

PAKETLEME BÖLÜMÜNDE ÇALIŞANLARIN ÇALIŞMA DURUŞLARININ ERGONOMİK RİSK ANALİZİ

Sinan EMİR¹, Müge AKYILDIZ², Cansu EKER³, Sertuğ TÜFEKÇİ⁴, Murat DERİCİ⁵, Demet GÖNEN OCAKTAN^{6*}

¹ Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Balıkesir
ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-6645-3972>

² Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Balıkesir
ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-3091-0529>

³ Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Balıkesir
ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-9322-6185>

⁴ Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Balıkesir
ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-9340-9312>

⁵ Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Balıkesir
ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-6326-2962>

⁶ Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Balıkesir
ORCID No : orcid.org/0000-0003-1997-6719

Anahtar Kelimeler	Öz
Kas İskelet Sistemi Rahatsızlıkları Ergonomi Jack Simulasyon NIOSH Kaldırma Denklemi AnyBody Modelleme Sistemi	<i>Balıkesir Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyet gösteren bir işletmenin paketleme bölümü incelenmiş, çalışanın çivi dolu kutuları tartmak üzere tartıya koyması ve tartılan kutuları palete yerleştirmesi esnasındaki çalışma duruşları gözlenmiştir. Kutuları kaldırma, taşıma ve palete yerleştirme esnasında ergonomik olmayan çalışma duruşlarının kas iskelet sistemi rahatsızlıklarına (KİSR), işgücü ve üretim kayıplarına yol açacağı değerlendirilmiştir. KİSR'e neden olabilecek bu çalışma duruşlarının iyileştirilmesi ve hatta ortadan kaldırılması gerekmektedir. Bu olumsuz etkiler ergonomik bir çalışma ortamının yaratılması ile önlenilecektir. Çalışmada, ergonomik olmayan duruşların belirlenebilmesi için çalışma ortamı Solidworks'te modellenmiştir. Kutuları tartıya kaldırma işlemi için Siemens Jack Human Simulasyonu ve Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü (NIOSH) Kaldırma Analizi, kutuları palete yerleştirme işlemi için de AnyBody Modelleme Sistemi (AMS) ile analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda bu çalışma duruşlarının çalışanı zorladığı ve gelecekte meslek hastalığı riski oluşturacağı göz önünde bulundurularak, bu zorlanmaları ortadan kaldıracak robot kol önerisi sunulmuştur.</i>

ERGONOMIC RISK ANALYSIS OF EMPLOYEES WORKING IN THE PACKAGING DEPARTMENT

Keywords	Abstract
Musculoskeletal System Disorder Ergonomics Jack Simulation NIOSH Lifting Equation AnyBody Modelling System	<i>The packaging department of a company operating in Balıkesir Organized Industrial Zone was examined and the working postures were observed during the employee's placing the boxes full of bolts on the scales and placing the weighed boxes on the pallet. Non-ergonomic working postures during lifting, carrying and palletizing of the boxes were evaluated to cause musculoskeletal disorders (MSD), labor and production losses. These working postures that may cause MSD, should be improved and even eliminated. These negative effects can be prevented by creating an ergonomic workplace. In the study, the working environment was modeled in Solidworks to determine non-ergonomic postures. Siemens Jack Human Simulation and National Occupational Health and Safety Institute (NIOSH) lift analysis were carried out for lifting the boxes to the scale, and AnyBody Modeling System (AMS) analysis was carried out for the placement of boxes on pallet. As a result of these analyses, considering the fact that these working postures forced the employee and created a risk for future occupational disease, a robot arm was proposed to eliminate these difficulties.</i>
Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 27.11.2018	Submission Date : 27.11.2018
Kabul Tarihi : 20.03.2019	Accepted Date : 20.03.2019

