

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ EĞİTİMİNDE KULLANILACAK
BİR U TİPİ MONTAJ HATTI LABORATUARI TASARIMI

Fedayi YILMAZ

MAYIS 2010

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Fedayi YILMAZ tarafından hazırlanan ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ EĞİTİMİNDE KULLANILACAK BİR U TİPİ MONTAJ HATTI LABORATUARI TASARIMI adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. A. Kürşad TÜRKER

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Doç. Dr. Burak BİRGÖREN

Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Yrd. Doç. Dr. A. Kürşad TÜRKER _____

Üye (Danışman) : Doç. Dr. Burak BİRGÖREN _____

Üye : Yrd. Doç. Dr. Süleyman ERSÖZ _____

07 / 05 / 2010

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Doç. Dr. Burak BİRGÖREN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ EĞİTİMİNDE KULLANILACAK BİR U TİPİ MONTAJ HATTI LABORATUARI TASARIMI

YILMAZ, Fedayi

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans tezi

Danışman: Doç. Dr. Burak BİRGÖREN

Mayıs 2010, 75 sayfa

Mühendislik eğitiminde, teorinin büyük bölümünün pekiştirilmesini sağlayarak öğrencinin bilgi birikimini kalıcı hale getiren ve tasarım kabiliyetini geliştiren faktör laboratuvar uygulamalarıdır. Yükseköğretim hayatında bu kadar önemli bir yer tutan laboratuvarların, çeşitli sebeplerden dolayı kurulum ve işletim zorluğu da yadsınamaz bir gerçektir. Bu gerçeklerden esinlenerek gelişen tez çalışması, Endüstri Mühendisliği eğitime yönelik bir montaj hattı laboratuvarı kurmayı, böylece hem lisans öğrencileri için Üretim Planlama, İş Etüdü, Ergonomi gibi derslere bir uygulama alanı, hem de akademik alanda çalışan araştırmacıların kullanabilecekleri bir araştırma alanı oluşturmayı amaçlamaktadır.

Tez kapsamında öncelikle nasıl bir laboratuvara ihtiyaç duyulduğu üzerinde ayrıntılıca durulmuştur. U tipi montaj hattı olarak tasarlanan ve iş analizi teknikleri kullanılarak amaca uygun geliştirilen laboratuvarın kurulum aşamaları sistematik bir biçimde detaylandırılmıştır. Tez çalışması neticesinde ortaya çıkan U tipi montaj hattı laboratuvarının, lisans eğitimine ve akademik araştırmacılara önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Endüstri Mühendisliği eğitimi, laboratuvar uygulamaları,
U tipi montaj hattı, iş analizi

ABSTRACT

DESIGNING OF U SHAPED ASSEMBLY LINE LABORATORY FOR EDUCATION OF INDUSTRIAL ENGINEERING

YILMAZ, Fedayi

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Industrial Engineering, M. Sc. Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Burak BİRGÖREN

May 2010, 75 pages

In engineering education, laboratory applications are the key factors transforming students' knowledge into permanent knowledge by giving reinforcement of great deal of theory and developing the students' design ability. While laboratory applications have such an important role in higher education, the difficulty in founding and running a laboratory is an undeniable fact. Motivated by this fact, this thesis aims to found a assembly line laboratory for Industrial Engineering Education which will serve as an implementation area in Production Planning, Work Study and Ergonomics courses for students and also a research area for researchers.

The thesis, first discusses in detail, the requirements of the laboratory that is needed. After discussing the reasons for choosing a U shaped assembly line model in the laboratory, the founding phases and features are examined; work analysis techniques were used in this development. The U shaped assembly line laboratory is expected to contribute to both the students of undergraduate education and graduate research.

Key Words: Industrial Engineering education, laboratory applications,
U shaped assembly line, work analysis

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanması boyunca tüm bilgi birikimiyle yanımda olan, bilimsel görüş ve katkılarıyla yardımını esirgemeyen ve beni yönlendiren tez yöneticisi hocam Sayın Doç. Dr. Burak BİRGÖREN'e teşekkürü bir borç bilirim. Tez jürimde yer alan ve değerli katkılar sunan Sayın Yrd. Doç. Dr. A. Kürşad TÜRKER'e ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Süleymen ERSÖZ'e, bilimsel konularda desteğini gördüğüm Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa YÜZÜKIRMIZI'ya ve Sayın Dr. Hakan ÇERÇİOĞLU' na teşekkür ederim.

Laboratuvar kurulum aşamasında ve zaman ölçümlerinin alınmasında benimle birlikte özverili olarak çalışan öğrencilerim Ayhan KÖKSEL, Ahmet Emre ASLAN, Umut DEDE, Barış AYYILDIZ, Selim ŞAHİN, Gamze AKIN, Fatma Ruken TÜRK, Yağmur KOCAOĞLU, Abide KOÇ, Bilal YARDIM, Serkan GÜRDAŞ ve Mehmet AKYILDIZ'a teşekkür ederim.

Akademik hayata başladığımdan itibaren bugünlere gelmemde çok emeği olan Sayın Yrd. Doç. Dr. Osman Şadi ÖZKUL hocama ve her türlü desteğinden dolayı sevgili eşime teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

| | |
|--|------|
| ÖZET | i |
| ABSTRACT | ii |
| TEŞEKKÜR | iii |
| İÇİNDEKİLER DİZİNİ | iv |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | vi |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | viii |
| KISALTMALAR DİZİNİ | ix |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. ÇALIŞMANIN AMAÇLARI | 3 |
| 3. ÜRETİM SİSTEMLERİ VE MONTAJ HATTI | 7 |
| 3.1. Üretim Sistemleri..... | 8 |
| 3.2. Montaj Hattı..... | 11 |
| 3.3. U Tipi Montaj Hattı..... | 13 |
| 3.4. U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemi | 16 |
| 3.5. İş Analizi..... | 20 |
| 3.5.1. Faaliyetin Amacı..... | 21 |
| 3.5.2. Parça Tasarımı..... | 22 |
| 3.5.3. Toleranslar ve Spesifikasyonlar | 22 |
| 3.5.4. Malzeme | 23 |
| 3.5.5. İmalat Süreci | 23 |
| 3.5.6. Araç ve Gereçler | 24 |
| 3.5.7. Ergonomik Faktörler..... | 24 |
| 3.5.8. Fabrika İçi Taşıma..... | 26 |
| 3.5.9. İş İstasyonu Yerleşim Düzeni | 27 |
| 3.5.10. Hareket Ekonomisi Prensipleri | 28 |
| 3.6. Literatür Araştırması..... | 33 |
| 4. İŞ ANALİZİ TEKNİKLERİYLE LABORATUAR TASARIMI | 35 |
| 4.1. Montaj Hattı Tipi Seçimi | 35 |
| 4.2. Ürün Seçimi | 36 |

| | |
|--|-----------|
| 4.3. Ürün Özelliklerinin Belirlenmesi | 39 |
| 4.4. Ürün Ağacının Oluşturulması | 40 |
| 4.5. Görevlerin Belirlenmesi | 41 |
| 4.6. İş Analizi..... | 42 |
| 4.6.1. Çıta Birleştirme (1 Nolu Görev) | 43 |
| 4.6.2. Çerçeve İpi Sarımı (2 Nolu Görev)..... | 48 |
| 4.6.3. Naylon Kaplama (3 Nolu Görev) | 51 |
| 4.6.4. Kuyruk ve Denge İpi Bağlama (4 Nolu Görev) | 52 |
| 4.6.5. Kuyruk Takma | 53 |
| 4.6.6. Boyama..... | 53 |
| 4.7. Genel Sorunlar ve Çözüm Önerileri | 54 |
| 4.8. Zaman Etüdü Çalışmaları | 57 |
| 4.9. Montaj Hattı Dengeleme ve İş İstasyonlarının Belirlenmesi | 59 |
| 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 61 |
| KAYNAKLAR | 63 |
| EKLER..... | 67 |
| EK-1:İş Akış Şeması (Malzeme Tipi) | 67 |
| EK-2:İş Analiz Formları | 68 |
| EK-3:Montaj Hattı Akış Diyagramı | 74 |
| EK-4:Zaman Etüdü Sonuçları | 75 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>Şekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 3.1. Üretim Sisteminin Genel Yapısı..... | 7 |
| 3.2. Üretim Sistemlerinin Sınıflandırılması..... | 10 |
| 3.3. Montaj Hattı..... | 12 |
| 3.4. U Tipi Montaj Hattı (Piston Üretim Hattı)..... | 14 |
| 3.5. Öncelik Diyagramı..... | 17 |
| 3.6. Öncelik Matrisi | 18 |
| 3.7. İş Akış Şeması İçin Kullanılan Semboller..... | 21 |
| 3.8. İş Masası Üzerinde Tutma Bölgeleri | 28 |
| 3.9. İş Akış Şeması | 31 |
| 3.10. Akış Diyagramı Örneği..... | 32 |
| 4.1. Ürün: Çıtalı Uçurtma | 38 |
| 4.2. Çalışmada İzlenen Montaj Hattı Kurulum Prosedürü | 39 |
| 4.3. Ürün Ağacı | 41 |
| 4.4. Çıtaların Çivi İle Merkezlenmesi..... | 43 |
| 4.5. Çivi Haznesi | 44 |

| | |
|---|----|
| 4.6. Çivileme Şablonu..... | 46 |
| 4.7a. El Bileğinin Yanlış ve Doğru Konumları | 47 |
| 4.7b. Çivi Çakmada El Bileğinin Konumları | 47 |
| 4.8. Çıta Birleştirme İş Merkezi..... | 47 |
| 4.9. Sabitleme Düzeneği | 48 |
| 4.10. Döner Altlık..... | 49 |
| 4.11. Makara Tutma Aparatı..... | 49 |
| 4.12. Uç Kanalları..... | 50 |
| 4.13. Çerçeve İpi Sarımı İş Merkezi..... | 51 |
| 4.14. Naylon Kaplama İş Merkezi | 52 |
| 4.15. Kuyruk ve Denge İpi Bağlama İş Merkezi..... | 52 |
| 4.16. Kuyruk Takma İş Merkezi | 53 |
| 4.17. Boyama İş Merkezi | 54 |
| 4.18a. U Hattın Konumlandırılması | 55 |
| 4.18b. U Hattın Konumlandırılması | 56 |
| 4.19. Akış Hattı Boyunca Görev Zamanları (saniye) | 59 |
| 4.20. İş İstasyonları | 60 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| <u>Çizelge</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 4.1. Uçurtma Üretiminde Kullanılan Hammaddeler Ve Teçhizatlar | 40 |
| 4.2. Görev Tanımları | 42 |
| 4.3. Metot Geliştirme Özeti..... | 56 |
| 4.4. Görev Ayrım Noktaları..... | 57 |
| 4.5. Görevlerin Ortalama Süreleri..... | 58 |
| 4.6. Gözlem Sayısı Yeterliliği | 59 |

KISALTMALAR

EM: Endüstri Mühendisliği

UTMH: U Tipi Montaj Hattı

EMUL: Endüstri Mühendisliği Uygulama Laboratuarı

KOBİ: Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletme

TZÜ: Tam Zamanında Üretim

GDMH: Geleneksel Düz Montaj Hattı

MHD: Montaj Hattı Dengeleme

1. GİRİŞ

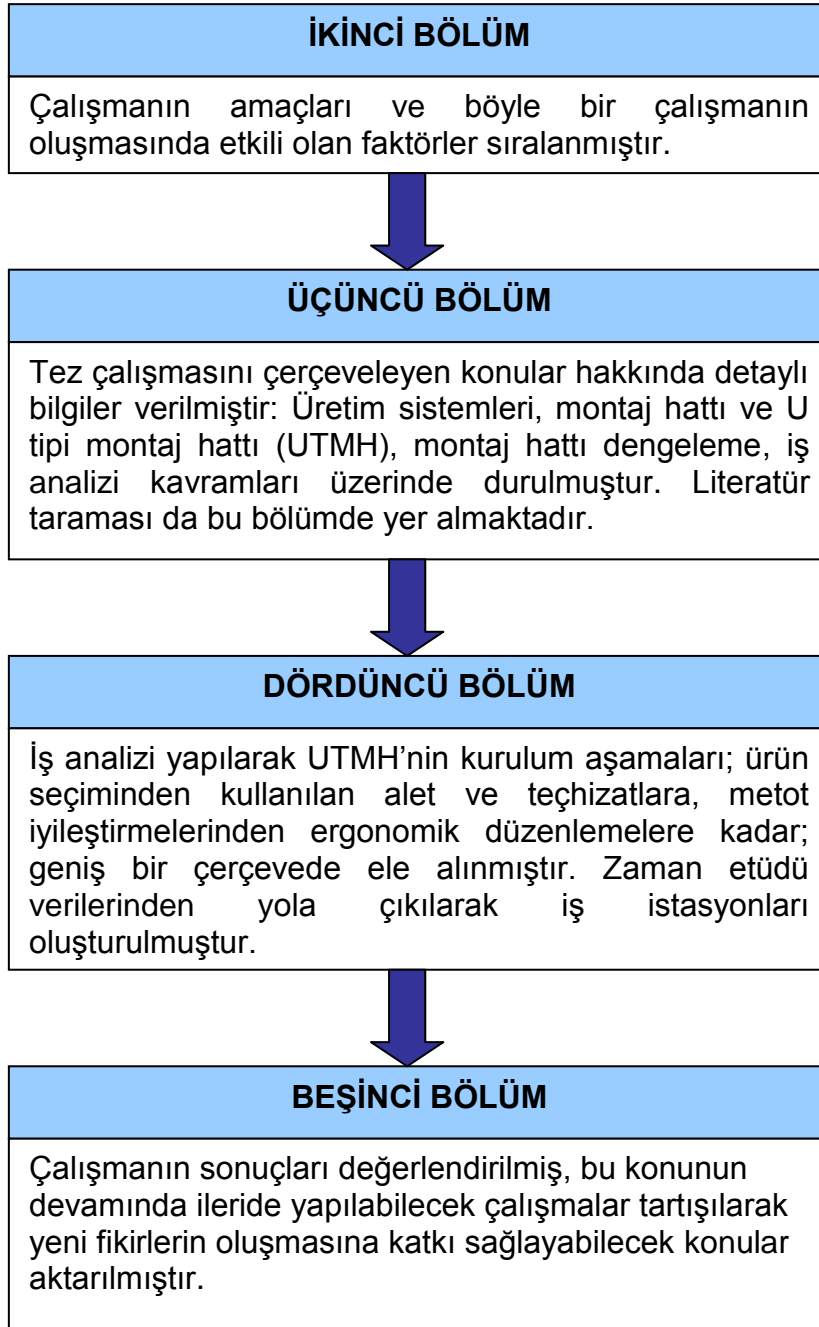
Teknik eğitimin amacı; tasarlayabilen, üretebilen, sorun çözebilen ve öğrendiklerini yaşantıya uygulayabilen bireyler yetiştirmektir. Bu amaca ulaştıracak en önemli araçlardan birisi, teorik bilginin uygulama ile pekiştirilmesini sağlayan laboratuvar çalışmalarıdır.

Bireyin iyi bir meslek sahibi olmasında ve kendisini geliştirmesinde en önemli basamak olan yükseköğretimde laboratuvar çalışmalarının önemi büyüktür. Çünkü laboratuvar çalışmaları sayesinde öğrenci edindiği teorik bilgileri uygulama fırsatı yakalayarak bilgilerin akılda kalıcılığını artırmış, aynı zamanda tasarlama ve problem çözme yeteneğini geliştirmiş olacaktır. Bu yüzden ister önlisans, ister lisans düzeyinde olsun eğitim kalitesini yükseltmek isteyen her üniversite, her fakülte, her yüksekokul, her bölüm laboratuvar olanaklarını genişletmek için yoğun bir çaba harcamaktadır.

Mühendislik fakülteleri laboratuvar destekli eğitimin en yoğun yapıldığı, bununla birlikte laboratuvar kurulumunun en zor olduğu fakültelerden birisidir. Çünkü mühendislik fakültesi bünyesindeki bölümler için farklı büyüklüklerde, farklı bina alt yapısına sahip, farklı makine ve teçhizat gerektiren, çoğunlukla kurulumu ve işletimi pahalı laboratuvarlara ihtiyaç vardır.

Bu çalışma; mühendislik bölümleri içerisinde yer alan endüstri mühendisliği (EM) bölümünde kullanılmak üzere; U tipi montaj hattı şeklinde bir eğitim laboratuvarı kurmayı hedeflemektedir. Çalışmanın en önemli özellikleri, EM eğitiminde önemli bir ihtiyaca cevap verebileceği düşünülen özgün bir laboratuvar olması, U tipi montaj hattı dengeleme konusunda çalışma yapacak akademisyenler ve araştırmacılar için bir uygulama alanı oluşturması, mühendislik eğitimine yönelik ve emek yoğun çalışılacak manuel bir U tipi montaj hattı laboratuvarı kurulumu için sistematik bir yaklaşım ortaya koyması ve işletimi bakımından da birçok açıdan avantajlı bir yapıya sahip olmasıdır.

Tezin devam eden bölümleri şu konuları içermektedir:



2. ÇALIŞMANIN AMAÇLARI

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) faaliyetlerinin yıldan yıla artması, bilimsel yayınların çoğalması, özel sektörde bu konunun önemini kavrayan kesimin artması ve desteği, devletin Ar-Ge faaliyetlerini teşvik edici yasal düzenlemeler ve olanaklar getirmesi, en önemlisi de üniversitelerin öğrencilerine iyi bir eğitim verme konusunda yarış halinde olması, üniversitelerde laboratuvar olanaklarının iyileşmesine olumlu katkı yapan faktörlerdendir. Ancak hala ekonomik kısıtlar üniversitelerin karşısında ciddi bir engel olarak durmaktadır. Zira 2001 yılı itibarıyla Türk üniversitelerinin mühendislik fakültelerinden alınan bilgiler kullanılarak yapılan bir değerlendirmeye göre bölümlerin hemen hemen tamamında eğitim laboratuvarlarının yetersiz olduğu ve bunun en büyük nedenin de parasal kaynak azlığı olduğu sonucuna varılmıştır (1).

Parasal kaynak kısıtının bir engel olmaktan çıkması ya da olumsuz etkisinin yavaş yavaş azalması zamanla mümkündür. Ancak laboratuvar yatırımında bir engel olarak karşımıza çıkan paranın bu olumsuz etkisini azaltacak çözümler geliştirmenin, yükseköğretime önemli katkılarının olacağı aşikardır. Uluslararası kuruluşların fonlarından yararlanmak, devletin Tübitak gibi kurumlar vasıtasıyla sağladığı fonlardan yararlanmak ya da çalışılan konunun öneminden dolayı ilgili olduğu bakanlık/genel müdürlük vs. düzeyinde desteklenen araştırma fonlarından yararlanmak, özel sektör destekli çalışmalar yapmak, son olarak devlet bütçesinden üniversiteler için ayrılan makine-teçhizat ödeneğinden yararlanmak üniversitelerin önünde duran başlıca seçeneklerdir.

Son seçenekte bahsi geçen ödeneğin yetersiz oluşu, mühendislik fakültelerinin önünde istenilen özelliklerde bir laboratuvar kurmak için bir engel olarak durmaktadır. Bu engeli aşmanın ya da etkisini azaltmanın yollarından birisi, kurulum ve işletim masrafları düşük olan laboratuvarlar kurabilmektir. İşte bu son seçeneği özellikle işletim masrafları açısından avantajlı bir şekilde

kullanmayı baz alarak tabiri yerindeyse “ekonomik bir laboratuvar kurulması” önem arz etmektedir.

Bir laboratuvar kurulumuna ekonomik açıdan yaklaşıldığında iki sorunun net olarak cevaplanması gerekir: Laboratuvarın sabit yatırımı nereden sağlanacak, laboratuvarın işletim masrafları nasıl karşılanacak? Özellikle kurulduktan sonra işletimi esnasında hammadde ve sarf malzemesi kullanılması gereken laboratuvarlar için ikinci sorunun cevabı daha da önem kazanmaktadır. Zira bir laboratuvara, kurulduktan sonra işletimi için ödenek bulunamaması, eğitim açısından öğrencileri, bilimsel açıdan araştırmacıları etkileyecek bir konudur. Yukarıda bahsedildiği gibi, laboratuvar kurulum ve işletilmesinde sağlanacak kaynağın yeterli olmaması ve bütün fakültelere/birimlere dağılımından dolayı iyice küçülmesi laboratuvar kurulumunu ve işletilmesini zorlaştırır. İşte bu durum göz önüne alındığında; işlev bakımından kendisinden beklenen çıktıları sağlayabilecek, aynı zamanda işletimi için gerekli hammaddenin sağlanmasında az bir paraya ihtiyaç duyacak bir Endüstri Mühendisliği Uygulama Laboratuvarı (EMUL) tasarlamak ve kurmak çalışmanın amaçlarından biridir.

EM eğitiminde birçok dersin uygulaması bilgisayar yazılımlarıyla yürütülebilmektedir. Ancak etkinlik, verimlilik, üretim süreci, yarı mamul, iş analizi, ergonomi ve bunlar gibi birçok EM ile ilgili kavramların öğrenci gözünde yerli yerine oturabilmesi için daha somut örneklerle ve uygulamalara ihtiyaç duyulmaktadır. Laboratuvarın bu ihtiyacı karşılaması amaçlanmaktadır.

