

TEKRARLI MANUEL İŞLERDE FİZYOLOJİK ZORLANMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNLENMESİ

Nuh Mete AKIN¹, Ferdi AYDIN², Betül YILDIZ³, Tülin GÜNDÜZ⁴, Besim Türker ÖZALP^{5*}

¹ Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-5898-7712>

² Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-3607-6141>

³ Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-5974-722X>

⁴ Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-7134-3997>

⁵ Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-0307-1026>

Anahtar Kelimeler

REBA analizi
Biyomekanik analiz
CATIA V5
Tekrarlı manuel işler
Kauçuk hortum imalatı

Öz

Kas ve iskelet sistemi rahatsızlıkları, meslek hastalıklarının büyük bölümünü oluşturur. Bu hastalıklar çoğunlukla tekrarlı manuel iş yapma esnasında çalışanın yanlış beden duruşundan ve çalışma ortamının ergonomik olmamasından kaynaklanmaktadır. Kas ve iskelet sistemi rahatsızlıkları çalışanların yaşam kalitesinin düşmesine, işletmelerde nitelikli iş gücünün kaybına ve işlerin aksamasına neden olmaktadır. Bu proje kapsamında otomotiv yan sanayisi için kauçuk hortum üreten bir fabrikada vulkanizasyon ve maça imalat bölümleri REBA (Rapid Entire Body Assessment) Analizi ile incelenmiştir. Potansiyel yanlış beden duruşları tespit edilerek REBA Analizi puanları hesaplanmıştır. Mevcut çalışma koşulları, çalışanın beden duruşu CATIA V5 programı ile modellenmiştir. Çalışanların hazırlanan dijital modeli üzerinden biyomekanik analizi yapılmıştır. Olumsuz koşulları ortadan kaldırmak ve çalışanlarda ilerleyen yıllarda kas ve iskelet sistemi hastalıkları meydana getirebilecek yanlış beden duruşlarını giderilmek için yeni çalışma ortamı dizayn edilmiştir. Çalışanların iyileştirilen modeller üzerinde REBA Analizi ve CATIA V5 Programı üzerinden biyomekanik analizi yapılmış, iyileştirme sonuçları değerlendirilmiştir.

ASSESSMENT AND PREVENTION OF PHYSIOLOGICAL STRAINS IN REPETITIVE MANUAL TASKS

Keywords

REBA analysis
Biomechanical analysis
CATIA V5
Manual repetitive tasks
Rubber hose manufacturing

Abstract

Musculoskeletal disorders constitute the majority of occupational diseases. These diseases are mostly caused by the poor body posture of the employee during repetitive manual tasks and the non-ergonomic working environment. Musculoskeletal disorders cause a decrease in the quality of life of employees, loss of qualified workforce in enterprises and disruption of work. Within the scope of this project, the vulcanization and core manufacturing sections of a factory producing rubber hoses for the automotive supply industry were examined with REBA (Rapid Entire Body Assessment) Analysis. Potential incorrect body postures were identified and REBA Analysis scores were calculated. Body posture of the employee and current working conditions were modeled with the CATIA V5 program. Biomechanical analysis was performed on the digital model of the employees. A new working environment has been designed in order to eliminate the negative conditions and to eliminate the poor body postures that may cause musculoskeletal diseases in the employees in the coming years. REBA and biomechanical analysis of the employees were realized on the improved models and the improvement results were evaluated.

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi : 14.12.2022

Kabul Tarihi : 05.04.2022

Research Article

Submission Date : 14.12.2022

Accepted Date : 05.04.2022

* Sorumlu yazar e-posta: tozalp@uludag.edu.tr

1. Giriş

Kas iskelet sistemi rahatsızlıkları (KİSR) çalışanlarda, çalışma yoğunluğuna bağlı olarak kaslarda, sinirlerde, tendonlarda, kıkırdakta, bağlarda, birleşme noktalarında ve omurga disklerinde meydana gelen rahatsızlıklardır. Kas iskelet sistemi rahatsızlıkları, işe bağlı oluşan meslek hastalıklarının %50'sini oluşturmaktadır (Cabeças, 2006). Mesleki kas iskelet sistemi hastalıkları olarak isimlendirilen bu rahatsızlıklar işyerinde çalışma esnasında meydana gelen uygunsuz vücut duruşları, eklem ve disklere gelen fazla yükten doğan zorlanma, kullanılan aletlerin veya çalışılan ortamın ergonomik açıdan yetersiz olmasından meydana gelmektedir.

İşyerinde, çalışanların iş yapma esnasında başlarına gelebilecek riskleri önlemek işverenin yükümlülüğüdür. Uzun vadede ortaya çıkan kas ve iskelet sistemi rahatsızlıkları, çalışanların ilerleyen yıllarda çalışma performansının düşmesine, günlük aktivitelerinin aksamasına ve uzun yıllar sürebilecek sağlık sorunlarına neden olur (Babalık, 2016). İşveren açısından tecrübeli iş gücünün kaybı, üretim hatlarında meydana gelebilecek aksamalar, çalışanın hastane masrafı ve tazminatı büyük bir maliyettir. Bir vardiyada 2 saatten fazla süre ile özellikle beli bükerek veya eğilerek çalışmak ya da ayaklara destek vermeden oturmak gibi uygun olmayan çalışma pozisyonlarında, iskelet-kas sistemi zorlanır (Akay vd., 2003). İmalat sanayiinde uygun olmayan çalışma pozisyonları postür açısından incelendiğinde, REBA analizi kullanılarak çalışma koşulları iyileştirilebilmektedir (Atıcı vd., 2015; Sağiroğlu vd., 2015; Koç ve Testik, 2016; Mert, 2014; Ulutaş ve Gündüz, 2017). Özellikle postür analizi içeren ergonomik analiz yöntemleri, CATIA programında da uygulanabilir (Gökçe ve Gökçe, 2013). İmalat sanayiinde farklı sektörlerde yapılan işlere yönelik, öncelikle uygun olan postür analizi ile ergonomik risk analizi yapıp, ardından iş yerinin CATIA ile modellenmesi yapılarak çalışana en uygun olabilecek çalışma şekli belirlenir (Kushwaha ve Kane, 2016). Ayrıca literatürde farklı insan modelleme programları da ergonomik iş istasyonu çalışmaları için kullanılmaktadır (Polasek vd., 2015). Bu çalışmalara ilave olarak imalatta hem postür analizi (REBA ya da RULA) yöntemi hem de CATIA digital insan modelleme aracı birlikte kullanılabilir. (Şahin vd., 2017; Erdemir ve Eldem, 2020; Top, 2019; Top vd., 2021; Kumar ve Singh, 2018; Eldem vd., 2019; Golabchi vd., 2018; Gonen vd., 2016; Eldem vd., 2017; Liang vd., 2016).

Biyomekanik analiz, genel gözlem yöntemlerine ek olarak, dış maruziyet verilerinin bir fonksiyonu olarak insan vücudu eklemleri üzerindeki yükleri ve momentleri tahmin ederek, ergonomik risklerin daha detaylı ve objektif değerlendirmesinde

kullanılabilir (Chaffin vd., 2006). Biyomekanik analiz, manuel bir görevi yerine getirmenin farklı yöntemlerini karşılaştırmak ve işyeriyle beraber operasyon tasarımı için en güvenli olanı seçmek için özellikle yararlı olabilir (Antwi-Afari vd., 2017). Bu tip analizlerin gerçekleştirilmesinde kolaylık sağlayan ve insan modellemesine imkan veren yazılım platformları (3DSSPP, OpenSim, CATIA vb.), arzu edilen postürün elde edilmesi için bir manikinin 3D modellemesini, eklemlerin arasındaki açıların girilmesi ile sağlarlar (Demirel vd., 2021).

