

TEMSİLİ BİR GİYİLEBİLİR DIŞ İSKELETİN ERGONOMİK ANALİZ YÖNTEMLERİ İLE İNCELENMESİ

Kağan ERTAN^{1*}, Cengiz ELDEM²

¹ Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği
ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-3200-8691>

² Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği
ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-6652-7452>

Anahtar Kelimeler

Ergonomi
Dış iskelet
REBA
RULA

Öz

Üretim sürecinin birçok aşamasında, çalışanlar azami derecede ergonomiye ihtiyaç duymaktadır. Özellikle, baş seviyesi üzerinde gerçekleştirilmesi gereken çalışmalar bunların en iyi örneklerini oluşturur. Bu çalışmada üretim hattında çalışan işçilerin montaj esnasında karşılaşılabilecek zorlanmaları seviyelendirmek, bu seviyelendirmelere göre tasarımda değişiklikler yapmak ve tasarımda yeniliklerin yapılması amaçlanmaktadır. Çalışmanın amacı doğrultusunda toplanan veriler dikkate alınarak giyilebilir bir dış iskeletin ergonomik analizleri yapılmıştır. REBA ve RULA yöntemi kullanılarak yapılan bu analizlerle geliştirilmesi gereken parametreler belirlenmektedir. Böylece ergonomik açıdan daha iyi çalışma şartlarının oluşturulması sağlanabilecektir. Ayrıca giyilebilir dış iskelette gerçekleştirilecek iyileştirmelerin, vücudun hangi bölgesinde yoğunlaştırılması gerektiği belirlenebilecektir.

EXAMINATION OF A WEARABLE REPRESENTATIVE EXOSKELETON WITH ERGONOMIC ANALYSIS METHODS

Keywords

Ergonomics
Exoskeleton
REBA
RULA

Abstract

At many stages of the production process, employees need the maximum degree of ergonomics. In particular, overhead works is the best example of this issue. In this study, it is aimed to level the difficulties that the workers working on the production line will encounter during assembly and to make changes and innovations in the designs according to these levels. Ergonomic analyzes of a wearable exoskeleton were made, taking into account the data collected for the purpose of the study. The parameters that need to be developed are determined by these analyzes using the REBA and RULA methods. Thus, it will be possible to create better working conditions in terms of ergonomics. In addition, it will be possible to determine in which part of the body the improvements to be made in the wearable exoskeleton should be concentrated.

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi : 15.01.2022

Kabul Tarihi : 29.03.2022

Research Article

Submission Date : 15.01.2022

Accepted Date : 29.03.2022

* Sorumlu yazar e-posta: kagan.ertan@gazi.edu.tr

1. Giriş

Üretim montaj hatlarında çalışan işçiler, bir ürünün montajlanma süreci boyunca, tanımlanan rutin görevi defalarca tekrar etmek durumundadır. Bu çalışma montaj hattında çalışan işçilerin belirli bir görevi yerine getirirken giyilebilir dış iskeletlerin insan vücudu üzerinde nasıl bir etkisi olduğunu incelemektedir. Personelin çalışma sırasındaki duruşlarının analiz edilerek uygun hale getirilmesi ergonomi için olduğu kadar işçi güvenliği açısından da büyük önem taşımaktadır. Üretim hattındaki bir işçinin montaj esnasında karşılaşacağı zorlanmaları seviyelendirmek ve bu seviyelendirmelere göre tasarımlarda değişiklikler ve yenilikler yapılması amaçlanmaktadır.

Ergonomik açıdan personel duruşlarının analizleri REBA (Rapid Entire Body Assessment) ve RULA (Rapid Upper Limb Assessment) analizleri ile belirlenmiştir. Gerçekleştirilen çalışmalarda uygulanan yöntemler, uygulanabilirliğin yanı sıra ergonomik sorunu da çözemezse dış iskeletlerin üretimi için standart bir yol olmadığı sonucunu çıkarır. Bu durumda geçici çözümler, geliştirilecek daha kapsamlı bir yöntem arasındaki boşluğu kapatabilir.