Endüstri mühendislerinin özellikle küçük ve orta büyüklükteki işletmelerde (KOBİ) verimlilik düzeyini yükseltmek adına yapabilecekleri çok şeyler bulunmaktadır. Verimlilik düzeyini ve katma değer oranını yükseltmek için somut şekilde tespit edilebilen ve üretim sürecine yönelik olan problemleri ele alarak iş etüdü teknikleriyle çözüme kavuşturmak ilk başta yapılması gereken çalışmalar arasında yer almalıdır. Bu çalışmalarını başarı ile uygulayabilme, EM öğrencilerinin alacağı eğitimin kalitesi ile doğru orantılıdır. Şurası bir gerçektir ki; uygun laboratuvarlar kurularak bu kaliteye pozitif yönde önemli

katkılar sağlanabilir. Buradan hareketle iş etüdü dersi kapsamında özellikle metot etüdü ve zaman etüdü konularının uygulanmasına ışık tutacak bir laboratuvar kurmak çalışmanın bir başka amacıdır. KOBİ'lerin yanında büyük işletmelerde de üretim şekilleri ve teknoloji zamanla değişmekte, fakat farklı isimler altında da olsa iş etüdü çalışmalarına her zaman ihtiyaç duyulmaktadır.

Kurulacak laboratuvarın emek yoğun çalışılan işlerin yapıldığı bir alt yapıyla hazırlanması amaçlanmıştır. Dolayısıyla laboratuvar iş etüdü dersi uygulamalarının yanı sıra ergonomi, kalite kontrol, üretim planlama gibi derslerle ilgili kavramların pekiştirilmesine hizmet edecektir.

Emek yoğun çalışılarak gerçekleştirilen üretimde iş süreleri değişkendir. Bu özellikteki montaj hatlarının kurulmasına ve işletilmesine yönelik en büyük problem olarak görülen montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümüne yönelik çalışmalar, literatürdeki ismiyle “stokastik montaj hattı dengeleme problemi” olarak karşımıza çıkar. Problemin yapısı, iş süresini sabit olarak kabul eden “deterministik montaj hattı dengeleme problemi”ne kıyasla gerçek duruma daha yakın olduğu için bu yöndeki bilimsel çalışmalar günden güne artmaktadır. Kurulan laboratuvarın, çalışmalarını montaj hatlarında stokastiklik üzerine gerçekleştirmek isteyen akademisyenler ve araştırmacılara çok önemli katkıları olacaktır.

Yukarıda sayılan amaçlar düşünüldüğünde laboratuvardaki üretim sisteminin bir UTMH olması uygun görülmektedir. Laboratuvarın bu şekilde olmasının hizmet ettiği amaçlardan birisi, yukarıda bahsedildiği gibi “stokastik montaj hattı dengeleme problemleri”nin çözümüne ışık tutacak olmasıdır. Konu ile ilgili diğer amaçlar da aşağıda sıralanmıştır.

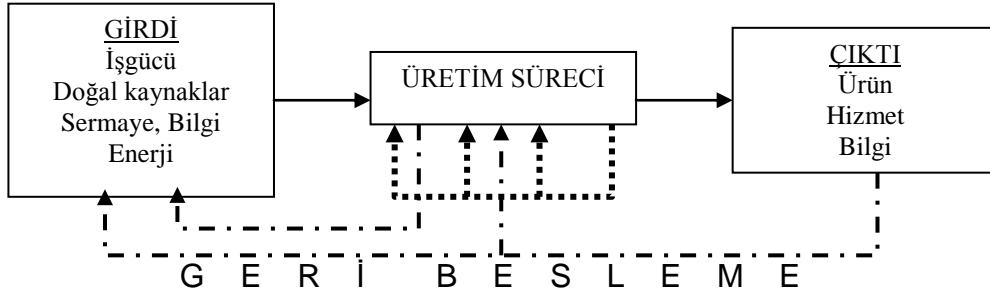
Bilimsel araştırmalar gerçek hayattaki problemlere çözümler üretmek için gerçekleştirilir. Dolayısıyla araştırmada kullanılacak verilerin de gerçek üretimden elde edilmesi gerekir. UTMH ile ilgili bilimsel çalışmalarda, ekonomik kaygılar, üretim sistemine müdahale edememe gibi nedenlerden

dolayı gerçek veri elde etmek zordur. O halde bu sorun gerçek hayattaki duruma yakın bir model kurularak özöllebilir. Laboratuvarın, araştırmacılara bu imkanı sağlayabileceği dūřünlmektedir.

Laboratuvarın işleyişi için kullanılması öngörülen ürünler (ana hammaddesi tahta olan ürünler) için, hammadde temini ucuz olacağından ve emek yoğun çalışılacağından dolayı UTMH'ndaki üretim sürecine yeni öğeler eklemek, üretim sürecinden bazı öğeleri çıkarmak, süreçte değişikliklere gitmek kolay olacaktır. Böylelikle hem ders uygulamaları ile ilgili çalışmaların monoton sürmesi engellenmiş olacak, hem de araştırmacılara farklı üretim varyasyonları ile çalışma fırsatı doğacaktır.

3. ÜRETİM SİSTEMLERİ VE MONTAJ HATTI

Üretim, insana fayda verecek fiziksel bir mamulün veya bir hizmetin oluşturulması amacıyla yapılan faaliyetlerdir. Bu faaliyetler; üretim faktörlerinden biri olan doğal kaynakların, üretim faktörlerinin diğer öğeleri olan işgücü, sermaye, bilgi ve enerji kullanılarak değişikliklere uğratılmasıyla meydana gelmektedir (2). Ürünü veya hizmeti oluşturacak üretimin gerçekleştirilmesi için gerekli faaliyetler ve elemanlar, gelişmenin sağlanması için geriye dönük gerçekleştirilen faaliyetler (geri besleme); bunlar arasındaki ilişkileri içine alarak bütüncül bir yapı oluşturacak şekilde; bir araya getirildiğinde “üretim sistemi” oluşur. Üretim sisteminin yapısı Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Geri besleme faaliyetleri; çıktıdan girdiye, çıktıdan sürece, sürecin kendi içinde olacak şekilde sistemin her aşamasında olabilir. Bunu göstermek ve karmaşıklığı önlemek için şekil içinde birbirinden farklı yapıdaki kesikli çizgilerle gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Üretim Sisteminin Genel Yapısı

Bir üretim sisteminde; girdi, süreç ve çıktı bileşenleri koordine edilir. Artan rekabetle birlikte maliyetleri düşürerek pazardan daha fazla pay alma isteği, bilgiye ulaşım kolaylığı, teknolojinin gelişmesi gibi nedenler zamanla bu koordinasyonun gerçekleştirilmesinde farklılıklar oluşturur. Ayrıca hammaddelerin değişmesi ve gelişmesi, ürünün ortaya çıkması için yeni üretim süreçlerini gerektirir. Üretim süreçlerinin değişmesi ürünleri, ürünlerin

değişmesi üretim süreçlerini değiştirmekte ve geliştirmekte, bu durum birbiri ardına sürüp gitmektedir (3). Montaj hatlarının ortaya çıkması da bu değişim ve gelişimin bir neticesidir.

3.1. Üretim Sistemleri

Sonucunda bir faydanın oluşması amacıyla yapılan; bir marangozun kendi atölyesinde tek başına yaptığı üretimden bir otomobil fabrikasındaki üretime kadar, bir simit satıcısının yaptığı işten büyük bir kargo şirketinin gerçekleştirdiği uluslar arası faaliyetlere kadar; bütün üretimler, yukarıda ifade edilen üretim sistemi çerçevesinde işleyen yapılardır. Bir mamul üreten işletmelerde girdilerden olan doğal kaynaklar fiziksel ve/veya kimyasal değişikliklere uğrarken, hizmet üreten işletmelerde girdilerde fiziksel ve/veya kimyasal bir değişiklik olmadan (girdilerin zaman ve mekan değiştirmesiyle ya da el değiştirmesiyle, işgücünün yoğun katkısıyla) üretim gerçekleşmektedir. Teze konu olan çalışmaya açıklık getirebilmek için üretim sistemleri, somut bir ürün üreten işletmeler esas alınarak açıklanacak ve sınıflandırmaya tabi tutulacaktır. Bu sınıflandırmada kriter, yaygın olarak kullanılan “ürün miktarı veya üretim akışı”dır. Üretilen ürünün fabrika içindeki akışı ile üretim miktarı arasındaki yakın ilişkiden dolayı bu kriter esas alınarak sınıflama yapılmıştır.

Belirli bir ürünün üretim miktarına bağlı olarak, kullanılan makinelerden işgücünden yararlanma biçimlerine, imalat yöntemlerinden fabrikanın yerleşim düzenine kadar birçok faktör değişiklik gösterir. Bütün bu faktörler hammaddeden mamul oluşuncaya kadar ilgili emtianın fabrika içindeki akışını belirler. Örneğin özel sipariş olarak koltuk üreten küçük bir işletme (A işletmesi) ile bayi ağı kurarak ürünlerini pazarlayan daha büyük bir koltuk imalatçısının (B işletmesi) üretim miktarları, talebe bağlı olarak birbirinden farklıdır. A işletmesinde üretilen koltukların, çoğunlukla üretilirken geçireceği işlemler ve buna bağlı olarak üretim süreleri birbirinden farklı, dolayısıyla belirsizlikler fazla olacağı için kullanılan tezgahlar kendi işlevlerine göre geniş çerçevede şekillendirme yapabilen tezgahlar olmalı, yine işlev bakımından

benzer tezgahlar belli bir atölye içinde bir arada olacak şekilde yerleştirilmelidir. B işletmesinde ise; üretilecek koltuk çeşidi fazla olsa da üretilecek ürün miktarları belirli bir zaman dilimi içerisinde daha bilinir ve fazla miktarlarda olacağı için ürünlerin şekillenmesinde izlenen sürece göre, fonksiyonel özellikleri A işletmesindekilere göre daha özel olan ve birbirlerinden farklı işlemlere sahip tezgahlar birbiri ardına yerleştirilebilir. İki işletme arasındaki üretilen ürün sayısı farkı, aslında bunun bir sonucu olarak ürün akışı farkı esas alındığında bu üretim sistemleri sınıflandırma olarak da farklıdır.

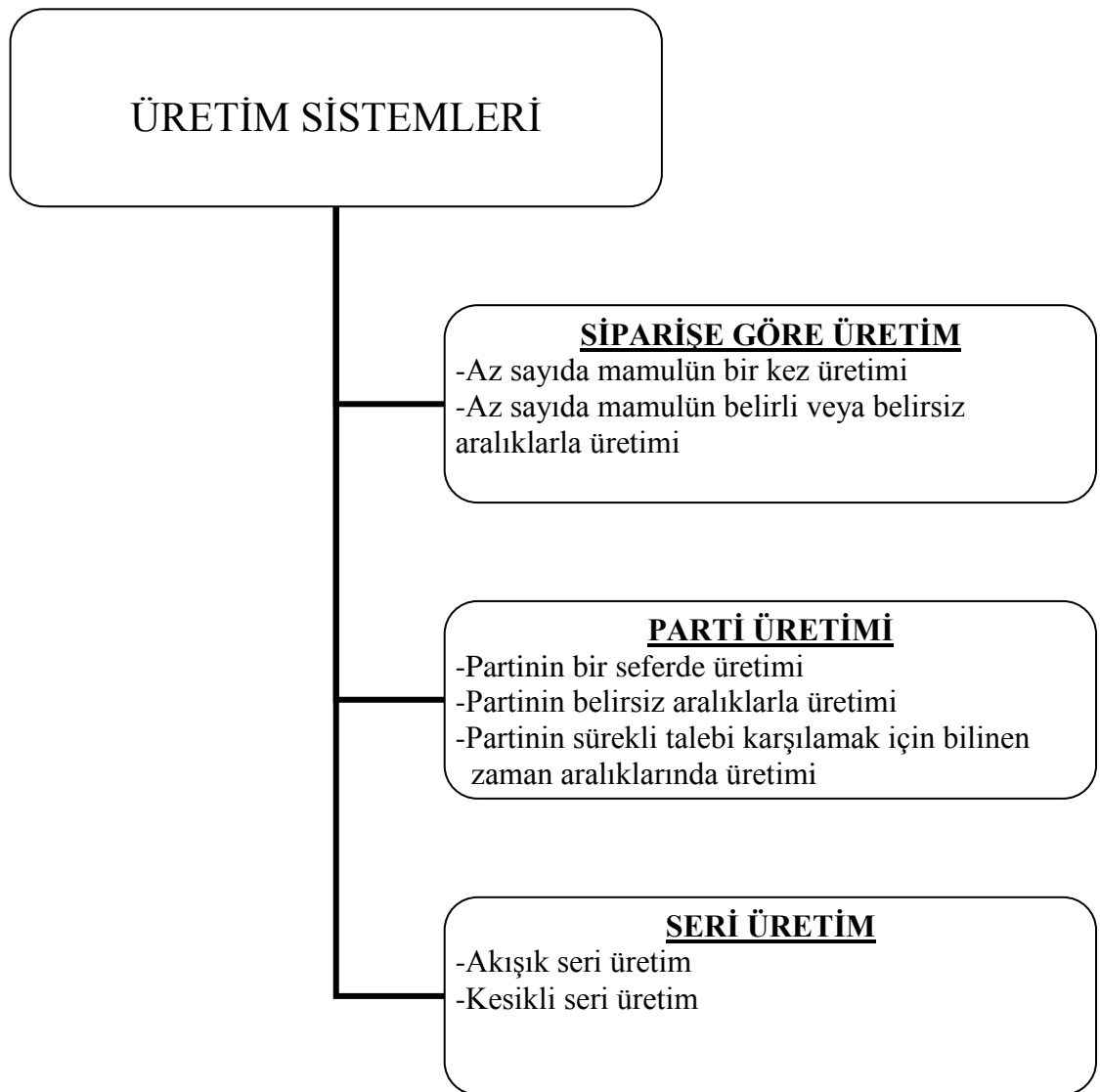
Buna göre üretim sistemleri Şekil 3.2'de gösterildiği gibi siparişe göre üretim, parti üretimi ve seri üretim şeklinde üç sınıfa ayrılmaktadır (4).

Siparişe Göre Üretim: Fazlaca ürün çeşitliliği ile birlikte ilgili sipariştan az sayıda üretim söz konusudur. İşlem tekrarlılığı azdır ve bir çok farklı işlemi yapabilen tezgahlar kullanılır. Bunun sonucu olarak da değişik zamanlarda değişik tezgahlarda çalışabilecek kalifiye işçi istihdam edilir. Siparişe göre üretimde bir veya birkaç ürünün bir defa üretilmesi, proje tipi üretim olarak da adlandırılmaktadır.

Parti Üretimi: Aynı cins ya da benzer ürünler belirli bir siparişi ya da sürekli talebi karşılamak üzere partiler halinde üretilir. Genellikle bir parti bitmeden diğer partinin üretimine geçilmez. Siparişe göre üretimden farklı olarak ürün çeşitliliği azalmıştır ve üretim miktarı artmıştır. Dolayısıyla işlem tekrarlılığı da artmıştır. Talebin belirli aralıklarla olmasıyla birlikte sık sık büyük miktarda partilerin üretilmesi, parti üretimini seri üretime yaklaştırır.

Seri Üretim: Ürün çeşitliliği az, üretim miktarı çok fazladır. Standart hale getirilmiş ürün, kalifiye olmayan veya yarı kalifiye işçiler tarafından; istisnalar hariç; durmaksızın üretilmektedir. İşlev açısından özel ve pahalı makinelere, ekipmanlara ihtiyaç duyulur, işçiler aynı işleri sürekli tekrarladıkları için uzmanlaşma söz konusudur. Üretim sisteminin başlangıç noktasından itibaren hammadde, yarı mamul ve parçalar, ürün oluşuncaya kadar birbiri

ardına sıralanmış işlem noktalarından geçer. Yani bu girdiler belli bir hat üzerinde hareket halindedir ve tesisin yerleşim düzeni bu hareketliliğe göre tasarlanmıştır. Akışık ve kesikli seri üretim olarak iki tipinden söz edilir. Çimento, petrokimya gibi yapısı gereği kendiliğinden akan hammaddelerin işlenerek ürün haline geldiği üretim sistemine “akışık seri üretim sistemi”, motorlu taşıtların üretiminde olduğu gibi birbirini takip eden iş istasyonlarında gerekli işlemlerin yapılarak ürünlerin birimler halinde üretildiği üretim sistemine “kesikli seri üretim sistemi” denilmektedir.



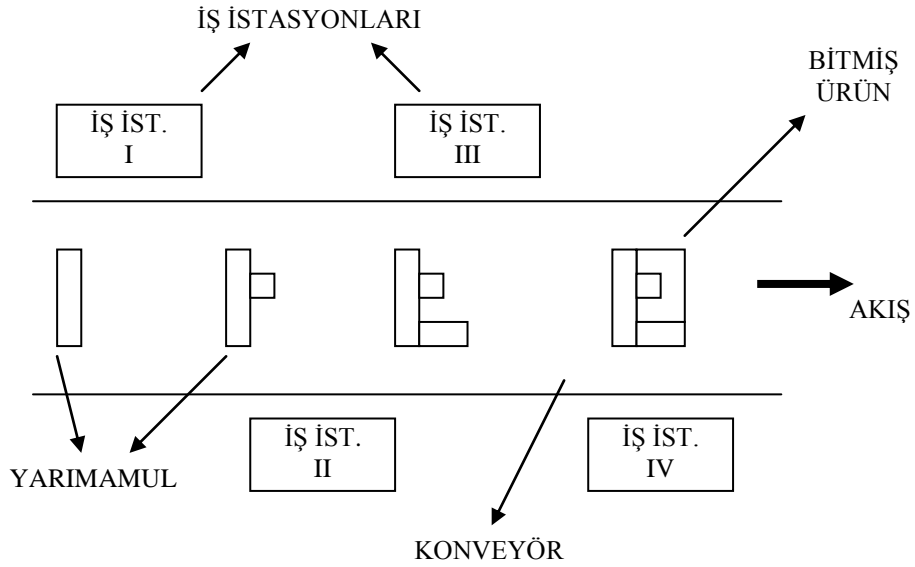
Şekil 3.2. Üretim Sistemlerinin Sınıflandırılması

3.2. Montaj Hattı

Yirminci yüzyılın başlarında Henry Ford, otomobil üretiminde öncelikle parçaları standart hale getirerek birbirlerinin yerine tam ve tutarlı olarak kullanılabilir şekilde değiştirilmesini sağlamış, aynı zamanda parçaları birbirlerine kolay şekilde monte edilebilir hale getirerek seri üretimin ilk temellerini atmıştır. Ford'un üretim için 1903 senesinde başlayan ilk çabaları, otomobilin tamamının tek bir montajcı tarafından; gerekli tüm mekanik parçaları bulunduğu yerden kendisinin alması, daha sonra bu parçaları montaja uyacak şekilde tesviye etmesi, en sonunda parçaları yerlerine takması şeklinde işleyen bir üretim sisteminde; üretilmesini sağlıyordu. Sabit montaj tezgahlarında yapılan bu üretim için bir montajcının harcadığı süre (montajcı için çevrim süresi) 514 dakikaydı. 1908'lerde, Ford, yukarıda bahsedildiği şekilde **parça standardını** sağlayarak montajcının **kendisine verilen belli işleri** yapmasına ve montaj atölyesinde bir araçtan diğerine geçerek üretimi gerçekleştirmesine karar verdi. Hareketli montaj hattının devreye girişinden hemen öncesine rastlayan 1913 yılı ağustos ayına gelindiğinde bir montajcının ortalama görev süresi 514 dakikadan 2,30 dakikaya düşmüştü. Seri üretim için ikinci büyük gelişme, Ford'un 1913 ilkbaharında Detroit'de açılan yeni fabrikasında devreye soktuğu; otomobili sabit bir yerde duran işçinin önüne getiren ve çevrim süresini 2,30 dakikadan 1,19 dakikaya düşüren; **hareketli montaj hattı** olmuştur (5). İlk olarak otomobil endüstrisiyle üretim hayatına giren montaj hatları, günümüzde beyaz eşyadan gıdaya kadar pek çok sektörde yerini almıştır.

