İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR BUZDOLABI İŞLETMESİNİN MONTAJ HATTI DENGELEMESİNDE SÜREÇ MADENCİLİĞİ YAKLAŞIMININ KULLANILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İsmail Samet KISAKAYA

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Mühendislik Yönetimi Programı

TEMMUZ 2020

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR BUZDOLABI İŞLETMESİNİN MONTAJ HATTI DENGELEMESİNDE SÜREÇ MADENCİLİĞİ YAKLAŞIMININ KULLANILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İsmail Samet KISAKAYA
(507161234)

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Mühendislik Yönetimi Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Cemil CEYLAN

TEMMUZ 2020

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507161234 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi İsmail Samet KISAKAYA, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "BİR BUZDOLABI İŞLETMESİNİN MONTAJ HATTI DENGELEMESİNDE SÜREÇ MADENCİLİĞİ YAKLAŞIMININ KULLANILMASI" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Dr. Öğr. Üyesi Cemil CEYLAN** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Nihan ÇETİN DEMİREL** Yıldız Teknik Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. Umut ASAN İstanbul Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : 03 Haziran 2020
Savunma Tarihi : 13 Temmuz 2020

Canım eşim Gülay'a, biricik oğlum Mehmet Asil'e ve sevgili aileme

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında süreç madenciliği yaklaşımı ile birlikte montaj hattı dengelemesi ve bir buzdolabı fabrikasındaki uygulaması ile alakalı bilgiler yer almaktadır.

Tüm tez çalışması süresince gerek bilgi birikimi ile, gerekse karakteri ile bana rol model olan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen çok değerli hocam ve tez danışmanım Sn. Dr. Öğr. Üyesi Cemil CEYLAN'a en içten dileklerimle teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmamın uygulama ayağında benimle paylaştıkları veriler ile çalışmama destek olan ve iyi ki bir parçasıyım dediğim Arçelik ailesine çok teşekkür ederim.

Üzerimdeki emekleri hiçbir şeyle, hiçbir zaman mukayese edilemeyecek olan canım annem Şükrüye KISAKAYA, canım babam Mehmet KISAKAYA ve sevgili ablalarım İlkgül ÖZDEMİREL, Betül KISAKAYA ve İdil ERBAY'a sonsuz teşekkürler.

Son olarakta bu süreçte bana her zaman sabırla destek olan, beni motive eden kıymetli eşim Gülay KISAKAYA ve canımdan çok sevdiğim güzel oğlum Mehmet Asil KISAKAYA'ya çok teşekkür ediyorum, iyi ki varsınız.

Haziran 2020

İsmail Samet Kısakaya
(Makine Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
SEMBOLLER ..... **xiii**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xv**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xvii**
ÖZET ..... **xix**
SUMMARY ..... **xxi**
1. GİRİŞ **1**
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **3**
2.1 Süreç Madenciliği 3
2.1.1 Süreç madenciliği teknikleri 7
2.1.1.1 Süreç keşfi 8
2.1.1.2 Süreç uygunluk kontrolü 13
2.1.1.3 Süreç geliştirme 15
2.1.2 Süreç madenciliğine yönelik yapılan çalışmalar 16
2.2 Montaj Hatlarında Hat Dengeleme 19
2.2.1 Montaj hatlarının dengelenmesine yönelik temel kavramlar 21
2.2.1.1 İş öğesi 21
2.2.1.2 İş istasyonu 21
2.2.1.3 Çevrim süresi 22
2.2.1.4 Toplam iş süresi 22
2.2.1.5 Denge gecikmesi 22
2.2.1.6 Hat verimliliği 23
2.2.1.7 Düzgünlük indeksi 23
2.2.1.8 Öncelik diyagramı 23
2.2.1.9 Darboğaz 24
2.2.2 Montaj hattı dengeleme problemlerinin sınıflandırılması 24
2.2.2.1 Amaca göre sınıflandırma 24
2.2.2.2 Hat konfigürasyonuna göre sınıflandırma 25
2.2.2.3 Ürün çeşidine göre sınıflandırma 26
2.2.2.4 İşlem sürelerinin durumuna göre sınıflandırma 27
2.2.3 Montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümünde kullanılan yöntemler 27
2.2.3.1 Sezgisel yöntemler 28
2.2.3.2 Analitik yöntemler 28
2.2.3.3 Benzetim yöntemleri 28
2.2.4 Montaj hatlarının dengelenmesine yönelik yapılan çalışmalar 29
3. UYGULAMA **33**
3.1 Vaka Çalışmasına Giriş 33
3.2 Süreç Madenciliği Uygulaması 35

3.2.1 Süreç keşfi uygulaması 36
3.2.1.1 Alfa madencilik algoritması 40
3.2.1.2 Sezgisel madencilik algoritması 41
3.2.1.3 Tümevarımsal madencilik algoritması 43
3.2.1.4 Bulanık madencilik algoritması 45
3.2.2 Süreç uygunluk kontrolü uygulaması 49
3.2.3 Süreç geliştirme uygulaması 55
3.3 Hat Dengeleme Uygulaması 58
3.3.1 Mevcut durumun değerlendirilmesi 61
3.3.2 Sıralı pozisyon ağırlığı methodu 61
4. SONUÇ VE ÖNERİLER 67
4.1 Sonuçlar 67
4.1.1 Süreç madenciliği sonuçlarının değerlendirilmesi 67
4.1.2 Hat dengeleme sonuçlarının değerlendirilmesi 69
4.1.3 Süreç madenciliği ile hat dengeleme sonuçlarının bir arada değerlendirilmesi 70
4.2 Öneriler 71
KAYNAKLAR 73
EKLER 77
ÖZGEÇMİŞ 81

KISALTMALAR

ALB : Assembly Line Balancing
BD : Balance Delay
CPM : Critical Path Method
CSV : Comma Separated Values
ECRS : Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify
ERP : Enterprise Resource Planning
GPS : Global Positioning System
IoT : Internet of Things
LB : Line Balancing
LE : Line Efficiency
MHD : Montaj Hatlarında Dengeleme
MRP : Material Requirements Planning
OEE : Overall Equipment Efficiency
OME : Overall Man Efficiency
ProM : Process Mining
RPW : Ranked Positional Weight
SI : Smoothness Index
XES : Extensible Event Stream

SEMBOLLER

c_t	**:** Çevrim zamanı
IS	**:** Toplam iş süresi
k	**:** İş istasyonu sayısı
N	**:** Toplam iş öğesi sayısı
ST_i	**:** İş istasyonlarında geçen toplam süre
ST_{max}	**:** Maksimum çevrim süresine sahip iş istasyonunun çevrim süresi
t_i	**:** i. sıradaki iş öğesinin standart işlem süresi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Operasyon tanımları **33**
Çizelge 3.2 : Süreç modellerinin uygunluk değeri açısından sonuçları..... **52**
Çizelge 3.3 : Üretim hattı 4 için mevcut durum **59**
Çizelge 3.4 : İş istasyonu bazında ortalama işlem süreleri..... **59**
Çizelge 3.5 : Operasyon numaraları bazında pozisyon ağırlıkları..... **63**
Çizelge 3.6 : Pozisyon ağırlıklarına göre operasyonların atamalarının yapılması . **64**
Çizelge 4.1 : Mevcut durum ile sıralı pozisyon ağırlığı yönteminin mukayesesi .. **69**
Çizelge 4.2 : Uygulama aracı bazında iyileşme potansiyelleri..... **71**
Çizelge A.1 : Olay günlüğü verilerinden bir bölüm **78**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Süreç madenciliği metodolojisi **5**
Şekil 2.2 : Süreç madenciliğinin üç türü..... **8**
Şekil 2.3 : Tamamlama seçeneğine uymadığı için doğru model olmayan süreç modeli örneği **9**
Şekil 2.4 : Uygun tamamlamaya uymadığı için doğru model olmayan süreç modeli örneği **10**
Şekil 2.5 : Ölü geçişlerin olmaması özelliğine uymadığı için doğru model olmayan süreç modeli örneği..... **10**
Şekil 2.6 : Doğru bir süreç modeli örneği..... **10**
Şekil 2.7 : Üretim sistemlerinin sınıflandırılması..... **20**
Şekil 2.8 : Örnek öncelik diyagramı **24**
Şekil 2.9 : Örnek düz montaj hattı **25**
Şekil 2.10 : Örnek U-tipi montaj hattı **25**
Şekil 2.11 : Örnek paralel montaj hattı..... **26**
Şekil 2.12 : Örnek çift taraflı montaj hattı..... **26**
Şekil 3.1 : ProM da CSV formatındaki olay günlüğü dosyasının çalışma sayfasından aksiyon sayfasına aktarılmasının ekran görüntüsü **37**
Şekil 3.2 : ProM da eklenti seçiminin ekran görüntüsü..... **37**
Şekil 3.3 : ProM da XES olay günlüğü dönüştürücü eklentisinin çıktısı olan gösterge tablosunun ekran görüntüsü **38**
Şekil 3.4 : ProM da XES olay günlüğü dönüştürücü eklentisinin çıktısı olan denetçi sekmesinin ekran görüntüsü..... **38**
Şekil 3.5 : ProM da olay günlüğü özetinden bir kesit **39**
Şekil 3.6 : ProM da XES olay günlüğü dönüştürücü eklentisinin çıktısı olan noktalı grafiğin ekran görüntüsü..... **39**
Şekil 3.7 : ProM da olay günlüğünün alfa algoritması ile petri ağına dönüştürüleceği aksiyon sayfasının ekran görüntüsü..... **40**
Şekil 3.8 : ProM da alfa algoritması sonucu oluşturulmuş petri ağı..... **41**
Şekil 3.9: ProM da olay günlüğünün sezgisel algoritma ile sezgisel ağa dönüştürüleceği aksiyon sayfasının ekran görüntüsü **41**
Şekil 3.10 : ProM da sezgisel algoritma sonucu oluşturulmuş sezgisel ağ **42**
Şekil 3.11 : Sezgisel ağ uygulama sayfası **42**
Şekil 3.12 : ProM da sezgisel ağın petri ağına dönüştürüldüğü aksiyon sayfası……**42**
Şekil 3.13 : ProM da sezgisel algoritma sonucu oluşturulmuş petri ağı..... **43**
Şekil 3.14 : ProM da tümevarımsal algoritma sonucu oluşturulmuş süreç ağacı modeli **43**
Şekil 3.15: ProM da tümevarımsal algoritma sonucu oluşturulmuş petri ağı modeli **44**
Şekil 3.16: ProM da tümevarımsal görsel algoritma sonucu oluşturulmuş süreç modeli **45**
Şekil 3.17: ProM da tümevarımsal görsel algoritma sonucu aktivite ve yol sayısı azaltılarak oluşturulmuş süreç modeli **45**

Şekil 3.18: ProM da olay günlüğüne bulanık algoritma madencilik aracının uygulandığı aksiyon sayfasının ekran görüntüsü **46**
Şekil 3.19 : ProM da bulanık algoritma ile oluşturulmuş süreç modeli **46**
Şekil 3.20 : ProM da bulanık algoritma ile oluşturulmuş süreç modelinin vaka uyum kontrol sayfasından bir kesit **47**
Şekil 3.21 : ProM da bulanık algoritma ile oluşturulmuş süreç modelinin animasyonu **47**
Şekil 3.22: ProM da bulanık algoritma ile sınır üstü filtresi kullanılarak oluşturulmuş süreç modeli **48**
Şekil 3.23: ProM da bulanık algoritma ile sınır üstü filtresi kullanılarak oluşturulmuş süreç modelinin vaka uyum kontrol sayfasından bir kesit **48**
Şekil 3.24: ProM da bulanık algoritma ile oluşturulmuş süreç modelinin olay sınıf kontrol sayfasından bir kesit **49**
Şekil 3.25: Alfa madencilik algoritması ile oluşturulan süreç modelinin uygunluk analizi ve kontrol çıktısının ekran alıntısı **50**
Şekil 3.26 : Sezgisel madencilik algoritması ile oluşturulan süreç modelinin uygunluk analizi ve kontrol çıktısının ekran alıntısı **50**
Şekil 3.27: Tümevarımsal madencilik algoritması ile oluşturulan süreç modelinin uygunluk analizi ve kontrol çıktısının ekran alıntısı **51**
Şekil 3.28: Tümevarımsal madencilik algoritması ile oluşturulan süreç modelinin uygunluk kontrol analizinden detaylı bir kesit **52**
Şekil 3.29: Tümevarımsal görsel madencilik algoritması ile oluşturulan süreç modelinden yol ve sapmaların gösterildiği bir kesit **53**
Şekil 3.30: Tümevarımsal madencilik algoritması ile oluşturulan süreç modelinin uygunluk kontrol analizinden detaylı bir kesit **53**
Şekil 3.31: Tümevarımsal madencilik algoritması ile oluşturulan süreç modelinin performans/uygunluk analizinden bir kesit **56**
Şekil 3.32: Vakaların aktivite kırılımı ile zamana göre değişimini gösteren sosyal ağ analizi **57**
Şekil 3.33: Aktivitelerin zamana göre değişimini gösteren sosyal ağ analizi **57**
Şekil 3.34: Aktivitelerin gerçekleştikleri günden bağımsız zaman dilimine göre değişimini gösteren sosyal ağ analizi **58**
Şekil 3.35 : Öncelik diyagramı **62**
Şekil B.1 : Tümevarımsal görsel madencilik algoritması ile oluşturulan süreç modeli..... **79**

BİR BUZDOLABI İŞLETMESİNİN MONTAJ HATTI DENGELEMESİNDE SÜREÇ MADENCİLİĞİ YAKLAŞIMININ KULLANILMASI

ÖZET

Artan rekabet ortamında endüstriyel işletmeler kaliteden ödün vermeden, maliyet azaltarak, verimlilik artışları sağlayarak, pazar paylarını arttırarak karlılıklarını arttırmayı hedeflemektedirler. Bunun tabiki de bir çok yöntemi bulunmaktadır. En önemli yöntemlerinden biri de özellikle üretim tesislerinin montaj hatlarında dengeleme çalışmalarının yapılmasıdır.

Üretim en temel anlamda, toplumun ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla ekonomik bir değeri olan herhangi bir ürün veya hizmetin oluşturulması ve topluma kazandırılması, bundan da katma değer sağlanmasının amaçlanmasıdır. Üretimin olduğu bir çok yerde montaj, montaj işleminin yapıldığı bir çok yerde de montaj hatlarının varlığından bahsedebiliriz. Montaj işlemini bir ürünün komponentlerini çeşitli prosesler sonucu bir araya getirerek o ürünün oluşturulması, montaj hattını ise bu ürünün komponentlerinin çeşitli proseslerden geçerek bir araya getirildiği yer şeklinde tanımlayabiliriz.

Montaj hattının olduğu her yerde montaj hatlarının dengelenmesi ihtiyacı da endüstriyel şirketlerinin amaçları, hedefleri doğrultusunda zamanla ortaya çıkmaktadır. Montaj hatlarının dengelenmesi ile iş istasyonu sayısının minimize edilmesi ve/veya çevrim süresinin azaltılması amaçlanır. Bu amaç doğrultusunda işletmeler ve ürünler bazında çeşitli iyileştirme faaliyetleri hayata geçirilmektedir.

Endüstriyel tesislerin karlılıklarının arttırılmasında uygulayabilecekleri bir diğer önemli yaklaşım ise süreç madenciliğidir. Süreç madenciliği bir çeşit veri analizi yöntemi olup ilgili ham veriyi kullanıp, bir bakıma görselleştirerek sürecin modelini oluşturmayı esas alır. Oluşturulan bu süreç modelini analiz ederek iyileştirmeye açık noktaları, bu iyileştirmelerin nasıl yapılabileceğini ve etki boyutunun ne olduğunu anlayabilmemize olanak sağlar. Bu sayede endüstriyel işletmeler amaçladıkları karlılık seviyelerine ulaşabilirler.

Literatürde montaj hatlarının dengelenmesi ile süreç madenciliği ayrı ayrı bir çok kez geçmelerine rağmen bir arada neredeyse ele alınmamaktadırlar. Bu tez çalışmasında bu iki kavram beraber ele alınarak sonuçları değerlendirildikten sonra birbirleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Bu tez çalışmasında öncelikli olarak montaj hatlarında dengeleme ve süreç madenciliği kavramları üzerinde duruldu ve literatürdeki kullanım alanları incelendi ve detaylandırıldı.

