

Kablo Montaj Tesislerinde Çalışma Koşullarının Ergonomik Analizi: REBA ve CMDQ Dayalı Bir Çalışma

Ergonomic Analysis of Working Conditions in Cable Assembly Plants: A Study Based on REBA and CMDQ

Sevil ÇIRAKOĞLU KELLEÇİ¹, Hüsre Gizem AKALP²

¹Bursa Uludağ Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, İş Sağlığı ve Güvenliği Programı, Bursa, Türkiye

Öz

Çalışma kaynaklı kas-iskelet sistemi bozuklukları (KİSB), küresel ölçekte iş sağlığı ve güvenliği alanında karşılaşılan en yaygın ve önemli ergonomik sorunlardan biri olarak öne çıkmaktadır. Günümüzde çalışanların aşırı iş yüküne maruz kalmaları ve ergonomik olmayan çalışma pozisyonlarında uzun süre görev yapmaları, başta sırt, bel, boyun ve üst ekstremiteler olmak üzere çeşitli vücut bölgelerinde kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının gelişmesine neden olmaktadır. Söz konusu rahatsızlıkların ortaya çıkışı, yapılan işin niteliğine ve tekrarlayan duruşlara bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu bağlamda, bu çalışmada bir kablo üretim tesisinde yürütülen imalat, montaj ve üretim faaliyetlerinde görev alan çalışanların farklı vücut bölgelerine yönelik ergonomik risk düzeyleri değerlendirilmiştir. Analiz sürecinde, kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının çalışanlar üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla Cornell Kas-İskelet Sistemi Bozuklukları Anketi (CMDQ), iş istasyonlarındaki duruş temelli ergonomik risk düzeylerini belirlemek üzere ise REBA (Rapid Entire Body Assessment) yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen bulgular doğrultusunda, ergonomik risk düzeylerinin azaltılmasına ve çalışma koşullarının iyileştirilmesine yönelik uygulanabilir çözüm önerileri sunulmuştur. Bu çalışma, REBA ve CMDQ yöntemlerinin birlikte kullanımının işyeri ergonomisine yönelik bütüncül bir değerlendirme sağladığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Ergonomi, REBA, CMDQ, İş sağlığı ve güvenliği

Abstract

Work-related musculoskeletal disorders (MSDs) represent one of the most prevalent and critical ergonomic health issues encountered globally in the field of occupational health and safety. Today, excessive workload and prolonged exposure to non-ergonomic working postures contribute significantly to the development of MSDs, particularly in the back, waist, neck, and upper extremities. The manifestation of these disorders varies depending on the nature and repetition of work tasks. In this context, the present study evaluates ergonomic risk levels affecting various body regions of employees engaged in cable manufacturing, assembly, and production activities. To assess the impact of musculoskeletal discomfort, the Cornell Musculoskeletal Discomfort Questionnaire (CMDQ) was employed, while posture-based ergonomic risk levels at workstations were analyzed using the Rapid Entire Body Assessment (REBA) method. Based on the findings, practical recommendations were developed to reduce ergonomic risks and improve working conditions. This study demonstrates that the combined use of CMDQ and REBA provides a comprehensive framework for evaluating workplace ergonomics.

Keywords: Ergonomics, REBA, CMDQ, Occupational health and safety

1. GİRİŞ

Günümüz iş dünyasında, iş sağlığı ve güvenliği (İSG), yalnızca yasal bir zorunluluk değil, aynı zamanda kurumsal sürdürülebilirlik, çalışan refahı ve üretkenlik artışı açısından stratejik bir öncelik haline gelmiştir. Bu kapsamda, ergonomik risklerin sistematik biçimde değerlendirilmesi ve azaltılması, sağlıklı çalışma ortamlarının inşasında temel bir bileşen olarak öne çıkmaktadır. Özellikle sanayileşmenin hızlandığı ve üretim süreçlerinin çeşitlendiği sektörlerde, çalışanların fiziksel ve psikososyal yüklerinin dengelenmesi, ergonomi biliminin müdahalesini zorunlu kılmaktadır.

Ergonomik risk faktörleri, doğrudan çalışanların verimliliği, işe bağlı memnuniyeti ve sağlık durumları üzerinde etkili olmakta; uygun olmayan çalışma koşulları, özellikle tekrarlayan görevler, sabit duruşlar ve manuel malzeme taşıma gibi unsurlar nedeniyle kas-iskelet sistemi hastalıklarına (KİSH) zemin hazırlamaktadır. Tarakçı vd. (2020) tarafından da vurgulandığı üzere, ergonomik risklerin önlenmesi yalnızca fiziksel rahatsızlıkların azaltılması açısından değil, aynı zamanda üretim verimliliğinin artırılması ve iş gücü sürekliliğinin sağlanması bakımından da önem taşımaktadır[1]. Bu nedenle iş ortamlarının insan performansını destekleyecek biçimde yeniden tasarlanması ve ergonomi temelli iyileştirme stratejilerinin uygulanması, çağdaş İSG politikalarının temel hedeflerinden biridir.

İşe bağlı kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları, özellikle imalat, montaj ve tekrarlayıcı iş süreçlerinin yaygın olduğu sektörlerde yaygın olarak görülmekte; bu durum hem çalışan sağlığını hem de işletme performansını olumsuz etkilemektedir. Literatür, bu tür rahatsızlıkların yalnızca bireysel değil aynı zamanda kurumsal maliyetler doğurduğunu da ortaya koymaktadır. Bu nedenle, ergonomik risklerin değerlendirilmesinde tek bir yöntemle sınırlı kalınmaması, çoklu değerlendirme araçlarının bir arada kullanılması, değerlendirme sonuçlarının geçerliliğini ve güvenilirliğini artırmakta; aynı zamanda daha bütüncül müdahale stratejilerinin geliştirilmesine imkân tanımaktadır.

Son yıllarda bu amaçla geliştirilen hibrit değerlendirme yaklaşımları dikkat çekmekte ve ergonomi biliminin dijitalleşme sürecine entegre edilmesine yönelik çalışmalar artmaktadır. Yapay zekâ, sensör teknolojileri, makine öğrenmesi ve veri analitiği gibi Endüstri 4.0 bileşenlerinin ergonomik risk analizlerine dâhil edilmesi, değerlendirme süreçlerinin hem hızını hem de doğruluk düzeyini önemli ölçüde artırmaktadır. Ispășoiu, Milosan ve Gabor (2024), yapay zekâ destekli ergonomik analizlerin, işyeri risklerinin erken tespiti ve önleyici eylem planlarının geliştirilmesinde önemli katkılar sunduğunu göstermektedir [2]. Öte yandan, bulanık mantık gibi insan faktöründeki belirsizlikleri modellemeye imkân veren yöntemler de karmaşık üretim hatlarında daha güvenilir risk değerlendirmelerine olanak sağlamaktadır [3].

Bu çalışmada, otomotiv sektöründe faaliyet gösteren ve elektrik kablosu üretimi gerçekleştiren bir firmada, çalışanların maruz kaldığı ergonomik riskler analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında iki farklı değerlendirme yöntemi kullanılmıştır: çalışanların öznel rahatsızlık düzeylerini belirlemek amacıyla Cornell Kas-İskelet Sistemi Bozuklukları Anketi (CMDQ) ve gözleme dayalı postüral risklerin

belirlenmesi amacıyla REBA (Rapid Entire Body Assessment) yöntemi. CMDQ yöntemi 62 çalışana uygulanmış ve en yüksek rahatsızlık oranının sırt bölgesinde yoğunlaştığı belirlenmiştir. REBA yöntemiyle ise işyerinde risk oluşturan dört temel istasyon belirlenmiş ve her birinde çalışanların duruşları analiz edilmiştir. Her iki yöntemden elde edilen bulgular doğrultusunda, işverenlere yönelik ergonomik iyileştirme önerileri geliştirilmiş ve çalışma duruşlarının optimizasyonuna yönelik uygulanabilir müdahaleler sunulmuştur.

Bu bağlamda, çalışmanın amacı yalnızca ergonomik risk düzeylerini belirlemek değil; aynı zamanda ulusal ve uluslararası düzeyde geçerliliği bulunan yöntemlerle elde edilen veriler ışığında sektörel anlamda uygulanabilir ve sürdürülebilir çözümler önermektir. REBA ve CMDQ yöntemlerinin birlikte kullanımı, işyeri ergonomisinin bütüncül değerlendirilmesi açısından etkili bir model ortaya koymakta ve benzer sektörel uygulamalar için yol gösterici bir referans teşkil etmektedir.

Bu doğrultuda çalışma aşağıdaki bölümlerden oluşacak şekilde yapılandırılmıştır: Birinci bölümde, araştırmanın kavramsal ve kuramsal altyapısını oluşturmak amacıyla REBA ve CMDQ yöntemlerine ilişkin ulusal ve uluslararası literatür sistematik olarak incelenerek konuya ilişkin kavramsal çerçeve sunulmuştur. İkinci bölümde, araştırmanın amacı ve önemi açıklanmış; araştırma soruları, örneklem yapısı, veri toplama araçları, veri analiz teknikleri ve çalışmanın sınırlılıkları ayrıntılı biçimde ele alınmıştır. Üçüncü bölümde, uygulama kapsamında elde edilen bulgular sunulmuş; CMDQ anketinden elde edilen veriler istatistiksel analizler aracılığıyla değerlendirilmiş, REBA yöntemi ile belirlenen ergonomik risk düzeyleri istasyon bazlı olarak analiz edilmiştir. Ayrıca, her iki yöntemden elde edilen bulgular birlikte ele alınarak aralarındaki ilişkiler tartışılmıştır. Son bölümde ise, araştırma bulguları genel olarak değerlendirilmiş; ergonomik risklerin azaltılmasına yönelik istasyon bazlı iyileştirme önerileri sunulmuş ve çalışmanın sektörel ve bilimsel katkıları ortaya konulmuştur.