* Sorumlu yazar; e-posta : dgonen@balikesir.edu.tr

1. Giriş

Gün içerisinde tekrarlayan ve eğilme, uzanma, ağırlık kaldırma vb. gibi çalışanları zorlayan duruşlar kas iskelet sistemi rahatsızlıklarına (KİSR) yol açmaktadır. Çalışanların rahatsızlanmasında durumunda iş gücünde ve verimlilikte azalmalar olacağından, bu duruşların önlenmesi için ergonomik iyileştirilmelerin yapılması önemlidir. Tanır vd. (2013), bir otomotiv fabrikasında yaptığı çalışmada, KİSR'e dayanan hastalıkların belirlenmesi amacıyla anket çalışması yapmışlardır. Anket sonucunda mavi yakalılarda eğilerek çalışmaya ve yük kaldırmaya bağlı olarak bel ağrısı, beyaz yakalıları da ise fazla masa başında oturmaya bağlı olarak boyun ağrısı şikayetleri ile karşılaştığı görülmüştür. Bu rahatsızlıkları ortadan kaldırmak amacıyla otomotiv endüstrisinde KİSR'den korunma rehberlerinin hazırlanması gerektiği sonucuna varmışlardır. Çalışanları zorlayan ve ileride kalıcı rahatsızlıklara neden olabilecek bu çalışma duruşları farklı yöntemler ile değerlendirilebilmektedir. Hovanec (2017), yaptığı çalışmada ergonomik risk değerlendirme çalışmasını, çalışma sonucunda elde edilen verilere göre öneri sunmuş ve öneri analizini bilgisayar destekli ergonomi yazılımı Jack ile simüle etmiştir. Coşkun vd. (2015), çalışmalarında, bir kompresör işletmesinde yer alan iş istasyonlarını incelemişler ve ergonomik risk analizleri için NIOSH yönteminden yararlanmışlardır. Risk seviyelerini azaltmak için önerilerde bulunmuşlardır. Potvin (2014) çalışmasında, NIOSH kaldırma denkleminde önerilen kaldırma ağırlıkları ile denklemin geliştirilmesinde kullanılan biyomekanik, psikofiziksel ve fizyolojik kriterler arasında bir karşılaştırma yapmış ve bileşik kabul edilebilir yük tablosu geliştirmiştir. Akkale (2014) çalışmasında, kaldırma işlerini değerlendirmiş ve NIOSH kaldırma eşitini kullanarak bu işleri ergonomik sınırlar içine alabilmek için önerilerde bulunmuştur. Sevimli vd. (2017), çalışmalarında, üretim yapılan bir fabrikanın paketleme bölümünde çalışanların çalışma duruşlarını Hızlı Üst Uzuv Değerlendirmesi - RULA ve Hızlı Tüm Vücut Değerlendirme Yöntemi - REBA ile değerlendirmişlerdir. Çalışanları zorlayan risk değeri yüksek çalışma duruşlarını ortadan kaldırmak amacıyla, ergonomik çalışma duruşları konusunda eğitim verilmesini, fazla iş yükünün azaltılması amacıyla istihdam sağlanmasını ve döner tepsi yüksekliğinin ayarlanabilir olmasını önermişlerdir.

Gözlemsel duruş değerlendirme yöntemleri bilgisayar destekli analizler (AnyBody Modelleme Sistemi, Jack, CATIA vb.) ile birlikte kullanılarak ergonomik risk faktörlerinin belirlenmesi sağlanmaktadır. AnyBody Modelleme Sistemi (AMS) günlük hayattaki duruş ve hareketlerin birçoğu için vücudun tüm bölümlerinde kas iskelet sistemi analizleri için kullanılabilir (Stambolian vd., 2016).

Gönen vd. (2017) yaptıkları çalışmalarında, otomotiv sektöründe kablo üretimi gerçekleştiren bir şirketin

kablo demetleme konveyör hattındaki çalışma duruşlarını AMS kullanarak analiz etmişler ve analiz sonucunda elde edilen kas aktivasyon değerinin ve eklem reaksiyon kuvvetlerinin yüksek olması nedeniyle; bu duruşları azaltacak ergonomik bir montaj hattı geliştirmişlerdir.

Bu çalışmada, çivi üretimi gerçekleştiren bir işletmenin paketleme bölümünde ergonomik açıdan değerlendirmeler yapılmıştır. Konteynirdaki çiviler mıknaatıslı banttan geçerek kutulara konulmaktadır. Kutulara konulan çivilerin 25 kg olup olmadığını kontrol etmek için tartılması gerekmektedir. Tartma işlemi için çalışan, kutuları tezgahtan kaldırarak tartıya koymakta ve tartma işleminin ardından tekrar tezgaha bırakmaktadır. Bantlama, jelatinleme ve fırınlama işleminden sonra kutular tezgaha gelmekte ve kutu sayısı 4'e ulaştığında, çalışan gelip sırayla kutuları alıp, yerde bulunan palete yerleştirmektedir. Paketleme süresince çalışan duruşları gözlemlendiğinde, kutuların tezgahtan kaldırılarak tartıya konulması, kutuların taşınması ve palete yerleştirilmesi ergonomik olmayan duruşlardır. Siemens Jack Human Simulation 8.4 programı ile kaldırma işi için NIOSH analizi ve kutuları palete yerleştirme işlemi için AnyBody Modelleme Sistemi (AMS) analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analiz sonucunda risk skorunun yüksek olduğu ve bu işin iyileştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