1.1. Ergonomi Kavramı

Ergonomi kavramı kısaca "fiziksel çevrenin insana uyumlaştırılması süreci" olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde endüstrileşme hızının artışı ile birlikte makineler ile insan arasında artan ilişki, insan çalışma alanına uyumlu çevre, ekipman, ofis imkanları gibi fiziksel çevre kapsamında değerlendirilen birimlerin yaratılma çabasını zorunlu kılmaktadır. Çünkü gelişen teknoloji faaliyetleri ile birlikte aslında yalnızca fiziksel çevreden söz etmek yerine doğrudan insanın zihnini hedef alan ve zihne seslenen bilgisayar yazılımları, İnternet, web dizaynı gibi öğelerin de insan çalışma alanına uyumundan (Zihinsel algılama, kolay kontrol edebilme ve yönlendirebilme açısından) bahsetmek gerekmektedir. Bu açıdan bakıldığında ergonomi kavramı, birden fazla bilimsel disiplinin bir arada çalışması gereken bir alan veya yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu alanlardan başlıcaları mühendislik, fizyoloji, mimarlık, anatomi, sosyoloji ve psikolojidir. Tüm bu alanların ortak amacı bilim disiplini altında insana uyumlu ideal bir makine-çevre sistemi oluşturmaktır. Aynı zamanda insanların çalışma alanı içerisinde kendisi ile barışık uyumlu bir çevre yaratmanın yanında işletmeler için en önemli üretim faktörü olan insan gücünün rahat, sağlıklı ve kolay bir şekilde üretim ve ekonomik faaliyette bulunabileceği makine, ekipman, teçhizat ile donatılmış fabrika düzeni oluşturma isteği de vardır. Çünkü bilinmektedir ki, insanın verimli bir

şekilde çalışması, en iyiyi üretebilmesi ve ekonomik faaliyetlere etkin bir şekilde katılabilmesi, bu ideal uyumun yakalanabilmesiyle mümkün olmaktadır (<https://ergometri.com/ergonomi-nedir>). Ergonominin birincil amacı insan - makine birleşiminin verimliliği ile birlikte iş güvenliğini de arttırmaktır. Çalışmanın bir yöntem doğrultusunda düzenlenmesini amaçlayan ergonomi aynı zamanda insanın kullandığı araç ve makinelerin yaptığı işin insanın özellikleri ile uyum içinde olmasını da sağlamaya yöneliktir.

1.2. Giyilebilir Dış İskelet

Geçmişten günümüze uygarlığı şekillendiren buluşlara baktığımızda birçoğunun doğadan esinlendiği görülmektedir. Biyomimikri olarak adlandırılan bu yaklaşım, yüzyıllardır devam eden süreçte doğada başarıyla test edilmekte, modelleri ve stratejileri taklit ederek yenilikçi ve sürdürülebilir çözümler üretmektedir (<https://biomimicry.org/wh-at-is-biomimicry/>). Doğadan ilham alınan buluşların en yenilerinden biri de exoskeleton yani dış iskelettir (<https://www.britannica.com/science/exoskeleton-anatomy>). Dış İskelet (Exo-Skeleton), insan vücudu üzerine takılarak ya da giyilerek, insan hareketleri ile etkileşimli bir şekilde çalışan ve bu hareketlere destek ve koruma sağladığı gibi güç ve dayanıklılık da katan elektromekanik mekanizmaların genel adıdır (https://www.aselsan.com.tr/Askeri_Yuruyu_s_Asistani_1242.pdf). General Electric firması, 1965 yılında Hardiman adını verdiği, kullanıcıların ağır nesneleri kaldırma becerisini artıran bir exoskeleton üretti. 60'ların sonlarına gelindiğinde Sırbistan'da bulunan Mihajlo Pupin Enstitüsünde ve daha sonra 1970'lerde ABD'de Wisconsin Üniversitesinde yürüme engelli bulunanlara yardımcı olmayı amaçlayan exoskeleton'lar geliştirildi. Ancak o dönemin teknik donanım yetersizlikleri ile birlikte bilgi ve deneyim eksikliği bu teknolojinin olgunlaşmasının 21. yüzyılda gerçekleşmesine neden oldu (<https://www.eduexo.com/resources/articles/exoskeleton-history/>). Sonraki yıllarda yapılan çalışmalara bakıldığında giyilebilir dış iskeletin farklı tasarım ve kullanımına yönelik; askeri ve yük taşıma amaçlı insan güçlendirme, tedavi ve destek için iyileştirme amaçlı ürünler ortaya konulmuştur.

Ülkemizde giyilebilir dış iskelet çalışmalarına örnek olarak, Aselsan'ın Türk askeri için geliştirdiği ASYA (Askeri Yürüyüş Asistanı) arazide yürüme, koşma, tırmanma ve sıçrama gibi personelin fiziksel performansını yükselten, ağır teçhizat taşımaya kolaylaştırarak yorgunluğa karşı direncini artıran bir ürün olarak karşımıza çıkmaktadır. Tam teçhizat intikale çıkan askerlerin yüklerini daha rahat taşımasına olanak sağlamaktadır.



