



OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE FAALİYET GÖSTEREN BİR İŞLETMEDE REBA YÖNTEMİ İLE ÇALIŞMA KOŞULLARININ İYİLEŞTİRİLMESİ

Erenay ATAGAN ^{1*}, Alpaslan FIĞLALI¹

¹ Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
REBA, Ergonomi, Duruş Analizi, Kas-iskelet Sistemi, İş Sağlığı ve Güvenliği, Otomotiv Endüstrisi.	Bu çalışma, Kocaeli'deki bir otomotiv işletmesinin fırın hattında vardiya başına yaklaşık 1.600 kez tekrarlanan kauçuk-mandren takma ve çıkartma işlemlerindeki ergonomik riskleri REBA yöntemiyle değerlendirmektedir. Manuel takma ve çıkartma işlemleri sırasıyla 10 (yüksek risk) ve 11 (çok yüksek risk) puan almıştır. Başlıca risk kaynakları gövde ve boyundaki aşırı bükülmeler, dengesiz bacak yüklenmesi ve manuel kuvvet uygulamasıdır. Kaynağında önleme yaklaşımıyla sürece mekanik bir pompa entegre edilerek fiziksel yük operatörden ekipmana aktarılmıştır. Müdahale sonrasında her iki işlem için REBA skoru 3'e (düşük risk) düşmüştür. Bulgular, yüksek tekrarlı endüstriyel görevlerde manuel iş yükünü mekanik sisteme aktaran mühendislik kontrollerinin ergonomik riski belirgin biçimde azaltılabileceğini göstermektedir.

IMPROVING WORKING CONDITIONS IN AN AUTOMOTIVE INDUSTRY COMPANY USING THE REBA METHOD

Keywords	Abstract
REBA, Ergonomics, Posture Analysis, Musculoskeletal System, Occupational Health and Safety, Automotive Industry.	This study evaluates ergonomic risks in rubber-mandrel mounting and removal operations performed approximately 1,600 times per shift on an automotive furnace line using REBA. Manual mounting and removal scored 10 (High Risk) and 11 (Very High Risk), respectively. The main risks were excessive trunk and neck bending, unbalanced leg loading, and manual force application. Following the prevention-at-source principle, a mechanical pump transferred the physical load from the operator to the equipment. After intervention, both operations scored 3 (Low Risk). The findings indicate that engineering controls which transfer manual workload to a mechanical system can substantially reduce ergonomic risk in high-repetition industrial tasks.

Alıntı / Cite

Atagan, E., Fıglalı, A., (2026). Otomotiv Sektöründe Faaliyet Gösteren Bir İşletmede REBA Yöntemi ile Çalışma Koşullarının İyileştirilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 14(3), 817-839.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
E. Atagan, 0009-0009-4142-1518 A. Fıglalı, 0000-0002-8364-3313	Başvuru Tarihi / Submission Date Revizyon Tarihi / Revision Date Kabul Tarihi / Accepted Date Yayın Tarihi / Published Date	25.03.2026 13.07.2026 13.07.2026 25.09.2026

* İlgili yazar / Corresponding author: erenayatagan4199@gmail.com, +90-536-979-3858

IMPROVING WORKING CONDITIONS IN AN AUTOMOTIVE INDUSTRY COMPANY USING THE REBA METHOD

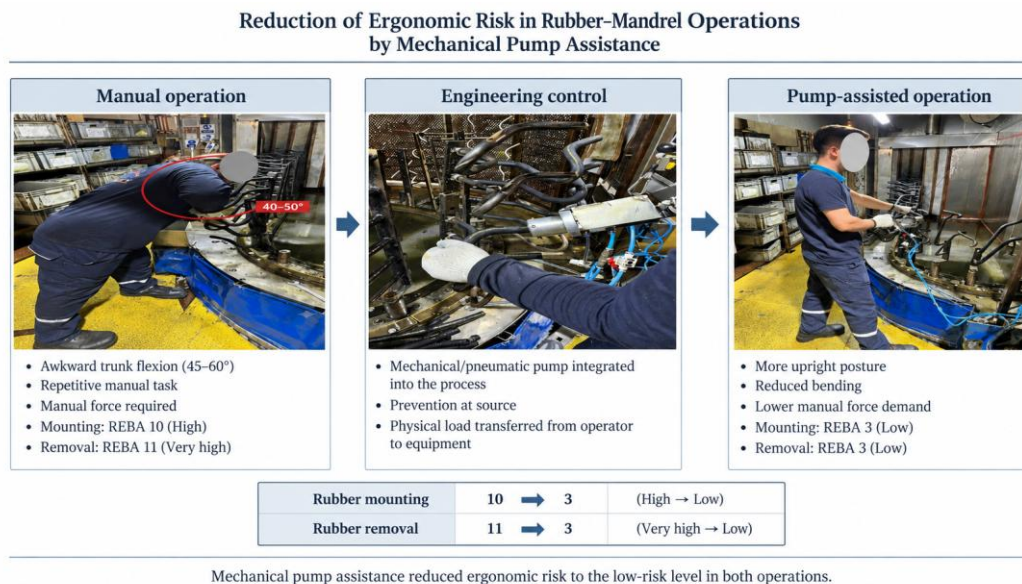
Erenay ATAGAN¹ †, Alpaslan FIĞLALI¹

¹ Kocaeli University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Kocaeli, Türkiye

Highlights

- REBA identified high and very high risk in manual rubber-mandrel mounting and removal (scores 10 and 11).
- A mechanical pump transferred the main physical load from the operator to the equipment.
- After intervention, both operations were reduced to REBA 3 (Low Risk).

Graphical Abstract



Purpose and Scope

This study evaluates ergonomic risk in high-repetition rubber-mandrel mounting and removal on an automotive furnace line and examines whether transferring manual load to a mechanical pump reduces REBA risk.

Design/methodology/approach

Manual operations were observed and scored with REBA; a mechanical pump was then integrated and the operations reassessed, considering whole-body posture, applied force, and task characteristics.

Findings

Manual mounting and removal scored REBA 10 (High) and 11 (Very High). After intervention, both fell to 3 (Low), with reduced trunk and neck bending, improved load distribution, and transfer of the main physical load to equipment.

Research limitations/implications

Single-facility, single-operation field data limit generalization. REBA is observational; inter-rater reliability, long-term musculoskeletal outcomes, and formal cost-benefit effects were not evaluated.

Practical implications

The intervention supports source-level engineering controls and may inform similar high-repetition operations. A permanently optimized pneumatic/mechanical system should be evaluated in future applications.

Originality

The study demonstrates prevention at source by transferring manual load to a mechanical system, reducing REBA scores from 10-11 to 3.

† Corresponding author: erenayatagan4199@gmail.com, +90-536-979-3858

1. Giriş (Introduction)

Türk Dil Kurumu tarafından “İş Bilimi” olarak ifade edilen ergonomi kavramı, insan ile sistemin ve makinelerin arasındaki ilişkiyi inceleyen bilim dalıdır. Ergonomiyi en basit şekilde ifade etmek gerekirse işin insana insanın işe uyumudur. Çalışanın fiziksel özelliklerini, çalıştığı yeri, prosesleri detaylı bir şekilde inceleyerek ortamın ve işin çalışan için verimli hale gelmesini sağlamaya çalışır.

Ergonominin temel amacı çalışanın çevresi ve etkenleri ile birlikte uyum içinde olmasını sağlamaktır. Çalışılan ortamdaki uygunsuz teçhizatlar, aktiviteler çalışan sağlığına oldukça zarar vermektedir. Yapılan iş gereği vücudun uygunsuz duruşu (postür), birbirini tekrar eden işler, temponun yüksek olması çalışanın kas-iskelet sistemi hastalıklarına sahip olmasına neden olur. Kas-iskelet sisteminin aşırı ve uzun süreli yüklenmesi yorgunluğa neden olur ve kaslar, bağlar, tendonlar, eklemler ve diğer dokuların yaralanmalarına veya hastalıklarına yol açabilir. Ergonomik ortamlarda çalışmayan kişilerde bu uygunsuz çalışma ortamı ileride meslek hastalığına dönüşebilir ve çalışanın hayatını kısıtlayabilir. Özellikle otomotiv sektörü gibi seri üretimin yapıldığı, tekrarlı işlerin bol olduğu durumlar ergonomik riskleri artırmaktadır. Yapılan uygulama ve araştırmalara bakıldığında özellikle parça besleme, montaj operasyonu, malzeme taşınması gibi operasyonlarda çalışanın sürekli tekrar eden işler yapması ve bunu bol tekrarda yapması çalışanın kas-iskelet sistemi rahatsızlığına sebebiyet verdiği görülmektedir. Yaşanan bu rahatsızlıktan sebep çalışanın sağlığı olumsuz yönde etkilenip iş gücü kaybı ve verimlilik düşüşü yaşanması kaçınılmaz hale gelmektedir. Ayrıca yaşanan sağlık problemlerinden sebep sağlık maliyetleri de artış göstermektedir. Bu sebeple çalışılan yerdeki ergonomik risklerin tespit edilip ergonomik risk faktörleri değerlendirme metotları yardımıyla (REBA, OWAS, RULA vb.) uygulamaya geçilip çalışanın ve işin birbirine uyumlu hale getirilmesi gerekmektedir. Üretim sahasını kesintiye uğratmadan ve laboratuvar ortamlarına veya yüksek maliyetli sensörlere ihtiyaç duymadan pratik sonuçlar veren bu tür gözlemsel metotların, işe bağlı kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarını (KİSR) tespit etmedeki geçerliliği ve güvenilirliği literatürde sıklıkla vurgulanmaktadır (David, 2005; Takala vd., 2010).

Literatüre Hignett ve McAtamney (2000) tarafından kazandırılan REBA yöntemi, çalışanın görev sırasındaki duruşunu tüm vücut ölçeğinde (özellikle dinamik ve öngörülemeyen postürlerde) analiz etmeye odaklanan en yaygın ve etkili tekniklerden biridir. Sahip olduğu kapsamlı değerlendirme yeteneği sayesinde özellikle seri üretimin yapıldığı ağır sanayide ve sağlık sektöründe sıklıkla tercih edilmektedir. Bu yöntem vücudu A ve B grubu olarak ikiye ayırır. A grubu incelenirken boyun, gövde ve bacak dikkate alınırken, B grubunda ise alt kol, üst kol ve bilek bölgesi dikkate alınır. Bu yöntem genellikle ayakta çalışan kişilerin ergonomik risk düzeylerinin incelenmesi amacıyla kullanılır. Yöntemin diğer yöntemlere göre en belirgin özelliği tüm vücudun analiz altına alınmasıdır. Bu çalışmada da bu nedenle REBA yönteminin kullanılması tercih edilmiştir. Farklı ergonomik değerlendirme yöntemlerinin kıyaslandığı araştırmalar, aynı iş görevlerinin farklı metotlarla incelendiğinde değişken risk seviyeleri üretebildiğini; bu nedenle kauçuk montajı gibi operasyonun fiziksel doğasına ve tüm vücut kullanımına en uygun ölçüm aracının seçilmesinin risk yönetiminde kritik bir öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır (Chiasson vd., 2012).