Bu çalışma kapsamında otomotiv yan sanayisi için kauçuk hortum üreten bir işletmede, hortum üretiminde kullanılan yoğun emek gerektiren işlerden olan vulkanizasyon ve metal maça imalat işlemleri incelenmiştir. Bu işlerden kaynaklı olarak kas ve iskelet sistemi rahatsızlıklarına sebep olabilecek çalışma duruşları tespit edilmiştir. Çalışanların çalışma anında sahip olduğu bu duruşların vücut açıları AutoCAD programı ile tespit edilmiştir. Çalışma ortamı, çalışanların duruşları ve iyileştirilmiş çalışma ortamı CATIA V5 programı üzerinde modellenerek REBA ve biyomekanik analizler gerçekleştirilmiştir. İyileştirilen model ve mevcut durum karşılaştırılması yapılmıştır.

2. Yöntem

Bu bölümde kauçuk hortum üreten bir işletmede gerçekleştirilen vulkanizasyon ve maça imalat işlemlerinde çalışanların sahip olduğu vücut duruşlarının analizi için kullanılan yöntem ve yapılan işi ergonomik hale getirmek için işi iyileştirme araçları sunulmuştur.

Çalışma yapılan işletmedeki üretim sisteminin yapısı şu şekildedir: Fabrikada üretilen kauçuk hortumların üretim süreci ekstrüzyon hattı ile başlamaktadır. Kimya laboratuvarında ihtiyaca göre üretilen değişik türde kauçuk hamurları (EPDM, NR, NBR vb.) ekstrüzyon hatlarına gelir. Ekstrüzyon makinesinde ihtiyaç duyulan genişlikte üretilen hortumlar örgü makinesinde aramid veya polyester iplikler ile örülür. Örgü işlemi bittikten sonra ikinci defa ekstrüzyon hattına girerek çift katlı hortumlara dönüşür. Ekstrüzyon hattı sonunda elde edilen hortumlar kesme bölümüne gönderilerek ihtiyaç duyulan uzunlukta hortumlar elde etme amacıyla kesme işlemi gerçekleştirilir. Kesme bölümünde uzunluk, hortum çapı, hamur türü gibi kriterlere göre sınıflandırılan hortumlar vulkanizasyon alanına gönderilir. Maça imalat ofisinde hortum üretimi için gerekli olan kalıplar üretilir. Teknik resimler aracılığıyla metal parçalar ısıtılıp bükme, kaynak, torna gibi işlemlerden geçerek imal edilir ve vulkanizasyon alanına gönderilir. Vulkanizasyon alanında daha önceden hazırlanmış maçalara ve kesme bölümünden gelen hortumlara yağ sürüldükten sonra hortumlar kas gücüyle

mengeneyle sabitlenmiş maçalara geçirilir. Bu işlem gerçekleştirildikten sonra hortum geçirilmiş maçalar otoklav makinelerine partiler halinde gönderilir. Otoklav makinelerinden çıkan maçalar tekrar aynı çalışanların tezgahlarına getirilir ve hortumlar sıcak maçalardan kas gücüyle ayrılır. Ayrılan hortumlar kasalara koyulur ve yağlarından arındırılmak üzere yıkama alanına gönderilir. Yıkama alanında vulkanizasyon alanından gelen yağlı hortumlar yıkama makinelerine konularak temizleme işlemi başlatılır. Yıkanan hortumlar yine kasalara konarak montaj alanına sevk edilir. Montaj alanında, üretim alanından gelen hortumlara müşteri istek ve ihtiyaçlarına göre civata takma, kesme, susturucu takma, enjeksiyon makinesinde üretilen plastik parçaların takılması gibi işlemler burada uygulanır. Ürün çeşitliliğinin fazla olması ve her hortum için ihtiyaç duyulmaması sebebiyle yapılan işlemler değişiklik gösterir. Lojistik alanında montaj alanında belli aksamları takılmış ve kalite kontrolden geçmiş kauçuk hortumlar bu alana getirilir. Sevkiyat yapılmadan önce ürünün doğruluğu ve adetleri hesaplanarak kolileme işlemleri yapılır. Doldurulmuş koliler paletlere konularak sevkiyata hazır hale getirilir.

İşletmedeki kauçuk hortum üretiminde kullanılan işlem ve süreçlerde çalışanlar, işi gerçekleştirme sırasında yanlış duruşlara sahiptir. Uygun ve doğru olmayan vücut duruşlarının sürekli tekrar edilmesi işçilerin zorlanmasına ve kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının (KİSR) ortaya çıkmasına neden olmaktadır. İş güvenliği uzmanları ve iş yeri hekimlerinden alınan bilgilere göre, en fazla vulkanizasyon ve maça imalat bölümlerinde çalışanlarda bu rahatsızlıklara rastlandığından dolayı, bu alanlarda iyileştirme yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Araştırma ve Yayın Etik Kurulu Başkanlığı'ndan 27.10.2021 tarih ve E-92662996-044-32376 sayı numarası ile etik kurul onayı alınmıştır. Çalışmanın yapıldığı İbraş Kauçuk Otomotiv Yan San. ve Tic. A.Ş.'den 08.12.2021 tarihinde izin alınmıştır.

2.1 Ergonomik Risk Analizleri

Ergonomi alanında, işin çalışana uyumu temel prensiptir. İlk olarak F.W. Taylor tarafından 18. Yüzyılın sonlarına doğru başlayan ergonomi çalışmaları günümüzde işlerde verimliliği ve çalışanın iş standartlarını yükseltmek için hız kazanmıştır. Yapılan çalışmada, ergonomik risk analiz yöntemleri içinde imalat sanayiinde incelenen işlere uygun olan yöntemler seçilmiştir.

2.1.1 REBA Analizi

Literatürde en çok tercih edilen yöntemlerden biri olan REBA Analizi (Rapid Entire Body Assessment) Hignett ve McAtamney (2000) tarafından geliştirilmiştir. Çalışanın işini yapma esnasında sergilediği vücut duruşunun tamamını değerlendiren bir yöntemdir. REBA; çalışanın işleri yaptığı esnada boyun, gövde, alt ve üst uzuvların pozisyonuna ve mevcut içindeki yüklenmelere göre 1 ile 15 arasında puanlandıran bir yöntemdir. REBA skoru belirlenirken öncelikle vücut kısımları, A ve B grubu olarak ikiye ayrılır. A grubu gövde boyun ve bacadan oluşur. B grubu üst kol, alt kol ve bilekten oluşur. A grubu puanını bulmak için gövde, boyun ve bacadan duruş puanları hesaplanır ve A Tablosundan değeri tespit edilir. (Ek-1.a) Bulunan değere duruş esnasında olan yük ve kuvvetlerin puanı eklenerek puan A hesaplanır. B grubu puanını bulmak için üst kol, alt kol ve bilek duruş puanı hesaplanır. Bulunan değerlerin B Tablosundan değeri bulunur. (Ek-1.b) Bulunan bu değere tutma faktörü puanı da eklenerek Puan B hesaplanır. A ve B değerlerine göre C Tablosundan C Duruş (Ek-1.c) Puanı hesaplanır. Bu değere aktivite puanı eklenerek REBA Puanı hesaplanır. REBA Analizi sonuçlarının risk tablosu Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. REBA Analizi Sonuç Tablosu

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

2.2 Bilgisayar Destekli Ergonomi

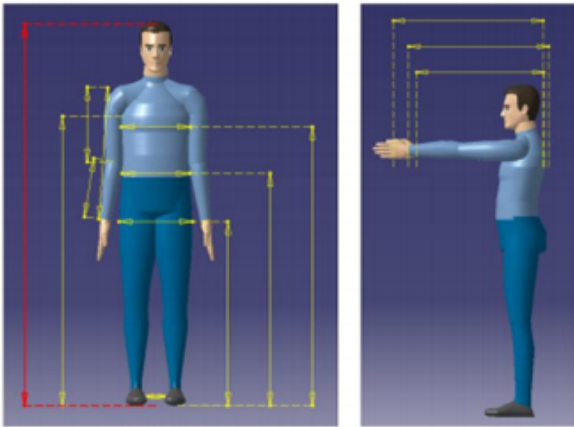
Bilgisayar destekli ergonomi, insan vücudu ve çevresi arasındaki etkileşim ile ilgili karışık ergonomik problemleri çözmek için bilgisayarları kullanan bir mühendislik disiplini. İnsan vücudu karışık bir yapıya sahip olduğundan, bu tür karışık problemleri çözmek ve en iyi ergonomik çözümü bulmak için bilgisayarlar kullanılır.