Arçelik Eskişehir buzdolabı işletmesi üretim hattı 4'te iki ayrı uygulama gerçekleştirildi. İlk olarak süreç madenciliği uygulaması gerçekleştirildi. Süreç madenciliği uygulamasında ProM 6.9 süreç madenciliği aracı kullanılmıştır. ProM aracı ile süreç madenciliğinin üç türünün uygulaması gerçekleştirildi. Süreç keşfi adımında dört farklı madencilik algoritması uygulanarak bu madencilik

algoritmalarının süreç modelleri oluşturuldu. Daha sonra süreç uyum kontrolü adımında dört farklı madencilik algoritması için oluşturulan süreç modellerinin kalite kriterleri mukayese edildi, tümevarımsal madencilik algoritması ile oluşturulan süreç modelinin gerçek veriyi en iyi temsil eden model olduğu sonucuna varıldı. Süreç madenciliği uygulamasının son adımı olan süreç iyileştirme adımında ise dar boğaz olan istasyonlar belirlenerek sosyal ağ analizi gerçekleştirildi.

Süreç madenciliği uygulamasının ardından montaj hattı dengeleme çalışması yapıldı. Hat dengelemede en uygun yöntem olarak sezgisel hat dengeleme methodlarından en yaygın kullanılanların başında gelen sıralı pozisyon ağırlığı methodu uygulandı. Sıralı pozisyon ağırlığı methodu ile montaj hattı dengelendiğinde mevcut duruma göre aynı çevrim süresi ile toplam iş istasyonu sayısı ve operator sayısı 45'ten 41'e düşerek %9'luk bir iyileşme gerçekleştirildi.

Son olarak süreç madenciliği ve montaj hattı dengeleme çalışmalarının sonuçları bir arada değerlendirilerek elde edilen verimliliğin nasıl maksimize edilebileceği ile ilgili yol haritası oluşturuldu.

USING PROCESS MINING APPROACH IN THE ASSEMBLY LINE BALANCING OF A REFRIGERATOR PLANT

SUMMARY

In an increasingly competitive environment, industrial enterprises aim to increase their profitability while reducing costs, increasing productivity, increasing their market shares without compromising on quality. Absolutely there are many methods to achieve this. One of the most important methods is balancing especially on assembly lines of production facilities.

Production is basically the aim of providing any product or service with an economic value in order to meet the needs of the society and bringing it to the society and providing added value from it. We can mention that the existence of assembly in many places where production is available and existence of assembly lines in many places where assembly process is performed too. We can define assembly process as one product components were combined as a result of various processes. In addition, we can define assembly line as the place where the components of this product are put together by passing through various processes too.

Wherever there is an assembly line, the need to balance the assembly lines emerges over time in line with the goals and objectives of the industrial companies. By balancing assembly lines, it is aimed to minimize the number of workstations and / or reduce cycle time. For this purpose, various improvement activities are carried out on the basis of businesses and products.

Another important approach that industrial plants can use to increase their profitability is process mining. Process mining is a kind of data analysis method and it is based on creating the process model of the process by using the relevant raw data and visualizing it in a way. By analyzing this created process model, it allows us to understand the points open to improvement, how these improvements can be made and what the impact size is. In this way, industrial enterprises can reach their desired profitability levels.

In the literature, although the assembly line balancing and process mining passes many times separately, they are almost not handled together. In this thesis, after these two concepts are handled together and their results are evaluated, their effects on each other are examined.

In this thesis, primarily the concepts of process mining and assembly line balancing (ALB) are discussed and their usage areas in the literature are examined and detailed.

In the literature section related to the concept of process mining, we primarily focused on how the concept of process mining is handled in the literature. We mention that process mining methodology and explained one by one the steps that make up the process mining methodology. These steps are respectively planning, extraction, data processing, mining & analysis, evaluation and process improvement & support.

Then we mention that three main types of process mining. This three main types of process mining are also referred to as process mining techniques in the literature. These techniques are respectively process discovery, process conformance checking and process enhancement. In process discovery step, we give detail about four process mining algorithms which are used to create process model, these are alpha miner, heuristic mine, inductive miner and fuzzy miner and we gave information about how the process discovery goes in the literature. In process conformance checking step, we give detail about four quality criterion of process model and we mention that how the process conformance checking goes in the literature. And in last process mining techniques, process enhancement step, we also mention that how the process enhancement goes through the literature. Lastly in process mining literature section, we mention that studies on process mining and we shared some examples of the results of the improvement activities carried out as a result of these studies.

In the literature section related to the concept of assembly line balancing, first of all in the literature, we focused on how the concept of assembly line balancing is handled on and what their effects might be. Then, we focused on some basic assembly line balancing concepts such as work element, work station, cycle time, total work time, balance delay, line efficiency, smoothness index, precedence diagram and bottleneck. Then we classified the assembly line balancing problems by the purpose, the line configuration, product type and the duration of the processing times. Then, we discussed the methods used in solving assembly line balancing problems one by one, these are heuristics methods, analytical methods and meta-heuristics methods. Lastly in assembly line balancing literature section, we mention that studies on assembly line balancing and we shared some examples of the results of the improvement activities carried out as a result of these studies.

After the literature review of the concepts of assembly line balancing and process mining, two separate case studies were carried out on the assembly line 4 of Arcelik Eskisehir refrigerator plant.

Firstly, process mining case study was carried out. ProM 6.9 process mining tool is used in process mining study. Three types of process mining were implemented with the ProM tool. In the process discovery step, primarily we created the event log of our raw data, which consists of 450 cases and 14,665 events, then we interpreted the outputs of this event log. Later, four different mining algorithms were applied and process models of these mining algorithms were created and their soundness (correctness) and outputs were interpreted. Since the process models created with the inductive mining algorithm guarantee to create a sound model every time, our process model that we have created with this mining algorithm is a sound model. However, it has been observed that the models we created with alpha and heuristic mining algorithms are not correct models. In fuzzy algorithm, the situation is somewhat different. Since the process models created with this mining algorithm are not in the Petri net, but in the form of a process graphic, the soundness of the process models created with this mining algorithm can not be mentioned. Then in the process conformance checking step, the quality criteria of the process models created for four different mining algorithms were compared, conformance checking analysis were carried out in the ProM tool and it was concluded that the process model created with the inductive mining algorithm was the model that best represented the actual raw data. In the process enhancement step which is the last step of the process mining case study, the work stations with bottlenecks were identified and social network analysis was carried out.

After the process mining study, assembly line balancing study was done. The production capacity of the assembly line which we carried out line balancing (LB) study was 600 units / shift and the number of work stations and operators was 45. Ranked positional weight (RPW) method, one of the most suitable and common method in heuristic line balancing methods, was applied. Balance delay, line efficiency and smoothness index values were calculated both for the current situation and for the situation after the assembly line was balanced with the ranked positional weight method. Also the total number of work stations and operators were compared between the current situation and for the situation after the assembly line was balanced with the ranked positional weight method.

In the results section, process mining results, line balancing results and process mining and line balancing results are evaluated together respectively.

In the evaluation of process mining results, conformance analyzes of the process models created with alpha miner, heuristic miner, inductive miner and fuzzy miner algorithms were performed and trace fitness values were compared. Trace fitness value could not be calculated with fuzzy algorithm. This is because the process model created using this mining algorithm is not in the form of a Petri network, but in the form of a process chart. It is seen that the process model created with the alpha algorithm has a very low trace fitness value of 0,13. The reason for this may be the large discrepancies between the process model created with this mining algorithm and the event log used in the study. This means that the process model created with the alpha algorithm is insufficient to represent our data. It can be seen that trace fitness value of the process model created with the heuristic algorithm has a good value such as 0,84. Considering this value alone, it can be concluded that the process model created by the heuristic algorithm can actually represent our data, there are no large inconsistencies between our event log and process model and our model is appropriate in summary. However, it can be concluded that the process model created with heuristic mining is also missing when the process model created with the inductive algorithm, has higher trace fitness value and when the process model is evaluated in terms of control criteria. The process model created with the inductive algorithm was found to have a very high trace fitness value of 0,90. It can be said that the process model created with the inductive algorithm can represent our data at a very high level, there are no significant inconsistencies between our event log and process model and our model is a suitable model in summary. Therefore, it can be concluded that the work stations numbered 1650, 1590, 1890, 1960, 1680 and 830 are bottleneck when we perform the performance / conformance analysis of the process model we created using the inductive mining algorithm that best represents our data. Average sojourn times of these work stations are 15,90 minutes, 15,34 minutes, 14,76 minutes, 13,75 minutes, 13,44 minutes and 12,57 minutes, respectively.

In the evaluation of assembly line balancing results, when the assembly line was balanced with the ranked positional weight method, %9 improvement was achieved by decreasing the total number of work stations and operators from 45 to 41 with the same cycle time according to the current situation. In addition, when the assembly line was balanced with the ranked positional weight heuristic method, the decrease in balance delay from %37,22 to %31,10 with %16 improvement, increase from %62,77 to %68,89 with %10 improvement in line efficiency, the smoothness index decreased from 113.57 to 92.06 with improvement of %19 according to the current situation.

Finally, the results of the process mining and assembly line balancing studies were evaluated together and a road map was created on how to maximize the efficiency. In the process mining step, we identified six workstations (830, 1590, 1650, 1680, 1890, 1960) as bottlenecks. In assembly line balancing step, eight different workstations 1360/1390, 1870/1890, 1960/1980, 2240/2250) were combined and reduced to four stations. It is noteworthy that workstations numbered 1890 and 1960 are common for both tools. In addition, these workstations are successors of each other, that is, after the workstation numbered 1890 in the U-type assembly line where our study is made, the refrigerator palette is processed in the workstation numbered 1960. This information appears as a common output of both tools. If priority improvement activities are carried out at workstations numbered 1890 and 1960, there is the potential to increase capacity on the assembly line.

In the literature, there are very few resources utilizing the process mining tool in assembly line balancing in production facilities. In the following studies, by evaluating these two studies together, it is possible to benefit from potential improvement opportunities on concepts such as capacity, overall man efficiency (OME) and overall equipment efficiency (OEE) by considering process mining outputs as the input of line balancing results.

1. GİRİŞ

Günümüzde özellikle orta ve büyük ölçekli endüstriyel işletmeler ürettikleri ürünler ve verdikleri hizmetlerlerle alakalı fark yaratmak, içinde bulunduğumuz rekabet ortamında pazar paylarını korumak veya arttırmak için çeşitli iyileştirmeleri, verimlilik faaliyetlerini farklı yönetimsel yaklaşımlar altında belli bir sistematikle gerçekleştirmenin kaçınılmaz olduğunun farkındadırlar ve bu kapsamda çalışmalarını sürdürmektedirler.

Bahsedilen verimlilik arttırıcı faaliyetlerin başında ise özellikle üretim tesislerinin montaj hatlarında gerçekleştirilecek olan hat dengeleme çalışmaları gelir. Literatürde de bir çok kez geçen hat dengeleme çalışmalarına yönelik olarak endüstriyel işletmeler çoğunlukla direk sonuç odaklı olması ve maksimum verimlililiği hedeflemesi açısından iş istasyonu sayısının azaltılması sonucu operatör sayısının azaltılması ile adam saat verimliliğinin sağlanması ve çevrim süresinin iyileştirilmesi gibi sonuçlara ulaşmayı hedeflerler. Adam saat verimliliğinin iyileştirilmesi sonucu azalan işçilik maliyetleri, çevrim süresinin iyileşmesi, yani azalması sonucu artan toplam ekipman verimliliği işletmelerin ürün ve çevrim maliyetlerinin azalmasında önemli parametreler olmaktadır. Bununla birlikte gelen verimlilik artışının şirketlerin pazar payını, dolayısıyla karlılığını arttırıcı bir tetik noktası olduğu açıkça görülebilmektedir.

Ölçemediğiniz şeyi iyileştirmezsiniz yaklaşımıyla endüstriyel işletmelerin de gerçekleştirecekleri verimlilik arttırıcı faaliyetleri de hangi noktada, hangi ekipmanda, nasıl gerçekleştireceklerine karar vermeleri için bazı analizler yapıyor olmaları gerekmektedir. İşte bir veri analizi türü olan süreç madenciliği yaklaşımı da tam burada devreye giriyor. Süreç madenciliği ile elde edilen verileri endüstriyel tesisler gerçekleştirecekleri süreç iyileştirme, verimlilik arttırıcı ve kalite iyileştirme gibi faaliyetlerde önemli bir girdi olarak kullanabilirler ve bir bölümü de kullanmaktadır.

Bu çalışmada literatürde bir çok kez geçen ancak bir arada görmekte zorlandığımız montaj hatlarında dengeleme ve süreç madenciliği kavramlarını bir arada ele almak ve sonuçlarını değerlendirmek amaçlanmıştır. Literatürde özellikle süreç madenciliği ile

ilgili çalışmaların bir çoğu uygulama adımlarında somut iyileştirmeleri sağlamakta zorlanmaktadırlar. Biz de çalışmamızda süreç madenciliği yaklaşımını kullanarak elde ettiğimiz verileri, bir üretim tesisinin montaj hatlarının birinde hat dengeleme çalışması sonucu elde edilen verimlilik artışının nasıl maksimize edilebileceğine karar verilmesinde kullandık.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür araştırması kapsamında tez çalışmasına konu olan süreç madenciliği ve montaj hatlarında hat dengeleme kavramları üzerinde kapsamlı bir araştırma yapılmıştır.

Süreç madenciliğinin metodolojisinden bahsedildikten sonra sırasıyla süreç madenciliğinin süreç keşfi (process discovery), süreç uygunluk kontrolü (process conformence checking), süreç geliştirme (process enhancement) adımlarının analizi yapılmış olup, sonrasında süreç madenciliği ile ilgili literatürde yer alan uygulamalara değinilmiştir.

Montaj hatlarında hat dengeleme kavramı üzerinde durularak, üretim ve montaj hatlarından da bahsedildikten sonra hat dengelemeye yönelik temel kavramların tanımları yapılmıştır. Sonrasında montaj hattı dengeleme problemleri sınıflandırılarak her problem sınıfından detaylı olarak bahsedilmiştir. Devamında montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümünde kullanılan yöntemler sınıflandırılarak bunların detaylı değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Son olarakta literatürde U-tipi montaj hatlarının dengelenmesine yönelik gerçekleştirilen uygulama örneklerinden bahsedilmiştir.

2.1 Süreç Madenciliği

Günümüzde özellikle endüstriyel işletmeler Endüstri 4.0, nesnelerin interneti (internet of things, IoT) gibi kavramların önem kazandığı ve bunun sonucunda artan rekabet ortamının da etkisi ile var oluşlarına devam edebilmek adına verimlilik arttırıcı faaliyetlere daha da önem vermiş durumdadırlar. Ölçemediğiniz şeyi iyileştiremezsiniz felsefesinden yola çıkarak endüstriyel işletmeler her türlü veriyi analiz etmeye, gerçekleştirdikleri analizler neticesinde elde ettikleri çıktıları yorumlayarak aldıkları aksiyonlar sonucunda işletmelerinin ürün ve çevrim maliyet kayıplarını azaltmayı, kaliteyi arttırmayı amaçlamaktadırlar. Bunu saylayabilen işletmeler, rekabet ortamının yarattığı çevresel ve ekonomik şartların kendilerini sürüklemesine izin vermeden, direksiyonun başına geçerek, yön veren ve bunun

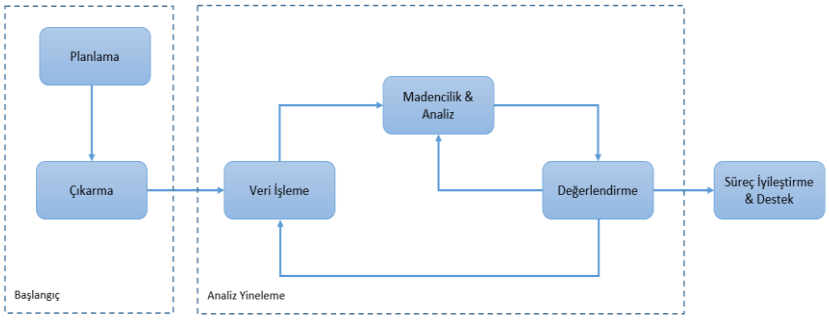
sonucunda varlıklarını sürdürmeyi başarabilen işletmeler durumundadır. Bu şartları sağlayamayan işletmeler ise ya artan maliyetler sonucunda, ya da ürün ve hizmet özelinde rakipleri ile rekabet edemeyecek seviyedeki kalite şartları sonucunda varlıklarının tehdit altına girmesine engel olamayan, en sonunda da varlıklarını sürdürmeyi başaramayan işletmeler durumundadırlar. Bu kapsamda veri toplamanın ve toplanan veriler sonucunda elde edilen büyük veriyi (big data) analiz etmenin önemi bir kez daha ön plana çıkmaktadır.

