarını bilmemek ve işlemleri bu şekilde yürütmek
13.	Hasta ve yakınları ile yaşanan çatışmalar, iletişim bozukluğu vb. gibi şartlar altında çalışmak
14.	Hasta ve/veya yakınlarıyla etkin iletişim sağlayamama vb. gibi durumlara bağlı olarak işlemlerin yürütülmesi
15.	Hasta yakınlarının hemşirelerden, belirli düzeyde empati yapmasını ve duyarlı olmasını beklemesi gibi talepler kapsamında çalışmak
16.	Hasta yakınlarının hemşireye anında ulaşmak istemesi ve ihtiyaçlarının en kısa zamanda giderilmesi yönündeki baskıları altında mevcut işlemlerin yapılması
17.	Hasta/hasta yakınlarının hemşireler arasında tercihte bulunmaları, iyi-kötü, başarılı-başarısız diye ayırmalarının yol açtığı tükenmişlik hali ile çalışmak
18.	Hasta-hemşire arası güven ilişkisinin yeterli olmadığı veya tesis edilemediği koşullar altında çalışmak
19.	Hastalar hakkında edinilen hayati belirtilerdeki değişikliklerin hekime kısa zamanda iletilmemesi ve bu sonuçlar dahilinde çalışmak
20.	Hastaların günlük yaşam aktivitelerine yardımcı olmak
21.	Hastaların yaşadığı acılar ile doğrudan etkileşimde bulunmanın maruziyeti ile çalışmak
22.	Hastanenin ilgili bölümünün hizmet araç ve gereçleri teminindeki yetersizliği vb. gibi aksaklıklar dahilinde işlemleri yürütmek
23.	Hastaya ait raporların hazırlanması
24.	Hastayı desteklemek için tüm sağlık ekibi ile birlikte eş zamanlı çalışmak
25.	Hayati belirtileri ölçme ve izleme, ilaç yönetimi işlemlerini yürütmek
26.	Hemşirelik bakım gereksinimlerini değerlendirmek ve planlamak, hasta takip işlemlerini yürütmek

27.	Hemşirelik bakım ve gereksinimlerini, değerlendirme ve planlamada veri eksikliğinin bulunması ve çalışmaların bu şekilde sürdürülmesi
28.	İlaç ve serum gibi gerekli materyallerin zamanında temin edilememesi vb gibi aksaklıklar ile çalışmak
29.	İşe yeni başlamış tecrübesiz hemşireye karmaşık işlemlerin yaptırılması
30.	İş yükü açısından hemşire sayısının yetersiz olduğu bölümlerde çalışmak
31.	Kan alınırken damarların net görünmemesi ve/veya hissedilememesi durumunda yaşanan başarısızlık hissi ile çalışmak
32.	Kısıtlı karar alma yetkileri ile çalışmak
33.	Öğrenci ve stajyer hemşirelerle yaşanan uyumsuzluklar, çatışmalar vb gibi olumsuzluklar çerçevesinde işlemlerin yürütülmesi
34.	Ön hazırlık ve iş planlaması açısından zaman yetersizliği yaşayarak çalışmak
35.	Pratiğin olmamasından veya ilk defa karşılaşılmamasından kaynaklanan, kritik hastaya müdahalede yetersiz kalınan işlemler
36.	Prosedürler kapsamında doktora yardım etmek
37.	Refakatçisi olmayan hastaların iş yükünü artırması ve işlemlerin bu iş yüküne bağlı olarak tamamlanması
38.	Sadece hekimlerin cevaplayabileceği soruların hemşireye sorulması ile oluşan sıkıntılar dahilinde işlemleri yürütmek
39.	Tansiyon ölçmede net duyamama, hastanın kolu ile manşonun uyumsuzluk göstermesi gibi olumsuzluklar dahilinde işlemleri yürütmek
40.	Tıbbi cihazların işleyişinde görülen sıkıntılar, bozukluklar vb gibi istenmeyen şartlar altında çalışmak
41.	Toner, kâğıt gibi kırtasiye araç ve gereçlerinin yedekte bulunmaması vb gibi olumsuzluklar çerçevesinde işlemlerin yürütülmesi
42.	Uygulamaların hasta/hasta yakınları tarafından dikkatlice izlenmesi, yorumlanması vb gibi durumların yol açtığı psikoloji ile işlemlerin yapılması
43.	Üstlerin direktiflerin ve beklentilerinin etkileri ile işlemlerin yürütülmesi
44.	Vardiya zorlukları, bireysel hakların eksikliği ve zor iş koşullarında çalışmak
45.	Yoğun müdahale gerektiren ve karmaşık süreçlerde hayati bulguları ölçme ve izleme işlemlerini kısıtlı ve dar sürelerde tamamlama zorunluluğu olan işlerin yaptırılması