Günümüzde bilgisayar destekli tasarım ile bilgisayar ortamında insan modelleme ve antropometrik verileri kullanma olanağı gelişmiş ve bunlarla

birlikte ergonomik olarak yeni tasarımlar yapılmaya başlanmıştır. Bazı CAD sistemleri, örneğin CATIA gibi insan hareketlerini simülasyonunu yaparak hareketlerin analizini yapar. CATIA programının ergonomi modülünde bulunan Ergonomics Design and Analysis modülü ile çalışanların duruş pozisyonları, hareketlerinin belirlenmesi ve çalışma esnasında oluşabilecek sorunlu bölgelerin saptanmasında kullanılır. Hareketlerin analizi için RULA (Rapid Upper Limb Assessment) ve Biyomekanik Hareket Analizi modülleri kullanılır (Hasdemir, 2013).

2.2.1. Dijital İnsan Modelleme

Dijital insan modelleme (Digital Human Modelling – DHM) kullanımı, ürün tasarım sürecini kısaltırken, ürünün kullanımı sırasında oluşabilecek duruş bozukluğu, eklem ağrıları gibi rahatsızlıkların engellenmesine yardımcı olur. DHM tabanlı ürün tasarımında antropometri, tasarım sürecinin ilk aşamasında dikkate alınması gereken en önemli hususlardan biridir (Şahin, vd. 2017). Tasarlanan ürünün kullanım senaryosu oluşturularak kullanıcı kitlesi belirlenmeli ve bu kullanıcı kitlesinin antropometrik ölçüleri belirlenerek ergonomik analizleri yapılmalıdır. Dijital insan modelleri ile ergonomik analiz süreçlerinde birçok yazılım kullanılmaktadır. Kullanılan yazılımlardan biri ise bu çalışmada da uygulaması gerçekleştirilen CATIA V5 programıdır. Program içerisinde kullanılan dijital insan modelinin görüntüsü Şekil 1’de gösterilmiştir.

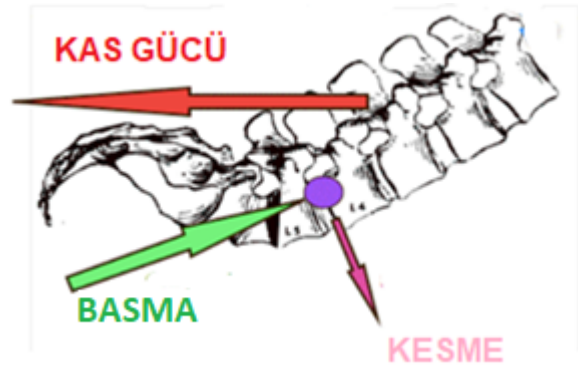


Şekil 1. Dijital İnsan Modeli

2.2.2. Biyomekanik Hareket Analizi

Biyomekanik hareket analizi çalışanların çalışma anındaki duruşlarından dolayı omurgalarında meydana gelen yük ve kuvvetlerin belirlenmesinde kullanılır (Rahman, 2014). Analizin sonucunda çalışanın L4-L5 omurları arasındaki disk üzerinde oluşan yükler belirlenir ve bu yükler yüzünden

çalışanda oluşabilecek kas iskelet sistemi rahatsızlıkları daha gerçekleşmeden önlem alınma imkânı bulunur. Şekil 2’de L4-L5 intervertebral diskine gelen iki farklı kuvvet yönü gösterilmektedir. Bunlar basma (compression) ve kesme (joint shear) kuvvetleridir. CATIA V5 Biyomekanik Analiz Modülü üzerinden L4-L5 üzerindeki basma (compression) ve kesme (joint shear) kuvvetleri oluşturulan dijital model üzerinden bulunabilmektedir. Basma kuvveti için CATIA V5 programı NIOSH tarafından 1981 yılında yapılan ve 1991 yılında revize edilen çalışmayı kabul etmektedir (Waters vd., 1993). NIOSH’a göre L4-L5 diskine gelen basma değeri çalışma ortamında 3433 N’u aşmamalıdır. Bu değer “Action Limit” olarak gösterilir. Bu sınırın aşılması idari veya mühendislik kontrolünü gerektirir. Çalışan popülasyonunda kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarında büyük artışa sebep olacak sınır değer olarak ise 6376 N olarak tespit edilmiş ve bu değer “Maximum Permissible Limit” olarak ifade edilmiştir. L4-L5 üzerindeki kesme kuvveti (joint shear force) Waterloo Üniversitesinde yapılan çalışmaya göre 500 N’u geçmemelidir (McGill vd., 1998). Bu değer “Action Limit” olarak gösterilir. Bir çalışanın sağlığı bozulmadan en fazla görebileceği değer ise 1000 N olarak tespit edilmiş ve bu değer de “Maximum Permissible Limit” olarak ifade edilmiştir.



Şekil 2. Diskteki Basma ve Kesme Kuvvetleri

3. Bulgular

Otomotiv sektörüne yönelik kauçuk hortum imalatı yapılan işletmede, çalışanların fizyolojik açıdan en çok yoruldukları bölümler belirlenmiştir. Bunlar vulkanizasyon bölümü ve demir maça imalat bölümüdür. Bu bölümlerde çalışanların yaptıkları işler video kaydına alınmıştır. Videolardan elde edilen fotoğraflarla çalışanların sahip olduğu en kötü beden duruşları tespit edilmiştir. AutoCAD programı ile çalışanların beden açıları belirlenmiştir. Maça imalat ve vulkanizasyon bölümünde REBA Analizi uygulanmıştır. Daha önce bulunan açılar, belirlenen yöntemlerin standart formlarından hangi aralıklarda olduğu tespit edilmiş ve puanlandırılmıştır.

3.1. REBA Analizinin Standart Tablolar ile Uygulanması

Bu bölümde belirlenen iki pilot bölgede çalışanların yaptıkları işler REBA analizi ile incelenmiştir. Hignett ve McAtamney (2000) tarafından geliştirilen REBA analiz tabloları maça imalat bölümü ve vulkanizasyon bölümünde kullanılmıştır.

3.1.1 Maça İmalat Bölümü

Kauçuk hortumu için gerekli olan kalıpların üretildiği yerdir. Burada vulkanizasyon bölümüne gönderilecek metal maçalar; plastik şekil verme (bükme, germe), tornalama ve kaynak gibi yöntemlerle üretilir. Üretilen maçalar vulkanizasyon bölümüne gönderilmeden önce çapaklarından arındırılması için maçalara taşlama işlemi yapılır. Çalışanın işlemi gerçekleştirdiği masanın yüksekliğinin yetersiz olması ve işlemin hassasiyet gerektiren bir iş olmasından dolayı çalışan fazlaca eğilmektedir. Şekil 3'de maça imalat bölümünde taşlama işlemi yapan çalışanın fotoğrafı ve tespit edilmiş beden açıları gösterilmektedir. Çalışanın boyun açısının fazla yüksek olması ergonomik açıdan risk teşkil etmektedir.



