

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**KABLO DEMETLEME KONVEYÖR HATTINDA BİLGİSAYAR
DESTEKLİ ERGONOMİK ANALİZLER**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HİLAL ATICI

BALIKESİR, ARALIK - 2016

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



KABLO DEMETLEME KONVEYÖR HATTINDA BİLGİSAYAR
DESTEKLİ ERGONOMİK ANALİZLER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HİLAL ATICI

Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Demet GÖNEN (Tez Danışmanı)

Prof. Dr. Emin KAHYA

Doç. Dr. Ali ORAL

BALIKESİR, ARALIK - 2016

KABUL VE ONAY SAYFASI

Hilal ATICI tarafından hazırlanan “**KABLO DEMETLEME KONVEYÖR HATTINDA BİLGİSAYAR DESTEKLİ ERGONOMİK ANALİZLER**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 19.12.2016 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği /~~oy çokluğu~~ ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Demet GÖNEN

Üye
Prof. Dr. Emin KAHYA

Üye
Doç. Dr. Ali ORAL

The image shows three handwritten signatures in blue ink, each placed on a horizontal dotted line. The top signature is 'D. Gonen', the middle one is 'E. Kahya', and the bottom one is 'A. Oral'.

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

**Bu tez çalışması Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından
0650.STZ.2014 nolu proje ile desteklenmiştir.**

ÖZET

**KABLO DEMETLEME KONVEYÖR HATTINDA BİLGİSAYAR DESTEKLİ
ERGONOMİK ANALİZLER
YÜKSEK LİSANS TEZİ
HİLAL ATICI
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: YRD. DOÇ. DR. DEMET GÖNEN)
BALIKESİR, ARALIK - 2016**

Çalışan performansı, üretim sistemlerinde verimlilik ve kalite üzerinde etkili olan en önemli faktörlerden biridir. Çalışanın iş performansı, çalışma yöntemi ve çalışma ortamının koşullarından etkilenmektedir. Çalışma ortamındaki eksiklikler performansın düşmesine sebep olduğu gibi, bu eksikliklerden kaynaklanan uygun olmayan çalışma duruşları da çalışan sağlığını olumsuz etkileyerek mesleğe bağlı kas iskelet sistemi rahatsızlıkları riskini arttırmaktadır. Bu rahatsızlıkların oluşmasını önlemek amacıyla çalışma duruşları ergonomik açıdan değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada, otomotiv sektöründe kablo donanımları üreten bir işletmenin kablo demetleme konveyör hattı incelenmiş ve hatta yapılan montaj işlemlerinde çalışanların eğilme, uzanma gibi hareketleri gün içinde sıklıkla tekrarladığı görülmüştür. Çalışmanın amacı; ergonomik açıdan uygun olmayan çalışma duruşlarının azaltılarak çalışma koşullarının iyileştirilmesi ve çalışan sağlığının korunmasıdır. Çalışma koşullarının iyileştirilmesi, kalite performansını ve iş verimliliğini arttıracaktır. Çalışanları rahatsız eden ve uygun olmayan çalışma duruşlarının belirlenmesi için anket uygulanmış, anket sonuçlarına göre çalışma duruşlarından etkilenen vücut bölgeleri değerlendirilmiştir. Uygun olmayan duruşların kas iskelet sistemi rahatsızlığı riski REBA yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu duruşlar sanal ortamda AnyBody Modelleme Sistemi ile modellenmiş ve zorlanmaların belirlenmesi için statik ve dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Dinamik analiz için gerekli hareket verisi hareket yakalama sistemi ile elde edilmiştir. Yapılan değerlendirmelerin sonuçlarına göre, montaj hattının çalışanlarla daha uyumlu olacak şekilde yeniden tasarımı gerçekleştirilmiştir. İmalatı gerçekleştirilen yeni konveyör hattı için bilgisayar destekli analizler tekrarlanmış, çalışanlar açısından riskli ve yorucu duruşların azaldığı görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELEER: Konveyör hattı, çalışma duruşu, bilgisayar destekli ergonomik analiz, REBA yöntemi

ABSTRACT

**COMPUTER AIDED ERGONOMICS ANALYSIS ON WIRING HARNESS
ASSEMBLY CONVEYOR
MSC THESIS
HİLAL ATICI
BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
INDUSTRIAL ENGINEERING
(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. DEMET GONEN)
BALIKESİR, DECEMBER 2016**

The employee performance as one of the most important factors affecting productivity and quality, is influenced by working methods and the conditions of working environment. Negative conditions in working environment cause decrease on employee performance, besides unsuitable working postures resulting from these conditions increase the risk of occupational musculoskeletal disorders. In order to prevent the occurrence of such disorders, working postures are evaluated ergonomically.

In this study, wiring harness assembly line of a company that produces wiring harnesses for the automotive industry was investigated. It was observed that during the assembly processes on the conveyor line, the bending and reaching movements of the employees are frequently repeated throughout the working hours. The purpose of this study was to improve working conditions and to protect employee health by reducing ergonomically unsuitable working postures. Improvement of working conditions will improve quality performance and productivity. A questionnaire was applied to determine uncomfortable and unsuitable working postures. According to the questionnaire results the body regions affected by working postures were evaluated. The risk of musculoskeletal disorders of mentioned postures was determined using the REBA method. These postures are modeled in the virtual environment using AnyBody Modeling System and both static and dynamic analyzes were carried out to determine the strain on employees. The motion data required for dynamic analysis was obtained using a motion capture system. According to the results of the evaluations made, the conveyor line was redesigned to be more compatible with employees. Computer aided ergonomics analysis were repeated for the new conveyor line manufactured.

KEYWORDS: Conveyor line, working posture, computer aided ergonomics analysis, REBA method

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ	vii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. BİLGİSAYAR DESTEKLİ ERGONOMİ	14
3.1 Ergonomi Kavramı.....	15
3.2 Bilgisayar Destekli Ergonomi Kavramı.....	17
3.3 Bilgisayar Destekli Ergonomi Yazılımları.....	18
4. ERGONOMİK RİSK DEĞERLENDİRME	21
4.1 Kas İskelet Sistemi Rahatsızlıkları.....	21
4.2 Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemleri.....	23
4.2.1 Hızlı Tüm Vücut Değerlendirme (REBA) Yöntemi	25
5. KABLO DEMETLEME KONVEYÖR HATTINDA ERGONOMİK ANALİZLER	30
5.1 Uygulamanın Tanıtımı.....	30
5.1.1 İşletme Hakkında Genel Bilgiler.....	30
5.1.2 Kablo Demetleme Konveyör Hattı.....	31
5.2 Uygulamanın Amacı ve Hedefleri.....	32
5.3 Problemin Çözüm Yöntemi.....	33
5.3.1 Cornell Kas İskelet Rahatsızlık Anketi.....	34
5.3.2 Antropometrik ve Teknik Ölçümler.....	37
5.3.3 Hareket Yakalama.....	38
5.3.4 AnyBody Modelleme Sistemi ile Analiz	39
5.4 Bulgular ve Analiz.....	40
5.4.1 Cornell Kas İskelet Rahatsızlık Anketi Sonuçları.....	40
5.4.2 Antropometrik ve Teknik Ölçüm Sonuçları.....	43
5.4.3 Hızlı Tüm Vücut Değerlendirme (REBA) Sonuçları.....	44
5.4.4 AnyBody Modelleme Sistemi Analiz Sonuçları.....	48
5.4.5 Kablo Demetleme Konveyör Hattının Yeniden Tasarımı.....	56
5.4.6 Yeniden Tasarlanan Kablo Demetleme Konveyör Hattında Yapılan Analizler.....	59
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	63
7. KAYNAKLAR	65
8. EKLER	74

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 5.1: Kablo demetleme konveyör hattı	30
Şekil 5.2: Kablo demetleme konveyör hattındaki işlemler	32
Şekil 5.3: Hat çalışanlarından alınan antropometrik ölçüler	38
Şekil 5.4: Hareket yakalamada T pozü	39
Şekil 5.5: Konveyör montaj pano ölçüleri	43
Şekil 5.6: 1. çalışma duruşu için REBA analizi	44
Şekil 5.7: 2. çalışma duruşu için REBA analizi	45
Şekil 5.8: 3. çalışma duruşu için REBA analizi	45
Şekil 5.9: 4. çalışma duruşu için REBA analizi	46
Şekil 5.10: 5. çalışma duruşu için REBA analizi	46
Şekil 5.11: 6. çalışma duruşu için REBA analizi	47
Şekil 5.12: 7. çalışma duruşu için REBA analizi	47
Şekil 5.13: 8. çalışma duruşu için REBA analizi	48
Şekil 5.14: Nötr duruşta AnyBody insan modeli	49
Şekil 5.15: 1. çalışma duruşunda AnyBody insan modeli	49
Şekil 5.16: 2. çalışma duruşunda AnyBody insan modeli	50
Şekil 5.17: 3. çalışma duruşunda AnyBody insan modeli	50
Şekil 5.18: 4. çalışma duruşunda AnyBody insan modeli	51
Şekil 5.19: 5. çalışma duruşunda AnyBody insan modeli	51
Şekil 5.20: 6. çalışma duruşunda AnyBody insan modeli	52
Şekil 5.21: 7. çalışma duruşunda AnyBody insan modeli	52
Şekil 5.22: 8. çalışma duruşunda AnyBody insan modeli	53
Şekil 5.23: Görüntü işleme sırasında insan modeli	55
Şekil 5.24: Konveyör hattı tasarımı	56
Şekil 5.25: Konveyör hattı perspektif görünüşü	56
Şekil 5.26: Konveyör hattı ön görünüşü	57
Şekil 5.27: Montaj masası tasarımı	58

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1: REBA gövde duruş puanlaması.....	25
Tablo 4.2: REBA boyun duruş puanlaması	25
Tablo 4.3: REBA bacak duruş puanlaması	26
Tablo 4.4: REBA – A tablosu	26
Tablo 4.5: REBA Yük / Kuvvet değerleri.....	26
Tablo 4.6: REBA üst kol duruş puanlaması.....	27
Tablo 4.7: REBA alt kol duruş puanlaması	27
Tablo 4.8: REBA bilek duruş puanlaması	27
Tablo 4.9: REBA - B tablosu	28
Tablo 4.10: REBA Kavrama değerleri.....	28
Tablo 4.11: REBA - C tablosu.....	29
Tablo 4.12: REBA Aktivite değeri	29
Tablo 4.13: REBA risk derecelendirmesi	29
Tablo 5.1: Etkilenme derecesi değerlendirme kriterleri.....	35
Tablo 5.2: Etkilenen kişi yoğunluğu değerlendirme kriterleri.....	36
Tablo 5.3: Risk değerlendirme matrisi.....	37
Tablo 5.4: Anket sonuçlarını gösteren özet tablo	42
Tablo 5.5: Hat çalışanlarının antropometrik ölçüm değerleri (cm)	43
Tablo 5.6: Duruşların ortalama L4-L5 eklem reaksiyon kuvveti değerleri	53
Tablo 5.7: Duruşların ortalama omuz eklem reaksiyon kuvvetleri.....	54
Tablo 5.8: Duruşların ortalama kas aktivitesi ve kas eforu değerleri	55
Tablo 5.9: Konveyör hattının mevcut ve önerilen durumuna ait çalışma duruşları için AMS analiz sonuçları.....	59
Tablo 5.10: Konveyör hattının mevcut ve önerilen durumuna ait çalışma duruşları için REBA analizi sonuçları	61
Tablo A.1: Cornell Kas İskelet Rahatsızlık Anketi (Sayfa 1).....	74
Tablo A.2: Cornell Kas İskelet Rahatsızlık Anketi (Sayfa 2).....	75
Tablo B.1: Anketin 1. bölümüne verilen cevaplar (Ağrının frekansı).....	76
Tablo B.2: Anketin 2. bölümüne verilen cevaplar (Ağrının şiddeti).....	77
Tablo B.3: Anketin 3. bölümüne verilen cevaplar (Ağrının işle ilgisi).....	78

KISALTMA LİSTESİ

- 3DSSPP : The Three Dimensional Static Strength Prediction Program
REBA : Rapid Entire Body Assesment – Hızlı Tüm Vücut Değerlendirme
RULA : Rapid Upper Limb Assessment – Hızlı Üst Uzuv Değerlendirme
EMG : Elektromiyografi
KİSR : Kas İskelet Sistemi Rahatsızlıkları
AMS : AnyBody Modelleme Sistemi
PLC : Programlanabilir Mantıksal Denetleyici

ÖNSÖZ

Ergonomi konusunda beni yönlendiren, tez çalışmamın her aşamasında desteğini ve ilgisini esirgemeyen çok değerli danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Demet GÖNEN'e, başta ergonomi olmak üzere tüm konularda ufkumu açan değerli hocam Sayın Doç. Dr. Ali ORAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmama değerli katkılarından dolayı Sayın Yrd. Doç. Dr. Aslan Deniz KARAOĞLAN'a ve Sayın Yrd. Doç. Dr. M.A.Beyazıt OCAKTAN'a teşekkür ederim.

Çalışmamdaki hesaplamalarda yardımcı olan arkadaşım Arş. Gör. Muhammet ÖZSOY'a teşekkür ederim.

Bugüne kadar bana her konuda destek olan ve güvenen, her zaman sevgileriyle yanımda hissettiğim aileme sonsuz teşekkürlerimle...

Balıkesir, 2016

Hilal ATICI

1. GİRİŞ

Üretim ve hizmet sistemlerinin en temel amacı verimli ve ekonomik olmaktır. Üretim miktarını ve kaliteyi arttırmak, bunun yanı sıra maliyetleri düşürmek bu sistemlerin başarısı için oldukça önemlidir. Günümüz teknolojisiyle artan makine ve otomasyon sistemleri kullanımı her ne kadar insan gücüne olan ihtiyacı azaltmış olsa da, bazı işlerde halen insan emeği kullanılmaktadır. İnsan emeğinin kullanıldığı bütün sistemler verimliliği veya kaliteyi arttırmak, maliyetleri azaltmak gibi amaçlarla ele alınırken insanın bir makine değil, biyolojik bir varlık olduğu unutulmamalıdır.

Son zamanlarda yapılan çalışmalarda iş ile insan sağlığı ilişkisi giderek daha fazla ele alınmaktadır. Üzerinde durulan başlıca konular insanın yaptığı iş sebebiyle maruz kaldığı çalışma ortamı koşulları, işin kişinin yetenek ve eğitimine uygunluğu, çalışma duruşları ve genel olarak meslek hastalıkları ve iş kazalarıdır. Bu konularla ilgili araştırmalarda ergonomi biliminden yararlanır. Ergonomi insanın yaptığı işi, iş ortamını, çevre koşullarını ve bunların insan üzerindeki etkilerini incelerken sağlık bilimleri, mühendislik bilimleri, temel fen bilimleri ve sosyal bilimlerden faydalanan çok yönlü bir bilim dalıdır.

Gelişen teknolojiyle birlikte ergonomi çalışmalarında bilgisayar destekli sistemler kullanılmaya başlanmıştır. İnsan vücudunun ne kadar karmaşık bir yapı olduğu düşünüldüğünde, bu yapının modellenmesi ve ergonomik açıdan analiz edilebilmesi için bilgi teknolojileri kullanımının artması kaçınılmazdır. Bilgisayar destekli ergonomi; çalışanın, yapılan işin ve iş çevresinin incelenmesinde bilgisayarları kullanan bir çalışma alanıdır.

Üretim sistemlerinde insan emeğinin en fazla kullanıldığı aşamalardan biri montaj işlemleridir. Özellikle montaj hatlarında çalışan kişilerin uzun süre ergonomik açıdan uygun olmayan çalışma duruşlarında çalışması gerektiğinde çalışanların sağlığı ve performansı kötü etkilenmektedir. Bu açıdan montaj hatlarının ergonomik koşullar dikkate alınarak tasarlanması önemlidir.

Bu çalışmada, bir montaj hattındaki çalışma duruşlarının ergonomik açıdan incelenmesi, duruşların farklı yöntemlerle ve bilgisayar destekli olarak analiz edilmesi hedeflenmiştir. Çalışmanın amacı montaj hattında çalışanların uygun olmayan çalışma duruşlarını azaltarak çalışma koşullarını iyileştirmektir.

Çalışmanın ikinci bölümünde ergonomik müdahale çalışmaları, bilgisayar destekli ergonomi ve AnyBody Modelleme Sistemi ile ilgili gerçekleştirilen literatür araştırmasına yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde ergonomi biliminin tanımı, oluşumu, tarihçesi, insan ve çalışma hayatı açısından öneminden ve bilgisayar destekli ergonomi kavramı, sanal insan modelleme teknolojisi ve çeşitli ergonomi yazılımlarının kullanımından bahsedilmiştir.

Dördüncü bölümde çalışanlarda görülen kas iskelet sistemi rahatsızlıkları ve ergonomik risk değerlendirme yöntemlerinden bahsedilmiş, beşinci bölümde montaj hattı kavramı, montaj hattı çalışanlarında görülebilen kas iskelet sistemi rahatsızlıkları ve ergonomik açıdan montaj hattı tasarımı ele alınmıştır.

Altıncı bölümde bir işletmenin kablo demetleme konveyör hattında gerçekleştirilen uygulama detaylarıyla anlatılmış, kullanılan yöntemler ve elde edilen bulgular açıklanmıştır. Çalışanlar açısından uygun olmayan çalışma duruşlarının belirlenmesi için anket yöntemi kullanılmış, duruşlara göre rahatsızlık duyulan vücut kısımları değerlendirilmiştir. Belirlenen duruşların risk değerlendirmesi REBA yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bu duruşlar üzerinde AnyBody Modelleme Sistemi kullanılarak analizler gerçekleştirilmiş, belirlenen vücut kısımlarında kas aktiviteleri ve eklem reaksiyon kuvvetleri değerlendirilmiştir. Bu yöntemlerden elde edilen sonuçlara göre, uygulamanın son aşamasında kablo demetleme konveyör hattı yeniden tasarlanmıştır. Yeni tasarımla çalışanların antropometrik özelliklerine ve montaj panosu üzerinde çalıştıkları kısımlara göre hareket edebilecek olan konveyör hattı, REBA yöntemi ile ve bilgisayar destekli olarak yeniden analiz edilmiştir. Sonuçta yeni hattaki çalışma duruşlarının çalışan sağlığı için daha az riskli olacağı görülmüştür.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

İşyerlerinde mesleğe bağlı kas iskelet sistemi rahatsızlıklarına sebep olan riskleri tanımlamak, çalışanların risklere maruziyetini belirlemek ve bu maruziyetin azaltılması yoluyla kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının oluşmasını engellemek için birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar süreçlerde ve çalışma ortamında değişiklik yaparak işin daha ergonomik hale getirilmesini amaçlayan ergonomik veya katılımcı ergonomik müdahaleleri ve yeni ergonomik tasarımları içermektedir.

Karsh (2006) mesleğe bağlı kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının nasıl tanımlanacağına dair mevcut teori ve modellerden dokuzunu tanımlamış ve karşılaştırmıştır. Ergonomik müdahale araştırması için birleştirdiği bu modellere dayanarak birçok öneri, çözüm ve analizden bahsetmiştir.

Mirka vd. (2011) çalışmalarında kas iskelet sistemi rahatsızlıklarına sebep olan risk faktörlerine maruziyeti azaltmak için iki basit ergonomik müdahale tasarlamış, geliştirmiş ve test etmişlerdir. Kas kuvvetleri ve vücut duruşlarındaki değişiklikleri ölçmek için EMG ve hareket analizi sistemleri kullanılan bu müdahaleler sonucunda gövde eğilme açısı ve kas aktivitesinde önemli azalmalar olmuştur. Benzer olarak, Ramsey vd. (2014) paletleme işlerinde iki ergonomik müdahalenin etkinliğini değerlendirmişlerdir. Müdahalelerden ilki yüksekliği kendiliğinden ayarlanan palet döndürücü, diğeri ise omurga yüklerini azaltmak üzere tasarlanan ayarlanabilir arabadır. Müdahaleden önceki ve sonraki durumlarda omurga yükleri ölçülmüş, sonuçlar iki aracın da omurga basıncı ve omurlar arası kuvvetlerde azalma sağladığını göstermiştir.

Bernardes vd. (2012) çalışmalarında bir sevkiyat biriminde bel ağrılarını azaltmayı amaçlayan müdahaleden bahsetmişlerdir. Tasarım ekibine ve yapılan ergonomik analizlerin bulgularına göre, montaj hattının yerleşimini şirketin kendi çalışanları yeniden tasarlamışlardır. Bu değişikliklerin bir sonucu olarak, bel ağrısı için risk oluşturan işler tamamen kaldırılmış, çalışanlar işleri üzerinde daha fazla kontrole sahip hale gelmiştir. Çalışmanın sonucunda katılımcı ergonomik müdahalenin, bel ağrısı için fiziksel ve psikososyal risk faktörlerine maruziyeti azaltmada etkili bir strateji olduğu belirtilmiştir.

Endüstride özellikle emek yoğun işlemlerin yoğunlukla gerçekleştirildiği montaj hatlarında biyomekanik yüklenme ve zorlanmaların olduğu durumlarda, çalışma duruşlarının iyileştirilmesi amacıyla ergonomik açıdan bazı değişiklikler ya da hattın yeniden tasarımı gerçekleştirilir. Montaj sürecinin iyileştirilmesinde bilgisayar destekli analizler, sanal insan modelleri, sanal ortam ve simülasyonların kullanılması faydalı olmaktadır.

Chryssolouris vd. (2000) çalışmalarında montaj süreci ile ilgili performans faktörlerinin doğrulanması için sanal gerçeklik tabanlı yöntemlerin kullanımını incelemişlerdir. Gerçek endüstriyel durumlara uygun bir sanal montaj iş hücresi oluşturulmuştur.

Ma vd. (2010) üretimde özellikle montaj ve bakım işlerinde otomatik teknikler kullanılmasına rağmen hala çok fazla elle taşıma işlemlerinin bulunduğunu ve bu işlerde aşırı yüklenme ve fiziksel yorgunluktan dolayı kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının en önemli sağlık problemlerinden biri olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada elle taşıma işlemlerinde eklem yorulma seviyelerini değerlendirmek için yeni bir kas yorgunluğu ve iyileşme modeli kullanılmış, bir uygulama örneğindeki fiziksel yorgunluk tanımlanmış ve sanal insan simulasyon teknikleri kullanılarak analiz edilmiştir. Regazzoni ve Rizzi (2014) de montaj ve bakım işlemlerini simüle etmek için sanal insan modellerini kullanmışlardır. Görünürlüğü, ulaşılabilirliği, duruşları, stresi ve yorgunluğu değerlendirmeye izin veren insan modeliyle sanal ergonomik analizler gerçekleştirmişlerdir. İnsan vücudu hareketlerinin elde edilmesi için bir hareket yakalama yöntemi geliştirmişler, insan hareketlerinin tekrar üretilmesi için ise hareket yakalamadan elde edilen veriyi simülasyon ortamına aktarmışlardır.

Battini vd. (2011) montaj sistemi tasarım teknolojileri ile ergonomi arasındaki ilişkiyi inceledikleri çalışmalarında, işyerinde ergonomi optimizasyonu ile bağlantılı olarak montaj sistemleri tasarımı için yeni bir teorik yapı geliştirmişlerdir. Yöntemin uygulanabilirliğini desteklemek için iki gerçek endüstriyel olaydan alınan veri ve görüşler raporlanmıştır.

