



**OTOMOBİL MONTAJ HATTI İÇİNDE HIZ  
DEĞİŞİKLİĞİNİN EKLEM KUVVET VE TORKLARINA  
ETKİSİ**

**Derya İDE**



T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OTOMOBİL MONTAJ HATTI İÇİNDE HIZ  
DEĞİŞİKLİĞİNİN EKLEM KUVVET VE TORKLARINA  
ETKİSİ**

**Derya İDE**

Doç. Dr . Tülin GÜNDÜZ  
(Danışman)

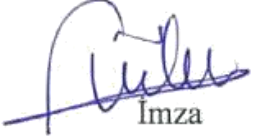
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2017

## TEZ ONAYI

Derya İde tarafından hazırlanan “Otomobil Montaj Hattı İçinde Hız Değişikliğinin Eklem Kuvvet ve Torklarına Etkisi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman :** Doç. Dr. Tülin Gündüz



İmza

**Başkan :** Doç. Dr. Tülin Gündüz  
UÜ. Mühendislik Fakültesi,  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye :** Prof. Dr. Emin Kahya  
ESOGÜ. Mühendislik Mimarlık Fakültesi,  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı



İmza

**Üye:** Yrd. Doç. Dr. Türker Özalp  
UÜ. Mühendislik Fakültesi,  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı



İmza

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**



**Prof. Dr. Ali BAYRAM**

**Enstitü Müdürü**

**09/06/2017**

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

.././.....  
**İmza**  
**Derya İde**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### OTOMOBİL MONTAJ HATTI İÇİNDE HIZ DEĞİŞİKLİĞİNİN EKLEM KUVVET VE TORKLARINA ETKİSİ

**Derya İDE**

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman : Doç. Dr. Tülin GÜNDÜZ**

Üretim endüstrilerinde, çalışanlar üzerinde fiziksel yükler oluşur. Bu çalışmanın amacı, fiziksel yüklenme esnasında vücut eklemlerindeki kuvvet ve torkların farklı süreler içinde nasıl etkilendiğini araştırmaktır. Bu yüklerin etkisi, bir otomotiv endüstrisi montaj hattı için incelenmektedir. Özellikle montaj hatlarında, operatörlerden, belirli bir sürede işi yapması beklenmektedir. Operatör de, hızını ve hareketlerini, bu işi zamanında tamamlamak üzere kurgular. Bu süre zarfında, çalışanın üzerinde oluşan fiziksel kuvvetler de buna bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu çalışmada, çalışanın, bir prosesi hızlı yapması ile yavaş yapmasının, vücut üzerinde, hangi değerlerde, nasıl etki oluşturduğu ortaya konulmuştur. Veri toplamak için, donanım alt sistemi olarak, bir hareket yakalama sistemi, yazılım alt sistemi olarak da fiziksel tabanlı insan simülasyonu olan bir araç içeren sistem kullanılmıştır. Elde edilecek biyomekanik veriler, alt gövde(L4), üst gövde(T12), sol omuz ve üst kol(Lshoulder), sağ omuz ve üst kol(Rshoulder) olarak bilinen eklem kuvvetlerini ve torklarını değerlendirmeyi sağlamıştır. Montaj istasyonunda çalışan operatörün vücudundaki belli eklemlerde oluşan kuvvet ve torklar 3 eksenli olarak belirlenmiştir. Farklı senaryolarda, gerçek bir üretim istasyonunda alınacak veriler, hareket yakalama sistemi ve simülasyon aracı kullanılarak sayısal olarak ortaya konulmuştur. Sonuçlar, operatörün 3 saniyelik çalışmasının, 5 saniye ile kıyaslandığında alt gövde(L4), üst gövde(T12), sol omuz ve üst kol(Lshoulder) eklemlerindeki kuvvet ve torklarda negatif etkileşim meydana geldiğini göstermektedir. Ancak, sağ omuz ve üst kol(Rshoulder) eklemlerindeki kuvvet ve tork değerlerinde, operatörün baskın kullandığı eli ile ilişkili olarak bir azalma görülmüştür. Ayrıca, hızdaki değişiklikler nedeni ile tüm eklem kuvvet ve tork grafiklerdeki başlangıç aralıklarında dalgalanmalar ve pik değerler vardır. Başlangıç ivmesi, kas-iskelet sistemi bozuklukları, fiziksel yükler ve ergonomik sorunlar ile yüksek ilişkiye sahiptir. Bu durum, üretim kapasitesini arttırmak için bir prosesi hızlandırmanın, operatör üzerindeki yükleri de dikkate alarak daha iyi analiz edilmesi gerektiği anlamına gelmektedir. Bu çalışma, operatör için uygun işlem süresinin sağlanmasının önemini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Fیزیyolojik zorlanma, hareket yakalama sistemi, otomotiv montaj hattı, gerçek zamanlı ergonomi değerlendirme, eklem kuvvet ve torkları

**2017, vii+53 sayfa**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

### **THE EFFECT OF JOINT FORCES AND TORQUES ON SPEED VARIATION IN AUTOMOBILE ASSEMBLY LINE**

**Derya İDE**

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Industrial Engineering

**Supervisor:** Assoc. Prof. Dr. Tülin GÜNDÜZ

In production industries, physical loads have been observed for employees. The purpose of this study was to evaluate the effects of different takt times on the forces and torques in body joints during loading. The impact of these loads has been investigated in automotive industry assembly lines. Especially in assembly lines, expectations from operators are to do processes in a certain time. So, the operator edits his/her speed and movements to complete this work in time. During this time, physical forces generated on the operator also vary accordingly. In this study, it was revealed which values are affected on the body and how the impact will be occurred when working fast and compared with working slow. An integrated system that includes a motion capture system as hardware sub-system and a tool for physics-based human simulation as software sub-system was used for data collection. Comprehensive simulated biomechanical data allowed us to evaluate joint forces and torques the bottom of torso (L4), top of torso (T12), left shoulder and upper arm (Lshoulder), right shoulder and upper arm (Rshoulder). The forces and torques on the body joints which occur on the operator working at the assembly station was determined as 3 axes. In different scenarios, data received at a real production station was quantified using motion capture and simulation tool. Results indicate that when the operator worked in 3 seconds compared with working 5 seconds, there occurred negative impactation the bottom of torso (L4), top of torso (T12), left shoulder and upper arm (Lshoulder) joint forces and torques but there was a reduction in the joint force and torque values on the upper arm (Rshoulder) which is related to the dominant used hand of the operator. Furthermore, there are fluctuations and peak values in all joint forces and torques at the initial intervals of the graphs due to the variation in the speed. The initial acceleration is highly correlated with the risk of musculoskeletal disorders, physical loads and ergonomic problems. This case means that considering the loads on the operator, accelerating a process should be better analyzed to raise the production capacity. This study illustrates the importance of providing the appropriate processing time for the operator.

**Keywords:** Physical loads, Motion Capture System, assembly line, real-time ergonomics evaluation, joint forces and torques

**2017, vii+53 pages**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bünyesinde bulunan ergonomik ölçüm cihazının kullanımını sağlayarak, personelleri ile denemelerde yer alan, eş-araştırma, geliştirme, analiz işlemlerine verdikleri katkı ve finansman için Tofaş Ar-Ge Merkezi ile Üretim Süreç Araştırma ve İnovasyon Yöneticiliği'ne, çalışmalarımı nihayete erdirmem için desteklerini sunan tez danışmanım Uludağ Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Tülin GÜNDÜZ'e ve manevi desteklerini hep yanımda hissettiğim aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Derya İde  
.../.../2017



# İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	3
2.1 Ergonomi.....	3
2.2 Ergonomiyi Oluşturan Başlıca Bilimler.....	6
2.2.1 Antropometri.....	6
2.2.2 Fizyoloji.....	8
2.2.3 Biyomekanik.....	9
2.3 Fiziksel Yükler.....	11
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	14
3.1. Katılımcılar.....	15
3.2. Çalışma Materyalleri ve Uygulama Alanı.....	15
3.3 Deneysel Tasarım.....	18
3.3.1 Veri toplama için donanım alt sistemi.....	18
3.3.2 Veri işleme için yazılım alt sistemi.....	23
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	27
5. SONUÇ.....	36
KAYNAKLAR.....	36
EKLER.....	39
EK 1 Üretim hattında uygulanan MURI ergonomi analizi matrisi.....	41
EK 2 Gypsy'nin giydirilmesi.....	42
EK 3 Autocal ara programı data dosyası örneği.....	43
EK 4 Giysi üzerindeki bağlantı giriş noktaları.....	46
EK 5 Donanım ve yazılım arasındaki bağlantılar.....	46
EK 6 Cobrview ara programı data dosyası örneği.....	47
EK 7 Donanım ve yazılım alt yapısına ait 2 farklı model görüntüsü.....	50
EK 8 DB taşınan yükün ağırlık girişi.....	52
EK 9 Bütünleşik sistem mantıksal şema gösterimi.....	53
ÖZGEÇMİŞ.....	54



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

### Açıklama

n	Katılımcı sayısı
kg	Kilogram
F	Kuvvet
m	Metre
mm	Milimetre
min	Minimum
max	Maksimum
N	Newton
N.m	Newton-metre
ort	Ortalama
T	Tork
sn	Saniye
t	Süre

### Kısaltmalar

### Açıklama

AB	Avrupa Birliği
BPDS	Body map for Body Part Discomfort Score
L4	Bottom of torso
ÇP	Çerçeve Projesi
DB	Digital Biomechanics
DHM	Digital Human Modelling
EMG	Electromiyogram
FTsensors	Force Torque sensors
HMS	Human Machine System
Lshoulder	Left shoulder and upper arm
MPU	Main Processing Unit
MoCap	Motion Capture
OWAS	Ovako Working posture Assessment System
QEC	Quick Exposure Check
REBA	Rapid Entire body Assessment
RULA	Rapid Upper-Limb Assesment
RPE	Rating of Perceived Exertion
RAAL	Rear Axle Assembly Line
RWAL	Rear Wheel Group Assembly Line
Rshoulder	Right shoulder and upper arm
RP	Robo-Partner
SOFI	Swedish Occupational Fatigue Inventory
TOFAŞ	Türk Otomobil Fabrikası A.Ş
T12	Top of torso
UK	United Kingtom
WRMDs	Work-Related Musculoskeletal Disorders

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Ergonomi çalışmalarında ele alınan başlıklar .....	5
Şekil 2.2. İş ile ilgili risk etkenleri .....	6
Şekil 2.3. Antropometrik bazı ölçüler .....	7
Şekil 2.4. Yüklenme ve zorlanma kavramlarının mekanik modeli .....	8
Şekil 2.5. İşletmelerde yüklenme bileşenleri .....	9
Şekil 2.6. Simülasyon çalışma şeması.....	11
Şekil 2.7. Bir vücut segmentinin serbest vücut diyagramı .....	12
Şekil 2.8. Kas-iskelet sisteminde oluşan yüklenmeler .....	13
Şekil 3.1. Arka süspansiyon montaj hattı .....	14
Şekil 3.2. (a) Tekerlek grubu hattına yürüme; (b) Tekerlek grubunu kaldırma; .....	15
(c) Arka aks grubuna yürüme;(d) Tekerlek grubunun arka aks pozisyonlaması .....	15
Şekil 3.3. (a) Arka tekerlek Grubu; (b) Arka aks .....	17
Şekil 3.4. Arka tekerlek grubu parçaları .....	17
Şekil 3.5. Süspansiyon montaj hattı parça akışı .....	18
Şekil 3.6. Üretim hattında gypsy giydirilmiş operatör görüntüsü .....	18
Şekil 3.7. Gypsy parçaları .....	19
Şekil 3.8. Sensör- potansiyometre bulunan alanlar .....	20
Şekil 3.9. (a) Potansiyometre (b) Gyrolar .....	20
Şekil 3.10. Autocal vücut eklem noktaları tanımlama şeması .....	20
Şekil 3.11. Kalibrasyon kiti köşelerine yerleştirilen noktalar .....	21
Şekil 3.12. (a) Eklem noktaları; (b) Gypsy .....	22
Şekil 3.13. Gyroların programa tanımlanma ve display değer tutarlılık ekranı .....	22
Şekil 3.14. Cobrerview model hareket görüntüsü .....	23
Şekil 3.15. DB arayüz ekranları .....	25
Şekil 3.16. BDIPlot modu pencereleri .....	26
Şekil 3.17. DB run kutusu ve komut çubuğu gösterimi .....	26
Şekil 4.1. L4 ortalama kuvvet diyagramları (5 sn) .....	29
Şekil 4.2. L4 ortalama kuvvet diyagramları (3 sn) .....	29
Şekil 4.3. L4 ortalama tork diyagramları (5 sn) .....	29
Şekil 4.4. L4 ortalama tork diyagramları (3 sn) .....	29
Şekil 4.5. T12 ortalama kuvvet diyagramları (5 sn) .....	30
Şekil 4.6. T12 ortalama kuvvet diyagramları (3 sn) .....	30
Şekil 4.7. T12 ortalama tork diyagramları (5 sn) .....	30
Şekil 4.8. T12 ortalama tork diyagramları (3 sn) .....	30
Şekil 4.9. Lshoulder ortalama kuvvet diyagramları (5 sn) .....	31
Şekil 4.10. Lshoulder ortalama kuvvet diyagramları (3 sn) .....	31
Şekil 4.11. Lshoulder ortalama tork diyagramları (5 sn) .....	31
Şekil 4.12. Lshoulder ortalama tork diyagramları (3 sn) .....	31
Şekil 4.13. Rshoulder ortalama kuvvet diyagramları (5 sn) .....	32
Şekil 4.14. Rshoulder ortalama kuvvet diyagramları (3 sn) .....	32
Şekil 4.15. Rshoulder ortalama tork diyagramları (5 sn) .....	32
Şekil 4.16. Rshoulder ortalama tork diyagramları (3 sn) .....	32

## ÇİZELGELER DİZİNİ

**Sayfa**

Çizelge 3.1. Demografik bilgiler.....	16
Çizelge 3.2. Eklem noktaları program adları .....	21
Çizelge 4.1. Kuvvet ve tork pik değerler (3 sn/hızlı ve 5 sn/yavaş) .....	28



## 1.GİRİŞ

Endüstriyel bir imalat süreci boyunca, vücut, oturma, eğilme, emekleme, diz çökme gibi birçok farklı pozisyon alır ve hareket eder. Bu pozisyonlar, işçileri, uygun olmayan postür, ağır yük kaldırma, tekrarlayıcı hareketler ve el / kol ve tüm vücut titreşimi gibi ergonomik risk faktörlerine maruz bırakır (Everett 1997). Bunlar, operatörün vücudundaki stres düzeyini önemli ölçüde artırır ve kas-iskelet sistemi ile ilgili meslek hastalıklarına ve uzun süreli yaralanmalara neden olabilir (Hartmann 2009, Schaub ve Landau 2004). Bu gibi eylemler arasındaki ortak payda, imalat prosesleri boyunca çok ve sıkça yapılmasıdır. Üretim endüstrisindeki rekabet, dünya çapında hayati bir hale gelirken, birçok şirket ürün kalitesini yükseltme, ürün geliştirme maliyetlerini düşürme ve yeni ürünler için montajdan ürüne kadar geçen süreyi kısaltma eğilimindedir (Wang ve ark. 2013). Montaj işlemleri, ürünün maliyetinin çoğunluğunu oluşturmaktadır (Boothroyd ve Dewhurst 1989). Montaj çevrim süresini azaltmak, maliyetleri düşürmek için iyi bir çözüm gibi görünmektedir. Bu sebeple, operatör hızlı bir şekilde hareket etmelidir çünkü proses süresi operatörün hızı ile birbirine bağlıdır. Ancak, operatör hareketlerinin farklı hızları, tüm vücut üzerinde farklı yüklere neden olur. Literatürde birçok araştırma, özellikle otomotiv endüstrisinde, farklı prosesler sırasında yüklerin, eklem kuvvetleri ve momentleri üzerine etkisini analiz etmiştir. Otomotiv endüstrisi, gelişmiş üretim sistemleri ve birçok manuel görevin olduğu üretim süreçlerinde yüksek otomasyon seviyeleri ile ergonomi üzerinde çalışmak için özellikle uygundur (Thun ve ark. 2011). Ergonomi problemleri büyük oranda üretim mühendisliği bağlamında potansiyel kalite riski olarak düşünülmüştür. Orta ve yüksek seviyeli ergonomik yüklenme görevlerinin %80'i kalite sorunları göstermiştir (Falck ve ark. 2010). Feyen ve ark. (2000) tarafından makalelerinde belirtildiği gibi, mühendisler, insan kaynaklı iş tasarımında çeşitli kaynaklardan gelen ergonomi bilgilerinin, gerçek zamanlı bir iş yapılmadan önce, incelenmesine olanak sağlayan bilgisayar destekli teknikler kullanabilir (Tian ve Duffy 2011). Son yıllarda, analiz edilen operatörlere yerleştirilen sensörleri kullanarak, gerçek zamanlı vücut postür (duruş) veri toplama yöntemini tanıtan doğrudan ölçüm araçları geliştirilmiştir. Bunlar hareket yakalama (MoCap) sistemleridir. MoCap, insan hareket analizine yönelik çok çeşitli uygulamalarda kullanılan güçlü bir araçtır (Latella ve ark. 2015). Bu yöntemler, karmaşık ve maliyet

gerektiren donanım yapısı ile gerçek zamanlı olarak kaydedilen verileri analize etmek ve yorumlamak için çok çaba gerektirir (Bernmark ve Wiktorin 2002, Freivalds ve ark. 2000, Radwin ve Lin 1993). Süreç simülasyonunu gerçekleştirmek için hareket yakalama sistemlerinin iyi sonuçlar verdiği de bilinmektedir (Wu ve ark. 2012). Bu çalışmanın amacı, hızlı çalışma, yavaş çalışma ile kıyaslandığında, operatör eklemleri üzerindeki kuvvet ve tork değerlerini bir ölçüm aracı ile sayısallaştırma ve çalışan üzerinde oluşan fizyolojik yükleri ortaya koymaktır. Elde edilen değerler, farklı hız seviyeleri için, iki ayrı zaman periyodu içinde, eklem kuvvetleri ve torklarını yorumlamamıza olanak sağlayacaktır. Böylece, operatörler için doğru çalışma süresi ve hızı iteratif bir şekilde bulunabilir.



## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1 Ergonomi

İnsanlar, içinde buldukları fiziksel çevre ile sürekli bir etkileşim halindedir. Bu etkileşimlerin irdelenip ortaya konulması, çalışanların etkinliğinin artırılması, gereksiz ve aşırı zorlanmalardan kaçınılması, çevre ile etkileşimde bulunan kişinin kısa veya uzun vadede zarara uğramasını önlemek, üretim hatlarında yapılan çalışmaların ortak amacıdır. Bu amaç, gereksiz aktivitelerin belirlenerek ortadan kaldırılması için çok disiplinli bir araştırma ve geliştirme alanına ihtiyaç duyulmasına neden olmuştur. İnsanın davranışsal ve biyolojik özelliklerinin gözlemlenip, bunlara uygun yaşama ve çalışma ortamlarının oluşturulmasını amaçlayan bilim dalı Ergonomi'dir. Ergonomi, insanı anatomik, antropometrik, fizyolojik, psikolojik ve sosyolojik açıdan inceleyerek, katlanabileceği sınırları tespit eder ve 2 temel başlığı araştırır:

#### 1) İşin insana uyumu ;

- ∇ Çalışma yerinin insana uygun olarak düzenlenmesi
- ∇ Çalışma çevresinin insana uygun olarak düzenlenmesi
- ∇ Çalışma zamanlarının insana uygun olarak düzenlenmesi

#### 2) İnsanın işe uyumu;

- ∇ Kişinin işin içeriğine bireysel yatkınlığı, özellikle yaşı, cinsiyeti ve bedensel dikkate alınarak yapılan personel planlaması ve işe yerleştirme
- ∇ Eğitim
  - ◆ Haftada min 1 saat

## ∇ Motivasyon

- ◆ Parasal özendiriciler
- ◆ Yarı parasal özendiriciler
- ◆ Terfi
- ◆ Takdir

İnsan ve iş arasındaki uyum ne kadar çok sağlanırsa, güvenlik ve çalışan etkinliği de bu oranda sağlanmış demektir.

Ergonomi, fiziksel, organizasyonel-yönetimsel, bilişsel ergonomi olmak üzere 3 sınıfa ayrılır. Fiziksel ergonomi, kişinin fiziksel çevresinin tasarımını kapsar. Gürültü, titreşim, aydınlatma, termal konfor gibi çalışanın işini yapar iken dış çevreye bağlı faktörlerin etkisini inceler. Organizasyonel-yönetimsel ergonomi, örgütsel yapıları, politika ve süreçleri dahil olmak üzere sosyoteknik sistemlerin en uygun duruma getirilmesiyle ilgilenir. Çalışanların katılımı, iş programlama, katılımcı ergonomi başlıklarını içerir. Bilişsel ergonomi, insanlar ve sistemin diğer öğeleriyle etkileşimleri açısından algılama, bellek, mantık yürütme ve motor cevap gibi mental süreçlerle ilgilenir. Çalışanlar, çok miktarda veriyi algılama ve yorumlama, bu süreçte kritik kararlar verme, makinaları hızlı ve doğru şekilde kullanma durumunda kalmaktadır. Bilişsel ergonomi, insan-makine sistemlerinde (HMS) hata olasılığını en aza indirmeyi hedeflemekle birlikte kişinin zihinsel yorgunluğunu da araştırır.

Bir işin ergonomik olabilmesi için , biyolojik yetenek sınırları içerisinde yapılabilir, sürekli performans sınırları içerisinde katlanılabilir, sosyal sınırlar içerisinde kabul edilebilir, psikolojik beklentilere uygun olarak hoşnutluk sağlayan, bireysel olarak tüm yetenekleri tatmin eden kendini gerçekleştirebilir özellikte olması gerekir. Ergonomi, üretim ve hizmet endüstrisinde bir çok farklı açıdan ele alınan bir bilimdir (Şekil 2.1). İnsanı gözlemleyip, olumsuz koşul görüldüğü takdirde çevreye müdahale ederek, optimal koşulları oluşturmak için ergonomi, birçok farklı analiz ve yöntem sunmaktadır. Bu analiz ve yöntemler, çalışan öz bildirimleri, gözlem ve direkt ölçümlerdir. Çalışan öz bildirim değerlendirme yöntemleri, subjektif yöntemlerdir ve anketler, kontrol listeleri ile toplanan verilere dayalıdır.