Farklı veri analiz yöntemlerinden bahsedilebilir. Bizim çalışmamızın konusu olan süreç madenciliği de bir tür veri analiz yöntemidir. Süreç madenciliği veri madenciliği ile ilişkili olup, klasik veri madenciliği teknikleri çoğunlukla veri merkezli iken süreç madenciliği süreç merkezlidir (Aalst, 2012'de atıfta bulunulduğu gibi). Süreç madenciliği, süreç yönetimi ve iş analizini kullanarak olay günlüklerinden farklı keşif algoritmaları tarafından otomatik olarak üretilen süreç modelleri aracılığıyla anlaşılabilir bilgileri çıkarmayı amaçlayan bir teknik olarak tanımlanabilir (Doğan ve diğ, 2019'da atıfta bulunulduğu gibi). Roldan ve diğ. (2019'da atıfta bulunulduğu gibi) ise süreç madenciliğini, süreçlerin kendileri tarafından oluşturulan ve günlüklerde toplanan olaylardan modellenmesini, değerlendirilmesini ve geliştirilmesini kapsayan bir veri analizi dalı şeklinde tanımlamaktadır. Bu kavramdan yola çıkarak süreç madenciliğinde süreçler, olay günlükleri ve modeller olamk üzere 3 ana kavram üzerinde durulabilir (Roldan ve diğ, 2019). Süreçler çalışmanın amacı olup, büyük sayıda verinin üretilmesini sağlarlar. Olay günlükleri kaynaklar tarafından gerçekleştirilen aktiviteleri, faaliyetleri toplar. Modeller ise süreçleri temsil ederler ve olaylar aracılığıyla oluşturulurlar. Süreç madenciliği, geçiş sistemleri, petri ağları, iş süreçleri modelleme notasyonu ve nedensel ağlar gibi çok çeşitli modellerle çalışabilir (Roldan ve diğ, 2019). İş süreç madenciliği veya kısaca süreç madenciliği, olay günlüğünde gözlemlenen davranışı açıklayan modellerin otomatik olarak oluşturulmasını amaçlamaktadır (Aalst ve diğ, 2006). Bu süreç madenciliğinin olay günlüklerinden süreçler hakkında bilgi elde etmeyi amaçladığı şeklinde de yorumlanabilir. Süreç madenciliği özellikle 2010 yılından sonra iş süreç yöntemi için popüler bir teknik haline gelmiştir (Akeren ve Tarhan, 2016'da atıfta bulunulduğu gibi). Süreç madenciliği veri madenciliği, süreç modelleme ve süreç analizi arasında önemli bir köprü kurmaktadır.

Süreç madenciliği iş akış yönetimi, iş süreç yönetimi, makine öğrenmesi ve veri bilimi olmak üzere dört disiplinin birleşiminden oluşmaktadır. Süreç madenciliği iş süreç yönetimi (business process management) yaşam döngüsünde kolaylıkla konumlandırılabilir (Wu ve diğ, 2019).

Süreç madenciliğinde ProM, Disco, ve Celonis gibi farklı araçlar kullanılabilir. Biz çalışmamızın uygulama adımında kullanıcı dostu olması ve ücretsiz açık kaynak olarak sunulması nedeniyle ProM aracını kullanıyor olacağız. ProM aynı zamanda en yaygın ve popüler süreç madenciliği aracıdır (Saylam, 2014'te atıfta bulunulduğu gibi). ProM çerçevesi tamamen eklentiyi mümkün kılan (plug-able) bir ortam olarak geliştirilmiştir (Aalst ve diğ, 2006). ProM da eklentiler kaynak kodunu bilmenize veya yeniden derlemenize gerek kalmadan kolaylıkla eklenerek genişletilebilir. Bu durum ProM aracının kullanıcı dostu özelliklerinden biri olarak gösterilebilir. ProM da olay verimizi kullanabilmemiz, onu XES (extensible event stream) formatındaki olay günlüklerine dönüştürebilmemiz için en az üç tür veri türüne ihtiyacımız bulunmaktadır; bunlar iz (trace), olay adı (event name) ve olayların gerçekleştiği zaman (event timestamp) (Url-1). ProM'un mimarisi beş farklı eklenti türüne izin vermektedir. Bunlar sırasıyla bazı olay günlüklerine dayalı bir petri ağı oluşturan madencilik algoritmalarının uygulandığı madencilik eklentileri (mining plug-ins), eklentilerin dışa aktarımını sağlayan eklentiler (export plug-ins), eklentilerin içe aktarımını sağlayan eklentiler (import plug-ins), madencilik sonuçları üzerinde bazı özellik analizlerinin uygulandığı eklentiler (analysis plug-ins) ve son olarak EPC ve petri ağı gibi farklı veri biçimleri arasında dönüşümleri uygulayan dönüşüm eklentileri (conversion plug-ins) (Dongen ve diğ, 2005).

Şekil 2.1'de süreç madenciliği metodolojisi gösterilmektedir (Yılmaz, 2019'da atıfta bulunulduğu gibi).



Şekil 2.1: Süreç madenciliği metodolojisi.

Şimdi Şekil 2.1'de gösterilen süreç madenciliği aşamalarından sırasıyla bahsedelim.

- Planlama (planning):

Planlama aşamasının amacı projeyi kurmak ve araştırma sorularını belirlemektir. Süreç madenciliği projelerine başlamak için iki ana hedeften bahsedilebilir, bunların ilki bir iş sürecinin performansını artırmak, ikincisi ise belirli kural ve düzenlemelere uygunluğunu kontrol etmektir. Bu aşamanın girdileri kurumun iş süreçleri olup çıktıları ise hedefe ilişkin araştırma soruları ve analiz edilecek iş süreçlerinin yürütülmesini destekleyen bir takım bilgi sisteminden oluşmaktadır.

Bu aşamada üç temel etkinlikten bahsedilebilir; araştırma sorularının belirlenmesi, iş süreçlerinin seçimi, proje ekibinin oluşturulması.

- Çıkarma (extraction):

Çıkarma aşaması olay verilerini çıkarmayı ve isteğe bağlı olarak işlem modellerini hedefler. Bu aşama için girdiler araştırma soruları ile analiz edilmek üzere seçilen iş süreçlerinin yürütülmesini sağlayan bilgi sistemleridir. Çıktıları ise olay verileridir.

Bu aşama için kapsamın belirlenmesi, olay verilerinin çıkarılması ve süreç bilgisinin aktarılması olmak üzere üç etkinlikten bahsedilebilir.

- Veri işleme (data processing):

Veri işleme aşamasının temel amacı elde edilen olay verilerinin farklı görünümleri ile olay günlükleri oluşturmak ve olay günlüklerini madencilik ve analiz aşaması için mümkün olan en uygun olacak şekliyle işlemektir. Olay verileri (event data) ile olay verilerini filtrelemek için kullanılan süreç modelleri bu aşamanın girdileri iken, madencilik ve analiz aşamasında kullanılacak olan olay günlükleri (event logs) çıktılarıdır.

Bu aşama için dört tür etkinlik tanımlanmıştır; görünümlerin oluşturulması, etkinliklerin toplanması, günlükleri zenginleştirilmesi ve günlüklerin filtrelenmesi.

- Madencilik ve analiz (mining & analysis):

Bu aşamada olay günlüklerine süreç madenciliği teknikleri uygulanır ve bu teknikler sonucunda araştırma sorularına cevap vermek, süreçlerin performansı ve uygunluğu hakkında fikir edinmek amaçlanır. Bu aşamanın girdileri olay günlükleridir, çıktıları

ise performans ve uygunluk hedefleri ile ilgili araştırma sorularının cevaplanmasını sağlayan bulgulardır.

Bu aşama için dört tür etkinlik tanımlanmıştır, bunlar sırası ile süreç keşfi (process discovery), uygunluk kontrolü (conformence checking), geliştirme (enhancement) ve süreç analizi (process analytics). Bu etkinliklerden ilk üçü bilindiği üzere süreç madencilik teknikleridir.

- Değerlendirme (evaluation):

Değerlendirme aşamasının amacı, analiz bulgularını projenin hedeflerine ulaşan iyileştirme fikirleriyle ilişkilendirmektir. Bu aşamanın girdileri analiz adımındaki süreç modelleri, performans ve uyum bulgularıdır. Çıktıları ise iyileştirme fikirleri veya yeni araştırma sorularıdır.

Bu aşamanın aktiviteleri ise teşhis koyma ile doğrula ve geçerli kıl kavramlarından oluşmaktadır.

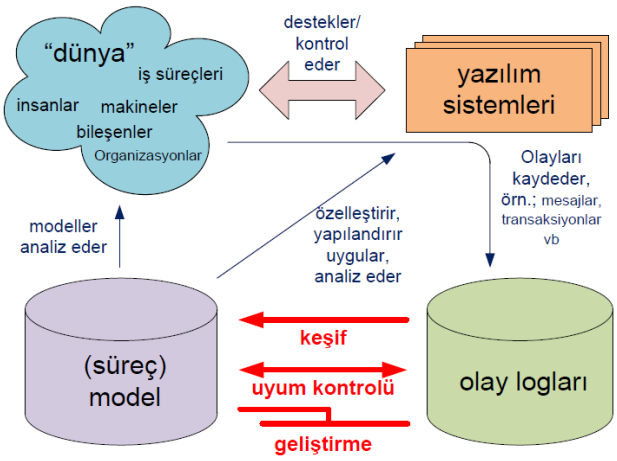
- Süreç iyileştirme ve destek (process improvement & support):

Bu aşamanın amacı kazanılan bilgileri gerçek bir süreç yürütmeyi geliştirmek için kullanmaktır. Bu aşamanın girdileri değerlendirme aşamasındaki iyileştirme fikirleri, çıktıları ise süreç modifikasyonlarıdır.

Bu aşamanın aktiviteleri ise aşamanın adından da tahmin edilebileceği üzere iyileştirmeleri uygulamak ve operasyonları desteklemektir.

2.1.1 Süreç madenciliği teknikleri (process mining techniques)

Şekil 2.2'de süreç madenciliğinin üç ana türünden, tekniğinden bahsedilmektedir (Yüzkat, 2016'da atıfta bulunulduğu gibi). Bunlar sırası ile süreç keşfi (process discovery), süreç uyum, uygunluk kontrolü (process conformence checking) ve süreç geliştirme (process enhancement) şeklindedir. Olay günlükleri süreç madenciliği çeşitlerini uygulamak için kullanılır. Analiz yineleme aşaması süreç madenciliği metodolojisinde ayrı bir öneme sahiptir. Süreç madenciliği tekniklerinin uygulandığı madencilik & analiz adımı ise analiz yineleme döngüsü içerisinde önem arz etmektedir. Öyle ki süreç madenciliği tekniklerinin iyi uygulanmadığı bir madencilik & analiz adımına sahip süreç madenciliği metodolojisinin iyi kurgulandığını söyleyemeyiz.



Şekil 2.2: Süreç madenciliğinin üç türü.

2.1.1.1 Süreç keşfi (process discovery)

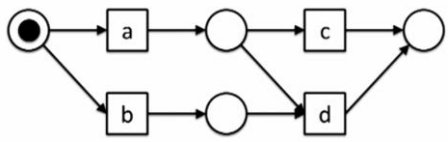
Süreç keşfi, süreç madencilik tekniklerinin ilki olup, belki de en önemlisidir. Girdi olarak bir olay günlüğünü göz önüne aldığımızda bunu genellikle olguya dayalı bir süreç modeli şeklinde çıktıya dönüştürmede süreç keşif tekniğinden yararlanırız (Eck ve diğ, 2015). Bir başka ifade ile özetlemek gerekirse süreç madenciliğinin veri işleme adımında olay verilerimizi olay günlüklerine dönüştürmüştük. Oluşturduğumuz bu olay günlüklerini farklı madencilik algoritmaları yardımı ile süreç modeline dönüştürdüğümüz, bir bakıma verilerimizi görselleştirdiğimiz bu süreç madenciliği tekniğine süreç keşfi denir. Daha basit bir ifade ile Aalst (2012) 'ye göre süreç keşfi adımında gözlemlenen olaylara göre modeller otomatik olarak oluşturulur.

Süreç modelinin kontrol listesi beş maddeden oluşmaktadır (Url-1).

- Doğruluk (soundness=correctness)
- Uygunluk (replay fitness, trace fitness)
- Kesinlik, hassasiyet (precision)
- Genelleme (generalization)
- Sadelik (simplicity)

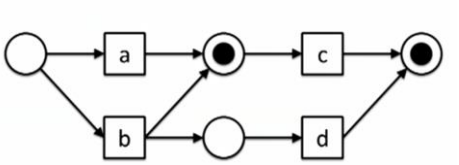
Süreç modelinin doğruluğu süreç keşif adımında kontrol edilirken, diğer dört süreç modeli kontrol maddesi, ki bunlara dört kalite kriteri denir, uygunluk kontrolü adımında değerlendirilir.

- Doğruluk (soundness): Süreç keşfine geçmeden önce modelimizin doğru veya doğru olmayan bir süreç modeli olduğuna karar vermiş olmalıyız. Bu karar verme adımı doğruluk (soundness=correctness) olarak adlandırılır. Doğru (sound=correct) bir süreç modeli herhangi bir hata olmadan son noktaya ulaşabilmelidir (Url-1). Uygulamamızda kullanılacak olan süreç modelinin doğru bir model olmasını isteriz. Doğru bir süreç modelinden kasıt, herhangi bir hata, kısıt olmaksızın başlangıç noktasından son noktaya, yani hedeflenen noktaya ulaşabilmektir. Bilgisayarınızda bir yazılım programı kullanıyorsanız ve modeliniz doğru bir model ise, süreç modelinizin başlangıç ve bitiş noktalarının görülüyor olması gerekmektedir. Süreç modelimizin doğru olup olmadığına karar vermek için aşağıdaki üç özellik incelenmelidir. Doğru bir model için bu üç özellikte sağlanmış olmalıdır.
    - Tamamlama seçeneği: Bu özellikte süreç modelinin her olası durumu için, son duruma, yani hedeflenen duruma ulaşmak mümkündür. Şekil 2.3'te bu özelliğin sağlanmadığı bir örnek görebilirsiniz (Url-1). Bu örnekte d geçişi çıkmaz nokta (dead lock) durumundadır ve asla bu geçişten sürecimiz akamaz, geçemez.



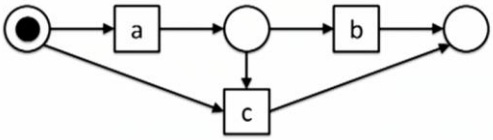
Şekil 2.3: Tamamlama seçeneğine uymadığı için doğru model olmayan süreç modeli örneği.

    - Uygun tamamlama: Süreç modeli son noktaya ulaştığı zaman geride hiç bir belirtecin, yani aktivitenin kalmaması durumunu temsil eder. Şekil 2.4'te bu özelliğin sağlanmadığı bir örnek görülmektedir (Url-1). Örnekte c geçişinden önceki aktivite, c geçişinden sürecin akabilecek durumda olmasına rağmen geride kalmıştır, yani uygun tamamlama gerçekleşmemiştir.



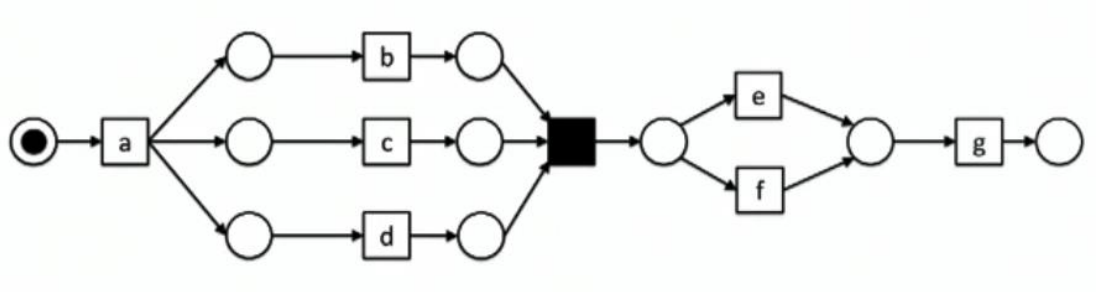
Şekil 2.4: Uygun tamamlamaya uymadığı için doğru model olmayan süreç modeli örneği.

