

TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR TRAKTÖR FABRİKASINDA KARIŞIK MODELLİ MONTAJ HATTI
DENGELEME – DETERMİNİSTİK VE STOKASTİK ÖLÇÜMLERE GÖRE
ANALİZLER**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Aysın Şenel Uyanık

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:
Dr. Öğr. Üyesi Salih Tekin

NİSAN 2020

Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı



Prof. Dr. Osman EROĞUL

Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.



Prof. Dr. Tahir HANALIOĞLU

Anabilimdalı Başkanı

TOBB ETÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 181311023 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Aysin Şenel UYANIK** 'ın ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "**BİR TRAKTÖR FABRİKASINDA KARIŞIK MODELLİ MONTAJ HATTI Dengeleme-Deterministik ve Stokastik Ölçümlere Göre Analizler**" başlıklı tezi 24.04.2020 tarihinde aşağıda imzaları olan jüri tarafından kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Salih TEKİN

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi



Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Tahir HANALIOĞLU (Başkan)

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi



Doç. Dr. Babek ERDEBİLLİ

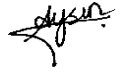
Yıldırım Beyazıt Üniversitesi



TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, alıntı yapılan kaynaklara eksiksiz atıf yapıldığını, referansların tam olarak belirtildiğini ve ayrıca bu tezin TOBB ETÜ Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Aysin Şenel Uyanık



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİR TRAKTÖR FABRİKASINDA KARIŞIK MODELLİ MONTAJ HATTI DENGELEME – DETERMİNİSTİK VE STOKASTİK ÖLÇÜMLERE GÖRE ANALİZLER

Aysin Şenel Uyanık

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman:

Dr. Öğr. Üyesi Salih Tekin

Tarih: Nisan 2020

Montaj hatları kitlesel taleplere göre üretilmesi hedeflenen ürünün malzemelerinin sıralı iş istasyonlarında bir araya getirilmesini sağlayan sistemlerdir. Montaj hatları ve tasarımı otomotiv sektörü başta olmak üzere beyaz eşya ve elektronik sektöründeki fabrikalarda üretimin verimliliğini arttıran başlıca unsurlardandır. Montaj hatlarının tasarımı ve dengelenmesi problemlerinin çözümleri ile ilgili deterministik, stokastik sezgisel ve bulanık yöntemler kullanılarak çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada günlük çalışma süresi boyunca iş adımlarının operatörlere dağıtımı, bir traktör fabrikasındaki montaj hattına ait verilerle gerçekleştirilmiştir. Fabrikanın montaj hattında, birden fazla çeşit traktör modeline ait parçalar montajlandığı için

karışık modelli montaj hatları incelenmiştir. Montaja ait operasyonların süresi zaman etüdü çalışmaları ile ölçülmüştür. Buna göre, çalışma sürelerinin rastgele ve işçiye bağlı olduğu gözlenmiştir. Paralel tip bir montaj hattında işçiye bağlı çalışma süreleri de rastgele olarak dikkate alınmıştır. Montaj hattında operatörler arasında eğitim eksikliği, karmaşık işlerin varlığı, çalışma motivasyonunun azalması gibi faktörler nedeniyle hat duruşları yaşanmaktadır. Hat duruşları günlük üretilmesi gereken traktör adetlerinde sapmalara yol açmakta dolayısıyla fabrikada kayıplara neden olmaktadır. Birden fazla iş adımının gerçekleştiği karışık modelli bir montaj hattında çalışma süreleri arasında küçük farklılıklar olabilmektedir. Tüm kayıpları ölçebilmek için montaj hattında dengeleme analizleri kullanılmıştır. Çalışma kapsamında traktör modellerinde iş adımı farklılıkları göz önüne alınarak model tabanlı birleştirilmiş yöntem ile öncelik diyagramı elde edilmiştir. Stokastik montaj hattı dengeleme çalışması, hattaki stokastik çalışma sürelerine göre yapılmış ve analiz sonuçları deterministik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Stokastik çalışma sürelerini kullanımının avantajlarının yanı sıra sezgisel bir metot olan Arcus (1966) 'un önerdiği COMSOAL metodu kullanılarak, belirlenen çevrim süresinde minimum sayıda açılması gereken istasyon sayısını veren Java algoritması ile montaj hattı dengeleme probleminin çözümü için sezgisel sonuçlar elde edilmiştir. Algoritmaya göre farklı çevrim süreleri için, açılması gereken istasyon sayıları belirlenmektedir. Böylece fabrikadaki ani plan değişimlerine hazırlıklı bir hat yapısı elde edilmiştir. Montaj hattındaki dengeleme ve iş atama sonucunda elde edilen istasyon dağılımına göre, verimlilik analizleri sunulmakta ve sonuçlar değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Karışık modelli montaj hattı, Montaj hattı dengeleme, Deterministik ve stokastik montaj süreleri, Hat dengeleme verimlilik analizleri.

ABSTRACT

Master of Science of Philosophy

ANALYSIS OF THE MIXED MODEL ASSEMBLY LINE BALANCING DETERMINISTIC AND STOCHASTIC MEASUREMENTS IN A TRACTOR PLANT

Aysin Şenel Uyanık

TOBB University of Economics and Technology
Institute of Natural and Applied Sciences
Industrial Engineering Science Programme

Supervisor:
Asst. Prof. Salih Tekin

Date: April 2020

Assembly lines are systems that allow the products with multiple components and, mass demands, to be manufactured together in sequential workstations. Assembly lines and design are among the main factors that increase the efficiency of production in factories in the white goods and electronics sectors, especially in the automotive sector. Numerous studies have been carried out using deterministic, stochastic heuristic and fuzzy methods related to the design and balancing problems of assembly lines. In this study, the distribution of work steps to the operators during the daily working period was carried out in a real assembly line of a tractor factory. Since the parts belonging to more than one type of tractor model are assembled in the factory assembly line, mixed model assembly lines are examined. The duration of the operations for the assembly was measured by time study studies. Accordingly, it was

observed that the working times were random and dependent on the worker. In a parallel type assembly line, worker-dependent working times are also taken into account randomly. Line stoppages are experienced on the assembly line due to factors such as lack of training, the presence of complex jobs, and reduced motivation of work. Line stops cause deviations in the number of tractors that need to be produced daily, thus causing losses in the factory. In a mixed model assembly line where multiple work steps take place, there may be minor variations between operating times. Balancing analyzes were used on the assembly line to measure all losses. Within the scope of the study, considering the work step differences in tractor models, a priority diagram was obtained with the model-based unified priority diagram method. Stochastic assembly line balancing study was performed according to the stochastic working times on the line and the analysis results were compared with the deterministic results. In addition to the advantages of using stochastic working times, heuristic results have been obtained for the solution of the assembly line balancing problem with the java algorithm, which gives the minimum number of stations to be opened in the cycle time determined using the intuitive method Arcus (1966) proposed COMSOAL method. The number of stations to be opened according to the algorithm is determined at different cycle times. Thus, a line structure prepared for sudden plan changes at the factory was obtained. According to the station distribution obtained as a result of balancing and job assignment on the assembly line, efficiency analyzes are presented and the results are evaluated.

Keywords: Mixed model assembly lines, Assembly line balancing, Deterministic and stochastic assembly times, Line balance efficiency analysis.

TEŞEKKÜR

Tez alıőmam sırasında, kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile beni yönlendiren hocam Dr. Öğr. Üyesi Salih TEKİN' e, değerli yardım ve katkılarıyla bilgilerini benimle paylaşan her konuda desteğini asla unutmayacağım saygıdeğer hocam Prof. Dr. Tahir HANALİOĞLU (Khaniyev)'e, tez savunma jürimde yer almayı kabul ettiği için değerli hocam Doç. Dr. Babek ERDEBELLİ' ye kıymetli tecrübelerinden faydalandığım TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine, çalışmanın yapıldığı fabrika çalıőanlarına ve destekleriyle her zaman yanımda olan kıymetli ailem, anneme ve babama çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ BİLDİRİMİ	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ	1
1.1.Tezin Amacı ve İçeriği Hakkında Genel Bilgiler.....	4
2. LİTERATÜR TARAMASI	7
2.1. Deterministik Çözüm Yöntemleri Kullanılan Problemler	7
2.2. Stokastik Çözüm Yöntemleri Kullanılan Problemler	11
2.3. Bulanık Çözüm Yöntemleri Kullanılan Problemler	13
2.4. Sezgisel Çözüm Yöntemleri Kullanılan Problemler.....	15
3. METODOLOJİ	17
3.1. Amaç.....	17
3.2. Problemin Tanımı	18
3.3. Kullanılan Matematiksel Modelin Kapsamı	19
3.4. Comsoal Metodu.....	22
3.5. Sayısal Yöntem: İstasyon Çevrim Zamanını Aşma Olasılığı (P_k) Hesaplanması.....	25
4. FABRİKA ÇALIŞMALARI	26
4.1. Teorik Bilgiler.....	26
4.1.1. Üretim sistemi tanımı ve sınıflandırılması.....	26
4.1.2. Montaj ve montaj hattı tanımı	27
4.1.3. Montaj hatlarının yerleşimine göre sınıflandırılması.....	29

4.1.4.	Montaj hattı dengeleme	29
4.1.5.	Montaj hattı dengeleme problemleri	30
4.2.	İş Adımı Sürelerini Ölçme Çalışmaları.....	36
4.2.1.	Transmisyon montaj hattı iş adımları hakkında bilgiler.....	36
4.2.2.	Boya öncesi montaj hattı iş adımları hakkında bilgiler	43
4.2.3.	Boya sonrası montaj hattı iş adımları hakkında bilgiler.....	46
4.3.	Araştırma Gereksinimleri.....	49
4.3.1.	Çevrim süresi hesaplanması	49
4.3.2.	Fabrikada mevcut üretim durumu hakkında bilgiler	51
4.3.3.	Mevcut durum analiz ölçümleri	53
4.3.4.	Analiz ölçüm sonuçları.....	55
4.3.5.	Çalışma sonrası sonuçlar	58
4.3.6.	Verimlilik analizleri sonuçları değerlendirmesi	66
5.	GENEL DEĞERLENDİRME	68
	KAYNAKLAR.....	72
	EKLER.....	78
	ÖZGEÇMİŞ.....	101

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 : Üretim sistemlerinin sınıflandırılması.	1
Şekil 3.1 : Boya öncesi işçilerinin mevcut durum iş yükü grafiği.	17
Şekil 3.2 : Cplex çıktı tablosu.	21
Şekil 3.3 : Kullanılan comsoal metodun algoritması.	24
Şekil 4.1: Üretim sistemlerinin sınıflandırılması	27
Şekil 4.2 : Traktör fabrikasında montaj hattı saha görünümü.....	28
Şekil 4.3 : Hat yerleşimine göre sınıflandırma.....	29
Şekil 4.4 : Montaj hattı dengeleme problemleri sınıflandırılması.....	30
Şekil 4.5 : Ürün çeşitliliğine göre MHDP sınıflandırılması.....	31
Şekil 4.6 : Amaçlarına göre MHDP sınıflandırılması.....	31
Şekil 4.7 : Traktör bölgelerinin gösterimi.	32
Şekil 4.8 : İstasyon bölgelerinin kapsadığı alan.....	33
Şekil 4.9 : Örnek öncelik diyagramı.	34
Şekil 4.10 : Örnek öncelik matrisi.	35
Şekil 4.11 : Transmisyon montaj hattında yapılan işlerin gösterimi.....	37
Şekil 4.12 : Boya öncesi montaj hattında yapılan işlerin gösterimi.	43
Şekil 4.13 : Boya sonrası montaj hattında yapılan işlerin gösterimi.....	47
Şekil 4.14 : Traktör montajında fabrika süreci öncelik şeması.....	53
Şekil 4.15 : Montaj hattı israflarının tanımları.....	54

Şekil 4.16 : Motor ön montajı iş adımları analizi sonucu.	55
Şekil 4.17 : Motor ön montajı iş adımları analizi sonucu grafiği.	56
Şekil 4.18 : Boya öncesi montajı iş adımları analizi sonucu.	57
Şekil 4.19 : Boya öncesi montajı iş adımları analizi sonucu grafiği.	57
Şekil 4.20 : Boya öncesi montaj hattında mevcut durumdaki istasyon ve işçi sayıları.	58
Şekil 4.21 : Farklı çevrim sürelerinde algoritmaya göre gereken istasyon sayısı.	59
Şekil 4.22 : Algoritmaya göre iş adımlarının istasyonlara dağılımı ve olasılığı tablosu.	60
Şekil 4.23 : Günlük planda montajı tammalanan modellere göre hatta çalışan 2. işçiye ait iş yükü grafiği.	61
Şekil 4.24 : Çalışma sonrasında motor ön montajı iş adımları analizi sonucu.	61
Şekil 4.25 : Çalışma sonrasında motor ön montajı iş adımları analizi sonucu grafiği.	62
Şekil 4.26 : Çalışma sonrasında boya öncesi hattı iş adımları analizi sonucu.	62
Şekil 4.27 : Çalışma sonrasında boya öncesi hattı iş adımları analizi grafiği.	63
Şekil 4.28 : Duruş frekansı değişim grafiği.	66
Şekil 4.29 : (a) Kasım ayına ait montaj hattı duruş sürelerinin işçilik kaybı hesabı. (b) Aralık ayına ait montaj hattı duruş sürelerinin işçilik kaybı hesabı.	67

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Deterministik iş adımı sürelerinde yapılan çalışmalardan örnekler.....	7
Çizelge 2.2 : Stokastik veya bulanık iş adımı sürelerinde yapılan çalışmalardan örnekler.....	14
Çizelge Ek. 1: İş adımları ve model türlerine göre süreleri.	78
Çizelge Ek. 2: Birleştirilmiş öncelik diyagramı.....	89
Çizelge Ek. 3: Öncül ve ardıl iş adımları sıralaması.....	90
Çizelge Ek. 4: Tüm traktör modellerinde ortak yapılan iş adımları.....	90
Çizelge Ek. 5: Herhangi bir gün 5 işçi üzerindeki iş yükü grafiği.....	91
Çizelge Ek. 5: Zaman etüdü ile yapılan ölçümleri (devamı).	92
Çizelge Ek. 6: Montaj hattı israflarını analizinde kullanılan fiiller sınıflandırmaları.	93
Çizelge Ek. 7: 46 dakika çevrim zamanı istasyon sayısı ve işlerin istasyonda tamamlanmama olasılıkları.....	94
Çizelge Ek. 8: 31 dakika çevrim zamanı istasyon sayısı ve işlerin istasyonda tamamlanmama olasılıkları.....	96
Çizelge Ek. 9: 21 dakika çevrim zamanı istasyon sayısı ve işlerin istasyonda tamamlanmama olasılıkları.....	96
Çizelge Ek. 10: 24 dakika çevrim zamanı istasyon sayısı ve işlerin istasyonda tamamlanmama olasılıkları.....	96
Çizelge Ek. 11: 18 dakika çevrim zamanı istasyon sayısı ve işlerin istasyonda tamamlanmama olasılıkları.....	97

Çizelge Ek. 12: Zaman etüdü ile yapılan ölçümler.	98
Çizelge Ek. 13: 2018 yılına ait montaj hatları verimlilik oranları.	99
Çizelge Ek. 14: 2019 yılına ait montaj hatları verimlilik oranları.	100



KISALTMALAR

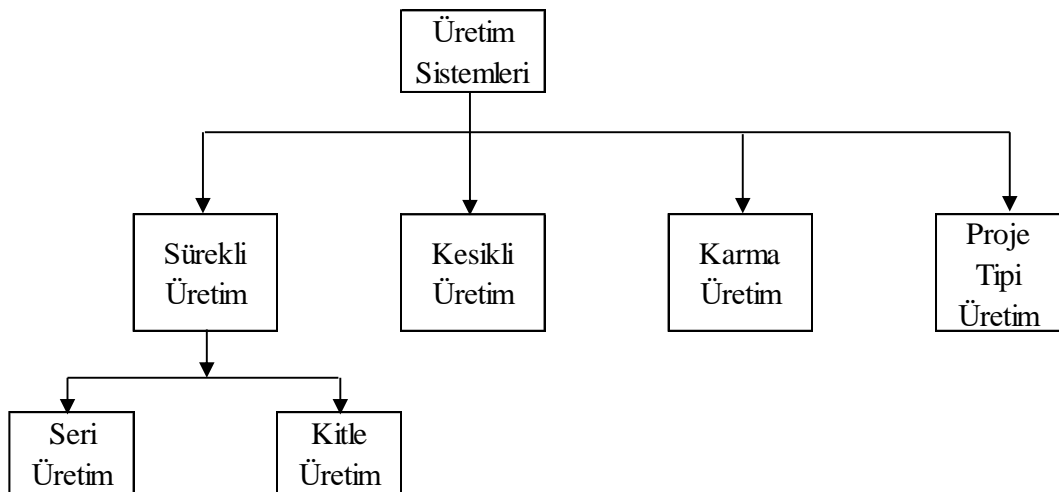
MHD : Montaj Hattı Dengeleme

MHDP : Montaj Hattı Dengeleme Problemi



1. GİRİŞ

Geleneksel üretim bakış açısında toplumun ihtiyaçlarını karşılama ve herhangi bir geri dönüş elde edebilme düşüncesi söz konusudur. Üretime sistem olarak bakıldığında ise, üretimin imalat ve montajı kapsadığı bunun sonucunda ürün veya hizmet çıktıları elde edildiği bir sistemin varlığından bahsedilir. İmalat kavramı, malzemenin ürün haline dönüştürülmesi sürecidir. Üretim süreci ise imalatı içine alır. Bu süreç parça imalatı ve montaj aşaması olmak üzere iki aşamadan meydana gelmektedir. Üretimin çıktıları ise hizmet veya ürün elde edilir. Doğru kaynakların kullanılarak müşteri taleplerinin elde edildiği sistemlerin bütünü ise üretim sistemi olarak adlandırılmaktadır. Üretim sistemleri seri üretim, kesikli üretim, karma üretim ve proje tipi üretim olarak 4 bölüme ayrılmaktadır. Şekil 1.1 üretim sistemlerinin sınıflandırılmasını göstermektedir. Kesikli üretim sistemlerinde ürüne olan talebe göre, farklı ürünler az sayıda üretilir. Talebin düzensiz olduğu fabrikalarda çoğunlukla, kesikli üretim yapılması söz konusu olmaktadır. Sürekli üretimde ise ürüne düzenli talep vardır. Hammaddenin üretim bandından veya üretim hattının bir ucundan hatta girer, hat sonunda nihai ürün olarak ortaya çıkar. Sürekli üretim sistemleri ise seri üretim ve kitle üretim olarak iki gruba ayrılmaktadır.



Şekil 1.1 : Üretim sistemlerinin sınıflandırılması.

Bilinmesi gereken en önemli kavramlardan bir tanesi de “kitle üretimi” kavramıdır. Akış tipi de denilen seri üretimin yapılması anlamına gelen bu kavramın ön koşulu, kitle talebinin var olmasıdır. Kitle talebi kavramında herhangi bir ürüne olan talebin miktar olarak azlığı veya çokluğunun yanısıra, talebin sürekliliği önem arz etmektedir. Seri üretim düzenli ve yüksek miktarda ürün talebi olduğunda kullanılan üretim tipidir. Bir tesis, seri üretime uygun şekilde tasarlandığında akış tipi hatların kurulumu tercih edilmektedir. Akış tipi üretim hatları tek modelli veya çok modelli üretim transfer hatlarından oluşmaktadır. Üretim sistemlerinden karma üretim sistemi ise siparişe göre üretim ve sürekli üretimin birleşimidir. Karma üretimde hem piyasanın durumuna göre talepler karşılanmakta hem de özel siparişlere uygun üretimin yapılması sağlanmaktadır. Proje tipi üretim sistemlerinde ise tek bir ürünün üretimine göre sistem tasarımı yapılmaktadır. Uçak üretimi, gemi üretimi ve inşaat sektöründe proje tipi üretime uygun sistemlere rastlanmaktadır. Bu tip üretim sistemlerinde ürün sabit yerinde durup, makine veya işçilerin hareketli olması gerekmektedir. İşçiler kalifiye elemanlardan seçilmeli ve projenin yetiştirme zamanında sapma olmaması için; zaman, kaynak ve maliyet kısıtlarının iyi planlanması gerekmektedir. Kesikli ve seri üretim sistemlerinde planlama ve kontrol çalışmalarının yapılabilmesi için ise bir işletmede, tesiste veya fabrikada montaj hattının kurulması söz konusudur. Montaj hatları, malzemenin çoğunlukla iş gücüne dayalı olarak işlenmesi ve transferi demektir. Montaj hatları ürün çeşitliliğine göre tek modelli, çok modelli ve karma modelli olmak üzere 3 çeşittir. Üretim süreçlerinin son aşamaları olan montaj hatları, otomotiv sektörü başta olmak üzere elektronik, beyaz eşya gibi birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca bu sektörlerde endüstri mühendislerinin çalışması ile fabrikalara daha fazla değer katılmaktadır. Değer katılması ile fabrikanın kârlılık derecesi artarak, sektöründe yeri kalıcı hale getirilmektedir. Özellikle montaj hatlarının performansının artırılması, daha verimli bir montaj hattı haline getirilmesi, montaj hattında görevlerin operatörlere dağılımının yapılması, hat yerleşiminin ise günümüzde oldukça popüler olan yalın üretim kuralları temel alınarak yapılmasının tüm aşamaları endüstri mühendislerinin çalışma alanına girmektedir. Bugün çok sayıda fabrika, üretimin her alanında sistemin etkin bir şekilde ilerlemesini sağlamak amacıyla montaj hatlarını kullanmaktadır. Fabrika dışından imalat çıktıları, fabrikaya tedarik edilecek malzemelerin akış hızı ise montaj hattının ihtiyacına göre

ayarlanmaktadır. Tam da bu aşamada, sürekli üretim yapan fabrikaların yerleşim düzeninin kurulmasından itibaren hat dengeleme problemleri ortaya çıkmaktadır.

Montaj hatlarının tarihsel gelişim süreci incelendiğinde, modern üretim yönetiminin ilerleyişinin etkisi olduğu görülmektedir. 1731 yılında Moskova’da toplu iğne ve düğmelerin ilk olarak akış hattında üretilmeleri, sonrasında İngiltere’de iğne üretimi ile akış hattı sisteminin tanımlanması söz konusu olmuştur. İlk montaj hattı uygulamalarının burada başladığı kaynaklarda belirtilmiştir. 1746 yılında Adam Smith, işin parçalara ayrılması ve iş bölümünün üretim artışı konusunda gelişme sağladığını belirlemiştir. 1837 yılında Bridgewater dökümhanesinde montaj hattı kullanılmış, akabinde ikame edilebilen parçalarla üretim yapılmaya başlanmıştır. 1899 yılında düşük maliyetli “oldsmobile” arabaların tasarımı yapılmış sonrasında “cadillac” model arabaları da tasarıma dahil edilerek büyük miktarlarda üretim yapılması sağlanmıştır. Montaj hattı ve seri üretim kavramlarının en önemli isimlerinden biri Henry Ford, 1903 yılında orijinal A Model ve daha sonra 1908’de T Model otomobil üretimini gerçekleştirmiştir. T Model otomobillerin ise başlangıçta, hareket eden bir montaj hattında üretilmediği kaynaklarda belirtilmiştir. Ancak T Modeli oluşturan herhangi bir parçanın, yenisiyle değiştirilebilir olması durumunun avantajı sayesinde, T modelin montajının kolayca yapılabildiği bir montaj hattında üretimi gerçekleştirilmiştir. 1913 yılında, Ford’un Michigan eyaletine bağlı Detroit şehrinde bulunan Highland Park fabrikasında, önemli bir gelişme olmuştur. Montajı yapılan otomobili, işçinin önüne getiren “hareketli montaj hattı” yani (yürüyen bantlar) devreye girmiştir. Böylece otomobilin montajında çevrim süresi yarı yarıya azaltılmıştır. Montaj hattının otomatikleştirilmesi ise 1923 yılı sonrasında Morris Motorları fabrikalarındaki montaj hatlarında sağlanmıştır. 1940’lı yıllardan itibaren tesis planlama, fabrika içi malzeme taşıma ve yerleşim metotları üzerine gelişmeler elde edilmiştir. Yine bu süreç içerisinde, imalatta kullanılan araç ve gereçler, takım tezgâhları, robotlar ve ilk bilgisayar örnekleri gibi o zamanın devrimi olarak sayılabilen adımlar atılmıştır. Otomotiv sektörü, tüm bu gelişmelerde önemli roller üstlenmiştir. Endüstri Devrimi’nden bu yana, insan gücünün yerini makinaların almasıyla birlikte, “mekanik teknoloji” dönemi ve daha sonra çok hacimli üretimle beraber “otomasyon teknolojisi” dönemi başlamıştır. Sonuç olarak, ürünlerin karmaşıklığının artmasının, üretimle ilgili problemleri daha da güçleştirilmesi nedeniyle

üretimde montaj hatlarından önemli ölçüde faydalanılmaktadır. Tez çalışmasında sürekli üretim sistemlerinden kitle üretim sistemlerine dahil bir traktör montaj hattı ele alınmıştır. Bu çalışmanın amacı, karışık modelli bir montaj hattında montaj işçilerinin onlara verilen işleri, verilen çevrim zamanı içerisinde değişken iş adımı süreleri de göz önünde bulundurularak yapmalarını sağlamaktır. Fabrikanın malzeme temin ve üretim planlama süreci ile pazar ihtiyacı karşılama hızı gibi değişen koşullarının yanı sıra montaj hattında yaşanan “hat duruşları” olmasına da esneklik kazanması gerekmektedir. Bu esnekliğin kazanılması ve hat verimliliğinin artırılmasını sağlamak için çeşitli analizler yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, fabrikadaki mevcut durumla çalışma sonucunda elde edilen iyileşmeler ölçümlenmiştir. Bu çalışma gerçek hayatta bir traktör fabrikasında uygulanmış ve sonuçlar gözlemlenmiştir.

1.1. Tezin Amacı ve İçeriği Hakkında Genel Bilgiler

Çalışmada boya öncesi montaj hattının iş gücü maliyeti minimize edilerek minimum istasyon sayısı ile dengelenmesi hedeflenmiştir. Mevcut durumda montaj hattında montaja ait iş adımlarının sürelerinin sabit ve değişmediği kabul edilmiş ve klasik metotlarla hat dengeleme çalışması yapılmış ve iş adımı atamaları hat içinde belli bir sisteme bağlı kalınmadan gerçekleştirilmiştir. Fakat zamanla, montaj hattında yaşanan hat duruşuna neden olan problemler nedeni ile montaj işlerinin etkin gerçekleştirmediği gözlemlenmiştir. Yapılan gözlemlerin sonrasında montaj hattında hat duruşlarının yaşanma durumu devam ettiği için değişken sürelerle göre dengeleme yapılması gerektiği belirlenmiştir. Hat duruşu nedenleri arasında belli işlerin yapılması sırasında gerekli olan iş gücü farklılıkları olduğu belirlenmiş ve bu farklılıkların iş adımlarının sürelerinde değişkenliklere neden olduğu gözlemlenmiştir. Montajda uygulanan iş adımları, istasyonlara işgücü kısıtlamaları göz önüne alınarak minimum maliyetle dengeli bir şekilde dağıtılmıştır. İncelenen montaj hattının “karma modelli” olmasıyla ve birden fazla işgücü beceri türü ile montaj hattı dengelemesi sistemi hazırlanmış ve traktör fabrikasında yapılan analizlerden faydalanılarak bir yaklaşım geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmanın çıktıları arasında elde edilen algoritma gerçek veriler kullanılarak hatta çalıştığı test edildiği için herhangi bir başka montaj hattı ile üretimin gerçekleştirildiği sanayilerde de kullanılabilir olması hedeflenmiştir. Aynı zamanda, iş adımlarının dengeli bir şekilde dağılımının sağlanmasının da çalışmanın çıktıları

arasında yer alması planlanmıştır. Böylece birden fazla işçinin aynı ürün üzerinde farklı işleri aynı anda gerçekleştirdiği çok insanlı iş istasyonlarıyla birlikte geliştirilmiş bir karma model montaj hattı incelemesi yapılmaktadır. Bu özel montaj hattı genellikle aynı üretim hattında, otobüs ve kamyon gibi farklı büyük ürün modellerini monte etmek için kullanılmaktadır. Traktör montajının yapıldığı montaj hattının iyileştirilmesinin ölçülebilir olması amaçlanmaktadır

Tez çalışması 5 basamaktan oluşan bir çalışmadır. Birinci bölümde, genel olarak üretim sistemleri ve montaj hatları konusuna giriş yapılmıştır. Çalışmanın amacı hakkında bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde hat dengeleme problemlerinin ve çözüm yöntemlerinin incelenmesi aşamasına geçilmiş ve literatür taraması başlığı altında geçmişte yapılan çalışmalar incelenmiştir. Çalışmalar çözüm yöntemleri açısından deterministik, stokastik, sezgisel ve bulanık yöntemler olarak kategoriler altında ele alınmıştır. Üçüncü bölümde metodoloji başlığı altında öncelikle kullanılan matematiksel modelin amacı açıklanmış ve çalışma öncesinde montaj işçilerinin mevcut iş yükü dağılımı incelenmiştir. Kullanılan matematiksel modelin kapsamı başlığı altında modele ait karar değişkenleri ve parametreler tanımlanarak ilk deneme olarak 58 iş adımına ait CPLEX çıktı tablosu açıklanmıştır. Daha sonra sezgisel COMSOAL metodu adımları ile Java dilinde kodlama yapılırken kullanılan algoritma belirtilmiştir. P_k yani istasyon çevrim zamanını aşma olasılığının hesaplanma yöntemi açıklanmış algoritmanın işleyişi ile ilgili bilgilendirme yapılmıştır. Dördüncü bölümde, teorik bilgiler başlığı altında montaj hattı dengeleme konusu ile ilgili genel bilgiler, kullanılan kavramlardan tanımlar, örnek açıklama ve şekillere yer verilmiştir. İş adımı sürelerini ölçme çalışmaları başlığı altında bir traktörün montaj hatlarında hangi iş adımları olduğu açıklanmıştır. Çalışmanın yapıldığı fabrikanın bölümlerine ait montaj hatlarında yapılan iş adımlarının açıklamaları yer almaktadır. İş adımı sürelerinin ölçümü ile elde edilen zaman etüdü çalışmalarının sonuçları da aktarılmıştır. Ayrıca araştırma gereksinimleri başlığı altında, öncelikle fabrikanın mevcut koşullarında traktör çevrim süresinin hesaplanması açıklanmıştır. Fabrikanın mevcut üretim durumu hakkında bilgiler verildikten sonra, tez çalışması yapılmadan önceki mevcut durumu ile yapılan analiz çalışmalarının sonuçları gösterilmiştir. Algoritma çalışması sonrasında farklı çevrim zamanlarında açılması gereken istasyon sayıları belirlenmiş ve 46 dakika çevrim zamanına göre açılan 5 istasyona atanan iş

adımları gösterilmiştir. Bu iş adımlarının istasyon çevrim zamanını da aşmayacak şekilde atamaları gerçekleştirilmiştir. Verimlilik analizleri sonuçları değerlendirilmesi başlığı altında ise çalışma sonrasında boya öncesi katma değerli işlerin arttırılması ile montaj hattı sonunda elde edilen maliyet kazancı çalışma öncesi durum ile kıyaslanmıştır. Beşinci bölümde ise genel değerlendirme başlığı matematiksel modelin CPLEX programı ile elde edilen sonucu paylaşılmıştır. Uygulamaya alınan asıl yöntem olan COMSOAL metodun, Java programlama ile elde edilen istasyon sayıları ve iş atamalarının sonuçları özetlenmiştir. Çalışma sonrasında fabrikanın montaj hattında çalışanlarının yalın üretim bakış açısı kazanması ile iş yüklerinde iyileşme oranları, verimlilik analizleri sonuçları ile sunularak incelenmiştir. Yapılan çalışmanın avantajları ile fabrikada gelecekte yapılması planlanan öneriler değerlendirilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Montaj hattı dengeleme problemlerinin çözüm yöntemleri ile ilgili farklı yaklaşımların uygulandığı çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. İçerikleri ve elde edilen sonuçlar bakımından farklılıkların yanı sıra bu çalışmaların yapılmasının, yapıldığı fabrika veya işletmelere günden güne değer kattığı gözlenmiştir. Dolayısıyla montaj hattı dengeleme problemlerinin ortadan kaldırılması için projelerin yürütülmesi, özellikle rekabet nedeniyle özel sektörde öncelikli bir konudur. Montaj hattı dengeleme konuları arasında; görev sürelerinin değiştiği durumun göz önünde bulundurulması gereken hatların dengelenmesi, görev sürelerinin değişmediği kabul edilen hatların dengelenmesi veya farklı amaçların elde edilmesini gerektiren hat dengelemeleri yer almaktadır. Çalışmaların genel amacı maliyeti minimize etmektir. Ancak bir taraftan çalışan belirli sayıda işçi veya operatörün performanslarının etkin bir şekilde kullanılmasını gözeterek çalışma koşullarının sağlanması da hedeflenmektedir. İşlerin istasyonlara dağılımı sırasında, çevrim süresi sabitken montaj hattında minimum sayıda işçi çalıştırılması ve istasyon açılmasını gerektirebilmektedir. Montaj hattında sabit sayıda istasyona sahip olup çevrim sürelerinin değiştiğini kabul eden ve minimize etmeyi hedefleyen çalışmalara da rastlanmaktadır. Çalışmalar, kullanılan çözüm yöntemlerine göre deterministik, stokastik, bulanık ve sezgisel olmak üzere 4 kategoride incelenmiştir.