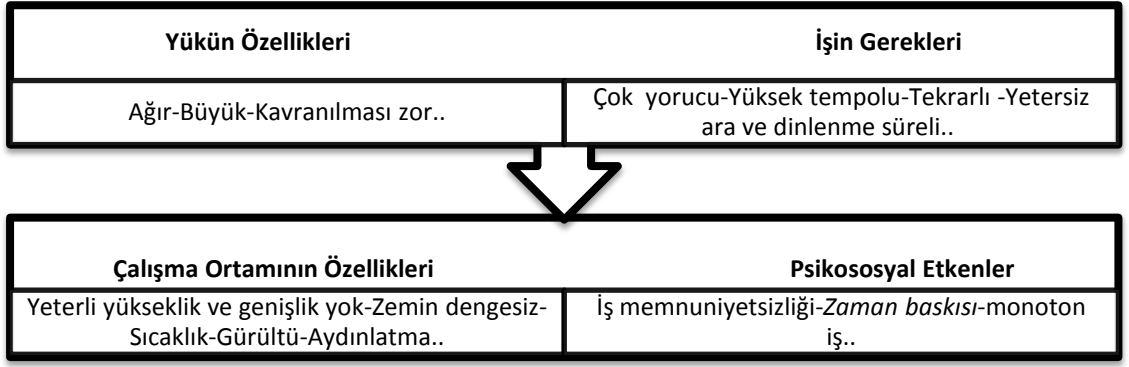


Şekil 2.1. Ergonomi çalışmalarında ele alınan başlıklar

Hissedilen Çaba Derecesi (RPE), RPE'ye bağlı İsveç Mesleki Yorgunluk Envanteri (SOFI), Vücut Rahatsızlık Haritası (BPDS) bu yöntemlerdendir. Ergonomik risk değerlendirmelerini sistematik olarak kaydetmek ve nicel değerlendirmeler yapmak amacı ile geliştirilmiş yöntemler ise gözlemsel yöntemler olarak bilinir. Bu yöntemlere, Ovako Çalışma Duruşu Analiz Sistemi (OWAS), Hızlı Maruziyet Değerlendirme (QEC), Hızlı Üst Ekstremité Değerlendirme (RULA), Hızlı Tüm Vücut Değerlendirme (REBA), MURI<sup>1</sup> yöntemi örnek verilebilir. Direkt ölçüm yöntemleri ise, kas aktiviteleri, güçler ve vücut hareketleri hakkında detaylı nicel bilgiler veren biyomekanik analiz araçları ve optik araçların kullanıldığı yöntemlerdir. Bu analizler, çalışmada rahatsızlık oluşturabilecek risk etkenlerini belirlemek ve değerlendirmek için yol gösterici olmaktadır. Ayrıca, ergonomik risk değerlendirmede bu analizlere dair, değerlendirilecek işin düzeyi, tekniği kullanacak kişinin bilgi düzeyi gibi faktörlere göre yöntem seçimi gerçekleştirilir. Öyle ki saptanan bir risk, alınması gereken bir önleme işaretidir. Bu riskler iş ile ilgili veya kişisel risk etkenleri olabilmektedir. İş ile ilgili risk etkenlerine ait örnek başlıklar Şekil 2.2'de verilmiştir. Kişisel risk etkenleri ise çalışanın demografik özelliklerinin yetersizliğe dönüşmesi, bilgi yetersizliği, uygun olmayan giysi, ayakkabı kullanması gibi sebeplerdir.

<sup>1</sup> Araştırmada, üretim alanında uygulanan ergonomik risk değerlendirme yöntemidir.





Şekil 2.2. İş ile ilgili risk etkenleri

## 2.2 Ergonomiyi Oluşturan Başlıca Bilimler

### 2.2.1 Antropometri

İşin insana uyumlu olmasını sağlamak için işyerinin düzenlenmesinde insan boyutlarının dikkate alınması gerekir. Bu noktada, antropometri, insan vücudunun boyutları ile ilgilenen bilim dalıdır. Vücut ölçülerinin elde edilmesine yönelik, statik ve dinamik antropometri olmak üzere iki farklı metot geliştirilmiştir. Statik veriler, kişinin sabit pozisyonda vücut boyutlarının ölçülmesini amaçlar. Bu antropometrik veriler kas-iskelet sistemi yüklerinin bulunabilmesi için temel grubu oluşturmaktadır. Şekil 2.3’de görüldüğü gibi kişinin vücut boyutlarını ortaya koyan veriler bu grubun içerisine dahildir. Dinamik veriler ise, sabit bir referans noktasına göre vücudun bir bölümünün hareketlerini tanımlar. Endüstri ve iş düzeninde çalışanlar devamlı hareket halindedirler. İş görenlerin ayakta dururken yada otururken çevrelerindeki malzemelere, kontrol sistemlerine ve işlem noktalarına uzanabilmeleri için eğilme, uzanma, kaldırma ve dönme gibi hareketlerinin uzaklıklarını ölçmek ergonomik açıdan önemlidir. Bu sebeple dinamik veriler de ergonomi değerlendirmelerinde başvurulan önemli veri kaynaklarını oluşturur. Bu iki metot (statik-dinamik) kullanılarak elde edilen antropometrik veri tipleri ise 3 gruba<sup>2</sup> ayrılmaktadır:

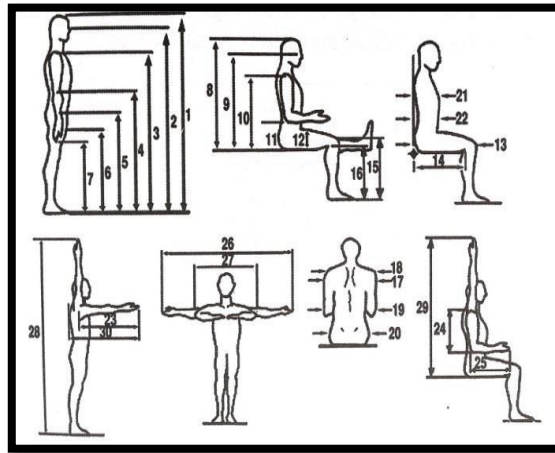
- ∇ Yapısal (statik) antropometrik veri :Bireyin statik (sabit) pozisyonlarda vücut boyutlarının ölçülmesi ile elde edilen verilerdir. Ölçümler tam olarak belirli bir

<sup>2</sup> Çalışma kapsamında devreye alınan ergonomi analizi entegre test cihazında, tüm gruplara ait antropometrik veriler hesaplanmaktadır.

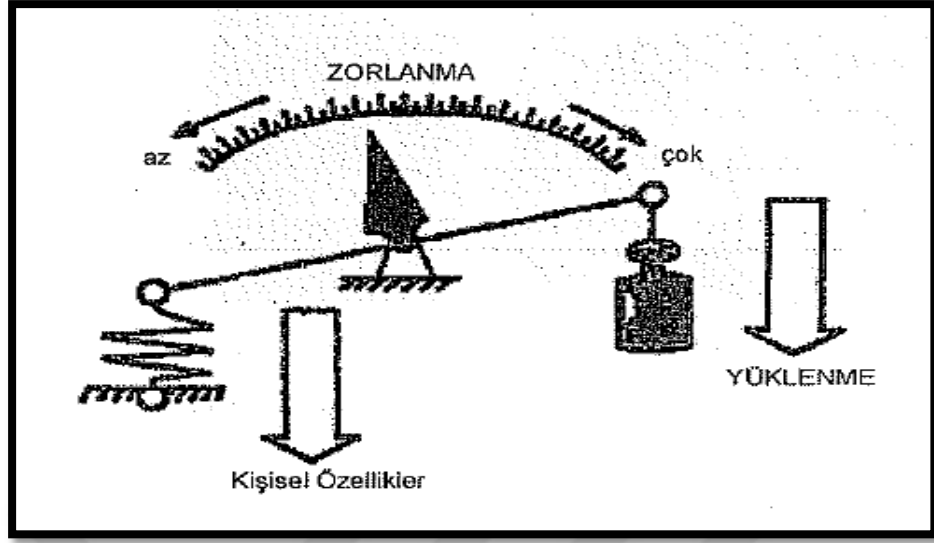
anatomik yapıdan bir diğer anatomik yapıya veya uzayda sabit bir noktaya göre yapılmaktadır.

- ∇ Fonksiyonel antropometrik veri: Sabit bir referans noktasına göre vücudun bir bölümünün hareketlerini tanımlayan verilerdir.
- ∇ Kuvvetsel antropometrik veri: İnsan vücudu üzerindeki yüklerin mekanik analizini yapmada kullanılır. Vücut, uzunluğu ve kütlesi bilinen, birbirine bağlı bölümlerden oluşmuş bir bütün olarak kabul edilir.

Kullanım alanları için, yapısal verilere, mobilya boyutlarının ve giysi bedenlerinin saptanması, fonksiyonel verilere, işletmelerde kontrol düğmelerinin optimal yerleşiminde ayaktaki çalışanın ileri uzanabileceği max mesafe, kuvvetsel verilere ise çalışma esnasında oluşacak uygun pozisyonların tanımlanması ve eklemlerin uygun açı dizilerinin bulunması birer örnek teşkil eder. Çalışanların fiziksel rahatlıkları ve beden yeteneklerini en üst düzeyde kullanabilmeleri, öncelikle kullandıkları malzeme, çalışma yüzeyleri ve hacimlerin, onların boyutlarına uygun olmasına bağlıdır. Verimlilik koşullarından birisi, bireyin yaşadığı mekânın ve kullandığı donanımın insanın antropometrik ve biyomekanik özelliklerine uygun olmasına bağlıdır. Çalışma ortamı, işi yapan kişilerin anatomik, fizyolojik, psikolojik özellik ve kapasitesine uygun olduğunda, iş ve insan arasındaki uyum sağlanacağından az fiziksel yorgunluk ile çok verimlilik elde edilir.



Şekil 2.3. Antropometrik bazı ölçüler (Güler 2004)

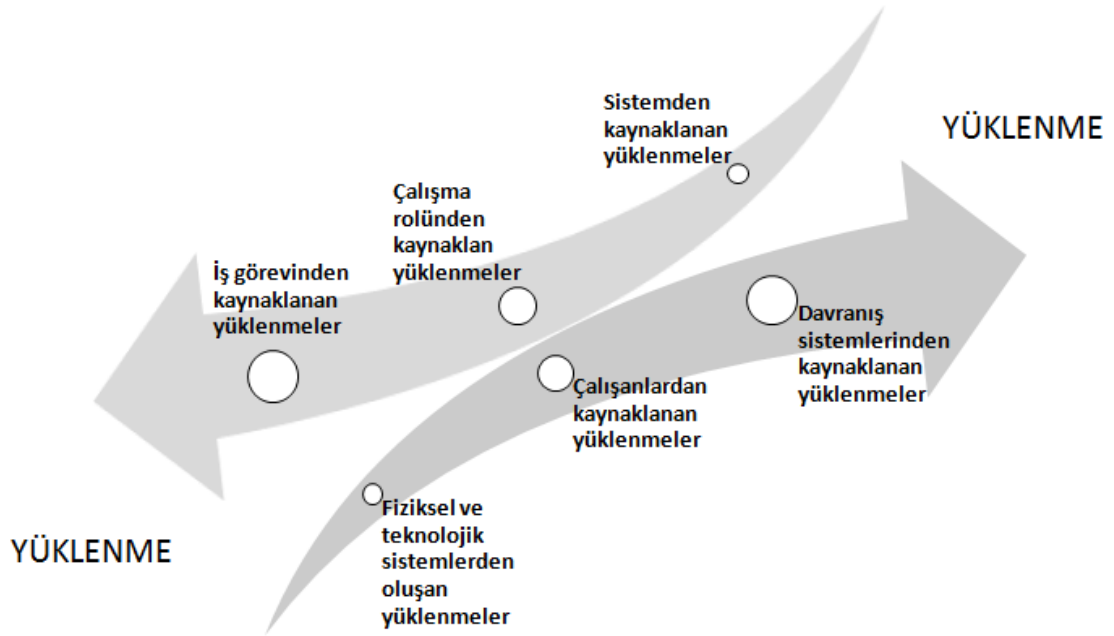


Şekil 2.4. Yükleme ve zorlanma kavramlarının mekanik modeli (REFA 1988)

### 2.2.2 Fizyoloji

Bir sürecin gerçekleşmesi esnasında gereken tüm durumlara, kas-iskelet , kalp ve solunum sistemlerinin verdiği tepkinin değerlendirilmesi, fizyoloji ile sağlanmaktadır. İş fizyolojisi ise, çalışanlar üzerindeki yüklenmeleri analiz etmeye yarar. Fizyolojinin bu alanı, çalışanın yaptığı işin ve çalıştığı çevrenin, kişi üzerinde oluşturduğu etkilerin tamamını inceleyen bir bilimdir. İş sisteminin insan üzerinde ortaya çıkardığı etkiler bütününe de yüklenme denilmektedir. Ağır taşıtların montajında, kas-iskelet sisteminde toplam yükün büyük bir kısmı elleçleme ve tahrikli aletlerin çalıştırılması ile ilişkilendirilir (Forsman ve ark. 2001). Çalışan üzerinde yorgunluk, meslek hastalıkları gibi olumsuz öğeleri oluşturabilecek bu yüklenmeye karşı kişi bir tepki gösterir, bu da zorlanma olarak ifade edilmektedir (Şekil 2.4). Çalışanlar, bireysel özellikleri ve kapasitelerine bağlı olarak iş gerçekleştirme esnasında bu yüklenmelerden farklı şekilde etkilenmektedir. Bu sebeple, aynı iş yüklenmesi altındaki iş zorlanması, kişiden kişiye farklılık gösterir. Fiziksel yüklere maruz kalmak, çalışanlarda mesleki hastalıkların daha sık görülmesine sebep olmaktadır. Özellikle işletmelerde, yüklenme bileşenleri sebebi ile ortaya çıkan zorlanma, birçok farklı kaynağa bağlı olarak çalışan üzerinde olumsuz koşullara neden olmaktadır ( Şekil 2.5). İşletmelerde, fiziksel ve teknolojik sistemlerden kaynaklanan yüklenmelere; çevre etkileri (gürültü, iklim, aydınlatma ve zararlı

maddeler), statik ve tek yanlı kassal çalışma, çalışma zamanlarının düzenlenmesi, vardiya ve gece çalışması, kaza tehlikesi, çalışanlardan kaynaklanan yüklenmelere; görevden korkma, başarısızlık, aile içi çekişmeler, endişeler, sistemden kaynaklanan yüklenmelere; bilgi eksikliği, işletme iklimi, işletme içi yapısal ve lokal değişiklikler, iş görevinden kaynaklanan yüklenmelere, aşırı yüklenme (termin, performans), monotonluk, beklenmeyen arızalar ve kesintiler, azalan heyecan, davranış sistemlerinden kaynaklanan yüklenmelere; sosyal izolasyon, sosyal yakınlık, çalışma rolünün getirdiği yüklenmelere ise; rekabet, çekişme, sorumluluk baskısı, eksik iken kendini kabullendirme birer örnektir.

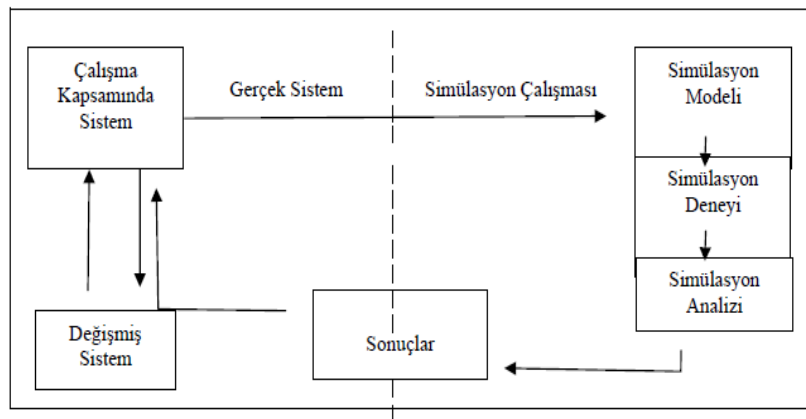


Şekil 2.5. İşletmelerde yüklenme bileşenleri

### 2.2.3 Biyomekanik

Biyomekanik bilimini, 1974' de Herbert Hetze şöyle tanımlamıştır; “Biyomekanik, biyolojik sistemlerin biçim ve işlevlerinin mühendislik yöntemleri kullanılarak incelenmesidir” (Akkale 2014). Biyomekanik ile vücuda etki eden kuvvet ve momentlerin etkisi ortaya konulmaktadır. Kuvvet/Tork sensörleri (FTsensors) insan hareketlerinin biyomekanik değerlendirilmesinde sıkça kullanılmaktadır (Hoozemans ve ark. 2007, Qin ve ark. 2011). Biyomekanik sistemler, işi yapan kişilerin kas-iskelet

sistemi yaralanmalarını en aza indirmek için, çalışanın malzeme, makine, teçhizatlar ile fiziksel etkileşimlerini de göz önüne almaktadır. Bu sistemler, çalışan üzerinde oluşan fiziksel yüklerin analiz edilmesine ve verilerin sayısal olarak elde edilmesine büyük katkı sağlamaktadır. Biyomekanik uygulamalarda insan hareketlerinin ölçülmesi genellikle MoCap sistemleri kullanılarak yapılmaktadır. MoCap, insan hareketini izleyen ve hareketin dijital bir modele iletildiği bir tekniktir (Moeslund ve Granum 2001). Bu sistemler, vücudun açısal eğilimleri, hız, ivme kontrolü için kullanılan sensör, kamera veya jiroskoplar gibi çok çeşitli nesnelere yardımcı ile hareketleri algılayan, kayıt altına alan, sonrasında sayısal değerler olarak çıktı üreten ve biyomekanik araştırmalarda sıkça kullanılan analiz araçlarından biridir. Ancak, MoCap sistemleri iyi bilinen bir teknik olmasına rağmen, ana sınırlaması hareket yakalama sırasında kuvvetler ve momentler gibi dinamik bilgi eksikliğidir (Latella ve ark. 2015). Bu eksik yön araştırmacıları, bu sistemler ile elde edilen verileri değerlendirebilmek amacıyla bir sonraki aşamada farklı simülasyon programı kullanmaya zorlamaktadır. MoCap sistemlerinde ölçüm aracı olarak kullanılan cihazlara bağlı olarak, bu programlar da çeşitlilik göstermektedir. Zhang ve Chaffin (2005) tarafından bildirildiğine göre, temsili postür ve hareketleri oluşturma veya yapılandırılabilir hesaplama algoritmaları ile bir insan vücudunun biyomekanik gösterimi için dijital insan modelleme (DHM) ve simülasyon çekirdek bir modeldir (Tian ve Duffy 2011). Bu tür modeller ile gerçek zamanlı bir sistemin veya incelenen bir sürecin, zaman içerisindeki değişimine yönelik bir simülasyon modeli geliştirilerek, taklit edilmesi sağlanabilmektedir (Şekil 2.6). Simülasyonlar, henüz hayata geçirilmemiş sistemlerin değişik koşullar altındaki performansını görmek, varolan sistemlerde yapılacak yada yapılabilir değişiklikler gerçekleştirilmeden önce ortaya çıkaracağı etkiyi tahmin edilebilir kılmaktadır.



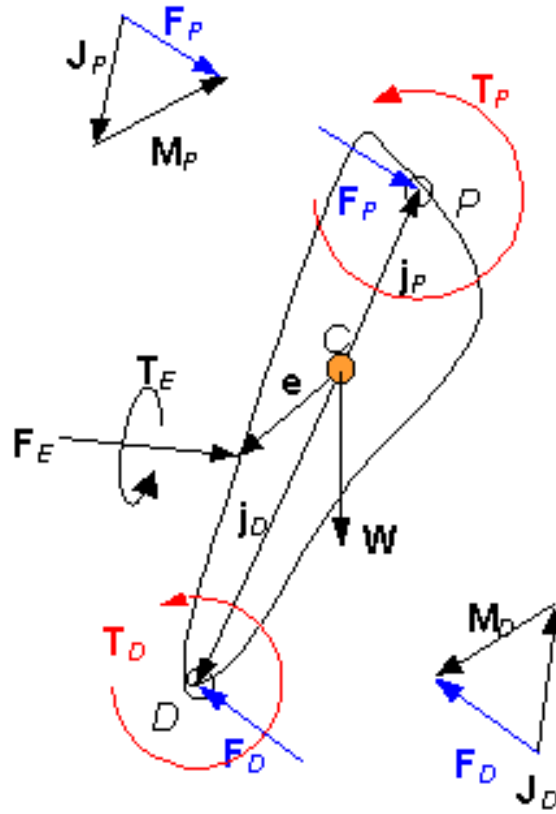
### 2.3 Fiziksel Yükler

Çalışanlar, fiziksel ve zihinsel olmak üzere 2 farklı iş yüküne maruz kalır. Fiziksel işler, kassal ağırlıklı işler olup, insan vücudunun daha çok iskelet, solunum ve dolaşım sistemlerini etkiler. Kassal ağırlıklı işlerde, insan vücudunda oluşan fizyolojik tepkiler farklı parametreler ile ölçülebilmektedir. Nabız frekansı, kan basıncı, oksijen tüketimi, solunum sıklığı, vücut sıcaklığı, kan biyokimyası, kaslardaki elektriksel potansiyeldeki değişimler (EMG) , kandaki laktik asit düzeyi bu parametrelerdendir.

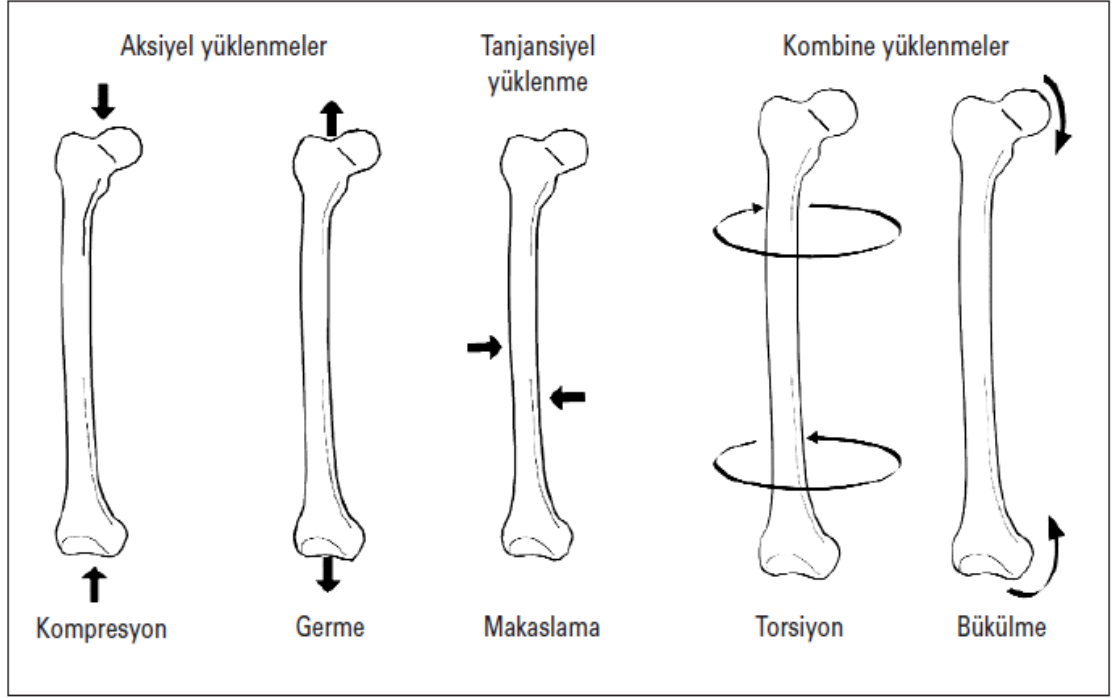
Kişi bir nesne taşıyor ise, bu nesnenin kas üzerine uyguladığı bir kuvvet vardır ve bu, yük olarak tanımlanmaktadır. Bu kuvvete maruz kalmak, fiziksel eklem noktalarında yüklenme oluşturur ve organ bileşenlerinin performans ile fonksiyonlarının azalmasına neden olarak yorulma ile sonuçlanır. Bu da kişide dikkatin dağılması, algılama kaybı ve yavaşlama, düşünme zorluğu, verimli olma isteğinde azalma, zihinsel ve bedensel çalışmada verim kayıplarını tetikler. Bu sebeple yorulma, yeterli bir dinlenme ile dengelenmedikçe bir risk faktörüne dönüşebilir.