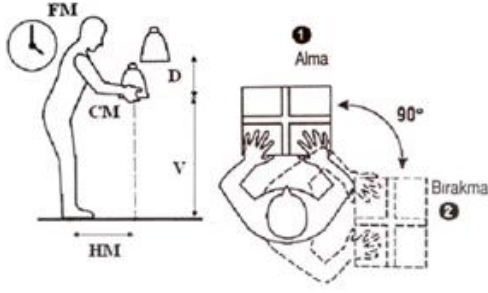
2. Metot

2.1 NIOSH Kaldırma Denklemi Yöntemi

İşyerlerinde yükün kaldırılması, bir yerden başka bir yere taşınması çalışanları zorlayan çalışma duruşlarıdır. Gün içerisinde tekrarlayan bu duruşlar çalışanların çabuk yorulmalarına ve iş performanslarının azalmasına neden olmaktadır. Ergonomik olmayan bu çalışma duruşları çalışanlarda sağlık problemlerine yol açabilmektedir. NIOSH kaldırma denklemi yöntemi ile yüklerin kaldırılması ve taşınması esnasında çalışanlarda oluşabilecek ergonomik riskler belirlenebilmektedir. Çalışanların kaldırma kapasitelerinin sınır değerleri göz önünde bulundurularak iş yükleri belirlenirse; çalışanlarda oluşacak aşırı zorlanmalar azalacak, böylece sağlık sorunlarının önüne geçilebilecektir (Akkale, 2014; Babalık, 2016; Coşkun vd., 2015).

Tavsiye Edilen Ağırlık Sınırı (RWL), Şekil 1'de verilen değişkenlerin değerlerinin çarpılması ile elde edilir (Eşitlik 1). Bu değerler, sağlıklı bir çalışanın 8 saat boyunca kaldırma ile ilişkili yaptığı işlerden gelen değerlerdir (Babalık, 2016; URL 1).

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



Şekil 1. NIOSH Görev Değişkenleri

Eşitlik 1'de yer alan *LC*, yük sabitidir ve 23 kg olarak alınmaktadır. İşletme kendi standartlarına göre bunu belirleyebilmektedir. Revizyondan sonra yaşa ve cinsiyete göre farklı olan maksimum omurga bası (kompresyon) yükünün sabit faktör olan 6.76 kg/kN ile çarpılmasıyla elde edilir (Tablo 1).

Tablo 1. Kompresyon Yükü

Yaş	Kadın (kN)	Erkek (kN)
20	4,4	6,0
30	3,8	5,0
40	3,2	4,0
50	2,6	3,0
60 ve üzeri	2,0	2,0

HM, yatay çarpanıdır. Elin orta noktası ile omurga eksenini arasındaki yatay mesafedir. Tablo 2'den yararlanılarak bulunur.

Tablo 2. Yatay Çarpan Hesabı

$H \leq 25$ cm	$HM=1$
$25 < H \leq 63$ cm	$HM=25/H$
$H > 63$ cm	$HM=0$

VM, dikey çarpanıdır. Yükü tutma noktası ile taban arasındaki mesafeye bağlı olan faktördür (Tablo 3).

Tablo 3. Dikey Çarpan Hesabı

$V \leq 175$ cm	$VM=1-(0,003* V-75)$
$V > 175$ cm	$VM=0$

DM, mesafe çarpanıdır. Kaldırmanın başladığı ve bittiği noktalar arasındaki yükseklik farkına bağlı faktördür (Tablo 4). Yükseklik farkı arttıkça mesafe çarpanının değeri küçülür.

Tablo 4. Mesafe Çarpanı Hesabı

$D \leq 25$ cm	$DM=1$
$25 < D \leq 175$ cm	$DM=0.82+\left(\frac{4.5}{D}\right)$
$D > 175$ cm	$DM=0$

AM, asimetri çarpanıdır. Kaldırma hareketinin başlangıcında ve bitiminde vücudun sagittal düzleme göre pozisyonunu belirten açıdır (Tablo 5). Kaldırma esnasında vücudun dönme hareketi yapmadığını değerlendirilmelidir.