Şekil 3. Maça İmalat Bölümünde Çalışanın Vücut Duruşu

Maça imalat bölümünde yapılmış REBA analizi sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Bu çalışanın belirlenmiş beden açılarına göre REBA analizi standartlarına göre boyun açısı 3 puan, gövde açısı 3 puan, bacak duruşu 1 puan olarak belirlenmiştir. Bu değerlere göre A tablosundan 5 değeri elde edilmiştir. Bulunan puana 2 puan taşınan yük değeri eklenerek A duruş Puanı 7 olarak bulunmuştur. Üst kol 1 puan, alt kol 1 puan ve bilek pozisyonu 2 puan olarak bulunmuştur. Bu değerlere göre B tablosundan 2 puan elde edilmiştir. Tutma faktörü ideal olduğu için 0 puan verilmiştir. B duruş puanı 2 olarak tespit edilmiştir.

Bulunan A ve B duruş puanları C tablosunda 7 olarak bulunmuştur. Çalışanın yaptığı işin aktivite puanı 2 olarak tespit edilmiştir. Bu değerlere göre REBA Analizi sonucu 9 olarak hesaplanmıştır. 9 puan yapılan işin yüksek riskli bir iş olduğunu göstermektedir. Bu çalışan ilerleyen yıllarda kas ve iskelet sistemi rahatsızlıkları yaşama ihtimali vardır. Bu sebeplerden dolayı çalışanın uygunsuz çalışma duruşunu düzelterek önlemler alınmalıdır.

Tablo 2. Maça İmalat Bölümünde Çalışanın REBA Analizi Sonucu

Boyun puanı	3	Üst kol puanı	1	A Skoru	7
Gövde puanı	3	Alt kol puanı	1	B Skoru	2
Bacak puanı	1	Bilek puanı	2	C Skoru	7
Taşınan yük/kuvvet	2	Tutma faktörü	0	Aktivite yoğunluğu	2
REBA Skoru					9

3.1.2. Vulkanizasyon

Kauçuk hortumların maçalara geçirilerek şekil verildiği yerdir. Muhtelif boyutlarda üretilmiş kauçuk hortumlar, mengeneyle sabitlenmiş maçalara kol ve kas gücüyle geçirilir. Maçalara geçirilmiş kauçuk hortumlar otoklav makinesine gönderilir. Otoklavdan çıkan sıcak kauçuk hortumlar tekrar çalışanların tezgâhlarına getirilir. Kas ve kol gücüyle sıcak kauçuk hortumlar maçalardan ayrılma işlemi gerçekleştirilir.

Çalışanın maçalara kauçuk hortum geçirme işlemini gerçekleştirdiği anda bacaklardan güç alması ve bacaklarının hareketinden dolayı bu işlemde REBA analizi uygulanmıştır. Çalışanın işlemi gerçekleştirdiği sırada mengenenin konumunun çalışanın daha fazla eğilerek yanlış duruşta kuvvet uygulamasına neden olmaktadır. Çalışanın sahip olduğu bu yanlış beden duruşu ilerleyen yıllarda kas ve iskelet sistemi rahatsızlıklarına neden olma ihtimaline sahiptir.

Şekil 4'te vulkanizasyon bölümünde sıcak maçalardan kauçuk hortum ayırma işlemi yapan çalışanın fotoğrafı ve tespit edilmiş beden açıları gösterilmektedir. Çalışanın bel, boyun ve bilek açısının fazla yüksek olması ve bu beden konumunda fazla kuvvet uygulanması ergonomik açıdan risk teşkil etmektedir.



Şekil 4. Vulkanizasyon Bölümünde Çalışanın Vücut Duruşu

Vulkanizasyon bölümünde yapılmış REBA analizi sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Bu çalışanın belirlenmiş beden açılarına göre REBA analizi standartlarına göre boyun açısı 2 puan, gövde açısı 4 puan, bacak duruşu 2 puan olarak belirlenmiştir. Bu değerlere göre A tablosundan 6 değeri elde edilmiştir. Bulunan puana 3 puan taşınan yük değeri eklenerek A duruş Puanı 9 olarak bulunmuştur. Üst kol 3 puan, alt kol 1 puan ve bilek pozisyonu 3 puan olarak bulunmuştur. Bu değerlere göre B tablosundan 5 puan elde edilmiştir. Tutma faktöründe elin duruşu kabul edilemez fakat tutuş mümkün olduğu için 2 puan verilmiştir. B duruş puanı 7 olarak tespit edilmiştir.

Bulunan A ve B duruş puanları C tablosunda 11 olarak bulunmuştur. Çalışanın yaptığı işin aktivite puanı 1 olarak tespit edilmiştir. REBA Analizi sonucu 12 olarak hesaplanmıştır ve yapılan işin çok yüksek riskli bir iş olduğunu göstermektedir. Bu çalışan ilerleyen yıllarda kas ve iskelet sistemi rahatsızlıkları yaşama olasılığı yüksektir. Bu sebeplerden dolayı çalışanın uygunsuz çalışma duruşunu düzeltecek önlemler acilen alınmalıdır.

Tablo 3. Vulkanizasyon Bölümünde Çalışanın REBA Analizi

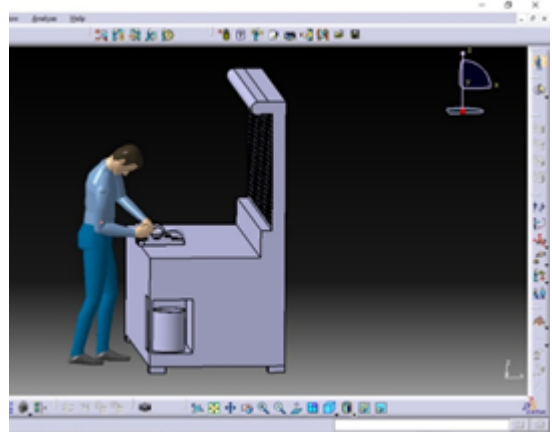
Boyun puanı	3	Üst kol puanı	3	A Skoru	10
Gövde puanı	4	Alt kol puanı	1	B Skoru	6
Bacak puanı	2	Bilek puanı	2	C Skoru	11
Taşınan yük/kuvvet	3	Tutma faktörü	2	Aktivite yoğunluğu	1
REBA Skoru					12

3.2. CATIA V5 Ergonomi Modülü

Belirlenmiş pilot bölgelerde çalışanların beden duruşları ve çalışma ortamları CATIA V5 üzerinden dijital olarak modellenmiştir. Dijital insan modeli üzerinde çalışanların L4-L5 bel omurları arasındaki diske gelen basma kuvveti CATIA V5'in biyomekanik analizi üzerinden bulunmuştur.