Fiziksel yüklenme, statik ve dinamik olmak üzere 2'ye ayrılmaktadır. Vücut kasları üzerinde uzun süren kasılmalar statik, ritmik kasılma ve gevşeme hareketleri ise dinamik yüklenmeleri oluşturur. Zihinsel yük ise, girdi olarak algılama fonksiyonu ile başlayıp, motor cevap ve davranış olarak çıktı üreten bir süreçte, çalışan üzerinde oluşan etkidir. Teknolojik gelişmelere paralel olarak çalışanların iş yüklerinin azaldığı söylenmektedir fakat fiziksel yükün, azalmasına karşın, zihinsel yüke dönüşerek arttığını söylemek daha doğrudur. Çünkü üretim için insana duyulan gereksinim nicelik olarak azalırken, nitelik olarak artış göstermektedir. Yüksek nitelikli insanlar da ancak çevresel ve kişisel fiziki faktörlerin negatif etkilerinin olmadığı çalışma koşullarında yeteneklerini tam anlamı ile kullanabilir. Ergonomik araştırma ve uygulamaların asıl amacı, insanın çalışması sırasında işten kaynaklanan yüklenmeler karşısında ne ölçüde zorlandığını incelemek ve olumsuz çalışma koşullarını insanın fiziksel, davranışsal ve psiko-sosyal ihtiyaçları ile uyumlu hale getirmektir.

Kuvvet, hareketi durduran veya durgunluğu harekete çeviren fiziksel niteliktedir. Tork, bir nokta ya da eksene uygulanarak döndürme oluşturan kuvvettir. Şekil 2.7' de vücut bölümleri üzerinde yüklenmenin yönleri ve eksenleri için bir gösterim mevcuttur.  $F$ , kas kuvveti ve eklem reaksiyon kuvvetinin toplamıdır. Bu kuvvet, dış kuvvetler, ağırlık, ilgili kasın ağırlık merkezine yakın ve uzak uçlarında oluşan kuvvetler ile de ilintilidir.  $T$  eklem merkezi çevresinde kas kuvvetinin oluşturduğu torktur. Tork, moment gibi mekanik değerler yine kuvvet değerlerine bağlı olarak hesaplanabilmektedir. Kas-iskelet sistemine etki eden torkları tanımlamak için iki yaklaşım vardır. Bunlardan biri dışarıdan gelen etkileri ele alan segment torkları, diğeri komşu elemanlar arasında meydana gelen ve birbirine eşit ve zıt yönlü torkları ele alan eklem kaynaklı torklardır.



Şekil 2.7. Bir vücut segmentinin serbest vücut diyagramı  
(<http://www.kwon3d.com/theory/jtorque/jtorque.html#fre>, 2017)



Şekil 2.8. Kas-iskelet sisteminde oluşan yüklenmeler (Knudson 2007)

Kuvvet ve tork değerlerinin hesaplanabilmesi için, vücut segmentlerinin antropometrik ölçüleri, nesnenin ağırlığı, işin yapılma süresi gibi bileşenlerin her biri birer değişkendir. Kas-iskelet sistemlerinde oluşan yüklenmeler, anatomik yapı üzerine etki eden kuvvetlerin uygulama noktası, şiddeti, yönü ve doğrultusuna bağlı olarak çeşitlilik gösterir (Şekil 2.8). Neumann ve ark. (2001), makalelerinde operatörlerin üzerine yerleştirilen sensörleri kullanarak analiz edilen duruş ve yük verilerini toplamanın, ne derece iyi olduğunu belirlemiş ve raporlanan bel ağrılarının, vaka kontrollü bir çalışması içinde uygulanan fiziksel maruziyetleri ölçmek için , duruş ve yüklenme örnekleme yaklaşımı geliştirmiştir. Aynı zamanda, maruz kalınan yüklenmenin şiddeti, süresi ve sıklığı, vücut üzerinde oluşturacağı etkiler açısından da anahtar bileşen konumundadır. Çok kuvvet, anormal veya tekrarlı maruziyet, uygun olmayan eklem yüklenmeleri, kas-iskelet sistemi ve vücut fonksiyonlarının işlevlerine olumsuz etki eder. Bu durum, ergonomik problemlerin ortaya çıkması ile sonuçlanacaktır.



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

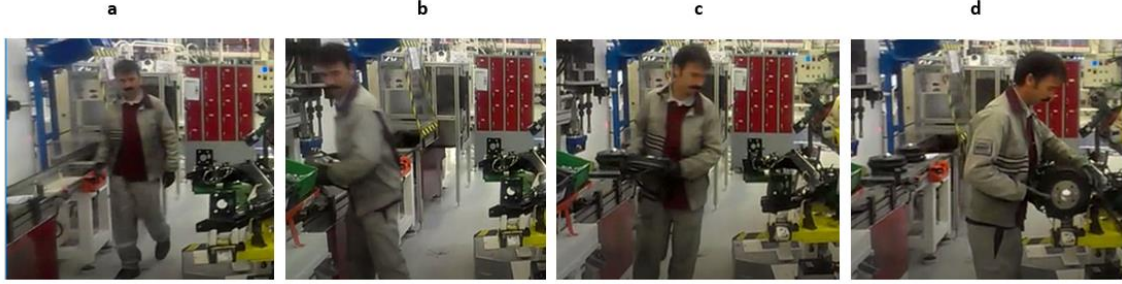
Çalışma, bir otomotiv şirketi olan Türk Otomobil Fabrikası A.Ş (TOFAŞ)' da MCV-Linea arka süspansiyon montaj hattında gerçekleştirilmiştir. (Şekil 3.1) .



Şekil 3.1. Arka süspansiyon montaj hattı

İlk olarak seçilen montaj alanı ve örnek sürece MURI ergonomi analizi uygulandı. MURI, bir iş gerçekleştirilirken oluşabilecek 9 kusurlu hareketin yer aldığı bir tablo ile prosteki duruş ve hareketleri analiz etmeye yarayan, bunun için de bir puanlama sistemi kullanan bir ergonomik analiz yöntemidir. MURI’de, duruş ve hareket analizi yapıldıktan sonra ortaya çıkan puana göre risk seviyesi belirlenmesi amaçlanmaktadır (Ohno 1998). Çalışmada bu analizin uygulanma nedeni, ilgili hat üzerinde manuel işlemlerde, çalışma hareketleri üzerine yapılan en riskli işlemi ortaya çıkarmaktır. MURI sonuçlarına göre, EK 1’ de görülen işaretli alanlarda, ergonomik sorunları ortadan kaldırmak için harekete geçilmesi gerektirdiği görülmüştür. Analiz sonuçları incelendiğinde, tekerlek grubunu arka aks’a yükleyip diğer elle tutarken sıkma kritik süreçler olarak belirlendi. Bu analiz sonucunda, sırası ile , tekerlek grubunu yükleme, dört vida ile sabitleme (sağ-sol), fren kablolarını sabitleme, braketleri sabitleyip kabloları içine koyma süreçlerine odaklanıldı. Böylece, gerçek zamanlı denemeye başlamadan önce ele alınacak işlemlerde, operatörün fiziksel yüklerle maruz kalacağı belirlendi. Hat üzerinde incelenen süreçte; operatör tekerlek grubu hattına doğru yürüdü,

arka tekerlek grubunu aldı, arka aks montaj hattına doğru yürüdü ve tekerlek grubunu arka aks üzerinde konumlandırdı(Şekil 3.2 a, b, c, d).



**Şekil 3.2.** (a) Tekerlek grubu hattına yürüme; (b) Tekerlek grubunu kaldırma; (c) Arka aks grubuna yürüme;(d) Tekerlek grubunun arka aks pozisyonlaması

Yer çekimi ve arka tekerleğin kütlesi sebebi ile operatörün eklemleri çeşitli fiziksel yüklerle maruz kalmaktadır. Bu yüklerin maruz kalma süresi, eklem kuvvetleri ve torkları üzerinde bir etkiye sahip olmuştur. Tüm aşamalar adım adım uygulanarak, ilgili montaj istasyonundaki üretim hattında, seçilmiş operasyon için operatöre aynı işlem, farklı süreler verildi ve süreci gerçekleştirmesi istenildi. Operatör, verilen süre zarfında işi yetiştirebilmek için hızını ayarlamış ve montaj işlemini yapmıştır. Çalışmada farklı eklemlere ait, kuvvet ve tork değerleri elde edilmiştir.

### 3.1. Katılımcılar

Araştırmaya, gerekli bilgilendirmeler ve onayların alınmasının ardından, dört kadın, üç erkek olmak üzere 7 (n) sağlıklı operatör katılmıştır. Kadınlar ve erkekler için sırası ile ortalama (ort) yaş 27 ve 34, ortalama ağırlık 65 ve 75 kilogram (kg), ortalama boy 1,71 ve 1,75 metre (m)' dir (Çizelge 3.1). Tüm operatörler baskın olarak sağ elini kullanmaktadır. Her bir operatör 10 tekrar yapmakta ve her bir tekrar için de iki farklı çevrim süresi olan 3 ve 5 saniye (sn) verileri toplanmaktadır.

### 3.2. Çalışma Materyalleri ve Uygulama Alanı

Üretim hatlarında herhangi bir süreç gerçekleştirilirken, tam otomatik sistemler kullanılmıyor ise çalışanlar bir nesne ile temas kurarak işlem gerçekleştirecektir. Operatörler bir görevi yaparken veya ürün yada çevre ile etkileşimde bulunurken,

kişinin vücut büyüklüğü, vücut şekli, kapasitesi, öncelikleri ve diğer nitelikleri konu ile ilgilidir.

**Çizelge 3.1.** Demografik bilgiler

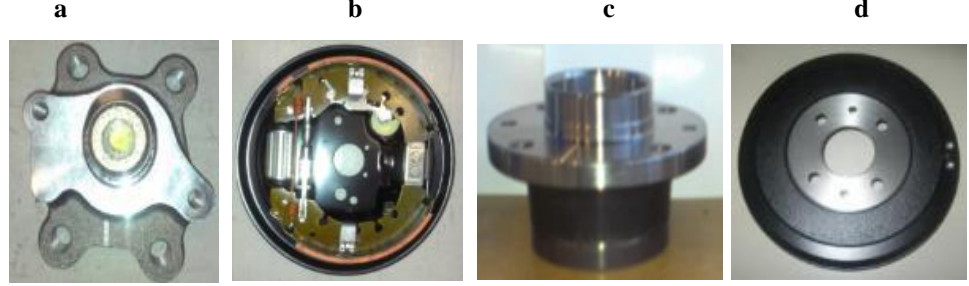
Cinsiyet				
Kadın	(n=4)	Yaş	Kilo (kg)	Boy (m)
	1	28	50	1,70
	2	21	65	1,74
	3	24	75	1,65
	4	35	70	1,75
	Ort	27	65	1,71
Erkek	(n=3)	Yaş	Kilo (kg)	Boy (m)
	1	47	90	1,80
	2	30	67	1,77
	3	25	68	1,68
	Ort	34	75	1,75

Ayrıca; kullanıcılar bir materyal ile etkileşim kurarken bu nesnenin büyüklüğü, performans gereklilikleri ve diğer hususlar da önemlidir (Haupt ve Parkinson 2015). İlgili montaj sürecinde operatörler tarafından 2 önemli materyal kullanılmaktadır.

Bunlardan biri arka tekerlek grubudur (Şekil 3.3 a). Bu grup, tekerlek saplamaları, fren plakası, tekerlek göbeği ve fren kampanası gibi bir araya getirilen farklı parçalardan oluşan bir yarımamuldur (Şekil 3.4 a, b, c, d). Arka tekerlek grubu, operatör tarafından tekerlek hattı üzerinden alınıp, bir başka parçaya monte edilmek üzere taşınır. Arka tekerleklerin, çapı 250 ile 270 mm ve ağırlığı 9,9 ile 12,2 kg arasında değişiklik gösteren 5 farklı çeşidi bulunmaktadır. Bu çalışmada , 12 kg olan tekerlek kullanılmıştır. Tekerlek ağırlığı, montaj için başka bir alana taşınmak üzere kaldırılması sebebi ile vücut eklemlerindeki zorlanma üzerine doğrudan etkiye sahiptir.

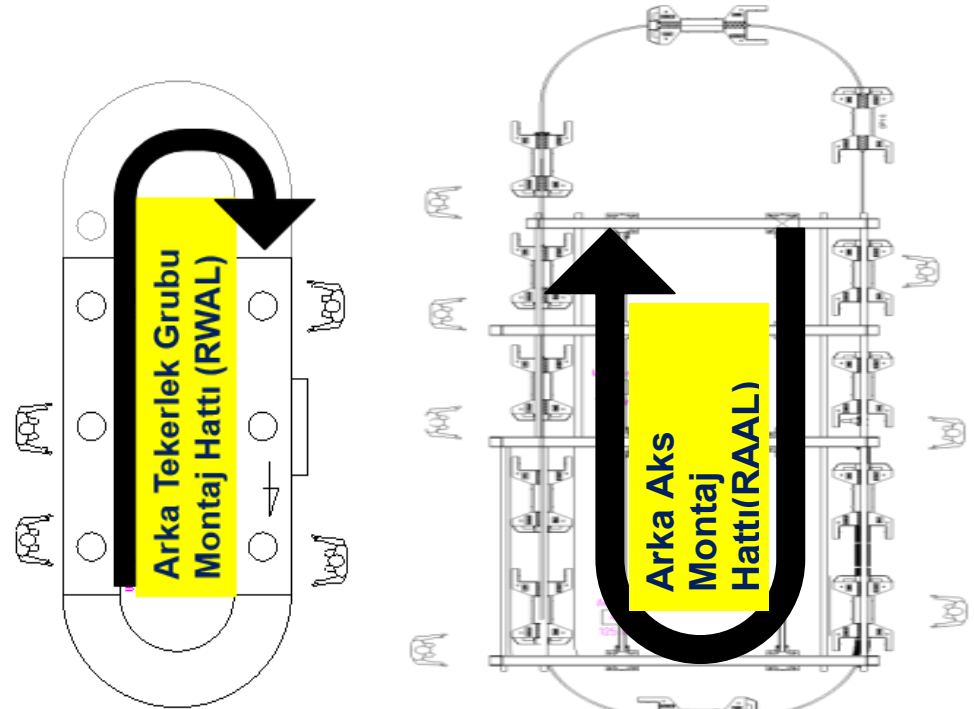


Şekil 3.3. (a) Arka tekerlek Grubu; (b) Arka aks



Şekil 3.4. Arka tekerlek grubu parçaları (a)Tekerlek saplaması, (b) Fren plakası, (c) Tekerlek göbeği, (d)Fren kampanası

Bir diğer nesne ise, arka akstır (Şekil 3.3 b). Bu grup da, farklı braket ve küçük ağırlık farkları ile 5 çeşittir. Üretim hattı denemeleri öncesi, kullanılacak entegre sistemi devreye alma süreci ilk olarak laboratuvar ortamında yapılmış olup, araştırmanın ana dataalarını oluşturacak çalışmalar daha sonra üretim faaliyetinin devam ettiği, gerçek bir alanda uygulanmıştır. Operatörün süreci gerçekleştirdiği arka tekerlek grubu montaj hattı (RWAL) ve arka aks montaj hattı (RAAL) 'na ait hat üzerindeki malzeme akışı Şekil 3.5' de görülmektedir.



Şekil 3.5. Süspansiyon montaj hattı parça akışı

### 3.3 Deneysel Tasarım

#### 3.3.1 Veri toplama için donanım alt sistemi

Çalışmada, gerçek zamanlı bir sistemde oluşturulmuş süreç kaydının bilgisayar ortamına aktarılması ve sonrasında datanın işlenerek analiz yapılmasını sağlayan bir entegre sistem kullanılmıştır. Vücutta oluşan zorlanma değerlerine dair veri toplamak için biyomekanik ölçüm cihazı devreye alınmıştır. Tam vücut hareketleri ile ilgili birincil veriler, Animazoo (UK) tarafından geliştirilen, üzerinde potansiyometre ve gyroların bulunduğu bir giysi olan Gypsy Gyro-18 MoCap sistemi kullanılarak toplanmıştır (Şekil 3.6). Gypsy, 3 ayrı parçadan oluşmaktadır (Şekil 3.7). Her bir parçada bulunan bağlantılar ile tüm veriler tek bir merkezden bilgisayara aktarılabilir. Giysi, bantları sökölüp, parçalı bir şekilde üzerindeki yorgunluğun ve yüklenmelerin ölçüleceği kişi olan operatöre giydirilmiştir (EK 2). Bu ön hazırlık aşamasında, EK 2’de işaretli alanlarda bulunan millerin her iki kalça ve omuz için sabitlendiğinden emin olunmalıdır. Giysinin operatör vücuduna tam oturması için bu miller dönmemelidir. Üzerinde bulunan kemerler, üçgen klipsler ve ayarlanabilir somunlar vasıtası ile giysi doğru şekilde giydirildiğinde, operatör ile tamamen uyumlu hale gelmektedir. Öyle ki çeşitli vücut antropometrisine uygun şekilde ayarlamalar yapılabilir. Gypsy, süreç gerçekleştirilirken operatörün hareketlerini kısıtlamamaktadır (Şekil 3.6) .



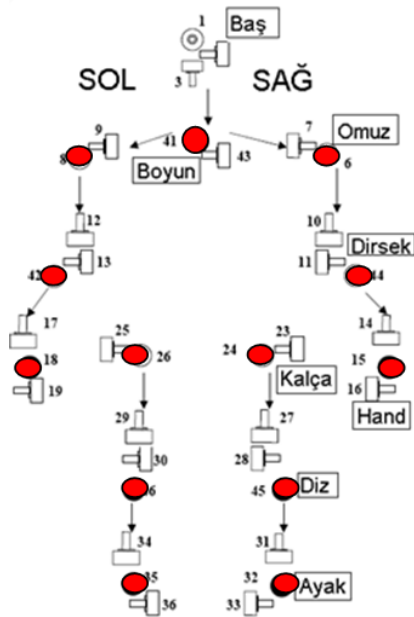
Şekil 3.6. Üretim hattında gypsy giydirilmiş operatör görüntüsü





Şekil 3.7. Gypsy parçaları

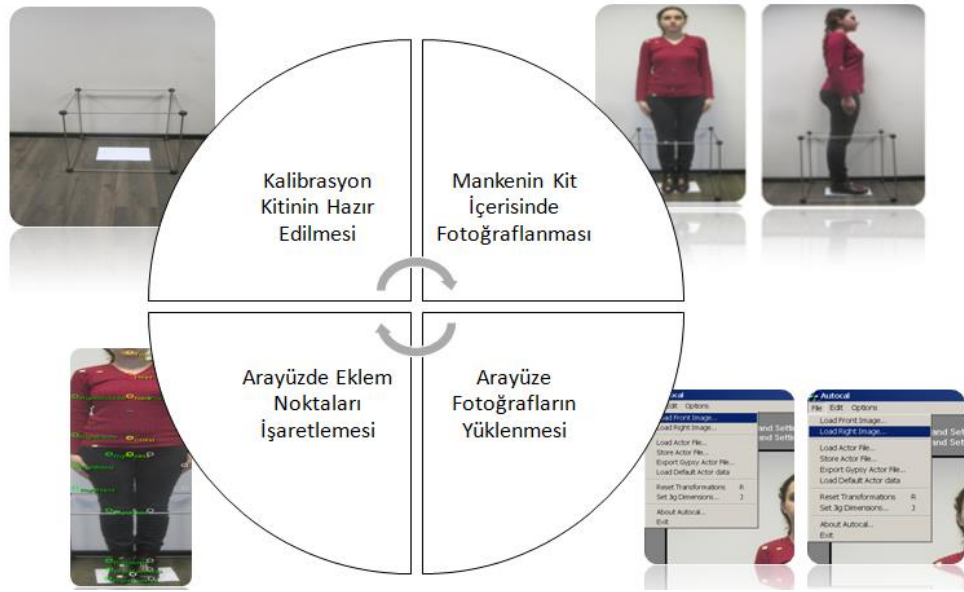
Giyisi üzerinde, eklem noktalarındaki hareketi algılayan 13 adet sensör bulunmaktadır. Ayrıca T şekli olarak görülen alanlarda da potansiyometreler vardır (Şekil 3.8). Gypsy üzerindeki bu potansiyometreler, doğru bölgeleri algılayabilecek şekilde konumlandırılmalıdır. (Şekil 3.9 a) Ana işlem birimi yardımı ile veriler, bir bağlantı kablosu veya alıcı kullanılarak gerçek zamanlı olarak izlenmek üzere kişisel bilgisayara iletilmektedir. Bu transferi en doğru şekilde yapmak için, giysi üzerinde bulunan 2 adet gyrodan biri göğüs kısmına, diğeri ise kalça kısmına olmak üzere vücuda yerleştirilmektedir (Şekil 3.9 b). Gyroların üzerinde bulunan seri numaraları, giysiden veri aktarımı öncesi yapılacak kalibrasyon işlemi tanımlamasında alt ve üst ibarelerine karşılık gelmektedir. Bu sebeple, kalça ve göğüs kısımlarına hangi seri numaralı gyronun yerleştirildiği önemlidir.



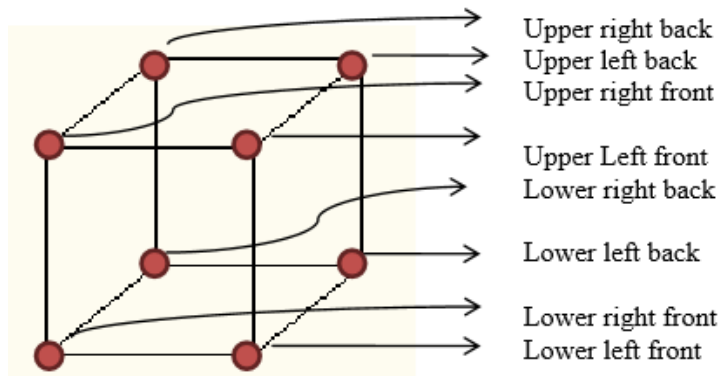
**Şekil 3.8.** Sensör- potansiyometre bulunan alanlar

**Şekil 3.9.** (a) Potansiyometre (b) Gyrolar

Analiz öncesi ilk aşama, Autocal adı verilen bir program ile gerçekleştirilmiş olup, üzerinde çalışılacak modelin mevcut iskelet yapısını 3 boyutlu bir ortamda oluşturmak için kullanılmıştır. Doğru bir dataya dönüşecek antropometrik yapı, Şekil 3.10' da verilen adımlar takip edilerek elde edilmiştir. Mankenin sağ ve ön görünüş olmak üzere iki adet fotoğrafı çekilmiştir. Fotoğraf alınırken manken, başlangıç pozisyonunda -eller iki yanda, gözler karşıya bakar- durmalıdır. Kişi bu pozü verirken kübik küçük bir çerçeve içerisine girmiştir. Bu kübe kalibrasyon kiti adı verilmektedir. Kit bilgisayara ölçüm referansı olmaktadır (Şekil 3.11). Autocal programı açıldığında, 2 adet fotoğraf yükleme alanı görülür. Alınan fotoğraflar bu alanlardan programa aktarılmaktadır ve Çizelge 3.2' de verilen 15 vücut eklem noktası işaretlenmektedir.



