

Isı Rezistans Fabrikasında Ergonomik Risk Değerlendirme ve Hedef Programlama ile Personel Planlama

Dilara Nur DEMİRTAŞ¹, Emre YAZICI², Halenur OLCAR³, Fatma Nur KUŞÇU⁴, Ceren BAŞER⁵, Hacı Mehmet ALAKAŞ⁶

ÖZET

Amaç: Personellerin çalışma hayatlarının ve ortamlarının iyileştirilmesi için ergonomik risk oluşturan iş ve ortamların iyileştirilmesi personelin verimini artırmaktadır. Bu çalışmada ısı rezistans üretimi yapan bir fabrikada üretim süreci incelenip ergonomik risk değerlendirilmesi yapılmıştır.

Yöntem: Ergonomik risk değerlendirme yöntemlerinden olan REBA, NIOSH, OWAS ve OCRA yöntemleri kullanılarak riskli çalışma duruşlarının olduğu görevlerin tespit edilmiştir. Ardından ergonomik faktörleri dikkate alarak bu görevlerde çalışacak personelin atanması problemi ele alınmıştır.

Bulgular: Ergonomik risk değerlendirme yöntemlerinin sonuçlarına göre yük kaldırma, taşıma süreçleri ve çalışma ortamının ergonomik kurallara göre düzenlenmesi şeklinde iyileştirme önerileri sunulmuş ve personelin görev çizelgesi oluşturulmuştur.

Özgünlük: Çalışmada hem görevlerin ergonomik riskini hem de personellerini isteklerini dikkate alan özgün bir hedef programlama modeli önerilmiştir. Gerçek bir hayat problemine özgü olarak çözüm sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Ergonomik Risk Değerlendirme, Hedef Programlama, Personel Planlama, REBA, OWAS, NIOSH, OCRA.

JEL Kodları: C02, C61, J28.

Ergonomic Risk Assessment and Personnel Planning with Goal Programming in Heat Resistance Factory

ABSTRACT

Purpose: Improving the work and environments that pose ergonomic risks to improve the working lives and environments of the personnel increases the productivity of the personnel. In this study, the production process was examined and ergonomic risk assessment was made in a factory producing heat resistance.

Methodology: Tasks with risky working postures were determined using REBA, NIOSH, OWAS, and OCRA methods which are the ergonomic risk assessment methods. Ardından ergonomik faktörleri dikkate alarak bu görevlerde çalışacak personelin atanması problemi ele alınmıştır.

Findings: According to the results of ergonomic risk assessment methods, improvement suggestions were presented in the form of load lifting, transportation processes and arrangement of the working environment according to ergonomic rules and the task schedule of the personnel was created.

Originality: In the study, a unique goal programming model has been proposed that considers both the tasks' ergonomic risks and the personnel's wishes. At the same time, a solution specific to a real-life problem is presented.

Keywords: Ergonomic Risk Assessment, Goal Programming, Personnel Planning, REBA, OWAS, NIOSH, OCRA.

JEL Codes: C02, C61, J28.

¹ Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, Türkiye, dnurdemirtas9@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1758-0831.

² Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, Türkiye, 198800001@kku.edu.tr, ORCID: 0000-0002-3661-2119

³ Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, Türkiye, halenurolcr98@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2202-0021.

⁴ Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, Türkiye, fatmanur_kuscu@outlook.com, ORCID: 0000-0001-5199-0831.

⁵ Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, Türkiye, baserceren123@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8942-8377.

⁶ Doç. Dr., Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, Türkiye, hmalagas@kku.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9874-7588 (Sorumlu Yazar-Corresponding Author).

DOI: 10.51551/verimlilik.1050109

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş Tarihi / Submitted Date: 31.12.2021 | Kabul Tarihi / Accepted Date: 03.11.2022

Atf: Demirtaş, N.D., Yazıcı E., Olcar H., Kuşçu, F.N., Başer C. ve Alakaş, H.M. (2023) "Isı Rezistans Fabrikasında Ergonomik Risk Değerlendirme ve Hedef Programlama ile Personel Planlama", *Verimlilik Dergisi*, 57(1), 1-22.

EXTENDED ABSTRACT

Ergonomic risks refer to various physical and mental risks that individuals are exposed to in their lives. One of the essential areas where these risks arise is work life. Ergonomic risks that occur in work life are among the factors that can negatively affect the working performance of the personnel and reduce their productivity of the personnel. Ergonomic risk assessment methods are used to identify and eliminate or reduce these risks.

This study focuses on improving the work environments that create ergonomic risks for improving the working lives and environments of the personnel. This study it is aimed to examine the production process in a factory that produces heat resistance and to make an ergonomic risk assessment. Then, it is aimed to establish a goal programming model that aims to assign the personnel to the tasks in a balanced way.

Using REBA, NIOSH, OWAS, and OCRA, ergonomic risk assessment methods, tasks with challenging working postures were determined. Then, the goal programming method was used to assign the personnel to work on these tasks, considering the ergonomic factors.

According to the ergonomic risk assessment methods results, improvement suggestions were presented in the form of arranging the load lifting, carrying processes, and working environment according to ergonomic rules. As a result of the improvements, ergonomic risk levels were reduced to negligible levels, increasing the efficiency of the enterprise and a balanced distribution of working conditions and ergonomic risk factors. Personnel was assigned to the tasks with the goal programming method. In assignments, the maximum and minimum time limit for a staff member, the maximum number of assignments, and the constraints to equalize REBA scores were taken into account. The task schedule of the personnel has been created.

In the study, a unique goal programming model has been proposed that considers both the tasks' ergonomic risks and the personnel's wishes. At the same time, a solution specific to a real-life problem is presented. In the study, the physical ergonomic risks of the personnel were taken into account, but the mental ergonomic factors and environmental factors were not taken into account. It is recommended to consider mental ergonomic factors and environmental ergonomic factors in future studies.

1.GİRİŞ

Ergonomik faktörler sanayileşen dünya ekonomisiyle beraber hayatın her alanında önemli bir yere sahip olmuştur. Akla gelen ve gelebilecek bütün sektörlerin içerisinde ergonomi planlanması projelerin ilk adımlarından olmuştur. Ergonominin amaçları arasında iş ve işçi sağlığının korunması, yorulma ve iş stresinin azaltılarak işin verimliliğinin artması, gereksiz iş gücü kaybını önlemek ve kalite düzeyini arttırmak bulunur.

Ergonomide insan faktörü ön planda tutulmaktadır. Çalışma ortamının çalışana göre düzenlenmesi son derece önemlidir. İşe bağlı kas iskelet hastalıkları (İKİH), özellikle sanayileşmiş ülkelerde çokça karşımıza çıkan sağlık sorunlarından birisidir (Delice ve diğerleri, 2018). Kas iskelet hastalıklarını önlemek için özellikle boyun, sırt ve omuz bölgelerine dikkat edilmelidir. Bu bölgelerin ergonomik analizi ergonomik risk değerlendirme yöntemleri ile yapılmaktadır. Ergonomik sorunlar değerlendirilirken yapılan iş dikkate alınarak değerlendirme yöntemi seçilmektedir. Ergonomik risk değerlendirilmesi sonucunda çalışma ortamı iyileştirilmeli ve çalışma ortamında yapılan düzenlemelerle iş yükünün hafifletilmesi sağlanmalıdır. Böylelikle risk faktörleri ortadan kalkacak, çalışanların sağlığı korunacak ve işletmede verimlilik artacaktır.

Ergonomik personel çizelgeleme personellerin iş yükünün dengelenmesini sağlarken ergonomik faktörleri dikkate alan bir personel çizelgeleme problemidir. İş yükünün doğru planlanması personellerde kas-iskelet problemlerini önler, üretim sürecinin verimliliğini artırır. Doğru iş yükü planlamasının oluşturulmaması iş yükü dengesini bozarak işçiler ve işveren için memnuniyetsizliklere neden olabilir. (Bedir ve diğerleri, 2017) Çalışma ortamı, ekipmanların doğru kullanımı ve işçilerin ruhsal ve fiziksel yapısı bir bütündür. Birbiriyle olan uyumun yakalanması ergonomik düzenlemelerle sağlanabilir. Sonuç olarak her personel ergonomik açıdan dengeli çalışmalı ve yetkinliği olan işleri yapmalıdır. Bu çalışmada görevlerin ergonomik riskleri dört farklı ergonomik risk değerlendirme yöntemine göre değerlendirilmiştir. Ardından ise REBA (Hızlı Tüm Vücut Değerlendirmesi) yöntemlerini ve personelin diğer çalışma şartlarını da dikkate alarak personel ataması yapılmıştır. Bu bağlamda literatürdeki ergonomik unsurları dikkate alan çalışmalardan farklı olarak personel atamalarında ergonomik faktörlerin dışındaki kısıtları dikkate alarak hem de ergonomik riskleri minimize edecek bir model sunarak literatürdeki diğer çalışmalardan ayrılmaktadır.

Çalışmada ısı rezistans üretimi yapan bir firmada personellerin çalışırken duruş pozisyonları, kaldırdığı yük, çalışma ortamı ve tekrarlayan işlemlerden dolayı riskler gözlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada personellere eşit iş yükü atanması ve yetkinliklerine uygun işlere verilmesi gerektiği gözlenmiştir. Firmadaki personellerin çalışırken yaşadığı ergonomik risklerin belirlenmesinde REBA, NIOSH (Ulusal Mesleki Sağlık ve Güvenlik Enstitüsü), OWAS (Hızlı Tüm Vücut Değerlendirmesi), OCRA (Mesleki Tekrarlayan Eylem) yöntemleri kullanılmıştır. Personellere eşit iş yükü atanması ve yetkinliklere uygun işlerde çalışmasının sağlanması içinse hedef programlama yöntemi kullanılmıştır.

