
	<b>SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ</b> <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	<b>e-ISSN: 2147-835X</b> <b>Dergi sayfası:</b> <a href="http://dergipark.gov.tr/saufenbilder">http://dergipark.gov.tr/saufenbilder</a>		
	<u>Geliş/Received</u> 10.05.2017 <u>Kabul/Accepted</u> 15.08.2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.311585	

## Bir transformatör işletmesinde montaj ünitesinin ergonomik analizi

Demet Gönen\*<sup>1</sup>, Ali Oral<sup>2</sup>, M.A. Beyazıt Ocaktan<sup>1</sup>, Aslan Deniz Karaoğlan<sup>1</sup>, Abdullah Cicibaş<sup>3</sup>

### ÖZ

Montaj hatlarında tekrarlayan işler ve uygun olmayan pozisyonlarda yapılan çalışmalar kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına (KİSR)ve işgücü kayıplarına sebep olmaktadır. KİSR'nın önüne geçmek için montaj hatlarının ergonomik tasarımı önemlidir. Montaj işlemlerinin farklı çalışma pozisyonlarını bir arada kullanılmasını gerektirmesine karşın; tüm çalışma pozisyonlarında aynı anda ergonomik çalışmayı sağlayacak bir hat tasarlamak her zaman mümkün olmamaktadır. Bu nedenle montaj hattı tasarımlarında tasarım kriterlerinin belirlenebilmesi için, çalışanların hangi vücut bölümlerinin öncelikli olarak göz önüne alınacağı araştırılması gerekir. Bu çalışmada, bir transformatör imalatçısının montaj hattı çalışanlarının kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları; Cornell Üniversitesi Kas İskelet Sistemi Rahatsızlık Anketinden (CMDQ) esinlenilerek oluşturulan bir anket çalışması, Hızlı Tüm Vücut Değerlendirme (REBA) Yöntemi ve Ovako Çalışma Duruşu Analiz Sistemi (OWAS) ile analiz edilmiştir. Analiz sonucunda, sırt, bel, ayaklar, boyun, sağ pazu ve omuzlar en riskli vücut bölümleri olarak belirlenmiş ve bu riskleri azaltmak üzere ayarlanabilir bir montaj sehpası tasarımı yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Cornell üniversitesi kas iskelet sistemi rahatsızlık anketi, reba, owas, montaj sehpası tasarımı

## Ergonomic analysis of assembly unit in a transformer company

### ABSTRACT

In assembly lines repeated work and unsuitable working postures cause musculoskeletal disorders (MSD) and labor losses. Ergonomic design of assembly lines is important to avoid MSD. Although assembly work require the use of different working postures together, it is not always possible to design an assembly line that provides ergonomic work in all postures at the same time. For this reason, in order to determine design criteria for design of assembly lines, it is necessary to investigate which body parts of employees will be taken into consideration primarily. In this study, musculoskeletal disorders of assembly line employees of a transformer producer were analyzed by using the questionnaire study inspired by "Cornell Musculoskeletal Discomfort Questionnaire (CMDQ)", Rapid Entire Body Assessment (REBA) and Ovako Working Postures Analysing System (OWAS). As a result of analysis, the back, waist, feet, neck, right upper arm and shoulders were identified as the most risky body parts and an adjustable assembly table was designed to reduce these risks.

**Keywords:** Cornell musculoskeletal discomfort questionnaire (CMDQ), rapid entire body assessment (REBA), ovako working postures analyzing system (OWAS), assembly table design.

\* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

<sup>1</sup> Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Türkiye

<sup>2</sup> Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Türkiye

<sup>3</sup> Balıkesir Elektromekanik Sanayi Tesisleri (BEST) A.Ş., Türkiye

## 1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

İş ile ilgili kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları (KİSR), dünyada yaygın bir sağlık sorunu olup; sinirleri, tendonları, kasları ve vücudun destekleyici yapılarını kapsamaktadır. Tekrarlı hareketler, mola vermeden uzun süre çalışma, vücut pozisyonu, işin hızı, çalışma ortamının ısısı, titreşim, iş organizasyonunun yetersizliği, yüksek iş talebi, iş üzerindeki kontrolün azlığı, düşük iş memnuniyeti, stres, fiziksel kapasite, yaş gibi faktörler kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına sebep olmaktadır [1,2]. Bu rahatsızlıklar, özellikle emek yoğun çalışılan montaj işlerinde sıklıkla görülmektedir. Montaj hatları eğilme, uzanma ve çömelme gibi pek çok uygun olmayan duruş pozisyonları ile tekrarlı hareketlerin bir veya bir kaçının bir arada gözlendiği ergonomik olmayan çalışma pozisyonları içermekte ve buna bağlı ortaya çıkan KİSR iş sağlığı ve güvenliğini olumsuz etkilerken, iş verimini de düşürmektedir. Bunun önüne geçilebilmesi amacıyla montaj hatlarında ergonomik iyileştirmeler yapılması, bu işin doğasından kaynaklanan tehlikeleri ve riskleri azaltacak, bunun yanında verimliliği arttıracaktır.

Montaj hatlarının ergonomik olarak iyileştirilmesi farklı yaklaşımlar kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bunlardan birincisi, montaj hattında gerçekleştirilen operasyonlara ait iş çizelgeleri hazırlanırken ergonomik risk faktörlerinin de getirdiği kısıtların dikkate alınmasıdır (örneğin belirli maruziyet sınırlarına göre görevlendirilebilecek maksimum süreler v.b gibi). Bir diğer yaklaşım ise anketler yoluyla birebir görüşme ile kişilerin KİSR'nın belirlenmesidir. Veri toplamada ankette olduğu gibi birebir görüşme yerine; REBA, OWAS v.b. yöntemler ile de veri toplama ve analiz yapılabilir. Bu analizlerin ardından montaj hattının fiziksel olarak iyileştirilmesi gerekebilir. Literatürde montaj hatlarının ergonomik kısıtlar ve/veya risk faktörleri dikkate alınarak iyileştirilmesi konusunda öne çıkan sınırlı sayıda çalışmalardan biri Kara vd. [3] tarafından önerilen ve montaj hattı dengeleme problemlerinde kaynak kısıtlarının yanında ergonomik kısıtlarında dikkate alındığı modellerdir. Önerilen model ile genel maliyetlerin en aza indirilerek, hattaki çalışma koşullarının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada ergonomik faktörler dikkate alınarak montaj hatlarının dengelenmesi ile verimliliğin artırılması, meslek hastalıkları için risklerin azaltılması ve kalitenin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Ayan [4] çalışmasında, volan

montaj istasyonunu ergonomik açıdan değerlendirmiş, REBA ve MURI metotları ile gerçekleştirilen analizler sonucunda çalışma duruşlarının iyileştirilmesi gerekliliğini ortaya koymuştur. Montaj sırasında çalışanı zorlayan ekipmanın yerine hareket kabiliyeti yüksek ve fiziksel zorlanmaya sebep olmayan bir araçla gerçekleştirilmesini önermiştir. Otto ve Scholl [5], işlerin çalışanlara atanmasında ergonomik risklerini azaltmak için montaj hattı dengeleme çalışmalarının etkili olacağından bahsetmişler ve bir otomotiv firmasında yapılan uygulama ile ergonomik risklerin önemli ölçüde azaldığını ortaya koymuşlardır. Gönen vd. [6] çalışmalarında, ot toplama tırnığının montaj işlemleri esnasında karşılaşılan kötü duruş pozisyonlarının iyileştirilmesi için bilgisayar destekli ergonomik analizler yapmışlar, analiz sonuçlarına göre montaj ünitesini ergonomik hale getirebilmek için tasarımda değişiklikler gerçekleştirmişlerdir. Değişikliklerin uygulanması ile çalışan performansında artma ve üretim süresinde yaklaşık %60'lık bir azalma elde edilmiştir. Battini vd. [7] çalışmalarında, iş yerinin ergonomik optimizasyonu ile montaj sistemi tasarımı için kavramsal bir çerçeve oluşturmayı amaçlamışlardır. Bir endüstri uygulaması sunulmuş ve teorik çerçeveyi desteklemek için gelişmiş simülasyon yazılımı kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda verimlilikte %15'lik bir iyileşme, operatörler için yorgunluk seviyelerinde ve yaralanmalarda kayda değer bir azalma sağlanmıştır. Özgörmüş [8] gerçekleştirdiği çalışmada, montaj hattı için işlerin zorluk derecesi, risk derecesi ve monotonluk düzeyi gibi ergonomik faktörlerin eşit dağıtılmasını sağlayacak bir düzenleme önermiştir. Önerilen düzenleme çalışan performansını olumlu etkilediği için iş kazalarının azalmasına, üretimde verimlilik artışına neden olmuştur. Demirkol ve Baykasoğlu [9] montaj hattı tasarımında ergonomik risk faktörlerini de dikkate alan bir yaklaşım önermişlerdir. Baykasoğlu vd. [10] insan faktörünü de dikkate alarak ergonomik montaj hattı dengeleme üzerine çalışmışlardır.