**Şekil 3.10.** Autocal vücut eklem noktaları tanımlama şeması

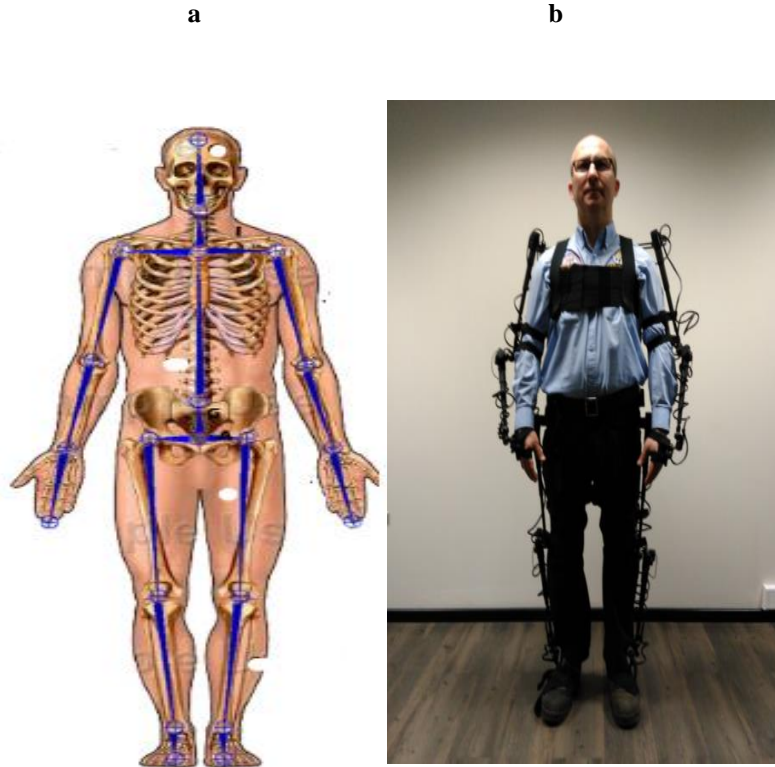


Şekil 3.11. Kalibrasyon kiti köşelerine yerleştirilen noktalar

Çizelge 3.2. Eklem noktaları program adları

Head	Baş	Hips	Kalça
Neck	Boyun	Right Hip	Sağ Kalça
Chest	Göğüs	Right Knee	Sağ Diz
Right Shoulder	Sağ Omuz	Right Ankle	Sağ ayak bileği
Right Elbow	Sağ Dirsek	First foot heel	Sağ ayak topuğu
Right Wrist	Sağ Bilek	Right foot ball	Ayak parmaklarının kökü
Right Hand	Sağ El		

Böylelikle, vücudun doğal iskelet yapısı, bir sonraki aşamada kullanılacak programa data oluşturacak şekilde EK 3’de görüldüğü üzere bir data dosyası haline gelir ve kayıt altına alınır. Bu işaretleme ve kayıt altına alma işlemi, giysinin giydirileceği kişiye ait vücut yapısını ortaya koymaktadır. Eklem arasındaki yüzey alanları ile bir proses gerçekleştirilir iken, alana düşen zorlanmaya ait kuvvet, tork gibi değerlerin hesaplanmasına alt yapı oluşturmaktadır. Aynı zamanda, kişiye giydirilen giyside bulunan hareket algılayıcı sensörlere de referans olmaktadır. (Şekil 3.12 a,b)

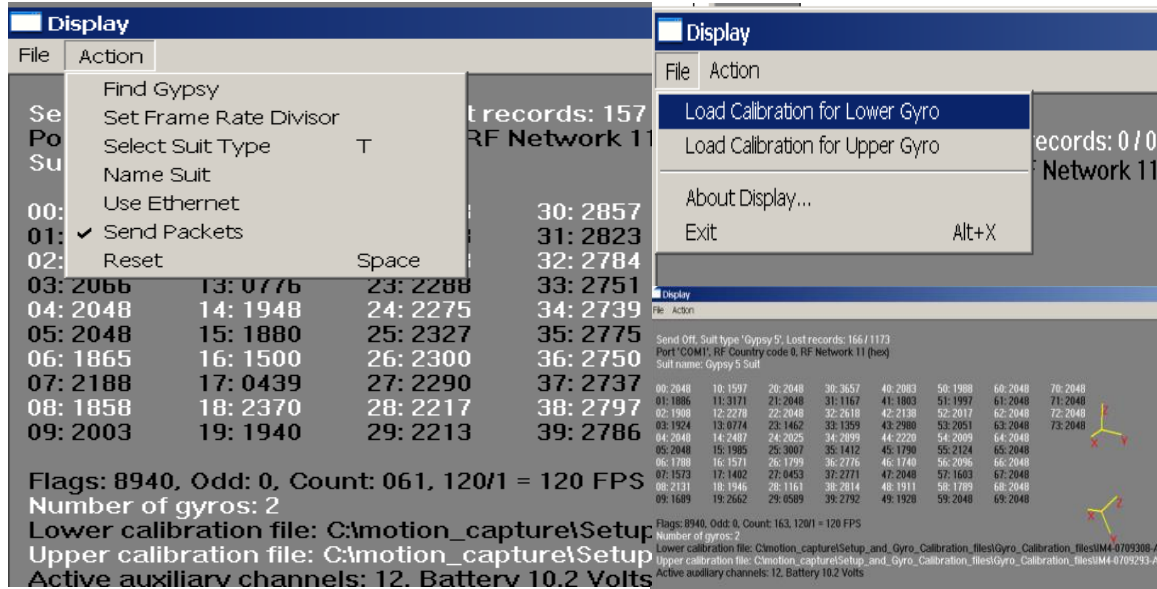




Şekil 3.12. (a) Eklem noktaları; (b) Gypsy

Donanım sistemindeki verilerin aktarımlarının doğru yapılabilmesi için Ek 4’de verilen girişlerin işlem birimi üzerinde doğru noktalara takılması gerekmektedir. Gerekli bağlantılar yapıldıktan sonra, giysi üzerinde, ana işlem biriminde (MPU) bulunan güç düğmesi açılarak, veri aktarımlarının yapılacağı bilgisayar ile operatör üzerindeki giysi arasında iletişim kurulmuştur. MPU, verileri bir bağlantı kablosu veya bir alıcı ile gerçek zamanlı olarak işlenmek üzere bilgisayar ortamına iletmıştır.

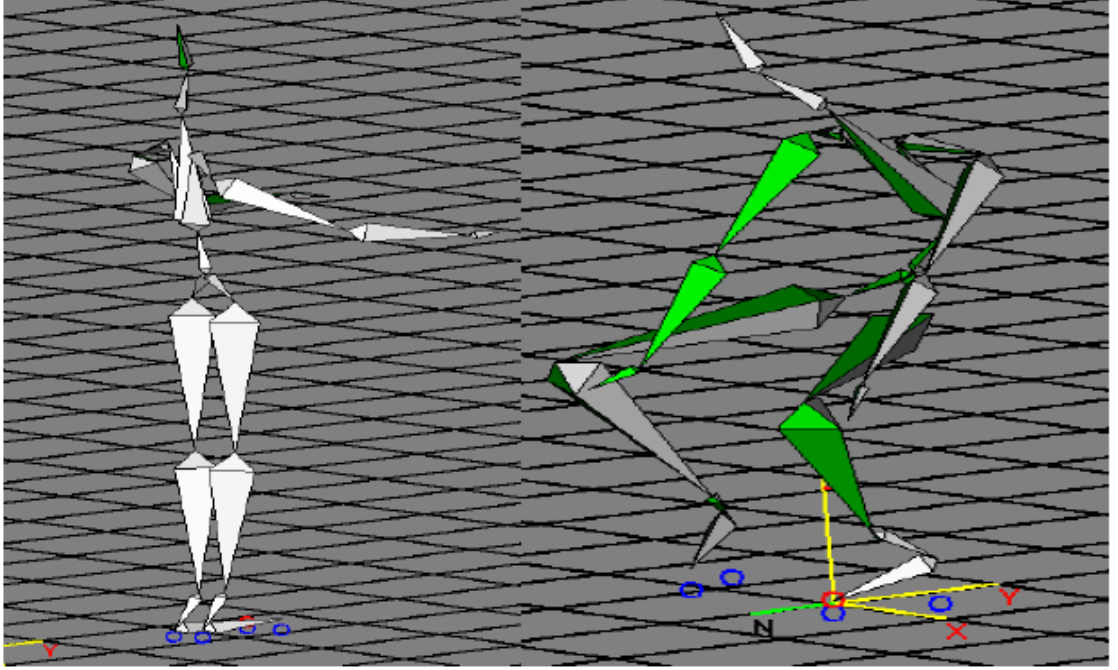
Gypsy’den alınan verilerin tutarlılığının kontrol edilmesi için bir ara program olan Display’a ihtiyaç vardır. Bu program, giysi ile bilgisayar arasında bağlantının başlangıç aşamasıdır. Operatörün kalça ve göğüs kısımlarına yerleştirilmiş 2 adet gyronun seri numaralarına göre program yüklemeleri yapılmış ve program veri paketlerini göndermeye başlamıştır. Değerlerin hatalı olup olmadığını kavramak için, ana ekrana gelen verilerin, 0 ile 4096 arasında ve tutarlı<sup>3</sup> olduğunun kontrolü yapılmıştır (Şekil 3.13). Burada bulunan değerlerin hatalı olması, Gypsy’nin yanlış giyildiği, giysi üzerindeki sensör veya potansiyometrelerin doğru konumları algılamadığı, yada hatalı bir temasta bulunduğunu gösterir.



Şekil 3.13. Gyroların programa tanımlanma ve display değer tutarlılık ekranı

<sup>3</sup> Tutarlılık için model hareket halinde iken oluşan değerlerin değişim aralığı 1000’i geçmemelidir.

Bu aşama ile birlikte, operatörün hareketleri, süreç başladığı andan itibaren kayıt altına alınmaya başlanmıştır. Veri aktarımı gerçekleştirildiği zaman, bir diğer ara program olan Cobrerview programı ile incelenen sürecin gerçek görüntüsü, simüle edilmiş bir Cobrerview model görüntüsüne dönüştürülmek üzere, eş zamanlı olarak yürütülmüştür (Şekil 3.14). Bu transfer işlemi için Ek 5’ de görülen bağlantıların doğru şekilde yapılması gerekmektedir. Hareket halindeki operatörün veri paketleri, bir sonraki aşamada girdi oluşturacak dosya formatında elde edilmiştir (EK 6). Sistem, aktiviteyi yerine getirmek için, görev, zaman ve yöntem türleri gibi gerçek zamanlı faaliyet bilgilerini toplamak amacı ile geliştirilen yararlı bir yazılım aracının girişi ile tamamlanır (Battini ve ark. 2014) .



Şekil 3.14. Cobrerview model hareket görüntüsü

### 3.3.2 Veri işleme için yazılım alt sistemi

İlk olarak, Gypsy Gyro-18, süreç gerçekleştirilirken toplanan hareket verilerini çalışmanın yapıldığı sanal ortama bağlamak için tüm vücut biyomekanik modelini oluşturmak amacı ile özel bir donanım sistemi aracı olarak kullanılmıştır. İkinci olarak,

Gypsy'den toplanan veriler, tork ve kuvvet gibi sayısal değerlere dönüştürülmelidir ve nümerik analizleri yapılmalıdır. Bu nedenle, fiziksel tabanlı sanal prototipleme yazılımı olan Digital Biomechanics (DB) 1.0 insan model simülasyonunu geliştirmek için çalıştırılmıştır. Yükleri sayısal olarak ortaya koyabilecek çok çeşitli yöntemler vardır ancak yazılım alt sistemi olarak kullanılan DB, daha önceki insan simülatörlerinin aksine, simüle edilmiş insanların, görevlerini yerine getirmek ve çevrelerindeki olaylara yanıt vermek için, kontrol sistemlerini kullanır (Boston Dynamics 2005). Simüle edilecek model üzerinde yer çekiminin etkisi, kütle yüklemesi<sup>4</sup> ve çevre ile etkileşim olmak üzere 3 başlık incelenebilir. Oluşturulabilecek modeller insan modeli yada ekipman modeli olabilmektedir. Bu bir insan modeli ise yürüyebilme, koşabilme, sürüklenebilme gibi farklı görevleri gerçekleştirebilmektedir.

DB arayüzü 4 ekrandan oluşmaktadır (Şekil 3.15) :

- ∇ 3D Görünüm Ekranı : 3D görüntünün alınabildiği, simüle edilen karakteri, ekipmanları ya da objeleri görebildiğimiz alandır.
- ∇ Senaryo Ekranı : Objeleri hiyerarşik sıraya koyar. Simüle edilmiş karakter, ekipman, sahne düzenlenir. Objeler, karakterler ve ekipmanlar üzerindeki her türlü işlem (ağırlık, boyut, eksenlerdeki yerleşimi vb.) bu pencerede yapılır.
- ∇ Kamera Ekranı : Kameranın (ekran görüntüsünün) açısı bakmak istenilen yere göre değiştirir.
- ∇ Log Ekranı : Yapılan tüm işlemleri ve hata mesajları görüntülenir.

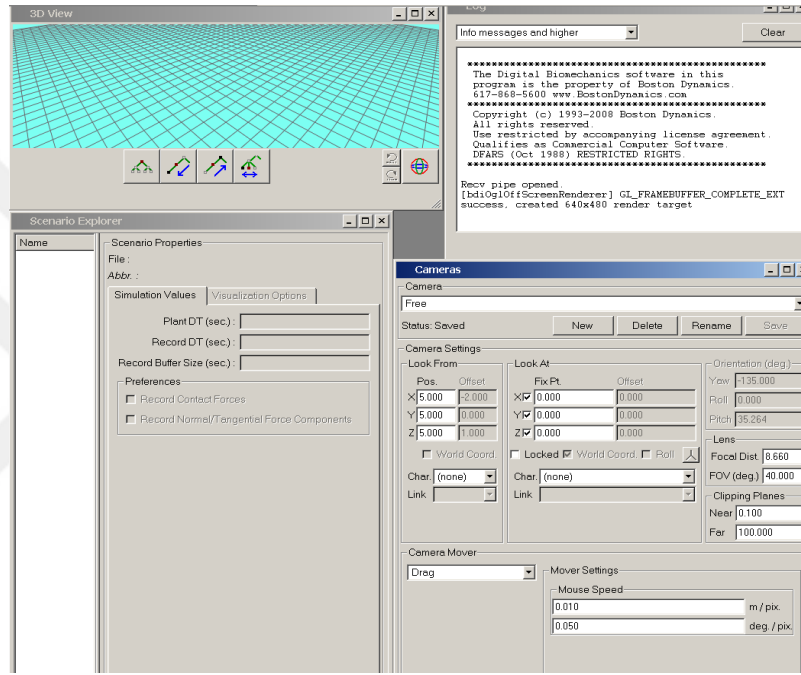
Program 4 çalışma moduna sahiptir:

- ∇ Kurulum Modu: Simülasyon içinde kullanılan ekipmanlar, karakterler, nesnelere seçilmiştir. Bunların her türlü ayarlamaları yapılmıştır.

---

<sup>4</sup> Çalışmada simüle edilen model üzerinde incelenen başlıktır.

- ∇ Simülasyon Modu: Kurulum modunda hazırlanan karakterlerin dinamik simülasyonunun çalıştırılması için kullanılmıştır.
- ∇ Playback Modu: Oluşturulan simülasyonun tekrar tekrar izlenilmiş, durdurulmuş, istenilen şekilde kayıt edilmiştir.
- ∇ BDIPlot Modu: Bu mod, toplanan veriler ile nümerik analiz yapılmasını sağlayan moddur.

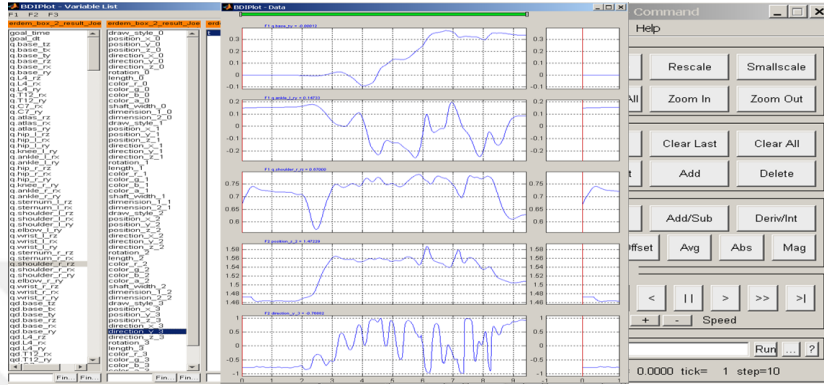


Şekil 3.15. DB arayüz ekranları

BDIPlot<sup>5</sup> modu playback modu açıldığında, kaydedilmiş bir senaryo olduğunda açık pozisyona gelmiştir. Kayıt altına alınmış bir senaryo veri hesapladı ise, BDIPlot ikonu renkli olarak görünmektedir. Bu moda geçildiğinde 3 pencere daha açılmaktadır (Şekil 3.16). Değişken listesi penceresinde, karakterin çeşitli noktalarındaki kuvvet ya da tork değerlerinin grafik isimleri listelenmiştir. Görüntülenmesi istenilen grafik bu listeden seçilmiştir. Veri penceresinde, grafiğin görülmek istendiği alan belirlenmiştir. Bu şekilde karakterimizin istediğimiz her hangi bir anındaki kuvvetin ya da torkun grafiği görülmüştür. Komut penceresinden grafik düzenlenmiştir. Modelin yüke maruz kalan

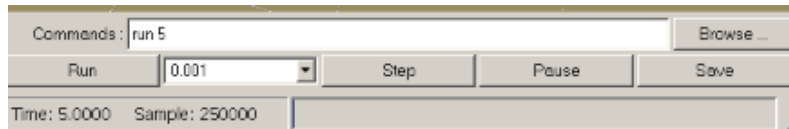
<sup>5</sup> BDI plot modu çalışmada diyagramların oluşturulduğu ve dinamik verilerin sayısal değerlerinin elde edildiği moddur. Araştırma hedeflerinden olan *verilerin nümerik analizi* için bu mod çok önemlidir.

eklemlerine süreç boyunca ne kadar kuvvet uygulandığını grafiklerden izlenmiştir ve yapılan her deneme için kıyaslamalarda bulunulmuştur. Kuvvet ve tork değerleri anbean gözlemlenmiştir. İlgili modlar ile veri adım adım işlenmiştir. Sırasıyla, simülasyon yapılandırılmış, seçilen girdiler ile simülasyon çalıştırılmış ve sonuçlar grafikler kullanılarak gözden geçirilmiştir.



Şekil 3.16. BDIPlot modu pencereleri

Araştırmada, Gypsy'e ve ara programlara ilaveten DB simülasyon programının kullanılma sebebi, birçok biyomekanik sistemde olduğu gibi burada da yalnızca donanım sistemine ait araçlar ile kuvvet ve tork gibi dinamik verilere ulaşılamaması olmuştur. Bu dinamik veriler, operatörün bir yük taşımamasından kaynaklanmıştır (EK 7). Dolayısı ile operatör tarafından taşınan tekerlek grubuna ait ağırlık bilgisi, yazılım alt sistemindeki en önemli değişkenlerdir. Simülasyonda fiziksel yüklere neden olacak kütle yüklemesine dair bilgi, EK 8' de görüldüğü üzere programa girilmiştir. Yazılım alt sistemi, EK 9' da gösterilen kavramsal şemayı izleyerek donanım alt yapısı ile bütünleştirilmiştir. Simülasyon zamana bağlı olarak, run çalışma kutusunda gösterilen süre boyunca çalıştırılmaktadır (Şekil 3.17). Böylece, simülasyon her bir tekrar için, proses çevrim süresi ve simülasyon çalıştırma zamanı çarpımı kadar örnek üretmiştir. Bu durum, veri güvenilirliği için bir avantajdır.



Şekil 3.17. DB run kutusu ve komut çubuğu gösterimi <sup>6</sup>

<sup>6</sup> Örneğin; 5 sn lik bir tekrar periyodunda, simülasyon, süreci 0,001 sn de bir tekrar eder. Böylece, elde edilen kuvvet ve tork diyagramları aslında 250 000 kez tekrar edilmiş örnek sonuçlarından oluşur.

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Üretim süreçlerinde, özellikle montaj hatlarında gelişmiş teknolojiler ile tam otomasyona gitmek arzu edilir olmasına rağmen, insanlara olan ihtiyaç göz ardı edilemez. Bu teknolojiler, belirli bir ölçüde iş verimliliğini ve performansı arttırmıştır (Rahmatalla ve ark. 2008). Ancak, insan işçi, modern ve karmaşık üretim sistemlerinde operatör ve sorun giderici olarak önemli bir rol oynar (Vignais ve ark. 2013). Bu sebeple fiziksel yükler ve riskler kaçınılmazdır. Bu yükler sayısal olarak ortaya konulmadığı sürece, yapılan veya yaptırılan işin doğruluğu ölçülemez. Çalışmada, kullanılan test cihazları ve elde edilen verilerin, işlenmesi sonucu, kıyaslanabilecek şekilde dış ortama aktarılması ile çalışanın farklı süreler içerisinde işi gerçekleştirme durumunda, vücut eklemlerine etkisi incelenmiştir. Çalışanın yaptığı işi hızlandırdığında ortaya çıkacak ivmenin de sonuçları irdelenmiştir.

Bir işlemi hızlandırmak, vücuttaki eklem noktalarında farklılıklara yol açmıştır. Ulaşılan çıktılar, operatöre verilen sürenin 3 sn ve 5 sn olması durumunda alt gövde(L4), üst gövde(T12), sol omuz ve üst kol(Lshoulder), sağ omuz ve üst kol(Rshoulder) eklemleri üzerinde oluşan tork ve kuvvet değerleridir (Çizelge 4.1). Grafiklerde sıfır değerinin üzerinde görülen alan aksel koordinatların pozitif yönde olduğunu, altında kalan alan ise, eklem üzerine gelen kuvvet yönünün negatif doğrultuda olduğunu ifade etmektedir. Pik değerler, dikey ekseninde oluşmaktadır. Fiziksel yüklenmenin başladığı zaman diliminde, kuvvet eğrilerinde pik noktalarda vardır. 5 sn'ye ait kuvvet grafiklerine bakıldığında, fiziksel yüklenmeye ait pik değerler, operatörlerin teker grubunu 3 sn taşımasının ardından oluşmuştur. Operatörün teker grubunu RWAL'dan alıp, RAAL'daki arka aks grubuna doğru taşımaya başlaması ile 3-4 sn aralığında ilgili eklemler üzerinde yüksek kuvvet değerlerine rastlanmaktadır. 5 sn'ye ait tork grafikleri için de aynı durum geçerlidir. 3 sn'ye ait kuvvet ve tork grafiklerine bakıldığında, fiziksel yüklenmeye ait pik değerler, operatörlerin teker grubunu 0,5 sn taşımasının ardından oluşmuştur. 0,5-1 sn aralığında ilgili eklemler üzerinde yüksek kuvvet değerleri görülmektedir. Her iki t değeri için, operatörlerin teker grubunu eline aldığı an ( $t=0$ ), diğer bir değişle başlangıç anı itibari ile belirgin eğriler oluşmaya başlar. Süreç için verilen çevrim süresi 3 sn'ye düşürüldüğünde ise

operatörün hareketlerini, elindeki işi verilen süre içerisinde tamamlamak üzere hızlandırması nedeniyle, işe başlangıç anındaki diyagram değerlerinde dikkate değer bir artış meydana gelmiştir. Simülasyon nümerik değer ortaya koymaya başladığı anda, başlangıç ivmesine bağlı olarak, kuvvet ve tork değerlerinde dalgalanmalar oluşmuştur. Bu dalgalanma, operatöre verilen süre kısaldıkça artma eğiliminde olmuştur. Araştırma, üretim kapasitesinin artırılması için bir prosesin hızlandırılmasının, operatör üzerindeki yükleri de göz önünde bulundurularak daha iyi analiz edilmesinin gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu çalışma, operatör için uygun işlem süresinin sağlanmasının önemini göstermiştir.