2.1. Deterministik Çözüm Yöntemleri Kullanılan Problemler

Çalışma sürelerine göre yazılan makaleler incelendiğinde aşağıdaki Çizelge 2.1'deki tablo oluşturulmuştur. Bu tablo üzerinde montaj hattında iş adımlarının süreleri yani görev süreleri deterministik olan çalışmalardan örnekler sunulmaktadır.

Çizelge 2.1 : Deterministik iş adımları sürelerinde yapılan çalışmalardan örnekler.

Yayın	Amaç	Yerleşime Göre	Ürün Çeşitliliği	İş Adımı Süresi	Çözüm Yöntemi
Kellegöz ve Toklu (2015)	Hatta yapılan işlerin uzun sürmesi nedeniyle düzgün iş dağılımı yapılabilmesi	Paralel	Karışık modelli	Deterministik	Sezgisel Yöntem-Genetik algoritma ile dal sınır algoritması ile karşılaştırma
Özcan ve Peker (2007)	Tip 1	U tipi	Karışık modelli	Deterministik	Sezgisel Yöntem-Tabu araması algoritması ile
Çerçioğlu ve diğerleri (2009)	Minimum istasyon sayısı ve en az işçi sayısı	Paralel	Karışık modelli	Deterministik	Sezgisel Yöntem-Tavlama benzetimi ile
Akpınar ve diğerleri (2017)	Tip 1 ve Tip 2	Geleneksel	Karışık modelli	Deterministik	Benders ayrışımına dayalı tam sayılı programlama

Temel çalışmalarını gözlemlemek adına deterministik çalışmalar kategorisinde olan çalışmalarını incelemeye öncelik verilmiştir. Sarker ve Pan (2001) metal dolap üreten karma modelli açık istasyon montaj hattı için karma tamsayı bir programlama modeli geliştirdi. Model, istasyonda minimum boşta kalma zamanı ve kullanılan sürelerin

toplam maliyetinin hat uzunluğu ile düştüğünü gösterdi. Pastor (2011) MILP (Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama) prosedürünü sundu. Bu prosedür ile döngü süresini dolayısıyla çevrim süresini minimize etti. Kara ve diğerleri (2011) sabit iş süreleri olan bir montaj hattında, farklı zamanlarda alternatif parça işleme yapılarak en az maliyetle kaynağa bağımlı montaj hattının istasyonlarına iş atayan tam sayılı programlama formülasyonunu doğruladı.

Çok amaçlı karar verme tekniklerinden faydalanılarak yapılan çalışmalara da rastlanmaktadır. Özellikle, Nourmohammadi ve Zandieh (2011) istasyon sayısı sabit iken minimum çevrim süresini amaçlayan çok amaçlı basit montaj hattı dengeleme problemini çözmek için, MODEA (Çok Amaçlı Diferansiyel Evrim Algoritması) önerdi. Böylece çevrim süresinin ve montaj hattının düzgünlük endeksinin minimize edilmesi için mevcut algoritmalarından farklı olarak, pareto kavramına dayalı yeni bir kabul şeması ve TOPSIS-Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (İdeal Çözüme Benzerliği Yönünden Sıralama Tekniği)'ne dayalı yeni bir değerlendirme şeması elde edildi.

Paksoy ve diğerleri (2012) nakliye maliyetlerini en aza indiren doğrusal olmayan bir karışık tamsayılı matematiksel model ile dengeleme sundular ve hattı incelediler. Genikomsakis ve diğerleri (2012) bir ürünün öncelik diyagramındaki görevlerin daha verimli dengeleme konfigürasyonunu elde etmek için görevlerin yakınlığını ölçen bir metrik sistem geliştirerek görev yakınlık endeksi önerdiler.

Gerçek bir tesisten çalışmalara örnek olarak, Wilson (2014) üretimin talebe ve satışa göre şekillendiği çalışması incelenmiştir. Toplam maliyetin minimize edilmesi için tasarlanan ek montaj hatları ile yapılan analizlerle, Ford'un tesislerinde yer alan montaj hattının modern montaj hatlarına göre daha esnek olduğunu gösterdi.

Yang ve diğerleri (2014) karma modelli montaj hattı dengelenirken, farklı modeller üzerindeki bir görevin değişkenlerinin aynı istasyona atanmasının gerektiğini belirlediler ve çalışma sonunda bitişik görev çoğaltma yöntemi ile istasyon sayısı minimize edildi. Kara ve diğerleri (2014) çalışmalarında ergonomi ve kaynak kısıtlamalarını montaj hattı dengelemesine entegre ederek maliyet odaklı bir model sundular. Fattahi ve diğerleri (2014) U şeklindeki montaj hatlarının JIT (Tam Zamanında Üretim) mantığında etkin olan bir konfigürasyon olduğunu göz önünde bulundurdular. Çevrim zamanı bilinen U tipi montaj hatlarında hat dengeleme

probleminin çözümü için istasyon sayısını en aza indirmeyi amaçlayan yeni bir tamsayılı programlama formülasyonu sundular. Sunulan matematiksel modelin, belirtilen 3 tip lineer programlama mantık kesintisinden daha iyi sonuç verdiğini gözlemlidiler.

Pereira (2015) montaj hattının verimliliğini attırmak amacıyla montajlama işini farklı istasyonlara bölerek 3 farklı sonuç ve analizler oluşturdu. Pereira ve diğerleri (2016) montaj hattı dengelemede, tedarik zincirinin kararlarını mevcut lineer olmayan karışık tamsayı formülasyonundan daha kolay çözülen bir karışık tamsayılı doğrusal modeline ayırdılar. Esmailbeigi ve diğerleri (2016) kurulum montaj hattı dengeleme ve zamanlama problemi üzerine hattın genel performansını optimize etmek amacıyla bir çalışma hazırladılar. Çalışma sonucunda, her istasyondaki görev listesine göre istasyon tabanlı ve doğrudan istasyon göstermeyen karar değişkenleri ile formülasyonlar geliştirdiler. Akpınar ve diğerleri (2017) basit ve karma modellenli montaj hattı dengeleme problemlerini çözebilen *benders ayrışmasına* dayanan tamsayılı doğrusal programlama sundular. Elde edilen çözüm kesin bir örnek üzerinde test edildi.

Chica ve diğerleri (2019) belirsiz talepler altında, üretim planına dayalı montaj hattı dengeleme yapılabilmesi için çok amaçlı *robust* model kullanarak 6 farklı montaj hattı konfigürasyonu içerisinde çoklu hedef optimizasyonu sağlayan en esnek *robust* konfigürasyonunu belirlediler. Özcan ve diğerleri (2019) katma değerli olmayan faaliyetlerin ortadan kaldırılması, kaynakların kullanımının maksimize edilmesi, maliyetlerin düşürülmesi, bu alanların sürekliliğinin sağlanması, kalite ve verimliliğin artırılması ile geliştirilen yalın üretim tekniğinin istatistiksel veri analizi, enerji sektöründe bir montaj hattında mevcut ve gelecek durumu karşılaştırarak çalışma yaptılar. El emeğinin öncelikli olduğu bir fabrikada video kayıtları ile süreç analizleri yapılmış, yeni proses tasarımına göre iş akışı yaratarak montaj hattı dengelemesi sundular. Yılmaz ve Demir (2019) ürün montajında istasyonlara iş atama yapılırken işçi görevlendirme problemi için montaj hatlarında iş gücünün homojen olmadığı farklı durumlarda döngü süresini en aza indirme amacıyla matematiksel model sundular. Modeli standart bir veri seti kullanarak GUROBI çözücü ile sonuçlar elde ettiler. Palamut ve Akpınar (2019) klasik montaj hattı dengeleme problemlerinde öncelik ilişkilerinin belirtildiği öncelik grafiğinde, montaj sürecinde öncelik verilmesi gereken alternatif alt süreçlerin olduğunu ve bu süreçlerin Alternatif Altgraf Montaj

Hattı Dengeleme Problemleri olarak ortaya çıktığını sundular. Bu tür problemlerin farklı montaj alternatiflerine sahip iş adımlarının sırasına bağlı olarak işlem sürelerinin değiştirilmesinden kaynaklandığını yeni önerilen metasezgisel yöntemlerle belirlediler. Asl ve diğerleri (2019) Literatürde çok fazla rastlanmayan MuMALBP (Çok Modelli Montaj Hattı Dengeleme Problemi) ele aldılar. Çok amaçlı bir karma tamsayılı programlama modeli kullandılar ve aynı anda hem çevrim zamanını en aza indiren hem ortak görevleri aynı istasyona atayan hem de istasyonlar arası iş yükü dağılımı düzgünlüğünü maksimize eden bir matematiksel model önerdiler. Önerilen modelin performansını ise gerçek hayatta motor montaj hattında deneyerek minimum çevrim zamanında ortak görevlerin aynı istasyona atandığı ve iş yükü dağılımının düzgünlüğünü maksimize eden bir çözüm elde ettiler.

2.2. Stokastik Çözüm Yöntemleri Kullanılan Problemler

Stokastik çalışmalar kategorisinde literatürde yer alan ilk çalışma olan Moodie ve Young (1965) işlem zamanlarının normal dağılıma uyduğu ve çevrim zamanının sabit olduğunu varsayan stokastik zamanlı montaj hattı dengeleme çalışmalarını sundular. Mansoor ve Ben-Tuvia (1966), çalışmalarında görev zamanlarının normal dağılıma uygun kabul edildiği ve istasyon sayısının belirli olduğu durumlar için, çevrim zamanının minimizasyonunu amaçladılar. Kao (1976) Gamma, Binom veya Negatif Binom dağılımının kullanıldığı stokastik montaj hattı dengeleme problemleri için dinamik bir programlama yaklaşımı geliştirdi. Sculli (1979) sistemin ilk tasarımından sonra, değişen koşullara uyum sağlayabilecek şekilde hattın yeniden dengelenmesine yönelik dinamik bir yaklaşım geliştirdi.

Erel ve diğerleri (2005) U-Tipi stokastik montaj hattı dengeleme problemi için ışı arama tabanlı bir yöntem sundular. Bu çalışma sonucunda, toplam işçilik maliyeti ve beklenen tamamlanma maliyetinden oluşan toplam beklenen maliyet minimize edildi. Vidalis ve diğerleri (2005) seri üretim akış hatları, sıralı kuyruk ağları olarak modellendi. Toplam iş süresi ile, zaman aşımı verimini arttırmak veya WIP (Süreç İçi İşleri) kapsamında ortalama çalışma seviyesini en aza indirebilmek için model sürekli zamanlı *Markov Zincirleri* olarak formüle edildi. Foroughi ve Gökçen (2014) şans kısıtlı matematiksel modeli, IBM ILOG CPLEX 12.4 yazılımı yardımıyla, maliyet tabanlı stokastik montaj hattı dengeleme probleminde ilk kez kullandılar. Böylece,

küçük ve orta boyutlu problemlerin çözümü için sonuçlar elde edildi. Foroughi ve diğerleri (2016) CALBP (Maliyet Kısıtlı Bir Montaj Hattı Dengeleme Problemi) çözümü için modelin çözüme şansı sınırlı, bir CPMIP (Maliyet Temelli Karışık Tamsayılı Programlama) geliştirdiler. Ayrıca SPALBP (Stokastik Paralel Montaj Hattı Dengeleme Problemi) için minimum sayıda istasyon sayısını veren basit bir alt limiti, CPMIP ve TS (Tavlama Sezgiseli) algoritmasıyla hesapladılar. Pınarbaşı ve diğerleri (2016) montaj hatlarında maksimum üretim adedine ulaşılması ve istasyonlara en iyi görev atamasının sağlanması için bir QN (Kuyruk Ağı) yaklaşımı kullanılmasını önerdiler. Çalışmada SALBP (Stokastik Montaj Hattı Dengeleme Problemi) için optimizasyon modeli geliştirildi. Delice ve diğerleri (2016) STUALB (Stokastik Görev Zamanları U-Tipi Montaj Hattı Dengeleme) için hem U tipinde montaj hattını kısaltmayı hem de istasyon sayısını bir taraftan da operatör sayısını en aza indirmeyi amaçlayan genetik algoritmaya dayalı bir sezgisel öncelik kuralı önerdiler. Ritt ve diğerleri (2016) belirsiz işçi mevcudiyeti altında minimum beklenen çevrim süresinde ALWABP (Montaj Hattı İşçi Atama ve Dengeleme Problemi)'ni iki aşamalı karma bir tamsayılı programlama olarak modellediler. Çalışmada stokastik modellemenin, hattın verimliliğini arttırdığı ve önerilen sezgisel taramaların ise pratik büyüklükteki örnekler için iyi sonuçlar verdiği gösterildi. Li (2017) SALBP-II (Stokastik Montaj Hattı Dengeleme Problemi) için endüstriyel uygulamalarda çoğunlukla belirtildiği gibi deterministik zamanlardan daha pratik kabul edilen, stokastik görev zamanı değişikliklerini ele aldı ve toplam üretim zamanlarının iyileştirilmesi için algoritmalar belirledi. Altekin (2017) stokastik iş sürelerini kullanarak DLBP (Demontaj Hattı Dengeleme Problemi) için 2 çeşit koni programlama modeli ve 5 adet parçalı karışık tamsayılı doğrusal programlama modeli kullanarak çeşitli matematiksel programlama formülasyonları geliştirdi.

Özcan (2018) daha verimli olarak kabul edilen paralel montaj hatlarında stokastik çalışma süreleri ile dengeleme problemine CPMIP – Chance Constrained Piecewise-Linear Mixed Integer Programming (Şans Kısıtlı Parçalı Doğrusal Karışık Tamsayılı Programlama) ve TS (Tavlama Sezgiseli) benzetim algoritması kullandı. Bu algoritma ile sabit çevrim süresinde minimum istasyon sayısını veren SPALBP 'ye ait istasyon sayısı için basit bir alt sınır hesaplaması önerisi oluşturdu. Pereira ve Miranda (2018) belirsiz görev zamanları altında değişen çalışma sürelerini ele aldılar. Alt sınır kuralı

ve numaralandırma prosedürü öneren bir formülasyon belirlediler. Ayrıca bir montaj hattı dengeleme probleminin çözümünün belirsizliğinin maliyetinin, ilave istasyon kurmak gibi bir yol izlenerek azaltılabileceği sonucunu sundular. Nourmohammadi ve diğerleri (2019) standart normal dağılıma göre stokastik görev süreleri ve talepler altında gerçek bir montaj hattında hem hat dengeleme hem de PF (Parça Besleme) yönlerinden istasyon sayısını minimize eden SALBP çözen ve ikinci aşamada parça sevkiyatını stok kurulum maliyetini optimize eden bir matematiksel programlama modeli geliştirdiler.

Leitold ve diğerleri (2019) stokastik üretim hatlarının dengelenmesi, görevin iş istasyonlarına atanması için çalışma zamanlarının ampirik yoğunluk dağılım fonksiyonlarının konvülsiyonuna dayanarak üretim hattının performans göstergelerini hesaplayan ve istasyonlara görev atamak için dinamik programlama uygulayan bir algoritma önerdiler. Algoritma ile 8 montaj hattında optimal çözümler elde edilmesinin yanında stokastik üretim hatlarının hassasiyet analizi için bir araç olduğunu doğruladılar.

2.3. Bulanık Çözüm Yöntemleri Kullanılan Problemler

Literatür incelemesi sırasında MHD ve MHDP çözüm metodolojileri bulanık yöntemler kullanılarak sonuçlanan çalışmalar yer almaktadır. Çalışmalardan bazıları şu şekilde sıralanmaktadır. Tsujimura ve diğerleri (1996) çevrim süresi bulanık düşünülmüş ve üçgensel bulanık operasyon zamanlarının kullanıldığı MHDP için genetik algoritmayı kullanarak sonuçlar sundular. Kara ve diğerleri (2009) tekli model ve U-Tipi montaj hattı için MHDP ikili bulanık hedef programlama yöntemini kullanarak ele aldılar. Baykasoğlu ve diğerleri (2012) bulanık parametreler ve paralel montaj hatları için MHDP çözüm yöntemleri üzerine çalışmalarını sundular. Fonseca ve diğerleri (2005) iş ve döngü sürelerinin belirlenmesinde ve zaman değişkenleri içinde yer alan belirsizliğin dikkate alınmasını sağlayan *bulanık küme teorisini* stokastik montaj hattı dengeleme problemindeki değişkenliği ve belirsizliği çözmek için geleneksel istatistiksel dağılımları kullanarak modellediler. COMSOAL ve Ranked Positional Weight (Sıralı Konumsal Ağırlıklandırma) tekniklerini MHDP için zaman değişkenlerini bulanık gösterim ile çözebilmek için değiştirdiler. Sonuçta geleneksel çözüm yöntemlerinden daha iyi çözümler elde edildiğini gösterdiler. Doğan

ve Sakallı (2016) sürelerinin bulanık olduğu varsayımı altında geleneksel montaj hatlarında MHDP için bir çözüm algoritması geliştirdiler. Geliştirilen algoritma, savunma sanayinde faaliyet gösteren bir fabrikada uygulandı ve çeşitli sonuçlar değerlendirildi.

Çizelge 2.2 : Stokastik veya bulanık iş adımı sürelerinde yapılan çalışmalardan örnekler.

Yayın	Amaç	Yerleşime Göre	Ürün Çeşitliliği	İş Adımı Süresi	Çözüm Yöntemi
Özcan (2018)	Tip 1	Paralel	Karışık modeli	Stokastik	Sezgisel Yöntem
Nourmohammadi ve diğerleri (2019)	Minimum istasyon sayısı ile istasyon kurulum maliyetini minimize etmek	Geleneksel	Karışık modeli	Stokastik	Kesin ve stokastik yöntemlerle elde edilen sonuçların yanında, sezgisel yöntem ile elde edilen öneriler
Doğan ve Sakallı (2016)	Tip 2	Geleneksel	Karışık	Bulanık	Sezgisel Yöntem- Gerçek fabrika uygulaması ile optimum karar verme sezgisel algoritması

2.4. Sezgisel Çözüm Yöntemleri Kullanılan Problemler

Yapılan araştırmalar incelendiğinde deterministik ve stokastik yöntemler sayesinde çözüme ulaşan veya çözüm için prosedürler öneren çalışmaların yanı sıra sezgisel yöntemlere başvuru yapılan çalışmalar ve farklı önerilere rastlanmaktadır. Arcus (1965) sezgisel çözüm yöntemleri kategorisinde ilk kez stokastik ve deterministik işlem süreleri olduğunda kullanılabilir olan COMSOAL (Computer Method of Sequencing for Assembly Lines) adlı tekniğı geliştirdi. Çalışmada çevrim zamanını geçmeyecek şekilde, atanması uygun olan işler atandı ve alternatif çözümler oluşturuldu. Bütün alternatifler bittiğinde, en az denge kaybını veren alternatif seçildiğı bu COMSOAL yöntemi ele alındı. Suresh ve Sahu (1994) stokastik görev işleme süreleriyle montaj hatlarının dengelenmesi sorununu çözmek için simüle edilmiş tavlama tekniğı kullanarak bir yaklaşım sundular. Çalışmadaki yaklaşımda farklı yerel optimum noktalara hapsolmeden global optimuma ulaşmaya çalıştılar. Liu ve diğerleri (2005) tek model üretimi gerçekleştirilen stokastik montaj hattı problemi için istasyon sayısını sabit varsayan çevrim zamanını ve döngü süresini en aza indiren sezgisel bir yaklaşım geliştirdiler. Özcan ve Peker (2007) karışık modelli U tipindeki montaj hatlarında minimum istasyon sayısı olmasını amaçlayan hat dengeleme ve model sıralama problemlerini aynı anda çözebilen tabu araması algoritması ile yeni bir sezgisel çalışma önerdiler. Önerilen yeni yaklaşım literatürde var olan karışık tamsayılı programlama modeli çözümleri ile karşılaştırıldı. Çerçioğlu ve diğerleri (2009) paralel montaj hattı dengeleme problemine benzetilmiş tavlama temelli bir yaklaşım ile 6 iyi sonuç geliştirdiler. Kellegöz ve Toklu (2015) paralel tipli montaj hatlarında uzun iş süreleri nedeniyle çoklu insanlı istasyonlarla bir MHDP için karma tamsayılı programlama formülasyonu geliştirdiler. Montaj hattı öncelik kurallarına dayanan yeni bir sezgisel algoritma önerdiler ve çalışma sonunda sezgisel algoritmayı geliştirmek için genetik algoritma tabanlı bir çözüm prosedürü de sundular. Sunulan yöntemin etkinliğı doğrulandıktan sonra ise bir dal sınır algoritması ile karşılaştırmalar sundular.

Roshani ve Nezami (2017) karma modelli montaj hattı dengeleme probleminde bir tam sayılı matematiksel model ile istasyon sayısını minimize eden benzetimli tavlama simülasyonu algoritması geliştirdiler.

Chen ve diğçerleri (2018) uygulanabilir karışık tamsayılı programlama modelli dengeleme çözümleri ve genetik algoritma oluşturma prosedürünü birleştiren karma bir sezgisel hat dengeleme çalışması geliştirdiler. Hamzadayı (2018) ÖÖTE (Öğretme Öğrenme Tabanlı Eniyileme) algoritmasını kullandı ve böylece iki yönlü karışık modelli montaj hattı dengeleme problemi için çözüm oluşturdu. Bununla alakalı olarak stokastik iki yönlü tek modelli montaj hattı dengeleme problemini ve melez ÖÖTE algoritmasını entegre eden sezgisel algoritmalar ile öneriler sundu. Müller ve diğçerleri (2018) robotik montaj hatlarında sık karşılaşılan zorluklardan olan arızalar nedeni ile tolere edilemeyen verim kaybını azaltmaya yönelik daha önce yapılmayan ve üretim teknolojilerinin gelişmesi ile yedek istasyonlarla arızalı istasyonun işini otomatik olarak üstlenen bir çalışma gerçekleştirdiler. Çalışma ile robotik montaj hatlarının stokastik arızalı yedek hat konfigürasyonu için hattın üretim hızını en üst düzeye çıkarmak için genetik bir algoritma sundular.

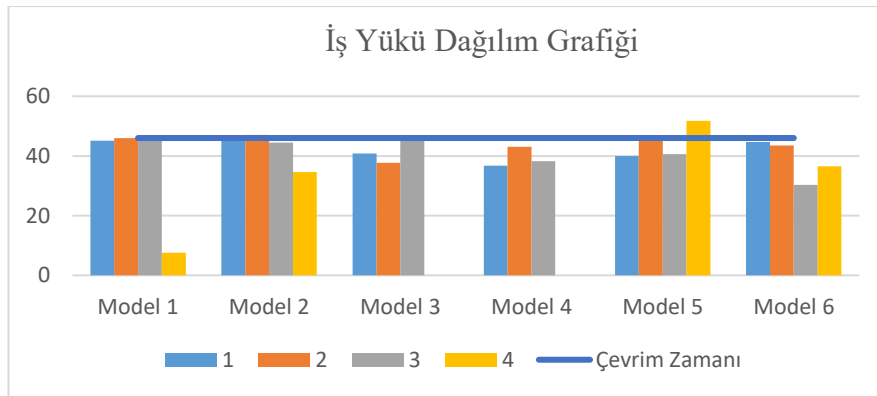
Kahya ve Yetkin (2019) montaj hattı dengelemede çalışan sağlığını ve üretimin verimliliğini korumak için REBA yöntemi ile ergonomik risk düzeyi ölçülerek *En Büyük Aday Yöntemi* kullanılarak yapılan dengeleme ile elde edilen veriler ile klasik montaj hattı dengelemede elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Geliştirilen ergonomik risk düzeyini göz önüne alan model ile bir işletmenin fırın montaj hattında toplam performansında %7.41 iyileşme sağlandığı sunulmuştur.

Akyol ve Baykasoğlu (2019) ALWABP için her görevin çalışma süresinin görevi yapan işçiye göre değişiklik gösterdiğini varsayarak, işlerin hem işçilere ve hem de aynı anda istasyonlara atanması gerektiğini belirlediler. Bu ALWABP'yi çözmek için MRBCRS (Çoklu Kural Tabanlı Yapıcı Rastgele Arama) algoritması önerildi. Delice (2019), bir montaj hattı dengeleme probleminde pozitif veya negative bölgeleme kısıtları göz önünde alındığında gerçek hayat uygulamalarına daha yakın bir yapı elde edildiğini, çift taraflı U-Tipi montaj hattı dengelemede parçaçık sürüsü optimizasyon algoritması temelli bir çözüm yaklaşımı ile elde edilen çözümler sunarak elde etti.

3. METODOLOJİ

3.1. Amaç

Matematiksel metot için ilk olarak video analizleri ile günlük planda bulunan sıradaki modelin montajı incelemeye alınarak çalışmaya başlanmıştır. Video analizi yapılabilmesi için montaj hattında çalışan işçilerin montaj esnasında çalışmaları boyunca yaptıkları işler video kaydına alınır. Video kayıtlarının daha sonra tekrar izlenmesi ile iş adımlarının süreleri hesaplanmaktadır. Süre hesaplamaları için kullanılan diğer yöntemde kronometre ile zaman ölçümü yapılmasıdır. İşçiler montaj hattında çalışmalarına devam ederken, onların çalışma durumları ve günlük çalışma süresi içerisinde işçilerin *iş yükü* olarak adlandırılan doluluk oranları incelenmiştir. Şekil 3.1’de herhangi bir güne ait montajı yapılacak olan traktör modelinin, günlük planda bulunan sırasına göre iş yükü analizi grafiği gösterilmiştir. Bu grafiğe göre montaj hattına model 2 traktör alındığında, 4 numaralı işçiye verilen iş adımları, 46 dakika çevrim zamanı içerisinde tamamlanamamaktadır. Bu durum gövdenin diğer istasyona geçebilmesine montaj hattında ilerleyebilmesine engel olmaktadır. Sonuçta montaj hattı dengesinin bozulmasına neden olmaktadır.



Şekil 3.1 : Boya öncesi işçilerinin mevcut durum iş yükü grafiği.

Fabrikada diğer montaj hatlarında yapılan analiz ile de iş yükü grafikleri elde edilmiş ve işçilerin doluluk oranları ve iş yükü grafiği üzerinde görülmüştür. Her analizde bir işçinin toplam iş adımlarını yetiştiremediği ve hat duruşuna sebep olduğu da gözlenmiştir. İş adımlarının tamamlanma sürelerinin değişmediği varsayılmıştır. Yani her iş adımı 4 farklı yetkinliğe sahip işçilerin her birine verilerek, her bir işçinin bir işi birbirinin aynısı olan sürelerde tamamlamadığı durum varsayıldı ve bu nedenle iş adımı sürelerinin değişmediği kabul edilmiştir. Öte yandan 6 farklı model için öncelik diyagramları, birleştirilmiş öncelik diyagramı yöntemi kullanılarak Çizelge Ek. 2'de elde edilmiştir. Montaj hattında, bu 4 işçi motor hazırlama, borulama, taşlama ve genel olmak üzere farklı yetkinliklere sahiptir. Çalışmada boya öncesi montaj hattı işçilerinin, montaja ait iş adımlarını minimum maliyetle tamamlaması amaçlanmıştır.

3.2. Problemin Tanımı

Karışık modelli montaj hatları, müşteri isteğini karşılamak üzere değişik modellerin sürekli olarak üretilmesi ve büyük bitmiş mamül stoklarını gerektirmemesi ile montaj hattına önemli bir avantaj sağlamaktadır. Diğer bir taraftan, montajda iş akışında düzensizliğe ve istasyonlarda çalışan işçilerin boş zamanlara sahip olmasına neden olmaktadır. Çalışmanın yapıldığı montaj hattının da karışık modelli montaj hattı olmasının dezavantajına sahip olmasının yanı sıra boş kalan bazı operatörlerin, zaman geçirmek için sadece hazırlık işlerini tamamlamaya yönelerek, montaj hattı kenarlarında yarı mamüllerden oluşan yığınlar oluşmasına neden olabilmektedir. Ayrıca, günlük yaşanan montaj hattı problemleri nedeniyle hat duruşları yaşanmaktadır. Hat duruşlarının, nedenleri arasında işçilerdeki beceri ve yetkinlik eksikliğinin olması da yer almaktadır. Problemin asıl nedeni mevcut montaj hattı dengelemede işçilere atanan iş adımlarının her işçiye göre farklı sürelerde tamamlanmasıdır. Motor montajında becerili olan bir operatör montajı daha hızlı tamamlarken motorda uzman olmayan bir operatör işi tanımlanan süreden daha uzun zamanda tamamlamaktadır. Bu nedenle, iş adımları sürelerinin farklı operatörlerin işi tamamlama sürelerine göre değiştii durumda, montaj hattı dengelemesine ihtiyaç duyulmaktadır.

3.3. Kullanılan Matematiksel Modelin Kapsamı

Montaj hattı dengeleme problemi için, işçilerin farklı beceri grubunda oldukları duruma göre sonuç bulduran bir matematiksel model kullanılmıştır. Montaj hattı dengeleme problemlerinde işgücü konusuna, geçmişte yapılan çalışmalarda çok fazla rastlanmamaktadır. Çalışmaya ait matematiksel model aşağıdaki gibidir.

Temel Denklemler

Deterministik iş adımı süreleri kullanarak işgücü ve yetkinliklerini dikkate alarak istasyon maliyetini en aza indirmeyi amaçlayan problemin matematiksel modeli aşağıdaki gibidir.

Karar Değişkenleri;

X_{ikj} = k. model için i. iş adımı j. istasyonda yapılıyorsa 1 , değilse 0

K_j = İstasyona en az 1 iş adımı atanmış ise (istasyon açılmış olur)

L_{bj} = j. istasyona b. beceride atanan işgücü sayısı

Parametreler;

Z_{ik} = i. iş adımı k. model türünde gerekli ise

Y_{ib} = i. iş adımı b. beceri grubunu gerektiriyorsa

t_i = i. iş adımı süresi (zaman birimi)

$C_{istasyon}$ = istasyon kurma maliyeti ($\frac{TL}{istasyon}$)

$C_{işgücü}$ = işgücü maliyeti ($\frac{TL}{kişi} * ay$)

P = Öncelik matrisi

L_j^{maks} = Her bir istasyonda çalışabilecek maksimum iş gücü sayısı

Amaç Fonksiyonu;

$$Min z = C_{istasyon} \cdot \sum_{j=1}^m K_j + C_{işgücü} \cdot \sum_{b=1}^w \sum_{j=1}^m L_{bj} \quad (13)$$

Kısıtlar;

$$\sum_{k=1}^l \sum_{i=1}^n x_{ikj} \cdot z_{ik} \leq M \cdot K_j, j = 1 \dots m, \quad (14)$$

$$\forall Z_{ik} = 1 \text{ için } \sum_{j=1}^m x_{ikj} \cdot z_{ik} = 1 \quad i = 1 \dots n, k = 1 \dots 1, \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ikj} \cdot Y_{ib} \cdot z_{ik} \cdot t_i \leq C \cdot L_{bj}, j = 1 \dots m, k = 1 \dots 1, b = 1 \dots w, \quad (16)$$

$$\sum_{b=1}^w L_{bj} \leq L_j^{max} \quad j = 1 \dots m, \quad (17)$$

$$\sum_{j=1}^m L_{bj} \leq L_b^{max} \quad j = 1 \dots m, \quad (18)$$

$$\sum_{j=1}^m L_{bj} + L_{rj} \leq A_{br}$$

$$\sum_{j=1}^m L_{bj} + L_{rj} + L_{gj} \leq A_{brg}$$

...

$$\sum_{b=1}^w \sum_{j=1}^m L_{bj} \leq A_{123..w}, \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^m j \cdot x_{ikj} &\leq \sum_{j=1}^m j \cdot x_{rkj}, i = 1 \dots n, r = 1 \dots n, k = 1 \dots 1, \forall Z_{ik} = 1, Z_{rk} \\ &= 1 \forall (i, r) P \end{aligned} \quad (20)$$

Çalışmada, montaj işçilerinin herhangi bir sebeple değişmediği kabul edilmiş ve sabit iş adımı süreleri kullanılmıştır. Matematiksel modelin çözüm sonuçları incelenmiştir. Özellikle çoklu beceriye sahip işçilerin çalıştığı montaj hatlarında, dengeleme yapılırken operatörlerin beceri ve yetkinliklerindeki farklılıkları da hat duruşlarına neden olabilmektedir. Bu çalışmada çok becerili işgücü faktörü göz önüne alınarak minimum maliyete ulaşmak isteyen, deterministik işlem süreli, paralel istasyonlara ve

iş adımlarının bölünmesine izin verilmeyen ve karma modelli olan montaj hattı dengelenmeye çalışılmıştır. İş adımlarının süreleri zaman etüdü çalışmaları ile bir defa ölçülmüştür. İlk önce bir defa ölçüldükten sonra sürelerin matematiksel modelde sonucu incelenmiş daha sonra tekrarlanan zaman etüdüne göre iş sürelerinin işçiye bağlı ve rassal olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmada iş adımı sürelerindeki tespit edilen bu rassallık daha sonra göz önüne alınmıştır. Fakat öncelikle deterministik süreler kullanılarak minimum maliyette hat dengelemesi için kurulan matematiksel modelin ILOG CPLEX programı ile kodlaması yapılmıştır. 58 iş adımı veya daha az iş adımına sahip bir montaj hattında optimum bir sonuç elde edilmiştir. Sürelerin değişmediği aynı montaj hattına ait ve iş adımlarının sabit varsayılan sürelerinin eklendiği 58 iş adımına sahip (toplam iş adımı sayısı = 117 iş adımından daha az) olan montaj hattında elde edilen sonucun ekran alıntısı Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar boya öncesi hattına bağlı 58 iş adımına sahip ön aks hazırlama montaj hattındaki bir istasyonuna aittir. Programın çalışmasına göre montaj hattında bulunan iş adımı sayısı arttıkça modelin çalışma süresi artmaktadır. Boya öncesi montaj hattındaki iş adımı sayısı 117 olduğundan, modelin çözüm süresinin uzaması nedeniyle daha hızlı çözümler elde edebilen sezgisel yaklaşımlar araştırılmıştır.

