

**OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE ANALİZ BAZLI  
PROSES MÜHENDİSLİĞİ UYGULAMALARI**

Batuhan DOĞANIŞIK



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Otomotiv Sektöründe Analiz Bazlı Proses Mühendisliği Uygulamaları**

Batuhan DOĞANIŞIK  
<https://orcid.org/0000-0001-7930-9745>

Prof. Dr. Abdil KUŞ  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

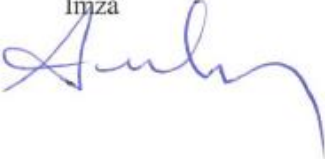
BURSA – 2021

## TEZ ONAYI

Batuhan DOĞANIŞIK tarafından hazırlanan “OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE ANALİZ BAZLI PROSES MÜHENDİSLİĞİ UYGULAMALARI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Abdil KUŞ

**Başkan** : Prof. Dr. Abdil KUŞ  
<https://orcid.org/0000-0002-4626-0719>  
Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,  
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza  


**Üye** : Prof. Dr. Ferruh ÖZTÜRK  
<https://orcid.org/0000-0001-5767-8312>  
Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,  
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza  


**Üye** : Prof. Dr. Ali Rıza MOTORCU  
<https://orcid.org/0000-0002-9129-8935>  
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza  


Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN  
Enstitü Müdürü

.....

**B.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.**

Tarih ve İmza

...../...../ 20.....

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE ANALİZ BAZLI PROSES MÜHENDİSLİĞİ UYGULAMALARI

**Batuhan DOĞANIŞIK**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Abdil KUŞ

Bu tez çalışmasında otomotiv sektöründe üretim akışlarının dizayn ve iyileştirilmesine yönelik analiz metotları incelenmiştir. Bu metotlardan MTM-UAS (Method-Time Measurement) adı verilen universal adım bazlı iş analizi metodu ana tema olarak ele alınmış ve bu metot kullanılarak elde edilen sonuçlar teorik ve pratik olarak irdelenmiştir. Temel ve en önemli amaç, yeni devreye alınacak olan bir projede ilgili proses dizaynının nasıl yapılacağını göstermenin yanı sıra, verimlilik problemi yaşanan proseslerin nasıl daha iyi hale getirilebileceğini açık bir şekilde ortaya koyarak ilgili çalışma metodunun okuyucuya anlaşılır bir şekilde aktarılmasını sağlamaktır. Bu çalışmada ilgili metodun yeni devreye alınacak bir ürüne ait proses tasarımında (ilgili üretim hattının dizaynıyla birlikte) nasıl etkin bir şekilde kullanılabileceği ortaya konmuştur. Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki ilgili üretim hattında çalışacak olan operatörler ortalama olarak 88,86% seviyesinde bir doluluk kapasitesine sahip olacaklardır. İlave olarak, hat dengelemesini gerçekleştirebilmek adına istasyon sayılarının nasıl belirleneceği ve üretim hattı yerleşimi irdelenen endüstriyel ürün özelinde gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Otomotiv Endüstrisi, Proses Analizi, MTM-UAS, Proses Dizaynı, Verimlilik

**2020, vii + 51 sayfa**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

ANALYSIS BASED PROCESS ENGINEERING APPLICATIONS IN AUTOMOTIVE INDUSTRY

**Batuhan DOĞANIŞIK**

Bursa Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Automotive Engineering

**Supervisor:** Prof. Dr. Abdil KUŞ

In this thesis, analysis methods about design & optimization of process flows in automotive industry had been examined. MTM-UAS (Method-Time Measurement) method were taken as master sample and the related results were cross-checked in both theoretical and practical ways. The main and the most important purpose is to clarify the path in terms of performing the process design of a new project before commissioning stage, as well as enhancing any existing process steps with low efficiency, and informing the reader about the ways of applying the related method. In this study, related method was applied on performing the process design (including production line layout design) of a new product in an effective way. Results indicated that the operators working on this line will have a working capacity of 88,86% in average. Furthermore, how to determine total workstation quantity in the light of line balancing study, and design of the production line layout were explained for this specifically selected product.

**Key Words:** Automotive Industry, Process Analysis, MTM-UAS, Process Design, Efficiency

**2020, vii + 51 pages**

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının yürütülmesinde; destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Abdil KUŞ'a ve Prof. Dr. Ferruh ÖZTÜRK'e en içten teŐekkürlerimi sunarım.

Bugüne değin hayatımın tüm dönüm noktalarında bana destek olmak üzere yanımda olan ve bana inanmaktan asla vazgeçemeyen sevgili annem & babama, ve biricik kız kardeŐime teŐekkürlerimi sunarım.

Son olarak, yaptığım çalışmaya dair bilgi ve tecrübelerini her daim benimle paylaŐarak bana yol gösteren değerli çalışma arkadaŐım Emre AŐUT'a teŐekkürlerimi sunarım.

Batuhan DOğANIŞIK  
08/02/2021

## İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vii
1. GİRİŞ .....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	3
2.1. Proses Akışı ve Planlama .....	3
2.2. Montaj Hatları ve Hat Dengesi ve Verimlilik .....	4
2.3. Verimliliği Etkileyen Faktörler .....	7
2.3.1. Metot .....	7
2.3.2. Ergonomi .....	8
2.3.3. Tasarım .....	8
2.3.4. İş Alanı Organizasyonu .....	10
2.4. Değer Akışı Haritalandırma ve Proses Analizi .....	11
2.5. MTM Analiz Metodu .....	13
2.5.1. Metodun Tarihçesi .....	14
2.5.2. Metodun Prensipleri ve Uygulaması .....	16
2.5.3. Diğer Analiz Metotları ile MTM'in Karşılaştırılması .....	23
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	25
3.1. MTM-UAS Metodunun Uygulanabileceği Alanlar .....	25
3.2. Proses Dizaynı ve Yerleşim Belirleme Çalışması .....	26
3.3. MTM-UAS Metodunun Uygulanması .....	29
4. BULGULAR ve TARTIŞMA .....	41
5. SONUÇ .....	48
KAYNAKLAR .....	49
ÖZGEÇMİŞ .....	51



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
kg	kilogram
g	gram
N	Newton
daN	dekaNewton
m	metre
cm	santimetre
mm	milimetre
dk	dakika
s	saniye
ms	milisaniye
°	açı (derece)
<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
IoT	Internet of Things ( <i>Nesnelerin İnterneti</i> )
OEM	Original Equipment Manufacturer ( <i>Orijinal Ürün Üreticisi</i> )
P-FMEA	Process-Failure Modes and Effects Analysis ( <i>Proses-Hata Türleri ve Etkileri Analizi</i> )
MTM	Method-Time Measurement ( <i>Metot-Zaman Ölçümü</i> )
CAD	Computer Aided Design ( <i>Bilgisayar Destekli Tasarım</i> )
CAE	Computer Aided Engineering ( <i>Bilgisayar Destekli Mühendislik</i> )
D-FMEA	Design-Failure Modes and Effects Analysis ( <i>Tasarım-Hata Türleri ve Etkileri Analizi</i> )
YÜ	Yalın Üretim
DA/VA	Değerli Aksiyon (Value Add)
KDA/NVA	Katma Değersiz Aksiyon (Non-Value Add)
ÇZ/CT	Çevrim Zamanı (Cycle Time)
TZ/TT	Takt Zamanı (Takt Time)
OEE	Overall Equipment Effectiveness ( <i>Genel Ekipman Verimi</i> )
UAS	Universal Analyzing System ( <i>Üniversal Analiz Sistemi</i> )
TMU	Time Measurement Unit ( <i>Zaman Ölçüm Birimi</i> )
HDK	Hat Dengesi Kaybı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1 Bir tekstil firmasına ait örnek akış şeması .....	4
Şekil 2.2 Üretim hattı üzerinde akış örneği .....	5
Şekil 2.3 I tipi üretim hattı örneği.....	6
Şekil 2.4 Yay dönüşlü pnömatik pistonun kesiti .....	7
Şekil 2.5 Catia yazılımında katı modelleme modülü arayüzü .....	9
Şekil 2.6 Altın bölge.....	10
Şekil 2.7 Değer akışı haritalandırma .....	12
Şekil 2.8 Therblig hareketleri ve sembolleri.....	15
Şekil 2.9 Alma sınıflarının gösterimi.....	20
Şekil 2.10 Yerleştirme sınıflarının gösterimi.....	21
Şekil 2.11 Çalıştırma aksiyonu tipleri .....	22
Şekil 3.1 Seçilen ürüne ait 3 boyutlu modelin izometrik görünümü .....	26
Şekil 3.2 Oturak iskeleti .....	29
Şekil 3.3 Kızak üstü arka braket perçinleri.....	33
Şekil 3.4 Kaynaklı ön boru grubu.....	33
Şekil 3.5 Güçlendirme braketi .....	33
Şekil 3.6 Aktüatör kol (kızak mekanizması) .....	34
Şekil 3.7 Tamamlanmış alt grup kompleksi .....	34
Şekil 3.8 Yükseklik ayar mekanizması.....	35
Şekil 3.9 Tamamlanmış üst grup kompleksi.....	35
Şekil 3.10 Recliner braketi perçinleri .....	37
Şekil 3.11 Recliner kapatma braketi.....	37
Şekil 3.12 Sırt güçlendirme plakası .....	38
Şekil 3.13 Tamamlanmış sırt iskeleti.....	38
Şekil 3.14 Bitmiş ürün kompleksi .....	40
Şekil 4.1. Genel hat yerleşimi.....	47

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1 MTM metodunda aksiyon zamanları tablosu .....	13
Çizelge 2.2 Uzaklık sınıflandırması .....	18
Çizelge 2.3 Ağırlık sınıflandırması.....	18
Çizelge 2.4 MTM metodunun diğer metotlarla karşılaştırılması.....	24
Çizelge 3.1 Oturak iskeleti iş adımları (1. kısım).....	30
Çizelge 3.2 Oturak iskeleti iş adımları (2. kısım).....	31
Çizelge 3.3 Oturak iskeleti iş adımları (3. kısım).....	32
Çizelge 3.4 Sırt iskeleti iş adımları.....	36
Çizelge 3.5 Final ürün montaj iş adımları .....	39
Çizelge 4.1 Alt grup oluşturma iş adımları.....	42
Çizelge 4.2 Üst grup oluşturma iş adımları .....	44
Çizelge 4.3 Komple oturak montaj iş adımları.....	45

## 1. GİRİŞ

Günümüzde otomotiv sektörü teknolojinin gelişimine paralel olarak çok hızlı bir şekilde atılım gösteren, sürekli iyileştirme ve değişimi şiar edinmiş, müşteri ve tedarikçiler arasındaki iletişimin en üst seviyede olduğu ve tüm firmaların reaksiyon sürelerini minimale çekmek üzere aksiyon planlaması yaptığı ve faaliyet gösterdiği bir sanayi kolu haline gelmiştir. 2000'li yılların ikinci on yılını bitirdiğimiz bu günlerde, bilişim teknolojileri ve yazılımcılığın son yıllardaki atılımlarıyla birlikte özellikle Endüstri 4.0, yapay zeka ve IoT gibi dijital çağın önemli konularında yaşanan gelişmelere paralel olarak, otomotivde faaliyet gösteren dev firmaların hemen hemen hepsi sahip oldukları imkanlar dahilinde bu inovatif sürece adapte olmak üzere çalışmakta, ve bunun en doğal sonucu olarak da minimum iş kaybını sağlamak üzere mümkün olan her yerde robotik sistemlerin entegrasyonu ile maksimum verim ve hızda üretimi hedefleyen bir geçiş süreci yaşamaktadır.

Makine, otomotiv, endüstri, malzeme-materyal, imalat gibi birçok farklı mühendislik disiplinine ev sahipliği yapan otomotiv sektörü, bu yönüyle hem bu disiplinlerin hâlihazırda kendilerine özgü mühendislik çalışmalarına hem de birden fazla disiplinin bir araya gelmesiyle ortaya çıkan yeni ve hibrit mühendislik çalışmalarına konu olmaktadır. Tıpkı bir Kaizen ya da P-FMEA uygulamasında olduğu gibi, birden fazla disiplinin ve farklı fikirlerin harmonik bir uyuma sahip şekilde topluca yer aldığı bu beyin fırtınalarında ortaya çıkan çeşitli mühendislik enstrümanlarından karşılaşılan problemleri en kısa sürede tespit ve çözüm konusunda kuvvetli, sonuç tekrarlanabilirliği yüksek, ve kullanılabilirliği anlaşılır olanlar da bilgi yayılım hızının bu kadar yüksek olduğu mevcut dönemde hızla yaygınlaşmakta ve bunun doğal bir sonucu olarak da sektördeki öz denetim ve mühendislik çalışmalarının oto-kontrol seviyesi günden güne daha da iyi bir hale gelmektedir.

Günümüzde otomotiv sektöründe faaliyet gösteren firmaların tekil ürün başına operasyonel zamanları, özellikle yüksek yıllık üretim adetlerine sahip olan projelerde 1 dakikanın dahi altına inmektedir. Burada sözü geçen düşük üretim zamanına sahip tekil ürünler elbette pres kalıbında basılan formulu bir sac parça ya da enjeksiyon yoluyla üretilen plastik bazlı bir parça gibi daha büyük bir montajda kullanılmak üzere imal edilen detay parçalar değil; karmaşık montaj ve/veya

proses adımları içeren ve pek çok farklı komponentin bir arada kullanımıyla ortaya çıkarılan endüstriyel mamüllerdir. Bu bağlamda, üretim hatlarında önceden belirlenmiş olan planlı duruşlar dışında geriye kalan tüm muhtemel üretim zamanının 100%'e en yakın oranda kullanımını hedefleyen bir yaklaşım benimsenerek proses çevrim zamanlarının maksimum verim ve minimum kayıp hesaplamaları doğrultusunda olabilecek en iyi seviyeye çekilmesi ve üretimin bu yönde devamlılığının sağlanması sektörde kritik bir faktör haline gelmiştir. Elbette buradaki istikrarın ve hızın yakalanabilirliği noktasında, pek çok farklı yeni teknoloji ürünü de gündemden güne bu operasyon akışlarının bir parçası haline gelmekte (ör. parça seçim/tasnif/istifi gibi işlemlerde kullanılan pick-and-place robot sistemleri, kaynak proseslerinde kullanılan çeşitli kaynak robotları, görsel kontrol ve/veya çeşitli poka-yoke sistemlerinde kullanılan kamera gibi görüntü işleme sistemleri vb.) ve insan kaynaklı hatalara veya verimsizliklere sebebiyet verebilecek olan iş adımlarının mümkün olduğunca otomatize edilmesi sağlanmaktadır. Bahsedilen düşük süreli çevrim zamanlarının pratikte verimli bir şekilde sağlanması ve istikrarlı şekilde devam ettirilmesi konusunda hiç şüphesizki gelişen teknolojiye paralel olarak sözü geçen multi-disipliner mühendislik çalışmalarının etkisi de çok büyüktür.

Otomotiv sektörü, devingen yapısı ve teknolojiyle olan yakın ilişkisi itibariyle her zaman gelişime ve değişime açık bir noktada konumlanmaktadır. Dolayısıyla gerçekleştirilen iyileştirme çalışmalarının bir sonu olduğunu söylemek yanlış bir iddia olacaktır. Optimizasyon ve sürekli iyileştirme bu devamlılık gösteren çalışmalar için anahtar hedefler olup; yapılan tüm faaliyetler, sektörü ilgilendiren güncel bilgiler yakından takip edilmek suretiyle belli periyotlarda güncellenerek her zaman daha iyi hale getirilebileceği ön görülmüş şekilde planlanmalıdır.

## 2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Proses Akışı ve Planlama

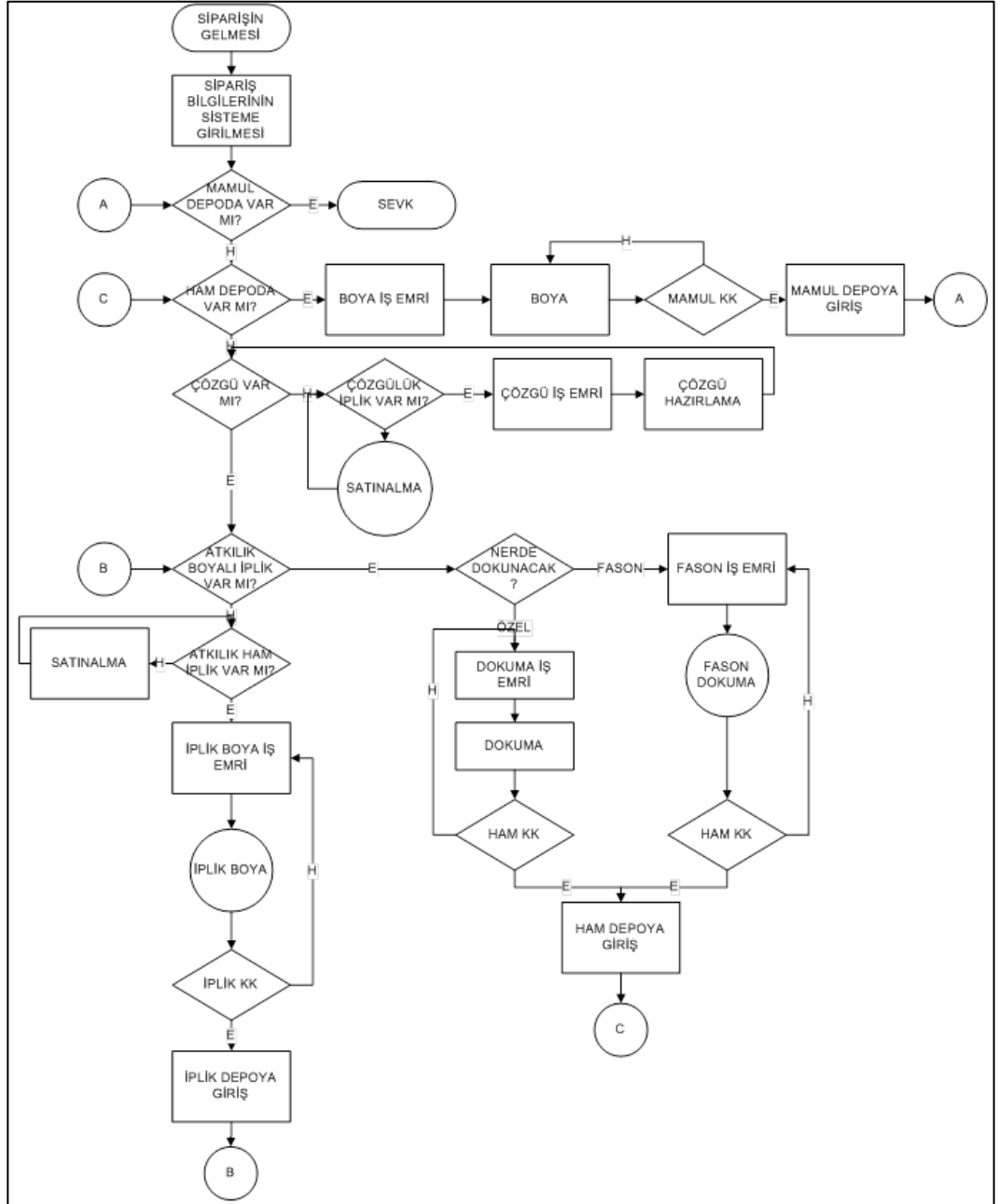
Proses, endüstriyel bir ürünü ortaya çıkartmak için gerekli olan tüm süreçlerin genel ismidir. Lojistik, imalat, materyal (malzeme), çevre gibi birçok farklı konu prosesin ilgi alanına girmekle birlikte; bu tezin konusu özelinde otomotiv endüstrisinde faaliyet gösteren OEM'lerdeki üretim prosesleri ve bu proseslerde uygulanacak olan verimlilik/optimizasyon analizleri ele alınacaktır.