Otomotiv sektöründe de montaj süreçlerinde kas iskelet sistemi rahatsızlıklarını azaltmak amacıyla yapılan birçok çalışma mevcuttur. Bu amaçla yeni tasarımlardan bahsedilen çalışmalarda (Ulin ve Keyserling, 2004; Sundin vd.,

2004), tasarımın kullanılmasından önce ve sonra çalışanların maruziyetini değerlendirmek için sanal insan modelleme, biyomekanik analiz, duruş analizi ve çalışan görüşmeleri gibi birçok analiz yöntemi kullanılmış, sonuçta gerçekleştirilen uygulamaların kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının önlenmesine yardımcı olduğu görülmüştür.

Chang ve Wang (2007) çalışmalarında mesleğe bağlı kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının önlenmesi için çalışma ortamı değerlendirmelerinin sanal ortama aktarıldığı bir yöntem önermişlerdir. Biyomekanik analiz ve duruş analizini içeren ergonomik değerlendirme için çalışma ortamındaki hareket verisi kaydedilmiş, biyomekanik model oluşturulmuş ve duruş analizi için sanal insan modelinde RULA uygulanmıştır. Yöntem otomobil montaj işlerinin değerlendirilmesi için uygulanmış ve bazı ergonomik iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir.

Otomobil montajında kas iskelet sistemi rahatsızlığı risk maruziyetini değerlendiren Ferguson vd. (2009) bu maruziyetin montaj esnasında araç gövdesinin dönme açısına göre nasıl değiştiğini ölçmüşlerdir. Kas iskelet sistemi rahatsızlığı riski omurga yükleri, omurga, omuz, boyun ve bilek duruşu ile ilişkilendirilmiştir. Bu çalışmanın devamında, otomobil üzerinde montaj sırasındaki çalışma alanlarını temsil eden yedi bölge ayrılmış ve her bölge için üç ayrı dönme açısı incelenmiş, her bölge için kas iskelet sistemi rahatsızlığı risk maruziyetinin azaldığı gözlemlenmiştir (Ferguson vd., 2011).

Spada vd. (2012) çalışmalarında otomobil montaj fabrikalarında iş hücrelerinin ergonomik optimizasyonunu sağlamak üzere montaj işlerinin simülasyonunun geliştirilmesi için sanal gerçeklik araçlarının ve sanal insan modelleme yöntemlerinin bir uygulamasını göstermişlerdir.

Literatürde kablo montaj hatları ile ilgili yapılan fazla çalışma bulunmamaktadır. Delfs vd. (2014) insanların esnek nesnelere etkileşimini ele aldıkları çalışmalarında, ergonomik olarak uygun insan hareketlerinin oluşumu ile esnek nesnelere detaylı fiziksel simülasyonunu birleştirerek kabloların ve hortumların yer aldığı emek yoğun montaj işlemlerinin ergonomik olarak değerlendirilebileceği bir yöntemden bahsetmişlerdir. Bu yöntemi otomotiv endüstrisinden alınan kablo demeti montajı ve hortum montajı operasyonları üzerinde göstermiş ve uygulamışlardır. Çalışmadaki esnek nesnelere olan kablolar ve

hortumlarla ilgili analizler IPS Kablo Simülasyonu modülü ile yapılmış, insan modelinin oluşturulması ve kinematik analizler de Jack yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

Bilgisayar destekli ergonomik analiz, tasarım ve müdahale çalışmalarında sanal insan modelleme, biyomekanik analizler ve simülasyonların gerçekleştirilebildiği çeşitli yazılımlar kullanılmaktadır. Bunlar arasında AnyBody, ERGONOM, 3DSSPP, Siemens Jack, SAFEWORK, RAMSIS, SammieCAD gibi yazılımlar bulunmaktadır. Sanal ortamı oluşturmak için de MATLAB, VADE, LifeMod, DELMIA gibi programlar kullanılmaktadır.

Chaffin (2007) çalışmasında Jack, SAFEWORK, RAMSIS, SammieCAD ve 3DSSPP gibi sanal insan modelleme yazılımlarının, bir ürün geliştirme sürecinin ilk aşamalarında araç içlerinin veya üretim ortamlarının fiziksel tasarımını geliştirmek için tasarımcıya yardımcı olduğunu belirtmiştir. Bu amaçla daha etkin olmaları için, gelecekteki sanal insan modellerinin çeşitli popülasyonlar için geçerli duruş ve hareket tahmini modellerini içermesi gerektiğinden bahsedilen çalışmada; mevcut sanal insan modellerinde kullanılan duruş ve hareket tahmini modellerinin karmaşık görev simülasyonları için geçerliliğini sağlamak amacıyla gerçek hareket verisine dayalı olmaları gerektiği tartışılmıştır. Daha sonra eğer geçerli insan duruş ve hareket tahmini modelleri geliştirilirse, bunların dinamik insan performansının ve popülasyona özgü kısıtların tahmini için daha güçlü bir araç olmasını sağlamak amacıyla psiko-fiziksel ve biyomekanik modellerle birlikte kullanılabileceği belirtilmiştir.

İlk bilgisayar destekli ergonomi yazılımlarından olan ERGONOM; rahat çalışma için duruşsal bölge sınırlarını tanımlamakta, ilk tasarım aşamalarında makinelerin veya diğer teknik nesnelerin ergonomik olarak tanımını yapmakta ve operatörün duruşsal aktivite verisinin analizine dayanan ergonomik test için çalışma duruşunu değerlendirmektedir (Swat ve Krzychowicz, 1996).

1996 yılında Siemens PLM yazılımları tarafından alınan ve kapsamlı ergonomik analiz araçlarına sahip olan Jack, ergonomi çalışmalarında en fazla kullanılan yazılımlardan biridir. Farklı yaklaşımlar ile birlikte Jack gibi yazılımlar, sanal ortam ve ergonomik analiz araçlarının birlikte kullanılması için (Jayaram vd., 2006) ve ürün veya süreç tasarımının üretim aşamasından önce ergonomik olarak

analiz edilebilmesi için (Duffy, 2007) kullanılmaktadır. Jack yazılımının sanal insan modelinin kullanıldığı örneklerde sonuçlar; görüş açısı, duruşu tanımlayan açılar ve çalışmadaki rahatlığın analiz edilmesine imkan veren eklem açıları şeklindedir (Colombo ve Cugini, 2005).

Jack yazılımı hareket yakalama sistemleri ile birlikte de kullanılmaktadır. Wu vd. (2012) çalışmalarında insan-makine etkileşiminin sanal insan modeli tabanlı ergonomi analizleri için iş simülasyonunu gerçekleştirmek üzere bir hareket yakalama sistemi ve sanal ortam kullanan Sanal İnteraktif Tasarım (VID) metodolojisini önermişlerdir. Hareket yakalama sistemiyle elde edilen hareket verileri sanal insan modeli oluşturmak, ergonomik değerlendirmeleri gerçekleştirmek ve sanal ortamı yaratmak için kullanılan Jack yazılımına aktarılmıştır. Joung ve Do Noh (2014) çalışmalarında otomatik olarak sanal bir ortam yaratmak için ürün, süreç, tesis ve kaynak yönetimini ve sanal insan modellerinin otomatik olarak oluşturulması için hat içi hareket yakalama teknolojisinin uygulanmasını öneren bir yapı geliştirmişlerdir. Ergonomik simülasyon geliştirilirken Jack, programlama dili olarak Python ve hareket yakalama sistemi olarak Kinect ile birlikte kullanılmıştır. Hareket yakalama sistemi olarak Kinect kullanan Reed vd. (2014), bir insanın vücut şekline ve boyutlarına uyan bir figürü hızlı bir şekilde üretebilen bir yöntem ile istatistiksel bir vücut şekli modeli (SBSM) oluşturmuşlardır. Modelin çıktısını Jack yazılımına aynı katılımcının vücut şekli modeli olarak girerek, sonuçta vücut şekli ve boyutları taranan kişiyle çok yakından uyum sağlayan bir figür modeli elde etmişlerdir.

3DSSPP de sıklıkla kullanılan biyomekanik analiz yazılımlarından biridir. Feyen vd. (2000) çalışmalarında 3DSSPP ile bir bilgisayar destekli tasarım yazılımı olan AutoCAD'in birlikte kullanımını tanımlamış ve sonuçları aynı işi yapan çalışanlara yapılan gözlemler ile karşılaştırmıştır. Sonuçta önerilen iş yeri tasarımının değerlendirilmesinde 3DSSPP/AutoCAD gibi bir yazılım ara yüzünün proaktif kullanımının geçerli bir araç olabileceği belirtilmiştir. Dickerson vd. (2007) ise çalışmalarında omuz için bir biyomekanik modeli MATLAB yazılım paketinde geliştirmiş, modelin çalıştırılması için bir yük tutma işinin simülasyonunu yapmış, geometrik duruş verisini 3DSSPP programı ile elde etmişlerdir.

Lu vd. (2015) çalışmalarında ergonomik değerlendirmeleri hızlandırmak için bir video kaydından vücut duruş açılarını ve omurga yüklerini tahmin eden bir insan

duruşu simülasyon yöntemi geliştirmişlerdir. Yöntemde kişilerin kendisinin ve diğer kişilerin kaldırma duruşlarını bilgisayarda oluşturulan insan modeli yoluyla simüle etmeleri değerlendirilirken, L4/L5 omurları arasındaki toplam moment ve baskı kuvveti 3DSSPP kullanılarak hesaplanmıştır.

Bir bilgisayar destekli ergonomi yazılımı olarak AnyBody Modelleme Sistemi de kas iskelet sistemi simülasyonları için kullanılmaktadır. İnsan vücudunun istenilen büyüklükteki alt sistemlerini veya tüm insan vücudunu modellemek için kullanılabilen AnyBody’de modeller; kas kuvvetlerinin, eklem reaksiyonlarının, mekanik işin ve verimliliğin; kullanıcı tarafından belirtilen ölçüler ve tanımlanan hareketler için hesaplanmasını sağlamaktadır.

AnyBody Modelleme Sistemi günlük yaşamdaki duruş ve hareketlerin çoğunda, vücudun tüm bölgelerindeki kas iskelet sistemi analizleri için kullanılmaktadır. Alt ekstremite ele alındığında AnyBody ile ayak, bacak, diz ve kalça bölgelerinin biyomekanik modelini oluşturmak ve yürüyüş, oturma, kalkma gibi hareketlerde bu bölgelerdeki kuvvetleri hesaplamak amacıyla çalışmalar yapılmaktadır. Carbes vd. (2010) ayaktaki tüm kemiklerin dâhil edildiği yeni ve detaylı bir ayak modeli oluşturmuşlardır. Saraswat (2010) çalışmasında tüm vücut analizleri için kullanılan kas iskelet modellerinin ayağı tek bir parça olarak ele alıp genelde esas eklemlerin hareketini göz ardı etmesi sebebiyle, çok bölümlü bir ayak modeli geliştirmiştir. Nolte vd. (2013) de AnyBody Modelleme Sistemi’nde kemik ve kasların yanında yumuşak dokuları da içeren ve tüm bileşenlerin kas kuvvetlerini ve aralarındaki reaksiyon kuvvetlerini hesaplayabilen bir diz kas iskelet modeli geliştirmişlerdir.

AnyBody’de alt ekstremite üzerine yapılan çalışmaların çoğunda yürüyüş hareketi analiz edilmiştir. Andersen vd. (2010) diz eklem modellerini doğruladıkları çalışmalarında, dizin küresel veya dönel eklem gibi modellenmesinin yürüyüş sırasındaki etkisini değerlendirmişlerdir. Riberio vd. (2011) çalışmalarında insan diz eklemine önemli özelliklerinden bazılarını yansıtabilen bir diz modeli geliştirmişlerdir. Fleksiyon ve ekstansiyon hareketleri şeklindeki kinematik veri, insan yürüyüşünün duruş aşamasının modeli üzerine uygulanmıştır.

Sandholm vd. (2011) çalışmalarında hem denklemler hem de geometriye dayalı yeni bir diz ekleminden bahsetmiş ve bu eklemi bilinen bir klinik düzlemsel

diz eklemi ile karşılaştırmışlardır. İki kinematik model yürüyüş hareketi kullanılarak analiz edilmiş, kas aktivasyonu ve eklem reaksiyon kuvvetleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda yan, ön ve boyuna momentlerin tahmin edilebilmesiyle diz ve kalça eklemi reaksiyon kuvvetlerinin de daha iyi tahmin edilebileceği gösterilmiştir.

Cao vd. (2011) AnyBody Modelleme Sistemi'nde bacak ve çok bölümlü ayaktan oluşan bir kas iskelet modeli oluşturmuş ve normal yürüyüş sırasında giyilebilir sensör sistemiyle bir deney uygulamışlardır. Ters dinamik analizi ile bilek eklemi kaslarının gerilme kuvvetlerini hesaplamışlardır.

Oosterwaal vd. (2011) katılımcıların bir ayak fonksiyonu değerlendirmesinden geçtiği ve ayak bölgesinin çeşitli durumlardaki kinetik kas aktivitesi ve taban basıncı ölçümlerini içeren detaylı bir yürüyüş analizi gerçekleştirmişlerdir.

Seo vd. (2014) alt ekstremitedeki kemiklerin biyomekanik analizi için sonlu eleman analizini uygulamışlardır. Sonlu eleman analizinde ihtiyaç duyulan girdilerin doğruluğunu geliştirdikleri çalışmalarında, bir kas kuvveti veya eklem reaksiyon kuvvetinin gerçek değerlere yakın olduğundan emin olmak için gerçek yürüyüş deneylerine dayanan bir kas iskelet sistemi modeli kullanılmıştır. Yürüyüş aşamaları arasında yükten en çok etkilenilen ayakta durma aşamasında veriler toplanmış ve bu veriler sonlu eleman modeline girdi olarak kullanılmıştır.

Yürüyüş analizi yapılan diğer çalışmalarda AnyBody modeli ile kinematik veriler, reaksiyon kuvvetleri, kas kuvvetleri ve kas iskelet sistemi üzerine binen yükler hesaplanmıştır (Wyss ve Brunner, 2012; Alexander ve Schwameder, 2014; Coombs vd., 2014).

AnyBody Modelleme Sistemi kollar, omuz, bel, sırt ve boyun gibi üst ekstremitte bölgelerindeki kas iskelet sistemi analizleri için de sıklıkla kullanılmaktadır. Rasmussen vd. (2011) çalışmalarında detaylı bir kas iskelet modeli kullanarak vinç kullanan bir çalışanın üst gövdesinin hareketini tahmin etmek için ters-ters dinamik tekniğini uygulamışlardır. İnsan modeli Anybody Modelleme Sistemi'nde geliştirilmiş, omurga fleksiyon veya ekstansiyonu, yanal fleksiyon, sağ ön kolun pronasyon veya supinasyonu gibi toplamda 18 değişken parametre ile ifade

edilmiştir. Ahmed ve Babski-Reeves (2012) acemi ve tecrübeli çalışanlar arasındaki üst ekstremitedeki çalışma duruşu farklılıklarını, özellikle üst gövdenin yoğun olarak kullanıldığı iki işin gerçekleştirilmesi esnasında ölçmüşlerdir. İş yapılırken üst ekstremitede duruşlarını takip etmek üzere bir hareket yakalama sistemi; bilek, dirsek ve omuz için yedi farklı eklem duruşunu elde etmek için ise AnyBody’de geliştirilen bir biyomekanik model kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda uzmanların doğal olmayan çalışma duruşlarına bağlı riskleri azaltmaya yönelik olarak daha nötral pozisyonlarda çalıştığı belirlenmiştir.

Hopkins vd. (2011) çalışmalarında bir ters dinamik modelini kullanarak omuzdaki eklem reaksiyon kuvvetlerinin analizinin yapılmasını sağlayacak hareket yakalama verisini üst ekstremitede için kullanmıştır. Pontonnier vd. (2013) çalışmalarında elle yapılan bir iş sırasında kas aktivasyon değişikliklerini hareket yönü ve tezgah yüksekliğinin bir fonksiyonu olarak tahmin etmek için kullanılan bir kas iskelet modelinin kapasitesini değerlendirmişlerdir. Cutlip vd. (2015) de biyomekanik bir omuz modeli kullanarak omuzdaki basınç mekanizmasını incelemişlerdir. Omuzda oluşan kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının çoğu genellikle glenohumeral eklem ile ilgili olduğundan, bu eklem zorlayıcı kol işleri esnasındaki mekanik yüklenmesini analiz etmişlerdir.

Nimbarte vd. (2013) çalışmalarında boyun rahatsızlıkları için fiziksel risk faktörlerine maruz kalma durumunu değerlendirmişlerdir. Boyun omurgası yüklerini tahmin etmek amacıyla duruş verilerini biyomekanik modele girdi olarak kullanmış, sonuçta doğal olmayan baş ve boyun duruşlarının boyun rahatsızlıkları için önemli biyomekanik risk faktörleri olabileceğini belirtmişlerdir.

Rasmussen ve de Zee (2010) çalışmalarında bir ofis çalışma alanının modelinden elde edilen sonuçları ortaya koyarak klavye ve fare kullanımında bilekteki kas yüklerinin nasıl analiz edilebileceğini ve yapılan iki müdahalenin etkisinin model kullanılarak nasıl değerlendirilebileceğini göstermişlerdir. Her iki müdahalenin de kas yüklerini azalttığı AnyBody modeli üzerinde görülmüştür. Andersen vd. (2011) kuvvete bağlı kinematik adı verilen yeni bir yöntem geliştirmiş ve bu yöntemi dirsek eklemine kolun iki boyutlu bir modelinde modellemek için basit bir test problemine uygulamıştır. Bu yöntem daha önceden belirlenmemiş hareketlerin yanı sıra kullanıcı tarafından belirlenen yönlerde, kas ve reaksiyon

kuvvetlerini de hesaplamak için kullanılabilir. Graichen vd. (2014) de elle montaj işlerini ele aldıkları çalışmalarında seçilmiş bazı montaj işlerinin hareket yakalama verilerini ve biyomekanik vücut modelini kullanarak üst ekstremité için gerilme eğrilerini oluşturmuşlardır. Fizyolojik gerilmenin bu tanımı, kavrama alanındaki hareketlerin ve tutma pozisyonlarının vücut bölümüne bağılı olarak değerlendirilmesine imkân vermiştir. Gönen vd. (2012) çalışmalarında, tarım aletleri üreten bir işletmenin ürünleri içerisinde yer alan ot toplama tırnığının montaj sürecindeki uygun olmayan çalışma duruşlarının iyileştirilmesi için AnyBody ile analizler yapmışlardır. Analiz sonuçlarına göre montaj ünitesinin tasarımında değişiklikler gerçekleştirilmiş ve montaj ünitesinin daha ergonomik hale getirilmesi sağlanmıştır.

Kas iskelet sistemi rahatsızlıklarına sebep olan en önemli sorunlardan biri olan bel ve omurga zorlanmaları hakkında da AnyBody ile yapılmış birçok çalışma mevcuttur. De Zee vd. (2007) AnyBody Modelleme Sistemi'nde birçok alanda kullanılabilir 154 kas, 18 serbestlik derecesi ve 7 rijit bölümü olan bir bel omurgası kas iskelet sistemi modeli oluşturmuşlardır. Galibarov vd. (2011) tüm vücut düzeyinde bir omurga modeli geliştirmiş ve modeli omur gövdeleri ve omurlar arası diskler ölçeğinde doğrulamışlardır. Han vd. (2012) ise omurga yüklenmelerinde yumuşak doku yapılarının nasıl bir rol oynadığını görmek için, mevcut bir omurga modeline kısa segmental kasları, bel bağları ve disk rijitliklerini eklemişlerdir.

Omurlar arası basma ve kesme kuvvetlerinin tahmini ile ilgili yapılan bir araştırmada, bazı hareketlerdeki L4-L5 ve L5-S1 basma ve kesme yüklerini gerçek ölçümlere en yakın tahmin eden yöntemlerin regresyon modelleri ve AnyBody yazılımı olduğu belirlenmiştir (Rajae vd., 2014).

Bölümün başında bahsedilen bilgisayar destekli ergonomi yazılımlarından bazıları, daha etkin sonuçlar almak veya karşılaştırma yapmak amacıyla AnyBody Modelleme Sistemi ile birlikte kullanılmaktadır. Paul ve Lee (2011) çalışmalarında fizyolojik tasarımı desteklemesi amacıyla Jack yazılımı ile AnyBody arasında bir ara yüz geliştirmişlerdir. Bu ara yüz iki insan modeli arasında direkt veri aktarımını sağlamaktadır. Bir diğér çalışmada ise dijital insan modelleri ile detaylı kas iskelet modellerinin en iyi özelliklerini birleştirmek amacıyla SolidWorks'te geliştirilen

geçici bir insan modeli ile AnyBody'deki bir kas iskelet modeli arasında bir ara yüz geliştirilmiştir (Jung vd., 2013).

Cadova (2013) çalışmasında OpenSim ve AnyBody yazılımlarının bir hareketin analizi ve bu harekette kullanılan kas ve eklem kuvvetlerinin tahmini için uygunluğunu incelemiştir. Özellikle model yaratma ve sonuçları elde etme aşamalarını ele alarak karşılaştırma yapmış, iki yazılımın da çıktısı olarak kas ve eklem kuvvetlerini verdiği fakat hesaplama sürecinde farklılıklar olduğu sonucuna varmıştır. OpenSim önce ters dinamik (eklem kuvvetlerinin hesaplanması) ardından statik optimizasyon (kas kuvvetlerinin hesaplanması) analizlerini gerçekleştirirken; AnyBody ters dinamik ve optimizasyonu birlikte (kas ve eklem kuvvetlerinin aynı anda hesaplanması) kullanmaktadır.

Montaj hatlarındaki ergonomik çalışmalarda amaç; montaj işlerinde yorgunluğun azaltılması ve montaj sistemi tasarımlarının işe ve çalışana uygun hale getirilmesidir. Montaj hatlarında gerçek durumlara uygunluğu sağlamak için bilgisayar destekli teknolojilerin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Otomotiv sektöründe montaj işlemlerindeki ergonomik çalışmalar da kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının önlenmesi ve ergonomik optimizasyonun sağlanması başta olmak üzere benzer amaçlara sahiptir. Bu çalışmanın amacı kablo demetleme konveyör hattının çalışanlara uygun hale getirilmesi, böylece uygun olmayan çalışma duruşlarının azaltılarak çalışma koşullarının iyileştirilmesidir.

Ergonomik müdahale ve yeni ergonomik tasarımların söz konusu olduğu çalışmalarda genel olarak amaç; kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının belirlenmesi, bu rahatsızlıklara sebep olan risk faktörlerine maruziyetin azaltılması ve müdahaleden sonraki durumda çalışanlar için daha uygun çalışma ortamlarının elde edilmesidir. Özellikle çalışanların fikirlerinin göz önüne alındığı katılımcı müdahale çalışmalarında, müdahale sonrası durumlarda amaca uygun ve etkili sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Bu çalışmadaki yeni montaj hattı tasarımı için anket yöntemi ile çalışanlardan yaşadıkları rahatsızlıklar ile ilgili kendi görüşlerinin alınması ve tasarımda bu görüşlere yer verilmesi, tasarımın uygunluğu açısından önemli olmuştur.

AnyBody Modelleme Sistemi'nin çeşitli vücut bölümlerinin modellenmesi ve bu bölümlerdeki kuvvetler, kas aktiviteleri ve yorulmaların hesaplanması için

kullanıldığı birçok çalışmada etkin sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmada montaj hatlarında sanal insan modelleme teknolojisinin ve AnyBody Modelleme Sistemi'nin kullanımının etkinliği değerlendirilmiş olacaktır. Ayrıca kablo demetleme konveyör hatlarında gerçekleştirilen az sayıda çalışmaya katkı sağlanacaktır.