Literatürde montaj hattının ergonomik faktörler dikkate alınarak düzenlenmesi üzerine yapılan çalışmaların yanında, çalışanların kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarını belirlemede kullanılan ve ölçek olarak kabul görmüş anketlerde bulunmaktadır. Yaygın olarak kullanılan bu anketler; İskandinav Kas İskelet Sistemi Anketi (Nordic Musculoskeletal Questionnaire-NMQ), Hollanda Kas İskelet Sistemi Anketi (Dutch

Musculoskeletal Questionnaire-DMQ) ve Cornell Kas İskelet Sistemi Rahatsızlık Anketi (Cornell Musculoskeletal Discomfort Questionnaire-CMDQ)'dir. Kuorinka vd. [11] tarafından geliştirilen İskandinav Kas İskelet Sistemi Anketi, kas-iskelet sistemi semptomlarının şiddeti ve etkisini değerlendirmek için kullanılan anketlerden biridir. Hildebrandt [12] tarafından geliştirilen Hollanda Kas İskelet Sistemi Anketi ise çalışanların işle ilişkili kas-iskelet risk faktörlerinin ve semptomlarının hızlı bir şekilde ölçülmesine olanak sağlamaktadır. Hedge vd. [13] tarafından geliştirilen CMDQ ise temel olarak İskandinav Kas İskelet Sistemi Anketine dayanmakta, ancak farklı olarak skor değerlendirme sistemi uygulamaktadır. CMDQ'nun değerlendirilmesinde farklı vücut bölümleri rahatsızlıkları haftalık bazda frekans, şiddet ve işi yapma kabiliyetine etkisi açısından ele alınmakta ve ağırlıklandırılmış frekans, şiddet ve işi yapma kabiliyetine etkisi skorlarının çarpılmasıyla vücut bölümlerinin riskleri değerlendirilmektedir. Bu anket, montaj hattı vb. gibi tekrarlı hareketlerin yapıldığı farklı çalışmalarda, KİSR'nı belirlemek üzere sıklıkla kullanılmıştır.

Bu çalışmada montaj hattı çalışanlarının yaşamakta olduğu KİSR'nı tespit etmek amacıyla veri toplama aracı olarak Cornell Üniversitesi tarafından geliştirilen ve çalışmamızın amaçlarına uygun olarak uyarlanan CMDQ kullanılmış ve istatistiksel analizlerle öncelikli vücut bölümleri belirlenmiştir. CMDQ'da "Eğer ağrı, sızı, rahatsızlık hissettiyseniz, bu rahatsızlık işi yapma kabiliyetinize engel oldu mu?" sorusu, bu çalışmada "Eğer böyle bir deneyiminiz olduysa bu rahatsızlığın yaptığınız işle ilgisini derecelendiriniz" olarak değiştirilmiştir. Amaç, rahatsızlık frekansı, şiddeti ve şikayetlerin işle ilgi derecelerine göre hangi vücut bölümlerinin risk altında bulunduğunun hesaplanabilmesidir.

İşyerlerinde kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına neden olabilecek riskleri azaltmak, hatta ortadan kaldırmak için anketlerin kullanımının yanı sıra; riskleri kayıt altına alarak, nicel değerlendirmeler yapan gözleme dayalı tekniklerden de (RULA, REBA, OWAS vb.) yararlanılabilir [14]. RULA (Rapid Upper Limb Assessment), iş için gerekli

olan gücü ve tekrarlı hareketleri dikkate alarak üst uzuv (el-bilek-dirsek-alt kol-üst kol-omuz-boyun) rahatsızlıklarını; REBA (Rapid Entire Body Assessment) ise dinamik ve statik duruşlardaki yüklenme ile işgörenin tüm vücudunun duruşsal riskini değerlendirmek amacıyla geliştirilmiş bir yöntemdir. REBA yöntemi, RULA yönteminden türetilmiştir. Ancak, RULA yöntemine göre üstünlüğü tüm vücudu dikkate aldığı için değerlendirmeye sırt, bacak ve dizleri de dahil etmesidir. OWAS (Ovako Working Analysis System), çalışanın kas-iskelet sistemindeki yüklenmeyi ve sistemin neden olduğu kötü duruşları belirlemeye yarayan bir tekniktir [2].


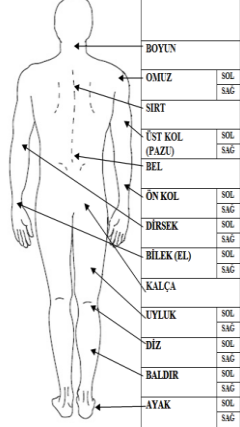
Literatürde; CMDQ, REBA ve OWAS yöntemlerini birlikte değerlendiren bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada literatürden farklı olarak, elektromekanik sanayinde faaliyet gösteren bir transformatör üreticisinin montaj hattında gözlenen KİSR'nın nedenlerini belirlemek amacıyla CMDQ, çalışmanın amacına uygun olacak şekilde uyarlanarak veri toplanmış ve analiz edilmiş; analiz sonuçlarının doğruluğu nicel değerlendirmeler yapan gözleme dayalı teknikler (REBA, OWAS) ile karşılaştırılmıştır. İstatistiksel ve gözleme dayalı analizler sonucunda belirlenen öncelikli vücut bölümleri dikkate alınarak, uygunsuz duruş pozisyonlarını en aza indirecek ergonomik bir montaj sehпасı tasarımı gerçekleştirilmiştir.

## 2. METOT (METHOD)

Bu çalışmada elektromekanik sanayinde faaliyet gösteren bir transformatör imalatçısının montaj bölümünde çalışanlarının kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları; REBA, OWAS ve probleme uygun şekilde uyarlanmış CMDQ ile analiz edilmiştir.

### 2.1 Uyarlanmış Cornell Kas İskelet Sistemi Rahatsızlık Anketi (Adapted Cornell Musculoskeletal Discomfort Questionnaire)

CMDQ, kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının belirlenmesi için kullanılan iyi tasarlanmış bir veri toplama aracıdır.

	A BÖLGESİ (Koyu Renkli Bölge)	SOL		BOYUN		<p>Geçtiğimiz hafta içinde Belirtilen vücut bölgesi ile ilgili hangi sıklıkla acı, ağrı veya rahatsızlık deneyiminiz oldu?</p> <p>(İlgili kutuya (X) işareti koyarak belirtiniz)</p>	<p>Eğer böyle bir deneyiminiz olduysa, bu rahatsızlığınızı derecelendiriniz:</p> <p>(İlgili kutuya (X) işareti koyarak belirtiniz)</p>	<p>Eğer böyle bir deneyiminiz olduysa bu rahatsızlığın yaptığımız işle ilgisini derecelendiriniz:</p> <p>(İlgili kutuya (X) işareti koyarak belirtiniz)</p>
		SAG		OMUZ	SOL			
		SAG		SIRT	SOL			
		SOL		ÜST KOL (PAZE)	SAG			
		SAG		BEL	SOL			
		SOL		ÖN KOL	SAG			
	SAG	DİRSEK		SOL				
	SOL	BİLEK (EL)		SAG				
	SAG	KALÇA		SOL				
	SOL	UYLUK		SAG				
	SAG	DİZ		SOL				
	SOL	BALDIR		SAG				
	SAG	AYAK	SOL					
	SOL		SAG					

Şekil 1.Uyarlanmış Cornell Kas İskelet Rahatsızlıkları Anketi (Adapted Cornell musculoskeletal discomfort questionnaire)

CMDQ, tekrarlı hareketlerin yapıldığı çalışmalarda KİSR belirlemek üzere farklı pek çok sektörde uygulanmıştır [13,15,16]. Anket, çalışmamıza uyarlanmış olarak Şekil 1’de verilmiştir.

CMDQ’da anketin 3. bölümünde rahatsızlıkların “iş yapma kabiliyetine etkisi” hakkında bilgi toplanmaktadır. İş verimliliği değerlendirmesinde rahatsızlıkların yapılan işi yapma kabiliyetine etki derecesi önemli iken, montaj hattı tasarımı için rahatsızlıkların ne derecede yapılan işten kaynaklandığı önemlidir. Ayrıca, rahatsızlığın iş ortamından mı yoksa başka sebeplerden mi kaynaklandığının tespiti orijinal ankette daha zor olmaktadır. Bu çalışmada temel amaç ergonomik hat tasarımı olduğu için anket çalışmanın amacına uygun şekilde, rahatsızlıkların “iş yapma kabiliyetine etkisi” ifadesi yerine “işle ilgisi” şeklinde değiştirilmiştir.

CMDQ, analiz için 4 farklı değerlendirme yöntemi önerir. Bunlar, kişi başına belirti sayısı; her bir kişi için derecelendirme değeri toplamı; ağırlıklandırılmış skorlar; sıklık, frekans ve işle ilgisi ağırlıklı skorlarının çarpılmasına dayalı analizlerdir. Bu çalışmada montaj bölümünde açığa çıkan en ciddi kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının kolaylıkla tespiti ve en problemleri çalışanların daha kolay belirlenebilmesi için sıklık, frekans ve işle ilgisi ağırlıklı skorlarının çarpıldığı yöntem kullanılmıştır.