3.2.1. Maça İmalat Bölümü- Dijital Modeli

Maça imalat kısmında maçalardaki çapakları temizlemek için taşlama işlemi yapan çalışanın dijital modeli Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Maça İmalat Bölümünde Çalışanın Dijital İnsan Modeli

3.2.2. Vulkanizasyon Bölümü- Dijital Modeli

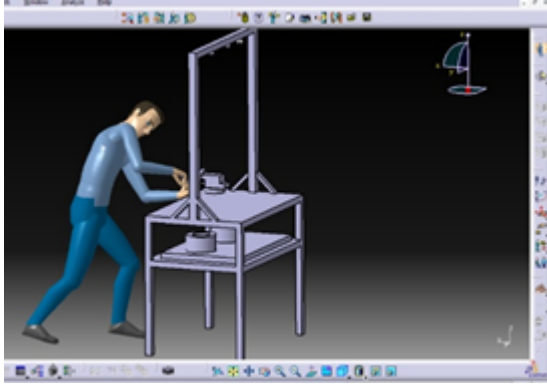
Vulkanizasyon bölümünde sıcak maçalardan kauçuk hortum ayırma işlemini gerçekleştiren çalışanın dijital insan modeli Şekil 6'da gösterilmiştir.

Şekil 7'de görülen AL (Action limit) risk, tehlike kontrolü yaklaşımını ifade eder. Omurlara gelmesi gereken baskının sınır değeri 3433 N'dur. CATIA V5 üzerinden yapılan analize göre L4-L5 basma kuvveti 4113 N bulunmuştur.

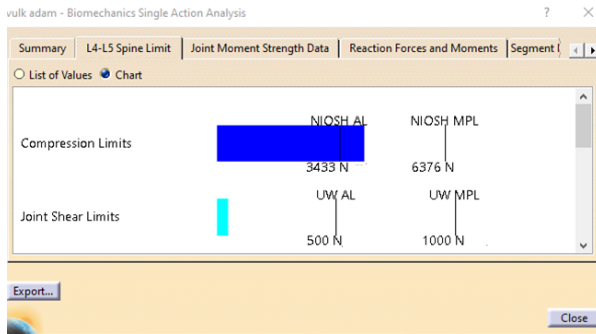
Bu durum omurgaya binen yükün sınır değeri aştığı bu yüzden bu durumun sakatlanmalara yol açabileceği görülmüştür. Bu durum yönetim veya mühendislik kontrolü olmadan kabul edilemez.

4. Geliştirilen İyileştirilmiş Modeller

İş görenin işini daha rahat ve sağlıklı bir şekilde yapabilmesi için gereken önlemler ve iyileştirmeler işverence yapılmalıdır. Otomotiv sektörü için kauçuk hortum üreten işletmenin Vulkanizasyon ve maça imalat bölümlerinde gözlemlenen sorunlar için bir iyileştirme yapılmak istenmiştir. İş gücünün verimli ve sağlıklı bir şekilde çalışmasının yöntemlerinin bilinmesi ve uygulanması gerekir, böylece çalışanın en üst performansta çalışması sağlanır.



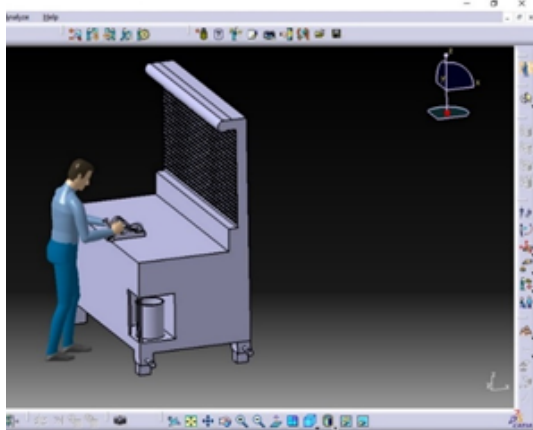
Şekil 6. Vulkanizasyon Bölümünde Çalışanın Dijital İnsan Modeli



Şekil 7. Vulkanizasyon Bölümünde Çalışanın Biyomekanik Analiz Sonuçları

4.1. Maça İmalat Bölümü Geliştirilen İyileştirme Modeli

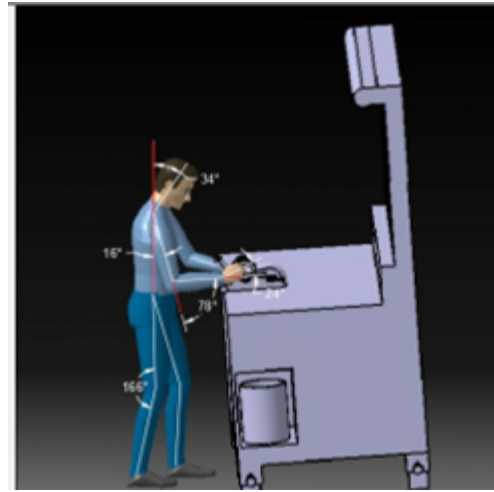
Maça imalat bölümünde maça taşlama işlemini gerçekleştiren çalışanın uygunsuz duruşu sonucunda vücudunda oluşan olumsuz etkileri gidermek ve sağlıklı bir çalışma ortamı sağlamak için mevcut masa, yüksekliği ayarlanabilen masayla değiştirilmiştir. Mevcut çalışan için 86 cm olan masa yüksekliği 15 cm artırılarak 101 cm olarak ayarlanmıştır. Şekil 8'de görüldüğü üzere yeni masa tasarımı ile çalışanın gövde ve boynundaki zorlanmalar azaltılmıştır.



Şekil 8. Maça İmalat Bölümünde İyileştirilmiş Model

4.1.1 Maça İmalat Bölümünde İyileştirilmiş Model REBA Analizi Sonuçları

Maça imalat bölümünde çalışanın dijital modelinin vücut açıları Şekil 9'da ve bu modelin REBA Analizi sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Geliştirilen yeni sistem ile duruş analizi sonucunda çeşitli vücut bölgelerine etkiyen kuvvetlerin normal düzeye indiği görülmektedir. Geliştirilmiş modelde REBA skoru 5 olarak bulunmuştur. Önerilen sistemin insan sağlığı açısından uygun olduğu anlaşılmaktadır. Gövde, bacak, boyun, üst kol ve alt kolda zorlanma olmadığı görülmektedir. Mevcut durumda 3 olan boyun puanı geliştirilen model ile 2 puana düşmüştür. Aynı şekilde 3 olan gövde puanı 1 puana, 2 olan alt kol puanı 1 puana inmiştir. A grubu puanı (boyun, gövde, bacak ve taşınan yük) 7 puandan 3 puana indirilmiştir. B grubu (üst kol, alt kol, bilek ve tutma faktörü) 2 puan olarak bulunmuştur.



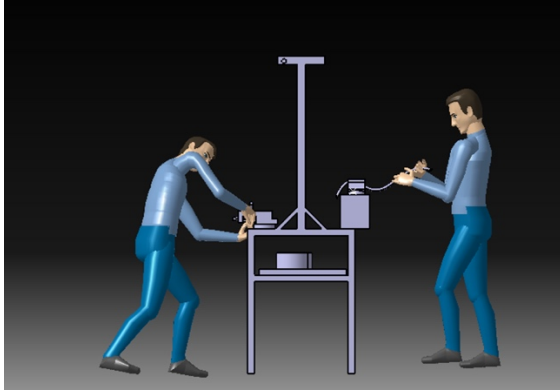
Şekil 9. Maça İmalat Bölümünde İyileştirilen Modelin Vücut Açıları

Tablo 4. Maça İmalat Bölümünde Çalışanın REBA Analizi Sonucu

Boyun puanı	2	Üst kol puanı	1	A Skoru	3
Gövde puanı	1	Alt kol puanı	1	B Skoru	2
Bacak puanı	1	Bilek puanı	2	C Skoru	3
Taşınan yük/kuvvet	2	Tutma faktörü	0	Aktivite yoğunluğu	2
				REBA Skoru	5