3. BİLGİSAYAR DESTEKLİ ERGONOMİ

İnsan, kendi fiziksel iş yapabilme kapasitesi sınırları içindeki her türlü işi çeşitli araçları veya yöntemleri kullanarak gerçekleştirir. İnsanın çalışma süresi boyunca fiziksel kapasitesinin üzerinde çalışması yorgunluğa ve hatalara sebep olduğundan verimlilik ve çalışan sağlığı üzerinde olumsuz bir etki oluşturmaktadır. İnsanın çalışırken kullandığı el aletleri, iş makineleri gibi araçlar insanın kullanımına uygun bir şekilde tasarlanmalıdır. İş yapılırken kullanılan araçlar insanın ihtiyaç ve yeteneklerine uygun olarak tasarlanmazsa yine verimlilik ve sağlık konusunda sorunlar ortaya çıkabilir. Ayrıca insanın çalıştığı ortamın yapılan işe uygun olması ve çalışan sağlığını tehdit eden unsurlar barındırmaması gerekmektedir. İnsanın çalışma hayatıyla ilgili bu tip sorunlarını inceleyen bilim dalları olarak karşımıza işbilim ve ergonomi çıkmaktadır. Genellikle aynı anlamda kullanılmalarına rağmen işbilim, insan makine sistemlerini inceleyen ve çalışan insanla ilgilenen tüm bilimleri içeren bir bilim dalıdır. Dolayısıyla işbilim ergonomiyi de kapsayan bir bilim dalı olarak kabul edilebilir.

Son zamanlarda teknolojinin etkisiyle tüm bilim dalları gibi ergonomi de gelişme göstermiştir. Her alanda kullanımı artan bilgisayar teknolojileri, ergonomi ile iş sağlığı ve güvenliği alanlarında da gün geçtikçe artan sıklıkta kullanılmaktadır. İnsan vücudunun ve hareketlerinin gerçeğe uygun olarak modellenmesi ve ergonomik anlamda analiz edilebilmesi amacıyla bilgisayar ortamına aktarılması için geliştirilen yazılım ve donanım araçları kullanılarak bilgisayar destekli ergonomi çalışmaları yapılmaktadır. Sanal insan modelleri ve sanal ortamlar bu yazılımlarda kullanılan temel özelliklerdir.

Çalışmanın bu bölümünde ergonomi bilimi kavramsal ve tarihsel açıdan incelenmiş, ergonominin insan ve çalışma hayatı açısından önemi açıklanmıştır. Bunun yanında bilgisayar destekli ergonomi kavramı ve sanal insan modelleme teknolojilerinden bahsedilmiş, ergonomi konusunda kullanılan çeşitli yazılımlardan bazıları hakkında bilgiler verilmiştir.

3.1 Ergonomi Kavramı

Ergonomi; bir çalışma sırasında insanın, makinenin ve çalışma ortamının özelliklerini ve bunların birbirleriyle olan ilişkilerini inceler. Kelime olarak eski Yunanca'da iş anlamına gelen "ergo" ve kanun, kural anlamına gelen "numos" kelimelerinin birleşmesiyle türemiştir.

Ergonomi; insanların anatomik ve antropometrik özelliklerini, fizyolojik kapasitesini göz önünde tutarak, çalışma ortamındaki faktörlerin etkisi ile oluşabilecek organik ve psikososyal stresler karşısında, verimlilik ve insan-makine-çevre uyumunun temellerini ortaya koymaya çalışan, çok disiplinli bir çalışma alanıdır (Erkan, 2003).

Başka bir tanıma göre ergonomi; özellikle iş gören ile teknik sistem arasındaki ilişkiyi inceleyen, iş ve işyeri düzenlemelerini yapan, ana amacı insanın özellikleri, istekleri ve beklentilerine uygun iş düzenlemeleri gerçekleştirmek olan uygulamaya yönelik bir bilim dalıdır (Babalık, 2014).

Ergonomi çalışmalarında temel amaç insanın ve işin birbirine uyumunun sağlanmasıdır. Bu uyum iki yolla sağlanabilir:

1. Yapılacak iş düzenlemeleri ile işin insana uyumunun sağlanması,
2. Eğitim, öğrenim, iş başı uygulama çalışmaları ve alıştırmalar ile insanın işe uyumunun sağlanması (Babalık, 2014).

Tarihte ergonomi kelimesinin ilk kez 1857 yılında Polonya'da yayınlanan "Doğa ve Endüstri" isimli dergide Wojciech Jastrzebowski tarafından kullanıldığı bilinmektedir. Jastrzebowski makalesinde işin insan için oluşturduğu problemlerin bilimsel yöntemlerle incelenmesi ve bu incelemelere özel bir bilim dalı oluşturulması gerektiği üzerinde durmuş, böylece çalışmalardan en iyi verimin alınabileceğinden ve en az çaba ile mümkün olan en iyi sonuçlara ulaşılabileceğinden bahsetmiştir (Babalık, 2014).

1890'larda Taylor'un iş başarısı ve çalışma koşulları üzerine yaptığı çalışmalar ile 1910'larda Lillian M. Gilbreth ve Frank B. Gilbreth'in zaman ve hareket etüdü çalışmaları ergonomi konusundaki önemli çalışmalardır. 19. yüzyılın ortalarında insanın çalışması üzerine araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Çeşitli

ülkelerde farklı isimlerle anılan bu araştırmaların oluşturduğu bilim dalına, ilk kez 1949 yılında İngiltere’de Murrell başkanlığında yapılan bir toplantıda ergonomi adı verilmiştir (Erkan, 2003; Sabancı, 2011).

Türkiye’de ergonomi ile ilgili konuların ele alınması 1960’lı yıllarda olmuştur. Bu yıllarda Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi’nde ergonomi konusu anlatılmış, 1969’da İstanbul Teknik Üniversitesi’nde “İşbilim” dersi olarak, ardından da Orta Doğu Teknik Üniversitesi’nde “İnsan Faktörleri Mühendisliği” dersi olarak anlatılmaya başlanmıştır (Babalık, 2014). Türkiye’de son zamanlarda sanayide de iş güvenliği, işçi sağlığı ve ergonomi konularına daha fazla önem verildiği görölmektedir.

Üretim için ihtiyaç duyulan en önemli eleman insandır. Dolayısıyla insanın çalışırken içinde bulunacağı sistem ve çevre ile çalışma sırasında kullanacağı çeşitli alet, makine ve kaynaklar insanın özelliklerine göre tasarlanmalıdır. İnsanın çalışma hayatında etkileşimde olduğu her şey ihtiyaç, beklenti ve yeteneklere göre tasarlanabildiği takdirde istenilen verimlilik ve ekonomikliğe ulaşılabilir. Bu konuda yararlanılan en önemli alanlardan birisi ergonomidir.

İşletmelerin temel amaçlarından biri olan verimliliği sağlama konusunda kullanılan bir bilim dalı olarak ergonomi, hem işletmeler hem de çalışanlar açısından oldukça önemli bir kavramdır. Üretim ergonomisi insanı imalat süreçlerinin bir elemanı olarak ele almaktadır. Gerçekleştirilen ergonomik iyileştirme çalışmalarıyla işletmenin hedeflerine katkı sağlanırken, aynı zamanda üretim için en önemli eleman olan çalışanın sağlığını tehdit eden unsurlar ortadan kaldırılmaktadır. Son zamanlarda teknolojinin gelişmesiyle insanın kas gücünden çok zihin gücüne ihtiyaç duyan sistemlerde, ergonominin önemi ortadan kalkmış değildir. Aksine ergonominin çalışma alanı daha da genişlemiştir.

İmalat süreçlerinin yanı sıra tasarımda da ergonomiyi görmek mümkündür. Tasarım ergonomisinde insan, tasarlanan ürünleri kullanan müşteri olarak ele alınmaktadır. Çalışırken olduğu gibi günlük hayatında da çok çeşitli ürün ve malzeme ile etkileşimde olan insan için, bunların insanın istek ve ihtiyaçlarına uygun olması ve sağlığını tehdit etmemesi önem arz etmektedir.

3.2 Bilgisayar Destekli Ergonomi Kavramı

İnsan vücudu oldukça karmaşık bir yapıya sahip olduğundan, insanla ve çalışırken içinde bulunduğu ortamla ilgili ortaya çıkabilen problemlerin çözümünde bilgisayarların kullanılması faydalı olmaktadır.

Bilgisayar destekli ergonomi; ergonomi ve iş güvenliği yöntemlerinde bilgi teknolojilerinin uygulanması ve bu yöntemlerin tasarım, üretim ve karar verme süreçlerine dâhil olması olarak tanımlanabilir. Kısaca, insan vücudu ve çevresi arasındaki etkileşimle ilgili karmaşık ergonomi problemlerini çözmek için bilgisayarları kullanan bir mühendislik disiplini (Gönen vd., 2012).

Bir teknoloji olarak sanal insan modelleme, birbirini etkileyen tasarım ve ergonomi problemlerinin çözümü için bilgisayarlarda insan makine sistemi gösterimlerini oluşturmak, hareket ettirmek ve kontrol etmektir. Bir temel araştırma alanı olarak sanal insan modelleme ise, insan hareketlerini analiz eden ve gerçek zamanlı görselleştirmeye imkân veren matematiksel modellerin geliştirilmesidir. Bu tanımlar endüstriyel ortamlardaki işlemler sırasında ortaya çıkan insan hareketlerinin modellenmesini vurgulamaktadır.

İnsan vücudunun mekanik bir yapı olarak modellenmesi ve ergonomik açıdan analiz edilebilmesi için kullanılan bilgisayar destekli sistemlerin amacı, çalışan insanın iş sebebiyle maruz kaldığı sorunları azaltmak ve uygun bir çalışma ortamı oluşturmaktır. Bu amaçla kullanılan sanal insan modelleme sistemleri, ergonomi problemlerinin daha net anlaşılabilmesi, tanımlanabilmesi ve vücutta söz konusu olan kas, eklem, kemik gibi bölümlerin gerçekçi ve doğru olarak modellenebilmesi açısından önem taşımaktadır.

Genel olarak ergonomi, yapılan işlerden deneysel olarak elde edilen verilerin işlenmesiyle ortaya çıkarılan önerilere dayanmaktadır. Eğer birçok insan belirli bir duruşta çalışmaktan dolayı kas iskelet sistemi rahatsızlığı riskine maruz kalıyorsa ve sağlığı zarar görüyorsa, bu duruşta çalışmanın engellenmesi önerilir. Ancak bu öneriler diğer çalışma duruşlarına uygulanırken duruş veya hareket tam olarak uyuşmayabilir. Bu durumda önerilen çalışma yeni duruma uygulanamayacağından, eklemlerdeki reaksiyon kuvvetleri ve kas kuvvetlerinin nasıl değiştiğinin görülebilmesi için durumun modellenmesi yararlı olmaktadır.

Ergonomik açıdan daha uygun tasarımlar ve çalışma alanlarının sağlanabilmesi için gerçek insanı ve ortamı doğru biçimde yansıtabilecek sanal insan modellerinin kullanılması; insanın bazı fiziksel hareketleriyle ilgili anatomik, antropometrik, fizyolojik ve biyomekanik özelliklerini ele alabilmesi açısından fayda sağlayacaktır. Diğer bir deyişle sanal insan modeli, ergonomik tasarım ve öneriler için bir sayısal dayanak sağlayacaktır.

Ayrıca bilgisayar teknolojisinin kullanılması, ergonomi problemlerinin daha kısa sürede ve daha kolay tanımlanmasına imkan verir, gerçek fiziksel modellere ve insanlar üzerinde yapılan testlere olan ihtiyacı azaltır, başlangıçta bir uygulama ve alıştırma maliyeti gerektirse de bilgisayar destekli tasarım ve ergonomi süreçlerinde maliyetleri düşürür ve zamanları kısaltır.

3.3 Bilgisayar Destekli Ergonomi Yazılımları

Ergonomi alanında kullanılan çeşitli yazılımlar ile sanal insan modelleme, bilgisayar destekli biyomekanik analizler ve sanal simülasyonlar gerçekleştirilebilmektedir. Bunlar arasında AnyBody Modelleme Sistemi, ERGONOM, 3DSSPP, Siemens Jack, SAFEWORK, RAMSIS, SammieCAD, Creo Manikin, Catia gibi yazılımlar bulunmaktadır.

İlk bilgisayar destekli ergonomi yazılımlarından olan RAMSIS, araçların ve kokpitlerin ergonomik gelişimi için Alman otomotiv endüstrisi ile birlikte tasarlanmıştır. Sistemi kullanan araç üreticilerinin hesaplamaları, analiz maliyetlerinde %50'ye kadar tasarruf yapıldığını göstermiştir. Bununla birlikte, önemli bir zaman kazancı ve analiz kalitesinde iyileşme sağlamaktadır (Seidl, 1997).

Bir bilgisayar destekli tasarım yazılımı olan Catia'nın Ergonomik Tasarım ve Analiz Modülü'nde dört alt modül yer almaktadır. Bunlar; sanal insan oluşturma, model ölçülerini düzenleme, insan duruş analizleri ve insan hareket analizleri modülleridir. Sanal insan oluşturma modülü, model olarak tasarım sürecinde insan ara yüzü tanımlamak için kullanılmaktadır. İnsan modelleri cinsiyet, ırk, vücut büyüklüğü vb. değişkenler göz önüne alınarak oluşturup tasarımların içine eklenebilmektedir. Model ölçülerinin düzenlenmesi modülü belli bir nüfusa ait, belirli ölçülerde olan standart insan modellerini geliştirip çeşitlendirebilmeyi ve

istenilen ölçülerde insan modelleri oluşturmayı sağlamaktadır. İnsan duruş analizleri modülü kısaca duruş analizi geliştirmeye olanak tanımaktadır. Duruş analizi komutunu kullanarak insan modelinin açısal sınırları düzenlenebilmektedir. İnsan hareket analizleri modülü ise itme, çekme, kaldırma, indirme gibi birçok insan-ürün etkileşimini simüle edebilmeyi sağlamaktadır. Bu modüldeki bazı analiz çeşitleri; Hızlı Üst Vücut Değerlendirme (RULA) Analizi, Taşıma Analizi, Kaldırma-İndirme Analizi, İtme-Çekme Analizi ve Biyomekanik Tek Hareket Analizi'dir (Anonim-1).

Nottingham Üniversitesi'nde geliştirilen bir ergonomi yazılımı olan SammieCAD'de insan modeli, ana eklemleri ve vücut bölümlerini göstermek üzere hiyerarşik olarak yapılandırılmış eklemler ve doğrusal rijit bağlantılardan oluşmaktadır. Öngörülen duruşlar bu eklemlerdeki esneme/gerilme, yaklaşma/uzaklaşma ve yanal/internal rotasyonlar bakımından belirlenebilmektedir. SammieCAD ile bir kullanıcının belirli bir nesne ya da yüzeye erişimi değerlendirebilmekte ve insan modellerinin görüş alanı kontrol edilebilmektedir (Anonim-2).

Ergonomi çalışmalarında çok sık kullanılan Jack yazılımı 1980'lerde Pennsylvania Üniversitesi İnsan Modelleme ve Simülasyon Merkezi'nde geliştirilmiş ve 1996 yılında ise Siemens PLM Yazılımları tarafından alınmıştır. Yazılımın özellikleri içerisinde detaylı bir insan modeli, gerçekçi davranışsal kontroller, antropometrik ölçülendirme, iş değerlendirme sistemleri, görüş analizi, otomatik ulaşma ve kavrama, çarpışma önleme gibi özellikler yer almaktadır. Sanal insanlar neleri görebildikleri, nerelere ulaşabildikleri, ne kadar rahat oldukları, ne zaman ve neden rahatsız oldukları, ne zaman yoruldukları hakkındaki bilgileri vermektedir. Ergonomik analiz modülünde; yorulma analizi, bel bölgesi analizi, NIOSH kaldırma denklemi, RULA analizi, metabolik enerji tüketimi, zaman standartları, elle kaldırma limitleri ile ilgili özellikler yer almaktadır. Jack ayrıca sanal gerçeklik açısından, gerçek zamanlı vücut takip cihazları ve elektronik eldiven gibi çok çeşitli hareket yakalama donanımına sahiptir (Anonim-3).

AnyBody Modelleme Sistemi de insan vücudunun istenilen büyüklükteki alt sistemlerinin veya tümünün modellenmesine ve dış ortam ile ilişkisinin simülasyonuna yarayan bir yazılımdır. AMS'deki insan modelleri; kaslar üzerindeki kuvvetlerin, eklem reaksiyonlarının, mekanik işin ve verimliliğin hesaplanmasını

sağlamaktadır. AMS'nin çalışma prensibi ters dinamik ve minimum yorulma kriterine dayalıdır. Minimum yorulma kriteri herhangi bir kastaki anlık güce bağlı olan maksimum yükü minimize etmektedir. Bu, kasların dış yükleri dengelemek için mümkün olduğu kadar birlikte çalıştığı anlamına gelmektedir. Ters dinamik ise verilen bir hareketin vücuda güç sağlaması ve o hareketi oluşturmak için yazılım tarafından hesaplanan kas kuvvetlerine ihtiyaç duyulması anlamına gelmektedir.

AnyBody Modelleme Sistemi'nin girdileri; kemik, eklem ve kaslardan oluşan vücut antropometrisi, problemi kinematik olarak belirli hale getirmek için yeterli sayıda kinematik serbestlik derecesi ve dışarıdan uygulanan kuvvetlerdir. Harekete ait yer çekimi ve atalet kuvvetleri AMS tarafından otomatik olarak hesaplanmaktadır.

AnyBody Modelleme Sistemi farklı sektör ve uygulamalarda kullanılmaktadır. Otomotiv sektöründe kas iskelet sistemi modelleri; oturma pozisyonunun rahatlığı, el tutma yerleri ve pedalların çalışması veya araca giriş çıkış ile bagaj yükleme boşaltma işlemleri gibi konular için kullanılmaktadır. Ortopedi ve rehabilitasyonda; protezleri geliştiren kişiler, cerrahlar ve terapistler için farklı hareketlerde eklemlere gelen yüklerin bilinmesi çok önemli olduğundan protez karşılaşılabileceği yüklere dayanabilecek şekilde tasarlanmalı ve vücuda yerleştirilmelidir. Burada örneğin ayak bileği veya diz için yürüme modelleri kullanılmaktadır. Spor aktivitelerinde de; bisiklet ya da kürek çekme gibi devamlı ve tekrarlı hareketler, performans optimizasyonu için güç arttırıcı antrenman ve herhangi bir sporda sakatlık için rehabilitasyon söz konusu olduğunda kullanılmaktadır (Anonim-4).

4. ERGONOMİK RİSK DEĞERLENDİRME

4.1 Kas İskelet Sistemi Rahatsızlıkları

İş süreçlerinde uygun olmayan çalışma duruşları, çalışanlarda ağrılara ve kas iskelet sistemi rahatsızlıklarına (KİSR) neden olabilmektedir. KİSR çalışanın iş performansını ve üretim kalitesini olumsuz etkilemektedir. Çalışma duruşlarının incelenmesi ve değerlendirilmesi, uygun olmayan çalışma duruşlarının neden olabileceği risklerin belirlenerek önleyici tedbirlerin alınması hem işletme hem de çalışan açısından önemlidir ve ergonomi bilimi içerisinde de önemli bir yere sahiptir (Akay vd., 2003).

Çalışanlarda kas iskelet sistemi rahatsızlıkları; kaslar, sinirler ve diğer bazı yumuşak dokularda ağrı veya şikâyete sebep olan bükülme, gerilme, kavrama, tutma, dönme, sıkıştırma, eğilme ve uzanma gibi fiziksel hareketlerin çalışma esnasında tekrarlanması sebebiyle oluşmaktadır. KİSR'na sebep olan risk faktörleri; işe bağlı faktörler, bireysel faktörler ve psikososyal faktörler olarak sınıflandırılmaktadır. İşe bağlı risk faktörleri; çalışma esnasındaki tekrarlayıcı hareketler, uygun olmayan duruşlar, ağır yük kaldırma ve işle ilgili eğitimin yetersizliği gibi faktörlerdir. Bireysel risk faktörleri; kişinin yaşı, cinsiyeti, kilosunu, fiziksel kapasitesi ile ilgili olmaktadır. Psikososyal risk faktörleri ise takım çalışması eksikliği, sosyo-ekonomik seviye ve eğitim seviyesi gibi faktörlerdir (Bernard, 1997).

Çalışırken sıklıkla tekrar edilen işler, genelde sabit bir duruş ve yüksek kuvvet uygulama gibi risk faktörlerini de içermektedir. Dolayısıyla bu işler vücudun çeşitli bölgelerinde ağrı oluşumuna neden olmaktadır. Özellikle omuz seviyesinin üzerine uzanma, gövde ekseninin dışına doğru uzanma, eğilme ve dönme hareketleri boyun ve omuzlarda rahatsızlığa sebep olmaktadır. Çalışma ortamlarının düzensiz yerleşimi ve uygun olmayan araç ve ekipman seçimi de risk yaratabilecek bu tip hareketlerin oluşumunda etkili olmaktadır (Anonim-5). KİSR, bahsedilen risk faktörlerinin bir birleşimi veya etkileşimi ile meydana gelmektedir. Risk faktörlerine maruz kalma oranı arttıkça, çalışanın vücudundaki yorulmalar artmaktadır. Mola

sürelerinin yetersiz olması gibi olumsuz koşullar ortadan kaldırılmazsa ve risk faktörlerine sürekli maruz kalınırsa KİSR oluşma ihtimali artacaktır. KİSR özellikleri dikkate alındığında çiftçilik, ormancılık, madencilik, üretim ve makine operatörlüğü, yükleme ve boşaltma işçiliği, inşaat işçiliği gibi iş gruplarının KİSR'nın sık görüldüğü işler olduğu söylenebilir (Nunes, 2016).

Üretimde montaj işlemleri, insan gücüne en fazla ihtiyaç duyulan aşamalardan biridir. Bu aşamada yapılan bazı işler, çalışanları bedensel olarak zorlayan veya rahatsız eden duruşlar oluşturabilmektedir. Çalışma sırasında uzun süre ayakta kalma, çömelme, eğilme, uzanma veya dönme gibi durumlar montaj işlerinde gözlemlenen ve çalışanların sağlığını ve iş performansını olumsuz yönde etkileyen duruşlardır. Montaj hatlarında işler genelde monoton olduğundan ergonomik açıdan uygun olmayan bu çalışma duruşları gün içinde tekrarlanmaktadır.

Ayakta durma, eğilme, uzanma ve bu duruşlarda bir süre sabit olarak kalma kaslarda kan akışını azaltmaktadır. Kan akışının azalmasıyla oksijensiz kalan bacak, sırt, bel, boyun ve kol kaslarında yorgunluk ve ağrı oluşabilmektedir. Dolayısıyla bir montaj masasında uzun süre benzer durumlarda çalışmak zorunda kalan çalışanların yaşadığı yorgunluk ve ağrılar, daha sonra kas iskelet sistemi rahatsızlıklarına dönüşmektedir.

Dehghan vd. (2013) bir elektronik firmasında montaj çalışanları üzerine yaptıkları çalışmanın sonucunda; montaj çalışanları arasında yüksek derecede bel, boyun, omuz ve üst kol bölgelerinde (%75'den fazlasında) kas iskelet sistemi rahatsızlığı oluştuğunu belirtmişlerdir. Yapılan ergonomik müdahale sonrasında bel, boyun, omuz, kol ve dirsek bölgelerinde görülen rahatsızlıklarda anlamlı bir azalma gözlemlenmiş ve çalışanların %89'u çalışma koşullarının iyileştiğini ifade etmişlerdir. Miguez vd. (2012) de cep telefonu montaj hattında boyun rahatsızlıklarını azaltmak amacıyla yeni bir iş ortamı oluşturmuşlardır. Tezgâhların eğim açılarının ayarlanabilir hale getirilmesiyle, çalışma duruşunun iyileştirildiği ve çalışanların daha rahat olduğu görülmüştür.