Uyarlanmış anket, farklı vücut bölümleri rahatsızlıklarını haftalık bazda frekans, şiddet ve işle ilgisi açısından değerlendirmekte ve bir rahatsızlık skoru hesaplamaktadır. Rahatsızlık skorunu hesaplamada sıklık skorları ağırlıklandırması aşağıda verilmiştir:

- Hiç olmadı=0
- Haftada 1-2 defa=1,5
- Haftada 3-4 defa=3,5
- Günde 1 defa=5
- Günde birkaç defa=10

Rahatsızlık ile ilgili şiddet skorları ise az=1, orta=2 ve fazla=3; rahatsızlığın işle ilgisi skoru az=1, orta=2, fazla=3 şeklinde ağırlıklandırılmaktadır. İlgili vücut bölümünün toplam rahatsızlık skoru sıklık, şiddet, rahatsızlığın işle ilgisi (sıklık x şiddet x rahatsızlığın işle ilgisi) skorlarının çarpımıyla bulunmaktadır [17].

Ankette değerlendirilen tüm vücut bölümlerinin toplam skoruna oranla en yüksek yüzde skora sahip bölümler, en ciddi probleme sahip vücut bölümlerini belirlemede kullanılmaktadır.

## 2.2 Hızlı Tüm Vücut Değerlendirme (REBA) Yöntemi (Rapid Entire Body Assessment)

REBA, dinamik ve statik duruşlarda yüklenmeyi ve insan-yük etkileşimini göz önüne alarak çalışanın tüm vücudunun duruşsal riskini değerlendirmeye olanak tanıyan ve bu alanda yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir [18-19].

REBA yöntemi, çalışma duruşu esnasında gövdede, boyunda, bacaklarda, üst-alt kollarda, bileklerde ortaya çıkan zorlanmaları belirler ve analiz edilmek istenilen bir çalışma duruşu veya hareketin neden olduğu riski sayısal olarak ifade eder. REBA duruş puanlama esasları Şekil 2’de verilmiştir.

Gövde			
Hareket	Skor	Skor Değişimi	
Dik	1	Yana esneme veya dönme varsa +1	
0°-20° Fleksiyon 0°-20° Ekstansiyon	2		
20°-60° Fleksiyon >20° Ekstansiyon	3		
>60° Fleksiyon	4		
Boyun			
Hareket	Skor	Skor Değişimi	
0°-20° Fleksiyon	1	Yana esneme veya dönme varsa +1	
>20° Fleksiyon veya Ekstansiyon	2		
Bacaklar			
Hareket	Skor	Skor Değişimi	
Bilateral (iki taraflı) ağırlık taşıma, yürütme veya oturma	1	Diz(ler)de 30°-60° arası fleksiyon +1	
Unilateral (tek taraflı) ağırlık taşıma veya sabit olmayan duruş	2	Diz(ler)de >60° arası fleksiyon (oturma hariç) +2	
Üst kollar			
Hareket	Skor	Skor Değişimi	
20° Fleksiyon-20° Ekstansiyon	1	Kolda: -Abdüksiyon varsa -Rotasyon varsa +1	
20°-45° Fleksiyon >20° Ekstansiyon	2		
45°-90° Fleksiyon	3	Omuz yükselmişse +1	
>90° Fleksiyon	4	Kolun duruşunda yerleşimi desteği etkili ise -1	
Alt kollar			
Hareket	Skor	Skor Değişimi	
60°-100° Fleksiyon	1		
<60° Fleksiyon veya >100° Fleksiyon	2		
Bilek			
Hareket	Skor	Skor Değişimi	
0°-15° Fleksiyon veya Ekstansiyon	1	Yana esneme veya dönme varsa +1	
>20° Fleksiyon veya Ekstansiyon	2		

Şekil 2. REBA duruş puanlaması (REBA posture score) [18]

REBA yönteminde risk değeri belirlenirken; gövde, boyun, bacaklar A Grubu (Tablo 1) ve üst-alt kollar, bilekler B Grubu (Tablo 2) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Tablo 1. REBA-Tablo A (REBA-Table A)

Gövde	Boyun											
	1				2				3			
	Bacaklar				Bacaklar				Bacaklar			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	1	2	3	4	1	2	3	4	3	3	5	6
2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
5	4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9

Tablo 2. REBA-Tablo B (REBA-Table B)

Üst Kol	Alt Kol					
	1			2		
	Bilek			Bilek		
	1	2	3	1	2	3
1	1	2	2	1	2	3
2	1	2	3	2	3	4
3	3	4	5	4	5	5
4	4	5	5	5	6	7
5	6	7	8	7	8	8
6	7	8	8	8	9	9

Gövde, boyun ve bacakların skorları belirlenerek, Tablo A yardımıyla bu skorlara göre yeni bir skor belirlenmekte, aynı şekilde üst-alt kol ve bilekler için skorlar belirlenerek, Tablo B yardımıyla yeni bir skor belirlenmektedir.

Tablo 3. Yük/Kuvvet değerleri(Load/Force values)

Yük/Kuvvet	Skor
< 5 kg	0
5-10 g	1
> 10 kg	2
Ani veya hızlı kuvvet artışı	+1

Tablo A yardımıyla yeniden gövde, boyun ve bacakların skorlarına Tablo 3'te verilen Yük/Kuvvet skoru eklenerek A skoru elde edilmektedir.

Tablo 4. Kavrama değerleri(Grip values)

Derece	Açıklama	Skor
İyi	İyi bir tutma kolu ve orta şiddette kavrama	0
Uygun	El tutuşu uygun fakat ideal değil veya vücudun başka bir bölgesi ile kavrama uygun	1
Kötü	El tutuşu uygun olmamasına rağmen mümkün	2
Uygun değil	Zor ve güvenli olmayan tutuş, tutma kolu yok. Vücudun başka bir bölgesi kullanılarak tutuş uygun değil	3

Tablo B yardımıyla yeniden belirlenen üst-alt kol ve bilekler skorlarına Tablo 4'te verilen kavrama skoru eklenerek B skoru elde edilmektedir [14,18,19]. Tablo C kullanılarak, A ve B skorlarına göre C skoru (Tablo 5) belirlenmektedir.

Tablo 5. REBA – Tablo C (REBA - Table C)

A SKORU	BSKORU											
	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	7
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	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Tablo 6. Aktivite Skor Değeri(Activity score value)

Aktivite	Skor
Bir veya daha fazla vücut bölgesi sabit (örnek: 1 dakikadan uzun süre tutma)	+1
Kısa aralıklarla tekrar eden işler (örnek: 1 dakikada 4'ten fazla tekrar eden iş) (yürüme hariç)	+1
Yapılan iş duruşta hızlı ve büyük değişikliğe neden oluyorsa veya sabit olmayan zeminde çalışılıyorsa	+1

Aktivite skorunun (Tablo 6) ilave edilmesiyle de REBA Risk Değeri (Tablo 7) bulunmaktadır.

Tablo 7. Risk Derecelendirmesi (Risk assessment)

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 İçerisinde Gerekli
4	11-15	Çok Yüksek	Hemen Gerekli

Belirlenen REBA skoruna göre riski azaltacak önlemlerin alınması gerekmektedir [18].

### 2.3. Ovako Çalışma Duruşu Analiz Sistemi (OWAS) (Ovako Working Analysis System)

Ovako Çalışma Duruşu Analiz Sistemi (OWAS), çalışanın kas-iskelet sistemindeki yüklenmeyi ve sistemin neden olduğu kötü duruşları belirlemeye yarayan gözleme dayalı bir çalışma duruşu analiz yöntemidir. OWAS yöntemi; kötü duruşların ve faaliyetlerin tespit edilmesinde, tekrarlanan işlerin çalışanın ne kadar zorladığının belirlenmesinde, optimal iş metotlarının tahmin edilmesinde, iş yerinin verimlilik, konfor ve mesleki sağlık açısından değerlendirilmesinde ve insan makine ara kesitinin sistematik bir biçimde incelenmesinde kullanılmaktadır [20-22]. Bu yöntemde gözlemler yoluyla sırt, kollar, bacaklar ve eller için kullanılan çalışma duruşları ve maruz kalınan yükün ağırlığı değerlendirilerek çalışan hareketlerinin analizi gerçekleştirilir.

Tablo 8. Duruşlar için kod numaraları (Code numbers for postures)

Sırt duruşu	Kod	Kol duruşu	Kod
Düz (nötral)	1	Her iki kol omuz seviyesinin altında	1
Öne veya arkaya eğilmiş	2	Bir kol omuz seviyesinin üstünde	2
Çevrilmiş veya bir yana eğrilmiş	3	Her iki kol da omuz seviyesinin üstünde	3
Çevrilmiş ve bükülmüş ya da eğilmiş	4		
Yük/Güç kullanımı	Kod	Bacak duruşu	Kod
10 kg'ın altında	1	Oturma	1
10 ile 20 kg arasında	2	Bacaklar düz şekilde iki ayak üzerinde durma	2
20 kg'dan fazla	3	Tek ayak üzerinde dikilme, dizler düz	3
		Dizler bükülmüş, iki bacak üstünde dikilme veya çömelme	4
		Diz bükülmüş şekilde tek ayak üzerinde dikilme veya çömelme	5
		Bir ya da iki diz yere çökmüş	6
		Yürüme veya hareket	7

Tablo 9. OWAS sisteminde duruşlar için eylem sınıfları (Action classes of postures in OWAS)

Bacaklar:							
	1	2	3	4	5	6	7
Kuvvet kullanımı	1	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2	2	2
Kollar Sırt	1	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2	2	2
1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7



Tablo 10. OWAS eylem sınıflandırması(Action classification for OWAS)

Kod	Eylem sınıfı	Açıklama
1	Normal duruş	Ergonomik düzenleme gerekli değil
2	Zorlanma fazla değil	Ergonomik düzenleme yakın bir zamanda yapılmalıdır.