Otomotiv sektöründe birçok ürün, başlangıçtan bitişe dek pek çok farklı üretim prosesinden geçmektedir. Her bir aşamada ortaya çıkan yarı mamullerin kendilerine özgü üretim adımları, bir önceki veya bir sonraki üretim adımından farklı bir metot içeriyor olabilir. Bu doğrultuda üretim planlamasını doğru ve mümkün olan en efektif yapabilmek adına çeşitli enstrümanlardan yararlanılır: proses akış şeması (bkz. Şekil 2.1), tek nokta dersleri, kontrol planı, üretim takip çizelgeleri vb. bunlardan başlıcalarıdır.

Proses akış şeması (iş akış şeması); bir ürünün ardışık olarak girip çıktığı tüm prosesleri, ilgili üretim istasyonuna ait tüm girdi ve çıktıları (ör. kullanılacak detay materyaller, bitmiş ürün akışları vb.) ve ilgili diğer etmenleri sembollerle gösterecek şekilde düzenlenmiş olan bir şemadır. Takip edilecek olan tüm üretim süreçleri ilgili doküman üzerinde şematik bir şekilde gösterilerek, üretilecek olan endüstriyel ürünün izlediği proses adımları açık bir şekilde ortaya konmuş olur.

Ardışık üretim prosesleri arasındaki ilişkiler belirlenirken göz önünde bulundurulması gereken en önemli konu, ilgili istasyonlarda görev yapacak olan operatörlerin kapasitesel doluluk oranını matematiksel biçimde belirleyerek, ilgili proses geçişleri arasındaki iş yükü dağılımlarını doğru şekilde yapmaktır. Bu sayede hem operatör verimliliği yükselir, hem de olası kayıplar minimuma indirgenmiş olur.

Tüm ilgili çalışmaların tamamlandığı noktada, belirlenmiş olan operasyon dağılımları doğrultusunda proses akış diyagramları nihai hale getirilerek iş akış planlaması tamamlanmış olur.



Şekil 2.1 Bir tekstil firmasına ait örnek akış şeması (2020, Anonim)

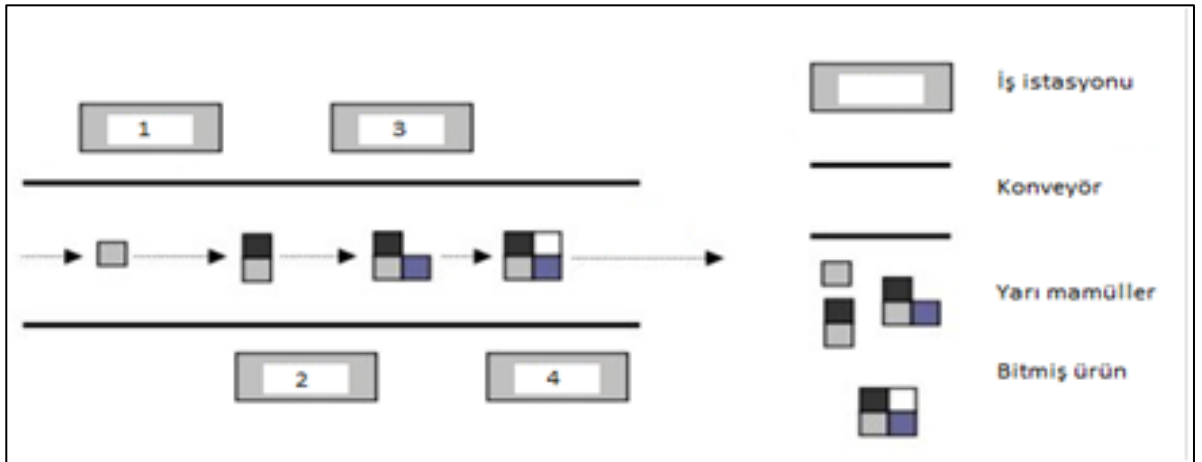
## 2.2. Montaj Hatları ve Hat Dengesi ve Verimlilik

Birden fazla üretim adımından geçerek üretim yapıldığı noktalarda, ilgili ürünün imalatına yönelik olan kullanılan birden fazla makinenin oluşturduğu (iş istasyonu) gruba “makine parkuru” denilmektedir. Malzeme veya yarı mamüllerin akış hattı boyunca gerekli işgücü ve donanımdan (konveyör vb. aktarma organları) yararlanılarak ilerletildiği ve yarı mamullerde gerçekleştirilen işlemlerin; proses sıralaması ve çevrim süresi gibi kısıtlar da göz önüne alınarak

(Altuntaş ve İşlier, 2010), final ürünü meydana getirmek üzere bir dizi farklı iş adımının gerçekleştirildiği (Baybars, 1986) ve malzeme taşıma sistemleri kullanılarak birbirine bağlanmış iş istasyonları dizisine ise “montaj hattı” denilmektedir. Makine parkurları birbirinden bağımsız makinelerden oluşabileceği gibi, bir konveyör veya benzeri aktarma organı kullanılmak suretiyle sürekli bir montaj hattı şeklinde de dizayn edilebilir (bkz. Şekil 2.2).

Makine parkurunun (üretim hattının) fiziksel yapısından bağımsız olarak, ardışık operasyonlar arasındaki kayıpları minimuma indirebilmek adına birden fazla operatörün çalıştığı endüstriyel üretim sistemlerinde, operatörler arası iş yükü dağılımlarının birbirine en yakın oranda yapılması en önemli faktördür, matematiksel verilerin ortaya konduğu bu çalışmaya “Hat Dengesi Hesaplaması” denilmektedir (Boysen N., Fliedner M., Scholl A. 2008) . Hat dengesi hesaplamalarında izlenmesi gereken temel yol aşağıdaki adımlarla tarif edilebilir:

- Ardışık operasyonlardaki iş adımlarının belirlenmesi,
- Belirlenen iş adımlarının analiz edilerek gerekli birim üretim zamanlarının hesaplanması,
- Hesaplanan birim üretim zamanları doğrultusunda operasyon dağılımlarının belirlenmesi,
- Toplam operatör sayısının belirlenerek, iş planlamalarının belirlenmiş olan operasyon dağılımlarına göre düzenlenmesi,
- Nihai noktada hatla ilgili yapılan teorik hesaplamaların pratikte uygulanabilirliği gözlemlenerek iyileştirme gerektiren noktalar varsa tespiti.



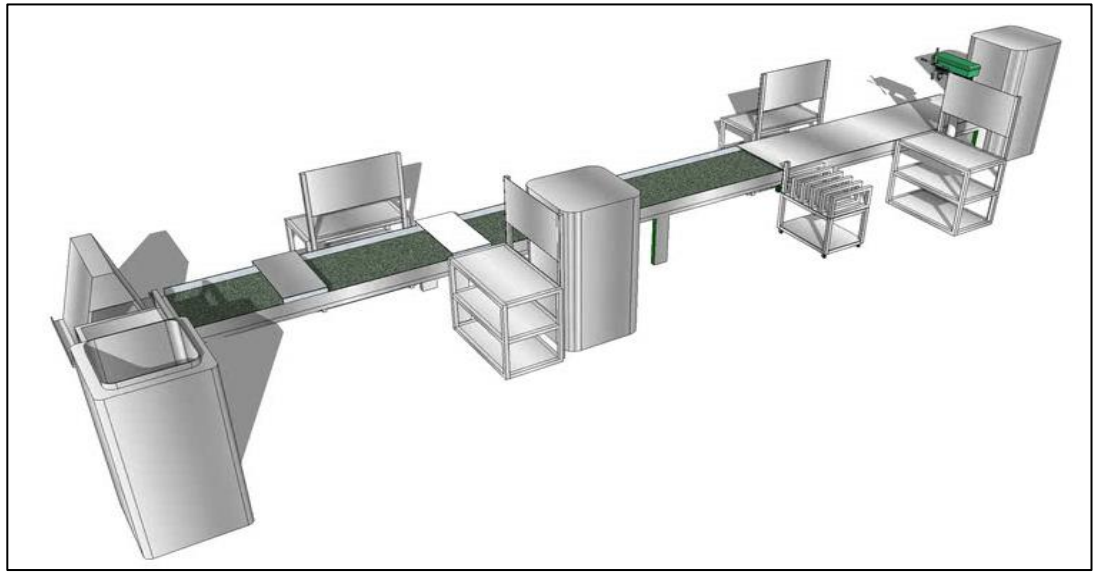
Şekil 2.2 Üretim hattı üzerinde akış örneği



Hat dengesi hesaplamasının en verimli sonucu ortaya koyabilmesi adına, ilgili iş yükü dağılımları birbirine en yakın yüzdesel oranlarla yapılmalı ve operatörlerin birbirini beklemeden daimi olarak kendilerine tanımlanan işi uyum gösterilmesi gereken çevrim zamanı kısıtlaması çerçevesinde devam ettirmeleri gerekmektedir.

Hat dengesi hesaplamasındaki bir diğer önemli faktör ise hat şeklidir. Hat şekli tanımlaması, ilgili iş istasyonlarının fiziksel olarak konumlandırılma şeklinin benzediği alfabetik harflerle (U tipi hat, L tipi hat, I tipi hat vb.) ifade edilir. Farklı hat tiplerinde iş istasyonlarının kullanım şekli ve prosesi etkileyen lojistik akışı, üretim akışı gibi konular diğerlerine göre farklılık gösterir.

Hat yanında yer alan hat yanı operasyonları hattın tipini değiştirmeyeceği gibi, buralarda yapılacak olan iş dağılımı analizleri ayrıca ele alınmalıdır.



**Şekil 2.3** I tipi üretim hattı örneği

Bu tezin konusu özelinde MTM adlı analiz metoduyla ilgili hat dengesi çalışmalarının nasıl uygulanabileceği detaylı olarak irdelenecektir.

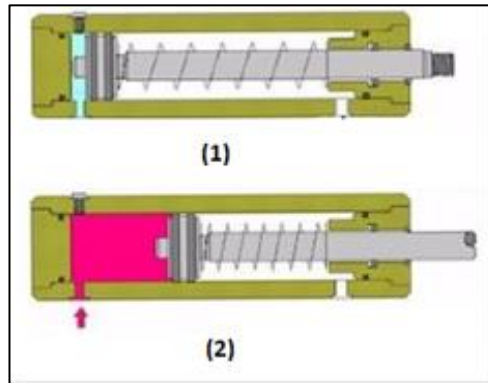
## 2.3. Verimliliği Etkileyen Faktörler

### 2.3.1. Metot

Tanımlanmış herhangi bir iş adımının gerçekleştirilmesinde izlenmesi gereken tanımlı yola “Metot” denilmektedir.

Günümüzde otomotiv sektörü başta olmak üzere tüm endüstri kollarında metot mühendisliği adı verilen; tamamen metot odaklı şekilde çalışarak, asli görevi bir işin en doğru yöntemle ve en kısa zamanda yapılabilirliğini sağlamak olan bir mühendislik disiplini mevcuttur. Burada bahsedilen metot disiplini kapsamında, herhangi iki parçanın birbirine hangi şekilde montajlanacağından, ilgili proste kullanılması istenen el aletlerinin tespitine kadar pek çok farklı konuyu iyileştirme noktası olarak irdelenebilir.

Bir örnek üzerinden ilerlersek, mamül üzerine montajlı bir mekanizma aracılığıyla açısal hareket yapabilen bir sistemin orijinal pozisyonuna dönmesi için mekanizmanın boşa alındığı pozisyonda yay kuvvetinden (bkz. Şekil 2.4) faydalanılmaktadır. Yay dönüşlü bu sistemin fonksiyonel şekilde çalışabilmesi için ihtiyaç duyulan yüksek tansiyonlu ve kuvvetli bir yayın yarı mamüle montajlanması gerekmektedir. İlgili yayın operatör tarafından elle montajlanması, yayın açık pozisyonundan kurma pozisyonuna getirilmesi esnasında ortaya çıkan kuvvetlerin büyüklüğünden ötürü mümkün olmayabilir; ya da mümkün olsa dahi bu montaj işlemi esnasında ortaya çeşitli kalite problemleri ortaya çıkabilir. Bu durumda izlenmesi gereken ideal yol, ilgili iş adımının stabil şekilde devamlılığını sağlamak adına uygun geometrik formda bir el aleti ya da aparat tasarımı gerçekleştirerek buradaki montajın sürekli ve daha kolay bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamaktır.



Şekil 2.4 Yay kuvvetli mekanizma örneği: Yay dönüşlü pnömatik pistonun kesiti  
(1-Serbest konum, 2- İkincil konum)

### 2.3.2. Ergonomi

Tanımlanmış herhangi bir iş adımı gerçekleştirilirken çalışan kişinin bedensel ve/veya ruhsal olarak beklenenin dışında herhangi bir ekstra yorgunluk faktöründen etkilenmeden, çevresel koşullarla uyumlu şekilde hareket etme kabiliyetine “Ergonomi” denilmektedir.

Çalışma ergonomisinde en önemli faktör, çalışanın işe uygun hale getirilmesinden ziyade işin çalışana uygun hale getirilmesi yoluyla verimi arttırmak prensibine dayanır. Özellikle uzun süreler boyunca tekrarlı olarak yapılan işlerde (ör. bir montaj hattında vardiya boyunca devamlı ve tekrarlı şekilde el aleti kullanarak burç çakma işlemi yapan bir operatör, ya da çalışma saatleri boyunca bilgisayar başında dizaynla uğraşan bir tasarım mühendisi ele alınabilir) ergonomi faktörünün etkileri, sağlanmış olan koşullara göre çalışan üzerinde olumlu veya olumsuz sonuçlara neden olacaktır.

Ergonomik çerçevede olumsuz çevresel koşullarda gerçekleştirilen işler sebebiyle çalışanlarda ekstra yorgunluk, stres, verim düşüşü, meslek hastalıklarına yatkınlık, iş kazalarına daha meyilli olmak, dikkat dağılması gibi negatif etkiler görülebilir. Ergonomik faktörler göz ardı edilerek yapılan iş planlamalarında ilgili iş adımlarının zorluk, risk, ve monotonluk kriterlerine göre istasyonlar arasında dengeli şekilde dağıtılamadığı; aynı çevrim süresi koşulları ve aynı iş adımlarının ilgili iyileştirmeler ve ergonomik faktörler dikkate alınarak yeniden düzenlendiği durumda ise sözü geçen faktörler arasındaki dağılım dengesizliğinin giderilerek verimin yükseldiği gözlemlenmiştir (Mutlu Ö., Özgörmüş E. 2009).

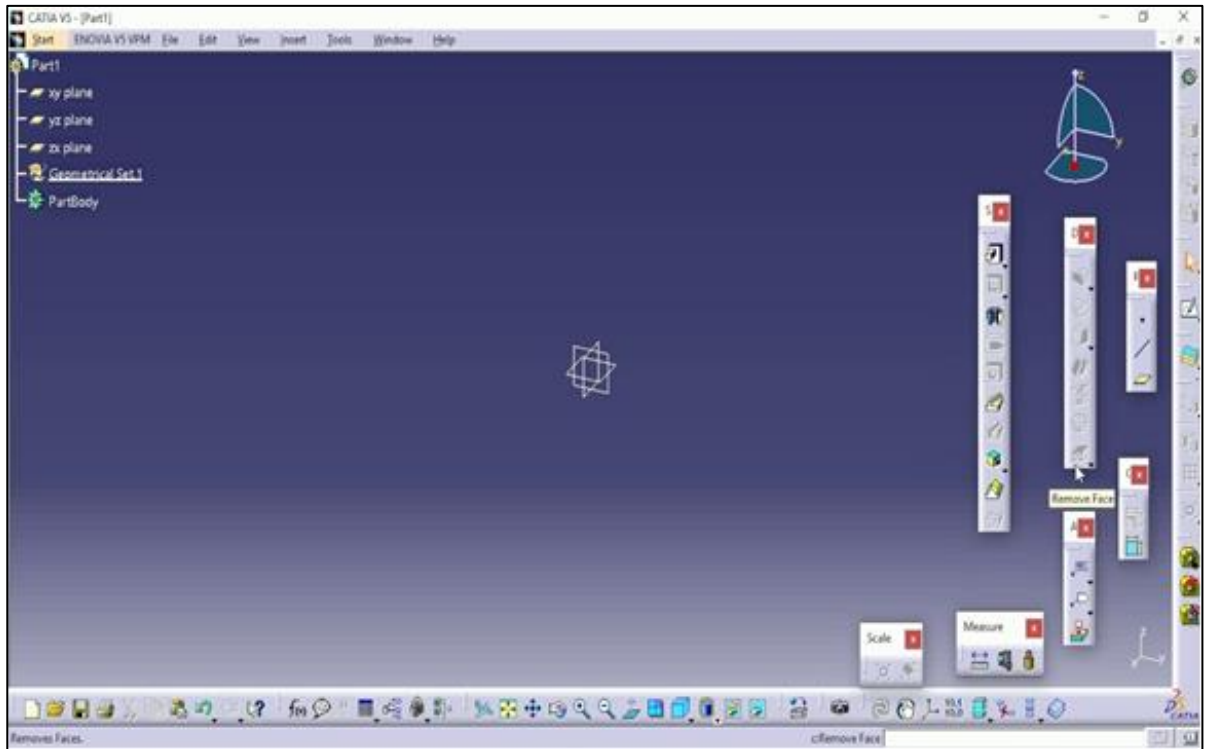
### 2.3.3. Tasarım

Birbiriyle geometrik ilişki içerisinde olan farklı parçaların kolay şekilde birleştirilebilir olmasına “montajlanabilirlik” (montabilite) denir. Günümüzde endüstriyel ürünlere ait dizayn çalışmaları çoğunlukla CAD/CAE olarak isimlendirilen metotlar bütünü çerçevesinde kullanılan Catia (bkz. Şekil 2.5), Solidworks, NX vb. çeşitli paket programlar aracılığıyla bilgisayar ortamında gerçekleştirilir. İlgili tasarımlara ait çeşitli analiz, test ve simülasyon çalışmaları da benzer şekilde sanal ortam üzerinde gerçekleştirilmektedir.

Bahsi geçen paket programlar sağladıkları çeşitli imkanlar (dizayn/detay parça kütüphanesi,

yüzey ve katı modellemeye yönelik özelleştirilmiş komutlar, hızlandırılmış analiz modülleri vb.) sayesinde tasarım ya da analiz çalışmaları yapan mühendislerin işini kolaylaştırıyor olsa da; gözden kaçırılmaması gereken en önemli konu ortaya konulan ilgili dizayn çalışmalarının sahada gerçekleşen pratik koşullar göz önünde bulundurularak yapılması gerektiğidir. Zira, üç boyutlu matematik model üzerinde teorik olarak birbirine eldiven gibi uyan iki parçanın pratikteki montajının kolay veya zor yapılabilir olması sahada gerçekleşecek olan verimlilik sonuçlarını doğrudan etkileyecektir. Bu konu özelinde tasarım ekibinin en önemli girdileri: üretim başta olmak üzere ilgili tüm diğer ekiplerle (kalite, ar-ge, proje) birlikte yürütülecek olan dizayn gözden geçirme toplantıları ve çeşitli mühendislik enstrümanlarının (lessons learned, D-FMEA, know-how vb.) etkin kullanımınıdır.

Yüksek montabiliteye sahip ürünlerin iş adımları daha doğru ve dengeli bir şekilde dağıtılabılırken, tam tersi düşük montabiliteye sahip ürünlerde bu dengenin sağlanması mümkün olmayacaktır.