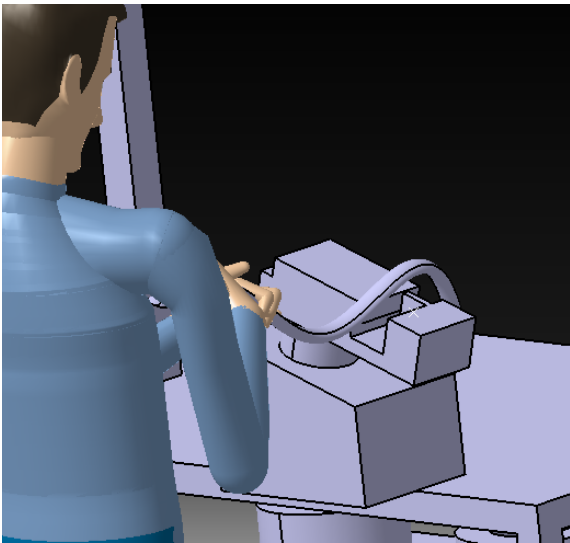
4.2. Vulkanizasyon Bölümü İyileştirilmiş Model

Mevcut durumda çalışan, daha iyi bir tutuş ve çekme kuvveti elde edebilmek için mengene doğru tutusunda ileri ve sol eksenine doğru fazla eğilmektedir. Geliştirilen modelde mengenenin yerden yüksekliği ve eğimi çalışan tarafından kendine göre ayarlanabilmektedir. Çalışanın daha iyi bir tutuş elde edebilmek için eğilme gereksinimi bu sayede ortadan kaldırılmıştır. Geliştirilen mengene tasarımı ile çalışanın gövde, bilek, üst kol duruşları ve tutma faktörü iyileştirilmiştir. İncelenen çalışmada mevcut durumda ve önerilen iyileştirilmiş durumda çalışanın vücut duruşları görsel olarak karşılaştırma kolaylığı olması sebebiyle Şekil 10'da ki gibi aynı tezgâhta modellenmiştir. Sağ tarafta bulunan model çalışanın iyileştirilmiş modeli, sol tarafta bulunan model çalışanın mevcut duruş pozisyonuna göre modellenmiş halidir.



Şekil 10. Vulkanizasyon İyileştirilmiş Model

Çalışmada geliştirilen eğimi ve yüksekliği ayarlanabilir mengene tasarımı Şekil 11'de gösterilmiştir.

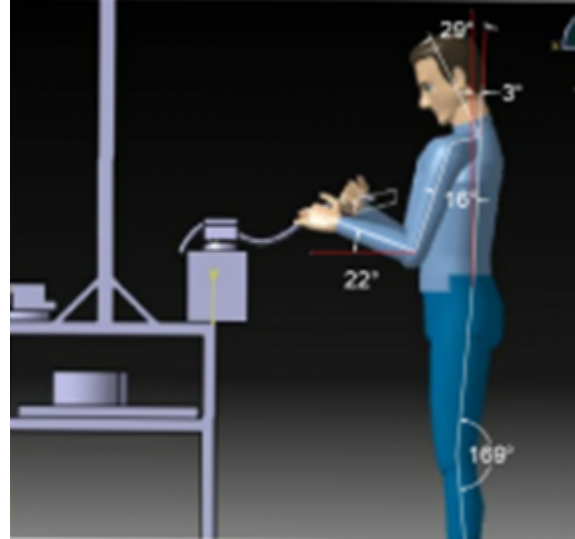


Şekil 11. Vulkanizasyonda Geliştirilen Mengene Tasarımı Modeli

4.2.1 Vulkanizasyon Bölümünde İyileştirilmiş Model REBA Analizi Sonuçları

Maça imalat bölümünde çalışanın dijital modelin vücut açıları Şekil 12'de ve bu modelin REBA Analizi sonuçları Tablo 5'te verilmiştir. Yapılan yeni sistem ile duruş analizi sonucunda çeşitli bölgelere etkiyen kuvvetlerin normal düzeye indiği görülmektedir. Geliştirilmiş modelde REBA skoru 7 olarak bulunmuştur. Önerilen sistemin insan sağlığı açısından uygun olduğu anlaşılmaktadır. Gövde, bacak, boyun, üst kol ve alt kolda zorlanma olmadığı görülmektedir. Mevcut durumda 4 olan gövde puanı geliştirilen model ile 2 puana düşmüştür. Aynı şekilde 3 olan üst kol puanı 1 puana, 3 olan bilek puanı 2 puana, 2 puan olan tutma faktörü 1 puana inmiştir. A grubu puanı (boyun, gövde, bacak ve taşınan yük) 9 puandan 6 puana indirilmiştir.

B grubu (üst kol, alt kol, bilek ve tutma faktörü) 7 puandan 3 puana indirilmiştir. Mevcut durumda 12 olan REBA puanı iyileştirilen model ile 7 puana indirilmiştir. Mevcut durumdaki çalışma pozisyonu ile çalışanın ilerleyen yıllarda kas ve iskelet sistemi rahatsızlıklarına yakalanma riski çok yüksektir. REBA puanının 12 olması bunu göstermektedir. Geliştirilen modelde çalışanın bütün uzuvları kabul edilebilir risk seviyesinde bulunmuştur. Çalışanın sağlığı açısından hiçbir risk taşımadığını ve önerilen durumun başarılı olduğunu göstermiştir.



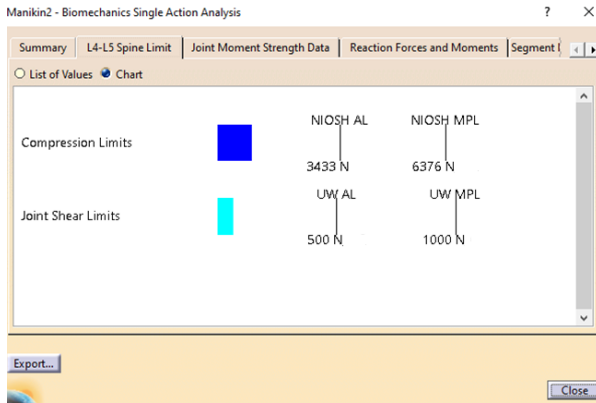
Şekil 12. Vulkanizasyon Bölümünde İyileştirilen Modelin Vücut Açıları

Mevcut durumda çalışanın L4-L5 diskine gelen basma kuvveti 4113 N olarak CATIA V5 programında Ergonomi Modülü üzerinden tespit edilmiştir. Yüksekliği ve eğimi ayarlanabilir mengene ile çalışanın yeni duruşu modellenmiş ve biyomekanik hareket analizi uygulanmıştır. Bu analiz sonucuna

göre L4-L5 diskine gelen basma kuvveti 942 N olarak bulunmuştur. Ulusal Mesleki Emniyet ve Sağlık Enstitüsü (NIOSH) tarafından 1981 yılında yapılan çalışmayla L4-L5 diskinde oluşan kuvvetin üst sınırı 3433 N'ü aşmamaktadır. Bu iyileştirilen model ile çalışanın L4-L5 diskindeki, yanlış beden duruşundan kaynaklanan basma kuvveti büyük oranda azaltılarak kas ve iskelet sistemi hastalığı oluşturabilecek yanlış pozisyonlar ortadan kaldırılmıştır. Biyomekanik analiz sonuçları Şekil 13'te verilmiştir.