Montaj, ürünü oluşturmak için çeşitli parçaların belli bir sırayla birleştirilmesi sürecidir. Montaj hattı kesikli seri üretimin önemli bir bileşenidir. Montaj hattında, ürünü oluşturacak bir kısım parçalar bir hat boyunca işgücü ya da otomatik ekipmanlar vasıtasıyla transfer edilir. Hat üzerinde ilerleyen parça üzerindeki işlemler ve/veya kontroller, yine aynı hat boyunca dizilmiş olan iş istasyonlarında yapılarak üretim gerçekleştirilir. Bu akış hattı, ürünün oluşum sürecinde yapılması gereken faaliyetlere göre, bir sıra takip edecek şekilde oluşturulmuştur. Ürünü oluşturan parçalar, ürünün oluşma sürecindeki sıraya

göre (öncelik ilişkisine göre) bu akış hattına sokulur, işgücü ve/veya donanım vasıtasıyla bir istasyondan diğerine gönderilir. Dört iş istasyonundan oluşan ve parça transferinin konveyör vasıtasıyla otomatik olarak yapıldığı bir montaj hattı, basit haliyle Şekil 3.3’de gösterilmiştir (6). İş istasyonları, montaj hattı boyunca sıralanmış olan işçi veya işçi gruplarıdır. Yarı mamul herhangi bir iş istasyonuna geldiğinde ilgili işçi(ler) tarafından kendisine ait görevler yerine getirildikten sonra; kendisinden önceki işçi(ler)nin yaptığı gibi; yarı mamulün hat boyunca ilerlemesi sağlanır. Şekil 3.3’de verilen montaj hatları literatürde, yerleşim tipi esas alınarak “geleneksel düz montaj hattı” (GDMH) olarak ifade edilmektedir.



Şekil 3.3. Montaj Hattı

Günümüzde işletmelerin bir kısmı, hat boyunca parçaların taşınmasında konveyör gibi insan gücüne gerek duymayan otomatik transfer donanımlarını kullanmaktadır. İşçiler vasıtasıyla parça transferinin gerçekleştirildiği, emek yoğun çalışılan ve manuel montaj hattı adı verilen sistemler de mevcuttur. Nitekim bu tezin konusu olan UTMH’de, kendi görevini yerine getiren çalışan, yarı mamulü bir sonraki işlem için ilgili çalışanın önündeki uygun bir yere bırakmakta, bitmiş ürün yine çalışan tarafından stok yerine bırakılmaktadır.

Montaj hatları, hat üzerinde oluşturulması gereken ürün veya ürünlere göre üç kategoriye ayrılmıştır: Bunlar; tek modellenli, çok modellenli ve karışık modellenli hatlardır.

Tek Modellenli Hatlar: Sadece bir ürünün (bu ürünün varsa birçok modellenli arasından sadece bir modellenlinin) üretimi için oluşturulmuş montaj hatlarıdır. Bu özeliğinden dolayı da tasarımı ve dengelenmesi basittir, fakat günümüzde müşteri beklentileri sürekli değıştiğı için bu tür montaj hattını kullanmak üretici bakımından bir dezavantajdır.

Çok Modellenli Hatlar: Farklı ürünlerin ya da bir ürünün farklı modellerinin aynı hat üzerinde, farklı zaman dilimlerinde üretildiğı montaj hatlarıdır. Yani bir parti ürün üretildikten sonra diğeri partinin üretimine geçilir. Ürünler/modeller ile ilgili iş öğeleri benzerlik gösterse de her parti için ayrı hazırlık yapılması gerekir. Dolayısıyla birim hazırlık maliyeti, parti büyüklüğü ile ters orantılıdır.

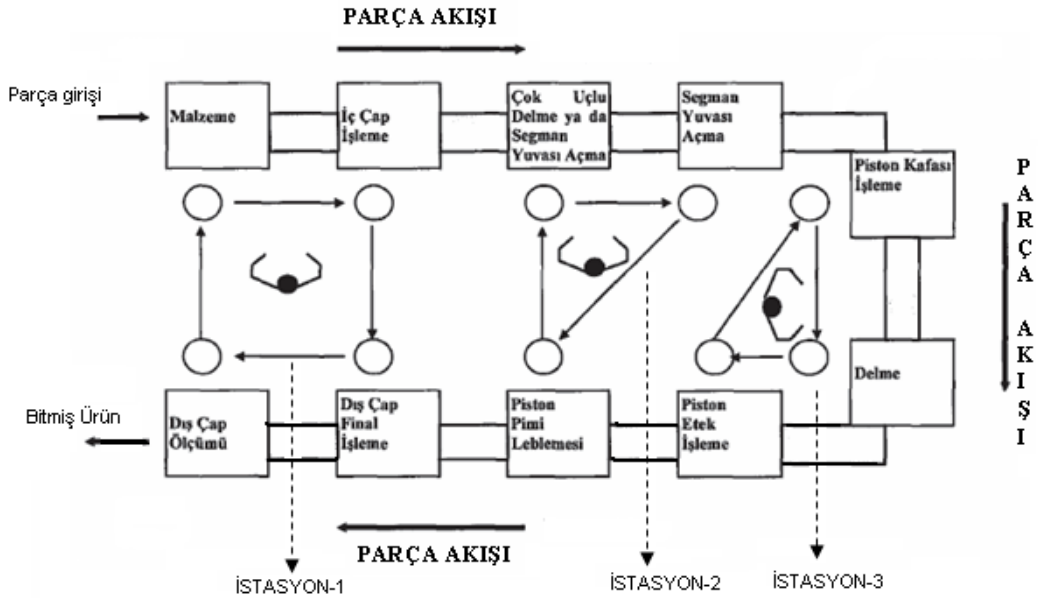
Karışık Modellenli Hatlar: Bir ürünün farklı modelleri hat üzerinde aynı zaman dilimi içerisinde üretilir. Ürün aynı olduğı için iş öğelerinin çoğunluğu benzerdir. Model farklılıklarından dolayı farklı parça kullanımı, bazı iş öğelerinin eksikliği ya da fazlalığı, iş öğelerinin sürelerinin farklılığı gibi durumlar söz konusudur. Bir otomobilin belli bir modellenlinin farklı donanımlara sahip alt modellerinin üretimi böyle bir hatta gerçekleştirilebilir. Ürün çeşitliliğı açısından müşteri beklentilerinin en iyi karşılandığı montaj hattı, karışık modellenli hatlardır.

3.3. U Tipi Montaj Hattı (UTMH)

Japonların ilk uygulayıcısı olduğı stoksuz üretim felsefesi olan “tam zamanında üretim (TZÜ)”, satın alınan ve üretilen parçaların tam istenilen zamanda (ne çok geç, ne çok erken) üretim bölümünde yeteri kadar bulundurulmasını sağlayan organizasyonel yapıyı ifade eder. TZÜ yaklaşımıyla hammadde, yarı mamul ve mamul stokları ihtiyaç duyulan

miktar kadar, ihtiyaç duyulan zamanda ve ihtiyaç duyulan yerde bulundurulmaktadır (7).

Japon otomotiv devi Toyota, şekli bir önceki sayfada verilen GDMH yerine UTMH'yi kullanarak TZÜ felsefesini uygulamaya geçirmiştir. UTMH, yerleşim olarak bir anlamda GDMH'nin kıvrılarak U harfi şeklinde konumlandırılmasıyla oluşmuştur. Dolayısıyla GDMH'de ilgili emtianın montaj hattına ilk giriş yeri ile hattan çıkış yeri birbirinden uzak iken (montaj hattının uç tarafları), UTMH'de giriş ve çıkış yerleri birbirlerine çok yakındır. Bu durum diğer iş istasyonları için de söz konusudur. UTMH'de yarı kalifiye işçiler, Şekil 3.4'de görüldüğü gibi montaj hattının özellikle birbirine paralel ve gerekirse birbirine dik konumda yerleşmiş bacakları arasında hareket ederek, düz hatta göre daha etkin bir üretim gerçekleştirirler. Çünkü düz hatta yapılamayan görev birleştirmeleri, U hatta rahatça yapılabilir. İşçiler U şeklindeki hattın iç tarafında bulunurlar. Bir işçi hattın hem girişindeki hem de çıkışındaki görevleri yönetebilir. İşçilerin görevlere atanmasındaki esneklik ve yürüme mesafelerinin kısılması çevrim zamanını azaltır.



Şekil 3.4. U Tipi Montaj Hattı (piston üretim hattı) (8)

UTMH'nin GDMH'ye göre başlıca avantajları şunlardır (9):

- Operatörlerin birbirlerine yakınlıklarından dolayı iletişimleri ve birbirlerini görebilme imkanları gelişmiştir. Böylelikle bir problem olduğu zaman operatörler hızlı hareket ederek yardımlaşır ve problemi çözebilirler.
- Operatörler U hattaki pek çok görevi yerine getirebilecek şekilde yetenekli hale gelirler. Belli periyotlarla her gün bir çok istasyonda çalışırlar. Böylelikle çevrim zamanının veya çıktı hızının değiştirilmesiyle ilgili problemlerin kolayca üstesinden gelebilirler. İşçilerin birden fazla yeteneğe sahip olmaları, işletme içinde know-how çalışmalarının yayılmasına, onların üretim sürecinin geliştirilmesiyle ilgili çalışmalara katkıda bulunmalarına ve işletmedeki gelişimin daha iyi olmasına neden olur.
- TZÜ prensiplerine göre U hattaki çıktı oranının, hattaki üretimi takip eden operasyonların çıktı oranı ile uyuşması gerekir. Bunu sağlayabilmek için montaj hattında çalışan işçi sayısı artırılabilir ya da azaltılabilir. Buna karşılık düz hatlarda çevrim zamanı genellikle değiştirilemez.
- Aynı problem için; U hattaki istasyon sayısı düz hattaki istasyon sayısından asla fazla değildir. Çünkü görevleri istasyonlara gruplamak için pek çok alternatif bulunmaktadır.

U hatlar; düşük stok seviyeleri, malzeme taşımanın kolaylığı, üretim planlama kolaylığı, takım çalışması ve problem çözme yeteneklerinin gelişmesi, daha iyi kalite kontrol çalışmalarına imkan vermesi gibi sebeplerden dolayı; fonksiyonel yerleşim ile üretim yapan geleneksel hatlara göre daha popülerdir (9).

3.4. U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemi

Montaj hattının bir ucundan giren hammadde ya da yarı mamul, bir takım işlemlere tutulduktan sonra diğer uçtan ürün olarak çıkar. Ürün oluşumunda yapılması gereken işlerin, oluşabilecek kayıp süreleri minimum düzeye indirecek şekilde iş istasyonlarına atanması “montaj hattı dengeleme (MHD)” olarak adlandırılmaktadır (10).

MHD ile ilgili sık kullanılan terimler aşağıda verilmiştir (11):

Görev (İş elemanı): Ürün montajının tamamlanmasında pratiklik ve uygunluk açısından en küçük; yani daha alt parçalara bölünemeyen; iş parçasıdır. Diğer bir ifadeyle montaj hattında yerine getirilmesi gereken toplam iş yükünün; daha fazla bölünemez rasyonel bir parçasıdır. Toplam görev sayısı N ile gösterilir.

Görev zamanı: Bir görevin tamamlanabilmesi için gereken zamandır. i görevinin görev zamanı t_i ile gösterilir. MHD problemlerinin çözümü için geliştirilen teknikler görev zamanı açısından iki kategoride incelenir. Birinde t_i değerinin sabit bir değer olduğu, ikincisinde ise bu değerlerin ortalaması μ_i ve varyansı σ_i^2 olan bir olasılık yoğunluk fonksiyonuna göre dağıldığı varsayılmıştır.

İş istasyonu: Üretim hattında yapılması öngörülen toplam iş miktarının bir kısmının yerine getirildiği yerdir. Her bir istasyonda N adet görevden bir veya birkaçı yerine getirilir. Toplam istasyon sayısı K ile gösterilir.

İstasyon zamanı: İlgili istasyonda yapılan görevlerin toplam zamanıdır. k istasyonunun istasyon zamanı S_k ile gösterilir.

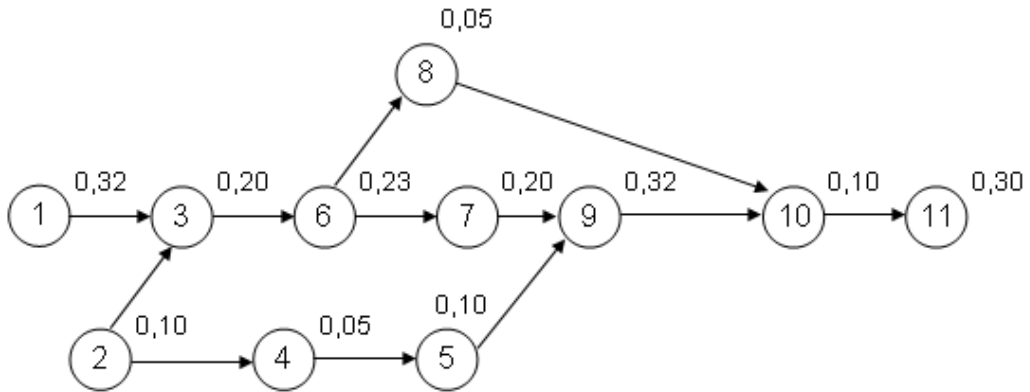
Çevrim zamanı: C ile gösterilen çevrim zamanı, standart akış temposuyla bir montaj hattından tamamlanıp çıkan iki ürün arasında geçen zaman farkıdır. Herhangi bir görev zamanı, herhangi bir istasyon zamanından büyük

olamayacağı gibi; herhangi bir istasyon zamanı da çevrim zamanından büyük olamaz. Bu durum matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir.

$$\text{Max}\{t_i\}_{i=1,\dots,N} \leq \text{Max}\{s_k\}_{k=1,\dots,K} \leq C$$

Boş zaman (İstasyon gecikme zamanı): İstasyon zamanı ile çevrim zamanı arasındaki farktır (11).

Öncelik Diyagramı: Görevlerin işlem sıralarının grafiksel olarak gösterimidir (11). Diyagram soldan sağa doğru çizilir. Görev (iş elemanı) sayısı 11 olan bir montaj hattı için öncelik diyagramı Şekil 3.5'de verilmiştir. Daire içindeki numaralar görevleri, dairenin hemen üst dışında yer alan sayılar ise görev zamanlarını ifade etmektedir.



Şekil 3.5. Öncelik Diyagramı (12)

Öncelik matrisi: Öncelik diyagramındaki ilişkilerin matris vasıtasıyla açıklandığı bir üst üçgen matristir. Öncelik diyagramında, i görevini j görevi takip ediyorsa, i. satır j. sütun 1, aksi halde 0 yazılarak oluşturulur. Şekil 3.5'de gösterilen öncelik diyagramı için oluşturulan öncelik matrisi Şekil 3.6'da verilmiştir.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| 1 | - | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | | - | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 3 | | | - | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 4 | | | | - | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 5 | | | | | - | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 6 | | | | | | - | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 7 | | | | | | | - | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 8 | | | | | | | | - | 0 | 1 | 1 |
| 9 | | | | | | | | | - | 1 | 1 |
| 10 | | | | | | | | | | - | 1 |
| 11 | | | | | | | | | | | - |

Şekil 3.6. Öncelik Matrisi

Esneklik oranı (EO): Görevlerin öncelik ilişkisine göre elde edilebilecek uygun sıralamaların nisbi belirleyicisidir. Y değişkeni öncelik matrisindeki 0'ların sayısı, N görev sayısı olmak üzere;

$$EO = 2*Y / [N*(N - 1)]$$

EO 0 ile 1 arasında değişmektedir. Esneklik oranı 0 ise tüm görevler ardışık bir şekilde sıralanmış demektir. EO değeri 0'a yaklaştıkça esneklik azalmakta, dengeleme probleminin çözümü kolaylaşmaktadır (13).

Denge gecikmesi: İstasyonların boş zamanlarının toplamının, ürünün oluşmasında hat boyunca harcanan toplam süreye oranıdır; d ile gösterilir.

$$d = [K*C - \sum t_i] / K*C$$

Formülden de anlaşılacağı üzere tam dengelenmiş bir montaj hattında denge gecikmesi sıfırdır.

MHD probleminde bir performans ölçütü eniyilemeye çalışılır. Bu ölçütler genellikle şunlardır (14):

- Çevrim zamanı bilindiğinde iş istasyonu sayısını en küçükleme
- İş istasyonu sayısı bilindiğinde çevrim zamanını en küçükleme

GDMH ile UTMH dengeleme problemlerinde en önemli fark şudur: GDMH’de bir istasyonu oluşturacak görevler; öncülleri daha önceden atanmış olan görevleri içeren atanabilir görevler kümesinden seçilir. UTMH’de ise atanabilir görevler kümesi; öncülleri atanmış görevler kümesi ile ardılları atanmış görev kümesi birleşiminden oluşur. İstasyon sayısını en küçükleme ölçütünün esas alındığı UTMH dengeleme problemi aşağıdaki gibi tanımlanır.

Görevler kümesi, $F = \{k \mid k=1,2,\dots,n\}$;

Öncelik ilişkileri kümesi, $P = \{(x,y) \mid x, y' \text{ den önce tamamlanmalıdır}\}$;

Görev zamanları kümesi, $T = \{t(k) \mid k=1,2,\dots,n\}$;

Çevrim zamanı, C verildiğinde; aşağıdaki kısıtları sağlayacak şekilde F ’nin alt kümeleri olan (G_1, G_2, \dots, G_N) ’nin bulunması, UTMH dengeleme probleminin çözümünü verir.

$$\bigcup_{i=1}^N G_i = F, \quad (3.1)$$

$$G_i \cap G_j = \emptyset \quad i \neq j \quad (3.2)$$

$$\sum_{k \in G_i} t(k) \leq C, \quad i=1,2,\dots,N \quad (3.3)$$

Her bir y görevi için;

$(x,y) \in P$ ise, $x \in G_i, y \in G_j, i \leq j$, bütün x ’ler için;

veya (3.4)

$(y,z) \in P$ ise, $y \in G_j, z \in G_k, k \leq j$, bütün z ’ler için;

kısıtları altında;

$$[N \cdot C - \sum_{i=1}^N \sum_{k \in G_i} t(k)] \text{ en küçüklenmelidir.} \quad (3.5)$$

(3.1) nolu kısıt, tüm görevlerin bir istasyona atanmasını; (3.2) nolu kısıt, tüm görevlerin yalnızca bir defa atanmasını; (3.3) nolu kısıt, herhangi bir istasyon zamanının çevrim zamanını aşmamasını; (3.4) nolu kısıt, öncelik ilişkisinin bozulmamasını sağlar. (3.5) nolu amaç fonksiyonu ile istasyon sayısı en küçüklenmeye çalışılır (9).

3.5. İş Analizi

Literatürde iş etüdü ile eş anlamlı da kullanılabilen iş analizi, iş istasyonlarının; montaj hattı literatüründe kullanılan tabirle görevlerin; analiz ve tasarımlarını yeniden yaparak etkin şekilde çalışmalarını hedeflemektedir. Kurulan yeni düzene göre de işin süresinin ölçülmesi de iş analizi kapsamındadır. İş analizi kavramı, metot etüdü uygulama basamaklarından iş seçimi ve durum tespitinden sonra üçüncü basamak olarak da karşımıza çıkmaktadır. Asıl hedef olan işin eleştirel olarak incelenip alternatif yöntemler geliştirilmesi bu basamakta gerçekleştirilmektedir.

İş analizi, üretimde etkinliği sağlamak için, işin hedefini sorgulamakla başlar, tasarımdan kullanılan malzemeye, araç gereçlerden çalışma koşullarına kadar her faaliyetin sorgulanmasıyla devam eder. İşletmeden işletmeye az da olsa farklılık gösterebilecek genel bir sorgulama listesi aşağıda verilmiştir (15).

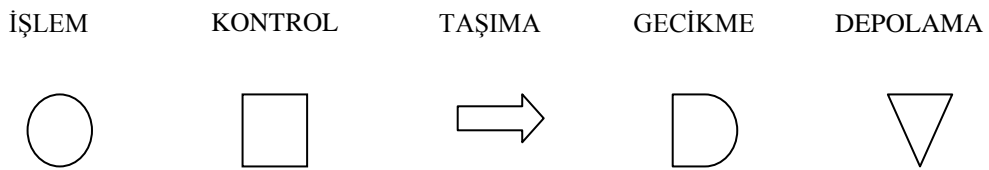
1. Faaliyetin amacı
2. Parçanın tasarımı
3. Toleranslar ve spesifikasyonlar
4. Malzemeler
5. İmalat süreci
6. Araç ve gereçler

7. Ergonomik faktörler
8. Fabrika içi taşıma
9. İş istasyonu yerleşim düzeni
10. Hareket ekonomisi prensipleri

Bir iş incelenirken en fazla gelişme sağlanacak noktalara dikkat edilmelidir. Listedeki her konu, her iş için geçerli olmayabilir. Mevcut süreçte yapılan bütün değişikliklerin önceki ve sonraki görevler ile uyumlu olması gerekir.

3.5.1. Faaliyetin Amacı

Herhangi bir mamul ya da yarı mamulün üretim süreci, belli bir sırada beş ana faaliyetin gerçekleştirilmesiyle tamamlanır. Bu faaliyetler; işlem, kontrol, taşıma, gecikme ve depolamadır. Şekil 3.7'de söz konusu faaliyetler için kullanılan semboller verilmiştir. İyileştirme yolları aramadan önce yapılacak ilk şey faaliyetin ortadan kaldırılıp kaldırılamayacağını araştırmaktır. Kaldırılmıyorsa başka bir işlemle birleştirilip birleştirilemeyeceğinin araştırılması gerekir. Teknik açıdan bir sakınca yoksa faaliyetlerin yerlerinin değiştirilmesi de iyileştirme yollarından biridir.