İşe bağlı kas iskelet sistemi rahatsızlığı şikâyetlerinin azaltılması için montaj hatlarındaki uygun olmayan duruşların düzeltilmesi gerekmektedir. Ergonomik açıdan doğru ve uygun teknik çözümler ile bel, boyun ve bacak gibi aktif kaslarda

meydana gelen zorlanmaların azalması sağlanmaktadır (Güner ve Hasgül, 2011; Swat ve Krzychowicz, 1996).

4.2 Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemleri

Çalışma esnasında uygun olmayan duruşlar ve tekrarlayan hareketler zorlanmalara ve hatta kas iskelet sistemi rahatsızlıklarına neden olmaktadır. Uygun olmayan çalışma duruşlarının iyileştirilmesi, zorlanmaların azaltılması çalışanın sağlığı ve aynı zamanda iş performansı açısından oldukça önemlidir (David, 2005).

KİSR riskini değerlendirmek için kullanılan yöntemler; kişisel anket yöntemleri, sistematik gözlemlere dayalı yöntemler ve direkt ölçüm yöntemleri olarak sınıflandırılabilir (Mert, 2014):

1. Kişisel Anket Yöntemleri: KİSR riskinin değerlendirilmesi için kullanılan öznel anketler ve kontrol listelerinden bazıları şu şekildedir:

- a) Standardize Edilmiş İskandinav KİS Anketi (Nordic Musculoskeletal Questionnaire - NMQ),
- b) Alman KİSR Anketi (Dutch Musculoskeletal Discomfort Questionnaire),
- c) Cornell Kas İskelet Rahatsızlık Anketi (Cornell Musculoskeletal Discomfort Questionnaire).
- d) Hissedilen çaba derecesine dayanan İsveç Mesleki Yorgunluk Envanteri (Swedish Occupational Fatigue Inventory, SOFI).

2. Sistematik Gözlemlere Dayalı Yöntemler: KİSR riskinin nicel olarak değerlendirilebilmesi amacıyla kullanılan yöntemler de basit gözleme dayalı yöntemler ve gelişmiş gözleme dayalı yöntemler olarak ikiye ayrılabilir:

i. Basit Gözleme Dayalı Yöntemler

- a) Amerika Ulusal İş Güvenliği ve Sağlığı Enstitüsü Yük Kaldırma Endeksi (NIOSH Lifting Equation),
- b) Snook Tabloları (Snook Tables),
- c) El ile Taşıma Değerlendirme Çizelgeleri (Manual Handling Assessment Charts - MAC),

- d) Mital ve ark. Tabloları (Mital et. al. Tables),
- e) Hızlı Üst Uzuv Değerlendirmesi (RULA),
- f) Zorlanma İndeksi (The Strain Index - SI),
- g) Kümülatif Travma Rahatsızlığı İndeksi (The Cumulative Trauma Disorder Risk Index - CTD RAM),
- h) Mesleki Tekrarlamalı Hareketler İndeksi (Occupational Repetitive Actions Index - OCRA),
- i) Hızlı Maruziyet Değerlendirme Yöntemi (Quick Exposure Check - QEC),
- j) Hızlı Tüm Vücut Değerlendirmesi (REBA),
- k) Ovako Çalışma Duruşları Analiz Sistemi (Ovako Working Posture Analyzing System - OWAS).

ii. Gelişmiş Gözleme Dayalı Yöntemler

- a) Ergo-Man,
- b) Sammie Cad,
- c) Safework,
- d) Creo Manikin,
- e) 3DSSPP,
- f) Jack,
- g) RAMSIS Model,
- h) AnyBody Modelleme Sistemi,
- i) OpenSIM,
- j) HumanCAD,
- k) LifeMod.

3. Direkt ölçüm yöntemleri: İnsan hareketlerini ve duruşlarının analizi için direct ölçümlerde elektromiyografi, açıölçer, biyomekanik analiz araçları ve optik araçlar kullanılmaktadır.

Uygulamanın yapıldığı işletmede kişisel anket yöntemlerinden Cornell Kas İskelet Rahatsızlık Anketi ve basit gözleme dayalı yöntemlerden REBA yöntemi kullanılmıştır.

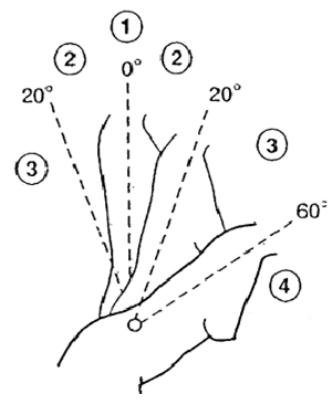
4.2.1 Hızlı Tüm Vücut Değerlendirme (REBA) Yöntemi

REBA yöntemi, Hignett ve McAtamney (2000) tarafından Nottingham’da geliştirilen, statik veya değişken tüm vücut hareketlerinin duruş analizinin yapılması için kullanılan gözleme dayalı bir yöntemdir. Tüm vücut hareketleri sırasında duruşların analiz edilerek puanlanmasını ve böylece elde edilen sayısal değerle mesleki açıdan risk yaratabilecek duruşların belirlenmesini sağlar. REBA için işler seçilirken çalışma sırasında çok sık tekrarlanan, fazla zaman alan, yüksek kuvvet veya kas faaliyeti gerektiren, çalışmanı rahatsız eden, uygunsuz olarak tanımlanabilecek ve iyileştirilebilecek duruşlar ele alınmalıdır.

REBA yönteminin uygulanmasında ilk olarak gövde, boyun ve bacakların duruşu açısal olarak gözlemlenir ve puanlanır (Tablo 4.1 – Tablo 4.3). Yönteme ait A tablosundan (Tablo 4.4) gövde, boyun ve bacakların duruş puanları ile bir skor elde edilir. Bu skora duruş sırasında uygulanan kuvvet veya taşınan yüke ilişkin puan eklenir (Tablo 4.5). Böylece A skoru elde edilmiş olmaktadır.

Tablo 4.1: REBA gövde duruş puanlaması

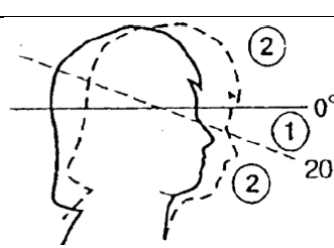
GÖVDE		
Hareket	Skor	Skor Değişimi
Dik	1	Yana esneme veya dönme varsa +1
0° - 20° Fleksiyon 0° - 20° Ekstansiyon	2	
20° - 60° Fleksiyon >20° Ekstansiyon	3	
>60° Fleksiyon	4	



The diagram illustrates the measurement of torso posture. It shows a side view of a human torso with a vertical dashed line representing the neutral position (0°). Angles of 20° and 60° are marked on both sides. Numbered points 1, 2, 3, and 4 are placed along the spine and shoulder area to indicate measurement points.

Tablo 4.2: REBA boyun duruş puanlaması

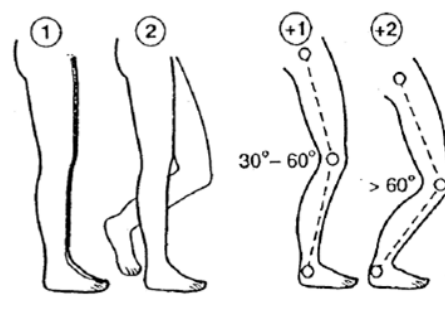
BOYUN		
Hareket	Skor	Skor Değişimi
0° - 20° Fleksiyon	1	Yana esneme veya dönme varsa +1
>20° Fleksiyon veya Ekstansiyon	2	



The diagram illustrates the measurement of neck posture. It shows a side view of a human head and neck with a horizontal dashed line representing the neutral position (0°). Angles of 20° are marked on both sides. Numbered points 1 and 2 are placed along the neck and head area to indicate measurement points.

Tablo 4.3: REBA bacak duruş puanlaması

BACAKLAR		
Hareket	Skor	Skor Değişimi
Bilateral (iki taraflı) ağırlık taşıma, yürüme veya oturma	1	Diz(ler)de 30° - 60° arası fleksiyon +1 Diz(ler)de >60° fleksiyon (oturma hariç) +2
Unilateral (tek taraflı) ağırlık taşıma veya sabit olmayan duruş	2	


Tablo 4.4: REBA – A tablosu

		Boyun											
		1				2				3			
		Bacaklar				Bacaklar				Bacaklar			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Gövde	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 4.5: REBA Yük / Kuvvet değerleri

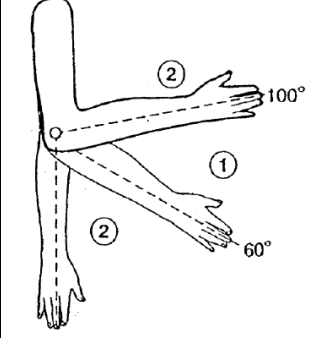
Yük / Kuvvet	Skor
< 5 kg	0
5 – 10 kg	1
> 10 kg	2
Ani veya hızlı kuvvet artışı	+1

Diğer yandan üst kol, alt kol ve bileklerin duruşu analiz edilir ve puanlanır (Tablo 4.6 - Tablo 4.8). A skoru ile benzer şekilde B tablosundan (Tablo 4.9) üst kol, alt kol ve bileklerin duruş puanları ile bir puan elde edilir ve bu puana kavramaya ilişkin puan eklenir (Tablo 4.10), böylece B skoru hesaplanmaktadır.

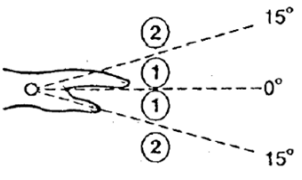
Tablo 4.6: REBA üst kol duruş puanlaması

ÜST KOLLAR			
Hareket	Skor	Skor Değişimi	
20° Fleksiyon - 20° Ekstansiyon	1	Kolda abdüksiyon veya rotasyon varsa +1	
20° - 45° Fleksiyon >20° Ekstansiyon	2	Omuz yükselmişse +1	
45° - 90° Fleksiyon	3	Kolun duruşunda yerçekimi desteği varsa -1	
>90° Fleksiyon	4		

Tablo 4.7: REBA alt kol duruş puanlaması

ALT KOLLAR		
Hareket	Skor	
60° - 100° Fleksiyon	1	
<60° Fleksiyon veya >100° Ekstansiyon	2	

Tablo 4.8: REBA bilek duruş puanlaması

BİLEKLER			
Hareket	Skor	Skor Değişimi	
0° - 15° Fleksiyon veya Ekstansiyon	1	Yana dönme veya esneme varsa +1	
>15° Fleksiyon veya Ekstansiyon	2		

Tablo 4.9: REBA - B tablosu

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

Tablo 4.10: REBA Kavrama değerleri

Derece	Açıklama	Skor
İyi	İyi bir tutma kolu ve orta şiddette kavrama gücü	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 ile tutuş uygun değil	3

A ve B skorları kullanılarak C tablosundan (Tablo 4.11) elde edilen değere, son olarak aktivite skoru (Tablo 4.12) eklenerek duruşun REBA skoru elde edilmektedir.

Hesaplanan REBA skoru ile; ele alınan çalışma duruşunun risk seviyesi ihmal edilebilir, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek risk olmak üzere derecelendirilmektedir. Risk seviyeleri ve her seviyeye göre alınması gereken önlem dereceleri Tablo 4.13'te görülmektedir.

Tablo 4.11: REBA - C tablosu

		B SKORU											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A SKORU	1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
	2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
	3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
	4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
	5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
	6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
	7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
	8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
	9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12
	10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Tablo 4.12: REBA Aktivite değeri

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

Tablo 4.13: 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

5. KABLO DEMETLEME KONVEYÖR HATTINDA ERGONOMİK ANALİZLER

Bu bölümde çalışmada gerçekleştirilen uygulamanın konusu ve amacı, analiz aşamasında kullanılan yöntemler ve uygulama sonucunda elde edilen bulgulardan bahsedilmiştir.

5.1 Uygulamanın Tanıtımı

5.1.1 İşletme Hakkında Genel Bilgiler

Çalışma, Tavşanlı Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan bir işletmede gerçekleştirilmiştir. İşletme 27.000 m²'si kapalı olmak üzere 87.000 m²'lik bir alan üzerinde kurulmuştur. Ürün yelpazesi içinde binek, hafif ticari ve ticari araçlardaki elektriksel fonksiyonların çalışmasını sağlayan kablo donanımları yer almaktadır. Kablo donanımlarının üretim ve montajının yapıldığı kablo demetleme konveyör hatlarına ait fotoğraf Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1: Kablo demetleme konveyör hattı

Elektrik donanımlarına ait üretim süreci, yıllık üretim sayısı ve donanımın büyüklüğüne göre tasarlanmaktadır. Yapılan fizibilite ve kapasite çalışmaları sonrasında montajda kullanılacak pano sayısı ve konveyör büyüklüğü belirlenir. T-konveyör (10-24 masalı), penta konveyör (5 masalı) ve sabit masalarda montaj işlemi gerçekleştirilmektedir. Ayrıca montaj işlemine başlamadan önce yapılan hazırlıklar

için çeşitli stantlar ve makineler mevcuttur. Üretilen tüm donanımlar test panolarında %100 elektriksel teste tabii tutulmaktadır.

5.1.2 Kablo Demetleme Konveyör Hattı

İşletmenin kablo demetleme konveyör hattında yapılan işlemler ön hazırlık, kablo döşeme ve bantlama ve aksesuar takma olmak üzere üç başlık altında incelenebilir. Ön hazırlık aşamasında, proje departmanı tarafından hazırlanan modül şemaları rehberliğinde modül askısı ve gruplama masası gibi ekipmanlar kullanılarak donanım ön hazırlığı olan modüller hazırlanır. İlk aşama olarak donanımda kullanılacak olan kabloların bir kısmı gruplama masası olarak adlandırılan ekipmanlarda soketlere takılır. Bazı kablolar ise modül askısı olarak adlandırılan ekipmanlara açılır ve askıdan çekilerek soketlere takılır (Şekil 5.2-a). Kablo döşeme aşamasında, ön hazırlık aşamasında hazırlanan kablolar montaj panoları üzerinde bulunan gösterimlere göre döşenir. Çalışmada ele alınan hatta sekiz ayrı kablo döşeme istasyonu mevcuttur. Her bir istasyonun döşemesi gereken farklı kablolar vardır. İstasyonların iş dağılımları dengelidir ve her bir çalışan eş zamanlı olarak istasyonlarındaki işlerini tamamlayıp diğerine geçmektedir (Şekil 5.2-b). Mevcut hatta 10 ayrı bantlama istasyonu mevcuttur. Bantlama ve aksesuar takma aşamasında, konveyör üzerindeki gösterimler rehberliğinde donanım bantlanır ve aksesuarları takılır. Her bir istasyonda çalışanın bantlama yapacağı bölge farklıdır. Bantlama istasyonları konveyör üzerinde ilerlemektedir. Bu yüzden çalışanlar konveyör temposuna uymak durumundadırlar (Şekil 5.2-c).

Kablo demetleme konveyör hattında montaj işlemine ait yapılan zaman etüdü çalışmasına göre hatta maksimum istasyon süresi 6,65 dakika, ortalama istasyon süresi 6,36 dakika ve konveyör hattının toplam süresi 50,87 dakikadır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.2: Kablo demetleme konveyör hattındaki işlemler a)Ön hazırlık, b)Kablo dökşeme, c)Bantlama ve aksesuar takma

5.2 Uygulamanın Amacı ve Hedefleri

Uygulama çalışmasında müşteri talepleri doğrultusunda özel tasarım kablo üretimi gerçekleştiren işletmenin mevcut konveyör hattı değerlendirilmiştir. Hattın yıllık veriminin istenilen değerlerin altında olduğu ve buna bağlı olarak mali yönden kayıpların ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Buradaki verimlilik kayıplarının montaj hatlarındaki uygun olmayan ergonomik koşullardan özellikle de çalışanların antropometrik özelliklerine uygun olmayan iş istasyonu boyutlarına bağlı normal olmayan duruşlardan kaynaklandığı görülmüştür.

Konveyör hatlarında gerçekleştirilen montaj işinde çalışanların uzun süre ayakta kalması ve boyu uzun çalışanın eğilerek, boyu kısa çalışanın ise uzanarak çalışması yorulmalara ve zorlanmalara sebep olmaktadır. Bu durum çalışanlarda zamanla oluşan meslek hastalıklarından olan kas iskelet sistemi rahatsızlığı

olasılığını artırmaktadır. Ergonomik açıdan uygun olmayan çalışma duruşu aynı zamanda çalışanın iş performansını da etkilemektedir.

İşletmenin kablo demetleme konveyör hatlarında uygun olmayan ergonomik koşullar ve çalışma duruşları mevcuttur. Bu durum çalışanlarda meslek hastalığı riskini artırmaktadır. Meslek hastalıkları gerek ülke ekonomisi gerek işverenler için doğrudan veya dolaylı olarak maddi-manevi kayıplar oluşturmaktadır. Kalite açısından da konveyör hattındaki montaj panolarında ergonomik uyumsuzluktan kaynaklanan hataların ortaya çıkması maliyetlerin artmasına neden olmaktadır.

Çalışmanın temel amacı, konveyör hattındaki ergonomik açıdan uygun olmayan çalışma duruşlarının ve çalışanlarda oluşabilecek meslek hastalıklarının azaltılmasıdır. Yapılacak iyileştirme çalışmaları ile bu hatta çalışanların firma için önemli olduklarının ifade edilmesi, çalışan memnuniyetinin yaratacağı pozitif etkiyle iş verimliliğinde ve üretim hızında artış sağlanması, ayrıca çalışanlarda oluşabilecek sağlık sorunları nedeniyle ortaya çıkacak tedavi maliyetlerinin ve iş gücü kayıplarının azaltılması hedeflenmiştir. Bu sayede hem çalışanın hem de işverenin memnuniyeti arttırılacaktır.

Konveyör hattında çalışanların işlerini verimli bir şekilde yapabilmelerine olanak veren bir tasarımın oluşturulması, çalışanlarda işe bağlı olarak oluşabilecek kas iskelet sistemi şikâyetlerinin önüne geçilmesi hedeflenmektedir. Çalışanların doğal duruşları korunarak çalışmaları sağlanacak ve böylece daha az yorgunlukla daha fazla iş başarımlı elde edilecektir.

Kablo demetleme konveyör hattında yapılan standardizasyon sonucunda ortaya çıkan iyileştirmeler, işletmenin kablo donanımları üretiminde kullanılan diğer hatlarında da uygulanmasıyla işletmenin geneline yaygınlaştırılacaktır. Bu durumun sektörde de farkındalık oluşturması beklenmektedir.

5.3 Problemin Çözüm Yöntemi

İşletmenin mevcut kablo demetleme konveyör hattındaki ergonomik koşulların analizi için anket yöntemi, antropometrik ölçümler, iş istasyonları ölçümleri, Hızlı Tüm Vücut Değerlendirme (REBA) yöntemiyle duruş analizleri ve

hareket yakalama sistemiyle alınan veriler kullanılarak AnyBody Modelleme Sistemi ile bilgisayar destekli ergonomik analizler uygulanmıştır.

5.3.1 Cornell Kas İskelet Rahatsızlık Anketi

Montaj hattının analizinde ilk olarak çalışanların işyeri ve çevresel faktörlerin uygunluğuyla ilgili sübjektif değerlendirmesi ve işe bağlı kas iskelet sistemi rahatsızlığı risklerinin belirlenmesine yönelik bir anket hazırlanmış, anketin geçerlilik ve güvenilirliği test edilmiş ve istatistiksel analizler yapılmıştır. Yapılan anket çalışmasının amacı, mevcut montaj hattından kaynaklı olarak çalışanların özellikle hangi vücut bölümlerinde şikâyet oluştuğu, bu şikâyetlerin sıklığı, şiddeti ve işle ilgisinin tespit edilerek yeni montaj hattı tasarlanırken hangi bölgelerin özellikle dikkate alınması gerektiğinin belirlenmesidir.

Çalışmada Cornell Üniversitesi'nin "Musculoskeletal Discomfort Questionnaire" anketinden uyarlanan anket soruları kullanılmıştır. Anket 5'li likert ölçeğine göre hazırlanmış ve anket yanıtlarının tutarlılığı için güvenilirlik analizi yapılmıştır.

Anket veya test güvenilirlikleri için en yaygın kullanılan nesnel ölçü Cronbach's Alpha'dır. Cronbach's Alpha bir ankette aynı değişkeni ölçmek için sorulan soruların kendi aralarındaki iç tutarlılığını ölçmek üzere 0 ile 1 arasında bir sayı olarak ifade edilir. Kabul edilebilir değerleri 0,70 ile 0,95 arasındadır. Yüksek bir alpha değeri ($>0,90$) ise anketin daha güvenilir olması açısından uzunluğunun kısaltılması gerektiğini belirtir (Tavakol ve Dennick, 2011). Cornell Kas İskelet Rahatsızlık Anketi için Minitab 17'de gerçekleştirilen güvenilirlik analizi sonucu tüm ankete ait Cronbach's Alpha değeri 0,8791 olarak elde edilmiştir. Bu sonuca göre anketin toplam güvenilirliği çok iyidir. Her sorunun güvenilirlik katsayısı ayrı ayrı da değerlendirilmiş ve herhangi bir anket sorusunun çıkarılmasıyla toplam anket güvenilirliğinin önemli derecede yükselmediği tespit edilmiştir. Bu nedenle anketteki tüm sorular değerlendirmeye alınmıştır.

Kullanılan Cornell Kas İskelet Rahatsızlık Anketi EK A'da Tablo A.1 ve Tablo A.2'de verilmiştir.

Ankette temel olarak vücut bölgelerinde hissedilen acı, ağrı ya da rahatsızlıkların frekansları, şiddetleri ve yapılan işle ilgileri sorgulanmıştır. Çalışanların sadece rahatsızlık frekanslarına, rahatsızlık şiddetlerine ya da bu rahatsızlıkların işle ilgili olma derecelerine göre öncelikli vücut bölgelerinin tespit edilmesi çok doğru olmayacaktır. Bu nedenle bu üç faktörü de bir arada değerlendirmek üzere; iş sağlığı ve güvenliği alanında yaygın olarak kullanılan matris yöntemi ve Fine-Kinney yöntemlerinden esinlenilerek geliştirilen bir yöntem kullanılmış ve bu yöntemle göre toplam bir değerlendirme yapmak mümkün olmuştur.

Kullanılan modifiye edilmiş matris yöntemindeki değerlendirme matrisi iki ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlardan birincisi etkilenme derecesi, diğeri ise etkilenen kişi yoğunluğudur. Etkilenme derecesi (6.1) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Etkilenme Derecesi} = \text{Ağrının}(\text{Frekansı} \times \text{Şiddeti} \times \text{İşle İlgisi}) \quad (6.1)$$

Etkilenme derecesi hesaplanırken kullanılan her bir tabloya ait değerlerde boş bırakılan cevaplar ilgili bölgeyle ilgili herhangi bir sıkıntı yaşanmaması nedeniyle dikkate alınmamaktadır. Anketi cevaplayan katılımcıların ağrının yaşanma sıklığına, şiddetine ve ağrının işle ilgisine sırasıyla “1” puan vermesi durumunda beklenen “etkilenme derecesi” değeri 1x1x1’den “1” olarak ve benzer şekilde katılımcıların 2 cevabını vermesi durumunda beklenen skor $2^3=8$ olarak hesaplanmaktadır. Etkilenme derecesi için 1 değeri “Anlamsız”, 2-7 aralığı “Düşük Düzey Tehlike” olarak tanımlanırken, 8-26 aralığı “Orta Düzey Tehlike”, 27-63 aralığı “Yüksek Düzey Tehlike” ve 64-125 aralığı “Çok Yüksek Tehlike” olarak tanımlanmıştır (Tablo 5.1).