Tablo 5. Mesafe Çarpanı Hesabı

$A < 135$ cm	$AM=1-(0.0032*A)$
$A > 135$ cm	$AM=0$

FM, tekrarlama faktörüdür. Çalışma süresi boyunca dakikada kaç defa kaldırma işlemi yapıldığını gösteren faktördür (Tablo 6).

Tablo 6. Tekrarlama Sayısı Çarpanı Hesabı

Dakikada Kaldırma Sayısı	Çalışma Süresi					
	≤1 saat		<1 saat ≤2 saat		>2 saat ≤ 8 saat	
	V<75	V>75	V<75	V>75	V<75	V>75
≤0.2	1	1	0.95	0.95	0.85	0.85
0.5	0.97	0.97	0.92	0.92	0.81	0.81
1	0.94	0.94	0.88	0.88	0.75	0.75
2	0.91	0.91	0.84	0.84	0.65	0.65
3	0.88	0.88	0.79	0.79	0.55	0.55
4	0.84	0.84	0.72	0.72	0.45	0.45
5	0.80	0.80	0.60	0.60	0.35	0.35
8	0.60	0.60	0.35	0.35	0.18	0.18
9	0.52	0.52	0.30	0.30	0.00	0.15
10	0.45	0.45	0.26	0.26	0.00	0.13

CM, tutma faktörüdür. Elin taşınacak yükü ne kadar kolay ve iyi tutabildiğini gösteren faktördür (Tablo 7). Taşınacak yük üzerinde tutamaç bulunması yükü taşımaya kolaylaştırır.

Tablo 7. Tutma Faktörü Hesabı

Tutma olanağı	V<75	V>75
İYİ	1	1
ORTA	0.95	1
KÖTÜ	0.90	0.90

NIOSH analizinde risk skorunu belirleyebilmek için ağırlık kaldırma risk endeksi bulunmalıdır. Risk endeksi, kaldırılan ağırlığın Tavsiye Edilen Ağırlık Sınırı'na oranıdır. Risk skor tablosundan yararlanılarak riskin düzeyi hakkında bilgiye ulaşılır. İyileştirme yapıp yapılmayacağına karar verilir. Kaldırma görevi ile ilgili göreceli stresin hesaplanabilmesi için NIOSH Kaldırma İndeksi (Kİ) kullanılmaktadır. Kaldırma indeksi 1 değerine eşit ve bu değerden küçükse, kaldırma işi "tehlikesiz" olarak değerlendirilir. Eğer 1 değerinden büyük 3 değerine eşit veya bu değerden küçükse, kaldırma işi "tehlikeli" olarak değerlendirilir ve ergonomik düzenleme gerekir. Eğer 3 değerine eşit veya bu değerden büyükse, kaldırma işi "çok tehlikeli" olarak değerlendirilir ve acil ergonomik düzenleme yapılması gerekir. (Coşkun vd., 2015; Akkale, 2014; Babalık, 2016; URL 1).

2.2 AnyBody Modelleme Sistemi (AMS)

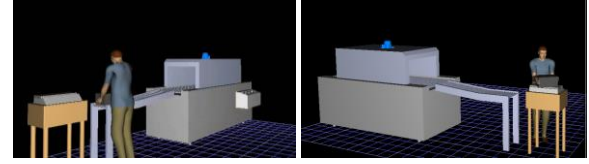
Bir bilgisayar destekli ergonomi yazılımı olan AnyBody Modelleme Sistemi, çeşitli çalışma duruşları ve zorlanmalar için insan vücudunun

modellenmesinde kullanılabilir. AMS ile eklemlerde oluşan zorlanmalar sayısal olarak belirlenmekte, çalışanın iş yaparken harcadığı mekanik enerji ve kas aktivitesi ile yorgunluk üzerinde sayısal karşılaştırmalar yapılabilmektedir. AMS'de modeller kas kuvvetlerinin, eklem reaksiyonlarının, mekanik işin ve verimliliğin, kullanıcı tarafından belirtilen ölçüler ve tanımlanan hareketler için hesaplanmasını sağlamaktadır (Gönen vd., 2017; URL 2)