- Ölü geçişlerin olmaması: Süreç modelindeki her bir geçiş noktasının etkinleştirilebilir olması durumudur. Yani her bir aktivitenin uygulanabilir olmasıdır. Şekil 2.5'te bu özelliğe uymadığı için doğru olmayan bir model örneği görebilirsiniz (Url-1). Örnekte c geçişinden sürecimiz asla akmaz, ancak her seferinde sürecin tamamlandığı görülmektedir, yani c geçişi ölü geçiş (dead transition) konumundadır.



Şekil 2.5: Ölü geçişlerin olmaması özelliğine uymadığı için doğru model olmayan süreç modeli örneği.

Son olarak her üç özelliğin de sağlandığı, doğru bir süreç model örneği Şekil 2.6'da görülmektedir (Url-1).



Şekil 2.6: Doğru bir süreç modeli örneği.

Endüstriyel işletmelerde süreç iyileştirme çalışmaları için gerçekleştirilmesi gereken veri analizi uygulamaları kapsamında prosedürler uygulanır. Ancak çoğu durum için bu prosedürler ya gayri resmidir, ya da dökümante edilmemiştir. Bununla birlikte prosedürler dökümante edilse bile gerçek ile çok farklı olabilmektedirler. Bu kapsamda olay verilerini kullanarak gerçek süreçleri keşfetmek önem arz etmektedir.

Keşif süreç modelleri paydaşlar arasındaki sorunları tartışmak için, süreç iyileştirme fikirlerini hayata geçirmek için ve model geliştirmek için kullanılabilir (Aalst, 2012).

Doksanlı yılların ortalarından bu yana çeşitli gruplar olay günlüklerine dayalı otomatik süreç keşfi için teknikler üzerinde çalışmaktadırlar. Klasik yaklaşımların bir çoğunun eş zamanlılık ile ilgili problemleri vardır. Bu noktada alfa algoritması eşzamanlılığı bir başlangıç noktası olarak alan basit bir teknik örneğidir. Süreç keşfinin pratik uygulamaları için gürültü ve eksikliğin iyi ele alınması önemlidir ve sezgisel madencilik (heuristic mining), bulanık madencilik (fuzzy mining) ve genetik madencilik (genetic mining) gibi birkaç keşif algoritması bu sorunları ele almaya odaklanmıştır (Aalst, 2012). Ayrıca son yıllarda geliştirilen bir teknik olan ve Leemans ve diğ. (2014)‘ e göre girdi parametresi olarak yollara uygulanacak gürültü filtreleme miktarı ile bir süreç ağacı oluşturabilen tümevarımsal madencilik (inductive miner) ve tümevarımsal görsel madencilik (inductive visual miner) algoritmaları da bu sınıfta değerlendirilebilir. Bir çok süreç madencilik algoritması içinde şimdi sırası ile bahsettiğimiz bu süreç madencilik algoritmalarından bahsedelim.

- Alfa madencilik algoritması (alpha miner):

Alfa algoritması eşzamanlılığı başlangıç noktası olarak alan basit bir tekniktir (Aalst, 2012’de atıfta bulunulduğu gibi). Alfa algoritması olay günlüklerini yanlızca belirli kalıplar için tarar. Bununla birlikte alfa algoritması basit ve etkilidir, ancak karmaşık yönlendirme yapıları ve gürültü ile ilgili problemleri vardır (Aalst, 2012).

Garcia ve diğ. (2019)’a göre alfa madencilik algoritması ilk başlarda gürültü, eksik olay günlükleri ile başa çıkmak için esnek değildi ve kısa döngüleri belirleme, yerel olmayan bağımlılıkları haritalama ve serbest olmayan seçim yapıları ile başa çıkma yeteneğine sahip değildi. Bir başka deyişle alfa algoritması tüm işlem adımlarını ve sıralarını herhangi bir sayı veya frekans olmadan gösterdiği için ana yolları tanımlamak ve aykırı değerlerden ayırmayı mümkün kılamamaktadır (Natschlager ve diğ, 2017).

- Sezgisel madencilik algoritması (heuristic miner):

Birçok araştırmacı alfa'yı geliştirmek ve genişletmek için çalıştı ve bu sınırlamaları çözmek için farklı algoritmalar önerdi. Sezgisel madencilik ilk olarak Weijters ve diğ. tarafından istisnalar ve ayrıntılar hariç tutularak gürültü ile baş edebilen ve ortak kalıpları ortaya çıkarabilen, kolayca yürütülebilir bir algoritma olarak 2006 yılında

literature kazandırılmıştır (Yılmaz, 2019'da atıfta bulunulduğu gibi). Yeni bir yaklaşım öneren diğer çalışmalar tersine mühendislik süreci içerir, başka bir ifade ile süreç modeli tasarımıyla başlamak yerine, olay günlüklerini toplayıp ardından gerçek yürütme akışını elde etmek için yeni bir süreç madencilik tekniğini uygulamayı önerir (Garcia ve diğ, 2019'da atıfta bulunulduğu gibi). Önerilen teknik alfa algoritmasını genişletir ve sezgisel bir ağ elde etmek için bağımlılık, frekans tablolarını hesaplayarak gürültüyü kaldırabilir. Frekans tabanlıdır ve manuel olarak tasarlanan model ile yürütülen işlem arasında karşılaştırmalar yapılmasını sağlaması açısından bağımlılık/frekans tabloları ilişkisinin sıklığını dikkate alır. Sezgisel algoritma en iyi şekilde kullanılan ve özelleştirilen süreç madencilik algoritma türlerinden biridir, çünkü iyi uygunluk değerini garanti eder, ancak nadir yollar (paths) modele dahil edilmediğinden toplam doğruluğu sağlayamaz (Garcia ve diğ, 2019).

Sezgisel algoritma ile aykırı değerlere karşı gürültü filtrelenebilir ve kalan yolların sıklığı gösterilebilir. Ancak bu filtreleme nedeniyle aykırı değerler, hatalı davranışlar ve süreç başarısızlıkları incelenemez (Natschlager ve diğ, 2017).

Mannhardt ve diğ. (2017)'ye göre sezgisel yöntemlerin çoğu, olay günlüğündeki gözlemlere dayalı olarak herhangi iki etkinlik arasındaki bağımlılıkların gücünü belirleyen frekans tabanlı önlemlere dayanır.

- Tümevarımsal madencilik algoritması (inductive miner):

Süreç keşif algoritmalarından en kapsamlılarından biri olarak kullanılan tümevarımsal algoritma ilk olarak Leemans ve diğ. tarafından 2014 yılında tanıtıldı (Yılmaz, 2019'da atıfta bulunulduğu gibi). Genişletilmiş bir çerçeve ile sunulan ve B algoritması olarakta adlandırılan algoritma tümevarımsal algoritma olarak bilinmektedir (Garcia ve diğ, 2019'da atıfta bulunulduğu gibi). Tümevarımsal madencilik algoritması ile amaç, olay günlüklerinde izlenen davranışlara uygun ve sağlam blok-yapılı süreç modellerini keşfetmektir. Algoritma, süreç modelini bulmak için minimum bilgiyi karakterize eder. Bnunula birlikte tümevarımsal madencilik algoritması uygulanabilir bir hesaplama maliyeti sağlayan bir polinom-zaman karmaşıklığı sağlar. Bu algoritmanın yüksek güvenilirliği vardır ve karmaşık modellerin basitleştirilmesi için olay kayıtlarının değişkenliğinin çözümünde de uygun bir yöntem olarak kabul edilir (Garcia ve diğ, 2019). Bu madencilik algoritması aynı zamanda, frekans analizi, kümeleme, sapmaların ve düzensizliklerin tespiti, zaman ve

darboğazların analizi, genel görünüş ve değerlerin sonuca göre hepsi ile aynı çözüme dahil edilen süreç anlayışı ve değerlendirilmesi gibi çeşitli kriterleri de içermektedir (Garcia ve diğ, 2019'da atıfta bulunulduğu gibi).

Ticari olarak sunulan mevcut proses keşif araçları, keşif kapsamını ayarlamak için birçok seçenek sunmaktadır, ancak genellikle yürütülebilir anlamsallığa sahip modeller üretmezler, bu nedenle otomatik değerlendirme veya daha fazla kullanım için kullanılamamaktadırlar. Tümevarımsal ve tümevarımsal görsel madencilik algoritması ile ticari ve akademik araçlar arasındaki bu boşluğun kapatılması amaçlanmaktadır. Bununla birlikte tümevarımsal madencilik algoritması yeni bir gösterim ile değerlendirmede, animasyon ve hızlı düğüm seçimi filtrelemesinin eklenmesiyle süreci iyileştirir (Leemans ve diğ, 2014).

Yılmaz (2019'da atıfta bulunulduğu gibi)'a göre tümevarımsal görsel madencilik algoritması hızlı, fonksiyonel ve kullanıcı dostu süreç ihtiyacını karşılayacak

bir keşif aracı niteliğindedir.

- Bulanık madencilik algoritması (fuzzy miner):

Bulanık algoritma ilk olarak Güntner ve Van der Aalst tarafından 2007 yılında tanıtıldı (Yılmaz, 2019'da atıfta bulunulduğu gibi). Diğer süreç algoritmalarının karmaşıklık sorunlarını ele almayı amaçlayan, süreç keşfi için yeni bir yaklaşım olarak bulanık algoritma önerildi (Yılmaz, 2019'da atıfta bulunulduğu gibi). Bulanık madencilik algoritması sadece kullanıcı tarafından tanımlanan önemlerine göre faaliyetleri filtreleyerek, yapılandırılmamış ve karmaşık olsa bile süreçleri keşfetmeyi amaçlamaktadır (Yılmaz, 2019).

Bulanık madenci algoritması vaka çalışmalarında en kullanışlı araçlardan biri konumundadır. Buna neden olarak bulanık madenciliğin çok miktarda kafa karıştırıcı davranışı temizleyebildiği ve yapıyı kaotik yapıdan çıkarabilecek olması gösterilebilir (Günther and Aalst, 2007).

2.1.1.2 Süreç uygunluk kontrolü (process conformence checking)

Süreç uyum kontrolü, süreç keşfinden sonra madencilik tekniklerinden ikincisidir. Süreç uyumu, bir süreç modelinin kalitesini ölçmekte kullanılan süreç madenciliği türüdür (Garcia ve diğ, 2019). Bir proses modelinin kalitesi genellikle dört kalite boyutu dikkate alınarak tanımlanır (Garcia ve diğ, 2019'da atıfta bulunulduğu gibi).

- Uygunluk (replay fitness, trace fitness): Keşfedilen modda olay günlüğü davranışını gözlemleme yeteneği olarak ifade edilebilir. Bir başka ifade ile gözlemlenen davranışı tekrarlayabilen bir model olup olmadığının bir ölçütüdür. Olay günlüğümüzdeki tüm izler, vakalar model tarafından tekrar edilebiliyor ise bu modelimizin iyi bir uygunlukta olduğunu bize gösterir.
- Hassasiyet (precision): Keşif sürecinde örneğin uygun olmayan kavramdan kaçınmak için kullanılan olay günlüğü ile ilgili olmayan davranışlardan kaçınmak amacıyla tanımlanan kalite kriteridir. Yani modeldeki davranış sayısının fazla olmaması iyi bir hassasiyette model oluşturulduğu anlamına gelir.
- Genelleme (generalization): Aşırı uyumlu konseptten kaçınmak gibi, keşfetmek için kullanılan ve önceki olaylarla ilgili yeni benzer olayları kabul etme kapasitesi olarak ifade edilir. Özetle modelimiz davranışı sınırlamaz ise, kullanılan model iyi bir genellemeye sahiptir denir.
- Sadelik (simplicity): Olabildiğince basit olacak şekilde ifade edilen kalite boyutudur. Bir başka ifadeyle süreç modelinin kolay ve anlaşılabilir olmasının bir göstergesidir. Kullanılan model kolay ve anlaşılabilir ise, söz konusu modelin iyi bir sadeliğe sahip olduğunu söyleyebiliriz (Saylam, 2014).

Süreç uyumluluğu sadece kalite boyutlarını ve bunların nasıl ölçüleceğini tanımlamakla kalmaz, aynı zamanda uygunluk kontrolünün farklı uygulamaları ile de ilgilidir (Garcia ve diğ, 2019).

Keşfedilen süreç ve uygulanan filtreler kalite perspektiflerini dengelemelidir; uygunluk, hassasiyet, genelleme ve basitlik. Kalite boyutları içerisinde gözlemlenen en baskın metrik, Garcia ve diğ. (2019)'a göre 0 (tüm olay izlerini destekleme kapasitesinin olmaması) ile 1 (mükemmel uygunluk) arasında bir değere sahip olacak olan uygunluktur.

Verilen süreç modeli ile, keşfedilen veya belgelenen, amaçlanan davranışı tanımlayan ve gerçek davranışı kaydedilmiş bir olay günlüğü göz önüne alındığında, uygunluk kontrol teknikleri bir süreç modeli ile karşılık gelen uygulama günlüğü arasındaki tutarsızlıkların saptanmasını amaçlamaktadır (Eck ve diğ, 2015'de atıfta bulunulduğu gibi). Daha basit bir ifade ile uygunluk kontrolü ile amaçlanan gerçek uygulamamızdaki sürecimiz ile olay günlükleri kullanılarak verilerimizi

görselleştirdiğimiz, yani keşfettiğimiz (process discovery adımı) sürecimiz arasındaki tutarlılığın incelenmesidir, yani keşfedilen sürecimizin gerçek sürecimizi ne ölçüde temsil ettiğinin ifade edildiği adımdır süreç uygunluk kontrol adımı.

İş süreçlerinin kalite, zaman, kaynak ve maliyet gibi farklı yönlere uyumu ile ilgili araştırma soruları uygunluk kontrol teknikleri kullanılarak kontrol edilebilir (Eck ve diğ, 2015). Uygunluk kontrol tekniklerinin sonuçları aynı zamanda süreç modellerini geliştirmek için de kullanılabilir.

Uygunluk kontrolü, sistemdeki olay günlükleri aracılığıyla elde edilen gerçeklik yardımı ile, modelle yüzleşmek için kullanılabilir (Garcia ve diğ, 2019). Uygunluğun doğrulanması, belgelenen süreçlerin doğruluğunu onaylamak, farklı vakalara işaret etmek ve ortak yönlerinin neler olduğunu fark etmeye çalışmak ve süreç içerisinde gerçekleşen sapma noktalarını belirlemek için kullanılabilir (Garcia ve diğ, 2019'da atıfta bulunulduğu gibi).

2.1.1.3 Süreç geliştirme (process enhancement)

Süreç geliştirme, süreç madencilik tekniklerinin sonuncusudur. Bu süreç madenciliği aktivite türü, proses modelini ilgili bilgiler kullanılarak genişletmeye odaklanmıştır (Garcia ve diğ, 2019). Süreç madenciliği, olay günlüklerinde zaman damgası (time stamping) kullanarak tıpkı sıkışık sokaklara vurgu yapan GPS uygulamaları ile aynı işlevi gerçekleştirebilir, bunları istatistik veya makine öğrenimi kullanarak tahminler için süreç modeli ile birleştirebilir. Bu genişletilmiş süreç modelleri, en iddialı süreç madenciliği biçimi olan operasyonel destek sağlamak için çok kullanışlıdır (Garcia ve diğ, 2019'da atıfta bulunulduğu gibi).

Bu madencilik türü vakaların ortalama işlem süresi, geçiş ve karar olasılıklarının neler olduğu, hangi geçişlerin zaman bazlı olduğu, kritik aktiviteler ve kaynakların neler olduğu, toplam işlem süresinin ne kadar olduğu ve iki aktivite arası bekleme süresinin ne kadar olduğu gibi sorulara cevap vermeyi destekler (Garcia ve diğ, 2019'da atıfta bulunulduğu gibi).