Tablo 5.1: Etkilenme derecesi değerlendirme kriterleri

RENK	GRUP PUANI	ARALIK	ANLAMI
	1	1 değeri	Anlamsız
	2	2-7 arası	Düşük Düzey Tehlike
	3	8-26 arası	Orta Düzey Tehlike
	4	27-63 arası	Yüksek Düzey Tehlike
	5	64-125 arası	Çok Yüksek Tehlike

Anketteki değerlendirme matrisinin diğer bileşeni ise etkilenen kişi sayısıdır. Ankete katılanlardan ilgili vücut bölümünde rahatsızlık duyanların, toplam katılımcı sayısına oranlanması ile etkilenen kişi sayısına ilişkin bir çarpan değeri hesaplanmaktadır. Bu oranın %20'ye eşit veya daha az olması durumunda etkilenen kişi yoğunluğu 1, %40'a eşit veya daha az olması durumunda etkilenen kişi yoğunluğu 2 ve benzeri şekilde tüm gruplar için bir çarpan değeri elde edilmektedir (Tablo 5.2).

Tablo 5.2: Etkilenen kişi yoğunluğu değerlendirme kriterleri

YOĞUNLUK	ETKİLENEN KİŞİ ARALIĞI
1	0 - %20
2	%21 - %40
3	%41 - %60
4	%61 - %80
5	%81 - %100

Modifiye edilmiş matris yöntemindeki son aşama, bir "Risk Skoru" hesaplamak için etkilenme derecesi ile etkilenen kişi yoğunluğu puanlarının birleştirilmesidir. Bu şekilde hem hissedilen ağrının büyüklüğü hem de bundan etkilenen kişi sayısı dikkate alınarak bir sınıflandırma yapılabilecektir. Risk skoru (6.2) eşitliğindeki gibi hesaplanmaktadır.

$$Risk\ Skoru = (Etkilenme\ Derecesi) \times (Etkilenen\ Kişi\ Yoğunluğu) \quad (6.2)$$

Risk değerlendirme matrisine göre risk skorunun 1 ile 5 arasında olması tehlikenin kabul edilebilir risk düzeyinde olduğunu, risk skorunun 6, 8 veya 9 olması riskin orta düzeyde olduğunu, 10 veya 12 olması yüksek risk olduğunu, 15, 16, 20 veya 25 olması ise çok yüksek risk olduğunu göstermektedir. Her bir vücut bölgesinde ağrı hisseden katılımcıların verdikleri cevaplar dikkate alınarak hesaplanan risk skorlarının risk değerlendirme matrisinde (Tablo 5.3) hangi bölgede yer aldığı tespit edilerek nihai risk değerlendirmesi yapılmıştır.

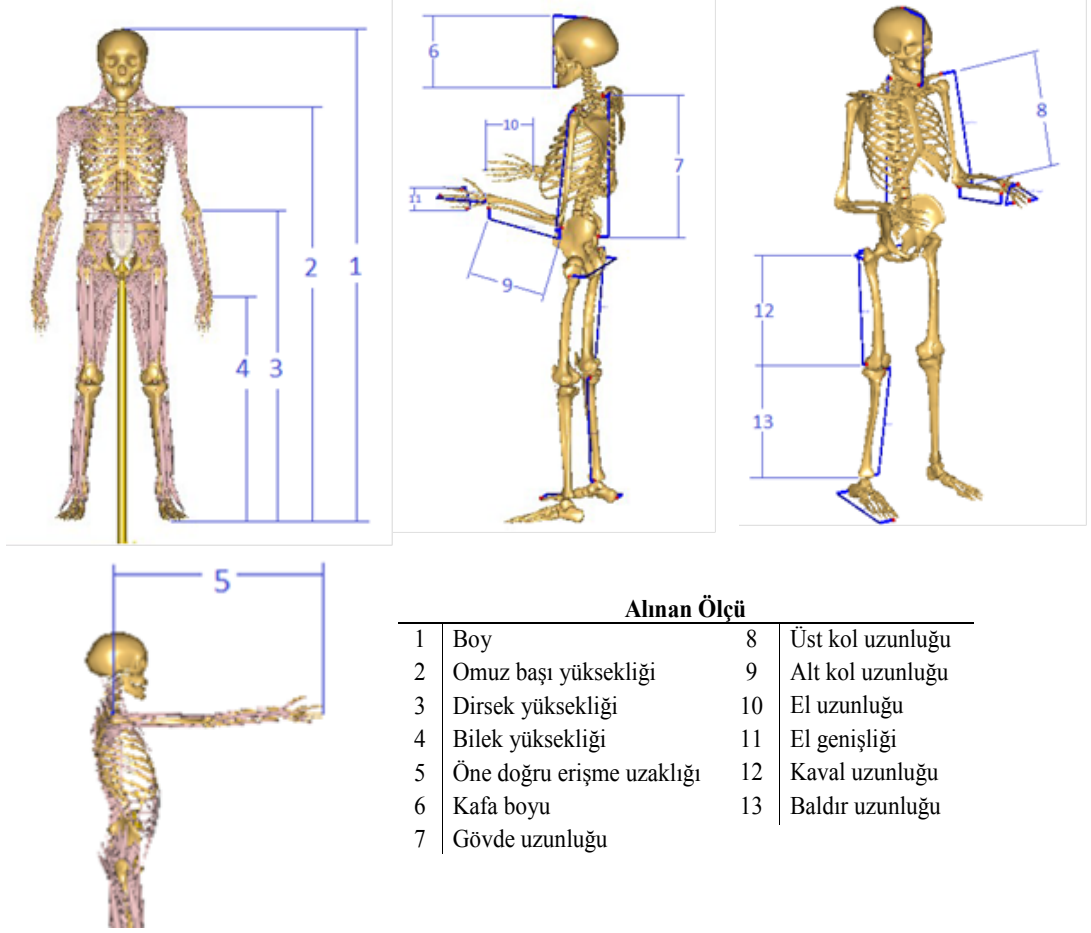
Tablo 5.3: Risk değerlendirme matrisi

RENK	ANLAMAMI	Etkilenen Kişi Yoğunluğu	Etkilenen Kişi Yoğunluğu				
			1	2	3	4	5
	Anlamsız	1	1	2	3	4	5
	Kabul Edilebilir Risk Düzeyi	2	2	4	6	8	10
	Orta Düzey Risk	3	3	6	9	12	15
	Yüksek Düzey Risk	4	4	8	12	16	20
	Çok Yüksek Risk	5	5	10	15	20	25

5.3.2 Antropometrik ve Teknik Ölçümler

Kablo demetleme konveyör hattında çalışanlarda ISO 7250-1 ve ISO 7250-2 standartlarına uygun olarak iş istasyonu tasarımıyla ilişkili antropometrik ölçümler ve hatta bulunan konveyör montaj panolarına ilişkin teknik ölçümler yapılmıştır. Hat çalışanlarının antropometrik ölçüleri alınmış ve ölçü değerleri ile hatta bulunan konveyör montaj panolarının ölçüleri uygunluk açısından değerlendirilmiştir. Hat tasarımında montaj masalarının yüksekliklerinin ayarlanabilmesi için çalışanların boy uzunluklarına, omuz başı, dirsek ve bilek yüksekliklerine, kablo sarma veya yerleştirme işlemleri için de öne doğru erişme uzaklıklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca AnyBody Modelleme Sistemi'nde insan modelinin ölçülendirilmesinde yardımcı olması için kafa boyu, gövde uzunluğu, üst kol uzunluğu, alt kol uzunluğu, el uzunluğu, el genişliği, kaval ve baldır uzunlukları da ölçülmüştür. Ölçümler çalışma ortamında, ayakta durma pozisyonunda ve çalışma kıyafetleri ile alınmıştır. Ölçümlerde yükseklikleri ölçmek için şerit metre, uzun kemik uzunluklarını ölçmek için büyük antropometre, küçük kas grubu genişliklerini ölçmek için küçük antropometre kullanılmıştır. Ölçülerin doğru olarak alınabilmesi için standartlarda belirlenen yedinci boyun omuru, omuz başı, arka kol başlangıcı, dirsek, el başlangıcı, alt çene ucu, tepe noktası, diz kapağı, ayak tabanı gibi referans noktalar dikkate alınmıştır.

Çalışanlardan alınan ölçüler Şekil 5.3'te insan modeli üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 5.3: Hat çalışanlarından alınan antropometrik ölçüler

5.3.3 Hareket Yakalama

Hareket yakalama; insanların hareketlerini gerçekçi bir şekilde yansıtabilmek için hareket esnasında kayıt alınması ve bilgisayar ortamına aktarılmasıdır. Hareket yakalama, işaretleyiciler ile (marker-based) ve işaretleyicisiz (markerless) olmak üzere iki şekilde yapılabilmektedir. İşaretleyici ile hareket yakalamada, hareketi kaydedilecek kişinin vücudu üzerinde belirli noktalara işaretleyiciler yerleştirilir. Hareket kaydı bu noktalar üzerinden yapılarak bilgisayara aktarılır. İşaretleyicisiz hareket yakalamada ise hareketin kaydı çeşitli açılardan farklı kayıt cihazları ile alınır, bilgisayara aktarılan hareket verisi görüntü işleme yöntemi ile işlenir ve modele aktarılır. İşaretleyici kullanılmayan durumlarda ortam kalibrasyonunun çok iyi yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada AnyBody Modelleme Sistemi'ne girdi olarak verilecek hareket bilgisi, işaretliycisiz hareket yakalama sistemi ile elde edilmiştir. Hatta meydana gelen hareket yerinde kaydedilmiş, alınan hareket verisi AMS'ne yüklenerek insan modelinin montaj hattındaki durumu yansıtması sağlanmıştır. Çalışma sırasındaki hareketler kaydedilirken dört adet Sony PlayStation Eye kamera ve tripodlar kullanılmıştır. Çalışandan önce T pozunda durması istenmiş, buna göre hareket yakalamaya başlanırken ilk adımda insan modeli görüntüdeki T pozuna göre ayarlanmıştır (Şekil 5.4). Kameralar ile farklı açılardan kaydedilen görüntü, eş zamanlı olarak iPi Recorder yazılımı ile bilgisayara aktarılmıştır. Kaydedilen görüntünün insan modeli üzerindeki takibi iPi MoCap yazılımı kullanılarak yapılmış ve gerekli yerlerde hareketin doğru yakalanması amacıyla düzeltmeler yapılmıştır. İşyerindeki koşullar (çalışanın ayakkabı rengi ile zemin renginin aynı olması veya önlük rengiyle panonun renginin aynı olması gibi) sebebiyle bazı kısımlarda düzeltme yapılması mümkün olmamıştır. Bu sebeple insan modelinin çalışanın gerçek görüntüsüne tam olarak uyduğu kısımlar ele alınmış ve AnyBody Modelleme Sistemi'ne aktarılmıştır.



Şekil 5.4: Hareket yakalamada T pozunu

5.3.4 AnyBody Modelleme Sistemi ile Analiz

AnyBody Modelleme Sistemi, insan vücudunun çalıştığı ortam ile ilişkisinin gösterilmesine yarayan ve ters dinamik mantığını kullanan bir kas iskelet modelleme ve biyomekanik analiz yazılımıdır. Ters dinamik, insan modeline verilen bir duruşun veya hareketin oluşması için gereken kas kuvvetlerinin yazılım tarafından hesaplanması anlamına gelmektedir (De Zee vd., 2007). Diğer bir deyişle normal

şartlarda insan vücudunda bir hareket ancak kaslarda bir kuvvet oluşturulmasıyla meydana gelebilirken, AnyBody’de insan vücuduna verilen hareketin modele güç sağlaması ve sonrasında hareket için gereken kas kuvvetinin hesaplanması söz konusudur. AnyBody’deki insan modeli insan vücudunda bulunan kas, eklem ve kemiklerin birçoğunu içermektedir. AnyBody ters dinamik prensibi ile bu modele verilen hareketler için kaslar üzerindeki kuvvetlerin, eklem reaksiyon kuvvetlerinin, kas aktivitelerinin ve verimliliğin hesaplanmasını sağlamaktadır.

Çalışmadaki konveyör hattında uygun olmayan çalışma duruşlarını ve çalışanlar üzerindeki biyomekanik zorlanmaları niceliksel olarak tespit edebilmek amacıyla kas iskelet sistemi analizleri için AnyBody Modelleme Sistemi kullanılmıştır. Hat çalışanlarının duruşları statik ve dinamik olarak analiz edilmiştir. Gözlemlenen sekiz farklı çalışma duruşu için AnyBody’de statik olarak kinematik ve ters dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Kinematik analiz, modelin verilen duruş veya hareketi geometrik olarak gerçekleştirip gerçekleştiremeyeceğini tespit ederken; ters dinamik analizi, modelin verilen duruş veya hareketi gerçekleştirmesi için gerekli olan kuvvetleri hesaplamaktadır. Karşılaştırma yapabilmek amacıyla insan modelinin ayakta duran nötr duruşu için de aynı analizler yapılmıştır. Dinamik analiz ise hareket yakalama sistemi ile kaydedilen görüntüler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

5.4 Bulgular ve Analiz

5.4.1 Cornell Kas İskelet Rahatsızlık Anketi Sonuçları

Yapılan anketler sonucunda ankete katılan katılımcıların yaşadıkları ağrıların tekrar sıklığına bağlı frekans skoru, ağrıya ait şiddet skoru ve ağrının işle ilgisine ait değerler elde edilmiştir. Kas İskelet Rahatsızlık Anketi’ne verilen cevaplar EK B’de verilmiştir. Tablo B.1 anketin 1. bölümüne verilen cevapları göstermektedir. Tablodaki değerler 1-5 aralığında değer almakta olup, ankete katılan kişiler belirtilen vücut bölgesindeki ağrıyı hangi sıklıkta yaşadığını puanlamaktadır (1: Hiç olmadı, 2: Haftada 1-2 defa, 3: Haftada 3-4 defa, 4: Günde 1 defa, 5: Günde birkaç defa). Aynı şekilde Tablo B.2 anketin 2. bölümüne verilen cevapları, Tablo B.3 ise anketin 3.

bölümüne verilen cevapları göstermektedir. Bu iki tabloda da benzer olarak sırasıyla belirtilen vücut bölgesinde yaşanan ağrının şiddeti ve hissedilen ağrının işle ilgisi katılımcılar tarafından puanlanmıştır (1: Çok Az, 2: Az, 3: Orta derece, 4: Fazla, 5: Çok fazla).

Anketin değerlendirme ve sonuç tablosu Tablo 5.4'te verilmiştir. Ankete tam sayım yoluyla katılan sekiz katılımcıya ait hesaplanan ortalama risk skoru Tablo 5.4'ün Risk Skoru sütununda verilmiş olup bu değer, bahsedilen risk değerlendirme matrisi (bkz. Tablo 5.3) kullanılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda boyun, omuz, sırt, sağ üst kol-pazu, bel, sol ön kol, bilekler, sağ diz, baldırlar ve ayaklarda orta derecede (sarı bölge) risk hesaplanmışken; diğer vücut bölgelerindeki risk düzeyi ise önerilen matris yöntemine göre kabul edilebilir sınırlar içerisinde yer almıştır.

Tablo 5.4: Anket sonuçlarını gösteren özet tablo

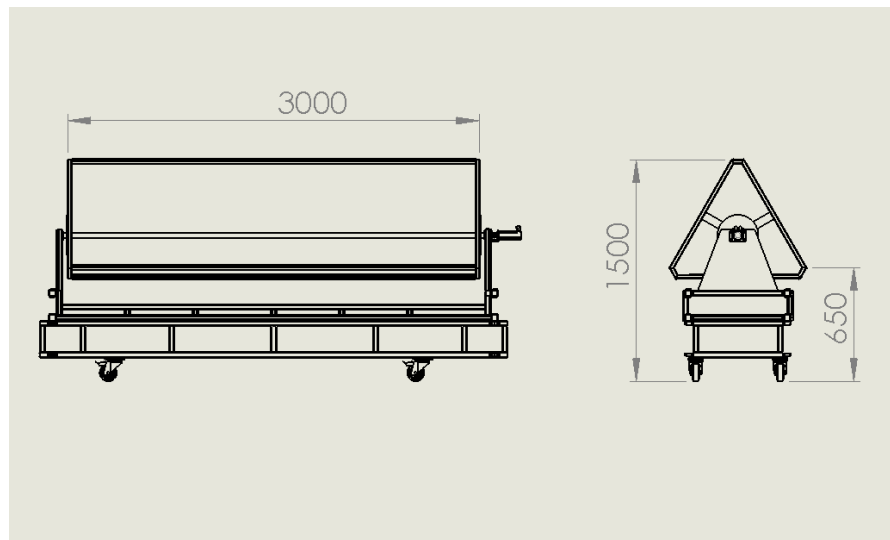
Açıklama	A: 1. bölüme ait ortalama cevaplar	B: 2. bölüme ait ortalama cevaplar	C: 3. bölüme ait ortalama cevaplar	Etkilenen kişi yoğunluğu (%)	Etkilenen kişi yoğunluğu için grup indisi	A*B*C ile hesaplanan etki derecesi	Etki derecesi için grup indisi	Risk Skoru
Boyun	2,0	2,7		0,4	2	14	3	6
Omuz (Sol)	3,3	2,0		0,4	2	20	3	6
Omuz (Sağ)	3,5	2,5		0,3	2	35	4	8
Sırt	2,0	2,0		0,3	2	12	3	6
Üst Kol – Pazu (Sol)	3,0	2,0		0,1	1	30	4	4
Üst Kol – Pazu (Sağ)	2,5	2,5	5	0,3	2	31	4	8
Bel	2,7	3,7	1	0,4	2	29	4	8
Ön Kol (Sol)	2,5	2,0		0,3	2	15	3	6
Ön Kol (Sağ)	2,0	4,0		0,1	1	40	4	4
Dirsek (Sol)	1,0	1,0		0,0	1	1	1	1
Dirsek (Sağ)	4,0	1,0		0,1	1	20	3	3
Bilek – El (Sol)	2,5	3,5		0,3	2	21	3	6
Bilek – El (Sağ)	3,3	4,0	1	0,4	2	26	4	8
Kalça	2,0	5,0	5	0,1	1	50	4	4
Uyluk (Sol)	1,0	1,0		0,0	1	1	1	1
Uyluk (Sağ)	1,0	1,0		0,0	1	1	1	1
Diz (Sol)	4,0	5,0		0,1	1	100	5	5
Diz (Sağ)	4,5	4,0	1	0,3	2	54	4	8
Baldır (Sol)	2,5	2,0		0,3	2	15	3	6
Baldır (Sağ)	2,5	2,0		0,3	2	15	3	6
Ayak (Sol)	5,0	3,5		0,3	2	61	4	8
Ayak (Sağ)	3,3	3,3		0,4	2	33	3	6
A Bölgesi (Sol)	1,0	1,0		0,0	1	1	1	1
A Bölgesi (Sağ)	1,0	1,0		0,0	1	1	1	1
B Bölgesi (Sol)	1,0	1,0		0,0	1	1	1	1
B Bölgesi (Sağ)	2,0	1,0		0,1	1	8	3	3
C Bölgesi (Sol)	4,0	5,0		0,1	1	60	4	4
C Bölgesi (Sağ)	1,0	1,0		0,0	1	1	1	1
D Bölgesi (Sol)	1,0	1,0		0,0	1	1	1	1
D Bölgesi (Sağ)	1,0	1,0		0,0	1	1	1	1
E Bölgesi (Sol)	1,0	1,0		0,0	1	1	1	1
E Bölgesi (Sağ)	1,0	1,0		0,0	1	1	1	1
F Bölgesi (Sol)	1,0	1,0		0,0	1	1	1	1
F Bölgesi (Sağ)	1,0	1,0		0,0	1	1	1	1

5.4.2 Antropometrik ve Teknik Ölçüm Sonuçları

Kablo demetleme konveyör hattı çalışanlarından alınan antropometrik ölçüm değerleri Tablo 5.5'te verilmiştir. Hatta çalışan kadınların boyları 161 cm ile 165 cm arasında, erkeklerin boyları 163 cm ile 181 cm arasında değişmektedir. Konveyör montaj panolarına ait teknik çizim ve ölçüler Şekil 5.5'te verilmiştir. Pano yüksekliği 150 cm'dir. Panonun üst kısmında ya da alt kısmında çalışılırken çalışanların yukarıya doğru uzanmaları ya da aşağıya doğru eğilmeleri gerekmektedir. Gün içerisinde tekrarlı olarak yapılan bu hareketler çalışanlarda zorlanmalara neden olmaktadır.

Tablo 5.5: Hat çalışanlarının antropometrik ölçüm değerleri (cm)

Çalışan	Cinsiyet	Boy	Omuz başı yüksekliği	Dirsek yüksekliği	Bilek yüksekliği	Öne doğru erişme uzaklığı	Kafa boyu	Gövde uzunluğu	Üst kol uzunluğu	Alt kol uzunluğu	El uzunluğu	El genişliği	Kaval uzunluğu	Baldır uzunluğu
1	K	161	131	101	81	63	25	42	28	24	16	9	44	41
2	K	162	132	101	80	63	24	41	31	26	17	8	37	40
3	E	163	139	107	87	68	23	55	34	26	18	9,5	47	43
4	K	164	136	106	85	68	23	47	30	27	15	9	47	42
5	E	173	143	112	87	71	35	52	34	28	18	11,5	47	40
6	K	165	138	105	83	68	21	46	34	26	19	10,5	49	44
7	E	164	133	104	79	64	23	44	27	28	17	10	50	42
8	E	181	150	116	88	78	25	54	36	32	22	10,5	53	46
Ortalama		166	138	106	84	68	25	48	32	27	18	9,75	47	42



Şekil 5.5: Konveyör montaj pano ölçüleri

5.4.3 Hızlı Tüm Vücut Değerlendirme (REBA) Sonuçları

Konveyör hattı çalışanlarında, kabloların montaj panoları üzerindeki gösterimlere göre yerleştirilmesi ve döşenmesi esnasında gözlemlenen dört farklı çalışma duruşu ve bantlama işlemleri esnasında gözlemlenen dört farklı çalışma duruşu REBA yöntemi ile analiz edilmiştir. Bu duruşlar montaj sürecindeki döşeme, demetleme, bantlama, kesme, klips takma gibi farklı işlemleri gerçekleştirirken montaj panosunun farklı bölgeleri üzerinde çalışan operatörler gözlemlenerek tespit edilmiştir. Duruşlara ait görüntüler ve REBA skorlarının hesaplandığı tablolar Şekil 5.6 – 5.13’te verilmiştir.

Gözlemlenen 1. çalışma duruşunun REBA skoru 10 olarak bulunmuştur. Çalışan yana esneyerek ve hafif öne eğilerek çalıştığı için gövde ve üst kol puanı yüksektir. Buna göre duruşun risk seviyesi yüksektir ve kısa zaman içinde önlem gereklidir.

A Grubu		Tablo A	Tablo B	B Grubu	
Gövde	4	6	6	4	Üst kol
Boyun	3			2	Alt kol
Bacaklar	1			2	Bilek
Yük/Kuvvet	0		1	Kavrama	
A Skoru	6		7	B Skoru	
C Skoru		9			
Aktivite Skoru		1			
REBA Skoru		10			



Şekil 5.6: 1. çalışma duruşu için REBA analizi

Gözlemlenen 2. çalışma duruşunun REBA skoru 9 olarak bulunmuştur. Çalışan uzun boylu olduğu için montaj masa yüksekliği boyuna göre kısa kalmaktadır. Masanın alt kısmında yapacağı işlem için aşağıya doğru eğilmesi gerekmekte, bu durum da belde ve boyunda zorlanmalara neden olmaktadır. Gövde ve boyundaki zorlanmalara bağlı olarak duruşun risk seviyesi yüksektir ve kısa zaman içinde önlem gereklidir.