Şekil 3.7. İş Akış Şeması İçin Kullanılan Semboller

Gereksiz faaliyetler çeşitli şekillerde ortaya çıkabilir. İmalat süreci ilk defa oluşturulurken aceleden yapılan hatalı planlama, ürün tasarımının kompleks olması, toleransların gereksiz yere sıklığı bu nedenlerden birkaçıdır. Hata olarak bahsedilen bu hususların başlangıçta güçlü gerekçeleri olabilir. Örneğin, toleransları tam işleyemeyen eski bir makine söz konusu

olduğunda, toleransların garantilenmesi için üretim sorumlusu, parçaya ek bir işlem yaptırabilir. Daha sonra bu makine yenilenip istenilen spesifikasyonda üretim yapabilme imkanı oluşsa bile ek işlem yerinde kalabilir.

3.5.2. Parça Tasarımı

Ürün tasarımını ilgilendiren imalat maliyetinin düşürülebilmesi; ürünü oluşturan parça sayısının azaltılmasına, işlem sayısının ve taşıma mesafelerinin azaltılmasına, daha iyi malzeme kullanılmasına ve ard arda sıkı toleranslar konulmasındansa anahtar işlemler üzerinde odaklanılmasına bağlıdır. Yapılmış bir tasarıma dokunulamayacağı, yapılacak tek şeyin söz konusu tasarımı en ucuz şekilde imal etme yollarının bulunması olduğu yanlış bir kanıdır. Ancak tasarımla birlikte ortaya çıkan sabit maliyetler yüzünden üzerinde az durulan bir iyileştirme alanıdır.

3.5.3. Toleranslar ve Spesifikasyonlar

Tolerans ve spesifikasyonlar parçanın fonksiyonel gereksinmelerine uygun olmalıdır. Şu unutulmamalıdır ki;

- Gereğinden daha sıkı spesifikasyonlar üretim maliyetini artırır,
- Gereğinden gevşek spesifikasyonlar daha sonra ek işlemler doğurabilir.

Genellikle bazı kaygılardan dolayı tasarım esnasında sıkı toleranslar verilmiş olabilir ve bu yönde bir eğilim söz konusudur. Bu kaygılardan birisi üretim sırasında tasarım toleranslarına tam erişilemeyeceği düşüncesidir. Zaman zaman kalite kontrol prosedürleri değiştirilerek de masraflar azaltılabilir. Yüzde yüz kontrol yerine örneklemeyle dayalı kontrol sistemine geçilmesi gibi veya ölçme yerine 'geç, geçme' masterlarının kullanılması gibi değişiklikler maliyetleri düşürebilir.

3.5.4. Malzeme

Malzeme bilimi hızla ilerlemekte ve yeni malzemeler piyasaya sürülmektedir. Dolayısıyla tasarımların zaman zaman malzeme bakımından gözden geçirilmesinde yarar vardır. Bu konuda dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda özetlenmiştir.

- Daha ucuz bir malzeme kullanmak.
- Daha kolay işlenebilecek bir malzeme kullanmak.
- Malzemeyi daha tasarruflu kullanmak (artıkları azaltmak).
- Hurda ve artık malzeme için kullanma yerleri bulmak.

3.5.5. İmalat Süreci

Malzemelerin çeşitliliğinde olduğu gibi, bir ürünü imal etmek için de çeşitli seçenekler vardır ve yenileri de devamlı eklenmektedir. İmalat sürecini geliştirmek için şu konular incelenebilir.

- Elle yapılan işlemlerin mekanizasyonu: Örneğin, elle kullanılan tornavidanın elektrikle değiştirilmesi, çivi çakmak yerine stapler tabancası kullanılması, vs.
- Mekanik olarak yapılan işlemlerin daha etkin bir şekilde yapılması: Örneğin, talaş kaldırma işlemlerinde makinelerin ayarlarının doğru olması, bıçakların keskin durumda tutulması, döküm yerine toz metalürjisi kullanılması, vs.
- Yeni teknolojilerden faydalanma imkanları: Örneğin, ocak ve fırınlarda yakıt veya rezistans yerine infrared lambaları veya mikrodalga teknolojisi kullanımı, vs.
- İşlemlerin reorganizasyonu: Örneğin, teker, teker delinen deliklerin birlikte delinmesi, tek kesim veya montaj yerine çift yapılması, vs.

Değişiklikler yapılırken daha sonraki işlemlere olan etkisi de gözden kaçırılmamalıdır.

3.5.6. Araç ve Gereçler

İmalatı süratlendirmek için özel araç ve gereçler tasarlamak ürünün satış hacmine, üretimin tekrarlanma ihtimaline ve sarf edilebilecek para miktarına bağlıdır. Basit başa-baş analizleri bu tür düşük yatırımlı işlemler için yeterlidir. Büyük çaplı yatırımlar bu konunun dışındadır ve onlar için paranın zaman içindeki değerini işin içine katmak, yani mühendislik ekonomisi prensiplerini uygulamak gerekir.

3.5.7. Ergonomik faktörler

Çalışanın iş sistemi içerisinde görevini yaptığı yer olan işyerinde, iş güvenliği sağlanarak ve işçiye normal performans sınırlarını aşmayacak şekilde iş yükleyerek ergonominin iki hedefinden biri olan insancılık hedefine ulaşılabilir. Bu hedefe paralel olarak talep edilen miktarda, kalitede ve düşük maliyette üretimin gerçekleştirilmesiyle de ikinci hedef olan “ekonomiklik” sağlanmış olur.

Ergonomik kurallar gözetilerek yapılacak işyeri düzenleme sürecinde sırayla cevaplandırılması gereken üç soruyu ve bu soruların yanıtlarını şu şekilde ifade edebiliriz (16):

- İşyerini oluşturan ögeler nelerdir?
- İşyerindeki bu ögeler için çalışanın beklentileri nelerdir?
- Beklentilerin karşılanması için yapılması gerekenler nelerdir?

Bu sorular, çoğu işyerini kapsayacak şekilde cevaplanmaya çalışıldığında aşağıdaki gibi listeler ile karşılaşılır.

İş yerini oluşturan öğeler:

- İşin yapıldığı hacim
- Kullanılan alet ve teçhizatlar
- Makineler
- Taşıtlar
- İş tablası ya da iş masası
- Oturma elemanı, el-kol-ayak destekleri
- İş parçası için biriktirme kutuları(işlem öncesi ve/veya sonrası için)
- Raflar
- Yer ve/veya duvar döşemesi
- Havalandırma ve aydınlık boşlukları
- İş yerine giriş, iş yerinden çıkış boşlukları
- Yürüme yolları, rampa, kapılar, merdivenler

Beklentiler:

- Kişisel zorlanmanın, sürekli performans sınırının altında olması
- Sağlığın korunması
- Kaza olasılığının hiç olmaması ya da mümkün olan en az seviyeye çekilmesi
- İlgili elemanlara(hammadde, yarı mamul, alet ve teçhizat, kumanda kolu vb) kolay erişim
- Tehlike anında iş yerinden uzaklaşmanın kolayca yapılabilmesi
- Zihinsel zorlamaya yol açacak karmaşıklıklardan kaçınma
- Görme, anlama, izleme ve kontrol etmede kolaylık
- İşin niteliğine göre belirli düzeyde konfor
- İster ayakta, ister oturarak çalışma olsun, bedensel konumda rahatlık
- Temizlik

Beklentilerin gerçekleşmesi için yapılması gerekenler:

- İş yüksekliğinin çalışana göre ayarlanması
- El ve ayak kumanda elemanlarının yerleştirilmesi
- Geçit ve boşlukların beden boyutlarına uyması

- Biriktirme kutularının, rafların boyutlarının ve teçhizatın yerlerinin düzenlenmesi
- İş masasının malzemesinin ve boyutlarının seçimi
- Göstergelerin ve kumanda elemanlarının ve yerlerinin seçimi
- Oturma elemanının işe ve çalışana uygun seçilmesi
- Gerekliyse uygun sırt dayanağı olması
- Sırt, kol, ayak dayanaklarının malzemesinin ve boyutlarının seçimi
- Serbest hareket edebilmek için yeterli boş alan ve tavan yüksekliği
- Konum ve yön olarak uygun malzemeden imal edilmiş ve yerleştirilmiş kapılar, pencereler
- Yeterince geniş yürüme yolları ve uygun döşeme malzemesi
- Rampa ve merdiven için uygun eğim, genişlik ve malzeme

İş istasyonlarındaki çalışma koşulları da çalışanın verimliliğine iyi veya kötü yönde etki eder. İş yerindeki ışıklandırma, havalandırma, sıcaklık veya soğukluk, gürültü, temizlik veya kirlilik, tertip ve düzen, toz, duman ve zehirli gazlar, kaza ve yaralanma riski gibi faktörler çalışma temposunda, yorgunlukta ve iş kazaları üzerinde etkilidirler. Olumsuz etkenlerin bazıları ortadan kaldırılabılır ve bazılarının da zararlı etkileri asgari seviyelere indirilebilir.

3.5.8. Fabrika İçi Taşıma

Hammadde, yardımcı madde, malzeme, parça, yarı mamul, mamul, vs. fabrikanın üretim veya servis (kalite kontrol bölümü gibi) bölümlerinde dolaşır. Fabrika içi taşıma olarak adlandırılabilen bu faaliyette malzeme hareketleri çok önemli maliyet unsurlarından biridir, üretime katkı yapan ve yapmayan elemanlar içerir ve iyileştirmeye yatkındır. Son 20-30 sene içinde bu alanda önemli gelişmeler yaşanmış ve kendi başına bir bilim dalı haline gelmiştir. Kendi yollarını kendileri bulan insansız taşıma araçları yapılmıştır. Tavan gereçleri kullanılarak yarı mamul havadan nakledilmeye başlanmış ve fabrika zemini işçilerin çalışmasına daha uygun hale getirilmiştir.

Standart bir fabrikaya girildiğinde birçok taşıma ekipmanı ile karşılaşılabilir. Bunlardan bazıları; çeşitli malzemelerden yapılmış bağlayıcı kuşak, kemer ve halatlar, çeşitli paletler, manuel veya mekanik arabalar (iki, üç veya dört tekerli), hidrolik veya mekanik kaldırıncılar veya platformlar, çeşitli forkliftler, yer çekimi veya elektrikle çalışan konveyörler (vidalı, silindiri veya bantlı olabilecekleri gibi sabit veya portatif de olabilirler), tabana veya tavana monte edilmiş hareketli veya sabit kaldırıncılar, portatif kaldırıncılardır. Bunların hepsi gerekli taşımalarda çalışanlara yardımcı olmak için ve randımanı arttırmak için kullanılabilir.

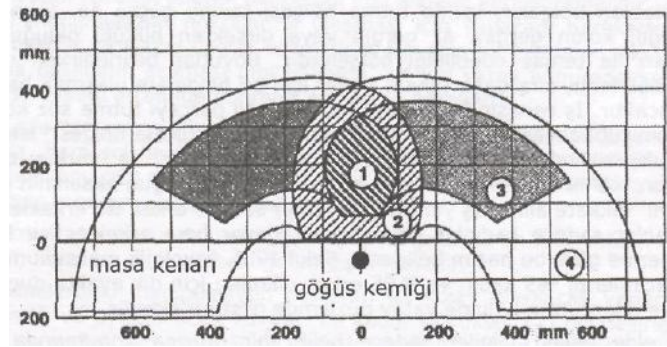
Her zaman gereksiz taşımaların ortadan kaldırılması hedeflenmelidir. Yerleşme düzeninde yapılacak bazı değişiklikler taşıma mesafelerini kısaltabilir ve bazılarını da ortadan kaldırabilir. Malzemeyi bulunduğu yerden kaldırma ve taşıma kapasitesi önemli maliyet unsurlarındandır. Paletler bu maliyeti düşürmek için kullanılırlar. Taşıma sırasında malzemenin hasar görmemesi de kaliteyi arttıran ve hurdayı azaltan bir faktördür. İmal edildikleri iş istasyonunda kalite/kabul oranları yüksek olan parçaların, kullanıldıkları yerde kabul oranları düşükse, taşıma sırasında oluşan bozulmaların incelenmesi gerekir.

3.5.9. İş İstasyonu Yerleşim Düzeni

Fabrikalarda genel yerleşim düzeni yapıldıktan sonra her iş istasyonu (görev yeri) için de bir düzenleme yapılmalıdır. Çalışanların kullanacakları alet ve edevatların yerleri belirlenmeli, yarı mamulün girişi, çıkışı, tutuluşu, çalışma şekli vs. saptanmalı, sarf malzemeleri ve parçaların yerleri belirlenmelidir. Kısaca, hareket ekonomisi prensipleri göz önüne alınarak bir çalışma ortamı oluşturulmalı ve çalışma metodu geliştirilmelidir.

Bir çalışma masası ya da iş tablası hacim ve yüzey olarak başlı başına bir görev yerini oluşturur ya da görev yerinin büyük kısmını teşkil eder. İşin

tamamı ya da büyük çoğunluğu da eller kullanılarak yerine getirilir. Bu durum göz önüne alınarak bir iş masası üzerinde dört farklı tutma bölgesi tanımlanabilir (16). Aşağıdaki Şekil 3.8’de bu bölgeler gösterilmiştir.



Şekil 3.8. İş Masası Üzerinde Tutma Bölgeleri

1. Bölge: “İş merkezi” olarak isimlendirilir. İki elin birbirine çok yakın olarak çalıştığı; hassas cihaz montajı gibi işlerin yapıldığı; durumlar içindir.
2. Bölge: İki elin bakış alanı içerisinde çalıştığı ve söz konusu bölgede her noktaya ulaşabildiği, “genişletilmiş iş merkezi” olarak adlandırılan bölgedir.
3. Bölge: Bu bölgeye “tek el bölgesi” denir. Sağ ya da sol, belli taraftaki el aletlerinin sık kullanılacağı zaman konuşlandırılması gerektiği bölgeyi ifade eder.
4. Bölge: Malzeme kutusu ya da diğerlerine nazaran çok seyrek kullanılan el aletlerinin yerleştirilebileceği bölgedir. “Genişletilmiş bölge” adı verilir.

3.5.10. Hareket Ekonomisi Prensipleri

Üretimde kullanılan metodun, her iki elin de kullanılmasına imkan vermesi çalışmada etkinliği artıran faktörlerden birisidir. Genellikle sol el sağ ele göre

biraz daha verimsiz çalışır, fakat muayyen bir süre pratik yapılabilirse sol elin becerisi sağ ele yaklaştırılabilir. İki el birbirlerine ters istikamette ve simetrik olarak çok daha etkin bir şekilde çalıştırılabilir.

Eller işlerini mümkün olan en az hareketle yapmalıdır. Elle yapılan işler bir seri hareketin kombinasyonudur; uzanma, kavrama, boş veya dolu taşıma, pozisyon ayarlama ve bırakma gibi. Bu hareketlerin sayısı düşürülebilirse zamandan ve işçinin sarf ettiği enerjiden tasarruf edilebilir. Bir kutu içinden seçilmesi gereken bir parçayı yer çekiminden faydalanılarak çalışanın önüne birer birer düşürmek seçme faaliyetini ortadan kaldırır ve taşıma mesafesini kısaltır. İşlenmiş parça hareketli bir bant üzerine koyularak yerleştirme ve taşıma faaliyetlerinden tasarruf edilebilir.

İş istasyonundaki uzun erişmeler ve taşımalar mümkün olduğunca azaltılmalıdır. Yürüyerek yapılan taşımalar veya kolların bir uçtan öbür uca gitmesi çok zaman alan hareketlerdir. Yerleşim planı ve yöntem değiştirilerek, dirsekler gövdeden fazla uzaklaşmayacak bir çalışma düzeni oluşturulabilir. İşçinin önünde havada sallanan aletler ve malzemenin otomatik olarak bu alana indirilmesi sıkça kullanılan çözümlerdendir.

Eller tutucu bir alet gibi kullanılmamalıdır. Hedef; her iki el ile etkin faaliyeti yapmaktır. Bir veya iki el parçayı veya malzemeyi tutmak için kullanılıyorsa, bu iş için bir gereç düşünülmalıdır. Bu sayede eller üretime doğrudan katkısı olan asıl faaliyeti (işlem) yerine getirmek için serbest bırakılmalıdır.

İş analizinde ele alınan işin mevcut durumunu ve yöntem geliştirme sonucunda ulaşılan halini ifade etmek için kullanılan araçlar vardır. Bunların en yaygın olarak kullanılanları akış diyagramı ve iş akış şemasıdır. Üretim sürecini görsel olarak tespit eden bu araçlar etkilidirler. Çünkü görsel ve grafiksel tarifler sözel tariflerden daha kolay anlaşılır.

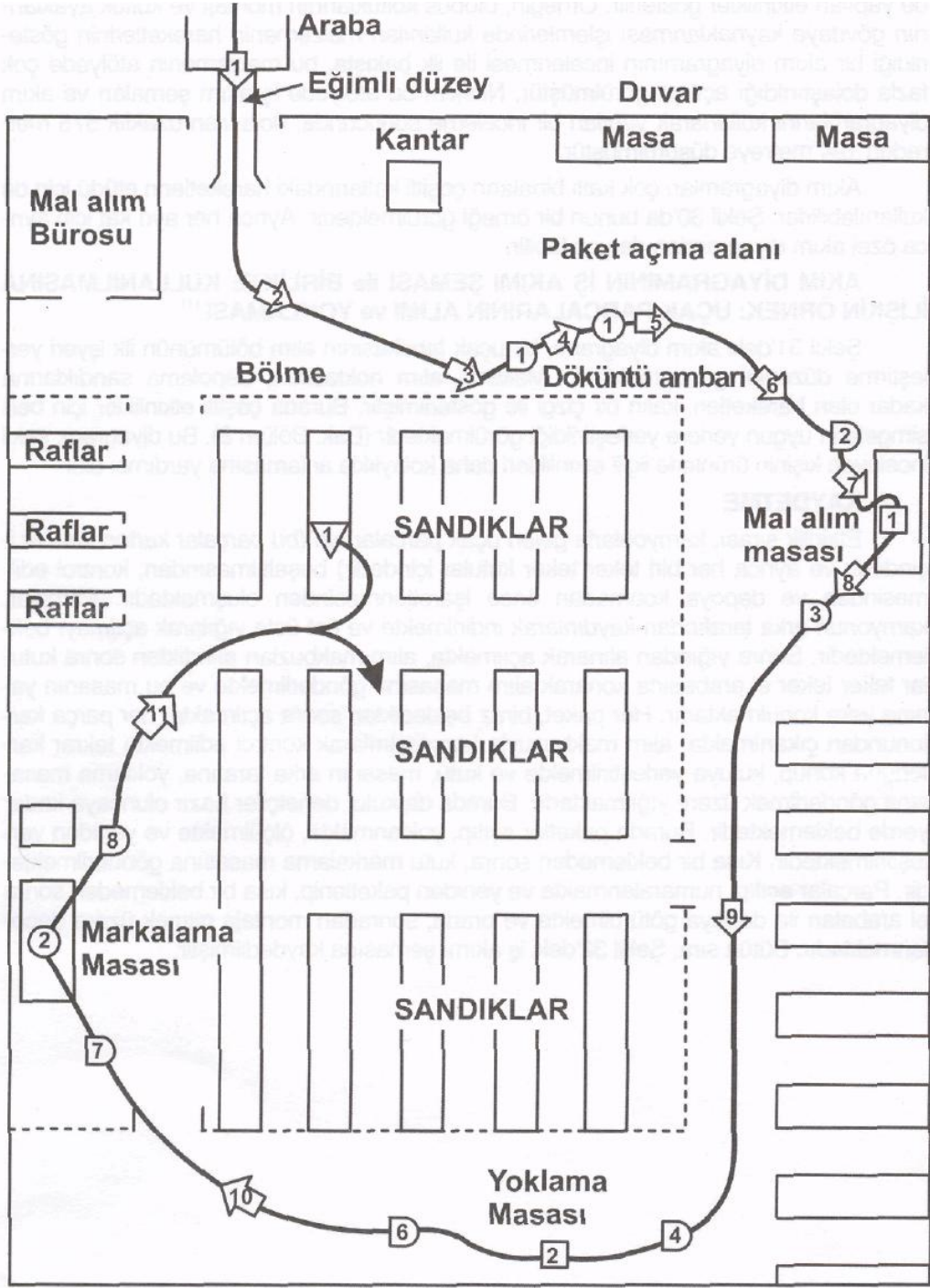
İş akış şeması, Şekil 3.7'de belirtilen faaliyet sembollerini kullanarak ürünle ilgili tüm üretim sürecinin belli bir parçasını; faaliyet sırasına göre(malzeme

tipi iş akış şeması); ortaya koyan kayıt aracıdır. Detay içerdiği için süreç birkaç iş akış şeması kullanılarak yansıtılır. Üretim süreci kısa ise, baştan sona tüm faaliyetleri de içerebilir. Liselerde kullanılan okul sıralarının masa parçasına ait iş akış şeması Şekil 3.9'da gösterilmiştir.

