

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMIYLA OTURMA DÜZENEGİ SEÇİMİ

Gülin Feryal Can^{1*}, Elif Kılıç Delice², Betül Cansu Özçakmak³

¹ Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

² Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

³ TÜBİTAK Stratejik Araştırmalar Daire Başkanlığı, Ankara, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Özet
<i>Ergonomik tasarım, Oturma düzenegi, Çok kriterli karar verme, SWARA, WASPAS.</i>	Rekabetin gün geçtikçe arttığı piyasa koşullarında işletmelerin üretim süreçlerinde kullandıkları hammadde, enerji, işgücü, sermaye gibi girdilerden en yüksek seviyede yararlanmaları gerekmektedir. Bu üretim girdileri arasında en önemlisi işgücüdür. Bu nedenle işletmelerin çalışanlara yönelik gerçekleştirdiği her bir iyileştirme faaliyeti üretim verimliliğini doğrudan etkileyecektir. Söz konusu iyileştirmeler kapsamında işgücüne uyumlu iş istasyonu tasarımı büyük önem taşımaktadır. Bu tür iş istasyonlarında ergonomik tasarım ilkeleri uygulanarak üretim verimliliği yükseltilmektedir. Bu çalışmada, pim imalatı yapan bir firmada, ısıtma işlem istasyonu ergonomik açıdan analiz edilerek oturma düzenegi seçimi gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, istasyonda sergilenen çalışma duruşlarının risk değerlendirmesi için Hızlı Tüm Vücut Değerlendirme (Rapid Entire Body Assessment-REBA) yöntemi uygulanmıştır. REBA sonuçlarına göre vücudun en çok zorlanan bölgesi/leri belirlenerek, yedi farklı oturma düzenegi dört karar verici (KV) tarafından karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada maliyet, ayarlanabilir yükseklik, ayarlanabilir kol desteği, ayarlanabilir ayak desteği, kumaş tipi, ayarlanabilir boyun desteği olmak üzere altı kriterin alternatiflere göre kullanılabilirliği dikkate alınmıştır. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde Aşamalı Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi (Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis-SWARA), alternatiflerin sıralanmasında ise Ağırlıklı Birleşik Toplu Çarpım Değerlendirmesi (Weighted Aggregated Sum Product Assessment-WASPAS) kullanılmıştır. SWARA ile elde edilen, kriter ağırlıklarına göre, en önemli oturma düzenegi seçim kriteri, 0.45 oranı ile maliyet olarak bulunmuştur. Ayrıca, fayda ve maliyet kriterlerinin eşit olasılıkla ortaya çıkabileceği varsayılarak analiz yapıldığında ise ikinci oturma düzeneginin ilk sırada tercih edildiği belirlenmiştir.

SELECTION OF SEATING ARRANGEMENT BY USING MULTI CRITERIA DECISION MAKING APPROACH

Gülin Feryal Can^{1†}, Elif Kılıç Delice², Betül Cansu Özçakmak³

¹ Başkent University, Engineering Faculty, Industrial Engineering Department, Ankara, Turkey

² Atatürk University, Engineering Faculty, Industrial Engineering Department, Erzurum, Turkey

³ TÜBİTAK Strategic Research Department, Ankara, Turkey

Keywords	Abstract
<i>Ergonomics design, Seating arrangement, Multi criteria decision making, SWARA, WASPAS.</i>	Given the market conditions with ever-increasing competition, companies have to utilize their resources such as raw material, energy, labor and capital at the highest level. The most important resource among these is the labor force. Therefore, each improvement activity implemented by companies for their employees affects production productivity directly. In the context of these improvement activities,

* İlgili yazar: gfcan@baskent.edu.tr, 0312 246 66 66/13 57

† Corresponding Author: gfcan@baskent.edu.tr, 0312 246 66 66/13 57

work station design compatible with the employee has a great significance. In work stations of this kind, application of ergonomic design principles result in an increase in production productivity. In this study, heat treatment station of a company that produce pins is analyzed in terms of ergonomic conditions and selection of sitting arrangement is carried out. Primarily, for the risk assessment of the working postures observed in this station, Rapid Entire Body Assessment (REBA) is applied. According to REBA results, body parts which are forced the most are identified and to reduce strain of this/these body parts seven different seating arrangements are compared by four decision makers (DMs). Usefulness of the six criteria; Costs, adjustable height, adjustable arm support, adjustable foot support, the type of fabric, adjustable neck support are considered for comparison. Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA) is used to identify the criteria weightings and Weighted Aggregated Sum Product Assessment (WASPAS) is implemented to find alternative rankings. According to criteria weightings obtained by SWARA the most important criteria for the selection of the seating arrangement is the cost with a ratio of 0,45. Additionally, an analysis with the assumption that benefit and cost criteria may arise with equal probabilities, reveals that second seating arrangement is preferred at first rank.

1. Giriş

Uluslararası Ergonomi Derneği; "Ergonomi" ya da "İnsan Faktörleri"ni insanlar ile sistemin diğer elemanları arasındaki ilişkiyi araştıran bir bilim dalı olarak tanımlamaktadır. Bununla birlikte "Ergonomi" insanın refahı ve tüm sistemin verimliliğinin optimize edilmesi için teori, prensip ve metotları sistem tasarımına uygulayan bir uzmanlık alanıdır (Ansari vd., 2013). Çalışanın yeteneği, becerisi, verimliliği ve performansı sistemin verimliliğini direk olarak etkilemektedir (Chaudhary, 2014). Çalışanın verimliliği ise büyük ölçüde iş istasyonlarının ergonomik tasarımına bağlıdır. İş istasyonlarının tasarımında ergonomik ilkelerin kullanılması etkin bir insan-makine uyumunu beraberinde getirir. Bununla birlikte, kas iskelet sistemi rahatsızlıklarını azaltmak ve çalışanları kazalardan korumak için de iş istasyonlarının tasarımında ergonomik prensiplerin dikkate alınması gerekir. İş istasyonlarının tasarımında bu prensiplerin dikkate alınması işgücünün daha kolay bir şekilde iş yapmasını sağlayarak üretim hatalarını azaltmakta ve ürün kalitesini arttırmaktadır. Ayrıca, ergonomik iş istasyonu tasarımı ile

- Kas ağrıları, yorgunluk ve kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının azalması sağlanarak işe devamsızlıklar azalır,
- İşçi tazminatları, hastalık ve geçici işçiler için yapılan ödemeler azalır,
- İş güvenliği artar,
- İşçinin morali yükselir.

İş istasyonun ergonomik ilkelere uygun tasarımında amaç, kötü duruşları ve tasarım nedeniyle çalışanlar üzerinde oluşan stresi minimize etmektir. Özellikle iş istasyonlarında uzun süre oturarak çalışmak zorunda olan işçiler için konforlu ve rahat çalışabilecekleri oturma düzeneklerinin tasarlanması önem

taşımaktadır. Aksi takdirde, uzun çalışma saatleri içerisinde konforsuz ve uygun olmayan oturma düzenekleri boyun, omuz, bel, kol, bilek, bacak vb. vücut bölümlerinde ağrılara yol açacaktır. Ergonomik iş istasyonu tasarımı ile çalışma duruşları için gerekli olan gücün azaltılması sağlamaktadır (Esen ve Fırlı, 2013). İş istasyonları; çalışana oturma veya ayakta durma pozisyonları için seçenekler sağlamalı, çalışanın vücut ölçülerine ve şekline göre ayarlanabilir olmalıdır. Bush vd. (1999), Allie ve Kokot (2005) farklı oturma düzeneklerinin çalışma duruşunu etkilediklerini ve özellikle ayarlanabilir.