**Çizelge 4.1.** Kuvvet ve tork pik değerler (3 sn/hızlı ve 5 sn/yavaş)

## Kuvvet ve Tork Değişkenlerine ait Pik Değerler



3 SANİYE

KUVVET(N.)

L4-----3048.76  
T12-----2737.21  
LShoulder-----869.77  
RShoulder-----1978.02

TORK(N.m)

L4-----951.98  
T12-----933.17  
LShoulder-----204.49  
RShoulder-----238.34



5 SANİYE

KUVVET(N.)

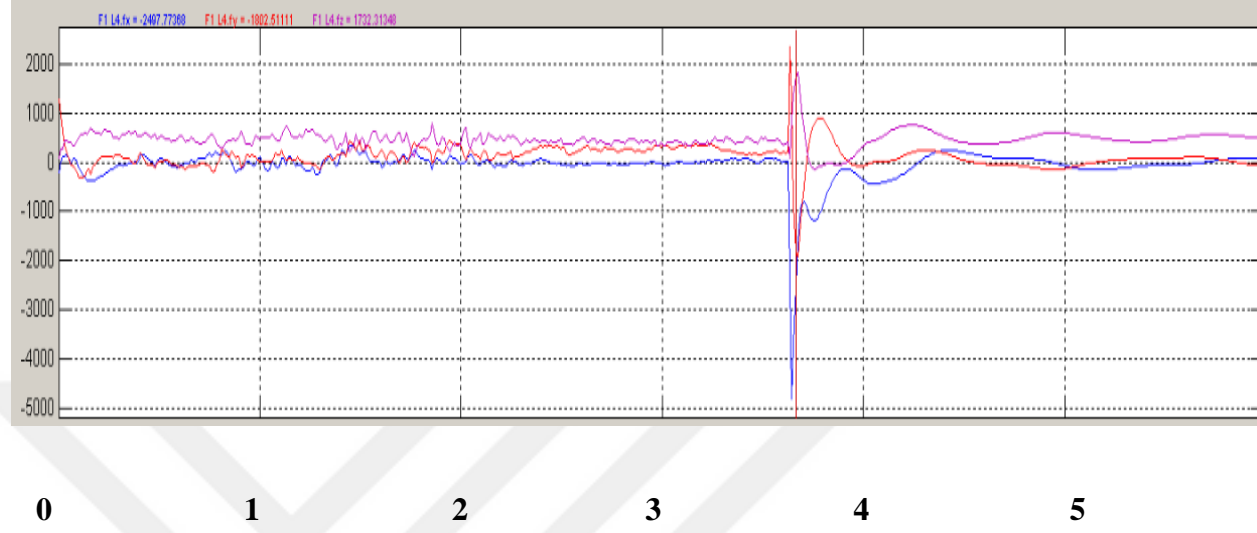
2715.59 -----L4  
1880.88-----T12  
676.90 -----LShoulder  
2610.30-----RShoulder

TORK(N.m)

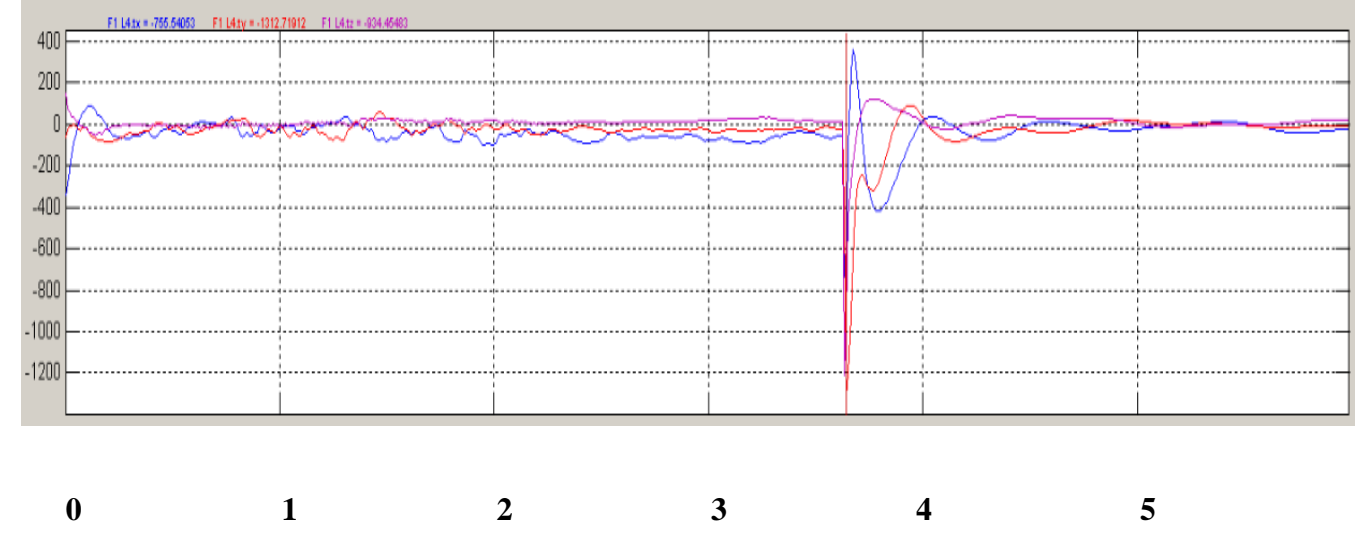
447.12 -----L4  
208.36 -----T12  
90.06 -----LShoulder  
340.65-----RShoulder



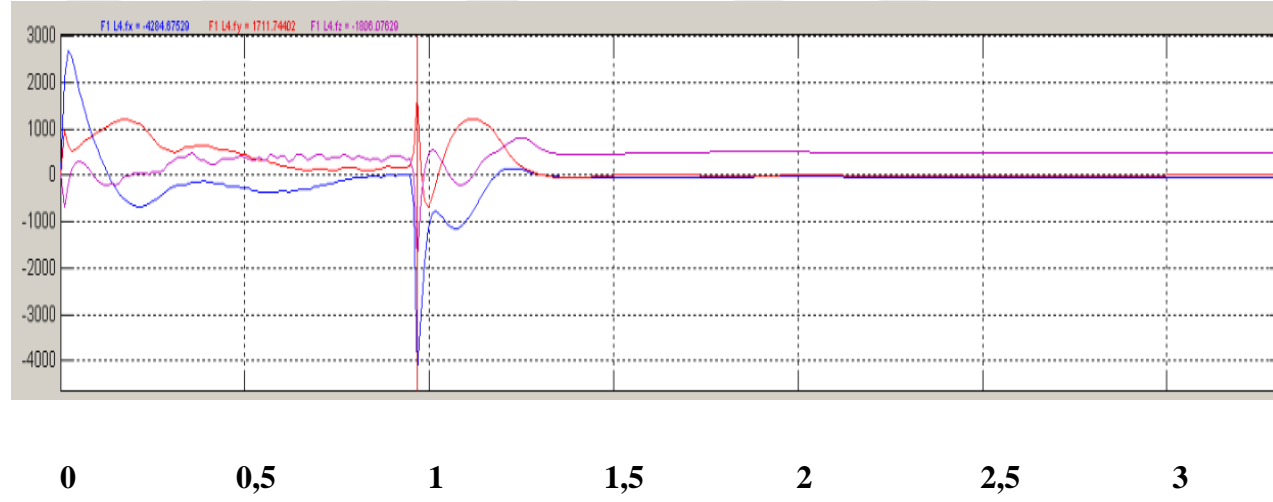
Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4 sırası ile 5 sn ve 3 sn için L4 eklemindeki ortalama kuvvet ve tork değerlerinin zamana bağlı değişimini göstermektedir.



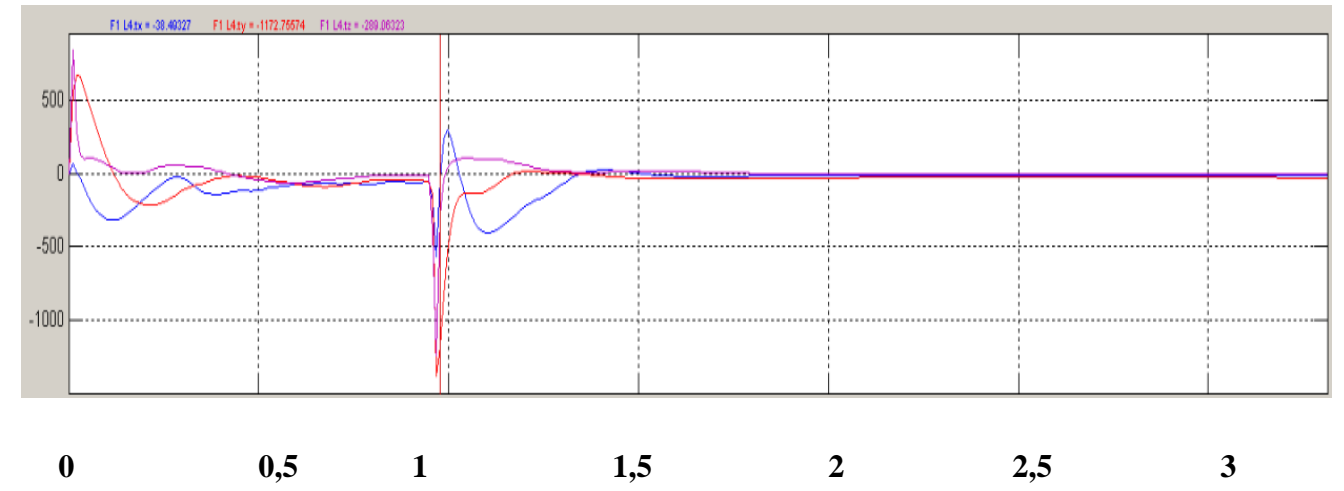
Şekil 4.1. L4 ortalama kuvvet diyagramları (5 sn)



Şekil 4.3. L4 ortalama tork diyagramları (5 sn)

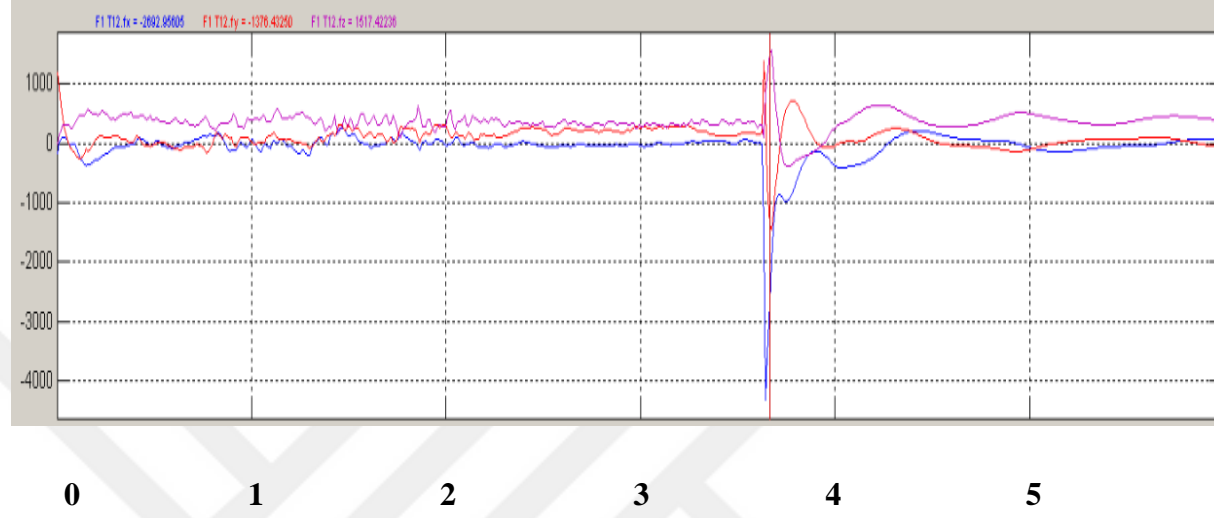


Şekil 4.2. L4 ortalama kuvvet diyagramları (3 sn)

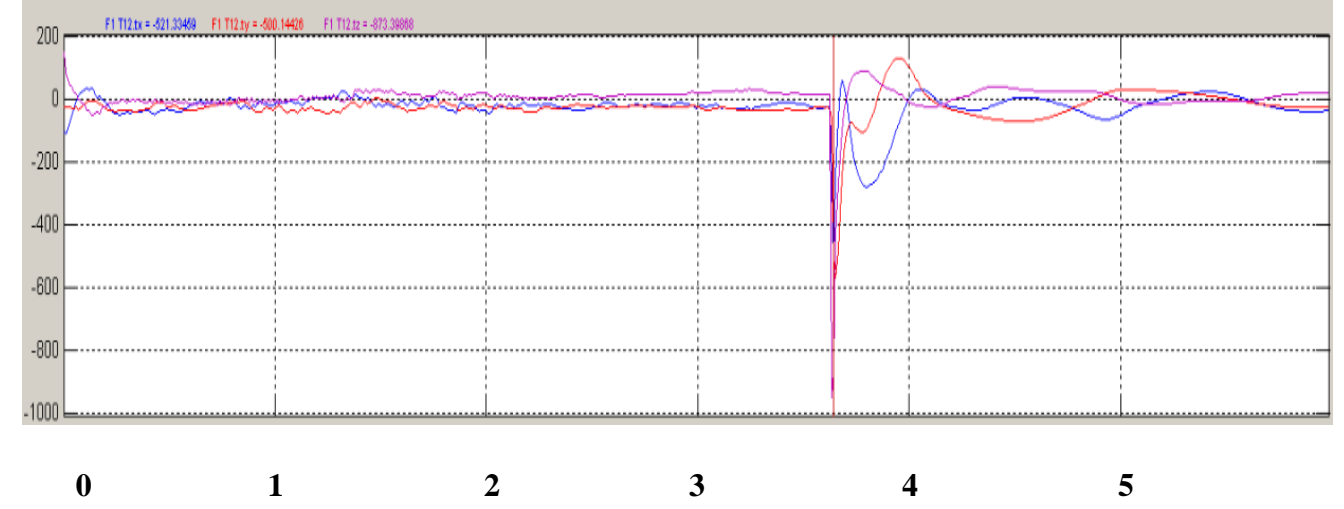


Şekil 4.4. L4 ortalama tork diyagramları (3 sn)

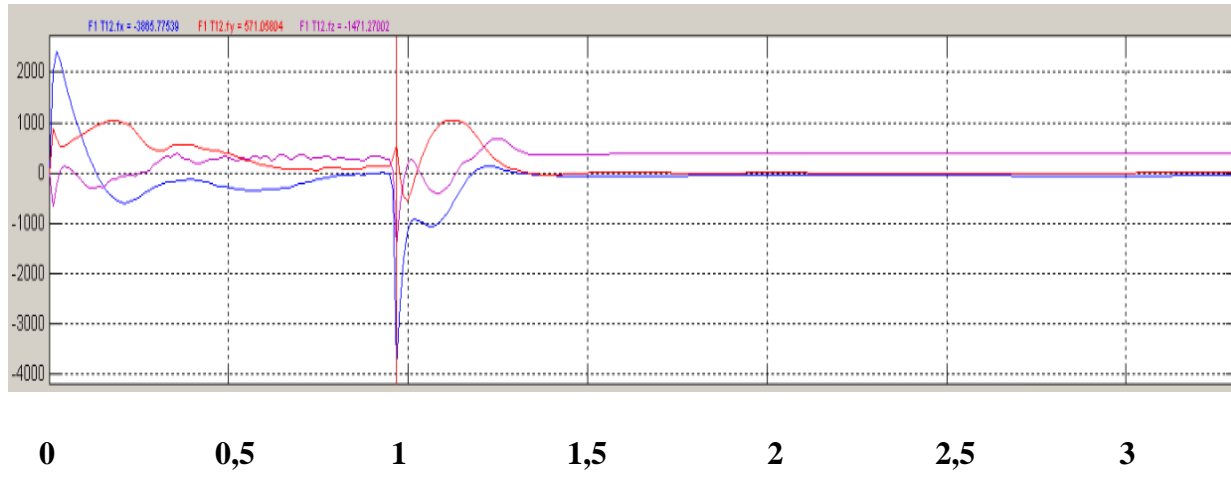
Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8 sırası ile 5 sn ve 3 sn için T12 eklemindeki ortalama kuvvet ve tork değerlerinin zamana bağlı değişimini göstermektedir.



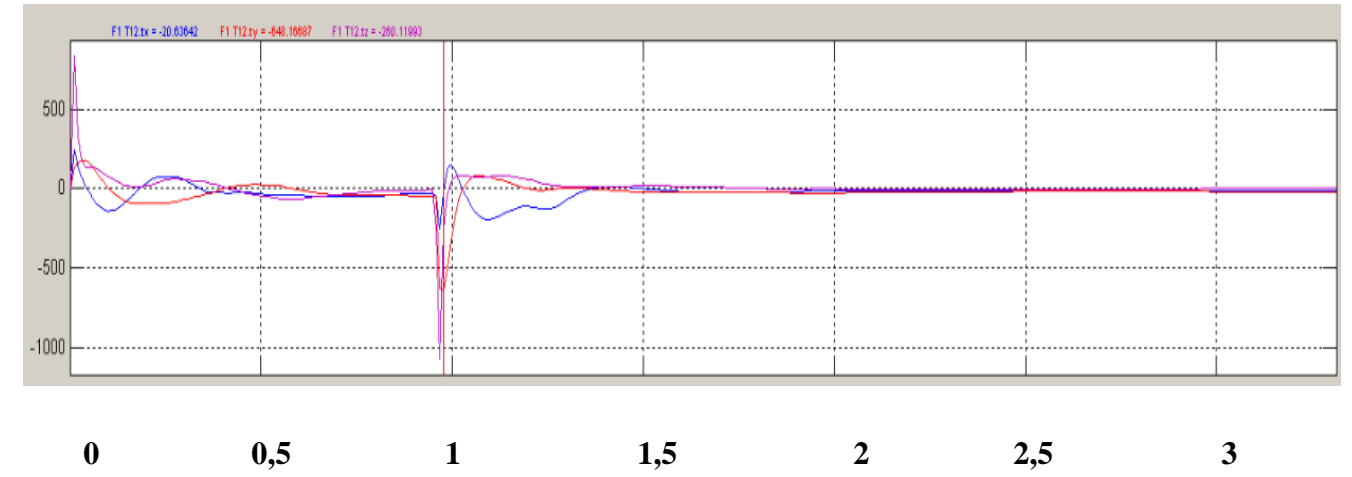
Şekil 4.5. T12 ortalama kuvvet diyagramları (5 sn)



Şekil 4.7. T12 ortalama tork diyagramları (5 sn)

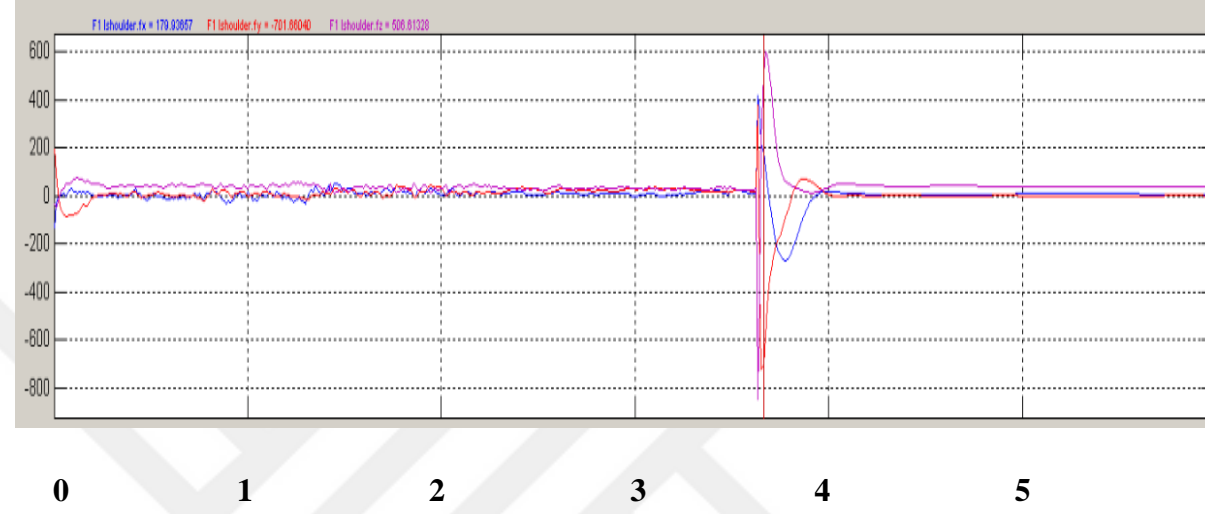


Şekil 4.6. T12 ortalama kuvvet diyagramları (3 sn)

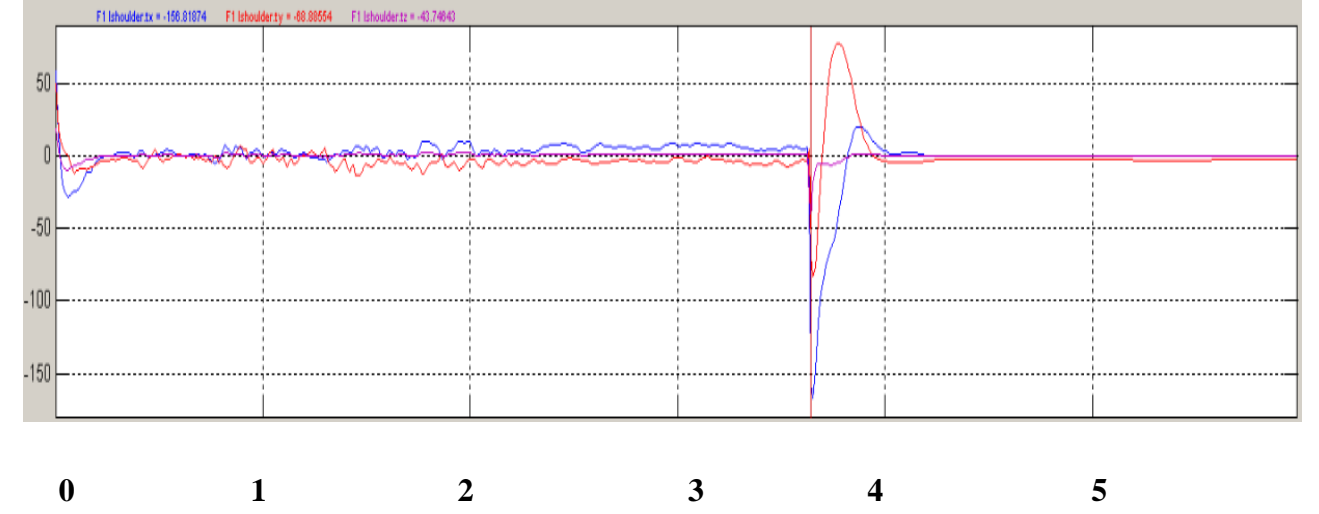


Şekil 4.8. T12 ortalama tork diyagramları (3 sn)

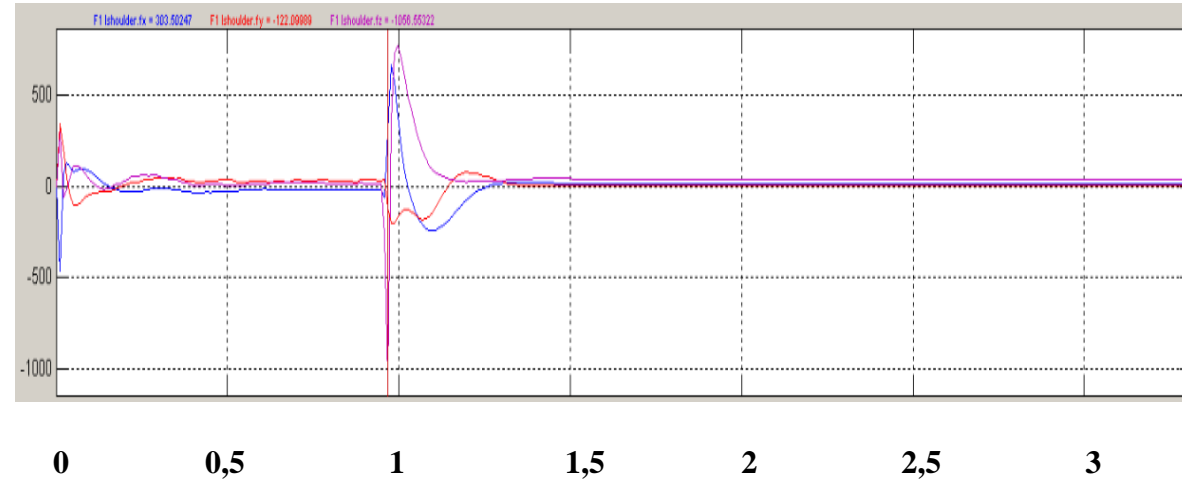
Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12 sırası ile 5 sn ve 3 sn için Lshoulder eklemindeki ortalama kuvvet ve tork değerlerinin zamana bağlı değişimini göstermektedir.