OWAS; dört adet sırt duruşu, yedi adet bacak duruşu, üç adet kol duruşu ile kaldırılan yükün ağırlığını değerlendiren, üç yük durumu kombinasyonundan oluşan, toplamda 252 (4x3x7x3) duruş ve yük kombinasyonuna sahiptir. Bu yöntemle göre, çalışanın çalışma esnasındaki sırt, bacak ve kol duruşlarını içeren vücut duruşları ve bu çalışma süresince uyguladığı yük Tablo 8'deki kodlar yardımıyla kayıt altına alınır. Kodlar Tablo 9'a yerleştirilerek OWAS eylem sınıfı belirlenir ve bu değere göre Tablo 10'dan risk düzeyi bulunur. Riskli vücut duruşları belirlenerek bu riskleri önlemek üzere iyileştirme faaliyetleri gerçekleştirilir [14,20-22].

### 3. UYGULAMA (APPLICATION)

Bu çalışma, kuru tip, dağıtım, orta güç ve güç transformatörleri imalatı yapan Balıkesir Elektromekanik Sanayi Tesisleri A.Ş. (BEST A.Ş.)'nin dağıtım transformatörleri montaj hattında gerçekleştirilmiştir. Dağıtım transformatörlerinin üretim süresi güç transformatörleri ile kıyaslandığında belirgin şekilde daha kısa olup; proje bazlı üretim olmasına karşın; seri üretim karakterine sahiptir. Başka bir deyişle, benzer işler ve operasyonlar, nispeten kısa sürede ve yüksek hacimlerde gerçekleştirilmektedir. BEST A.Ş.'de transformatör üretimi 4 ana aşamadan oluşmaktadır. Bunlar çekirdek üretim, sarım, montaj ve son işlemler prosesleridir. Transformatör imalatında, transformatörün tasarımına uygun boyutlarda kesilmiş silisli sacların, belirli bir düzende üst üste dizilmesi ile çekirdek oluşturulmaktadır. Çekirdeğin üzerine sarım operasyonu ile üretimi gerçekleştirilen alçak gerilim ve yüksek gerilim bobinler monte edilerek aktif kısım adı verilen ara ürün elde edilmektedir. Montaj operasyonunda ayrıca üst boyunduruk dizimi, üst kapak montajı, şalter ve izolatör takılması ve fırınlama işlemleri gibi detay proseslerde mevcuttur. Daha sonra son işlemler operasyonu ile montaj sonrası tamamlanan aktif kısmın aksesuar ve tesisat montajının yapılarak kazana indirilmesi, kurusıkım, yağ basma, sızdırmazlık testleri,

3	Yüklenme ve zorlanma fazla	Ergonomik düzenleme mümkün oldukça erken yapılmalıdır
4	Yüklenme ve zorlanma çok fazla	Ergonomik düzenleme derhal yapılmalıdır

klemens kutusu montajı ve sevkiyat öncesi son testlerin yapılması ile transformatör imalat süreçleri tamamlanır. Transformatör üretiminin üretim aşamaları içerisinde özellikle montaj ve son işlemler operasyonu emek yoğun operasyonlardır. Bu operasyonlarda uygun olan/olmayan pek çok farklı pozisyonda tekrarlı hareketler ve uygun olmayan duruş pozisyonlarında uzun süreli çalışmalar yapılmaktadır.

Uygulama yapılan firmanın montaj hattı çalışanlarının kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları, uyarlanmış CMDQ ile analiz edilerek en riskli vücut bölümleri belirlenmiş, bunun yanı sıra çalışma pozisyonuna bağlı olarak gelecekte de gözlenebilecek rahatsızlıkların tespit edilmesi amacıyla REBA ve OWAS teknikleriyle de gözleme dayalı analizler gerçekleştirilmiştir.

#### 3.1 Montaj Hattının Uyarlanmış Kas İskelet Sistemi Rahatsızlık Anketi ile Analizi (Analysis of the Assembly Line by Adapted Musculoskeletal System Discomfort Questionnaire)

Çalışmada ele alınan transformatör üreticisinin montaj bölümünde 2 vardiyada toplam 38 erkek işçi çalışmaktadır. Anket, montaj bölümünde çalışanların tümüne uygulanmıştır ve işçilerin vücut bölümlerinin rahatsızlık riskleri analiz edilmiştir. Montaj bölümü çalışanlarının % 76'sı en az bir vücut bölümünde rahatsızlık hissettiğini belirtmiştir. Anket yanıtları Tablo 11'de özetlenmiştir [23]. Anket yanıtlarından elde edilen frekans, şiddet ve rahatsızlığın işle ilgili skorları ağırlandırılarak, çarpılmış ve her bir vücut bölümü ile ilgili toplam rahatsızlık skoru elde edilmiştir.

Örneğin boyun ile ilgili rahatsızlık skoru hesaplamasında; Bölüm 2.1 de verilen ağırlıklar kullanılarak ağırlıklandırılmış sıklık skoru  $(23 \times 0) + (9 \times 1,5) + (5 \times 3,5) + (1 \times 5) + (0 \times 10) = 36$ , ağırlıklandırılmış şiddet skoru  $(4 \times 1) + (10 \times 2) + (1 \times 3) = 27$  ve rahatsızlığın ağırlıklandırılmış işle ilgili skoru  $(7 \times 1) + (8 \times 2) + (0 \times 3) = 23$  olarak hesaplanmıştır. Bu üç skor çarpılarak boyun bölgesi ile ilgili toplam rahatsızlık skoru 22356 olarak hesaplanmıştır. İncelenen tüm vücut bölümleriyle ilgili skorlar ve yüzdeleri Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 11. Anket özet yanıtları(Summary of responses in the survey) [23]

Vücut Bölümü	Geçtiğimiz hafta içinde belirtilen vücut bölgesi ile ilgili hangi sıklıkla acı ağrı yada rahatsızlık deneyiminiz oldu?					Eğer böyle bir deneyiminiz olduysa, bu rahatsızlığınızı derecelendirdiniz.			Eğer böyle bir deneyiminiz olduysa, bu rahatsızlığın yaptığımız işle ilgisinin derecelendirdiniz.		
	Hiç olmadı	Haftada 1-2 defa	Haftada 3-4 defa	Günde 1 defa	Günde bir kaç	Az	Orta	Fazla	Az	Orta	Fazla
Boyun	23	9	5	1	0	4	10	1	7	8	0
Omuz (Sol)	27	6	3	2	0	4	5	2	3	7	1
Omuz(Sağ)	27	5	4	1	1	3	8	0	2	8	1
Sırt	20	7	5	4	2	4	13	1	7	11	0
Üst Kol-Pazu (Sol)	31	3	2	2	0	2	5	0	3	4	0
Üst Kol-Pazu (Sağ)	25	8	2	2	1	4	9	0	6	6	1
Bel	23	7	3	3	2	5	8	2	3	10	2
Ön Kol (Sol)	30	3	2	3	0	3	5	0	3	5	0
Ön Kol (Sağ)	29	6	1	1	1	4	5	0	1	6	2
Dirsek (Sol)	32	4	2	0	0	4	2	0	4	2	0
Dirsek (Sağ)	32	5	0	0	1	3	3	0	4	1	1
Bilek El (Sol)	30	5	1	1	1	3	3	2	5	0	3
Bilek El (Sağ)	25	10	1	0	1	4	8	1	6	3	4
Kalça	35	1	1	1	0	0	3	0	2	1	0
Uyluk (Sol)	31	4	1	1	0	2	5	0	3	4	0
Uyluk (Sağ)	31	4	2	1	0	1	6	0	2	5	0
Diz (Sol)	27	8	1	2	0	4	7	0	5	5	1
Diz (Sağ)	30	5	1	2	0	3	5	0	5	2	1
Baldır (Sol)	29	5	2	2	0	4	5	0	4	5	0
Baldır (Sağ)	29	5	2	2	0	4	5	0	4	5	0
Ayak (Sol)	25	4	4	2	3	5	7	1	7	5	1
Ayak (Sağ)	26	4	1	2	5	3	7	2	5	5	2
A Bölgesi (Sol)	35	1	0	1	1	1	2	0	1	1	1
A Bölgesi (Sağ)	31	4	0	1	2	2	5	0	1	4	2
B Bölgesi (Sol)	35	3	0	0	0	2	0	0	3	0	0
B Bölgesi (Sağ)	34	3	0	0	1	1	3	0	2	1	1
C Bölgesi (Sol)	35	2	0	1	0	1	1	0	1	1	1
C Bölgesi (Sağ)	33	3	0	1	1	2	2	0	1	2	2
D Bölgesi (Sol)	36	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1
D Bölgesi (Sağ)	33	2	1	1	1	2	3	0	1	2	2
E Bölgesi (Sol)	33	2	2	1	0	2	2	0	2	2	1
E Bölgesi (Sağ)	30	3	2	1	2	2	5	0	3	3	2
F Bölgesi (Sol)	34	2	1	1	0	1	2	0	1	2	1
F Bölgesi (Sağ)	29	4	2	2	1	1	6	0	2	5	2