1.1. REBA ve CMDQ Kavramsal Çerçeve

Kas-iskelet sistemi bozuklukları, endüstriyel ortamlarda çalışan bireylerin maruz kaldığı en yaygın sağlık sorunları arasında yer almakta ve ergonomik risklerin değerlendirilmesinde giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Ergonomik risk analizleri, yalnızca bireysel sağlık sonuçlarını değil, aynı zamanda iş süreçlerindeki verimlilik, süreklilik ve kalite çıktıları üzerinde de etkili olmaktadır. Bu bağlamda, özellikle postüral yüklerin belirlenmesinde hızlı, pratik ve sistematik bir yöntem olarak geliştirilen REBA (Rapid

Entire Body Assessment) yöntemi, literatürde çok çeşitli sektörlerde yaygın biçimde kullanılmaktadır.

REBA yöntemi; üretim, sağlık, tarım ve hizmet sektörü gibi birçok farklı alanda iş pozisyonlarını değerlendirmeye imkân sunan, kolay uygulanabilirliği ile öne çıkan bir analiz aracıdır. Söz konusu yöntem, duruş risklerinin yanı sıra vücut segmentleri üzerindeki yüklenmeyi, kuvvet kullanımını ve aktivite düzeylerini de dikkate alarak kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının önlenmesine yönelik detaylı bir görünüm sunmaktadır. Okuyucu ve arkadaşları (2021), oto tamircileri ve ebeler üzerinde yürüttükleri çalışmada REBA'nın yüksek riskli pozisyonları belirlemede etkili olduğunu vurgulamışlardır [4]. Benzer şekilde, Enez ve Nalbantoğlu (2019), REBA'nın OWAS yöntemiyle karşılaştırıldığında daha hassas sonuçlar verdiğini ve iş aşamalarındaki farklılıkları ortaya koymada avantaj sağladığını belirtmektedir[5].

Sabino, Melo ve Carvalho (2018), REBA ve QEC yöntemlerini karşılaştırdıkları çalışmalarında, her iki yöntemin de kas-iskelet sistemi risklerini belirlemede etkili olduğunu ancak REBA'nın bazı görevlerde riski aşırı tahmin etme eğiliminde olduğunu ortaya koymuşlardır [6]. Bu durum, analiz yöntemlerinin güvenilirliğini artırmak için çoklu yöntem kullanımının gerekliliğini gündeme getirmektedir. Nitekim, ergonomik değerlendirmelerde tekil yaklaşımlar yerine hibrit değerlendirme sistemleri kullanmak, farklı kaynaklardan elde edilen verilerin doğruluğunu pekiştirmektedir [7]. REBA, olası kas-iskelet sistemi bozukluklarını belirlemede büyük öneme sahip olan garip duruşlar ve tekrarlayan hareketler gibi faktörlere odaklanarak tüm vücut duruş risklerini değerlendirir [8]. Çalışmalar, REBA'nın risk seviyelerini etkili bir şekilde kategorize edebildiğini ve gerekli ergonomik müdahalelere rehberlik edebildiğini göstermektedir [9].

Ergonomik risklerin daha sistematik ve güvenilir bir şekilde yönetilmesi için yalnızca REBA gibi gözleme dayalı yöntemlerin değil, aynı zamanda çalışan geribildirimlerine dayanan öz bildirim temelli ölçme araçlarının da kullanılması önerilmektedir. Bu entegre yaklaşım, her iki metodolojinin güçlü yanlarından yararlanarak ergonomik değerlendirmelerin güvenilirliğini ve kapsamlılığını artırır. Gözlem tabanlı yöntemleri REBA ve Rapid Upper Limb Assessment Software (RULA), bu araçlar, özellikle dinamik çalışma ortamlarında duruşsal risklerin yapılandırılmış değerlendirmelerini sağlar. Örneğin, hemşireler üzerinde yapılan bir çalışma, çeşitli hastane bölümlerinde önemli ergonomik riskleri gösteren yüksek REBA ve RULA puanları ortaya koymaktadırlar[10]. Öz Bildirim Araçlarında çalışan Geri Bildirimi: Nordic anketi gibi öz bildirimler, yalnızca gözlem yoluyla görülemeyebilecek içgörüler

sağlayarak kas-iskelet sistemi semptomlarının öznel deneyimlerini yakalayabilir [11]. REBA ve RULA ergonomik değerlendirme yöntemlerini karşılaştırarak, her iki aracın farklı iş ortamlarında kas-iskelet sistemi hastalıklarını önlemedeki güçlü ve zayıf yönlerini analiz etmekte ve doğru ergonomik değerlendirme için her ikisinin uzman görüşüyle birlikte kullanılmasını önermektedir[12]. Bu doğrultuda, Hedge ve arkadaşları tarafından geliştirilen ve İskandinav Kas-İskelet Sistemi Anketi temel alınarak oluşturulan CMDQ (Cornell Musculoskeletal Discomfort Questionnaire), çalışanların farklı vücut bölgelerinde yaşadığı rahatsızlık düzeylerini belirlemede önemli bir rol oynamaktadır [13].

CMDQ'nun farklı dil ve kültürle uyarlabilirliği, değerlendirme aracı olarak güvenilirliğini artırmakta ve farklı sektörlerdeki kullanımını kolaylaştırmaktadır. Liyanage ve arkadaşları (2023), Sinhala versiyonunu geliştirirken [14]; Carrasquero (2015), İspanyolca uyarlamada[15]; Kreuzfeld ve diğerleri (2016) ise Almanca versiyon üzerinde [16] yaptıkları çalışmalarla, anketin iç tutarlılık ve test-tekrar test güvenilirliğini yüksek düzeyde doğrulamışlardır.

CMDQ'nun farklı iş kollarındaki geçerliliği de çok sayıda çalışmayla desteklenmektedir. Eyvazlou ve diğerleri (2021), diş hekimleri arasında yaptıkları çalışmada CMDQ ile yüksek düzeyde rahatsızlık bildirimleri saptarken[17]; Nisaa ve arkadaşları (2024), otomotiv sektöründeki çalışanlar arasında CMDQ ve RULA ile yaptıkları karşılaştırmalı analizde [18] benzer sonuçlara ulaşmıştır. CMDQ, yalnızca üretim sektörlerinde değil, aynı zamanda eğitim ortamlarında da kullanılmış; mühendislik öğrencileri arasında yüksek oranda kas-iskelet semptomları bildirilmiştir [19]. CMDQ, çalışanların kendi bildirdikleri rahatsızlığı yakalar ve ergonomik risklere ilişkin algılarına ilişkin içgörüler sunar [20] Bu öznel veriler, nesnel değerlendirmeleri tamamlar ve algılanan ve gerçek riskler arasındaki tutarsızlıkları ortaya çıkarır ve bu da özel müdahaleleri bilgilendirebilir[7]

Güncel literatür, REBA ve CMDQ yöntemlerinin birlikte kullanımının, işyerindeki ergonomik risklerin hem objektif hem de subjektif boyutlarıyla değerlendirilmesine olanak tanıdığını göstermektedir. Bu bütüncül yaklaşım, risk algısı ile gözleme dayalı gerçeklik arasında kurulan denge sayesinde daha etkili müdahale stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır [10]. REBA ve CMDQ yöntemlerinin bir arada kullanılması hem nesnel ölçümleri hem de öznel algıları entegre ederek işyerindeki ergonomik riskleri değerlendirmek için kapsamlı bir çerçeve sağlar. Bu ikili yaklaşım, ergonomik sorunların anlaşılmasını geliştirerek çalışanların deneyimleri ve gözlemlenebilir risklerle uyumlu daha etkili müdahale

stratejilerine olanak tanımaktadır. REBA ve CMDQ'nun entegrasyonu, müdahalelerin işyeri ergonomisinin hem fiziksel hem de psikolojik yönlerini ele almasını sağlayarak dengeli bir yaklaşımı teşvik eder [21] Bu kapsamlı stratejinin otomotiv ve akademi dahil olmak üzere çeşitli endüstrilerde işle ilgili kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarını (MSD) önemli ölçüde azalttığı gösterilmiştir [8,9].

Son yıllarda ergonomik analizlerde Endüstri 4.0 uygulamaları ile birlikte yapay zekâ, bulanık mantık ve sensör teknolojilerinin entegrasyonu, değerlendirme süreçlerinin doğruluğunu ve hızını artırmaktadır. Ispăşoiu, Milosan ve Gabor (2024), yapay zekâ destekli ergonomik analizlerin, risk simülasyonları ve konfor tahminleri için yeni olanaklar sunduğunu belirtmektedir[2]. Benzer şekilde, Kulaç ve Kiraz (2024), bulanık mantık temelli değerlendirme sistemlerinin insan faktöründeki belirsizliklerin yönetilmesine katkı sunduğunu ve özellikle karmaşık iş ortamlarında risk analizini daha güvenilir hale getirdiğini vurgulamaktadır[3].

Bu çerçevede, kablo montaj tesislerinde gerçekleştirilen ergonomik değerlendirmeler, yalnızca geleneksel analiz yaklaşımlarına dayanmamakta; aynı zamanda dijitalleşme ve teknolojik dönüşüm süreçlerini içeren yenilikçi modellemelerle desteklenmektedir. REBA ve CMDQ yöntemlerinin entegre kullanımı, çalışan güvenliğini ve iş verimliliğini temel alan çok yönlü bir değerlendirme sürecinin parçası olarak hem akademik hem de pratik uygulamalar açısından değerli bir katkı sunmaktadır.

REBA yöntemi, çalışma duruşlarına bağlı olarak ortaya çıkan ergonomik riskleri gözleme dayalı ve nesnel ölçütler çerçevesinde değerlendirmekte; postür, yüklenme, hareket sıklığı ve vücut segmentlerinin konumlarını sayısal bir risk skoruna dönüştürerek potansiyel kas-iskelet sistemi risklerini ortaya koymaktadır. Buna karşılık CMDQ, çalışanların bu riskleri nasıl deneyimlediğini, hangi vücut bölgelerinde ne sıklıkta, ne şiddette ve ne ölçüde iş yapmayı engelleyici rahatsızlıklar hissettiklerini öznel ancak yapılandırılmış bir biçimde değerlendirmektedir.