Garcia ve diğ. (2019)'a göre bu süreç madencilik tekniği, tüm süreç örneklerinin tanımlı tarih zaman dilimleri içinde görselleştirilmesine izin verir, her vaka sunumunu

süreç modeli üzerinde gerçekleştirir ve zaman ivmesinin haftalar içinde neler olduğuna ilişkin birkaç dakika içinde bilgi edinmesini sağlar.

Süreç geliştirme adımında tüm görsel vurguların iyi tanımlanmış birer anlamı vardır ve bunlar aşağıdaki gibi örneklenebilir (Garcia ve diğ, 2019'da atıfta bulunulduğu gibi). Uygulamamızda da ProM süreç madencilik aracını kullanırken bu görsel işaretlerin sonuçlarını ayrıca vurguluyor olacağız.

- Aktivite boyutu, maliyetlerle veya kaynak kullanımıyla ilişkili olay veya metrik sayısını gösterir.
- Aktivitenin rengi çalışma süresini veya süreci vurgular.
- Bir bağlantının genişliği/çapı ilgili bağlantının önemini yansıtır.
- Bağlantıların rengi bir sonraki aktiviteyi gerçekleştirmek için bekleme süresini vurgular ve darboğazları ortaya çıkarır.
- Aktivitelerin konumu merkez veya destek faaliyetlerini tanımlamak gibi dolaylı bir anlam taşıyabilir.

Geliştirme madencilik türü, bir olay günlüğüne kaydedilen gerçek süreç hakkındaki bilgileri kullanarak mevcut bir süreç modelini genişletme veya geliştirme olarak tanımlanabilir (Eck ve diğ, 2015'de atıfta bulunulduğu gibi). Buna örnek olarak süreç modelini performans bilgileriyle ilgili olarak genişleterek zamana veya maliyete göre veya ilgili olay günlüğünde gösterilen geçerli yürütmelere göre süreç modelinin onarılması gösterilebilir. Geliştirme adımının sonuçları süreç modelleridir, bunu başka bir bakış yönden değerlendirecek olursak, uygunluk kontrolünün sonuçları herhangi bir süreç modeli olmadan düşünülebilecek olmasına rağmen bu durum geliştirme adımı için geçerli değildir (Eck ve diğ, 2015).

2.1.2 Süreç madenciliğine yönelik yapılan çalışmalar

Süreç madenciliği kavramı özellikle iş akışının keşfi ile başlayan süreç keşif algoritmaları ile birlikte 2000 li yılların başlarında Van der Aalst ve arkadaşları tarafından literature kazandırılmıştır (Yılmaz, 2019'da atıfta bulunulduğu gibi). Daha sonra da özellikle nesnelerin interneti, Endüstri 4.0 gibi kavramların hayatımızdaki uygulama sıklığı ve bu kavramlara olan ihtiyacın artması süreç madenciliğinin daha da önem kazanmasını beraberinde getirmiştir, bu da bir çok alanda, bir çok

uygulamanın yapılmasını kaçınılmaz kılmıştır. Literatürde yer alan bazı süreç madenciliği uygulamalarına aşağıdaki gibi değinilmiştir.

Gürgen ve Tarhan (2011), bir kamu kurumuna ait görev yönetimi sürecinin keşfi, keşfedilen sürece göre uygulamaların doğrulanması adımlarını yürütmüş olup, uygulamadaki varyasyonların tespiti için ProM süreç madenciliği aracını kullanmışlardır. Çalışma için 85 görev ve ilişkili durum kayıtları kullanılmıştır. Çalışmada ayrıca alfa madencilik algoritması ile süreç keşfi adımı uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda uygunluk analizine göre durum kayıtları, keşfedilen sürece %87 oranında uygunluk göstermiştir.

Aalst ve diğ. (2010), çalışmalarında yeni bir iki aşamalı süreç madenciliği yaklaşımı sunmaktadırlar. Mevcut yaklaşımlar tipik olarak tek bir süreç madenciliği algoritması sağlamaktaydı; örneğin "one size fits all" olarak kabul edilir ve belirli bir uygulamaya göre uyarlanamazdı. Mevcut yaklaşımların aksine bu çalışmada önerilen yaklaşımla çok çeşitli stratejilere izin verilmekte olup, yan fayda olarak mevcut yaklaşımların bazı sorunlarının üstesinden gelinmektedir. Bu yaklaşımla ilk olarak yapılandırılabilir bir yaklaşım kullanılarak bir geçiş sistemi inşa edildi. Daha sonra bölge teorisi kullanılarak model sentezlendi. En nihayetinde aşırı uyum ve yetersiz uyum arasında bir denge kuruldu. ProM madencilik aracında oluşturulan petri ağı alfa algoritması kullanılarak oluşturulmuştur.

Aalst ve Weijters (2009), çalışmalarında öncelikle bir bakış açısı sağlayarak ve daha sonra proses perspektifi için alfa algoritmasını yakınlaştırarak proses madenciliği konusunu tanıtmışlardır. Sonuç olarak sezgisel yaklaşımın Petri ağına dayalı gürültülü bir veri kümesine uygulanmasından kaynaklanan bir bağımlılık grafiği oluşturulmuştur. Bu çalışma ile süreç madenciliğinin geniş uygulanabilirliği, süreç madenciliğini gürültü ve eksiklik gibi sorunların üstesinden gelmeye değer bir araştırma konusu olarak gösterdiği sonucuna varılabilir.

Doğan ve diğ. (2019), çalışmalarında müşterilerin değişken ruh halleri ve alışveriş merkezlerinde bir çok mağazanın olmasından dolayı müşterilerin güzergahlarını hesaplamanın oldukça karmaşık bir hal alabildiğini vurgulayarak, bu problemle baş edebilmek için süreç madenciliği tekniklerini kullanmışlardır. Bu çalışmada davranış analizinden yararlanılmış olup, ayrıca ILS dataları kullanılarak PALIA suite proses madenciliği aracı kullanılmıştır. 239 farklı müşteri tarafından gerçekleştirilen 367

farklı vaka analiz edilmiştir. Ortalama ziyaret edilen mağaza grupları ve her bir ziyaretçinin ziyaret süreleri analiz edilmiş olup, ziyaret sayısına göre ziyaret sürelerinin nasıl değiştiği analiz edilmiştir. Örneğin iki ziyaret gerçekleştiren müşterilerin ilk ziyaretlerinin ziyaret süresi, ikincisine göre daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmanın sonucunda müşterilerin mağazalar tarafından kişiselleştirilmiş indirimler sunmayı sağlayan ziyaret amacına göre gruplanmaları tavsiye edilmektedir.

Rehse ve diğ. (2018), çalışmaları ile endüstri 4.0 için iş süreç yönetiminin potansiyellerini DFKI akıllı lego fabrikasındaki üç uygulamalı örnek ile birlikte göstermektedirler, bu uygulamalı örneklerin ikincisi süreç madenciliği konusunda gerçekleştirilmiştir. Standart süreç madenciliği yaklaşımları, iş akışını destekleyen süreç yürütme sistemleri tarafından üretilen verilerde çalışır. Bu uygulamada üç ana alan üzerinde odaklanılmıştır; süreç düzeyinde olduğu gibi örnekleri örnek günlük verilerinden keşfetmek, süreç kayıtlarının önceden tanımlanmış bir süreç modeline uygunluğunu kontrol etmek veya temel süreci optimize etmek için verilen bir süreç modelini geliştirmek. İlk aşamada 309 traktör üretimi için süreç madenciliğinde kullanılmak üzere proses tedarik süresi ölçümü alınmıştır. En yüksek üretim üresine sahip örnek (17 dk) analiz ettikten sonra, bu işlem örneğinin "montaj videosunu göster" işlem adımında çok uzun bir süre kaldığı ve bu şekilde yerleşik manuel montaj adımında uzun bir gecikme olduğu belirlenmiştir. Ayrıca süreç madenciliği üretilen varyasyonlara dayanarak üretim sürecindeki sapmaları da belirleyebilir. Örnek olarak lego fabrikasında kırmızı ve yeşil olmak üzere iki farklı renkte traktör üretilmektedir. Her iki renk için üretim süreleri ölçülerek mukayese edilmiştir. Yeşil traktörlerin üretim süresinin genellikle kırmızılara göre daha hızlı olduğu gözlemlenmiştir. Bu, komponentlerin tedarik edilmesinin fabrikanın ortasında bulunduğu sistemin fiziksel yapısından kaynaklanmaktadır. Kırmızı parçalar, montaj rayından yeşil parçalara göre daha uzağa yerleştirilmiştir, öyle ki vinç kırmızı traktör parçalarını montaj aşamasına taşıyan daha geniş bir mesafeyi kaplamalıdır. Bir fabrika daha fazla kırmızı traktör üretecek olsaydı, kırmızı ve yeşil parçaların yuvalarını değiştirmek ya da bileşen tedariğini bir bütün olarak yeniden düzenlemek anlamlı olurdu.

Ruschel ve diğ. (2018), çalışmalarında kestirim modellerine entegre edilmiş bayes ağlarında olasılıklı bir model geliştirmede süreç madenciliği teknikleri uygulamışlardır. Bu çalışmanın temel katkılarından biri de; bilgiyi, işlemin olası

gelecekteki davranışlarını tahmin etmek için kullanmanın yanı sıra, tek veri tabanlarından elde edilen verilerle beslenen olasılıksal ve öngörücü modülleri birleştirebilecek bir metot sunmasıdır. Bu makalede sunulan metodoloji, bakım politikaları ve zamanlama teftişlerinden sorumlu olan üretim sistemleri ve daha yüksek bakım yönetimi seviyeleri arasında birlikte çalışabilirlik ile desteklenmektedir. Makalede sunulan metedolojiyi özetlemek gerekirse; üretim sistemlerinde operatörler tarafından toplanan verilerin üretim aktiviteleri, çevrim süreleri ve bakım faaliyetleri şeklinde kaydı oluşturuluyor. Daha sonra bu kayıtlar süreç madenciliği araçlarından olan DISCO tarafından veri işlemesi yapılarak görselleştiriliyor, yani süreç modeli oluşturuluyor. Bu süreç modeline dayalı olarak bayes ağları ile olasılıklı model ve kestirimci model oluşturuluyor. Oluşturulan olasılıklı model ve kestirimci model çerçevesinde bakım kontrolleri arasındaki zaman aralığı hesaplanıyor ve bakım yönetimi tarafından bu bilgiler ışığında bakım planlaması yapılıyor. Kullanılabilirlik fonksiyonu için sonuçlar değerlendirildiğinde, analiz edilen noktaya harcanan toplam zamanın yaklaşık % 1.40'ında bir gelişme algılanabilir. Sonuçlar maliyet fonksiyonu için ise analiz edildiğinde, analiz edilen noktadaki toplam maliyetin bir fonksiyonu olarak yaklaşık % 2,41'lik bir iyileşme algılanabilir.

Er ve diğ. (2018), çalışmalarında gerçek bir imalat şirketinde ERP sistemlerinin üretim planlamasından ve malzeme yönetiminden olay günlüğünün modellenmesinde ve analizinde gerçek ilerlemeyi yakalamak için süreç madenciliğinin kullanımını göstermektedirler. Üretim planlama modeli, MRP (malzeme ihtiyaç planlaması) çalıştır ile plan siparişi yarat aktiviteleri arasında iki kez (% 31) veya üç kez (% 3) meydana gelebilecek birçok döngü göstermektedir. Daha fazla analiz ile vakaların % 31'inin plan sipariş tarihinde değişiklik yaşandığı ve planın % 11'inin değişiklik plan çizgisini gerektirdiği ortaya konmuştur.

Aalst ve diğ. (2009), çalışmalarında ProM ve esneklik ile destek arasındaki dengeyi sağlamayı amaçlayan iş akış aracı olan Declare arasındaki bağlantı, yenilikçi analiz araçlarını sağladığı ve kullanıcıların geçmiş bilgilere dayanarak öneriler alabilmelerini mümkün kıldığı sonucuna varmışlardır.

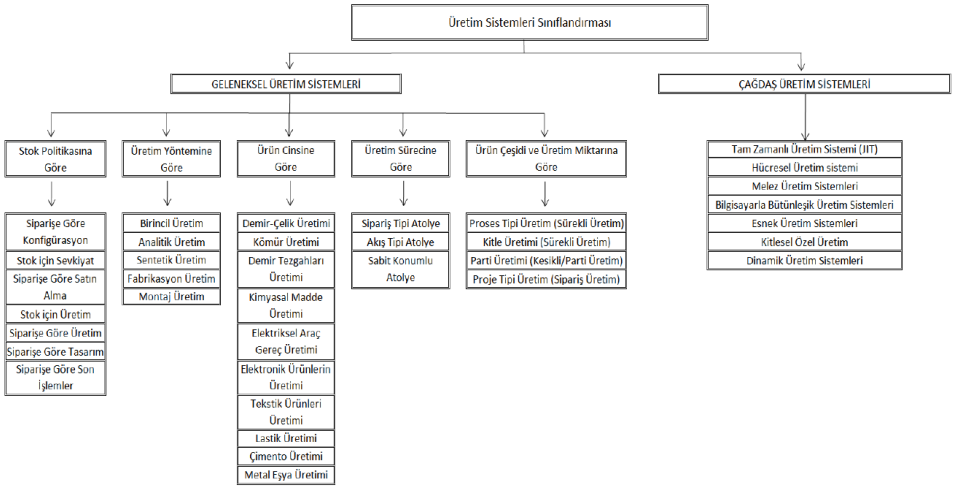
2.2 Montaj Hatlarında Hat Dengeleme

Rekabetin olmadığı bir ortamda, monopol yapı söz konusu olur ve satış fiyatını karlılığını arttıracak şekilde üretici belirler. Ancak artan rekabet ortamında bu durum

söz konusu olamayacağından endüstriyel işletmeler için verimlilik oldukça önem kazanmaktadır. Bu verimliliği de pazar payını kaybetmemek adına kaliteden ödün vermeden ve satış fiyatını rekabetçi seviyede tutarak sağlamak durumundasınız. Bu da belli bir seviyede karlılığı sağlayabilmek adına ancak ürün üzerindeki maliyet iyileştirme çalışmaları ile sağlanabilir. Montaj hatlarında hat dengeleme çalışması da tam bu noktada önem arz etmektedir. Hat dengeleme ile potansiyel iş gücü kayıplarının önüne geçmiş olursunuz, bu sayede de işçilik verimliliğini arttırmış olursunuz. Bununla beraber montaj hatlarında hat dengeleme çalışmaları ile birlikte iş istasyonu bazında optimum çalışan sayısı belirlenerek çalışan sayısında, dolayısıyla direk veya endirek işçilik maliyetlerinde de tasarruf sağlanabilir.

Montaj hatlarının dengelenmesi kavramının üzerinde durmadan önce tabiki üretim ve montaj hattı kavramlarından bahsediyor olmalıyız. Literatürde üretimin bir çok tanımı vardır. Üretim genel hatlarıyla bir işletmenin, maddi veya iş gücü anlamında kaynaklarını kullanarak ihtiyacını karşılayacak şekilde mal veya hizmet oluşturmasıdır. Bir başka ifade ile üretim sonucunda ekonomik değeri olan herhangi bir ürünü ortaya çıkarmış olursunuz (Görgülü, 2019'da atıfta bulunulduğu gibi). En genel tanımıyla toplumun ihtiyaçlarını karşılamak için ürün veya hizmet ortaya çıkarmak amacıyla gerçekleştirilen faaliyetlerin tümüne üretim denir (Görgülü, 2019).

Üretim sistemlerinin tipinin belirlenmesi üretim planlamasının ilk adımıdır. Şekil 2.7' de üretim sistemlerinin sınıflandırılmasını geleneksel üretim sistemleri ve çağdaş üretim sistemleri bazında görebilirsiniz (Görgülü, 2019).



Şekil 2.7: Üretim sistemlerinin sınıflandırılması.

Montaj hattında dengeleme için bir diğer önemli kavram ise adından da anlaşılacağı üzere montaj ve montaj hattıdır. Montaj, ürünü oluşturan iş elemanlarının, komponentlerin kendi içlerindeki öncelik sırasına göre oluşturulan belli düzende bir araya getirilmesi işlemidir. Bu işlemin gerçekleştiği üretim hattına ise montaj hattı denmektedir (Görgülü, 2019'da atıfta bulunulduğu gibi). Montaj hatlarının performansı genellikle üretim sürecinin son aşaması olmaları sebebiyle, üretim sürecinin genel performansı üzerinde oldukça önemli bir etkiye sahiptir (Küçükkoç, 2018).