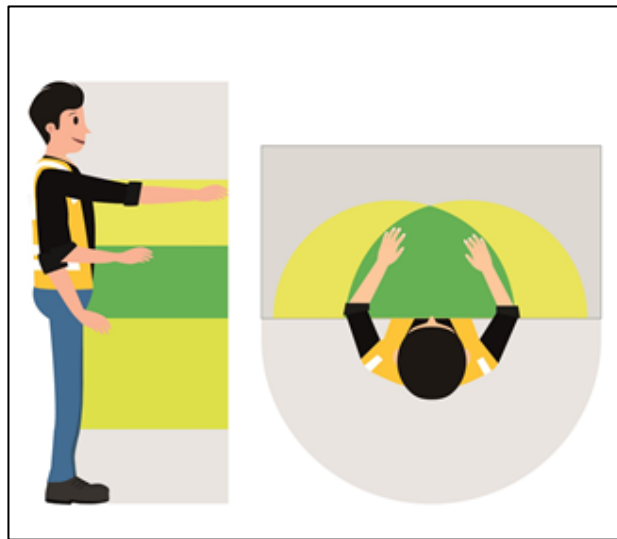
**Şekil 2.5** Catia paket programında katı modelleme modülü arayüzü (Anonim, 2020)

### 2.3.4. İş Alanı Organizasyonu

İş alanı organizasyonu, operatörün çalışma alanının kendisine tanımlanan göreve uygunluğunu sağlamadaki en önemli parametrelerden birisidir. Genel olarak, çalışma alanının her anlamıyla ergonomik bir düzenlemeye sahip olmasını ve çalışanın işiyle ilgili tüm girdilerin mümkün olan en iyi noktalara yerleştirilmesini sağlamak hedeftir. Ergonomiyle ortak noktalar içeren bir konu olmakla birlikte, ekstra olarak üretim kaynaklı lojistik hareketlerini ve bunlar için gerekli konumlandırmaları da içermektedir.

Çalışma bölgesinin düzenlenmesi esnasında yarı mamül/detay parça raflarının konumları, bu parçaların operatöre ulaşım şekli, proseste kullanılması gereken el aleti veya yardımcı aparatlara ait avadanlıkların yerleşimi, üretim akışı dahilinde kullanılması gereken tüm detay girdilerin operatöre göre olabilecek en iyi konumda olması hesaplanmalı ve çalışmalar bu doğrultuda ilerletilmelidir.

Operatörlerin çalışma bölgesindeki içerisindeki optimal hareket ve erişim alanı Yalın Üretim disiplininde “Altın Bölge” (bkz. Şekil 2.6) olarak tanımlanır. İlgili tanımlı alan içerisinde yapılan tüm hareketler (el aleti alma/bırakma, parça dizme veya benzeri montaj işlemleri, detay parça alma/bırakma vb.) optimum ergonomi ve hareket kolaylığını sağlayacağından operatör verimliliği ve ürün kalitesi kendiliğinden artacaktır.



Şekil 2.6 Altın bölge

## 2.4. Değer Akışı Haritalandırma ve Proses Analizi

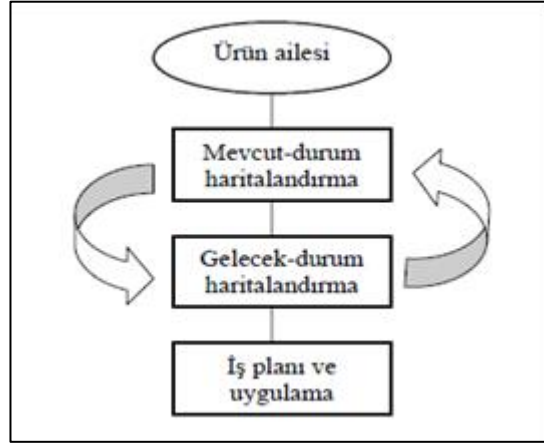
“Değer akışı”, üretimdeki her türden kaybı minimize etmeyi hedefleyen, ilgili endüstriyel ürünün dizaynından müşteri sevkiyatına dek olan tüm süreç boyunca gerçekleşen aksiyonlar zincirinin bütünüdür. Tez özelinde irdelenecek olan üretim aksiyonları temel olarak 3 ana grup altında toplanır (Dhandapani et al., 2004):

a- Değerli aksiyonlar (DA/VA): İlgili ürünün üretimi esnasında ortadan kaldırılamayan, genellikle prosesin bir parçası olan aksiyonlardır. Tanım olarak opere edilen ürünün bir sonraki adıma geçmesini sağlayan, ve/veya müşteriye sunulan hizmete değer katan aksiyonlara DA denir. Örneğin: Eş çap merkezli olacak şekilde birleştirilmesi gereken iki farklı iş parçasını ilgili bölgeden bir saplama vb. bağlantı elemanı kullanmak suretiyle birleştirmek.

b- Zorunlu ancak değer katmayan aksiyonlar: İlgili ürünün prosesleri dahilinde gerekli olan, ancak çeşitli kısıtlar nedeniyle getirisine ek olarak götürüsü de olan aksiyonlardır. Örneğin: hacimli bir iş parçasının iki karşılıklı kenarında gerçekleştirilecek olan vidalama operasyonları için parçanın ilk kenarındaki montaj işlemi tamamlandıktan sonra, diğer kenarına yürümek için operatör tarafından harcanan efor.

c- Katma değersiz aksiyonlar (KDA/NVA): İlgili ürünün üretiminde elimine edilebilir olan, tamamen katma değersiz ve iyileştirilmesi gereken aksiyonlardır. KDA'lar proseste gereksiz zaman ve kaynak harcamasına neden olmakla birlikte, mümkün olan en kısa sürede müdahale edilmezse artan kayıplara yol açmaktadır. Örneğin: detay parça avadanlıklarının iş alanında düzensiz ve birbirinden uzak yerleştirilmesi nedeniyle ilgili operatörün her iş adımından sonra ilgili raflara malzeme almak için yürümek zorunda kalması.

Değer akışı haritalama ise, yukarıda sıralanan 3 ana grup aksiyonun ideal optimizasyonunu sağlamak adına, ilgili süreçlerin temsili diyagramlar vasıtasıyla haritalanarak müdahale gerektiren noktalarını tespit etmek üzere kullanılan önemli bir YÜ metodudur. Değer akışı haritalama esnasında izlenmesi gereken temel yol Şekil 2.7.'de gösterilmiştir (Birgün ve ark. 2006).



Şekil 2.7 Değer akışı haritalandırma (Rother ve Shook, 1999)

Proses analizleri, yukarıda özetlenmiş adımlardan her birine dokunan mühendislik hesaplamalarıdır. Seçilen bir ürün ailesi üzerinde halihazırda devam ettirilmekte olan mevcut proses adımları ve iş akışlarının pratikteki tespitine müteakip, olması gereken ve iyileştirilmiş şekilde uygulaması planlanan optimizasyon hesaplamaları gerçekleştirilir; ve sonrasında ilgili uygulamalar teorikten pratiğe çevrilerek elde edilen sonuçlar irdelenir. Daha önce Bölüm 2.2.'de de bahsedildiği gibi ilgili hesaplamalar esnasında aşağıdaki değişkenler mutlak suretle göz önünde bulundurulmalıdır (Ralph, 1980):

- Çevrim zamanı (ÇZ/CT): Bir mamülün toplam üretim zamanıdır. İş adımı dağılım planlamasını ve yapılacak iyileştirmeleri planlarken her zaman birincil kriterdir.
- Takt zamanı (TZ/TT): Toplam üretim zamanının, müşterinin istediği yıllık üretim adedine bölünmesi sonucunda elde edilen ortalama süredir.
- Operatör sayısı,
- İş istasyonu sayısı ve istasyonların oluşturduğu hattın fiziki yerleşimi,
- Tüm iş adımlarının tespiti ve aksiyon gruplandırılmalarının yapılması,
- Verimlilik katsayısı (OEE),
- Proses haricinde iyileştirilebilecek noktaların tespiti.

## 2.5. MTM Analiz Metodu

Bu tezin konusu özelinde MTM adlı analiz metoduyla ilgili hat dengesi çalışmalarının nasıl uygulanabileceği irdelenecektir. MTM, Measurement-Time Method (Metot-Zaman Ölçümü) ifadesinin baş harflerinden oluşan bir kısaltmayla adlandırılmıştır ve bundan sonraki kısımda bahsedilen kısaltmayla bu metot ifade edilecektir.

Türkçeleştirilmiş ifade, metodun içeriğini birebir olarak anlatmaktadır. Genel bir şekilde ifade etmek gerekirse bu analiz metodu yapılacak olan proses adımlarını mümkün olan en temel iş hareketlerine ayırarak, tamamlanması ön görülen işin tanımlanmasını bu temel iş hareketlerinin karma kullanımıyla belirlemek üzerine kuruludur. MTM metodu kullanılarak gerçekleştirilen analiz çalışması esnasında, bahsedilen temel iş hareketlerinin her birine özgü aktüel birim zamanlar ilgili aksiyon zamanları tablosundan (bkz. Çizelge 2.1.) tespit edilir ve böylelikle hesaplamada kullanılan her bir tekil aksiyonun -belirlenmiş ön koşullar altında- ne kadarlık bir zaman zarfında tamamlanacağı belirlenmiş olur.

Çizelge 2.1 MTM metodunda aksiyon zamanları tablosu

Hareket Uzaklığı (cm)		≤ 20	> 20 -	> 50 -
Uzaklık Bölümü		1	2	3
Hareket Uzaklığı (cm)		≤ 20	> 20 -	> 50 -
Uzaklık Bölümü		1	2	3

Almak ve Yerleştirmek		KOD	1	2	3	
			TMU			
≤ 1 daN	Kolay	Aşağı yukarı	AA	20	35	50
		Gevşek	AB	30	45	60
		Sıkı	AC	40	55	70
	Zor	Aşağı yukarı	AD	20	45	60
		Gevşek	AE	30	55	70
		Sıkı	AF	40	65	80
	Avuç Dolusu	Aşağı yukarı	AG	40	65	80
	> 1 daN	Aşağı yukarı	AH	25	45	55
		Gevşek	AJ	40	65	75
≤ 8 daN	Sıkı	AK	50	75	85	
> 8 daN	Aşağı yukarı	AL	80	105	115	
	Gevşek	AM	95	120	130	
≤ 22 daN	Sıkı	AN	120	145	160	

Yardımcı Madde / Alet Kullanmak		KOD	1	2	3
			TMU		
Aşağı yukarı		HA	25	45	65
Gevşek		HB	40	60	75
Sıkı		HC	50	70	85

Çalıştırmak		KOD	1	2	3
Kolay çalıştırma		BA	10	25	40
Birleştirilmiş çalıştırma		BB	30	45	60

Hareket Çevrimleri		KOD	1	2	3
Bir hareket		ZA	5	15	20
Birbirini takip eden hareketler		ZB	10	30	40
Değiştirmek ve bir hareket		ZC	30	45	55
Sıkıştırmak ve gevşetmek		ZD		20	

Yerleştirmek		KOD	1	2	3
			TMU		
Aşağı yukarı		PA	10	20	25
Gevşek		PB	20	30	35
Sıkı		PC	30	40	45

Vücut Hareketleri		KOD	TMU
Yürüme / m		KA	25
Eğilmek, çömelmek diz üstü (ve ayağa kalkmak)		KB	60
Oturmak ve ayağa kalkmak		KC	110

Görsel Kontrol		VA	15



### 2.5.1. Metodun Tarihçesi

Endüstri devrimi sonrasında gelişen mekanik sistemler ve otomatikleşmeye başlayan proseslerde gerçekleşmekte olan işlere yönelik zaman etüdü çalışmalarının önemini fark eden ve bu doğrultuda çalışmalar yapan ilk kişi Frederick W. Taylor olmuştur. **Taylor, bu ölçümleri gerçekleştirirken basitçe bir kronometre kullanım metodu üzerinden ilerlemiş ve gözlemlerini bu ölçüm metoduna dayandırarak bir zaman etüdü sistemi ortaya koymaya çalışmıştır.**

MTM'in temeli sayılabilecek ilk çalışmalar ise 20. yy'ın başlarında Frank Gilbreth tarafından geliştirmiştir. Gilbreth, MTM'de de kullanılmakta olan birim işlerin tanımlanarak her birinin tanımlanmış zamanlarla belirlenmesi metodunu geliştirmek üzere yüzlerce farklı üretim prosesini incelemiş, bunları kayıt altına aldıktan sonra tek tek analiz etmiştir. Nihai noktada gerçekleştirilen bu iş adımlarını birbirlerine olan benzerliklerine göre sınıflandırmış ve kendini soyisminden türeterek "Therblig Hareketleri" ismini verdiği 18 ana hareket grubundan oluşan (bkz. Şekil 2.8) bu temel iş birimlerine harcanan standart süreleri tespit etmiştir (Aft, 2000).

**Gilberth, bahsi geçen iş adımı hareketlerini sınıflandırırken Taylor'ın kronometre kullanılarak gerçekleştirdiği ölçüm sistemini reddetmiş ve onun yerine hareketlerin daha bütünsel olarak ele alındığı ve vücut hareketleri gerçekleşirken harcanan gerçek zamanın tespit edildiği bir yaklaşım sergilemiştir.** Kayıt altına almış olduğu tüm proseslerin tekil analizini gerçekleştirirken bu vücut hareketlerinin bütünlüğüne odaklanmış ve kayıt altına aldığı tüm bu hareketleri saniyenin yaklaşık onda biri hassasiyetinde gözlemlemeyi başarmıştır. Gilberth'in elde ettiği sonuçlar Taylor'a göre daha çok kabul görmüştür denilebilir.

Gilberth'in bu etüt özelinde savunduğu fikir şudur ki: deneyim, kabiliyet ve harcanan çabanın belirlenen sınırlar dahilinde birbirine eşit ve/veya mümkün olduğunca yakın olduğu durumlarda operatör kullanılarak yapılacak olan bir prosesi gerçekleştirmek için gereken toplam süre tanımlanan metotla doğrudan ilişkilidir. Bu bağlamda işin gerçekleştirilme sürecinin, çalışanların değişkenlik gösterebilecek olan anlık performansına değil tanımlanmış olan üretim metodunun kendisine bağlı olduğunu savunarak; modelini tamamlamak üzere ergonomi, tasarım ve performans arasındaki bağları tanımlamıştır. Gilberth'in ortaya koyduğu etüt metoduna göre doğru planlanmış bir proses, bu üçlü sac ayağı arasındaki ilişkinin optimize edilmesine dayalı şekilde birbirine yakın yetkinlik seviyesine sahip olmayan operatörler tarafından dahi yakın

toplam sürelerde gerçekleştirilebilir. Kendisi de tüm iyileştirme çalışmalarını bu doğrultuda ilerletmiştir.

 Arama	 Kullanma
 Bulma	 Sökme
 Seçme	 Muayene etme, denetleme
 Tutma	 Sonraki işlem için hazırlık
 Tutma, bulundurma	 Yükü bırakmak
 Taşıma yükleme	 Kaçınılmaz gecikme
 Taşıma indirme	 Kaçınılabılır gecikme
 Durum,şekil	 Planlama
 Montaj	 Dinlenme

Şekil 2.8 Therblig hareketleri ve sembolleri

MTM'in günümüzdeki yapısının ilk ortaya çıkışı ise H. B. Maynard, J. L. Schwab, ve G. J. Stegemerten'in MTM "Methods Time Measurement" adlı kitabı 1948 yılında yayınlamasıyla gerçekleşmiştir. Elbette bu çalışmanın ortaya çıkarılması esnasında kendilerinden önce geliştirilen hareket ölçüm metotlarını rehberlik amaçlı kullanmış olsalar da, ilerleyen teknolojiyle birlikte (örneğin saniyede 16 kare çekeabilen kameralar ile kayıt yapmışlardır) ilgili zaman ölçümlerini seleflerine göre daha başarılı ve kesin bir şekilde ortaya koymayı başarmışlardır.

MTM ortaya çıktığı ve gelişim gösterdiği tüm zaman boyunca 4 temel koşulu öncelikli ilke edinmiştir. Bu koşullar:

- 1- Metot, kullanıldığı sektörden bağımsız olarak tüm iş alanlarında geçerli olmalıdır.
- 2- Metot, herkesçe anlaşılabilir olmalı ve farklı uzmanlık gerektiren bilgilere ihtiyaç duyulmaksızın öğrenilip uygulanabilir olmalıdır.
- 3- Metodun tasarım ve iyileştirilmesi uygulama esnasında farklı metotların kullanımına gereksinim doğurmayacak şekilde geliştirilmelidir.
- 4- Metot, dünyanın her yerinde aynı şekilde uygulanmalı ve yönetilmelidir.

Bu 4 temel koşul sayesinde MTM diğer zaman etüdü ve iyileştirme metotlarına göre zaman içinde üstünlük kazanmış ve giderek daha yaygın hale gelmiştir. MTM'in ana hedefi daha önce de vurgulanmış olduğu üzere bedenen sağlıklı durumda olan bir çalışanın kendisini aşırı derecede yormadan yıllar boyunca devamlı ve istikrarlı şekilde sürdürebileceği bir emek seviyesini ampirik olarak ölçülebilir olarak ortaya koymaktan geçmektedir. Böylelikle var olan ve/veya yeni tasarlanan tüm proses adımları kişilerin kişisel uzmanlık ve becerilerine bağımlı kalınsızın her koşulda geçerli ve doğru bir şekilde değerlendirilebilir.

### **2.5.2. Metodun Prensipleri ve Uygulaması**

MTM metodu özelinde tüm hareket akışları temel iş adımlarına bölünmüştür ve tüm bu iş adımlarına hassas ölçümler neticesinde ampirik metotlarla tanımlanmış olan bir takım standart zaman değerleri atanmıştır. Bu zaman değerinin büyüklüğünü, yapılacak hareketle ilgili olan sayısal büyüklükler ve diğer çeşitli etkenlere göre saptanan sınıflar belirler. Tanımda belirtilen “sayısal büyüklük” operatörün uzanma (alma ve/veya bırakma) mesafesini ve iş adımıda kullanılacak nesnenin kütlesini, “etken” ise yapılacak olan hareket türünü tanımlamaktadır (Değirmen, 1995). İlgili ifadelerin karşılıkları MTM metodunda aksiyon zamanları tablosunda da belirtilmiştir.

Sanayide farklı üretim hacimleri ve üretim tiplerinin olması, zaman içerisinde MTM'in farklı alanlarda iyileştirilmiş ve/veya değiştirilmiş alt versiyonlarının ortaya çıkmasına ön ayak olmuştur. MTM-UAS 1976 ile 1978 yılları arasında geliştirilmiştir. MTM-UAS, bahsedildiği gibi MTM metodu üzerinden geliştirilmiş, aynı amaca farklı kısıtlar doğrultusunda hizmet eden bir alt sistemdir (Demirci, 2017). MTM'in UAS dışında; MTM-1, MTM-2, MTM-MEK gibi farklı amaçlara yönelik olarak özelleştirilmiş başka alt versiyonları da mevcuttur. MTM-UAS'ın temel kullanım alanına yönelik kısıtlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Yüksek volümlü ve/veya partili üretim (tip 2) yapılan,
- Belli bir ürün gamı çerçevesinde iş emri vb. bir yöntem kullanılarak sıralı üretim yapılan,
- Dizayn edilen proses ve ekipmanların çok amaçlı olarak kullanılabilir olduğu,
- Operasyon kartı ve benzeri hat yanı dokümanların kullanıldığı,

–Nispeten eğitimli operatörlere sahip olan işletmelerde (işletme büyüklüğünden bağımsız olarak) uygulanmaya en uygun MTM tipi MTM-UAS'tır.

MTM-UAS'ın MTM'e göre en önemli farkı analiz esnasında zaman etkisi irdelenen hareket gruplarının bir kısmının birleştirilip, oluşan yeni hareket gruplarının daha büyük temel gruplar altında toplanarak, proses dizaynının yapıtaşı olan temel iş adımlarının partili üretim yapan işletmelere daha uygun hale getirilmiş olmasıdır. Bu iyileştirme sayesinde analiz için gereken süre MTM'e göre 10 ila 20 kat arasında kısaltılmış ve bu tip işletmelerde yaygın olarak görülen üretim koşullarına daha uygun çıktılar elde edilebilmesi sağlanmıştır (Türkiye Metod Zaman Ölçüm Derneği, 2013).

MTM-UAS sisteminde temel olarak 7 hareket grubu mevcuttur:

- Almak ve yerleştirmek,
- Yerleştirmek,
- Yardımcı el aleti/aparat vb. kullanmak,
- Çalıştırmak,
- Hareketli çevrimler,
- Vücut hareketleri,
- Görsel kontrol.