A Grubu		Tablo A	Tablo B	B Grubu	
Gövde	4	6	3	2	Üst kol
Boyun	3			2	Alt kol
Bacaklar	1			2	Bilek
Yük/Kuvvet	0		1	Kavrama	
A Skoru	6		4	B Skoru	
C Skoru		7			
Aktivite Skoru		2			
REBA Skoru		9			



Şekil 5.7: 2. çalışma duruşu için REBA analizi

Gözlemlenen 3. çalışma duruşunun REBA skoru 5 olarak bulunmuştur. Buna göre duruş orta derecede riske sahiptir ve önlem gerektirmektedir.

A Grubu		Tablo A	Tablo B	B Grubu	
Gövde	3	4	2	2	Üst kol
Boyun	2			1	Alt kol
Bacaklar	1			2	Bilek
Yük/Kuvvet	0		1	Kavrama	
A Skoru	4		3	B Skoru	
C Skoru		4			
Aktivite Skoru		1			
REBA Skoru		5			



Şekil 5.8: 3. çalışma duruşu için REBA analizi

Gözlemlenen 4. çalışma duruşunda çalışan montaj panosunun üst kısmında gerçekleştirdiği kablo döşeme işleminde gövdesini burarak çalışmakta, aynı zamanda uzanma hareketi yaptığı için üst kolları zorlanmaktadır. Çalışma duruşunun REBA skoru 10 olarak bulunmuştur. Buna göre duruşun risk seviyesi yüksektir ve kısa zaman içinde önlem gereklidir.

A Grubu		Tablo A	Tablo B	B Grubu	
Gövde	4	6	7	5	Üst kol
Boyun	3			1	Alt kol
Bacaklar	1			2	Bilek
Yük/Kuvvet	0		1	Kavrama	
A Skoru	6		8	B Skoru	
C Skoru		9			
Aktivite Skoru		1			
REBA Skoru		10			



Şekil 5.9: 4. çalışma duruşu için REBA analizi

Gözlemlenen 5. çalışma duruşunda, çalışan montaj panosunun alt kısmına eğilerek kablo döşeme işlemini gerçekleştirmektedir. Çalışan aşağıya doğru eğildiği ve gövdesini burarak çalıştığı için gövde puanı yüksektir. REBA skoru 9'dur, risk seviyesi yüksektir ve kısa zaman içinde önlem gereklidir.

A Grubu		Tablo A	Tablo B	B Grubu	
Gövde	4	6	4	3	Üst kol
Boyun	3			1	Alt kol
Bacaklar	1			2	Bilek
Yük/Kuvvet	0		1	Kavrama	
A Skoru	6		5	B Skoru	
C Skoru		8			
Aktivite Skoru		1			
REBA Skoru		9			



Şekil 5.10: 5. çalışma duruşu için REBA analizi

Gözlemlenen 6. çalışma duruşunda çalışan montaj panosunun üst kısmına doğru uzanmakta ve üst kolları zorlanmaktadır. Aynı zamanda masada yer alan çatalar çalışmanı rahatsız etmektedir. Duruşun REBA skoru 8 olarak bulunmuştur. Risk seviyesi yüksektir ve kısa zaman içinde önlem gereklidir.

A Grubu		Tablo A	Tablo B	B Grubu	
Gövde	2	3	7	5	Üst kol
Boyun	2			1	Alt kol
Bacaklar	1			2	Bilek
Yük/Kuvvet	0		1	Kavrama	
A Skoru	3		8	B Skoru	
C Skoru		7			
Aktivite Skoru		1			
REBA Skoru		8			



Şekil 5.11: 6. çalışma duruşu için REBA analizi

Gözlemlenen 7. çalışma duruşunda çalışan öne doğru eğilerek çalıştığı için boyunda oluşacak zorlanmaya bağlı olarak REBA skoru 9 olarak bulunmuştur. Buna göre duruşun risk seviyesi yüksektir ve kısa zaman içinde önlem gereklidir.

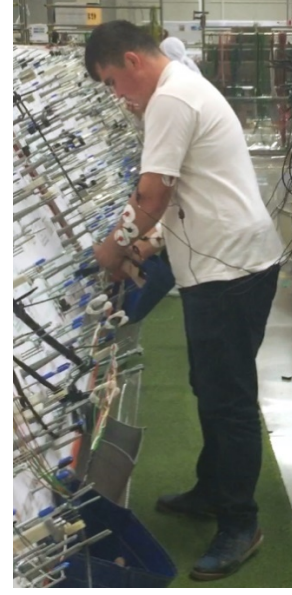
A Grubu		Tablo A	Tablo B	B Grubu	
Gövde	3	6	4	3	Üst kol
Boyun	3			1	Alt kol
Bacaklar	2			2	Bilek
Yük/Kuvvet	0		1	Kavrama	
A Skoru	6		5	B Skoru	
C Skoru		8			
Aktivite Skoru		1			
REBA Skoru		9			



Şekil 5.12: 7. çalışma duruşu için REBA analizi

Gözlemlenen son çalışma duruşunda çalışan montaj masasının alt kısmında bantlama işlemini gerçekleştirdiği için aşağıya doğru eğilmektedir. Bu duruş gövdede ve boyunda zorlanmalara neden olmaktadır. Çalışma duruşunun REBA skoru 9'dur ve risk seviyesi yüksektir, kısa zaman içinde önlem alınması gereklidir.

A Grubu		Tablo A	Tablo B	B Grubu	
Gövde	3	6	4	3	Üst kol
Boyun	3			1	Alt kol
Bacaklar	2			2	Bilek
Yük/Kuvvet	0		1	Kavrama	
A Skoru	6		5	B Skoru	
C Skoru		8			
Aktivite Skoru		1			
REBA Skoru		9			



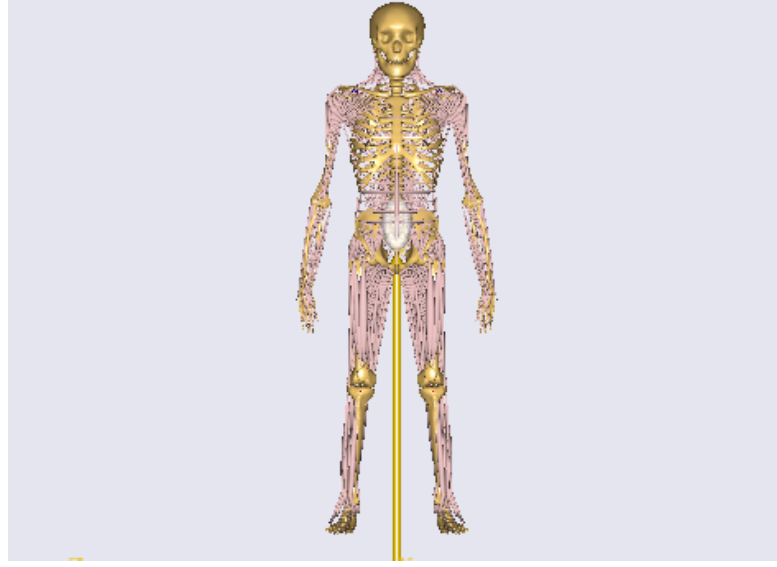
Şekil 5.13: 8. çalışma duruşu için REBA analizi

REBA analizleri sonucunda uzanarak ya da eğilerek yapılan tekrarlı hareketlerde risk değerlerinin yüksek çıktığı ve bu çalışma duruşlarının iyileştirilebilmeleri için önlem alınması gerektiği görülmüştür.

5.4.4 AnyBody Modelleme Sistemi Analiz Sonuçları

Kablo demetleme konveyör hattı çalışanlarında sekiz farklı çalışma duruşu AnyBody Modelleme Sistemi'nde modellenmiş ve statik olarak analiz edilmiştir. Ele alınan duruşlar farklı montaj işlemleri esnasında çalışanların gözlemlenmesiyle belirlenen ve daha önce REBA yöntemi ile analiz edilen duruşlardır. Analiz sonucunda her bir duruş için maksimum kas aktivitesi (yüzde olarak kas eforu), beldeki L4-L5 omurları arasındaki antero posterior reaksiyon kuvveti ve omuzdaki glenohumeral antero posterior eklem reaksiyon kuvveti sonuçları dikkate alınmıştır. Ayrıca AnyBody insan modelinin nötr duruşunda da aynı analizler gerçekleştirilmiş, böylece incelenen duruşlardaki kuvvetler ile nötr duruştaki kuvvetler arasında karşılaştırma yapılması sağlanmıştır. Ayakta nötr duruş; baş ve boynun dik, çenenin yere paralel, yandan bakıldığı zaman kulakların omuzlarla aynı hizada, gövdenin dik, omurga eğriliklerinin düzgün S biçiminde, ellerin gövdenin yanında avuç içleri vücuda bakar durumda, diz kapaklarının düz ve birbirine paralel olduğu hareketsiz ve yüksüz duruşu ifade etmektedir. Nötr duruştaki AnyBody insan modeli Şekil 5.14'te verilmiştir.

Nötr duruştaki model için AnyBody ile yapılan analiz sonucunda kas eforu yaklaşık %14, sol ve sağ taraf glenohumeral eklem reaksiyon kuvvetleri eşit ve 20,557 N ve L4-L5 eklem reaksiyon kuvveti 32,357 N olarak bulunmuştur.



Şekil 5.14: Nötr duruşta AnyBody insan modeli

AnyBody Modelleme Sistemi'nde analiz edilen çalışma duruşlarına ait görüntüler ve sanal insan modellerinin görüntüleri Şekil 5.15 – 5.22'de verilmiştir.

AnyBody ile 1. çalışma duruşu için yapılan analiz sonucunda kas eforu yaklaşık %46, sol taraf glenohumeral eklem reaksiyon kuvveti 144,013 N, sağ taraf glenohumeral eklem reaksiyon kuvveti 5,168 N ve L4-L5 eklem reaksiyon kuvveti 87,402 N olarak bulunmuştur.



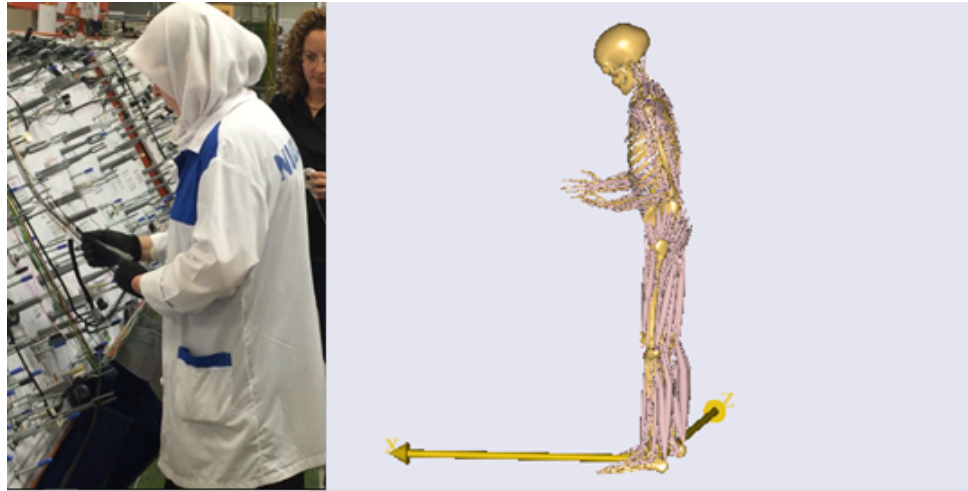
Şekil 5.15: 1. çalışma duruşunda AnyBody insan modeli

AnyBody ile 2. çalışma duruşu için yapılan analiz sonucunda kas eforu yaklaşık %43, sol taraf glenohumeral eklem reaksiyon kuvveti 23,303 N, sağ taraf glenohumeral eklem reaksiyon kuvveti 35,911 N ve L4-L5 eklem reaksiyon kuvveti 202,445 N olarak bulunmuştur.



Şekil 5.16: 2. çalışma duruşunda AnyBody insan modeli

AnyBody ile 3. çalışma duruşu için yapılan analiz sonucunda kas eforu yaklaşık %20, sol taraf glenohumeral eklem reaksiyon kuvveti 15,504 N, sağ taraf glenohumeral eklem reaksiyon kuvveti 1,429 N ve L4-L5 eklem reaksiyon kuvveti 72,835 N olarak bulunmuştur.



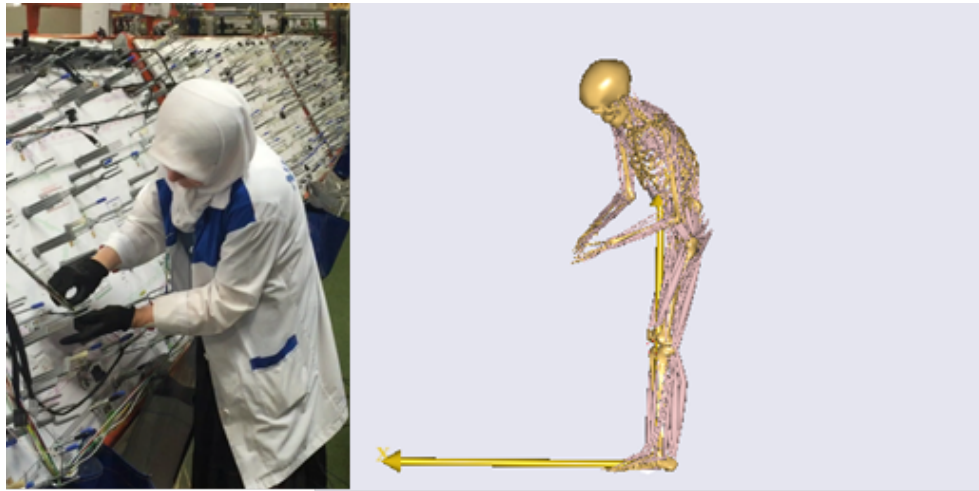
Şekil 5.17: 3. çalışma duruşunda AnyBody insan modeli

AnyBody ile 4. çalışma duruşu için yapılan analiz sonucunda kas eforu yaklaşık %51, sol taraf glenohumeral eklem reaksiyon kuvveti 39,955 N, sağ taraf glenohumeral eklem reaksiyon kuvveti 70,953 N ve L4-L5 eklem reaksiyon kuvveti 67,843 N olarak bulunmuştur.



Şekil 5.18: 4. çalışma duruşunda AnyBody insan modeli

AnyBody ile 5. çalışma duruşu için yapılan analiz sonucunda kas eforu yaklaşık %53, sol taraf glenohumeral eklem reaksiyon kuvveti 8,876 N, sağ taraf glenohumeral eklem reaksiyon kuvveti 6,667 N ve L4-L5 eklem reaksiyon kuvveti 143,995 N olarak bulunmuştur.



Şekil 5.19: 5. çalışma duruşunda AnyBody insan modeli

AnyBody ile 6. çalışma duruşu için yapılan analiz sonucunda kas eforu yaklaşık %26, sol taraf glenohumeral eklem reaksiyon kuvveti 114,408 N, sağ taraf glenohumeral eklem reaksiyon kuvveti 102,342 N ve L4-L5 eklem reaksiyon kuvveti 39,144 N olarak bulunmuştur.



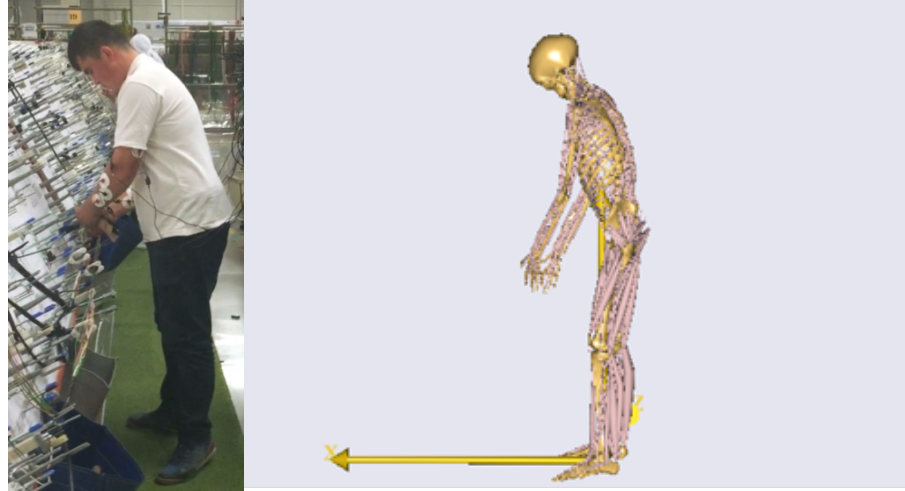
Şekil 5.20: 6. çalışma duruşunda AnyBody insan modeli

AnyBody ile 7. çalışma duruşu için yapılan analiz sonucunda kas eforu yaklaşık %30, sol taraf glenohumeral eklem reaksiyon kuvveti 87,091 N, sağ taraf glenohumeral eklem reaksiyon kuvveti 49,463 N ve L4-L5 eklem reaksiyon kuvveti 98,138 N olarak bulunmuştur.



Şekil 5.21: 7. çalışma duruşunda AnyBody insan modeli

AnyBody ile 8. çalışma duruşu için yapılan analiz sonucunda kas eforu yaklaşık %29, sol taraf glenohumeral eklem reaksiyon kuvveti 31,975 N, sağ taraf glenohumeral eklem reaksiyon kuvveti 19,814 N ve L4-L5 eklem reaksiyon kuvveti 108,979 N olarak bulunmuştur.



Şekil 5.22: 8. çalışma duruşunda AnyBody insan modeli

Çalışanlarda gözlemlenen eğilme ve dönme hareketleri ile bel ağrısına sebep olabilecek benzer zorlanmalar, en çok 4. ve 5. bel omurları arasındaki eklemleri etkilemektedir. Tablo 5.6'da 4. ve 5. bel omurları (L4-L5) arasındaki ortalama eklem reaksiyon kuvveti değerleri özetlenmiştir. En fazla eklem reaksiyon kuvveti çalışanlar arasında en fazla eğilmenin görüldüğü 2. çalışma duruşunda, en düşük eklem reaksiyon kuvveti ise 6. çalışma duruşunda ortaya çıkmıştır.

Tablo 5.6: Duruşların ortalama L4-L5 eklem reaksiyon kuvveti değerleri

Duruş	L4-L5 Eklem Reaksiyon Kuvveti (N)
Nötr	32,357
1	87,402
2	202,445
3	72,835
4	67,843
5	143,995
6	39,144
7	98,138
8	108,979

Çalışanlarda gözlemlenen uzanma hareketleri omuz eklemlerini etkilemektedir. Tablo 5.7’de sol ve sağ omuz eklemlerindeki ortalama eklem reaksiyon kuvveti değerleri özetlenmiştir. Nötr duruşta sol ve sağ omuz duruşları aynı olduğundan reaksiyon kuvvetleri eşittir. Sol tarafta en fazla eklem reaksiyon kuvveti sol omuzda yükselmenin gözlemlendiği 1. çalışma duruşunda, en düşük eklem reaksiyon kuvveti 5. çalışma duruşunda ortaya çıkmıştır. Sağ tarafta ise en fazla eklem reaksiyon kuvveti uzanma hareketinin gözlemlendiği 6. çalışma duruşunda, en düşük eklem reaksiyon kuvveti 3. çalışma duruşunda ortaya çıkmıştır.

Tablo 5.7: Duruşların ortalama omuz eklem reaksiyon kuvvetleri

Duruş	Sol Omuz Eklem Reaksiyon Kuvveti (N)	Sağ Omuz Eklem Reaksiyon Kuvveti (N)
Nötr	20,55728	20,55728
1	144,01351	5,16805
2	23,30387	35,91159
3	15,50426	1,42976
4	39,95513	70,95323
5	8,8766	6,6675
6	114,4082	102,34234
7	87,09151	49,46343
8	31,97571	19,81434

Çalışanların duruşlarından kaynaklanan yorulma, harcanan kas eforuyla ilgilidir. Ele alınan duruşların ortalama maksimum kas aktiviteleri ve buradan yola çıkılarak elde edilen kas eforları Tablo 5.8’de özetlenmiştir. “Kas eforu” maksimum kuvvetin yüzdesi olarak uygulanan kuvvettir. Tabloda görüldüğü gibi; nötr duruşa göre en fazla kas eforu %52,837 değeri ile 5. çalışma duruşunda, en düşük kas eforu %20,351 değeri ile 3. çalışma duruşunda ortaya çıkmıştır.

Efor değeri yüksek olan çalışma duruşlarına bakıldığında; çalışanların öne doğru eğildiği, yukarı doğru uzandığı ya da gövdeyi yana doğru esnettiği gözlenmiştir. Gerçekleştirilen yeni hat tasarımında, çalışanlar için zorlayıcı olan bu duruşları azaltmak hatta ortadan kaldırabilmek için elde edilen sonuçlar dikkate alınmıştır.

Tablo 5.8: Duruşların ortalama kas aktivitesi ve kas eforu değerleri

Duruş	Maksimum kas aktivitesi	Efor (%)
Nötr	0,138498152	13,850
1	0,463760300	46,376
2	0,429991382	42,999
3	0,203510555	20,351
4	0,509075553	50,908
5	0,528366776	52,837
6	0,264085546	26,409
7	0,304114708	30,411
8	0,290156359	29,016

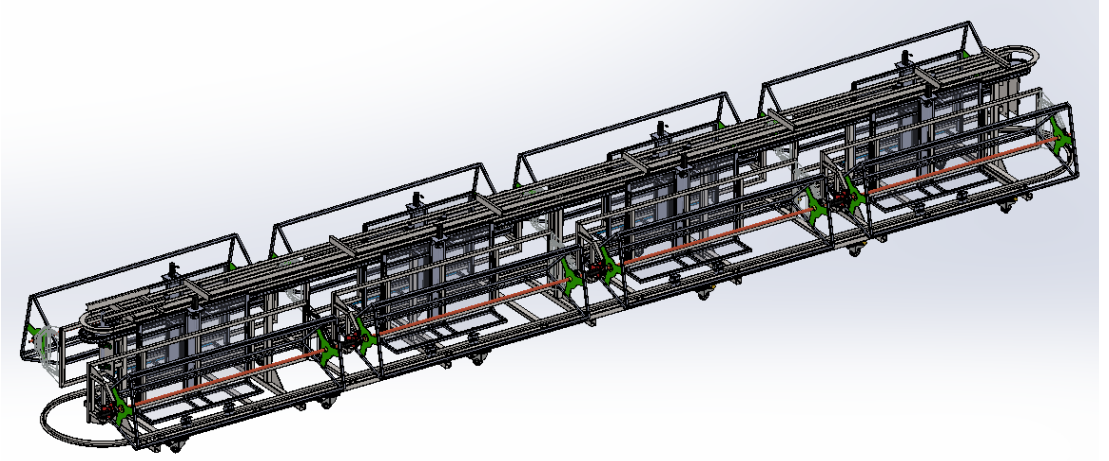
Kablo demetleme konveyör hattı çalışanlarının hareket yakalama sistemi ile kaydedilen görüntüsü iPi Mocap yazılımı yardımıyla işlenmiştir. Görüntü işleme ile elde edilen hareket verisi iPi2Any yazılımı kullanılarak AnyBody Modelleme Sistemi'ne aktarılmıştır. Hareketin işlenmesi sırasında çalışanın üzerindeki insan modelinin iki farklı açıdan alınan görüntüsü Şekil 5.23'te görülmektedir. Hareketli çalışma için gerçekleştirilen kinematik ve ters dinamik analizleri sonucunda L4-L5 eklem reaksiyon kuvveti ortalama 163 N, sağ glenohumeral eklem reaksiyon kuvveti ortalama 13 N, sol glenohumeral eklem reaksiyon kuvveti ortalama 18 N ve kas eforu yaklaşık %60 olarak hesaplanmıştır.