RULA yöntemi (McAtamney ve Corlett, 1993) ise özellikle oturma halinde yapılan işlerin veya üst uzvun daha sık kullanıldığı durumların incelenmesini esas alır. Odak noktası boyun bölgesi ve vücudun üst kısmıdır. RULA tekrar eden işlemlerin sayısını, uygulanan gücü ve dış faktörlerin etkisini tespit ederek 1 ile 7 arasında risk puanı çıkarır. Ofis çalışanlarının ergonomik risk durumlarını incelemek için uygun bir yöntemdir. OWAS (Karhu vd., 1977) yönteminden bahsetmek gerekirse bu teknik kodlama sistemi ile çalışır. Çalışanın postürü uygulanan güç miktarına göre dört basamaklı bir kod ile tanımlanır. Fakat boyun, bilek gibi spesifik alanların analiz edilmesinde RULA veya REBA gibi etkin bir sonuç vermez. Son olarak NIOSH tekniği postür analizinden ziyade el ile yük taşınması konusunda analizler yapmaktadır. Bu teknik operasyon sırasında bel omurları üzerinde biriken yükü dikkate alır. Taşınan yükün ağırlığı, yüksekliği ve mesafesi gibi etkenleri dikkate alarak Önerilen Ağırlık Limiti hesaplanır. Daha sonra ise Kaldırma İndeksi de tespit edilir ve yapılan operasyonun çalışan için sağlıklı olup olmadığı tespit edilir. Bu yöntem sadece iki el ile kaldırılan işlemler için uygundur, itme veya çekme gerektiren işlemler için uygulanamaz. Literatürde ergonomik değerlendirme çalışmalarının önemli bir bölümü, REBA, RULA ve OWAS gibi gözlemsel yöntemlerle risk seviyelerini belirlemeye odaklanmaktadır. Buna karşılık, riskin kaynağında azaltılmasına yönelik mühendislik müdahalelerinin saha verileriyle doğrulandığı çalışmalar daha sınırlıdır. Bu çalışma, otomotiv yan sanayisinde yüksek tekrar frekansına sahip (yaklaşık 1600 tekrar/gün) bir operasyonu ele alarak, yalnızca ergonomik riskin belirlenmesini değil, aynı zamanda fiziksel iş yükünü operatörden tamamen alan mekanik bir çözümün etkisini karşılaştırmalı olarak ortaya koymaktadır. Bu yönüyle çalışma, yüksek etkili ve sahada doğrulanmış bir ergonomik iyileştirme örneği sunmaktadır.

Uluslararası ergonomi literatürü incelendiğinde; özellikle son yıllarda saygın dergilerde yayınlanan çalışmaların, REBA analizlerini bilgisayar destekli sistemlerle veya literatür taramalarıyla dijitalleştirmeye odaklandığı görülmektedir (Kee, 2022). Güncel uluslararası araştırmalar, REBA değerlendirmelerini bulanık mantık (Ghasemi ve Mahdavi, 2020) veya bilgisayar destekli görüntü sistemleri (Lal vd., 2026) ile entegre ederek risk tespiti aşamasını otomatize etmektedir. Ancak bu çalışmalar, REBA riskini dijital olarak saptama konusunda ileri teknolojiler sunsalar da, tespit edilen bu fiziksel yükün kaynağında yok edilmesine yönelik somut 'mühendislik müdahaleleri' uygulama konusunda eksik kalmaktadırlar. Literatürdeki bu metodolojik boşluk, dijital REBA ölçümünün ötesine geçerek, riskli postürü düzeltmek yerine fiziksel yükü tamamen mekanik bir sisteme transfer eden uygulama örneklerinin azlığından kaynaklanmaktadır. Bu bağlamda çalışmamız; uluslararası literatürde sıkça vurgulanan 'sadece dijital ölçüm ve risk tespiti' trendinin ötesine geçerek, manuel iş yükünün pnömatik bir pompa aracılığıyla operatörden makineye tamamen devredildiği 'proaktif bir mekanik transfer' uygulamasını sunarak bu somut boşluğu doldurmaktadır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Ergonomik risk değerlendirmesine yönelik literatür genel olarak iki ana grupta ele alınabilir. İlk grup, REBA, RULA ve OWAS gibi gözlemsel yöntemler aracılığıyla ergonomik risklerin belirlenmesine odaklanan çalışmalardan oluşmaktadır. Bu çalışmalar, farklı sektörlerde çalışanların maruz kaldığı postürel zorlanmaları ve fiziksel yükleri sistematik biçimde analiz ederek risk seviyelerini ortaya koymaktadır.

İkinci grup ise, belirlenen ergonomik riskleri azaltmaya yönelik müdahalelerin etkinliğini inceleyen çalışmaları kapsamaktadır. Bu gruptaki araştırmalar özellikle mühendislik kontrollerinin, mekanik destek sistemlerinin ve iş istasyonu iyileştirmelerinin kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarını azaltmadaki rolünü vurgulamaktadır. Bununla birlikte, literatürde hem risk analizini hem de uygulanan mühendislik müdahalesinin etkisini aynı çalışma içinde nicel olarak ortaya koyan uygulamaların daha sınırlı olduğu görülmektedir. Bu çalışma, söz konusu boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır.

Ağar tarafından yapılan çalışmada oto lastik servisinde faaliyet gösteren işletmenin çalışanlarının lastik değiştirme prosesinde zorlandığı tespit edilmiştir. Çalışanların yaptığı faaliyetlerden kaynaklı kendilerini zorlayıcı duruşlara ittiği tespit edilmiştir. Ağar, yapılan işteki risk seviyesini tespit etmek için farklı yöntemler kullanmış ve farklı risk skorları elde ettiğini görmüştür. Çalışanların lastik sökme/takma ve değiştirme prosesleri için 7 farklı duruşunu RULA, REBA ve OWAS yöntemleri ile incelemiş sonucunda ise RULA yönteminin diğer iki yöntemle kıyasla biraz daha yüksek risk skoru ürettiği, ayrıca REBA ve OWAS yöntemlerinin birbirine daha yakın skorlar ürettiğini tespit etmiştir (Ağar, 2025).

Ağır sanayide, bakım-onarım işlerinde çalışan kişilerin yaşadığı ergonomik problemler genellikle literatürde çok yüksek risk grubunda belirtilmektedir. Petrokimya firmasındaki çalışanların REBA yöntemi ile risk seviyelerinin tespit edilmesi amacıyla Ahmadi vd. yaptıkları çalışmayla çalışanların REBA skorlarının mevcut durumda 11 ile 13 arasında değiştiğini tespit etmiştir. Bu durum "çok yüksek risk" seviyesinde yer aldığı için acil düzeltici eylemler gerektiğini vurgulanmıştır. Ayrıca yapılan araştırma sonucunda en yaygın şikayetlerin bel ve diz bölgelerinde olduğu görülmüştür (Ahmadi vd., 2020).

Otomotiv yan sanayiinde faaliyet gösteren bir çalışmada ise Akın vd. vulkanizasyon bölümünde sıcak maçalardan (mandiren) kauçuk hortum ayırma operasyonunu REBA yöntemi ile incelemişlerdir. İncelenen proseste çalışanın aşırı eğilme ve kuvvet uygulaması gerektiren mevcut çalışma duruşunun REBA skoru 12 olarak görülmüştür. Araştırmacılar, bu riski minimize etmek amacıyla yüksekliği ve eğimi ayarlanabilen mekanik bir mengene sistemi tasarlamışlardır. İyileştirme sonrasında çalışanın duruş bozuklukları giderilmiş ve REBA skoru 7'ye indirilmiştir (Akın vd., 2022). Bu çalışma, kauçuk ve maça operasyonlarındaki yüksek ergonomik risklerin, istasyona entegre edilecek mekanik iyileştirmelerle başarılı bir şekilde düşürülebileceğini kanıtlamaktadır.

Ergonomik risk değerlendirme yöntemlerinin güvenilirlikleri ve birbirleriyle olan tutarlılıkları, literatürde sıklıkla araştırılan bir konudur. Chiasson vd. kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarıyla ilişkili risk faktörlerini değerlendirmede kullanılan sekiz farklı gözlemsel analiz metodunu kapsamlı bir şekilde karşılaştırmıştır. Araştırmacılar, aynı iş görevlerinin farklı yöntemlerle incelendiğinde birbirinden oldukça farklı risk seviyeleri üretebildiğini ortaya koyarak, operasyonun fiziksel doğasına ve zorlanma bölgesine en uygun spesifik aracın seçilmesinin son derece kritik olduğunu vurgulamıştır. Bu bağlamda, çalışmamızda incelenen kauçuk takma/çıkartma gibi tüm vücut duruşunu, dinamik hareketleri ve fiziksel kuvvet uygulamasını eşzamanlı barındıran operasyonlarda REBA yönteminin tercih edilmesi, doğru risk seviyesinin saptanması açısından büyük önem taşımaktadır (Chiasson vd., 2012).

Ağır imalat ve montaj sanayisinde manuel yüklenmelerin mekanik desteklerle azaltılması üzerine yapılan güncel çalışmalarda REBA yönteminin etkinliği dikkat çekmektedir. Darçın ve Alkan bir vinç üretim tesisinde gerçekleştirdikleri çalışmada, montaj ve kaynak gibi zorlayıcı operasyonların ergonomik risklerini REBA yöntemiyle analiz etmiştir. Araştırmada, özellikle uygunsuz postür gerektiren kaynak işlemlerinin REBA skoru 9 (Yüksek Risk) olarak tespit edilmiştir. Bu riskleri minimize etmek amacıyla; yüksekliği ayarlanabilir çalışma masaları ve ergonomik platformlar gibi fiziksel iyileştirmelerin sürece entegre edilmesi önerilmiş ve bu tür mekanik müdahalelerin REBA skorlarını %50'ye varan oranlarda düşürebileceği öngörülmüştür (Darçın ve Alkan, 2025).

İşle ilgili kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına (KİSR) yol açan risk faktörlerinin değerlendirilmesinde kullanılan ergonomik analiz yöntemleri, literatürde geniş bir yelpazede ele alınmaktadır. Bu alandaki değerlendirme araçlarını öz bildirim anketleri, gözlemsel metotlar ve doğrudan ölçüm teknikleri olarak sınıflandırarak sistematik bir biçimde incelemiştir. Araştırmacı; üretim sahasını kesintiye uğratmadan, yüksek maliyetli cihazlara ihtiyaç duymadan ve işçinin doğal çalışma ritmini bozmadan postürel zorlanmaların tespit edilebilmesi için REBA gibi gözlemsel tekniklerin endüstride son derece pratik ve hayati araçlar olduğunu vurgulamıştır. Bu durum, ağır ve yüksek tekrarlı montaj operasyonlarının değerlendirildiği mevcut çalışmada, sahada hızlı ve güvenilir sonuçlar veren REBA yönteminin ana analiz aracı olarak seçilmesinin pratik ve bilimsel gerekçesini desteklemektedir (David, 2005).