Tablodan görüldüğü üzere çalışanların en yüksek rahatsızlık skorları sırasıyla sırt (%19,99), bel (%13,47), sağ ayak (%10,31), sol ayak (%8,11), boyun (%6,87), üst kol sağ pazu (%5,53), sağ bilek (%4,83), sağ omuz (%4,47) ve sol omuz (%3,62) bölgelerinde oluşmaktadır. Geri kalan bölgelerdeki rahatsızlık skorları oldukça düşüktür. Anket ile elde edilen sonuçlarda özellikle sırt, bel, ayaklar, boyun, sağ pazu ve omuzlar en riskli vücut bölümleri olarak tespit edilmiştir. Çalışma pozisyonu gereği ağırlıklı olarak ayakta durma ve eğilme hareketlerine bağlı rahatsızlık skorları fazla iken, el ile yapılan ince işçilik olmaması ve dirseklerin çok kullanılmaması nedeniyle el ve dirsek bölgelerinde genellikle rahatsızlık skorları düşük çıkmıştır. Transformatöre montaj esnasında sıklıkla elle dayanmaya bağlı olarak E ve F bölgelerindeki rahatsızlıklar, diğer el bölgelerine göre daha fazladır. Ayrıca çalışanların ağırlıklı olarak sağ ellerini kullanmaları nedeniyle sol el ve kol bölgelerindeki rahatsızlık skorları nispeten daha düşüktür.

Tablo 12. Toplam rahatsızlık skorları (Total discomfort scores) [23]

Vücut Bölümü	Sıklık	Şiddet	İşle İlgisi	Skor	%
Boyun	36	27	23	22356	<b>6,87</b>
Omuz (Sol)	29,5	20	20	11800	<b>3,62</b>
Omuz(Sağ)	36,5	19	21	14563,5	<b>4,47</b>
Sırt	68	33	29	65076	<b>19,99</b>
Üst Kol-Pazu (Sol)	21,5	12	11	2838	<b>0,87</b>
Üst Kol-Pazu (Sağ)	39	22	21	18018	<b>5,53</b>
Bel	56	27	29	43848	<b>13,47</b>
Ön Kol (Sol)	26,5	13	13	4478,5	1,38
Ön Kol (Sağ)	27,5	14	19	7315	2,25
Dirsek (Sol)	13	8	8	832	0,26
Dirsek (Sağ)	17,5	9	9	1417,5	0,44
Bilek El (Sol)	26	15	14	5460	1,68
Bilek El (Sağ)	28,5	23	24	15732	<b>4,83</b>
Kalça	10	6	4	240	0,07
Uyluk (Sol)	14,5	12	11	1914	0,59
Uyluk (Sağ)	18	13	12	2808	0,86
Diz (Sol)	25,5	18	18	8262	2,54
Diz (Sağ)	21	13	12	3276	1,01
Baldır (Sol)	24,5	14	14	4802	1,47
Baldır (Sağ)	24,5	14	14	4802	1,47
Ayak (Sol)	60	22	20	26400	<b>8,11</b>
Ayak (Sağ)	69,5	23	21	33568,5	<b>10,31</b>
A Bölgesi (Sol)	16,5	5	6	495	0,15
A Bölgesi (Sağ)	31	12	15	5580	1,71
B Bölgesi (Sol)	4,5	2	3	27	0,01
B Bölgesi (Sağ)	14,5	7	7	710,5	0,22
C Bölgesi (Sol)	8	3	6	144	0,04
C Bölgesi (Sağ)	19,5	6	11	1287	0,40
D Bölgesi (Sol)	6,5	3	5	97,5	0,03
D Bölgesi (Sağ)	21,5	8	11	1892	0,58
E Bölgesi (Sol)	15	6	9	810	0,25
E Bölgesi (Sağ)	36,5	12	15	6570	2,02
F Bölgesi (Sol)	11,5	5	8	460	0,14
F Bölgesi (Sağ)	33	13	18	7722	2,37



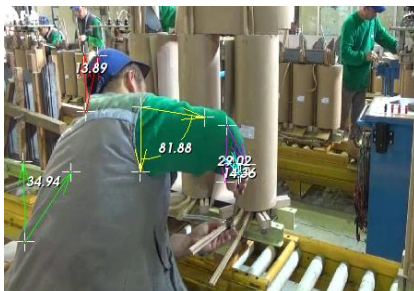
### 3.2 Montaj Hattının REBA ve OWAS Teknikleri ile Analizi (Analysis of Assembly Line with REBA and OWAS Techniques)

Montaj bölümünde çalışan işgören, montaj hattının yüksekliğinin sabit olmasından dolayı oturarak, çömelerek eğilerek vb. uygun olmayan duruş pozisyonlarında çalışmak zorunda kalmaktadır. Şekil 3'te görülen çalışan, alçak gerilim iletken uçlarının izolasyonlarının açılması işlemini gerçekleştirmektedir (Şekil 3.a-b). İzolasyon açma işleminde çalışan 5 kg.'ın altında yük uygulamakta ve bu işlemi ortalama 10 dakikada 6 kere tekrarlamaktadır. Bu pozisyonlarda uzun süreli ve tekrarlı hareketlerle yapılan çalışma uzun vadede KİSR'na sebep olabilmektedir.

Montaj hattı çalışanlarının duruş pozisyonları REBA ve OWAS yöntemleri ile analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler uMEDergonomy V1.3 yazılımı ile yapılmıştır. uMEDergonomy, mesleki risklerin azaltılması ve iş verimliliğinin artırılması amacı ile ergonomik analizlerin yapılması için geliştirilen, bünyesinde risk değerlendirme yöntemlerini içeren bir mühendislik yazılımıdır [23,24]. REBA analizinde öncelikle boyun, gövde ve bacaklar için nötral duruma göre hareket değerlendirilmiş ve skor değerleri belirlenmiştir (Şekil 4).

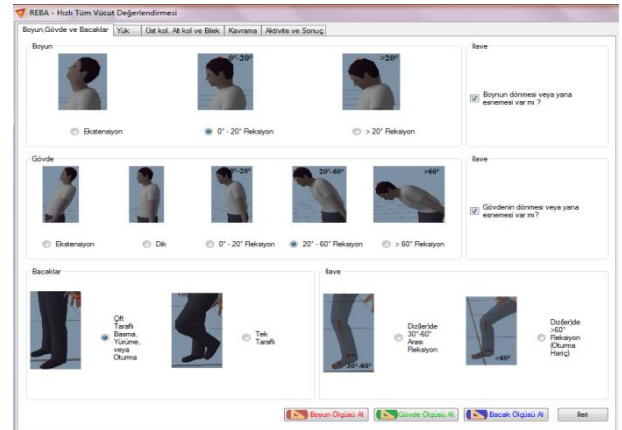


(a)



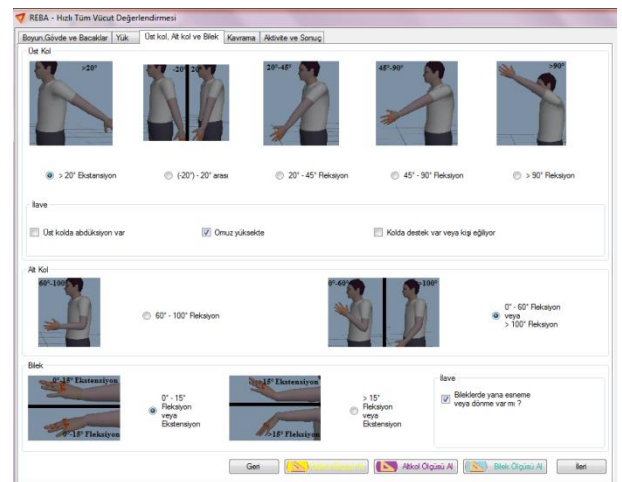
(b)

Şekil 4. Montaj işlemi çalışanın çalışma pozisyonu (Work position of the assembly worker) [23]



Şekil 3. REBA analizinde boyun, gövde ve bacakların değerlendirilmesi (Evaluation of neck, trunk and legs in REBA analysis)

Yük değerinin (5 kg'dan az) eklenmesi ile üstkol, alt kol ve bilekler (sağ taraf) için değerlendirmeler yapılmıştır (Şekil 5).