Bu iki yöntemin birlikte kullanımı, ergonomik risklerin yalnızca varlığını değil, aynı zamanda bu risklerin çalışan üzerindeki algılanan ve fonksiyonel etkilerini de aynı analiz çerçevesinde ele alma olanağı sunmaktadır. Böylece REBA ile belirlenen postürel ve biomekanik risk kaynakları, CMDQ aracılığıyla çalışanların bildirdiği kas-iskelet sistemi yakınmalarıyla doğrudan ilişkilendirilebilmekte; ergonomik riskin nedeni ile sonucu bütüncül bir bakış açısıyla analiz edilebilmektedir. Bu yaklaşım, ergonomik değerlendirmelerde sıklıkla karşılaşılan

“yüksek risk–düşük bildirim” veya “düşük risk–yüksek rahatsızlık” gibi tutarsızlıkların yorumlanmasını da mümkün kılmaktadır [22].

Literatürde REBA ve CMDQ yöntemlerinin birlikte kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde, bu çalışmaların büyük bir bölümünün ya tek bir iş istasyonuna odaklandığı ya da yöntemler arası ilişkiyi yalnızca betimsel düzeyde ele aldığı görülmektedir. Bu çalışmada ise dört farklı iş istasyonu istasyon bazlı olarak analiz edilmiş; REBA yöntemi ile belirlenen ergonomik risk düzeyleri, aynı istasyonlarda çalışan bireylerin CMDQ sonuçlarıyla doğrudan karşılaştırılarak yöntemler arası tutarlılık, tamamlayıcılık ve sinerji açık biçimde ortaya konulmuştur. Bu yönüyle çalışma, ergonomik risk değerlendirmesine yalnızca yöntemsel değil, aynı zamanda uygulamaya dönük ve bütüncül bir perspektif kazandırarak literatürdeki boşluğu doldurmayı hedeflemektedir.

II. MATERYAL VE METOD

Bu çalışma, Üniversite Etik Kurulunun 28 Şubat 2024 tarih ve E-92662996-044-153161 sayılı onayı ile Bursa ili Nilüfer ilçesinde faaliyet gösteren bir otomotiv kablo üretim tesisinde gerçekleştirilmiştir. Şirket yönetiminden gerekli izinler alındıktan sonra saha ziyaretleri yapılmış, çalışanların iş süreçleri gözlemlenmiş ve riskli olduğu düşünülen dört istasyon belirlenmiştir. Bu istasyonlardaki çalışanların çalışma yöntemleri video kayıtları ve fotoğraflarla belgelenmiş, ardından Hızlı Tüm Vücut Değerlendirmesi (REBA) yöntemi kullanılarak ergonomik risk analizleri yapılmıştır. Bu analizlerde çalışanların maruz kaldığı kas-iskelet sistemi riskleri detaylı olarak ortaya konulmuştur.

Saha ziyareti sırasında çalışanlarla bilgilendirme amaçlı görüşmeler yapılmış olup, çalışmanın amacı, kapsamı ve uygulanacak CMDQ yöntemi hakkında bilgi verilmiştir. CMDQ değerlendirmesi için çalışanlara anket formları dağıtılmış ve evde doldurulması istenilen formlar doldurularak ertesi iş günü geri alınmıştır.

Yapılan gözlem ve ölçümler sonucunda ergonomik risk seviyelerinin azaltılmasına yönelik iyileştirme önerileri geliştirilmiştir. Çalışmanın temel amacı ergonomik olarak yetersiz veya riskli çalışma pozisyonlarını belirlemek ve daha güvenli, daha sağlıklı bir çalışma ortamı yaratmak için öneriler geliştirmektir. Analiz sırasında tekrarlayan duruş analizlerinden kaçınılmış, sadece ortak iş süreçleri dikkate alınarak benzersiz duruşlar değerlendirilmiştir. Çalışanlara araştırma hakkında detaylı bilgi verilmiş ve çalışma süresince normal iş rutinlerine uygun şekilde çalışmaları sağlanmıştır. Video ve fotoğraf kayıtları alınmadan

önce tüm çalışanlardan gönüllü onam formları alınmıştır.

2.1. Araştırmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, kablo üretim, montaj ve üretim faaliyetlerinde çalışan çalışanların farklı vücut bölgelerinde ortaya çıkabilecek kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarını belirlemek ve bu rahatsızlıkları önlemek için bilimsel temelli ergonomik risk değerlendirmesi yapmaktır. Çalışmada, kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarını belirlemek için uluslararası literatürde geçerliliği ve güvenilirliği kabul görmüş CMDQ, risk düzeylerini analiz etmek için ise REBA yöntemi kullanılmış; elde edilen bulgular doğrultusunda iş istasyonları ve çalışma duruşları ile ilgili iyileştirme önerileri geliştirilmiştir.

2.2. Araştırmanın Önemi

Çalışma, ergonomik riskleri hem niceliksel hem de nitel yöntemlerle değerlendirerek ve uluslararası kabul görmüş REBA ve CMDQ yöntemlerini birlikte uygulayarak otomotiv sektöründe çalışanların karşılaştığı kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının kapsamlı analizine katkıda bulunmaktadır. Literatürde sınırlı sayıda çalışmada birlikte ele alınan bu yöntemlerin entegrasyonu hem iş istasyonlarının hem de çalışan duruşlarının çok yönlü incelenmesine olanak sağlayarak sektörel bazda özgün ve uygulanabilir iyileştirme önerilerinin geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Böylece çalışma, sadece yerel düzeyde değil aynı zamanda uluslararası bağlamda da ergonomik risk yönetimi ve İSG uygulamalarına bilimsel bir temel sağlayarak alana önemli katkılar sağlamaktadır.

2.3. Araştırma Soruları

Araştırma kapsamında özellikle çözümlenmesi belirlenen araştırma soruları aşağıdadır;

- Otomotiv sektöründe elektrik kablosu üreten bir firmanın çalışanlarının farklı iş istasyonlarında maruz kaldığı ergonomik riskler nelerdir?
- CMDQ yöntemi çalışanların farklı vücut bölgelerinde oluşan kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarını belirlemede ne kadar etkilidir?
- REBA yöntemi ile belirlenen ergonomik risk düzeyleri iş istasyonlarında ve çalışma pozisyonlarında hangi faktörlere bağlı olarak değişmektedir?
- REBA ve CMDQ yöntemlerinin birlikte uygulanması elde edilen ergonomik bulguların geçerliliğini ve güvenilirliğini nasıl artırmaktadır?
- Elde edilen bulgulara dayanarak işverene ve işletmeye sunulabilecek bilimsel temelli iyileştirme önerileri nelerdir ve bu önerilerin uluslararası uygulanabilirliği nedir?

2.4. Araştırmanın Örneklemi

Bu araştırmanın örneklemi, otomotiv sektöründe elektrik kablosu üretimi yapan bir firmada görev yapan toplam 62 çalışan oluşturmaktadır. Çalışanlar, farklı iş istasyonlarında kablo imalatı, montajı ve üretimi faaliyetlerini yürütmekte olup, örneklem seçimi, ergonomik risklere maruz kalma düzeylerini değerlendirmeye olanak sağlayacak şekilde yapılmıştır. CMDQ tüm çalışanlara uygulanırken, REBA yöntemi firmada ergonomik risk düzeyinin en yüksek olduğu belirlenen dört önemli iş istasyonunda görev yapan çalışanlar üzerinde detaylı duruş analizleri gerçekleştirmek amacıyla kullanılmıştır.

Bu dört istasyon, ön gözlem sırasında hem en fazla tekrarlayan harekete sahip olması hem de çalışanların CMDQ anketinde en çok rahatsızlık bildirdiği birimler olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu istasyonlar iş akışının temel noktaları olup operatörlerin gövde eğimi, boyun fleksiyonu veya el-bilek hareketlerini yoğun şekilde kullanmalarının gözlemlenmesi nedeniyle REBA analizi için örneklem olarak seçilmiştir. Böylece analiz, ergonomik açıdan en fazla risk barındırma potansiyeli olan istasyonları kapsamaktadır.

2.5. Veri Toplama Araçları

Bu çalışmada, kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının tespitinde uluslararası literatürde geçerli ve güvenilir olarak kabul edilen CMDQ ve ergonomik risk düzeylerinin analizinde yaygın olarak kullanılan REBA yöntemi veri toplamak için uygulanmıştır. CMDQ çalışanların vücudunun farklı bölgelerinde yaşadığı rahatsızlığın sıklığını ve şiddetini ölçerken, REBA yöntemi ise belirlenen önemli iş istasyonlarında çalışanların duruşlarını sistematik olarak değerlendirerek ergonomik risk düzeylerini belirlemiştir.

2.6. Araştırma Sınırlılıkları

Bu çalışmanın sınırlılıkları arasında verilerin yalnızca otomotiv sektöründe elektrik kablosu üreten bir firmadan toplanmış olması ve bu nedenle bulguların doğrudan farklı sektörlerle genellenememesi yer almaktadır. Ayrıca CMDQ ve REBA yöntemi uluslararası literatürde geçerliliği ve güvenilirliği kanıtlanmış araçlar iken, öz bildirim anket uygulaması çalışanların öznel değerlendirmelerine dayanmaktadır ve bu da algısal önyargı riski taşımaktadır. REBA analizinde yalnızca dört önemli iş istasyonunun incelenmesi, firmanın genel ergonomik risk profilini tam olarak yansıtmayabilir. Ayrıca çalışma kesitsel bir tasarıma sahip olduğundan müdahaleden sonra ergonomik risklerin veya değişikliklerin izlenmesi uzun vadeli bir süreçtir.