Şekil 1. ASYA (Askeri Yürüyüş Asistanı)

(https://www.aselsan.com.tr/Askeri_Yuruyus_A_sistani_1242.pdf)

Tablo 1'de farklı şirketler ve üniversitelerde geliştirilen bazı dış iskeletlerin kullanım amacına göre karşılaştırılması yapılmıştır. Burada dış iskeletlerin hangi amaçlarda kullanıldığı ve vücudun hangi bölgesine etki ettiği gösterilmiştir.

Tablo 1. Geliştirilen Bazı Dış İskeletlerin Kullanım Amacına Göre Karşılaştırılması

Dış İskelet Adı	Amaç	Bölge
Tokyo Tarım ve Tek. Üniv. Dış İskeleti	Tarım işçilerine destek olma	Tüm Gövde
Kanagawa Tek. Ens. Güç Elbisesi	Hasta taşıyan hemşirelere destek olma	Tüm Gövde
HAL 5	Engellilerin yürütülmesi ve yük taşıma	Tüm Gövde
Raytheon Sarcos	Askerlere destek olma ve yük taşıma	Tüm Gövde
Skelex	Sanayi işçilerine destek olma	Üst Ekstremiteler
MIT Exoskeleton	Yük taşıma	Alt Ekstremiteler
ReWalk	Engellilerin yürütülmesi	Alt Ekstremiteler
Berlin Tek. Üniv. Dış İskeleti	Rehabilitasyon	Alt Ekstremiteler

2. Ergonomik Dış İskeletlerle Yapılan Farklı Çalışmaların İncelenmesi

Kafa seviyesinin üstünde çalışılan işleri desteklemek için dış iskelet cihazı ile yapılan çalışmada, artan verimlilik ve kalitenin yanı sıra omuz bölgesindeki ağrı azalma olduğu bildirilmiştir (Butler, 2016).

Gillette ve Stephenson'ın yaptığı çalışmada, montaj hattında dış iskeletli 6 işçi tarafından kafa seviyesinin üzerinde çalışılan bir işte EMG (elektromiyografi) kullanılarak test yapıldı. Üst kol ve omuzdaki kas aktivitelerinde %27'ye kadar bir azalmanın ölçülebildiği kanıtlandı (Gillette ve Stephenson, 2017).

Rashedi, EMG ve RPD (Rate of Perceived Discomfort - Algılanan Rahatsızlık Oranı) kullanarak kas aktivitesini ve rahatsızlığını %56'ya kadar azalttığını kanıtladı. Çalışma şartları farklı olduğu ve kullanılan dış iskelet cihazı antropomorfik bir cihaz olmadığı için çalışma sonuçları sadece belirli bir ölçüde karşılaştırılabilir (Rashedi ve ark., 2014).

3. Materyal ve Metod

Montaj görevi sırasında bir dış iskelet cihazı kullanırken ergonomik değerlendirme üzerindeki olası etkiyi göstermek için, cihazın entegrasyonu örnek bir işyerinde simüle edilmiştir. Tablo 2 ve Tablo 3, örnek işyerinin ve dış iskeletin teknik özelliklerini göstermektedir. Şekil 2, işyeri koşullarını temsili olarak göstermektedir. Her ne kadar yöntemi göstermek amacıyla özellikler hakkında sağlanan veriler tahmini, yaklaşık değerler olsa da, bir otomotiv montaj hattındaki şartlara oldukça yakındır. Bu, dış iskelet cihazı için de geçerlidir. Seçilen işyeri, bir otomobilin alt gövdesinin neme, suya ve çamura karşı kapatılması gereken trim parçalarının montaj yeridir. Araçlar lift ile kaldırılır böylece işçiler aracın altındayken görevlerini yerine getirebilirler. İşçi dik bir pozisyonda araba gövdesinin altında durur ve akülü bir tornavida kullanarak zemin döşemesini monte eder.

İşçi tornavidayı bir elinde tutar, vidaları doğru şekilde konumlandırır ve montajını gerçekleştirir. Diğer elini alt gövdeye karşı desteklemek için kullanır. Her iki kolu da göğüs ve üst kol arasında, üst kol ve önkol arasında yaklaşık 90°'lik bir açı ile tutar. İşçi, vida başına beş saniye uğraşır. Parçanın konumlandırılması, kolların kaldırılması, indirilmesi ve montajı yaklaşık 60 saniye sürer. Ardından işçi varsayılan döngüyü tamamlar.