Şekil 4. REBA analizinde üst kol, alt kol ve bileklerin (sağ taraf) değerlendirilmesi (Evaluation of upper arm, lower arm and wrists (right) in REBA analysis)

Kavrama değerinin "uygun" olarak belirlenmesi ve aktivite skor değerinin eklenmesi ile REBA risk skor değeri elde edilmiştir (Şekil 6). Yapılan REBA analizinde çalışanın öne doğru uzanarak çalışmasına bağlı olarak özellikle gövdede ve üst kolda zorlanmaların fazla olduğu Şekil 3.b'de görülmüştür. REBA skoru 9 olarak bulunmuştur ve risk seviyesi *Yüksek*'tir. Bu çalışma pozisyonu iyileştirilmelidir.

REBA - Hızlı Tüm Vücut Değerlendirmesi

Boyun/Gövde ve Bacaklar: Yüksek, Üst kol, Alt kol ve Bilek: Kıvrımlı, Aktifite ve Sonuç: Aktivite ve Sonuç

Aktivite:

- Bir veya daha fazla vücut bölgesi sabit (ör: 1 dakikadan uzun süre tutma)
- Kesa aralıklarla tekrar eden işler (ör: 1 dakikada 4'ten fazla tekrar eden iş) (yürüme hariç)
- Yapılan iş durumu hızlı ve büyük değişikliklere neden oluyorsa veya sabit olmayan zeminde çalışılıyorsa

Sonuçlar:

Skor : 9

Skor	Risk
1	Önemiz risk
2 ya da 3	Düşük risk: Değişiklik gerekli olabilir
4 - 7 Arası	Orta risk: Daha fazla araştırma. Yalınca değiştirilebilir
8 - 10 Arası	Yüksek risk: Araştırma ve önlemler uygulanmalı
11 ve daha fazlası	Çok yüksek risk: Değişim uygulanmalı

Raporlama:

İşçinin Adı: \_\_\_\_\_

Şirket: \_\_\_\_\_

Bölüm: \_\_\_\_\_

Fonksiyon: \_\_\_\_\_

Görev Açıklaması: \_\_\_\_\_

Yazdırılan son PDF'i aç:

Şekil 5. Aktivite ve REBA risk skoru değerlerinin belirlenmesi (Determination of the value of the activity and the REBA risk scores)

Montaj işlemi çalışanın çalışma pozisyonu için gerçekleştirilen OWAS analizinde; sırt, kol ve bacak duruşuna göre kodlar belirlenmiştir (Şekil 7). Şekil 7'de görüldüğü gibi çalışan öne eğilmiş ve yana dönmüştür, sırt duruşu değeri "4" tür. Bir kol omuz seviyesinin üstünde olduğu için kol değeri "2" ve oturarak çalıştığı için bacak değeri "1" olarak verilmiştir. Yük/Güç kullanımı 10 kg'ın altında olduğundan değeri "1" dir. Belirlenen sırt, kol, bacak duruş değerleri ve yük/güç kullanım değerlerine göre OWAS eylem sınıfı "3" olarak belirlenmiştir. OWAS analizine göre çalışanın çalışma pozisyonu için; *yüklenme ve zorlanma fazladır ve "Ergonomik düzenleme mümkün oldukça erken yapılmalıdır"*.

OWAS - Çalışma Duruşları Analiz Sistemi

Sırt, Kollar, Bacaklar ve Yük: Sonuç ve Raporlama

Sırt:

Dik  Eğilim  Dönük  Eğilim ve Dönük

Kollar:

Kollar Omuz Seviyesinde  Bir Kol Omuz Seviyesinde  Kollar Omuz Seviyesinde

Bacaklar:

Oturmuş  Ayakta - İki Ayak Üzerinde  Ayakta - Tek Ayak Üzerinde  Çömelme - İki Ayak Üzerinde  Çömelme - Tek Ayak Üzerinde  Diz Çökür  Yürüyüş

Yük:

10 kg'dan az  10 kg - 20 kg arasında  20 kg'dan fazla

Hesapla

Şekil 6. OWAS analizinde sırt, kol ve bacak duruşunun belirlenmesi (Determination of back, arm and leg position in OWAS analysis)

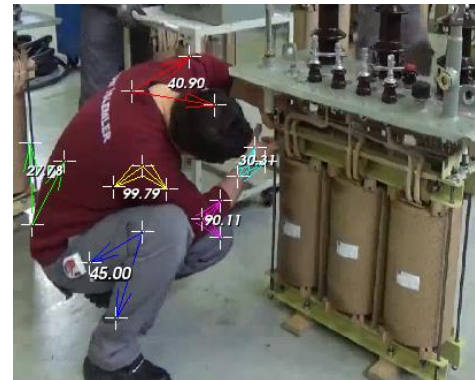
Analiz edilen bir diğer çalışma duruşu, son işlemler personelinin üst klemp bağlantılarının gerçekleştirilmesi ve emniyet somunlarının ilgili alanlara yerleştirilmesi esnasındaki duruşudur.

Son işlemler çalışmanı 5 kg'ın altında yük uygulamakta ve bu işlemi vardiyada ortalama 40 kere tekrarlamaktadır.

Transformatör kapağının yerden yüksekliği transformatöre göre değişmekle birlikte genellikle 100 kVA bir transformatör için 750 mm ile 950 mm arasında değişmektedir. Hat çalışanlarının boy uzunlukları 163 cm ile 178 cm arasında olduğundan transformatör kapağının alt kısmındaki montaj işlemleri esnasında çalışanların çömelerek eğilmeleri gerekmektedir (Şekil 8.a-b). Gün içerisinde tekrarlayan bu çalışma duruşları; çalışanları zorladığından Şekil 8'de verilen çalışma duruşlarının REBA ve OWAS yöntemleri ile analizleri gerçekleştirilmiştir.



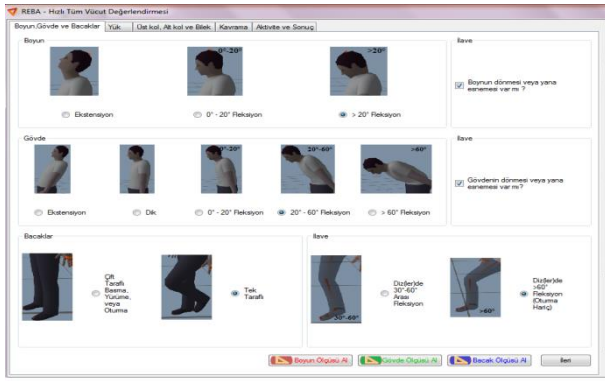
a)



b)

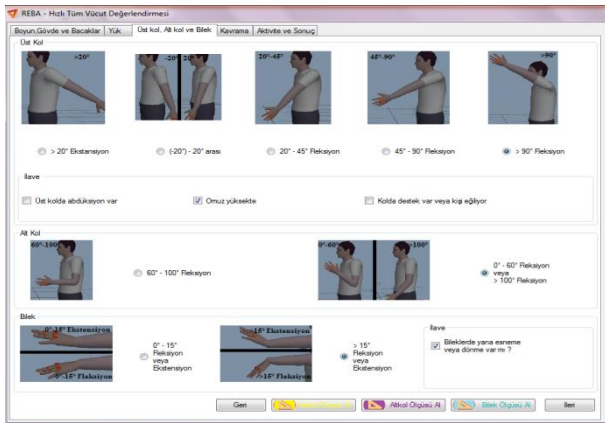
Şekil 8. Son işlemler çalışanın çalışma pozisyonu (Work position of the last operation worker) [23]

Çalışma pozisyonu için gerçekleştirilen REBA ve OWAS analizleri sırasıyla verilmiştir. REBA analizi için; öncelikle boyun, gövde ve bacaklar için nötral duruma göre hareket değerlendirilmiş ve skor değerleri belirlenmiştir (Şekil 9).



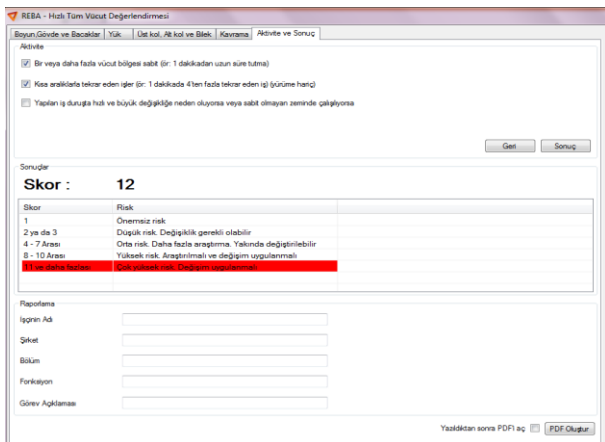
Şekil 7. REBA analizinde boyun, gövde ve bacakların değerlendirilmesi (Evaluation of neck, trunk and legs in REBA analysis)

Yük değeri 5 kg'dan az olarak değerlendirilmiş ve üst kol, alt kol ve bilekler (sol taraf) için puanlamalar yapılmıştır (Şekil 10).