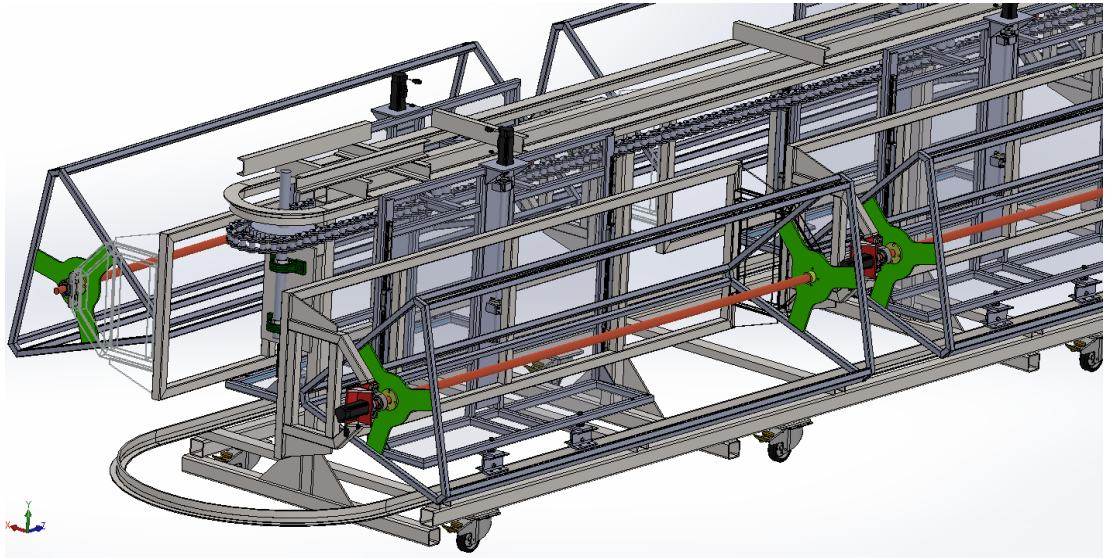
Şekil 5.23: Görüntü işleme sırasında insan modeli

5.4.5 Kablo Demetleme Konveyör Hattının Yeniden Tasarımı

Sabit yükseklikli kablo demetleme konveyör hattında çalışanların antropometrik ölçüleri birbirlerinden farklı olduğundan, belirli bir yükseklikte ve eğimde ilerleyen hat için iyileştirme düşünülmüştür. Buna göre hattın yeniden tasarımı gerçekleştirilmiştir. Yeni tasarımda montaj masası, konveyör dönerken ilgili istasyonda çalışan operatörün durumuna göre hareket edecektir. Teknik gereksinimleri sağlayacak pano ve ekipmanlar, bilgisayar destekli olarak tasarlanmıştır. Konveyör hattı tasarımı Şekil 5.24’te, hattın perspektif görünüşü Şekil 5.25’te görülmektedir.

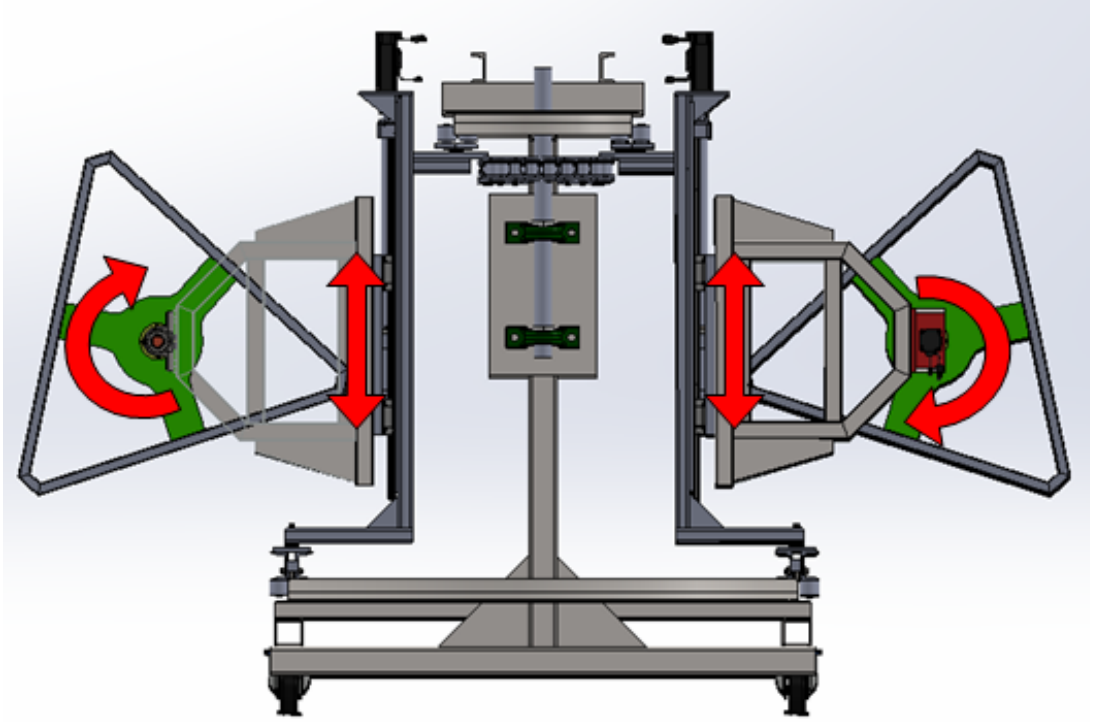


Şekil 5.24: Konveyör hattı tasarımı



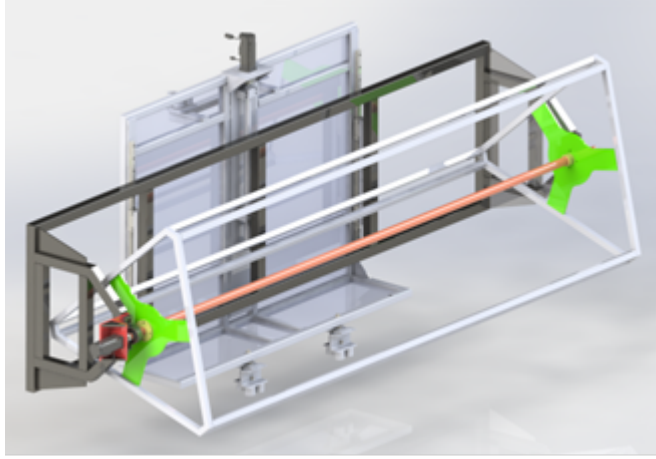
Şekil 5.25: Konveyör hattı perspektif görünüş

Montaj masasının çalışana göre hareket etmesi barkod sistemi ve PLC sistemi yardımıyla olacaktır. Operatörlere ait bilgiler bir barkod içerisinde yerleştirilecek, sistem barkod okuyucular aracılığıyla mesafeden bağımsız ve operatör inisiyatifi olmaksızın okuma işlemi yapabilecektir. Barkod sistemi, her masada yer alan barkod okuyucu tarafından operatörün barkodunun okunmasıyla devreye girecektir. Alınan barkod verisi PLC sistemine aktarılacak, PLC'ye gelen veri yorumlanacak ve bu veriye göre montaj masasında bulunan servo motorlar montaj masasını operatörün boyuna göre ayarlayacaktır. Montaj masaları ve hattın ön görünüşü Şekil 5.26'da verilmiştir.

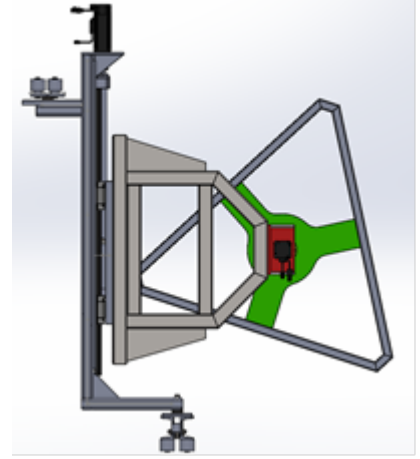


Şekil 5.26: Konveyör hattı ön görünüşü

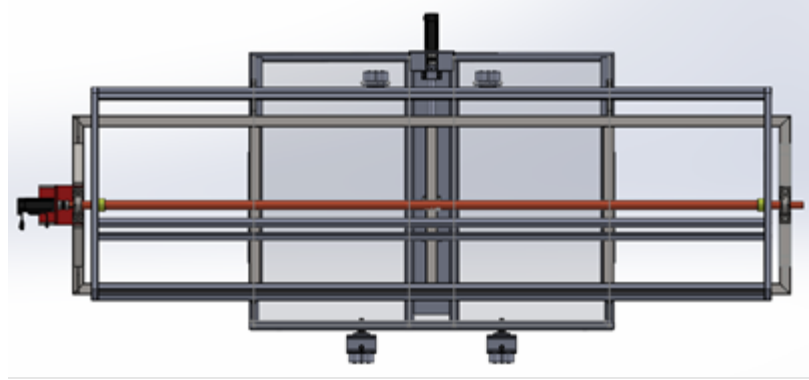
Yeniden tasarlanan montaj masalarının perspektif, ön ve yan görünüşleri Şekil 5.27'de görülmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.27: Montaj masası tasarımı a) Perspektif görünüş, b) Yan görünüş, c) Ön görünüş


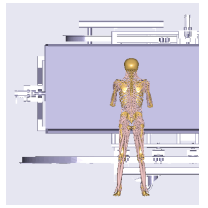

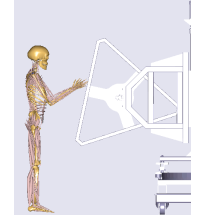

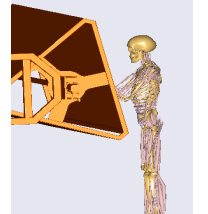

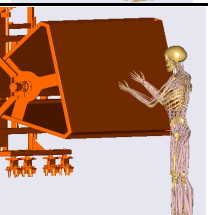
Yeni tasarlanan konveyör hattında, mevcut hatta göre en büyük farklılık konveyör hareket halindeyken üzerindeki montaj masalarının yükseklik ve eğimlerinin değişebilir olmasıdır. Böylece masa yüksekliği o anda masada çalışan operatörün boyuna göre alçalıp yükselecek, çalışanın eğilmesine veya uzanmasına gerek kalmayacaktır. Bunun yanında masanın eğimi yine o anda masada çalışan operatörün hangi kısımda çalıştığına göre değişecek, çalışanın uzanmasına veya dönmesine gerek kalmayacaktır. Eğimin ayarlanmasıyla masa üzerindeki çatalların çalışanı rahatsız etmesi de engellenmiş olacaktır.

5.4.6 Yeniden Tasarlanan Kablo Demetleme Konveyör Hattında Yapılan Analizler


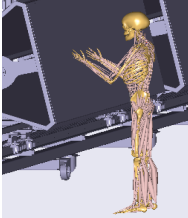

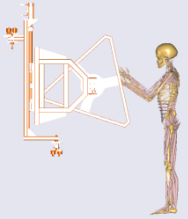
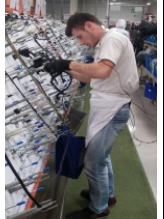
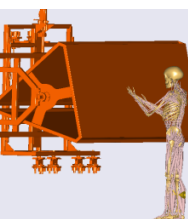
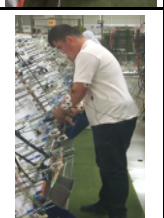
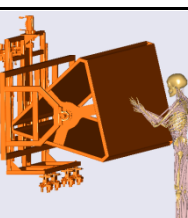
5.4.6.1 AnyBody Modelleme Sistemi ile Analiz

Kablo demetleme konveyör hattında çalışanlara ait çalışma duruşları AMS ile analiz edilmiş ve yapılan tüm çalışmalar dikkate alınarak tasarlanan yeni konveyör hattı için analizler tekrarlanmıştır. Elde edilen AMS analiz sonuçları mevcut durumla karşılaştırmalı olarak Tablo 5.9’da verilmiştir.

Tablo 5.9: Konveyör hattının mevcut ve önerilen durumuna ait çalışma duruşları için AMS analiz sonuçları

Duruşlar	Mevcut duruma ait AMS analiz sonuçları					Önerilen duruma ait AMS analiz sonuçları				
	Duruşlara ait fotoğraflar	Maksimum kas aktivitesi (%)	L4L5 Eklem Reaksiyon Kuvveti (N)	Sol Glenohumeral Eklem Reaksiyon Kuvveti (N)	Sağ Glenohumeral Eklem Reaksiyon Kuvveti (N)	Duruşlara ait fotoğraflar	Maksimum kas aktivitesi (%)	L4L5 Eklem Reaksiyon Kuvveti (N)	Sol Glenohumeral Eklem Reaksiyon Kuvveti (N)	Sağ Glenohumeral Eklem Reaksiyon Kuvveti (N)
1		46,376	87,402	144,013	5,168		21,008	66,926	46,171	18,824
2		42,999	202,445	23,304	35,911		23,298	73,416	40,756	41,874
3		20,351	72,835	15,504	1,429		15,401	47,214	21,653	10,380
4		50,908	67,843	39,955	70,953		21,542	65,903	38,422	51,538

Tablo 5.9 (devam): Konveyör hattının mevcut ve önerilen durumuna ait çalışma duruşları için AMS analiz sonuçları

Duruşlar	Mevcut duruma ait AMS analiz sonuçları					Önerilen duruma ait AMS analiz sonuçları				
	Duruşlara ait fotoğraflar	Maksimum kas aktivitesi (%)	L4L5 Eklem Reaksiyon Kuvveti (N)	Sol Glenohumeral Eklem Reaksiyon Kuvveti (N)	Sağ Glenohumeral Eklem Reaksiyon Kuvveti (N)	Duruşlara ait fotoğraflar	Maksimum kas aktivitesi (%)	L4L5 Eklem Reaksiyon Kuvveti (N)	Sol Glenohumeral Eklem Reaksiyon Kuvveti (N)	Sağ Glenohumeral Eklem Reaksiyon Kuvveti (N)
5		52,837	143,995	8,876	6,667		19,164	56,285	19,191	26,023
6		26,409	39,144	114,408	102,342		15,819	46,113	15,382	20,582
7		30,411	98,138	87,091	49,463		20,931	59,919	57,931	39,008
8		29,016	108,979	31,976	19,814		17,837	49,865	40,541	46,777

Mevcut konveyör hattında en yüksek kas aktivitesi 5. çalışma duruşunda %52,837 iken, tasarımı gerçekleştirilen hatta %19,164'e düşmesi beklenmektedir. L4-L5 eklem reaksiyon kuvveti mevcut durumda aşağıya doğru eğilerek çalışan uzun boylu operatörün çalışma duruşuna aittir ve 202,445 N olarak bulunmuştur. Tasarımı yapılan hatta çalışanın boyuna göre montaj masa yüksekliği ayarlanacağı için bu değer 73,416 N'a düşeceği öngörülmektedir. 144,013 N ile en yüksek sol omuz eklem reaksiyon kuvvetinin görüldüğü 1. çalışma duruşu tasarlanan hat için tekrar analiz edildiğinde bu kuvvetin 46,171 N'a düşmesi, ve sağ omuz eklem reaksiyon kuvvetinin yüksek olduğu 6. çalışma duruşunda da bu değer 102,342 N'dan 20,582 N'a düşmesi beklenmektedir.


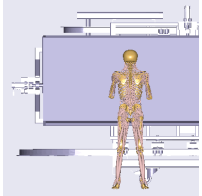
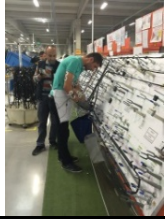
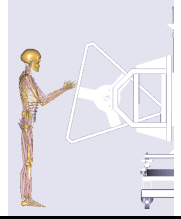
Tasarlanan konveyör hattı için yapılan AMS analizleri sonucunda kas eforu ve eklem reaksiyon kuvveti değerleri mevcut duruma göre genel olarak daha düşük çıkmıştır. Kas eforunun azalması çalışanın daha az yorulması anlamına, eklem reaksiyon kuvvetlerinin düşmesi ise bel ve omuzlardaki ağrı veya rahatsızlık hissinin azalması anlamına gelmektedir.

5.4.6.2 REBA Yöntemi ile Analiz


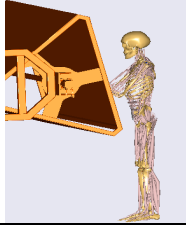

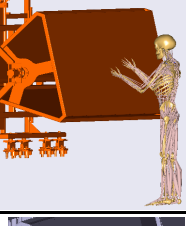

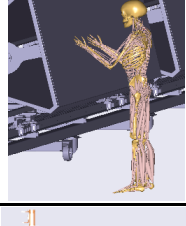

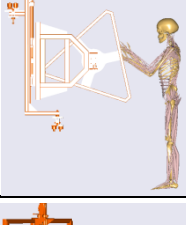
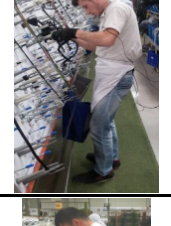

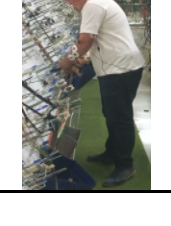
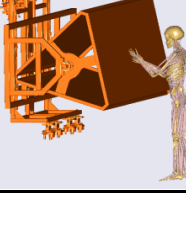
Kablo demetleme konveyör hattında REBA yöntemi ile analiz edilen çalışma duruşlarının, önerilen ve yeniden tasarlanan konveyör hattındaki duruşlar ile karşılaştırılabilmesi amacıyla yeni konveyör hattı için REBA analizleri tekrarlanmıştır. REBA analizi sonuçları mevcut durumla karşılaştırmalı olarak Tablo 5.10'da verilmiştir. Mevcut durumda analiz edilen duruşlardan biri orta risk seviyesine, diğerleri ise yüksek risk seviyesine sahiptir. Yeni tasarım ile önerilen durum için analiz edilen duruşların birinde risk seviyesi düşük, diğerlerinde risk seviyeleri orta derecede bulunmuştur.

Tasarlanan konveyör hattı için yapılan REBA analizlerinde çalışma duruşlarının mevcut duruma göre daha az risk yaratacak duruşlar olacağı belirlenmiştir. Böylece KİSR riskinin azalması sağlanmıştır.

Tablo 5.10: Konveyör hattının mevcut ve önerilen durumuna ait çalışma duruşları için REBA analizi sonuçları

Duruşlar	Mevcut duruma ait REBA analizi sonuçları		Önerilen duruma ait REBA analizi sonuçları	
	Duruşlara ait fotoğraflar	REBA Risk Skoru	Duruşlara ait fotoğraflar	REBA Risk Skoru
1		10 (Yüksek Risk)		4 (Orta Risk)
2		9 (Yüksek Risk)		4 (Orta Risk)

Tablo 5.10 (devam): Konveyör hattının mevcut ve önerilen durumuna ait çalışma duruşları için REBA analizi sonuçları

Duruşlar	Mevcut duruma ait REBA analizi sonuçları		Önerilen duruma ait REBA analizi sonuçları	
	Duruşlara ait fotoğraflar	REBA Risk Skoru	Duruşlara ait fotoğraflar	REBA Risk Skoru
3		5 (Orta Risk)		3 (Düşük Risk)
4		10 (Yüksek Risk)		5 (Orta Risk)
5		9 (Yüksek Risk)		4 (Orta Risk)
6		8 (Yüksek Risk)		4 (Orta Risk)
7		9 (Yüksek Risk)		4 (Orta Risk)
8		9 (Yüksek Risk)		4 (Orta Risk)

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

İşletmelerde ergonomik açıdan uygun olmayan çalışma duruşları, hem işverenler hem de çalışanlar açısından risk ve maliyet yaratabilecek durumlardır. Çalışma duruşlarından kaynaklanacak iş kazası veya meslek hastalıklarının yaratacağı maliyet işletmeler için istenmeyen bir maliyettir. Çalışanlar açısından ise çalışma süresince maruz kaldıkları duruşlar sebebiyle kas iskelet sistemi rahatsızlığı riski mevcuttur. Sözü geçen çalışma duruşları sebep oldukları fizyolojik zorlanmayla çalışan sağlığını olumsuz yönde etkilemekle birlikte, çalışanları psikolojik olarak da zorlamakta ve iş performanslarının düşmesine sebep olmaktadır.

Emek yoğun ve tekrarlı işlemlerin çoğunlukta olduğu montaj süreçlerinde, çalışanların maruz kaldığı mesleğe bağlı kas iskelet sistemi rahatsızlığı riskini ortadan kaldırmak için ergonomik iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır. Ergonomik analiz çalışmalarında son zamanlarda gelişen sanal insan modelleme teknolojisinin ve ergonomi yazılımlarının da kullanılmasıyla etkili sonuçlar elde edilmektedir.

Araç kablo donanımlarını üreten bir işletmede gerçekleştirilen bu çalışmanın amacı, işletmede ele alınan bir kablo demetleme montaj hattında gözlemlenen çalışma duruşlarının ergonomik olarak değerlendirilmesi ve kas iskelet sistemi rahatsızlığı risklerinin belirlenerek bu risklerin azaltılması için hattın yeniden tasarlanmasıdır. Sonuçta uzun vadede çalışan sağlığının korunması ve işletmedeki ürün kalitesi ve verimliliğin artırılması hedeflenmiştir.

Uygulama aşamasında anket yöntemi, REBA yöntemi ve AnyBody Modelleme Sistemi kullanılmıştır. Öncelikle hat çalışanlarına anket uygulanmış ve geliştirilen yeni bir değerlendirme yöntemi ile anket sonuçları değerlendirilmiştir. Anket sonuçlarına göre boyun, omuz, sırt, sağ üst kol-pazu, bel, sol ön kol, bilekler, sağ diz, baldırlar ve ayaklarda orta derecede risk hesaplanmıştır. REBA yöntemi ile yapılan duruş analizleri sonucunda; çalışanların uzanarak veya eğilerek çalışmak zorunda kaldığı durumlarda, özellikle kollar ve bel bölgesinin zorlanmasının etkisiyle duruşlara ait risk değerleri yüksek çıkmış ve önlem alınması gerektiği görülmüştür. AnyBody Modelleme Sistemi ile yapılan duruş analizi sonuçları da

benzer sonuçlar vermiştir. Çalışma duruşları için yapılan kinematik ve ters dinamik analizleri sonuçlarına göre kas aktiviteleri, L4-L5 omurları eklem reaksiyon kuvvetleri ve omuz eklem reaksiyon kuvvetleri eğilme ve uzanma gerektiren duruşlarda daha yüksek çıkmıştır.

Mevcut kablo demetleme konveyör hattı üzerinde yapılan analizler dikkate alınarak, sorun yaratan durumlar tespit edilmiştir. Hat çalışanları farklı antropometrik ölçülere sahip olan ve montaj panolarının farklı bölgeleri üzerinde çalışan operatörlerdir. Mevcut konveyör hattı ise sabit bir yükseklik ve eğimde dönmektedir. Dolayısıyla operatörlerin boyu veya erişme uzaklığı montaj panolarına uymadığı takdirde uygun olmayan duruşlar ortaya çıkmaktadır.