İlgili tüm temel iş adımları bu 7 gruptan birinin altında yer alacak şekilde düzenlenmiş olup, analiz esnasında kullanıcının bu gruplandırmayı doğru yorumlaması ve süre tanımlamasını bu doğrultuda hesaplaması önemlidir. Bu hareketlere göre tanımlanan zamanlar kısa kodlarla ifade edilmekte olup, 3 harfli bu kısa kod sisteminin karakter açılımı:

1. karakter: Hareket grubuna özgü alfabetik karakter,
2. karakter: Hareket grubunun alt sınıflandırılmasına özgü alfabetik karakter,
3. karakter: Uzaklık sınıfını tanımlayan rakam (1, 2, ya da 3).

Örnek kod tanımlaması: PB2 = P: Yerleştirme grubu, B: Gevşek, 2: Orta uzaklık sınıfı.

İlgili vücut hareketine zaman tablosu aracılığı ile süre tanımlama işlemi gerçekleştirirken 4 ana kısıt göz önünde bulundurulmalıdır:

- 1- Uzaklık sınıfı: İş parçasının alma ve/veya bırakma hareketi esnasındaki uzaklık sınıfı, Çizelge 2.2'de gösterilen aralıklar doğrultusunda belirlenir ve buna göre tablo okuması gerçekleştirilir. Uzaklık sınıfının belirlenmesi esnasında birden fazla seçenek varsa daima uzaklık sınıfı büyük olan mesafe kullanılır.

**Çizelge 2.2** Uzaklık sınıflandırması

Hareket uzunluğu	Uzaklık Sınıfı
$\leq 20$ cm	1
$20$ cm $< x \leq 50$ cm	2
$50$ cm $< x \leq 80$ cm	3

- 2- İş parçası veya yardımcı aletin ağırlığı ve/veya hacmi: İş parçasının ağırlık sınıfı, Çizelge 2.3'te gösterilen aralıklar doğrultusunda belirlenir ve buna göre tablo okuması gerçekleştirilir.

**Çizelge 2.3** Ağırlık sınıflandırması

Parça ağırlığı / kuvvet	Ağırlık Sınıfı
$\leq 1$ daN	1
$1$ daN $< x \leq 8$ daN	2
$8$ daN $< x \leq 22$ daN	3

Benzer şekilde, parçaların hacimleri de sınıflandırılmıştır. Eğer bir iş parçası aşağıdaki kısıtlardan en az 1 tanesini sağlıyorsa (süre hesaplamasında geçerli kriterlere göre) ağırlık sınıfı ve/veya uzaklık sınıfı +1 büyük şekilde kabul edilecektir:

- İki boyutu 300 x 300 mm'ye eşit ve/veya büyük olan parçalar,
- Tek boyutu 800 mm'ye eşit ve/veya büyük olan parçalar.

- 3- Yerleştirme sınıfı: İş parçası ve/veya yardımcı aletin alma ve/veya bırakma hareketi esnasındaki yerleştirme hassasiyetine bağlı zorluk seviyesi bu sınıfın belirlenmesini sağlar. 3 farklı yerleştirme sınıfı mevcuttur:

- Gevşek: Konumlama toleransının 1.5 mm – 6 mm aralığında bir hassasiyetle yerleştirilme şekli (örneğin, bir burcun çakılacağı deliğe konumlandırılması).
- Sıkı: Konumlama toleransının 1.5 mm'den az olduğu hassasiyete göre yerleştirilme şekli (örneğin, torklanacak bir civatanın ilgili deliğe viralanması).
- Aşağı yukarı: Konumlama toleransının 12 mm ve üzerinde bir hassasiyete sahip

olduğu yerleştirme şekli (örneğin, bir el aletinin çalışma masası üzerinde rastgele bırakılması veya orta boy bir iş parçasını bir kılavuzlama yardımıyla pozisyonlanması).

4- Alma sınıfı: İş parçası ve/veya yardımcı aletin alma ve/veya bırakma hareketi esnasındaki alınabilirliğine dair zorluk seviyesi bu sınıfın belirlenmesini sağlar. 3 farklı alma sınıfı mevcuttur:

- Kolay: Tek başına duran bir cismin alınmasını kapsar (örneğin, parça kutusundan 10 cm çaplı küresel bir parçanın alınması).
- Zor: Karışık şekilde duran ve/veya özdeşlerinden ayırması zor olan bir cismin alınmasını kapsar (örneğin, birbiriyle aynı çapta ve nispeten ince çaplı bir silindirik milin ilgili kutudan alınması).
- Avuç dolusu: Adetli sayıda kullanımına ihtiyaç duyulan bir cismin toplu şekilde alınmasını kapsar (örneğin, operasyonel ihtiyaç 5 adet iken avadanlıktan rastgele 8 adet civata alınması).

Bu 4 ana kısıttan bir veya birden fazlası, 7 temel hareket grubundan bazılarının süre hesaplaması esnasında göz ardı edilecektir; ilgili kısıtların süre hesaplaması esnasında kullanım şekilleri temel hareket gruplarının detay anlatımı esnasında irdelenecektir.

Temel iş adımlarının her biri için gereken toplam süre analize özgü bir birim zaman katsayısı ile tanımlanır. Metotta kullanılmakta olan zaman ölçü birimi TMU olarak isimlendirilmekte olup, 1 TMU = 0,036 s = 36 ms'lik bir zaman dilimine eşit kabul edilmiştir. Bir örnekle açıklamak gerekirse, tablodan da görülebileceği gibi görsel kontrol 15 TMU'luk bir hareket olup, diğer analiz parametrelerinden (mesafe-ağırlık vb.) bağımsız olarak bir operatörün herhangi bir iş parçası üzerinde görsel kontrol gerçekleştirebilmesi için gereken süre:




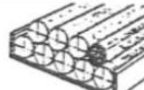

“15 x 36 ms = 540 ms = 0,54 s” olarak hesaplanacaktır.

## A. Almak ve yerleştirmek

Herhangi bir iş parçasının el ve/veya parmaklar aracılığıyla tanımlı bir noktadan alınıp, farklı bir noktaya konumlandırılması işlemidir. İş parçasının alındığı ve yerleştirildiği konumların uzaklık sınıfları birbirinden farklı ise, zaman tanımlama esnasında büyük olan uzaklık sınıfı geçerli kabul edilmelidir.

Örnek TMU hesaplaması: 400x400x200 mm ölçülerinde boş bir karton kutunun 60 cm'lik mesafeden kolay şekilde alınarak 20 cm'lik mesafeye rastgele bırakılması için gereken süre tablodan değerlendirilirken, parçanın 2 boyutu 300 mm'den büyük olduğu için parça hafif de olsa havaleli kabul edilecektir. Alma mesafesinin uzaklık sınıfı 3, bırakma mesafesinin uzaklık sınıfı 2 olduğundan büyük değer alınacaktır.

Tablo okunduğunda süre değeri: “AH3 = 55 TMU > 55 x 36 ms = 1980 ms = 1,98 s” olacaktır.

ALMAK		
Kolay	Zor	Avuç Dolusu
Yalnız duran nesneler	Diğerleriyle karışık olanlar	Bir araya toplanmış/üst üste yığılmış nesneler
		
		


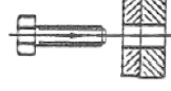

Şekil 2.9 Alma sınıflarının gösterimi

## B. Yerleştirmek

Halihazırda elleçlenmiş (el ve/veya parmaklar aracılığıyla kontrol altına alınmış) herhangi bir iş parçasının tanımlı bir noktaya konumlandırılması işlemidir.

Örnek TMU hesaplaması: Operatör tarafından askıdan alınmış olan 22 daN ağırlığındaki kaynaklı bir metal karkasın, 1. uzaklık sınıfından bir kaynak fikstürü üzerine yerleştirilmesi için gereken süre:

“PC2 = 30 TMU > 40 x 36 ms = 1440 ms = 1,44s” olacaktır.

	YERLEŞTİRMEK		
	Aşağı yukarı	Gevşek	Sıkı
İç içe sokmak	 Tolerans sınırı $> \pm 6$ mm veya dayanma	 Tolerans sınırı $\leq \pm 6$ mm bastırmadan ve/veya aksamadan hedefe varmak	 Tolerans sınırı $\leq \pm 6$ mm bastırma ile ve/veya aksama ile hedefe varmak
Bitiştirmek	Tolerans sınırı $> \pm 6$ mm	Tolerans sınırı $> \pm 1,5 \leq 6$ mm	Tolerans sınırı $\leq \pm 1,5$ mm

Şekil 2.10 Yerleştirme sınıflarının gösterimi

### C. Yardımcı el aleti/aparat vb. kullanmak

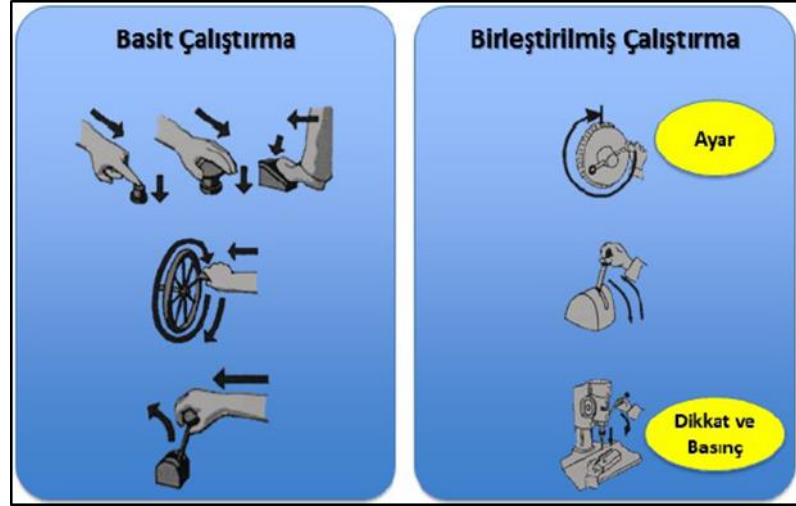
Proseste kullanılması icap eden herhangi bir yardımcı aletin el ve/veya parmaklar aracılığıyla tanımlı bir noktadan alınıp, farklı bir noktaya konumlandırılarak kullandıktan sonra tekrardan ilk konumuna bırakılması işlemidir. Yardımcı alet kullanıldıktan sonra aşağı yukarı, gevşek veya sıkı olarak bırakılabilir. Bu 3 yerleştirme seçeneği ayrı ayrı dikkate alındığında ortaya çıkacak olan süre tanımlaması genelde birbirlerine göre fazla farklılık göstermese de, bir sonraki proses adımında tekrar kullanıma ihtiyaç duyulması halinde: İlgili yardımcı alet kullanıldıktan sonra sıkı olarak bırakılırsa, bir sonraki kullanım için daha kolay alınabilir. Ancak yardımcı alet aşağı yukarı bir pozisyonlama ile yerine bırakılırsa, bir sonraki adımda bunu tekrar almak, görsel kontrol gerektireceğinden süre uzayacaktır.

### D. Çalıştırmak

Proseste kullanılması zorunlu olan herhangi bir ayar ve/veya makine parçasını el veya ayak ile kontrol altına aldıktan sonra basit bir ayar/tahrik hareketinin gerçekleştirilmesi bu sınıfa girmektedir.

Bahsi geçen ayar parçaları kapsamında makine, aparat veya iş alanında yer alan sabit konumlu herhangi bir kol, buton, dirsekler, gergi civatalar, kasnaklar, vidalar ve vidalanmış somunlar (maksimum 1 devir) düşünülecektir.





Şekil 2.11 Çalıştırma aksiyonu tipleri

### E. Hareket çevrimleri

El, parmaklar veya ayağın belli bir frekansla tekrarlayarak yaptığı hareket akışlarıdır. Burada hareket akışlarının herhangi bir yardımcı alet kullanılarak yapılıp yapılmadığı süre tanımlaması esnasında hesaba katılmamaktadır.

Burada temel hareket grubu (örneğin tek hareketlik bir kesme ve/veya çekiçle vurma gibi) için ilgili proses zamanı tanımlandıktan sonra, bahsi geçen ilk hareketin ardından (örneğin bir civata sıkımı esnasında anahtarın 360° derecelik ilk tur çevrimi gibi) devam eden hareketlerin değerlendirilmesi ayrı ayrı yapılır ve ilgili zaman tanımlamaları bu doğrultuda gerçekleştirilir. Yerleştirme grubunda yapılabilecek benzer şekilde, ilgili hareketin keskinlik (hassasiyet) derecesi de bu zaman tanımlamasına ait değerlendirme esnasında önemli bir faktördür (eğer el aleti kullanılıyor ise). Örnek olarak bir makas kullanılarak yapılan bir kesme hareketi ile bir İngiliz anahtarını altıköşeli civatanın başına yerleştirme arasında hassasiyet farkı bulunmaktadır, dolayısıyla değerlendirme bu gözle yapılmalıdır.

### F. Vücut hareketleri

Herhangi bir zaman harcamasına neden olan tüm vücut hareketleri bu grup kapsamında değerlendirilecektir. Bahsi geçen hareket vücudu döndürme, yürüme, veya vücut eksenini değiştiren herhangi bir hareket olabilir.

Basamak veya merdiven çıkmak gibi hareketler, yürüme şeklinde değerlendirilecektir. Ancak, eğer basamak veya merdiven çıkılması esnasında daha evvel tarif edilen şekilde hacimli veya 8 daN' dan daha ağır olan herhangi bir nesne veya nesnelere taşıyorsa, genellikle bir sonraki adımı atmadan önce arkada kalan bacak diğer bacağın yanına (aynı basamağa) getirilir. Bu gibi durumlarda çıkılan her basamak için 2 x KA süre tanımlaması gerçekleştirilir.

## **G. Görsel kontrol**

Herhangi bir iş parçasında gerçekleştirilecek basit görsel kontroller için (evet/hayır kararı, 3 karaktere kadar olan sayılar veya 3 heceli kelime içeren bir etiket vb. değerlendirme gibi) bu grup kullanılır.

Görüş alanı standart olarak 100 x 100 mm boyutunda değerlendirilir, dolayısıyla bundan daha büyük alanlarda yapılması gereken incelemeler 100 x 100 mm'lik alanlara bölünerek süre tanımlaması toplam alan sayısına göre hesaplanır.

Ek olarak, görsel kontrol gerçekleştirilirken yapılan destekleyici hareketlerin (örneğin yüzey üzerinde temas aracılığıyla çatlak ve/veya çizik kontrolü) görsel kontrolle eş zamanlı olarak gerçekleştirileceği kabul edilir ve bahsi geçen yardımcı hareketler için herhangi bir ekstra süre tanımlaması yapılmaz.

### **2.5.3. Diğer Analiz Metotları ile MTM'in Karşılaştırılması**

Zaman etüdüne dayalı analiz metotları gözleme dayalı ve hesaplama dayalı olarak iki ana gruba ayrılır (Zandin ve Maynard, 2011). Bu iki grup arasındaki en büyük fark gözlemsel metotların sadece hâlihazırda yürürlükte olan proseslerde uygulanabilir olmasıdır. Gözlemsel metotların uygulanmasına imkân veren birkaç farklı yöntem bulunmaktadır:

- Kronometre kullanarak ölçüm metodu,
- Video kayıt yöntemi kullanarak gerçekleştirilen ölçüm,
- Frekansiyel gerçekleştirilen faaliyet örnekleme metodu,
- Standart üretim zamanlarına ait verilerin yorumlanması metodu vb.

Çizelge 2.4.'te ilgili metotların MTM metoduyla çeşitli parametreler üzerinden kıyası

gösterilmiştir.

**Çizelge 2.4** MTM metodunun diğer metotlarla karşılaştırılması (MTM Türkiye, 2020)

	Çoğaltılabilme	Yöntem Zaman İlişkisi	Sistemi Geliştirebilme	Uluslararası Kabul
Kronometre ile	★★★★	■ ■ ■ □	● ● ● ●	✗
Faaliyet Örneklemesiyle	☆☆☆☆	□ □ □ □	○ ○ ○ ○ ○	✗
Bireysel Kayıt Tutarak	★★☆☆	■ □ □ □	● ○ ○ ○ ○	✗
Karşılaştırma Tahmin ile	☆☆☆☆	□ □ □ □	○ ○ ○ ○ ○	✗
Video Kayıt Yöntemiyle	★★★★	■ ■ ■ □	● ○ ○ ○ ○	✗
Standart Veriler Kullanarak	★★☆☆	■ □ □ □	● ○ ○ ○ ○	✗
MTM Yöntemiyle	★★★★	■ ■ ■ ■	● ● ● ●	✓

Diğer yandan MTM metodu gibi hesaplamaya dayalı metotlar, ilgili proses zamanı tanımlamalarını bir dizi matematiksel işlem üzerinden gerçekleştirirler. Fiziken henüz var olmayan sistemler ve/veya prosesler üzerinde çalışmaya imkân veren esnekliği ve hesaplama kriterlerinin öznel yorumlara kapalı olması nedeniyle hata payının düşüklüğü bu metodun en önemli artıları arasında sayılabilir (Bures ve Pivodova, 2013).

Bahsedilen farklı tip analiz metotları arasında nesnellik/öznelik dışında öne çıkan bir diğer önemli fark da, pratikte gözlemlenen sapmalardır. MTM metodu 1940'lı yıllarda ilk ortaya çıktığı dönemden beri sürekli olarak güncellenen, ve basit iş adımlarına yönelik zaman tanımlamalarının sürekli gözden geçirmelerle yenilenen bir metottur (Laring et al, 2002). MTM metoduyla hayata geçirilen modeller deney grubu olarak gözlemlendiğinde yapılan hesaplamalarla pratik sonuçlar arasında  $\pm 10\%$ 'luk bir değer aralığında sapma olduğu farklı deney gruplarında yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur (Bures ve Pivodova, 2013). Elbette bu sonucun ortaya çıkmasındaki temel faktörlerden en önemlisi, MTM'de yer alan farklı iş adımlarına yönelik tanımlanmış olan mevcut birim sürelerin tanımlanmasında istatistiksel veri toplama metodununun aktif olarak kullanılıyor olmasından kaynaklanmaktadır (Caragnano, 2007).

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. MTM-UAS Metodunun Uygulanabileceği Alanlar

MTM-UAS analiz metodunun kullanılabileceği pek çok farklı alan ve/veya gereksinim tipi bulunmaktadır. Bunları 2 farklı kategoriye ayırarak olursak:

##### **A- Mevcutta devam eden üretim süreçleri:**

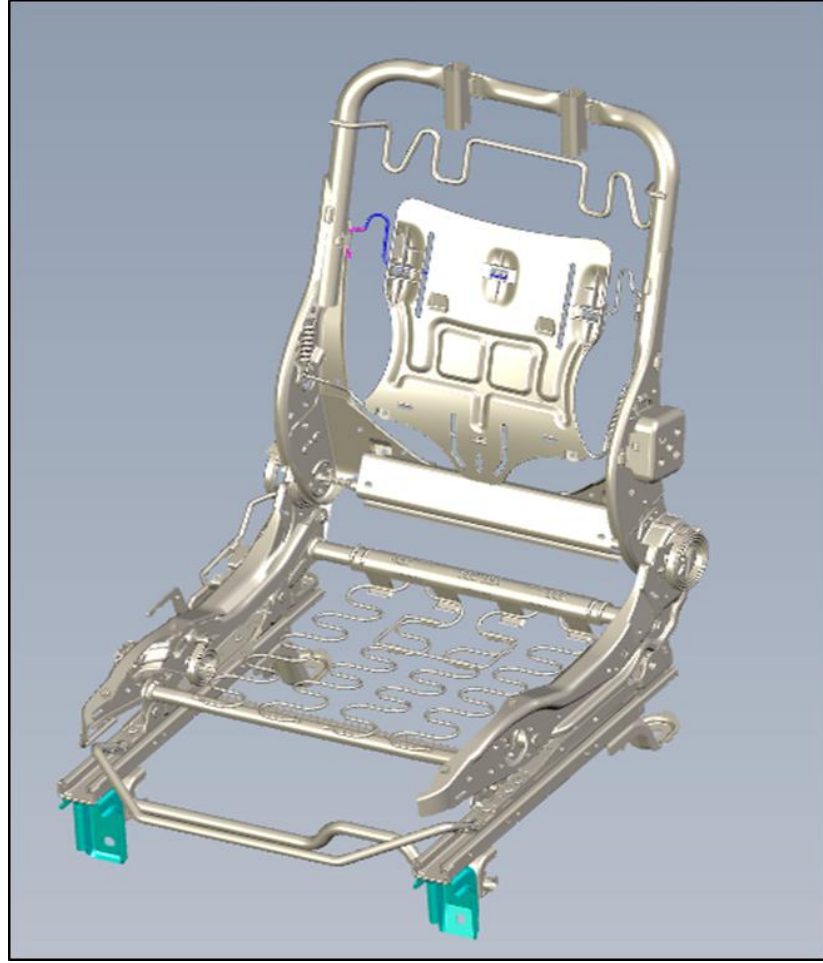
- > Mevcut üretim akışında darboğaz tespit edilen yerleri tespit edip zaman iyileştirmesi gerçekleştirmek;
- > Üretim akışında farklı operatör süreleri ve/veya iş yoğunluğu arasında görülen dengesizlikleri düzeltmek (hat dengeleme);
- > Katma değer yaratan ve/veya yaratmayan aksiyonları tanımlamak ve bu doğrultuda daha yalın bir üretim akışı sağlamak;
- > Üretim ve/veya kalite gibi birimlerden alınan geri bildirimlerin işaret ettiği proseslerde yer alabilecek muhtemel uygunsuzlukları incelemek ve iyileştirme metotları geliştirmek (ergonomi, iş alanı organizasyonu vb.);
- > Mamül ve/veya proses revizyonu gerçekleşmesi halinde üretim hattında iş kayıplarının olmasını önlemek şeklinde özetlenebilir.