Yapılan bir çalışmada REBA analizleri, çalışanların video ve fotoğraflarının araştırmacı tarafından manuel olarak incelenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Ancak gelişen Endüstri 4.0 ve yapay zeka teknolojileri, ergonomik risk analizlerinde yeni yaklaşımlar sunmaktadır. Örneğin, Fan vd. tarafından yapılan güncel bir çalışmada, kameralar ve makine öğrenmesi algoritmaları (YOLOv5, PoseNet) kullanılarak çalışanların eklem açılarını gerçek zamanlı tespit eden ve REBA skorlarını otomatik hesaplayan Bilgisayarlı Görü Tabanlı REBA (CVRE) sistemi geliştirilmiştir (Fan vd., 2022). Gelecekte yapılacak benzer çalışmalarda, bu tür giyilebilir sensör gerektirmeyen (non-intrusive) yapay zeka destekli görüntü işleme teknolojilerinin kullanılması, vardiya boyunca gerçekleştirilen yüksek tekrarlı (örneğin 1600 tekrar/vardiya) işlerin risk analizini çok daha hızlı, sürekli ve objektif hale getirecektir.

Fathurohman vd. otomotiv yedek parça endüstrisinde gerçekleştirdikleri çalışmada, metal işleme ve taşıma gibi operasyonlardaki ergonomik riskleri REBA ve NBM (Nordic Body Map) yöntemleriyle değerlendirmiştir. İncelemede, işçilerin eğilme ve ağır yük taşıma gibi uygunsuz postürleri nedeniyle REBA skorlarının 12'ye (Çok Yüksek Risk) kadar ulaştığı tespit edilmiştir. Araştırmacılar bu riskleri minimize etmek amacıyla, işlemi çalışanı boyuna uygun hale getiren yükseklik ayarlı mekanik taşıma araçları (trolley) gibi mühendislik müdahaleleri uygulamış ve iyileştirme sonrası skorları 'Düşük' risk seviyesine indirmeyi başarmıştır. Bu durum, üretim hatlarında işçinin üzerindeki fiziksel yükü donanımsal desteklerle (makine ve aparatlarla) azaltmanın ergonomik iyileştirmedeki kritik rolünü kanıtlamaktadır (Fathurohman vd., 2024).

Geleneksel REBA yönteminin, girdi değişkenlerindeki (eklem açılarındaki) küçük değişikliklere karşı düşük duyarlılığa sahip olduğu ve tamamen farklı postürler için bile aynı risk skorunu üretebildiği bilinmektedir. Ghasemi ve Mahdavi (2020), geleneksel REBA'nın bu dezavantajlarını ortadan kaldırmak amacıyla bulanık kümeler (fuzzy sets) ve Bayes ağları (Bayesian networks) yaklaşımını kullanarak 'FBnREBA' adında yeni bir skorlama sistemi geliştirmiştir. Bu yeni sistem, keskin sınırları yumuşatarak risk faktörlerindeki değişimlere karşı çok daha hassas bir ölçüm imkanı sunmuştur.

Çalışmanın temel analiz aracı olarak kullanılan REBA (Hızlı Tüm Vücut Değerlendirmesi) yöntemi, ilk olarak Hignett ve McAtamney tarafından geliştirilerek literatüre kazandırılmıştır. Araştırmacılar, özellikle öngörülemeyen ve dinamik çalışma postürlerinin sıkça yaşandığı sektörlerdeki fiziksel riskleri değerlendirmek üzere bu aracı tasarlamıştır. REBA yöntemi; vücudun farklı bölgelerindeki duruş bozukluklarını (A ve B grupları) statik ve dinamik kas aktiviteleriyle birleştirmesinin yanı sıra, yük/kuvvet faktörü ve kavrama kalitesini (tutuş) de hesaba katarak ergonomik zorlanmaları tek bir kantitatif skor üzerinden analiz etmektedir. Bu kurucu çalışma, yöntemin günümüzde otomotiv yan sanayisi gibi yoğun fiziksel efor gerektiren üretim ve montaj hatlarında en güvenilir risk değerlendirme araçlarından biri olarak kabul edilmesinin bilimsel altyapısını oluşturmaktadır (Hignett ve McAtamney, 2000).

Endüstri 5.0 ve insan merkezli akıllı üretim (HSM) yaklaşımlarının gelişmesiyle birlikte, geleneksel REBA değerlendirmelerinin yerini yapay zeka destekli sistemler almaya başlamıştır. *Applied Ergonomics* dergisinde yayımlanan güncel bir çalışmada Huang vd. (2024), geleneksel REBA'nın uzman görüşüne dayalı adım adım değişen risk sınırlarını ortadan kaldırmak için, 3 boyutlu postür yapılandırması (3D pose reconstruction) ve bulanık mantık (fuzzy assessment) tabanlı yeni bir REBA modeli geliştirmiştir. Uluslararası literatürdeki bu

teknolojik sıçrama, üretim sahalarındaki yüksek riskli duruşların tespitinde hata payını sıfıra indirir de; tespit edilen yüksek eforun sönümlenmesi için donanımsal müdahalelere (mekanik desteklere) olan ihtiyacın devam ettiğini göstermektedir.

Endüstriyel üretim hatlarında tekrarlı işlerin ve uygunsuz çalışma duruşlarının kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına (MSD) ve iş gücü kayıplarına yol açtığı bilinmektedir. Özcan tarafından yürütülen araştırmada, otomotiv sektöründeki montaj ve paketleme hattında çalışanların maruz kaldığı fiziksel zorlanmalar incelenmiştir. Çalışmada, antropometrik ölçümler dikkate alınarak tasarlanan mekanik sistemlerin (Karakuri Kaizen) hatta entegre edilmesiyle, sadece ergonomik risklerin (REBA skoru 8'den 3'e) azaltılmadığı; aynı zamanda manuel taşıma işlerinin ortadan kalkmasıyla istasyon çevrim süresinin 120 saniyeden 100 saniyeye düşürülerek hat verimliliğinde %17 oranında artış sağlandığı vurgulanmıştır (Özcan, 2022).

Ağır sanayi ve imalat süreçlerinde yüksek fiziksel zorlanmaların olduğu durumlarda, mekanik desteklerin sürece dahil edilmesi literatürde sıklıkla önerilmektedir. Kansu vd. tarafından kriyojenik tank imalatı yapan bir işletmede gerçekleştirilen REBA analizinde, kaynak personelinin çalışma duruşları incelenmiş ve boyun, gövde, bacak bölgelerindeki aşırı zorlanmalar nedeniyle risk skorunun 11'e (Çok Yüksek Risk) kadar ulaştığı saptanmıştır. Araştırmacılar bu yüksek riskli duruşları bertaraf etmek ve KİSR oluşumunu önlemek adına, yükün insandan alınıp mekanize edildiği 'kaynak pozisyonierleri' ve çeşitli 'döndürücü mekanizmalar' gibi yardımcı sistemlerin kullanılmasını tavsiye etmiştir. Bu yaklaşım, üretim hatlarında insan faktörlü fiziksel yüklerin donanımsal müdahalelerle azaltılmasının ergonomik iyileştirmedeki kilit rolünü göstermektedir (Kansu vd., 2021).

Çalışma ortamında yapılan ergonomik müdahalelerin kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarını (KİSR) önlemedeki etkinliği, endüstriyel ergonomi literatürünün temel dayanaklarından biridir. Karsh vd. işyerlerinde uygulanan ergonomik iyileştirmelerin mesleki rahatsızlıklar üzerindeki kontrol edici rolünü kapsamlı bir incelemeyle ortaya koymuştur. Araştırmacılar, operatör üzerindeki fiziksel zorlanmaları kaynağında yok eden mühendislik tabanlı müdahalelerin, çalışan sağlığını korumada ve riskleri minimize etmede en geçerli yöntem olduğunu belirtmiştir. Bu bilimsel temel, çalışmamızda yalnızca REBA ile risk tespiti yapmakla yetinilmeyip, kauçuk takma-çıkartma prosesine doğrudan mekanik bir pompa entegre edilmesinin (mühendislik müdahalesi) literatürle ne kadar uyumlu ve zorunlu bir adım olduğunu açıkça kanıtlamaktadır (Karsh vd., 2001).

Ergonomik risk değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılan OWAS, RULA ve REBA yöntemlerinin güvenilirliği ve kullanım alanları literatürde sıklıkla tartışılmaktadır. Kee bu üç yöntemi literatür taraması üzerinden sistematik olarak karşılaştırmıştır. Araştırmacı, RULA yönteminin genellikle daha yüksek ve hassas risk seviyeleri ürettiğini belirterek, tüm vücudun (özellikle bacakların ve alt ekstremitenin) değerlendirildiği durumlarda REBA yönteminin risk seviyelerini daha dengeli, kapsamlı ve tutarlı bir şekilde ortaya koyduğunu vurgulamıştır. Bu çalışma, ağır sanayide tüm vücut hareketlerinin analizinde REBA yönteminin seçilmesinin doğruluğunu akademik olarak desteklemektedir (Kee, 2022).

Ergonomik risk analizlerinin geleneksel gözleme dayalı yöntemlerden dijital ortamlara taşınması güncel literatürde dikkat çeken bir konudur. Kshirsagar vd. imalat sektöründe uzun süre sabit duruşla çalışan CNC operatörlerinin maruz kaldığı fiziksel zorlanmaları değerlendirmek için Dijital İnsan Modelleme (DHM) teknolojisini ve REBA yöntemini birlikte kullanmıştır. Çalışmada, iş istasyonlarındaki duruş bozukluklarının DHM kullanılarak bilgisayar ortamında simüle edilmesiyle, fiziksel bir müdahale veya üretim değişikliği yapılmadan önce ergonomik iyileştirmelerin test edilebileceği ve daha güvenli çalışma alanları tasarlanabileceği kanıtlanmıştır (Kshirsagar vd., 2024).

Manuel hesaplama süreçlerinin yarattığı zaman kaybını ortadan kaldırmak için Lal vd. (2026), Python ve MediaPipe teknolojilerini temel alan bilgisayar destekli bir değerlendirme sistemi (CBRRES) geliştirmiştir. Özellikle gıda sektöründeki (roti yapımı) tekrarlı işleri analiz etmek için Uzun Kısa Vadeli Bellek (LSTM) ağlarını kullanan bu sistem, insan uzmanlara kıyasla %93 doğruluk oranıyla gerçek zamanlı REBA ve RULA skorları (kare başına 500-700 ms) üretmeyi başarmış ve insan hatalarını minimize etmiştir.

Ergonomik analizleri otonom hale getirmek amacıyla Li vd. (2020), standart RGB kameralardan alınan görüntüleri kullanarak derin öğrenme (deep learning) tabanlı, gerçek zamanlı yeni bir algoritma önermiştir. Giyilebilir sensörlerin çalışanları rahatsız etmesi veya derinlik kameralarının görsel menzil kısıtları gibi fiziksel zorlukları ortadan kaldıran bu sistem, aksiyon seviyelerini %93 doğrulukla ve saniyede 29 kare hızında dijital olarak tespit etmeyi başarmıştır.