Bu araştırma için kullanılan örnek dış iskelet, üst ekstremiteler bölgesini destekleyen bir cihazdır. Uzun süreli çalışma sırasındaki gerilmeleri azaltmak için özel olarak tasarlanmıştır (<https://www.skelex.com/skelex-360-xfr/>). Bu cihazların ana çerçevesi sırt

çantası gibi giyilir ve vücuda kemerlerle sabitlenir (bkz. Şekil 3). Birçok dış iskelet üreticisi cihazlarının destek kuvvetlerini, ZeroG dengeleme yaklaşımına göre ayarlamaktadır. Destek derecesi, gerilmenin giderilmesi için kaldırılmış kolların ağırlığını telafi edecek şekilde ayarlanır. Cihaz, görevi sırasında yaklaşık 24 Newtonluk destek sağlamaktadır.



Şekil 2. Kafa Seviyesinin Üzerinde Gerçekleşen İşler İçin İşyeri Koşulları

Tablo 2. Kafa Seviyesinin Üzerinde Gerçekleşen İşler İçin Örnek İşyeri Şartları

Vardiya süresi	9 saat
Mola süreleri	1.5 saat
Kafa üstü çalışma süresi	3 saat 40 dakika
İşin süresi/ takılan vida sayısı	160 saniye/ 20 vida
Vida başına süre	5 saniye
Vidalama makinesi ağırlığı	1.55 kg
Alt döşeme ağırlığı	1.45 kg
Vücut duruşu açıları	Üst kol ve göğüs arası: 90 ° Önkol ve üst kol arası: 90 °

Tablo 3. Dış İskelet Özellikleri

(<https://www.skelex.com/skelex-360-xfr/>)

Desteklenen ağırlık / Kuvvet	2.4 kg / ~ 24 N
Dış iskeletin toplam ağırlığı	2 kg
Dezavantajlar	Kısıtlı konfor Kısıtlı hareket özgürlüğü



Şekil 3. Örnek Dış İskelet Cihazı

(<https://www.skelex.com/skelex-360-xfr/>)

4. Değerlendirme prosedürlerinin Uygulanması

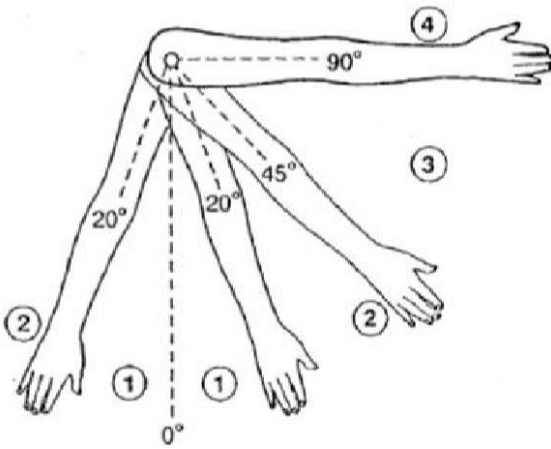
Bölüm 3'te açıklanan şart ve koşullara dayanarak, endüstrinin gereksinimlerini göz önünde bulundurarak, dış iskelet etkilerini pozitif ve negatif değerlendirmek için birçok yöntem vardır. Bu çalışmada REBA ve RULA analizlerine odaklanılmıştır. Bu yöntemler bu bölümde açıklanmakta, uygulanmakta ve tartışılmaktadır. Yöntemlerin aynı şekilde uygulandığına dikkat etmek önemlidir. Değerlendirme yapılırken çalışma alanı koşulları, karşılaşılan güçlükler ve duruşlar ile ilgili parametreler çalışmada kullanılır. Sonuçlar tablolar aracılığıyla belirlenir.

Çalışmanın dayandığı değerlendirme yöntemi ve parametre seçimleri ilgili makaleden alınmıştır (Roman-Liu, 2014). İlgili makalede ergonomik analiz yöntemlerinin karşılaştırılmalı analizi yapılmaktadır. Buradaki çalışmaya uygun olacak şekilde analiz yöntemleri belirlenmiştir. Sonraki bölümlerde exoskeleton olan ve olmayan durumlar için REBA ve RULA yöntemleri uygulanmaktadır. Yalnızca dış iskeletten etkilenen bölgelerin kriterleri sunulmaktadır. Temsili giyilebilir dış iskeletten etkilenmeyen bölgelerin parametreleri gösterilmez.

4.1. REBA - Rapid Entire Body Assessment (Hızlı Tüm Vücut Değerlendirmesi)

REBA, 1999 yılında sahada ihtiyaç olduğu düşünüldükçe sağlık sektörü başta olmak üzere diğer hizmet sektörlerinde o zamana dek var olan ve öngörülemeyen çalışma duruşu türlerine duyarlı olacak biçimde Hignett ve McAtamney tarafından tasarlanarak geliştirilmiştir. Öncelikle ergonomist ve fizyoterapistler ile mesleki terapist ve hemşirelerden oluşan bir ekip; statik ve dinamik duruşsal yüklenme faktörleri, insan-yük arayüzü (kavrama) ve yerçekimi destekli üst ekstremité pozisyonu kavramlarını birleştiren yeni bir araç üretmek için 600'den fazla vücut duruş örneği toplayarak kodlamıştır (Hignett ve L. McAtamney, 2000).