Akış diyagramı ilgili bölümün/atölyenin/fabrika alanının ölçekli bir kroki üzerinde çizilmesiyle oluşur. Bu krokide fiziki engeller (trafolar, sütunlar, depolama yerleri vs.), makineler, taşıma yolları gibi bütün unsurlar yer alır. Daha önce hazırlanmamışsa, oluşturulması zor olan bu diyagram bir kez hazırlandıktan sonra çok etkin olarak kullanılabilir. Bir uçak fabrikasının malzeme alım bölümünde, gelen malzemelerin depolama sandıklarına yerleştirilinceye kadar yapılan faaliyetleri içeren akış diyagramı Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Bu diyagram süreçle ilgili mevcut durumu yansıtmaktadır.

| İŞ AKIŞ ŞEMASI | | | | | | | |
|---|-----------|---------------------|--------|------|--|--|--|
| Ürün Kodu:S-L-02 Ürün Adı:Lise tipi okul sırası masası Parça Adı:Ana gövde Çizim No: Metot: Mevcut /Öneri Başlangıç Yeri:Profil stok deposu Bitiş Yeri:Boyahane | Faaliyet | Mevcut | Öneri | Fark | Sayfa No 1/1 Tarih 18/02/2007 Hazırlayan | | |
| | İşlem | 8 | | | | | |
| | Kontrol | 2 | | | | | |
| | Taşıma | 5 | | | | | |
| | Gecikme | 2 | | | | | |
| | Depolama | 1 | | | | | |
| | Mesafe | 85 mt | | | | | |
| | Süre | | | | | | |
| FAALİYET TANIMI | Sembol | Miktar | Mesafe | Süre | Açıklama | | |
| 1,5x30x30 mm kutu profil stoğu | ○ → □ D ▼ | | | | Profil stok | | |
| Daire testereye taşıma | ○ → □ D ▼ | 100 boy (600 mt) | 25 mt. | | Forklift | | |
| Çeşitli boylarda profil kesimi | ● → □ D ▼ | | | | | | |
| Farklı arabalarda biriktirme | ○ → □ D ▼ | | | | Taşıma arabasında | | |
| Zımpara tezgahına taşıma | ○ → □ D ▼ | 50 ürün | 10 mt. | | Forklift | | |
| Kesim sonucu oluşan çapakların temizlenmesi | ● → □ D ▼ | | | | | | |
| Matkapta deliklerin delinmesi | ● → □ D ▼ | | | | | | |
| Delik talaşlarının zımparalanması | ● → □ D ▼ | | | | | | |
| Farklı arabalarda biriktirme | ○ → □ D ▼ | | | | Taşıma arabasında | | |
| Kaynak bölümüne taşıma | ○ → □ D ▼ | 50 ürün | 15 mt. | | Forklift | | |
| Profillerin birbirine kaynatılması | ● → □ D ▼ | | | | Gazaltı kaynağı | | |
| Çantalık sacını kaynatma | ● → □ D ▼ | | | | | | |
| Kaynak kontrolü | ○ → ■ D ▼ | | | | Tek tek kontrol | | |
| Taşlama tezgahına taşıma | ○ → □ D ▼ | 5 ürün | 5 mt. | | | | |
| Kaynak fazlalıklarının taşlanması | ● → □ D ▼ | | | | | | |
| Zımparalama | ● → □ D ▼ | | | | | | |
| Kaynak pürüzlülüğü kontrolü | ○ → ■ D ▼ | | | | Tek tek kontrol | | |
| Boyanmak üzere boyahaneye taşıma | ○ → □ D ▼ | 5 ürün | 30 mt. | | | | |

Şekil 3.9. İş Akış Şeması



Şekil 3.10. Akış Diyagramı Örneği (17)

3.6. Literatür Araştırması

İş analiz teknikleri kullanılarak en baştan bir laboratuvarın kurulması hedeflendiğinden bu laboratuvarın da UTMH içermesinden dolayı literatür taraması birkaç farklı yönden gerçekleştirilmiştir.

Montaj hattı dengeleme konusunda ilk çalışma, 1955 yılında Salveson (18) tarafından yapılmıştır. Salveson bu çalışmasında, iş istasyonlarındaki toplam boş zamanı en küçükleyecek tamsayı programlama modelini geliştirmiştir. UTMH üzerine ilk çalışmalar ise Hall (19) ve Monden (20) tarafından yapılmıştır. Miltenburg ve Wijngaard (21), GDMH dengeleme problemleri için geliştirilen sezgisel algoritmaları UTMH dengeleme problemine uyarlamışlardır. Miltenburg (22), belli bir sayıda U hatta sahip tesiste optimal dengeyi bulan dinamik programlama algoritmasını geliştirmiştir. Scholl ve Klein (23), U tipi hatları dengelemek amacıyla dal-sınır prosedürünü kullanarak etkin sonuçlar üretebilen ULINO (U Line Optimizer) sezgiselini geliştirmişlerdir. Nakade ve arkadaşları (24), stokastik UTMH dengeleme probleminde, beklenen çevrim zamanının alt ve üst sınırlarının tespiti üzerinde durmuşlardır. Nakade ve Ohno (25), çok fonksiyonlu işçilerin bulunduğu bir UTMH'de, işlem ve yürüme zamanlarını deterministik kabul ederek çevrim zamanını en küçükleyecek optimal operatör ataması üzerinde çalışmışlardır. Chen ve arkadaşları (26), düz ve U tipi hatları esas alarak, hat yerleşiminin ürün kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Ağpak ve Gökçen (27), GDMH için geliştirilen COMSOAL metodunu, UTMH dengeleme problemine uyarlayan ve yeni bir sezgisel metot olan U-COMSOAL metodunu geliştirmişlerdir. Ağpak ve Gökçen (28), UTMH literatüründeki ilk bulanık tamsayı programlama (U-FP) modelini geliştirmişlerdir.

Özgörmüş (29), montaj hattı dengelemesi yapılırken işin zorluk derecesi, monotonluk düzeyi gibi ergonomik faktörleri bulanık olarak dikkate alan bir bulanık doğrusal programlama modeli geliştirmiştir. Yenigün (30), bir ürünün

montajının yapıldığı çalışma masasındaki iş akışını ergonomik yönden ele alarak iyileştirme önerileri geliştirmiştir.

Feisel ve Rosa (31), tarihsel açıdan da ele alarak laboratuvarların mühendislik eğitimindeki rolüne değinmişlerdir. Laboratuvarların eğitimde etkin kullanılabilmesi için öneriler getirmişlerdir. Serbest (1), mühendislik fakültelerindeki alt yapı sorunlarını ele alan ve bu sorunların çözümü için öneriler sunan bir çalışma yapmıştır. Serbest, yapılan araştırmalardan elde edilen sonuçlardan yola çıkarak mühendislik bölümlerinin hemen tamamında laboratuvarların yetersiz olduğunu sonucuna varmıştır.

Yapılan araştırmada endüstri mühendisliği eğitime yönelik manuel UTMH tasarımını ele alan ve uygulayan bir çalışmaya rastlanmamıştır.

4. İŞ ANALİZİ TEKNİKLERİYLE LABORATUAR TASARIMI

Bazı kaynaklarda “iş etüdü” kavramı yerine kullanılan iş analizi, aslında iş etüdü çalışmasının en önemli aşamasıdır. İş analizi safhasından hemen önce mevcut üretim sisteminin durumu ortaya konmalıdır. Bu amaçla uçurtma yapım aşamaları UTMH sistemine uyarlanacaktır. Bu uyarlama esnasında, işin birçok yönüyle sorgulanmasını ve üretim sürecinde eskisine göre yeni ve gelişmiş metotlar ortaya koymayı hedefleyen “iş analizi” gerçekleştirilecektir. İş analizine geçmeden önce üretim sistemi olarak neden UTMH’nin, ürün olarak neden uçurtmanın seçildiğini belirtmekte fayda vardır.

4.1. Montaj Hattı Tipi Seçimi

Montaj hatları, yerleşim şekillerine göre literatürde düz hat, zik-zak hat, dairesel hat, U hat gibi isimler altında sınıflandırılmaktadır. Şimdiye kadar montaj hatlarının ilk versiyonu olduğu için düz hatlardan, TZÜ’den dolayı yaygın ve popüleritesi fazla olduğu için de U hatlardan bahsedilmiştir.

Eğitim amaçlı kurulacak montaj hattı, gerçek bir montaj hattının olabildiğince çok özelliğini sağlamalı, bunun yanında; sanayiden farklı olarak; yüksek öğretimde bir uygulama aracı olması sebebiyle eğitimin etkinliği açısından avantaj oluşturacak bazı özelliklere de sahip olmalıdır. Aşağıda sıralanmış olan özellikler dikkate alındığında kurulacak montaj hattının U tipi montaj hattı olması uygun görülmüştür.

- Eğitim kurumlarında kullanılan sınıflar ve/veya laboratuvar için ayrılan mekanların hemen hemen tamamına yakını kare ya da eni ile boyu arasındaki uzunluk farkının az olduğu dikdörtgen şeklindeki mekanlardır. Montaj hattının işlevlerini yitirmeden seçilen mekana yerleştirilebilmesi için laboratuvar alanı faktörü göz önüne alınmıştır.

- Öğrenciler, uygulamalar esnasında bütün hattı rahatça gözlemleyebilmekte, öğretim elemanı ve öğrenciler gözlemler sırasında dersle ilgili kavramların anlaşılabilirliğini artırmak için hattın çalışmasına müdahale edebilmekte ve öğrenciler zaman etüdü gibi uygulamalarda rahatça kayıt tutabilmektedir.
- UTMH'nin avantajlarından yararlanılarak iş istasyonlarını oluşturacak görev gruplaması kolay olmakta, iş içeriğinde yapılacak küçük değişikliklerle, hatta üretilecek ürünün değiştirilmesiyle pek çok alternatif iş istasyonu oluşturulabilmektedir. Böylelikle farklı konulara farklı bakış açıları geliştirilebilmektedir.
- Malzeme taşımayı operatörler yapacağı için eğitim amaçlı kurulan bu üretim hattında konveyör gibi özel ve pahalı malzeme taşıma ekipmanlarına ihtiyaç duyulmamaktadır.
- Operatörler arasında iletişim ve birbirinin işini gözleyebilme daha kolay olduğu için metot geliştirme çalışmaları hem gözlem yapan öğrenciler, hem de operatörler tarafından daha rahat yapılmaktadır.
- Yürüme mesafeleri kısa olacağından dolayı yorgunluk da diğer hat tiplerine göre daha az olmaktadır.

4.2. Ürün Seçimi

Ürün seçimi, laboratuvar kurulum sürecinde doğru karar verilmesi gereken en önemli aşamalardan birisidir. Bu kararda etkili olan ve genel anlamda ileriki zamanlarda buna benzer eğitim amaçlı montaj hattı kurulum çalışmalarına ışık tutacağı düşünülen faktörler aşağıda sıralanmıştır:

- Bir laboratuvar kurulumunda demirbaş olarak nitelendirilen malzemelere harcanan para bir sefere mahsustur. Oysa ki

laboratuvarın uygulamalarla işlevsel tutulması çoğunlukla sürekli para harcanması gereken sarf malzemelerin temin edilebilmesine bağlıdır. Özellikle bu tez çalışmasına konu olan “montaj hattı laboratuvarı” gibi çok fazla sarf malzemenin gerektiği laboratuvarlar için maliyet önemli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu açıdan seçilecek ürünün hammadde açısından düşük bir maliyete sahip olması önemlidir. Montaj hattı laboratuvarında, üretim sürecinde ürün haline gelen hammaddenin, demontaj ile yeniden elde edilebilmesi bir seçenek olarak düşünülse de hammadde yıpranması, hammaddenin fiziksel ve/veya kimyasal değişikliğe uğramış olması, demonte sürecinin zorluğu ve hammaddeye verilebilecek zarar gibi faktörler, bu seçeneğin uygulanabilirliğini çoğunlukla mümkün kılmamaktadır.

- Seçilecek ürün laboratuvar ortamında öğrenciler tarafından üretilecektir. Bu nedenle belli düzeyde beceri gerekmele birlikte ürünün yapılabılır olması önemlidir. Yani ürün, hemen her öğrencinin montaj hattında çalışabilmesine olanak tanıyacak bir üretim sürecine sahip olmalıdır.
- Ürünün üretim süreci içerisinde; montaj hattı mantığına ters düşecek şekilde; beklemler oluşturacak süreç parçaları olmamalıdır. Örneğin bir malzemenin başka bir malzemeye yapıştırılarak tutturulması neticesinde yapıştırıcının veya verniklenen malzemenin bir sonraki işleme geçmesi için kurummasının beklenmesi gibi süreçleri içeren ürünler, kurulması düşünülen laboratuvar için uygun değildir. Ancak boyama ya da vernikleme gibi, gerçekleştirildikten sonra belli süre beklemeyi gerektiren işlemlerin montaj sürecinin son işlemi olmasında bir sakınca bulunmamaktadır.
- UTMH laboratuvarının oluşturulma amacına uygun olarak, görev zamanlarının stokastik olması, ürünün yapım aşamalarında yapılabılırlik özelliğinin yanında becerinin de ön planda tutulmasını gerektirmektedir. Görevler zorlaştırılarak ya da görev içeriğinde küçük

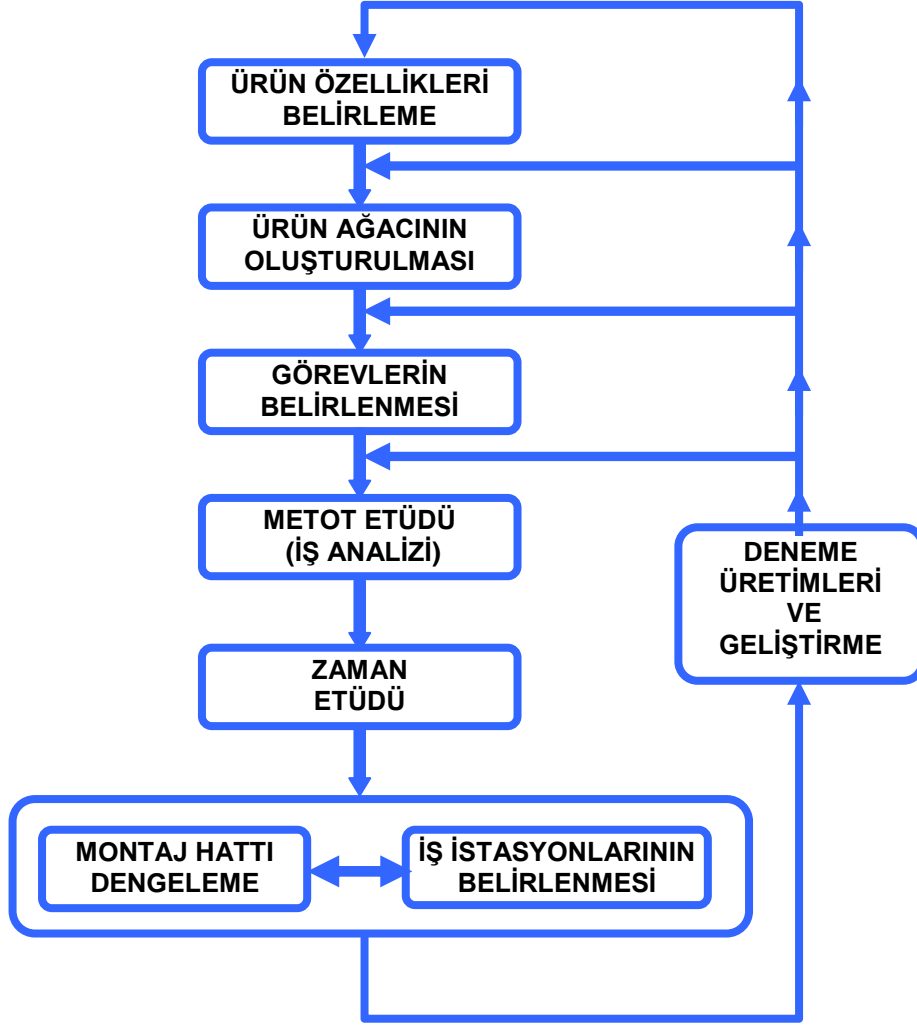
değişiklikler yapılarak stokastiklik artırılabilir. Böylelikle görev zamanları arasında bir farklılık izlenebilir.

Bütün bu faktörler göz önüne alınarak; el yapımı eşyaların sergilendiği fuar gezilerini de içeren; yaklaşık 4 aylık bir araştırma süresi sonunda, Şekil 4.1’de gösterilen “**klasik çıtalı uçurtma**”nın ürün olarak uygun olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.1. Ürün; Çıtalı Uçurtma (32)

Montaj hattı tipi ve ürün seçiminden sonra laboratuvar kurulum sürecinin sistematik olarak nasıl bir yol izlediği Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Laboratuvar ortamında yapılacak üretimin tam bir montaj hattı olması için uçurtma yapımında kullanılan malzemelerde ve üretim sürecinde küçük değişikliklere gidilmiştir.



Şekil 4.2. Çalışmada İzlendiği Montaj Hattı Kurulum Prosedürü

4.3. Ürün Özelliklerinin Belirlenmesi

Ürün ağacının oluşturulabilmesi ve üretim sürecinin tasarlanabilmesi için çitacı uçurtmanın hangi özelliklerde olacağı belirlenmiştir. İlk örnek olacağı için üç adet çitadan oluşan altıgen görümlü, şeffaf bir naylon ile kaplanan, kuyruk kısmı da kaplama naylonunun artık kısmından kesilerek oluşturulan bir uçurtma seçilmiştir. Kurulum prosedürü ile ilgili şemadan da anlaşılacağı

üzere deneme üretimleri esnasında ürün özelliklerinde, dolayısıyla onu izleyen faaliyetlerde değişikliklere gidilmiştir.

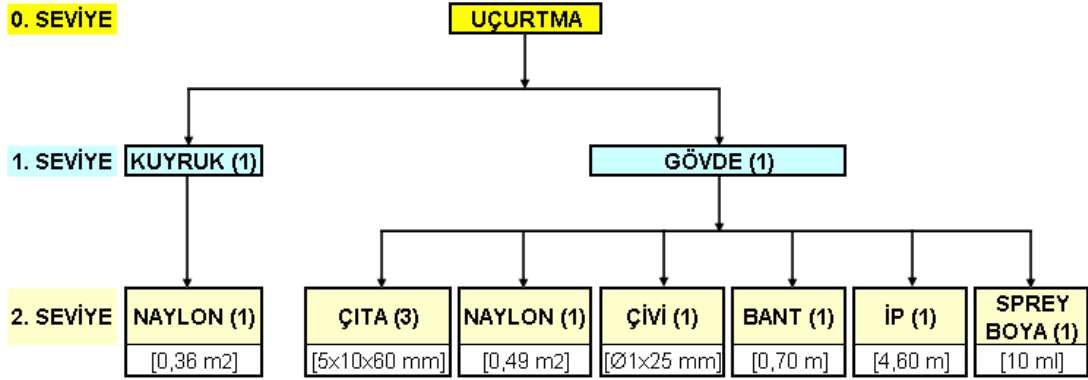
4.4. Ürün Ağacının Oluşturulması

Deneme üretimleri sonucunda karmaşık ve zor işler içeren bir uçurtma yerine, mümkün olan en basit yapım aşamalarına sahip bir çıtalı uçurtma tasarımı ortaya konulmuştur. Örneğin; uçurtmada çıtaların birbirlerine tutturulması için, klasik üretimde yapılan ipe çok defa dolayarak bağlamak yerine, tek bir adet küçük çivi ile birleştirmenin daha kolay olacağı sonucuna varılmıştır.

Aşağıdaki Çizelge 4.1’de, ürünü oluşturan hammaddeler ile üretim sürecinde gerekli alet ve teçhizatlar sıralanmıştır. Çizelgenin devamındaki Şekil 4.2’de, üretim süreci konusunda ipuçları da sağlayacak ürün ağacı gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Uçurtma Üretiminde Kullanılan Hammaddeler ve Teçhizatlar

| | Malzeme Adı | Gerekli Miktar (1 ürün için) | Özellik |
|---|--------------------|---|-----------------------------|
| Uçurtmayı Oluşturan Malzemeler | Tahta çıta | 3 Adet | 5x10x600 mm ölçüde |
| | Çivi | 1 Adet | Ø1 mm. ve 25 mm. uzunluk |
| | Naylon branda | 0,85 m ² | Kalınlık 200 mikron |
| | İp | 4,60 m. | Yorgan ipliği |
| | Şeffaf bant | 0,7 m. | 1 cm. genişlikte |
| | Sprey boya | 10 ml. | Renk opsiyonlu |
| Üretimde Kullanılan Teçhizat | Çekiç | 1 Adet | 300 gr. ağırlığında |
| | Yan keski | 1 Adet | Orta büyüklükte |
| | Makas | 2 Adet | 17 cm uzunlukta |



Şekil 4.3. Ürün Ağacı

Montaj hatlarında parçalar, ya tedarikçilerden geldiği haliyle doğrudan ya da işletmede bir takım operasyonlardan geçirdikten sonra montajlanmak üzere hazır hale geldikten sonra üretime sokulurlar. Bu durum montaj hattı üretim sisteminin gereğidir. Uçurtmada iki ayrı yerde kullanılan naylon parçalar önceden kesilerek hatta uygun yerlere stoklanacaktır.