Şekil 8. REBA analizinde üst kol, alt kol ve bileklerin (sol taraf) değerlendirilmesi (Evaluation of upper arm, lower arm and wrists (left) in REBA analysis)

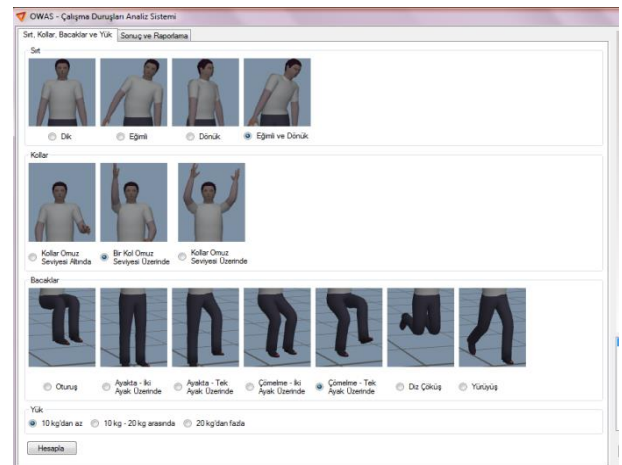
Kavrama değerinin "uygun" olarak belirlenmesi ve aktivite skor değerinin eklenmesi ile REBA risk skor değeri elde edilmiştir (Şekil 11).



Şekil 9. Aktivite ve REBA risk skoru değerlerinin belirlenmesi (Determination of the value of the activity and the REBA risk scores)

Yapılan REBA analizinde çalışanın çömelerek ve eğilerek çalışmasına bağlı olarak gövdede, boyunda, bacaklarda ve üst kollarda zorlanmaların fazla olduğu görülmüştür (Şekil 8.b-nötral duruma göre çalışma pozisyonu açıları). REBA sokuru 12 olarak bulunmuştur ve risk seviyesi *Çok Yüksek*'tir. Bu çalışma pozisyonu iyileştirilmelidir.

Son işlemler çalışanın çalışma pozisyonu için gerçekleştirilen OWAS analizinde; sırt, kol ve bacak duruşuna göre kodlar belirlenmiştir (Şekil 12). Çalışan öne eğilmiş ve yana dönmüştür, sırt duruş değeri "4" tür. Her iki kol omuz seviyesinin altında olduğu için kol değeri "1" ve çömelerek çalıştığı için bacak değeri "5" olarak verilmiştir. Yük/Güç kullanımı 10 kg'ın altında olduğundan değeri "1" dir. Belirlenen sırt, kol, bacak duruş değerleri ve yük/güç kullanım değerlerine göre OWAS eylem sınıfı "4" olarak belirlenmiştir. OWAS analizine göre çalışma pozisyonu için; *yüklenme ve zorlanma çok fazladır ve "Derhal Ergonomik Düzenleme Yapılmalı"* dır.



Şekil 10. OWAS analizinde sırt, kol ve bacak duruşunun belirlenmesi (Determination of back, arm and leg position in OWAS analysis)

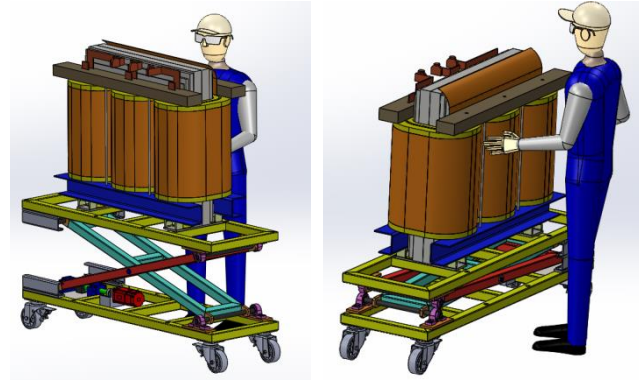
OWAS ve REBA yöntemleri ile montaj ve son işlemler sürecinde çalışanların çalışma pozisyonlarından, çalışanları en çok zorlayanlar dikkate alınmıştır. Bu çalışma pozisyonları değerlendirildiğinde; REBA ve OWAS ile belirlenen riskli vücut bölgelerinin, CMDQ ile belirlenen riskli vücut bölgeleriyle uyumlu olduğu gözlenmiştir. REBA yönteminde sırt ve bel ayrı olarak verilmemekte, gövde başlığı altında değerlendirilmektedir. REBA yöntemi ile gövde, boyun, bacaklar, üst ve alt kollar, bilek değerlendirilirken; OWAS yöntemi ile sırt, kol ve bacak duruşu değerlendirilmektedir. CMDQ'daki vücut bölgelerine karşılık olması açısından hem REBA hem OWAS yöntemleri birlikte kullanılmıştır. Anket sonucunda sırt, bel, ayaklar,



boyun, sağ pazu ve omuzlar en riskli vücut bölümleri olarak belirlenirken, çalışma pozisyonlarının REBA ve OWAS yöntemleri ile analizi sonucu aynı bölgelere ek olarak bacaklarda da yüksek risk bulunduğu değerlendirilmiştir.

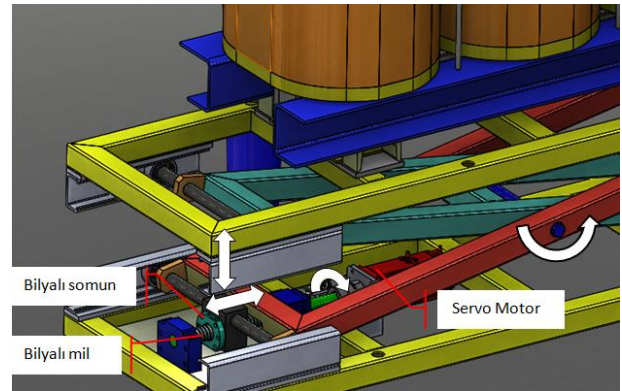
Açık gerilim iletken uçlarının izolasyonlarının açılması ve transformatör kapağının alt kısmında gerçekleştirilen montaj işlemleri gibi gün içerisinde tekrarlayan işlerde çömelerek, uzanarak veya eğilerek çalışmak çalışanlarda yorulmalara, kas-iskelet zorlanmalarına ve aynı zamanda yorulmaya bağlı olarak performans düşüklüğüne neden olabilir (Şekil 3 ve Şekil 8). Uygun olmayan çalışma duruşlarının iyileştirilmesi ile hem çalışan açısından, hemde iş verimi açısından kazanımlar elde edilebilecektir. Bu durumun iyileştirilebilmesi için, yüksekliği ayarlanabilir bir montaj sehpa tasarlanmıştır (Şekil 13). Ayarlanabilir yükseklik ile montaj işleminin, mümkün olduğunca dirsek hizasında yapılabilmesine imkan sağlanacak, böylece çalışanın eğilip-bükülmesinin önüne geçilecektir. Önerilen montaj sehpa tasarımının gerçekleştirilmesiyle özellikle sırt, bel, boyun, üst ve alt kol bölgelerindeki zorlanmaların azalacağı değerlendirilmektedir. Çalışma yüksekliğinin ayarlanması için önerilen tasarımda; bilyalı mil ve bunu tahrik eden bir servo motor kullanılmıştır (Şekil 14). Sehpanın çalışana özel olarak ayarlanabilmesi için, bir RFID sistemi ile personel tanımlama işlemi yapılarak, gerekli yüksekliğe otomatik ayarlama yapılması mümkün kılınabilir. Montaj sehpa tasarımında, montaj çalışanlarının antropometrik ölçümleri (boy, dirsek yüksekliği, öne uzanma-kavrama ölçümleri) dikkate alınmıştır. Sehpa tasarımında çalışanların dirsek yüksekliğinde çalışma yapması planlanmış ve bu amaçla 38 montaj çalışanın dirsek yüksekliği ölçülmüştür. Sehpanın minimum yüksekliği belirlenirken transformatör kapağının üzerindeki iş bölgesi yüksekliğinin çalışanların alt %5'inin dirsek yüksekliğini aşmayacak şekilde olması öngörülmüştür. Sehpanın maksimum yüksekliği belirlenirken ise transformatörün alt bölgesindeki iş bölgesi yüksekliğinin çalışanların alt %5'inin dirsek yüksekliğini aşmayacak şekilde olması dikkate alınmış ve sehpa yüksekliği 102,5 cm olarak belirlenmiştir. Çalışma esnasında zaman zaman eğilme, uzanma hareketleri gibi çalışana zorlayan uygun olmayan çalışma duruşları söz konusu olabilmektedir. Çalışmada, bu hareketleri ortadan kaldıracak ayarlanabilir bir montaj sehpa tasarımı yapılmıştır. Önerilen tasarımda, sehpa yükseklikleri ayarlanabilir olduğundan, çalışana

uygun çalışma yüksekliği istenildiği şekilde ayarlanabilecektir.



a) Sehpa yüksekliği maksimum b) Sehpa yüksekliği minimum  
Şekil 11. Montaj sehpa tasarımı (Design of assembly table)

Montaj sehpa SolidWorks ile tasarlanmıştır. Sehpanın boyutları 500x1600 mm ve sehpanın minimum kapanma yüksekliği 264 mm, maksimum açılma yüksekliği 864 mm'dir.



Şekil 12. Sistem görünüşü (System appearance)

Şekil 14 'de görüldüğü üzere sistemin çalışırken; servo motordan bilyalı mile aktarılan dönme hareketi, bilyalı somun ile öteleme hareketine dönüştürülmektedir. Öteleme hareketi ile makas mekanizması sayesinde sehpanın yüksekliği ayarlanmaktadır.