İmalat sektöründe manuel işlemlerin kas-iskelet sistemi üzerindeki yükü, otomasyonun yetersiz kaldığı noktalarda ciddi seviyelere ulaşmaktadır. Rahman vd. sac metal işleme ve lazer kesim operasyonlarının ergonomik etkilerini inceleyerek, manuel taşıma ve yük kaldırma işlemlerinin işçi sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini REBA yöntemi ile değerlendirmiştir. CMDQ (Cornell Kas-İskelet Sistemi Rahatsızlık Anketi) ile de desteklenen araştırma sonucunda, sürekli tekrarlanan ağır kaldırma ve eğilme hareketlerinin özellikle alt ve üst sırt bölgelerinde yüksek risk oluşturduğu tespit edilmiş ve bu risklerin minimize edilmesi için iş istasyonu tasarımlarının yeniden gözden geçirilmesi gerektiği vurgulanmıştır (Rahman vd., 2026).

Otomotiv sanayisinde üretim bantlarında gerçekleştirilen ardışık operasyonların ergonomik riskleri, çalışan performansını doğrudan etkilemektedir. Sandeep vd., bir araç montaj hattında yürütülen 36 farklı görevin ergonomik risklerini REBA aracını kullanarak detaylı bir şekilde analiz etmiştir. Montaj işlemlerini çeşitli gruplara bölen araştırmacılar, her bir işlem için vardiya başında ve sonunda risk seviyelerini ölçerek yorgunluğun ve duruş bozukluğunun en çok etkilediği vücut bölgelerini tespit etmiştir. Çalışma, otomotiv montaj hattındaki yüksek riskli işlemlerin antropometrik ölçümlere dayalı donanımsal değişikliklerle düzeltilmesi gerektiğini açıkça ortaya koymuştur (Sandeep vd., 2020).

Çalışma duruşlarındaki risklerin tespitinde kullanılan yöntemlerin skor değişkenlikleri, doğru analiz için büyük önem taşımaktadır. Tayland'daki bir metal kaplama endüstrisinde gerçekleştirilen araştırmada Sirikasemsuk vd. çalışanların çalışma duruşlarındaki riskleri değerlendirmek için RULA ve REBA yöntemlerinin sonuçlarındaki değişkenliği istatistiksel olarak karşılaştırmıştır. Fiziksel rahatsızlıkları CMDQ anketi ile de doğrulayan yazarlar, her iki yöntemin risk seviyelerindeki hassasiyet farklarını ortaya koyarak, tüm vücudu kapsayan değerlendirmelere ihtiyaç duyulan proseslerde operasyonun doğasına en uygun risk analizi yönteminin seçilmesinin gerekliliğini belirtmiştir (Sirikasemsuk vd., 2024).

Ağır sanayide gerçekleştirilen montaj işlemlerindeki fiziksel riskler, mekanik destek sistemleriyle büyük ölçüde bertaraf edilebilmektedir. Sunardi ve Yuniar, ağır ekipman imalatı ve otomotiv tekerlek montajı gibi yoğun fiziksel efor ve tekrarlı hareket gerektiren süreçleri REBA yöntemiyle incelemiştir. Çalışmada, özellikle montaj sırasındaki eğilme, dönme ve ağır yük manipülasyonu hareketlerinin çalışanların kas-iskelet sisteminde yarattığı yüksek riskler sayısal olarak ortaya konulmuş ve bu zorlayıcı işlemlerin mekanik kaldırma aparatları ve istasyon iyileştirmeleriyle desteklenerek risk seviyelerinin düşürülmesi gerektiği savunulmuştur. Bu araştırma, otomotiv imalatındaki ağır operasyonlarda donanımsal müdahalelerin zorunluluğunu kanıtlar niteliktedir (Sunardi ve Yuniar, 2024).

Biyomekanik maruziyetlerin ve fiziksel zorlanmaların değerlendirilmesinde kullanılan gözlemsel yöntemlerin güvenilirliği, literatürde kapsamlı araştırmalara konu olmuştur. Takala vd. işyerindeki postürel risk faktörlerini analiz etmek amacıyla geliştirilen çeşitli gözlemsel metotları sistematik olarak incelemiş ve bu araçların sahadaki uygulanabilirliklerini değerlendirmiştir. Araştırmacılar; karmaşık cihazlara, giyilebilir sensörlere veya laboratuvar ortamlarına ihtiyaç duymadan, doğrudan üretim sahasında risk tespiti yapabilen bu yöntemlerin, ergonomik müdahalelere yön vermede son derece pratik ve geçerli olduğunu vurgulamıştır (Takala vd., 2010).

Üretim ve montaj hatlarındaki kısıtlı çalışma alanlarının işçi ergonomisi üzerindeki etkisi, International Journal of Industrial Ergonomics literatüründe geniş yer bulmaktadır. Wang vd. (2025), montaj operasyonlarındaki erişilebilirlik sorunlarını ve ergonomik zorlanmaları ölçmek için Dijital İnsan Modelleri (DHM) ile REBA yöntemini entegre eden kapsamlı bir analiz sunmuştur. Çalışmada, fiziksel hareket serbestisinin kısıtlandığı montaj işlemlerinin REBA skorlarını dramatik şekilde artırdığı kanıtlanmıştır. Yazarlar, bu risklerin azaltılabilmesi için insan gücünün donanımsal iyileştirmelerle desteklenmesi gerektiğini vurgulayarak, çalışmamızda önerilen pnömatik aparat kullanımının montaj hatlarındaki önemini desteklemiştir.

Literatürdeki mevcut ergonomik müdahale çalışmaları bütüncül olarak incelendiğinde, risk azaltma stratejilerinin genel olarak iki ana ekseninde toplandığı görülmektedir: İdari kontroller (administrative controls) ve mühendislik kontrolleri (engineering controls). İş rotasyonu, mola optimizasyonu veya postür eğitimlerini kapsayan idari kontroller; özellikle kauçuk-mandiren montajı gibi yüksek tekrar frekansına ve statik zorlanmaya sahip operasyonlarda, riskin kök nedenini (manuel kuvveti) ortadan kaldıramadıkları için etki büyüklükleri sınırlı kalmaktadır. Buna karşılık, literatürdeki mühendislik kontrollerini temel alan donanımsal müdahalelerin (örn. Akın vd., 2022'nin mengene sistemi veya Özcan, 2022'nin Karakuri uygulaması) riski kaynağında mekanize ederek REBA skorlarında daha keskin ve sürdürülebilir düşüşler sağladığı görülmektedir. Ancak literatürdeki bu mühendislik çözümlerinin birçoğu yalnızca çalışma açısını (postürü) iyileştirmekle yetinmiştir. Bu çalışma ise, manuel çekme/itme kuvvetini operatörden alıp tamamen pnömatik bir pompaya devrederek, mühendislik kontrollerinin literatürdeki 'sınırlı postür iyileştirmesi' boşluğunu dolduran uç bir uygulamasını sunmaktadır.

Literatürde yer alan ve REBA metodolojisi kullanılarak gerçekleştirilen çeşitli ergonomik müdahalelerin (idari ve mühendislik kontrolleri) etki büyüklükleri (Δ -REBA), çalışmanın literatürdeki konumunu analitik olarak netleştirmek amacıyla Tablo 1'de sistematik olarak sınıflandırılmıştır.

Tablo 1. Δ -REBA Etkisi (Δ -REBA Effect)

Araştırmacı / Yıl	Sektör / Operasyon Türü	Kontrol Tipi	Uygulanan / Önerilen Müdahale	Önceki REBA Skoru	Sonraki REBA Skoru	Etki Büyüklüğü (Δ -REBA)
Akın vd. (2022)	Otomotiv Yan Sanayi / Kauçuk Hortum Ayırma	Mühendislik Kontrolü	Mekanik Mengene Sistemi Entegrasyonu	12	7	-5
Darçın ve Alkan (2025)	Ağır İmalat / Vinç Montaj ve Kaynak	Mühendislik (Öneri)	Yükseklik Ayarlı Çalışma Masaları ve Platformlar	9	%50 Azalım Öngörüsü	~-4.5 (Öngörü)
Fathurohman vd. (2024)	Otomotiv Yedek Parça / Metal İşleme ve Taşıma	Mühendislik Kontrolü	Yükseklik Ayarlı Mekanik Taşıma Araçları (Trolley)	12	Düşük Risk (2-3)	~ -9
Özcan (2022)	Otomotiv / Montaj ve Paketleme Hattı	Mühendislik Kontrolü	Karakuri Kaizen (Mekanik Sistemler)	8	3	-5
Rahman vd. (2026)	Sac Metal İşleme / Lazer Kesim ve Paketleme	İdari Kontrol / İstasyon Düzenleme	İş İstasyonu Yüksekliği Ayarı ve Süreç İyileştirmesi	8	4	-4
Sirikasemsuk vd. (2024)	Metal Kaplama Endüstrisi / Hat Operasyonları	İdari Kontrol	Postür Eğitimi ve İş Rotasyonu Uygulamaları	9	6	-3
Bu Çalışma (2026)	Otomotiv Yan Sanayi / Kauçuk-Mandiren Fırın Hattı	Mühendislik Kontrolü	Pnömatik/Mekanik Pompa Entegrasyonu (Kaynağında Önleme)	10 / 11	3	-7/-8 (Keskin ve Nihai Risk Düşüşü)

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Yapılan çalışmada, Kocaeli ilinde otomotiv ana sanayisine parça üretimi yapan bir firmanın fırın hattındaki çalışma şartları, "iş bilimi" olarak da isimlendirilen ergonomi prensipleri çerçevesinde analiz edilmiştir. Ergonominin temel amacı olan işin insana, insanın da işe uyumunu sağlamak ilkesinden hareketle; fırın hattında gerçekleştirilen ve günde ortalama 1600 kez tekrarlanan kauçuk takma-çıkartma operasyonu mercek altına alınmıştır. Çalışanların bu süreçte maruz kaldığı fiziksel yükü ve olası kas-iskelet sistemi hastalıkları riskini bilimsel verilerle ortaya koyabilmek adına, literatürde tüm vücut değerlendirmesinde yaygın olarak kullanılan Hızlı Tüm Vücut Değerlendirme (REBA - Rapid Entire Body Assessment) yöntemi tercih edilmiştir. McAtamney ve Hignett (Hignett ve McAtamney, 2000) tarafından geliştirilen bu yöntem, çalışanın operasyon anındaki postürünü (duruşunu) bölümlere ayırarak puanlayan ve risk seviyesini sayısal bir skora dönüştüren kapsamlı bir metodolojidir.

Çalışmanın uygulama aşamasında, fırın hattındaki kauçuk takma ve çıkartma işlemleri sırasında çalışanların en kritik duruşları fotoğraflanmış; gövde, kol, ayak ve boyun gibi bölgelerin fleksiyon açıları bu görseller üzerinden ölçülerek mevcut durum analizi gerçekleştirilmiştir. Mevcut durumdaki yüksek risk seviyelerini minimize etmek amacıyla, bakım departmanı ile koordineli bir şekilde sürece mekanik bir pompa entegre edilmiştir. Bu iyileştirme ile fiziksel yükün çalışandan makineye aktarılması hedeflenmiştir. Müdahale sonrası yeni çalışma düzeni tekrar REBA yöntemiyle analiz edilerek, yöntemin sağladığı sayısal veriler ışığında iyileştirmenin etkinliği ve risk

seviyesindeki düşüş somut bir şekilde raporlanmıştır.