##### **B- Devreye alınacak olan yeni üretim süreçleri:**

- > *Yeni devreye alınacak olan proseslere yönelik olarak proses dizayn & zaman/metot analizi çalışmalarını gerçekleştirmek;*
- > *Yeni devreye alınacak olan mamüller için makine parkuru ve/veya üretim hattı yerleşim planlaması gerçekleştirmek;*
- > Yeni devreye alınacak olan prosesler için makine parkuru ve/veya üretim hattına yönelik muhtemel yatırım maliyetlerini hesaplamak;
- > Yerleşim planlaması çalışmalarının bir çıktısı olarak diğer ilgili birimlere (lojistik, üretim, kalite) geri bildirim vermek;
- > Yeni teknoloji kullanımının söz konusu olduğu prosesler için halihazırda kullanılan teknolojilerle kıyaslama yapabilmek şeklinde özetlenebilir.

### 3.2. Proses Dizaynı ve Yerleşim Belirleme Çalışması

Proses dizayn çalışması yapmak üzere öncelikle bir adet endüstriyel ürün seçilmelidir. Bu tezde irdelenecek olan çalışmalar için, bir otomobil koltuğunun metal çerçevesine ait (bkz. Şekil 3.1) montaj operasyonları seçilmiş ve ilgili analizler bu operasyonları belirlemek üzere modeldeki ürün kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İlgili çalışmalar yeni devreye alınacak süreçlere yönelik proses dizaynı ve hat tasarımına yönelik gerçekleştirilecektir.



Şekil 3.1. Seçilen ürüne ait 3 boyutlu modelin izometrik görünümü

Çalışmanın doğru bir şekilde planlanabilmesi adına öncelikle analiz boyunca sabit kabul edilecek olan kısıtlar netleştirilmelidir. Daha önceki bölümlerde de bahsedildiği üzere, üretim planlamasının doğru yapılabilmesi ve operasyonların olması gereken sürelerle göre düzenlenebilmesi doğrultusunda ilk belirlenmesi gereken unsur çalışma koşulları ve çevrim zamanıdır.

Çalışma koşulları ve proje bilgileri aşağıdaki şekilde kabul edilecektir:

- > Üretim lokasyonu: Türkiye
- > Çalışma günü: 265 gün/yıl
- > Çalışma saati: 21 saat/gün
- > **Performans indeksi: 85%**
- > *Vardiya sayısı: 3/gün*

- >> Müşteri firma: N/A\*
- >> Sevkiyat lokasyonu: N/A\*
- >> Proje hacmi: 315.000 adet/yıl

Verilen bilgiler doğrultusunda projede kullanılacak olan süre bilgileri şöyle hesaplanabilir (burada virgülden sonra 2 basamak ilerletmek yeterlidir):

Takt zamanı (TT):  $(265 \times 21 \times 60 \times 60) / 315.000 = \mathbf{63,60 \text{ s}}$

Çevrim zamanı (CT):  $TT \times 0,85 = \mathbf{54,06 \text{ s}}$

*İtalik olarak yazılmış bilgiler* bu tezde ele alınacak olan örnek özelinde yaygın kullanılan ortalama değerler olarak kabul edilmiş olsa da, profesyonel çalışma hayatında bu bilgiler farklılık gösterebilir: Performans indeksi (verim veya OEE olarak da irdelenebilir) proses dizaynı esnasında ön görülen kayıp yüzdesine göre seçilirken, çevrim zamanı toplam çalışma saatine göre belirlendiğinden vardiya sayısının sonuca direkt bir etkisi bulunmamaktadır ancak toplam kullanılacak operatör sayısının belirlenmesinde kullanılmaktadır.

**Asterisk (\*) ile işaretlenmiş** bilgiler bu tezde ele alınacak olan örnek özelinde kapsamdışı olarak değerlendirilmiş olsa da, profesyonel çalışma hayatında bu bilgilerin titizlikle değerlendirilmesi gerekmektedir: her OEM'in kendine özgü farklı teknik kabul ve/veya kalite kriterleri bulunduğundan, ilgili projeler imalatın yapılacağı müşterinin potansiyel talepleri göz önünde bulundurularak değerlendirilmelidir; öte yandan sevkiyat lokasyonu ise gerekli lojistik planlamalarını (depolama faaliyetleri, ürünlerin gönderimi vb.) doğru şekilde yapabilmek adına önem arz etmektedir.

Bir sonraki adımda seçilen ürünün üretilmesi için gerekli olan üretim prosesleri tespit edilerek, bu prosesler kendilerini oluşturan temel iş adımlarına bölünecek ve çıkan sonuçlar hesaplanan CT zamanı doğrultusunda iş istasyonlarına dağıtılacaktır. Böylelikle ürünün üretilmesi için gereken aşağıdaki bilgiler:

- > Ürünün toplamda kaç farklı prosesten geçerek üretilbileceği,
- > Montaj hattının (veya makine parkurunun) fiziksel şekli ve yerleşim öngörüsü,
- > Hatta yer alacak olan iş istasyonu sayısı,
- > Hatta çalışacak olan operatör sayısı,
- > Hattın devreye alınması için gereken yatırım miktarı\*,

Analiz öncesinde belirlenmiş olan kısıtlar ve yapılan kabuller ölçüsünde optimal şekilde hesaplanarak ortaya konmuş olacaktır. Elbette, yapılacak olan ilk hesaplama sonucunda elde edilen çıktıları direkt olarak pratiğe aktarmaktansa ilgili birimlerle sonuçlar hakkında görüşmek üzere teknik değerlendirme toplantıları gerçekleştirmek ve alınan geri bildirimlere göre analizde yer alan muhtemel iyileştirme noktalarını değerlendirdikten sonra güncellenmiş bir çalışma hazırlayarak aradaki farkları ortaya koymak çok daha doğru ve ölçülebilir bir netice verecektir.

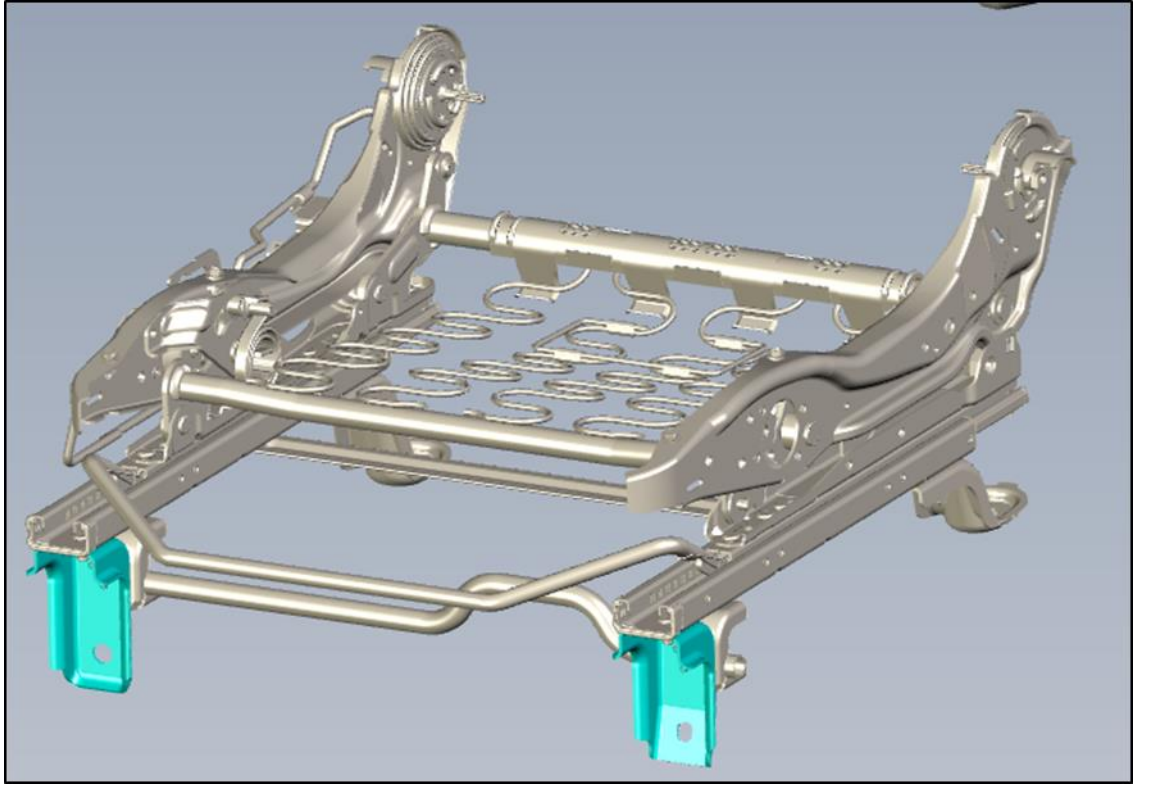
İlaveten, yukarıda asterisk (\*) ile işaretlenmiş olan yatırım bilgisi bu çalışma özelinde kapsam dışı bırakılarak hesaplanmayacak olsa da, profesyonel çalışma hayatında büyük önem arz etmektedir: bilindiği üzere büyük şirketlerin her birinin sahip olduğu bir kurumsal hafıza mevcuttur, daha evvel devreye alınmış ve/veya hali hazırda yürütülmekte olan projelerden elde edilen teknik ve ticari bilgiler de bu kurumsal hafıza içerisinde önemli bir bilgiler bütünü olarak yer alırlar. Dolayısıyla, yeni projeler öncesinde bu kurumsal hafızaya başvurularak, devreye alınması planlanan teknik operasyonların kurulumları için gereken yaklaşık ticari maliyetler kolayca hesaplanabilir.

### 3.3. MTM-UAS Metodunun Uygulanması

Öncelikle koltuk iskeletini 2 farklı komponent olarak ele almamız gerekmektedir:

- 1- Oturak iskeleti (bkz. Şekil 3.2),
- 2- Sırt iskeleti (bkz. Şekil 3.13).

Bu iki komponent kendi içlerinde toplandıktan sonra bir **evlendirme** istasyonunda bir araya getirilerek final ürün ortaya çıkartılacaktır. Elbette, bu iki komponentin iş istasyonları kendilerine özgü işlevlerle donatılmış şekilde tasarlanacak olup; tanımlanan spesifik işlerin gerçekleştirilmesine hizmet edeceklerdir.



Şekil 3.2. Oturak iskeleti

Oturak iskeletini oluşturmak için gereken iş adımları Çizelge 3.1, Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'te verilirken; ilgili yarı mamül görselleri Şekil 3.3 ila Şekil 3.9 arasında tanımlanmıştır:



Çizelge 3.1 Oturak iskeleti iş adımları (1. kısım)

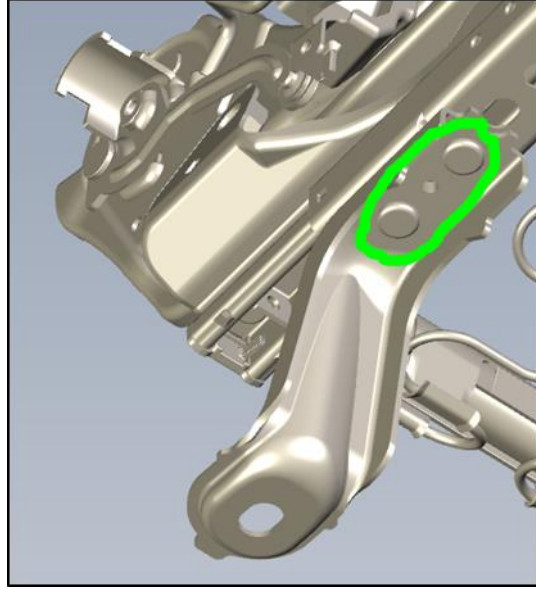
İş adınının tanımı	MIMKodu	TMU	Frekans	Toplam TMU	Süre (s)
1 adım yürü	KA	25	1	25	0,9
2 adet kızak al	AB2	45	2	90	3,24
Fikstüre geri yürü	KA	25	2	50	1,8
Kızakları fikstüre yerleştir	PC3	45	2	90	3,24
Kaynaklı ön boru grubunu al eline yerleştir	AB3	60	1	60	2,16
Kaynaklı ön grubunu Fikstüre yerleştir	PC3	45	1	45	1,62
Bir adım geri at	KA	25	1	25	0,9
Butona bas	BA2	25	1	25	0,9
Makine süresi (parça fikseleme)	PTSEC		1		3
Avuç dolusu fiberli somun al	AG2	65	1	65	2,34
1. sonunu montaj bölgesine yerleştir	PC2	40	1	40	1,44
El ile vira et	ZB2	30	3	90	3,24
2. sonunu montaj bölgesine yerleştir	PC2	40	1	40	1,44
El ile vira et	ZB2	30	3	90	3,24
Elinde kalan somunları avadanlığa bırak	PB2	30	1	30	1,08
Elektrikli sıkıcıyı al	HB2	60	1	60	2,16
Somun sıkım süresi	PTSEC		2		6
Görsel kontrol	VA	1	15	15	0,54
Bir adım geri at	KA	25	1	25	0,9
Hat ilerlemesi için butona bas	BA2	25	1	25	0,9
Hat ilerleme süresi	PTSEC		1		10
Güçlendirme braketi al eline yerleştir	AB2	45	1	45	1,62
Güçlendirme braketini fikstüre yerleştir	PC3	45	1	45	1,62
Bir adım geri at	KA	25	1	25	0,9
Butona bas	BA2	25	1	25	0,9
Makine süresi (parça fikseleme)	PTSEC		1		3
Avuç dolusu fiberli somun al	AG2	65	1	65	2,34
1. sonunu montaj bölgesine yerleştir	PC2	40	1	40	1,44
El ile vira et	ZB2	30	3	90	3,24
2. sonunu montaj bölgesine yerleştir	PC2	40	1	40	1,44
El ile vira et	ZB2	30	3	90	3,24
Elinde kalan somunları avadanlığa bırak	PB2	30	1	30	1,08
Elektrikli sıkıcıyı al	HB2	60	1	60	2,16
Somun sıkım süresi	PTSEC		2		6
Görsel kontrol	VA	2	15	30	1,08
Bir adım geri at	KA	25	1	25	0,9
Hat ilerlemesi için butona bas	BA2	25	1	25	0,9
Hat ilerleme süresi	PTSEC		1		10
Aktüatör kolu al eline yerleştir	AB2	45	1	45	1,62
Sağ tarafa dön	KA	25	1	25	0,9
Aktüatör kolunu yağlama ünitesine yerleştir	PC3	45	1	45	1,62
Start tuşuna bas	BA2	25	1	25	0,9
Otomatik yağlama süresi	PTSEC		1		8
Yağlanmış olan aktüatör kolunu al	AB2	45	1	45	1,62
Montaj hattına dön	KA	25	1	25	0,9
Aktüatör kolunu fikstüre yerleştir	PC3	45	1	45	1,62
Bir adım geri at	KA	25	1	25	0,9
Otomatik proses için starta bas	BA2	25	1	25	0,9
Makine süresi (Aktüatör kol montajı)	PTSEC		1		8
Görsel kontrol	VA	2	15	30	1,08
Hat ilerlemesi için butona bas	BA2	25	1	25	0,9
Biten ürünü al eline yerleştir	AB2	65	1	65	2,34
1 adet kanca al eline yerleştir	AB2	45	1	45	1,62
Kancayı biten ürüne yerleştir	PC1	30	1	30	1,08
Kancayı askıya as (1. TMD)	PC3	45	1	45	1,62
Kancayı askıya as (2. TMD)	PC3	45	1	45	1,62
Hat ilerleme süresi	PTSEC		1		10

**Çizelge 3.2 Oturak iskeleti iş adımları (2. kısım)**

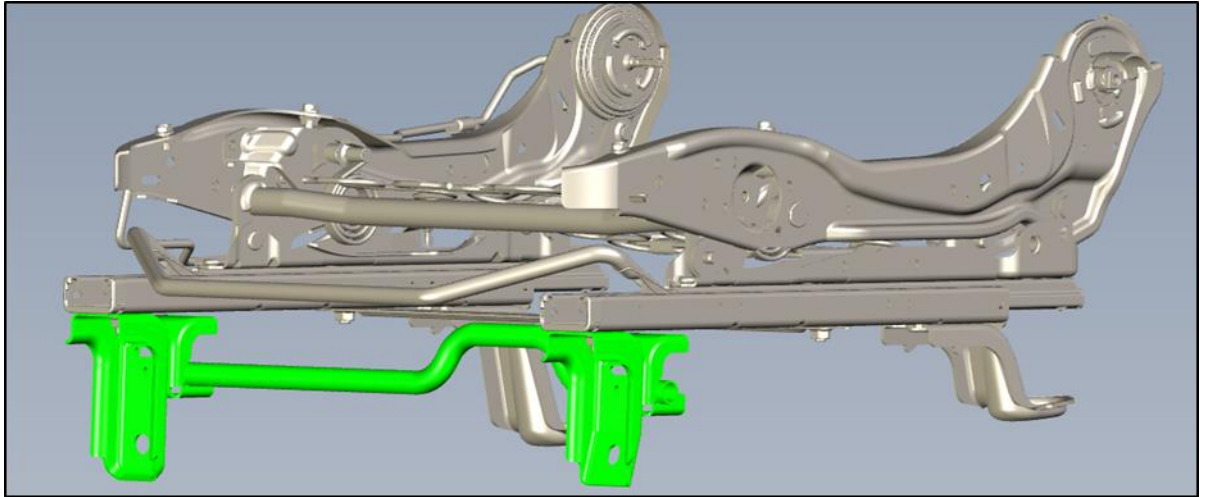
İş adınının tanımı	MTM kodu	TMU	Frekans	Toplam TMU	Süre (s)
1. yan traversi al eline yerleştir	AB2	45	1	45	1,62
Yan traversi fikstüre yerleştir	PC3	45	1	45	1,62
2. yan traversi al eline yerleştir	AB2	45	1	45	1,62
Yan traversi fikstüre yerleştir	PC3	45	1	45	1,62
Arka boruyu al eline yerleştir	AB2	45	1	45	1,62
Arka boruyu fikstüre yerleştir	PB2	30	1	30	1,08
Ön boruyu al eline yerleştir	AB2	45	1	45	1,62
Ön boruyu fikstüre yerleştir	PB2	30	1	30	1,08
2 adet perno al	AB2	45	1	45	1,62
1. pernoyu montaj bölgesine yerleştir	PC2	40	1	40	1,44
2. pernoyu montaj bölgesine yerleştir	PC2	40	1	40	1,44
Bir adım geri at	KA	25	1	25	0,9
Butona bas	BA2	25	1	25	0,9
Makine süresi (parça fiksleme)	PTSEC		1		3
Görsel kontrol	VA	6	15	90	3,24
İşlemler tamamlanınca hat ilerlemesi için butona bas	BA2	25	1	25	0,9
Hat ilerleme süresi	PTSEC		1		10
Makine süresi (Boru sıvama)	PTSEC		2		15
Makine süresi (Perno sıvama)	PTSEC		2		15
Hat ilerleme süresi	PTSEC		1		10
Mekanizma al eline yerleştir yağlama fikstürüne yerleştir	AB2	45	1	45	1,62
Mekanizmayı yağlama fıstrüne yerleştir	PC3	45	1	45	1,62
Makine süresi (Mekanizma yağlama)	PTSEC		1		10
Avuç dolusu vida al	AG2	65	1	65	2,34
Yağlanmış mekanizmayı al eline yerleştir	AB2	45	1	45	1,62
Montaj bölgesine konumlandır	PC3	45	1	45	1,62
1. Vidayı virala	ZB2	30	3	90	3,24
2. Vidayı virala	ZB2	30	3	90	3,24
3. Vidayı virala	ZB2	30	3	90	3,24
4. Vidayı virala	ZB2	30	3	90	3,24
Elinde kalan civataları avadanlığa bırak	PB2	30	1	30	1,08
İşlemler tamamlanınca hat ilerlemesi için butona bas	BA2	25	1	25	0,9
Hat ilerleme süresi	PTSEC		1		10
Sıkıcıyı al yerleştir	HB2	60	1	60	2,16
Sıkım süresi (mekanizma civataları sıkım)	PTSEC		4		24
Pulmaflex al eline yerleştir	AB2	45	1	45	1,62
Pulmaflexi oturak iskeletine yerleştir	PTSEC		1		15
Görsel kontrol	VA	15	2	30	1,08
Bitmiş ürünü al transfer konveyörüne yerleştir	PTSEC		1		5