Amaç değeri 5.274 olan çözüm		
Ad	Değer	
Veri (10)		
beceriler	{1 2 3 4}	
C	52	
islemeler	{1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17...}	
istasyonlar	{1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15}	
j	8	
P	[[0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 1 1 0 1 0 0 1 1 0...]]	
t	[10 53 41 36 35 17 34 23 14 52 33 34 12 ...]	
turler	{"A" "B" "C"}	
Y	[[1 0 0 0] [1 0 0 0] [1 0 0 0] [1 0 0 0] [1...]]	
Z	[[1 1 1] [1 1 0] [1 0 1] [0 1 1] [1 1 1] [1...]]	
Karar değişkenleri (6)		
e	[1209 1228 1211]	
f	1404	
g	9	
K	[0 1 0 1 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1]	
L	[[0 3 0 3 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0] [0 0 0 0 2 ...]]	
X	[[[0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0] [0 1 0 0 0 ...]]]	

Şekil 3.2 : Cplex çıktı tablosu.

İş adımı sayısı arttırıldığında iş sürelerinin veri boyutu artış gösterdiği için ILOG CPLEX programında sonuç elde edilememiştir. Bu nedenle probleme sezgisel yaklaşımla çözüm aranması için çalışma başlatılmıştır. Hattın ihtiyacı olan istasyon sayısı etkili bir yol olarak tanınan ‘Stokastik COMSOAL’ yöntemi algoritmasına göre elde edilmiş, hat yeniden dengelenmiştir. 117 iş adımına sahip büyük ölçekli varsayılabilecek karışık modelli montaj hattı için Arcus’ un yöntemi olarak tanınan Stokastik COMSOAL metodu hatta uygulanmaya çalışılmıştır. Bu yöntemin uyarlanabilmesi için de montaj işlemlerinin yapıldığı sahada çok yoğun bir metot ve zaman etüdü çalışmasının yürütülmesi gerekli olmuştur. Bu çalışma sonucunda derlenen verilerin geliştirilen yönteme uyarlanması tamamlanıp türetilen seçenekler değerlendirilerek analizlerle iyileşmeler gözlenmiştir.

3.4. Comsoal Metodu

Literatürde birçok montaj hattı dengeleme probleminin çözümünde kullanılmış olan sezgisel bir yöntem olarak Comsoal (Computerized Method for Sequencing of Operations for Assembly Lines) metot montaj hattının ihtiyacı olan istasyon sayısının bulunmasında etkili bir yol olarak bilinmektedir.

Çalışmada da değişen iş adımı sürelerine ve belirli bir çevrim zamanına göre hatta açılması gereken istasyon sayısını veren “Stokastik Comsoal” yöntemi algoritması kullanılmış ve hat yeniden dengelenmiştir. Metodun adımlarına ait parametreler aşağıdaki gibi belirtilmiştir.

U: Atanmamış görevler listesi

X: Deneme limit sayısı

x: Deneme sayısı

B: Öncülü ve ardılı bulunmayan görevler listesi

F: Olasılık şartını sağlayan görevler listesi

α : İstasyon çevrim zamanını aşma olasılığı üst sınırı

P_k : İstasyon çevrim zamanını aşma olasılığı

A: Her görev birden fazla istasyona atanamaz.

B: Hattın güvenilirliği tamdır.

C: İstasyonlar arası stok tutulmamaktadır.

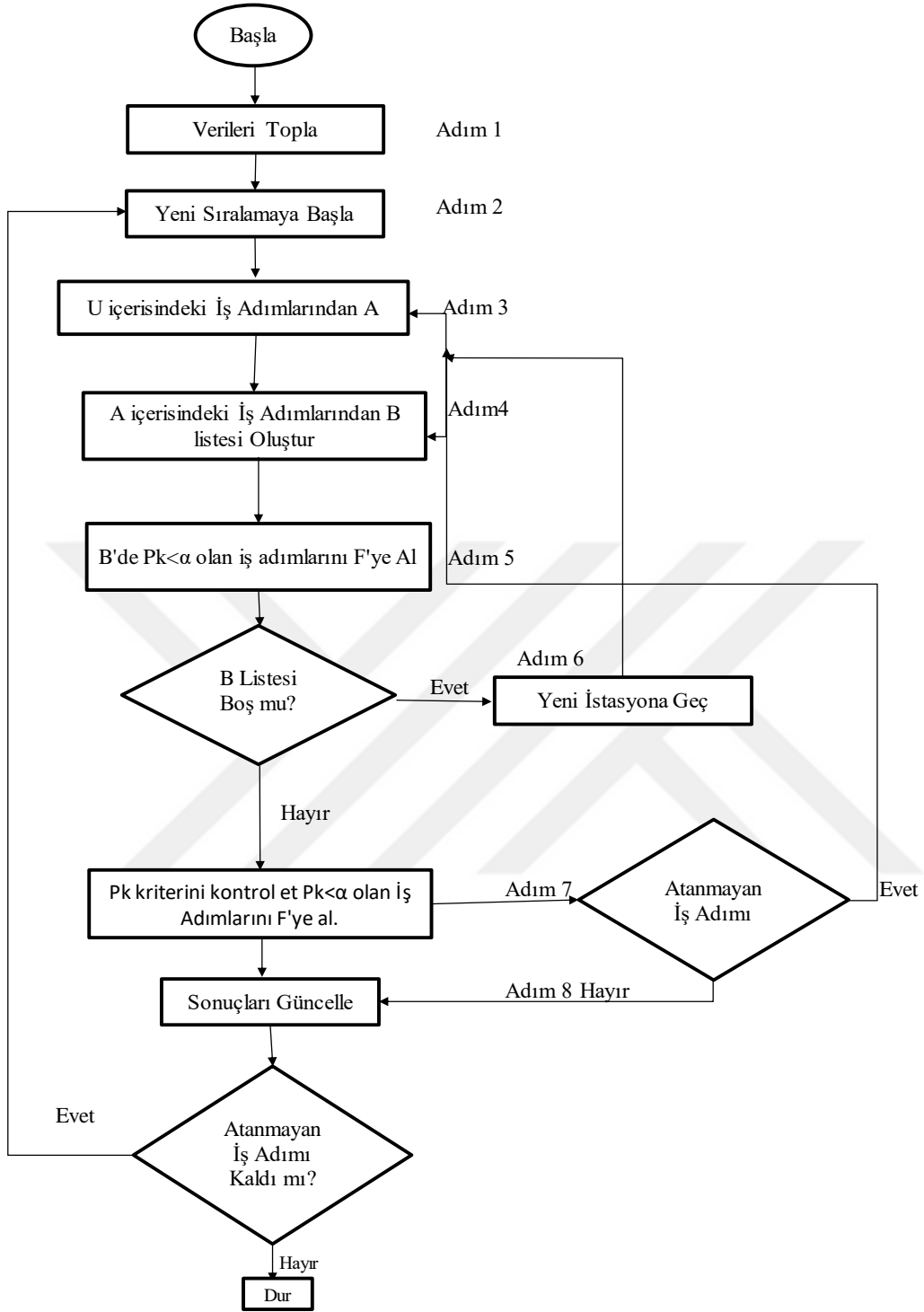
D: Bir görev kendisinden önceki görevler tamamlandıktan sonra başlar.

E: Herhangi bir k görevinin tamamlanma zamanı, ortalaması μ , standart sapması σ olan normal dağılıma sahiptir.

Metodun adımları ise aşağıdaki gibidir.

- Adım 1: $x=0$, $C = \text{Çevrim zamanı}$.
- Adım 2: Yeni sıralamaya başla. $x=x+1$
- Adım 3: Tüm $i \in U$, öncül ve ardıl işleri içeren A listesi yarat. (NIP(i) and NIS(i).)
- Adım 4: A listesindeki tüm i işleri eğer $NIP(i) = 0$ and $NIS(i) = 0$, i'yi B listesine ekle.
- Adım 5: Tüm $i \in B$ için, eğer $P_k \leq \alpha$ ise i'yi F listesine ekle, eğer F boş değil ise adım 7 'ye git.
- Adım 6: Yeni istasyon aç adım 3'e git.
- Adım 7: $m = \{F\}$ hesapla $RN \in U(1, m)$ sayısını üret. RN' inci görevi U listesinden çıkart.
- Adım 8: Eğer istasyon sayısı bir önceki denemeden daha az ise atamaları güncelle diğer durumlarda adım 2'ye git.

Adımların algoritma şekli ile gösterimi Şekil 3.3'te elde edilmiştir. Java dili ile kodlama yapılırken bu algoritma izlenmiştir.



Şekil 3.3 : Kullanılan comsoal metodun algoritması.

3.5. Sayısal Yöntem: İstasyon Çevrim Zamanını Aşma Olasılığı (P_k) Hesaplanması

Montaj hattı dengeleme probleminde doğru atama sonuçlarını elde edebilmek için, Stokastik Comsoal metodu ile bir istasyona atanan iş adımlarının süreleri toplamının, istasyona ait çevrim zamanını yani çalışmada 46 dakika olan süreyi aşmaması gerekmektedir. Algoritmaya göre atanacak iş adımı seçilirken rassal seçim için Eşitlik 3.1’de verilen olasılık hesaplanmalıdır. Bir iş adımının tamamlanmama olasılığı sınırı içerisinde istasyonların tam olarak doldurulması sağlanmalıdır. Bu uygulamada istasyonlara görev atması rassal olarak yapılmaktadır.

$$P_k = 1 - F(Z_k) \quad (3.1)$$

Burada $F(Z_k)$ normal dağılıma sahip ortalaması 0, varyansı 1 olan rassal Z_k değişkeninin kümülatif dağılım fonksiyonudur. Eşitlik 3.2 ile elde edilmektedir.

$$Z_k = \frac{(C - \sum_{i \in S_k} \mu_i)}{\sqrt{\sum_{i \in S_k} \sigma^2}} \quad (3.2)$$

Bu eşitlikte P_k değerinin α değerinden küçük olması söz konusudur. α istasyon zamanının çevrim zamanını aşma olasılığının üst sınırıdır. Literatürde bu üst sınır değeri için 0.95 ile 0.85 arasındaki değerler kullanılmıştır. Fakat bu çalışmada gerçek verilere daha uygun olduğu için 0.98 varsayılmıştır. Eşitlik 3.2’e göre $F(Z_k)$ değeri 0.02’yi aşmamalıdır.

4. FABRİKA ÇALIŞMALARI

4.1. Teorik Bilgiler

Gözlemler ve analizler kurumsal bir fabrikanın günlük rutin çalışması devam ederken tamamlanmıştır. Kullanılan dengeleme metotları öncelikle fabrikanın, montaj hatlarının biri olan boya öncesi montaj hattında denenmiştir. İlk olarak montaj hattı dengeleme ile ilgili literatürde yer alan genel teorik bilgiler aşağıdaki sıra izlenerek tanımlanmıştır.

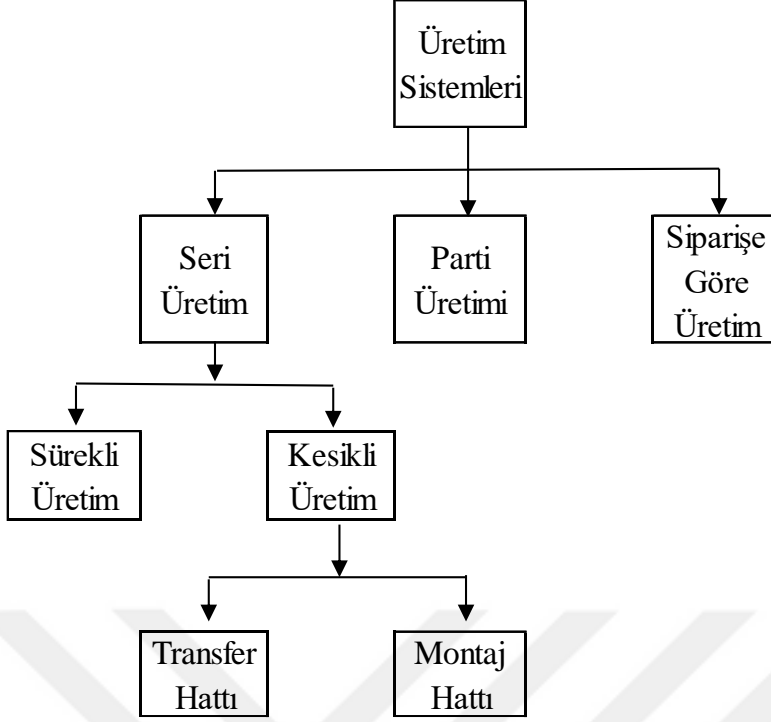
4.1.1. Üretim sistemi tanımı ve sınıflandırılması

İşletme içerisinde yer alan alt sistemdir. İşgücü, malzeme, bilgi, enerji, sermaye gibi girdilerin belirli bir dönüşüm sürecinden geçirilerek mal veya hizmetin üretildiği sistemlerdir. Temel amacı müşteri isteklerine uygun mal veya hizmet üretimini sağlamaktır.

Üretim sistemleri, en iyi girdileri ve fiziksel kaynakları kullanarak kaliteli üretimi gerçekleştirip, müşterilerinin tatminini en yüksek düzeye çıkarmayı hedefler. Acar (1991) montaj hatlarından önce üretim sistemlerinin sınıflandırılması konusunun incelenmesini önermektedir.

Gökçen (1994) üretim sistemleri siparişe göre üretim, parti üretimi, seri (akış tipi) üretim olmak üzere 3 sınıfa ayırmaktadır. Temel anlamda seri üretim, sürekli ve kesikli üretim (akış hatları) olarak iki sınıfa ayrılmaktadır.

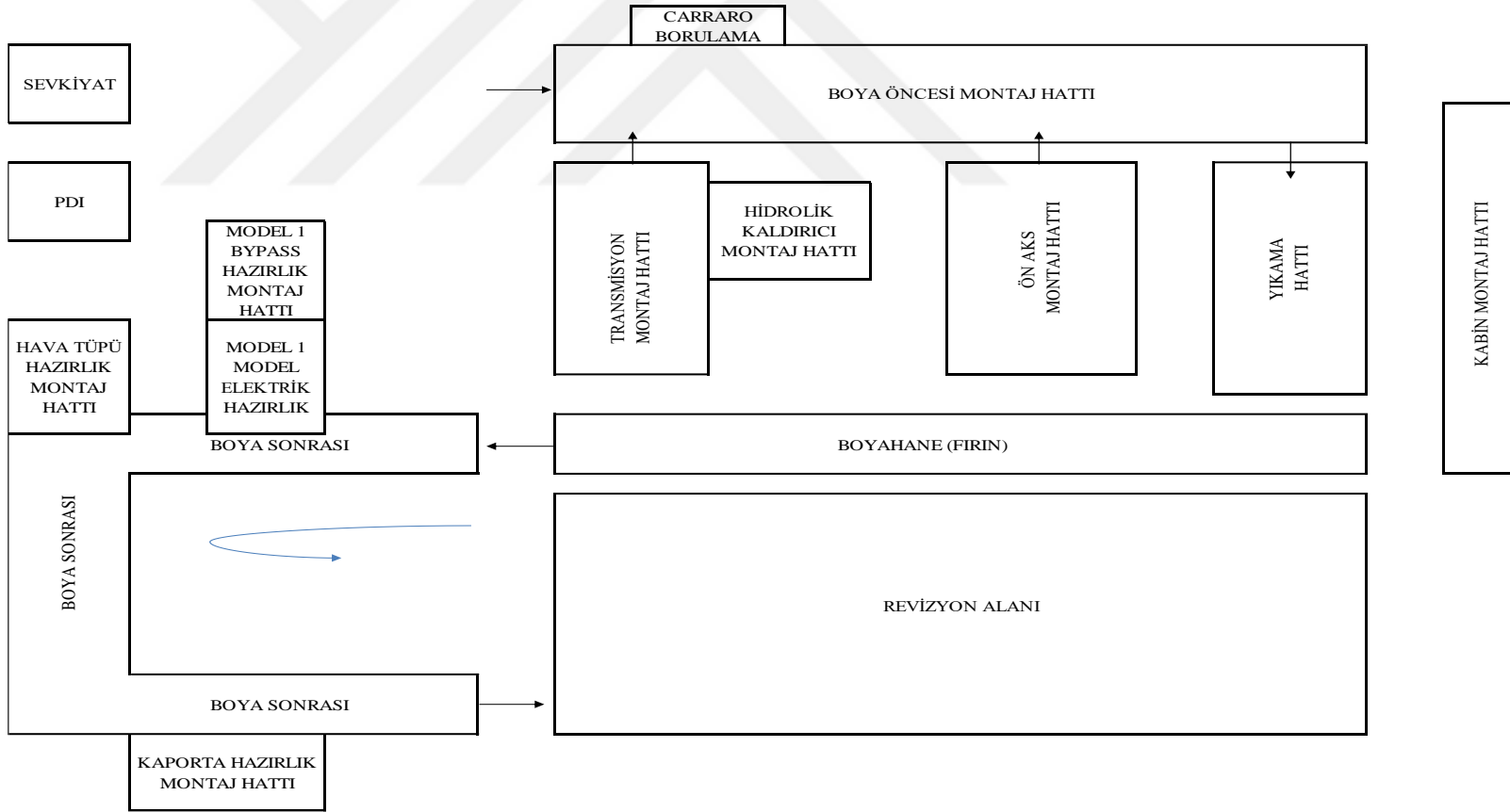
Kesikli üretim hatları ise transfer hattı ve montaj hattı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Üretim sistemlerinin temelini oluşturan bu tanımlar detaylı olarak Şekil 4.1 'de Gökçen (1994) doktora tezinde belirtmiş ve örneklendirilmiş olduğu üretim sistemlerinin sınıflandırılmasının görsel olarak sınıflandırılmış hali gösterilmektedir. Bu sınıflandırma aslında üretim sistemleri aşamalarının yanı sıra montaj hattı dengelemenin de ana süreçlerine yol gösterici olmuştur.



Şekil 4.1: Üretim sistemlerinin sınıflandırılması

4.1.2. Montaj ve montaj hattı tanımı

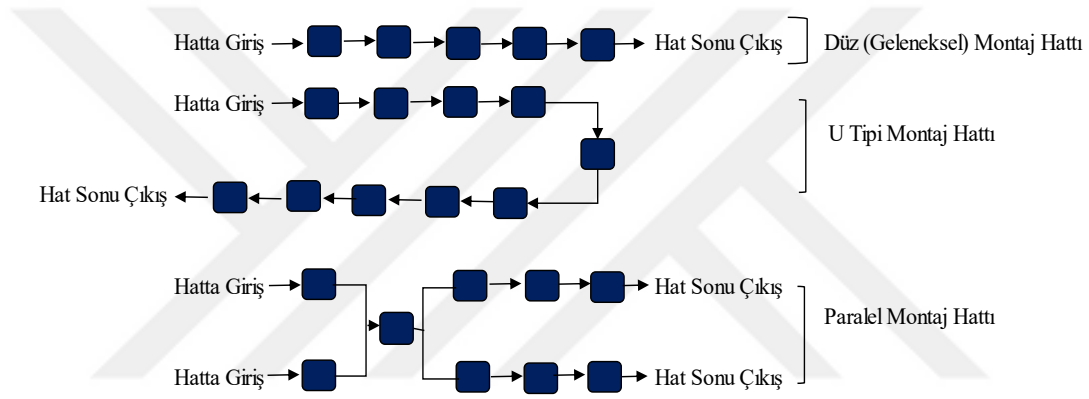
Bir üretim sisteminde, üretilmesi amaçlanan ürün veya yarı ürünlerin belirlenen bir üretim hattında bir araya getirilerek birleştirilmesi montaj işlemidir. Montaj için üretim kavramı ise ürün veya ürünlerin montajında kullanılan parçaları üretip stoklamak, son ürün montajını ise müşteri sipariş verdikten sonra yapmak olarak tanımlanmaktadır. Standart parçaları veya alt montaj elemanları talebine bağlı olarak montaj hattı yapısı değişebilmektedir. Malzemelerin hat boyunca sıralı iş istasyonlarında yapılması montaj olarak tanımlanır. Üretimin montaj hattında, iş istasyonlarında bir ya da birden fazla makine ve işçi bulunabilir. Montaj işlemi sonunda nihai ürün, tüm istasyonları ziyaret ederek montajı tamamlanmış ürün haline gelmiş olur. Örneğin; çalışmada olduğu gibi “traktör” olarak hattan çıkar. Çalışmanın uygulandığı montaj hattı çizimi tüm montaj sahasını içermekte olup Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 : Traktör fabrikasında montaj hattı saha görünümü

4.1.3. Montaj hatlarının yerleşimine göre sınıflandırılması

Montaj hatları yerleşim şekline göre 3 gruba ayrılmaktadır. Geleneksel montaj hatlarında yerleşim istasyonların yan yana düz bir şekilde sıralandığı ve işçilerin tek bir istasyonda çalıştığı hatlardır. U tipi hatların yerleşimi şekli itibariyle U harfine benzetilerek dizayn edilir ve bu tip hatlarda işçiler hattın yapısına göre birden fazla istasyonda çalışabilmektedir. Paralel montaj hatlarında ise iki veya daha fazla hattan meydana gelen seri hatlar bulunmaktadır. Bu hatlarda ortak istasyonlardaki işçiler her iki montaj hattı içinde çalışabilmektedir. MHDP ürün yerleşimine göre yapılan sınıflandırmada görünüşleri Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



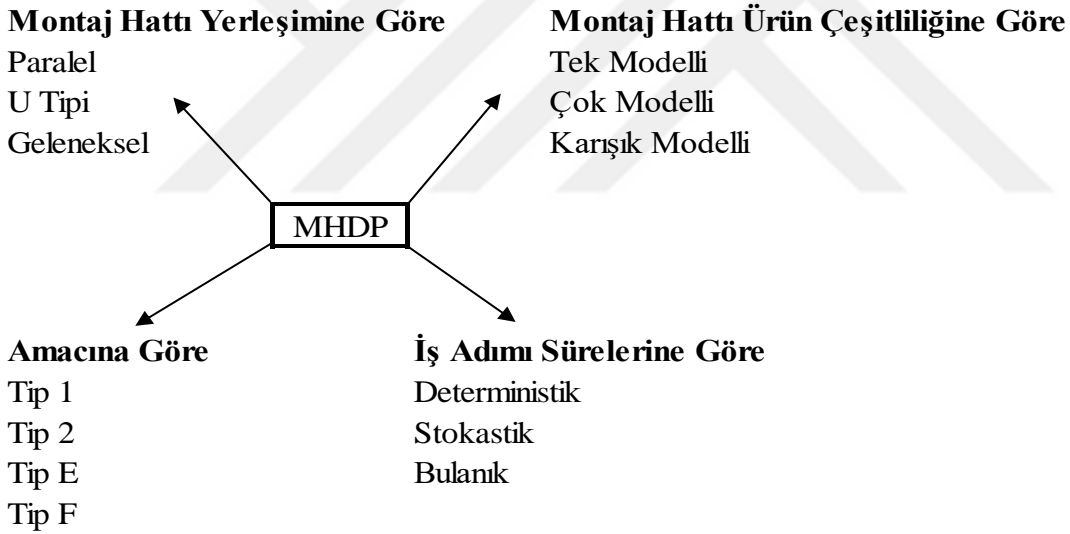
Şekil 4.3 : Hat yerleşimine göre sınıflandırma.

4.1.4. Montaj hattı dengeleme

Çalışmanın uygulanacağı montaj hatlarında, akış hattı boyunca işgücü veya üretim bandı gibi kaynaklar kullanılarak transfer edilen ve parça üzerinde gerçekleştirilen operasyonların, mevcut kısıtlar göz önüne alınarak iş istasyonlarında toplanması ve oluşturulan istasyonların bir hat boyunca sıralanması MHD olarak adlandırılır. Dengeleme kavramında işçi ve operatörler, montajı gerçekleştirecek ürün kendi iş istasyonlarına geldiğinde, kendilerine tanımlanmış operasyon veya iş adımlarını gerçekleştirirler. Böylece her işçiye atanan görevlerin tamamlanma durumunun kontrolü sağlanmış olur. Hattın dengelenmesi alanında görevli kişiler tarafından işçilere verilen işlerin takibi de kolaylaştırılmaktadır.

4.1.5. Montaj hattı dengeleme problemleri

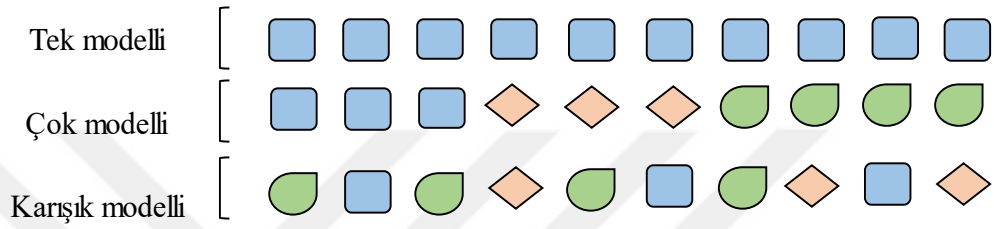
Bu sistemlerde yaşanan problemler arasında, istasyon sayısı sabit iken verilen çevrim süresinin minimize edilebilmesi, çevrim süresi sabit iken minimum istasyon sayısının elde edilebilmesi gibi amaçların montaj hattında sağlanabilmesi yer almaktadır. Bu problemler montaj hatlarında çok sık karşılaşılan problemlerdir. MHDP montaj hatlarının yerleşim tiplerine göre de değişebilmektedir. Yani geleneksel, paralel ve U tipi yerleşime sahip olan montaj hatlarında dengeleme problemleri mevcuttur. Literatürde de incelendiği üzere ürünün çeşitliliğine göre de bir MHDP' nin çözüm yöntemi değişebilmektedir. Ayrıca çözüm yöntemleri arasında kesin ve sezgisel yöntemler olarak iki kategoride inceleme yapılabilmektedir. Ancak genel olarak MHDP sınıflandırılması montaj hattının yerleşimine göre, hatta üretilen ürünün çeşitliliğine göre ve iş adımı sürelerinin deterministik veya stokastik olması durumuna göre sınıflandırılabilir. Şekil 4.4'te temel MHDP sınıflandırmaları mevcut çalışmalar arasında belirlendiği şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4.4 : Montaj hattı dengeleme problemleri sınıflandırılması.

Ayrıca problemin tipine göre basit veya genel tip olabilmektedir. Basit MHDP gerçek bir montaj hattında karşımıza çıkan bir probleme benzememekle beraber genel MHDP çözümüne göre oldukça kolay çözümlenir. Genel MHDP' inde iş adımı süreleri stokastik olabilmekte paralellik ve bölge seçimi gibi kısıtlar probleme dahil olabilmektedir. Ürünlerin çeşitliliğine göre tek modelli montaj hattı, çok modelli montaj hattı ve karışık modelli montaj hattı olarak 3'e ayrılmaktadır. Tek modelli montaj hattında tek bir model ürün, çok modelli montaj hattında iki veya daha fazla ürün modeli

gruplar halinde üretilmektedir. Çok modelli montaj hattında bir grup modelin üretimi tamamlandıktan sonra montaj hattında *setup* denilen ayarlamalar tamamlanır ve daha sonra aynı montaj hattı üzerinde diğer bir grup ürünün üretimine geçilmektedir. Karışık modelli montaj hattında ise gruplar halinde üretim söz konusu değildir, ancak montaj hattı üzerinde aynı anda farklı modellerin üretimi gerçekleştirilmektedir. Örneğin tez çalışmasında yer alan karışık modelli hatta, farklı model traktörlerin montaj hattında karışık bir sırada üretilmesi söz konusu olmaktadır. Montaj hattında ürün çeşitliliği göz önüne alınarak yapılan kategori Şekil 2.4’te gösterilmektedir.



Şekil 4.5 : Ürün çeşitliliğine göre MHDP sınıflandırılması.

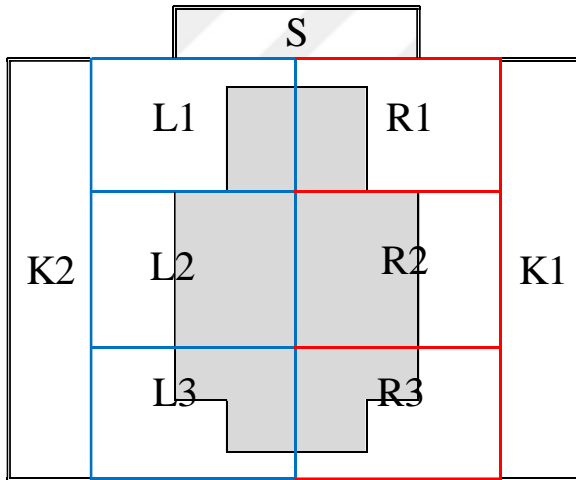
Ayrıca MHDP’ inde çözülmesi gereken problemin modeline ait amaç fonksiyonuna göre de Tip 1, Tip 2, Tip E ve Tip F olarak 4’e ayrılmaktadır. Tip 1 model MHDP’ de verilen bir çevrim süresinde açılacak olan istasyon sayısının minimize edilmesi hedeflenirken, Tip 2 model MHDP’ de verilen istasyon sayısında çevrim süresinin en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. İstasyon sayısı ve çevrim zamanı bilgisi verilen Tip F problemlerinde hattaki işçilere iş dağılımı verilen değerleri sabit kabul ederek yapılmaktadır. Tip E MHDP’ inde ise montaj hattında istasyon sayısı ile çevrim zamanının minimize edildiği bir dengeleme yapılması hedeflenmektedir. Amaçlarına göre MHDP sınıflandırma Şekil 4.6 ile gösterilmiştir.

		Çevrim Zamanı	
		Verilen	Minimize Edilen
İstasyon Sayısı	Verilen	Tip-F	Tip-2
	Minimize Edilen	Tip-1	Tip-E

Şekil 4.6 : Amaçlarına göre MHDP sınıflandırılması.

Traktör bölgeleri

Montaj esnasında istasyonda bulunan her bir traktör üzerinde operatörün çalıştığı bölgeler traktör bölgelerini temsil etmektedir. Bölgeler, montajı tamamlanmış traktörün herhangi bir yol üzerinde ilerleme yönüne göre belirlenmiştir. Traktöre ve hat kenarına ait tüm bölgeler Şekil 4.7 üzerinde görülmektedir. Bu gösterim, traktörün montajında analiz yapılırken analiz sonucunda hangi işçinin traktörün en fazla hangi bölgelerinde çalışma yaptığını belirlenmesi ve hat yerleşimi yapılırken işçilerin kullanım alanlarına yakın bölgelere malzeme beslenebilmesi amacıyla en uygun bölgeyi tespit edebilmek için kullanılmıştır. S bölgesi traktörün en ön bölgesinde uç kısmını gösterir. R (right) traktörün sağ kısmını; R1, sağ ön; R2, sağ orta; R3, sağ arka bölgelerini gösterir. Traktörün sol kısmı L (left) temsil ederken; L1, sol ön; L2, sol orta; L3, sol arka bölgeleri olarak belirlenmiştir. K montaj hattı kenarlarında bulunan, tam zamanında üretim sisteminde malzeme ve stok çizelgeleme yöntemi olarak kullanılan *Kanban* kutularını veya malzeme besleme raflarını temsil etmektedir. K1 sağ montaj hattı kenarı, K2 sol montaj hattı kenarını belirtmektedir.