3.1. REBA Yöntemi (REBA Method)

Giriş bölümünde temel felsefesi açıklanan REBA metodolojisi, bu çalışmada kauçuk-mandiren operasyonunun risk düzeyini ölçmek için kullanılmıştır. Yöntemin uygulanmasında A grubu (gövde, boyun, bacak) ve B grubu (üst kol, alt kol, bilek) postürleri analiz edilerek nihai risk skorları elde edilmiştir.

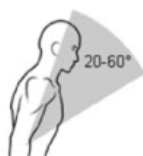
A grubu puanı hesaplanırken; boyun, gövde ve bacak duruşlarına ait puanlar standart REBA A matrisinde kesiştirilir ve elde edilen bu değere yük/kuvvet puanı da eklenerek nihai A skoru ortaya çıkarılır.

Şekil 1’de boyun duruş durumuna göre bir puan belirlenir.

1. Adım: Boyun değerlendirme			
Duruş şekli			
Puan	1	2	2
Yapılan iş gereği ekstra hareket varsa ilave edilecek puan:			
Boyunda dönme varsa ilave	1		
Boyunda sağa-sola eğilme varsa ilave	1		

Şekil 1. REBA boyun puanlaması (REBA neck scoring) (Kansu vd., 2021)

Aşağıdaki Şekil 2’de gövdenin çalışma esnasındaki konumuna göre alacağı puanlar gösterilmiştir. Çalışanın iş esnasındaki gövde pozisyonuna göre 4 puandan biri dikkate alınır ve ayrıca eğer gövde bölgesinde sağa-sola dönme hareketi var veya sağa-sola eğilme durumu söz konusu ise 1’er puan değişim puanı eklenerek gövde puanı hesaplanır.

2. Adım: Gövde değerlendirmesi					
Duruş şekli					
Puan	1	2	2	3	4
Yapılan iş gereği ekstra hareket varsa ilave edilecek puan:					
Gövde de dönme varsa ilave					1
Gövde de sağa-sola eğilme varsa ilave					1

Şekil 2. REBA gövde puanlaması (REBA trunk scoring) (Kansu vd., 2021)

Şekil 3’te çalışanın iş anındaki bacağının konumuna göre verilebilecek puanlar belirtilmiştir. Eğer yük çalışanın tek ayağı üzerine yükleniyorsa 2 puan, yük iki ayak için de eşit düzeyde dağılıyorsa 1 puan verilir. Ayrıca diz

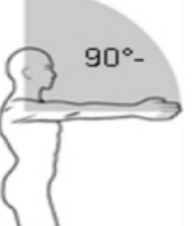
bölgesinde 60°'den fazla bir bükülme durumu söz konusu ise değişim puanı olarak 1 puan eklenir. Eğer çalışanın diz bölgesinde 30° ile 60° arasında bir bükülme söz konusu ise 1 puan eklenir. Örneğin bir çalışan iş yapış sırasında yük tek ayağı üzerine biniyorsa 2 puan alır, aynı zamanda çalışan dizini 60°'den fazla bir şekilde bükmüş ise +1 değişim puanı eklenir. Toplamda A grubunun REBA bacak puanı 3 olarak hesaplanır.

3. Adım: Bacak değerlendirmesi					
Duruş şekli			İlave değişim için:		
	Yük iki bacak üzerinde eşit dağılım, yürüme veya oturma	Yük tek bacak üzerinde, dengesiz duruşlar		30-60°	>60
Puan	1	2			
Yapılan iş gereği ekstra hareket varsa ilave edilecek puan:					
Dizler 30° ile 60° arasında bükülüyorsa ilave					1
Dizler 60°'den fazla arasında bükülüyorsa ilave (otururken hariç)					2

Şekil 3. REBA bacak puanlaması (REBA legs scoring) (Kansu vd., 2021)

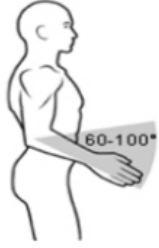
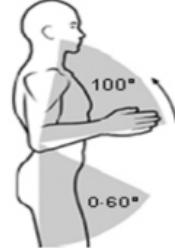
Son olarak yük/kuvvet puanı da tanımlandıktan sonra bu değer A tablosu değeri ile toplanarak A grubu için REBA skoru tayin edilmiş olur. B puanı temel olarak kol ve bilek grubunu analiz eder ve iki ana adımdan oluşur: Önce üst kol, alt kol ve bileğin duruşuna göre bir puan (Tablo B puanı) belirlenir, ardından bu puana tutuş (kavrama) puanı eklenerek nihai B skoruna ulaşılır.

İlk olarak, analizi yapılan duruş anındaki kol ve bilek pozisyonları için ayrı ayrı puanlar verilir. Üst kol puanı üst kolun gövdeye göre fleksiyon (öne eğilme) veya ekstansiyon (arkaya gitme) açısına göre puanlanır. Şekil 4'te üst kol puanlamasının nasıl yapılacağı belirtilmektedir.

1. Adım: Üst kol değerlendirmesi					
Duruş şekli					
	20°	20°	20-45°	45-90°	90°
Puan	1	2	2	3	4
Yapılan iş gereği ekstra hareket varsa ilave edilecek puan:					
Omuzlar yukarı kalkık çalışma yapıyorsa ilave					1
Çalışma sırasında üst kolun hareketi engelleniyorsa ilave					1
Çalışma sırasında kollar destekleniyorsa, çalışmaya yardımcı unsurlar varsa ilave					-1

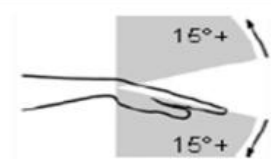
Şekil 4. REBA üst kol puanlaması (REBA upper arm scoring) (Kansu vd., 2021)

Alt kol puanı ise alt kolun dirsekten bükülme açısına göre puanlanır. Şekil 5'te puanlamaya ait bilgiler verilmiştir.

2. Adım: Alt kol değerlendirilmesi		
Duruş şekli		
Puan	1	2

Şekil 5. REBA alt kol puanlaması (REBA lower arm scoring) (Kansu vd., 2021)

Bilek puan bileğin bükülme (fleksiyon/ekstansiyon) açısına göre tespit edilir. Şekil 6 puanlama hakkında bilgi vermektedir.

3. Adım: Bilek değerlendirilmesi		
Duruş şekli		
Puan	1	2
Yapılan iş gereği ekstra hareket varsa ilave edilecek puan:		
Bilekler sağa veya sola bükülüyorsa ilave		1
Bilekler döndürülüyorsa ilave		1

Şekil 6. REBA bilek puanlaması (REBA wrist scoring) (Kansu vd., 2021)

Elde edilen bu üç ayrı puan (üst kol, alt kol ve bilek) aritmetik olarak toplanmaz; REBA yöntemine ait standart B matrisinde değerlendirilir. Bu üç değer matris üzerindeki kesişim noktası baz alınarak tek bir B grubu duruş puanı elde edilir. İlk adımda elde edilen B grubu duruş puanına (Tablo B puanı), çalışanın ekipmanı veya nesneyi nasıl kavradığını değerlendiren Tutuş Puanı eklenir. A ve B skorları, C tablosuna yerleştirilerek C puanı hesaplanır; ardından aktivite yoğunluğu puanı eklenerek nihai REBA skoru elde edilir.

3.2. Uygulama (Application)

Çalışmanın metodolojik kurgusu oluşturulurken, mevcut literatürdeki benzer ergonomik müdahaleler incelenmiştir. Literatürde, aynı sektördeki kauçuk-maça operasyonlarında mekanik mengene sistemlerinin kullanıldığı (Akın vd., 2022) veya farklı montaj hatlarında Karakuri Kaizen uygulamalarıyla (Özcan, 2022) fiziksel yükün azaltıldığı bilinmektedir. Ancak Akın vd. (2022) tarafından uygulanan mekanik mengene sisteminde, parçanın sabitlenmesine rağmen operatörün kauçuğu ayırmak için hala manuel bir çekme kuvveti uygulaması gerekmiş ve REBA skoru en fazla 7'ye (Orta Risk) düşürülebilmıştır. Bu çalışmanın metodolojisi ise 'kaynağında önleme prensibine dayanmakta olup, operatörün manuel kuvvet (itme/çekme) uygulamasını tamamen ortadan kaldırmayı hedeflemiştir. Bu bağlamda, sürece mekanik bir pompa entegre edilerek işlemin doğası gereği oluşan tüm fiziksel yük makineye devredilmiş ve önceki çalışmalardan farklı olarak riskin üç seviyesine (Düşük Risk) kadar indirilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışma, Kocaeli ilinde otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir üretim işletmesinde gerçekleştirilmiştir. Ergonomik risk analizi süreci kapsamında, İş Sağlığı ve Sürekli İyileştirme departmanları ile yapılan değerlendirmeler sonucunda; çalışma koşullarının ergonomik açıdan en riskli olduğu saptanan 'fırın hattı' prosesi seçilmiştir. Söz konusu hat, kauçuk malzemelerin fırınlama işlemine tabi tutulduğu aşamayı kapsamaktadır. Seçilen fırın hattındaki prosenin işleyişi şu adımlardan oluşmaktadır:

Bu uygulama alanı (kauçukların mandirene elle takılması ve çıkartılması), yüksek riskli duruşu ve yüksek tekrar sayısı nedeniyle ergonomik iyileştirme için seçilmiştir. Şekil 7’de proses iş akışı gösterilmiştir.



Şekil 7. Proses akışı (Process flow)

Şekil 8’de mandirenler ve mandirenlere takılı halde bulunan kauçuklar gösterilmiştir. Şekilsiz olarak gelen kauçuk mandirene takıldıktan sonra mandirenin şeklini alır ve fırına girer.



Şekil 8. Mandirenler ve kauçuklar (Chucks and rubbers)

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Bu bölümde, Kocaeli ilindeki otomotiv yan sanayi işletmesinin fırın hattında gerçekleştirilen kauçuk-mandiren montaj/demontaj operasyonlarına ait mevcut durum (manuel işlem) ile müdahale sonrası iyileştirilmiş durum (mekanik pompa destekli işlem) REBA analizlerinin karşılaştırmalı bulguları sunulmaktadır.

Uygulamaya ilk olarak kauçukları manuel takma prosesi için A grubunun puanlanmasıyla başlamıştır.

Gövde Puanı: İşlem sırasında işçinin vücudunda 45-60° arasında bir eğilme (3 puan) gözlemlenmiştir. Ayrıca gövde hem dönmeye hem de yana eğilmeye maruz kaldığı için +1 puan daha eklenerek gövde puanı 4 olmuştur.

Boyun Puanı: Boyun kısmında 20°’den fazla fleksiyon (eğilme) (2 puan) ve yana dönme hareketi (+1 puan) tespit edilmiştir. Böylece boyun skoru 3 olarak bulunmuştur.

Bacak Puanı: Ağırlık tek bacak üzerinde (2 puan) ve dizlerde 30°- 60° arası fleksiyon (+1 puan) olduğu için bacak skoru 3 olarak tespit edilmiştir.

Şekil 9'da kauçuğun mandirene manuel olarak el ile takılma anı verilmiştir.