Montaj hatlarının yönetimindeki öncelikli sorun montaj hattı dengelemesinin yapılmasıdır. Montaj hattı dengelemesinden kasıt, ardışık iş istasyonlarının görevlerinin gruplandırılarak düzenlenmesidir. Daha basit bir ifade ile belli koşullar altında, hattaki atıl veya katma değersiz sürenin en aza indirgenmesi amacıyla işlerin iş istasyonlarına atanması işlemlerinin tümüne montaj hatlarında dengeleme denir (Görgülü, 2019'da atıfta bulunulduğu gibi). Montaj hatlarının kurulumu genellikle uzun süreli bir karar olup büyük yatırımlar gerektirebilir. Bu sebeple montaj hatlarının iyi tasarlanması ve dengelenmesi üretimin verimliliği ve sürdürülebilirliği açısından oldukça önemlidir (Küçükkoç, 2018).

2.2.1 Montaj hatlarının dengelenmesine yönelik temel kavramlar

Montaj hatlarının dengelenmesinde kullanılan bir çok kavram bulunmakla beraber aşağıda özellikle uygulama adımımızda kullandığımız bazı temel kavramlar üzerinde durulmuştur.

2.2.1.1 İş öğesi

İş öğesi genel olarak montaj hatlarında karışıklığa neden olmayacak şekilde iki veya daha fazla operatör arasında paylaştırılması mümkün olmayan en küçük iş birimidir (Görgülü, 2019'da atıfta bulunulduğu gibi). Bir başka ifade ile iş öğeleri montaj hatlarındaki anlamlı ve en küçük, yani daha fazla alt parçaya bölünemeyen parçaların genel adıdır (Görgülü, 2019).

2.2.1.2 İş istasyonu

İş istasyonu, montaj hatlarında belli miktarda, tanımlı temel bir görevin operatörler tarafından gerçekleştirildiği belirli bir konuma verilen isimdir (Mahajan ve Manoria, 2015). Aynı iş istasyonunda tanımlı bir adet iş öğesi olabileceği gibi iki ve ikiden fazla

iş öğesi de olabilir. Bu tamamen ürünün karmaşıklığına ve montaj hattının tasarımına bağlıdır.

2.2.1.3 Çevrim süresi (cycle time)

Çevrim süresinin belli bir işin iş istasyonunda kaldığı zaman veya montaj hattından çıkan iki ardışık ürün arasındaki zaman farkı olduğunu söyleyebiliriz (Mahajan ve Manoria, 2015). Montaj hattının çevrim süresi ilgili hattın en yüksek görev (işlem) süresine (task time) sahip iş istasyonunun görev süresinden düşük olamaz. Diğer bir ifade ile en yüksek görev süresine sahip iş istasyonu, ilgili montaj hattının çevrim süresini belirler. Denklem 2.1'de çevrim süresinin başka bir şekilde ifade edildiği formülünü de görebilirsiniz, denklemde c_t çevrim süresini ifade etmektedir.

$$c_t = (\text{Günlük üretim süresi})/(\text{günlük üretim kapasitesi}) \quad (2.1)$$

2.2.1.4 Toplam iş süresi

Toplam iş süresini üretilmesi amaçlanan ürünün montaj hattı üzerinde tüm montaj işlemlerinin tamamlanması için gerekli olan sürenin toplamı olarak tanımlayabiliriz (Görgülü, 2019). Başka bir ifade ile toplam iş süresini denklem 2.2'de gösterildiği üzere söz konusu işi oluşturan iş öğelerinin her birinin standart sürelerinin toplamı olarakta ifade edebiliriz. Denklemde "N" montaj hattındaki toplam iş öğesi sayısını,"t_i" i. sıradaki iş öğesinin standart işlem süresini ve son olarak "IS" toplam iş süresini ifade etmektedir (Görgülü, 2019'da atıfta bulunulduğu gibi).

$$IS = {}^{N}\Sigma_{i=1} t_i \quad (2.2)$$

2.2.1.5 Denge gecikmesi (balance delay)

Denge gecikmesi, boşta geçen sürenin de dahil edildiği toplam sürenin, iş istasyonlarında geçmesi beklenen optimum süreden daha fazla olmasına neden olan verimsizlik ölçüsüdür (Hakim ve diğ, 2018). Daha basit bir ifade ile denge gecikmesi hattaki ideal sürenin, ilgili işin montaj hattında geçirdiği toplam süreye oranı olarak tanımlanabilir (Mahajan ve Manoria, 2015). Denklem 2.3'de görüldüğü üzere k=iş istasyonu sayısı, c_t=çevrim süresi, STi=İş istasyonlarında geçen toplam süreyi, BD ise denge gecikmesini ifade etmektedir.

$$BD = [k * c_t - (\Sigma^{k}_{i=1} STi)] / (k * c_t) * 100\% \quad (2.3)$$

2.2.1.6 Hat verimliliği (line efficiency)

Montaj hatlarında hat verimliliği iş istasyonu verimliliğinin toplam iş istasyonu sayısına bölünmesi ile elde edilen değerdir (Hakim ve diğ, 2018).

Başka bir ifadeyle Mahajan ve Manoria (2015)'e göre montaj hattında geçen toplam sürenin, toplam iş istasyonu sayısı ile ilgili istasyonun çevrim süresinin çarpımına oranı o hattın verimliliğini verir ve denklem 2.4'te görüldüğü üzere LE hat verimliliğini, STi iş istasyonlarında geçen toplam süreyi, c_t çevrim süresini, k ise toplam iş istasyonu sayısını ifade etmektedir.

$$LE = (\Sigma^{k}_{i=1} STi)/(c_t * k)*100\ \% \quad (2.4)$$

2.2.1.7 Düzgünlük indeksi (smoothness index)

Düzgünlük indeksi belirli bir montaj hattı dengelemesinin göreceli olarak pürüzsüzlüğünü gösteren bir indekstir (Hakim ve diğ, 2018).

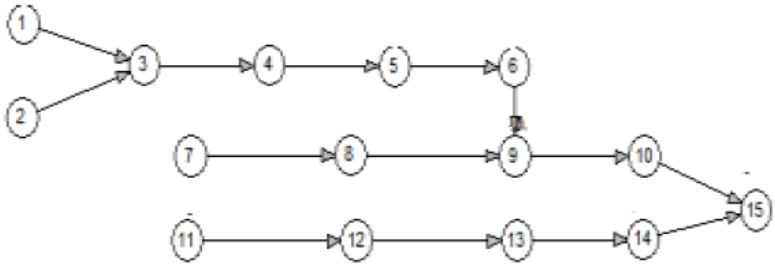
Başka bir ifade ile düzgünlük indeksi farklı iş istasyonları arasındaki yük dağılımını, maksimum zaman alan bir istasyonla karşılaştırılmasını ifade eder (Mahajan ve Manoria, 2015). Bunu biraz daha detaylandıracak olursak, her bir operasyonun maksimum çevrim süresine sahip operasyona göre çevrim süreleri arasındaki farkların karelerinin toplamının karekökü alındığında bu değer düzgünlük indeksini verir ve denklem 2.5'te görüleceği üzere SI düzgünlük indeksini, ST_{max} maksimum çevrim süresine sahip iş istasyonunun çevrim süresini, ST_i ise işleme giren ilgili iş istasyonunun çevrim süresini ifade etmektedir.

$$SI = \sqrt{\Sigma^{k}_{i=1}(ST_{max}-ST_i)^2} \quad (2.5)$$

2.2.1.8 Öncelik diyagramı (precedence diagram)

Öncelik diyagramı düğüm (node) formatında oluşturulan bir diyagram türüdür. Ürünler montaj hattında bu öncelik ilişkisini takip ederek ilerlemelidirler. Öncelik diyagramında, öncelik ilişkisine göre bir faaliyet, kendinden önceki faaliyet tamamlanasıya kadar tamamlanamaz (Mahajan ve Manoria, 2015). Şekil 2.8'de örnek bir öncelik diyagramı paylaşılmıştır. Öncelik diyagramı, üretim sürecinin görevlerini temsil eden düğümlerden ve görevler arasındaki öncelik ilişkilerini ifade eden bir takım oklardan, işaretlerden oluşur (Boysen ve diğ, 2007). Öncelik diyagramlarında daire sembolü ilgili operasyonu, ok işareti işlemin bağlılığını ve sırasını ve son olarak

varsa eğer daire sembolünün üzerinde yazan süre her işlem sürecini tamamlamak için gereken standart süreyi ifade eder (Hakim ve diğ, 2018).



Şekil 2.8: Örnek öncelik diyagramı.

2.2.1.9 Darboğaz (bottleneck)

Darboğaz en basit ifade ile üretim hızında meydana gelen herhangi bir yavaşlama nedeniyle iş/süreç akışında gecikme olarak tanımlanabilir. Bu durumu aşabilmek için hat dengelemeye başvurulabilir (Mahajan ve Manoria, 2015).

2.2.2 Montaj hattı dengeleme problemlerinin sınıflandırılması

Montaj hatlarında dengeleme problemleri ile ilgili ilk çalışmalar 1950'li yıllarda başlamış olup, problemlerin yapısının da günümüz üretim sistemlerinin tasarımıyla da uyumlu olduğu söylenebilir (Gökçen ve Ağpak, 2004).

Montaj hatları dengeleme problemleri literatürde bir çok başlıkta sınıflandırılabilmektedir. En yaygın olan sınıflandırma türleri takip eden alt başlıklarda yer aldığı gibi özetlenmiştir.

2.2.2.1 Amaca göre sınıflandırma

Montaj hatlarında dengeleme (MHD) amaca göre aşağıdaki gibi dört alt başlıkta yer almaktadır (Küçükkoç, 2018). Şimdi sırası ile bunları ele alalım;

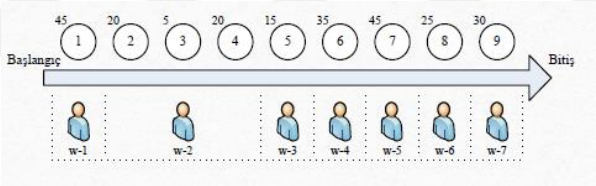
- Tip-1 (MHD-1): Bu sınıflandırma türünün amacı mevcut çevrim süresi için iş istasyonu sayısını minimize etmektir.
- Tip-2 (MHD-2): Bu sınıflandırma türünün amacı mevcut sayıdaki iş istasyonu için, çevrim süresini minimize etmektir.

- Tip-E (MHD-E): Hattin çevrim süresini ve istasyon sayısını beraber minimize etmeye çalıştığınız zaman bu sınıflandırma türündesinizdir. Burada amaç fonksiyonu olarak hat verimliliğinin maksimize edilmesi gösterilebilir.
- Tip-F (MHD-F): Elimizdeki iş istasyonu sayısı ve çevrim süresi kullanılarak optimum çözümün bulunmaya çalışılmasıdır. Diğer amaca göre sınıflandırma türlerine göre hat verimliliğine olan etkisinin daha az olduğu söylenebilir.

2.2.2.2 Hat konfigürasyonuna göre sınıflandırma

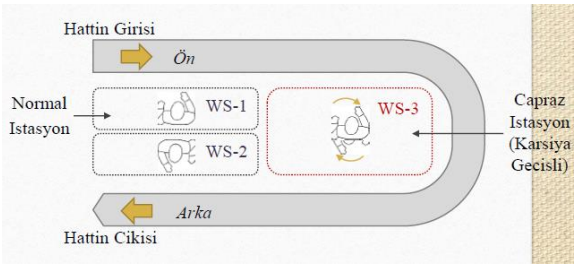
Hat konfigürasyonuna göre sınıflandırmayı dört başlık altında yapabiliriz (Küçükkoç, 2018).

- Düz Montaj Hattı: Düz montaj hattı adından da tahmin edileceği üzere ürünün iletildiği ve komponentlerinin bir araya getirildiği montaj hattının tasarımının düz bir şekilde olması, yani montaj hattına giren ürünle çıkan ürünün, montaj hattının giriş istasyonuna göre aynı hizada olduğu hatlardır. Örnek bir düz montaj hattını Şekil 2.9'da görebilirsiniz (Küçükkoç, 2018).



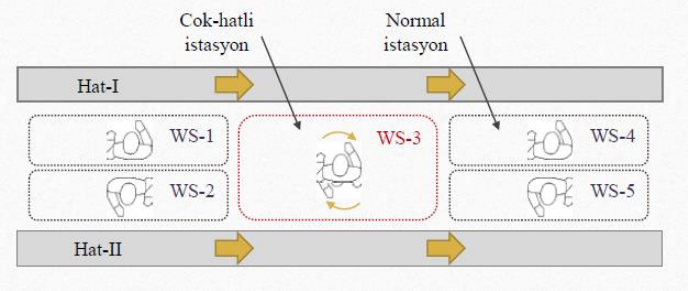
Şekil 2.9: Örnek düz montaj hattı.

- U- Tipi Montaj Hattı: Bu tip montaj hatlarında amaç çapraz istasyon sayesinde hattın verimliliğinin maksimize edilmeye çalışılmasıdır. Bu da boşa geçen süreyi azaltıcı yönde bir aksiyondur. Örnek bir U-tipi montaj hattını Şekil 2.10'da görebilirsiniz (Küçükkoç, 2018).



Şekil 2.10: Örnek U-tipi montaj hattı.

- Paralel Montaj Hattı: Paralel montaj hatlarının önemli avantajları olmakla beraber, bazı dezavantajları da söz konusudur. Avantaj sağladıkları noktalar arasında çok hatlı istasyon sayesinde yüksek hat verimliliği sağlayabilmesi, her bir hattın üzerinde farklı ürünleri üretebilme alternatifinin olması ve hatların farklı çevrim sürelerinin olabilmesi sayılabilir. En önemli dezavantajı ise çözümü açısından diğer hat türlerine göre daha karmaşık problemleri bünyesinde barındırıyor olmaları sayılabilir. Örnek bir paralel montaj hattını Şekil 2.11'de görebilirsiniz (Küçükkoç, 2018).



Şekil 2.11: Örnek paralel montaj hattı.

- Çift Taraflı Montaj Hatları: Çift taraflı montaj hatları özellikle büyük hacimli ürünler için uygun hatlardır. Örnek bir çift taraflı montaj hattını Şekil 2.12'de görebilirsiniz (Küçükkoç, 2018).



Şekil 2.12: Örnek çift taraflı montaj hattı.

2.2.2.3 Ürün çeşidine göre sınıflandırma

Ürün çeşidine göre montaj hatlarını tek modelli montaj hatları, çok modelli montaj hatları ve karışık modelli montaj hatları olmak üzere üçe ayırabiliriz (Görgülü, 2019). Bunlardan kısaca bahsedilecek olursa;

- Tek Modelli Montaj Hatları: Bu montaj hatları adından da anlaşılacağı üzere tek bir model veya ürünün üretildiği hatlar olup kurulumları görece olarak kolay hatlardır. Ayrıca farklı ürünlerin üretimlerinin ilgili hat üzerinde yapılmasını sağlayacak modernizasyonun yapılabilmesi oldukça zordur.
- Çok Modelli Montaj Hatları: Çok modelli montaj hatları, aynı ürünün iki ya da daha fazla benzer tipinin veya farklı ürünlerin, ayrı yığınlar halinde üretilebildiği hatlardır. Modellerin birbirine karıştırılmadığı bu hatlarda bir ürünün üretimi tamamlanmadan bir sonraki ürünün üretimine geçilemez.
- Karışık Modelli Montaj Hatları: Aynı ürünün farklı modellerinin veya iki ya da daha fazla benzer ürünün karışık olarak, aynı anda üretildiği hatlara karışık modelli montaj hatları denir. Bu montaj hatlarının en önemli özelliklerinden biri, belki de en önemlisi tamamlanmış çok sayıda ürün stoğu gerektirmemesidir.

2.2.2.4 İşlem sürelerinin durumuna göre sınıflandırma

Montaj hatlarında dengeleme problemlerini işlem sürelerine göre deterministik olup olmama durumuna göre ikiye ayırırız (Görgülü, 2019).