Çalışmada ergonomik faktörler dikkate alınarak, sistemin işleyişinde ergonomik faktörlerin analiz edilmesi ve ergonomik risklerin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Personellerin çalışma esnasında maruz kalabileceği yaranama unsurlarını dikkate alarak iş sağlığı ve güvenliği açısından daha ergonomik bir çalışma ortamının oluşturulması hedeflenmektedir. Aynı zamanda çalışanların performans ve üretim kalitesinin artırılması için personel atamasının ergonomik faktörleri de dikkate alacak her görev için personel yetkinlikleri belirlenmiş ve hedef programlama modelinde bu yetkinlikler modele dahil edilerek görevlerin yetkinliklere göre atanması amaçlanmıştır.

Bu amaçlar ile çalışmada dört farklı ergonomik risk değerlendirme yöntemi kullanarak detaylı bir analiz yapılmış ve analiz sonucuna göre iyileştirme önerileri sunulmuştur. Ardından personellerin işlere atanmasında ergonomik faktörlerin dikkate alınarak atanması için bir hedef programlama modeli kurulmuştur. Hedef programlama modelinde ergonomik risk faktörü değerlendirmeleri neticesinde elde edilen REBA puanlarının her personel için eşitlenmesini sağlayacak hedef kısıtları belirlenmiştir. Aynı zamanda personellerin her görev için yetkinlikleri belirlenmiş ve böylelikle hem ergonomik faktörler hem de personelin yetkinlikleri birlikte dikkate alınmıştır. Bu yönüyle çalışma literatürden ayrılmakta ve literatüre katkı sağlamaktadır.

Çalışmanın giriş bölümünde çalışma ve konu hakkında genel bilgiler verildikten sonra ikinci bölümde literatür araştırması yer almaktadır. Çalışmada ele alınan problemin çözümünde kullanılan yöntemler çalışmanın üçüncü bölümünü oluşturmaktadır. Çalışmanın dördüncü bölümünde problemin çözümünü ve hedef programlama modelini kapsayan uygulama ve çözüm sonuçları yer almaktadır. Son bölümde ise sonuç ve değerlendirme yer almaktadır.

2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

İş ve günlük yaşam aktivitelerinde görev talepleri ve insan kapasiteleri arasındaki boşlukları en aza indirmek için işyerindeki insanlar üzerinde birçok çalışma yapılmıştır. Çalışma ortamında; gürültü, titreşim, termal konfor, aydınlatma, kimyasallar, tozlar, makine ve teçhizatlar, çalışandan kaynaklı faktörler, işe ilişkin bilgiler, işletme yapısına bağlı gözlemler ve işletme yönetimi ergonomik yönden ele alınmıştır. Felekoğlu ve Taşan (2017), ergonomik risk değerlendirme sürecinin daha kolay ve doğru yönetilmesini desteklemeye yönelik reaktif ve proaktif bakış açılarını uyum içerisinde kapsayan bütünlük bir ergonomik risk değerlendirme yaklaşımı geliştirilmiştir. Ergonomik risk değerlendirmesi son yıllarda tekstil sektöründe de ele alınmıştır. Aksüt ve diğerleri (2021), çalışmalarında tekstil sektör çalışanlarının maruz kaldığı ergonomik riskler analitik ağ süreci ile değerlendirmiştir. Tekstil fabrikasındaki kadınların ergonomik risklerinin çok kriterli karar verme yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

Ergonomik riskleri değerlendirmek için birbirinden farklı özellikte pek çok yöntem bulunmaktadır. Hignett ve McAtamney (2000), duruş analizi aracı için REBA incelenmiştir. Kahraman (2012), REBA yönteminin yanında RULA (Hızlı Üst Vücut Değerlendirme), SI (Zorlanma İndeksi) gibi ergonomik risk değerlendirme yöntemlerini AHP yöntemi ile ağırlıklandırmış ve bütünlük bir model risk ölçüm modeli geliştirmiştir. Delice ve diğerleri (2018), bir tüp üretim firmasında ergonomik risk değerlendirme yöntemlerinden REBA yöntemine ek olarak OWAS, MANTRA (Elle Yapılan Görevler için Risk Değerlendirme Aracı) ve QEC (Hızlı Maruziyet Değerlendirme) yöntemlerini kullanmışlardır. Aynı zamanda AHP yöntemini kullanarak da bütünlük bir risk değerlendirme gerçekleştirmişlerdir. Akay ve diğerleri (2003), hatalı duruşların neden olduğu meslek hastalıklarını engellemek için OWAS yöntemini oto servis istasyonlarında uygulamışlardır. İyileştirme için metotlar sunmuşlardır. Mobilya sektöründe de bu yöntemleri ele alan birçok araştırma vardır. Bunlardan Koç ve Testik (2016), OWAS, REBA, QEC, MANTRA yöntemlerini kullanmışlardır ve risk seviyesinin minimuma inmesi için önerilerde bulunmuşlardır. Bir diğer çalışmada ise Alici ve diğerleri (2017), OWAS, REBA, QEC, MANTRA yöntemlerine ek olarak OCRA eklenmiştir. Bu sektörde pnömatis zımbalama ve vidalama işlemlerinde ergonomik risk düzeylerini tespit etmişlerdir. Baykasoğlu ve Akyol (2014), ergonomik anlamda iyi tasarlanmamış montaj hatlarında ergonomik sorunları ortadan kaldırmak için en uygun olan OCRA yöntemiyle ergonomik risk seviyesini belirlemişler ve yeni tasarlanan montaj hattıyla kıyaslama yapmışlardır.

REBA, OWAS ve OCRA dışında NIOSH yöntemini inceleyen çalışmalar da literatürde yer almaktadır. Waters ve diğerleri (1994), NIOSH 1981 yılında "Kaldırma Denklemi" (Lifting Equation) adıyla kaldırma ve taşıma işlemleriyle ilgili yol gösterici bir çalışması yayımlanmıştır. 1994 yılında yenilenerek "Revize Edilmiş NIOSH Kaldırma Denklemi için Uygulama Kılavuzu" adı altında yayımlanmıştır. Çoskun ve diğerleri (2015), bir kompresör işletmesinde 10 adet iş istasyonu için NIOSH yöntemini kullanarak risk değerlendirilmesi yapmışlardır. Sonuç olarak iyileştirme önerileri firmaya sunulmuştur ve öneriler faaliyete geçirilerek risklerin azalmasını sağlamışlardır.

Literatürde ayrıca personel atama problemini ele alan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bard ve Wan (2006), iş istasyonu grupları arasında sınırsız hareket için görev atama problemini incelemiştir. İş istasyonu grupları arasındaki ağırlıklı geçiş toplamını en aza indiren her bir işçi için ayrıştırılmış bir program geliştirilmiştir. Personel ataması için hedef programlama modeli ile Eren ve diğerleri (2017), temizlik personelinin görev çizelgelerini oluşturmuştur. 70 temizlik personelinin bir aylık çizelgesi problemi için hedef programlama modeli kurulmuştur. Modelin çözümü ILOG CPLEX Studio IDE Optimizasyon programı ile yapılmıştır. Gür ve diğerleri (2019), hedef programlama ve kısıt programlama yöntemleri ile cerrahi operasyonların planlanması için bir model önerisinde bulunmuştur. Hastane ameliyathanelerinde ekipman ve kaynakların etkin ve dengeli kullanılması amaçlanmıştır. Eren ve diğerleri (2021), hedef programlama yöntemi ile akaryakıt istasyonları tanıtımı için personel çizelgeleme problemi ele alınmıştır. 10 farklı istasyona hizmet verecek 40 personelin atama ve çizelgeleme problemi hedef programlama modeli ile çözülmüştür. Problem çözümünde IBM ILOG CPLEX Optimization Studio programı kullanılmıştır. Bedir ve diğerleri (2017), Kırıkkale'de bulunan bir mağazada vardiya çizelgeleme sorununu ele almışlardır. Çözüm için Hedef Programlama ve AHP yöntemini kullanmışlardır. Kaçmaz ve diğerleri (2020), bir cam endüstrisinde REBA yöntemini kullanarak görevlerdeki tüm vücut risk değerlendirmesini analiz etmişlerdir. Hedef programlama ile her bir göreve eşit risk seviyesinde ve personelin uygun görevlerde çalışması için atama yapılmıştır. Aksüt ve diğerleri (2022) Covid-19 döneminde bilgi teknolojilerinin kullanımının ergonomik açıdan değerlendirmesini çok kriterli karar verme yöntemleri ile gerçekleştirmiştir. İncelenen literatür Tablo 1'de özetlenmektedir.

Tablo 1. Literatür incelemesi

Yazar (Yıl)	Yöntem				Hedef Programlama	Problem tipi	
	REBA	NIOSH	OWAS	OCRA		Vücut Duruşu	Personelin Uygun Göreve Atanması
Waters ve diğerleri (1994)		✓				✓	
Hignett ve McAtamney (2000)	✓					✓	
Akay ve diğerleri (2003)			✓			✓	
Kahraman (2012)	✓					✓	
Baykasoğlu ve Demirkol Akyol (2014)				✓		✓	
Çoşkun ve diğerleri (2015)		✓				✓	
Koç ve Testik (2016)	✓		✓			✓	
Bedir ve diğerleri (2017)					✓		✓
Alıcı ve diğerleri (2017)	✓		✓	✓		✓	
Delice ve diğerleri (2018)	✓		✓			✓	
Kaçmaz ve diğerleri (2020)	✓				✓	✓	✓
Bard ve Wan (2006)					✓		✓
Gür ve diğerleri (2019)					✓		✓
Eren ve diğerleri (2017)					✓		✓
Eren ve diğerleri (2021)					✓		✓
Aksüt ve diğerleri (2021)							✓
Aksüt ve diğerleri (2022)							
Felekoğlu ve Taşan (2017)						✓	

Bu çalışmada ise öncelikle REBA, NIOSH, OCRA ve OWAS yöntemleri ile ısı rezistans fabrikasında ergonomik risk değerlendirmeye yönelik bir problem incelenmiştir. Ek olarak fabrikada düzgün işe doğru personelin atanması için REBA puanına göre hedef programlama yöntemi ile bir model önerisi sunulmuştur. Sunulan model ILOG CPLEX Studio IDE Optimizasyon programı ile çözüme kavuşturulmuştur.