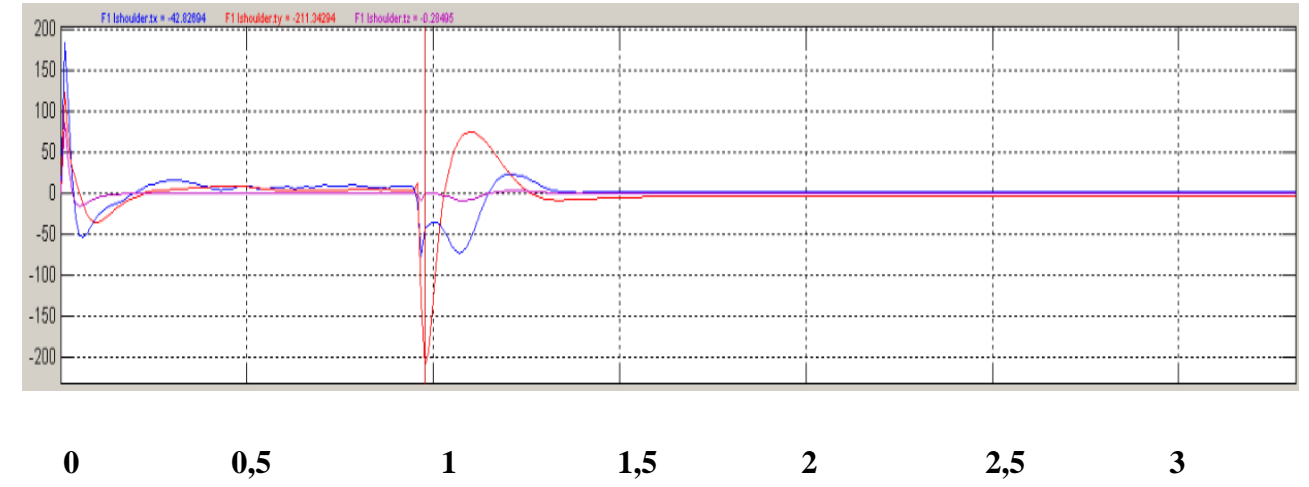
Şekil 4.9. Lshoulder ortalama kuvvet diyagramları (5 sn)



Şekil 4.11. Lshoulder ortalama tork diyagramları (5 sn)

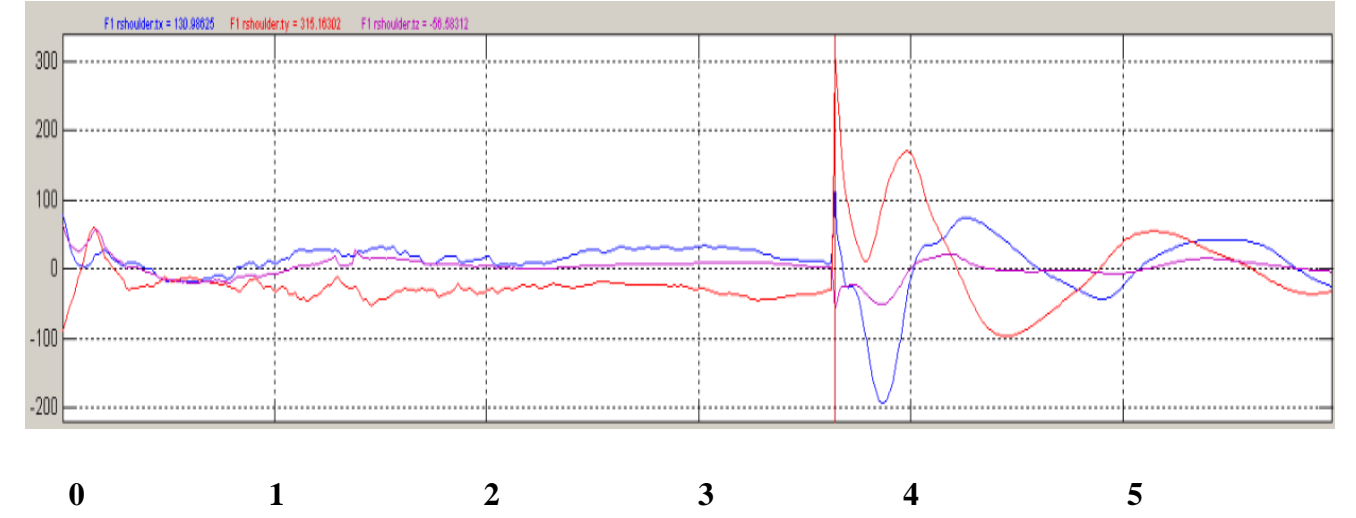
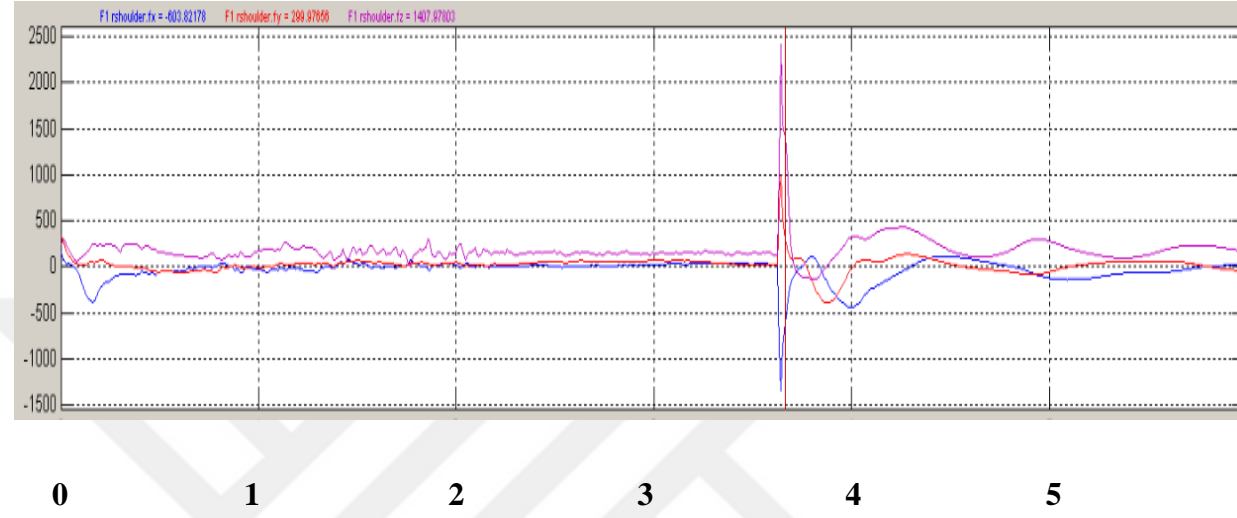


Şekil 4.10. Lshoulder ortalama kuvvet diyagramları (3 sn)



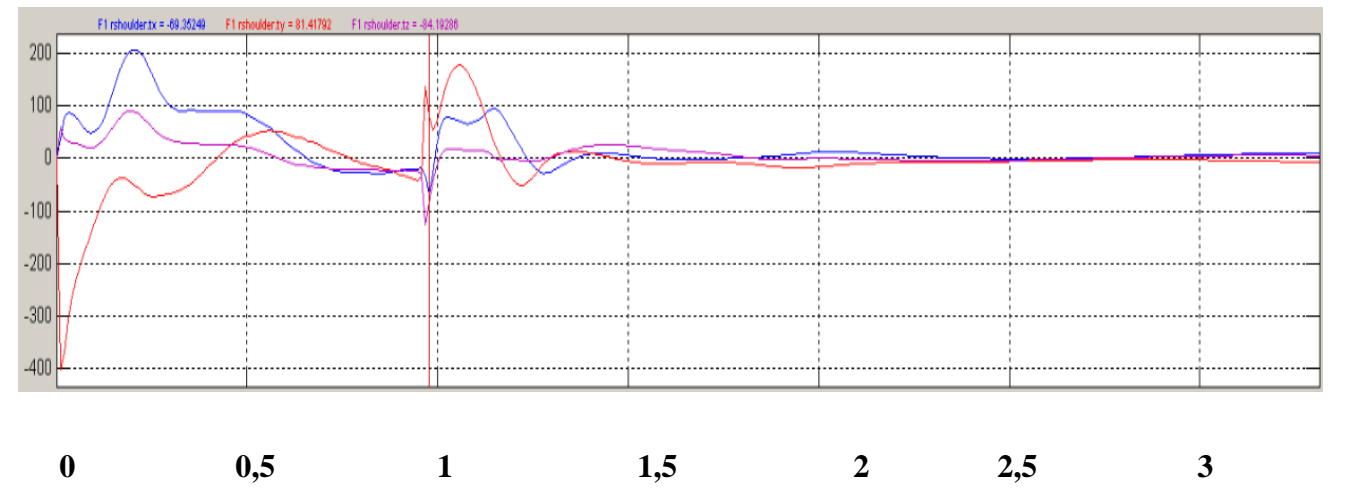
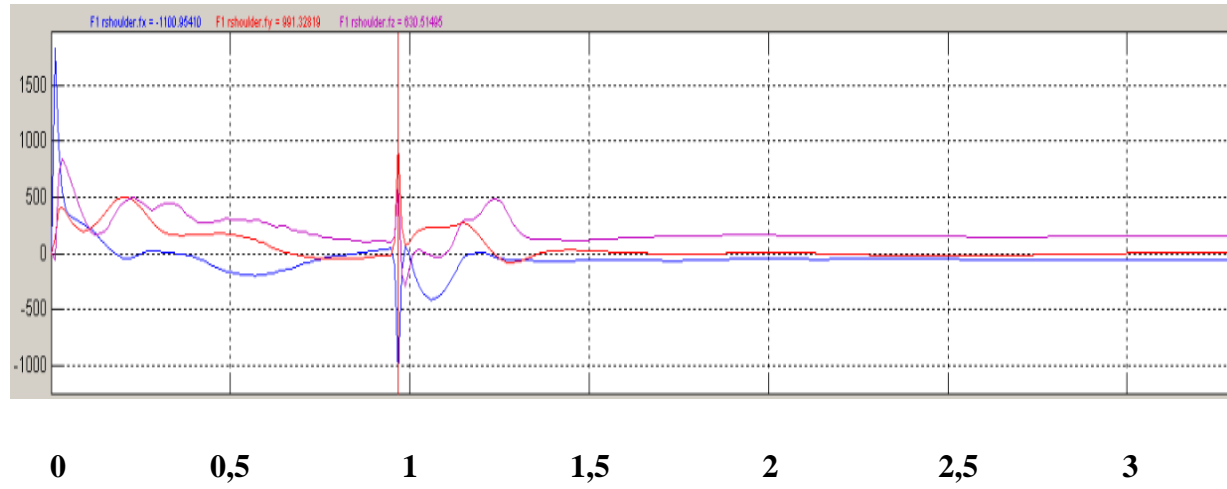
Şekil 4.12. Lshoulder ortalama tork diyagramları (3 sn)

Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16 sırası ile 5 sn ve 3 sn için Rshoulder eklemindeki ortalama kuvvet ve tork değerlerinin zamana bağlı değişimini göstermektedir.



Şekil 4.13. Rshoulder ortalama kuvvet diyagramları (5 sn)

Şekil 4.15. Rshoulder ortalama tork diyagramları (5 sn)



Şekil 4.14. Rshoulder ortalama kuvvet diyagramları (3 sn)

Şekil 4.16. Rshoulder ortalama tork diyagramları (3 sn)

Bu çalışma, farklı hız seviyeleri için farklı işlem zamanlarındaki eklem kuvvetleri ve torkların bir tahminini rapor etmektedir. Geçmiş çalışmalarda, vücut eklem yükleri üzerine farklı araştırmalar mevcuttur. Forsman ve ark. (2001) üretim sistemi büyük oranda sabit nesnelere üzerinde manuel işlemlere dayanan bir otobüs şasi montaj fabrikasında, eklem pozisyonu, alet tipi, eklem özellikleri seçimlerinin bir sonucu olarak ortaya çıkan yüklerin açıklanmasını amaçlamıştır. Andrews ve ark. (2008) otomotiv imalatında kauçuk hortum montajı süresince bayanlar için, maksimum kabul edilebilir pik kuvvetleri ve uyarı etkilerini sağlamıştır.

Otomotiv endüstrisi dışındaki farklı alanlarda da çalışmalar yapılmıştır. Duarte ve Orselli (2011) suyun derinliği ve hareket hızındaki değişimin, iç kas-iskelet sistemindeki yükleri ne şekilde etkilediğini bulmuştur. Hutchinson ve ark. (1994) sandalyeden kalkma esnasında kuvvet ve torkun dinamik yüzdelerini, hızlı denemelerin yavaş denemelerden daha büyük oluşunu, tüm eklemlerde araştırmıştır. Dinamik tork hesaplamalarını kullanan benzer bir çalışma, sandalyeden kalkış hızındaki artışlara, eklem torklarındaki artışların eşlik ettiğini göstermiştir (Pai ve Rogers 1991). Duruş ve hareket modelleri 2 şekilde türetilir; veriye dayalı yöntemler veya fizik ve biyomekanik temelli yöntemler (Haupt ve Parkinson 2015). Literatürde, üretim ve hizmet endüstrisinde, özellikle biyomekanik tabanlı yöntemleri veri toplama ve işleme aşamasında kullanan insan üzerinde yapılan yük faktörünün ölçülmesi işlemleri, genellikle ergonomik bir tasarım yapma amaçlı veya süreci gerçekleştirirken çevresel faktörlerin etkisini ortaya koyma amaçlı yapılmıştır. Hız faktörünün ele alındığı çalışmalar da, üretim endüstrisini baz almamakta olup, daha çok günlük hayatta yapılan oturma, bisiklet sürme gibi faaliyetleri ele almış ve elde edilen sonuçlar sağlık sektöründe tedavi geliştirmeye yönelik kullanılmıştır. Üretim endüstrisinde, özellikle montaj işlemlerinin çoğunlukta olduğu otomotiv sektöründe, süre sınırlamaları, çalışanın işi yapma şeklini ve hızını etkilemektedir. Bu etki, kalite sorunlarını beraberinde getirebileceği gibi, kişi üzerinde de mesleki kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına (WRMDs) yol açan yük ve zorlanmalara sebep olacaktır. Çünkü işin tamamlanması gereken süredeki kısalma, çalışanın yaptığı hareketleri hızlandırması ile doğru orantılıdır. Otomobil üreticilerinin temel amaçlarından biri, üretim hatlarında yüksek verimliliği sürdürürken, işçi yaralanmalarını minimize etmektir (Sylla ve ark.

2014). Yaralanmalar ve hastalıklar sadece işçileri işten uzak tutmakla kalmaz, aynı zamanda kronik sağlık sorunları riskini de beraberinde getirir (Ray ve Teizer 2012). Bu bağlamda, çalışanlar üzerinde bu riskleri belirleyen ve ortadan kaldırmaya yönelik incelemeler hayati önem taşımaktadır. Yapılan bu çalışmanın mevcut sonuçları, insan vücudu üzerinde yüklenme oluşturan bir süreç, iki farklı zaman periyodunda gerçekleştirildiğinde , farklı kuvvet ve torqları ortaya çıkardığını göstermiştir. Zaman periyodu kısaltıldığında, Rshoulder üzerindeki eklem kuvvet ve tork değerlerinde bir azalma görülmesine rağmen, L4, T12, Lshoulder eklemlerindeki ilgili değerlerde tüm operatörler için artışlar meydana gelmiştir. Bu eklemler için ortalama değerleri incelediğimizde pik noktalar her bir denemede aynı yönde artmış ya da azalmıştır. Sonuçlara bakıldığında, katılımcı olarak tüm operatörlerin sağ el kullanma eğiliminde olmasına bağlı olarak , Rshoulder değişkenleri bu durumdan farklı etkilenmiştir. Bunun nedeni, operatöre ait , eklem noktalarında oluşan kuvvet ve tork değerlerini etkileyen iskelet yapısı, vücut kütlesi, hız gibi karakteristiklerin tamamı ile farklı olmasına karşın, operatörler arasındaki tek ortak yön olan, her birinin sağ elini baskın kullanmasıdır.

## 5. SONUÇ

Montaj, üretim hatlarının en yaygın prosesidir. Bu çalışma, bir montaj sürecinde, seçilmiş vücut eklemlerinde 3 sn ile 5 sn arasında meydana gelen fiziksel yük farkını göstermiştir. Bir prosesi hızlandırmak, vücuttaki eklem noktalarında farklılıklara sebep olacaktır. Araştırma sonuçları, operatörlerin hızı ve baskın kullanılan eli, vücut eklemlerindeki kuvvet ve torkları etkilediğini doğrulamaktadır. Üretim kapasitesinin artırılması için bir prosenin hızlandırılmasının, operatör üzerindeki yükler de göz önünde bulundurularak daha iyi analiz edilmesinin gerekliliğini ortaya koymakta ve operatörler için uygun proses çevrim süresinin sağlanmasının önemini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, aynı zamanda, ilgili üretim hattı için bir Avrupa Birliği (AB) 7. Çerçeve Projesi (ÇP) olan Robo-Partner'e de (<http://www.robo-partner.eu/>) katkı sağlayacaktır. Robo-Partner (RP) projesinin temel amacı, robotların montaj hatlarında kullanımının yaygınlaştırılmasına ve ortak robot/insan çalışma ortamlarına yönelik iş modeli, yöntem, yazılım ve ekipman geliştirmektir. Hedeflerinden biri de, montaj sırasında insan/robot birlikte çalışmasını sağlayacak üretim hücresi oluşturmak olan RP Projesi'nin firmadaki pilot lokasyonu, çalışmamızı gerçekleştirdiğimiz montaj hattı ile aynı alandır. Proje uygulanmadan önce, bu alandaki ilgili süreci yalnızca insan gerçekleştirmektedir. RP Projesi sonrasında ise, bu alanda insan/robot birlikte çalışacaktır. Dolayısıyla, endüstriyel operasyonlarda manuel işlemlerin insan iskeleti üzerinde etkisini analiz etmek, hattın öncesi durumunu; RP uygulamaları ile insanlara akıllı robotların da eşlik ettiği süreç ise sonrası durumunu ifade edecektir. Kullandığımız entegre sistemin çıktıları böylece, hat üzerinde AB 7. ÇP öncesi değerleri oluşturmuştur. RP Projesinin hat üzerinde uygulanması sonrasında alınacak ölçümler ise, iki durum (öncesi/sonrası) arasındaki farkları kıyaslayıp, yorumlamamıza olanak verip, bir AB 7. ÇP' nin somut çıktıları olacaktır. Gelecek araştırmalarda, çalışmada kullanılan yöntem, yüklerin taşınması ya da montajı sırasında farklı nesnelere, farklı üretim hatlarında kullanılabilir. Operatöre işi yapması için verilen optimum süre, yükte kararlılık ve zararsızlık sağlamak için farklı varyasyonlar ile deneysel olarak bulunabilir. Kullanılan teknik ve devreye alınan ergonomi analizi test cihazı, üretim hatlarında çalışan solak ve engelli bireylere uygulanabilir.

## KAYNAKLAR

- Akkale E.C., 2014.** Elle taşıma işlerinde iş sağlığı ve güvenliğinin Niosh kaldırma denklemi ile incelenmesi. ÇSGB İş Teftiş Kurulu Başkanlığı , İzmir.
- Andrews, D.M., Potvin, J.R., Calder, I.C., Cort, J.A., Agnew, M., Stephens, A. 2008.** Acceptable peak forces and impulses during manual hose insertions in the automobile industry. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38: 193-201
- Anonim, 2017.** <http://www.kwon3d.com/theory/jtorque/jtorque.html#fre,2017>(Erişim tarihi: 01.03.2017).
- Battini, D., Persona, A., Sgarbossa, F. 2014.** Innovative real-time system to integrate ergonomic evaluations into warehouse design and management. *Computers & Industrial Engineering*, 77: 1–10.
- Bernmark, E., Wiktorin, C. C. P. S. 2002.** A triaxial accelerometer for measuring arm movements. *Applied Ergonomics*, 33: 541–547.
- Boothroyd, G., Dewhurst P. 1989.** Product design for assembly. McGraw-Hill, New York.
- Boston Dynamics.2005.** Digital biomechanics 1.1.1 User Guide.
- Everett, J.G. 1997.** Ergonomic analysis of construction tasks for risk factors for overexertion injuries. Center for Construction Engineering and Management, University of Michigan, NTIS Publication No. PB97-207179, Ann Arbor, MI.
- Falck, A.C., Ortengren,R., Hogberg, D. 2010.** The impact of poor assembly ergonomics on product quality: A cost–benefit analysis in car manufacturing. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 20(1) :24–4.
- Feyen, R., Liu, Y., Chaffin, D. B., Jimmerson, G., & Joseph, B. 2000.** Computer aided ergonomics: A case study of incorporating ergonomics analyses into workplace design. *Applied Ergonomics*, 31, 291–300.
- Freivalds, A., Kong, Y., You, H., Park, S. 2000.** A comprehensive risk assessment model for work-related musculoskeletal disorders of the upper extremities. *SAGE*. In proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting,44 (31): 5 728.
- Forsman, M., Cyren , H., Möller, T., Kadefors, R., Mathiassen, S.E. 2001.** Activity in five muscles during joint securing using pneumatic nutrunners. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 29: 21-32.
- Güler Ç. 2004.** Sağlık Boyutuyla Ergonomi,Palme Yayınları, Ankara.
- Hartmann, B. 2009.** Prävention von arbeitsbedingten muskel skelett erkrankungen (Prevention of work related muscoloskeletal disorders). Vortrag für die BG Bau, Berlin, Germany.
- Haupt., D.R , Parkinson M. B. 2015.** APA handbook of human systems integration. Chapter 9 , Digital Modelling of Physical Constraints, Page: 133.
- Hutchinson, E.B., Riley, P.O., Krebs, D.E. 1994.** A dynamic analysis of the joint forces and torques during rising from a chair. *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, 2(2): 49-56.
- Hoozemans, M.J.M.,Slaghuis,W.,Faber,G.S.,van Die"en, J.H. 2007.** Cart pushing: the effects of magnitude and direction of the exerted push force, and oftrunk inclination on low back loading. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 37: 832–844.
- Knudson D. 2007.** Fundamentals of biomechanics. 2nd ed. New York: Springer.