Konveyör hattının her çalışana uygun hale getirilmesi için konveyör montaj masalarının değişken yükseklik ve eğimle dönebileceği şekilde yeniden tasarımı yapılmıştır. Yeni tasarımın en önemli özelliği, konveyör dönerken montaj masalarının çalışana göre hareket edebilmesi olacaktır. Masa yüksekliği ve eğiminin çalışana uygun hale gelmesiyle ergonomik açıdan istenmeyen duruşlar ortadan kalkacaktır. Böylece çalışanlar için uygun ve rahat bir çalışma ortamı sağlanacaktır.

Yeni tasarlanan konveyör hattı, AnyBody Modelleme Sistemi ile sanal ortamda simüle edilmiş ve yeni hatta öngörülen çalışma duruşları için statik analizler tekrarlanmıştır. Kas aktiviteleri ve eklem reaksiyon kuvvetlerinin mevcut duruma göre azaldığı görülmüştür. Önerilen durumdaki çalışma duruşları için REBA analizleri de tekrar edilmiş, duruşlara ait risk seviyelerinin düştüğü belirlenmiştir. Dolayısıyla çalışanlar için yorulma ve kas iskelet sistemi rahatsızlığı riski azalacaktır. Tasarlanan konveyör hattı ve montaj masalarının imalatı gerçekleşmiştir. İşletmede kullanılmaya başlandıktan sonra AMS ile dinamik analizlerin de hat üzerinde tekrarlanması ve elde edilen sonuçların önceki sonuçlarla karşılaştırılması faydalı olacaktır.

7. KAYNAKLAR

Ahmed, S. and Babski-Reeves, K. (2012). Assessment of upper extremity postures in novice and expert during simulated carpentry tasks. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 56(1), 1173-1177.

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

Alexander, N. and Schwameder, H. (2014). Analysis of muscle forces during downhill walking. *Proceedings of the 32nd Conference of the International Society of Biomechanics in Sport*, Johnson City TN, 199-202.

Andersen, M., Damsgaard, M. and Rasmussen, J. (2011). Force-dependent kinematics: A new analysis method for non-conforming joints. *13th Biennial International Symposium, Computer Simulation in Biomechanics*, 2, Leuven.

Andersen, M., Rasmussen, J., Ramsey, D. and Benoit, D. (2010). Validation of knee joint models - an in vivo study. *IFMBE Proceedings*, 31, 1288-1291.

Anonim-1. (2011). Catia ergonomik tasarım ve analiz [online]. (11 Kasım 2016), <http://mehmetyosunlukaya.blogspot.com.tr/2011/12/catia-ergonomik-tasarm-ve-analiz.html>.

Anonim-2. Sammie [online]. (09 Kasım 2016), <http://www.lboro.ac.uk/microsites/lds/sammie/dhm.html>.

Anonim-3. Jack [online]. (09 Kasım 2016), https://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/tecnomatix/manufacturing-simulation/human-ergonomics/jack.shtml.

Anonim-4. AnyBody Industries [online]. (14 Eylül 2014), <http://www.anybodytech.com/?id=891>.

Anonim-5. Canadian Centre for Occupational Safety and Health (CCOHS) [online]. (10 Ocak 2017), <http://www.ccohs.ca/oshanswers/diseases/rmirsi.html>.

Babalık, F. C. (2014). *Mühendisler İçin Ergonomi İşbilim* (4. baskı). Yer Bursa: Dora Yayınları, 1-18.

Battini, D., Faccio, M., Persona, A. and Sgarbossa, F. (2011). New methodological framework to improve productivity and ergonomics in assembly system design. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 41(1), 30-42.

Bernard, B. P., (1997). Musculoskeletal disorders and workplace factors: A critical review of epidemiologic evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity and low back pain, *U.S Department of Health and Human Services NIOSH Publication*, 97-141.

Bernardes, J. M., Wanderck, C. and Moro, A. (2012). Participatory ergonomic intervention for prevention of low back pain: assembly line redesign case. *Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation*, 41, 5993-5998.

Cadova, M. (2013). Use of OpenSim and AnyBody modelling software for dynamic simulation of the human masticatory system. *18th International Symposium on Computational Biomechanics CBU 2013*, 37-38, Ulm.

Cao, E., Inoue, Y., Liu, T. and Shibata, K. (2011). Estimate muscle forces of ankle joint with wearable sensors. *Journal of Biomechanical Science and Engineering*, 6(4), 299-310.

Carbes, S., Tørholm, S., Telfer, S., Woodburn, J., Oosterwaal, M. and Rasmussen, J. (2010). A new multisegmental foot model and marker protocol for accurate simulation of the foot biomechanics during walking. *ISB 2011 Proceedings*, Brüksel.

Chaffin, D. (2007). Human motion simulation for vehicle and workplace design. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 17(5), 475-484.

Chang, S. and Wang, M. (2007). Digital human modeling and workplace evaluation: Using an automobile assembly task as an example. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 17(5), 445-455.

Chryssolouris, G., Mavrikios, D., Fragos, D. and Karabatsou, V. (2000). A virtual reality-based experimentation environment for the verification of human-related factors in assembly processes. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 16(4), 267-276.

Colombo, G. and Cugini, U. (2005). Virtual humans and prototypes to evaluate ergonomics and safety. *Journal of Engineering Design*, 16(2), 195-203.

Coombs, D., Wykosky, S. and Bushelow, M. (2014). Calcaneal fixation plate test method development. *SIMULIA Community Conference*. Providence RI.

Cutlip, K., Nimbarte, A., Chowdhury, S. and Jaridi, M. (2015). Evaluation of shoulder stability during forceful arm exertions. *Industrial and Systems Engineering Review*, 3(1), 49-58.

David, G. C. (2005). Ergonomic methods for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders. *Occupational Medicine*, 55, 190-199.

De Zee, M., Hansen, L., Wong, C., Rasmussen, J. and Simonsen, E. (2007). A generic detailed rigid-body lumbar spine model. *Journal of Biomechanics*, 40(6), 1219-1227.

Dehghan, N., Choobineh, A., and Hasanzadeh, J. (2013). Interventional ergonomic study to correct and improve working postures and decrease discomfort in assembly workers of an electronic industry. *Iran Occupational Health*, 9, 70-79.

Delfs, N., Bohlin, R., Gustafsson, S., Mårdberg, P. and Carlson, J. (2014). Automatic creation of manikin motions affected by cable forces. *Procedia CIRP*, 23, 35-40.

Dickerson, C., Chaffin, D. and Hughes, R. (2007). A mathematical musculoskeletal shoulder model for proactive ergonomic analysis. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 10(6), 389-400.

Duffy, V. (2007). Modified virtual build methodology for computer-aided ergonomics and safety. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 17(5), 413-422.

Erkan, N. (2003). *Ergonomi Verimlilik, Sağlık ve Güvenlik İçin İnsan Faktörü Mühendisliği*. Yer Ankara: Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları No:373, 16-23.

Ferguson, S., Marras, W., Allread, W., Knapik, G., Vandlen, K., Splittstoesser, R. and Yang, G. (2009). Musculoskeletal disorder risk associated with auto rotation angle during an assembly task. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 53(14), 874-878.

Ferguson, S., Marras, W., Allread, W., Knapik, G., Vandlen, K., Splittstoesser, R. and Yang, G. (2011). Musculoskeletal disorder risk as a function of vehicle rotation angle during assembly tasks. *Applied Ergonomics*, 42(5), 699-709.

Feyen, R., Liu, Y., Chaffin, D., Jimmerson, G. and Joseph, B. (2000). Computer-aided ergonomics: A case study of incorporating ergonomics analyses into workplace design. *Applied Ergonomics*, 31(3), 291-300.

Galibarov, P., Dendorfer, S. and Rasmussen, J. (2011). Two computational models of the lumbar spine: comparison and validation. *Proceedings of the 2011 Orthopaedic Research Society Annual Meeting*, Marie Curie Initial Training Network "SpineFX", Long Beach CA.

Gönen, D. ve Oral, A. (2012). Bir tarım aleti montaj ünitesinin bilgisayar destekli ergonomik analizi. *18. Ulusal Ergonomi Kongresi*, Gaziantep.

Graichen, S., Stein, T. and Deml, B. (2014). Adaptive workplace design based on biomechanical stress curves. *Advances in Production Technology*, 175-173.

Güner, B. ve Hasgül, S. (2011). Montaj işçilerinde görülen fiziksel rahatsızlıklar ve risk faktörleri üzerine bir çalışma. *17. Ulusal Ergonomi Kongresi*, Eskişehir.

Han, K., Zander, T., Taylor, W. and Rohlmann, A. (2012). An enhanced and validated generic thoraco-lumbar spine model for prediction of muscle forces. *Medical Engineering & Physics*, 34(6), 709-716.

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

Hopkins, A., Emmenegger, D., Stroud, L., Schärer, C., Lovem, B., Holt, C. and Seebeck, J. (2011). Generation of subject specific kinematic models from motion capture data and AnyBody simulation. *ISB 2011 Proceedings*, Brüksel.

Jayaram, U., Jayaram, S., Shaikh, I., Kim, Y. and Palmer, C. (2006). Introducing quantitative methods into virtual environments for real-time and continuous ergonomic evaluations. *Computers in Industry*, 57(3), 283-296.

Joung, Y. and Do Noh, S. (2014). Integrated modeling and simulation with in line motion captures for automated ergonomic analysis in product lifecycle management. *Concurrent Engineering: Research and Applications*, 22(3), 218-233.

Jung, M., Damsgaard, M., Andersen, M. and Rasmussen, J. (2013). Integrating biomechanical manikins into a CAD environment. *2nd International Digital Human Modeling Symposium*, Michigan Ann Arbor.

Karsh, B. (2006). Theories of work-related musculoskeletal disorders: Implications for ergonomic interventions. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 7(1), 71-88.

Lu, M., Waters, T. and Werren, D. (2015). Development of human posture simulation method for assessing posture angles and spinal loads. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 25(1), 123-136.

Ma, L., Chablat, D., Bennis, F., Zhang, W. and Guillauma, F. (2010). A new muscle fatigue and recovery model and its ergonomics application in human simulation. *Virtual and Physical Prototyping*, 5(3), 123-137.

Mert, E. A. (2014). Ergonomik risk değerlendirme yöntemlerinin karşılaştırılması ve bir çanta imalat atölyesinde uygulanması. İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara.

Miguez, S., Hallbeck, M. and Vink, P. (2012). Participatory ergonomics and new work: reducing neck complaints in assembling. *Work*, 41, 5108-5113.

Mirka, G. A., Ning, X., Jin, S., Haddad, O. and Kucera, K. (2011). Ergonomic interventions for commercial crab fishermen. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 41(5), 481-487.

Nimbarte, A., Sivak-Callcott, J., Zreiqat, M. and Chapman, M. (2013). Neck postures and cervical spine loading among microsurgeons operating with loupes and headlamp. *IIE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors*, 1(4), 215-223.

Nolte, D., Andersen, M., Rasmussen, J. and 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.

Nunes, I. L., (2016). Introduction to musculoskeletal disorders [online]. (10 Ocak 2017), Occupational Safety and Health Administration (OSHA) https://osha.europa.eu/en/topics/msds/index_html.

Oosterwaal, M., Telfer, S., Tørholm, S., Carbes, S., van Rhijn, L., Macduff, R. and Woodburn, J. (2011). Generation of subject-specific, dynamic, multisegment ankle and foot models to improve ortotic design: a feasibility study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 12(1), 256.

Paul, G. and Lee, W. (2011). Interfacing Jack and AnyBody: Towards anthropometric musculoskeletal digital human modeling. *1st International Symposium on Digital Human Modelling*, Lyon Universite Claude Bernard.

Pontonnier, C., de Zee, M., Samani, A., Dumont, G. and Madeleine, P. (2013). Strengths and limitations of a musculoskeletal model for an analysis of simulated meat cutting tasks. *Applied Ergonomics*, 45(3), 592-600.

Rajaei, M., Arjmand, N., Shirazi-Adl, A., Plamondon, A. and Schmidt, H. (2014). Comparative evaluation of six quantitative lifting tools to estimate spine loads during static activities. *Applied Ergonomics*, 48, 22-32.

Ramsey, T., Davis, K., Kotowski, S., Anderson, V. and Waters, T. (2014). Reduction of spinal loads through adjustable interventions at the origin and

destination of palletizing tasks. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 56(7), 1222-1234.

Rasmussen, J. and De Zee, M. (2010). Computational investigation of two interventions for neck and upper extremity pain in office workers. *6th World Congress of Biomechanics WCB 2010*, Singapore, 64-66.

Rasmussen, J., Olesen, C., Lund, M., Andersen, M., Farahani, S. and De Zee, M. (2011). Prediction of motion in musculoskeletal models. *ISB Technical Group on Computer Simulation Symposium*, Leuven.

Reed, M., Park, B., Kim, K. and Raschke, U. (2014). Creating custom human avatars for ergonomic analysis using depth cameras. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 58(1), 1590-1594.

Regazzoni, D. and Rizzi, C. (2014). Digital human models and virtual ergonomics to improve maintainability. *Computer-Aided Design and Applications*, 11(1), 10-19.

Ribeiro, A., Rasmussen, J., Flores, P. and Silva, L. (2011). Modeling of the condyle elements within a biomechanical knee model. *Multibody System Dynamics*, 28, 181-197.

Sabancı, A. ve Sümer, S. K. (2011). *Ergonomi*. Nobel Yayıncılık.

Sandholm, A., Schwartz, C., Pronost, N., de Zee, M., Voigt, M. and Thalmann, D. (2011). Evaluation of a geometry-based knee joint compared to a planar knee joint. *The Visual Computer*, 27(2), 161-171.

Saraswat, P. (2010). Foot model for clinical application. Ph.D., *University of Utah Department of Bioengineering*, Utah.

Seidl, A. (1997). RAMSIS - A new CAD-tool for ergonomic analysis of vehicles developed for the German automotive industry [online]. (17 Kasım 2016), <http://papers.sae.org/970088/>.

Seo, J., Kang, D., Kim, J., Yang, S., Kim, D., Choi, J. and Tack, G. (2014). Finite element analysis of the femur during stance phase of gait based on

musculoskeletal model simulation. *Biomedical Materials and Engineering*, 24(6), 2485-2493.

Spada, S., Sessa, F. and Corato, F. (2012). Virtual reality tools and statistical analysis for human movements simulation. Application to ergonomics optimization of workcells in the automotive industry. *Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation*, 41, 6120-6126.

Sundin, A., Christmansson, M. and Larsson, M. (2004). A different perspective in participatory ergonomics in product development improves assembly work in the automotive industry. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 33(1), 1-14.

Swat, K. and Krzychowicz, G. (1996). ERGONOM: Computer-aided working posture analysis system for workplace designers. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 18(1), 15-26.

Tavakol, M. and Dennick, R. (2011). Making sense of Cronbach's alpha. *International Journal of Medical Education*, 2, 53-55.

Ulin, S. and Keyserling, W. (2004). Case studies of ergonomic interventions in automotive parts distribution operations. *Journal of Occupational Rehabilitation*, 14(4), 307-326.

Wu, T., Tian, R. and Duffy, V. (2012). Performing ergonomics analyses through virtual interactive design: Validity and reliability assessment. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 22(3), 256-268.

Wyss, C. and Brunner, R. (2012). Determination of reaction forces and moments using multibody dynamics and FE analysis: A clinical application. *European Society of Movement Analysis for Adults and Children ESMAC 2012*, Stockholm.

EKLER

8. EKLER

EK A

Tablo A.1: Cornell Kas İskelet Rahatsızlık Anketi (Sayfa 1)

0650.STZ.2014 - SANTEZ PROJESİ - NURSAN KABLO DONANIMLARI SAN. VE TİC. A.Ş. FİZİKSEL RAHATSIZLIK ANKETİ

ÇALIŞANIN MONTAJ OPERATÖR NUMARASI: Cinsiyet : Yaş : Boy : Kilo : İşletmede Kaç Yıldır Çalışıyorsunuz : Medeni Halli : [] Evli [] Bekar Sigara Kullanıyor musunuz? : [] Evet [] Hayır Düzenli Spor Yapıyor musunuz? : [] Evet [] Hayır	İşe başlamadan önce belirtilen vücut bölgeleriyle rahatsızlığınız yaşadınız mı?	Geçtiğimiz 1 yıl içerisinde Belirtilen vücut bölgesi ile ilgili hangi sıklıkla acı, ağrı veya rahatsızlık deneyiminiz oldu? (İlgili kutuya (X) işareti koyarak belirtiniz)	Eğer böyle bir deneyiminiz olduysa, bu rahatsızlığınızı derecelendiriniz: (İlgili kutuya (X) işareti koyarak belirtiniz)					Eğer böyle bir deneyiminiz olduysa bu rahatsızlığın yaptığımız işle ilgili derecelendiriniz: (İlgili kutuya (X) işareti koyarak belirtiniz)					Bu rahatsızlıkla ilgili tıbbi tedavi gördünüz mü? (İlgili kutuya (X) işareti koyarak belirtiniz)		
			Hıç olmadı	1-2 Defa Haftada	3-4 Defa Haftada	1 defa Günde	Günde bir kaç defa	Çok Az	Az	Orta	Derece	Fazla	Çok Fazla	Evet	Hayır
	BOYUN														
	OMUZ														
	SIRT														
	ÜST KOL (PAZU)														
	BEL														
	ÖN KOL														
	DIRSEK														
	BİLEK (EL)														
	KALÇA														
	UYLUK														
	DİZ														
	BALDIR														
	AYAK														

Tablo A.2: Cornell Kas İskelet Rahatsızlık Anketi (Sayfa 2)

Aşağıdaki diyagramda koyu renkli bölümler ankette sorulan vücut bölgelerinin pozisyonlarını göstermektedir. Lütfen uygun kutucuklara (X) işareti koyunuz.		İşe başlamadan önce belirtilen vücut bölgeleriyle rahatsızlığınız yaşadınız mı?		Geçtiğimiz 1 yıl içerisinde Belirtilen vücut bölgesi ile ilgili hangi sıklıkla acı, ağrı veya rahatsızlık deneyiminiz oldu?					Eğer böyle bir deneyiminiz olduysa, bu rahatsızlığınızı derecelendiriniz: (İlgili kutuya (X) işareti koyarak belirtiniz)					Eğer böyle bir deneyiminiz olduysa, bu rahatsızlığınızı derecelendiriniz: (İlgili kutuya (X) işareti koyarak belirtiniz)					Bu rahatsızlıkla ilgili tıbbi tedavi gördünüz mü? (İlgili kutuya (X) işareti koyarak belirtiniz)										
		A BÖLGESİ (Koyu Renkli Bölge)		B BÖLGESİ (Koyu Renkli Bölge)		C BÖLGESİ (Koyu Renkli Bölge)		D BÖLGESİ (Koyu Renkli Bölge)		E BÖLGESİ (Koyu Renkli Bölge)		F BÖLGESİ (Koyu Renkli Bölge)		Çok Az		Az		Orta		Fazla		Çok Fazla		Evet		Hayır			
	SOL																												
	SAĞ																												
	SOL																												
	SAĞ																												
	SOL																												
	SAĞ																												

Anket Soruları CORNELL UNIVERSITY MUSCULOSKELETAL DISCOMFORT QUESTIONNAIRE 'den uyarlanmıştır.

Tablo B.1: Anketin 1. bölümüne verilen cevaplar (Ağrının frekansı)

Çalışan No	1	2	3	4	5	6	7	8
Boyun	2			2			2	
Omuz (Sol)	3				2	5		
Omuz (Sağ)					2	5		
Sırt				2			2	
Üst Kol – Pazu (Sol)							3	
Üst Kol – Pazu (Sağ)							2	3
Bel				4			2	2
Ön Kol (Sol)					2		3	
Ön Kol (Sağ)							2	
Dirsek (Sol)								
Dirsek (Sağ)							4	
Bilek – El (Sol)					2		3	5
Bilek – El (Sağ)					2		3	2
Kalça								
Uyluk (Sol)								
Uyluk (Sağ)								
Diz (Sol)							4	
Diz (Sağ)							4	5
Baldır (Sol)					2		3	
Baldır (Sağ)					2		3	
Ayak (Sol)			5		5			
Ayak (Sağ)			5		3		2	
A Bölgesi (Sol)								
A Bölgesi (Sağ)								
B Bölgesi (Sol)								
B Bölgesi (Sağ)		2						
C Bölgesi (Sol)	4							
C Bölgesi (Sağ)								
D Bölgesi (Sol)								
D Bölgesi (Sağ)								
E Bölgesi (Sol)								
E Bölgesi (Sağ)								
F Bölgesi (Sol)								
F Bölgesi (Sağ)								

Puan Çizelgesi: 1: Hiç Olmadı, 2: Haftada 1-2 Defa, 3: Haftada 1-2 Defa, 4: Günde 1 Defa, 5: günde birkaç defa

Tablo B.2: Anketin 2. bölümüne verilen cevaplar (Ağrının şiddeti)

Çalışan No	1	2	3	4	5	6	7	8
Boyun	4			2			2	
Omuz (Sol)	1				2	3		
Omuz (Sağ)					2	3		
Sırt				2			2	
Üst Kol – Pazu (Sol)							2	
Üst Kol – Pazu (Sağ)							2	3
Bel				3			3	5
Ön Kol (Sol)					2		2	
Ön Kol (Sağ)							4	
Dirsek (Sol)								
Dirsek (Sağ)							1	
Bilek – El (Sol)					2		5	5
Bilek – El (Sağ)					2		5	5
Kalça								
Uyluk (Sol)								
Uyluk (Sağ)								
Diz (Sol)							5	
Diz (Sağ)							3	5
Baldır (Sol)					2		2	
Baldır (Sağ)					2		2	
Ayak (Sol)			2		5			
Ayak (Sağ)			2		5		3	
A Bölgesi (Sol)								
A Bölgesi (Sağ)								
B Bölgesi (Sol)								
B Bölgesi (Sağ)		1						
C Bölgesi (Sol)	5							
C Bölgesi (Sağ)								
D Bölgesi (Sol)								
D Bölgesi (Sağ)								
E Bölgesi (Sol)								
E Bölgesi (Sağ)								
F Bölgesi (Sol)								
F Bölgesi (Sağ)								

Puan Çizelgesi: 1: Çok Az, 2: Az, 3: Orta Derece, 4: Fazla, 5: Çok Fazla

Tablo B.3: Anketin 3. bölümüne verilen cevaplar (Ağrının işle ilgisi)

Çalışan No	1	2	3	4	5	6	7	8
Boyun	2			1				
Omuz (Sol)	1				3	5	5	
Omuz (Sağ)					3	5		
Sırt				1			5	
Üst Kol – Pazu (Sol)							5	
Üst Kol – Pazu (Sağ)							5	5
Bel				3			5	1
Ön Kol (Sol)					1		5	
Ön Kol (Sağ)							5	
Dirsek (Sol)								
Dirsek (Sağ)							5	
Bilek – El (Sol)					1		4	1
Bilek – El (Sağ)					1		4	5
Kalça								
Uyluk (Sol)								
Uyluk (Sağ)								
Diz (Sol)							5	
Diz (Sağ)							5	1
Baldır (Sol)					1		5	
Baldır (Sağ)					1		5	
Ayak (Sol)			2		5			
Ayak (Sağ)			2		5		2	
A Bölgesi (Sol)								
A Bölgesi (Sağ)								
B Bölgesi (Sol)								
B Bölgesi (Sağ)		4						
C Bölgesi (Sol)	3							
C Bölgesi (Sağ)								
D Bölgesi (Sol)								
D Bölgesi (Sağ)								
E Bölgesi (Sol)								
E Bölgesi (Sağ)								
F Bölgesi (Sol)								
F Bölgesi (Sağ)								

Puan Çizelgesi: 1: Çok Az, 2: Az, 3: Orta Derece, 4: Fazla, 5: Çok Fazla