Tasarımların çalışanın rahatlığını, konforunu artırarak doğru çalışma duruşuna katkıda bulduklarını belirlemişlerdir. Bununla birlikte, iş yaparken kullanılan araç ve ekipmanın ergonomik tasarımı da görevi tamamlamak için gerekli olan gücü önemli ölçüde azaltmaktadır. Ergonomik kurallara uygun olarak tasarlanmış iş istasyonları ve araçlar ile desteklenmiş bir iş, çalışanın daha konforlu ve güvenli bir şekilde görevini yapmasını sağlayacaktır (<http://www.ccohs.ca/oshanswers/diseases/rmirsi.html>).

Çalışmada pim imalatı yapan bir işletmede ısı işlem istasyonunda çalışanın yaşadığı duruşsal zorlanma belirlenerek bu zorlanmayı azaltabilecek bir oturma düzenegi seçimi yapılmıştır. Oturma düzenegi seçimi problemi birden fazla kriterin dikkate alındığı Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) problemidir. Bu problemin çözümü için çalışma kapsamında ÇKKV yöntemlerinden olan Aşamalı Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi (Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis-SWARA) ve Ağırlıklı Birleşik Toplu Çarpım Değerlendirmesi (Weighted Aggregated Sum Product Assessment-WASPAS) yöntemleri birlikte kullanılmıştır. İlk olarak, ısı işlem istasyonunda sergilenen çalışma duruşlarının risk seviyeleri Hızlı Tüm Vücut Değerlendirme Yöntemi (Rapid Entire Body Assessment-REBA) ile belirlenmiştir. REBA'dan

elde edilen sonuçlara göre oturma düzeneginin tasarım özelliklerine karar verilmiştir. Bu kapsamda, her karar vericinin (KV) kriterler için kendi sıralamasını oluşturabilmesine olanak sağlayan ve bütün KV'lerin bu sıralamalarını dikkate alan SWARA yöntemi ile kriter ağırlıkları belirlenmiştir. Sonrasında, fayda-maliyet kriterlerinin etkilerini bütünlük bir şekilde değerlendirebilen WASPAS yöntemi alternatiflerin sıralanmasında kullanılmıştır. Çalışmanın, ergonomik tasarımında ÇKKV yöntemlerinden yararlanması ve mevcut oturma düzenekleri içerisinde seçim yapabilmelerini sağlayan bir analiz aracı sunması nedeniyle literatüre önemli bir katkı sağladığı öngörülmektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde kullanılan metotlar ve önerilen yaklaşımdan bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde, çalışmada SWARA-WASPAS yaklaşımı kullanılarak ısıtma işlemi için ergonomik açıdan uygun oturma düzenegi seçimi yapılmıştır. Son bölümde ise sonuç ve gelecek çalışmalar için önerilere yer verilmiştir.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Son yıllarda, iş istasyonlarının ergonomik tasarımı konusunda yapılan çalışmaların genellikle bilişim teknolojisinin de gelişmesi ile birlikte bilgisayarlı iş istasyonlarının tasarımı ile ilgili olduğu görülmektedir (Woo vd., 2016). Bununla birlikte, çeşitli endüstri alanlarında çalışan işçiler için yapılan çalışmalara da sıklıkla rastlanmaktadır. Bu çalışmalarda, genellikle REBA, OWAS (Owaka Working Posture Analysis), RULA (Rapid Upper Limb Assessment) gibi farklı yöntemler kullanılarak çalışma duruşları analiz edilmekte ve elde edilen sonuçlar iş istasyonu tasarımına aktarılmaktadır (Can vd., 2015). Örneğin; Kushwaha ve Kane (2016) tarafından bir çelik imalat fabrikasındaki vinç operatörleri için vinç kabini yeniden tasarlanmıştır. Bu çalışmada, eski ve yeni tasarımlar RULA ile değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda ayakta çalışmanın en iyi çalışma duruşu olduğu belirlenmiş ancak bu çalışma duruşunun uzun süreli çalışmalarda kas iskelet sisteminde bozukluklara ve aşırı yorgunluğa neden olabileceği belirtilmiştir. Ayakta çalışmanın incelendiği diğer bir çalışma ise, bir elektronik şirketine yapılmış ve bu çalışmada antropometrik ölçümler ve risk değerlendirme teknikleri kullanılarak çalışma istasyonu yeniden tasarlanmıştır (Deros vd., 2015). Yenilenen tasarım sonucunda doğru şekilde sergilenen ayakta çalışma duruşu ile verimlilik ve kalitede artış sağlanırken endüstriyel kazalarda azalma görülmüştür. Bununla birlikte, bu duruşun uzun süreli çalışma sonucunda kas iskelet sisteminde bozukluklara ve yorgunluğa neden olabileceği de belirtilmiştir. Sanjog vd. (2015), bir mobilya imalathanesinde iş istasyonu tasarımı, çalışma duruşları ve vardiya süresi ile kas iskelet sistemi rahatsızlıkları arasındaki ilişkileri

incelemişlerdir. OWAS ve REBA gibi yöntemlerin kullanıldığı çalışmada, kas iskelet rahatsızlıklarını kötü istasyon tasarımının neden olduğu uygun olmayan çalışma duruşlarının ve uzun olan çalışma sürelerinin artırdığı görülmüştür. Marschall vd. (1995) ortalama yaşları 4.7 olan 10 çocuk üzerinde iş istasyonu dizaynının oturma pozisyonuna etkisini araştırmışlardır. Ergonomik kurallar dikkate alınarak oluşturulacak çalışma alanlarında, çocukların oturma ve yazma pozisyonlarında zorlanmadan çalışabileceklerini belirlemişlerdir. Oyewole vd. (2010), ilköğretim birinci sınıf öğrencileri için ergonomik sınıf mobilyası ve bilgisayarlı istasyon tasarımı üzerinde çalışmışlardır. Çalışma sonucunda öğrencilerin antropometrik özelliklerini ve mobilyaların ayarlanabilir olmasını dikkate alarak tasarımların yapılması gerektiğini belirlemişlerdir. Veisi vd. (2016) halı dokuyan İran'lı bayanlarda görülen kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarını azaltmak için ergonomik iş istasyonu dizaynına ilişkin dikkat edilmesi gereken noktaları belirlemişlerdir. Mujumdar vd. (2013) tarafından delme makinasında çalışan operatörlerde yaşanan birikimli travma rahatsızlıklarının ortaya çıkmasını engellemek için çalışanların antropometrik özelliklerini dikkate alan bir iş istasyonu dizaynı önermişlerdir. Workineh ve Yamaura (2016) tarafından çalışma konforunu arttıracak çok pozisyonlu, uzun çalışma sürelerinde rahat bir şekilde kullanılacak bilgisayarlı iş istasyonu tasarımı yapılmıştır. Bu çalışmalara ek olarak; iş istasyonlarının ergonomik tasarımında kullanılan yöntemlerin ve yapılan çalışmaların kapsamlı bir şekilde gözden geçirildiği çalışmalara da literatürde rastlanmaktadır (Das ve Sengupta, 1996; Bossomaier vd. (2010), Mali ve Vyavahare, 2015).

3. Materyal ve Yöntem

3.1. Hızlı Tüm Vücut Değerlendirme (REBA)

REBA 1999 yılında Hignett ve McAtamney tarafından geliştirilmiştir. Yöntemde insan vücudu hareket düzlemleri referans alınarak tek tek kodlanan bölgeler halinde bölümlendirilmiştir. REBA statik ve dinamik duruşların sebep olduğu kas hareketleri için bir puanlama sistemi sağlamaktadır. Ayrıca insan-yük etkileşimini de dikkate almaktadır (Stanton vd., 2005).

REBA kapsamında vücut Grup A ve Grup B olmak üzere iki kısma ayrılmıştır. Grup A'da gövde, boyun ve bacaklar; Grup B'de, üst kol, ön kol ve bilekler için puanlama yapılmaktadır.