- Latella, C., Kuppaswamy N., Nori F. 2015.** Force and motion capture system based on distributed micro-accelerometers, gyros, force and tactile sensing. Conference Proceedings Paper–Sensors and Applications.
- Moeslund, T. B., Granum, E. 2001.** A survey of computer vision-based human motion capture. *Computer Vision and Image Understanding*, 81: 231–268.
- Neumann, W.P., Wells, R.P., Norman, R.W., Frank, J., Shannon, H., Kerr M.S. 2001.** A posture and load sampling approach to determining low-back pain risk in occupational settings. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 27: 65-77.
- Ohno, T. 1998.** Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production, Productivity Press, ISBN 978-0-915299-14-0, 1998.
- Orselli, M.I.V., Duarte, M. 2011.** Joint forces and torques when walking in shallow water. *Journal of Biomechanics*, 44: 1170–1175.
- Pai, Y.C., Rogers, M.W. 1991.** Speed variation and resultant joint torques during sit-to stand. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 72:881-885.
- Qin, J., Trudeau, M., Katz, J.N., Buchholz, B., Dennerlein J.T. 2011.** Biomechanical loading on the upper extremity increases from single key tapping to directional tapping. *Journal of Electromyography Kinesiology*, 21:587–594.
- Radwin, R. G., Lin, M. L. 1993.** An analytical method for characterizing repetitive motion and postural stress using spectral-analysis. *Ergonomics*, 36: 379–389.
- Rahmatalla S., Xia T., Contratto M., Kopp G., Wilder D., Frey Law L., Ankrum J. 2008.** Three-dimensional motion capture protocol for seated operator in whole body vibration. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38: 425-433.
- Ray S. J., Teizer J. 2012.** Real-time construction worker posture analysis for ergonomics training. *Advanced Engineering Informatics*. 6: 439–455.
- REFA, 1988.** İş Etüdü- Kitap 1 İş Etüdünün Temelleri, MPM Yayınları, Sayfa 161
- Schaub, K.H., Landau, K. 2004.** Ergonomie und prävention in der betrieblichen praxis (Ergonomics and prevention in operational practice). *Angewandte Arbeitswissenschaft* 180, p. 52-70.
- Sylla N., Bonnet V. , Colledani F., P Fraise P. 2014.** Ergonomic contribution of ABLE exoskeleton in automotive industry. *International Journal of Industrial Ergonomics* , 44: 475-481.
- Takcı, E. 2013.** Bir imalat işletmesinde simülasyon yardımıyla süreç iyileştirme uygulaması: Kayseri Gürkar Tekstil Örneği. *Yüksek Lisans Tezi*, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Nevşehir.
- Thun, J.H., Lehr, C.B., Bierwirth, M. 2011.** Feel free to feel comfortable-An empirical analysis of ergonomics in the German automotive industry. *International Journal of Production Economics*, 133: 551-561.
- Tian, R., Duffy, V.G. 2011.** Computerized task risk assessment using digital human modeling based Job Risk Classification Model. *Computers & Industrial Engineering*, 61: 1044–1052.
- Vignais N., Miezal M., Bleser G., Mura K., Gorecky D., Marin F. 2013.** Innovative system for real-time ergonomic feedback in industrial manufacturing. *Applied Ergonomics*, 44: 566-574.
- Wang, Z.B., Ng, L.X., Ong, S.K., Nee, A.Y.C. 2013.** Assembly planning and evaluation in an augmented reality environment. *International Journal of Production Research*, 51(23-24) :7388-7404.

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

**Zhang, X., Chaffin, D. B. 2005.** Digital human modeling for computer-aided ergonomics. In W. S. Marras & W. Karwowski (Eds.), *The occupational ergonomics handbook* 2nd ed.. CRC Press.



٢٥

## **EKLER**

- EK 1** Üretim hattında uygulanan MURI ergonomi analizi matrisi
- EK 2** Gypsy' nin giydirilmesi
- EK 3** Autocal ara programı data dosyası örneği
- EK 4** Giysi üzerindeki bağlantı giriş noktaları
- EK 5** Donanım ve yazılım arasındaki bağlantılar
- EK 6** Cobrview ara programı data dosyası örneği
- EK 7** Donanım ve yazılım alt yapısına ait 2 farklı model görüntüsü
- EK 8** DB taşınan yükün ağırlık girişi
- EK 9** Bütünleşik sistem mantıksal şema gösterimi

EK 1 Üretim hattında uygulanan MURI ergonomi analizi matrisi

Manuel Proseslerde "Çalışan Hareketleri" Ergonomi Değerlendirme Matrisi																																		
operasyondaki hareketleri		belden eğilme			belim dönme			kolların kaldırma yüksekliği			dizlerin bükülmesi/gerilmesi			dirseklerin dandurulması			parça / malzeme alma			kaldırma ağırlığı (yücelim dönmesi)			yürüme			başma			bileklerin dönmesi			Boyunun Dandurulması		
Puan		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
kriter																																		
manuel işçilik prosesi		0°-15°	15°-30°	>30°	0°-15°	15°-45°	>45°	bel seviyesinde omuz seviyesinde omuzların üstünde	0°-30°	30°-60°	>60°	0°-90°	90°-180°	>180°	0°-45°	45°-90°	>90°	0-4 adım	5-9 adım	>10 adım	0-3 kg	3-5 kg	>5 kg	0°-15°	15°-45°	>45°	0°-15°	15°-30°	>30°					
1	ARKA TEKER GRUBU (İSTASYONUNDAKİ BİTMİŞ OLAN SAĞ TEKER GRUBUNU) ALIP ARKA KÖPRÜ SAĞ TARAFINDAKİ APARAT ÜZERİNE KÖYÜNÜZ.	2			2			1			1			2			2			2			3			2			1			22		
2	KASETTEN 4 ADET FUSO VİDASI ALIP ŞARZU TABANCA ÜZERİNE KÖYÜNÜZ.	1			1			2			1			2			1			1			1			1			1			13		
3	ŞARZU TABANCA YI ALIP VİDALARI FUSO YU EKSENLEYECEK ŞEKİLDE AYARLAYARAK TABANCA YI ÇALIŞTIRARAK VİDALARI TUTTURUN	2			2			1			1			2			1			2			1			1			1			16		
4	ARKA TEKER GRUBU (İSTASYONUNDAKİ BİTMİŞ OLAN SOL TEKER GRUBUNU) ALIP ARKA KÖPRÜ SOL TARAFINDAKİ APARAT ÜZERİNE KÖYÜNÜZ.	2			2			1			1			2			2			2			3			3			1			22		
5	KASETTEN 4 ADET FUSO VİDASI ALIP ŞARZU TABANCA ÜZERİNE KÖYÜNÜZ.	1			1			2			1			2			1			1			1			1			1			13		
6	ŞARZU TABANCA YI ALIP VİDALARI FUSO YU EKSENLEYECEK ŞEKİLDE AYARLAYARAK TABANCA YI ÇALIŞTIRARAK VİDALARI TUTTURUN	2			2			1			1			2			1			2			1			1			1			16		
7	SAĞ VE SOL EL FRENTELLERİNİ ARABA ÜZERİNDEKİ KANALA KÖNÜLMÜŞÜ.	2			1			1			1			1			1			1			1			1			1			12		
8	PRİNTİR ÇIKTI SİNİ ALMA VE DİRZYON KAĞIDINA YAPİŞTİRİLİR ARABANIN SONRAKİ İSTASYONA GÖNDERİLMESİ İÇİN ONAY DÖĞMESİNE BAŞILMASI.	1			1			1			1			1			1			1			1			1			1			11		

Belden eğilme		
Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
0° - 15°	15° - 30°	> 30°

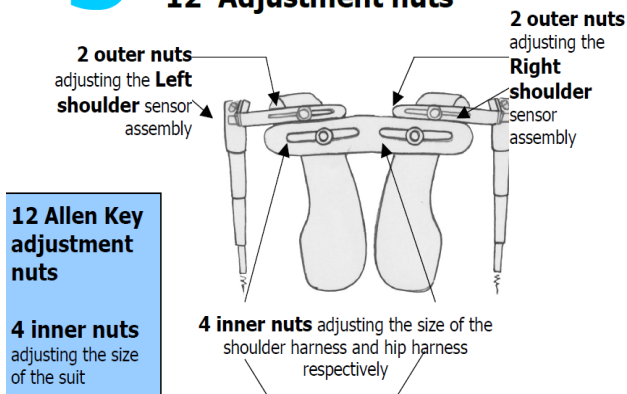
Çalışma alanı vücut dönmesi		
Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
0° - 45°	45° - 90°	> 90°

Parça/malzeme alma		
Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Kolayca alma	Kolların genişletilerek alınabilmesi	Zorlanarak alma

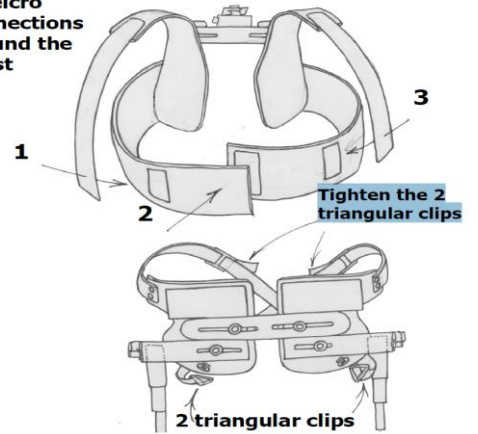
Yürüme		
Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
0 - 4 adım arası	5 - 9 adım arası	10 adım yukarı

EK 2 Gypsy'nin giydirilmesi

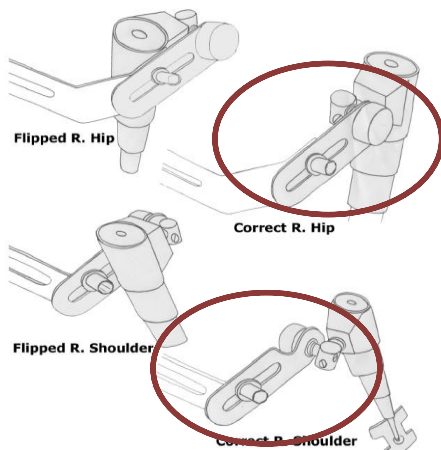
**12 Adjustment nuts**



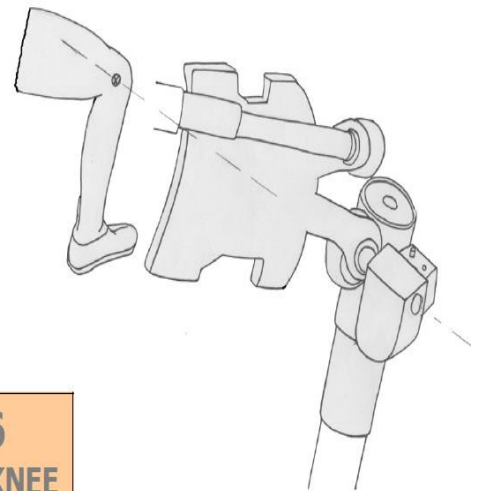
3 Velcro connections around the chest



**Possible Assembly Flips on shoulder tips or hip tips**

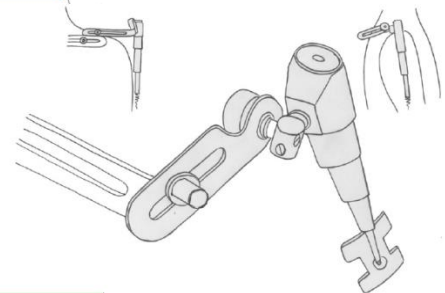


E.



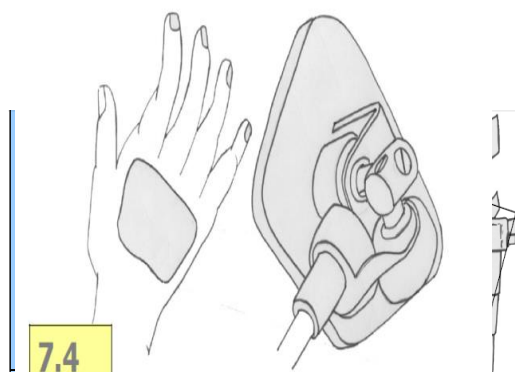
7.6 R. KNEE

R. SHOE



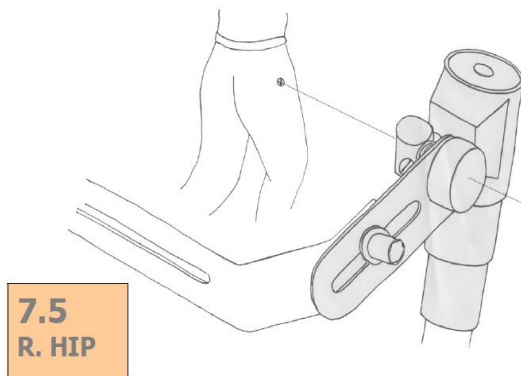
7.2 SHOULDER

7.4 HAND



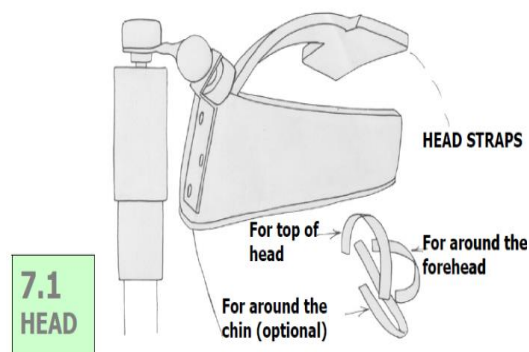
adjusting the **Left Hip** sensor assembly

adjusting the **right Hip** sensor assembly



**7.5**  
R. HIP

### Placement of sensor pads



**7.1**  
HEAD

HEAD STRAPS

For top of  
head

For around the  
forehead

For around the  
chin (optional)

### EK 3 Autocal ara programı data dosyası örneği

```
[Info]
FileType=1
Units=Inches
[Bones]
LeftPelvisX=4.78267
LeftPelvisY=0.320294
LeftPelvisZ=-2.51741
LeftUpperLegX=-0.865013
LeftUpperLegY=0.852902
LeftUpperLegZ=-14.6443
LeftLowerLegX=-0.102638
LeftLowerLegY=2.46171
LeftLowerLegZ=-16.5695
LeftHeelX=0.384413
LeftHeelY=2.55333
LeftHeelZ=-4.22936
LeftFootX=0.976413
LeftFootY=-9.79889
LeftFootZ=-1.90735e-006
RightPelvisX=-4.78267
RightPelvisY=0.320294
RightPelvisZ=-2.51741
RightUpperLegX=0.865013
RightUpperLegY=0.852902
RightUpperLegZ=-14.6443
RightLowerLegX=0.102638
```

RightLowerLegY=2.46171  
RightLowerLegZ=-16.5695  
RightHeelX=-0.384413  
RightHeelY=2.55333  
RightHeelZ=-4.22936  
RightFootX=-0.976413  
RightFootY=-9.79889  
RightFootZ=-1.90735e-006  
PelvisTopX=0  
PelvisTopY=0.302313  
PelvisTopZ=6.51069  
LeftCollarX=2.33189  
LeftCollarY=-1.59577  
LeftCollarZ=12.6046  
LeftClavicleX=5.37671  
LeftClavicleY=1.92894  
LeftClavicleZ=-2.44034  
LeftUpperArmX=3.00122  
LeftUpperArmY=1.83382  
LeftUpperArmZ=-9.6582  
LeftForearmX=2  
LeftForearmY=-1.24861  
LeftForearmZ=-9.11483  
LeftHandX=0.206782  
LeftHandY=-1.2587  
LeftHandZ=-6.50413  
RightCollarX=-2.33189  
RightCollarY=-1.59577  
RightCollarZ=12.6046  
RightClavicleX=-5.37671  
RightClavicleY=1.92894  
RightClavicleZ=-2.44034  
RightUpperArmX=-3.00122  
RightUpperArmY=1.83382  
RightUpperArmZ=-9.6582  
RightForearmX=-1.12658  
RightForearmY=-1.24861  
RightForearmZ=-9.11483  
RightHandX=-0.206782  
RightHandY=-1.2587  
RightHandZ=-6.50413  
SpineX=0  
SpineY=-0.302313  
SpineZ=16.7756  
NeckX=0  
NeckY=-1.56749  
NeckZ=3.48732  
HeadX=0  
HeadY=1.56727  
HeadZ=3.97868  
[Scales]  
PositionX=1  
PositionY=1  
PositionZ=1  
JumpX=1  
JumpY=1

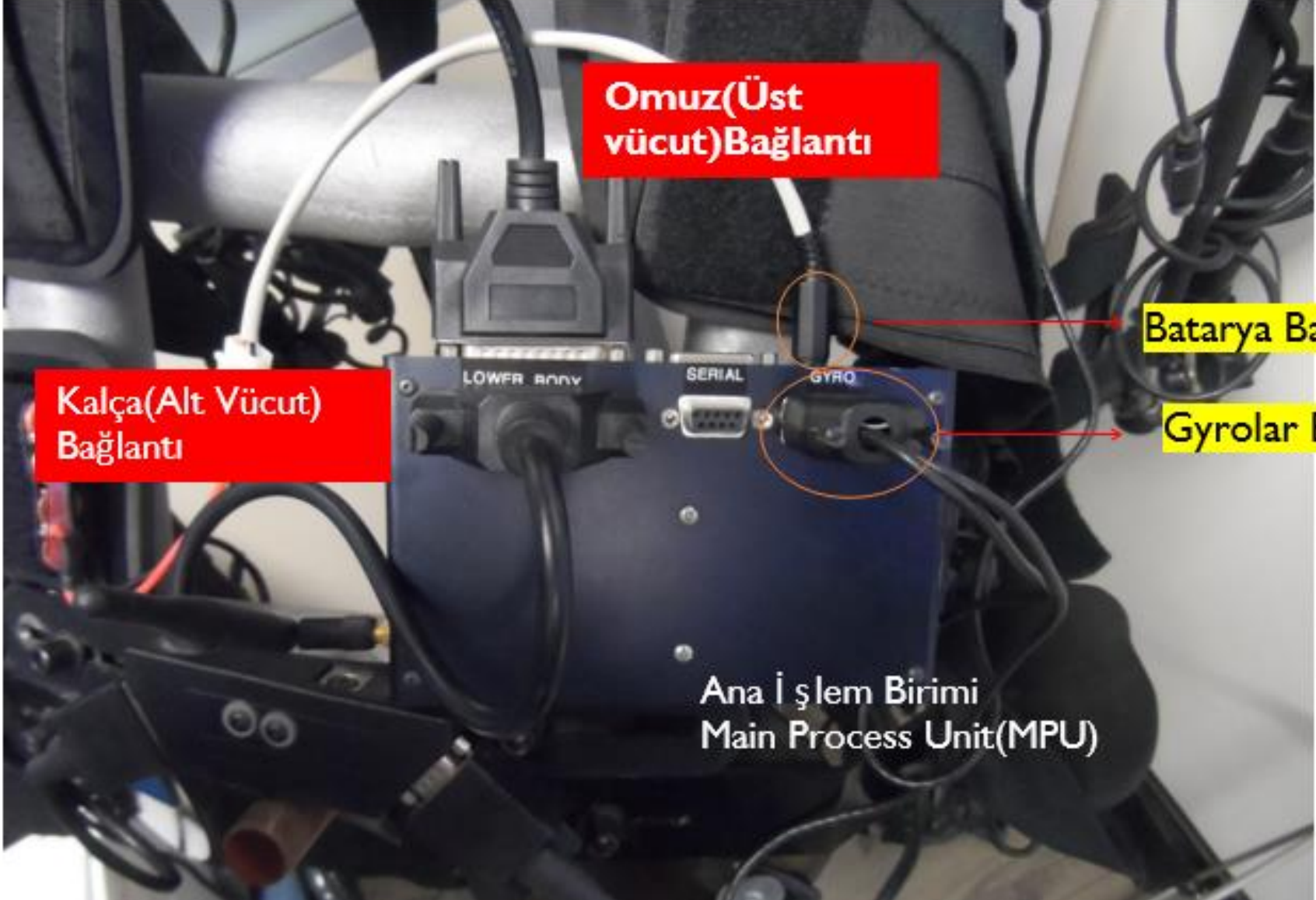
JumpZ=1  
StaticFriction=0.1  
KineticFriction=0.05  
JumpHoldoff=0.2  
JumpThreshold=1  
MinTrackingHeight=-1  
MarkerX=0  
MarkerY=0  
MarkerZ=0  
MarkerNode=0  
Hips=1  
LeftHip=1  
LeftKnee=1  
LeftAnkle=1  
RightHip=1  
RightKnee=1  
RightAnkle=1  
Chest=1  
LeftCollar=1  
LeftShoulder=1  
LeftElbow=1  
LeftWrist=1  
RightCollar=1  
RightShoulder=1  
RightElbow=1  
RightWrist=1  
**EK 3 Autocal ara programı data dosyası örneği**  
(devam)  
Neck=1  
Head=1  
ZPot=1  
FractionClavicles=0.1  
FractionNeck=0.2  
LeftShoulderTwistZ=0  
LeftShoulderTwistX=0  
LeftShoulderTwistY=0  
RightShoulderTwistZ=0  
RightShoulderTwistX=0  
RightShoulderTwistY=0  
LeftUpperArmTwist=35  
RightUpperArmTwist=35  
LeftAnkleTwist=5  
RightAnkleTwist=5  
LeftAnkleNull=0.4  
RightAnkleNull=0.4  
LeftWristNull=0.5  
RightWristNull=0.5  
LeftShoulderNull=0.5  
RightShoulderNull=0.5  
ThicknessLeftPelvis=10.4  
ThicknessLeftUpperLeg=0.944  
ThicknessLeftLowerLeg=0.821  
ThicknessLeftHeel=1.85  
ThicknessLeftFoot=1.43

ThicknessRightPelvis=10.4	LeftElbowX=0
ThicknessRightUpperLeg=0.944	LeftElbowY=0
ThicknessRightLowerLeg=0.821	LeftElbowZ=0
ThicknessRightHeel=1.85	LeftWristX=0
ThicknessRightFoot=1.43	LeftWristY=0
ThicknessPelvisTop=2.06	LeftWristZ=0
ThicknessLeftCollar=0.476	RightCollarX=0
ThicknessLeftClavicle=2.87	RightCollarY=0
ThicknessLeftUpperArm=1	RightCollarZ=0
ThicknessLeftForearm=0.973	RightShoulderX=10
ThicknessLeftHand=0.741	RightShoulderY=0
ThicknessRightCollar=0.476	RightShoulderZ=10
ThicknessRightClavicle=2.87	RightElbowX=0
ThicknessRightUpperArm=1	RightElbowY=0
ThicknessRightForearm=0.973	RightElbowZ=0
ThicknessRightHand=0.741	RightWristX=0
ThicknessSpine=1.42	RightWristY=0
ThicknessNeck=2.22	RightWristZ=0
ThicknessHead=2.44	NeckX=0
	NeckY=0
[Tweaks]	NeckZ=0
PositionX=0	HeadX=10
PositionY=0	HeadY=0
PositionZ=0	HeadZ=0
HipsX=0	
HipsY=0	