4.5. Görevlerin Belirlenmesi

Uçurtmanın üretiminde yerine getirilmesi gereken faaliyetler, diğer bir ifadeyle (montaj hatları ile ilgili literatürde kullanılan) görevler aşağıdaki Çizelge 4.2’de belirtilmiştir. Ürünün ortaya çıkması için montaj hattı söz konusu olmadan yerine getirilmesi gereken faaliyetler (mevcut durum) EK-1’deki iş akış şemasında gösterilmiştir. Bu üretim montaj hattına uyarlandığında aynı faaliyetler daha basit, kolay yöntemlerle yerine getirilecektir.

Yarı mamul, hat boyunca ilgili operatör tarafından ilerletilmektedir. Bu ilerletme, iş analizinde tanımlanan “taşıma” faaliyeti kapsamında değil, “işlem” faaliyeti kapsamında değerlendirilmektedir. U hattın özelliğinden dolayı gerektiği yerlerde operatör herhangi bir parça taşıması yapmadan hattın bacakları arasında geçişler yaparak görevleri yerine getirecektir.

Çizelge 4.2. Görev Tanımları

| ÇİTALI UÇURTMA İÇİN İŞLEMLER (SIRALI GÖREVLER) | | |
|--|-----------------------------|--|
| Görev No | Görev Adı | Görev Tanımı |
| 1 | Çıta birleştirme | Üç çıtayı orta noktasından üst üste getirerek altıgen görünüm sağlayacak şekilde birleştirme |
| 2 | Çerçeve ipi sarımı | Çıta kanatları arası açı 60° olacak ve çıta uçlarını dolanacak şekilde çerçeve ipi sarımı |
| 3 | Naylon kaplama | Altıgen halinde sabitlenmiş iskelet üzerine naylon kaplama |
| 4 | Kuyruk ve denge ipi bağlama | Kuyruğun monte edileceği ip ile salma ipinin bağlanacağı denge ipini bağlama |
| 5 | Kuyruk takma | Hazır haldeki kuyruğu monte etme |
| 6 | Boyama* | Uçurtmayı istenen desende/renkte boyama |

*:Bu işlem ürünün işlevi açısından şart olmayıp kaldırılabilir

4.6. İş Analizi

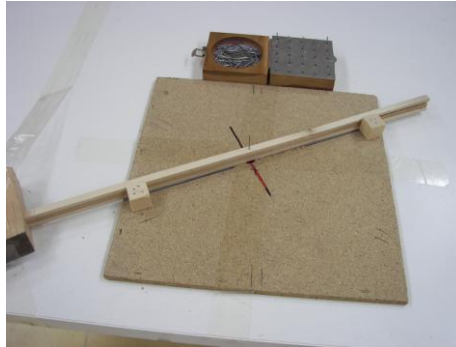
Fabrikalarda metot etüdünün iş analizi safhası; diğer safhalar gibi; bir kişi (analist) tarafından yapılır ve Türkiye’de bu işi genellikle endüstri mühendisleri yapmaktadır. Ancak bu tez çalışmasının amaçları göz önüne alındığında; öğrencilerin de içinde bulunduğu bir ekip tarafından; hem ürünün üretim aşamaları ortaya konmuş, hem deneme üretimleri yapılmış, hem de her bir görev eleştirel bir gözle sorgulanarak montaj hattına uygun şekilde geliştirilmiştir. Sonuçta; uçurtma üretim süreci için; iş analizinin çıktısı olan bir standart oluşmuştur. Bazı zamanlarda deneme üretimlerini izleyen öğrencilerden de, gelişime katkıda bulunacak fikirler gelmiştir. Bu standartların oluşmasında göz önüne alınan faktörler maddeler halinde (maddeler, ilgili gelişmeyi ifade eden başlıklarla verilecektir) ve ayrıntılıca

aşağıdaki bölümlerde incelenecektir. Yapılan analizin bir özeti olan, her bir görevin içindeki faaliyetleri açıklayarak muhtemel operatör değişimlerinde yerine getirilmesi gereken işlerin bir değişikliğe uğramadan **standart** bir şekilde devam etmesini sağlayan “**iş analiz formları**” EK-2’de verilmiştir.

4.6.1. Çıta Birleştirme (1 Nolu Görev)

Uçurtma üretiminde ilk olarak üç çıta üst üste getirilerek; uzunlamasına düşünüldüğünde; tam orta noktadan birbirine tutturulmaktadır. Bu işlemin montaj hattı üretim mantığına uygun yapılması için aşağıdaki metot geliştirme çalışmaları yapılmıştır.

- Çıta stok yeri: Çoğu kişinin sağ elini baskın olarak kullandığı gerçeğinden hareketle çıtalar burada çalışacak operatörün kullanacağı masanın sağ tarafına düzgün bir şekilde yığılmıştır.
- Çivi ile merkezleme: Montaj hattının avantajını üretim sisteminde kullanabilmek için görevlerin mümkün olduğunca kolay yapılabilir hale getirilmesi gerekir. Bunu sağlamak için; klasik uçurtma yapımında eskiden beri alışlagelmiş; çıtaları orta yerinden ipe sıkıca sarmak yerine, birleştirmenin küçük bir çivi ile yapılması sağlanmış ve Şekil 4.4’de gösterilmiştir. Böylelikle bir kişinin tek başına yapması çok zor olan bir görev pratik hale getirilmiştir.



Şekil 4.4. Çıtaların Çivi İle Merkezlenmesi

- Çivi haznesi: Çıtaların çatlamaması için çapı 1 mm olan küçük çiviler seçilmiştir. Bu ölçüde bir çivinin masa veya masa gibi düz bir yerden alınmasının zorluğu ve çivilerin masa üzerinde dağılması olasılığı dikkate alınarak, derinliği fazla olmayan çukur bir hazne kullanılmıştır. Şekil 4.5'de gösterilen bu teçhizatın, 25 çevrimlik ihtiyacı karşılayacak çivinin kullanıma hazır şekilde yerleştirilebileceği delikli bir kapağı bulunmaktadır. Bu kapak sayesinde ortalama 6,5 sn. olan çivi alma süresi, neredeyse yarı yarıya azalarak ortalama 3,5 sn.'ye düşmüştür. Zaman etüdünde seyrek eleman olarak adlandırılan 25 çevrimde bir bu delikli kapağa çivilerin konumlandırılması faaliyeti yaklaşık 40-50 sn. aralığında sürmektedir ve bu süre de alışkanlık etkisiyle rahatlıkla geliştirilebilecek bir süredir.

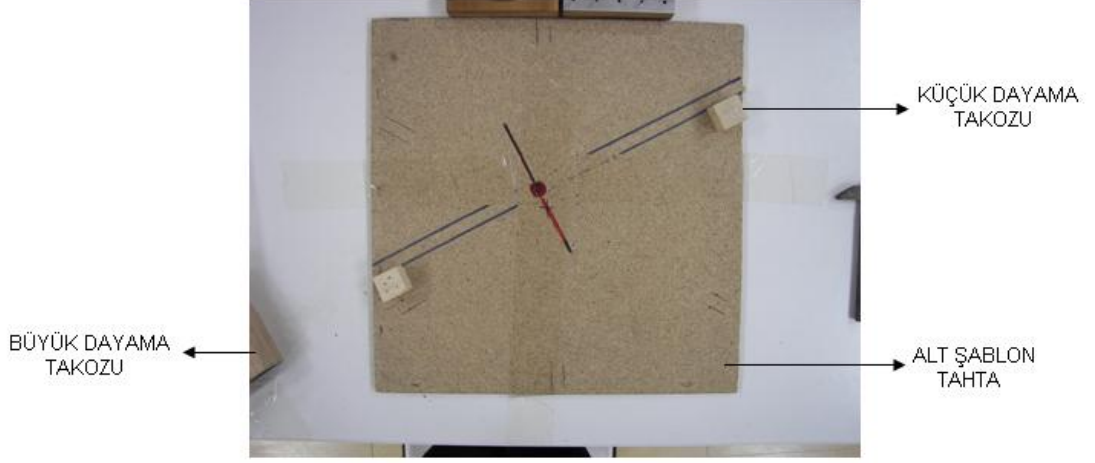


Şekil 4.5. Çivi Haznesi

- Çivi kesimi: Yapılan piyasa araştırmasına göre, çivilerin çap ölçüsüyle doğru orantılı şekilde uzunluğunun arttığı belirlenmiştir. Dolayısıyla üretim süreci açısından piyasada ideal uzunlukta çivi bulmak neredeyse imkansızdır. Üst üste konularak çivi ile birleştirilen çıtaların yüksekliği 15 mm'yi geçemez. Uzunluğu 25 mm olan çivi, alttaki çıtadan 10 mm kadar dışarı çıkıp operatörler ve nihai müşteri için yaralanma riski oluşturmaktadır. Bunu önlemek için üç alternatif düşünülmüştür. Birincisi; özel sipariş vererek malzeme tedarik etmektir ki, ilave maliyet göz önüne alınarak bundan vazgeçilmiştir. İkincisi;

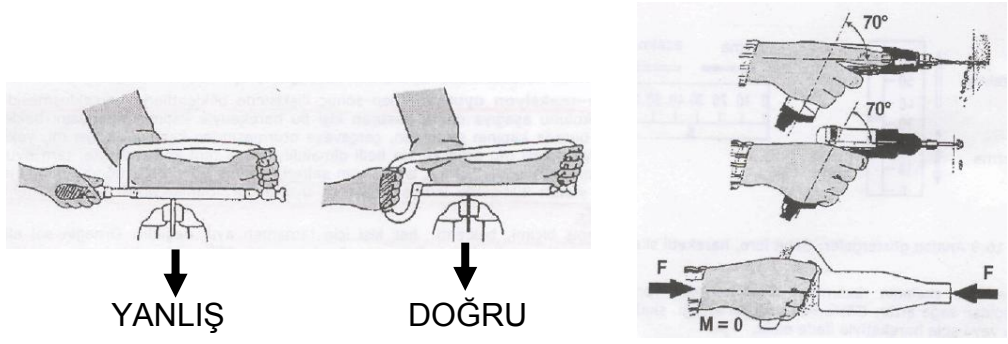
çakılmadan önce çivilerin istenen uzunlukta kesilmesidir ki; hem ölçüm zorluğundan kaynaklanan bu hazırlık aşamasının yükü, hem de çivinin ucundaki sivriliğin kesimle birlikte ortadan kalkmasıyla çakma esnasında yaşanacak zorluk düşünülerek bu alternatiften de vazgeçilmiştir. Geriye kalan son alternatif; çakmadan sonra çivinin kesilmesidir ki, gözlemler neticesinde en uygun metodun bu olduğu sonucuna varılmıştır.

- Çivileme şablonu: Birleştirmenin çivi vasıtasıyla yapılacağı bu görevde çıtaların aynı hizada birbiri üstüne getirilebilmesi, aynı zamanda çıtaların enlemesine ve boylamasına tam orta noktadan çivilenmesi önemlidir. Yani çivilenmek üzere üst üste getirilen üç çita, tam yukarıdan bakıldığında tek çita görünümü vermeli, birbirinden konum sapması olmamalı ve tam orta noktadan çivilenmelidir. Bu, düzgün bir altıgen şekil elde edebilmek ve birleştirmenin sağlam olması açısından çok önemlidir. Aşağıdaki Şekil 4.6'dan da anlaşılacağı üzere bahsedilen kriterleri sağlamak amacıyla; boylamasına orta noktayı tespit etmek için üzeri kalemle işaretlenmiş “**alt şablon tahta**”, çıtaları uç kısımdan hizalamak amacıyla “**büyük dayama takozu**”, çıtaları yan(uzun) taraftan hizalamak ve aynı zamanda çalışanın çıtaları tek elle tutarken kaymasını önlemek amaçlarıyla “**küçük dayama takozları**” kullanılmıştır. Çalışanın etkin el olarak sağ elini kullandığı düşüncesiyle dikdörtgen prizma şeklinde olan büyük dayama takozu, çıtaların üzerine yerleştirildiği şablon tahtanın soluna gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Çalışanın çiviye tutma ve çekiç kullanımını etkin yapabilmesi, yani ellerin hareketlerinin takozlar tarafından engellenmemesi için de yan dayama takozları mümkün olduğunca küçük tutulmuştur.



Şekil 4.6. Çivileme Şablonu

- Çivi oyuntusu: Çivi çakıldığında çivileme şablonu tahtasına saplandığı, bu yüzden çerçevenin yerinden çok zor kaldırıldığı gözlenmiştir. Bu problemi çözmek için, çivinin denk geldiği şablonun orta noktasına küçük bir oyuk açılmıştır. Oyuntu, Şekil 4.6'da şablonun tam ortasında kırmızı renkte görülmektedir.
- Açılı yerleşim: El ile gerçekleştirilen işlerde, çalışma esnasında bileğin bükülmemesi gerekir. Böylece bileğe gelen momentlerin eklemeye zarar verme olasılığı, bükülmüş olarak kullanılan bileğe göre azaltılmış olur. Bu durumu açıklayan bir örnek, Şekil 4.7a'da verilmiştir (15). İş merkezinde çalışan operatörün, çivi çakımı esnasında kolunun aldığı pozisyon doğrultusuna bakıldığında, çalışma masasının kendisine yakın duran uzun tarafı ile yaklaşık 30° - 40° arasında bir açı ile çalıştığı gözlenmiştir. Bahsedilen olumsuzluğu bertaraf etmek için büyük dayama takozu, çalışma masasının uzun kenarı ile yaklaşık 30° açı yapacak şekilde yerleştirilmiştir. Böylece; çalışanın çekici tuttuğu sağ el bileğinin bükülmeden, ön kol eksenini ile aynı doğrultuda çalışabilmesine imkan tanınmıştır. Bahsedilen konu, ergonomi bilimi açısından önem arz ettiğinden daha rahat anlaşılması için Şekil 4.7b'de, iş merkezinin bir bütün olarak resmi de Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.7a. El Bileğinin Yanlış ve Doğru Konumları



YANLIŞ



DOĞRU

Şekil 4.7b. Çivi Çakmada El Bileğinin Konumları



Şekil 4.8. “Çita Birleştirme” İş Merkezi

4.6.2. Çerçeve İpi Sarımı (2 Nolu Görev)

Çıtalar birbirine tutturulduktan sonra altıgen bir form oluşacak şekilde çita uçlarından ipe sarılarak, bir sonraki aşama olan naylon kaplama işlemine hazır hale getirilmesi gerekmektedir. Bu görev için sağlanan gelişmeler aşağıdadır.

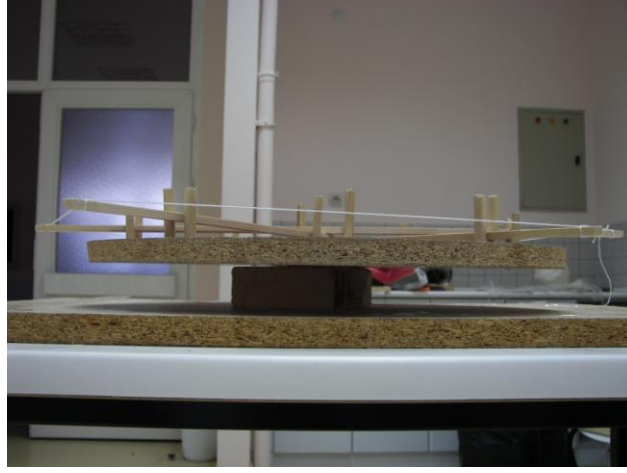
- Sabitleme düzeneği: Bu görevi bir kişinin yerine getirebilmesi için, çita kanatlarının arası açının 60° olacak şekilde bir yere sabitlenmesi gerekir. İşlemin kısa sürede bitirilmesi için bunun gerekli olduğu görülmüştür. Düzgün bir altıgen şekil elde edebilmek ve bu altıgen formu hareketsiz tutabilmek için Şekil 4.9'da görülen "sabitleme düzeneği" adı verilen bir şablon oluşturulmuştur.



Şekil 4.9. Sabitleme Düzeneği

- Döner altlık: Operatörün, yuvarlak olan sabitleme düzeneğini kullanırken, sarım esnasında az da olsa sağa-sola-öne eğilmek zorunda kaldığı ve ipin, düzenek üzerinde bulunan küçük dikmelere takıldığı ve süreyi uzattığı gözlenmiştir. Bu sorunları giderebilmek için, sabitleme düzeneği altına, çalışma masasına sabitlenmiş bir takoz yerleştirilerek düzenek bu takozla merkez noktasından büyük bir çivi ile tutturulmuştur. Böylelikle operatörün hem eğilmeden çalışmasını, hem

ipin dolaşmadan sarılmasını, hem kolay sarım yapılmasını sağlayacak bir iş merkezi oluşturulmuştur. Resimler daha açıklayıcı olduğundan bu düzeneğin resmi de Şekil 4.10'da görülmektedir.



Şekil 4.10. Döner Aitlik

- Makara tutma aparatı: İp makarasının masadan düşmesini önlemek ve ipin operatörü engellemeden makaradan açılmasını sağlamak için Şekil 4.11'de gösterilen bir aparat geliştirilmiştir.



Şekil 4.11. Makara Tutma Aparatı

- Uç kanalları: İp sarımı esnasında ipin sarıldığı yerden kayarak altıgen formun bozulduğu gözlenmiştir. Uçurtmanın düzgün altıgen formda olması kalite açısından çok önemlidir. İş yükünü azaltmak için çitanın geniş yüzeylerine; çita ucundan 1 cm içeride olacak şekilde; kanallar oluşturulmuştur. Şekil 4.12’de görülen bu kanallar, kaplama naylonu kesimi gibi, çita montaj hattına girmeden önce hazırlanmaktadır.



Şekil 4.12. Uç Kanalları

“Çerçeve ipi sarımı” iş merkezinin resmi, Şekil 4.13’de görülmektedir. İş analiz formlarında da açıklanacağı üzere, iş esnasında dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan birisini belirtmekte fayda vardır. Sağ eli baskın çalışan bir operatör düşünülerek makara tutma aparatı, operatörün sol tarafına yerleştirilmiştir. Böylece kolun; içe rotasyon hareketine göre daha sınırlı hareket kabiliyetine sahip; dışa rotasyonu engellenerek ergonomik açıdan zorlamalar giderilmiştir. Ayrıca sağ el ip sarımı yaparken, sol elin sabitleme düzeneğini yavaş yavaş saat yönüne ters yönde çevirerek ip sarımının kolaylaşması sağlanmıştır.



Şekil 4.13. “Çerçeve İpi Sarımı” İş Merkezi

4.6.3. Naylon Kaplama (3 Nolu Görev)

Altıgen formdaki çitalı çerçeveden bir miktar büyük olacak şekilde ve yine altıgen formda daha önceden kesilerek hazır edilen naylon, çerçeve iplerinden taşan fazlalık kısmı katlanarak bantla yapıştırılmaktadır.

- Bant düzeneği: Bu görevde çalışanın bir eli katlanmış naylonu açılmaması için sabit tutarken diğer eli bandı kopararak yapıştırmaktadır. Dolayısıyla bant tek elle açılabilmeli, koparılabilmeli ve yapıştırılabilmelidir. Bunu sağlamak amacıyla masa üzerine sabitlenen bant makinesinden yararlanılmıştır. Operatör kıvrıldığı naylon kenarını sol el ile sabit tutarken, bandı koparmak için hareket eden sağ kolunun yaptığı açığa uygun (bileğin mümkün olduğu kadar düz durmasını sağlayacak) şekilde bant makinesi çalışma masasına sabitlenmiştir. Ayrıca operatör bir sonraki göreve hazırlık mahiyetinde denge ipinin geçirilmesi gereken deliği bir çivi vasıtasıyla delmektedir. İş merkezinin resmi Şekil 4.14’de görülmektedir.



Şekil 4.14. "Naylon Kaplama" İş Merkezi

4.6.4. Kuyruk ve Denge İpi Bağlama (4 Nolu Görev)

Deneme üretimleri göstermiştir ki, sürecin en fazla beceri gerektiren ve en fazla süre alan kısmı burasıdır. Çalışma masası üzerinde operatöre işi sırasında yardımcı olabilecek bir düzenek bulunmamaktadır.

- Makara tutma aparatı: Bu aşamada kullanılan ipin kolayca kontrol altında tutulmasını ve kullanılmasını sağlayacak "**makara tutma aparatı**"; 2 nolu görevdekinin aynısı olmak üzere; bu iş merkezine de sabitlenmiştir. İş merkezinin resmi Şekil 4.15'de görülmektedir.



Şekil 4.15. "Kuyruk ve Denge İpi Bağlama" İş Merkezi

4.6.5. Kuyruk Takma (5 Nolu Görev)

Montaj hattına girmeden, tedarikçiden alındıktan sonra sürece dahil olması için, önceden hazırlanması gereken ikinci yarı mamul buradadır. Kuyruk kısmı, belli şekilde kesilerek iş merkezinin uygun bir yerine stoklanmıştır. Kuyruk ipi bağlama işleminde fazlalık olarak bırakılan ipe bu kuyruk monte edilmekte ve (salma ipi hariç) işlevsel olarak tamamlanmış olan ürün bir sonraki iş merkezine gönderilmektedir. İş merkezinin resmi Şekil 4.16'da görülmektedir.