**Çizelge 3.3 Oturak iskeleti iş adımları (3. kısım)**

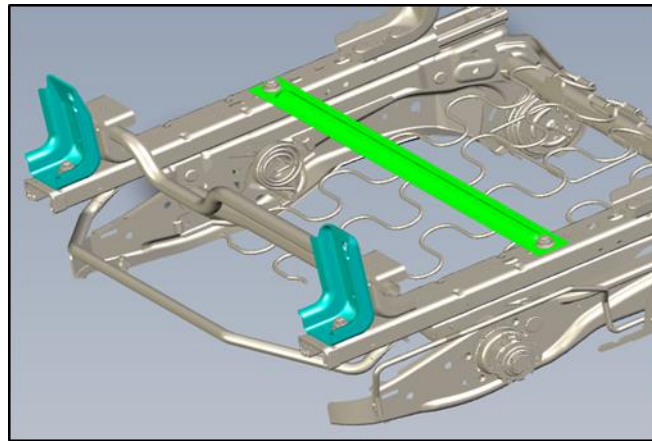
İş adımının tanımı	MTM kodu	TMU	Frekans	Toplam TMU	Süre (s)
Sol tarafa dön	KA	25	1	25	0,9
Alt grup 1'den gelen ürünü al eline yerleştir	AJ2	65	1	65	2,34
Makineye dön	KA	25	1	25	0,9
Ürünü makineye yerleştir (1. TMU)	PC3	45	1	45	1,62
Ürünü makineye yerleştir (2. TMU)	PC3	45	1	45	1,62
Sağ tarafa dön	KA	25	1	25	0,9
Üst grup 4'den gelen ürünü al eline yerleştir	AJ2	65	1	65	2,34
Makineye dön	KA	25	1	25	0,9
Ürünü makineye yerleştir	PC3	45	1	45	1,62
Ürünü makineye yerleştir (2. TMU)	PC3	45	1	45	1,62
Avuç dolusu vida al	AG2	65	1	65	2,34
1. vidayı montaj bölgesine yerleştir	PC3	45	1	45	1,62
El ile vira et	ZB2	30	3	90	3,24
2. vidayı montaj bölgesine yerleştir	PC3	45	1	45	1,62
El ile vira et	ZB2	30	3	90	3,24
Elinde kalan civataları avadanlığa bırak	PB2	30	1	30	1,08
Elektrikli sıkıyıcı al	HB2	60	1	60	2,16
Somun sıkım süresi	PTSEC		2		6
2 adet perno al	AB2	45	1	45	1,62
1. pernoyu montaj bölgesine yerleştir	PC2	40	1	40	1,44
2.pernoyu montaj bölgesine yerleştir	PC2	40	1	40	1,44
Bir adım geri at	KA	25	1	25	0,9
Butona bas	BA2	25	1	25	0,9
Makine süresi (Alt-üst grup birleştirme)	PTSEC		1		20
Görsel kontrol	VA	2	15	30	1,08
Biten ürünü al eline yerleştir	AJ2	65	1	65	2,34
1 adet kanca al eline yerleştir	AB2	45	1	45	1,62
Kancayı biten ürüne yerleştir	PC1	30	1	30	1,08
Kancayı askıya as (1. TMU)	PC3	45	1	45	1,62
Kancayı askıya as (2. TMU)	PC3	45	1	45	1,62



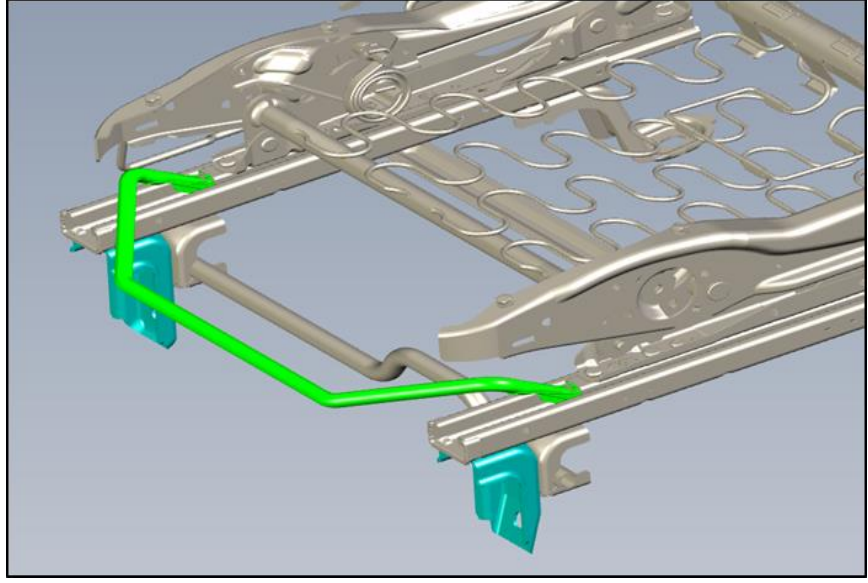
Şekil 3.3. Kızak üstü arka braket perçinleri



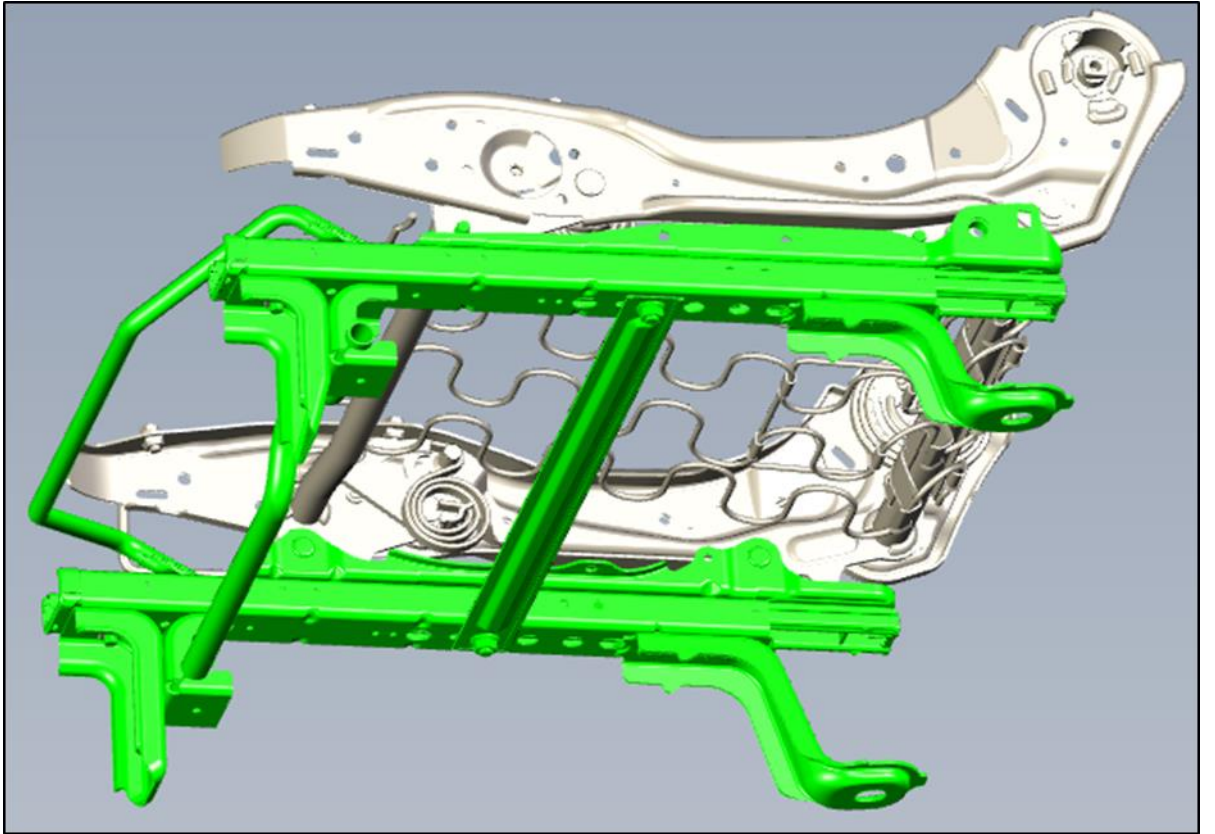
Şekil 3.4. Kaynaklı ön boru grubu



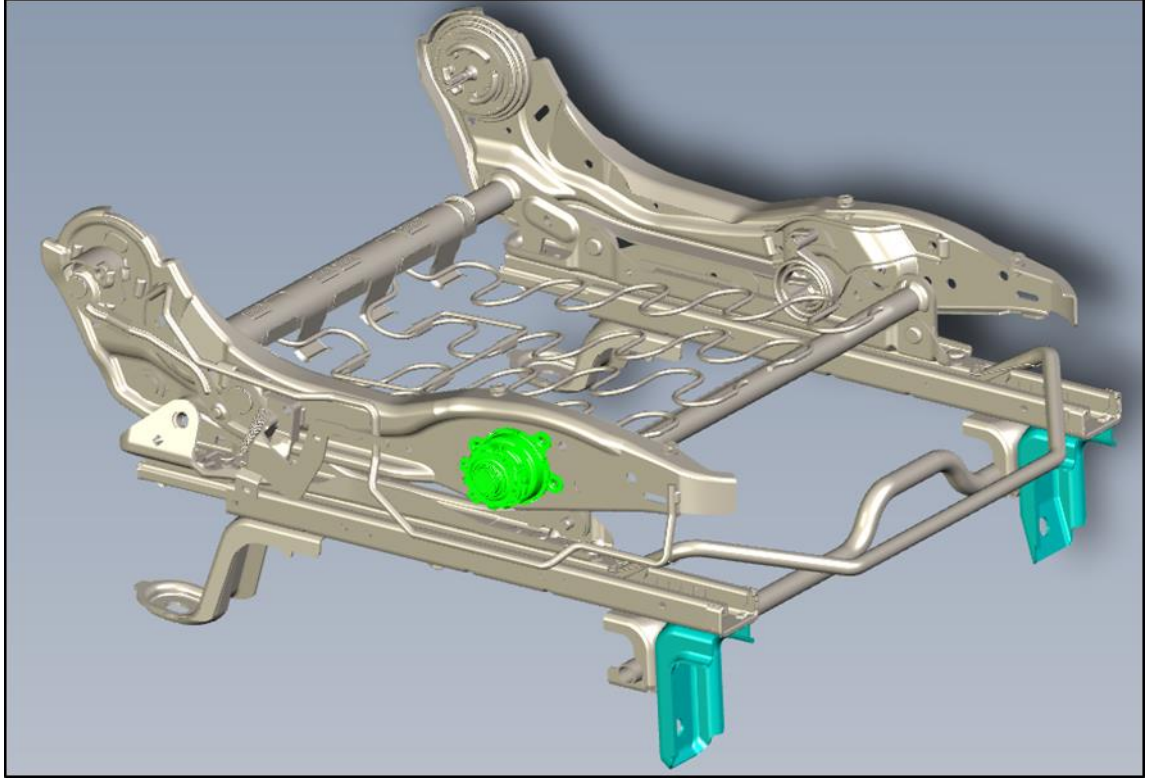
Şekil 3.5. Güçlendirme braketi



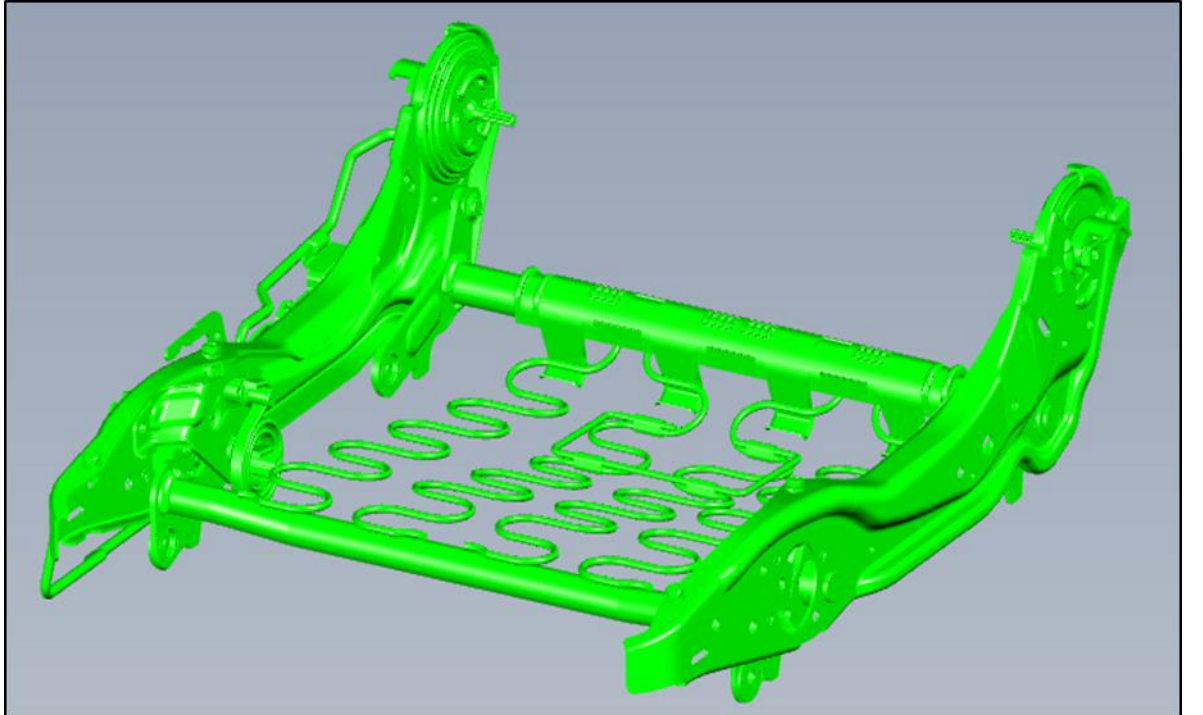
**Şekil 3.6.** Aktüatör kol (kızak mekanizması)



**Şekil 3.7.** Tamamlanmış alt grup kompleksi



Şekil 3.8. Yükseklik ayar mekanizması

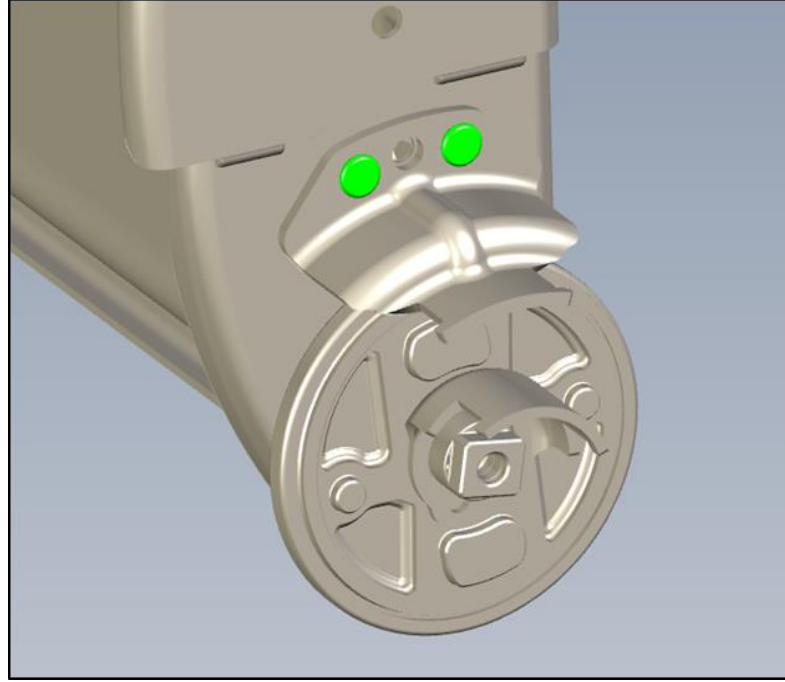


Şekil 3.9. Tamamlanmış üst grup kompleksi

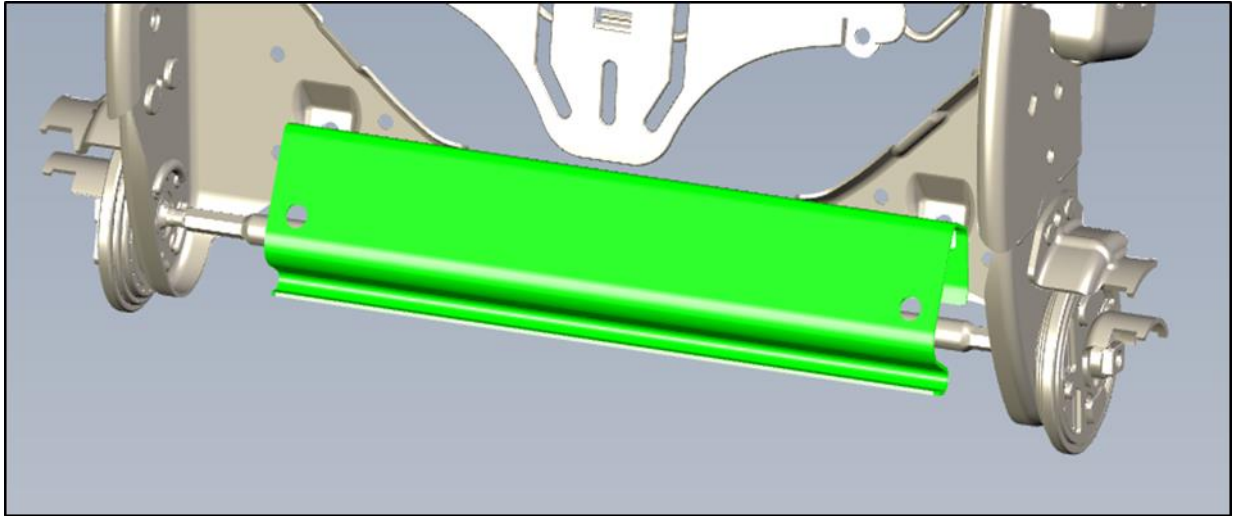
Sırt iskeletini oluşturmak için gereken iş adımları Çizelge 3.4'te verilirken, ilgili yarı mamül görselleri Şekil 3.10 ila Şekil 3.12 arasında tanımlanmıştır:

**Çizelge 3.4 Sırt iskeleti iş adımları**

İş adımının tanımı	MTM kodu	TMU	Frekans	Toplam TMU	Süre (s)	Toplam süre (s)
2 adım yürü	KA	25	2	50	1,8	99,36
Kaynaklı sırt karkasını al eline yerleştir	AJ2	65	1	65	2,34	
Fikstüre geri yürü	KA	25	2	50	1,8	
Kaynaklı sırt karkasını fikstüre yerleştir (1. TMU)	PC3	45	1	45	1,62	
Kaynaklı sırt karkasını fikstüre yerleştir (2. TMU)	PC3	45	1	45	1,62	
Kaynak noktalarına görsel kontrol	VA	15	2	30	1,08	
Bir adım geri çık	KA	25	1	25	0,9	
Butona bas	BA2	25	1	25	0,9	
Makine süresi (parça fiksleme)	PTSEC		1		3	
Perçin çakma operasyonu için fikstürü 45 derece döndür	PTSEC		1		5	
1. recliner braketini al eline yerleştir	AB2	25	1	25	0,9	
1. recliner braketini fikstüre yerleştir	PC3	45	1	45	1,62	
Perçin tabancası al	HB2	60	1	60	2,16	
Makine süresi (perçin çakma)	PTSEC		2		6	
Perçin çakma operasyonu için fikstürü 90 derece döndür	PTSEC		1		5	
2. recliner braketini al eline yerleştir	AB2	25	1	25	0,9	
2. recliner braketini fikstüre yerleştir	PC3	45	1	45	1,62	
Perçin tabancası al	HB2	60	1	60	2,16	
Makine süresi (perçin çakma)	PTSEC		2		6	
Perçin çakma operasyonu için fikstürü 45 derece döndür	PTSEC		1		5	
Recliner kapatma braketini al eline yerleştir	AB2	45	1	45	1,62	
Recliner kapatma braketini fikstüre yerleştir	PC3	45	1	45	1,62	
Perçin tabancası al	HB2	60	1	60	2,16	
Makine süresi (perçin çakma)	PTSEC		2		6	
Sırt güçlendirme plakasını al eline yerleştir	AB2	45	1	45	1,62	
Sırt güçlendirme plakasını al fikstüre yerleştir	PC3	45	1	45	1,62	
El aparatını al	HB2	60	1	60	2,16	
Operatör süresi (güçlendirme bağlantı telleri)	PTSEC		4		12	
Destek yaylarını al yerleştir	AB2	45	1	45	1,62	
El aparatını al	HB2	60	1	60	2,16	
Operatör süresi (destek yayları montajı)	PTSEC		2		6	
Görsel kontrol	VA	15	2	30	1,08	
Biten ürünü al eline yerleştir	AJ2	65	1	65	2,34	
1 adet kanca al eline yerleştir	AB2	45	1	45	1,62	
Kancayı biten ürüne yerleştir	PC1	30	1	30	1,08	
Kancayı askıya as (1. TMU)	PC3	45	1	45	1,62	
Kancayı askıya as (2. TMU)	PC3	45	1	45	1,62	

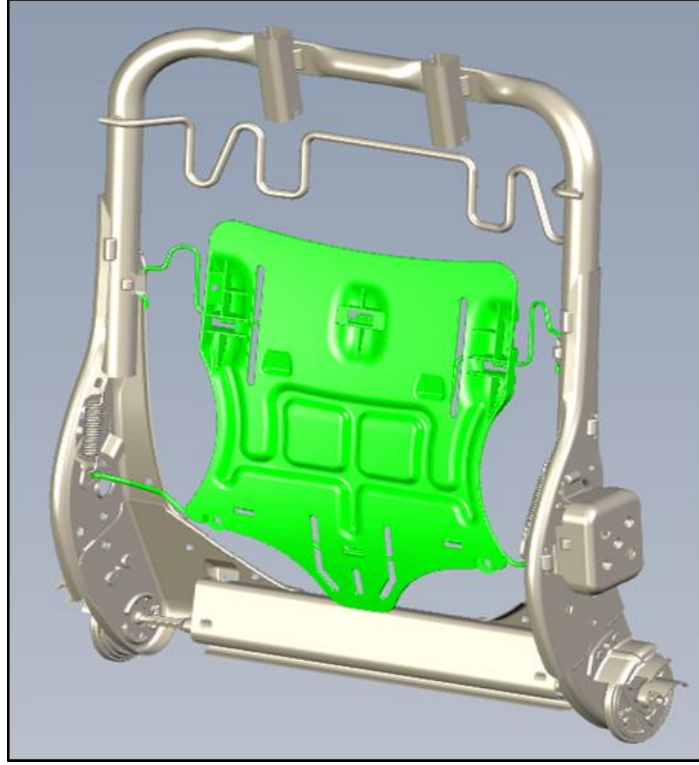


**Şekil 3.10.** Recliner braketleri perçinleri

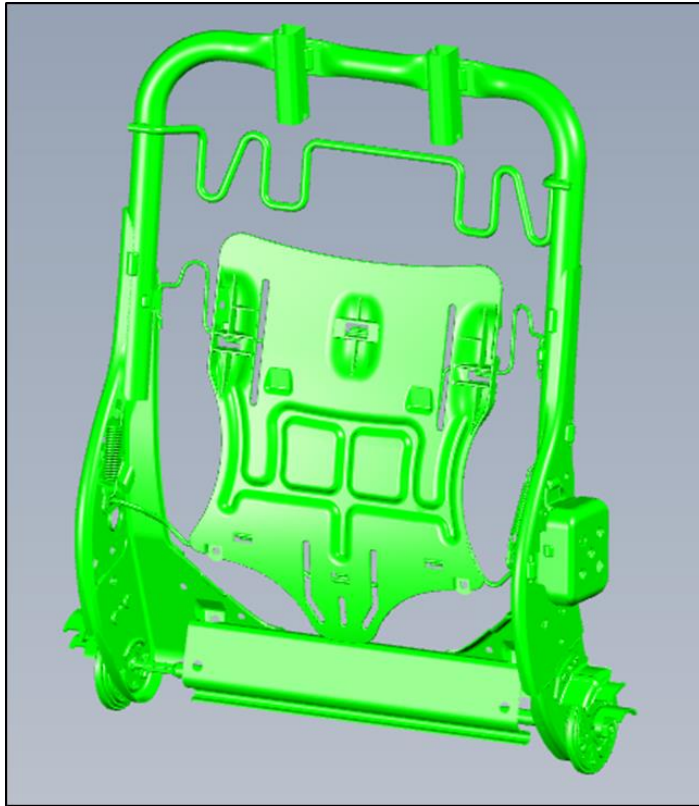


**Şekil 3.11.** Recliner kapatma braketleri





**Şekil 3.12.** Sırt güçlendirme plakası

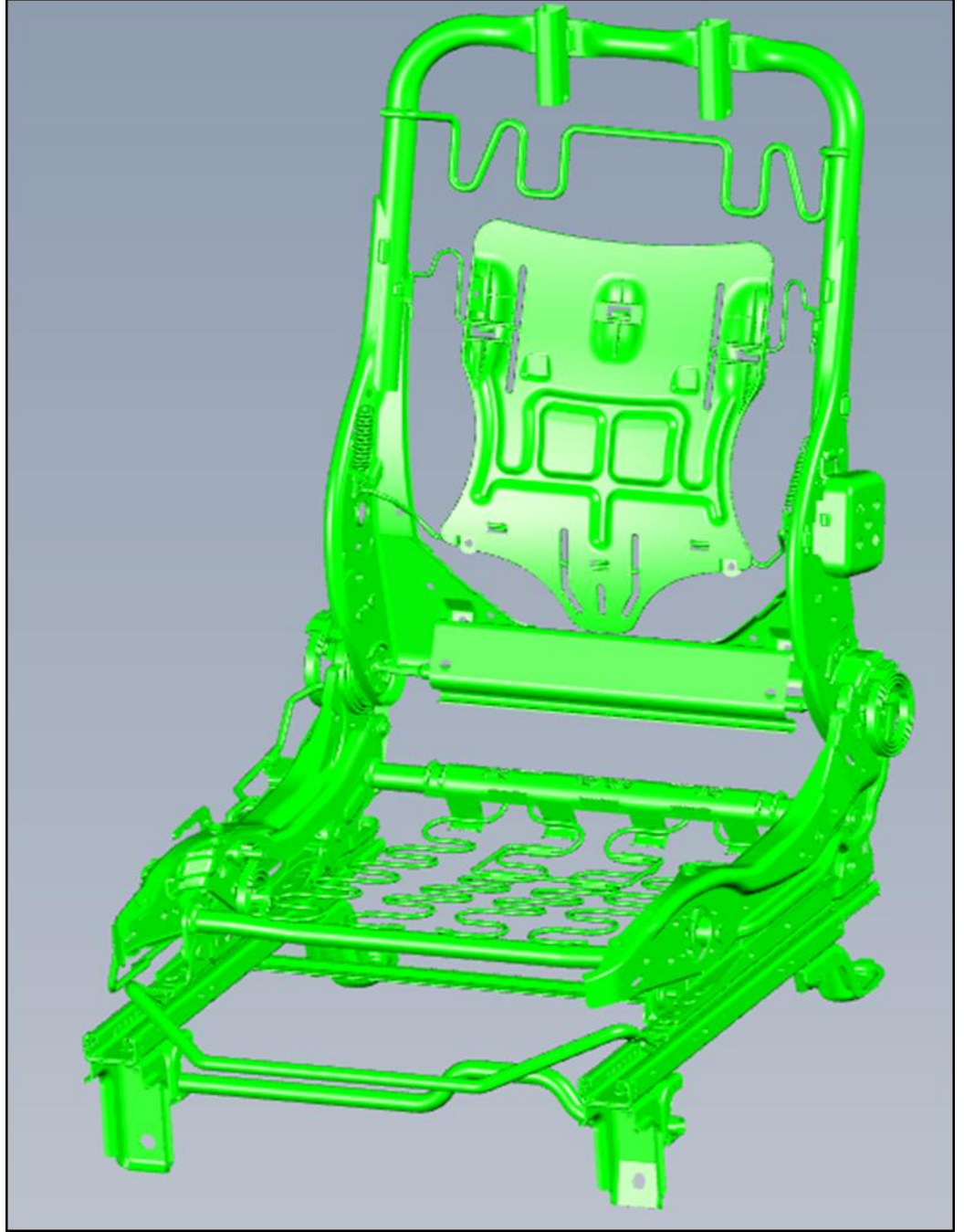


**Şekil 3.13.** Tamamlanmış sırt iskeleti

Her iki komponent de tamamlandıktan sonra final ürünü oluşturmak için gereken iş adımları Çizelge 3.5’te verilirken, bitmiş ürünün görseli Şekil 3.14’te tanımlanmıştır:

**Çizelge 3.5** Final ürün montaj iş adımları

İş adınının tanımı	MTM kodu	TMU	Frekans	Toplam TMU	Süre (s)	Toplam süre (s)
Oturak kompleksini almak için 2 adım yürü	KA	25	1	25	0,9	96,08
Oturak kompleksini al eline yerleştir	AM2	130	1	130	4,68	
Makineye geri yürü	KA	25	1	25	0,9	
Oturak kompleksini al fikstüre yerleştir (1.TMU)	PC3	45	1	45	1,62	
Oturak kompleksini al fikstüre yerleştir (2.TMU)	PC3	45	1	45	1,62	
Oturak kompleksini al fikstüre yerleştir (3.TMU)	PC3	45	1	45	1,62	
Sırt kompleksini almak için 2 adım yürü	KA	25	1	25	0,9	
Sırt kompleksini al eline yerleştir	AM2	120	1	120	4,32	
Makineye geri yürü	KA	25	1	25	0,9	
Sırt kompleksini al fikstüre yerleştir (1.TMU)	PC3	45	1	45	1,62	
Sırt kompleksini al fikstüre yerleştir (2.TMU)	PC3	45	1	45	1,62	
Bir adım geri çık	KA	25	1	25	0,9	
Butona bas	BA2	25	1	25	0,9	
Makine süresi (parça fiksleme)	PTSEC		1		3	
Avuç dolusu evlendirme civatası al	AG2	65	1	65	2,34	
Civatayı 1. montaj bölgesine yerleştir	PC2	40	1	40	1,44	
Civatayı el ile vira et	ZB2	30	3	90	3,24	
Civatayı 2. montaj bölgesine yerleştir	PC2	40	1	40	1,44	
Civatayı el ile vira et	ZB2	30	3	90	3,24	
Elinde kalan civataları bırak	PB2	30	1	30	1,08	
Elektrikli sıkıyıcı al	HB2	60	1	60	2,16	
Makine süresi (torklama)	PTSEC		2		8	
1. yayı al eline yerleştir	AB2	45	1	45	1,62	
1. yayı fikstüre yerleştir	PB2	30	1	30	1,08	
2. yayı al yerleştir	AB2	45	1	45	1,62	
1. yayı fikstüre yerleştir	PB2	30	1	30	1,08	
El aparatını al ve yerleştir	HB2	60	1	60	2,16	
Yay kurma işlemi	PTSEC		2		5	
Bir adım geri çık	KA	25	1	25	0,9	
Butona bas	BA2	25	1	25	0,9	
Recliner kurma işlemi	PTSEC		1		5	
Biten ürünü al eline yerleştir	AJ2	65	1	65	2,34	
1 adet kanca al eline yerleştir	AB2	45	1	45	1,62	
Kancayı biten ürüne yerleştir	PC1	30	1	30	1,08	
Kancayı askıya as (1. TMU)	PC3	45	1	45	1,62	
Kancayı askıya as (2. TMU)	PC3	45	1	45	1,62	
Bitmiş ürünü al sevkiyat kasasına yerleştir	PTSEC		1		20	



**Şekil 3.14.** Bitmiş ürün kompleksi

#### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Yapılan çalışmanın sonuçlarını irdelediğimiz zaman elde ettiğimiz değerler aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- > Çevrim zamanı (85% verimde): 54,06 s
- > Oturak iskeleti toplam üretim süresi: 381,06 s
- > Sırt iskeleti toplam üretim süresi: 99,36 s
- > İki komponentin birleştirilmesi yoluyla elde edilen final ürünün üretim süresi: 96,08 s

Elde edilen süreler baktığımızda aşağıdaki şekilde hat dizaynlarının yapılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır:

> Oturak üretim hattı: Operasyonların ilgili çevrim zamanına göre bölünmesi gerçekleştirilerek, lojistik faaliyetlerini iyileştirmek adına sürekli bir hat şeklinde tasarım yapılmalıdır. Elbette birbirinden bağımsız iş istasyonları şeklinde bir makine parkuru da öngörülebilir, **ancak konveyör bağlantılı bir montaj hattı maliyet anlamında daha avantajlı olacaktır.**

> Sırt üretim hattı: Sırt üretimi için gereken toplam sürenin düşüklüğünden ötürü burada 2 farklı alternatif söz konusu olacaktır:

a- Tekil bir iş istasyonu tasarlanarak, ilgili çevrim zamanı uyarınca bu iş istasyonundan 2 adet yaptırılabilir (duplike); **yahut bahsi geçen iş istasyonu döner tablalı bir şekilde dizayn edilerek aynı anda 2 operatörün iş yapabilmesine müsaade edecek yapıda tasarlanabilir.**

b- Kısa bir montaj hattı yaptırılarak birden fazla operatörün bu hatta çalışması sağlanabilir. **Ancak layoutta ihtiyaç duyulan yer ve kullanım kolaylığı bakımından (a) seçeneği daha cazip olacaktır.**

> Final ürün montaj hattı: Sırt üretimindekine benzer şekilde, çevrim zamanı hedefini tutturabilmek adına burada sırt montaj hattındaki alternatif çözümden birisi uygulanmalıdır.

Burada göz önünde bulundurulması gereken en önemli faktör, ilgili iş istasyonlarına ait

tasarımlar gerçekleştirilirken kullanılacak muhtemel robotik teknolojiler ve/veya benzer şekilde hız ve süre kazanımı sağlayabilecek çeşitli ekipmanlar analizde ön görülmüş olan tecrübi makine sürelerinin iyileştirilmesine katkıda bulunacak olsa da, genel çerçevede oturak için çok istasyonlu bir montaj hattı; sırt ve final ürün içinse çift makineli (veya döner tablalı tek makine) bir yatırım ihtiyacı ortadan kalkmayacak – lakin operatör doluluk oranları düşeceğinden ötürü operatörlerin çalışma temposunda esneklik sağlanabilecektir.

#### A- Oturak üretim hattı:

Toplam süre: 381,06 s

Çevrim zamanı: 54,06 s

Toplam makine ihtiyacı: En az 8 istasyonlu bir montaj hattı

Oturak üretim hattının süresi uzun olduğundan, operasyonel akış oluşturularak bir montaj hattı dizaynı yapılmalıdır. Süre kıyaslaması yapıldığında minimum 8 istasyonlu bir iş hattı ön görülecektir. İş adımlarını birbirine uyumlu bir şekilde bölmek için öncelikle ürüne ait proses adımlarını gruplandırılacaktır.

#### A.1- Oturak alt grup oluşturma:

Çizelge 4.1 Alt grup oluşturma iş adımları

Operasyon adı	İş adınının tanımı	MTM kodu	TMU	Frekans	Toplam TMU	Süre (s)	Toplam süre (s)	Doluluk yüzdesi (%)
ALT GRUP 1	1 adım yürü	KA	25	1	25	0,9	51,04	94,41
	2 adet kızak al	AB2	45	2	90	3,24		
	Fikstüre geri yürü	KA	25	2	50	1,8		
	Kızakları fikstüre yerleştir	PC3	45	2	90	3,24		
	Kaynaklı ön boru grubunu al eline yerleştir	AB3	60	1	60	2,16		
	Kaynaklı ön grubunu Fikstüre yerleştir	PC3	45	1	45	1,62		
	Bir adım geri at	KA	25	1	25	0,9		
	Butona bas	BA2	25	1	25	0,9		
	Makine süresi (parça fikseleme)	PTSEC		1		3		
	Avuç dolusu fiberli somun al	AG2	65	1	65	2,34		
	1. somunu montaj bölgesine yerleştir	PC2	40	1	40	1,44		
	El ile vira et	ZB2	30	3	90	3,24		
	2. somunu montaj bölgesine yerleştir	PC2	40	1	40	1,44		
	El ile vira et	ZB2	30	3	90	3,24		
	Elinde kalan somunları avadanlığa bırak	PB2	30	1	30	1,08		
	Elektrikli sıkıcsıy al	HB2	60	1	60	2,16		
	Somun sıkım süresi	PTSEC		2		6		
	Görsel kontrol	VA	1	15	15	0,54		
	Bir adım geri at	KA	25	1	25	0,9		
	Hat ilerlemesi için butona bas	BA2	25	1	25	0,9		
Hat ilerleme süresi	PTSEC		1		10			

ALT GRUP 2	Güçlendirme braketini al eline yerleştir	AB2	45	1	45	1,62	41,86	77,43
	Güçlendirme braketini fişkütüreye yerleştir	PC3	45	1	45	1,62		
	Bir adım geri at	KA	25	1	25	0,9		
	Butona bas	BA2	25	1	25	0,9		
	Makine süresi (parça fişkleme)	PTSEC		1		3		
	Avuç dolusu fiberli somun al	AG2	65	1	65	2,34		
	1. somunu montaj bölgesine yerleştir	PC2	40	1	40	1,44		
	El ile vira et	ZB2	30	3	90	3,24		
	2. somunu montaj bölgesine yerleştir	PC2	40	1	40	1,44		
	El ile vira et	ZB2	30	3	90	3,24		
	Elinde kalan somunları avadanlığa bırak	PB2	30	1	30	1,08		
	Elektrikli sıkıyıcı al	HB2	60	1	60	2,16		
	Somun sıkım süresi	PTSEC		2		6		
	Görsel kontrol	VA	2	15	30	1,08		
	Bir adım geri at	KA	25	1	25	0,9		
	Hat ilerlemesi için butona bas	BA2	25	1	25	0,9		
Hat ilerleme süresi	PTSEC		1		10			

Operasyon adı	İş adınının tanımı	MTM kodu	TMU	Frekans	Toplam TMU	Süre (s)	Toplam süre (s)	Doluluk yüzdesi (%)
ALT GRUP 3	Aktüatör kolu al eline yerleştir	AB2	45	1	45	1,62	47,24	87,38
	Sağ tarafa dön	KA	25	1	25	0,9		
	Aktüatör kolunu yağlama ünitesine yerleştir	PC3	45	1	45	1,62		
	Start tuşuna bas	BA2	25	1	25	0,9		
	Otomatik yağlama süresi	PTSEC		1		8		
	Yağlanmış olan aktüatör kolunu al	AB2	45	1	45	1,62		
	Montaj hattına dön	KA	25	1	25	0,9		
	Aktüatör kolunu fişkütüreye yerleştir	PC3	45	1	45	1,62		
	Bir adım geri at	KA	25	1	25	0,9		
	Otomatik proses için starta bas	BA2	25	1	25	0,9		
	Makine süresi (Aktüatör kol montajı)	PTSEC		1		8		
	Görsel kontrol	VA	2	15	30	1,08		
	Hat ilerlemesi için butona bas	BA2	25	1	25	0,9		
	Biten ürünü al eline yerleştir	AJ2	65	1	65	2,34		
	1 adet kanca al eline yerleştir	AB2	45	1	45	1,62		
	Kancayı biten ürüne yerleştir	PC1	30	1	30	1,08		
	Kancayı askıya as (1. TMU)	PC3	45	1	45	1,62		
	Kancayı askıya as (2. TMU)	PC3	45	1	45	1,62		
	Hat ilerleme süresi	PTSEC		1		10		

İş adımlarını olabilecek en rasyonel şekilde böldüğümüzde, alt grubu toplama işlemleri için toplamda 3 iş istasyonuna sahip lineer bir montaj hattına ihtiyaç duyulduğu ortaya çıkmaktadır.