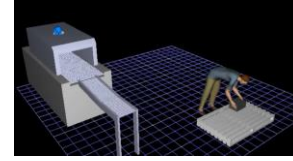
AMS kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalarda amaç vücutta oluşan kuvvetlerin hesaplanmasıdır. Yapılan çalışmalarda; Nolte vd. (2013) çalışmalarında AnyBody Modelleme Sistemi ile bir diz kas iskelet modeli geliştirmişlerdir. Cao vd. (2013), durma ve yürüme gibi hareketler esnasında oluşan kuvvetleri değerlendirmişlerdir. Yürüyüş sırasında Coombs vd. (2014), ayak topuğu üzerindeki ve Jung vd. (2014), ayak tabanı üzerindeki reaksiyon kuvveti modellerini geliştirmişlerdir. Cutlip vd. (2015), Zander vd. (2015), omuz modeli kullanarak zorlayıcı kol işleri esnasındaki zorlanmaları incelemişlerdir.

3. Uygulama

Çalışma, Balıkesir Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan çivi üretimi gerçekleştiren bir işletmede gerçekleştirilmiştir. Üç vardiyada toplam 9 çalışanın bulunduğu paketleme bölümünde gerçekleştirilen iş detaylı olarak incelendiğinde; konteynirdaki çiviler ilk olarak mıknaşlı banttan geçerek kutulara dolmaktadır. İçi çivi dolu kutular, kayan bant sistemiyle çalışanın bulunduğu yere gelmektedir. Çalışan gelen kutuyu tartıya koyarak 25 kg olup olmadığını kontrol etmekte ve kapatılan kutuyu banda geri koymaktadır. Kutu sırasıyla bantlanma, jelatinlenme ve fırınlanma işlemlerinden geçmektedir. Fırından çıkan kutular ürün tezgahına gelmekte ve biriken kutuların sayısı 4'e ulaştığında, çalışan gelip sırayla kutuları alıp, yerde bulunan paletle yerleştirmektedir (Şekil 2.a-b). Gün içerisinde tekrarlayan bu çalışma duruşları çalışanın belinde, kollarında ve boynunda zorlanmalara neden olmaktadır. Kutuyu kaldırıp tartıya koyma ve kutuları paletle yerleştirme işleri bilgisayar destekli ergonomi yazılımı Jack ile analiz edilmiştir (Şekil 2.a). Jack, çalışan duruşlarını modelleyerek, çalışanlardaki zorlanmaları belirlemeye yardımcı olan bir yazılımdır. Jack ile el kullanma limiti çalışmaları, çalışanın metabolik enerji harcaması değerlendirilmesi, Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü (NIOSH) Kaldırma Analizi, Çalışma Duruşu Analiz Sistemi (OWAS), Önceden Belirlenmiş Zaman Analizi (MTM-1), Hızlı Üst Uzuv Değerlendirmesi (RULA), Statik Dayanım Tahmini (SSP) yapılabilmektedir (Hovanec, 2017; URL 3).



a) Kutuyu Tezgahtan Alıp Tartıya Koyma



b) Kutuları Paletle Yerleştirme

Şekil 2. Mevcut Çalışma Duruşu

Paketleme bölümünde kutulara konulan çivilerin tartılması işleminde, çalışan kutuları banttardan alıp tartıya koymakta ve tartma işleminden sonra tekrar bantta koymaktadır. Kutu ağırlığının 25 kg olması ve gün içerisinde bu işlemin tekrarlanması çalışmanı zorlamaktadır. İncelenen uygun olmayan pozisyonun Jack programı ile NIOSH Analizi yapılmıştır. Ulaşılan mevcut durum NIOSH analiziyle LC değeri 23, HM değeri 0.71, VM değeri 0.95, DM değeri 1, AM değeri 0.86, CM değeri 1, FM değeri 0.65 bulunmuştur. Bu değişkenler sonucu ulaşılan RWL değerinin 8.73 ve Kaldırma İndeksinin 2.86 olduğu görülmektedir (Şekil 3).

Task No.	LC	HM	VM	DM	AM	CM	FM	FIRWL	STR
601	23	0.71	0.95	1.00	0.86	1.00	0.65	13.43	8.73

LE: 2.860 RWL: 8.73

Action: The load wt. is greater than the recommended limit for this task. Some healthy workers find this job physically stressful. The following job modifications are suggested:


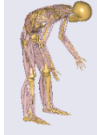
- FM: Reduce the lifting frequency rate and/or provide longer recovery periods.
- HM: Bring the load closer to the worker.
- JSL: Bring the lift's origin and destination closer together to reduce the body twist required.