2.7. Veri analizi

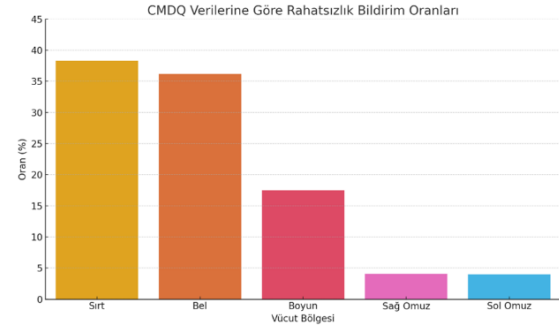
Bu çalışmada toplanan verilerin analizi iki temel düzeyde gerçekleştirilmiştir. Çalışanların kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına ilişkin öz-bildirimleri, uluslararası geçerliliği ve güvenilirliği kanıtlanmış CMDQ kullanılarak nicel olarak değerlendirilmiş; anket verileri frekans ve yüzde dağılımları ile analiz edilerek en riskli vücut bölgeleri belirlenmiştir. Ergonomik risk düzeylerinin analizi için ise gözleme dayalı REBA yöntemi uygulanmış, firma içinde belirlenen en önemli dört iş istasyonundaki çalışanların çalışma duruşları detaylı şekilde incelenmiş ve her duruş için REBA skorları hesaplanmıştır. Elde edilen bulgular istatistiksel olarak karşılaştırılmış hem anket hem gözlem verilerinden elde edilen sonuçlar birleştirilerek kapsamlı bir risk değerlendirmesi yapılmıştır. Bu bütüncül analiz yaklaşımı, çalışmanın hem nicel hem nitel boyutta derinlikli ve uluslararası ölçekte geçerli sonuçlar üretmesini sağlamaktadır.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmaya katılan 62 çalışanın 51'i kadın 11'i erkek olup, yaşları 23 ile 58 arasında değişmektedir ve katılımcıların yaş ortalaması 36,4 yıl ($\pm 7,21$) olarak hesaplanmıştır. Çalışanların şirketteki kıdemleri 1 ile 30 yıl arasında değişmekte olup, ortalama kıdem 8,37 yıldır ($\pm 5,66$). Bu demografik veriler, örneklemin hem genç hem de deneyimli çalışanlardan oluştuğunu ve geniş bir yelpazede iş deneyimini temsil ettiğini göstermektedir. Çalışanların yaş ve deneyim farklılıkları, ergonomik risklere maruz kalma düzeylerinde farklılık yaratabileceğinden, analizlerde bu değişkenlerin dikkate alınması, araştırma bulgularının geçerliliğini ve güvenilirliğini artırmıştır.

3.1. CMDQ Anketi Bulguları

Çalışmaya katılan 62 çalışandan toplanan CMDQ verileri incelendiğinde, uzun süre ayakta çalışma koşullarının özellikle sırt ve bel bölgelerinde önemli kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına neden olduğu görülmüştür. Katılımcıların %38,29'u sırt bölgesinde, %36,17'si ise bel bölgesinde ağrı ve rahatsızlık bildirmiştir. Boyun sorunları %17,52 oranında bildirilmiş olup, bu durumun masa başında çalışırken veya kablo sararken ayakta dururken boyunun öne eğilmesiyle ilişkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca omuz bölgesinde önemli rahatsızlık gözlenmiş; sağ ve sol omuzlarda sırasıyla %4,06 ve %3,96 oranında sorun bildirilmiştir. Bu bulgular, üretim ve montaj hattındaki çalışma pozisyonlarının vücutta oluşturduğu yükleri açıkça ortaya koymakta ve ergonomik müdahalelerin gerekliliğini göstermektedir. CMDQ verilerine göre rahatsızlık bildirim oranları Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. CMDQ Rahatsızlık Oranları

CMDQ yöntemi ile yapılan öz bildirime dayalı değerlendirmede sırt (%38,29), bel (%36,17) ve boyun (%17,52) bölgelerinde anlamlı kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları tespit edilmiştir. Bu bulgular ergonomik risk faktörlerinin belirlenmesinde öznel verilerin önemini vurgulamakta ve CMDQ'nun etkili bir değerlendirme aracı olarak kullanılabilirliğini desteklemektedir [23,24]. Literatürdeki benzer çalışmalar, öz bildirimlerin sistematik ergonomik analizlerle birlikte değerlendirilmesinin çalışma ortamında iyileştirme potansiyelini artırdığını göstermektedir [25,26]. Bu doğrultuda, farklı endüstriyel ortamlardaki çalışanların ergonomik koşullarının kapsamlı bir şekilde analiz edilmesi iş sağlığının korunmasında önemli bir rol oynamaktadır.

CMDQ verilerinin analizine göre, uzun süre ayakta durma, öne eğilme ve tekrarlayıcı kol hareketleri kas-iskelet sistemi üzerinde baskı yaratmaktadır. Eyvazlou ve arkadaşları (2021) da diş hekimleri üzerinde yaptıkları çalışmada, benzer şekilde uzun süreli sabit duruşların ve mikro hareketlerin sırt ve boyun bölgelerinde yüksek rahatsızlık oranlarına yol açtığını göstermiştir [17]. CMDQ, çalışanların farklı vücut bölgelerindeki kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarını belirlemek için etkili bir araçtır. CMDQ, MSD risk faktörlerini değerlendirmek için kullanılan daha geniş bir yöntem kümesinin parçasıdır. Çeşitli yöntemler mevcut olsa da CMDQ'nun belirli vücut bölgelerindeki rahatsızlığı değerlendirmeye yönelik yapılandırılmış yaklaşımı, onu işyeri ortamlarında MSD'leri belirlemek ve ele almak için değerli bir araç haline getirir [27]. CMDQ, MSD'leri belirlemede etkili olsa da, işyeri müdahalelerinin daha geniş bağlamı karışık sonuçlar göstermektedir. Üretim ortamlarındaki müdahalelerin bir meta-analizi, bel rahatsızlıklarında önemsiz azalmalar bulmuştur; bu da CMDQ gibi araçların değerlendirme için değerli olmasına rağmen, müdahalelerin etkinliğinin çalışma tasarımı ve uygulama stratejileri gibi diğer faktörlere bağlı olabileceğini göstermektedir [28].

3.2. REBA Bulguları

Bu çalışma kapsamında, işletme bünyesinde yer alan dört farklı iş istasyonunda görev yapan çalışanlar ergonomik açıdan değerlendirilmiştir. Yapılan ön gözlemler sonucunda, her bir istasyonda çalışanların benzer duruş kalıpları sergilediği belirlenmiş olmakla birlikte, iş yükü, görev içeriği ve hareket tekrarları açısından istasyonlar arası farklılıklar dikkate alınarak her bir istasyon için ayrı REBA analizleri uygulanmıştır. Kablo montaj çalışanlarına ait örnek çalışma duruşları Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'te sunulmuştur.



Şekil 2. Kablo montaj çalışanı örnek duruşlar-1



Şekil 3. Kablo ayıklama çalışanı örnek duruşlar -2



Şekil 4. Kablo sarma çalışanı örnek duruşlar -2

Tablo 1. Gözlemlenen istasyonlara ait REBA skorları

Duruşlar	İstasyonlar			
	1	2	3	4
Boyun	1	2	3	2
Bacak	2	3	2	1
Gövde	1	1	3	2
Yük/Kuvvet	0	0	0	0
A SKORU	2	4	6	3
Alt Kol	3	2	2	2
Bilek	2	1	2	2
Üst Kol	2	2	2	2
Kavrama	1	1	1	1
B SKORU	6	3	4	4
C SKORU	4	4	7	3
Aktivite Skoru	3	3	3	3
Reba Skoru	7	7	10	6
Risk Seviyesi	O	O	Y	O
Önlem	G	G	A	G

Tablo 1'de görüldüğü gibi dört istasyonda yapılan değerlendirmelerde REBA puanları 7 ile 10 arasında değişmiş ve genel risk seviyesi orta (O) ile yüksek (A) aralığında belirlenmiştir.

İstasyon 1, 2 ve 4: Orta risk (7 puan, O)

İstasyon 3: Yüksek risk (10 puan, A)

Bu durum tüm istasyonların ergonomik müdahaleye ihtiyaç duyduğunu ve özellikle istasyon 3'ün acil iyileştirmelere ihtiyaç duyduğunu göstermektedir.

İstasyon 3'ün diğer istasyonlardan daha yüksek REBA puanı almasının temel nedeni, duruş bileşenlerinde görülen olumsuz pozisyonlardır. Bu istasyonda çalışan operatörlerde belirgin boyun fleksiyonu, gövdenin sürekli öne eğilmesi ve bacak pozisyonunun dengesiz olması toplam risk puanını yükseltmektedir. Ayrıca alt kol-bilek açılarının tekrarlayıcı hareketlerle birleşmesi, kavrama gereksiniminin artması ve iş parçasının görüş hizasının altında konumlanması duruş yüklenimini artıran önemli faktörlerdir. Bu bulgular, İstasyon 3'ün yüksek risk grubuna girmesinin duruşsal açıdan sistematik ve yapısal nedenlere dayandığını göstermektedir.

Tablo 2. REBA Değer Ortalamaları

REBA ANALİZİ ORTALAMA DEĞER	
Boyun	2
Bacak	2
Gövde	1,75
Yük/Kuvvet	0
A SKORU	3,75
Alt Kol	2,25
Bilek	1,75
Üst Kol	2
Kavrama	1
B SKORU	4,25
C SKORU	4,5
Aktivite Skoru	3
Reba Skoru	7,5
Risk Seviyesi	Y
Önlem	A

Tablo 2’de grup parametrelerine göre en yüksek ortalama puanlar, Bacak (2) ve Boyun (2), Gövdeye (1,75) göre yüksek bulunmuştur. Bunun temel nedeni yapılan işin sürekli ayakta durma ve boynu eğme (örneğin kablo montajı ve sarma işi) olmasıdır. Alt Kol (2,5) ve Bilek (1,75), ince motor becerilerine dayalı çok sayıda operasyon yapılması nedeniyle yüksek bulunmuştur.