- Deterministik İşlem Süreli Montaj Hatları: Bu tip montaj hatlarının görev süreleri belli ve değişken değildir. Özellikle yüksek teknoloji içeren endüstrilerde deterministik işlem süreli montaj hatları bulunmaktadır.
- Deterministik Olmayan (Stokastik) İşlem Süreli Montaj Hatları: Bu tip montaj hatlarının işlem sürelerinin ortalama ve standart sapması bilinen bir dağılıma uygun olduğu ve bu olasılık dağılımına göre işlem sürelerinin değişkenlik gösterdiği bilinmektedir. İşlem sürelerindeki değişkenlik çoğunlukla çalışanlardaki motivasyon eksikliğinden, niteliksiz çalışanlardan, çalışanların bilgi beceri eksikliğinden veya ekipman aksaklıklarından kaynaklanmaktadır (Görgülü, 2019'da atıfta bulunulduğu gibi).

2.2.3 Montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümünde kullanılan yöntemler

Montaj hattı dengeleme problemi ilk olarak Bryton tarafından 1954 yılında yüksek lisans tez çalışması kapsamında ele alınarak literatüre kazandırılmıştır (Eryürük ve diğ, 2014'te atıfta bulunulduğu gibi). Montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümünde

kullanılan yöntemleri genel olarak sezgisel yöntemler, analitik yöntemler ve benzetim yöntemleri olmak üzere üç ana başlık altında toplayabiliriz (Görgülü, 2019).

2.2.3.1 Sezgisel yöntemler (heuristics methods)

Sezgisel yöntemlerle problem çözümlerinde bir takım varsayımlar yapılır, belli prosedürler takip edilir, dolayısıyla bu varsayımlar nedeniyle montaj hatlarında dengeleme problemlerinin çözümünde kullanılan sezgisel yöntemlerin optimum bir çözüm vermelerinin herhangi bir garantisi yoktur, bununla birlikte diğer yöntemlere göre daha kısa sürede çözüm veriyor olmaları bu tür yöntemlerin tercih sebebi olmalarında önemli bir etkendir (Görgülü, 2019).

Sezgisel modellerde sıklıkla kullanılan çeşitli hat dengeleme yöntemleri vardır, bunlar arasında Moodie-young yöntemi, Killbridge and wester yöntemi, Hoffmans veya diğer bir adıyla önceliklendirme matrisi, immediate first fit yöntemi ve sıralı pozisyon ağırlığı yöntemleri sayılabilir (Syahputri ve diğ, 2018).

2.2.3.2 Analitik yöntemler

Analitik yöntemler montaj hatlarında dengeleme problemlerinin çözümünde kullanılan matematiksel programlama yöntemleridir. Bu yöntemler amaç ve kısıt denklemlerinden oluşan ve en iyiye ulaşmayı hedefleyen yaklaşımlardır. Analitik yöntemler arasında en yaygın olanları doğrusal tamsayılı programlama, dinamik programlama ve 0-1 tam sayılı programlama olarak gösterilebilir (Görgülü, 2019).

2.2.3.3 Benzetim yöntemleri

Montaj hatları dengeleme problemlerinin çözümünde kullanılan yöntemlerden biri olan benzetim teknikleri literatürde meta-sezgisel yöntemler olarakta geçmektedir. Bilgisayar ortamında modellenen bir sistem üzerinde bazı stratejileri değerlendirebilmek, bunun çıktısı olarakta sistemin davranışını kavrayabilmek amacıyla bir takım deneyler yürütülmesi işlemine benzetim denir (Görgülü, 2019). Bu tanımı biraz daha açacak olursak problemin yapısından bağımsız olarak geliştirilmiş, bununla birlikte probleme uygun şekilde değiştirilerek kullanılabilen algoritmalar bu yöntemin içerisindedir. Meta sezgisel algoritmalar problemin yapısından bağımsız oldukları için başka problemlere de uygulanabilmektedirler. Bazı meta sezgisel yöntemler içerisinde arı algoritmaları, karınca kolonisi algoritmaları, genetik/evrimsel

algoritmalar, tavlama benzetimi tekniği, tabu arama algoritmaları sayılabilir (Küçükkoç, 2018).

2.2.4 Montaj hatlarının dengelenmesine yönelik yapılan çalışmalar

Endüstriyel tesislerde montaj hatlarının dengelenmesine yönelik literatürde bir çok uygulama yer almaktadır. Bu bölümde montaj hatlarının dengelenmesine yönelik bazı örnekler paylaşıyor olacağız.

Tayland'daki büyük ölçekli dondurulmuş bir tavuk üreticisinin verimliliğini arttırmaya yönelik gerçekleştirilen bir çalışmada, Ongkunaruk ve Wongsatit (2014), üretim süreci iş etüdü prensiplerine göre analiz edildi ve darboğaz operasyonlar tanımlandı. Sonuç olarak tavuk hazırlama işlemi için üç method geliştirildi. ECRS analizi uygulanarak hat verimliliğinin %85'ten her üç yöntem ile de %90'ın üzerine çıkarılabileceği, bununla birlikte üretim hattındaki operatör sayısında da 10 ile 14 arasında azalma sağlanabilecek şekilde hat dengelemenin yapılabileceği sonucuna varıldı.

Qattawi ve Madathil (2019), çalışmalarında montaj hattı dengelemesini geliştirerek hesaplama çabasına ve karmaşık, kapsamlı bir hat dengeleme matematik modeline olan ihtiyacı azaltan iki aşamalı (hybrid) yalın üretim ve dengeleme modellerinde uygulanan bir metodoloji sunmuşlardır. Hattın yeniden tasarlanması sonrasında istasyon başına işlem süresinde önemli bir azalma görülmüştür (bununla birlikte dar boğaz olmayan bazı istasyonların işlem sürelerindee artış görülmektedir). Maksimum işlem süresinin 1,76 dakikadan 1 dakikaya düştüğü görülmüştür. Hattın istasyon başına 0,16 ile 1 dakika arasında değişen bir işlem süresinde dengelendiği görülmüştür. Ayrıca yalın üretim ilkeleri ve ALB algoritmasının uygulanmasından sonra istasyonların işlem süresindeki değişkenliğin azaldığı da görülmüştür. Sonuç olarak, montaj hattının yeniden tasarlanması daha fazla kararlılığa ve gelecekte daha az ihtiyaç duyulacak değişikliklere sahip olabilir. Önerilen yaklaşım, kısıtlı yerleşim değişikliklerine izin verilen uygulanabilirliği kanıtladı ve montaj istasyonlarının sayısını 27'den 21'e, toplam işçilerin sayısını ise 27'den 23'e düşürdü.

Sathish ve Lakshmanan (2015), bir otomobil montaj hattında Kilbridge Wester sezgisel yaklaşım yöntemini uygulanarak montaj hat verimliliğinin ölçülmesi ve hat dengelemesi çalışması gerçekleştirdiler. Kilbridge Wester sezgisel yaklaşımı uygulanan montaj hattı U tipi montaj hattı olup başlangıçta 13 iş elemanı, aynı zamanda her iş elemanı bir istasyonda, yani 13 iş istasyonuna ve 13 operatöre sahipti.

Uygulamada sırası ile; iş öğeleri için öncelik diyagramı oluşturuldu, fizıbl işlem süresi seçildi, iş öğeleri temel işlem süresinin toplam işlem süresini geçmemesi amacıyla iş istasyonuna atandı, atanan elemanlar toplam iş elemanı sayısından çıkarıldı, istasyon süresi belirli bir iş elemanının dahil edilmesinden dolayı çevrim süresini aşarsa, bu iş elemanı bir sonraki iş istasyonuna atandı, tüm iş elemanları iş istasyonlarına atanana kadar son üç adım tekrarlandı. Bu adımlar sonucunda montaj hattı dengelemesi operatör sayısı 13'ten 7'ye düşerek, hat verimliliği ise %46'dan %86'ya yükselerek gerçekleştirilmiş oldu.

Deshpande ve Joshi (2007), çalışmalarında bir şanzuman montaj hattının dengelenmesi için uygulanan sezgisel yaklaşımı açıklamışlardır. Hat dengeleme probleminin çözümünde uygulanan sezgisel yaklaşım, sıralı pozisyon ağırlığı methodu olmuştur. Sıralı pozisyon ağırlığı yöntemini kullanarak üretim kapasitesi 40 adetten 70 adede çıkarılmıştır. Ayrıca daha yüksek hat verimliliği değeri (%91,77) ve daha düşük denge gecikmesi (balance delay, %8,22) ve pürüzsüzlük endeksi (smoothness index, 2,47) değeri, hattın pürüzsüz olarak dengelendiğini göstermektedir.

Edokpia ve Owu (2013), çalışmalarında montaj hattı dengelemeyi iki farklı sezgisel teknik kullanarak; sıralı pozisyon ağırlıkları metodu ile en uzun işlem süresi tekniği, uygulamanın verimliliğini mukayese etmişlerdir. Sıralı pozisyon ağırlığı tekniği uygulandığı zaman denge kaybı %20,72, hat verimliliği %79,28, verimli üretim süresi 53,128 dk, iş istasyonu sayısı ise 29 olarak hesaplanmıştır. En uzun işlem süresi tekniği uygulandığında ise, denge kaybı %14,85, hat verimliliği %85,16, verimli üretim süresi 49,18 dk, iş istasyonu sayısı ise 27 olarak hesaplanmıştır. Her iki yöntem ile de mevcut tasarıma göre daha iyi sonuçlar alındığı görülmüştür.

Sriwana ve diğ. (2017), çalışmalarında fırın, fan, ütü, blender gibi ürünlerin üretildiği bir elektronik işletmesinde hat verimliliğini iyileştirmeye yönelik hat dengeleme çalışması gerçekleştirmişlerdir. Moodie young ve genetik algoritma yöntemleri uygulanmış olup, genetik algoritmanın uygulanmasının nedeni karmaşık problemlerin çözümünde sezgisel hat dengeleme yöntemlerine kıyasla en iyi sonucu verebiliyor olmasıdır. Ancak hat verimliliği, denge gecikmesi, düzgünlük indeksi açısından sonuçlar mukayese edildiğinde moodie young yönteminin daha iyi sonuçlar getirdiği görülmektedir. Hat verimliliği %80,96, denge gecikmesi %19,04, düzgünlük indeksi ise %16,27. Ayrıca saatlik üretim kapasitesi de 251 den 300 e yükselmiştir.

Siregar ve diğ. (2017), çalışmalarında araç gövde imalatı yapan bir işletmenin optimum üretim dengeleme ölçeği sonuçlarına dayalı üretim düzeninin iyileştirilmesine yönelik Moodie Young sezgisel hat dengeleme metodu ile Comsoal (computer method for sequencing operations for assembly lines) methodları uygulanmıştır. Tüm sezgisel taramalara Moodie ve Young yöntemi uygulanmış olup, daha sonra sonuçlar değerlendirme kriterlerine göre Comsoal yazılımı kullanılarak karşılaştırılmıştır. Hat dengeleme uygulaması sonunda hat verimliliği %48,74 ten %85,29 a yükselmiş olup, denge gecikmesi %51,27 den %14,72 ye, düzgünlük indeksi ise 2006,85 ten 374,02 ye düşmüştür. İş istasyonu sayısı ise 7 den 4 e düşmüştür.

Avikal ve diğ. (2013), çalışmalarında U tipi bir montaj hattında işçilik verimliliğini arttırmak amacıyla hat dengeleme çalışması yapmışlardır. Sezgisel bir yöntem olan kritik yol metodu (critical path method) (CPM) hat dengelemede uygulanmıştır. Uygulanan method ile iş istasyonu sayısı 5 ten 4 e düşürülmüştür. Bunu çıktısı olarakta işçilik verimliliği %25 lik bir artışla 0,020 den 0,025 e yükselmiştir.

3. UYGULAMA

3.1 Vaka Çalışmasına Giriş

Eskişehir Arçelik Buzdolabı işletmesi 1976 yılında kurulmuş olup, 3500 çalışanı ile faaliyetine devam etmektedir. Buzdolabı işletmesinde üretim; plastik, boyahane, mekanik üretim ve montaj hatları (beş üretim hattı + Fabrika 6) olmak üzere dörde ayrılmaktadır. Uygulamamız ise üretim hattı 4 te yapılmıştır. Üretim hatları ise kendi içinde poliüretan öncesi, poliüretan sonrası ve kapı bölümü olmak üzere 3'e ayrılmaktadır. Uygulamamız poliüretan sonrasını kapsamaktadır. Üretim hattı 4 sıcak sezon ve soğuk sezonda iki vardiya veya bir vardiya çalışma düzenine sahiptir. Uygulamamızın yapıldığı Aralık 2019 da tek vardiya üretim yapılmaktaydı. Uygulamamız 7293220190 numaralı ürüne ait verilerde yapılmış olup bu ürün numarasının karşılığı D70455NP model no-frost çift kapılı buzdolabıdır. Model numarasındaki harf ve sayıların ise anlamları şu şekildedir; en baştaki D harfi ürünün çift kapılı olduğunu (double door) bize söylüyor. Daha sonra gelen 70 sayısı buzdolabının genişliğinin 70 cm olduğunu simgeliyor. 455 sayısı ise buzdolabının iç hacminin 455 litre olduğunu ifade ediyor. N harfi no-frost özelliğini, P ise panel kondenser (kondenserin buzdolabının arkasında değil yan tarafında gömülü olması) olduğu anlamına gelmektedir.

Üretim hattı 4 te D70455NP model buzdolabı için üretim kapasitesi 600 adet/vardiya olup toplam çalışan sayısı ise uygulamamızın yapıldığı poliüretan sonrası için her iş istasyonunda bir çalışan olmak üzere ve toplam 45 iş istasyonu (operasyon) olması nedeniyle 45 operatör/vardiya şeklindedir.

Olay günlüğümüzde yer alan iş istasyonlarının tanımları Çizelge 3.1 de paylaşıldığı gibidir.

Çizelge 3.1 : Operasyon tanımları.

Operasyon Numarası	Operasyon Tanımı
750	BUZDOLABI YUKLEME
770	ARKA AYAK SIKMA

Çizelge 3.1 (devam) : Operasyon tanımları.

Operasyon Numarası	Operasyon Tanımı
790	KABLO GRUPLAMA-1
830	NUMARATÖR
860	MAVI ISIK / DRYER TAKMA
890	SEBZELIK KOYMA
950	AKSESUAR KOYMA
1010	FINLI EVA TAKMA
1080	ANAKART GRUPLAMA
1130	FAN TAKMA
1150	KABLO GRUPLAMA-2
1170	KABLO GRUPLAMA-3
1190	BORU GRUPLAMA-1
1210	BORU GRUPLAMA-2
1250	KAYNAK 1
1270	KAYNAK 2
1290	KAYNAK 3
1340	VALF TAKMA
1360	GÖVDE RAFI TAKMA 1
1390	GÖVDE RAFI TAKMA 2
1590	GAZ SARJ
1650	FRZ EVA SOKET TAKMA
1680	FINLI EVA KACAK KONTROL
1760	FRZ EVA KAPAK TAKMA
1790	FRZ CAM RAF TAKMA
1820	BUZMATIK KIZAK TAKMA 1
1850	BUZMATIK KIZAK TAKMA 2
1870	ABGKK
1890	YBGKK
1960	KAPI TAKMA 1
1980	KAPI TAKMA 2
2040	KAPI SAPI TAKMA 1
2080	KAPI HAZIRLIK 1
2120	KAPI HAZIRLIK 2
2150	CONTA KONTROL
2170	CONTA TAMIR
2190	KAPI HAZIRLIK 3
2240	KAPI SAPI TAKMA 2
2250	ETIKET YAPISTIRMA 1
2260	ETIKET YAPISTIRMA 2
2280	LOGO YAPISTIRMA
2320	GÖVDE SILME
2360	GÖRÜNÜS KONTROL
2400	BUHAR KABI TAKMA
2410	KAPI BANTLAMA

3.2 Süreç Madenciliği Uygulaması

Bu aşamada süreç madenciliğinin üç tekniğini uygulayacağız, süreç keşfi ile başlayıp, keşfedilen süreç modelinin uygunluk kontrolünün yapılması ile devam edeceğiz. Daha sonra süreç iyileştirme için geliştirme aşamasını uygulayacağız.

Proses madenciliği türlerinin ele alınmasında ücretsiz, erişime açık bir kaynak olan ProM 6.9 JRE8 kullanılmıştır. Uygulamaya serverdan alınan dosyayı CSV dosya formatına dönüştürerek başlıyoruz. Ancak bundan önce serverdan alınan ve sekiz sütundan oluşan ve toplam 93.198 olay içeren ham verimizde aşağıdaki adımlar sırasıyla gerçekleştirilmiştir.