Şekil 4.7 : Traktör bölgelerinin gösterimi.

İş Adımı tanımı ve süresi

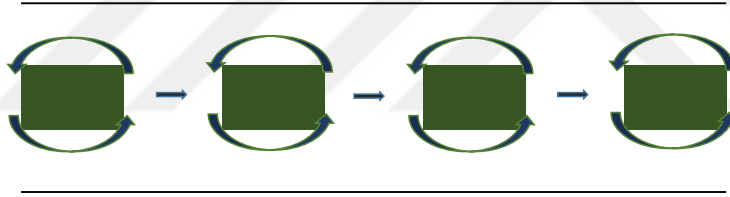
Toplam görev kapsamının, parçalara bölünen mümkün olan en küçük parçaya ayrılmış hali iş adımıdır ve “i” indisi ile gösterilir. Görev sayısının toplamı ise N indisi ile gösterilmektedir. Bir iş adımını tanımlamak için gerekli olan süre iş adımı süresidir ve “i” iş adımının süresi “ t_i ” olarak gösterilmektedir. Montaj hattı dengeleme problemlerinde görev zamanları deterministik veya stokastik olabilmektedir. Bir görev

zamanı t_i , μ_i ortalama ve σ_i^2 varyansa sahip normal dağılımdan gelirse $1-\alpha$ olasılıkla görev zamanı Eşitlik 3.3 ile bulunmaktadır. Literatürde bulunan diğer çalışmalar incelendiğinde iş süresi, işlem süresi, görev süresi gibi isimlerle de iş adımı ile aynı tanımla karşılaşılmaktadır.

$$t_i = \mu_i + z_{1-\alpha} \sqrt{\sigma_i^2} \quad (3.3)$$

4.1.5.3. İstasyon

Montaj hattında yapılması gereken toplam iş miktarının belirli bir kısmının gerçekleştirildiği yer istasyondur. Şekil 4.7’de gösterilen her bir traktörün bölgelerinde, bir kısım iş adımlarının tamamlandığı ve traktörün montaj hattında ilerlerken uğradığı istasyonlar, Şekil 4.8’deki yeşil bölgeleri kapsamaktadır. Çalışmadaki traktör, montaj hattında yeşil bölgelerin tam ortasında durmaktadır. İşçi ise Şekil 4.8’deki oklar yönünde traktörün etrafında dolanarak montajını tamamlamaktadır.



Şekil 4.8 : İstasyon bölgelerinin kapsadığı alan.

4.1.5.4.Çevrim zamanı

Montaj hattının hareketiyle ürünün her bir istasyonda işlem gördüğü zaman çevrim zamanı olarak adlandırılır. Kaynaklar da” C” ile temsil edilmektedir. Kelime anlamı olarak Almanca kökenlidir. Ritim veya metre demektir. Nihai ürünün montaj süreci düşünüldüğünde, müşterilerin bitmiş ürünü satın alma hızı gibi de düşünülebilir. Literatürde yer alan çalışmalarda “takt zamanı” adıyla aynı tanıma rastlanmaktadır.

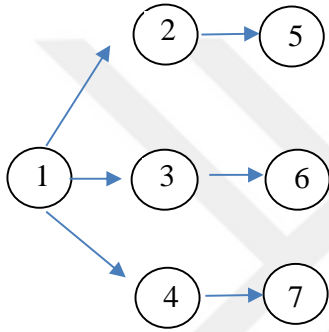
4.1.5.5.İstasyon zamanı ve istasyon gecikme zamanı

Aynı istasyon içerisinde yapılan işlerin toplamı istasyon zamanıdır. Montaj hattındaki işlerin dengeli bir şekilde dağılımı sağlandıktan sonra ise bir istasyon zamanı, hattın çevrim zamanından büyük olmamalıdır. İstasyon gecikme zamanı ise çevrim zamanı ile

istasyon zamanı arasındaki farka eşittir. İstasyonda çalışan işçinin montajı yaparken geçirdiği boş zamanı ifade eder. İngilizce adı ile “idle time” olarak bilinmektedir.

4.1.5.6.Öncelik diyagramı

Montaj hattında bulunan bazı görevler arasında öncelik ilişkileri bulunur. Örneğin herhangi bir parça ürünün montajında 1 numaralı görevin 2 numaralı göreve başlanmadan önce tamamlanması gerekebilir. 1 numaralı göreve 2 numaralı görevin “öncülü”, 2 numaralı göreve 1 numaralı görevin “ardılı” denir. Bu ilişkilerin gösterildiği soldan sağa yönlü çizilen yönlü diyagrama öncelik diyagramı adı verilir. Örnek öncelik diyagramı Şekil 4.9’da görülmektedir.



Şekil 4.9 : Örnek öncelik diyagramı.

4.1.5.7.Öncelik matrisi

İş adımları arasındaki öncelik ilişkilerini gösteren bir diğer teknik öncelik matrisidir. Öncelik diyagramındaki 1 numaralı görevi tamandıktan sonra 3 numaralı iş takip ediyorsa matriste 1. satır ile 3. sütunun kesiştiği kutucuğuna 1 yazılır aksi halde 0 yazılarak gösterilir. Böylece iş adımlarının öncelik ilişkileri matrise dönüştürülebilir. Örnek öncelik matrisi Şekil 4.10’da görülmektedir.

	1	2	3	4	5	6	7
1		1	1	1	0	0	0
2			0	0	1	0	0
3				0	0	1	0
4					0	0	1
5							
6							
7							

Şekil 4.10 : Örnek öncelik matrisi.

4.1.5.8.Hat duruşu ve andon haberleşme

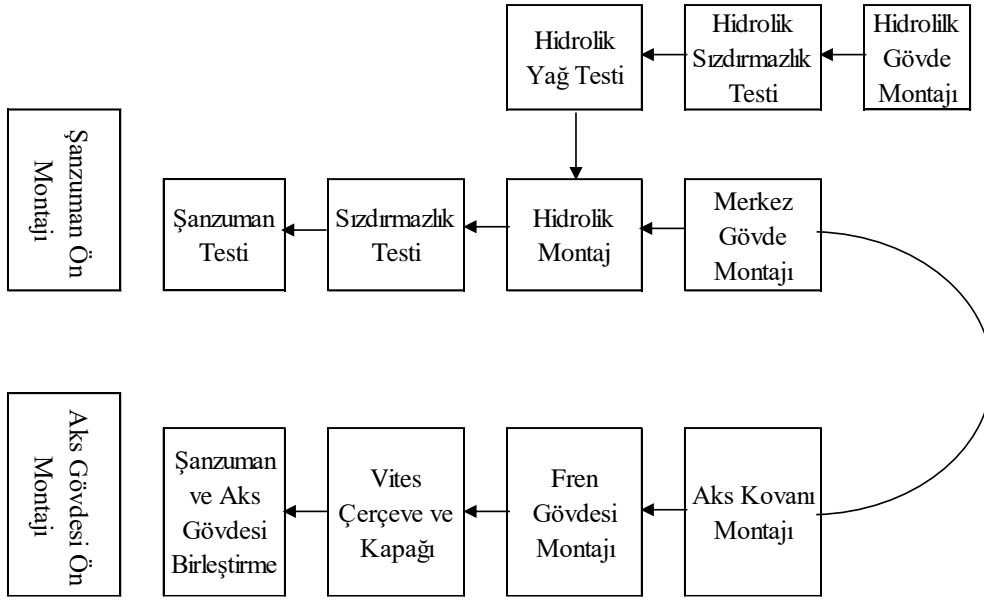
Otomotiv sektöründe montaj hattında işçinin öncelikli görevi, hatta ilerlemekte olan yarı mamul haldeki gövdeye, montajlanması gereken parçaları istenilen prosese ve öncelik ilişkisine göre monte edilmesini sağlamak olarak tanımlanır. Montaj hattında tüm koşullar ürünün elde edilmesine katkı sağlıyor ise, hat boyunca ilerlenebilir ve bitmiş ürün elde edilir. Fakat bazı durumlarda montaj sırasında işçiler, montaja engel olan problemler ile karşılaşabilmektedirler. Bu problemler, işçilerden kaynaklanan sorunlar veya malzemenin montaj alanına sağlıklı ikmalinin yapılamaması gibi süreç aksaklıkları olabilmektedir. Öte yandan montajlanacak olan malzemenin, montaja engel olabilecek durumunda üretilmiş olarak tedarik edilmesi söz konusu olabilmektedir. Bu konuda ilk akla gelen, montajlanacak parçanın tasarımı aşamasında ölçü veya toleranslarında herhangi bir uygunsuzluk olabilmesi ihtimalidir. Diğer bir durum ise, tasarımında bir problem olmamasına rağmen, tedarikçi firmada yanlış bir prosese tabi tutulan bir parçanın, fabrikaya girişinde yapılan kalite kontrolleri ile final kalite kontrol süreci sırasında ihmal edilmesiyle karşılaşılmasıdır. Bu gibi nedenlerden dolayı montaj hattında ve işçinin çalışma alanına ulaşmış olan kusurlu parçaların varlığı da söz konusu olabilmektedir. Montajda bulunan uygunsuz olan parçanın doğru parça ile değiştirilmesi işlemi için, en hızlı şekilde doğru parçanın hattaki işçiye temin edilmesi gerekmektedir. Doğru parça montaj hattına beslenene kadar hat durdurulur ve montaja devam edilemez. Tüm bu sorunların genel adı hattın akışına engel olması nedeni ile “Hat Duruşu” olarak tanımlanmaktadır. Bu gibi durumlarla karşılaşıldığında; istasyonlarda herhangi bir montaj iş adımının atlanmasını engellemek ve sorumlu kişilerce problemin kaynağının tespit edilip aksiyon alınmasını sağlamak için, montaj hattında görevli işçi olan *hat takım lideri* “Andon” adı verilen zile basarak hat duruşunun tüm fabrikaya haber verilmesini sağlamaktadır. Montaj hattı duruşları her gün kayıt altına alınarak verilerin analiz edilmesi sağlanmıştır. Analiz sonuçları montaj hattı dengeleme çalışması öncesi ve sonrası incelenmiş karşılaştırmalar yapılmıştır. Duruşların tekrar edip etmediği ve tekrarlanan duruşun tekrar etme sıklığı da sonuçlar başlığı altında paylaşılmıştır.

4.2. İş Adımı Sürelerini Ölçme Çalışmaları

Montaj hattında çalışan işçilerin çalışmaları video kaydına alınmış her gün zaman etüdü çalışması ile analiz edilmiştir. Çalışmada, 1920’de Gilberth’ in mikro hareket yöntemi olarak adlandırdığı, bir işin ayrıntılı hareket analizini yapma yönteminden yola çıkılmıştır. Gilberth’ in 17 temel el işini kapsayan “Simo Diyagramı” ve “therblig” ismi ile belirtilen fiiller ve kategoriler incelenerek fabrikadaki iş adımlarına uygun şekilde uyarlanmıştır. İş adımı analizinde kullanılan fiiller Çizelge Ek. 6’da ayrıntılı bir şekilde açıklanmaktadır. 5 ay boyunca yapılan incelemeler sonucu, işçilerin günlük 9 saatlik çalışma zamanı içerisinde, traktörün montajı sırasında yapmış oldukları işler öncelikle isimlendirilmiştir. Montajın iş adımlarının çıkarılmasının ardından tüm modellerde ortak olan veya farklı modellerde bulunmayan iş adımlarının tespit edilmesi ile gözleme devam edilmiştir. İş adımı sürelerinin değişiklik gösterdiği yani bir iş adımını farklı iki işçinin birbirinden farklı sürelerde tamamladığı gözlenmiştir. Sürelerdeki değişimlerin yanı sıra gözlemin yapıldığı 5 ay boyunca iş adımlarının kayıt altına alınması ile elde edilen süre değişimlerin ortalamaları da tespit edilmiştir. Ayrıca bir iş adımının işçiye bağlı ve rassal olduğu da belirlenmiştir. İş adımlarının isimleri ve modellere göre herhangi bir andaki süreleri Çizelge Ek. 1’de paylaşılmıştır. Tüm modellerde bulunan, yani ortak olan 10 adet iş adımlarının tamamlama sürelerinin dağılımı Çizelge Ek. 4’teki gibi elde edilmiştir. Çalışmanın yapıldığı montaj fabrikasında traktör montajındaki iş adımlarının genel açıklamaları ile ortalama iş adımı süreleri aşağıdaki bölümlerde verilmektedir.

4.2.1. Transmisyon montaj hattı iş adımları hakkında bilgiler

Transmisyon montaj hattı genel görünümü Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11 : Transmisyon montaj hattında yapılan işlerin gösterimi.

Transmisyon hattı, traktörün T gövdesinin montajının gerçekleştirilmiş olduğu hattır. Model 1, model 3 ve model 4 'ün T gövdeleri montajı bu hatta tamamlanıp boya öncesi hattının ilk istasyonuna iletilmektedir. Bu hattaki montaj iş adımları ile traktörün güç iletim elemanlarının montajının tamamlanması söz konusu olmaktadır. Bu nedenle işçiler transmisyon montajı ile traktörün en önemli aksamını oluşturmaktadır. Transmisyon hattında çalışan işçilerin diğer montaj hatlarında çalışan işçilerden daha tecrübeli ve kalifiye olmasına özen gösterilmektedir. Transmisyon hattında hat duruşu yaşanması halinde montaj tamamen durabilmektedir. Montaj sırasında yaşanabilecek olası bir karışıklık veya yanlış montaj yapılması telafisi olmayan bir hataya veya düzeltilmesi maliyetli olan kalite problemine neden olabilmesi nedeni ile risk teşkil etmektedir. Olası hata traktör T gövdesi Transmisyon montaj hattında iken veya final kalite kontrolü sırasında müşteriye sevk edilmeden önce tespit edilebilir ve bir şekilde problem çözülür. Çözüm süresi ise *kurtarma (rework) süresi* olarak adlandırılır ve gereken iş adımları revizyon alanında tamamlanır. Yapılan revizyon işlemi için çevrim zamanı dışında revizyon hattı işçileri ile belirli bir süre harcandığı için aslında fabrikanın revizyon alanında kurtarma işçiliği olarak adlandırılan bir maliyete neden olmaktadır. Montaj hattında montaj sırasında tespit edilir ise problem çözülünceye kadar hat ilerleyemez ve dolayısıyla montaj hattı duruşu yaşanır. Müşteriye sevk edilemez durumda olan traktörün ise, müşteriye teslimatı için verilen süre (*deadline*) yani termin süresinin gecikmesi satış sürecinde aksamaya neden olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı

transmisyon hattının durmaması çok önemlidir. Ek olarak, transmisyon montaj hattının malzeme stoklarına da ayrıca özen gösterilmektedir. Transmisyon hattının genel yerleşiminde ana montaj hattı ve ana montaj hattını besleyen yan montaj istasyonları bulunmaktadır. Hat sonunda elde edilen gövde boya öncesi montaj hattına geçmeden önce sızdırmazlık testine tabi tutulmaktadır. Bu testi geçmesi halinde gövdenin çalışması test edilir ve bu test ile yağ kaçağı durumunun olup olmadığı güç kaybı ve ses kontrolü yapılmış olmaktadır. Hatalı bir gövde tespit edilirse hatanın yeri tespit edilir ve ilgili istasyon işçisi tarafından hata düzeltildikten sonra gövde tekrar teste tabi tutulmaktadır. Testten geçebilen gövde, boya öncesi montaj hattına gönderilmek üzere “tampon stok” olarak transmisyon montaj hattı sonunda hazır şekilde tutulmaktadır. Tampon stok, montaj hattında akışı düzenleyebilmek ve yarı mamul beklemeleri engellemek için istasyonlar arasında tutulan stok olarak tanımlanmaktadır. Transmisyon hattında yapılan iş adımlarının detaylı olarak açıklaması aşağıda sıralanmaktadır.

Arka aks gövdesi ön montajı: Montaja hazır şekilde döküm fabrikasından getirilmiş arka aks gövdesi üzerine rulman çakılarak monte edilir. Tarla ve yol dişlileri ile mahrut denilen konik dişli monte edilir. *Torkmetre* ekipmanı vasıtasıyla mahrutinin dönme momenti kontrol edilerek montaj tamamlanır. Vites çatalları takılması işi tamamlanır. Eğer traktör 4 çeker model traktör ise 4 çeker dişlileri ile takviye dişlileri ve 4 çeker kutusu montajı gerçekleştirilir. Montaj sırasında milin ileteceği *tork* ölçümleri yine torkmetre ile yapılmaktadır. Torklama operasyonu da tamamlanınca montajın kontrolü yapılırken diğer bir işçi tarafından ara dişli ve milin montajı gerçekleştirilir. Tarla dişlisi adı verilen dişliye güç iletimini sağlayabilmek için şanzımandan gelen güç aktarım ekipmanı montajı tamamlanır. Bu işlemler ortalama 26 dakikada tamamlanmaktadır.

Şanzıman montajı: Montaj öncesinde parçalar hazır hale getirilir ve döküm fabrikasından hazır olarak gelen ana gövde içerisine miller konumlandırılır. Sonrasında ilk vites dişli grubu yerleştirilir. Miller üzerine önceden hazırlanmış olan ve farklı dönme hızları elde edilmesini sağlayan dişli çarkların montajı yapılır. Diğer bir vites dişli grubu yerleştirilir. Motordan gelen gücü şanzımana ileten mil ve diğer dişli aksamının montajı gerçekleştirilir. Şanzımanın yapısı 2 çeker veya 4 çeker traktör modelleri içinde aynıdır. Özel bir sipariş durumu söz konusu ise 2 çekere ve 4 çekere senkronize bir traktör için gerekli mil aksamı eklenebilmektedir. Bu işlemler ortalama 33 dakikada tamamlanmaktadır.

Şanzıman ve aks gövdesi birleştirme montajı: Önceki istasyonlarda üretilmiş olan arka aks gövdesi ile şanzıman parçalarının bir araya getirildiği montajı kapsamaktadır. Her iki gövdenin de montaj yüzeyinde sızdırmazlığı sağlayabilmek için ilk olarak *Loctite* adı verilen kimyasal yağ gövdelere sürülür. Sonra gövdeler birbirine saplama ve somunlar yardımıyla birleştirilir. Bu işlemleri süresi ortalama 7 dakika 30 saniye olarak ölçülmüştür.

Vites çerçevesi ve kapağı ön montajı: Döküm fabrikasından hazır olarak gelen kapak bloğu iğneli rulmanlar ile birbirine çakılarak monte edilir. Dürbün mesnedi kapak üzerine yerleştirilir. Kavrama milleri monte edilir ve üzerine vites koruma kolları yerleştirilir. Vites çerçevesi için çerçeve gövdesi üzerine vites milleri geçirilir. Millerin üzerine vites çatalı geçirilir ve millerin uç kısmına vites geçişini sağlamak üzere bilyeler konular ve bilye girişinin üstü sac ile kapatılarak ön montaj tamamlanır. Bu işlemler ortalama 4 dakikada tamamlanmaktadır.

Vites çerçevesi ve kapağı montajı: Aks gövdesi ile şanzımanın birleştirilmesi sonucu elde edilen yarı mamul üzerine önceden montajı yapılmış olan vites çerçevesi konumlandırılır. Cıvata vasıtası ile çerçeve kapağa sabitlenir. Ardından çerçeve ayarı ilgili işçi tarafından gerçekleştirilir. Ayar olarak vites çerçevesindeki millerin boşlukları komperatör vasıtası ile ölçülerek belli değer aralığında olacak şekilde ayarlaması yapılır. Sonrasında vites kapağı monte edilir. Kapak takıldıktan sonra yardımcı bir kol vasıtası ile vites geçişleri kontrol edilerek herhangi bir takılma olup olmadığı tespit edilir. Takılma olması halinde kapak açılarak yeniden monte edilir. Takılma olmaması halinde ise kapak üzerine vites yayı ve vites mesnedi monte edilerek montaj tamamlanır. Bu işlemler ortalama 20 dakikada tamamlanmaktadır.

Fren gövdesi birleştirme montajı: Dökümden gelen fren gövdesi üzerine 4 adet balata, 2 adet fren diski, 1 adet dolu fren dişlisi kullanılarak montaj yapılmaktadır. Üzerine ise fren plakası yerleştirilerek plaka cıvata ile sabitlenir. Sol diske yağ seviyesi göstergesi ve tıpa takılmaktadır. İlk olarak bir adet balata yerleştirilir. Ardından üzerine bir adet fren diski konular. Üzerine bir adet balata konular. Dolu fren diski parçaları birleştirilir ve gövde içerisine yerleştirilir. Üzerine balata, fren diski ve balata yerleştirilir. Üzerine fren plakası yerleştirilir. Plaka, cıvata yardımıyla sabitlenir. Toz lastikleri monte edilir. Sonrasında çekme kulağı aparatları gövdeye monte edilir. Kulağın boşluk toleransı

ayarlanır. Saplamların birleştirilmesi ile monte edilir. Bu işlemler ortalama 20 dakikada tamamlanmaktadır.

Fren gövdesi montajı: Gövdeye yağlama borusu takılır ve sağ fren gövdesi takılır. Diferansiyel dişli takımı iç montajı yapılır. Yapılmış olan diferansiyel dişli takımı fren gövdesi içerisine yerleştirilir. İçerisindeki rulman ve ayna için salgı ayarı yapılır. Diferansiyel üzerine kilitleme çatalı ve mil takılarak aks içine yerleştirilir. Yağlama çubuğu aks gövdesine yerleştirilir. Çatal üzerinden geçecek şekilde diferansiyel kilitleme mili monte edilir. Sol fren gövdesi gövde üzerine mil ile bağlantılı olacak şekilde yerleştirilir ve somunlar vasıtası ile sabitlenir. Bu işlem ortalama 25 dakikada tamamlanmaktadır.

Aks kovani birleştirme: Dökümden gelen gövde üzerine rulman zarfları çakılır. Aks milinin üzerine yağ keçesi ve rulman takılır. Üzerine ise gövde geçirilerek ve diğer rulman yerleştirilerek pres yardımı ile aks kovani mili monte edilir. Mil üzerine taşıyıcı yerleştirilir. Üzerine çember dişli konulur. Bu işlemler ortalama 15 dakikada tamamlanmaktadır.

Aks kovani montajı: Aks mili montajlanan ana gövdenin her iki tarafına takılır. Üzerine aks kovani montajlanır. Aks kovani somun ve saplamlar ile sabitlenir. İlgili modelde takılması gerekli ise mesnetlerin montajı da yapılmaktadır. Bu işlemler ortalama 15 dakikada tamamlanmaktadır.

Debriyaj gövdesi montajı: Döküm fabrikasından hazır olarak gelen debriyaj gövdesi gövdeye cıvata ile monte edilir. Debriyaj gövdesi içerisinde devir dişlisi ve vites kolları montajı yapılır. Debriyaj kilitleme kolu takılır. Debriyaj gövdesine yan taraftan debriyaj çatal pedalı milleri takılır. Debriyaj gövdesi içerisinde komperatör yardımı ile yapılan ölçüm sonucu takılacak şim sayısı belirlenir. Şim ve rulman ile manşon borusu montajı yapılır ve debriyaj gövdesine monte edilir. Çatallar çatal millerine geçirilir. Üzerine ise manşon takılır. Tarla-yol geçiş kolu takılır. Bu işlemler ortalama 33 dakikada tamamlanmaktadır.

Hidrolik birleştirme montajı: Ana gövde üzerine çeşitli cıvata ve somunlarla yan musluk takılır. Orta kol ve orta kol mesnedi parça grubu gövdenin içine yerleştirilir. Yan tarafından kaldırma mili geçirilir. Kaldırma milleri üzerine yağ keçeleri eklenir. Hidrolik boru, hidrolik kapak, hidrolik piston mekanizması gövde içine yerleştirilir ve

cıvatalar ile sabitlenir. Sağ ve sol kaldırma kolları ile arka kapak monte edilir. Yan kısma bağlantı flanş kompleksi ve yan kapak takılır. Hazır olarak fabrikaya tedarik edilen hidrolik kaldırıcı beyin gövdesi monte edilir. Hatta ön montajı yapılan traktör modelinde gerekli ise valf montajı yapılır. (Valf, model 1 traktörlerde hidrolik kaldırıcı beyin gövdesi üzerinde tedarik edilmektedir). Valften pistonu yağ aktaran basınç borusu monte edilir. Yine modelin montajında gerekli ise ek piston boruları yerleştirilir. Arka kapak mesnedi yerleştirilir. 7 kutuplu priz mesnedi monte edilir. Modelde gerekli ise damper valfleri gövdeye monte edilir. Borular ile hidrolik kaldırıcı beyin gövdesi ve varsa damper valfleri arasında bağlantı sağlanır. Bu işlemler ortalama 28 dakikada tamamlanmaktadır.

Hidrolik sızdırmazlık testi: Hidrolik birleştirme montajı tamamlanmış olan hidrolik montajı üzerinde gövdenin ilk olarak hidrolik sızdırmazlık testi yapılmaktadır. Bu test ile sistemde herhangi bir yağ kaçağı gözlemlenirse kaçağın yeri tespit edilmektedir. İşçi kaçağın engellenmesini sağlayan işlemleri ve ölçümleri tamamlar. Bu testte hidrolik montaj üzerindeki bütün çıkış ve giriş noktaları bir nokta dışında kapatılmaktadır ve tek noktadan sisteme hava verilmektedir. Ardından bu tek giriş noktasından sisteme 0.65 bar değerinde basınç uygulanır. Basınç uygulama işlemi tam 4 dakika sürmektedir. İşlem sonucu 32 Pascal dan fazla basınç kaybı olmadığı takdirde sızdırma olmadığı tespit edilir ve montaj hidrolik yağ testine gönderilir. Basıncın 32 Pascal üzerinde çıkması halinde ise kaçak noktasını tespit edebilmek üzere bağlantı noktalarına köpük sıkılır. Köpük ile de anlaşılabilmesi halinde ise hidrolik sistem havuza sokulur ve havuz yardımı ile kaçak noktası tespit edilen arızasını gidermek üzere hatta yeniden yönlendirilir. Bu işlemler ortalama 10 dakikada tamamlanmaktadır.

Hidrolik yağ testi: Hidrolik blok sızdırmazlık testini geçtikten sonra sistemin işlevselliğinin testi için hidrolik yağ testine tabi tutulmaktadır. Bu test ile aynı zamanda maksimum kaldırma mesafesi ayarlanır. Piston içerisinde yağ kaçağı olup olmadığı kontrol edilir. Hidrolik kolların ayarları yapılır. Güç kolu ve sabitleme kollarının ayarları yapılır. Hidrolik beyin çalışması kontrol edilir. Damper valflerine giden borulara yağ verilerek kaçak olup olmadığı kontrol edilir. Sistemin içindeki yağ boşaltılır. Hidrolik valflerin kolları monte edilir. Bu işlemler ortalama 20 dakikada tamamlanmaktadır.

Hidrolik montajı: Hidrolik gövdesi ana gövde üzerine vinç yardımı ile taşınarak yerleştirilmektedir. Cıvata ve somunlar ile hidrolik, ana gövdeye sabitlenir. Montaj sırasında hidrolikteki yağ çıkışı ile aks gövdesi içerisindeki yağ giriş borularının ağız kısımlarının iç içe girmesi gerekmektedir. Dikkat gerektiren bu işlemler ortalama 10 dakikada tamamlanmaktadır.

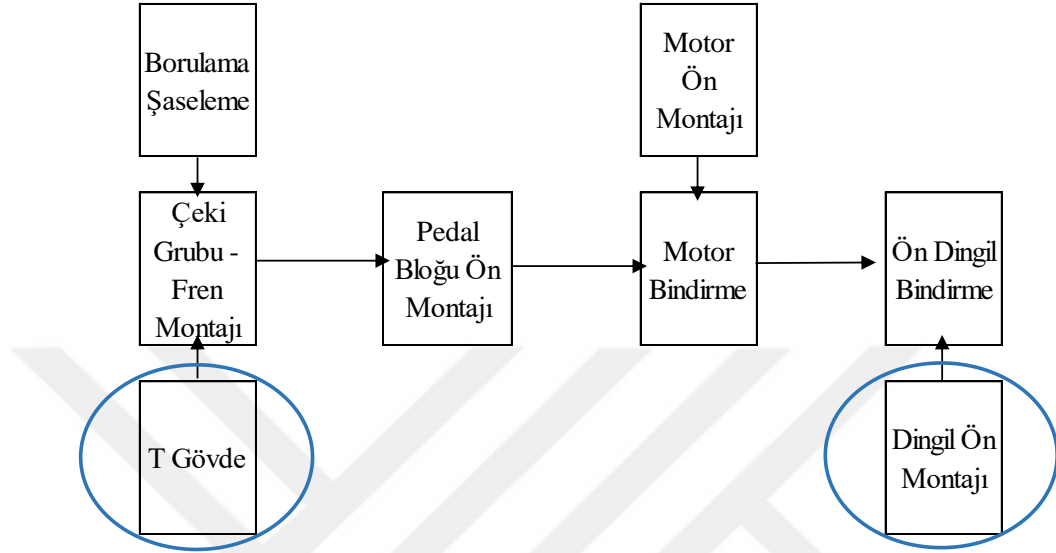
Sızdırmazlık testi: Transmisyon hattından çıkan yarı mamul “T gövde” olarak adlandırılmaktadır. T gövdenin kalite kontrolünü yapabilmek için ilk olarak sızdırmazlık testine tabi tutulması gerekmektedir. Bu test ile sistemde olası yağ kaçaqları tespit edilir ve eğer kaçak var ise nerede kaçak olduğu tespit edilerek gövde tekrar montaj hattına alınmaktadır. Test için T gövde üzerine 2 adet giriş soketi takılır. Çıkış noktaları ise tapalar vasıtası ile kapatılır. Sonrasında ise girişten 4.5 bar basınca sahip hava verilerek 105 saniye beklenir. Eğer basınçtaki değişim aralığı ± 15 cc/min aralığında kalıyor ise sistemde sızdırma yoktur denilir ve T gövde testi geçmiş kabul edilmektedir. Bu işlemlerin 3 dakikada tamamlanması söz konusudur.

Sistem testi: Sızdırmazlık testinden başarı ile geçmiş olan T gövdenin, montaj hattının sonunda bulunan sistem testi ile birlikte işlevsel testi de yapılmış olur. Bu işlemde viteslerin geçişi, şanzımanın doğru çalışması, sistem içi yağlamanın doğru çalışıp çalışmadığı incelenmektedir. İlk olarak T gövde test motoruna şaft ile bağlanır. Sistemin yağ girişlerine test hortumları bağlanır. 70 litre yağ T gövdenin içerisine enjekte edilir. T gövde hızlı ileri 4. viteste 7d/d hızda 5 dakika boyunca çalıştırılarak sistemin ön yıkaması gerçekleştirilir. Sisteme verilen yağ boşaltılarak yeniden sisteme 50 litre yağ enjekte edilir. Motor vasıtasıyla sisteme 2000d/d hız verilir. Tarla geri viteste iken birinci, ikinci, üçüncü, dördüncü viteslerde beşer saniye çalıştırılır. Sonrasında yavaş ileri viteste iken birinci, ikinci, üçüncü, dördüncü viteslerde beşer saniye çalıştırılır. Hızlı ileri viteste iken birinci, ikinci, üçüncü, dördüncü viteslerde beşer saniye çalıştırılır. Sonrasında ise yol durumuna geçilerek tekrar geri viteste iken birinci, ikinci, üçüncü, dördüncü viteslerde beşer saniye çalıştırılır. Ardından yavaş ileri viteste iken birinci, ikinci, üçüncü, dördüncü viteslerde beşer saniye çalıştırılır. Son olarak hızlı ileri viteste iken birinci, ikinci, üçüncü, dördüncü viteslerde beşer saniye çalıştırılır. Bu esnada devir kolu kullanılarak kolda problem olup olmadığı incelenir. Bu işlemler esnasında aynı zamanda sistemin ses olarak sorunu olup olmadığına da bakılır. Testin

sonunda yağ sistemden tekrar boşaltılır ve bağlanmış olan hortumlar sökülür. Bu işlemler 30 dakikada tamamlanmaktadır.

4.2.2. Boya öncesi montaj hattı iş adımları hakkında bilgiler

Boya öncesi montaj hattı genel görünümü ise Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12 : Boya öncesi montaj hattında yapılan işlerin gösterimi.