Grup B, vücudun sağ ve sol tarafları için ayrı ayrı puanlanmalıdır (Hignett ve McAtamney, 2000). Şekil 1'de REBA analiz sistemi yer almaktadır.

GRUP A		Puan Değişimi		Görsel
Duruş/Hareket	Puan			
Gövde				
Dik duruş	1			
Fleksiyon: 0-20° Ekstansiyon: 0-20°	2	Eğer yana doğru eğilme ya da dönme hareketi varsa : +1		
Fleksiyon: 20-60° Ekstansiyon: >20°	3			
Fleksiyon: >60°	4			
Boyun				
Fleksiyon: 0-20°	1			
Fleksiyon: >20° Ekstansiyon: >20°	2	Eğer yana doğru eğilme ya da dönme hareketi varsa : -1		
Bacaklar				
Ağır iki bacak üstünde, yürüme ya da oturma durumunda	1	Eğer dizlerde 30-60 arası fleksiyon varsa: +1		
Ağır tek bacak üstünde, dengersiz durumda	2	Eğer >60 fleksiyon varsa: +2 (ayakta durma durumunda)		
GRUP B				
Duruş/Hareket		Puan Değişimi		Görsel
		Sağ	Sol	
Üst Kol/Omuzlar				
Fleksiyon: 0-20° Ekstansiyon: 0-20°	1	Eğer kol dönmüş ya da dışarı çekilmişse : +1		
Fleksiyon: 20°, 45° Ekstansiyon: >20°	2	Omuz yükseltilmiş durumdaysa: +1		
Fleksiyon: 45-90°	3	Eğer kol desteklenmişse: -1		
Fleksiyon: >90°	4			
Alt Kol/Dirsekler				
Fleksiyon: 60°-100°	1			
Fleksiyon: < 60° Ekstansiyon: >100°	2			
Bilek				
Fleksiyon: 0-15° Ekstansiyon: 0-15°	1	Bilek dönmüş durumdaysa: +1		
Fleksiyon: >15° Ekstansiyon: >15°	2			

Şekil 1. REBA analiz sistemi

Grup A'da yer alan vücut bölümlerine ait duruşların puanlanmasında Tablo A, Grup B'de yer alan vücut bölümlerine ait duruşların puanlanmasında Tablo B kullanılmaktadır. Grup A'nın değerlendirilmesinden elde edilen puana "Yük/Kuvvet" puanı, Grup B'nin değerlendirilmesinden elde edilen puana "Kavrama" puanı eklenmektedir (Hignett ve McAtamney, 2000). Tablo 1,2,3 ve 4'de sırasıyla Tablo A, Yük/Kuvvet, Tablo B ve Kavrama skorları yer almaktadır. Elde edilen nihai Grup A ve Grup B puanları Tablo C'de birleştirilerek "C" puanı belirlenmekte, "Aktivite" puanı C puanına eklenerek REBA puanı hesaplanmaktadır (Hignett ve McAtamney, 2000) Tablo 5'de Tablo C, Tablo 6'da ise aktivite skorları gösterilmektedir. Elde edilen REBA skoru eylem seviyelerine göre değerlendirilmektedir. Tablo 7'de REBA eylem seviyeleri görülmektedir.

Tablo 1. REBA Tablo A Skorları

		Tablo A											
		Boyun											
		1				2				3			
Gövde	Bacaklar	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1		1	2	3	4	1	2	3	4	3	3	5	6
2		2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
3		2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
4		3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
5		4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9

Tablo 2. REBA Yük/Kuvvet Skorları

0	1	2	+1
<5 kg.	5-10 kg.	10>kg.	Ani ya da hızlı kuvvet uygulama

Tablo 3. Tablo B Skorları

		Tablo B					
		Alt Kol/Dirsekler					
Üst Kol	Bilek	1	2	3	1	2	3
1		1	2	2	1	2	3
2		1	2	3	2	3	4
3		3	4	5	4	5	5
4		4	5	5	5	6	7
5		6	7	8	7	8	8
6		7	8	8	8	9	9

Tablo 4. REBA Kavrama Şekli Skorları

0 İyi	1 Eşit	2 Kötü	3 Kabul edilemez
İyi konumlandırılmış tutamaçlar ve orta bölgeden güçlü sıkıştırma söz konusudur.	Objeyi elle tutmak mümkündür fakat ideal değildir ya da kavrama tertibatı kabul edilebilir seviyededir fakat objenin, diğer vücut kısımları ile desteklenmesi gerekmektedir.	Elle tutmak kabul edilemez ama buna rağmen mümkün olabilir.	Biçimsiz, güvensiz sıkıştırma söz konusudur ve objeyi tutmak için tutamaç bulunmamaktadır. Objeyi diğer vücut kısımlarıyla kavramak kabul edilemez bir

Tablo 5. REBA Tablo C Skorları

Tablo C												
SKOR B												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
S	2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7
K	3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8
O	4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9
R	5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
	6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10
A	7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11
	8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11
	9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12
	10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12
	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Tablo 6. REBA Aktivite Skoru

+1: Bir ya da daha çok vücut parçası statikse örneğin;1 dakikadan daha fazla bir işi yapmak.
+1: Duruşlardaki veya dengesiz bir zeminde, tekrarlı bir şekilde ve dar alanda yapılan işler söz konusudur.
+1: Duruşlarda veya dengesiz bir zeminde, hızlı büyük değişim gerektiren hareketler söz konusudur.

Tablo 7. REBA eylem seviyeleri (Karar tablosu)

Eylem Seviyesi	REBA Skoru	Risk Seviyesi	Eylem (Daha fazla değerlendirme gereksinimi)
0	1	İhmal edilebilir	Gereksiz
1	2-3	Düşük	Gerekli olabilir
2	4-7	Orta	Gerekli
3	8-10	Yüksek	Kısa bir süre içinde gerekli
4	11-15	Çok Yüksek	Şimdi/hemen gerekli

3.2. Aşamalı Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi (SWARA) Yöntemi

SWARA, Kerşulienne vd. tarafından 2010 yılında geliştirilmiştir. Yöntemde alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılacak olan kriterler önemliden önemsiz doğru sıralanmakta ve oylama

yapılarak önemsiz kriterler elimine edilmektedir. Kalan kriterlerin önem ağırlıklarını hesaplarken her bir KV'nin kendisine göre oluşturduğu sıralama dikkate alınmaktadır (Kerşulienne vd., 2010). Yönteme ilişkin detaylı bilgi "Önerilen Yaklaşım" bölümünde verilmektedir. Literatüre bakıldığı zaman SWARA yönteminin kullanıldığı sınırlı sayıda çalışma olduğu

görülmektedir. Keršulienne vd. (2010) anlaşmazlıkların akılcı çözüm yollarının belirlenmesinde SWARA kullanmışlardır. Aghdaie vd. (2013) makine parçası seçiminde SWARA ve COPRAS-G (Complex Proportional Ratio Analysis-Grey) yöntemlerini uygulamışlardır. Alimardan vd. (2013), tedarikçi seçiminde SWARA ve VIKOR (VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) yöntemlerini uygulamışlardır. Karabašević vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada, satış müdürü pozisyonu için personel seçiminde SWARA ve Toplamalı Oran Değerlendirmesi (Additive Ratio Assessment-ARAS) metodları uygulanmıştır. Zolfani ve Bahrami (2014) tarafından İran'da biyomedikal mikro elektromekanik sistemler, nano teknoloji, biyoteknoloji ve biyomedikal mühendisliği olmak üzere dört farklı yüksek teknoloji endüstrisi arasından hangisine yatırım yapılması gerektiğine SWARA ve Kompleks Orantılı Değerlendirme (Complex Proportional Assessment-COPRAS) yöntemleri kullanılarak karar verilmiştir. Stanujkic vd. (2015) SWARA yaklaşımını uygulayarak antibiyotik kutularının tasarımında dikkat edilmesi gereken kriterleri belirlemişleridir. Ruzgys vd. (2014), 6 farklı konut modernizasyon projesi arasından maliyet, işin süresi ve yatırımın geri dönüş süresi gibi kriterleri dikkate alarak SWARA-Etkileşimli ve Çok Nitelikli Karar Verme (Interactive and Multiple Attribute Decision Making-TODIM) ile proje seçimini gerçekleştirmişleridir. Bitarafan vd. (2014), SWARA-WASPAS yaklaşımını gerçek zamanlı sağlık şartlarını izleme için kullanılan sensörlerinin seçiminde uygulamışlardır.