Şekil 3. Kutuyu tartıya koyma işi için NIOSH Analizi

Risk değerlendirme tablosuna bakıldığında 1 ila 3 arasında olduğu görülmüş ve "Tehlikeli, ergonomik düzenleme gereklidir" sonucuna varılmıştır. Yükün kaldırılabilir sınırlar içerisinde olması ve çalışmanı zorlamaması için farklı düzenlemeler yapılabilir.

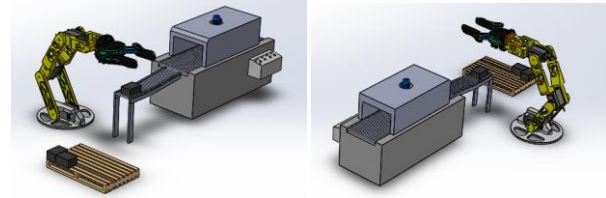
Paketleme bölümünde gerçekleştirilen bir diğer ergonomik olmayan iş, fırından ambalajlanmış şekilde çıkan içi çivi dolu kutuların sayısı 4'e ulaştığında kutuların tezgahtan sırasıyla alınıp paletle taşınması ve paletle konulmasıdır (Şekil 2.b). Kutuların ağırlığının 25 kg olması ve gün içerisinde bu işlemin tekrarlanması çalışmanı zorlamaktadır. İncelenen uygun olmayan pozisyonun AMS ile analizi yapılmıştır. Analiz Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Kutuları Paletle Yerleştirme İşlemi İçin AMS Analiz Sonuçları

	Nötr duruş	Çalışma Duruşu
AnyBody İnsan Modeli		
L4L5 Eklem Reaksiyon Kuvveti (N)	32.357	319.44
Sol Glenohumeral Eklem Reaksiyon Kuvveti (N) Sağ Glenohumeral Eklem Reaksiyon Kuvveti (N)	20.557	29.021
Sağ Glenohumeral Eklem Reaksiyon Kuvveti (N)	20.557	9.452
Maksimum kas aktivitesi-Efor (%)	13.850	43.31

Yapılan analizde; çalışanın maksimum kas aktivitesine, L4-L5 eklem reaksiyon kuvvetine ve sol-sağ glenohumeral eklem reaksiyon kuvvetlerine bakılmıştır. Maksimum kas aktivitesi kutuların paletle konulması esnasında eğilmeden dolayı yüksek çıkmıştır. L4-L5 eklem reaksiyon kuvvet değerinin de aynı nedenle yüksek çıktığı ve bu işin gün içerisinde tekrarlanması ile gelecekte bel ağrılarının neden olabileceği söylenebilir. Sol ve sağ omuza gelen eklem reaksiyon kuvvetlerine bakıldığında çalışan duruşuna bağlı olarak sol tarafta, sağ tarafa göre zorlanmanın yüksek olduğu görülmüştür. Uzun süreli ve tekrarlı yapılan işlerde çalışma duruşunun ergonomik açıdan uygun olmaması, çalışanlarda zorlanmaya ve gelecekte kas iskelet sistemi rahatsızlıklarına neden olabilmektedir.

Paketleme bölümünde yapılan işlemler (koliyi kaldırma, taşıma ve eğilerek paletle yerleştirme) değerlendirildiğinde incelenen her iki işteki riski azaltacak hatta ortadan kaldıracak bir öneride bulunulmuştur. Birbiri ardına gerçekleştirilen bu işlemler için sektörde de mevcut olan *Eklemlili Robot Kolu* kullanılması önerilmiştir (Şekil 4). Gücünü elektrikli motordan alan kol, 1 adet 1,5 kW'lık elektrikli motor ile çalışmaktadır.



Şekil 4. Önerilen Robot Kolu

Kolun taşıyabileceği maksimum ağırlık 165 kg olacak şekilde tasarlanmıştır ve kolun ağırlığı 1500 kg'dır. Kolun uzunluğu 2500 mm ve genişliği 450 mm'dir. Önerilen kol fırın ile paletin bulunduğu yerlerin yakınına yerleştirilmiştir. Böylece çalışanın kolileri paletle yerleştirme işi tamamen ortadan kaldırılmış ve mevcut durumdaki kaldırma, taşıma, eğilme durumlarının ortadan kaldırılacağı düşünülmüştür.