Otomotiv kablo üretim tesisinde yapılan ergonomik değerlendirmede, dört farklı iş istasyonunda çalışanların duruşları REBA yöntemi ile analiz edilmiş; elde edilen puanların 7 ile 10 arasında değiştiği belirlenmiştir. Üç istasyonda orta risk, bir istasyonda ise yüksek risk tespit edilmiştir. Bulgular, REBA yönteminin genel duruş değerlendirmelerinde etkili bir araç olduğunu ortaya koymaktadır [29,30].

Bu çalışma kapsamında belirlenen araştırma sorularına ilişkin bulgular değerlendirildiğinde, Araştırma Sorusu 1: “*Otomotiv sektöründe elektrik kablosu üreten bir firmanın çalışanlarının farklı iş istasyonlarında maruz kaldığı ergonomik riskler nelerdir?*” Bu soruya yanıt olarak gerçekleştirilen REBA analizleri, incelenen dört iş istasyonunda ergonomik risk düzeylerinin 7 ile 10 arasında değiştiğini ortaya koymuştur. Elde edilen bulgulara göre üç istasyon orta risk, bir istasyon ise yüksek risk kategorisinde yer almakta olup, tüm istasyonlarda ergonomik iyileştirme gereksinimi bulunduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, kablo montaj süreçlerinde çalışma duruşlarının çalışanlar üzerinde anlamlı ergonomik riskler oluşturduğunu göstermektedir.

Araştırma Sorusu 2: “*CMDQ yöntemi çalışanların farklı vücut bölgelerinde oluşan kas-iskelet sistemi*

rahatsızlıklarını belirlemede ne kadar etkilidir?” CMDQ anketi bulguları, yöntemin çalışanların kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarını belirlemede etkili ve güvenilir olduğunu göstermektedir. Özellikle sırt, bel, boyun, omuz ve alt ekstremité bölgelerinde yoğunlaşan rahatsızlık bildirimleri, CMDQ’nın çalışanların öznel deneyimlerini sistematik ve tutarlı biçimde yansıtabildiğini ortaya koymuştur. Bu yönüyle CMDQ, ergonomik risklerin çalışan üzerindeki yansımalarını ortaya koymada tamamlayıcı özelliktedir.

Araştırma Sorusu 3: “*REBA yöntemi ile belirlenen ergonomik risk düzeyleri iş istasyonlarında ve çalışma pozisyonlarında hangi faktörlere bağlı olarak değişmektedir?*”

REBA analizleri, ergonomik risk düzeylerindeki değişimin başlıca boyun fleksiyonu, gövde eğimi, bacak pozisyonu, alt kol–bilek hareketleri ve kavrama gereksinimi gibi duruş bileşenlerine bağlı olduğunu göstermiştir. Özellikle İstasyon 3’te belirlenen yüksek risk düzeyi; boyun ve gövde pozisyonlarının eş zamanlı olarak olumsuz etkilenmesiyle ilişkili bulunmuştur. Bu bulgu, risk düzeylerinin yalnızca tekil bir faktöre değil, duruş bileşenlerinin birleşik etkisine bağlı olarak şekillendiğini ortaya koymaktadır.

Araştırma Sorusu 4: “*REBA ve CMDQ yöntemlerinin birlikte uygulanması elde edilen ergonomik bulguların geçerliliğini ve güvenilirliğini nasıl artırmaktadır?*” Bu soruya ilişkin değerlendirmede, REBA ve CMDQ yöntemlerinin istasyon düzeyinde birbirini doğruladığı belirlenmiştir. REBA ile nesnel olarak tanımlanan postür temelli risklerin, CMDQ sonuçlarında aynı vücut bölgelerinde bildirilen rahatsızlıklarla örtüşmesi, iki yöntemin tamamlayıcı ve tutarlı biçimde çalıştığını göstermektedir. Bu durum, ergonomik risklerin hem çalışma duruşu hem de çalışan deneyimi boyutlarıyla aynı analiz çerçevesinde değerlendirilmesine olanak sağlamış; bulguların geçerliliğini ve analitik gücünü artırmıştır.

Araştırma Sorusu 5: “*Elde edilen bulgulara dayanarak işverene ve işletmeye sunulabilecek bilimsel temelli iyileştirme önerileri nelerdir ve bu önerilerin uluslararası uygulanabilirliği nedir?*” Çalışma bulguları doğrultusunda geliştirilen ergonomik iyileştirme önerileri; çalışma yüksekliğinin ayarlanması, gövde ve boyun fleksiyonunu azaltacak istasyon tasarımları, görev rotasyonu ve ergonomi temelli eğitim uygulamalarını kapsamaktadır. Bu öneriler son bölümde de kapsamlı bir şekilde sunulmaktadır. Uluslararası ergonomi standartları ve literatürde önerilen iyi uygulamalarla uyumlu olup, benzer üretim ve montaj süreçlerine sahip farklı sektörlerde de uygulanabilir niteliktedir.

REBA yöntemiyle belirlenen ergonomik risk seviyeleri, iş istasyonları ve çalışma pozisyonlarıyla ilgili çeşitli faktörlere bağlı olarak önemli ölçüde değişir. Bu faktörler arasında iş istasyonunun tasarımı, gerçekleştirilen görevlerin niteliği, belirli duruşların sıklığı ve süresi ve çalışanlara yüklenen fiziksel talepler yer alır. REBA yöntemi, vücut duruşunu, kuvveti, hareket türünü ve tekrarı analiz ederek kas-iskelet sistemi bozuklukları riskini değerlendirir. Backstrom ve Duffy (2022), operatör şikayetleri ile belirlenen bir montaj istasyonunda REBA analizine dayalı ergonomik iyileştirmeler sonucunda, kas-iskelet rahatsızlıklarının ve iş gücü devrinin azaldığını, iş kalitesinin ise arttığını rapor etmişlerdir. Bu bağlamda, çalışmamızda da REBA ile belirlenen yüksek riskli iş istasyonuna yönelik önerilen müdahaleler ayarlanabilir çalışma yüzeyi, uygun yükseklikte ekipmanlar ve iş istasyonu yeniden tasarımı hem çalışan sağlığı hem de verimlilik açısından önem arz etmektedir. REBA analiz sonuçları, Teixeira ve arkadaşlarının (2022) otomatikleştirilmiş paketleme sistemleri sonrası düşen ergonomik risk skorları ile paralellik göstermektedir[31]. Bakım departmanı için bir vaka çalışmasında gösterildiği gibi, ayarlanabilir alet kutuları ve ergonomik sandalyeler gibi yardımcı ekipmanların tanıtımı, çalışanların çalışma duruşlarını iyileştirir ve kas-iskelet sistemi üzerindeki zorlanmayı azaltır, bunun sonucunda REBA puanlarında önemli düşüşler meydana gelir. Bu bulgu, ergonomik ekipmanın yalnızca konforu artıran değil aynı zamanda riski azaltan müdahaleler olarak da değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir[32]. Tekrarlayan ağır kaldırma ve garip duruşlar içeren görevler, özellikle yüksek sıklıkta yapıldığında ergonomik riskleri artırmakta; bu durum, balık işleme tesisleri gibi örneklerde ergonomik müdahale gerekliliğini ortaya koymaktadır[33]. Görevlerin fiziksel talepleri, özellikle taşınan nesnelerin ağırlığı ve uygulanan kuvvet, REBA puanlarını doğrudan etkiler. Nitekim petrol rafinasyonu gibi yüksek fiziksel çaba gerektiren işlerde ergonomik risk düzeylerinin duruşa ve uygulanan kuvvet düzeyine bağlı olarak önemli ölçüde değiştiği bulunmuştur [34]. Sırtı bükme veya uzun süre ayakta durmak gibi belirli duruşlar, ergonomik risk seviyelerini belirlemede önemli faktörlerdir. Örneğin, bakım işçileri makineleri tamir ederken sık sık eğilme ihtiyacı nedeniyle yüksek REBA puanları çıkmıştır [32].

Elektrik kabloları üreten otomotiv sektöründeki şirketlerde çalışanlar, kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları ile ilgili çeşitli ergonomik risklere maruz kalmaktadır. Bu riskler özellikle yetersiz iş istasyonu tasarımı, tekrarlayan iş hareketleri ve ergonomik olarak elverişsiz çalışma duruşlarından kaynaklanmakta olup, çalışan sağlığı ve iş gücü verimliliği üzerinde önemli

olumsuz etkilere sahiptir. RULA ve REBA kullanılarak yapılan analiz, gözlemlenen duruşların %44'ünün yüksek riskli olarak sınıflandırıldığını ve ergonomik müdahaleleri gerektirdiğini ortaya koymuştur. Birçok işçi, özellikle alt sırtta uzun süreli garip duruşlar nedeniyle rahatsızlık yaşar ve çalışmalar, çalışanların %86'sının bu tür rahatsızlık bildirdiğini göstermektedir [35]. Montaj ve kaynak süreçlerinde çalışanlar, MSD için önemli bir risk faktörü oluşturan yüksek düzeyde tekrarlayan hareketlere maruz kalmaktadır. Aslında, çalışmaya katılan bireylerin %92'si tekrarlayan görevlerle ilgili MSD semptomları yaşadıklarını belirtmiştir. Bu bulgu, görev döngüsünün, ergonomik olmayan duruşların ve tekrarlayan hareketlerin bu tür işlerde iş sağlığı için önemli olduğunu göstermektedir; MSD risklerini azaltmak için ergonomik müdahalelerin aciliyetini desteklemektedir [36]. Yüksek fleksiyon maruziyetinin alt sırt MSD riskini önemli ölçüde artırması nedeniyle dengeli ve bütünsel bir yaklaşıma ihtiyaç vardır. Otomasyon ve iş istasyonu iyileştirmeleri bazı riskleri azaltabilse de yeni ergonomik sorunlar da yaratabilir [37]. Dolayısıyla etkili risk yönetimi için dengeli bir yaklaşım şarttır. Örneğin, Jin ve arkadaşlarının (2025) montaj hattı işçileri ile gerçekleştirdiği bir çalışmada da benzer şekilde boyun ve sırt bölgesindeki yüklenmenin yoğun olduğu, bu bölgelerde MSD semptomlarının sıkça bildirildiği belirtilmiştir. Bu çalışmada gerçekleştirilen bir yıllık ergonomik müdahaleler sonucunda MSD yoğunluğu ve sıklığında anlamlı düşüşler sağlanmıştır [38].