Tablo 5. Vulkanizasyon Bölümünde Çalışanın REBA Analizi

Boyun puanı	2	Üst kol puanı	1	A Skoru	6
Gövde puanı	2	Alt kol puanı	1	B Skoru	3
Bacak puanı	2	Bilek puanı	2	C Skoru	6
Taşınan yük/kuvvet	2	Tutma faktörü	1	Aktivite yoğunluğu	1
				REBA Skoru	7



Şekil 13. Vulkanizasyon İyileştirme Biyomekanik Analizi Sonucu

5. Tartışma ve Sonuç

Tabular formda hazırlanmış postürel değerlendirme araçları ergonomi analizleri yapanlara büyük kolaylıklar sağlamaktadır. RULA ve REBA metotları, risklerin hızlı bir şekilde değerlendirilmesinde belki de en iyi bilinen ve kullanılanlardır (Hedge, 2005). Bu metotlar ile yapılan çalışmalar incelendiğinde bu çalışmadakine benzer yaklaşımlar ve başarılı sonuçlar görülmektedir. Atıcı vd. (2015) bir konveyör hattındaki montaj işinde çalışan çalışanın postürünü REBA ile analiz etmişler ve yeni bir hat

tasarımı önermişlerdir. Erdemir ve Eldem (2020) bir döküm atölyesindeki çalışanın postürünü CATIA'da modellemişler ve REBA analizi ile elde edilen riskli sonucu, yine CATIA'da tasarladıkları ve çalışma yüksekliğini arttıran yeni tasarım ile risksiz seviyeye indirmişlerdir. Kushwaha ve Kane (2016) oturarak çalışan vinç operatörünün işyerini dijital olarak modellemişler ve RULA analizi ile değerlendirip yeni bir tasarım yapmışlardır. Bu tasarım ile oturarak çalışmadaki REBA skorunu 7'den 3'e indirmişlerdir. İmalat sektöründe Boulila vd. (2018) yaptıkları çalışmada, üç farklı iş istasyonunda, çalışanların tehlikeli duruşları ile çalışma ortamlarını CATIA'da modelledikten sonra RULA ve REBA analizi gerçekleştirmişlerdir. Makinaların her operatör için uygun olmadığını tespit etmişler ve makine tablalarının yükseltilmesi ile beraber yönlendirilebilir bir montaj istasyonu önermişlerdir. İmalat sektöründe yapılan başka bir çalışmada, bir tarım ekipmanının montajında çalışan iki operatörün duruşları incelenmiş ve bunlar için RULA ve REBA uygulanmıştır. Her iki operatörün RULA analizi sonuçları kabul edilemez bulunmuş ve bu sonuçlar REBA sonuçları ile örtüşmüştür. Bir operatör için biyomekanik analiz yapılmış fakat sonuç aksiyon alma limitinin altında bulunmuştur. Çalışan sayısını bire indirecek yeni bir montaj süreci önerisi sunulmuştur.

Bu çalışmada izlenen prosedür, literatürdeki genel yaklaşımın haricinde, postürel değerlendirme aracı ile beraber biyomekanik analiz de kullanılarak, zorlanma ihtimali görülen vücut bölümlerinin değerlendirilmesinde şüpheye yer bırakılmamasını sağlamaktadır. Biyomekanik analiz ile uygulanan kuvvetin spesifik büyüklüğü, yönü, hangi uzuv ya da uzuvlar tarafından uygulandığı tanımlanabilmekte ve kritik eklemlerdeki yükler literatürdeki sınır değerleri ile karşılaştırılabilmektedir. Bu şekilde öne çıkan uygunsuz pozisyonadaki vücut bölümlerindeki olası rahatsızlıklar net bir şekilde görülebilmektedir. REBA gibi ergonomik değerlendirme araçları her ne kadar hızlı analiz sonucu verseler de kapsamlı biyomekanik analiz sonuçları ile desteklenmeleri iyileştirme çabasında doğru sonuçlara ulaşılması ihtimalini artıracaktır. Bu yaklaşımla, tekrarlı manuel işlerin gerçekleştiği montaj hatları ya da belirli bir çevrim hızında üretim yapan imalat hücrelerinde, olası rahatsızlıkların tespiti ve doğru iyileştirme adımlarının atılması daha hızlı gerçekleştirilebilecektir.

Yapılan çalışmada, vulkanizasyon ve maça imalat bölümlerinde çalışanların potansiyel yanlış duruşları tespit edilmiş, yanlış duruşlar üzerinde REBA Analizi yapılmış, çalışanların mevcut duruşları CATIA V5 ile dijital olarak modellenerek, bu modeller üzerinde biyomekanik analiz gerçekleştirilmiştir. Bulunan riskli durumları giderebilmek için CATIA V5 programı ile yeni

çalışma ortamları dizayn edilmiş, iyileştirilen durumların dijital modelleri üzerinde REBA ve biyomekanik analiz yapılmıştır. Maça imalat bölümünde ayarlanabilir masa iyileştirilmesi düşünülmüştür. Çalışanın mengineye fazla eğilmesini ortadan kaldırabilmek ve boyun açısını düzeltebilmek için masa yüksekliğini 86 cm'den 101 cm'ye model üzerinde yükseltilmiştir. Bu sayede çalışanın 9 olan REBA Analiz puanı 5 puana indirilmiştir. Geliştirilen model üzerinde çalışanın hiçbir uzuvu riskli görünmemektedir.

Vulkanizasyon bölümünde çalışma tezgâhi üzerinde eğimi ve yüksekliği ayarlanabilir mengine iyileştirilmesi düşünülmüştür. Çalışanın daha iyi bir kavrama elde edebilmek için sol ön tarafına eğilme gereksinimi ortadan kaldırılmıştır. Bu sayede çalışanın 12 puan olan REBA Analiz puanı 7 puana indirilmiştir. Geliştirilen model üzerinde çalışanın hiçbir uzuvu riskli görülmemektedir. CATIA V5 üzerinden yapılan biyomekanik analiz sonucuna göre çalışanın L4-L5 diskine gelen basma kuvveti değeri 4113 N olarak bulunmuştur. Bu da NIOSH tarafından belirlenen 3433 N aksiyon limitin üzerindedir. Geliştirilen tasarım ile basma kuvveti değeri 942 N olarak tespit edilmiştir. Bu değer çalışma için riskli bir durum olmadığını göstermektedir.

Biyomekanik analiz sınırlarının genişletilmesi ve farklı limit değerlerinin uygulanması ile çok daha detaylı sonuçlar elde edilmesi mümkündür. İşyeri tasarımında eklem kinematığının, (momentler, reaksiyon kuvvetleri, isokinetik ve isometrik yükler) düşünülmesi ve sınır değerlerinin hesaba katılması gereklidir (Wu vd., 2021; Wannop vd., 2012).

Gelecek çalışmada, önerilen tasarımların hayata geçirilmesi ile beraber öngörülen analiz sonuçlarının doğruluklarının izlenmesi beklenmektedir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Akay D., Dağdeviren M., ve Kurt M. (2003). Çalışma Duruşlarının Ergonomik Analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18(3), 73-84.

Antwi-Afari, M. F., Li, H., Edwards, D. J., Pärn, E. A., Seo, J. ve Wong, A. Y. L. (2017). Biomechanical Analysis of Risk Factors for Work-Related Musculoskeletal Disorders During Repetitive Lifting Task in Construction Workers. *Automation in Construction*, 83, 41-47. doi:10.1016/j.autcon.2017.07.007.

Atıcı H., Gönen D., ve Oral A. (2015). Çalışanlarda Zorlanmaya Neden Olan Duruşların Reba Yöntemi ile Ergonomik Analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3, 239-244,

Babalık Fatih C. (2016). *Mühendisler İçin Ergonomi - İşbilim*, Dora Yayın Dağıtım Ltd. Şti., Bursa.