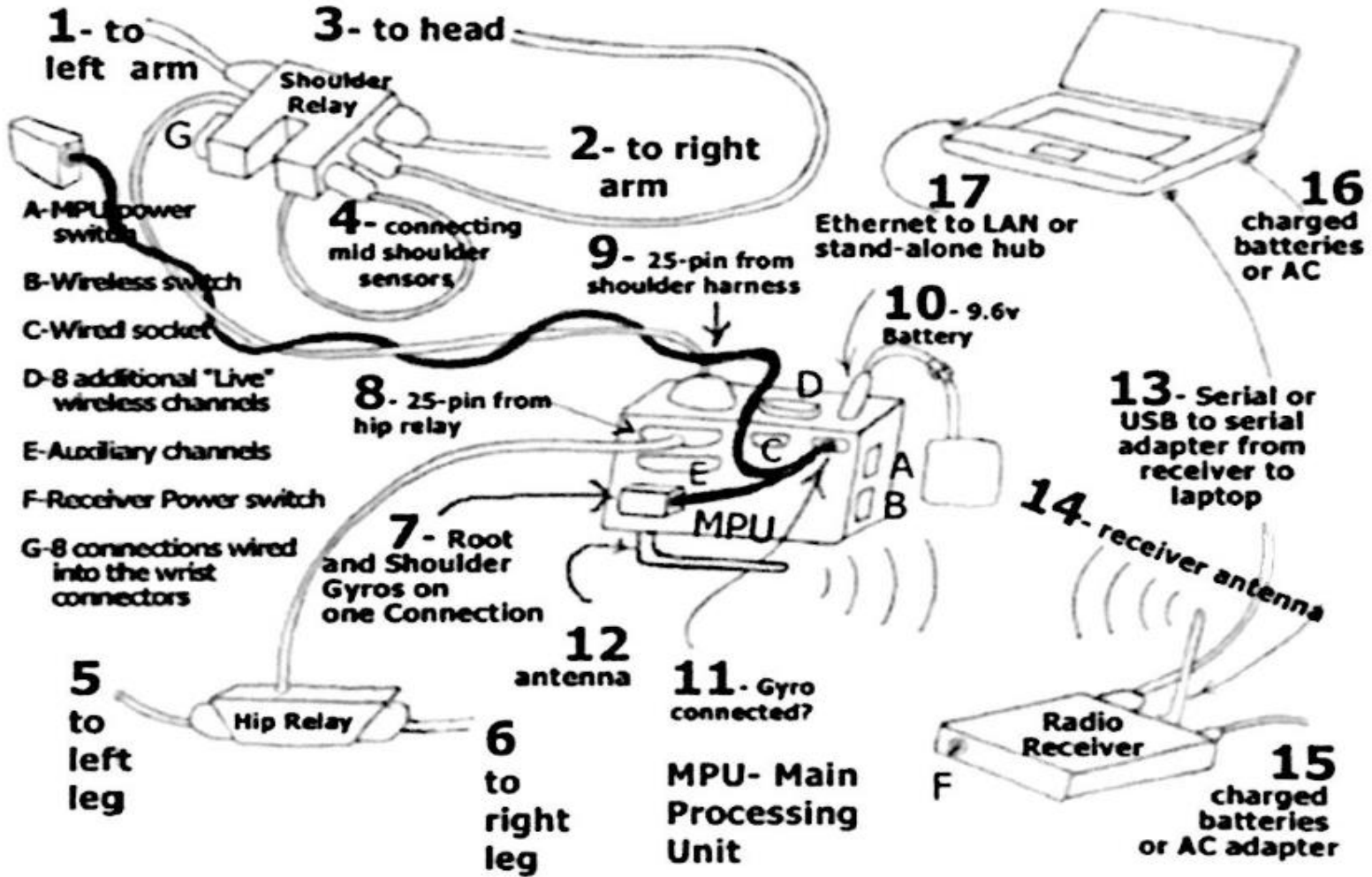
HipsZ=0  
LeftHipX=0  
LeftHipY=0  
LeftHipZ=0  
LeftKneeX=0  
LeftKneeY=0  
LeftKneeZ=0  
LeftAnkleX=1  
LeftAnkleY=0  
LeftAnkleZ=0  
RightHipX=0  
RightHipY=0  
RightHipZ=0  
RightKneeX=0  
RightKneeY=0  
RightKneeZ=0  
RightAnkleX=0  
RightAnkleY=0  
RightAnkleZ=0  
ChestX=0  
ChestY=0  
ChestZ=0  
LeftCollarX=0  
LeftCollarY=0  
LeftCollarZ=0  
LeftShoulderX=0  
LeftShoulderY=0  
LeftShoulderZ=0



EK 4 Giysi üzerindeki bağlantı giriş noktaları



EK 5 Donanım ve yazılım arasındaki bağlantılar



**EK 6** Cobrview ara programı data dosyası örneği

```
ROOT Hips
{
  OFFSET      0.000000   0.000000   0.000000
  CHANNELS 6 Xposition Yposition Zposition Zrotation Xrotation
Yrotation
  JOINT LeftHip
  {
    OFFSET      4.782670  -2.517410  -0.320294
    CHANNELS 3 Zrotation Xrotation Yrotation
    JOINT LeftKnee
    {
      OFFSET      -0.865013  -14.644300  -0.852902
      CHANNELS 3 Zrotation Xrotation Yrotation
      JOINT LeftAnkle
      {
        OFFSET      -0.102638  -16.569500  -2.461710
        CHANNELS 3 Zrotation Xrotation Yrotation
        End Site
        {
          OFFSET      0.384413  -4.229360  -
          2.553330
        }
      }
    }
  }
  JOINT RightHip
  {
    OFFSET      -4.782670  -2.517410  -0.320294
    CHANNELS 3 Zrotation Xrotation Yrotation
    JOINT RightKnee
    {
      OFFSET      0.865013  -14.644300  -0.852902
      CHANNELS 3 Zrotation Xrotation Yrotation
      JOINT RightAnkle
      {
        OFFSET      0.102638  -16.569500  -2.461710
        CHANNELS 3 Zrotation Xrotation Yrotation
        End Site
        {
          OFFSET      -0.384413  -4.229360  -
          2.553330
        }
      }
    }
  }
  JOINT Chest
  {
    OFFSET      0.000000   6.510690  -0.302313
    CHANNELS 3 Zrotation Xrotation Yrotation
    JOINT LeftCollar
    {
      OFFSET      2.331890  12.604600  1.595770
      CHANNELS 3 Zrotation Xrotation Yrotation
      JOINT LeftShoulder
    }
  }
}
```

**EK 6** Cobrview ara programı data dosyası örneği (devam)

```

{
    OFFSET      5.376710  -2.440340  -1.928940
    CHANNELS 3 Zrotation Xrotation Yrotation
    JOINT LeftElbow
    {
        OFFSET      3.001220  -9.658200  -
        1.833820
        CHANNELS      3      Zrotation      Xrotation
        Yrotation
        JOINT LeftWrist
        {
            OFFSET      2.000000  -9.114830
            1.248610
            CHANNELS 3 Zrotation Xrotation
            Yrotation
            End Site
            {
                OFFSET      0.206782  -
                6.504130  1.258700
            }
        }
    }
    JOINT RightCollar
    {
        OFFSET      -2.331890  12.604600  1.595770
        CHANNELS 3 Zrotation Xrotation Yrotation
        JOINT RightShoulder
        {
            OFFSET      -5.376710  -2.440340  -1.928940
            CHANNELS 3 Zrotation Xrotation Yrotation
            JOINT RightElbow
            {
                OFFSET      -3.001220  -9.658200  -
                1.833820
                CHANNELS      3      Zrotation      Xrotation
                Yrotation
                JOINT RightWrist
                {
                    OFFSET      -1.126580  -9.114830
                    1.248610
                    CHANNELS 3 Zrotation Xrotation
                    Yrotation
                    End Site
                    {
                        OFFSET      -0.206782  -
                        6.504130  1.258700
                    }
                }
            }
        }
    }
    JOINT Neck

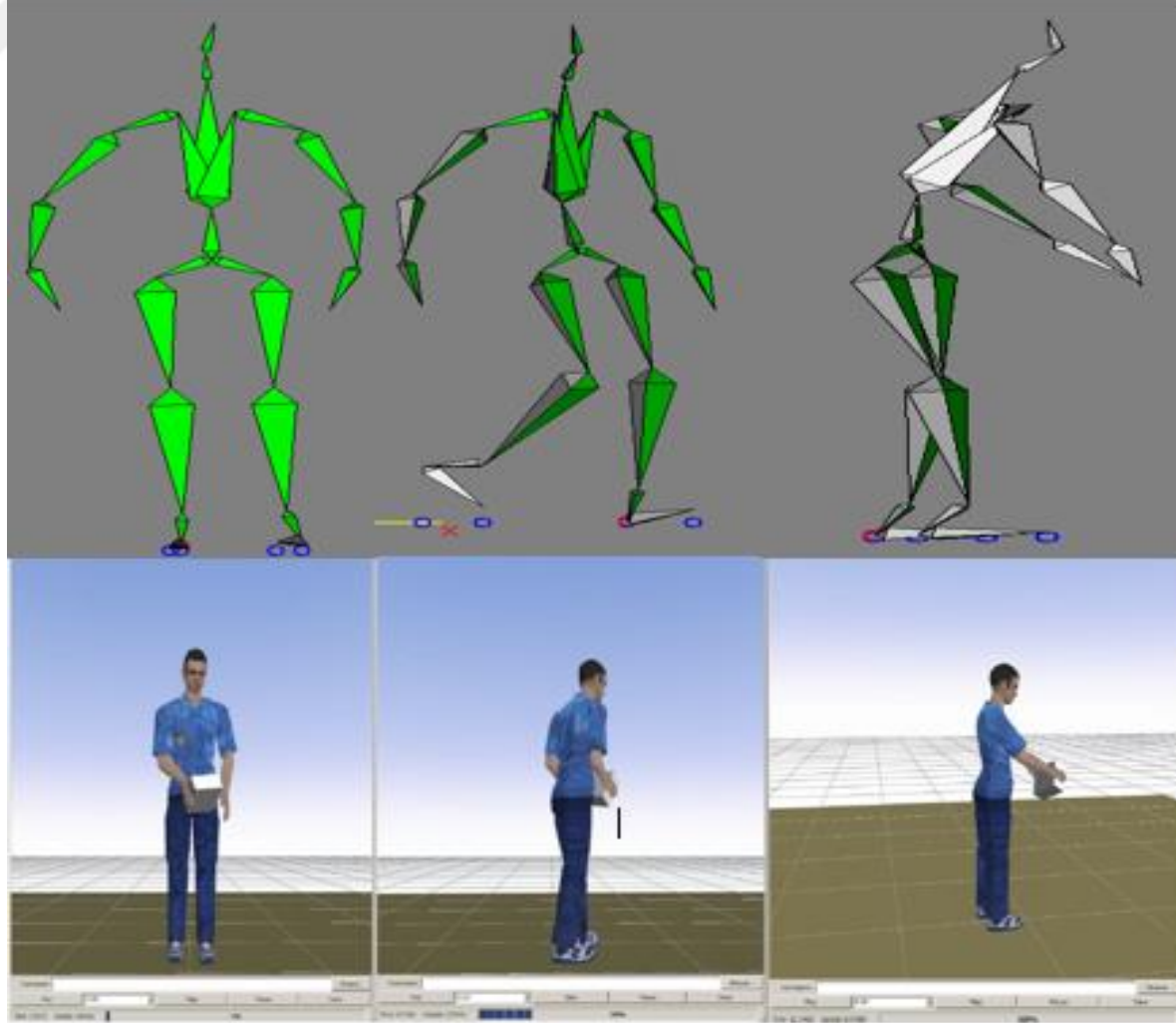
```

**EK 6** Cobrerview ara programı data dosyası örneği (devam)

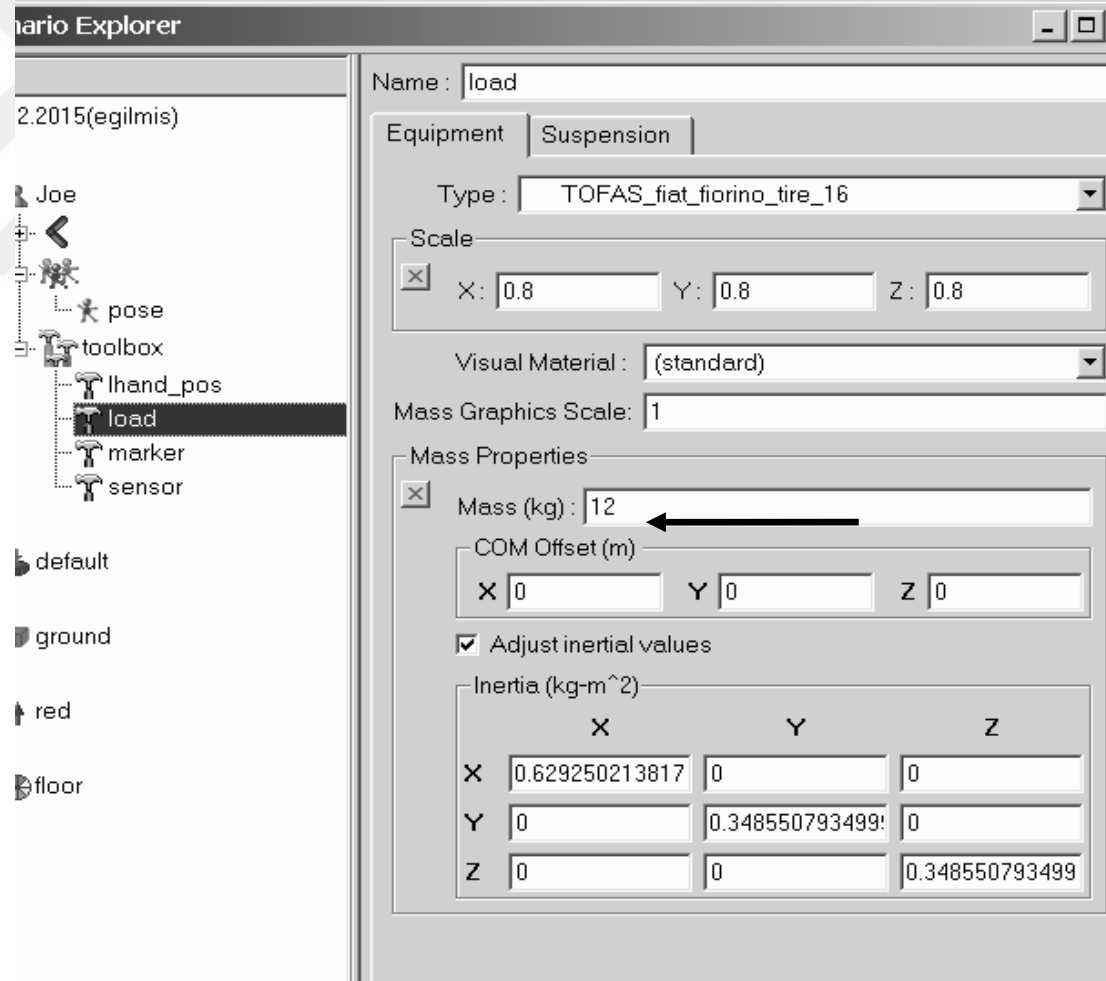
```
{
      OFFSET      0.000000   16.775600   0.302313
      CHANNELS 3 Zrotation Xrotation Yrotation
      JOINT Head
      {
            OFFSET      0.000000   3.487320   1.567490
            CHANNELS 3 Zrotation Xrotation Yrotation
            End Site
            {
                  OFFSET      0.000000   3.978680   -
1.567270
            }
      }
}

MOTION
Frames:      398
Frame Time: 0.008333
0.211171   38.104816  -1.995236  -0.605643  -1.009844  -12.710400
      -2.825469   3.621093   15.405645  -0.000000   0.297625
      0.000000  -1.357923  -0.597054  -2.173452  -3.284163  -
11.100358   1.542332   0.000000   13.951974   0.000001  -11.118761
      2.022717  -1.906179  -0.643785   6.195812  -9.276917  -
0.120894   0.682240  -1.032915   2.606866  -26.321632 -21.764591
      -18.772165 -24.682861  -4.142551  -4.003667  -5.839096
      6.089155  -0.120894   0.682240  -1.032915   1.434079
      12.272057 -7.805317  37.084263 -48.844536  23.724977
      13.315538 -6.136461  -32.498295 -3.470062   1.222199  -
0.012633  -13.976089  14.861744   0.405752
-0.000743  38.289005  -1.980505  -0.536372  -0.992492  -12.841149
      -2.583288   3.621814   15.793179  -0.000000   0.051498
      0.000000  -2.945148   0.771597  -1.138911  -3.530453  -
11.097589   1.011521  -0.000000   13.781431  -0.000000  -11.208467
      1.153896  -2.009128  -0.357485   6.280458  -9.885067  -
0.093133   0.693589  -1.098861   2.172831  -27.134150 -22.977152
      -18.506491 -24.385328  -4.032233  -2.942535  -6.136897
      7.530594  -0.093133   0.693589  -1.098861   1.417890
      11.793074 -7.710831  36.582546 -48.547436  23.303539
      12.423067 -5.510083  -32.520550 -3.421473   1.190946  -
0.020024  -13.770711  14.741020   0.357297
0.290812   38.244694  -1.834979  -0.382063  -0.950366  -13.087751
      -3.310744   3.860753   15.208516  -0.000000  -0.249292
      0.000000  -3.053262   0.596791  -0.631635  -3.776739  -
11.094619   1.689220  -0.000000   13.179775  -0.000001  -11.322495
      1.051236  -1.548257  -0.330574   6.263544  -10.024979  -
0.090762   0.691868  -1.114246   1.822715  -27.863995 -24.204037
      -18.172184 -24.008282  -3.895208  -1.669863  -6.416866
      8.889424  -0.090762   0.691868  -1.114246   1.394663
      11.235640 -7.573621  36.195251 -48.313850  22.979036
      11.581352 -4.802124  -32.554100 -3.356564   1.162694  -
0.007776  -13.516456  14.625338   0.388844
```

EK 7 Donanım ve yazılım alt yapısına ait 2 farklı model görüntüsü



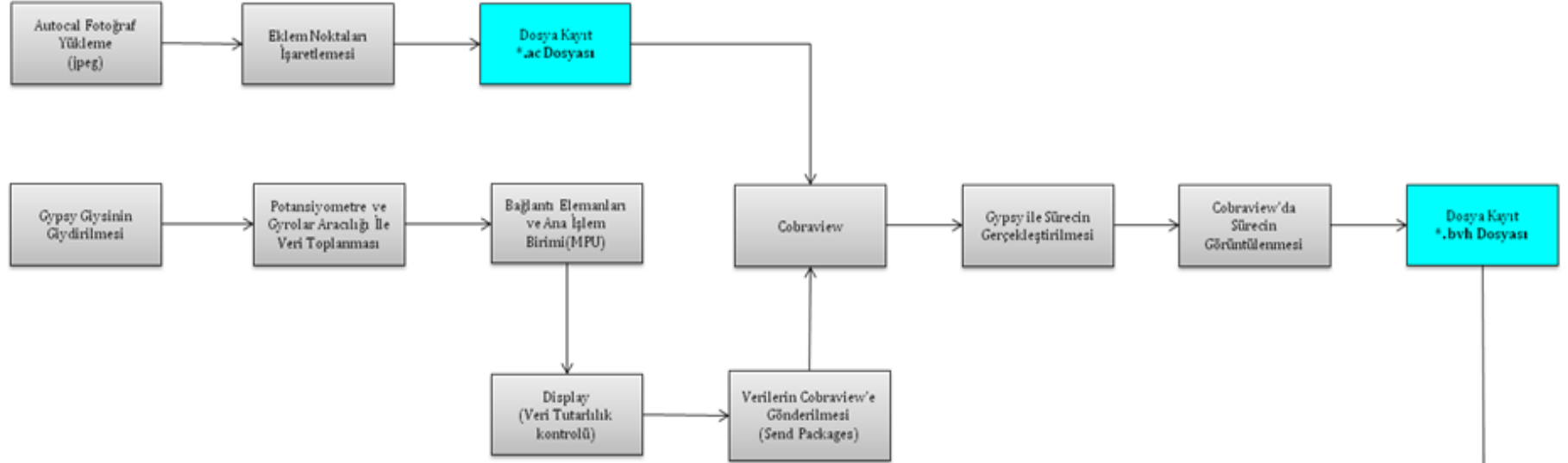
## EK 8 DB taşınan yükün ağırlık<sup>7</sup> girişi



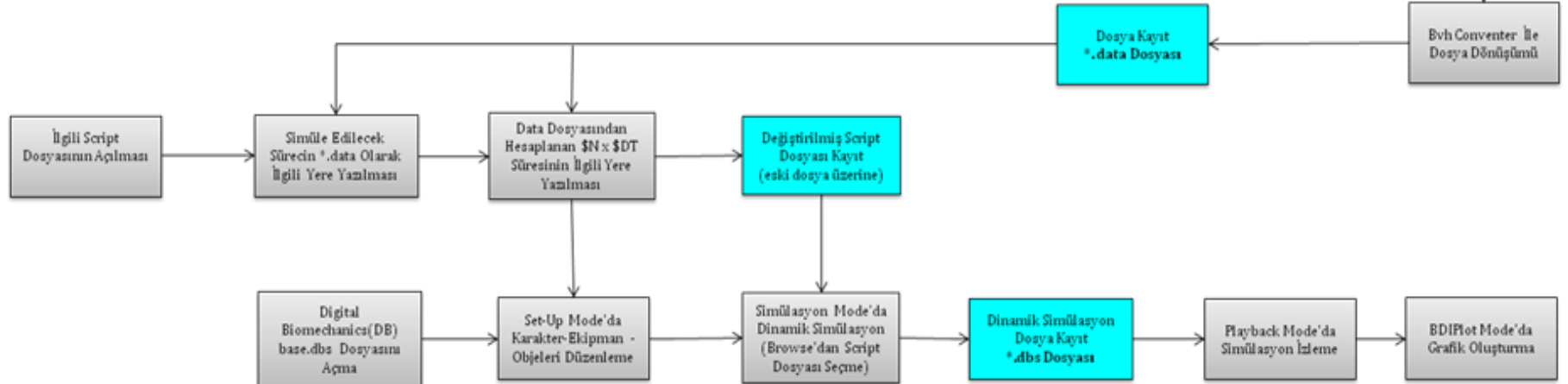
<sup>7</sup> Üretim alanında yapılan gerçek zamanlı denemelerde, 12 kg olan tekerlek grubu kullanılmıştır

EK 9 Bütünleşik sistem mantıksal şema gösterimi

Donanım Alt Sistemi



Yazılım Alt Sistemi





## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : DERYA İDE  
Doğum Yeri ve Tarihi : Yıldırım / 01.03.1990  
Yabancı Dili : İngilizce  
Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl) : Lisans -2012  
Lise : Bursa Anadolu Kız Lisesi /Fen  
Lisans : Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi  
Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : -  
İletişim (e-posta) : deryaide1973@gmail.com  
Yayınları\* : -