Çalışmada bir üretim firmasına yönelik olarak gerçek bir hayat problemi için hedef programlama modeli önerilmiştir. Bu kapsamda önerilen model ile personellerin hem ergonomik açıdan taleplerini hem de hizmet verdikleri işletmedeki isteklerini dikkate alan bir model literatüre kazandırılmıştır. Aynı zamanda gerçek bir hayat problemine özgü olarak çözüm sunulmuştur.

3.YÖNTEM

Bu çalışmada literatürde yaygın olarak kullanılan ergonomik risk değerlendirme yöntemlerinden REBA, NIOSH, OWAS ve OCRA yöntemleri ele alınmıştır. Ayrıca personellerin görevlere atanmasını sağlamak için Hedef programlama yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan yöntemler ergonomik iş değerlendirme yöntemleri ve hedef programlama olmak üzere iki ayrı başlık altında verilmiştir.

REBA yöntemi, 2000 yılında Hignett ve McAtamney tarafından vücut duruşlarını değerlendirmek üzere geliştirilmiş olup; elle yapılan kaldırma, taşıma görevlerindeki riskleri değerlendirmek için etkili bir yöntemdir.

REBA yöntemi kullanılarak dinamik hareketlerin yanı sıra statik duruşlar da değerlendirilebilmektedir (Koç, ve diğerleri, 2016).

Bu çalışmada da firmadaki dinamik hareketler ve statik duruşlar için REBA yöntemi kullanılmıştır. İşyerlerinde yük kaldırma, tutma ve taşıma çalışanları en çabuk yoran, en çok zorlayan ve en çok sağlık sorunlarına neden olan hareketlerdendir. NIOSH kaldırma denklemi yöntemi ile çalışanların yükleri kaldırma, taşıma esnasındaki ergonomik riskleri belirlenebilmektedir (Coşkun ve diğerleri, 2015).

OWAS yöntemi, çalışanın sırt, bacak ve kol duruşlarını değerlendirir. OWAS; dört sırt duruşu, yedi bacak duruşu, üç kol duruşu ile kaldırılan yükün ağırlığını değerlendiren üç yük durumu kombinasyonundan oluşan toplamda 252 (4x3x7x3) duruş ve yük kombinasyonuna sahiptir. OWAS sisteminde tanımlanmış her bir duruş birleşimi için eylem sınıfları matrisini kullanarak OWAS eylem seviyesini elde eder (Koç ve Testik, 2016).

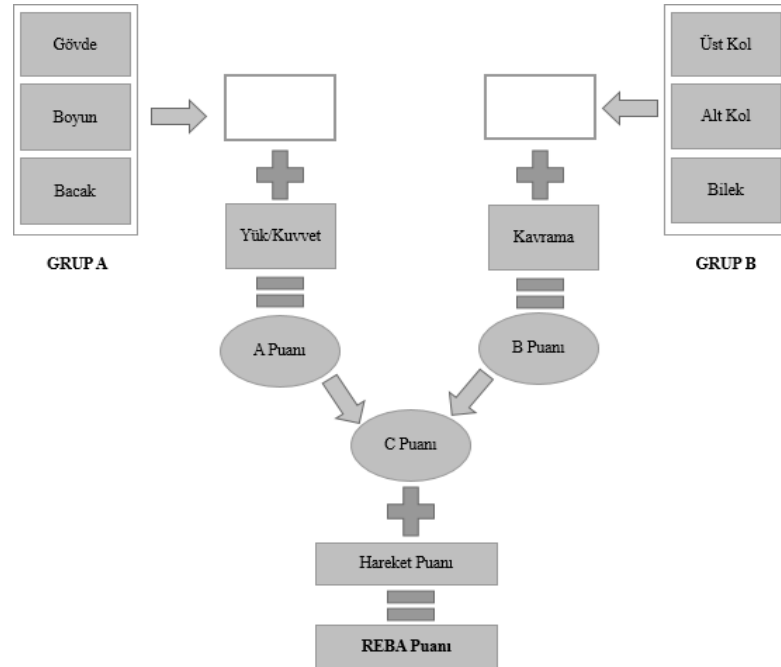
OCRA yönteminde üst vücut hareketlerinin ergonomik incelemesi yapılır. Özellikle el, bilek, dirsek ve omuz gibi temel üst vücut elemanlarının çalışma duruşları ve hareketleri OCRA indeksi ile yorumlanmaktadır (Alıcı ve diğerleri, 2017). Çalışmada üst vücut hareketlerinin ergonomik incelenmesi OCRA yöntemi ile hesaplanmıştır.

3.1. Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemleri

Fabrikadaki üretim süreci incelenmiştir ve tüm vücut değerlendirmesi yapılması için REBA ve OWAS, kaldırma esnasındaki ergonomik riski değerlendirmek için NIOSH ve tekrarlayan hareketlerin ergonomik riskini değerlendirmek için OCRA yöntemlerinin uygun olduğu tespit edilmiştir.

3.1.1. REBA Yöntemi

Ergonomi, insanın çalıştığı ortamla ve ekipmanlarla arasındaki ilişkidir. Bu ilişki çalışanın sağlığını ve güvenliğini, üretim kalitesini ve verimliliğini etkiler. Çalışanın emniyetli, güvenilir ve rahat çalışması için çalışma ortamının, makinelerin ve sistemin tasarımının en iyi şekilde yapılması gerekir. Çalışanın Hızlı Tüm Vücut Değerlendirmesinin yapılması için REBA yöntemi kullanılmıştır. REBA yöntemi ile çalışanların duruşları gözlemlenmiş ve puanlanarak analiz edilmiştir. Yöntemin Adımları Şekil 1'de verilmiştir. REBA yöntemi A ve B grupları olarak iki gruptan oluşmaktadır. A grubunda gövde, bacaklar ve boyun için puanlama yapılır, B grubunda üst kol, alt kol ve bilek değerleri puanlanır.



Şekil 1. REBA skorlama algoritması (Hignett ve McAtamney, 2000)

Çalışanın taşıdığı yüke ve ani güç uygulama durumuna bağlı olarak puan verilir ve A grubuna eklenir. Çalışanın kavrama şekline göre puan verilir ve B grubuna eklenir. A ve B grup puanları tamamlandıktan sonra ikisinin kesişiminden C puanı elde edilir. En son hareketlerin tekrarlaması durumuna göre puan olarak C grubuna puan eklenir. Her görev için REBA puanı bulunur. REBA yönteminin uygulama adımları

hakkında daha ayrıntılı bilgi edinilebilir (Koç ve diğerleri, 2016). REBA A ve B grup puanlamasına ilişkin kullanılan tablolar EK'te verilmiştir. A ve B grubu puanlaması dikkate alınarak C grubu puanı elde edilir. Ardından Şekil 1'de yer alan algoritmaya göre REBA puanı hesaplanır.

Her görev için REBA puanı hesaplandıktan sonra Çizelge 2'de verilen karar tablosu dikkate alınarak vücut duruşu veya hareketin risk düzeyi belirlenecektir. Belirlenen risk seviyesine göre önlem alınıp alınmaması gerektiğine Çizelge 2'de yer alan değerlendirmelere göre karar verilmektedir.

Tablo 2. Reba risk karar tablosu

Derece	REBA Skoru	Risk Seviyesi	Önlem
0	1	İhmal edilebilir	Gerekli değil
1	2-3	Düşük	Gerekli olabilir
2	4-7	Orta	Gerekli
3	8-10	Yüksek	Kısa zaman içerisinde gerekli
4	11-15	Çok yüksek	Hemen gerekli

Kaynak: Hignett ve diğerleri (2000)

3.1.2. NIOSH Yöntemi

Çalışma ortamında yük kaldırma, taşıma işlemleri, işin niteliği ve ergonomik çalışma koşullarına bağlı olarak bel ve sırt ağrılarının ve sakatlanmalara sebep olmaktadır. İşlerin elle taşınmaması için gerekli çalışma ortamının oluşturulması gerekir. Risklerin tespit edilmesi için NIOSH kaldırma denklemi yöntemi kullanılarak gerekli düzenlemelere gidilmelidir.

NIOSH kaldırma denkleminin sekiz adet parametresi vardır. Bunlar, yük sabiti (LC), yükün çalışana olan uzaklığı (H), ellerin yere göre uzaklığı (V), yükün kaldırıldığı dikey mesafe (D), yükün vücuda göre açısı (A), bir vardiya boyunca yük kaldırma sıklığı, kaldırma frekansı (F), yükün şeklinin insan eline ve elin kavrama özelliklerine göre değişiklik gösteren kavrama kalitesi (C)'dir. Bu parametrelerin çarpımı NIOSH kaldırma denklemindeki Tavsiye Edilen Ağırlık Sınırını (RWL) oluşturur. Bu denklem Eşitlik 1'de gösterilmektedir.

$$RLW = LC * HM * VM * DM * AM * FM * CM \quad (1)$$

Tavsiye Edilen Ağırlık Sınırı hesaplanırken Eşitlik 1'de verilen sekiz parametre NIOSH katsayı tablolardan bulunan çarpım değerlerine çevrilip çarpılmasıyla hesaplanmıştır. Riskin hesaplanabilmesi için Eşitlik 2'de verilen Kaldırma İndeksi (LI) kullanılmıştır.