Araştırmada yöntem, vücuttaki 13 farklı bölgenin, kuvvetlere ve duruşlara dayalı değerlendirilmesini içermektedir. Adım 1 ile adım 6, A grubu olarak adlandırılmaktadır ve boyun, gövde ve bacak bölgesini değerlendirmektedir. Grup B, adım 7 ile adım 13 kol ve bilek değerlendirilmesine odaklanmaktadır (Şekil 5). Her adımda, her grupta (A ve B) ayrı ayrı puan hesaplanır. Her iki grup sonucu, genel sonucu tanımlamak için üçüncü bir tablonun (Tablo C) girdi parametresidir. REBA, verilen dış iskelet ve işyeri özelliklerinden etkilenen kol yapısı değerlendirilmesini inceleyen sadece bir giriş parametresine sahiptir. Tablo 6'da dış iskeletin kullanılmasıyla riskin azaldığı gösterilmektedir.



Şekil 4. Üst Kollar Açı-Skor
(Hignett ve L. McAtamney, 2000)

Tablo 4. Üst Kollar Açı-Skor Tablosu
(Hignett ve L. McAtamney, 2000)

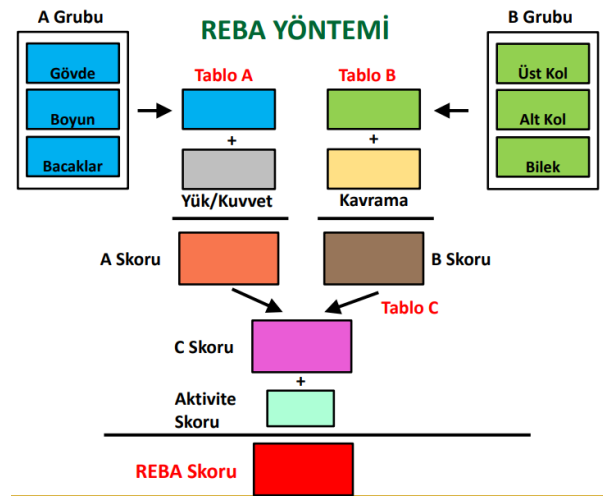
ÜST KOLLAR

Hareket	Skor	Skor Değişimi
20° Fleksiyon - 20° Ekstansiyon	1	Kolda: - Abdüksiyon varsa - Rotasyon varsa +1
20° - 45° Fleksiyon > 20° Ekstansiyon	2	+1
45° - 90° Fleksiyon	3	Omuz yükselmişse +1
> 90° Fleksiyon	4	Kolun duruşunda yerçekimi desteği etkiliyse -1

Tablo 5. REBA Risk Derecelendirmesi - Karar Tablosu (Hignett ve L. McAtamney, 2000)

REBA Risk Derecelendirmesi

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



Şekil 5. REBA Skoru Tablosu (Hignett ve L. McAtamney, 2000)

Değerlendirmesi yapılacak olan vücut bölgesi üst kol olduğundan sadece B grubu değerlendirilmesi yapılmaktadır. Şekil 4 üst kolun duruşunu göstermektedir. Tablo 4 ise bu duruşun skorunu verir. Baş seviyesinin üzerindeki bir işte çalışan işçinin vücut duruş açısı ön kol ve üst kol arasında 90 derece olduğundan 3 skorunu almakta, ek olarak omuz yükseldiğinde de +1 skorunu almaktadır. Şekil 5'te bu skoru değiştirecek başka parametre olmadığından dış iskeletsiz durumda toplamda 4 REBA skoru elde edilmiştir. Dış iskeletli durumda ise kolun duruşu ZeroG dengeleme yaklaşımına göre destek derecesi, gerilmenin giderilmesi için kaldırılmış kolların ağırlığını telafi edecek şekilde ayarlandığından Tablo 4'teki skor değişimi -1 olarak yansır. Böylece buradaki REBA skoru ise 3 olarak hesaplanmıştır. Tablo 5'te de bu skorların risk seviyeleri gösterilmiştir.