Boya öncesi hattı, traktörün gövdesinin temel bölümlerinin monte edildiği ve traktörün bu parçalarının boyaya hazır hale getirildiği hattır. Traktörün ana parçaları olan motor, çeki, fren, dingil gibi parçalar bu montaj hattında birleştirilmektedir. Bu hatta transmisyon hattında çalışan işçilere oranla daha düşük kalifiede işçi çalıştırılmaktadır. Hat bir ana hattan ve bu ana hattı besleyen istasyonlardan oluşmaktadır. Hattı besleyen istasyonlardan transmisyon hattında üretilen T gövde montajı mavi daire içine alınmış ve hat içindeki iş adımlarının açıklamaları yukarıda detaylandırılmıştır. Dingil ön montajı ise ön aks montaj hattı olarak bilinen, mavi daire içine alınmış olan bölgeyi içerir ve aşağıda açıklanmaktadır. Dingil ön montajı da boya öncesi hattını beslemektedir. Boya öncesi montaj hattının sonunda montajı tamamlanan boya operasyonuna hazır olan gövde üzerinde gerekli korumalar takılmaktadır. Bu korumalar sayesinde nemden etkilenen bölgelerin korunması sağlanmaktadır. Böylece gövde yıkama alanına itilmektedir. Yıkama operasyonu tamamlanan gövde boyahane kısmına doğru rayların hareketiyle yönlendirilmektedir. Boyanmış olan gövde fırından çıktığında boya sonrası montaj hattına geçişi sağlar. Boya sonrası hattı aslında montaj

hattından çıkan bitmiş traktörün gözlemlendiği ve günlük traktör sayısının takibinin yapıldığı montaj hattı olarak bilinmektedir. Boya öncesi montaj hattındaki istasyonlarda iş adımları aşağıdaki gibi açıklanmaktadır.

Borulama – şaseleme montajı: Boya öncesi montaj hattının model 2, model 5 ve model 6 traktörlerine ait hidrolik kaldırıcılarına borulama – şaseleme iş adımlarının gerçekleştirildiği yarı mamul montajıdır. İlk olarak kuyruk milinin hareketini ayarlayan kol takılır. Pedal bloğu takılır. Emiş borusu sistemi takılır. Pedal bloğunun arkasındaki emme boruları monte edilir. Yağ pompası ile bağlantılar yine borular vasıtası ile sağlanır. Hidrolik sistem ile yağ pompası arasındaki bağlantı sağlanır. Yağ filtresi yerleştirilir. Montajın tüm bu iş adımlarının gerçekleştirilmesi için gerekli süre ortalama 27 dakikadır.

Çeki grubu – fren montajı: Bu iş adımı model 1, model 3 ve model 4 traktörler için transmisyon montaj hattındaki testleri başarı ile geçmiş olan T gövdelere, diğer modellerde ise borulama ve şaseleme montaj hattında tüm işlemleri tamamlanmış olan T gövdelere fren ve çeki parçaları monte edilir. Montaj hattında gövdeye ilk olarak ekipman kaldırma kolu monte edilir. Eğer 4 çeker traktör gövdesi ise ön kısma geçecek olan şaftlara rulmanları takılır. Gergi mesnetleri ve üzerine gergi kolları montajı yapılır. Fren ve debriyaj sistemi ile ilgili kollar ve aparatlar takılır. İç ve dış ara kollar, sağ ve sol çeki mesnedi ve mafsal yerleştirilir. Fren bağlantıları, fren kolu ve fren çubukları ile sağlanmaktadır. Aynı anda iki frenin çalışabilmesini sağlayan kumanda kolu ve ayar kollarının montajı tamamlanır. Gergi kolu ve ayar kolu birbirine monte edilirken ara taşıyıcı lama ve orta kol montajı ile tamamlanan çeki grubu fren montajı ortalama 20 dakika süre içerisinde tamamlanmaktadır.

Pedal bloğu montajı: Bu kısımda fren pedalı ekipmanlarının montajı sağlanmaktadır. İlk olarak dökümden gelmiş olan fren bloğu kalıbı üzerine çeşitli hırdavat parçaları monte edilir. Ardından fren pedalları takılır. Üzerlerine ise fren pedalı yayları takılır. Pedalları birleştirebilmek için ara parça takılır. Fren çubuğu takılır. Debriyaj pedalının iç montajı yapıldıktan sonra blok üzerine monte edilir. Debriyaj pedalı yayı üzerine takılır. Hazır alınmış olan hidrolik direksiyon ünitesi blok üzerine monte edilir. Ara rekorlar monte edilir. Hidrolik basınç boruları monte edilir. Stoklama takozu ayarları ayar vidaları ile yapılır. İşlemler ortalama 20 dakika süre içerisinde tamamlanmaktadır.

Motor ön montajı: Motor hazırlama iş adımlarını içermektedir. *Perkins* ve *Sonalika* firmalarından hazır olarak tedarik edilen motor bloklarının traktöre montaj edilebilmesi için ön hazırlık iş adımlarının tamamlanması gerekmektedir. Ön hazırlığı tamamlanan motor blokları ana gövdeye montaj için boya öncesi montaj hattına beslenmektedir. Ön montaj iş adımlarında gelen motor bloğundan öncelikle alternatörün sökülmesi gerekmektedir. Çünkü alternatörün boyahane boyama operasyonu esnasında boya ile temasının önlenmesi gerekmektedir. Ardından motorun hidrolik pompası monte edilir. Egzoz dirseği bağlanır. Döküm fabrikasında hazır olarak temin edilen motor birleştirme ara parçası montajı tamamlanmaktadır. Motor ara parçası içerisine volan dişlisi de yerleştirilmektedir. Ayrıca baskı balatası üzerine debriyaj diski eklenerek volan dişlisinin devamına monte edilir. Saplama ve somunlar ile motor bloğu ön montajı tamamlanır bu iş adımlarının tamamlanma süresi ortalama 16 dakika olarak ölçülmüştür.

Motor bindirme montajı: Motor ve ana gövde üzerine sızdırmazlığı sağlamak amacıyla yapıştırıcı görevinde *mastik* adı verilen macun sürülür. Üzerine motor bloğu monte edilir. Ön teker şaftı monte edilir. Marş motoru motor bloğu motorun üzerine monte edilir. Termostat yerleştirilir. Bu iş adımlarının ortalama süresi 6 dakika olarak ölçülmüştür. Ayrıca ergonomik olarak işçiyi zorlayıcı olan bir iş adımı olması nedeni ile işçiler arasında rotasyon yapılmasına gerek duyulmaktadır.

Ön dingil ön montajı: Ön dingil (ön aks), kendi özel montaj hattında ön hazırlığı tamamlanarak boya öncesi montaj hattına beslenen traktör aksamını içermektedir. Bu montaj hattında ön dingil, 2 çeker ve 4 çeker traktör tiplerine de uygun olarak farklı iki firmadan temin edilen parçaların montajı ile bir araya getirilmektedir. İlk olarak ön yatak parçası takılır. Pistona ait yağ boruları monte edilir. Direksiyon için gerekli ayarlar yapılır. Ağırlık mesnedi takılır. Ara flanş ve dış flanş takılır. En son yağ dolumu ve etiketleme operasyonları yapılarak 15 dakika içerisinde bir adet ön dingil ön montajı tamamlanmaktadır.

Ön dingil bindirme: Dingil bloğu vinç yardımı ile boya öncesi montaj hattına getirilerek cıvatalar, saplama ve somunlar yardımıyla ana gövde ile birleştirilmektedir. Şaftı tutan rulmanlar torkmetre ile kontrollü bir şekilde sıkılmaktadır. İş adımlarının ortalama süresi 4 dakika olarak ölçülmüştür.

Yüzey yıkama – hava tutma: Montajdan çıkan parça yıkama kabine itilerek gövdenin yıkanıp temizlenmesi sağlanmaktadır. Burada ilk işlem olarak yağ alma ve fosfatlama yapılır. Bu işlem için manuel olarak püskürtmeli tabanca vasıtasıyla su püskürtülerek gövde yıkanır. Sonrasında ise ikinci işlem olan pasivizasyon uygulanır. Bu işlemle birlikte de hava tabancası ile de üzerindeki su birikintileri temizlenir ve gövde beklemeye bırakılır. İş adımlarının tamamlanma süresi 17 dakika olarak ölçülmüştür.

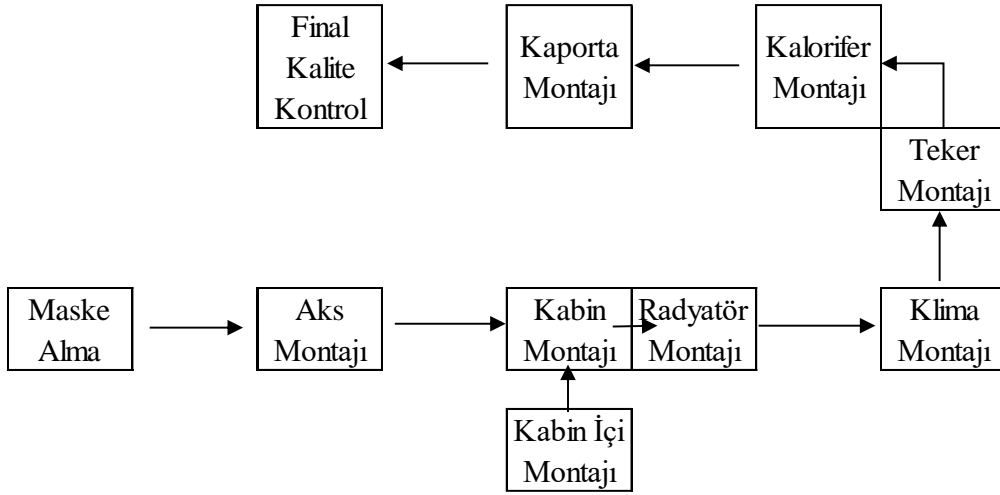
Kurutma: Yıkama-hava tutma işleminden çıkmış olan gövde üzerinde kalan sıvının kurutulması amacıyla kurutma fırınına girer. Fırın içerisinde traktör gövdesi 90 °C sıcaklıkta 30 dakika bekletilmektedir.

Boyama: Boyama kabine alınan traktör gövdesi püskürtmeli tabanca yardımıyla manuel olarak önce astar boya uygulamasına tabi tutulmaktadır. Ardından boya kabinde gövdeye boyama işlemi gerçekleştirilmektedir. Boyama işlemi sonunda gövdenin flaşov kabine alınması ile burada boya üzerinde kalmış olan yanıcı gazların tahliye edilmesi sağlanmaktadır. Gövde flaşov üzerinde 30 dakika bekletilmektedir. Flaşovdan çıkan gövde fırın kısmına girer. Bu kısımda ise gövde üzerindeki boyanın kurutulması sağlanmaktadır. Fırın içerisinde iki adet gövde bulunur. Gövdelerden her biri 70 dakika boyunca 90°C sıcaklığa tabi tutulurlar.

4.2.3. Boya sonrası montaj hattı iş adımları hakkında bilgiler

Boya sonrası hattında gerçekleştirilen iş adımları tamamlandığında, tüm montaj işlemleri sona ermiş ve kabaca bitmiş bir traktör elde edilerek hat sonundan kalite kontrol işlemleri için yönlendirilmektedir. Çalışmanın yapıldığı boya sonrası montaj hattı ise U tipi montaj hattı olarak tasarlanmış ve montaj hattının yerleşimi U tipinde hazırlanmıştır.

Bu hattın genel görünümü Şekil 4.13'te gösterilmiştir.



Şekil 4.13 : Boya sonrası montaj hattında yapılan işlerin gösterimi.

Boya sonrası montaj hattında ise boyanarak hazır hale getirilen gövdenin üzerine kalan parçaların da takılarak traktör montajının tamamlandığı hattır. Hareket ekipmanlarının yanı sıra traktörün kullanımı ve konforuna yönelik tüm parçaların takıldığı ve yerleşim tipi olarak U tipi montaj hattına örnek bir montaj hattıdır. Bu hattın sonun sevkiyata hazır olarak sevk edilmek üzere depolama alanına alınmadan önce traktörün final kalite kontrolü tamamlanmaktadır. Boya sonrası montaj hattında iş adımları aşağıdaki gibi detaylı incelenmektedir.

Maske alma: Boyahane fırınından çıkan gövdelerin üzerinde boya ve neme maruz kalmaması gereken bölgelere ait maskeler bulunmaktadır. Bu maskelerin çıkarılması maskeleye sökme iş adımı olarak işçiler tarafından ortalama 3 dakika içerisinde tamamlanmaktadır.

Akü montajı: Akü montajı yapılırken akü Jundate arabasından işçi aküyü manuel olarak taşıyıp gövde üzerine montajını tamamlamaktadır. Bu işlemle beraber gres yağının traktör gövdesine basılması işlemi gerçekleştirilir. Gövdenin alt kısmına da şaft koruma sacı yerleştirilir. Ayrıca gövdeye ait elektrik tesisatının çekilmesi iş adımı da gerçekleştirilir. Tüm bu iş adımlarının tamamlanma süresi 10 dakika olarak ölçülmüştür.

Radyatör montajı: Radyatör hazır olarak tedarik edilen bir parçadır. Traktör gövdesi üzerine montajı gerçekleştirilir. Bununla beraber, boya öncesi hattında motor ön montajı esnasında motor üzerinde sökülen akümülatör, gövde üzerine takılır. Radyatör pervanesi montajı ile su emiş ve hava emiş bağlantıları yapılır. Bu iş adımlarının tamamlanma süresi ortalama 13 dakika olarak ölçülmüştür.

Kabin montajı: Traktör kabinlerini Yarış ve Hisarlar Firmasından hazır olarak temin eden fabrika, traktör kabinini 5 yıldır kendi bünyesinde oluşturduğu kabin montaj hattında üretmektedir. Boya sonrası hattında ise kabin montaj hattında hazırlanan kabinlerin gövde üzerine vinç yardımıyla yerleştirilmesi sağlanmaktadır. Damper kolları bağlantısı ile saplama ve somunlarla kabin, traktör gövdesi ile birleştirilir. Birleştirme montajı ortalama 13 dakika sürmektedir.

Kabin içi montajı: Kabin içi montajında traktör gövdesinin kabin ile bağlantıları, damper kolları, el freni, pto kolu gibi parçalarının traktör gövdesi ile birleşimi gerçekleştirilir. Kabin içerisinde vites kolları takılarak çalışmaları kontrol edilir. Fren ayarları tamamlanır. Pedallar üzerinde bulunan senkronize ayarı kontrol edilir. Pedalların stoplamaları ve 4 çeker ayarına bakılır. İş adımlarının tamamlanma süresi 10 dakika olarak ölçülmüştür.

Klima montajı: Gövdeye klima montajı yapılırken kompresör de takılır. Traktörün egzoz bağlantıları gerçekleştirilir. Direksiyon yön hortumları bağlanır. İş adımlarının tamamlanma süresi 8 dakika olarak belirlenmiştir.

Kalorifer montajı: Kabinin içerisine kalorifer bağlantıları gerçekleştirilir. Aynı zamanda önceden hazırlığı yapılmış hava tüpü bağlantısı yapılır. İş adımlarının tamamlanma süresi 8 dakika olarak ölçülmüştür.

Teker montajı: Bu aşamada montajının neredeyse tamamı gerçekleşmiş olan traktör üzerine tekerlekleri ve çanta ağırlıkları takılır. Şanzıman içerisine şanzıman yağı enjekte edilir. Antifriz eklenir. Dingil yağları basılır. Kabin içi elektrik bağlantıları gerçekleştirilir. İş adımlarının tamamlanma süresi 16 dakika olarak ölçülmüştür.

Kaporta montajı: Traktör üzerine kaporta montajı yapılır. Kabin içi etiketler kontrol edilir. Şasi plakası yerleştirilir. Sonrasında traktör motoru çalıştırılarak bir dakika boyunca motorun çalışması kontrol edilir. Artık traktör final testi için hazır hale gelmiştir. İş adımlarının tamamlanma süresi olarak 15 dakika ölçülmüştür.

Final testi: Bu test ile traktörün birçok özelliği, işlevselliği ile kaçak ve sızıntı kontrolleri yapılır. Bu testte bakılan hususlar ayrıca kalite departmanı personelleri tarafından final testi formu üzerinden takip edilmektedir.

Montaj hattında bir traktör gövdesi bitmiş ürün halin gelinceye kadar toplamda 274 metre yol almaktadır.

4.3. Araştırma Gereksinimleri

Çalışmanın gerçekleştirildiği Traktör fabrikasında çevrim süresi hesabı başta olmak üzere, montaj hattı dengelemesi yapılabilmesi için bazı hesaplamaların sağlanması gerekmektedir. Planlama departmanı tarafından Satış departmanından edinilen satış adetleri bilgileri sayesinde yıllık ve günlük plan hazırlanmaktadır. Pazarın durumu ve çiftçinin taleplerine göre şekillenen üretim planındaki sayı kadar bitmiş traktör elde edilmesi hedeflenmektedir. Diğer yandan üretimin devamlılığı, montaj hatlarındaki oturmuş düzen ve işçi ile mühendisler tarafından zamanla edinilmiş tecrübelerle sağlanmıştır. Öte yandan montaj hatlarında açılan istasyon sayısı maliyeti de dolayısıyla montaj hattının verimliliğini direk olarak etkilemektedir. Montaj hattı verimlilik hesaplamalarının doğru bir şekilde takip edilmesi için verimliliğin fabrika içinde ortak dil vasıtasıyla aylık ve yıllık değerlendirmelerinin yapılabilmesi gerekmektedir. Değerlendirme için gerekli varsayımların belirlenmesi gerekmektedir. Buna göre, çevrim süresinin hesaplanması, fabrika mevcut üretim durumu bilgileri ve çalışmaya başlanmadan önceki durum yani fabrikanın mevcut durum analiz ölçümleri aşağıdaki gibi açıklanmaktadır.

4.3.1. Çevrim süresi hesaplanması

Fabrikada üretilen traktör adedinin planlanan sayıda olması zorunluluğu bulunurken aynı zamanda montaj hattında her bir istasyonda traktörün çevrim zamanını aşmayacak sürede bulunma zorunluluğu vardır. Montaj hattının standart akış hareketi ile bir montaj hattında ardı ardına tamamlanıp çıkan iki ürün arasındaki fark olarak tanımlanabilen çevrim zamanının, hat dengelenirken istenilen düzeyde yani çevrim zamanına eşit veya küçük tutulması gerekmektedir. Bu sayede fabrikada planlanan adetlerde bitmiş ürün elde edebilmek için kararlar verilebilmektedir. Çalışmanın gerçekleştiği sırada montaj hattında her operatör (günlük 10 adet traktör adedine göre belirlenen) “46 dakika” çevrim süresine sahiptir. Ayrıca çevrim süresi yıl içerisinde değişen üretim adetlerine göre değişkendir. Çalışmanın yapıldığı Traktör fabrikasında ise bu sürenin nasıl belirlendiği şu şekilde açıklanmaktadır. Teorik olarak tüm işçilerin fabrikada işinin

başında bulunması ile günlük toplam çalışma saati 10 saattir. Her gün içerisinde rutin olarak verilen mola zamanları bu çalışma süresinden çıkarılmaktadır. Bu durum şöyle açıklanabilmektedir; günlük 1 saat yemek molasında işçilerin çalışmadığı göz önünde bulundurulurken günlük çalışma süresi aslında 9 saat yani 540 dakika olarak belirlenmiştir. Ayrıca yasal olarak işçilerin mola hakları bulunmaktadır. Bu mola hakkı, günün ilk yarısında 10 dakika (saat 10:00 ile 10:10 arasında olmak üzere) ve günün ikinci yarısında 10 dakika (15:00 ile 15:10 arasında olmak üzere) günlük toplam 20 dakika mola olarak işçilere verilmektedir. 540 dakika olan günlük toplam çalışma süresinden bu 20 dakika mola hakkı çıkarıldığında aslında 520 dakika çalışma saati olarak elde edilmektedir. Bu sürede her bir işçinin ergonomik olarak yorgunluk faktörleri de göz önünde bulundurulmaktadır. Yorgunluk terimi ise yapılan işteki verimin düşmesi ve insanın mevcut gücünün azalması gibi koşulları tanımlamak için kullanılmaktadır. Yorgunluk faktörleri ise şu şekilde açıklanmaktadır. Genellikle çalışma süresi 10 saat ve üzeri olduğunda yapılan işteki toplam çalışma verimi düşmeye başlamaktadır. Yorgunluktan dolayı işin tamamlanma süresi yavaşlamaktadır. Gerekli olduğunda fazla mesailerin yapılabilirdiği düşünülürse çalışan insanın ergonomi kurallarına göre, çalışma süresi içerisindeki dinlenme aralıklarının toplamı, toplam çalışma süresinin %15'i olması gerekmektedir. (Sabancı, 2012) Alaettin Sabancı'nın Ergonomi kitabında belirtildiği üzere; gizli, kendiliğinden olan ve zaman aşımına uğramak üzere 3 tip dinlenme aralığı mevcuttur ve dinlenme; işin sürekliliği için gerekli ve şarttır. Öte yandan çalışma zamanı Traktör fabrikasında günlük 9 saati herhangi bir vardiya vs. sebebi ile aşmamaktadır. Ayrıca çalışma boyunca işçilerin performansına bu süre %10 olarak yansıtılmaktadır. Böylece 520 dakika çalışma süresinin %10'u kadar dakika miktarda süre; *verimsizlik süresi* olarak varsayıldığında, çalışma saati 468 dakika ($520 - 52 = 468$ dk) olarak belirlenmiştir. Çalışmada dönemin satış tahminlerine göre montaj hattında günlük 10 adet traktör üretileceği planlanmıştır. 468 dakika çevrim zamanında günlük 10 adet tamamlanmış traktörün montaj hattından çıkmış olacağı bilindiğine göre bu oran 46.8 dakika ($468 / 10 = 46.8$ dk) yani 46 dakika çevrim zamanı olarak belirlenmiştir. Böylece montaj hattı ve operatörlerin iş dağılımı 46 dakika çevrim zamanına göre dengelenmiştir. Çevrim zamanı yıl içerisinde değişiklik gösterebilmektedir. Çevrim zamanını etkileyen faktörler aşağıdaki gibi özetlenebilir. Öncelikle fabrikanın pazarda satmayı hedeflediği yıllık traktör adedi belirlenmektedir.

1 yılın 365 günü, 249 iş gününden oluşmakta olduğundan hedeflenen üretim adedi iş gününe bölünerek günlük üretilmesi gereken traktör adedi belirlenmektedir. Bu adedin, fabrikada mevcut işçi sayısı ve işçilerde çoklu beceri sabit varsayılarak, montaj hattında belirlenen çevrim zamanına uygun montaj hattı dengeleme yapılması sağlanmaktadır. Ancak çalışmada işgücüne bağlı iş adımı sürelerinin rassal olarak değişebildiği durum göz önünde bulundurulmaktadır.

4.3.2. Fabrikada mevcut üretim durumu hakkında bilgiler

Çalışma kapsamında test edilmesi için Traktör fabrikasında bulunan, Transmisyon, ön aks, boya öncesi, boya sonrası, kabin olmak üzere 5 bölgeden meydana gelen montaj hattı verilerinden faydalanılmıştır. Ön aks montaj hattı normalde 2 çeker ve 4 çeker olmak üzere 2 tür ön aks üretilmektedir. Fakat 2 çeker çekiş gücüne sahip ön dingilli traktöre talep olmadığı için montajı yapılmamaktadır. Bu nedenle ön aks montaj hattında tek tip yani sadece 4 çeker ön dingil üretilmektedir. Bu hat tek modelli montaj hattından meydana geldiği için çalışmada iş adımlarının sürelerinin değişmesi hesaplamalara alınmamıştır. Transmisyon montaj hattında 3 adet T gövde, Kabin montaj hattında ise 3 adet bitmiş yarı mamul olarak kabin gövdesi montaj edilmeye hazır olarak bekletilmektedir. Carraro borulama montajı ile ön aks montaj hattı bölgesinde ise her zaman 1 adet gövde ön montajı tamamlanmış şekilde bulunmaktadır. Bu durum “*güvenlik stoku*” olarak adlandırılmaktadır. Böylece montaj hattının kritik bölgelerinde tüketim hızında beklenmeyen duruma düşülmemesi sağlanmaktadır. Boya öncesi montaj hattını besleyen yarı mamullerin montajını beklerken, olası hat duruşu yaşanmaması için önlem alınmaktadır. Söz konusu karma modelli montaj hattının ihtiyacına göre adetlerde farklı çevrim süresi uygulanarak farklı adetlerde üretim yapmaktadır. Yani transmisyonunun hazır alınmayıp fabrikada üretildiği modeller olan model 1, model 3 ve model 4 traktörlerden günlük üretim planına yansıyan adetler 7 ile 8 gövde arasında değişmektedir. Bu adetlere göre de günlük 468 dakika çalışma süresi içerisinde transmisyon hattında yaklaşık olarak 65 dakika çevrim zamanı ile üretim yapılabilmektedir. Bu nedenle dengelemenin iş adımları çalışma veri setine dahil edilmemiştir. Montaj operasyonlarının başladığı işgücü dengesizliğinin gözlemlendiği montajın başladığı ilk hat olması nedeni ile çalışma verileri olarak boya öncesi hattı verileri kullanılmıştır.

Boya öncesi montaj hattında 6 tip model traktör üretilmektedir. Her bir modelin öncelikli iş ilişkileri matrisi ve iş adımlarının öncelik diyagramları farklıdır. Bu sebeple birleştirilmiş öncelik diyagramı yöntemi ile veri setinin öncelik diyagramı bütünleşik öncelik diyagramı olarak kabul edilmiştir. Ayrıca 6 tip model türü için montaj hattına dahil olan model türleri günlük üretim planında rastgele olarak dağıtılmıştır. Her bir iş için bir beceri grubu rastgele atanmıştır. Problemdaki iş adımı sayısının yüksek olması hat dengeleme süresinin uzamasına yol açmaktadır. Bu nedenle kullanılacak verilere ek olarak istasyon verileri de kullanılmaktadır. İstasyon verileri her iş adımının belirli istasyonlara atanmasını sağlayacaktır. Böylece problemin çözümü daha az değişken ile sağlanmıştır. Ayrıca fabrikadaki mevcut montaj sürecinin öncelik durumunun belirtildiği Şekil 4.14 görseli aşağıdaki gibidir. Şemaya göre öncelikle hazırlığı yapılan ve boya öncesi montaj hattını besleyen süreçler transmisyon montajı, carraro borulama montajı, ön aks montajı iken boya sonrası montaj hattına beslenen ve güvenlik stoku bittiği zaman boya sonrasında montajı durdurabilecek olan yarı mamul kabin montajı sürecinin tamamlanması gerekmektedir. Boya öncesi montajı tamamlanan gövdenin yıkama operasyonu sonrası boyanması ve boyasının kuruması gerekmektedir. Boyahane fırınında herhangi bir arıza yaşanması da boya sonrası montaj hattına yarı mamul gövdenin iletilmemesine sebep olur ve boya sonrası montaj hattında hat duruşu gerçekleşebilir. Açıklanan boya sonrası montaj hattı iş adımlarında da herhangi bir aksama yaşanması, yani özellikle kabin ile gövdenin bir araya geldiği iş adımları, teker veya kaporta montajında yaşanan yanlış montajlama, malzeme uygunsuzluğu veya kalitesizlik hat duruşuna neden olmaktadır. Kayıtlar incelendiğinde yaşanma sıklığı açısından ilk 3 hat duruşu problemleri arasında yer almaktadır. Boya sonrası montaj hattında yer alan hat duruşu, montajda final kalite kontrol aşamasına geçilmesini engellemektedir. Revizyon aşaması, final kalite kontrol aşamasındaki test ve kontroller sonucunda bir traktörde belirlenen kalite problemi ve montaj hatalarının düzeltildiği iş adımlarını içermektedir. Montajı tamamlanan traktörün müşteriye sevkiyatı gerçekleştirilmeden önce, revizyon aşamasında nihai ürün haline getirilmesi sağlanmaktadır.

hattında yapılması zorunlu olan değer katmayan iş adımlarına harcanan zaman azalırken, fabrikaya kayıp zamanın maliyet kaybının azaltılması sağlanabilmektedir. İşçilerin montaj sırasında zaman kaybına neden olan bu fireler ve tanımları Şekil 4.15'te gösterilmiştir.

Montaj Hattında Karşılaşılan İsrarlar ve Tanımları	
1	Bekleme Mudası: Ekipmanlar otomatik bir şekilde işlem yaparken, işçinin ekipmanın yanında durup onu izlemesi veya ekipman çalışıyor diye başka bir işe başlayamaması gibi durumlardır.
2	Tamir Mudası: Kaliteli bir ürün yerine; hatalı, onarım gerektiren bir ürün montajlanırsa tamir için harcanan malzeme, enerji, ekipman giderleri ve iş gücü giderleridir.
3	Fazla Üretim Mudası: Gereğinden fazla hızda üretim yapılması nedeni ile iki çeşit olarak montaj hatlarında ortaya çıkan durumlardır.
4	İşleme Mudası: Montaj iş adımının içinde veya montajlanan parçaların üzerinde gereksiz işlemlerin yapılmasıdır.
5	Taşıma Mudası: Just In Time (Tam Zamanında Üretim) için gerekli taşımının dışında yapılan taşımaldır.
6	Stok Mudası: Montaj hattındaki malzemelerin ihtiyaçtan fazla olduğu, temin edilen parça miktarının normalden fazla olduğu durumlarda ortaya çıkan stoktur.
7	Hareket Mudası: Montaja herhangi bir etkisi olmayan insan ve ekipman hareketleridir. İşçinin kullanacağı araç-gereçlerin belli bir yerde olmaması veya uzakta olması nedeniyle, parça konulan rafları, tezgâhları arama hareketleri bu israf sınıfındadır.

Şekil 4.15 : Montaj hattı israrlarının tanımları.

Değer akışını aksatan bu israrların yok edilmesi ile zaman ve maliyet boyutunda iyileşmeler elde edilecektir. Bu bakış açısıyla, fabrika montaj hattı sürekli iyileştirme ekibi ve montaj hattı takım liderleri, işçilerle ekip çalışmaları gerçekleştirmiştir.

4.3.4. Analiz ölçüm sonuçları

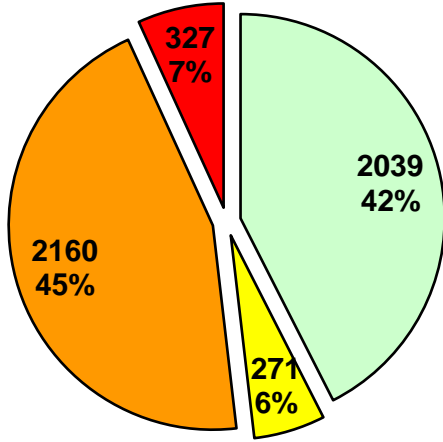
Boya öncesi montaj hattında iş adımlarının süreleri, operatörlerin çalışmaları esnasında, gövdenin montajı başlayıp bitene kadar video kaydı altına alınarak veya zaman etüdü çalışmaları yapılarak Çizelge Ek. 1'deki iş adımları ve süreleri elde edilmiştir. 6 model türü traktör için hazırlanan birleştirilmiş öncelik diyagramı yöntemi ile elde edilmiş iş adımlarının öncelik diyagramı ise Çizelge Ek. 2'de yer almaktadır. İş adımlarının öncül ve ardıl sıralaması ise Çizelge Ek. 3'te yer almaktadır.

Montaj hattında çalışan işçilerin videoları analiz edilmiştir. Bu analiz sırasında yalın üretim felsefesine ait terimler kullanılmıştır. Yapılan çalışmada kullanılan terimler Çizelge Ek. 6'da belirtilmiştir. Bu terimlerin kullanılmasıyla boya öncesi hattında motor ön montajı analizi sonucu elde edilen mevcut durum grafiği Şekil 4.17'de gösterilmektedir. Bir motorun hazırlanması ve montajı konusunda yetkin bir işçinin, motor ön montajının iş adımlarını tamamlama zamanı, 1 adet motorun ön hazırlığı boyunca çekilen videosuna göre analizi yine Çizelge Ek. 6'da yer alan fiiller kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 4797 saniye yani yaklaşık 80 dakika ortalama sürede tamamlanan montajın analizi aşağıdaki Şekil 4.16'daki gibi sonuçlanmıştır.

Motor Ön Montajı İş Adımları Analizi		Süre (Sn)
Katma Değeri Olan İşler	VA	2039
Gerekli İşler	IWR	271
Kaçınılabılır İşler	IWA	2160
Muda	M	327
Toplam Süre		4797

Şekil 4.16 : Motor ön montajı iş adımları analizi sonucu.

Analizin sonuçları, mevcut durumda boya öncesi montaj hattı L1 olarak adlandırılan sol hat kenarında yapılan motor ön montajında katma değerli işlerin oranının %42 gerekli işlerin %45 kaçınılabılır olan işlerin %6 ve yapılmaması gereken israf olarak kabul edilen muda iş adımlarının %7 oranında olduğu elde edilmiştir.



Şekil 4.17 : Motor ön montajı iş adımları analizi sonucu grafiği.