Ayrıca öneri ile zaman tasarrufu sağlanacağı da öngörülmektedir. Mevcut durum için Avix programı kullanılarak işlerin zamanları bulunmuştur (Tablo 9). Avix, israfları analiz etmeye, önlemeye, sistemdeki dengesizlikleri gidermeye ve sürekli iyileştirmeye yardımcı olan bir yazılımdır (URL 4). Üretim sürecinde incelenen işin yapılışına ait görsel kayıt alınır. Kamera ile alınan kayıt Avix programına aktarılır ve yapılan işlerin süreleri, toplam işlem süresi ve kayıp zamanlar bulunur. Her bir işlemin başlangıç ve bitiş süresine göre işlem süreleri hesaplanmaktadır. Çalışmamızda çivilerin kutulara koyulmasından paletle yerleştirilmesine kadar geçen toplam süre 102.6 sn olarak belirlenmiştir. Bir kutu için, çivilerin kutuya yerleştirilmesi 21.2 sn, kutuların tartılması 5.5 sn, kutuların bantlanması 8.1 sn, kutuların fırında jelatinlenmesi 49 sn, tezgaha gönderilmesi 7.9 sn, paletle yerleştirilmesi de 10.9 saniye olarak bulunmuştur. Çalışan bu işlemi 4'lü koliler halinde yaptığından işlem süresi toplam 3 dakika 38 saniye olarak bulunmuştur.

Tablo 9. Avix Raporu

Task Instruction				
Line:	Task:	Variant:	Workstation:	Resource:
1	Paketleme Bölümü		Paketleme Tezgahı	Paketleme Çalışanı
			Total time:	102,6 s
			Task:	0,0 s
			Issue:	
			Issued by:	
No.	Task	Variant rule	Comments	Time
10-05	Çivilerin Kutulara Yerleştirilmesi			21,2 s
10-10	Kutuların tartılması			5,5 s
10-20	Kutuların bantlanması			8,1 s
10-30	Kutuların fırında jelatinlenmesi			49,0 s
10-40	Tezgaha gönderilmesi			7,9 s
10-50	Kutuların Paletle Yerleştirilmesi			10,9 s

Önerilen robot kolu ile çalışan banttaki kutuları tartıya koyma, taşıma paletle yerleştirme işlemlerini yapmayacağından, çalışanın belinde, kollarında oluşan zorlanmalar önlenecektir. Ayrıca çalışanın banttaki kutuları tartıya koyma, taşıma ve tartma işlemlerini bırakıp kolileri paletle yerleştirmek için fırının koli çıkış kısmına gitmek zorunda kalması nedeniyle yaşanan beklemler de önlenecektir. İşlemler 4'er koli şeklinde değil her koli geldiğinde robot kol yardımıyla paletle yerleştirileceğinden mevcut duruma göre işlem süresi kısaltacaktır.

4. Sonuç

Balıkesir Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan çivi üretimini gerçekleştiren bir işletmenin paketleme bölümü incelenmiştir. Çalışan, paketleme bölümünde kutulara doldurulan çivileri tartıya koymakta, kutular belirtilen kiloda ise banda geri bırakmaktadır. Bantlama, jelatinleme ve fırınlama işlemlerinden sonra kutular ürün tezgahına gelmekte ve kutuların sayısı 4'e ulaştığında, çalışan kutuları alıp, yerde bulunan palete yerleştirmektedir. Gün içerisinde tekrarlayan bu duruşların çalışan üzerindeki etkilerini değerlendirmek için tartıya koyma işlemi Jack programı ile, kutuyu palete koyma işlemi de AMS ile analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda incelenen her iki çalışma duruşunun da çalışanda zorlanmalara neden olduğu, uzun süreli çalışmalar neticesinde gelecekte meslek hastalıklarına yol açabileceği ve iyileştirilmesi gerektiği değerlendirilmiştir. Her iki çalışma duruşunu da iyileştirmek için robot kol önerilmiştir. Robot kol ile çalışanı zorlayan ergonomik olmayan işler ortadan kaldırılacak, aynı zamanda da zaman tasarrufu sağlanacaktır. Endüstri uygulamalarında yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde önerilen robot kolunun uygulanabilir olduğu görülmüştür.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