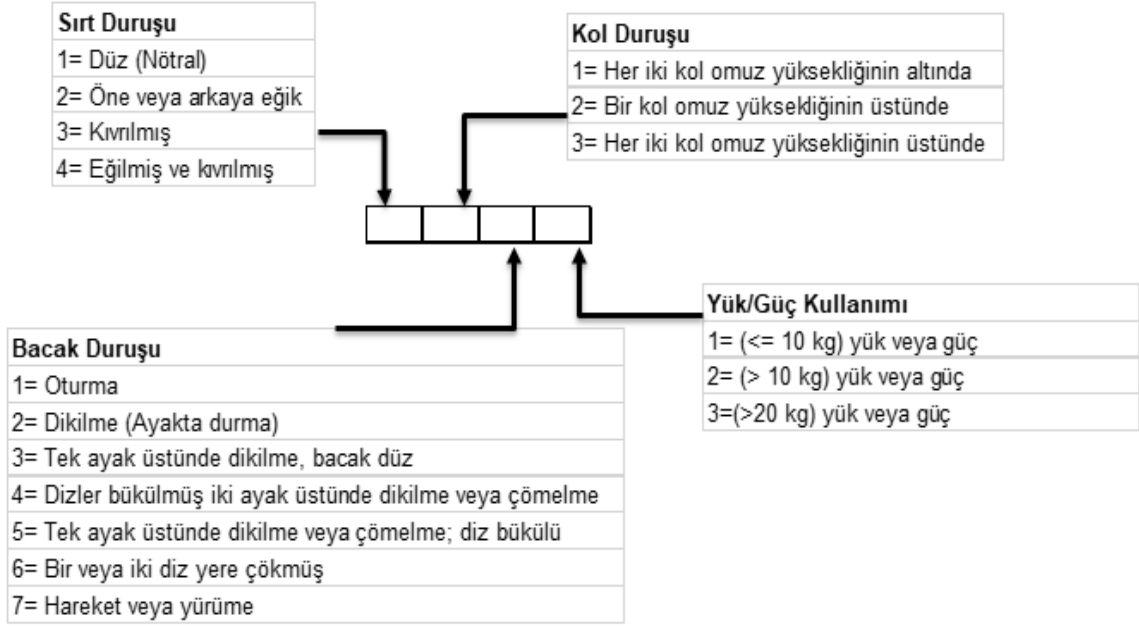
$$\frac{\text{Kaldırılan Ağırlık}}{\text{Tavsiye Edilen Ağırlık Sınırı}} \quad (2)$$

Kaldırma indeksi sonucu değerlendirilerek ergonomik çalışmaların planlamasına karar verilir. Kaldırma indeksi 1,0'ın üzerindeyse kaldırmaya bağlı bel rahatsızlıklarının artış gösterdiğini bu nedenle kaldırma indeksini azaltıcı çalışmalar yapılması gerektiğini gösterir. 1,0 ile 3,0 arasında olması yapılan işin tehlikeli olduğunu ve ergonomik çalışmaların gerekli olduğunu gösterir. 3,0'ın üzerinde olması ise işin çok tehlikeli olduğunu ve acil bir şekilde düzenlemeye gidilmesi gerektiğini belirtir (Waters ve diğerleri, 1994). NIOSH yöntemi hakkında daha ayrıntılı bilgi Coşkun ve diğerleri (2015)'in çalışmalarında edinilebilir.

3.1.3. OWAS Yöntemi

Çalışma alanlarında ergonomik bakımından uygun olmayan ve yanlış duruş sonucu çalışanlarda ortaya çıkan birçok sağlık sorunu meydana gelir. OWAS yöntemiyle duruşlar sınıflandırılır ve çalışana rahatsız eden unsurları ortadan kaldırmak için tasarıma yönelik çalışmalar yapılır.

OWAS yöntemini uygulayan kişi çalışanın, çalışma esnasında yapılan hareketlerini incelerken (vücut, sırt, bacak ve kol duruş) aynı zamanda duruş süresini de göz önünde bulundurur. Çalışma duruşları Şekil 2'de gösterilen 4 aşamalı incelenmektedir.



Şekil 2. Vücut duruş (Koç ve diğerleri, 2016)

Şekil 2’de yer alan incelemeler yapıldıktan sonra Tablo 3’deki gibi OWAS tablosu oluşturulur.

Tablo 3. OWAS yöntemi tablosu

		1		2		3		4		5		6		7								
Sırt	Kollar	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3						
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	
	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	
	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	2	2	3	1	1	1	1	1	2
2	1	2	2	3	2	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	
	2	2	2	3	2	2	3	2	3	3	3	4	4	3	4	4	3	3	4	2	3	4
	3	3	3	4	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	4
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	3	4	4	4	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	3	1	1	1	1	1	2	4	4	4	4	4	4	3	3	3	1	1	1
	3	2	2	3	1	1	1	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1	1
4	1	2	3	3	2	2	3	2	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	4
	2	3	3	4	2	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	4
	3	4	4	4	2	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	4

Kaynak: Koç ve diğerleri (2016)

Oluşturulan tablo ışığında OWAS yöntemine göre eylem sınıfı belirlenir. Buna göre de tehlike derecesi ve öncelikle hangi eylemin uygulanması gerektiği belirlenir sonra da uygulanır. Eylem sınıflarının oluşturulmasında Tablo 4’ten yararlanır.

Tablo 3. OWAS yöntemi için eylem sınıfı

Kod	Eylem Sınıfı	Açıklama
1	Normal duruş	Ergonomik düzeltme gerekli değil.
2	Zorlama fazla değil	Ergonomik düzenleme yakın bir zamanda yapılmalıdır.
3	Yükleme ve zorlama fazla	Ergonomik düzenleme mümkün oldukça erken yapılmalıdır.
4	Yükleme ve zorlama çok fazla	Ergonomik düzenleme derhal yapılmalıdır.

Kaynak: Koç ve diğerleri (2016)

3.1.4. OCRA Yöntemi

OCRA yönteminde üst vücut hareketlerinin ergonomik incelemesi yapılır. Montaj hattı gibi işçinin gün boyu aynı işleri tekrarlı yaptığı durumlar için ergonomik risk analizi yapılırken, aynı işlerin tekrarlanmasından kaynaklanan kümülatif etkiyi hesaplamak çok önemlidir. OCRA yöntemi bu kümülatif etkiyi dikkate alan bir yöntem olarak bilinmektedir. OCRA yöntemi tekrarlı işlerin arka arkaya yapılmasından ortaya çıkan yorulmaları hesaplar. OCRA yöntemi montaj hattında ergonomik risk faktörlerinin analizi için uygun olan tek yöntem olarak ortaya çıkmaktadır. OCRA yönteminde bir istasyonda yapılan tüm işler için kümülatif bir analiz yapılır. İstasyonda birden fazla iş yapılıyorsa eğer bu işlerin her biri için ayrı ayrı indeks hesaplanmaz. Tüm istasyon için tek bir OCRA değeri hesaplanır.

3.2. Hedef Programlama

Hedef programlama görece önem derecesine göre ağırlıklandırılan birçok hedeften negatif, pozitif veya her iki yönde sapmaları eş zamanlı olarak minimize etmeyi amaçlayan çok amaçlı doğrusal programlama çözüm tekniğidir. Hedef programlama; akademik planlama, pazarlama stratejilerinin planlaması, kuruluş yeri seçimi, işgücü ve üretim gibi birçok alanda uygulanır. Hedef programlama, esnek kullanımıyla amacın maksimize veya minimize edilmesini içeren problemlerden farklı olarak birden çok ve çelişen amaçların amaç fonksiyonunda yer almasını sağlamaktadır. Böylece belirlenen hedeflerden en az sapmalı ve tatmin edici çözümü bulmaya yardımcı olmaktadır.

Genel hedef programlama modeli matematiksel olarak şu şekilde ifade edilmektedir:

Değişkenler

X_j = j. Karar değişkeni

a_{ij} = j değişkendeki i. hedef katsayıları

b_i = hedefe ulaşmak için istenilen hedef değeri

d_i^+ = i. hedefe göre pozitif yönlerdeki sapma değerleri

d_i^- = i. hedefe göre negatif yönlerdeki sapma değeri

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^k (d_i^+ + d_i^-) \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} X_j + d_i^- + d_i^+ = b_i \quad (4)$$

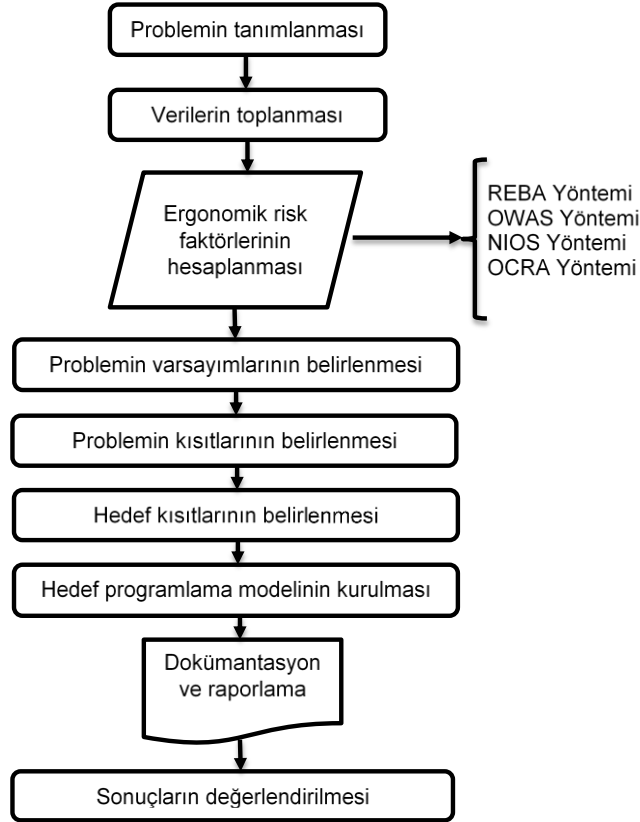
$$X_j, d_i^+, d_i^- \geq 0 \quad i = 1 \dots k \quad j = 1 \dots n \quad (5)$$