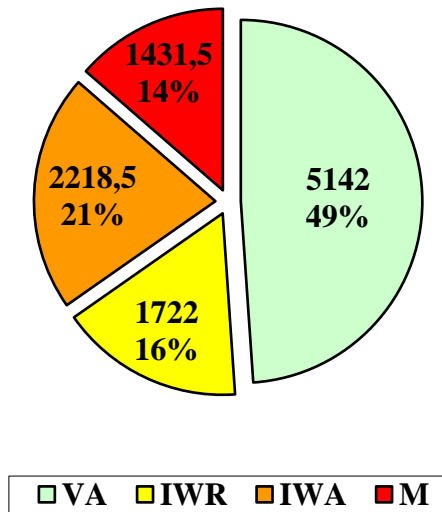
Bu analizler ile montaj hattında yapılan işlerin gerekli veya gereksiz işler olması bakımından incelemesi yapılmıştır. İşçinin montaj işini tamamlarken yapmış olduğu işlerin muda, kaçınılabilir işler, gerekli işler ve katma değerli işler kategorisine göre ayrılması *işçinin performansı* olarak değerlendirilmeye alınmaktadır. Bu sayede işçilerin çalışma performansları da ölçülmüştür. Performans değerlendirmesi sırasında beceri ve yetkinlikleri ayrı ayrı gözlenmiştir. Montaj hattı işçilerinin yetkinliklerin artırılması konusunda da montaj hattında takım liderleri ile hazırlanan programlarla işçilere eğitimler verilmiştir. İşçilerin yapmış olduğu tüm iş adımları incelenerek montaj sırasında işin katma değerli olup olmadığı veya muda kapsamında olup olmadığı belirlenmiştir. Tüm montaj hatlarında işçilerin her birine verilen iş adımlarının tamamlanması sonucunda katma değerli işlerin yüzdeleri ile muda kapsamında sayılan işlerin yüzdeleri değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonunda yapılan hat yerleşiminde değişiklikler sayesinde işçi performansında hem ergonomik iyileşmeler hem de sayısal artışlar elde edilmiştir. Yapılan çalışma sonrasında montaj hattının istasyon sayısı belirlenerek hat yerleşimi düzenlemesi için aksiyonlar alınmıştır. Montaj hattında dengeleme sonrasında da analiz yapılmış ve muda işlerin sürelerindeki değişimi sonuç bölümünde mevcut durum ile karşılaştırılmıştır.

Boya öncesi montaj hattındaki motor ön montajı, traktörün tarlada çalışabilmesi ile ilgili teknik anlamda tüm işlevi açısından önemli olması nedeni ile spesifik olarak incelenmiştir. Fakat ayrıca montaj hattının herhangi bir çalışma gününde boya öncesi montajının yapıldığı tüm işlerin analiz edildiği ve algoritma öncesi yapılan analizinin sonucu Şekil 4.18 ile gösterilmektedir.

Boya Öncesi Montajı İş Adımları Analizi		Süre (Sn)
Katma Değeri Olan İşler	VA	5142
Gerekli İşler	IWR	1722
Kaçınılabılır İşler	IWA	2218,5
Muda	M	1431,5
Toplam Süre		10514

Şekil 4.18 : Boya öncesi montajı iş adımları analizi sonucu.

Mevcut durumda boya öncesi montaj hattı yapılan tüm iş adımlarının analizi sonucunda hattın tamamında katma değerli işlerin oranının %49, gerekli işlerin %16, kaçınılabılır olan işlerin %21 ve yapılmaması gereken israf olarak kabul edilen muda iş adımlarının %14 oranında Şekil 4.19'da belirtilmiştir.



Şekil 4.19 : Boya öncesi montajı iş adımları analizi sonucu grafiği.

4.3.5. Çalışma sonrası sonuçlar

Matematiksel modelin, CPLEX program veri seti maksimum 58 iş adımından oluştuğunda, toplam 4 dakika 7 saniye süresinde 52 dakika döngü süresinde 8 istasyonla minimum hedef değeri 5274 TL maliyet sonucunu verebilmiştir. Bununla birlikte, boya öncesi hattına 6 tip karışık modelin yerleştirilmesi nedeniyle, iş adımı sayısı 117'dir. Bu hızlı çalışma sonuçları nedeniyle veri adımı ve veri yoğunluğu çok yüksek ve karmaşıktır. Elde edilen mevcut zamanlar ve çalışma koşulları göz önüne alındığında montaj hattının probleminin dengelenmesi sezgisel olarak geliştirilmiş yöntemler ve dengeleme senaryoları sunulmaktadır. Şekil 4.20 tablosu üzerinde mevcut durumda farklı çevrim sürelerinde elde edilen senaryolarda açılması gereken istasyon sayısını ve operatör sayısını göstermektedir. Birinci senaryoda günlük 10 adet üretildiği ve çevrim zamanının 46 dakika olduğu senaryodur. Senaryoda 2 adet istasyon açılması ve montaj hattında 4 işçi çalıştırılması söz konusudur.

Senaryo	Çevrim Zamanı (dk)	İstasyon Sayısı (adet)	İşçi Sayısı (adet)	Hat Sonu Çıkan Traktör Sayısı (günlük/adet)
1	46	2	4	10
2	31	3	4	15
3	24	3	5	20
4	21	3	5	22
5	18	4	6	26

Şekil 4.20 : Boya öncesi montaj hattında mevcut durumdaki istasyon ve işçi sayıları.

Algoritma fabrikanın gerçek yapısına yani düz montaj hattı yerleşimine uygun olarak montaj hattı dengeleme probleminin çözümü için iş atama üzerine tasarlanmıştır. Program dili Java kodlaması kullanılarak yapılmıştır.

Programın deneme yapma limit sayısı 500 defa olarak sisteme girilmiştir. 500 defa iş atama tekrar edilmiştir. Sonucunda algoritma istenilen her takt zamanına göre istasyon sayısı belirlemektedir. 46 takt zamanı için 5 istasyon kurulması gerektiği belirlenmiştir.

Kodlar her çalıştığında, elde edilen veriler yani programın açtığı istasyonların sayıları ve atanan istasyondan iş adımının tamamlanmama olasılığının 0.02'yi aşmadığı Çizelge Ek. 7, Çizelge Ek. 8, Çizelge Ek. 9, Çizelge Ek. 10 ve Çizelge Ek. 11'de gösterilmiştir.

Ayrıca genel olarak fabrikada çalışılan çevrim zamanlarına göre, montaj hattında açılması gereken istasyon sayılarını gösteren tablo aşağıdaki Şekil 4.21'deki gibi elde edilmiştir. Çalışmanın yapıldığı çevrim süresi 46 dakika olduğu ve günlük 10 adet üretilen montaj hattında, stokastik COMSOAL sezgisel yaklaşımı ile elde edilen Çizelge Ek. 7'deki çıktılarına göre çalışmaların bir sonucu olarak, 4 adet işçi ile 5 istasyon açılması söz konusudur.

Bu istasyon sayısı ve işçi adedi uygulamalı olarak fabrikada kontrol edilmiştir. Diğer senaryolar yani 2,3,4 ve 5. senaryolar 31, 24, 21 ve 18 dakika çevrim süresindeki MHDP içerir. Java kodlamasında rassal olarak yapılan iş ataması ile elde edilen istasyon adetlerinde mevcut durumla aynı sayıda işçi çalıştırılmıştır. Şekil 4.21 tablosu üzerinde farklı çevrim zamanlarına ait sonuçlar gösterilmiştir.

Senaryo	Çevrim Zamanı (dk)	İstasyon Sayısı (adet)	İşçi Sayısı (adet)	Hat Sonu Çıkan Traktör Sayısı (günlük/adet)
1	46	5	4	10
2	31	14	4	15
3	24	12	5	20
4	21	13	5	22
5	18	17	6	26

Şekil 4.21 : Farklı çevrim sürelerinde algoritmaya göre gereken istasyon sayısı.

Son duruma göre algoritmanın istasyonlara atamış olduğu iş adımlarının 46 dakika çevrim süresi içerisinde tamamlanma olasılığı 0.02 değerini aşmamaktadır. Çünkü Eşitlik 3.2'e göre $F(Z_k)$ değeri 0.02'yi aşmamalıdır.

Bu durumda elde edilen istasyon ortalama zamanı, ortalama standart sapma değerleri ile istasyon zamanlarının çevrim zamanını aşmama olasılığını gösteren Şekil 4.22'deki sonuçlar elde edilmektedir.

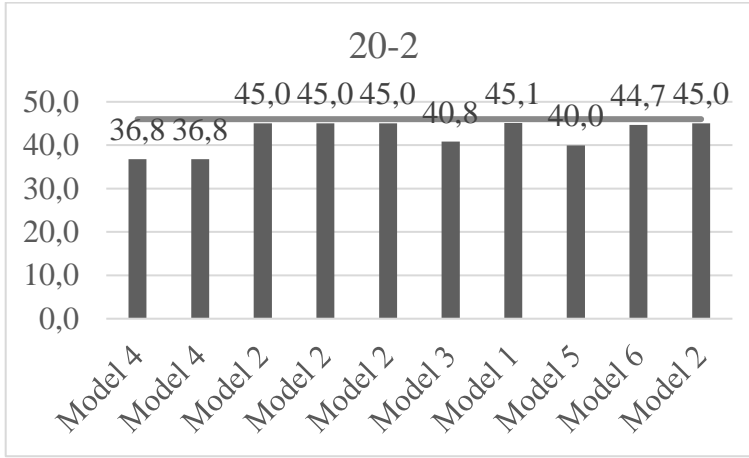
İstasyon Numarası	İstasyonlara Atanan İş Adımları	İstasyon Ortalama Zamanı (dk)	Ortalama Standart Sapma (dk)	P(ST>CT)
1	[3, 34, 38, 110, 49, 35, 48, 64, 61, 62, 123, 122, 121, 117, 60, 111, 108, 107, 106, 105, 104, 102, 89, 88, 87, 85, 84, 2, 83, 1, 4, 82]	1.06	1.16	0.013
2	[5, 6, 7, 81, 8, 80, 79, 78, 9, 77, 75, 74, 73, 10, 72, 11, 12, 13, 71, 70, 69, 14, 15, 68, 67, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 66, 22, 23, 55, 47, 24, 46, 25]	0.66	1.87	0.016
3	[45, 26, 27, 44, 43-1, 43, 33, 116, 120, 56, 57, 118, 28, 58, 29, 119, 52]	1.67	1.39	0.002
4	[31, 36, 37, 40, 59, 30, 95, 39, 54, 103, 94, 90]	3.1	1.45	0.016
5	[53, 92, 109, 41, 100, 91, 93, 101, 98, 96, 124, 50, 51, 97, 42, 99, 125]	1.39	0.88	0.014

Şekil 4.22 : Algoritmaya göre iş adımlarının istasyonlara dağılımı ve olasılığı tablosu.

Günlük üretim planına göre montaj hattının iş yükü analizinin kontrol edilmesi

Montaj hattındaki bir traktörün, hatta alınma sıralamasını gösteren günlük üretim planı, planlama ve satış departmanlarının iş birliği ile hazırlanırken ayrıca çoğunlukla hasat zamanı artan trendle fabrikanın almış olduğu sipariş ve kitle talebine göre de revize olmaktadır. Buna göre hazırlanan günlük plandaki model sırasına göre, model tamamlandıkça sırayla ilerlenerek planlanan model gövdelerin montajı tamamlanarak bitmiş traktör elde edilmektedir. 46 dakika çevrim süresi ile günde 10 adet traktör üretildiği günlük planına göre iş adımlarının dengeli bir şekilde dağıtıldığı yeni algoritmanın iş dağılımına göre montaj hattının çalışması gözlemlenmiştir. 5 güne ait günlük plan kesitinde yer alan model türleri Çizelge Ek. 5’de yer almaktadır. İşçilerin her istasyonda tamamladıkları iş adımlarının kayıt altına alınıp takip edilmesi ile her bir işçiye ait günlük iş yükleri incelenmiştir. Her bir işçi için o günün planında yer alan modelin montajında tamamlamaları gereken iş yükü analizi sonuçlarının tamamı Çizelge Ek. 5 ‘te paylaşılmıştır. Örnek grafik, 20 Kasım tarihinde bir boya öncesi hattı

işçisine ait analiz grafiğidir. Şekil 4.23'te belirtildiği gibi her bir işçinin sahip olduğu çevrim süresi 46 dakikayı aşmamaktadır.



Şekil 4.23 : Günlük planda montajı tammalanan modellere göre hatta çalışan 2. işçiye ait iş yükü grafiği.

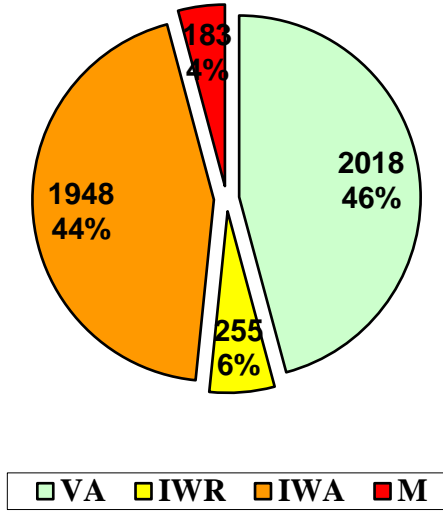
Çalışmada 4.3.4. Analiz Ölçüm Sonuçları başlığı altında mevcut durumda ölçülmüş olan yani algoritmadan önceki analiz sonuçları belirtilmiştir. Şimdi ise algortima ile iş atama yapıldıktan sonra analiz ölçümlerinin sonuçlarına göre montaj hattında aynı montaj iş adımlarına ait yani motor ön montajındaki güncel iyileşme oranları Şekil 4.24'teki gibi tespit edilmiştir. Motor ön montajı toplam iş adımlarının süresi 4404 saniye yani 73.4 dakika olarak ölçülmüştür.

Motor Ön Montajı İş Adımları Analizi		Süre (Sn)
Katma Değeri Olan İşler	VA	2018
Gerekli İşler	IWR	255
Kaçınılabilir İşler	IWA	1948
Muda	M	183
Toplam Süre		4404

Şekil 4.24 : Çalışma sonrasında motor ön montajı iş adımları analizi sonucu.

Analizin sonuçlarının, Şekil 4.25 ile gösterilen pasta grafiğine göre boya öncesi montaj hattı L1 olarak adlandırılan sol hat kenarında yapılan motor ön montajında katma değerli işlerin oranının %46, gerekli işlerin %44, kaçınılabilir olan işlerin %6 olarak belirlenmiştir. Ayrıca yalın üretim kuralları göz önünde bulundurulduğunda montaj esnasında yapılmaması gereken, israf olarak kabul edilen muda işlerin ise %4 oranında olması ile çalışma öncesinde yapılan iş adımları analizi sonuçları ile karşılaştırılması

yapılmıştır. Muda yüzdesi çalışmadan önce %7 iken, çalışma sonrası %4' düşmüştür. Bu sonuca göre montaj hattında yalın üretim şartları açısından iyileşme olduğu kabul edilmiştir.

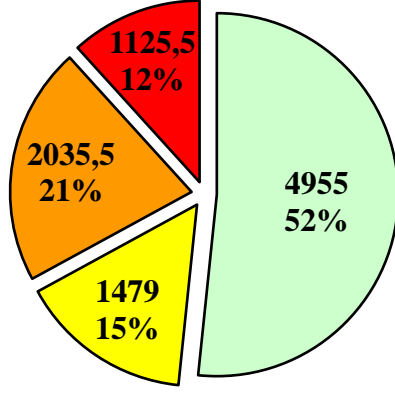


Şekil 4.25 : Çalışma sonrasında motor ön montajı iş adımları analizi sonucu grafiği.

Sonuç olarak, çalışma sonrası belirlenen 5 istasyonda çalışan 4 işçiye algoritmanın atadığı işler verilmiştir. Şekil 4.26'daki sonuçlar çevrim zamanı 46 dakika iken, 10 adet traktör üretildiği herhangi bir gün montaj hattındaki iş adımlarının videoları analiz edilerek elde edilmiştir. Şekil 4.27' de ise montajda yapılan katma değerli işlerin yüzdesinde 2 birim artışı pasta grafiği üzerinde gösterilmektedir. Grafiğe göre toplam yapılan israflarda %2 oranında iyileşme elde edilmiştir. Bir traktörün boya öncesi montaj hattında yapılması gereken iş adımlarının toplam süresi, çalışma öncesi 2.92 saat iken, algoritmanın hatta uygulanması sonucu yapılan iş atama ile 2.66 saat olarak elde edilmiştir.

Boya Öncesi Montajı İş Adımları Analizi		Süre (Sn)
Katma Değeri Olan İşler	VA	4955
Gerekli İşler	IWR	1479
Kaçınılabılır İşler	IWA	2035,5
Muda	M	1125,5
Toplam Süre		9595

Şekil 4.26 : Çalışma sonrasında boya öncesi hattı iş adımları analizi sonucu.



Şekil 4.27 : Çalışma sonrasında boya öncesi hattı iş adımları analizi grafiği.

Yalın üretim sonuçlarına göre montaj hattında elde edilen avantajlar

Yapılan dengeleme çalışması ile işçilerin çalışma süreçlerinin kesintisiz şekilde ilerlediği ve montajın tamamlanması sırasında izlenen yöntemlerin de yalın bir şekilde gerçekleştiği analiz edilmiştir. Böylece montaj hattında hat *akışı* yaratılmaktadır. Tanım olarak ise akış yaratmak; işçilerin çalışırken aynı zamanda her türlü muda yani fireyi ortadan kaldırmayı destekleyici şekilde montaj yapabilmesi anlamına gelmektedir. Yalın üretim sisteminde montaj hatlarında akışı yaratmanın avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir

- Montaj hattında esneklik sağlanmaktadır: Çalışma zamanı sabit olan fabrikada çevrim süresi, üretilecek traktör sayısı değişmediği sürece sabittir. Montajı tamamlamak için bir işçinin her istasyonda çevrim zamanı kadar vakti olduğunu ve verilen iş adımlarını bu süre içine sığdırması zorunluluğu sayesinde fabrikada müşteri talebine hızlı geri dönüş sağlanmaktadır. Müşteri isteği olan traktör, hemen üretim planına alınarak montaj hattında traktörün üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Çünkü montaj hattı her an artan veya azalan taleplere göre hızlı bir şekilde değişebilen çevrim zamanına hazırlıklı olarak montaj yeteneği kazanmıştır.
- Üretkenliği artırır: Yalın düşüncenin çalışma şartlarına entegre edilmesi için işçilere de bu düşüncenin gereklilikleri haftalık periyotlarda eğitimler verilerek

bilgilendirme yapılmıştır. Bu durumda işçilerin montaj hattında yaptıkları işin izlendiğini ve iş adımlarının sürelerinin ölçüldüğüne tanık oldukça, ilerleyen günlerde her bir iş adımını bir önceki günden daha doğru ve daha katma değerli olarak yapmaya gayret göstermektedirler.

- Mekândan tasarruf sağlar: Montaj hattında üretkenliği artan işçiler, montaj sırasında yaptıkları iş adımlarını, muda kategorisinde olan hareketlerden arındırdılar. Böylece montaj alanlarında yürüme, arama gibi muda hareketlerde harcadıkları zamanı minimum seviyeye indirirler, hazırlık yapmak, kutu açmak gibi kaçınılabılır işleri yaparken vakit kazancı sağlamak için alet ve ekipmanlarını traktör bölgelerine daha yakın şekilde konumlandırır. Ayrıca raflarda bulunan malzemelerini alabilmek veya aradıkları malzemeleri hızlıca bulabilmek adına raf düzenlemelerini sağlarlar. Bu sayede işçiler çalışma mekanını etkin halde kullanmaktadırlar.
- Emniyeti iyi seviyeye getirir: İşçilerin çalışma bölgelerinde güvenliğini sağlayabilmek için montaj hattında iş sağlığı ve güvenliği kapsamında, işçilerin montajı daha ergonomik ve daha tehlikesiz şekilde tamamlamaları için önlemler alınmıştır. Montajı yapılan her çeşit traktör gövdesinde ortak olan ve işçinin her modelde yapmış olduğu iş adımları bulunmaktadır. Bu ortak iş adımları ek 6'da paylaşılmıştır. Bu ortak iş adımlarında kullanılan malzemeler başta olmak üzere, hat kenarında bulunan ağır malzemeyi traktör bölgelerine ergonomik açıdan uygunsuz bir vücut pozisyonunda taşıma işlemi sırasında, ekipman kullanılması zorunluluğu getirilmiştir. İşçilerin bu emniyet kuralını ihlal etmemesi için takip ve kontrol çalışması yapılmıştır.
- Kalite yaratır: Montaj hattında yapılan tüm iş adımları tamamlandıktan ve bitmiş ürün traktör haline geldikten sonra müşteriye teslimatı öncesinde PDI (pre shipment inspection) denilen “sevk öncesi denetime” alınır. Burada kalite kontrol testlerine tabi tutulur ve bu testlerin tüm sonuçları da traktörün şasi numarası altında kalite kontrol dosyasına işlenir. Test sonuçlarındaki uygunsuzlukların azalması da yalın üretimin avantajları olarak traktör kalitesine yansımaktadır.

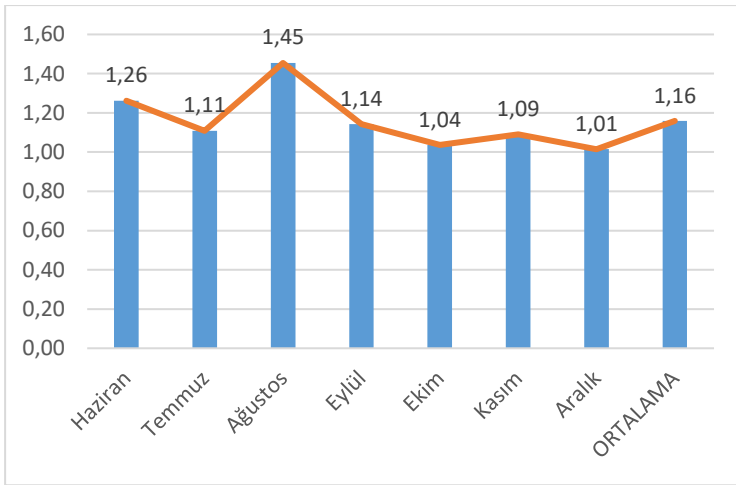
- İşçi moralini yükseltir: Montaj sırasında işçinin günlük yaptığı işi daha az yorgunlukla yapabilmesini sağladığı için hattaki yalın üretim koşulları işçi motivasyonunu arttırıcı unsurlardır.
- Stok maliyetini azaltır: Montaj hattında işçinin malzemeyi tüketim hızı önceden hesaplanmıştır. Hat kenarına ve malzeme raflarına kullanım adetleri minimum tüketim hızına göre beslenmektedir. Yani günlük veya haftalık tükenen malzemenin yerine yeniden malzeme beslenmektedir. İşçi montaj sırasında malzemeyi ihtiyacı kadar kullanmaktadır. Böylece fabrikanın ambar stoklarında da standart bir seviyede malzeme depolanmaktadır.
- Görevlerin standartlaşması ile montajda iyileşmenin ölçülebilirliğini sağlar: Montaj hattında iş adımlarının analizi ile işçinin pozisyon alma, hazırlık yapma, tutturma, torklama gibi yaptığı tüm eylemlerin katma değerli iş veya muda gibi kategoriye ayrılması ile işçinin yapmış olduğu hareketlerin analizi elde edilir ve önceki durumuna göre standart takibi yapılabilmiştir. Ayrıca bu verilerle, montaj hattında çalışmaya yeni başlayan bir işçiye, yapılan montaj iş adımları sırasıyla kolayca açıklanabilmektedir.

Montaj hattında iş adım sürelerinin de sabit ve aynı süreler yani deterministik olarak kabul edilmediği bir durumda aslında aşağıdaki avantajlar elde edilmiştir.

- Montaj hattında, değişen günlük plana ve günlük üretim adetlerindeki ani değişimlere montaj hattı operatörlerinin esneklik kazanması sağlanmaktadır.
- Montaj hattında yaşanan işçi eksikliği veya işçilerin devamsızlığı söz konusu olduğunda yerine geçen işçi ile farklı performanslar göstermelerine rağmen fabrikaların günlük üretim sayılarında sapma oranı azalmıştır. Bu azalmanın hatta yaşanan duruşların tekrar etme sıklığı yani duruşların frekansının analiz edilebilmesi ile ölçülebilmesi sağlanmıştır.
- Montaj hattına yeni alınan bir operatörün montajı öğrenme sürecinin ve adaptasyonunun hat duruşuna neden olmasına, üretim adedinin değişmesine yol açması durumuna karşı önleyici tolerans elde edebilmiştir.

Montaj hattında yaşanan hat duruşları günlük olarak kayıt altına alınmıştır. Kayıtlar incelendiğinde her bir yaşanan hat duruşu, bir kategoriye alınmıştır. Benzer konuda yaşanan hat duruşu aynı kategori altına alınarak sürekli aynı kategoriye ait hat duruşunun tekrar etme sıklığı ölçülebilmştir. Montaj hatlarında yaşanan hat duruşları

bazen aynı gün bazen de ayın farklı günleri içinde tekrarlayabilmektedir. Bu tekrarın azalması hedeflenerek hat duruşunun tekrarlanma sıklığı ölçülürken tekrar etmemesi içinde diğer yandan aksiyonlar alınıp iyileştirme planları yürütülmüştür. Böylece çalışmada, tüm montaj hatlarını ilgilendiren hat duruşlarının tekrarlanma sıklığı yani frekansı elde edilmiştir. Şekil 4.28 ile listelenen duruş frekansı grafik üzerinde gösterilmiştir. Montaj hattında yapılan dengeleme çalışması sonrasında haziran ayından aralık ayına kadar duruşların tekrarlanma oranı ortalaması 1.16 defa iken aralık ayında tekrarlanma oranı hedeflenen 1'e yaklaşmıştır. Bu sonuç, yaşanan bir hat duruşunun, montaj hattında tekrar etmeyeceğini sağlayacak aksiyonlar alındığını göstermektedir.



Şekil 4.28 : Duruş frekansı değişim grafiği.

4.3.6. Verimlilik analizleri sonuçları değerlendirilmesi

Verimlilik, “produktivite” kelimesinin İngilizce karşılığı olan bir kavramdır. Fabrikanın temel amaçlarından kârlılığı doğrudan etkileyen bir faktördür. Milli produktivite merkezinin genel tanımına göre bir üretim ya da hizmet sisteminin ürettiği çıktı ile bu çıktıyı yaratmak için kullanılan girdi arasındaki ilişkidir. Bir üretim sisteminin verimliliğini ürün veya hizmet üretmek için (çıkıtı) kaynakların (girdi) etkin ve yararlı kullanım derecesi olarak tanımlanmaktadır (Saatçioğlu, 2009). Teknik olarak birim üretim faktörüne isabet eden üretim miktarı veya o faktörün ortalama ürünü olarak tanımlanmaktadır. Öte yandan makina, donanım, araç-gereç ve diğer sabit varlıkların oluşturduğu üretim faktörü olan sermayenin verimliliğinin ölçülmesi oldukça zordur. Bu nedenle, işgücü verimliliğinden söz edilmektedir. Montaj hattında işgücünün tam olduğu gün, işçilerin devamsızlık yapmadan fabrikaya geldikleri gün olarak

varsayılmaktadır. İşgücünde bir eksiklik olmaması için işçilerin tüm gün çalışma saatleri boyunca montaj hattında çalışmaları gerekmektedir. Ek olarak, verimlilik konusu ile ilgili yazarın eserinde belirtildiği gibi Saatçioğlu (2009), ürünlerin ve hizmetlerin yaratılması, kaynakların değişim süreci ile gerçekleşir. Bu değişim ne kadar randımanlı olursa üretim sistemi o kadar verimli olur ve daha fazla katma değer sağlar. Verimlilik çıktıların girdilere oranı ile ölçülmektedir. Bu tanımlarda kaynaklar veya girdiler işçilik, malzeme, enerji, kapital ve yönetimdir. Bu takdirde, genel iyileştirmenin çıktığı sabit tutup girdiyi azaltma ya da girdiyi sabit tutup çıktıyı artırma yolları ile 2 şekilde gerçekleştirilebileceği yönünde bilgiler yer almaktadır. Çalışmanın yapıldığı Traktör fabrikasında verimlilik ölçümü ile ilgili bilgilerin ışığında Şekil 4.29 elde edilmektedir.

Kasım	
HAT DURUŞU/TL	
TOPLAM AYLIK (DK)	246
TOPLAM AYLIK (SAAT)	4,1
TOPLAM AYLIK DURUŞ(GÜN)	0,45556
Adet / Traktör	4,55556
İşçilik Kaybı / TL	934,8
Günlük Üretim Adeti	10
Toplam İşçi Sayısı	19

(a)

Aralık	
HAT DURUŞU/TL	
TOPLAM AYLIK (DK)	129
TOPLAM AYLIK (SAAT)	2,15
TOPLAM AYLIK DURUŞ(GÜN)	0,23889
Adet / Traktör	2,38889
İşçilik Kaybı / TL	490,2
Günlük Üretim Adeti	10
Toplam İşçi Sayısı	19

(b)

Şekil 4.29 : (a) Kasım ayına ait montaj hattı duruş sürelerinin işçilik kaybı hesabı. (b) Aralık ayına ait montaj hattı duruş sürelerinin işçilik kaybı hesabı.

Yapılan çalışma sonrasında montajda hat duruşlarının azalması ile boya öncesinde yapılan düzenlemeler ve alınan aksiyonların sonucunda elde edilen iyileşme yüzdeleri, bitmiş traktörün olduğu boya sonrası montaj hattında yaşanan hat duruşlarında da azalmayı sağlamıştır. Çalışma sonrasında, Kasım ayında yapılan hat duruşu takiplerinde, boya sonrası montaj hattını etkileyen aylık duruş süresi 246 dakika iken aralık ayındaki hat duruşu 129 dakika olarak hesaplanmıştır. Böylece, bitmiş traktör montajını etkileyen hat duruşu süresinin %47.56 oranında azalması söz konusu olmaktadır. Çalışmanın çıktıları arasında montaj hattı dengelemede işçilik kaybının hesaplanması da yer almaktadır. İşçilik kaybı, montaj hat duruşu olarak kaydedilen (saat

5. GENEL DEĞERLENDİRİ

/ gün) sürenin, bir işçinin günlük saatlik çalışma ücreti (12 TL) ve montaj hattında çalışan toplam işçi sayısının birbiri ile çarpılması ile elde edilmektedir. Bu işçilik kaybının 490,2 TL olup azalması ile de elde edilen 444,6 TL maliyet kazancı çalışma sonrasında tespit edilmiştir.

Boya öncesi montaj hattında açılması gereken istasyon sayısının belirlendiği çalışmanın boya sonrası montaj hattında performans takibi ile izlenmesi ile kasım ve aralık ayına ait hat duruşu detaylı incelemesi Şekil 4.29 ile gösterilmektedir. Çalışmaya başlanılan sene olan 2018 yılı verimlilik ortalaması %58 iken tüm yapılan çalışmalar ile 2019 yılı verimlilik ortalaması %69 olarak elde edilmiştir. Çizelge Ek. 13'te ve Çizelge Ek. 14'te genel verimlilik oranları tabloları yer almaktadır.

Mevcut montaj hattında çalışırken mevcut iş dağılımında, traktör üretimine devam eden bir fabrikanın montaj hattında yaşanan problemler nedeniyle montaj akışına devam edilememekteydi. Hat duruşu olarak adlandırılan bu problemler, fabrikanın günlük olarak hedeflediği traktör üretim adetlerinin, montaj hattı sonunda elde edilen bitmiş traktör adetleriyle uyumlu olmamasına neden olmaktadır. Bu durum fabrikanın günlük planlanan hedeflediği üretim sayısından farklı adetlerde üretim yapılmasına, yıllık üretim adedi hedefinin sapmasına yol açmaktaydı. Bunların yanı sıra montaj hattında farklı beceri ve yetkinliklere sahip işçiler çalışmaktaydı. İşçilerin günün belirli zamanlarında gerek yorgunluk gerek motivasyon eksiklikleri dolayısıyla montaj yapma ve çalışma hızlarının yani montaj hattında bir iş adımını tamamlama sürelerinde değişkenliklerin olduğu tespit edilmiştir. Çalışılan günün sonunda iş adımlarının tamamlanma sürelerinde gecikme veya süresi ölçülen iş adımının tamamlanma zamanından daha erken bir sürede bitmesi söz konusudur. Bu durumun ilerleyen sistemde montaj hattında hat duruşuna neden olduğu ortaya çıkmıştır. Hat duruşunun bir diğer nedeni, işçinin devamsızlığı ve yerine geçen işçinin bilgi, beceri ve yetkinliğinin de farklı olması sonucu iş adımını zamanından önce veya geç tamamlamasıdır. Ek olarak, montaj hattına beslenen malzemelerin de eksikliği veya

malzemelerin kalite olarak uygunsuz olması durumu da montaj hattının duruş nedenleri arasındadır. Tüm bu hat duruşlarının nedenleri kategorilere ayrılarak yaşanma sıklıkları, günlük olarak yaklaşık 7 ay kayıt altına alınmıştır. Yaşanma sıklığı açısından ilk 2 ay işçilerin beceri ve yetkinliklerinin farklı olması nedeni ile hat duruşlarının yaşandığı elde edilmiş daha sonraki süreçte üretim mühendisleri ve takım liderlerinin öncülüğünde çoklu beceri eğitimleri ile işçilerin beceri ve yetkinliklerinin %20 oranında artışı sağlanmıştır. 4 farklı kategoride yetkinliğe sahip olan işçilerin, günlük çalışma tempolarına göre hatta dengeleme yapılırken 4 kategori beceriye de sahip olan işçilerin iş adımlarının dağılımına göre, montaj hattında minimum sayıda istasyon sayısını veren matematiksel model boya öncesi montaj hattına uygulanmıştır. Çalışmanın yapıldığı montaj hattında 117 adet iş adımı sayısı olması ve iş adımı süresi arttıkça bu modelin CPLEX programı ile alınan çıktıların gecikmesi nedeniyle yetersiz kalması durumu söz konusu olmuştur. İşçilerin beceri ve yetkinliğinin artırılması için çoklu beceri eğitimi devam ettirilirken diğer taraftan beceri ve yetkinlikleri birbirinden farksız olan işçilerle sezgisel prosedür uygulanmış ve iş adımları stokastik comsoal algoritma üzerinde atanmıştır. Prosedürün Java kodu ile yazılması ile 5 farklı çevrim zamanında problemde elde edilen minimum istasyon sayısı belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuçların, faydalanılan bu sezgisel yöntem ile daha pratik bir şekilde elde edildiği tespit edilmiştir. Sezgisel yöntem sonucu elde edilen istasyon sayısı ile montaj hattında yalın üretim kapsamında da analiz ölçümleri tekrar yapıldığında israf yüzdelerinin azaldığı montaj hattında iyileşme olarak elde edilmiştir. Boya öncesi montaj hattında muda kapsamındaki israf zaman %14 iken, çalışma sonrasında %4 olarak kaydedilmiştir.