REBA ve CMDQ yöntemlerinin birlikte uygulanması, niceliksel risk değerlendirmesini çalışanların öznel rahatsızlık bildirimleriyle bütünleştirerek ergonomik bulguların geçerliliğini ve güvenilirliğini artırmaktadır. Bu kapsamlı yaklaşım, farklı çalışma ortamlarında MSD risklerinin yalnızca postür temelli skorlar üzerinden değil, aynı zamanda çalışan deneyimli değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Literatürde, REBA ve CMDQ'nun birlikte kullanımının MSD semptomlarındaki varyansın anlamlı bir bölümünü açıklayabildiği; Modified Rapid Entire Body Assessment (MOREBA) yaklaşımının toplam etki katsayısının 0,783'e ulaştığı bildirilmektedir [9].. Bu bulgular, çeşitli endüstriyel ortamlarda çalışanların ergonomik durumlarının değerlendirilmesinin önemini bir kez daha kanıtlamaktadır, çünkü doğru değerlendirme ve müdahale, işgücü sağlığını önemli ölçüde etkileyebilir [25].

Bu çalışma kapsamında, her bir istasyon için hesaplanan REBA risk düzeyleri ile aynı istasyonda çalışanların CMDQ anketinde bildirdiği vücut bölgesi temelli rahatsızlık dağılımları karşılaştırmalı ve bütüncül bir analiz çerçevesinde ele alınmıştır.

İstatistiksel korelasyon analizi yapılmamış olmakla birlikte, istasyon bazlı eşleştirme yaklaşımı kullanılarak elde edilen bulgular ilişkisel ve yorumlayıcı düzeyde değerlendirilmiştir.

REBA ile yüksek risk düzeyinde belirlenen istasyonlarda, CMDQ sonuçlarının özellikle bel, sırt ve boyun bölgelerinde yoğunlaşması, iki yöntemin istasyon düzeyinde birbirini doğrulayan ve tamamlayan bulgular ürettiğini göstermektedir. Bu durum, ergonomik riskin kaynağı ile çalışan üzerindeki etkisinin aynı analiz düzleminde ilişkilendirilebildiğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, REBA ve CMDQ yöntemlerinin birlikte kullanımı, ergonomik risklerin hem nesnel hem de öznel boyutlarının bütüncül biçimde değerlendirilmesini sağlayarak analizlerin yorumlanabilirliğini ve uygulamaya dönük değerini artırmaktadır. Bu yaklaşım, özellikle istasyon bazlı ergonomik iyileştirme stratejilerinin geliştirilmesinde güçlü bir karar destek çerçevesi sunmaktadır.

REBA ve CMDQ yöntemlerinin birlikte kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde, her iki yöntemin farklı sektörlerde aynı örneklem üzerinde uygulandığı araştırmaların bulunduğu görülmektedir. Bu çalışmada elde edilen CMDQ ve REBA bulguları, hem ulusal hem de uluslararası literatürde rapor edilen ergonomik risk profilleriyle büyük ölçüde örtüşmektedir. CMDQ sonuçlarına göre çalışanların özellikle sırt (%38,29), bel (%36,17) ve boyun (%17,52) bölgelerinde yoğun rahatsızlık bildirmesi, üretim ve montaj hatlarında ayakta ve öne eğilerek çalışmanın kas-iskelet sistemi üzerinde önemli bir yük oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgular, Türkiye’de dikiş makinesi operatörleri üzerinde yapılan çalışmalarda bel ve boyun bölgesinde yüksek rahatsızlık oranları bildiren Öztürk ve Esin (2011) ile metal ve elektronik sektörlerinde gerçekleştirilen benzer ergonomik değerlendirmelerle uyumludur [39].

Uluslararası literatürde de benzer sonuçlar rapor edilmiştir. Nagaraj ve arkadaşları (2019), ayakta çalışan operatörlerde bel, sırt ve boyun bölgelerinin kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları açısından en riskli alanlar olduğunu belirtmiş; Jin ve arkadaşları (2025) ise montaj hattı çalışanlarında özellikle boyun ve gövde fleksiyonuna bağlı olarak MSD semptomlarının yoğunlaştığını göstermiştir [38,40]. Mevcut çalışmada elde edilen CMDQ bulgularının bu sonuçlarla örtüşmesi, kablo montaj ve üretim süreçlerinin ergonomik açıdan benzer risk dinamiklerine sahip olduğunu düşündürmektedir.

REBA analizlerinden elde edilen sonuçlar da literatürde bildirilen bulgularla paralellik göstermektedir. Dört istasyondan üçünün orta, birinin ise yüksek risk düzeyinde belirlenmesi; otomotiv ve montaj sektörlerinde rapor edilen REBA risk dağılımlarıyla uyumludur. Chakravarthy (2015),

otomobil montaj görevlerinde REBA puanlarının çoğunlukla orta ve yüksek risk aralığında yoğunlaştığını belirtirken; Gholami ve arkadaşları (2020), tekrarlayan ayakta çalışma ve gövde eğiminin REBA puanlarını anlamlı düzeyde artırdığını ortaya koymuştur [8,29].

Bu çalışmada özellikle İstasyon 3’te yüksek REBA risk düzeyinin belirlenmesi, boyun fleksiyonu, gövde eğimi ve alt kol-bilek hareketlerinin eş zamanlı olarak zorlayıcı olmasından kaynaklanmaktadır. Benzer şekilde Am-Eam ve arkadaşları (2020), bakım faaliyetlerinde yaptıkları REBA analizlerinde gövde ve boyun pozisyonlarının risk düzeyini belirleyen temel faktörler olduğunu bildirmiştir [32]. Bu durum, çalışmamızda elde edilen bulguların biyomekanik açıdan literatürle tutarlı olduğunu göstermektedir.

Bununla birlikte, bu çalışmayı literatürdeki benzer araştırmalardan ayıran temel özgünlük, REBA ve CMDQ yöntemlerinin istasyon bazlı ve bütüncül bir çerçevede entegre edilerek değerlendirilmesidir. Literatürde her iki yöntemin aynı örneklem üzerinde kullanıldığı çalışmalar bulunmakla birlikte, bu çalışmaların büyük çoğunluğunda yöntemler arası ilişki genel düzeyde ele alınmış, istasyonlara özgü risk-rahatsızlık ilişkisi ayrıntılı olarak incelenmemiştir. Örneğin Rahman ve Yek (2023), bakım çalışanlarında REBA, RULA ve CMDQ yöntemlerini birlikte kullanmış; ancak analizlerini istasyon bazında ayırtmamıştır [41]. Seife ve arkadaşları (2025) ise oturarak ve ayakta çalışma istasyonlarını karşılaştırmış, fakat REBA-CMDQ ilişkisinin istasyon özelinde nasıl değiştiğini sınırlı düzeyde tartışmıştır [42].

Bu çalışmada ise REBA ile yüksek risk düzeyinde belirlenen istasyonlarda CMDQ anketinde aynı vücut bölgelerinde daha yüksek rahatsızlık bildirimlerinin görülmesi, iki yöntemin birbirini doğruladığını açık biçimde ortaya koymaktadır. Özellikle İstasyon 3’te REBA ile belirlenen yüksek riskin CMDQ’da bel, sırt ve boyun bölgelerinde yoğunlaşan rahatsızlıklarla örtüşmesi, ergonomik risklerin hem nesnel hem de öznel boyutlarının tutarlı biçimde değerlendirilebildiğini göstermektedir. Bu bulgu, Yazdanirad ve arkadaşlarının (2022) MOREBA yaklaşımında vurguladığı gibi, çoklu değerlendirme yöntemlerinin birlikte kullanımının ergonomik risk analizinin geçerliliğini artırdığı yönündeki görüşlerle örtüşmektedir [9].

Genel olarak değerlendirildiğinde, bu çalışmada elde edilen bulgular ulusal ve uluslararası literatürle tutarlı olmakla birlikte; REBA ve CMDQ yöntemlerinin istasyon bazlı entegrasyonu sayesinde ergonomik risklerin kaynağı ile çalışan üzerindeki etkilerinin aynı analitik çerçevede ele alınmasına olanak tanımaktadır. Bu yönüyle çalışma, otomotiv kablo üretim sektörüne özgü ergonomik risk profillerini ayrıntılı biçimde ortaya koyarak literatüre özgün ve uygulamaya dönük bir katkı sunmaktadır.