3.3. Ağırlıklı Birleşik Toplu Çarpım Değerlendirmesi (WASPAS) Yöntemi

WASPAS yöntemi 2004 yılında Chakraborty, Zavadskas tarafından geliştirilmiştir. WASPAS "Ağırlıklı Toplam Modeli (Weighted Sum Model-WSM)" ve "Ağırlıklı Çarpım Modeli (Weighted Product Model-WPM)" olmak üzere iki farklı modelin sonuçlarını birleştiren ÇKKV yaklaşımıdır. Bu iki model sonuçlarına göre hesaplanan birleşik optimallik kriterinin değerine göre alternatiflerin sıralaması yapılmaktadır. Yöntem kendi işleyişi içerisinde duyarlılık analizi yaparak alternatif sıralamalarındaki tutarlılığı kontrol edebilmektedir (Chakraborty ve Zavadskas, 2014). Yönteme ilişkin detaylı bilgi "Önerilen Yaklaşım" bölümünde verilmektedir. Literatürde yöntemin yer aldığı çalışmalara nadiren rastlanmaktadır. Zolfani vd. (2015) ve Madic vd. (2016) tarafından yapılan literatür taramasına göre SWARA ve WASPAS yöntemlerinin çeşitli seçim ve önceliklendirme çalışmalarında ayrı ayrı kullanıldığı görülmektedir. Bununla birlikte, Vafaeipour vd. (2014) güneş enerjisi projesinin uygulanması için bölge seçiminde, Zolfani

(2013) alışveriş merkezi yer seçiminde SWARA ve WASPAS yöntemlerini birlikte kullanmıştır. Chakraborty ve Zavadskas (2014) imalatla ilgili kararların verilmesinde WASPAS yaklaşımını uygulamışlardır. Bitarafan vd. (2014) sensör seçiminde SWARA-WASPAS yaklaşımını kullanmışlardır. Zavadskas vd. (2014), aralık değerli sezgisel bulanık sayıları (interval-valued intuitionistic fuzzy numbers) kullanarak terk edilmiş yapıların yeniden iyileştirilmesine yönelik sıralamayı elde etmek için WASPAS uygulamışlardır. Chakraborty vd. (2015) tarafından esnek imalat sistemi seçiminde, esnek hücreli imalat için makine seçiminde, agv seçiminde, otomatik kontrol sistemi seçiminde ve endüstriyel robot seçiminde WASPAS kullanmışlardır, Turskis vd. (2015) çalışmalarında alışveriş merkezi yer seçimi için Bulanık WASPAS (WASPAS-F) ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (FAHP) yaklaşımlarını kullanmışlardır. Zavadskas vd. (2015) Gri WASPAS (WASPAS-G) yöntemini inşaat projeleri için doğru yüklenici seçiminde uygulamışlardır.

3.4. Önerilen Yaklaşım

Çalışmada SWARA-WASPAS yöntemleri kullanılarak farklı oturma düzenekleri arasında en iyisinin seçimi gerçekleştirilmiştir. Önerilen yaklaşım iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda, oturma düzenegi seçiminde dikkate alınan kriterlerin ağırlıkları SWARA ile belirlenmiştir. İkinci kısımda ise oturma düzenegi alternatiflerinin sıralamaları WASPAS yöntemi ile elde edilmiştir. Aşağıda önerilen yaklaşıma ilişkin uygulama adımları yer almaktadır.

Adım 1. KV'lerin, alternatiflerin ve kriterlerin belirlenmesi.

KV kümesi $k = 1, \dots, l$ olarak belirlenir. Alternatifler $A_i; i = 1, \dots, m$ olarak tanımlanır. Kriterler ise $C_j; j = 1, \dots, n$ şeklinde gösterilir.

Adım 2. Kriter ağırlıklarının belirlenmesi.

SWARA yaklaşımı ile l KV tarafından kriter ağırlıkları belirlenir. SWARA uygulama adımları aşağıda yer almaktadır.

Adım 2.1. Her bir KV tarafından kendisine göre en önemli olan kriterin belirlenmesi.

Her bir KV tarafından belirlenen en önemli kriter 1,00 puanını alır. KV'ler diğer kriterlere puan atamasını en önemli kriteri dikkate alarak yaparlar. Puanlar, 0 ile 1 arasında beşin katları olacak şekilde atanır. Kriterlere atanan puanlar $p_j^k; j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, l; 0 \leq p_j^k \leq 1$ olarak gösterilir.

Adım 2.2. Her bir kriter için görelî ortalama önem puanının hesaplanması.

l KV tarafından kriterlere atanan görelî önem puanlarının her bir kriter için ortalaması Eşitlik (1)'deki gibi alınır.

$$S_j = \frac{\sum_{k=1}^l p_j^k}{l}; j = 1, \dots, n \quad (1)$$

Adım 2.3. Bütün kriterlerin görelî ortalama önem puanına göre büyükten küçüğe doğru sıralanması

Kriterlerin büyükten küçüğe doğru sıralaması yapılırken S_j değeri en büyük olan kriter birinci sırayı alır. Diğer kriterler azalan S_j değerlerine göre sıralanır.

Adım 2.4. Her bir kriter için katsayı değerinin hesaplanması.

Eşitlik (2) kullanılarak her bir kriter için c_j değerleri hesaplanır. En büyük S_j değerine sahip kriter için $c_j = 1; j = 1, \dots, n'$ dir.

$$c_j = S_j + 1 \quad (2)$$

Adım 2.5. Her bir kriter için düzeltilmiş ağırlıkların hesaplanması.

Eşitlik (3) kullanılarak her bir kriter için S_j' değerleri hesaplanır. Birinci sırada yer alan kriterin düzeltilmiş ağırlığı $S_j' = 1$ 'dir. S_j' hesaplanırken S_j 'ye göre yapılan sıralama dikkate alınır.

$$S_j' = \frac{S_j'_{j-1}}{c_j}; S_{j-1} > S_j \quad (3)$$

Adım 2.6. Bütün kriterler için final ağırlıkların hesaplanması.

Eşitlik (4) kullanılarak S_j' değerleri normalize edilir ve her bir kriter için final ağırlıklar $w_j; j = 1, \dots, n$ hesaplanır.

$$w_j = \frac{S_j'}{\sum_{j=1}^n S_j'} \quad (4)$$

Adım 3. Her bir KV için bireysel karar matrisinin oluşturulması.

Bireysel karar matrisinin $[BKM]^k_{m \times n}; k = 1, \dots, l$ oluşturulması için her bir KV 1-5 skalasını kullanarak alternatifleri kriterlere göre değerlendirir ve alternatiflerin performans değerleri her bir KV için elde edilir. Bu performans değerleri $(x_{ij})^k$ ile gösterilir. Burada "1" "çok kötü", "5" ise "çok iyi" anlamını taşımaktadır.

Adım 4. Bireysel karar matrislerinin birleştirilerek başlangıç karar matrisinin oluşturulması.

l KV'nin her bir alternatif için her bir kriter göre belirlediği performans değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak \bar{x}_{ij} değerleri Eşitlik (5) kullanılarak elde edilir. Bu değerler, başlangıç karar matrisini $[BKM]'_{m \times n}$ oluşturur.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^l (x_{ij})^k}{l} \quad (5)$$

Adım 5. Başlangıç karar matrisinin normalize edilmesi.