4. ISI REZİSTANS FABRİKASININ ERGONOMİK RİSKİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ergonomik risk değerlendirmesi için REBA, OWAS, NIOSH ve OCRA yöntemleri kullanılmıştır. Isı rezistans üretimi yapan bir firmada personellerin çalışırken duruş pozisyonları, kaldırdığı yük, çalışma ortamı ve tekrarlayan işlemler incelenmiştir. Ergonomik risk değerlendirme yöntemleri kullanılarak detaylı bir analiz yapılmıştır. Firmada 59 işçi çalışmaktadır. Her görev için düzgün bir şekilde personel ataması gerekmektedir. Ayrıca bazı işçiler uzun süre bir alanda belli bir pozisyonda çalışmaktadır. Bu sebepten firma ergonomik açıdan birçok probleme sahiptir. Bu verilerden yola çıkarak firmanın ergonomik personel planlama problemi olduğu belirlenmiştir. Bu problemin çözümü için Şekil 3'te verilen uygulama adımları takip edilerek probleme çözüm önerisi sunulmuştur.

4.1. Verilerin Toplanması

Ele alınan problemin çözülmesi için fabrikada günlük olarak gözlemler yapıp kayıt altına alınmıştır. Öncelikli olarak personellerin yapması gereken görevler belirlenmiştir. Bu görevler hakkında bilgiler elde edilerek görevlerin süreleri ve görevi yapmak için ihtiyaç olan personel sayıları belirlenmiştir. Ardından görevlerin yapıları tek tek gözlemlenerek ergonomik değerlendirme için bilgi sahibi olunmuştur. Her bir görevin açıklaması Tablo 5'te verilmektedir.



Şekil 3. Uygulama akış şeması

Tablo 4. Görevlerin açıklanması

Görevler	Açıklamalar
Tel Sarım	Verilen üretim planlamaya göre uygun olarak makineler istenilen ölçüde pimlerini, makaralarını takarak çalıştırılır. Tel omajı, makara omajı ve tel çapı girilerek makine istenilen boyuta getirilir. Böylelikle firesi de az olur.
Tel Kesim	Çalışanlar makinadan çıkan telleri boruların boyutlarına göre kesimini yapar.
Pim Punto Takım	Tel sarma çapı ile ayırma çapı aynıdır. Kapasiteler her birinde 5.000 adettir. Tel kesim yapıldıktan sonra ucundaki çapaklar kırılarak pim punto makinelerinde çaplara göre amperler ayarlanarak puntolanır.
Boru İmalat	Düz sacda boru formu oluşturularak üretim yapılır.
Boru Havşalama	Oluşturulan formun sabitlemesi, kenar çıkıkları giderilir.
Dolum	Boru boyu ve makine hızları makineden ayarlanır. Kılavuz sabit boru hareketlidir. Boru yukarı çıkar. Arada 10 cm boşluk kalır ve dolum yapılır.
Dolan Boruya Tıpa	Dolum yapıldıktan sonra çalışanlar kumun borudan dökülmemesi için ucuna tıpalama yapar.
Haddeleme	Dolumu yapılmış düz borunun boyunun uzatılıp çapının düşürülme işlemi yapılır.
Tavlama	Tavlama amonyak gazı ve azot gazı ile çalıştırılır. Bazı borular tavllanır ve büküme gider oradan da montaja geçer.
Büküm	Düz boru şeklinde olan rezistansların müşterinin istediği tasarım formuna getirilir.
Soket Takım	Bükümü tamamlanan rezistansın yine çalışanlar tarafından sağ uç ve sol uç olmak üzere iki tarafa soket takılır.
Omaj ve Gram Ölçümü	Tamamlanan rezistansın omaj ve gram kontrolü için çalışanlar tarafından ölçüm aletinden geçirilir.
Okey Testi	Rezistansların çalışanlar tarafından oket testine sokulması. Test sonucu yeşil ışık olanlar ve red yiyenlerin ayrılır.
Kalıp Kontrol	Test sonucu yeşil ışık veren rezistansların uygun kalıplarda olmasının kontrolü yapılır.
Paketleme	Sevkiyata hazır hale getirilir.

Her görevin işlem süreleri ve her görev için gerekli personel sayısına ulaşılmıştır. 36 görev için toplam gerekli personel sayısının 59 olması gerektiği bulunmuştur. Bunlar Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 5. İş elemanları, ısı rezistans üretim süreleri ve gerekli personel sayısı

No	Görevler	İş Elemanı	Süre (Dk)	Gerekli Personel Sayısı
1	Tel sarım	Tezgâhtan telin elle taşınması	301	1
2		Telin tel sarım makinesine yerleştirilmesi	300	1
3		Sarılmış telin tel kesme tezgâhına alınması	350	1
4	Tel kesme	Sarılmış telin tezgâhtan elle alınması	300	1
5		Sarılmış telin tel kesme aparatına yerleştirilmesi	300	1
6		Boruların boyutlarına göre telin kesilmesi	350	1
7		Kesilen tellerin pin punto tezgâhına alınması	370	2
8	Pin puntalama	Kesilen tellerin pin punto makinesine yerleştirilmesi	300	2
9		Pin punto makinesinden çıkan telleri elle kaldırma ve yatay olarak forkliftlere yerleştirme	330	2
10		Boru imalat tezgâhına taşınması ve tezgâha kaldırılması	300	2
11	Boru imalatı	Boru ve pin puntoların tezgâhtan elle alınması	320	2
12		Boru imalat makinesine elle yerleştirilmesi	280	2
13		Boru imalat makinesinden çıkan boruların konveyör ile havsalama makinesine taşınması	260	2
14	Havşalama	Havşalama makinesinden çıkan borunun elle alınarak dolmuş tezgâhına alınması	320	1
15	Dolum	Boruların tezgâhtan alınıp dolum makinesine yerleştirilmesi	380	2
16	Boru tıpalama	Dolu boruların elle ucuna tıpa takılması	340	2
17	Haddeleme	Tıpası takılan boruların elle alınarak haddeleme tezgâhına alınması	302	2
18		Boruların elle haddeleme makinesine yerleştirilmesi	280	2
19	Tavlama	Haddeleme makinesinden çıkan boruların elle tavlama tezgâhına alınması	350	2
20		Haddelenmiş boruların elle tavlama makinesine yerleştirilmesi	320	2
21	Büküm	Makineden çıkan boruların elle büküm tezgâhına alınması	360	1
22		Boruların büküm tezgâhından alınıp büküm makinesine elle yerleştirilmesi	339	2
23		Büküm makinesinden çıkan boruları elle kaldırma ve yatay olarak forkliftlere yerleştirme	380	1
24	Soket takma	Boruların soket takma bölümüne forkliftlerle taşınması	350	2
25		Forkliftlerdeki boruların elle alınıp soket takma tezgâhına yerleştirilmesi	339	2
26		Borulara manuel olarak soket takılması	309	2
27		Soketi takılan boruların elle forkliftlere yerleştirilmesi	322	2
28	Omaj ve gram ölçümü	Boruların omaj ve gram ölçüm tezgâhına taşınması	360	1
29		Boruların omaj ve gram ölçümlerinin yapılması	310	2
30	Okey testi	Ölçümü yapılan boruların elle okey testine sokulması	330	2
31		Test onayı alınan rezistansın elle kaldırılıp forkliftlere yerleştirilmesi	390	2
32		Rezistansın forkliftlerle kalıphaneye taşınması.	400	1
33	Kalıp kontrolü	Forkliftlerden rezistansların elle kaldırılması ve kalıp kontrolünün yapılması	308	1
34		Kalıptan çıkan rezistansların forkliftlere yüklenmesi	402	2
35	Paketleme	Rezistansların forkliftlerle paketleme bölümüne taşınması ve paketleme tezgâhına kaldırılması	420	1
36		Paketleme işleminin yapılması	290	1

4.2. İşlerin Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemleri İle Değerlendirilmesi

Fabrika çalışma koşulları iş sağlığı ve güvenliği uzmanıyla birlikte gözlemlenmiştir. Ergonomik risklerin değerlendirilmesi kapsamında ilk olarak REBA yöntemine göre 36 görev için puanlama yapılmıştır. REBA görev noktaları belirlenmiş ve bütün görevlerin risk seviyeleri bulunmuştur. Ardından NIOSH yöntemi ile 15 istasyon yük kaldırma açısından analiz edilmiştir. Yöntemin adımları 15 istasyonda da uygulanarak NIOSH risk değerlendirme sonucuna ulaşılmıştır. Daha sonra OWAS yönteminin adımlarına uygun olarak 36 görev içinde kodlama yapıldıktan sonra eylem sınıfı bulunmuştur. Son olarak ise OCRA yöntemi ile her istasyonun teknik hareket sıklığı sağ taraf ve sol taraf için hesaplanmıştır. Tüm yöntemler için bulunan risk değerleri Tablo 7'de özetlenmektedir.