5. Kaynaklar

- Akkale E. C. (2014). *Elle Taşıma İşlerinde İş Sağlığı ve Güvenliğinin NIOSH Kaldırma Denklemi İle İncelenmesi*, İş Müfettişi Yardımcılığı Etüdü, İzmir.
- Babalık, F.C. (2016). *Mühendisler İçin Ergonomi İşbilim*, Dora Yayın Dağıtım Ltd.Şti., Bursa.
- Cao, E., Inoue, Y., Liu, T. & Shibata, K. (2013). An Inverse Dynamic Approach for Quantitative Muscle Force Estimation During Human Standing-up Process. *Journal of Biomechanical Science and Engineering*, 8(1), 63-78.
- Coombs, D.J., Wykosky, S. & Bushelow, M. (2014). Calcaneal Fixation Plate Test Method Development, *SIMULIA Community Conference*, Providence, RI.
- Coşkun M., Sağıroğlu H. ve Erginel N. (2015). İş İstasyonlarının Ergonomik Riskinin Niosh Yöntem ile Belirlenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 365-370.
- Cutlip, K., Nimbarte, A. D., Chowdhury, S. K. & Jaridi, M. (2015). Evaluation of Shoulder Stability During Forceful Arm Exertions. *Industrial and Systems Engineering Review*, 3(1), 49-58.
- Gönen D., Oral A. ve Özcan C., (2017). Ot Toplama

Tırımı Montaj İşleminde Çalışma Duruşlarının Anybody Modelleme Sistemi İle Analizi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 32(3), 651-660.

- Hovanec M. (2017). Digital Factory as A Prerequisite for Successful Application In The Area of Ergonomics and Human Factor. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 18(1), 35-45.
- Jung, Y., Jung, M., Lee, K. & Koo, S. (2014). Ground Reaction Force Estimation Using An Insole-Type Pressure Mat and Joint Kinematics During Walking. *Journal of Biomechanics*, 47(11), 2693-2699.
- Nolte, D., Andersen, M. S., Rasmussen, J. & Al-Munajjed, A. (2013). Development of A Patient-Specific Musculoskeletal Model of A Healthy Knee To Analyze Hard and Soft Tissue Loading. *21th Annual Symposium on Computational Methods in Orthopaedic Biomechanics*, San Antonio, TX.
- Potvin J.R. (2014). Comparing The Revised NIOSH Lifting Equation To The Psychophysical, Biomechanical and Physiological Criteria Used In Its Development. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 44 (2), 246-252.
- Sevimli M., Atıcı Ulusu H. ve Gündüz T. (2018). Pirinç Paketleme İşinde Çalışanların Çalışma Koşullarının Ergonomik Risk Analizleri İle Geliştirilmesi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(1), 38-54.
- Stambolian, D., Eltokhy, M. & Asfour, S. (2016). Development And Validation of A Three Dimensional Dynamic Biomechanical Lifting Model for Lower Back Evaluation for Careful Box Placement. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 54, 10-18.
- Tanır F., Güzel R., İşsever H. ve Çalışkan P. U. (2013). Bir Otomotiv Fabrikasında Kas-İskelet Sorunları ve İstirahat Raporu Alanlara Verilen Ergonomi ve Egzersiz Eğitimi Sonuçları. *Türk Fiziksel Tıp Rehabilitasyon Dergisi*, 59, 214-221.
- Zander, T., Dreischarf, M., Schmidt, H., Bergmann, G., & Rohlmann, A. (2015). Spinal loads as influenced by external loads: A combined in vivo and in silico investigation. *Journal of Biomechanics*, 48, 578-584.
- URL 1: <https://ergo-plus.com/niosh-lifting-equation-single-task/> Erişim Tarihi: 28.01.2019
- URL 2: http://akroengineering.com/files/TechnicalPapers/Cep_Telefonu_Bakis_Acilari_Analizi_V08.pdf Erişim Tarihi: 28.01.2019
- URL 3: <https://www.pmc.com/Products/SiemensProducts/SiemensTecnomatix/Jack.aspx> Erişim Tarihi: 02.06.2018
- URL 4 : <https://www.avix.eu/en/areas-of-use/avix-overview/> Erişim Tarihi: 02.06.2018