Karar sürecinde dikkate alınan kriterlerden bazıları problemin yapısına göre fayda yapılı bazıları ise maliyet yapılı olabilir. Fayda yapılı kriterler (F_j), KV tarafından değerleri maksimize edilmek istenen kriterlerdir. Maliyet yapılı kriterler (M_j) ise değerleri her zaman minimize edilmek istenen kriterlerdir. Başlangıç karar matrisi normalize edilirken fayda yapılı ve maliyet yapılı kriterler için ayrı ayrı normalizasyon işlemleri Eşitlikler (6) ve (7)'deki gibi gerçekleştirilir.

Fayda yapılı kriterler (F_j) için;

$$\bar{\bar{x}}_{ij} = \frac{\bar{x}_{ij}}{\max_i \bar{x}_{ij}} \quad (6)$$

Maliyet yapılı kriterler (M_j) için;

$$\bar{\bar{x}}_{ij} = \frac{\min_i \bar{x}_{ij}}{\bar{x}_{ij}} \quad (7)$$

Bu değerler, normalize başlangıç karar matrisini $[BKM]''_{m \times n}$ oluşturur.

Adım 6. Her bir alternatif için toplam göreceli önem değeri WSM'ye göre hesaplanması.

Eşitlik (8) kullanılarak birinci toplam göreceli önem değeri $Q_i^{(1)}$ hesaplanır.

$$Q_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n \bar{\bar{x}}_{ij} \times w_j \quad (8)$$

Burada; w_j değeri SWARA ile elde edilen kriterlere ait önem ağırlığıdır.

Adım 7. Her bir alternatif için toplam göreceli önem değeri WPM'ye göre hesaplanması.

Eşitlik (9) kullanılarak ikinci toplam göreceli önem değeri $Q_i^{(2)}$ hesaplanır.

$$Q_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n (\bar{\bar{x}}_{ij})^{w_j} \quad (9)$$

Adım 8. Her bir alternatif için birleşik optimallik değerinin hesaplanması.

WASPAS yönteminde toplam birleşik optimallik kriteri WSM ve WPM yaklaşımlarının sonuçları dikkate alınarak hesaplanır. Eşitlik (10) kullanılarak toplam birleşik optimallik değeri elde edilebilir (Şaparauskas vd., 2011, Zavadskas vd., 2012).

$$Q_i = \lambda Q_i^{(1)} + (1 - \lambda) Q_i^{(2)} \quad (10)$$

Burada;

λ = Birleşik optimallik katsayısıdır ve $\lambda \in [0,1]$

WSM ve WPM yaklaşımlarının birleşik optimallik kriterinde eşit etkiye sahip olduğu durumlar için hesaplamalar Eşitlik (11) kullanılarak yapılabilir (Zavadskas vd., 2013a, 2013b).

$$Q_i = 0,5Q_i^{(1)} + 0,5Q_i^{(2)} \quad (11)$$

Adım 9. Alternatiflerin birleşik optimallik değerine göre sıralanması.

Her bir alternatifin Q_i değerleri dikkate alınarak sıralama yapılır. En büyük Q_i değerine sahip olan alternatif en iyi alternatiftir ve birinci sırada yer alır.

4.Uygulama

Çalışmada, pim imalatı yapan bir firmada, ısıl işlem istasyonunun ergonomik koşulları analiz edilerek bu istasyon için oturma düzenegi seçimi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda ilk olarak REBA ile operatör tarafından sergilenen çalışma duruşlarına ait risk analizi yapılarak vücudun en çok hangi bölümünün/bölmülerinin zorlandığı belirlenmiştir. Şekil 2'de ısıl işlem istasyonuna ilişkin bir görsel yer almaktadır.



Şekil 2. Isıl işlem istasyonu

Isıl işlem istasyonunda sergilenen çalışma duruşlarına ilişkin 640 adet duruş fotoğrafı REBA ile incelenmiştir. Tablo 8'de REBA yöntemine göre vücut bölümleri için elde edilen puanlar ve REBA puanı verilmektedir.

Tablo 8. Vücut Bölümlerine göre REBA Puanları

Vücut Bölümleri	Skorlar
Boyun	1
Gövde	2
Bacak	3
Üst Kol	2
Alt Kol	1
Bilek	2
Ana REBA Skoru	6

Tablo 8'de de görüldüğü gibi ısıl işlem istasyonunda sergilenen çalışma duruşlarının REBA skoru 6 olarak elde edilmiştir. REBA yöntemine göre bu skor, çalışma duruşlarının orta düzeyde risk ihtiva ettiğini ve iş istasyonunun tasarımının kısa zamanda değiştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Bununla birlikte ısıl işlem istasyonunun mevcut tasarımında en çok zorlanan vücut bölümünün bacaklar olduğu görülmüştür. Çünkü işçi tarafından kullanılan oturma düzenegi üretimin yapıldığı indüksiyon ocağı ile uyum sağlamamaktadır. İşçinin bacakları tezgâhın yüksekliği nedeniyle tezgâhın altına sıkışmış durumdadır. İşçinin boyu tezgâhın yüksekliğine göre daha uzundur. Bu nedenle bacak bölümünü rahatlatıcı ergonomik tasarım değişikliklerinin yapılması gerektiği değerlendirilmektedir. Buna göre iş istasyonu için uygun oturma düzenegi tasarımları değerlendirilmelidir.

Farklı oturma düzeneklerinin ergonomik özellikleri açısından karşılaştırılması SWARA-WASPAS Yaklaşımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aşağıda önerilen yaklaşımın uygulanmasına ilişkin adımlar yer almaktadır.

Adım 1. KV'lerin, alternatiflerin ve kriterlerin belirlenmesi.

Bu kapsamda yedi farklı oturma düzenegi dört KV tarafından değerlendirilmiştir. Çalışmada, pim imalat alanında görevli imalat şefi, imalat mühendisi, iki iş sağlığı ve güvenliği uzmanı olmak üzere dört uzman KV; $k = 1, \dots, 4$ olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında bütün karar vericilerin sağladıkları görüşler açısından eşit öneme sahip oldukları varsayılmıştır. Pim imalatının ısıl işlem istasyonunun çalışma koşullarına uygun olabileceği düşünülen yedi farklı firma tarafından üretilen oturma düzenekleri $A_i; i = 1, \dots, 7$ dört KV tarafından ergonomik özelliklerine göre karşılaştırılmıştır. Şekil 3'de oturma düzenegi alternatifleri yer almaktadır.