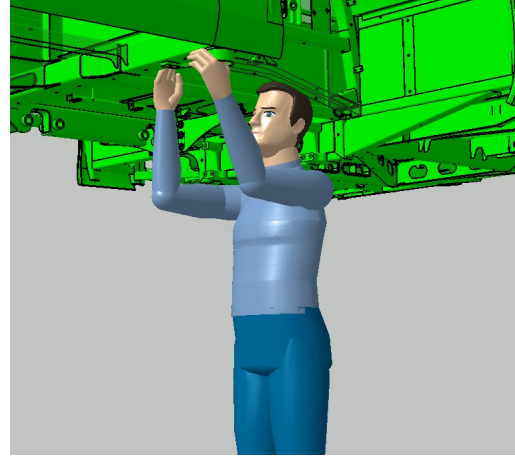
Tablo 6. İlgili Parametrelerin REBA Değerlendirmesi

REBA	Dış İskeletsiz	Dış İskeletli
Üst kolun bulunduğu konum	Skor 4 (Derece 2)	Skor 3 (Derece 1)
Tablo C: Genel sonuç	Skor 4 (Derece 2) Orta seviye risk	Skor 3 (Derece 1) Düşük seviye risk

4.2. RULA – Rapid Upper Limb Assessment (Hızlı Üst Uzun Değerlendirmesi)

McAtamney ve Corlett, duruş bozukluğu nedeniyle kas ve iskelet sistemi üzerinde ortaya çıkabilecek hastalıkların risk faktörünün belirlenebilmesi için RULA ergonomik analiz yöntemini geliştirmişlerdir (McAtamney ve ark., 1993). RULA analizi ile çalışma sırasında bireylerin kas fonksiyonları ve vücut üzerindeki yük sebebiyle oluşabilecek rahatsızlık riskini azaltmak için gerekli müdahale seviyesi tespit edilebilmektedir (Hussain ve ark., 2019). RULA, çalışanın üst uzuvlarındaki baskılamayı hızlı bir biçimde analiz etmeyi desteklemek amacıyla tasarlanmış bir ergonomik analiz yöntemidir. Vücutta oluşan baskıların, sırt, bel ve bacaklardaki yüke göre daha fazla olduğu durumlarda meydana gelen kas iskelet sistemi hastalığı risklerini nesnel bir şekilde ölçmeyi sağlar. Gövde, boyun, el ve üst kolun çalışma sırasındaki biyomekanik ve yük değerlerini inceler. Ergonomik analiz sırasında bilek, alt kol, üst kol, bacaklar, gövde ve boyun için birer puan atanır ve daha sonra bu puanlar bir formda birleştirilerek risk düzeyini gösteren puan elde edilir (Neşeli, 2016).

Dassault Systemes firmasının CATIA yazılımının kullanılmasıyla gerçekleştirilen RULA analizinde insan modelini konumlandırmak için CATIA V5 R21'de bulunan "Ergonomics Design & Analysis" modülü kullanılmıştır. Modülün "Human Builder" özelliği kullanılarak dijital insan modelleri kolayca oluşturulmaktadır. 175 cm boyunda bir erkek model oluşturulmuştur. Seçilen boy sadece bir örnek teşkil etmekle birlikte, daha uzun boylu bir modelin de oluşturulması mümkündür. Modeli Şekil 6'daki gibi konumlandırdıktan sonra RULA analizi kısmına geçilmiştir. CATIA ile yapılan analize ait sonuçlar Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilmiştir.

**Şekil 6. CATIA Programında Oluşturulan Model Ve Duruş Pozisyonunun Gösterimi**

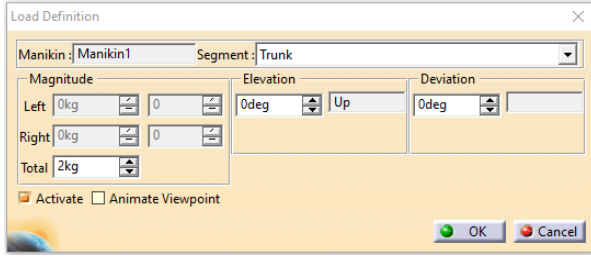
RULA analizinde riskler renklerle temsil edilir. Analiz sonuçlarına göre elde edilen değerlerin risk faktörüne göre renk dağılımı, Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7. RULA Analizi Uzunlardaki Değerlerin Riskine Göre Renk Dağılımı (Vaclav vd., 2007)

Bölge	Puan	Puanla ilişkilendirilen renk kodu					
		1	2	3	4	5	6
Üst kol	1-6	Green	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
Önkol	1-3	Green	Yellow	Red	Grey	Grey	Grey
Bilek	1-4	Green	Yellow	Orange	Red	Red	Red
Bilek bükümü	1-2	Green	Red	Grey	Grey	Grey	Grey
Boyun	1-6	Green	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
Gövde	1-6	Green	Green	Yellow	Yellow	Red	Red