Her iş istasyonunda bir operatör çalışırken, bu operatörlerin doluluk oranları sırayla:

- İlk operatör: 94,41%
- İkinci operatör: 79,76%
- Üçüncü operatör: 87,38%
- **Toplam doluluk: 261,55%**
- **Ortalama: 87,18% şeklindedir.**

Hat dengesi kaybını engellemek adına bu operatörler arasında olabilecek ideal denge kurulmaya çalışılsa da, nihai karar noktasında ürünün oluşturulması için gereken proses adımları teknik kısıt oluşturmaktadır. Üçüncü operatör ideale en yakın koşullayken, teknik kısıtlardan (operasyonel ardışıklık zorunluluğu) ötürü birinci ve ikinci operatörler arasında iyileştirmeye müsait (teknolojik iyileştirme ve/veya metot değişimi) bir fark tespit edilmiştir.

## A.2- Oturak üst grup oluşturma:

Çizelge 4.2 Üst grup oluşturma iş adımları

Operasyon adı	İş adınının tanımı	MTM kodu	TMU	Frekans	Toplam TMU	Süre (s)	Toplam süre (s)	Doluluk yüzdesi (%)
ÜST GRUP 1	1. yan traversi al eline yerleştir	AB2	45	1	45	1,62	35,32	65,33
	Yan traversi fikstüre yerleştir	PC3	45	1	45	1,62		
	2. yan traversi al eline yerleştir	AB2	45	1	45	1,62		
	Yan traversi fikstüre yerleştir	PC3	45	1	45	1,62		
	Arka boruyu al eline yerleştir	AB2	45	1	45	1,62		
	Arka boruyu fikstüre yerleştir	PB2	30	1	30	1,08		
	Ön boruyu al eline yerleştir	AB2	45	1	45	1,62		
	Ön boruyu fikstüre yerleştir	PB2	30	1	30	1,08		
	2 adet perno al	AB2	45	1	45	1,62		
	1. pernoyu montaj bölgesine yerleştir	PC2	40	1	40	1,44		
	2. pernoyu montaj bölgesine yerleştir	PC2	40	1	40	1,44		
	Bir adım geri at	KA	25	1	25	0,9		
	Butona bas	BA2	25	1	25	0,9		
	Makine süresi (parça fiksleme)	PTSEC			1	3		
	Görsel kontrol	VA	6	15	90	3,24		
	İşlemler tamamlanınca hat ilerlemesi için butona bas	BA2	25	1	25	0,9		
	Hat ilerleme süresi	PTSEC			1	10		
ÜST GRUP 2	Makine süresi (Boru sıvama)	PTSEC		2	15	40	73,99	
	Makine süresi (Perno sıvama)	PTSEC		2	15			
	Hat ilerleme süresi	PTSEC		1	10			
ÜST GRUP 3	Mekanizma al eline yerleştir	AB2	45	1	45	1,62	43,76	80,95
	Mekanizmayı yağlama fikstürüne yerleştir	PC3	45	1	45	1,62		
	Makine süresi (Mekanizma yağlama)	PTSEC			1	10		
	Avuç dolusu vida al	AG2	65	1	65	2,34		
	Yağlanmış mekanizmayı al eline yerleştir	AB2	45	1	45	1,62		
	Montaj bölgesine konumlandır	PC3	45	1	45	1,62		
	1. Vidayı virala	ZB2	30	3	90	3,24		
	2. Vidayı virala	ZB2	30	3	90	3,24		
	3. Vidayı virala	ZB2	30	3	90	3,24		
	4. Vidayı virala	ZB2	30	3	90	3,24		
	Elinde kalan civataları avadanlığa bırak	PB2	30	1	30	1,08		
İşlemler tamamlanınca hat ilerlemesi için butona bas	BA2	25	1	25	0,9			
Hat ilerleme süresi	PTSEC			1	10			
Operasyon adı	İş adınının tanımı	MTM kodu	TMU	Frekans	Toplam TMU	Süre (s)	Toplam süre (s)	Doluluk yüzdesi (%)
ÜST GRUP 4	Sıkırcı al yerleştir	HB2	60	1	60	2,16	48,86	90,38
	Sıkım süresi (mekanizma civataları sıkım)	PTSEC			4	24		
	Pulmaflex al eline yerleştir	AB2	45	1	45	1,62		
	Pulmaflexi oturak iskeletine yerleştir	PTSEC			1	15		
	Görsel kontrol	VA	15	2	30	1,08		
Bitmiş ürünü al transfer konveyörüne yerleştir	PTSEC			1	5			

İş adımlarını olabilecek en rasyonel şekilde böldüğümüzde, üst grubu toplama işlemleri için toplamda 1'i otomatik 4 iş istasyonuna sahip lineer bir montaj hattına ihtiyaç duyulduğu ortaya çıkmaktadır. 2 numara hariç her iş istasyonunda bir operatör çalışırken, bu operatörlerin doluluk oranları sırayla:

- İlk operatör: 65,33%
- İkinci operatör: 80,95%
- Üçüncü operatör: 90,38%
- Otomatik istasyon: 73,99%
- **Toplam doluluk: 310,65%**
- **Ortalama: 77,66% şeklindedir.**

Hat dengesi kaybını engellemek adına bu operatörler arasında olabilecek ideal denge kurulmaya

çalışılsa da, nihai karar noktasında ürünün oluşturulması için gereken proses adımları teknik kısıt oluşturmaktadır. İkinci operatör ideale en yakın koşuldakten, teknik kısıtlardan (operasyonel ardışıklık zorunluluğu) ötürü birinci ve üçüncü operatörler arasında iyileştirmeye müsait (teknolojik iyileştirme ve/veya metot değişimi) bir fark tespit edilmiştir.

Hakeza, burada değerlendirilebilecek bir başka metot ise hali hazırda geometrik ortalama civarında bir doluluğa sahip olan otomatik istasyonu teknolojik olarak daha donanımlı bir hale getirme seçeneği olabilir. Zira bu istasyonun varlığı 4. operatör gereksinimi ortadan kaldırmakla birlikte, hali hazırda görülen hat dengesine daha verimli bir katkı sağlama ihtimali değerlendirilebilir.

### A.3- Oturak komple montaj:

Çizelge 4.3 Komple oturak montaj iş adımları

Operasyon adı	İş adınının tanımı	MTM kodu	TMU	Frekans	Toplam TMU	Süre (s)	Toplam süre (s)	Doluluk yüzdesi (%)
KOMPLE OTURAK	Sol tarafa dön	KA	25	1	25	0,9	71,72	132,67
	Alt grup 1'den gelen ürünü al eline yerleştir	AJ2	65	1	65	2,34		
	Makineye dön	KA	25	1	25	0,9		
	Ürünü makineye yerleştir (1. TMU)	PC3	45	1	45	1,62		
	Ürünü makineye yerleştir (2. TMU)	PC3	45	1	45	1,62		
	Sağ tarafa dön	KA	25	1	25	0,9		
	Üst grup 4'den gelen ürünü al eline yerleştir	AJ2	65	1	65	2,34		
	Makineye dön	KA	25	1	25	0,9		
	Ürünü makineye yerleştir	PC3	45	1	45	1,62		
	Ürünü makineye yerleştir (2. TMU)	PC3	45	1	45	1,62		
	Avuç dolusu vida al	AG2	65	1	65	2,34		
	1. vidayı montaj bölgesine yerleştir	PC3	45	1	45	1,62		
	El ile vira et	ZB2	30	3	90	3,24		
	2. vidayı montaj bölgesine yerleştir	PC3	45	1	45	1,62		
	El ile vira et	ZB2	30	3	90	3,24		
	Elinde kalan civataları avadanlığa bırak	PB2	30	1	30	1,08		
	Elektrikli sıkırcıyı al	HB2	60	1	60	2,16		
	Somun sıkım süresi	PTSEC		2		6		
	2 adet perno al	AB2	45	1	45	1,62		
	1. pernoyu montaj bölgesine yerleştir	PC2	40	1	40	1,44		
	2. pernoyu montaj bölgesine yerleştir	PC2	40	1	40	1,44		
	Bir adım geri at	KA	25	1	25	0,9		
	Butona bas	BA2	25	1	25	0,9		
	Makine süresi (Alt-üst grup birleştirme)	PTSEC		1		20		
	Görsel kontrol	VA	2	15	30	1,08		
	Biten ürünü al eline yerleştir	AJ2	65	1	65	2,34		
	1 adet kanca al eline yerleştir	AB2	45	1	45	1,62		
	Kancayı biten ürüne yerleştir	PC1	30	1	30	1,08		
	Kancayı askıya as (1. TMU)	PC3	45	1	45	1,62		
	Kancayı askıya as (2. TMU)	PC3	45	1	45	1,62		

Alt ve üst grupların birleştirilerek final montaj işlemlerinin yapıldığı bu iş istasyonunun doluluk yüzdesi tek operatör için 132,67% olarak hesaplanmıştır. Sırt üretim ve final ürün üretim hatlarına benzer şekilde burada da 2 tekil istasyon ve/veya 1 döner tablalı istasyon yatırımı yapılması halinde elde edilecek olan veriler:



- İlk operatör: 66,34%
- İkinci operatör: 66,34%

Operatörler arasında ideal bir iş dağılımının olduğu bu durumda, buradaki operatörlerde yer alan 33,67%'lik boşluk (yaklaşık olarak vardiya zamanının 1/3'ü) üretim alanında farklı bölgelerde değerlendirilmelerine olanak sağlamaktadır.

#### **B- Sırt üretim hattı:**

Toplam süre:	99,36 s
Çevrim zamanı:	54,06 s
Toplam doluluk:	183,79%
Birinci operatör:	91,89%
İkinci operatör:	91,89%
Toplam makine ihtiyacı:	2 tekil istasyon veya 1 döner tablalı istasyon

Operatörler arasında ideal bir iş dağılımının olduğu bu durumda, buradaki operatörlerde yer alan 8,11%'lik boşluk (yaklaşık olarak vardiya zamanının 1/12'si) üretim alanında farklı bölgelere minör destek olmalarına olanak sağlamaktadır.

#### **C- Final ürün üretim hattı:**

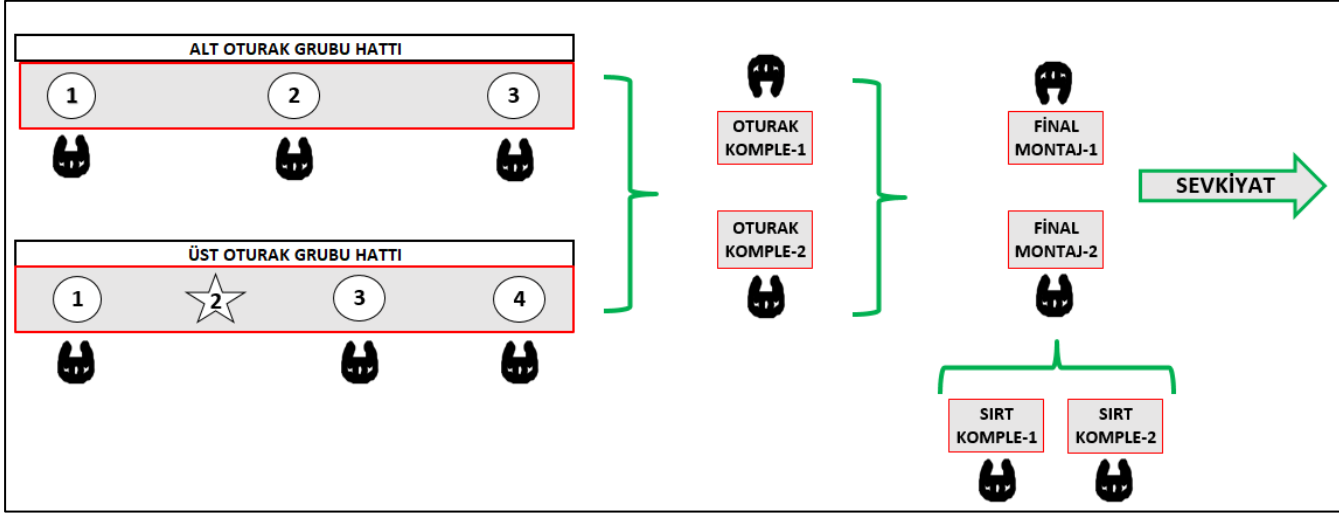
Toplam süre:	96,08 s
Çevrim zamanı:	54,06 s
Toplam doluluk:	177,73%
Birinci operatör:	88,87%
İkinci operatör:	88,87%
Toplam makine ihtiyacı:	2 tekil istasyon veya 1 döner tablalı istasyon

Operatörler arasında ideal bir iş dağılımının olduğu bu durumda, buradaki operatörlerde yer alan 11,13%'lik boşluk (yaklaşık olarak vardiya zamanının 1/9'u) üretim alanında farklı bölgelere minör destek olmalarına olanak sağlamaktadır.

#### D- Genel hat yerleşimi:

Toplam operatör sayısı: 12

Ortalama doluluk yüzdesi: 88,86%



Şekil 4.1. Genel hat yerleşimi

## 5. SONUÇ

Bu tez çalışması kapsamında, otomotiv gibi proses kesinliğinin ve veriminin önemli olduğu bir sektörde günümüzde giderek yaygınlaşan bir metot haline gelen MTM (MTM-UAS) metodunun içeriği ve kullanım alanları irdelenmiş; sonrasında yeni devreye alınacak bir proses akışına dair tasarım çalışmasında (ilgili üretim hattı dizaynıyla birlikte) nasıl etkin bir şekilde kullanılabileceği örneklerle anlatılmıştır. Elde edilen sonuçların gösterdiği üzere yapılan planlamanın pratik uygulamasında ilgili üretim hattında çalışacak olan operatörlerin ortalama olarak 88,86% seviyesinde bir doluluk kapasitesine sahip olacağı görülmüş, hat dengelemesini gerçekleştirebilmek adına istasyon sayılarının nasıl belirleneceği ve makine parkuru yerleşimi irdelenen endüstriyel ürün üzerinden gösterilmiştir.

Anlatım ve uygulaması yapılmış olan ilgili analiz metodu, ilk ortaya çıkış sürecinden beri yaşamakta olan ve ilgili uzmanlar tarafından sürekli gelişimi sürdürülen bir metot olduğundan ilerleyen zamanlarda daha kesin ve düşük sapmalı sonuçlar verecek bir sistem haline dönüşmesi kuvvetle muhtemeldir. Bu doğrultuda, verim ve metot iyileştirmesine yönelik olarak sektör bağımsız şekilde tüm üretim proseslerinde kullanılabilir olduğu bu örnekleme bir kez daha gösterilmiştir.

## KAYNAKLAR

- AFT Lawrence, *Work Measurement and Methods Improvement*. John Wiley & Sons, Inc., 2000, ss. 109–117.
- ALTUNTAŞ Serkan, İŞLİER Atilla A., “Birliktelik Kısıtları Altında Montaj Hattı Dengeleme Problemi İçin Bir Çözüm Yaklaşımı Önerisi ve Bir İşletmede Uygulama”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2010, ss. 29–44.
- ANONİM, “Frame of Car Seat”, 2013, <https://grabcad.com/library/frame-of-car-seat-1> (Erişim: 26.12.2020).
- ANONİM, “What is Value Add vs. Non-Value Add?”, 2019, <https://www.sixsigmadaily.com/what-is-value-add-vs-non-value-add/> (Erişim: 17.12.2020).
- BARNES Ralph Mosser, *Motion and Time Study Design and Measurement of Work (7th edition)*, John Wiley & Sons, 1980.
- BAYBARS İlker, *A Survey of Exact Algorithms For The Simple Assembly Line Balancing Problem*, *Management Science*, Informs, 32(8), 1986, ss. 909–932.
- BİRGÜN Semra, GÜLEN Kemal Güven, ÖZKAN Kadriye, “Yalın üretime geçiş sürecinde değer akışı haritalama tekniğinin kullanılması: İmalat sektöründe bir uygulama”, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(9), 2006, ss. 47-59.
- BOYSEN Nils, FLIEDNER Malte, SCHOLL Armin, “Assembly line balancing: Which model to use when?”, 2008.
- BURES Marek, PIVODOVA Pavlina, “Comparison of the Predetermined Time Systems MTM-1 and BasicMOST in Assembly Production”, 2013.
- CARAGNANO Gabriele, “Performance Rating Scales”, *International MTM Directorate Technical Report*, 2007.
- DEĞİRMEN H., *Konfeksiyon sanayinde pantolon üretiminin MTM yöntemi ile optimizasyonu*, (Doktora Tezi), İstanbul: Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1995.
- DEMİRCİ Özlem, *Tekstil sektöründe değer akış haritalama ve MTM-UAS metotlarının uygulamalı kombinasyonu*, (Yüksek Lisans Tezi), Bursa: Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017.
- DHANDAPANI Vijay, POTTER Andrew, NAIM Mohamed M., “Applying Lean Thinking: A Case Study of an Indian Steel Plant”, *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 7(3), 2004, ss. 239–250.
- LARING J., FORSMAN Mikael, KADEFORS Roland, ÖRTENGREN Roland, “MTM based ergonomic workload analysis”, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2002.
- MUTLU Özcan, ÖZGÖRMÜŞ Elif, “Ergonomik Koşullar Altında Montaj Hattı Dengeleme”, *15–17 Ekim 9. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, Eskişehir, 2009.

Türkiye Metod Zaman Ölçüm Derneği, *MTM-UAS Eğitim Kitabı*, 2013.

Uluslararası MTM Derneği, “*Introduction to MTM-UAS*”, 2020,  
<http://mtm-international.org/introduction-to-mtm-uas/> (Erişim 23.12.2020).

ZANDIN Kjell B., MAYNARD Harold B., *Industrial Engineering Handbook*, New York,  
McGraw-Hill Book Company Inc., ISBN 0-07-041102-6, 2011.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Batuhan DOĞANIŞIK  
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa / 1989  
Yabancı Dil : İngilizce, İtalyanca

Eğitim Durumu  
Lise : Bursa Anadolu Lisesi, 2007  
Lisans : Yıldız Teknik Üniversitesi, 2015  
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi, 2020

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Martur Fompak International, 2018-...  
Barida Makina, 2017-2018  
Empo Otomotiv, 2017  
Durmazlar Raylı Sistemler, 2015-2017

İletişim (e-posta) : batu.doganisik@gmail.com