Şekil 3. Oturma düzenegi alternatifleri

A₁, sağlam, elektrostatik toz boyalı, dörtgen çelik profilden devrilmez beş ayaklı bir iskelete sahiptir. Sarkaç yataklı arkalıgi olan, yükseklik ve derinliğin kademesiz olarak ayarlanabildiği bir oturma düzenegidir. Ayrıca, oturma yerinin ve arkalıgin eğimleri de ayarlanabilmektedir. A₂, sağlam, tabana yakın çelik boru iskeleti olan, lordoz desteği entegre edilmiş, konforlu döşeme ve çepeçevre kenara sahip bir oturma düzenegi alternatifidir. Bununla birlikte arkalıklı ergonomik bir oturma yüzeyi bulunmaktadır. Beş farklı bireysel ayar pozisyonu ile inme desteği mevcuttur. A₃ alternatifi, oturma grubunun aşağı-yukarı hareketini ve kendi eksenini etrafında 360° dönüşünü sağlayan, ithal gazlı amortisöre sahiptir. Üründe kullanılan mekanizma kumanda kolları ile gazlı amortisörün aşağı-yukarı hareketi ve arkalıgin öne-arkaya hareketi sağlanmaktadır. Ayrıca salınım hareketi kullanıcının ağırlığına göre tutamak vasıtası ile ayarlanır. Tekmelik, amortisör kovani boyunca aşağı-yukarı hareket edip, tekmelik topuzu vasıtası ile istenilen konumda sabitlenebilir. Krom kaplanmış metal yüzeyler ağır metal olan Cr6 ve 72 saat tuz sisi direncine sahiptir. A₄ alternatifi, poliüretan köpük oturak ve arkalıgi yumuşak, yıkanabilir, dayanıklı ve dezenfeksiyon maddelerine karşı dayanıklı kumaş tipine sahip, sarkaç yataklı eğimi ayarlanabilir arkalıgi olan, yükseklik ve derinliğin kademesiz olarak ayarlanabildiği bir modeldir. Ayrıca gaz amortisörlü yükseklik ayarına sahip, plastik sağlam beş ayaklı iskeleti bulunmaktadır. A₅ alternatifinde, oturak ve sırt kısımları elektrik iletkenliğı olan siyah suni deri kaplıdır. Düz yüzeyler sayesinde kir tutmaz, kolay temizlenir. Pabuçlu ve inme destekli sağlam, tabana yakın alüminyum beş ayaklı iskelet (cılalı) bulunmaktadır. Sarkaç yataklı, sürekli temas arkalıklı, isteğe göre koltuk eğiminin ayarlanabildiği bir modeldir. A₆ alternatifi, metal yıldız ayaklı, tekerlekli, amortisörlü ve tablalıdır. Yüksekliğı isteğe göre ayarlanabilir. Kendi eksenini etrafında sınırsız dönebilir. Poliüretan süngerden imal edilmiştir. Oturak ve sırt bölümleri nikelaj kaplamalı metal ile birleştirilmiş olup kol vazifesi görmektedir. Ayakları ve kolları metal üzeri kromaj kaplamadır. A₇ alternatifi kolçaklı, oturma yerinin ve arkalıgin eğimleri ayarlanabilen, bireysel olarak yükseklik ayarı yapılabilen, ayak desteğine sahip bir oturma düzenegidir.

Oturma düzeneklerinin ergonomik açıdan karşılaştırılmasında, maliyet (C₁), ayarlanabilir oturma yüksekliğı (C₂), oturma yüzeyi rahatlığı (C₃), ayarlanabilir ayak desteği (C₄), kumaş tipi (C₅), hareket esnekliğı (C₆), olmak üzere altı ergonomik özellik kriter olarak C_j; j = 1, ..., 6 dikkate alınmıştır. Bu kriterlerin alternatiflerdeki kullanılışlığına göre kıyaslama yapılmıştır.

Kriterler arasında, maliyet (C₁), maliyet temelli kriter M_j; (j = 1) olup diğerleri ise fayda temelli kriterler F_j; (j = 2,3,4,5,6,) dir.

Adım 2. Kriter ağırlıklarının belirlenmesi.

4 KV'cinin kriter ağırlıklarını belirlemesi için SWARA yaklaşımı uygulanır.

Adım 2.1. Her bir KV'nin kendisine göre en önemli olan kriteri belirlemesi.

4 KV tarafından her bir kriter atanan önem puanları (p_j^k) Tablo 9'da verilmektedir.

Tablo 9. KV'ler tarafından kriterlere atanan p_j^k değerleri

Kriterler	Karar Vericiler			
	KV ₁	KV ₂	KV ₃	KV ₄
C ₁	1,00	0,85	0,75	0,80
C ₂	0,75	0,50	1,00	0,80
C ₃	0,45	1,00	0,85	1,00
C ₄	0,65	0,85	0,70	0,75
C ₅	0,30	0,70	0,65	0,70
C ₆	0,65	0,45	0,55	0,85

Adım 2.2. Her bir kriter için görel ortalama önem puanının hesaplanması.

4 KV tarafından kriterlere atanan görel ortalama önem puanlarının her bir kriter için ortalaması (S_j) Eşitlik (1) ile hesaplanarak Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Kriterlere ait S_j değerleri

Kriterler	Görel Ortalama önem puanları S _j
C1	1,00
C3	0,83
C2	0,76
C4	0,74
C6	0,63
C5	0,59

Adım 2.3. Bütün kriterlerin görel ortalama önem puanına göre büyükten küçüğe doğru sıralanması.

Kriterlerin S_j değerleri dikkate alınarak yapılan sıralaması C₁ > C₃ > C₂ > C₄ > C₆ > C₅ olarak elde edilir.

Adım 2.4. Her bir kriter için katsayı değerinin hesaplanması.

Kriterlere ait c_j değerleri Eşitlik (2) ile hesaplanarak Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. Kriterlere ait c_j değerleri

Kriterler	Katsayı değerleri c_j
C1	1,00
C3	1,83
C2	1,76
C4	1,74
C6	1,63
C5	1,59

Adım 2.5. Her bir kriter için düzeltilmiş ağırlıkların hesaplanması.

Kriterlere ait S_j' değerleri Eşitlik (3) ile hesaplanarak Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12. Kriterlere ait S_j' değerleri

Kriterler	Düzeltilmiş ağırlık değerleri S_j'
C1	1,00
C3	0,55
C2	0,31
C4	0,18
C6	0,11
C5	0,07

Adım 2.6. Bütün kriterler için final ağırlıkların hesaplanması.

Her bir kriter için final ağırlıklar $w_j; j = 1, \dots, n$ Eşitlik (4) ile hesaplanarak Tablo 13'de verilmiştir.

Tablo 13. Kriterlere ait w_j değerleri

Kriterler	Final ağırlık değerleri w_j
C1	0,45
C3	0,25
C2	0,14
C4	0,08
C6	0,05
C5	0,03

Adım 3. Her bir KV için bireysel karar matrisinin oluşturulması.

KV_1 için bireysel karar matrisi $[BKM]^1_{m \times n}$ örnek olarak aşağıda Tablo 14 ile verilmiştir.

Tablo 14. KV_1 için bireysel karar matrisi $[BKM]^1_{7 \times 6}$

Alternatifler	Kriterler					
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
A_1	4,00	3,00	4,00	4,00	5,00	4,00
A_2	2,00	3,00	5,00	4,00	2,00	5,00
A_3	1,00	5,00	5,00	4,00	3,00	2,00
A_4	5,00	5,00	4,00	4,00	3,00	3,00
A_5	5,00	4,00	4,00	4,00	3,00	3,00
A_6	5,00	4,00	3,00	4,00	2,00	2,00
A_7	4,00	4,00	5,00	5,00	4,00	2,00

Adım 4. Bireysel karar matrislerinin birleştirilerek başlangıç karar matrisinin oluşturulması.

Başlangıç karar matrisi $[BKM]'$ Eşitlik (5) kullanılarak oluşturulmuş ve Tablo 15 ile verilmiştir.

Tablo 15. Başlangıç karar matrisi $[BKM]'$ 7×6

Alternatifler	Kriterler					
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
A_1	2,75	3,00	3,75	4,25	2,75	4,50
A_2	2,75	4,25	4,25	4,00	2,00	3,50
A_3	2,75	3,50	3,75	3,20	3,00	2,50
A_4	4,25	4,50	3,25	3,75	3,00	2,50
A_5	4,75	4,00	3,75	3,50	3,00	3,00
A_6	4,75	4,25	3,50	3,75	2,00	2,00
A_7	3,75	4,00	5,00	4,25	4,00	2,00

Adım 5. Başlangıç karar matrisinin normalize edilmesi.

Normalize başlangıç karar matrisi $[BKM]''$ Eşitlik (6), (7) kullanılarak oluşturulmuş ve Tablo 16'da verilmiştir.