Şekil 4.16. "Kuyruk Takma" İş Merkezi

4.6.6. Boyama (6 Nolu Görev)

Son iş merkezi olan bu aşamada uçurtmanın gövde kısmı istenilen renk, desen veya yazı seçilerek spreysel boya ile boyanmaktadır.

- Boyama şablonu: Ürün için yapılacak boyamanın, keskin ve düz hatlara sahip olan bir yazı olması düşünülmüş, yazıyı kolayca yazabilmek için ise şablon tasarlanmıştır. İş merkezinin resmi Şekil 4.17'de görülmektedir.



Şekil 4.17. “Boyama” İş Merkezi

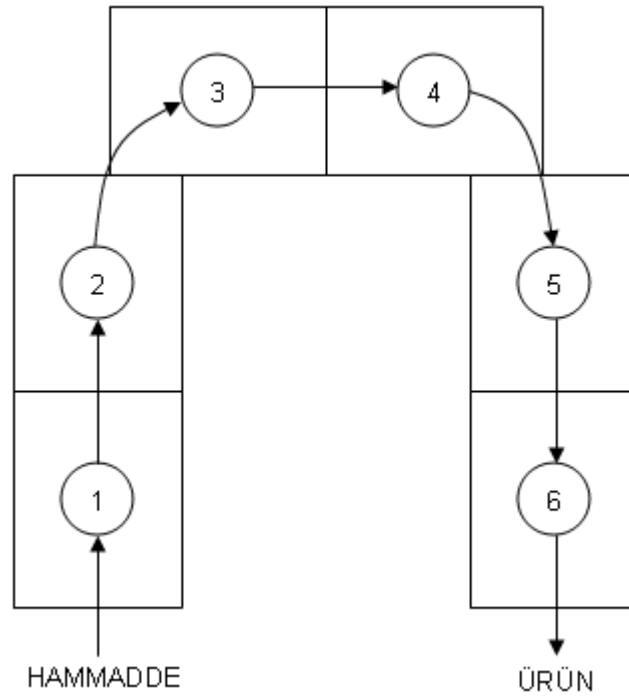
4.7. Genel Sorunlar ve Çözüm Önerileri

Uçurtma üretimindeki tüm görevler için çözülmesi gereken bir problem, çalışma masalarının yüksekliğidir. Ellerin aksiyon hacmi gözetilerek her bir çalışan için; sarkık kol konumunda iken; dirsek yüksekliğinin masa yüksekliğinden 100 mm yukarıda olması kriter alınmıştır (15). Ergonomik açıdan masa yüksekliği düzenlemesinde ideal olan durum, yüksekliğin her çalışana göre ayarlanmasıdır. Her operatöre uygun yüksekliği sağlamak için parçalar halinde yükseltme takozları kullanılmıştır. Farklı boyda kişiler için takoz ekleme ya da çıkarmayla ideal çalışma yüksekliği sağlanmaya çalışılmıştır. Böylelikle eğilme ya da kolları gerekenden yüksekte tutmayla ortaya çıkacak rahatsızlıklar ve yorulmalar engellenmiştir. Ayrıca ürün bitirildikten sonra stoklanacağı yer için, ucuza mal olacak bir depolama merkezinin yapılması düşünülmektedir.

Üretimde yöntemlerin tanımlanması kadar, bu yöntemleri gerçekleştirirken kullanılan hammadde, ara parça, alet ve teçhizatın çalışma masaları üzerindeki konumları da çok önemlidir. Birinci görev için bir örnek verilecek olursa; çita birleştirmenin ip yerine çivi ile yapılması işi kolaylaştıran bir

yöntem değişikliğidir. Bu yöntemi uygulamak için kullanılan çivilerin bulunduğu çivi kutusunun veya çiviye çakmak için kullanılan çekicinin masa üzerinde nerelerde konumlandırılacağına da net olarak tespit edilmesi gerekir. Bu hem hareket ekonomisi prensipleri açısından, hem de yöntemin standartlaşması açısından önem arz eder. Montaj masalarında operatörlerin uygulayacağı üretim yöntemleri yukarıda açıklanmıştır. Bir takım girdilerin, şablonların veya kalıpların yerleri, yukarıdaki verilen resimlerde belli olsa da bunun standardını kayıt altına almak için çizilmesi gerekir.

Muhtemel karşıya geçişlerin en kısa yoldan yapılmasını sağlayacak, laboratuvar mekanının boyutunu göz önüne alan ve şekil itibarıyla simetrik bir yapı sağlayacak montaj hattı Şekil 4.18’de verilmiştir. Her bir görev için geliştirilen metodun özetini gösteren Çizelge 4.3 ile birlikte Şekil 4.18 yan yana getirildiğinde yapılan iş analizinin kapsamı daha rahat anlaşılacaktır. Montaj hattındaki bütün malzemelerin yerlerini gösteren “akış diyagramı”, EK-3’de verilmiştir.



Şekil 4.18a. U Hattın Konumlandırılması



Şekil 4.18b. U Hattın Konumlandırılması

Çizelge 4.3. Metot Geliştirme Özeti

| GÖREV NO | GÖREV ADI | GELİŞTİRİLEN METOT |
|----------|-----------------------------|---|
| 1 | Çıta birleştirme | 1.1 Çıta stok yeri 1.2 Çivi ile merkezleme 1.3 Çivi haznesi 1.4 Çivi kesimi 1.5 Çivileme şablonu 1.6 Çivi oyuntusu 1.7 Açılı yerleşim |
| 2 | Çerçeve ipi sarımı | 2.1 Sabitleme düzeneği 2.2 Döner altlık 2.3 Makara tutma aparatı 2.4 Uç kanalları 2.5 Makara konumlandırma |
| 3 | Naylon kaplama | 3.1 Bant düzeneği |
| 4 | Kuyruk ve denge ipi bağlama | 4.1 Makara tutma aparatı |
| 5 | Kuyruk takma | - |
| 6 | Boyama | 6.1 Boyama şablonu |

4.8. Zaman Etüdü Çalışmaları

Görev standartları oluştuğuna ve U hattın yerleşimi yapıldığına göre süre ölçümlerine geçilmesi gerekmektedir. Çıtalı uçurtma için tüm görevler belirlenip iş analizi de yapıldıktan sonra her görev için zaman ölçümlerine geçilmiştir. Her bir görev, bir iş elemanı olarak belirlenmiştir. İş elemanı, süresi bölümlenemeyen, yani tek zaman dilimi olarak ölçülen iş parçasını ifade eder. Bir iş elemanının toplam zamanı; EK-2'de verilen ilgili iş elemanı için verilen faaliyetlerin yerine getirilmesi için gerekli zamanı kapsamaktadır. Zamanların belirlenmesinde kronometrenin durdurulacağı anı ifade eden "ayrım noktası" önemlidir. Bu nokta dikkatle belirlenmelidir. Çünkü gözlem yapan kişi, durdurma anını göz ve kulak duyusuyla rahatça fark edebilmelidir. Her bir görev için belirlenen ayrım noktaları Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Görev Ayrım Noktaları

| GÖREV NO | AYRIM NOKTASI (GÖREV BİTME ANI) | AYRIM NOKTASI TANIMI |
|-----------------|--|--|
| 1 | Yarı mamulü bırakma | Çıta birleştirmenin bitirilip çerçeve ipi sarımı için ara stok yerine bırakma anındaki ses |
| 2 | Yarı mamulü bırakma | Çerçeve ipi sarımı bitirilip naylon kaplanmak için ara stok yerine bırakma anındaki ses |
| 3 | Yarı mamulü bırakma | Naylon kaplama bitirilip kuyruk-denge ipi bağlamak için ara stok yerine bırakma anındaki ses |
| 4 | Yarı mamulü bırakma | Kuyruk-denge ipi bağlama bitirilip kuyruk bağlama için ara stok yerine bırakma anındaki ses |
| 5 | Yarı mamulü bırakma | Kuyruk bağlanıp boyama için ara stok yerine bırakma anındaki ses |
| 6 | Ürünü stoklama merkezine bırakma | Boyama bitirilip ürünü stok merkezine bırakma anındaki ses |

Kronometre kullanılarak ve normal tempo değeri varsayımıyla alınan ölçümler saniye olarak EK-4'de verilmiştir. Bütün çevrimler için tempo, normal tempo değeri olan 100 kabul edildiği için ilgili tempo değerleri boş bırakılmıştır. Birinci, ikinci ve altıncı iş elemanları için 15' şer gözlem, üçüncü iş elemanı için 12 gözlem, dördüncü iş elemanı için 13 gözlem ve beşinci iş elemanı için 10 gözlem alınmıştır. Bunun sebebi, kronometre ile zaman ölçümü alan kişilerin gözlemi kaçırmamasından veya sağlıklı kaydedemediğini düşünerek kayıtlara geçirmemesinden kaynaklanmış olabilir. Görevlerin ortalama değerleri aşağıdaki Çizelge 4.5'dedir. Buradaki 280 saniye değeri, üretim sürecinin tümü (yürümler hariç) bir operatör tarafından gerçekleştirildiğinde oluşması beklenen değerdir.

Çizelge 4.5. Görevlerin Ortalama Süreleri

| GÖREV | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | TOPLAM |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|--------|
| SÜRE ORT. (SANİYE) | 20,3 | 60,7 | 62,8 | 99,2 | 24,3 | 12,6 | 280,0 |

Alınan ölçümlerin yeterli sayıda olduğunu test etmek için (gözlem sayıları 30'dan küçük olduğundan) aşağıda formülasyonu verilen Student t dağılımı kullanılmıştır (15). Buna göre her bir göreve ait (%90 güven seviyesi ve % 5 hata payı ile) yeterli gözlem sayıları bulunmuş ve sonuçlar Çizelge 4.6' da gösterilmiştir. Beşinci görev hariç tüm gözlemler yeterli sayıdadır. Formüle göre bu görev için 15 olması gereken gözlem sayısı gerçekte 10 alınmıştır.

Formüldeki N, alınması gereken gözlem sayısını; n, alınan gözlem sayısını; $t_{\alpha/2, n-1}$, serbestlik derecesine göre t değerini; X_i , ilgili görev için gözlem değerini; 0,05 katsayısı, istenilen hata payını ifade etmektedir.

$$\sqrt{N} = \frac{t_{\alpha/2, n-1} \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}{n} \right]}}{(0.05) \sum_{i=1}^n x_i}$$

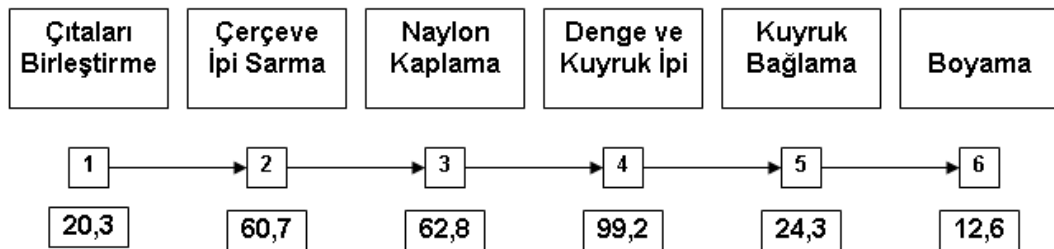
Çizelge 4.6. Gözlem Sayısı Yeterliliği

| GÖREV NO | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------------------------|----|----|----|----|----|----|
| GÖZLEM SAY. | 15 | 15 | 12 | 13 | 10 | 15 |
| GÖZLEM SAYISI YETERLİLİĞİ | 10 | 14 | 8 | 2 | 15 | 5 |

4.9. Montaj Hattı Dengeleme ve İş İstasyonlarının Belirlenmesi

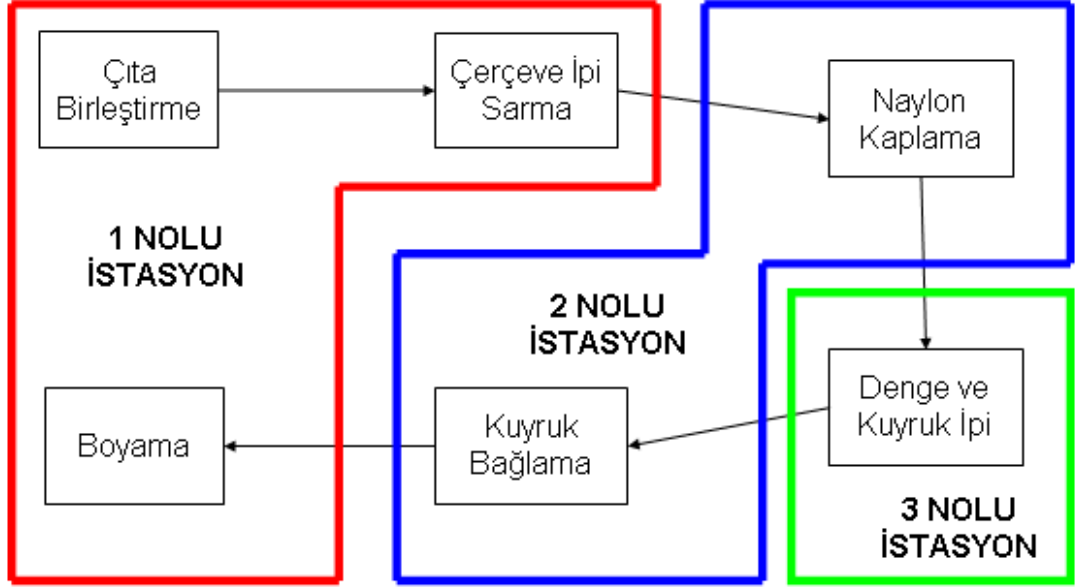
İş istasyonlarını belirlemek maksadıyla en uzun çevrim zamanına sahip olan “kuyruk ve denge ipi bağlama” görevi esas alınmıştır. Toplamda bu zamana yakın çıkan görevler birleştirilmeli ve iş istasyonları oluşturulmalıdır. Hat boyunca her bir görevin ortalama süresi ve hangi görev(ler)in bir iş istasyonuna atanacağı aşağıdaki şekilden daha rahat görülebilir. Yürüme süreleri montaj hattı dengeleme problemlerinde genellikle göz ardı edilmektedir. Burada da bu eğilim geçerlidir.

GÖREV SIRASINA GÖRE DİZİLMİŞ HAT



Şekil 4.19. Akış Hattı Boyunca Görev Zamanları (saniye)

Ortalama süre olarak birinci, ikinci ve altıncı görevlerin toplamı 93,6 saniye; üçüncü ve beşinci görevlerin toplamı 87,1 saniyedir. Buna göre bir, iki ve altıncı görevler bir iş istasyonu; üç ve beşinci görevler ayrı bir iş istasyonu; dördüncü görev de tek başına bir iş istasyonu olarak dengelenmiş hattın şekli aşağıdadır. Her bir istasyonda bir operatör çalışacaktır.



Şekil 4.20. İş İstasyonları

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Endüstri mühendisliği bölümünün lisans eğitiminde kullanılan laboratuvarları, kullanım amacına göre iki kategoriye ayırmak mümkündür: Yöneylem araştırması, uzman sistemler, tesis planlama, üretim planlama gibi derslerin uygulaması için kullanılan paket programların kurulu olduğu “bilgisayar laboratuvarları(yazılım laboratuvarları)”; iş etüdü, ergonomi, kalite kontrol, iş güvenliği gibi derslerin uygulaması için kullanılan alet, teçhizat ve donatının yer aldığı “uygulama laboratuvarları”. Ayrıca uygulama laboratuvarlarında, ilk kategoride sayılan üretim planlama gibi derslerle ilgili de uygulama yapılabilmektedir.

Tez çalışması sonucunda ikinci kategoride yer alan bir uygulama laboratuvarının sistematik bir şekilde tasarımı ve kurulumu gerçekleştirilmiştir, deneme üretimleri yapılmıştır. Laboratuvar, U tipi montaj hattı olarak kurulduğundan dolayı başta üretim planlama, iş etüdü ve ergonomi dersleri olmak üzere birçok dersin uygulamasının rahatça yapılabileceği bir ortam oluşturmaktadır. Hatta kullanılan üründen dolayı kurulum masrafı, hammadde birim maliyetinden dolayı da işletim masrafları çok düşüktür. Bu ürün, montaj hattı üretim tipine uygun olarak seçilebilecek ürünler konusunda bir fikir vermektedir. Hammaddesi atık tahtadan üretilebilecek şekilde küçük yapıda olan, yapıştırma gibi beklemeye neden olan işlemlerin olmadığı ürünler böyle bir laboratuvar için kullanılabilir ürünlerdir.

Laboratuvarın bir başka özelliği de, stokastik görev zamanlı U tipi montaj hatlarının dengelenmesi konusunda çalışma yapacak araştırmacılara uygun bir ortam oluşturmaktır. Bu konuda fabrika ortamlarında veri alınmasının zorluğu göz önüne alındığında, hem veri alımı bakımından, hem de hat üzerinde yapılabilecek değişkenliklerin kolay olması, montaj hattında stokastiklik üzerinde yapılan çalışmalarda avantajlar sağlayacağı düşünülmektedir. Bazı görevler zorlaştırılarak, karmaşılaştırılarak veya yeni görevler eklenerek (kalite kontrol gibi) stokastiklik tetiklenebilir. Çünkü

görevler zorlaştıkça varyansın ihmal edilemez hale geldiği ve dikkate alınması gerektiği, genel kabul gören bir görüştür.

Laboratuar kurulum çalışması 2009 yılında Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Koordinasyon Birimine sunulan proje kapsamında desteklenmiştir ve proje hala devam etmektedir. Bu projede 1.000 adet uçurtma üretilecek şekilde malzeme ve hizmet alımı yapılmaktadır. Araştırmalara ışık tutacak istatistiksel veriler elde edebilmek için farklı tiplerde 250'şer adet 4 parti uçurtma üretimi yapılması hedeflenmektedir. Yapılması hedeflenen çalışmalardan birisi çok fazla sayıda gözlem alarak, görevleri karmaşıktırarak görev zamanları arasında değişkenliğin çevrim zamanını etkileme derecesinin hesaplanmasıdır.

KAYNAKLAR

- (1) Serbest, A. H., Mühendislik Fakülteleri Altyapısı ve Arge Kaynakları, Türkiye I. Ulusal Mühendislik Kongresi, İzmir, 2004.
- (2) Barutçugil, İ. S., Üretim Sistemi ve Yönetim Teknikleri, Uludağ Üniversitesi Yayınları, Y. No:3-054-0163, İkinci Baskı, Bursa, 1988.
- (3) Amstead, B. H., Ostwald P. F., Begeman M. L., Manufacturing Processes, John Wiley&Sons, Eighth Edition, Canada, 1987.
- (4) Acar, N., Üretim Planlaması Yöntem ve Uygulamaları, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, Yayın No:280, Yedinci Baskı, Ankara, 2000.
- (5) Dünyayı Değiştiren Makine, Otomotiv Sanayi Derneği, 3. Baskı, İstanbul.
- (6) Rekiek, B., Delchambre, A., Assembly Line Design, Springer Series in Advanced Manufacturing, Germany, 2006.
- (7) Luggen, W. W., Flexible Manufacturing Cells and Systems, Prentice Hall International Editions, New Jersey, 1991.
- (8) Okur, A. S., B., Yalın Üretim: 2000'li Yıllara Doğru Türkiye Sanayii İçin Yapılanma Modeli, Söz Yayın, İstanbul, 1997.
- (9) Miltenburg, G. J., Wijngaard, J., The U-Line Balancing Problem, Management Science, Vol. 40: 1378-1388, 1994.
- (10) Scholl, A., Balancing and Sequencing of Assembly Lines, Physica Verlag, Heidelberg, New York, 1999.

- (11) H. Gökçen, Karışık Modelli Deterministik Montaj Hattı Dengeleme Problemleri İçin Yeni Modeller, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1994.
- (12) Acar, N., Kesikli Seri Üretim Sistemlerinde Planlama ve Kontrol Çalışmaları, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, Yayın No:309, Üçüncü Baskı, Ankara, 1991.
- (13) H. Çerçioğlu, Stokastik Paralel Montaj Hattı Dengeleme Problemi İçin Yeni Modeller, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2009.
- (14) Baybars, İ., A Survey of Exact Algorithms for the Simple Assembly Line Balancing Problem, Management Science, Vol. 32: 908-932, 1986.
- (15) Özkul, O. Ş., Yılmaz, F., İş Etüdü Ders Notları, Kırıkkale Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, 2007.
- (16) Babalık, F. C., Mühendisler İçin Ergonomi İşbilim, Nobel Yayınları, Birinci Baskı, Ankara, 2005.
- (17) Kanawaty, G., Work Study (Çeviri:Akal, Z., "İş Etüdü"), Milli Prodüktivite Yayınları/ILO:29, Altıncı Basım, Ankara, 2004.
- (18) Salveson, M. E., The Assembly Line Balancing Problem, The Journal of Industrial Engineering, 6(3):18-25, 1955.
- (19) Hall R. W., Zero Inventories, Irwin, Illinois, 1983.
- (20) Monden, Y., Toyota Production System, Industrial Engineering and Management Press, Institute of Industrial Engineers, 1983.