Boulila, A., Ayadi, M. ve Mrabet, K. (2018). Ergonomics Study and Analysis of Work Stations in Tunisian Mechanical Manufacturing. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 28, 166-185. doi:10.1002/hfm.20732

Cabeças J. M. (2006). Occupational Musculoskeletal Disorders in Europe: Enterprise and Work Innovation Studies. *Universidade Nova de Lisboa, IET/CICS.NOVA-Interdisciplinary Centre on Social Sciences, Faculty of Science and Technology*, 2(2), 95-104.

Chaffin, D. B., Andersson, G. B. ve Martin, B. J. (2006). *Occupational Biomechanics*, Wiley, Hoboken, NJ.

Demirel, H. O., Ahmed S. ve Duffy V. G. (2021). Digital Human Modeling: A Review and Reappraisal of Origins, Present, and Expected Future Methods for Representing Humans Computationally. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 1-4. doi:10.1080/10447318.2021.1976507

Eldem, C., Aydoğan, B. ve Şahin, İ. (2017). Kaynak İşlemi Sırasındaki Çalışma Duruşlarının Bilgisayar Destekli Ergonomik Analizi. *Uluslararası Savunma Sanayi Sempozyumu (IDEFIS 2017)*, s.557-566, Kırıkkale.

Eldem, C., Top, N. ve Şahin, H. (2019). Dijital İnsan Modelleri Kullanarak Otomobil Sürücüsü Duruş Pozisyonlarının Ergonomik Değerlendirilmesi Üzerine Bir Çalışma. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(1), 22-31. doi:10.30855/gmbd.2019.01.03

Erdemir, F. ve Eldem, C. (2020). Bir Döküm Atölyesindeki Çalışma Duruşlarının Dijital İnsan Modelleme Tabanlı REBA Yöntemi ile Ergonomik Analizi. *Politeknik Dergisi*, 23(2), 435-443.

Golabchi, A., Han, S. ve Abourizk, S. (2018). A Simulation and Visualization-Based Framework of Labor Efficiency and Safety Analysis for Prevention Through Design and Planning. *Automation in Construction*, 96, 310-323. doi:10.1016/j.autcon.2018.10.001

Gonen, D., Oral, A. ve Yosunlukaya M. (2016). Computer-Aided Ergonomic Analysis for

- Assembly Unit of an Agricultural Device. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 26, 615-626.
doi:10.1002/hfm.20681
- Gökçe, H. ve Gökçe, H. (2013). CATIA V5 ile Bilgisayar Destekli Optimizasyon Süreci. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 10(1), 49-57.
- Hasdemir, A. G. (2013). Bilgisayar Destekli Ergonomi ve Bir Uygulama Çalışması. Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir.
- Hignett, S. ve McAtamney, L. (2000). Rapid Entire Body Assessment (REBA). *Applied Ergonomics*, 31, 201-205.
doi:10.1016/S0003-6870(99)00039-3
- Hedge A. (2005). Physical Methods. *In Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*, edited by Stanton, N. A., Hedge, A., Brookhuis, K., Salas, E. ve Hendrick. H. W. Chap. 2, Taylor & Francis, London.
- Koç S., ve Testik Ö., M. (2016). Mobilya Sektöründe Yaşanan Kas-İskelet Sistemi Risklerinin Farklı Değerlendirme Metotları ile İncelenmesi ve Minimizasyonu, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 27(2), 2-27.
- Kumar, M. ve Singh, B. (2018). Ergonomic Analysis of Electric Auto Rickshaw Using Catia. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)*, 8(3), 209-216.
- Kushwaha, D. K. ve Kane, P. (2016). Ergonomic Assessment and Workstation Design of Shipping Crane Cabin in Steel Industry. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 52, 29-39.
doi:10.1016/j.ergon.2015.08.003
- Liang, D., Sun, G. Z. ve Wu, S. (2016). The Ergonomics Analysis in the Process of Reversed Loader Cylinder Virtual Assembly Based on CATIA and DELMIA. *MATEC Web of Conferences*, 44, 02020.
doi:10.1051/mateconf/20164402020
- McGill, S. M., Norman, R. W., Yingling, V. R., Wells, R. P., ve Neumann, P. (1998). Shear Happens! Suggested Guidelines for Ergonomists to Reduce the Risk of Low Back Injury from Shear Loading. *Proceedings of the 30th Annual Conference of the Human Factors Association of Canada*, s.157-161, Mississauga, Canada.
- Mert E. A. (2014). Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması ve Bir Çanta İmalat Atölyesinde Uygulanması, *İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi*, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Polasek, P., Bures, M. ve Simon, M. (2015). Comparison of Digital Tools for Ergonomics in Practice. *Procedia Engineering*, 100, 1277-1285.
Doi:10.1016/j.proeng.2015.01.494
- Rahman, M. L. (2014). Study and Analysis of Work Postures of Workers Working in a Ceramic Industry Through Rapid Upper Limb Assessment (RULA). *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 5(3),14-20.
- Sağiroğlu H., Coşkun M. B., ve Erginel N. (2015). Reba ile Bir Üretim Hattındaki İş İstasyonlarının Ergonomik Risk Analizi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* 3, 339-345.
- Şahin, İ., Eldem, C., Kalyon, S. A. ve Gökçe, H. (2017). Digital Human Modelling and Ergonomic Analysis: Automatic Arm Barrier as an Example. *International Congress on New Trends in Science, Engineering and Technology (ICONTRENDS'17)*, s.176-187, Barcelona, Spain.
- Top, N. (2019). Operasyonel Ofis Mobilyası Tasarımının RULA Yöntemi ile Ergonomik Analizi ve Yeniden Tasarımı. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(3), 290-299.
doi:10.30855/gmbd.2019.03.10
- Top, N. Başak, H. ve Şahin, İ. (2021). Biyomimetik Tabanlı Fonksiyonel Yürüteç Tasarımı ve Dijital İnsan Modelleme ile Ergonomik Analizi. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(2), 618-634.
- Ulutaş, İ. B. ve Gündüz, T. (2017). Otomotiv Kablo İmalatında Ergonomik Risk Analizi. *Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering*, 22(2), 107-120. doi: 10.17482/uumfd.336440
- Waters, T. R., Putz-Anderson, V., Garg, A. ve Fine, L. J. (1993). Revised NIOSH Equation for the Design and Evaluation of Manual Lifting Tasks. *Ergonomics*, 36(7), 749-776.
- Wannop J. W., Worobets J. T. ve Stefanyshyn D. J. (2012). Normalization of Ground Reaction Forces, Joint Moments, and Free Moments in Human Locomotion. *Journal of Applied Biomechanics*, 28(6):665-76.
doi:10.1123/jab.28.6.665
- Wu, W., Saul, K. R., ve Huang, H. (2021). Using Reinforcement Learning to Estimate Human Joint Moments From Electromyography or Joint Kinematics: An Alternative Solution to

Musculoskeletal-Based Biomechanics. *Journal of Biomechanical Engineering*, 143(4), 044502.
doi:10.1115/1.4049333

EKLER

Ek-1. REBA Yöntemi

Ek-1.a. A Tablosu

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

Ek-1.b. B Tablosu

Tablo B		Alt kol					
Üst kol puanı	Bilek	1			2		
		1	2	3	1	2	3
1	1	1	2	2	1	2	3
2	2	1	2	3	2	3	4
3	3	3	4	5	4	5	5
4	4	4	5	5	5	6	7
5	6	7	8	8	7	8	8
6	7	8	8	8	8	9	9

Ek-1.c. C Tablosu

Puan A (Tablo A'dan alınan puan +kuvvet/ yükleme puanı)	Tablo C											
	Puan B, (tablo B'deki değer + tutuş skoru)											
	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	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12
10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
11	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12