Tablo 16. Normalize Başlangıç karar matrisi $[BKM]''$ 7×6

Alternatifler	Kriterler					
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
A_1	1,00	0,67	0,75	1,00	0,69	1,00
A_2	1,00	0,94	0,85	0,94	0,50	0,78
A_3	1,00	0,78	0,75	0,75	0,75	0,56
A_4	0,65	1,00	0,65	0,88	0,75	0,56
A_5	0,58	0,89	0,75	0,82	0,75	0,67
A_6	0,58	0,94	0,70	0,88	0,50	0,44
A_7	0,73	0,89	1,00	1,00	1,00	0,44

Adım 6. Her bir alternatif için toplam göreceli önem değerinin WSM'ye göre hesaplanması.

Her bir alternatif için birinci toplam göreceli önem değeri $Q_i^{(1)}$ Eşitlik (8) kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 17'de verilmektedir.

Tablo 17. Her bir alternatif için $Q_i^{(1)}$ değerleri

Alternatifler	$Q_i^{(1)}$
A_1	0,88
A_2	0,92
A_3	0,86
A_4	0,71
A_5	0,69

A_6	0,68
A_7	0,84

Adım 7. Her bir alternatif için toplam göreceli önem değerinin WPM'ye göre hesaplanması.

Her bir alternatif için ikinci toplam göreceli önem değeri $Q_i^{(2)}$ Eşitlik (9) ile hesaplanmış ve Tablo 18'de verilmiştir.

Tablo 18. Her bir alternatif için $Q_i^{(2)}$ değerleri

Alternatifler	$Q_i^{(2)}$
A_1	0,87
A_2	0,92
A_3	0,85
A_4	0,70
A_5	0,68
A_6	0,66
A_7	0,82

Adım 8. Her bir alternatif için birleşik optimallik değerinin hesaplanması.

Her bir alternatif için Q^i değerleri $\lambda = 0,50$ için Eşitlik (11) ile hesaplanmış ve Tablo 19'da verilmiştir.

Tablo 19. Her bir alternatif için Q^i değerleri

Alternatifler	Q^i
A_1	0,88
A_2	0,92
A_3	0,85
A_4	0,71
A_5	0,69
A_6	0,67
A_7	0,83

Farklı λ değerleri için elde edilen sıralamalar ise aşağıda Tablo 20'de verilmiştir.

Tablo 20'den de görüldüğü gibi değişen λ değerlerine rağmen alternatiflerin sıralamaları değişmemektedir. Bu durum, önerilen yaklaşımın tutarlı sıralamalar verdiğini göstermektedir.

Tablo 20. Farklı λ değerleri için elde edilen sıralamalar

Sıra	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
1	A_2	A_2	A_2	A_2	A_2	A_2	A_2	A_2	A_2	A_2	A_2
2	A_1	A_1	A_1	A_1	A_1	A_1	A_1	A_1	A_1	A_1	A_1
3	A_3	A_3	A_3	A_3	A_3	A_3	A_3	A_3	A_3	A_3	A_3
4	A_7	A_7	A_7	A_7	A_7	A_7	A_7	A_7	A_7	A_7	A_7
5	A_4	A_4	A_4	A_4	A_4	A_4	A_4	A_4	A_4	A_4	A_4
6	A_5	A_5	A_5	A_5	A_5	A_5	A_5	A_5	A_5	A_5	A_5
7	A_6	A_6	A_6	A_6	A_6	A_6	A_6	A_6	A_6	A_6	A_6

Bu sonuçlara göre, KV hassasiyet seviyesini değiştirerek farklı sonuçlar elde edebilmekte ve

Adım 9. Alternatiflerin birleşik optimallik değerine göre sıralanması.

Alternatiflerin sıralaması $A_2 > A_1 > A_3 > A_7 > A_4 > A_5 > A_6$ olarak elde edilmiştir. Tablo 19'dan görüldüğü gibi en yüksek Q^i değerine sahip olan alternatif A_2 olduğu için. İki numaralı oturma düzenegi ısıtım istasyonunda kullanılmak üzere seçilmiştir.

5.Sonuç ve Tartışma

İşgücünün yeteneği, becerisi ve performansı üretim verimliliğini direk olarak etkileyen önemli faktörlerdir. İş istasyonunun uygun olmayan tasarımı nedeniyle tehlikeli duruşların, kas yorgunluğunun, sağlık sorunlarının ortaya çıkma olasılığı artar ve üretim verimliliğinde azalır. Bu konuda yapılan çalışmalar incelendiğinde ayarlanabilir oturma düzenekleri kullanımının önemsendiği görülmektedir. Birbirinden farklı ayarlanabilir oturma düzeneklerinin hangisinin hangi kriterlere bağlı olarak seçilmesi gerektiği işgücünün verimi açısından önemli bir karardır.

Bu çalışmada, birden fazla kritere bağlı olarak oturma düzenegi seçimi; SWARA-WASPAS yaklaşımı ile pim imalatı yapan bir işletmedeki ısıtım istasyonu için gerçekleştirilmiştir. SWARA ile elde edilen, kriter ağırlıklarına göre, en önemli oturma düzenegi kriteri, 0,45 oranı ile maliyet olarak bulunmuştur. Fayda ve maliyet kriterlerinin eşit olasılıkla ortaya çıkabileceği varsayılarak analiz yapıldığında ikinci oturma düzeneginin ilk sırada tercih edildiği belirlenmiştir. İkinci oturma düzeneginin tercih edilmesinin nedeni işçinin düzenekte bulunan ayak destekleri ile bacak bölümünü rahatlatılabilmesi ve eğimi ayarlanabilen oturma yüzeyi sayesinde ısıtım istasyonunun kafes kısmının altına bacakların sıkışma durumunun olmayışıdır. Ayrıca önerilen yaklaşım kendi içerisinde duyarlılık analizini gerçekleştirerek alternatif sıralamalarındaki tutarlılığı belirleyebilmektedir. Tablo 20'de de görüldüğü gibi SWARA-WASPAS yaklaşımı ile elde edilen alternatif sıralaması farklı λ değerlerine göre farklılık göstermemektedir.

kararlarını daha doğru bir şekilde verebilmektedir. Ayrıca, bu çalışma, diğer iş istasyonu tasarım

çalışmalarından farklı olarak; iş istasyonu tasarımına bir ÇKKV yaklaşımı getirmiştir. Bu çalışma ile kendisine özel tasarım çalışmaları yapamayan, mevcut tasarımlardan yararlanmak zorunda kalan işletmeler için sistematik bir değerlendirme yaklaşımı sunulmuştur.

Gelecek çalışmalar için bu çalışmada kullanılan yaklaşım KV'lerin belirsizlik yaşadıkları durumlar altında bulanık küme teorisi ile birlikte kullanılabilir. Ayrıca üretim sektörü dışında hizmet sektöründe yer alan şirketlerde de büroların tasarımında oturma düzenliği seçimi için uygulanabilir.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

Aghdaie, M. H., Zolfani, S. H., Zavadskas, E. K. 2013. Decision making in machine tool selection: An integrated approach with SWARA and COPRAS-G methods. *Engineering Economics*, 24(1), 5-17.

Alimardani, M., Zolfani, S. H., Aghdaie, M. H., Tamošaitienė, J., 2013. A novel hybrid SWARA and VIKOR methodology for supplier selection in an agile environment. *Technological and Economic Development of Economy*, 19(3), 533-548.

Allie, P., Kokot, D., 2005. Choosing a Chair Based on Fit, Comfort and Adjustable Features 2.1. Steelcase. Inc.

Ansari, N. A., Shende, P. N., Sheikh, M. J., Vaidya, R. D., 2013. Study and Justification of Body Postures of Workers Working In SSI by Using Reba. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 2(3), 505-509.