Boya öncesi montaj hattı verimliliği yanı sıra fabrikadaki tüm montaj hatlarında yapılan verimlilik analizlerinde ise %11 oranında artış gözlemlenmiştir.

Neticede montaj aşaması parçaların bir araya getirilerek bitmiş ürünün, çalışmadaki traktörün, kullanılabilir hale getirilmesi sürecidir. Bu sürecin her aşamasındaki kalitenin artması, çiftçi ile traktörün kuvvetli bağlar kurmasını sağlayarak fabrikanın tarım sektöründe arz ve talep döngüsünün biçimlenmesinde öncü olmaktadır. Çalışmanın yapıldığı Traktör fabrikasında özellikle kabin montaj hattında kadın işçilerin çalıştırıldığı bölgelerde belki de traktörün bitmiş ürüne dönüşmesindeki en önemli aşamaları olan montaj süreçleri tamamlanmaktadır. Traktör kabinindeki önemli montaj aşamaları kapsamına elektrik tesisatı, konsol, el freni ve ön göğüsün toplanması gibi

büyük parçaların yanısıra minik düğmelerin ve kolların montajı gibi emek gerektiren süreçler de girmektedir.

Fabrikada yapılan çalışmaya ek olarak gelecekte yapılması planlanan hedefler aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir.

- Metodolojide değişiklik yapılabilir, özellikle literatürde çok sık karşılaşılan tavlama sezgiseli veya genetik algoritma gibi farklı sezgisel prosedürler veya benzetim teknikleri kullanılarak problem çözülebilir.
- Çalışmada çevrim süresi bilinen bir montaj hattında dengeleme yapılmaktadır. Montaj hattında farklı amaçlar için montaj hattı dengeleme problemi yeniden çözülebilir. Sabit istasyon sayısı için çevrim süresini en küçükleyecek şekilde problem çözülebilir. Montaj hattında sabit makina ve ekipmanlar eklenmesi nedeni ile işlevselliği göz önünde bulundurmak için yerleşimin değiştirilmesi gerekebilir. Bu gibi durumlara montaj hattında yapılan dengelemenin U-Tipi, paralel veya geleneksel montaj hattından yeni yerleşime uyum sağlayabilen bir şekilde tasarlanması gerekebilir.
- Hat duruşu, fabrikadaki tüm montaj hatlarında yaşandığı için çalışmada boya öncesi montaj hattında kullanılan sezgisel yöntem ile boya sonrası, kabin, transmisyon ve ön aks montaj hatları gibi farklı montaj hatlarında da dengeleme çalışması uygulanabilir.
- Uygunsuz veya takılamayan malzeme özelliklerine sahip, kırılğan, çatlak, çizilmiş veya delik çapları ölçülerinde yanlışlıkla fabrikaya gelmiş ve montaj hattında işçilere kusuruyla ulaşıp parçalarda mevcuttur. Montaj hattında duruşa neden olan diğer konular arasında yer alan malzeme kalitesinde belirlenen uygunsuzlukların düzeltilmesi için kalite projesi kapsamında tedarikçi geliştirme çalışmaları yapılmalıdır. Giriş kalite kontrol tekniklerinde düzenleme ile uygunsuz malzeme kaçağının önüne geçilebilir.
- Malzeme eksikliğinin önlenmesi için malzeme ihtiyaç planlamada farklı teknikler kullanılabilir örneğin belirsiz ve dinamik talepler altında bir lojistik problemi hazırlanarak problem optimizasyonu sağlayan bir model montaj hattında uygulanabilir.

- Montaj hattında iş adımı sürelerinin bulanık olduğu varsayılan bir montaj hattı için problemin çözümü bulunabilir. Bulanık süreler kullanılarak sezgisel yöntemle sonuçlar elde edilebilir.

Tüm bu değerlendirmelerin yanı sıra montaj hattı karışık modellenmesi nedeni ile model çeşidi sayısı her yıl arttırılmaya çalışılmaktadır. Mevcut planlama teknikleri yetersiz kalabilmektedir. Bu sebeple montaj hattı dengeleme çalışmalarının montaj hattında veya üründe meydana gelecek yeni bir değişiklik olması durumunda yeniden tekrarlanması önerilmektedir.

Günümüzün küresel rekabet ortamında işletmeler giderek daha talepkâr olan alıcılara hizmet vermektedir. Müşterileri ister bireysel tüketici, isterse bir başka üretici/satıcı firma olsun, işletmeler varlıklarını sürdürürebilmek için müşterilerinin iyi kalite, düşük fiyat ve kısa teslim süresi beklentilerini hızla karşılayabilmek, daha fazla çeşit üründen daha küçük miktarlarda verilen ve anlık olarak değiştirilen siparişlere uyum sağlamak zorundadır. 1900'lü yılların büyüyen pazarlarında geçerli olan “ne üretirsem satarım, maliyetim yükselirse fiyatı arttırırım, gecikirsem müşteri bekler” anlayışı giderek geçerliliğini kaybetmektedir. Çünkü fabrikanın ya da işletmenin her eksiğinde yerel veya uluslararası bir rakip yerine geçebilmektedir. Büyük ya da küçük her firma çok sayıda rakibin olduğu bir ortamda ve giderek bilinçlenen tüketicilere hizmet etmek zorundadır. Ayrıca, *“Yalın üretim iş yapma şeklimizdeki problemleri ortaya çıkararak ve daha etkin çalışma yollarını göstererek hem kuruluşlar hem de ülke için rekabet avantajı sağlar.”* Firma ise yalın üretimin tüm bu avantajlarını kullanarak sektöründe öncü olmaya devam etmektedir.

KAYNAKLAR

- Acar N., Estaş S.** (1991). Kesikli Seri Üretim Sistemlerinde Planlama ve Kontrol Çalışmaları Milli Prodüktive Merkezi Yayınları 3(309): 9-154.
- Akpınar S., Elmi A., Bektaş T.** (2017). Combinatorial Benders Cuts for Assembly Line Balancing Problems with Setups, *European Journal of Operational Research* 259: 527–537.
- Akyol D. S., Baykasoğlu A.** (2019). A Multiple-Rule Based Constructive Randomized Search Algorithm for Solving Assembly Line Worker Assignment and Balancing Problem, *J Intell Manuf* 30: 557–573.
- Altekin T. F.** (2017). A Comparison of Piecewise Linear Programming Formulations for Stochastic Disassembly Line Balancing, *International Journal of Production Research* 55(24): 7412–7434.
- Arcus A. L.** (1965). A Computer Method of Sequencing Operations for Assembly Lines, *International Journal of Production Research* 4(4): 259-277.
- Asl J. A., Solimanpur M., Shankar R.** (2019). Multi-Objective Multi-Model Assembly Line Balancing Problem: A Quantitative Study in Engine Manufacturing Industry, *Opsearch* 56: 603–627.
- Baykasoğlu A., Özbakır L., Görkemli L., Görkemli B.** (2012). Multi-Colony Ant Algorithm For Paralel Assembly Line Balancing With Fuzzy Parameters, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems* 23: 283–295.
- Chen Y.Y., Cheng C.H., Li J.Y.** (2018). Resource-Constrained Assembly Line Balancing Problems with Multi-Manned Workstations, *Journal of Manufacturing Systems* 48: 107–119.

- Chica M., Bautistica J., Armas J.** (2019). Benefits of Robust Multiobjective Optimization for Flexible Automotive Assembly Line Balancing, *Flex Serv Manuf J.* 31: 75–103.
- Çerçioğlu H., Özcan U., Gökçen H., Toklu B.** (2009). A Simulating Annealing Approach For Parallel Assembly Line Balancing Problem, *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ* 24(2): 331-341.
- Delice Y., Aydoğan E.K., Özcan U.** (2016). Stochastic Two-Sided U-Type Assembly Line Balancing: A Genetic Algorithm Approach, *International Journal of Production Research* 54(11): 3429–3451.
- Delice Y.** (2019). Pozitif ve Negatif Bölgeleme Kısıtlı Çift Taraflı U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemi, *Erciyes University Journal of Institute of Science and Technology* 35(2): 32-44.
- Doğan A., Sakallı Ü.S.** (2019). New Approach to Traditional Assembly Line Balancing Problem with Fuzzy Operation Time: Defence Industry Application, *International Journal of Engineering Research and Development* 8(1): 31-50.
- Erel E., Sabuncuoğlu I., Şekerci H.** (2005). Stochastic Assembly Line Balancing Using Beam Search *International Journal of Production Research* 43(7): 1411–1426.
- Esmailbeigi R., Naderi B., Charkgard P.** (2016). New Formulations for The Setup Assembly Line Balancing and Scheduling Problem, *OR Spectrum* 38:493–518.
- Fattahi A., Elaoud S., Azer S.E., Turkay M.** (2014). A Novel Integer Programming Formulation with Logic Cuts for The U-Shaped Assembly Line Balancing Problem, *International Journal of Production Research* 52(5): 1318–1333.
- Foroughi A., Gökçen H.** (2014). Maliyet Tabanlı Stokastik Montaj Hattı Dengeleme Problemi, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 29(3): 469-476.

- Foroughi A., Gökçen H., Tiaci L.** (2016). The Cost-Oriented Stochastic Assembly Line Balancing Problem: A Chance Constrained Programming Approach, *International Journal of Industrial Engineer* 23(6): 412-430.
- Fonseca D.J., Guest C.L., Elam M., Karr C.L.** (2005). Fuzzy Logic Approach to Assembly Line Balancing, *Mathware & Soft Computing* 12: 57-74.
- Genikomsakis K.N., Tourassis V.D.** (2012). Task Proximity Index: A Novel Measure for Assessing the Work-Efficiency of Assembly Line Balancing Configurations, *International Journal of Production Research* 50(6): 1624–1638.
- Hamzadayı A.** (2018). Balancing of Mixed-Model Two-Sided Assembly Lines Using Teaching-Learning Based Optimization Algorithm, *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg* 24(4): 682-691.
- Kahya, E., Yetkin, B.N.,** (2019). A New Model Proposal for Ergonomic Assembly Line Balancing, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 7(4): 767-778.
- Kara Y., Özgüven C., Yalçın N., Atasagun Y.** (2011). Balancing Straight and U-Shaped Assembly Lines with Resource Dependent Task Time, *International Journal of Production Research* 49(21): 6387–6405.
- Kara Y., Atasagun Y., Gökçen H., Hezer S., Demirel N.** (2014). An Integrated Model to Incorporate Ergonomics and Resource Restrictions into Assembly Line Balancing, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 27(11): 997–1007.
- Kara Y., Paksoy T., Chang C. T.** (2009). Binary Fuzzy Goal Programming Approach to Single Model Straight and U-Shaped Assembly Line Balancing, *European Journal of Operational Research* 195: 798–810.
- Kayacan B., Özel Y., Irmak Y.** (2016). Geçmişten Günümüze Montajı Kullanıcı Tarafından Yapılan Mobilyaların Sektördeki Yeri, *Istanbul Commerce University Journal of Science* 15(30): 153-166.

- Kao E.** (1976). A Preference Order Dynamic Program for Stochastic Assembly Line Balancing, *Management Science* 22(10): 1097-1104.
- Kellegöz T., Toklu B.** (2015). A Priority Rule-Based Constructive Heuristic and An Improvement Method for Balancing Assembly Lines with Parallel Multi-Manned Workstations, *International Journal of Production Research* 53(3): 736–756.
- Leitold D., Fogarassy A. V., Abony J.,** (2019). Empirical Working Time Distribution-Based Line Balancing with Integrated Simulated Annealing and Dynamic Programming, *Central European Journal of Operations Research* 27: 455–473.
- Li Y.** (2017). The Type-II Assembly Line Rebalancing Problem Considering Stochastic Task Learning, *International Journal of Production Research* 55(24): 7334–7355.
- Liu S. B., Ong H. L., Huang, H. C. A.** (2005). Bidirectional Heuristic for Stochastic Assembly Line Balancing Type II Problem, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 25: 71-77.
- Liker K. J.** (2015). Toyota Tarzı.
- Mansoor E. M., Ben-Tuvia S.** (1966). Optimizing Balanced Assembly Lines, *Journal of Industrial Engineering* 17: 126-132.
- Müller C., Grunewald M., Spanger T.S.** (2018). Redundant Configuration of Robotic Assembly Lines with Stochastic Failures, *International Journal of Production Research* 56(10): 3662–3682.
- Moodie C. L., Young H.H.** (1965). A Heuristic Method of Assembly Line Balancing for Assumptions of Constant or Variable Work Element Times, *The Journal of Industrial Engineering* 16(1): 23-29.
- Nourmohammadi A., Zandieh M.** (2011). Assembly Line Balancing by A New Multi-Objective Differential Evolution Algorithm Based on TOPSIS, *International Journal of Production Research* 49(10): 2833–2855.

- Nourmohammadi A., Eskandari H., Fathi M.** (2019). Design of Stochastic Assembly Lines Considering Line Balancing and Part Feeding with Supermarkets, *Engineering Optimization* 51(1): 63–83.
- Özcan U.** (2018). Balancing Stochastic Parallel Assembly Lines, *Computers and Operations Research* 99: 109–122.
- Özcan U., Peker A.** (2007). Karışık Modelli U-Tipi Montaj Hatlarında Hat Dengeleme ve Model Sıralama Problemi için Yeni Bir Sezgisel Yaklaşım, *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.* 22(2): 277-286.
- Özcan B., Dolu İ., Mutlu K.** (2019). Statistical Analysis in Assembly Line Balancing: Lean Manufacturing Application in Energy Sector *Turkish Journal of Energy Policy*, 4(8): (-).
- Paksoy T., Özceylan E., Gökçen H.** (2012). Supply Chain Optimisation with Assembly Line Balancing, *International Journal of Production Research* 50(11): 3115–3136.
- Palamut Ü., Akpınar Ş.,** (2019). A Firefly Algorithm for the Alternative Subgraphs Assembly Line Balancing Problem 2019(3): 290-297.
- Pastor R.** (2011). LB-ALBP: The Lexicographic Bottleneck Assembly Line Balancing Problem, *International Journal of Production Research* 49(8): 2425–2442.
- Pereira J.** (2015). Empirical Evaluation of Lower Bounding Methods for the Simple Assembly Line Balancing Problem, *International Journal of Production Research* 53(11): 3327–3340.
- Pereira J., Miranda A.E.** (2018). An Exact Approach for the Robust Assembly Line Balancing Problem, *Omega* 78: 85–98.
- Pınarbaşı M., Yüzükımız M., Toklu B.** (2016). Variability Modelling and Balancing of Stochastic Assembly Lines, *International Journal of Production Research* 54(19): 5761–5782.

- Ritt M., Costa A.M., Miralles C.** (2016). The Assembly Line Worker Assignment and Balancing Problem with Stochastic Worker Availability, *International Journal of Production Research* 54(3): 907–922.
- Roshani A., Nezami F.G.** (2017). Mixed-Model Multi-Manned Assembly Line Balancing Problem: A Mathematical Model and A Simulated Annealing Approach, *Assembly Automation* 37(1): 34-50.
- Sarker B.R., Pan H.** (2001). Designing A Mixed-Model, Open-Station Assembly Line Using Mixed-Integer Programming, *Journal of the Operational Research Society* 52(5): 545-558.
- Sculli D.** (1979). Dynamic Aspects of the Line Balancing, *Omega Int. J. Management Sciences*, 7: 557–562.
- Tsujimura Y., Gen M. and Li** (1996). Fuzzy Assembly Line Balancing Using Genetic Algorithms, *Computers and Industrial Engineering* 31 (3-4): 631-634.
- Vidalis M.I., Papadopoulos C.T., Heavey C.** (2005). On the Workload and ‘Phaseload’ Allocation Problems of Short Reliable Production Lines with Finite Buffers, *Computers & Industrial Engineering* 48: 825–837.
- Yang C., Gao J., Li J.** (2014). Balancing Mixed-Model Assembly Lines with Adjacent Task Duplication, *International Journal of Production Research* 52(24): 7454–7471.
- Yilmaz H., Demir Y.** (2019). New Mathematical Model for Assembly Line Worker Assignment and Balancing, *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9(4): 2002-2008.
- Wilson M.J.** (2014). Henry Ford vs. Assembly Line Balancing, *International Journal of Production Research* 52(3): 757–765.

EKLER

Çizelge Ek. 1: İş adımları ve model türlerine göre süreleri.

İş Adımı	Operasyon	1	2	3	4	5	6
1	EKİPMAN KALDIRMA KOLU KORUMA KAPAĞI MONTAJI	85	0	0	0	0	0
2	EKİPMAN KALDIRMA MİLİ MONTAJI	0	40	0	0	0	0
3	EKİPMAN KOLLARI MONTAJI	0	0	0	94	0	0
4	EKİPMAN KALDIRMA KOLU MONTAJI(SAĞ)	77	18	53	0	20	32
5	EKİPMAN KALDIRMA KOLU MONTAJI(SOL)	80	24	124	0	29	20
6	ÇEKİ ASANSÖRÜ MONTAJI	65	48	46	0	0	0
7	ÇEKİ VE Z DEMİRİ MONTAJI	398	0	0	0	397	391

Çizelge Ek. 1 (devam) : İş adımları ve model türlerine göre süreleri.

8	ÇEKİ MONTAJI	0	375	272	0	0	0
9	ÇEKİ OKU LAMASI MONTAJI	0	0	0	46	0	0
10	ÇEKİ SEHPASI MONTAJI	0	0	0	227	0	0
11	ÇEKİ PEHLİVAN MESNEDİ HAZIRLIĞI	0	0	0	0	0	125
12	ÇEKİ PEHLİVAN MESNEDİ MONTAJI	0	0	0	0	0	65
13	ÇEKİ MESNEDİ MONTAJI SAĞ SOL	0	0	0	134	0	0
14	GERGİ KOLU MONTAJI	120	65	28	37	82	53
15	GERGİ MESNEDİ MONTAJI	125	0	236	140	24	29
16	AYARLI KOL MONTAJI	183	34	178	93	92	28
17	ARA TAŞIYICI LAMA MONTAJI	32	13	19	15	0	0
18	Z DEMİRİ MONTAJI	0	25	0	66	0	0

Çizelge Ek. 1 (devam) : İş adımları ve model türlerine göre süreleri.

19	MÜŞÜR HAZIRLIĞI	0	113	0	0	0	93
20	MÜŞÜR MONTAJI	0	0	0	0	0	58
21	ORTA KOL MONTAJI	0	0	0	28	32	41
22	HİDROLİK PİSTON VE HORTUM HAZIRLIĞI (KISA)	0	0	113	71	0	0
23	HİDROLİK PİSTON MONTAJI	0	217	359	90	0	0
24	HİDROLİK PİSTON HORTUMLARI MONTAJI (UZUN)	0	161	0	0	0	0
25	HİDROLİK BORU MONTAJI	0	0	0	83	0	0
26	PİM MONTAJI	0	0	19	30	0	0
27	ÇABUKLAŞTIRICIYI SÖKMEK	0	0	28	0	0	0
28	ÇABUKLAŞTIRICIYI TAKMAK	0	0	26	0	0	0
29	KORUMA SACI MONTAJI	0	0	0	0	0	89

Çizelge Ek. 1 (devam) : İş adımları ve model türlerine göre süreleri.

30	KORUMA SACI MONTAJINDAN SONRA MÜŞÜR AYARI	0	0	0	0	0	92
31	MOTOR HAZIRLIĞI	1257	755	0	0	1163	822
33	MOTOR MONTAJI	1017	746	627	627	852	716
34	CARRARO HAZIRLIĞI	0	1881	0	0	1462	1992
35	CARRARO GÖVDE TAŞIMA	0	198	0	0	0	0
36	DT HAZIRLIĞI	0	803	0	0	803	803
37	DT MONTAJI	0	532	0	0	532	532
38	HİDROLİK KALDIRICI HAZIRLIĞI	0	0	0	0	1640	198
39	537 3 SİLİNDİR MOTOR HAZIRLIĞI	0	0	919	919	0	0
40	537 4 SİLİNDİR MOTOR HAZIRLIĞI	0	0	717	717	0	0
41	ÖN DİNGİL SAPLAMA MONTAJI	0	0	0	53	0	43
42	ÖN DİNGİL MESNED MONTAJI	0	0	0	0	113	0

Çizelge Ek. 1 (devam) : İş adımları ve model türlerine göre süreleri.

43	ÖN DİNGİL MONTAJI	200	180	186	164	252	288
43-1	ÖN DİNGİL MONTAJI-2	200	180	186	164	252	288
44	UZATILMIŞ AĞIRLIK MONTAJI	228	0	0	0	0	0
45	AĞIRLIK MONTAJI	215	157	145	0	0	140
46	MOTOR KULAKLARININ ÇIKARILMASI	33	38	22	24	0	0
47	KUYRUK MİLİ KORUMA KAPAĞI	0	0	26	15	0	0
48	ŞASI NUMARASININ GÖVDE ÜZERİNE YAZILMASI	96	97	77	83	114	92
49	ŞASI NUMARASININ FORMA YAZILMASI	188	101	101	52	118	67
50	KARDAN MİLİ HAZIRLIĞI	253	0	253	253	0	0
51	KARDAN MİLİ MONTAJI	92	0	190	190	0	0
52	4WD ARA MİL KORUMA SACI MONTAJI	72	0	0	0	0	0
53	4WD ARA MİL MONTAJI	64	64	64	62	58	58

Çizelge Ek. 1 (devam) : İş adımları ve model türlerine göre süreleri.

54	4WD ARA MİLİ RULMAN ÜZERİ SETUSKUR TUTTURULMASI	29	97	97	0	59	66
55	FLANŞ MONTAJI	0	13	0	0	0	0
56	YAĞ FİLTRESİ BAŞLIĞI ÖN HAZIRLIĞI	170	102	94	94	94	94
57	YAĞ FİLTRESİ BAŞLIĞI MESNED ÖN HAZIRLIĞI	204	0	0	82	184	65
58	YAĞ FİLTRESİ BAŞLIĞI MONTAJI	104	0	110	0	0	0
59	YAĞ FİLTRESİ BAŞLIĞI MESNED MONTAJI	0	0	0	36	33	49
60	YAĞ FİLTRESİ BAŞLIĞI VE MESNEDİN MONTAJI	0	165	0	0	0	0
61	YAĞ FİLTRESİNE YAĞ DOLDURMAK	71	76	47	42	0	0
62	YAĞ FİLTRESİ MONTAJI	67	46	34	58	50	51
64	YAĞ FİLTRE BAŞLIK MESNEDİNİN SIKILMASI	65	0	0	23	12	0
66	EMİŞ BORULARININ SIKILMASI (ÇEKİ TARAFI)	18	0	0	0	0	24

Çizelge Ek. 1 (devam) : İş adımları ve model türlerine göre süreleri.

67	EMİŞ BORUSU MONTAJI İÇİN PİMLERİN SÖKÜLMESİ	47	0	0	0	0	0
68	EMİŞ BORULARINI TORKLAMAK (ÇEKİ TARAFI)	72	0	15	41	27	0
69	EMİŞ BORULARININ MONTAJI (ÇEKİ TARAFI)	432	91	0	96	29	139
70	EMİŞ BORULARININ MONTAJI (MOTOR TARAFI)	169	111	81	81	104	0
71	EMİŞ BORULARINA HİDROLİK BORU TAKILMASI	0	53	39	20	0	81
72	EMİŞ BORULARININ HİDROLİK BORU İLE BİRLEŞTİRİLMESİ	104	0	0	23	125	0
73	EMİŞ BORULARININ YAĞ FİLTRE MESNEDİ İLE BİRLEŞTİRİLMESİ	0	46	50	0	0	62
74	EMİŞ BORUSU İLE BASINÇ BORUSU TUTUCU MESNED MONTAJI	117	53	0	0	0	83
75	EMİŞ BORULARINI (ÇEKİ TARAFI) VE FİLTRE MESNEDİNİ SIKMAK	0	41	0	0	0	0

Çizelge Ek. 1 (devam) : İş adımları ve model türlerine göre süreleri.

77	DİREKSİYON DÖNÜŞ BORUSUNA HİDROLİK BORU TAKILMASI	0	0	0	0	29	0
78	EMİŞ BORULARININ DİREKSİYON DÖNÜŞ BORUSUNA BİRLEŞTİRİLMESİ	0	0	0	0	60	0
79	BASINÇ BORUSU RAKORUNUN BAĞLANMASI	35	0	0	0	0	0
80	BASINÇ BORULARININ MONTAJI (ÇEKİ TARAFI)	184	0	0	78	51	0
81	BASINÇ BORULARININ MONTAJI (MOTOR TARAFI)	0	35	65	32	157	119
82	BASINÇ BORULARINI BİRLEŞTİRMEK	0	0	0	80	51	45
83	BASINÇ BORULARINI TORKLAMAK	113	29	64	45	0	42
84	ARKA EMİŞ BORUSU MONTAJI	0	0	0	0	107	0
85	BASINÇ BORUSUNU SIKMAK (ÇEKİ TARAFI)	0	0	0	0	21	0
87	MASKELERİ ÇIKARMAK	0	0	0	0	26	5

Çizelge Ek. 1 (devam) : İş adımları ve model türlerine göre süreleri.

88	DİREKSİYON DÖNÜŞ BORUSU	0	0	0	0	30	38
89	EGZOZ LAMASI MONTAJI	0	0	0	28	0	0
90	TRAPEZ AYAĞI MONTAJI	151	181	137	222	0	156
91	LASTİK TAKOZ MONTAJI	154	108	88	86	0	76
92	DT MİLİ RULMAN YATAĞI MONTAJI	54	54	54	0	54	54
93	MESNEDLERİN MONTAJI	529	416	343	346	0	105
94	FREN BAĞLANTI MESNEDLERİNİN MONTAJI	63	0	0	0	0	0
95	FREN BORULARININ MONTAJI	381	0	0	0	0	0
96	FREN HALAT MESNEDİ	49	0	0	0	0	0
97	FREN MONTAJI	0	662	761	612	0	619
98	KİLİTLEME KOLLARI HAZIRLIĞI	0	0	107	124	0	0
99	MÜŞÜR AYARI	0	18	0	0	0	0

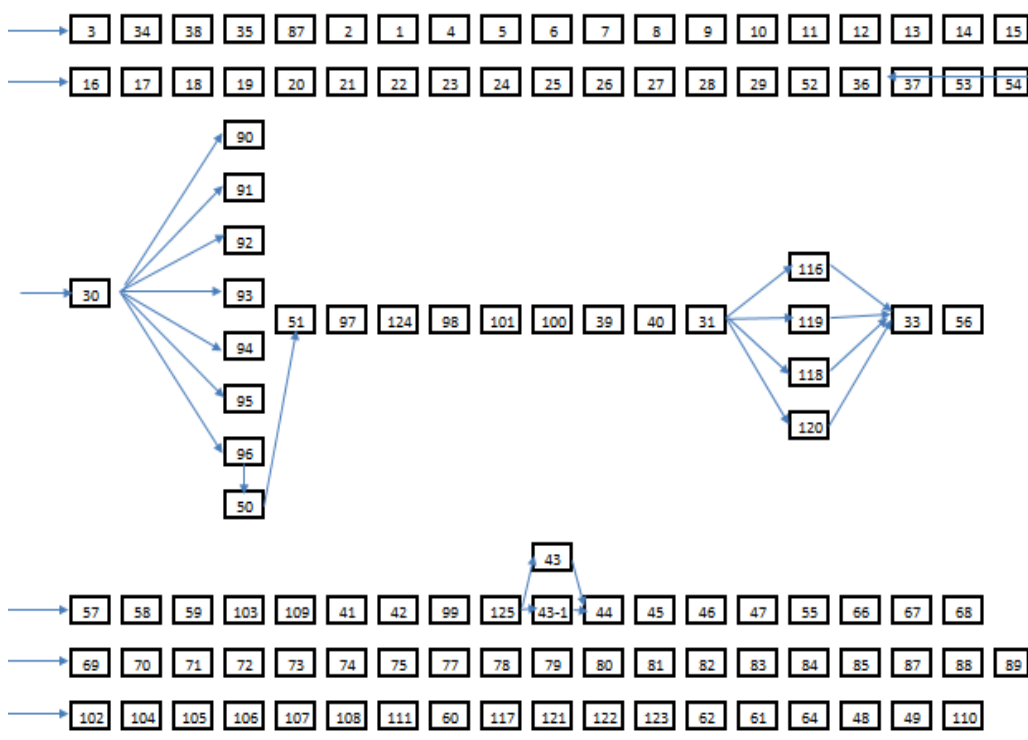
Çizelge Ek. 1 (devam) : İş adımları ve model türlerine göre süreleri.

100	KUMANDA KOLU MESNEDİ MONTAJI	0	0	0	75	0	0
101	KUMANDA KOLU MESNEDİ HAZIRLIĞI	0	0	81	124	0	0
102	GAZ TELİ MESNEDİ MONTAJI	82	82	82	127	0	0
103	KUYRUK MİLİ ÇATALI MONTAJI	0	0	98	0	76	78
104	SU DEVRİ DAİM BORULARININ GÖVDEDEN SÖKÜLMESİ	0	0	0	0	244	0
105	SU DEVRİ DAİM BORULARI MONTAJI	0	0	0	0	241	0
106	SU GİRİŞ RAKORUNUN SÖKÜLMESİ	0	0	0	10	0	0
107	SU GİRİŞ RAKORUNUN MONTAJI	0	0	0	27	0	0
108	SU GİRİŞ RAKORUNUN TUTTURULMASI	46	0	0	0	0	0
109	PRES OPERASYONU	0	0	0	0	90	89
110	GÖVDEYİ YIKAMA ALANINA İTMEK	25	25	25	25	25	25

Çizelge Ek. 1 (devam) : İş adımları ve model türlerine göre süreleri.

111	FAN KASNAĞI MONTAJI	66	66	66	0	0	0
116	FREN KOLLARI VE MİLLERİ MONTAJI	0	0	0	0	270	0
117	YAĞ FİLTRESİ BAŞLIĞI MESNEDİ MONTAJI	0	43	0	0	64	0
118	MÜŞÜR MESNEDİ MONTAJI	0	0	0	0	114	0
119	DİFERANSİYEL KİLİTLEME MİLİ	0	0	0	0	50	0
120	BRAKET MESNEDİ MONTAJI	0	0	0	0	100	0
121	YAĞ FİLTRESİ BAŞLIĞI MESNEDİ MONTAJI-2	0	0	0	0	51	0
122	MOTOR SOL ARKA KÖŞE MESNEDİ	0	50	0	0	0	0
123	MOTOR SAĞ ARKA KÖŞE MESNEDİ	0	47	0	0	0	0
124	FREN MONTAJI TRAPEZ AYAĞI 506	0	420	0	0	0	0
125	FREN MONTAJI FREN MİLİ 506	0	360	0	0	0	0

Çizelge Ek. 2: Birleştirilmiş öncelik diyagramı.