- (21) Miltenburg G. J., Wijngaard J., The U-Line Balancing Problem, Management Science, Vol. 40, No 10, 1378-1388, 1994.
- (22) Miltenburg, G. J., Balancing U-lines in a Multiple U-line Facility, European Journal of Operational Research, Vol. 109, 1-23, 1998.
- (23) Scholl, A., Klein, R., ULINO: Optimally Balancing U-shaped JIT Assembly Lines, International Journal of Production Research, Vol. 37, No 4, 721-736, 1999.
- (24) Nakade, K., Ohno, K., Shantikumar J. G., Bounds and Approximations for Cycle Times of a U-shaped Production Line, Operations Research Letters, Vol. 21, 191-200, 1997.
- (25) Nakade, K., Ohno, K., An Optimal Worker Allocation Problem for a U-shaped Production Line, International Journal of Production Economics, Vol. 60-61, 353-358, 1999.
- (26) Cheng, C. H., Miltenburg, J., Motwani, J., Effect of Straight and U-shaped Lines on Quality, IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 47, No 3, 321-334, 2000.
- (27) Ağpak, K., Gökçen, H., U Tipi Montaj Hatlarının Dengelenmesi İçin Bir Sezgisel Metot: Düzenlenmiş Comsoal (U Comsoal), Endüstri Mühendisliği Dergisi, Cilt 12, Sayı 2, 23-32, 2001.
- (28) Ağpak, K., Gökçen, H., Basit U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemine Bulanık Programlama Yaklaşımı, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt 4, Sayı 2, 29-40, 2002.
- (29) E. Özgörmüş, Ergonomik Koşullar Altında Montaj Hattı Dengeleme, Pamukkale Üni., Fen Bil. Ens. Endüstri Müh. Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Denizli, 2007.

- (30) N. D. Yenigün, Bir Montaj Masasında İş Akışının Ergonomik Analizi ve İyileştirme Önerileri, Uludağ Üni. Fen Bil. Ens. Makine Müh. Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Bursa, 2006.
- (31) Feisel, L. D., Rosa, A. J., The Role of the Laboratory in Undergraduate Engineering Education, Journal of Engineering Education, 121-130, 2005.
- (32) <http://hsnyilmaz.wordpress.com/2007/05/07/altigen-ucurtma-yapimi/>
(Erişim Tarihi:2 Ağustos 2009).

EK-1: İş Akış Şeması (Malzeme Tipi)

| İŞ AKIŞ ŞEMASI | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--------|----------|------|-----|----------|---|---|---|---|--|--|
| FAALİYET | MEVCUT | ÖNERİLEN | FARK | | | | | | | | |
| İşlem | 6 | | | | | | | | | | |
| Kontrol | - | | | | | | | | | | |
| Taşıma | - | | | | | | | | | | |
| Gecikme | - | | | | | | | | | | |
| Depolama | - | | | | | | | | | | |
| Mesafe | | | | | | | | | | | |
| Süre | | | | | | | | | | | |
| FAALİYET TANIMI | MIKTAR | MESAFE | SÜRE | NOT | ○ | ⇒ | □ | D | ▽ | | |
| Çıtalarn birleştirilmesi | * | | | | * | | | | | | |
| Çerçeve ipinin sarılması | * | | | | * | | | | | | |
| Çerçeveye naylon kaplanması | * | | | | * | | | | | | |
| Kuyruk ve denge ipinin bağlanması | * | | | | * | | | | | | |
| Kuyruğun bağlanması | * | | | | * | | | | | | |
| Uçurtmanın boyanması | * | | | | * | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| TOPLAM | | | | | 6 | | | | | | |

EK-2: İş Analiz Formları

| İŞ ANALİZ FORMU | |
|--|---|
| Ürün Kodu : Ürün Adı : Çıtalı uçurtma İşlem No : İş Elemanı : Çıta birleştirme | Bölüm : Alt Bölüm : Form No : Sayfa No : 1/1 |
| METOT (AYRIM NOKTASI) | |
| 1. Çıtalara çivi çakılması (Yarı mamulü bırakma) | |
| 1.1. Operatör stok yerine uzanarak sağ eli ile 3 adet çıta alır 1.2. İki eliyle çıtaların geniş yüzeylerini üst üste getirecek şekilde ayarlar 1.3. İki eliyle çıtaları çivileme şablonuna dikine vurarak hizalar 1.4. İki eliyle çıtaları çivileme şablonuna yerleştirir 1.5. Sol eliyle çıtaları sabit tutarken sağ eliyle bir adet çivi alarak merkeze yerleştirir 1.6. Sol eliyle çivi tutarken bir taraftan da çıtalara bastırarak sağ eline çekici alır 1.7. Çivi çıkar ve çekici yerine bırakır 1.8. Sol eline çıtaları alırken sağ eline yan keskiyi alır 1.9. Çivi fazlalığını keserek yan keskiyi yerine bırakır 1.10. Bir sonraki görev için yarı mamulü hemen yanındaki uygun yere; bir sonraki işlem için hazır vaziyette; bırakır | |
| SEYREK ELEMANLAR Çivi haznesine çivilerin dizilmesi (25 çivi için yaklaşık 45 sn) | |
| MALZEME GİRDİLERİ - 0,5 x 1 x 60 cm' lik çıta -Ø1x25 mm çivi -Çekiç -Yan keski | |
| Analizi Yapan: Tarih: İmza: | Denetleyen: Tarih: İmza: |

EK-2: İş Analiz Formları (devamı)

| İŞ ANALİZ FORMU | |
|--|---|
| Ürün Kodu : Ürün Adı : Çıtalı uçurtma İşlem No : İş Elemanı : Çerçeve ipi sarımı | Bölüm : Alt Bölüm : Form No : Sayfa No : 1/1 |
| METOT (AYRIM NOKTASI) | |
| 2. Çerçeve İpinin Sarılması (Yarı mamulü bırakma) | |
| <p>2.1. Operatör sol taraftaki ara stok yerinden birleştirilmiş çıtaları sol eli ile alır 2.2. İki eliyle sabitleme düzeneğine yerleştirir 2.3. Sağ eliyle makaradan ipi çekerek vücuduna en yakın olan çita ucuna birkaç düğüm atarak bağlar 2.4. Sabitleme düzeneğini sol eliyle saat yönünün tersi yönde çevirir, bir sonraki uç önüne geldiğinde ipi öncelikle çitanın üst tarafından sararak alt tarafına dolandırır ve tüm uçlar bağlanıncaya kadar bu faaliyeti tekrarlar 2.5. Son çita ucuna gelindiğinde ipi birkaç defa dolayarak sol eliyle ipi tutar ve gevşememesi için yine sol tarafa doğru çekerek gerdirir 2.6. Sağ eliyle makası alarak ipi sol eliyle tuttuğu yerin sol tarafındaki uygun bir yerden keser (tutulan yerin 5-6 cm ötesi) ve makası bırakır 2.7. Kesildikten sonra fazlalık kalan ipi de birkaç defa dolayarak düğüm atar 2.8. Altıgen haline gelmiş çerçeveyi, iki elini de kullanarak sabitleme düzeneğinden çıkarır 2.9. Bir sonraki görev için yarı mamulü hemen yanındaki uygun yere; bir sonraki işlem için hazır vaziyette; bırakır</p> | |
| SEYREK ELEMANLAR | |
| MALZEME GİRDİLERİ -Çivilenmiş çıtalar -Makas -İp | |
| Analizi Yapan: Tarih: İmza: | Denetleyen: Tarih: İmza: |

EK-2: İş Analiz Formları (devamı)

| İŞ ANALİZ FORMU | |
|--|---|
| Ürün Kodu : Ürün Adı : Çıtalı uçurtma İşlem No : İş Elemanı : Naylon kaplama | Bölüm : Alt Bölüm : Form No : Sayfa No : 1/1 |
| METOT (AYRIM NOKTASI) | |
| 3. Naylonun Çerçeveye Kaplanması (Yarı mamulü bırakma) | |
| <p>3.1. Operatör sol taraftaki ara stok yerinden çerçeve ile naylonu (sol el ile çerçeveyi, sağ el ile onun altındaki naylonu) tutarak masaya yerleştirir</p> <p>3.2. Çerçevenin naylon üzerinde tam ortalanmasını sağlar</p> <p>3.3. Vücuduna en yakın kenardan naylonu ip üzerine katlayarak sol ile sabitler, sağ el ile bandı kopararak yapıştırır (Her bir kanat-naylon birleşimi üç bantla yapıştırılır)</p> <p>3.4. Çerçeveyi sola doğru çevirerek tüm kanat-naylon birleşimleri bantlanıncaya kadar bu işleme devam eder</p> <p>3.5. Çerçeveyi sol eline alıp kaldırırken sağ eli ile masadaki çiviye alır</p> <p>3.6. Çerçevenin tam merkezinden çivinin ucu ile naylona bir delik açar</p> <p>3.7. Bir sonraki görev için yarı mamulü hemen yanındaki uygun yere; bir sonraki işlem için hazır vaziyette; bırakır</p> | |
| SEYREK ELEMANLAR | |
| MALZEME GİRDİLERİ -İp sarılmış çerçeve -Bant -Büyük çivi | |
| Analizi Yapan: Tarih: İmza: | Denetleyen: Tarih: İmza |

EK-2: İş Analiz Formları (devamı)

| İŞ ANALİZ FORMU | |
|--|---|
| Ürün Kodu : Ürün Adı : Çıtalı uçurtma İşlem No : İş Elemanı : Kuyruk-denge ipi bağlama | Bölüm : Alt Bölüm : Form No : Sayfa No : 1/1 |
| METOT (AYRIM NOKTASI) | |
| 4. Kuyruk ve Denge İpinin Bağlanması (Yarı mamulü bırakma) | |
| <p>4.1. Operatör sol taraftaki ara stok yerinden kaplanmış çerçeveyi sol eliyle alarak iç tarafı üste gelecek şekilde masaya yerleştirir</p> <p>4.2. Sağ tarafındaki makaradan ipi çekerek vücuduna en yakın konumdaki kanat ucuna sıkı bir düğüm atar</p> <p>4.3. İpi merkeze götürüp oradan ilk bağladığı ucun yanındaki uca çekerek kuyruk ipinin olması gereken uzunluğunu belirler</p> <p>4.4. Sol eliyle çerçeveyi ve ipi sabit tutarken, sağ eliyle makası alarak ipi uygun yerinden keser</p> <p>4.5. Çıta ucuna düğüm atarak kuyruk ipini bağlamayı tamamlar</p> <p>4.6. Kuyruk ipinin ölçülerek bağlandığı üçgenin tam karşı tarafındaki üçgen kısmı vücuduna yakın olacak şekilde, çerçeveyi sağ eliyle çevirir</p> <p>4.7. Denge ipinin ilk kısmı için kuyruk bağlama işinde gerçekleştirdiği faaliyetleri aynen tekrarlar</p> <p>4.8. Makaradan ip çekerek çerçevenin merkezindeki çıta birleşim noktasına düğüm atar</p> <p>4.9. İpi, herhangi bir kanat boyunca uzatarak kanat ucundan yaklaşık 10 cm dışarı çıktığı yerden keser</p> <p>4.10. İpin ucunu sağ eliyle tutup, sol eliyle çerçeveyi eline alarak merkezdeki delikten ipi geçirir ve çerçeveyi önceki pozisyonun tersine masaya yerleştirir</p> <p>4.11. Merkezden geçen ipe denge ipinin orta noktasını bularak birbirine bağlar ve gevşememesi için birkaç düğüm atar</p> <p>4.12. Bir sonraki görev için yarı mamulü hemen yanındaki uygun yere; bir sonraki işlem için hazır vaziyette; bırakır</p> | |
| SEYREK ELEMANLAR | |
| MALZEME GİRDİLERİ -Kaplanmış çerçeve -İp | |
| Analizi Yapan: Tarih: İmza: | Denetleyen: Tarih: İmza: |

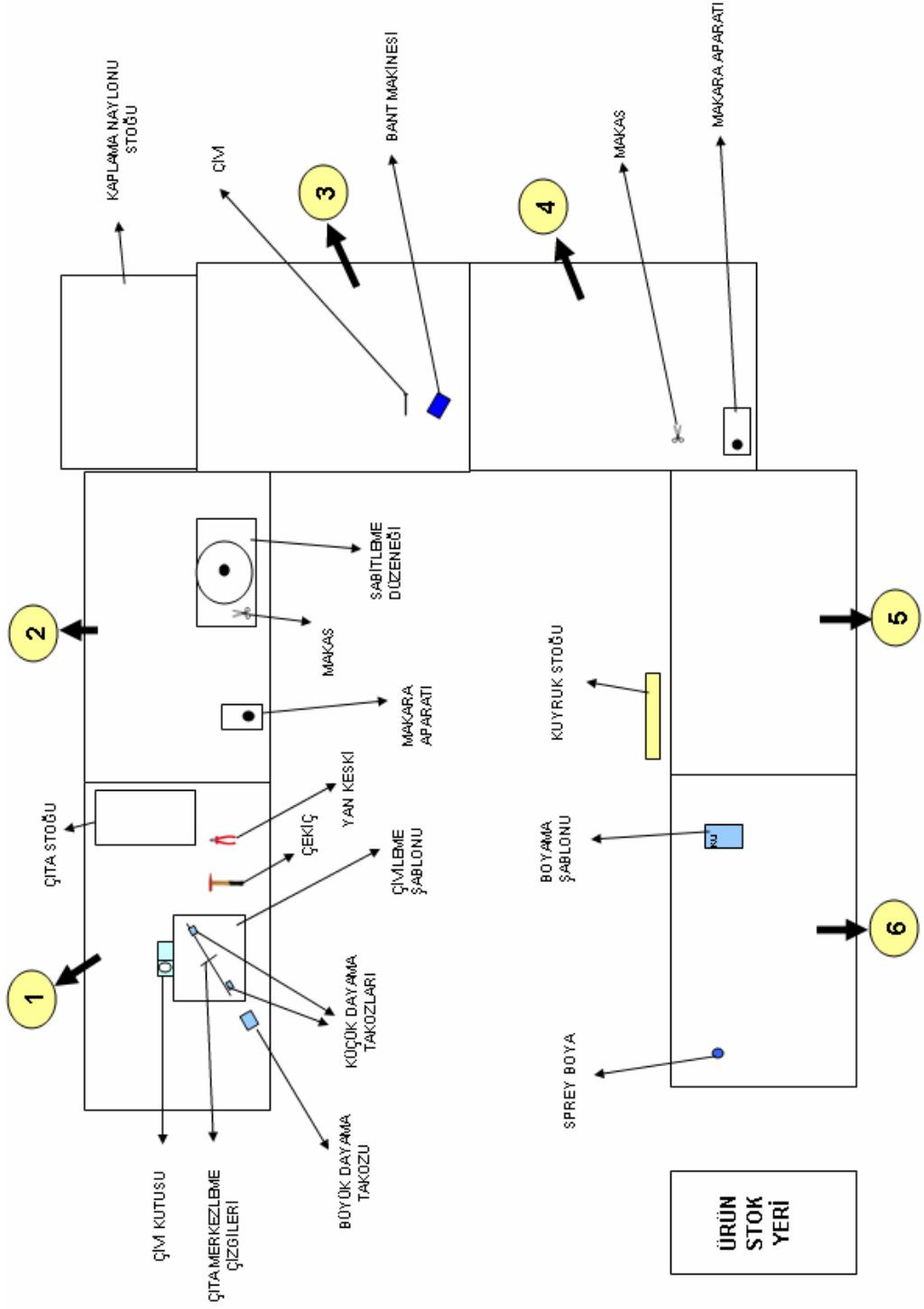
EK-2: İş Analiz Formları (devamı)

| İŞ ANALİZ FORMU | |
|--|---|
| Ürün Kodu : Ürün Adı : Çıtalı uçurtma İşlem No : İş Elemanı : Kuyruk bağlama | Bölüm : Alt Bölüm : Form No : Sayfa No : 1/1 |
| METOT (AYRIM NOKTASI) | |
| 5. Kuyruğun Bağlanması (Yarı mamulü bırakma) | |
| 5.1. Operatör kesilmiş halde hazır bekleyen kuyruğu sağ eline alır 5.2. Çerçeve masa üzerinde dururken sadece gözle tespit ettiği kuyruk ipini hafifçe yukarı kaldırarak bağlamak için hazır konumda durmasını sağlar 5.3. İpi kuyruğa bağlar 5.4. Bir sonraki görev için yarı mamulü hemen yanındaki uygun yere; bir sonraki işlem için hazır vaziyette; bırakır | |
| SEYREK ELEMANLAR | |
| MALZEME GİRDİLERİ -Kuyruk-denge ipleri takılmış çerçeve -Kuyruk | |
| Analizi Yapan: Tarih: İmza: | Denetleyen: Tarih: İmza: |

EK-2: İş Analiz Formları (devamı)

| İŞ ANALİZ FORMU | |
|---|---|
| Ürün Kodu : Ürün Adı : Çıtalı uçurtma İşlem No : İş Elemanı : Boyama | Bölüm : Alt Bölüm : Form No : Sayfa No : 1/1 |
| METOT (AYRIM NOKTASI) | |
| 6. Uçurtmanın Boyanması (Ürünü stok yerine bırakma) | |
| 6.1. Operatör sol tarafındaki uçurtmayı masanın ortasına çeker 6.2. Sol eline şablonu, sağ eline sprej boyayı alır 6.3. Şablonu uçurtmanın ortasına tutarak sprej boyayı yaklaşık 15 cm. mesafeden 3-4 sn püskürtür 6.4. Şablonu ve boyayı yerlerine bırakır 6.5. Uçurtmayı sağ eliyle stok merkezine bırakır | |
| SEYREK ELEMANLAR | |
| MALZEME GİRDİLERİ -Uçurtma -Boyama şablonu -Sprej boya | |
| Analizi Yapan: Tarih: İmza: | Denetleyen: Tarih: İmza |

EK-3: Montaj Hattı Akış Diyagramı



EK-4: Zaman Etüdü Sonuçları

| ZAMAN ETÜDÜ ÖLÇÜM FORMU (değerler "saniye" dir) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------|---------|-------|------|------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|--------------|----------|--|
| NO | İŞ ELEMANI VE AYRIM NOK. | ÇEVİRİM | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | ORTALAMA | |
| 1 | Çıta birleştirme | Ni | 17,4 | 20,2 | 17,2 | 19,5 | 22,3 | 20,4 | 23,1 | 20,6 | 21,5 | 20,5 | 18,2 | 21,3 | 19,4 | 20,8 | 22,4 | 20,3 | |
| | | L | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | ti | 17,4 | 20,2 | 17,2 | 19,5 | 22,3 | 20,4 | 23,1 | 20,6 | 21,5 | 20,5 | 18,2 | 21,3 | 19,4 | 20,8 | 22,4 | | |
| 2 | Çerçeve ipi sarımı | Ni | 69,0 | 64,2 | 67,2 | 68,3 | 68,9 | 69,2 | 54,9 | 53,7 | 59,0 | 59,0 | 55,6 | 54,1 | 60,3 | 52,3 | 55,0 | 60,7 | |
| | | L | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | ti | 69,0 | 64,2 | 67,2 | 68,3 | 68,9 | 69,2 | 54,9 | 53,7 | 59,0 | 59,0 | 55,6 | 54,1 | 60,3 | 52,3 | 55,0 | | |
| 3 | Naylon kaplama | Ni | 67,5 | 64,6 | 65,1 | 58,1 | 65,8 | 70,6 | 56,5 | 66,2 | 64,6 | 57,7 | 58,5 | 58,1 | | | | 62,8 | |
| | | L | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | ti | 67,5 | 64,6 | 65,1 | 58,1 | 65,8 | 70,6 | 56,5 | 66,2 | 64,6 | 57,7 | 58,5 | 58,1 | | | | | |
| 4 | Kuyruk-denge ipi bağlama | Ni | 101,0 | 97,1 | 94,9 | 101,7 | 104,3 | 96,8 | 98,1 | 95,2 | 100,5 | 102,2 | 95,7 | 100,6 | 101,8 | | | 99,2 | |
| | | L | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | ti | 101,0 | 97,1 | 94,9 | 101,7 | 104,3 | 96,8 | 98,1 | 95,2 | 100,5 | 102,2 | 95,7 | 100,6 | 101,8 | | | | |
| 5 | Kuyruk takıma | Ni | 27,0 | 25,6 | 26,8 | 27,6 | 21,1 | 22,0 | 25,6 | 21,0 | 21,9 | 24,7 | | | | | | 24,3 | |
| | | L | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | ti | 27,0 | 25,6 | 26,8 | 27,6 | 21,1 | 22,0 | 25,6 | 21,0 | 21,9 | 24,7 | | | | | | | |
| 6 | Boyama | Ni | 11,6 | 12,0 | 12,7 | 12,7 | 11,9 | 13,0 | 13,7 | 12,5 | 12,3 | 12,8 | 11,7 | 14,2 | 12,0 | 12,3 | 13,7 | 12,6 | |
| | | L | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | ti | 8,6 | 12,0 | 12,7 | 12,7 | 11,9 | 13,0 | 13,7 | 12,5 | 12,3 | 12,8 | 11,7 | 14,2 | 12,0 | 12,3 | 13,7 | | |
| İŞİN TOPLAM NORMAL SÜRESİ | | | | | | | | | | | | | | | | | 280,0 | | |