Bitarafan, M., Zolfani, S. H., Arefi, S. L., Zavadskas, E. K., Mahmoudzadeh, A., 2014. Evaluation of real-time intelligent sensors for structural health monitoring of bridges based on swara-waspas; a case in IRAN. *Baltic Journal of Road & Bridge Engineering*, 9(4),333-340.

Bossomaier, T., Bruzzone, A. G., Cimino, A., Longo, F., Mirabelli, G., 2010. Scientific Approaches For The Industrial Workstations Ergonomic Design: A Review. In *ECMS*, 189-199.

Bush, T. R., Hubbard, R., Reinecke, S., 1999. An evaluation of postural motions, chair motions, and contact in four office seats. In: *Proc. Of Human Factors and Ergonomics Society*, 43rd Annual Meeting.

Can, G.F., Atalay, K.D., Eraslan, E., 2015. Çalışma duruşlarının bulanık ortamda analizi ve ergonomik iş istasyonu tasarım önerileri. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(3),451-460.

Chaudhary, R., Rangnekar, S., & Barua, M. K. (2014). Organizational climate, climate strength and work engagement. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 133, 291-303.

Chakraborty, S., Zavadskas, E. K., 2014. Applications of WASPAS method in manufacturing decision making. *Informatica*, 25(1), 1-20.

Chakraborty, S., Zavadskas, E. K., Antucheviciene, J. 2015. Applications of WASPAS method as a multi-criteria decisionmaking tool. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 49(1), 5-22.

Das, B., Sengupta, A. K. 1996. Industrial workstation design: a systematic ergonomics approach. *Applied Ergonomics*, 27(3), 157-163.

Deros, B.M., Darius, DDI., Basir I.M., 2015. A study on ergonomic awareness among workers performing manual material handling activities. *ProcediaSocial and Behavioral Sciences*,195, 1666-1673.

Esen, H., Fırlalı, N. 2013. Çalışma duruşu analiz yöntemleri ve çalışma duruşunun kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına etkileri. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17(1).

Hignett, S., & McAtamney, L., 2000. Rapid Entire Body Assessment (REBA). *Applied Ergonomics*, 31(2), 201-205.

<http://www.ccohs.ca/oshanswers/diseases/rmirsi.html>.

Karabašević, D., Stanujkić, D., Urošević, S. 2015. The MCDM model for personnel selection based on SWARA and ARAS methods. *Management*, 77.

Keršulienė, V., Zavadskas, E. K., Turskis, Z. 2010. Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of Business Economics and Management*, 11(2), 243-258.

Kushwaha, D. K., & Kane, P. V. 2016. Ergonomic assessment and workstation design of shipping crane cabin in steel industry. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 52, 29-39.

Madic, M., Antucheviciene, J., Radovanovic, M., & Petkovic, D. 2016. Determination of Manufacturing Process Conditions by Using MCDM Methods: Application in Laser Cutting. *Engineering Economics*, 27(2), 144-150.

Mali, S. C., Vyavahare, R. T., 2015. An Ergonomic Evaluation of an Industrial Workstation: A

- Review. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 5(3),1820-1826.
- Marschall, M., Harrington, A. C., Steele, J. R. 1995. Effect of work station design on sitting posture in young children. *Ergonomics*, 38(9), 1932-1940.
- Mujumdar, S., Karandikar, V., Sane, S. M. 2013. Industrial Work Station design: An Ergonomic Approach to Number Punching Machine. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 3(4), 1463-1466.
- Oyewole, S. A., Haight, J. M., Freivalds, A. 2010. The ergonomic design of classroom furniture/computer work station for first graders in the elementary school. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 40(4), 437-447.
- Ruzgys, A., Volvačiovas, R., Ignatavičius, Č., Turskis, Z. 2014. Integrated evaluation of external wall insulation in residential buildings using SWARA-TODIM MCDM method. *Journal of Civil Engineering and Management*, 20(1), 103-110.
- Sanjog, J., Patel, T., Chowdhury, A., Karmakar, S., 2015. Musculoskeletal ailments in Indian injection-molded plastic furniture manufacturing shop-floor: Mediating role of work shift duration. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 48, 89-98.
- Šaparauskas, J., Zavadskas, E. K., Turskis, Z. 2011. Selection of facade's alternatives of commercial and public buildings based on multiple criteria. *International Journal of Strategic Property Management*, 15(2), 189-203.
- Stanton, N., Hedge, A., Brookhuis, K., Salas, E. ve Hendrick, H., 1st. Edition, *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*, Florida: CRC Press, 2005.
- Stanujkic, D., Karabasevic, D., Zavadskas, E. K. 2015. A framework for the Selection of a packaging design based on the SWARA method. *Engineering Economics*, 26(2), 181-187.
- Turskis, Z., Zavadskas, E. K., Antucheviciene, J., Kosareva, N., 2015. A hybrid model based on fuzzy AHP and fuzzy WASPAS for construction site selection. *International Journal of Computers Communications & Control*, 10(6), 113-128.
- Vafaeipour, M., Zolfani, S. H., Varzandeh, M. H. M., Derakhti, A., & Eshkalag, M. K., 2014. Assessment of regions priority for implementation of solar projects in Iran: New application of a hybrid multi-criteria decision making approach. *Energy Conversion and Management*, 86, 653-663.
- Veisi, H., Choobineh, A. R., Ghaem, H. 2016. Musculoskeletal Problems in Iranian Hand-Woven Shoe-Sole Making Operation and Developing Guidelines for Workstation Design. *The international journal of occupational and environmental medicine*, 7, 725-87.
- Woo, E. H. C., White, P., & Lai, C. W. K., 2016. Ergonomics standards and guidelines for computer workstation design and the impact on users' health—a review. *Ergonomics*, 1-12,464-475.
- Workineh, S. A., & Yamaura, H. 2016. Multi-position ergonomic computer workstation design to increase comfort of computer work. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 53, 1-9.
- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Antucheviciene, J., Zakarevicius, A., 2012. Optimization of weighted aggregated sum product assessment. *Elektronika ir elektrotechnika*, 122(6), 3-6.
- Zavadskas, E. K., Antucheviciene, J., Šaparauskas, J., Turskis, Z., 2013a. Multi-criteria assessment of facades' alternatives: peculiarities of ranking methodology. *Procedia Engineering*, 57, 107-112.
- Zavadskas, E. K., Antucheviciene, J., Saparauskas, J., & Turskis, Z., 2013b. MCDM methods WASPAS and MULTIMOORA: verification of robustness of methods when assessing alternative solutions. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 47(2), 5-20.
- Zolfani, S. H., Aghdaie, M. H., Derakhti, A., Zavadskas, E. K., Varzandeh, M. H. M., 2013. Decision making on business issues with foresight perspective; an application of new hybrid MCDM model in shopping mall locating. *Expert systems with applications*, 40(17), 7111-7121.
- Zolfani S.H. and Bahrami, M. 2014. Investment prioritizing in high tech industries based on SWARA-COPRAS approach. *Technological and Economic Development of Economy*, 20(3), 534-553.
- Hashemkhani Zolfani, S., Salimi, J., Maknoon, R., Kildiene, S. 2015. Technology Foresight About R&D Projects Selection; Application of SWARA Method at the Policy Making Level. *Engineering Economics*, 26(5), 571-580.
- Zavadskas, E. K., Antucheviciene, J., Hajiagha, S. H. R., Hashemi, S. S. 2014. Extension of weighted aggregated sum product assessment with interval-valued intuitionistic fuzzy numbers (WASPAS-IVIF). *Applied Soft Computing*, 24, 1013-1021.
- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Antucheviciene, J. 2015. Selecting a Contractor by Using a Novel Method for Multiple Attribute Analysis: Weighted Aggregated Sum Product Assessment with Grey Values (WASPAS-G). *Studies in Informatics and Control*, 24(2), 141-150.