Tablo 6. Yöntemlerin risk değerlendirilmesi

Görev No	REBA	NIOSH	OWAS	OCRA
1	1	0,394	6	12,58-8,33
2	4	0,29	6	14,31-11,76
3	1	0,41	11	15,33-8,50
4	1	0,26	6	18,87-11,11
5	4	0,37	5	12,58-8,50
6	4	0,284	5	12,58-11,76
7	1	0,27	10	12,17-7,41
8	4	0,24	6	15,37-7,41
9	6	0,15	8	14,31-11,11
10	1	1,33	10	15,33-11,11
11	1	2,22	6	13,84-10,31
12	4	2,66	6	14,15-8,22
13	4	2,79	10	12,17-10,31
14	1	2,79	7	15,33-8,33
15	4	1,02	12	15,33-8,22
16	8	0,17	7	12,17-11,11
17	2	1,33	12	15,37-7,41
18	4	2,79	6	12,58-7,41
19	2	2,92	11	14,31-10,31
20	4	2,66	6	14,31-8,33
21	2	2,22	11	17,52-10,7
22	6	1,56	6	13,84-8,50
23	9	2,814	10	13,84-11,76
24	1	1,02	12	14,82-11,11
25	7	2,66	8	17,52-10,31
26	9	2,66	5	12,17-8,33
27	7	1,33	10	15,33-7,41
28	1	0,17	12	15,33-7,41
29	8	0,29	5	15,33-8,33
30	6	0,27	5	14,31-10,31
31	7	2,92	10	17,52-10,7
32	3	2,22	12	12,58-11,11
33	4	3,48	7	14,15-8,22
34	7	3,48	10	14,31-8,22
35	3	2,79	12	17,52-10,7
36	7	1,33	6	14,82-11,11

REBA yöntemine göre 16, 23, 29 numaralı, NIOSH yöntemine göre 33, 34 numaralı, OWAS yöntemine göre 16, 17, 23, 25, 27, 31, 33, 34 numaralı görevler ergonomik düzenlemeye ihtiyaç duymaktadır.

4.3. Personel Atama Problemi

Bu çalışmada ısı rezistans üretimi yapan bir firmada ergonomik risk değerlendirmelerini dikkate alarak hedef programlama ile ergonomik personel çizelgeleme probleminin çözümü amaçlanmıştır.

Yapılan ergonomik risk değerlendirmeleri ile yaralanmalardan önemli derecede koruma sağlanarak, sağlık ve güvenlik yönünden daha iyi bir çalışma ortamı sağlanması ve bunlara ek olarak çalışan performansı ve üretim kalitesi artırılması, iş gücü kayıplarıyla beraber ekonomik kayıpların önüne geçilmesi hedeflenmektedir.

4.3.1. Problemin Tanımı

Isı rezistans üretimi yapan bir firmanın üretim sürecinde çalışanlar ergonomi kaynaklı birçok problemle karşılaşmaktadır. Problemler detaylı incelediğinde yanlış pozisyon, göreve uyumsuzluk, göreve ilişkin yeteneğinin değerlendirilmemesi, dikkatsizlik ve yetersizlik gibi birçok problemin bir araya gelmesi üretim süreci ve personeller açısından önemli problemlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. İşletmede üretim sürecine ilişkin bazı faaliyetler ve bunlara ilişkin belirlenen problemler aşağıda sıralanmaktadır. Bunlar:

- Kum dolum sırasında çalışanlar dolan boruları makineden elle çıkarttıkları için alma hızlarına göre boru içindeki kumun dökülme oranlarında farklılık olması
- Dolum işlemi bittikten sonra çalışanların boru ucuna tıpalama yaparken boru içindeki kumun dökülme oranlarında farklılık olması
- Tel kesim yaparken boru boyuna göre kesim olmalıdır. Ancak çalışanlar teli elle kestikleri için telin boru boyuna göre uzun ya da kısa olması
- Kalıphanede çalışanlar bütün ürünlere kalıp kontrolü uygulaması yapmalıdır. Ancak bazı ürünlere kalıp kontrolü uygulanmamaktadır. Bundan kaynaklı çok sayıda kalitesiz ürün ortaya çıkması

4.3.2. Kabul ve Varsayımlar

Çalışmanın kabul ve varsayımları şu şekildedir:

- Öncelikle çalışanlara yük kaldırmak ile ilgili davranışlarını düzeltmeleri için eğitim verilmelidir. Çalışanlar ağırlığı kaldırdıkları sırada yükün ağırlığı bele değil dizlere binmelidir.
- Aynı işi birden fazla çalışan yaparsa tekrar sayısı azalacaktır.
- Boruları taşıma işlemi yapılırken koliler ile taşınan yük miktarının yarıya inmesi vücuttaki zorlanmayı azaltacaktır.
- Çalışanların yük kaldırmasına yardımcı olmak için bir araç önerilmektedir. Vinç olabilir, kumanda yardımıyla parça işçinin rahat çalışabileceği vücut duruşunu koruyabileceği seviyeye kadar çıkarılabilmektedir.
- İş esnasındaki çalışma ortamının ergonomik kurallara göre düzenlenmesi önerilmektedir.
- Konveyör bandı kullanılabilir, bu durumda taşınan yük bandın üzerine işçinin desteğiyle yerleştirilir. Çalışana yüklenen ani ağırlık ortadan kalktığı varsayılır.
- Tezgâh yüksekliğinin artırılması ile gövdenin yapmış olduğu bükülme hareketi ortadan kalkabilir.

4.3.3. Ergonomik Personel Çizelgeleme İçin Hedef Programlama Modeli

Parametreler;

$$n = \text{fabrikadaki çalışan personel sayısı} \quad n = 59$$

$$m = \text{fabrikadaki görev sayısı} \quad m = 36$$

$$i = \text{personel endeksi} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$j = \text{görev dizisi} \quad j = 1, 2, \dots, m$$

$$t_j = j. \text{Görevin zamanı} \quad j = 1, 2, \dots, m$$

$$l_j = j. \text{Görevin Reba puanı} \quad j = 1, 2, \dots, m$$

$$K_j = j. \text{Görevin personel ihtiyacı} \quad j = 1, 2, \dots, m$$

$$C_{ij} = j. \text{Görev için } i. \text{personelin yetenek değerlendirmesi} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad j = 1, 2, \dots, m$$

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & i. \text{personel } j. \text{göreve atanırsa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad j = 1, 2, \dots, m$$

$$d_{1i}^+ = \text{Personelin hedef 1 için pozitif yönde sapma miktarı} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$d_{1i}^- = \text{Personelin hedef 1 için negatif yönde sapma miktarı} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$d_{2j}^+ = \text{Personelin hedef 2 için pozitif yönde sapma miktarı} \quad j = 1, 2, \dots, m$$

$$d_{2j}^- = \text{Personelin hedef 2 için negatif yönde sapma miktarı} \quad j = 1, 2, \dots, m$$

Kısıtlar;

1. Kısıt: j. görevde K_j sayıda personele ihtiyaç vardır.

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = K_j \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

2. Kısıt: Tüm personeller maksimum altı görevle sınırlandırılmalıdır.

$$\sum_{j=1}^m X_{ij} \leq 6 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

3. Kısıt: Tüm personellerin gün boyunca çalışabileceği maksimum ve minimum süreler sınırlandırılmalıdır.

$$\sum_{j=1}^m X_{ij} * t_j \geq 240 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^m X_{ij} * t_j \leq 480 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

Hedef Kısıtlamaları;

Hedef 1: Tüm personeller için eşit REBA puanlarının olması hedeflenmiştir.

$$\sum_{j=1}^m X_{ij} * t_j * l_j + d_{1i}^- - d_{1i}^+ = \sum_{j=1}^m X_{ij} * t_j * 5 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

Hedef 2: Tüm görevler için uygun personelin atanması hedeflenmiştir.

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} * C_{ij} + d_{2i}^- - d_{2i}^+ = \sum_{i=1}^n X_{ij} * 1 \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (11)$$

Amaç Fonksiyonu;

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n d_{1i}^+ + \sum_{j=1}^m d_{2j}^+ \quad (12)$$

4.3.4. Hedef Programlama Modeli Sonuçları

Hedef programlama yöntemi ile kurulan modelin sonuçları Tablo 8'de gösterilmektedir. Modelin çözümünde Intel (R) Core (TM) i7-7700HQ CPU @ 2.80 GHz işlemcisi 8GB belleği ve Windows 10 işletim sistemine sahip bilgisayar kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar IBM ILOG CPLEX Optimization Studio programı ile model kodlanmıştır. Bu program ile modelin sonucu 0,38 saniyede elde edilmiştir.

Çözülen model sonucunda personel atamaları Tablo 8'de gösterilmiştir. Tablo 8'de yer alan bilgiler incelendiğinde satırlar personelleri, sütunlar ise görevleri temsil etmektedir. Elde edilen sonuçlar 59x36 boyutunda bir matris oluşturularak özetlenmiştir. Matrisde işaretli noktalar i'nci personelin atandığı j'nci görevi temsil etmektedir. Tablo 8'e bakıldığında birinci personel 18. göreve, ikinci personel 18. göreve, üçüncü personel 28. göreve atanmıştır. Bu şekilde tüm personellerin atandıkları görevler Tablo 8'de yer alan matematiksel modelin duyarlılığını değerlendirmek amacıyla modelin amaç fonksiyonunda yer alan karar değişkenleri için farklı katsayılar verilerek beş farklı senaryo ile sapma değişkenlerinin aldıkları değerler incelenmiştir. Tablo 9'da personellerin atanmasına ilişkin olarak sapma değişkenlerinin aldığı değerler, Tablo 10'da ise görevlere ilişkin sapma değişkenlerinin aldığı değerler yer almaktadır.