Bu çalışmaların ortak sonucu, REBA ve CMDQ'nun birlikte kullanımının güçlü bir sinerji oluşturduğudur. Yapılan değerlendirmeler, REBA ile CMDQ sonuçlarının istasyon düzeyinde büyük ölçüde birbiriyle örtüştüğünü göstermektedir. Özellikle İstasyon 3, REBA analizinde en yüksek risk düzeyine sahip istasyon olarak belirlenmiş ve CMDQ anketinde aynı istasyonda çalışanların bel, boyun ve omuz bölgelerinde yoğun ağrı ve rahatsızlık bildirdikleri görülmüştür. Bu durum, duruş temelli yüksek ergonomik riskin çalışan deneyimine doğrudan yansıdığını ortaya koymaktadır. İstasyon 1 ve 2 orta düzey REBA riskine sahip olmakla birlikte CMDQ bulgularında özellikle bel ve boyun gibi bölgelerde orta düzey rahatsızlıkların öne çıktığı tespit edilmiştir. İstasyon 4 ise REBA sonuçlarına göre orta düzey risk taşımaya rağmen CMDQ'da el-bilek rahatsızlıklarının belirgin olarak yüksek olması, ince motor hareketlerin yoğunluğunu işaret eden bir farklılaşma yaratmıştır. Genel değerlendirmede, yüksek REBA skorlarının görüldüğü istasyonlarda CMDQ skorlarının da yükseldiği ve iki yöntemin ergonomik risk tespitinde birbirini desteklediği anlaşılmaktadır. REBA duruş ve görev temelli objektif riski ortaya koyarken, CMDQ çalışanın deneyimlediği öznel rahatsızlığı sayısallaştırmaktadır. Böylece hem riskin kaynağı hem de bu riskin çalışan üzerindeki etkisi aynı anda doğrulanmakta; müdahale gerektiren istasyonlar daha net tanımlanmakta ve yapılan ergonomik iyileştirmelerin hem biyomekanik hem de klinik açıdan gerçekten etkili olup olmadığı daha güvenilir biçimde izlenebilmektedir.

IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Genel Sonuçlar

Bu çalışmada, bir otomotiv kablo üretim tesisindeki dört farklı iş istasyonunda çalışanların ergonomik duruşları REBA yöntemi ile analiz edilmiş, ayrıca çalışanların öz bildirimleri CMDQ yöntemi ile değerlendirilmiştir. REBA skorlarının 7 ile 10 arasında değiştiği ve bir istasyon dışında tamamının orta düzeyde risk içerdiği, üçüncü istasyonda ise yüksek riskin söz konusu olduğu tespit edilmiştir. CMDQ sonuçları ise çalışanların özellikle sırt (%38,29), bel (%36,17) ve boyun (%17,52) bölgelerinde yoğun rahatsızlıklar bildirdiğini göstermiştir. Bu sonuçlar, ergonomik risklerin hem postür temelli nesnel göstergeler hem de çalışan deneyimleri açısından bütüncül biçimde ele alınmasının gerekliliğini göstermektedir.

4.2. İstasyon Bazlı Ergonomik Riskler ve İyileştirme Önerileri

REBA alt bileşenlerinden elde edilen duruş analizleri, her bir istasyonda ergonomik risklerin farklı

biyomekanik kaynaklardan ortaya çıktığını göstermiştir. Bu nedenle, geliştirilen iyileştirme önerileri istasyon bazlı ve riski artıran özgün alt bileşenleri hedefleyecek şekilde yapılandırılmıştır.

İstasyon 3, yüksek REBA risk düzeyi ile öne çıkmış olup bu durum özellikle aşırı gövde eğimi, belirgin boyun fleksiyonu ve eş zamanlı alt kol-bilek zorlanmaları ile ilişkilidir. Bu istasyonda riskin azaltılması amacıyla; çalışma yüzeyi yüksekliğinin operatörün dirsek seviyesine göre yeniden ayarlanması, malzeme yerleşiminin görüş alanını kısıtlamayacak biçimde düzenlenmesi ve tekrarlayıcı bilek hareketlerini azaltacak ergonomik aparatların kullanılması önerilmektedir.

İstasyon 1'de riskin temel kaynağının uzun süreli ayakta çalışma ve alt ekstremiteler yüklenmesi olduğu belirlenmiştir. Bu kapsamda, ayakta çalışma süresinin azaltılması, iş rotasyonunun artırılması ve anti-fatigue paspasların kullanılması önerilmektedir.

İstasyon 2'de boyun fleksiyonu ile alt kol-bilek hareketlerinin belirgin olduğu görülmüştür. Bu nedenle, iş parçasının daha ergonomik bir yüksekliğe taşınması ve kavrama gerektiren işlemlerde destekleyici ekipmanların kullanılması uygun olacaktır.

İstasyon 4'te ise el-bilek hareketlerinin yoğunluğu ve ince motor görevlerin sürekliliği dikkat çekmektedir. Bu istasyonda, işlerin iki el ile yapılabilir hâle getirilmesi, bilek desteklerinin kullanılması ve gereksiz tekrarları azaltmaya yönelik küçük ölçekli proses düzenlemeleri önerilmektedir.

Bu istasyon bazlı müdahaleler, ergonomik riskin kaynağına doğrudan müdahale etmeyi hedefleyerek iyileştirme etkisinin artırılmasını amaçlamaktadır.

4.3. REBA ve CMDQ Bulgularına Dayalı Organizasyonel ve Eğitsel İyileştirme Önerileri

REBA risk seviyelerinin mühendislik önlemleriyle yeterince düşürülemediği durumlarda, çalışanların belirli periyotlarla fizyoterapistler tarafından değerlendirilmesi ve kas-iskelet sistemini destekleyici egzersiz programlarının uygulanması önerilmektedir. Uygun dinlenme molaları, çalışan rotasyonu ile gün başı ve gün sonu esneme-gevşeme egzersizleri, MSD risklerinin azaltılmasında önemli katkı sağlayacaktır. Ayrıca çalışanlara ergonomik olmayan duruşların etkileri konusunda düzenli eğitimler verilmesi ve risk farkındalığını artırmaya yönelik hatırlatıcı uygulamaların hayata geçirilmesi önerilmektedir.

4.4. Teknoloji Destekli Ergonomik Müdahaleler ve Gelecek Perspektifi

Yapay zekâ, artırılmış gerçeklik (AR) ve sanal gerçeklik (VR) gibi yenilikçi teknolojilerin ergonomi

ve İSG eğitimlerine entegre edilmesi, çalışan katılımını artırırken gerçek zamanlı risk farkındalığı sağlamaktadır [43]. Ayrıca, makine öğrenmesine dayalı bilimsel kontrol listelerinin uygulanması, ergonomik değerlendirme süreçlerinin geçerliliğini ve yeniden üretilebilirliğini güçlendirmektedir [44]. Oyun tabanlı ve andragojik ilkelere dayalı eğitim yaklaşımlarının da İSG bilgi düzeyini anlamlı biçimde artırdığı literatürde ortaya konmuştur [45]. Bu nedenle, yenilikçi teknolojilerin eğitim süreçlerine entegre edilmesi ve kontrol listelerinin uygulanması hem çalışan memnuniyetinin hem de İSG kültürünün artırılması açısından büyük öneme sahiptir.

TEŞEKKÜR

Bu makale sözlü bildiri olarak 25-26 Nisan 2024 / İstanbul, Türkiye de gerçekleşen 5. İş Sağlığı ve Güvenliği Öğrenci Kongresinde sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Tarakçı, E., Can, E., Sakallı, A. E., & Tak, G. (2020). The Ergonomic Risk Analysis With Reba Method In Production Line. *Ergonomi*, 3(3), 96–107. <https://doi.org/10.33439/ergonomi.743276>.
- [2] Ispăsoiu, A., Milosan, I., & Gabor, C. (2024). Improving Workplace Safety and Health Through a Rapid Ergonomic Risk Assessment Methodology Enhanced by an Artificial Intelligence System. *Applied System Innovation*, 7(6), 103. <https://doi.org/10.3390/asi7060103>.
- [3] Kulaç, S., & Kiraz, A. (2024). An integrated ergonomic risk assessment framework based on fuzzy logic and IVSF-AHP for optimising ergonomic risks in a mixed-model assembly line. *Ergonomics*, 67(12), 2009–2029. <https://doi.org/10.1080/00140139.2024.2368270>.
- [4] Okuyucu, K., Hignett, S., Gyi, D., & Doshani, A. (2021). Midwives' thoughts about musculoskeletal disorders with an evaluation of working tasks. *Applied Ergonomics*, 90, 103263. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103263>.
- [5] Enez, K., & Nalbantoğlu, S. S. (2019). Comparison of ergonomic risk assessment outputs from OWAS and REBA in forestry timber harvesting. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 70, 51–57. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2019.01.009>.
- [6] Sabino, L., Melo, R. B., & Carvalho, F. (2019). Ergonomic Work Analysis at Plant Nurseries of a Portuguese Municipality. *Occupational and Environmental Safety and Health*, 273–285. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94484-5_29.
- [7] Tarakçı, E., & Can, E. (2024). A Novel Approach to Ergonomic Risk Analyses. *IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1004385>.
- [8] Chakravarthya, S. P. (2015). Ergonomic Assessment And Risk Reduction Of Automobile Assembly Tasks Using Postural Assessment Tools. *International Journal Of Research Science & Management*, 2.
- [9] Yazdanirad, S., Pourtaghi, G., Raei, M., & Ghasemi, M. (2022). Development of modified rapid entire body assessment (MOREBA) method for predicting the risk of musculoskeletal disorders in the workplaces. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 23, 82. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-05011-7>.
- [10] Ayvaz, Ö., Özyıldırım, B. A., İşsever, H., Öztan, G., Atak, M., & Özel, S. (2023). Ergonomic risk assessment of working postures of nurses working in a medical faculty hospital with REBA and RULA methods. *Scientific Progress*, 106. <https://doi.org/10.1177/00368504231216540>.
- [11] Widyanti, A. (2018). The Agreedness between Observation and Self-report Method in Work Posture Analysis. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 17(2), 186. <https://doi.org/10.23917/jiti.v17i2.6800>.
- [12] Ogedengbe, T. S., Markus, S., Dabo, A. L., Afolalu, S. A., Ikumapayi, O. M., & Musa, A. I., et al. (2023). Comparative Study of the REBA and RULA Assessment Tools Efficiency for Workers Tasks. 2nd International Conference on Multidisciplinary Engineering and Applied Science (ICMEAS), IEEE, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICMEAS58693.2023.10379279>.
- [13] Gönen, D., Karaoglan, A. D., Ocaktan, M. A. B., Oral, A., Atıcı, H., & Kaya, B. (2018). Kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının analizinde yeni bir risk değerlendirme yaklaşımı. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(2), 425–440. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.416351>.
- [14] Liyanage, E., Chellapillai, D., Liyanage, I., Samarakoon, C., Samarasekara, H., & Rikas, M. (2024). Sinhala version of the Cornell Musculoskeletal Discomfort Questionnaire: Cross-cultural adaptation and validation. *Work*, 77(2), 547–559. <https://doi.org/10.3233/WOR-220295>.
- [15] Carrasquero Carrasquero, E. E. (2015). Spanish Adaptation And Validation Of Cornell Skeletalmuscle Instrument Of Discomfort Perception Questionnaires (CDMQ). *Desarrollo Gerencial*, 7(2), 36–46. <https://doi.org/10.17081/dege.7.2.1179>.
- [16] Kreuzfeld, S., Seibt, R., Kumar, M., Rieger, A., & Stoll, R. (2016). German version of the Cornell Musculoskeletal Discomfort Questionnaire (CMDQ): translation and validation. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 11, 13. <https://doi.org/10.1186/s12995-016-0100-2>.