Bu çalışmada ergonomik bir montaj sehpa tasarımı geliştirilmesinin birincil amacı, montaj çalışanlarının çalışma koşullarının iyileştirilmesi ve kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının azaltılmasıdır. Ayrıca, yeni ergonomik sehpa tasarımının uygulanmasıyla çalışan performansının ve kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları kaynaklı işgücü kaybının azalacağı değerlendirilmektedir.

#### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada transformatör imalatçısı bir firmanın montaj hattında ergonomik iyileştirmeler

yapabilmek için CMDQ, REBA ve OWAS yöntemleri ile analizler yapılmış ve montaj işlerinde çalışan personelin çalışma pozisyonları değerlendirilmiştir. Literatürde erişilebilen kaynaklarda transformatör sektöründe montaj işlemlerinde hem ankete hem de gözleme dayalı analiz yöntemlerini birlikte kullanan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Çalışmanın literatüre katkısı, sübjektif bir değerlendirme yöntemi olan CMDQ ile gözleme dayalı REBA ve OWAS yöntemlerinin birlikte değerlendirilmesi ve sonuçların karşılaştırılmasıdır. CMDQ sonucunda ağırlıklı olarak eğilerek ve çömelerek çalışmaya bağlı olarak sırt, bel, ayaklar, boyun, sağ pazu ve omuzlar en riskli vücut bölümleri olarak belirlenmiştir. Montaj işlemi personeli oturarak, ancak öne doğru uzanarak ve eğilerek çalışmaktadır. Gövde ve üst kollarda nötral duruştan uzaklaştığı için zorlanmalar olmaktadır. Üst kol yukarıya kalkmakta, omuz yükselmektedir. Öne doğru uzanma ve eğilme hareketi nedeniyle sırt ve belde zorlanmalar oluşmaktadır. Aynı şekilde son işlemler personeli bacaklarını bükerek çalışmaktadır. Üst klemp civatalarını takma ve bu civataları sıkıştırma işlemini gerçekleştirirken, rahat görüş açısı yakalayabilmek için gövdesini ve boynunu eğmektedir. Gövdedeki ve boyndaki öne ve yana eğilme hareketi, gün içerisinde tekrarlandığı için çalışana zorlamaktadır. Çalışmada, bu hareketleri ortadan kaldıracak ayarlanabilir bir montaj sehpa tasarımı yapılmıştır. Hem montaj işlemi personeli, hem de son işlemler personeli kendisine uygun olan sehpa yüksekliğini ayarlayarak çalışmalarını kas-iskelet sistemlerini zorlamadan yapabilecektir. Buna bağlı olarak çalışan memnuniyeti ve performansında iyileşme beklenmektedir. Bu çalışma; süre ve firmanın üretim karakteristiklerinden kaynaklı kısıtlardan dolayı dağıtım transformatörlerinin montajının yapıldığı hatta gerçekleştirilmiş olup, firmanın diğer ürünlerinin üretiminin gerçekleştirildiği montaj birimleri için genellenemez. Gelecek çalışma olarak, yeni montaj sehpasının uygulamaya alınmasıyla çalışanlar üzerindeki etkisi incelenecektir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Çalışmaya katkıları nedeniyle Balıkesir Elektromekanik Sanayi Tesisleri (BEST) A.Ş. AR-GE Merkezine teşekkür ederiz.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Li, G., and Buckle, P., "Evaluating change in exposure to risk for musculoskeletal disorders: A practical tool." HSE Books, England: Suffolk, 1999.
- [2] Esen H., Fıglalı N., Çalışma duruşu analiz yöntemleri ve çalışma duruşunun kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına etkileri, SAÜ. Fen Bil. Der., 17 (1), 41-51, 2013.
- [3] Kara, Y., Atasagun, Y., Gökçen, H., Hezer, S., and Demirel, N., "An integrated model to incorporate ergonomics and resource restrictions into assembly line balancing." International Journal of Computer Integrated Manufacturing 27 (11), 997–1007, 2014.
- [4] Ayan B., "Montaj Hattında Ergonomik Risk Unsurlarının İncelenmesi: Otomotiv Sektörüne Yönelik Bir Uygulama", Uzmanlık Tezi, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim ve Araştırma Merkezi Ankara, 2015.
- [5] Otto, A., and Scholl, A., "Incorporating ergonomic risks into assembly line balancing." European Journal of Operational Research 212 (1): 277–286, 2011.
- [6] Gonen D., Oral A., Yosunlukaya M., "Computer-Aided Ergonomic Analysis for Assembly Unit of an Agricultural Device", Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries 26 (5), 615–626, 2016.
- [7] Battini, D., Faccio, M., Persona, A., and Sgarbossa, F., "Linking ergonomics evaluation and assembly system design problem in a new integrated procedure" In the Proceedings of the 19th International Conference on Production Research, Vicenza Italy, 2007.
- [8] Özgörmüş E., "Ergonomik Koşullar Altında Montaj Hattı Dengeleme", Yüksek Lisans Tezi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2007.
- [9] Demirkol, S., Baykasoglu, A., "ErgoALWABP: a multiple-rule based constructive randomized search algorithm for solving assembly line worker assignment and balancing problem under ergonomic risk factors", Journal of Intelligent

- Manufacturing,2016. DOI 10.1007/s10845-016-1246-6
- [10] Baykasoglu, A., Tasan, S.Ö., Tasan, A.S., Demirkol, S., Modeling and solving assembly line design problems by considering human factors with a real-life application. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 2017. DOI: 10.1002/hfm.20695
- [11] Kuorinka, I., Jonsson, B., Kilbom, A., Vinterberg, H., Biering-Sørensen, F., Andersson, G., Jørgensen, K., “Standardised Nordic Questionnaires for the Analysis of Musculoskeletal Symptoms”, *Applied Ergonomics*, 18 (3), 233-237, 1987.
- [12] Hildebrandt V. H., “Prevention of work related musculoskeletal disorders: setting priorities using the standardized Dutch Musculoskeletal Questionnaire”, Doctoral Dissertation, Delft University of Technology, Delft, 2001.
- [13] Hedge, A., Morimoto, S., Mccrobie, D., “Effects of Keyboard Tray Geometry on Upper Body Posture and Comfort”, *Ergonomics*, 42 (10), 1333-1349, 1999.
- [14] Koç S., Testik Ö. M., “Mobilya Sektöründe Yaşanan Kas-İskelet Sistemi Risklerinin Farklı Değerlendirme Metotları ile İncelenmesi ve Minimizasyonu”, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 27 (2), 2-27, 2016.
- [15] Menzel, N. N., “Manual Handling Workload and Musculoskeletal Discomfort in Nursing Personnel”, Phd Thesis, Department of Environmental and Occupational Health, University of South Florida, 2001.
- [16] Jansen, K., Luik, M., Reinvee, M., Viljasoo, V., Erelina, J., Gapeyeva, H., Pääsuke, M., “Musculoskeletal Discomfort in Production Assembly Workers”, *Acta Kinesiologiae Universitatis Tartuensis*, 18, 102-110, 2012.
- [17]<http://ergo.human.cornell.edu/ahmsquest.html>(Erişim Tarihi: 02.02.2015)
- [18] Kara, Y., Atasagun, Y., Peker, A., “*Montaj Hatlarında Çalışma Duruşlarının REBA Yöntemi ile Analizi ve Ergonomik Risk Değerlendirmesi*”, 7. Uluslararası İş Sağlığı ve Güvenliği Konferansı, 5 - 7 Mayıs, İstanbul, 2014.
- [19] Hignett, S., McAtamney, L., “Rapid Entire Body Assessment (REBA)”, *Applied Ergonomics*, 31 (2), 201-205, 2000.
- [20] Akay, D., Kurt, M., Dağdeviren, M., “Çalışma Duruşlarının Ergonomik Analizi”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 18(3), 73-84, 2003.
- [21] Eriş H., Can G. F., Fıçlalı N., “Çalışma Duruşu ve Kas-İskelet Sistemi Rahatsızlıkları”, V. Endüstri Mühendisliği Bahar Konferansları-Ergonomi, sayı: 129, 2009.
- [22] Kocabaş M., “Ağır ve Tehlikeli İşlerde Çalışan İş Görenlerde Zorlanmaya Neden Olan Çalışma Duruşlarının Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Selçuk Üniversitesi, 2009.
- [23] Karaoğlan, A.D., Ocaktan, M.A.B., Gönen, D., Oral, A., Cicibaş, A., “Bir transformatör işletmesinde montaj hattı çalışanlarının kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının analizi ve yeni bir montaj sehпасı tasarımı”, 22. Ergonomi Kongresi, 6-8 Ekim, Denizli, 2016, (Özet Sunum).
- [24][http://akroengineering.com/files/TechnicalPapers/uMEDERgonomy\\_REBARULA\\_MAKALE\\_ErolC.pdf](http://akroengineering.com/files/TechnicalPapers/uMEDERgonomy_REBARULA_MAKALE_ErolC.pdf) (Erişim Tarihi: 03.08.2016).