Şekil 9. Kauçuğun mandirene manuel olarak el ile takılma anı (The rubber is attached to the chuck manually by hand.)

Nihai A Skoru: Bu değerler (Gövde=4, Boyun=3, Bacak=3) A Grubu tablosunda incelendiğinde A puanı 8 olarak elde edilmiştir. Bu puana Yük/Kuvvet puanı (0 olarak bulunmuş) eklendiğinde Nihai A Skoru 8 olarak kalmıştır Tablo 2'de A skoru, Tablo 3'te ise yük/kuvvet tablosu gösterilmiştir.

Analiz edilen proseste, kauçuk parçaların ağırlığı 5 kg'ın altında olduğu için REBA metodolojisi uyarınca Yük/Kuvvet puanı 0 olarak kaydedilmiştir. Ancak metin içerisinde vurgulanan 'aşırı kuvvet uygulaması', parçanın ağırlığından ziyade kauçuğu mandirenden ayırmak için operatörün harcadığı statik çekme ve gerilme kuvvetini ifade etmektedir. Bu durum, ağırlık bazlı puanlamaya yansımada da operatör üzerindeki fiziksel yorgunluğun ve kas-iskelet sistemi riskinin temel kaynağını oluşturmaktadır.

Tablo 2. A skoru (Score A)

BOYUN SKORU													
BACAK SKORU	1				2				3 ★				4
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3 ★	4	
GÖVDE SKORU	1	1	2	3	4	1	2	3	4	3	3	5	6
	2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
	3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
	★ 4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
	5	4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9

Tablo 3. Yük/kuvvet tablosu (Load/force table)

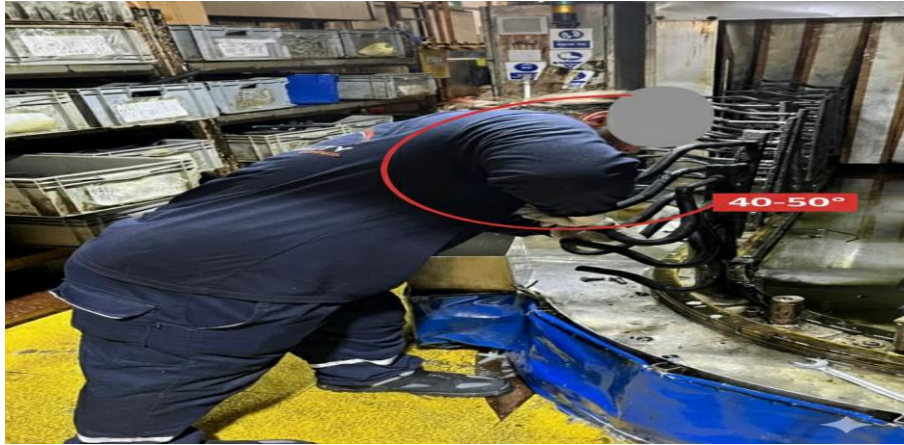
YÜK/KUVVET TABLOSU			
0 ★	1	2	1
<5 KG	5-10 KG	>10 KG	Ani veya hızla artan güç kullanımı gerektiğinde

Kauçukları manuel takma prosesi için B grubunun puanının hesaplaması ise aşağıdaki gibidir.

Kol Puanları: Üst kol açısı 45-90° arasında (3 puan), alt kol açısı 60-100° arasında (1 puan) olduğu belirlenmiştir.

Bilek Puanı: Bilek açısı 0-15° aralığında olduğundan 1 puan verilmiştir.

Şekil 10'da çalışanın kauçuğu takma anı gösterilmektedir.



Şekil 10. Kauçuk takılma anı (Rubber attachment moment)

Tablo B Puanı: Tüm bu kriterlerin (Üst kol=3, Alt kol=1, Bilek=1) toplamı doğrultusunda (Tablo B'den) B skoru 3 olarak hesaplanmıştır. Tablo 4'te B tablosu görülmektedir.

Tablo 4. B tablosu (Table B)

ALT KOL								
		1 ★			2			
		★ 1			2			
		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	

Nihai B Skoru: Ekipmanın elle tutulması "kısmen kabul edilebilir" (ideal olmayan bir tutuş) olarak değerlendirilmiş ve tutuş puanı 1 olarak belirlenmiştir. Bu puan eklendiğinde Nihai B Skoru 4 olarak tespit edilmiştir.

Kauçukların manuel olarak takılmasına ilişkin uygulama sonucu ise aşağıdaki gibidir.

C Puanı: Hesaplanan Nihai A Skoru (8) ve Nihai B Skoru (4), C tablosuna yerleştirildiğinde C puanı 9 olarak bulunmuştur. Tablo 5'te C tablosu gösterilmiştir.

Tablo 5. C tablosu (Table C)

C TABLOSU												
B PUANI												
A PUANI	1	2	3	★ 4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
6	5	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
7	6	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
★ 8	7	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
9	8	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12
10	9	10	10	11	11	11	12	12	12	12	12	12
11	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12
12	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Nihai REBA Skoru: C puanına (9) aktivite yoğunluğu puanı eklendiğinde, nihai REBA skoru 10 olarak tespit edilmiştir. Değerlendirme: Bu skor (10), "yüksek risk seviyesi" anlamına gelmektedir. Analiz sonucunda, çalışanın çalışma ortamının ergonomik olmadığı ve ivedilikle müdahale edilmesi gerektiği tespit edilmiştir.

Kauçukları manuel takma prosesi için uygulama sona erdikten sonra şimdi ise kauçukları manuel çıkartma prosesi için uygulama sonuçları aşağıda verilmiştir.

Aşağıdaki duruş kauçukların fırından çıkartılma anına aittir. Çalışan kauçukları eliyle mandirenden çıkartmaktadır ve bu da çalışanın epey zorlanmasına sebebiyet vermektedir. Çalışan bu işlemi günde ortalama 1600 kere yapmaktadır.

Şekil 11 çalışanın kauçukları çıkartma anına aittir.



Şekil 11. Kauçukların manuel olarak çıkartılma anı (The moment the rubber seals are manually removed.)

REBA yönteminde A skoru değerlendirildiğinde, mandirenden kauçuk çıkartma işlemi sırasında işçinin vücudunda 60°'den fazla bir eğilim söz konusu olup bu durumdan sebep 4 puan verilmiştir. Ayrıca gövde dönmeye ve eğilmeye maruz kaldığı için +1 puan daha eklenerek gövde puanı 5 olmaktadır. Boyun kısmı incelendiğinde 20°'den fazla fleksiyon gözlemlendiği için skor 2 idi. Ayrıca boyunda yana dönme hareketi olduğu için skora +1 eklenir. Böylece boyun skoru 3 olarak bulundu.

Bacaklarda ağırlık tek bacak üzerinde olduğu için skorun 2 olması gerekli fakat dizlerde 30° - 60° arası fleksiyon olduğu için skora +1 ekledik ve bacak skoru 3 olarak tespit edildi. A Grubu tablosunda bu değerler incelendiğinde A puanı 9 olarak elde edilmiştir.

Kauçukların mandirenlerden manuel olarak çıkartılma prosesine ait A grubu puanlaması yapıldıktan sonra şimdi ise B grubu puanlaması aşağıda verilmiştir.

B grubu bileşenlerinde; üst kol açısının 45 derece olması nedeniyle 2 puan, alt kol açısının 100 dereceden fazla olması dolayısıyla 2 puan verilmiştir. Bilek açısının 15 dereceden fazla olması nedeniyle 2 puan verilmiştir. Fakat bileğin bükülmesi kaynaklı 1 puan daha eklenir ve toplam bilek puanı 3 olarak hesaplanır. Üst kolda ise üst kolun hareketinin engellenmesi kaynaklı 1 puan daha eklenir ve üst kol toplamı 3 puan olur. Alt kol için herhangi bir ilave puan yoktur ve alt kol toplam puanı 2'dir. Ekipmanın elle tutulması kısmen kabul edilebilir ancak ideal bir durum değildir; çünkü kullanıcı, yeterli kavrama desteğini sağlamak için bedensel destek almak durumundadır. Bu durumda da tutuş puanının 1 olması kaynaklı nihai B skoru 6 olarak tespit edilmiştir.

Şekil 12 kauçukların el ile manuel olarak çıkartılması anına aittir.



Şekil 12. Kauçukların manuel olarak çıkartılma anı (The moment of the rubber seals are manually removed.)

A ve B gruplarının puanları tespit edildikten sonra kauçukların manuel olarak çıkartılmasına ilişkin nihai puan aşağıda belirtilmiştir.

A ve B skorları, C tablosuna yerleştirilerek C puanı hesaplanır; ardından aktivite yoğunluğu puanı eklenerek nihai REBA skoru elde edilir. Yapılan tespitler sonucunda C tablosunun skorunun 10 olduğu anlaşılmıştır. Ardından aktivite puanı eklenip ve REBA skorunun 11 olduğu tespit edilmiştir.

Bu durum çok yüksek risk seviyesinde sayılmaktadır. Yapılan çalışma sonucuna göre çalışanın çalışma ortamının ergonomik olmadığı ve ivedilikle müdahale edilmesi gerektiği tespit edilmiştir.

Tablo 6'da C tablosu görülmektedir.

Tablo 6. C tablosu (Table C)

C TABLOSU												
A PUANI	B PUANI											
	1	2	3	4	5	★ 6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
4	3	4	4	4	5	6	7	8	9	9	9	9
5	4	4	4	5	6	7	8	9	9	9	9	9
6	5	6	6	7	8	9	9	9	10	10	10	10
7	6	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
★ 9	7	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
9	8	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12
10	9	10	10	11	11	1	11	12	12	12	12	12
11	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12
12	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Aşağıdaki Tablo 7 oluşan REBA skoruna göre risk seviyesini göstermektedir.

Tablo 7. Risk seviyesi tablosu (Risk level table)

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

İyileştirilmiş duruma ait sonuçlar ise aşağıda verilmiştir.

Mevcut durum analizinde, çalışanın yaptığı işin yüksek risk düzeyinde ergonomik uygunsuzluk teşkil ettiği tespit edildiğinden, süreci iyileştirmek için hemen çalışmalara başlanmıştır.

Yapılan denemede, Bakım departmanı tarafından kullanılan bir pompa, fırın hattına test amaçlı getirilmiştir. İyileştirmenin temel amacı, çalışanın mandırene kauçukları takarken uyguladığı fiziksel yükü makineye (pompayı) aktarmaktır. Bu müdahale ile hem çalışanın ergonomik risk düzeyinin düşürülmesi hem de üretimde zaman tasarrufu sağlanarak hattın daha verimli hale gelmesi hedeflenmiştir.

Yeni yöntemde çalışan, kauçukları mandırene artık eliyle değil, pompa yardımı ile takmaktadır. Analiz edilen duruş, kauçukların fırındaki mandirenlere pompa ile takılma anına aittir. Bu yöntemin uygulanmasıyla çalışanın ergonomik risk seviyesinin minimuma indirilmesi amaçlanmaktadır. Yeni çalışma duruşu REBA yöntemiyle tekrar analiz edilmiştir. Şekil 13'te pompa gösterilmiştir.