- [17] Eyvazlou, M., Asghari, A., Mokarami, H., Bagheri Hosseinabadi, M., Derakhshan Jazari, M., & Gharibi, V. (2021). Musculoskeletal disorders and selecting an appropriate tool for ergonomic risk assessment in the dental profession. *Work*, 68(4), 1239–1248. <https://doi.org/10.3233/WOR-213453>.
- [18] Nisa, K. S., Topandi, A., Wulansari, I., Fauziah, A., & Bismo, Z. M. (2024). Comparison of Ergonomic Assessment Results in the Automotive Polymer Industry: Cornell Musculoskeletal Discomfort Questionnaire (CMDQ) and Rapid Upper Limb Assessment (RULA) Methods. *Jurnal Inotera*, 9(1), 111–118. <https://doi.org/10.31572/inotera.Vol9.Iss1.2024.I D309>.
- [19] Aziz, F. A., & Hafidz, N. A. A. (2024). The Prevalence of Musculoskeletal Disorders Symptoms and Ergonomics Risk Amongst Engineering, Science, and Technology Students. *Progress in Engineering Technology VI*, 377–387. https://doi.org/10.1007/978-981-99-8819-8_30.
- [20] Chowdhury, N. (n.d.). A Comparative Assessment of Ergonomic Risk Factors in University Personnel Using RULA and REBA Aiming to Study the Cause and Effect Relationship. Research Paper.
- [21] Grooten, W. J. A., & Johansson, E. (2018). Observational Methods for Assessing Ergonomic Risks for work-related musculoskeletal disorders. A Scoping Review. *Revista Ciencias de La Salud*, 16(1), 8–38. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/revsalud/a.6840>.
- [22] Abdol Rahman, M. N., Lay Zhan Yek, Ho Fu Haw, Masood, I., Abdullah, H., & Hassan, M. F., et al. (2024). Relationship between Improper Working Posture among Maintenance Workers using Different Assessment Methods. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 49(2), 15–25. <https://doi.org/10.37934/araset.49.2.1525>.
- [23] Engür, M., & Chaush-Ogly, K. (2019). Türkiye İş Sağlığı Ve Güvenliği Mevzuatında Ergonominin Yeri Üzerine Bir Çalışma. *Ergonomi*, 2(2), 69–77. <https://doi.org/10.33439/ergonomi.480559>.
- [24] Serpil, A., Özok, A. F., Yamankaradeniz, N., Gökçe, A., Akalp, G., & Çankaya, O., et al. (2018). Metal Sanayiinde Çalışan Kadınların Ergonomik Risk Algısı: Bir Araştırma. *Ergonomi*, 1(1), 29–38. <https://doi.org/10.33439/ergonomi.473023>.
- [25] Alkan, E., & Ilgın, M. A. (2018). Bir elektronik firmasının montaj hatlarının ergonomik analizi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 149–158. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.386385>.
- [26] Aksüt, G., Eren, T., & Tüfekçi, M. (2020). Ergonomik risk faktörlerinin sınıflandırılması: bir literatür taraması. *Ergonomi*, 3(3), 169–192. <https://doi.org/10.33439/ergonomi.773896>.
- [27] Chiasson, M. E. (2012). Assessment of risk factors for musculoskeletal disorders: Comparison of observation methods and workers' perceptions. Polytechnic School of Montreal.
- [28] Tuncel, S., Genaidy, A., Shell, R., Salem, S., Karwowski, W., & Darwish, M., et al. (2008). Research to practice: Effectiveness of controlled workplace interventions to reduce musculoskeletal disorders in the manufacturing environment—critical appraisal and meta-analysis. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 18(2), 93–124. <https://doi.org/10.1002/hfm.20104>.
- [29] Gholami, A., Yalameh, J. T., Fouladi-Dehaghi, B., Eskandari, D., & Teimori-Boghsani, G. (2020). Evaluation of the influence of education on the ergonomic risk of concrete form workers. *Work*, 67(4), 1007–13. <https://doi.org/10.3233/WOR-203350>.
- [30] Drinkaus, P., Sesek, R., Bloswick, D., Bernard, T., Walton, B., & Joseph, B., et al. (2003). Comparison of ergonomic risk assessment outputs from Rapid Upper Limb Assessment and the Strain Index for tasks in automotive assembly plants. *WORK: A Journal of Prevention, Assessment & Rehabilitation*, 21(2), 165–72. <https://doi.org/10.3233/WOR-2003-00317>.
- [31] Teixeira, R. C. M., Guimarães, W. P. S., Ribeiro, J. G., Fernandes, R. A., Nascimento, L. B. F., & Torné, I. G., et al. (2022). Analysis of the Reduction of Ergonomic Risks through the Implementation of an Automatic Tape Packaging Machine. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(22), 15193. <https://doi.org/10.3390/ijerph192215193>.
- [32] Am-Eam, N., Jankaew, P., Nintapho, K., & Noosom, T. (2020). An Evaluation of Work Posture by REBA: A Case Study in Maintenance Department. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 106–114. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20142-5_11.
- [33] Agustina, F., Ansori, N., Novianti, T., Widiaswanti, E., & Anggraeni, R. A. (2023). Risk Evaluation of Musculoskeletal Disorders and Design of Lifting-carrying Facilities. *PROZIMA (Productivity, Optimization and Manufacturing System Engineering)*, 7(1), 1–10. <https://doi.org/10.21070/prozima.v7i1.1605>.
- [34] Moradi Rad, R., Vosough, S., & Mahdavi, S. (2020). Ergonomic Assessment of Working Postures Using NERPA and REBA Methods (Case Study: Abadan Oil Refinery). *Archives of Occupational Health*, 4(3). <https://doi.org/10.18502/aoh.v4i3.4067>.

- [35] Biradar, V. G., Hebbal, S. S., & Qutubuddin, S. M. (2024). Ergonomic Risk Identification and Postural Analysis in Electrical Transformers Manufacturing Company located in Southern India. *International Journal of Occupational Safety and Health*, 14(2), 144–151. <https://doi.org/10.3126/ijosh.v14i2.53692>.
- [36] Avila Bridge, M. E. (2014). Identification and evaluation of ergonomic risk factors in workers at an automotive company and their relationship with musculoskeletal conditions. SEK International University.
- [37] Neumann, P. (2022). Production Ergonomics: Identifying and Managing Risk in the Design of High Performance Work Systems. Ryerson University. <https://doi.org/10.32920/ryerson.14638713.v1>.
- [38] Jin, X., Dong, Y., Yang, L., Huang, W., Cao, L., & Zhang, Z., et al. (2025). Ergonomic interventions to improve musculoskeletal disorders among vehicle assembly workers: a one-year longitudinal study. *BMC Public Health*, 25, 824. <https://doi.org/10.1186/s12889-025-21798-1>.
- [39] Öztürk, N., & Esin, M. N. (2011). Investigation of musculoskeletal symptoms and ergonomic risk factors among female sewing machine operators in Turkey. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 41(6), 585–91. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2011.07.001>.
- [40] Sakthi Nagaraj, T., Jeyapaul, R., & Mathiyazhagan, K. (2019). Evaluation of ergonomic working conditions among standing sewing machine operators in Sri Lanka. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 70, 70–83. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2019.01.006>.
- [41] Yek, L. Z., Nasrull, M., & Rahman, A. (2023). A Case Study of An Ergonomic Risk Assessment for Working Posture among Maintenance Workers. *Research Progress In Mechanical And Manufacturing Engineering*, 4(1), 105–114. <https://doi.org/10.30880/rpmme.2023.04.01.011>.
- [42] Seife, W., Bizuneh, B., & Minbale, E. (2025). Workplace ergonomics: a comparative analysis of sitting and standing workstations in Ethiopian garment manufacturing industries. *International Journal of Human Factors and Ergonomics*, 12(1), 58–81. <https://doi.org/10.1504/IJHFE.2025.147908>.
- [43] Piskunova, L., Zubok, T., Klepko, A., Trzh, Z., & Kudryavyska, A. (2024). Scientific and methodological approaches to improving the level of environmental and labour safety as modern trends and prospects of higher education. *Scientific Herald of Uzhhorod University Series Physics*, 2257–2266. <https://doi.org/10.54919/physics/56.2024.225sp7>.
- [44] Kapoor, S., Cantrell, E. M., Peng, K., Pham, T. H., Bail, C. A., & Gundersen, O. E., et al. (2024). REFORMS: Consensus-based Recommendations for Machine-learning-based Science. *Science Advances*, 10. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adk3452>.
- [45] Çırakoğlu Kelleci, S., & Cıvıvoğlu, S. N. (2024). Yetişkin Öğrenmesinde Andragojik Yaklaşımlar: Otomotiv Sektöründe İş Sağlığı Güvenliği Eğitiminde Oyunlaştırma Uygulamaları. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 36(3), 396–406. <https://doi.org/10.7240/jeps.1529762>.