Tablo 8. RULA Yöntemi Sonucu Elde Edilen Puanların Risk Düzeyi (McAtamney ve ark., 1993)

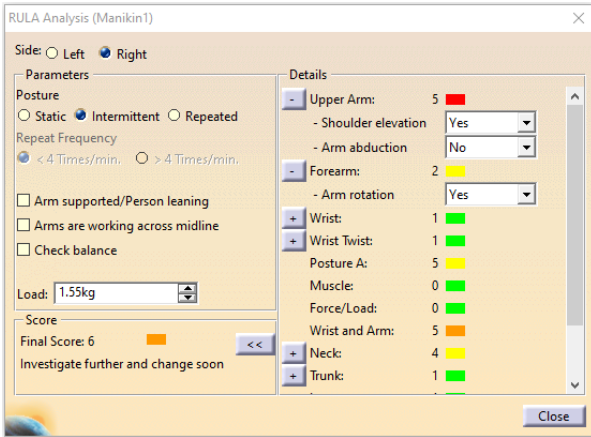
SKOR	RİSK DÜZEYİ
1-2	İhmal edilebilir risk düzeyidir. Acil iyileştirmelere gerek yoktur.
3-4	Düşük risk düzeyidir. İhtiyaç duyulduğunda iyileştirmeler yapılmalıdır.
5-6	Orta risk düzeyidir. Daha fazla gözlem ve yakın zamanda iyileştirmeler yapılmalıdır.
6+	Çok yüksek risk düzeyidir. Zaman kaybedilmeden çok acil iyileştirmeler yapılmalıdır.



Şekil 7. Modelin Dış İskelet Cihazını Giydiği Durumda Modele Binen Ağırlığın Verilmesi

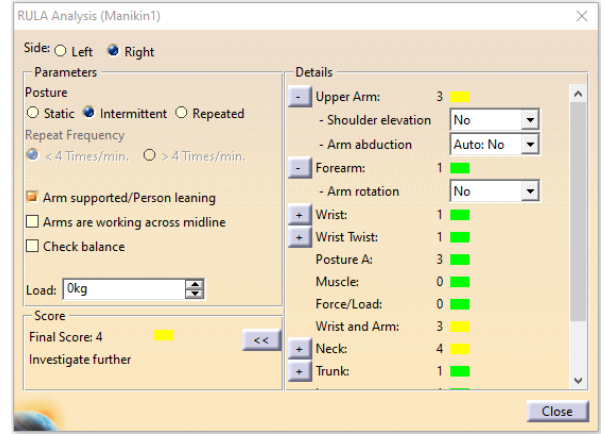
Şekil 7'de gösterilen load definition kısmında oluşturulan modelin dış iskelet cihazını giydiği durumda üzerine binen ek yükün girişi yapılmıştır. Uygulama yeri olarak sırt seçilmiştir.

Yapılan ilk analizde dış iskeletin giyilmediği durumun sonuçları alınmıştır. Burada sağ ve sol kolda da aynı sonuçlar alındığı için sadece sağ taraf sonuçları eklendi. Akülü vidalama cihazının ağırlığı 1.55 kg olarak girildi. Ayrıca details kısmında kolların durumuna göre gerekli düzenlemeler de yapılmıştır.



Şekil 8. Dış İskeletin Giyilmediği Durumda Yapılan RULA analizi (Analiz 1)

İkinci analizde ise dış iskeletin giyildiği durumun sonuçları alınmıştır. Arm supported seçeneği aktif edildi. Şekil 7'de tanımlanan ağırlık bu analiz için kullanıldı. Dış iskeletin kaldırma gücü, akülü vidalama cihazının ağırlığını karşıladığı için bu sefer ek ağırlık girişi yapılmadı. Details kısmı da yine duruma göre düzenlendi.



Şekil 9. Dış İskeletin Giyildiği Durumda Yapılan RULA Analizi (Analiz 2)

İki durum için yapılan RULA analizleri sonucu programın bize verdiği sonuçlar şu şekildedir;

Dış iskeletin giyilmediği durumda Final Score: 6 olarak ölçülmüştür. Yani orta seviye risk düzeyidir. Daha fazla gözlemlenerek yakın zamanda iyileştirmeler yapılmalıdır.

Dış iskeletin giyildiği durumda Final Score: 4 olarak ölçülmüştür. Yani düşük seviye risk düzeyidir. Buna göre, giyilebilir bir dış iskeletin vücudun üst bölgesine olan etkilerinde iyileştirme yapılmasına gerek duyulmamaktadır.

Her iki analiz türünün karşılaştırılması Tablo 9'da gösterilmektedir.