Isı Rezistans Fabrikasında Ergonomik Risk Değerlendirme ve Hedef Programlama ile Personel Planlama

Tablo 7. Hedef programlama modeli personel atama sonuçları

Personel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	Toplam	Görev Süresi		
1																		X																		280				
2																		X																			280			
3																												X										360		
4																X																						340		
5													X																									260		
6												X																										280		
7														X																								302		
8																										X													339	
9																																X							400	
10															X																							380		
11																				X																		320		
12		X			X																																		300	
13		X																																					301	
14			X																																				350	
15																X																			X				308	
16																																							380	
17																										X													339	
18																																							300	
19												X																											320	
20													X																										260	
21														X																									320	
22			X																																				300	
23							X																																370	
24								X																															330	
25																												X											322	
26													X																										280	
27																																							389	
28																								X													X		290	
29								X																															370	
30																				X																		350		
31															X																								320	
32																																							350	
33								X												X																			300	
34																																								309
35																												X												309
36																												X												390
37																																				X				380
38											X																													300
39																																								310
40																																								360
41																																								340
42															X																									260
43															X																									300
44																																								330
45																																								350
46																																								300
47																																								320
48																																								350
49																																								330
50																																								339
51																																								402
52																																								302
53																																								330
54																																								350
55																																								322
56																																								390
57																																								310
58																																								420
59																																								402
Ortalama Reba Puanı	1	4	1	1	4	4	1	4	6	1	1	4	4	1	4	8	2	4	2	4	2	6	9	1	7	9	7	1	8	6	7	3	4	7	3	7				
Toplam Görev Süresi	301	300	350	300	300	350	370	300	330	300	320	280	260	320	380	340	302	280	350	320	360	339	380	350	339	309	322	360	310	330	390	400	308	402	420	290				

Tablo 9. Personele ilişkin sapma değişkenlerinin duyarlılık analizi sonuçları

Personel	Mevcut Durum (d1 artı)	Senaryo 1 (0,2*d1artı)	Senaryo 2 (0,4*d1artı)	Senaryo 3 (0,6*d1artı)	Senaryo 4 (0,8*d1artı)	Senaryo 5 (0,5*d1artı)
1	339	0	0	930	339	0
2	1.020	0	1.236	580	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	1.020	0	0	1.020	1.020
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	339	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	678	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	780	0	0	0
12	0	1.520	644	1.520	0	1.520
13	0	0	0	0	0	0
14	1.020	0	0	1.020	0	0
15	0	804	0	0	804	804
16	0	0	0	0	0	0
17	780	678	678	0	678	678
18	0	678	678	678	0	678
19	678	0	0	0	0	0
20	644	0	330	0	644	0
21	678	0	339	0	678	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	330	1.236	330	0	0	1.236
25	804	804	804	804	0	804
26	0	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020
27	0	0	0	0	0	0
28	580	930	580	804	804	930
29	0	0	0	0	580	0
30	0	330	1.020	0	0	330
31	0	580	0	0	0	580
32	0	0	0	0	1.520	0
33	780	780	339	0	780	780
34	1.236	0	0	1.236	0	0
35	930	1.236	1.236	1.236	1.236	1.236
36	0	930	780	330	780	930
37	930	0	0	330	330	0
38	339	0	1.520	0	0	0
39	0	330	0	930	330	330
40	0	0	0	0	0	0
41	0	0	0	0	0	0
42	0	0	0	0	930	0
43	0	644	0	644	0	644
44	0	330	0	0	0	330
45	0	0	0	0	0	0
46	0	0	0	0	0	0
47	0	339	0	0	0	339
48	0	0	0	339	0	0
49	330	330	330	0	930	330
50	0	339	0	0	0	339
51	804	0	804	0	0	0
52	330	0	330	330	330	0
53	330	0	0	330	330	0
54	0	0	0	0	0	0
55	644	644	644	644	644	644
56	0	0	930	780	0	0
57	1.520	0	930	780	0	0
58	1.236	0	0	0	339	0
59	0	780	0	0	1.236	780
Toplam	16.282	16.282	16.282	16.282	16.282	16.282

Tablo 9'da yer alan verilere göre modeldeki sapma değişkenlerinin katsayıları değişse dahi sapma değişkenlerinin aldığı değerler toplamının değişmediğini görülmektedir. Bu da modelin doğruluğunu ve güvenilirliğini göstermektedir. Benzer şekilde Tablo 10'da yer alan verilerin de değişmediği görülmektedir.

Tablo 10. Görevlere ilişkin sapma değişkenlerinin duyarlılık analizi sonuçları

Görev	Mevcut ($d2arti$)	Senaryo 1 ($0,8*d2arti$)	Senaryo 2 ($0,6*d2arti$)	Senaryo 3 ($0,4*d2arti$)	Senaryo 4 ($0,2*d2arti$)	Senaryo 5 ($0,5*d2arti$)
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0

Elde edilen sonuçlar ışığında uygulama yapılan işletme için bazı önerilerimiz vardır. Risk seviyesi yüksek çıkan görevler genellikle çalışanın uygunsuz pozisyonda iş yapmasından kaynaklanmaktadır. Çalışanlar doğru vücut duruşları hakkında bilgiye sahip olmadıklarında görevleri uygun olmayan pozisyonda gerçekleştirebilmektedir. Bu noktada çalışanların doğru çalışma duruşları hakkında bilgilendirilmesinin bu görevlerdeki riskleri azaltacağı düşünülmektedir.

Tel kesim yaparken boru boyuna göre kesim olmalı ancak elle çalışanlar tarafından kesildiği için tel boru boyuna göre uzun ya da kısa oranı yüksek olması durumu için kesim yerlerine ölçekli çizelge konulmuştur. Böylece çizelgeye göre kesilen tel boru boyu uzun ya da kısa olma oranını azaltmıştır.

Kalıphanede kalıp kontrolü yapan her çalışan için kendine ait numaralandırılmış barkodları vardır ve kalıba uymayan her ürün çıktığında hangi çalışandan dolayı üründe hata olduğu ortaya çıkmaktadır. Böylece uyarılar ile kalıp kontrolünde ürün atlama olayı en aza indirgenmiştir.

İşletmede kum dolma işlemi yapılmaktadır. Dolma sırasında makineden dolan boruları çalışanlar elle çıkartmaları için alma hızlarına göre kum dökülme oranlarında farklılık olmasından dolayı sistemdeki makineye kapak kapatırma önerisi getirilip uygulanmıştır. Böylece çalışanlar kumu dolan boruyu alırken herhangi bir dökülme yaşanması riskinin önüne geçilmiştir. Dolayısıyla çalışanın dolma torbasındaki ani dökülmelerde gösterdiği eğilim kalma hareketleri azaltılmıştır. Büküm makinesinden çıkan boruları elle kaldırma ve yatay olarak forkliftlere yerleştirme işleminde çalışanlar makineden çıkan boruları tezgahın toplamak için sürekli eğilip kalkması, kas ve iskelet sisteminde yük oluşturmaktadır. Bu işlemin manyetik mıknatıslı boru toplama aleti ile yapılmasının çalışanın kas ve iskelet sistemi üzerindeki yükünü azaltacağı

düşünülmektedir. Yüksek risk grubunda yer alan sürekli forkliftlere yerleştirme veya alma işleminde görevler için aşırı güç uygulamak zorunda kalmaktadır. Bu görev için elektrikli bant sisteminin yapılması önerilmektedir. Bu uygulama ile çalışanın çekme sırasındaki çabasının ve zorlanmasının ortadan kalkacağı düşünülmektedir.

5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Ergonomik olmayan çalışma ortamları ve duruşlar üretimde verimliliğin azalmasına, gereksiz maliyetlerin ortaya çıkmasına en önemlisi ise çalışanın sağlığının bozulmasına sebep olmaktadır. İstenilen üretkenliğin sağlanması ve rekabet gücünün elde edebilmesi için çalışanlara önem verilmeli ve ergonomik risklerin oluşması önlemeli, oluştuysa da bir an önce iyileştirmeye gidilmelidir. Fiziksel çevre koşullarında (gürültü düzeyi, hava sıcaklık düzeyi, nem miktarı, aydınlanma düzeyi, radyoaktif veya titreşimsel dalgalar) ve daha onlarca gösterilebilecek insan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilecek her türlü hususta gerekli analizler yapılmalı ve gerekli önlemler alınmalıdır.

Isı rezistans üretimi yapan bu fabrikada dört farklı ergonomik risk değerlendirme yöntemi kullanılarak analiz yapılmıştır. Birçok görevde risk seviyesi orta ve yüksek çıkmıştır. Uygun olmayan işlemlerde iyileştirme yapılmıştır. Fabrika iyileştirmeler neticesinde REBA, OWAS, OCRA, NIOSH puanlarının azalacağı ön görülmektedir. Buna bağlı olarak risk düzeylerinde önemli düzeyde azalma görüleceği düşünülmektedir.

Aynı zamanda personelin ergonomik risk seviyesinin düşürülmesi hedeflenmektedir. Görevlerin risk analizi için REBA yöntemi ve Çalışma koşullarının ve ergonomik risk faktörlerinin dengeli bir şekilde dağıtılması için Hedef Programlama yöntemi kullanılmıştır. Hedef Programlama ILOG CPLEX ile çözülmüştür. Personelin iş yükü azaltılmıştır ve bu sayede sağlık sorunlarının azaltılması ve üretkenliğin artması sağlanmıştır.

Çalışmada problemin çözümü için beş kısıt belirlenmiştir. Bu kısıtlardan iki tanesi hedef kısıttır. Hedef kısıtları ile personellerin REBA puanlarına göre eşit iş yüküne atama yapılması ve yetkinliklerine uygun işlere atanması sağlanmıştır. Diğer kısıtlar ise ihtiyaç duyulan kadar personelin çalıştırılması, personelin çalışacağı görev sayılarının sınırlandırılması ve personelin çalışma sürelerinin dengelenmesine yönelik kısıtlardır. Elde edilen sonuçlar ile personellerin görevlere atması sağlanmış ve her personelin çalışma süresi belirlenmiştir. Personellerin atanmasında tüm personel için ergonomik risklerin eşitlenmesi ve personellerin yetkinliklerine uygun görevlere atanması sağlanmıştır.