Şekil 13. Pompa (pump)

Kauçukların pompa ile takılmasına ilişkin A grubu puanlaması aşağıdaki gibidir.

Gövde Puanı: Pompa ile kauçuk takma işlemi sırasında çalışanın vücudunun eğilme aşamasında olmadığı tespit edilmiş ve gövde puanı 1 olarak hesaplanmıştır.

Boyun Puanı: Boyun kısmında 0° - 20° arasında (kabul edilebilir) bir fleksiyon gözlemlendiği için boyun skoru 1 olarak bulunmuştur.

Bacak Puanı: Ağırlık çift bacak üzerinde dengeli olduğu ve diz bölgesinde bir kırılma (fleksiyon) olmadığı için bacak skoru 1 olarak tespit edilmiştir.

Nihai A Skoru: Bu değerler (Gövde=1, Boyun=1, Bacak=1) A Grubu tablosunda incelendiğinde A puanı 1 olarak elde edilmiştir. Bulunan A skoruna Yük/Kuvvet tablosundaki değer (0 olarak bulunmuştur) eklendiğinde, Nihai A Skoru 1 puan olarak tespit edilmiştir.

Şekil 14'te pompa yardımı ile kauçukların takılması gösterilmiştir.



Şekil 14. Pompa yardımı ile kauçukların takılması (Installing rubber seals with the help of a pump)

Kauçukların pompa ile takılmasına ilişkin B grubu puanlaması aşağıdaki gibidir.

Kol Puanları: Üst kol açısının 45 ile 90 derece arasında olması nedeniyle 3 puan, alt kol açısının 60 ile 100 derece arasında yer alması dolayısıyla 1 puan verilmiştir.

Bilek Puanı: Bilek açısının 0 ile 15 derece aralığında bulunmasından ötürü 1 puan verilmiştir. Bilek puanı toplamda 1 puan olarak hesaplanmıştır.

Aşağıdaki fotoğraf kauçukların pompa yardımı ile mandirene takılma anına aittir.

Şekil 15'te pompa yardımı ile çalışanın kauçukları taktığı an gösterilmiştir.



Şekil 15. Pompa yardımı ile kauçukların takılması (Installing rubber seals with the help of a pump)

Tablo B Puanı: Tüm bu kriterlerin toplamı doğrultusunda B skoru 3 puan olarak hesaplanmıştır. B skoru Tablo 8'de gösterilmiştir.

Tablo 8. B tablosu (Table B)

ALT KOL								
1 ★			2			3		
BİLEK	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

Nihai B Skoru: Ekipmanın (pompanın) elle tutulması, kullanıcının yeterli kavrama desteğini sağlamak için bedensel destek almak durumunda kalmasından dolayı "kısmen kabul edilebilir ancak ideal olmayan" bir durum olarak değerlendirilmiştir. Bu durumda tutuş puanının 1 olması kaynaklı Nihai B Skoru 4 olarak tespit edilmiştir. Tablo 9 C tablosunu ifade etmektedir.

Kauçukların pompa yardımı ile takılmasına ilişkin iyileştirilmiş sonuç ise aşağıdaki gibidir.

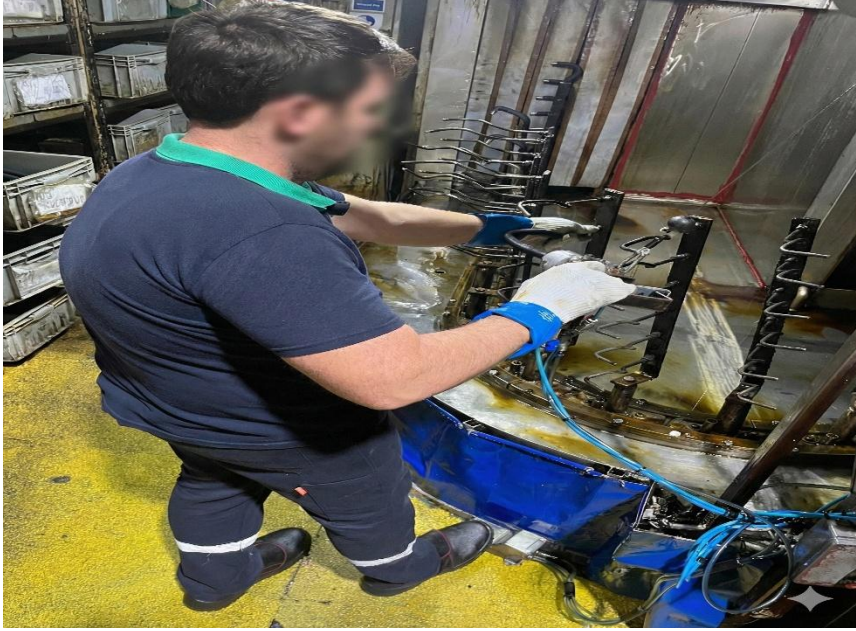
C Puanı: İyileştirilmiş durum için hesaplanan Nihai A Skoru (1) ve Nihai B Skoru (4), C tablosuna yerleştirildiğinde C puanının 2 olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 9. C tablosu (Table C)

C TABLOSU												
A PUANI				B PUANI								
★ 1	2	3	★ 4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	1	1	1	★ 2	3	3	4	5	6	7	7	7
2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
6	5	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
7	6	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
8	7	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
9	8	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12
10	9	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
11	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12
12	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Nihai REBA Skoru: C tablosu skoruna (2) aktivite puanı eklendiğinde, Nihai REBA Skoru 3 olarak tespit edilmiştir. Değerlendirme: Bu skor (3), "düşük risk seviyesi" anlamına gelmektedir.

Kauçukların pompa yardımı ile çıkartılma operasyonuna ait A grubu puanlaması aşağıda verilmiştir. Duruş çalışanın kauçuğu mandirene pompa yardımı ile takma anına aittir. İyileştirilmiş duruma baktığımızda ise çalışanın A grubu için puanları aşağıdaki gibidir. Boyun açısı 0°-20° arasında olduğu için 1 puandır. Boyunda herhangi bir dönme-hareketlenme olmadığı tespit edilmiştir. Gövdeye baktığımızda 0°-20° derece arasında bir eğilme söz konusudur bu sebeple ilgili alan için 2 puan verilir. Bacak pozisyonuna baktığımızda ise yük iki ayak üzerine eşit dağıldığı için 1 puan verilir, dizde herhangi bir bükülme durumu söz konusu değildir. A grubunun puanı 2 olarak tespit edilmiştir. Şekil 16'da çalışanın pompa yardımı ile kauçukları çıkartması resmedilmiştir.



Şekil 16. Pompa yardımı ile kauçukların çıkartılması (Removing rubber with the help of a pump)

Kauçukların pompa yardımı ile çıkartılmasına ilişkin B grubu puanı ve REBA skoru aşağıda verilmiştir.

B grubu incelemelerinde; bilek puanı 1, alt kol 2 ve üst kol 2 olarak belirlenmiştir. Pompa kullanımı sırasında tutuşun tam destekli olmaması nedeniyle +1 tutuş puanı eklenmiş ve B grup skoru 3 olarak güncellenmiştir. Bu değerler ile C tablosu skoru 2 olarak kalmış, aktivite puanı eklendiğinde Nihai REBA skoru 3 (Düşük Risk) olarak teyit edilmiştir.

4.1. Mevcut Durum/Manuel İşlem Bulguları (Current Situation/Manual Action Findings)

Saha gözlemleri ve açılal ölçümler sonucunda, kauçukların mandirene manuel olarak takılması işleminde çalışanların ciddi postürel zorlanmalar yaşadığı tespit edilmiştir. Bu operasyon için hesaplanan nihai REBA skoru 10 olarak bulunmuş ve çalışma koşulları "Yüksek Risk" kategorisinde sınıflandırılmıştır. Kauçukların fırından çıkışından sonra gerçekleştirilen manuel çıkartma (demontaj) operasyonunda ise fiziksel zorlanmanın daha da arttığı saptanmış, nihai REBA skoru 11'e ulaşarak "Çok Yüksek Risk" seviyesine çıkmıştır. Bu yüksek risk skorlarının temel nedeninin; işlemin doğası gereği operatörün gövde ve boyun bölgesinde oluşan aşırı bükülmeler (fleksiyon) ile ağırlığın tek bacağa bindirilmesinden kaynaklanan dengesiz duruşlar olduğu açıkça görülmüştür.

4.2. İyileştirilmiş Durum/Pompa Destekli İşlem Bulguları (Improved Status/Pump-Assisted Operation Findings)

Manuel işlemlerin neden olduğu yüksek ergonomik riskleri ve olası kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarını (KİSR) önlemek amacıyla iş istasyonuna mekanik bir pompa entegre edilmiştir. Bu müdahale sonucunda fiziksel yük çalışandan alınarak makineye aktarılmıştır. Pompa yardımıyla gerçekleştirilen kauçuk takma işlemine ait ikinci REBA analizinde, skoru 10'dan 3'e büyük bir ivmeyle düştüğü saptanmıştır. Benzer şekilde, kauçuk çıkartma operasyonunda da sağlanan donanımsal destek sayesinde REBA skoru 11'den 3'e indirilmiştir. Her iki operasyon da başarılı bir şekilde hedeflenen "Düşük Risk" seviyesine ulaştırılmıştır. Elde edilen bu somut iyileşme, işyerlerinde sadece risk tespiti yapmak yerine sürece entegre edilen donanımsal müdahalelerin, kas-iskelet

sistemi rahatsızlıklarını kaynağında kontrol altına almada en geçerli ve etkili yaklaşım olduğunu savunan literatür ile tam bir uyum içindedir (Karsh vd., 2001).