Tablo 9. REBA ve RULA Analizlerinin Risk Seviyeleri Gösterimi

Metot	Dış İskeletsiz	Dış İskeletli
REBA	4 : Orta seviye risk	3 : Düşük seviye risk
RULA	6 : Orta seviye risk	4 : Düşük seviye risk

5. Sonuç

Bu çalışmada, örnek bir işyerinde temsili bir giyilebilir dış iskelet cihazının kullanımı simüle edildi. İncelenen her iki yöntem, işçinin bir dış iskelet cihazı kullandığı zaman pozitif yönde etkilendiğini göstermektedir. Tablo 9, örnek işyerinde dış iskeletli ve dış iskeletsiz tüm değerlendirme sonuçlarının kavramsal bir şekilde özetlemektedir. Daha kesin sonuçların elde edilmesi için daha kapsamlı çalışmaların (gelişmiş analiz yöntemleri) yapılması ve teknolojik aletlerin (elektromiyografi cihazı vb.) kullanılması önerilmektedir. Bazı varsayımlar ve koşullar daha ayrıntılı olarak ele alınmalıdır. Bu çalışma daha kapsamlı bir araştırma için genel bir bakış açısı sağlar. Ayrıca dış iskelet cihazlarında

gerilim, gerinim kavramı da göz önünde bulundurulmalıdır. Son zamanlarda endüstride, askeri alanda ve sağlık sektöründe dış iskeletlere olan ilgi giderek artmaktadır. Fabrikaların, ergonomik yöntemlere olan talebinin artması bu teoriyi desteklemektedir. Bazı araştırmacılar bel üstü giyilen dış iskeletlerin bacaklarda oluşturacağı yükün ve zorlanmanın artmasına sebebiyet vermesiyle oluşan dezavantajlar hakkında çalışmalar yapsa da (De Looze ve ark., 2016); avantajların dezavantajlardan daha ağır basacağı varsayılabilir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

A Brief History of Robotic Exoskeletons, EduExo, Erişim Adresi: <https://www.eduexo.com/resources/articles/exoskeleton-history/> Erişim Tarihi: 11 Mayıs 2021

Askeri Yürüyüş Asistanı, Aselsan, Erişim Adresi: https://www.aselsan.com.tr/Askeri_Yuruyus_Astani_1242.pdf Erişim Tarihi: 11 Mayıs 2021

Butler T. (2016). Exoskeleton Technology: Making Workers Safer and More Productive. *American Society of Safety Engineers - ASSE*, (61), 32-36.

De Looze M. P., Bosch T., Krause F., Stadler K. S. & O'Sullivan L. W. (2016). Exoskeletons for Industrial Application and Their Potential Effects on Physical Work Load. *Ergonomics*, 59(5), 671-681.

Ergonomi nedir?, Ergometri, Erişim Adresi: <https://ergometri.com> Erişim Tarihi: 5 Mayıs 2021

Exoskeleton, Britannica, Erişim Adresi: <https://www.britannica.com/science/exoskeleton-anatomy> Erişim Tarihi: 5 Mayıs 2021

Gillette J. C. & Stephenson M. L. (2017). EMG Assessment of a Shoulder Support Exoskeleton During On-Site Job Tasks. *Annual Meeting of the American Society of Biomechanics, Boulder*, (41).

Hussain, M. M., Qutubuddin, S. M., Kumar K. P. R. & Reddy, C. K. (2019). Digital Human Modeling in Ergonomic Risk Assessment of Working Postures

using RULA. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bangkok, Thailand*.

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.

Neşeli C. (2016). Ergonomik Risk Analizi Yöntemlerinin Karşılaştırılması ve Bir Kalıp İmalat Firmasında Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, İzmir.

Örnek dış iskelet cihazı, Skelex, Erişim Adresi: <https://www.skelex.com/skelex-360-xfr/> Erişim Tarihi: 11 Mayıs 2021

Rashedi E., Kim S., Nussbaum M. A. & Agnew M. J. (2014). Ergonomic Evaluation of a Wearable Assistive Device for Overhead Work. *Ergonomics*, 57(12), 1864-1874.

Roman-Liu D. (2014). Comparison of Concepts in Easy-To-Use Methods for MSD risk assessment. *Applied Ergonomics*, 45(3), 420-427.

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

Vaclav, S., Peterka, J., Pokorny, P. (2007). Objective Method for Assembly. In *Annals of DAAAM for 2007 & Proceedings*, Viedeň, ISSN 1726-9679.

What is biomimicry?, Biomimicry Institute, Erişim Adresi: <https://biomimicry.org/> Erişim Tarihi: 5 Mayıs 2021