Çalışmada personellerin fiziksel ergonomik riskleri dikkate alınmıştır ancak zihinsel ergonomik faktörler ve çevresel faktörler dikkate alınmamıştır. Fiziksel ergonomik faktörlerin dikkate alınması çalışmanın limitlerin ifade etmekle birlikte gelecek çalışmalarda zihinsel ergonomik faktörlerin ve çevresel ergonomik faktörlerin dikkate alınması önerilmektedir.

Sonuçta ergonomi çalışanların verimlilik ve kalite hedefi ile iş ve işçi sağlığını koruyarak rahat ve güvenli şartlar altında çalışmasını hedeflemektedir. Sağlıklı iş ortamı daha yüksek kalitede üretimin ve istihdamın sağlanmasının ilk adımıdır. Ergonomi günden güne çalışma hayatıyla daha fazla entegre olmaktadır. Bu nedenle ergonomik faktörlerin göz önünde bulundurularak personel atamasının yapılması verimliliği artıracaktır.

Bilgilendirme /Acknowledgements

Emre Yazıcı Yüksek Öğretim Kurumu (YÖK) tarafından Yöneylem Araştırma alanında 100/2000 Doktora bursiyeri olarak desteklenmektedir.

Emre Yazıcı is supported by The Council of Higher Education (CoHE) as 100/2000 PhD Scholar in Operations Research subdivision.

Yazar Katkıları /Author Contributions

Dilara Nur Demirtaş: Literatür taraması, Kavramsallaştırma, Modelleme, Makale Yazımı-rijinal taslak Emre Yazıcı: Metodoloji, Modelleme, Analiz Halenur Olcar: Veri Derleme Fatma Nur Kuşcu: Kavramsallaştırma Ceren Başer: Kavramsallaştırma Hacı Mehmet Alakaş: Makale Yazımı-inceleme ve düzenleme

Dilara Nur Demirtaş: Literature review, Conceptualization, Modelling, Writing-original draft Emre Yazıcı: Methodology, Modelling, Analysis Halenur Olcar: Data Curation Fatma Nur Kuşcu: Conceptualization Ceren Başer: Conceptualization Hacı Mehmet Alakaş: Writing-review and editing

Çatışma Beyanı /Conflict of Interest

Yazarlar tarafından herhangi bir potansiyel çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No potential conflict of interest was declared by the author.

Fon Desteği / Funding

Bu alışmada herhangi bir resmi, ticari ya da kr amacı gtmeyen organizasyondan fon desteği alınmamıştır.

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

Etik Standartlara Uygunluk / Compliance with Ethical Standards

Yazarlar tarafından, alışmada kullanılan ara ve yntemlerin Etik Kurul izni gerektirmediği beyan edilmiştir.

It was declared by the authors that the tools and methods used in the study do not require the permission of the Ethics Committee.

Etik Beyanı / Ethical Statement

Yazarlar tarafından bu alışmada bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tm alışmaların kaynakada belirtildiği beyan edilmiştir.

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






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

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

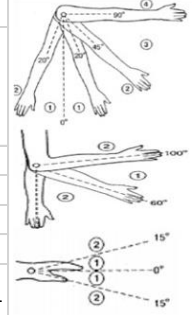
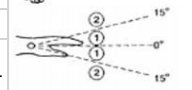
KAYNAKÇA

- Akay, D., Dağdeviren, M. ve Kurt, M. (2003). "Çalışma Duruşlarının Ergonomik Analizi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18(3), 73-84.
- Aksüt, G., Eren, T. ve Tüfekçi, M. (2021). "Tekstil Sektör Çalışanlarının Maruz Kaldığı Ergonomik Risklerin Analitik Ağ Süreci ile Değerlendirilmesi", *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 13(1), 231-242.
- Aksüt, G., Alakaş, H.M. ve Eren, T. (2022). "Determining Ergonomic Risks Arising from the Use of Information Technologies in the Covid-19 Environment", *International Journal of Human-Computer Interaction*, DOI: <https://doi.org/10.1080/10447318.2022.2062856>
- Alıcı, H., Atıcı Ulusu, H. ve Gündüz, T. (2017). "Mobilya Sektöründe Pnömatik Zımbalama ve Vidalama İşlerinin Ergonomik Risk Değerlendirmesi", *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(4), 211-226.
- Bard, J.F. ve Wan, L. (2006). "The task assignment problem for unrestricted movement between workstation groups". *Journal of Scheduling*, 9, 315-341.
- Baykasoğlu, A. ve Demirkol Akyol, Ş. (2014). "Ergonomik Montaj Hattı Dengeleme". *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(4), 785-792.
- Bedir, N., Eren, T. ve Dizdar, E. N. (2017). "Ergonomik Personel Çizelgeleme ve Parekende Sektöründe Bir Uygulama", *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(3), 657-674.
- Coşkun, B.M., Sağıroğlu, H. ve Erginel, N. (2015). "İş İstasyonlarının Ergonomik Riskinin NIOSH Yöntemi İle Belirlenmesi", *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 365-370.
- Delice, E.K., Ayık, İ., Abidinoğlu, Ö.N., Çiftçi, N.N. ve Sezer, Y. (2018). "Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemleri Ve Ahp Yöntemi İle Çalışma Duruşlarının Analizi: Ağır ve Tehlikeli İşler İçin Bir Uygulama", *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6, 112-124.
- Eren, T., Koçtepe, S. ve Cürebal, A. (2021). "Hedef Programlama Yöntemi ile Akaryakıt İstasyonları Tanıtımı İçin Personel Çizelgeleme Problemi", *Politeknik Dergisi*, 25(3), 921-932.
- Eren, T., Özdemir, E.H. ve Varlı, E. (2017). Hedef Programlama Yaklaşımı İle Temizlik Personeli Çizelgeleme Problemi İçin Bir Model Önerisi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 114-127.
- Felekoğlu, B. ve Taşan, S.Ö. (2017). "İş ile İlgili Kas Sistemi Tesislerine Yönelik Ergonomik Risk Değerlendirmesi: Reaktif/Proaktif Bütünleşik Bir Sistem Sistemi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), 777-793.
- Gür, Ş., Eren, T. ve Alakaş, H.M. (2019). "Surgical Operation Scheduling with Goal Programming and Constraint Programming: A Case Study", *Mathematics*, 3(7), 251.
- Hignett, S. ve McAtamney, L. (2000). "Rapid Entire Body Assessment (REBA)", *Applied Ergonomics*, 31(2), 201-205.
- Kaçmaz, S. Ö., Alakaş, H. M. ve Eren, T. (2020). "Ergonomic Staff Scheduling Problem with Goal Programming in Glass Industry", *Journal of Turkish Operations Management*, 4(1), 369-377.
- Kahraman, M. F. (2012). "Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemlerinin Çok Ölçütlü Karar Verme Teknikleri İle Önceliklendirilmesi ve Bütünleşik Bir Model Önerisi". Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Koç, S. ve Testik, M. (2016). "Mobilya Sektöründe Yaşanan Kas-İskelet Sistemi Risklerinin Farklı Değerlendirme Metotları İle İncelenmesi Ve Minimizasyonu", *Endüstri Mühendisliği*, 27(2), 2-27.
- Waters, T. R., Putz-Anderson, V. ve Garg, A. (1994). "Applications manual for the revised NIOSH lifting Equation", *U.S. department of health and human*, 94-110.

EK

Hareket	Skor	Skor Değişimi	
Dik	1	Yana esneme veya dönme varsa +1	
0-20 Fleksiyon 0-20 Ekstansiyon	2		
20-60 Fleksiyon >20 Ekstansiyon	3		
>60 Fleksiyon	4		
Hareket	Skor	Skor Değişimi	
0-20 Fleksiyon	1	Yana esneme veya dönme varsa +1	
>20 Fleksiyon veya Ekstansiyon	2		
Hareket	Skor	Skor Değişimi	
Bilateral (iki taraflı) ağırlık taşıma, yürüme ve oturma	1	Dizlerde 30-60 arası fleksiyon +1	
Unilateral (tek taraflı) ağırlık taşıma veya sabit olmayan duruş	2		

Şekil A1. REBA A grup puanlaması (Hignett ve diğerleri, 2000)

Üst Kol Hareket	Skor	Skor Değişimi	
0-20 Fleksiyon 0-20 Ekstansiyon	1	Kolda: -abdüksiyon varsa, rotasyon varsa +1, Omuz yükselmişse +1 Kulun duruşunda yer çekimi desteği etkiliyse -1	
20-45 Fleksiyon > 20 Ekstansiyon	2		
45-90 Fleksiyon	3		
>90 Fleksiyon	4		
Alt Kol Hareket	Skor		
60-100 Fleksiyon	1		
<60 Fleksiyon veya >100 Fleksiyon	2		
Hareket	Skor	Skor Değişimi	
0-15 Fleksiyon veya Ekstansiyon	1	Bileklerde yana esneme veya dönme varsa +1	
>15 Fleksiyon veya Ekstansiyon	2		

Şekil A2. REBA B grup puanlaması (Hignett ve diğerleri, 2000)

Tablo A1. REBA A puan tablosu

REBA A Grubu	Boyun												
	1				2				3				
	Bacaklar				Bacaklar				Bacaklar				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Gövde	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

Kaynak: Hignett ve diğerleri (2000)

Tablo A2. REBA B puan tablosu

REBA B Grubu	Alt Kol						
	1			2			
	Bilek			Bilek			
	1	2	3	1	2	3	
Üst Kol	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

Kaynak: Hignett ve diğerleri (2000)