4.3. Karşılaştırmalı Değerlendirme (Comparative Evaluation)

Uygulanan mekanik müdahale öncesi ve sonrası elde edilen REBA skorlarının genel özeti Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Karşılaştırmalı Değerlendirme Tablosu (Comparative Evaluation Table)

Operasyon Türü	Mevcut Durumda REBA Skoru	Mevcut Durumda Risk Seviyesi	İyileştirilmiş Durum REBA Skoru	İyileştirilmiş Durum Risk Seviyesi
Kauçuk Takma (Montaj)	10	Yüksek Risk	3	Düşük Risk
Kauçuk Çıkartma (Demontaj)	11	Çok Yüksek Risk	3	Düşük Risk

Tablo 10'daki deneysel bulgular incelendiğinde, entegre edilen pompa sisteminin çalışanın özellikle gövde, boyun ve bacaklarındaki (A Grubu) fiziksel yüklenmeyi sıfıra yakınsadığı tespit edilmiştir. Uygulanan bu çözüm modeli, ergonomik tehlikelerin çalışan eğitimleri gibi yöntemler yerine, doğrudan kaynağında çözülerek bertaraf edilmesinin önemini sayısal verilerle kanıtlamaktadır. İşletme genelinde günlük ortalama 1600 tekrarlı yapılan bu işlemin "Düşük Risk" kategorisine çekilmesi çalışan sağlığının korunmasını ve operasyonel verimliliğin sürdürülebilirliğini sağlamaktadır. Elde edilen bu sonuç, yalnızca sınırlı bir postür iyileştirmesinin değil, fiziksel iş yükünün doğrudan operatörden alınarak mekanik sisteme aktarılmasının ergonomik risk üzerinde çok daha yüksek etki oluşturduğunu göstermektedir. Bu yönüyle çalışma, yüksek tekrar frekanslı operasyonlarda doğrudan yük ortadan kaldırmaya dayalı müdahalelerin daha güçlü sonuçlar verebileceğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmanın pilot uygulama aşamasında, doğrudan bir çevrim süresi (cycle time) kronometraji, OEE (Toplam Ekipman Etkinliği) veya hat verimliliği ölçümü kantitatif olarak gerçekleştirilmemiştir. Literatürde antropometrik tasarımların doğrudan çevrim sürelerini düşürdüğü bilinse de (örn. Özcan, 2022), bu çalışmada 'verimlilik' kavramı yapısal ve nitel bir kararlılık olarak ele alınmıştır. Kauçuk-mandiren fırın hattındaki yüksek sıcaklık ve manuel çekme kuvveti, vardiya ilerledikçe operatörde kümülatif yorgunluğa yol açmakta ve çevrim sürelerinde standart dışı dalgalanmalara (mikro duruşlar, ergonomik mola ihtiyacı) neden olmaktadır. Pnömatik pompa entegrasyonu ile manuel kuvvet ortadan kaldırılmış, REBA skorunun 11'den 3'e düşürülmesiyle postürel konfor sağlanmıştır. Bu durum, doğrudan bir hız artışından ziyade, yorgunluğa bağlı kronometrik kayıpların önüne geçerek vardiya genelinde prosesin standart zamanla (takt zamanı) uyumlu, sürdürülebilir ve kararlı bir şekilde yürütülmesine olanak tanımıştır.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada, bir otomotiv işletmesinde çalışanların ergonomik açıdan en çok zorlandığı proseslerden biri olan mandirene kauçuk takma-çıkartma operasyonu detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışanların mevcut durumda kauçukları mandirene elle takıp çıkarttığı ve bu durumun yüksek derecede zorlanmaya neden olduğu tespit edilmiştir.

Mevcut çalışma koşullarının risk düzeyini belirlemek amacıyla REBA (Hızlı Tüm Vücut Değerlendirmesi) yöntemi uygulanarak analiz yapılmıştır. Yapılan analizlerde, manuel operasyonların yüksek ergonomik risk içerdiği (REBA 10–11) tespit edilmiştir. Uygulanan mekanik müdahale sonrasında bu skorların 3 seviyesine düştüğü görülmüş ve süreç düşük risk kategorisine indirilmiştir.

Bu başarılı iyileştirmenin ardından, işletmenin genel ergonomik performansını ve üretim verimliliğini sürdürülebilir kılmak adına geleceğe yönelik bazı adımların atılması önerilmektedir. Öncelikle, bakım departmanından deneme amaçlı getirilen mevcut pompa sisteminin, iş istasyonuna tam entegre, operatörün boyuna ve duruşuna göre ayarlanabilen özel tasarımı kalıcı bir pnömatik/mechanik sisteme dönüştürülmesi faydalı olacaktır. Ayrıca, bu çalışmada elde edilen başarılı sonuçların, fabrikada manuel güç gerektiren ve yüksek tekrarlı diğer üretim hatlarına da işletme geneli için büyük önem taşımaktadır. Gelecekte yapılacak benzer akademik çalışmalarda ise, çalışma postürlerinin kameralar ve yapay zeka destekli görüntü işleme teknolojileri (Bilgisayarlı Görü) ile anlık olarak izlenmesi veya Dijital İnsan Modelleme (DHM) programları kullanılarak

istasyon tasarımlarının sanal ortamda önceden test edilmesi, ergonomik risk analizlerini çok daha proaktif ve sürekli hale getirecektir. Bu çalışma, mesleki risklerin yönetiminde temel bir İSG yaklaşımı olan 'kaynağında önleme prensibinin' uygulamalı bir örneğini sunmaktadır. Akın vd. (2022) ve Özcan (2022) gibi araştırmacıların literatüre kazandırdığı mekanik iyileştirme çalışmalarının bir uzantısı olarak; yüksek tekrar frekansına sahip bir operasyon ortamında manuel iş yükünün pnömatik/mechanik bir pompaya aktarılması sağlanmıştır. Önceki çalışmalarda uygulanan mekanik mengene sistemlerine kıyasla, manuel kuvvetin süreçten tamamen çekilmesi sayesinde REBA skorlarında 10-11 seviyesinden 3 seviyesine ulaşan, oldukça keskin ve yüksek etki büyüklüğüne sahip bir ergonomik iyileştirme elde edilmiştir.

Müdahale öncesi (10-11) ve sonrası (3) elde edilen REBA skorları, istatistiksel bir genellemeden ziyade, radikal bir mühendislik değişikliğinin (kaynağında önleme) ergonomik risk üzerindeki doğrudan etkisini simgelemektedir. Örneklem büyüklüğünün kısıtlı olması nedeniyle skorlardaki bu düşüşün istatistiksel anlamlılığı (p-değeri) bu çalışma kapsamında test edilmemiştir. Ancak literatürde, REBA skorundaki 7-8 puanlık bir iyileşmenin, ölçüm hatalarının veya bireysel farklılıkların çok ötesinde bir 'yüksek etki büyüklüğüne' (effect size) işaret ettiği kabul edilmektedir. Gelecekteki çalışmalarda, daha geniş bir operatör grubuyla yapılacak uzun vadeli ve istatistiksel analizlerle bu pilot bulguların doğrulanması planlanmaktadır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar (References)

- Ağar, A., 2025. Comparison of REBA, RULA and OWAS Ergonomic Risk Assessment Methods: An Example of a Car Tire Business. *Journal of Engineering Sciences and Design*, 13(1), 250-262.
- Ahmadi, O., Sheikh Damenab, P., Abbaspour, A., Rasoulzadeh, Y., 2020. Musculoskeletal Disorders Risk Assessment in Servicemen Workers of a Petrochemical Company. *International Journal of Musculoskeletal Pain Prevention*, 5(3), 360-366.
- Akın, N.M., Aydın, F., Yıldız, B., Gündüz, T., Özalp, T., 2022. Tekrarlı Manuel İşlerde Fizyolojik Zorlanmaların Değerlendirilmesi ve Önlenmesi. *Ergonomi*, 5(1), 43-54.
- Chiasson, M. E., Imbeau, D., Aubry, K., Delisle, A., 2012. Comparing the results of eight methods used to evaluate risk factors associated with musculoskeletal disorders. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42(5), 478-488.
- Darçın, M., Alkan, M., 2025. Ergonomic Risk Assessment in Heavy Equipment Manufacturing: A REBA-Based Analysis in a Crane Production Facility. *The Journal of Applied Engineering and Agriculture Sciences*, 2(1), 33-43.
- David, G., 2005. Ergonomic methods for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders. *Occupational Medicine*, 55(3), 190-199.
- Fan, C., Mei, Q., Yang, Q., Li, X., 2022. Computer-Vision Based Rapid Entire Body Analysis (REBA) Estimation. *Modular and Offsite Construction Summit*, Edmonton, Canada.
- Fathurohman, M., Sukapto, P., Susanto, S., 2024. Application of The Rapid Entire Body Assessment (REBA) Method to Improve Work Safety in The Automotive Spare Parts Industry. *Jurnal Improsci*, 2(1), 1-17.
- Ghasemi, F., & Mahdavi, N. (2020). A new scoring system for the Rapid Entire Body Assessment (REBA) based on fuzzy sets and Bayesian networks. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 80, 103058.
- Gürsoy Özcan, A., 2022. Application of REBA and Karakuri Kaizen Techniques to Reduce Ergonomic Risk Levels in a Workplace. *Journal of Engineering Sciences and Design*, 10(4), 1430-1444.
- Hignett, S., McAtamney, L., 2000. Rapid Entire Body Assessment (REBA). *Applied Ergonomics*, 31(2), 201-205.
- Huang, K., Jia, G., Wang, Q., Cai, Y., Zhong, Z., & Jiao, Z. (2024). Spatial relationship-aware rapid entire body fuzzy assessment method for prevention of work-related musculoskeletal disorders. *Applied Ergonomics*, 115, 104176.
- Kansu, S., Parlak, T., Güneri, A.F., 2021. Kaynak İşlemlerinde Çalışan Personel İçin REBA Metodu İle Ergonomik Risk Değerlendirmesi: Kriyojenik Tank İmalatı Sektöründe Bir Uygulama. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(3), 952-968.
- Karsh, B. T., Moro, F. B., Smith, M. J., 2001. The efficacy of workplace ergonomic interventions to control musculoskeletal disorders. *Ergonomics*, 44(6), 589-613.
- Karhu, O., Kansu, P., & Kuorinka, I. (1977). Correcting working postures in industry: A practical method for analysis. *Applied Ergonomics*, 8(4), 199-201.
- Kee, D., 2022. Systematic Comparison of OWAS, RULA, and REBA Based on a Literature Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(1), 595.
- Kshirsagar, V.P., Awari, G.K., Singh, M.P., 2024. Digital Human Modeling for Ergonomic Assessment of Seated CNC Operator. *ShodhKosh: Journal of Visual and Performing Arts*, 5(7), 977-989.
- Lal, M., Singh, A., Ali, S. A., & Das, S. (2026). CBRRES: a computer-based REBA and RULA evaluation system for musculoskeletal disorder estimation. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 1-12.
- Li, L., Martin, T., & Xu, X. (2020). A novel vision-based real-time method for evaluating postural risk factors associated with musculoskeletal disorders. *Applied Ergonomics*, 87, 103138.
- McAtamney, L., & Corlett, E. N. (1993). RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*, 24(2), 91-99.

- Rahman, M.I.A., Osman, S.A., Osman, S.A., 2026. Assessing Ergonomic Risks in Laser Cutting Sheet Metal Operations Using REBA Method: A Case Study. *Journal of Advanced Research Design*, 144(1), 1-9.
- Sandeep, K.G., Jayan, T.J., Muthukumar, K., 2020. Ergonomic Assessment in Vehicle Assembly Line using REBA Tool. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 7(3).
- Sirikasemsuk, K., Kittipanya-Ngam, P., Luanwiset, D., Leerojanaprappa, K., 2024. Work Posture Risk Comparison of RULA and REBA Based on Measures of Assessment-Score Variability: A Case Study of the Metal Coating Industry in Thailand. *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, 7(3), 926-935.
- Sunardi, S., Yuniar, Y., 2024. Ergonomic Risk Assessment in Heavy Equipment Manufacturing & Automotive Wheel Installation Case. *International Journal of Applied Science and Engineering Review*, 5(2), 45-56.
- Takala, E. P., Pehkonen, I., Forsman, M., Hansson, G. Å., Mathiassen, S. E., Neumann, W. P., Sjøgaard, G., Veiersted, K. B., Westgaard, R. H., Winkel, J., 2010. Systematic evaluation of observational methods assessing biomechanical exposures at work. *Applied Ergonomics*, 41(4), 471-481.
- Wang, S., Li, J., Yin, M., & Wu, Q. (2025). Accessibility evaluation of assembly operations in confined space based on digital human model. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 107, 103719.