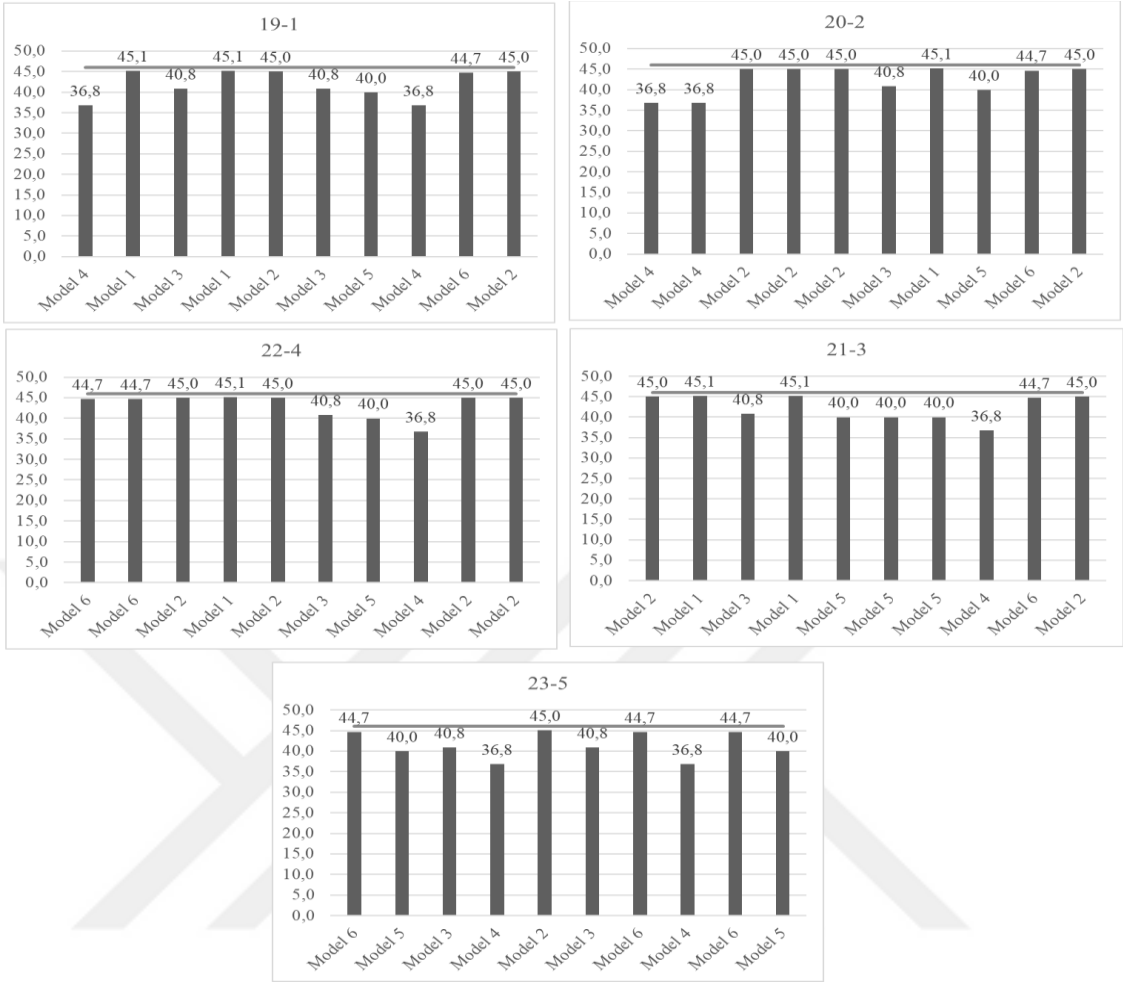
Çizelge Ek. 3: Öncül ve ardıl iş adımları sıralaması.

İş Adımı	Ortalama	Ortalama (dk)	Standart Sapma	Standart Sapma (dk)	İş Adımı	Ortalama	Ortalama (dk)	Standart Sapma	Standart Sapma (dk)	İş Adımı	Ortalama	Ortalama (dk)	Standart Sapma	Standart Sapma (dk)	İş Adımı	Ortalama	Ortalama (dk)	Standart Sapma	Standart Sapma (dk)	
1	14	0,24	139,92	2,33	33	764	12,73	145,42	2,42	61	39	0,66	69,78	1,16	94	10	0,17	79,95	1,33	
2	7	0,11	139,80	2,33	34	889	14,82	126,00	2,10	62	51	0,85	70,40	1,17	95	63	1,06	81,17	1,35	
3	16	0,26	140,25	2,34	35	33	0,55	89,91	1,50	64	17	0,28	71,03	1,18	96	8	0,14	82,63	1,38	
4	33	0,56	140,74	2,35	36	402	6,69	90,38	1,51	66	7	0,12	71,59	1,19	97	442	7,37	83,96	1,40	
5	46	0,77	141,30	2,36	37	266	4,43	82,94	1,38	67	8	0,13	72,07	1,20	98	39	0,64	22,06	0,37	
6	26	0,44	141,90	2,36	38	306	5,11	80,27	1,34	68	26	0,43	72,56	1,21	99	3	0,05	22,43	0,37	
7	198	3,29	142,45	2,37	39	306	5,11	75,85	1,26	69	131	2,19	73,21	1,22	100	13	0,21	22,27	0,37	
8	108	1,80	142,64	2,38	40	239	3,98	70,89	1,18	70	91	1,52	72,95	1,22	101	34	0,57	22,49	0,37	
9	8	0,13	143,27	2,39	41	16	0,27	68,13	1,14	71	32	0,54	73,39	1,22	102	62	1,04	23,03	0,38	
10	38	0,63	143,77	2,40	42	19	0,31	68,46	1,14	72	42	0,70	74,13	1,24	103	42	0,70	22,37	0,37	
11	21	0,35	144,39	2,41	43	212	3,53	68,80	1,15	73	26	0,44	74,92	1,25	104	41	0,68	22,73	0,38	
12	11	0,18	144,95	2,42	43-1	212	3,53	66,72	1,11	74	42	0,70	75,68	1,26	105	40	0,67	23,16	0,39	
13	22	0,37	145,49	2,42	44	38	0,63	64,45	1,07	75	7	0,11	76,51	1,28	106	2	0,03	23,61	0,39	
14	64	1,07	146,07	2,43	45	109	1,82	64,88	1,08	77	5	0,08	77,16	1,29	107	4	0,07	23,52	0,39	
15	92	1,54	146,77	2,45	46	19	0,32	64,91	1,08	78	10	0,17	77,80	1,30	108	8	0,13	23,51	0,39	
16	101	1,69	147,49	2,46	47	7	0,11	65,29	1,09	79	6	0,10	78,51	1,31	109	30	0,50	23,62	0,39	
17	13	0,22	148,20	2,47	48	93	1,55	65,57	1,09	80	52	0,87	79,19	1,32	110	25	0,42	24,59	0,41	
18	15	0,25	148,78	2,48	49	104	1,74	65,82	1,10	81	68	1,13	80,17	1,34	111	33	0,55	25,62	0,43	
19	34	0,57	149,38	2,49	50	126	2,11	65,93	1,10	82	29	0,49	81,13	1,35	116	45	0,75	26,86	0,45	
20	10	0,16	150,07	2,50	51	79	1,31	65,68	1,09	83	49	0,82	82,13	1,37	117	18	0,30	27,87	0,46	
21	17	0,28	150,66	2,51	52	12	0,20	66,05	1,10	84	18	0,30	83,23	1,39	118	19	0,32	29,26	0,49	
22	31	0,51	151,29	2,52	53	62	1,03	66,43	1,11	85	3	0,06	84,22	1,40	119	8	0,14	30,93	0,52	
23	111	1,85	151,98	2,53	54	58	0,97	66,91	1,12	87	5	0,09	85,06	1,42	120	17	0,28	31,77	0,53	
24	27	0,45	152,76	2,55	55	2	0,04	67,42	1,12	88	11	0,19	85,94	1,43	121	9	0,14	33,60	0,56	
25	14	0,23	153,47	2,56	56	108	1,80	67,75	1,13	89	5	0,08	86,93	1,45	122	8	0,14	33,78	0,56	
26	8	0,13	154,12	2,57	57	89	1,49	67,82	1,13	90	141	2,35	87,85	1,46	123	8	0,13	31,24	0,52	
27	5	0,08	154,75	2,58	58	36	0,60	68,13	1,14	91	85	1,42	87,84	1,46	124	70	1,17	8,29	0,14	
28	4	0,07	155,36	2,59	59	20	0,33	68,70	1,14	92	45	0,75	89,08	1,48	125	60	1,00	11,64	0,19	
29	15	0,25	155,99	2,60	60	27	0,45	69,22	1,15	93	290	4,83	90,60	1,51		76,5	1,27			
30	15	0,25	156,67	2,61																
31	666	11,10	157,37	2,62																

Çizelge Ek. 4: Tüm traktör modellerinde ortak yapılan iş adımları.

İş Adımı	Operasyon	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
14	GERGİ KOLU MONTAJI	120	65	28	37	82	53
16	AYARLI KOL MONTAJI	183	34	178	93	92	28
33	MOTOR MONTAJI	1017	746	627	627	852	716
43	ÖN DİNGİL MONTAJI	200	180	186	164	252	288
43-1	ÖN DİNGİL MONTAJI-2	200	180	186	164	252	288
48	ŞAŞI NUMARASININ GÖVDE ÜZERİNE YAZILMASI	96	97	77	83	114	92
49	ŞAŞI NUMARASININ FORMA YAZILMASI	188	101	101	52	118	67
53	4WD ARA MİL MONTAJI	64	64	64	62	58	58
56	YAĞ FİLTRESİ BAŞLIĞI ÖN HAZIRLIĞI	170	102	94	94	94	94
62	YAĞ FİLTRESİ MONTAJI	67	46	34	58	50	51

Çizelge Ek. 5: Herhangi bir gün 5 işçi üzerindeki iş yükü grafiği.



Çizelge Ek. 5 (devam): Zaman etüdü ile yapılan ölçümleri.

TARİH	MODEL	SÜRE	OPERATÖR
19	Model 4	36,8	1
19	Model 1	45,1	1
19	Model 3	40,8	1
19	Model 1	45,1	1
19	Model 2	45,0	1
19	Model 3	40,8	1
19	Model 5	40,0	1
19	Model 4	36,8	1
19	Model 6	44,7	1
19	Model 2	45,0	1
20	Model 4	36,8	2
20	Model 4	36,8	2
20	Model 2	45,0	2
20	Model 2	45,0	2
20	Model 2	45,0	2
20	Model 2	45,0	2
20	Model 3	40,8	2
20	Model 1	45,1	2
20	Model 5	40,0	2
20	Model 6	44,7	2
20	Model 2	45,0	2
21	Model 2	45,0	3
21	Model 1	45,1	3
21	Model 3	40,8	3
21	Model 1	45,1	3
21	Model 5	40,0	3
21	Model 5	40,0	3
21	Model 5	40,0	3
21	Model 4	36,8	3
21	Model 6	44,7	3
21	Model 2	45,0	3
22	Model 6	44,7	4
22	Model 6	44,7	4
22	Model 2	45,0	4
22	Model 1	45,1	4
22	Model 2	45,0	4
22	Model 3	40,8	4
22	Model 5	40,0	4
22	Model 4	36,8	4
22	Model 2	45,0	4
22	Model 2	45,0	4
23	Model 6	44,7	5
23	Model 5	40,0	5
23	Model 3	40,8	5
23	Model 4	36,8	5
23	Model 2	45,0	5
23	Model 3	40,8	5
23	Model 6	44,7	5
23	Model 4	36,8	5
23	Model 6	44,7	5
23	Model 5	40,0	5

Çizelge Ek. 6: Montaj hattı israflarını analizinde kullanılan fiiller sınıflandırmaları.

Yalnız Felsefeye Göre İş Adımı Sınıflandırılması						
Ana Kategori	No	Fiil	İngilizcesi	Kategori	Sembolü	
(VALUE ADDED JOBS) Katma Değeri Olan İşler	1	Birleştirmek	Connect	Katma Değeri Olan İşler	VA	
	2	Yerleştirmek	Locate	Katma Değeri Olan İşler	VA	
	3	Oturttmak	Place	Katma Değeri Olan İşler	VA	
	4	Yaymak	Spread	Katma Değeri Olan İşler	VA	
	5	Yaslamak	Recline	Katma Değeri Olan İşler	VA	
	6	Yüklemek	Load	Katma Değeri Olan İşler	VA	
	7	Yapıştırmak	Adhere	Katma Değeri Olan İşler	VA	
	8	Yönlendirmek	Route	Katma Değeri Olan İşler	VA	
	9	Sıkmak	Tighten	Katma Değeri Olan İşler	VA	
	10	Torklamak	Torque	Katma Değeri Olan İşler	VA	
	11	Ekipman İle Yerleştirmek	Hammer	Katma Değeri Olan İşler	VA	
	12	Kesmek	Cut	Katma Değeri Olan İşler	VA	
	13	Perçinlemek	Caulk	Katma Değeri Olan İşler	VA	
	14	Dolum Yapmak	Fill	Katma Değeri Olan İşler	VA	
	15	Delikten Geçirmek	Insert Thru	Katma Değeri Olan İşler	VA	
	16	Sokmak	Insert	Katma Değeri Olan İşler	VA	
	17	Preslemek	Press	Katma Değeri Olan İşler	VA	
	18	Silme	Wipe	Katma Değeri Olan İşler	VA	
	19	Sürmek	Apply	Katma Değeri Olan İşler	VA	
	20	Tutturmak	Fasten	Katma Değeri Olan İşler	VA	
	21	Bükme	Bend	Katma Değeri Olan İşler	VA	
INCIDENTAL WORKS (EK İŞLER)	Gerekli İşler (Necessary Works)	1	Açmak	Open	Gerekli İşler	IWR
		2	Almak	Pick Up	Gerekli İşler	IWR
		3	Ayarlamak	Adjust	Gerekli İşler	IWR
		4	Kapatmak	Close	Gerekli İşler	IWR
		5	Döndürmek (Gövde Etrafında)	Turn	Gerekli İşler	IWR
		6	Döndürmek (Kendi Etrafında)	Rotate	Gerekli İşler	IWR
		7	Geri Gönder/Çevir	Return	Gerekli İşler	IWR
		8	Butona Basmak	Push Button	Gerekli İşler	IWR
		9	Çalıştırmak(Makine)	Operate	Gerekli İşler	IWR
		10	Manifesti Kontrol Et	Check Manifest	Gerekli İşler	IWR
		11	Kontrol Etmek	Check	Gerekli İşler	IWR
		12	Yazdırmak	Write	Gerekli İşler	IWR
		13	Data Girmek	Input	Gerekli İşler	IWR
		14	Dakdirmek	Dip	Gerekli İşler	IWR
		15	Poşetlemek	Bag	Gerekli İşler	IWR
		16	Yönetmek	Manage	Gerekli İşler	IWR
		17	Asmak	Hook	Gerekli İşler	IWR
		18	Koymak	Put	Gerekli İşler	IWR
		19	Katlamak	Fold	Gerekli İşler	IWR
		20	İşaretlemek	Marked	Gerekli İşler	IWR
		21	Yeniden Kullanmak	Recycle	Gerekli İşler	IWR
		22	Maskelemek	Mask	Gerekli İşler	IWR
		23	Maskeleme Çıkartmak	Remove Masking	Gerekli İşler	IWR
24	Sıralı Set Etmek	Sequential Set	Gerekli İşler	IWR		
Kaçınılabılır İşler (Avoidable Works)	1	Çıkartmak	Remove	Kaçınılabılır İşler	IWA	
	2	Kutu Açmak	Opening the Box	Kaçınılabılır İşler	IWA	
	3	Form Yazmak	Write a Form	Kaçınılabılır İşler	IWA	
	4	Yerine Koymak	Replace	Kaçınılabılır İşler	IWA	
	5	pozisyon Almak	Take Position (Instead of "convey")	Kaçınılabılır İşler	IWA	
	6	Kutu Dağıtmak	BOX DISSIPATE	Kaçınılabılır İşler	IWA	
	7	Hazırlık Yapmak	Prep	Kaçınılabılır İşler	IWA	
	8	Taşımak	Carry	Kaçınılabılır İşler	IWA	
	9	Atmak	Discard	Kaçınılabılır İşler	IWA	
	10	Takmak	Inserting	Kaçınılabılır İşler	IWA	
	11	Periyodik İş	Periodical Job	Kaçınılabılır İşler	IWA	
Muda	1	Yürütmek	Walk	Muda	M	
	2	Geçici Set Etmek(Geçici Ayar)	Temporarily Set	Muda	M	
	3	Geçici Sıkmak	Temporarily Tighten	Muda	M	
	4	Geçici Yerleştirmek	Temporarily Place	Muda	M	
	5	Hareket Etmek	Move	Muda	M	
	6	Kaydırmak	Slide	Muda	M	
	7	İtmek	Push	Muda	M	
	8	Düzeltilmek	Repair	Muda	M	
	9	Parça Düşürmek	Falling Parts	Muda	M	
	10	Konuşmak	Speak	Muda	M	
	11	Beklemek	Wait	Muda	M	
	12	Gevşetmek	Unfasten	Muda	M	
	13	Aramak	Look For	Muda	M	
	14	Toparlamak	Sewage	Muda	M	
	15	Düşürmek	Fall	Muda	M	
	16	Yardım Etmek	Help	Muda	M	
	17	Saymak	Count	Muda	M	
	18	Geçici Koymak	Temporary Putting	Muda	M	
	19	Çekmek	Pull	Muda	M	

Algoritmanın Çalışması ile Elde Edilen İstasyon Sayısı Sonuçları

Çizelge Ek. 7: 46 dakika çevrim zamanı istasyon sayısı ve işlerin istasyonda tamamlanmama olasılıkları.

{1=5, 2=5, 3=5, 4=5, 5=5, 6=5, 7=5, 8=5, 9=5, 10=5, 11=5, 12=5, 13=5, 14=5, 15=5, 16=5, 17=5, 18=5, 19=5, 20=5, 21=5, 22=5, 23=5, 24=5, 25=5, 26=5, 27=5, 28=5, 29=5, 30=5, 31=5, 32=5, 33=5, 34=5, 35=5, 36=5, 37=5, 38=5, 39=5, 40=5, 41=5, 42=5, 43=5, 44=5, 45=5, 46=5, 47=5, 48=5, 49=5, 50=5, 51=5, 52=5, 53=5, 54=5, 55=5, 56=5, 57=5, 58=5, 59=5, 60=5, 61=5, 62=5, 63=5, 64=5, 65=5, 66=5, 67=5, 68=5, 69=5, 70=5, 71=5, 72=5, 73=5, 74=5, 75=5, 76=5, 77=5, 78=5, 79=5, 80=5, 81=5, 82=5, 83=5, 84=5, 85=5, 86=5, 87=5, 88=5, 89=5, 90=5, 91=5, 92=5, 93=5, 94=5, 95=5, 96=5, 97=5, 98=5, 99=5, 100=5, 101=5, 102=5, 103=5, 104=5, 105=5, 106=5, 107=5, 108=5, 109=5, 110=5, 111=5, 112=5, 113=5, 114=5, 115=5, 116=5, 117=5, 118=5, 119=5, 120=5, 121=5, 122=5, 123=5, 124=5, 125=5, 126=5, 127=5, 128=5, 129=5, 130=5, 131=5, 132=5, 133=5, 134=5, 135=5, 136=5, 137=5, 138=5, 139=5, 140=5, 141=5, 142=5, 143=5, 144=5, 145=5, 146=5, 147=5, 148=5, 149=5, 150=5, 151=5, 152=5, 153=5, 154=5, 155=5, 156=5, 157=5, 158=5, 159=5, 160=5, 161=5, 162=5, 163=5, 164=5, 165=5, 166=5, 167=5, 168=5, 169=5, 170=5, 171=5, 172=5, 173=5, 174=5, 175=5, 176=5, 177=5, 178=5, 179=5, 180=5, 181=5, 182=5, 183=5, 184=5, 185=5, 186=5, 187=5, 188=5, 189=5, 190=5, 191=5, 192=5, 193=5, 194=5, 195=5, 196=5, 197=5, 198=5, 199=5, 200=5, 201=5, 202=5, 203=5, 204=5, 205=5, 206=5, 207=5, 208=5, 209=5, 210=5, 211=5, 212=5, 213=5, 214=5, 215=6, 216=5, 217=5, 218=5, 219=5, 220=5, 221=5, 222=5, 223=5, 224=5, 225=5, 226=5, 227=5, 228=5, 229=5, 230=5, 231=5, 232=5, 233=5, 234=5, 235=5, 236=5, 237=5, 238=5, 239=5, 240=5, 241=5, 242=5, 243=5, 244=5, 245=5, 246=5, 247=5, 248=5, 249=5, 250=5, 251=5, 252=5, 253=5, 254=5, 255=5, 256=5, 257=5, 258=5, 259=5, 260=5, 261=5, 262=5, 263=5, 264=5, 265=5, 266=5, 267=5, 268=5, 269=5, 270=5, 271=5, 272=5, 273=5, 274=5, 275=5, 276=5, 277=5, 278=5, 279=5, 280=5, 281=5, 282=6, 283=5, 284=5, 285=5, 286=5, 287=5, 288=5, 289=5, 290=5, 291=5, 292=5, 293=5, 294=5, 295=5, 296=5, 297=5, 298=5, 299=5, 300=5, 301=5, 302=5, 303=5, 304=5, 305=5, 306=5, 307=5, 308=5, 309=5, 310=5, 311=5, 312=5, 313=5, 314=5, 315=5, 316=5, 317=5, 318=5, 319=5, 320=5, 321=5, 322=5, 323=5, 324=5, 325=5, 326=5, 327=5, 328=5, 329=5, 330=5, 331=5, 332=5, 333=5, 334=5, 335=5, 336=5,

Çizelge Ek. 7 (devam): 46 dakika çevrim zamanı istasyon sayısı ve işlerin istasyonda tamamlanmama olasılıkları.

337=5, 338=5, 339=5, 340=5, 341=5, 342=5, 343=5, 344=5, 345=5, 346=5, 347=5,
348=5, 349=5, 350=5, 351=5, 352=5, 353=5, 354=5, 355=5, 356=5, 357=5, 358=5,
359=5, 360=5, 361=5, 362=5, 363=5, 364=5, 365=5, 366=5, 367=5, 368=5, 369=5,
370=5, 371=5, 372=5, 373=5, 374=5, 375=5, 376=5, 377=5, 378=5, 379=5, 380=5,
381=5, 382=5, 383=5, 384=5, 385=5, 386=5, 387=5, 388=5, 389=5, 390=5, 391=6,
392=5, 393=5, 394=5, 395=5, 396=5, 397=5, 398=5, 399=5, 400=5, 401=5, 402=5,
403=5, 404=5, 405=5, 406=5, 407=5, 408=5, 409=5, 410=5, 411=5, 412=5, 413=5,
414=5, 415=5, 416=5, 417=5, 418=5, 419=5, 420=5, 421=5, 422=5, 423=5, 424=5,
425=5, 426=5, 427=5, 428=5, 429=5, 430=5, 431=5, 432=5, 433=5, 434=5, 435=5,
436=5, 437=5, 438=5, 439=5, 440=5, 441=5, 442=5, 443=5, 444=5, 445=5, 446=5,
447=5, 448=5, 449=5, 450=5, 451=5, 452=5, 453=5, 454=5, 455=5, 456=5, 457=5,
458=5, 459=5, 460=5, 461=5, 462=5, 463=5, 464=5, 465=5, 466=5, 467=5, 468=5,
469=5, 470=5, 471=5, 472=5, 473=5, 474=5, 475=5, 476=5, 477=5, 478=5, 479=5,
480=5, 481=5, 482=5, 483=5, 484=5, 485=5, 486=5, 487=5, 488=5, 489=5, 490=5,
491=5, 492=5, 493=5, 494=5, 495=5, 496=5, 497=5, 498=5, 499=5, 500=5}

{1=0.013695502840555318, 2=0.016732766193251036, 3=0.0029890424105208924,
4=1.6615434420785835E-4, 5=0.011738377865066374}

{1=0.018632904483729673, 2=0.016459143897774253,
3=9.203196427647331E-4, 4=0.006522763531153775,
5=0.008144297845359971}

- 1- [110, 49, 48, 3, 34, 38, 35, 64, 61, 62, 123, 122, 121, 117, 60, 111, 108, 107,
106, 105, 104, 102, 89, 88, 87, 85, 84, 2, 83, 82, 1, 4]
- 2- [5, 81, 6, 7, 8, 80, 79, 9, 78, 10, 11, 12, 77, 75, 74, 73, 13, 72, 71, 70, 14, 15, 69,
16, 17, 18, 19, 68, 20, 21, 22, 23, 67, 24, 25, 26, 27, 66, 28, 29, 52]
- 3- [36, 55, 37, 47, 46, 33, 56, 118, 119, 53, 116, 54, 45, 44, 57]
- 4- [31, 120, 40, 58, 59, 1000, 39, 43, 30, 95, 100, 101, 96, 94, 90, 92, 103]
- 5- [93, 109, 91, 98, 124, 50, 51, 97, 41, 42, 99, 125]

Çizelge Ek. 8: 31 dakika çevrim zamani istasyon sayısı ve işlerin istasyonda tamamlanmama olasılıkları.

{1=3.864313677492959E-6, 2=3.864313677492959E-6, 3=0.013274725296562373, 4=0.018895939078500956, 5=0.01146756958488182, 6=0.002733774366294961, 7=0.01930253190865372, 8=4.611695503333735E-4, 9=0.010452339786655607, 10=8.798745559668308E-5, 11=0.014446225297881088, 12=1.3676448726185342E-5, 13=0.0018686746230051066, 14=0.005193012656633855}

[110, 49, 48, 64, 61, 62, 3, 123, 122, 121, 117]

[34]

[38, 35, 60, 111, 108, 107, 106, 105, 104, 102, 89, 88, 87, 2, 85, 1, 84, 4]

[83, 5, 6, 82, 7, 8, 81, 80, 79, 78, 77, 75, 9, 74]

[73, 10, 11, 72, 12, 71, 13, 70, 69, 14, 15, 68, 67]

Çizelge Ek. 9: 21 dakika çevrim zamani istasyon sayısı ve işlerin istasyonda tamamlanmama olasılıkları.

1=0.0024779001319112925, 2=0.016637336706682992, 3=0.008167351384664179, 4=0.010460266442570143, 5=0.01469657590938156, 6=5.7336842980260094E-5, 7=0.0011106441649626486, 8=5.137336667182524E-9, 9=0.00628077914561842, 10=0.007462234890811437, 11=0.015429492180222937, 12=7.378521313322617E-4, 13=0.005825254972738336}

[3, 34]

[38, 35, 110, 49, 48, 64, 61, 62, 123, 122, 121, 117, 60, 111, 108, 107, 106]

[105, 104, 102, 89, 88, 87, 85, 2, 84, 83, 82, 1, 81, 4, 5, 80, 79, 6]

[7, 78, 77, 8, 9, 10, 11, 12, 75, 74, 73, 13, 14]

[15, 16, 72, 17, 18, 19, 71, 20, 70, 21, 69, 22]

Çizelge Ek. 10: 24 dakika çevrim zamani istasyon sayısı ve işlerin istasyonda tamamlanmama olasılıkları.

{1=6.661338147750939E-16, 2=0.01399875184868371, 3=0.013828072960705429, 4=0.01994814051799243, 5=9.114564547552106E-9, 6=0.019773330446860693, 7=4.538996975533838E-5, 8=0.010230394229716167, 9=0.01867719325419559,

Çizelge Ek. 10 (devam): 24 dakika çevrim zamanı istasyon sayısı ve işlerin istasyonda tamamlanmama olasılıkları.

10=0.007065506264468113, 11=0.015023758742932825,
12=0.015908936402811658}

[110, 49, 48, 64, 3]

[34, 38]

[61, 62, 123, 122, 35, 121, 117, 60, 111, 108, 107, 106, 105, 104, 102, 89, 88, 87, 85,
84, 83, 2, 1, 82, 81, 80, 4, 79, 78]

[5, 77, 75, 74, 73, 6, 72, 71, 70, 69, 68, 7, 67, 8, 9, 66, 55]

[47, 10, 11, 12, 13, 46, 45]

Çizelge Ek. 11: 18 dakika çevrim zamanı istasyon sayısı ve işlerin istasyonda tamamlanmama olasılıkları.

{ 1=1.3556722411323108E-10, 2=1.3556722411323108E-10,
3=0.017830377601754765, 4=0.017345817759408466, 5=0.013083351490049244,
6=0.018445339441504283, 7=0.019781098294004096, 8=0.019781098294004096,
9=0.019781098294004096, 10=6.079193037855646E-8, 11=0.012150805627945238,
12=2.626538625705166E-6, 13=0.0062434194489222605,
14=0.018079085022516428, 15=0.0077166992320230055,
16=3.5821465793617335E-9, 17=0.01222770386941363}

[110, 49, 48, 3]

[34]

[38, 64, 35, 61, 62, 123, 122, 121, 117, 60, 111, 108, 107, 106, 105, 104]

[102, 89, 88, 87, 2, 85, 84, 83, 82, 1, 81, 4, 80, 79, 5, 6]

[7, 78, 8, 9, 77, 10, 75, 74, 73, 11, 12]

Çizelge Ek. 12: Zaman etüdü ile yapılan ölçümler.

	Mar.19	Nisan ayı boyunca yapılan ölçümler										Nis.19
İş Adımı	Ortalama süre/sn	1.ölçüm	2 ölçüm	3.ölçüm	4.ölçüm	5.ölçüm	6.ölçüm	7.ölçüm	8.ölçüm	9.ölçüm	10.ölçüm	Ortalama süre/sn
14	64,2	63,9	112	100	58	68,9	44	45	89	87	119	78,7
16	101,3	159	140	90	110	115,9	39	119	80	92	45	99,0
33	764,1	1000	890	765	754	890	920	651	786	918	650	822,4
43	211,6	187	179	150	141	200	201	187	234	140	220	183,9
43-1	211,7	184	177	180	188	288	279	171	212	219	198	209,6
48	93,1	97	99	74	100	76	86	79	110	105	98	92,4
49	104,4	60	80	187	100	105	86	67	59	91	99	93,4
53	61,7	60	54	58	59	51	42	49	57	70	65	56,5
56	108,0	110	180	90	80	88	94	95	98	96	112	104,3
62	51,1	65	58	50	48	69	40	49	59	58	71	56,7

Çizelge Ek. 13: 2018 yılına ait montaj hatları verimlilik oranları.

2018 YILI VERİMLİLİK AYLIK KIRILIMLAR														
	OCA	ŞUB	MAR	NİS	MAY	HAZ	TEM	AĞU	EYL	EKİ	KAS	ARA	2018 ORT.	
BOYA SONRASI	-	56%	58%	57%	57%	66%	57%	57%	54%	52%	51%	62%	57%	
BOYA ÖNCESİ	-	54%	67%	58%	72%	76%	59%	76%	63%	58%	42%	40%	61%	
ÖN AKS	-	82%	87%	84%	59%	51%	70%	50%	70%	60%	62%	54%	66%	
TRANSM.	-	57%	56%	49%	62%	62%	56%	57%	46%	51%	39%	54%	54%	
KABİN	-	64%	67%	47%	53%	45%	44%	40%	69%	41%	47%	51%	52%	
BOYAHANE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ORTALAMA	-	63%	67%	59%	61%	60%	57%	56%	61%	53%	48%	52%	58%	

Çizelge Ek. 14: 2019 yılına ait montaj hatları verimlilik oranları.

		2019 YILI VERİMLİLİK AYLIK KIRILIMLAR												
		OCA.	ŞUB.	MAR	NİS	MAY	HAZ	TEM	AĞU	EYL	EKİ	KAS	ARA	2019 ORT.
BOYA SONRASI		50%	54%	58%	49%	53%	52%	56%	54%	58%	63%	60%	63%	56%
BOYA ÖNCESİ		55%	73%	73%	62%	60%	58%	60%	53%	71%	66%	62%	60%	63%
ÖN AKS		96%	100%	98%	72%	70%	71%	72%	67%	89%	91%	85%	87%	83%
TRANSM.		64%	42%	73%	81%	77%	78%	89%	86%	73%	80%	75%	78%	75%
KABİN		62%	59%	63%	69%	69%	65%	67%	67%	53%	64%	74%	84%	66%
BOYAHANE		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ORTALAMA		65%	66%	73%	67%	66%	65%	69%	65%	69%	73%	71%	75%	69%

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Aysin Şenel Uyanık
Uyruğu : TC
Doğum Tarihi ve Yeri : 23.07.1991 Hatay-Antakya
E-posta : uyanikas@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2020, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

Yıl	Yer	Görev
2015-2016	Sanko Makina MST Fabrikası	Planlama Mühendisi
2016-2019	Erkunt Traktör Fabrikası	Kurumsal Performans Mühendisi
2019 (02/09)	Erkunt Traktör Fabrikası	Devreye Alma Mühendisi
2020	Mitaş Endüstri	Süreç Yönetim Mühendisi

YABANCI DİL:

İngilizce, Almanca

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR:

Tekin S., **Uyanık Ş. A.**, (2019). Analysis of Mixed Model Assembly Line Balancing Deterministic and Stochastic Measurements in a Tractor Plant, Proceedings of 5th ICES 2019: The 5th International Conference on Engineering Sciences, September 19, Ankara, Turkey.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

Uyanık Ş. A., Darende P., (2018). Selection of Renewable Energy in the Central Anatolian Region from Turkey, 12th NCMConferances New Challenges in Industrial Engineering and Operation Management, September 11-12, Ankara, Turkey.