Öncelikli olarak deneme üretimlerine ait ve gerçekleşen olay sayısı düşük olan ürün numaralarına ait veriler olay günlüğümüzden çıkarıldı. Sonrasında en yüksek sayıda olaya sahip 7293220190 numaralı ürünümüz ile 7293223200 numaralı ürünler arasında üretim hattı 4 te daha yüksek üretim hacmine sahip olan 7293220190 numaralı ürün ile ilgili verilerin analiz edilmesine karar verildi. İş istasyonlarına ait olan ve 12 basamaklı sayılardan oluşan ürün seri numaralarının ise tamamının son dört basamağı 1201 olduğu için ürün seri numaraları son dört rakamdan kurtularak sekiz basamaklı hale getirilerek sadeleştirildiler ve istasyona geliş zamanlarına göre önceliklendirilerek vaka, iz (case, trace) numaraları verildi, bu sayede ürün seri numaralarını da filtrelerken, sıralarken işlem kolaylığı sağlanmış oldu. Ancak oluşturulacak olan süreç modelinde sekiz basamaklı sayılardan oluşan ürün seri numaraları kullanılacaktır. Ürünlere ait olan bu seri numaraları aslında o ürünün numarası anlamına gelmekte olup, ilgili vaka boyunca hangi iş istasyonlarından buzdolabı paletinin geçtiğini, hangi sıralama ile hangi işlemleri gördüğünü bize söylüyor olacak.

Sonraki aşamada istasyon çıkış zamanları, ki süreç modelimizi oluştururken istasyon çıkış zamanları esas alınacaktır, yükleme süresi, iki farklı işlem süresinden yüksek olan ve bekleme sürelerinin toplamının %10'u istasyona geliş zamanına eklenerek hesaplanmıştır. Yükleme süresi, işlem sürelerinden yüksek olan ve bekleme sürelerinin toplamının %10 unun alınmasının nedeni veriyi saniyeye çevirmekti. Burada çay, yemek molaları ve planlı duruşlar gibi sebeplerle kontrollü olarak durdurulan olaylara ait verileri de tespit edip nihai verimizden çıkarmak adına 5 dk nın üzerinde olan işlem süresine ait olaylar da verilerimizden çıkarılmıştır. Tüm bu

işlemlerden sonra olay sayımız 93.198 den 16.490 a gelmişti. Ancak 16.490 adet olaya sahip olay günlüğümüz ile oluşturduğumuz modelimizde beklemeli çevrim zamanlarının (sojourn time) oldukça yüksek olması darboğaz istasyonların belirlenmesinde bizi yanlış yönlendirebileceği için gün sonundaki olaylara ait olan veriler vaka bazında tek tek incelenerek, örneğin 16 Aralıkta başlayıp 17 Aralıkta biten vakalar varsa bunlar 16 Aralıkta bitecek şekilde, 17 Aralık tarihine ait olan olayları 16 Aralıktaki son olaydan hemen sonra devam edecek şekilde öne çekilmiştir. Benzer işlem 17 Aralık tarihinde başlayıp 18 Aralık'a sarkan vakalar için de yapılmıştır.

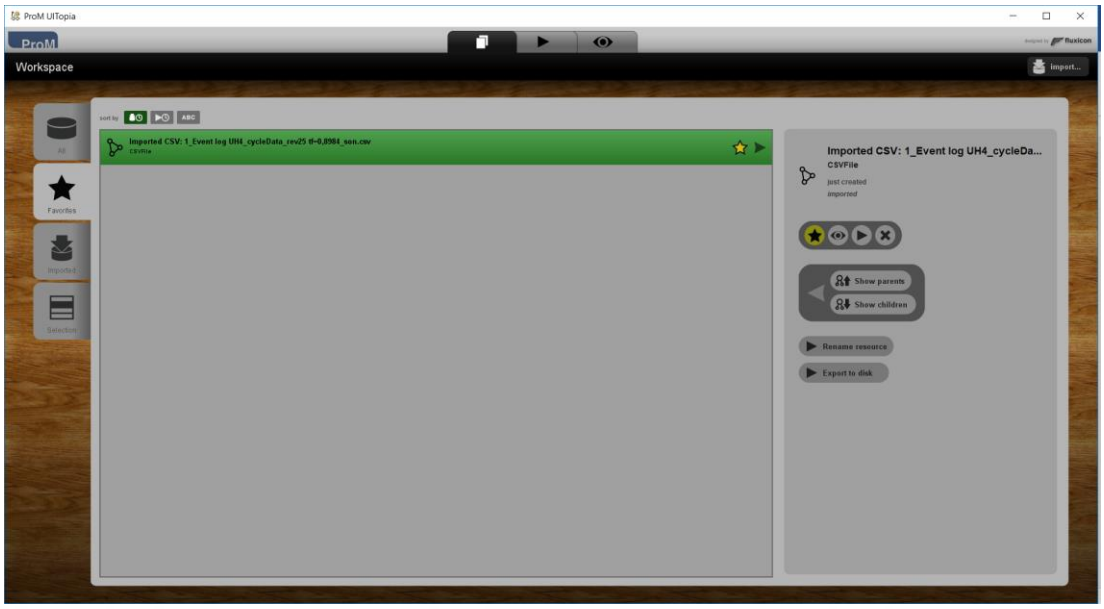
Sonrasında iş istasyonları bazında aynı vaka içerisinde tekrar eden aynı iş istasyonuna ait mükerrer olaylar süreç akışını bozduğundan olay günlüğümüzden çıkarıldı. Son durumda toplam olay sayısı dört ve altında olan toplam yedi vaka daha olay günlüğümüzden çıkarılarak toplam olay sayımız 16.490 dan 14.665'e gelmiş olup süreç modelimizi oluşturacağımız nihai olay günlüğümüze ulaşılmıştır. 14.665 olay sayısından oluşan olay günlüğümüz toplam 155 sayfa olmakla birlikte, bir kısmı Ekler bölümünde Ek A'da verilmiştir.

3.2.1 Süreç keşfi uygulaması

Genel hatlarıyla süreç keşfi ile olay günlüğü kullanılarak iş süreci modelinin keşfinin yapılması amaçlanmaktadır. Uygulamamızdaki süreç keşfi dört farklı süreç madenciliği algoritmasını içerecek şekilde, çeşitli eklentiler kullanılarak ProM 6.9 da yapılmıştır.

İlk aşamada ProM çalışma sayfasından kullanacağımız CSV formatındaki olay günlüğü dosyasını ProM a yüklememiz gerekiyor. Daha sonra yine ProM çalışma sayfasında Şekil 3.1 de görüldüğü üzere kaynak kullan sekmesi ile seçtiğimiz CSV dosyasını aksiyon sayfasına taşımış oluyoruz.

Daha sonra aksiyon sayfasında giriş tarafındaki CSV dosyası CSV yi XES ye dönüştür komutu ile Şekil 3.2 de görüldüğü üzere çıkış tarafında XES (extensible event stream) formatına dönüştürülür.



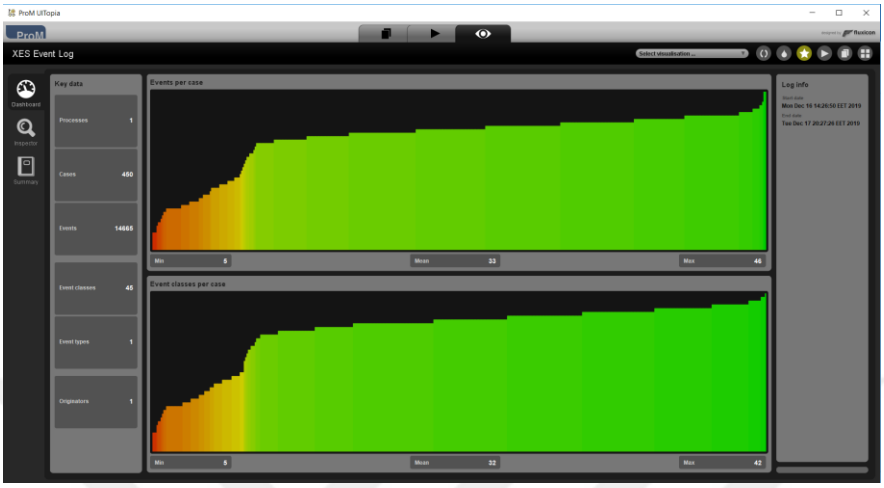
Şekil 3.1 : ProM da CSV formatındaki olay günlüğü dosyasının çalışma sayfasından aksiyon sayfasına aktarılmasının ekran görüntüsü.



Şekil 3.2 : ProM da eklenti seçiminin ekran görüntüsü.

Şekil 3.3 te XES dönüştürücü aracının çıktısında olay günlüğü ile alakalı genel bilgiler görülmektedir. Bu çıktı ışığında 16 ve 17 Aralık 2019 tarihlerine ait olay günlüğümüzde 450 vaka ve 14.665 olay olduğu söylenebilir. Olay sınıf sayısının (operasyon) ise 45 olduğu görülmektedir. Üstteki grafik vaka başına minimum (5), ortalama (33) ve maksimum (46) olay sayısını göstermektedir. Sütun barların genişliği, söz konusu vaka için grafikteki değere karşılık gelen sayıda olayın meydana gelme sıklığına (histogram) karşılık gelir. Alttaki grafikte ise vaka başına minimum (5), ortalama (32) ve maksimum (42) olay sınıfı sayısını, vaka başına etkinliklerini ve

bir vakadaki oluşum sıklıklarını gösterir. Özetle bir vaka için en fazla 46 olay, 42 olay sınıfı (operasyon) olabilir. 46 olayın ve 42 aktivitenin meydana gelme sıklığı, yukarıda ve aşağıda yer alan grafiklerdeki ilgili çubukların genişliğinden anlaşılabilir. Vakaların çoğunun 33 olay ve 32 etkinlik içerdiği söylenebilir.



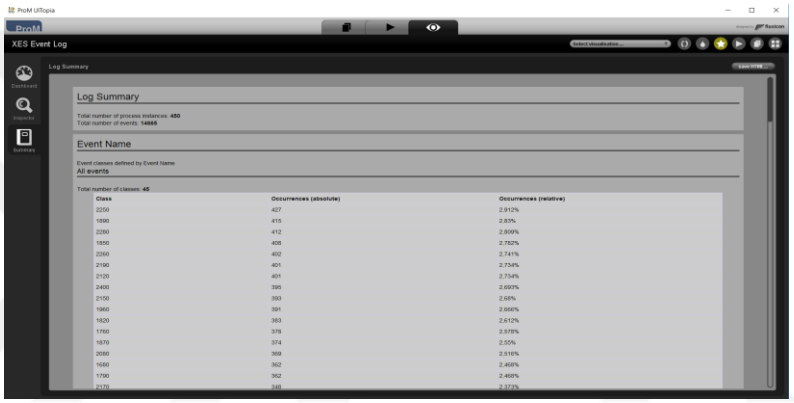
Şekil 3.3 : ProM da XES olay günlüğü dönüştürücü eklentisinin çıktısı olan gösterge tablosunun ekran görüntüsü.

Şekil 3.3 ün sol tarafında görüldüğü üzere gösterge panosundan başka denetçi ve özet olmak üzere iki farklı sekme daha vardır. Denetçi ekranında olay günlüğündeki her vaka için ayrıntılı bilgiler gösterilmektedir. Bu bilgiler içerisinde ilgili vaka için toplam olay sayısı ve bu olayların hangi sıralama ile, hangi iş istasyonunda, ne zaman gerçekleştikleri bilgileri yer almaktadır. Şekil 3.4 ten ayrıca ilgili vaka için hangi olayların yüksek sıklıkla (yeşil renk ile), hangilerinin düşük sıklıkla (kırmızı renk) gerçekleştikleri de yorumlanabilir.



Şekil 3.4 : ProM da XES olay günlüğü dönüştürücü eklentisinin çıktısı olan denetçi sekmesinin ekran görüntüsü.

Son sekme olan özet sekmesinde ise raporun bir kısmı paylaşılan Şekil 3.5 te görüldüğü üzere 45 farklı olay sınıfı (aktivite, operasyon, iş istasyonu) için, iş istasyonu bazında başlangıç etkinlikleri, bitiş etkinlikleri, gerçekleşme sayıları ve oranları listelenir. Başlangıç olayları ve bitiş olayları sırasıyla vakaların ilk ve son görevlerinin hangi iş istasyonunda gerçekleştiğini gösterir. Burada olay isimlerine göre tanımlanan olay sınıfları içerisinde en çok 2250 numaralı iş istasyonu (etiket yapıştırma 1) 427 kez (%2,912) ile gerçekleşmiştir. Başlangıç olayı olarak ise en çok 750 numaralı iş istasyonu (buzdolabı yükleme) 325 kez (%72,222) ile gerçekleşmiştir. Son olarak bitiş olayları olarak ise en çok 2400 numaralı iş istasyonu (buhar kabı takma) 215 kez (%47,778) ile gerçekleşmiştir.



Şekil 3.5 : ProM da olay günlüğü özetinden bir kesit.

Şekilde 3.6 da olay günlüğü çıktısının noktalı grafiği gösterilmiştir. Noktalı grafikte "X" ekseni zamanı, "Y" ekseni ise 450 farklı vakayı (ürün seri numarasını) temsil etmektedir. Noktalar ise 14.665 farklı olayı temsil etmekte olup; hangi olayın, ne zaman gerçekleştiğini bize göstermektedir. Noktalı grafiğin gösteriminde vakalar, ilk gerçekleşme sıralarına göre filtrelenmiştir.

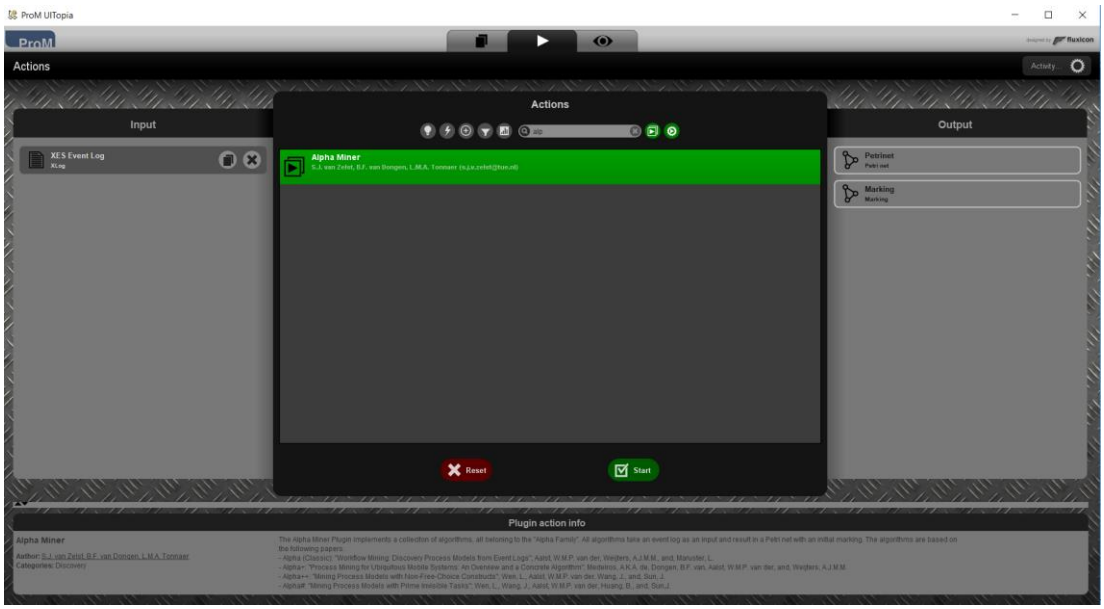


Şekil 3.6 : ProM da XES olay günlüğü dönüştürücü eklentisinin çıktısı olan noktalı grafiğin ekran görüntüsü.

Bu nokta itibariyle olay günlüğümüzün analizi tamamlanmış olup, süreç keşfi algoritmaları uygulanmaya başlayabilir. Toplam 14.665 olayı içeren 450 vaka ve 45 aktiviteden oluşan olay günlüğümüz dört farklı süreç keşif algoritmasına uygulanacaktır, bunlar sırası ile; alfa algoritması, sezgisel algoritma, tümevarımsal algoritma ve bulanık algoritma.

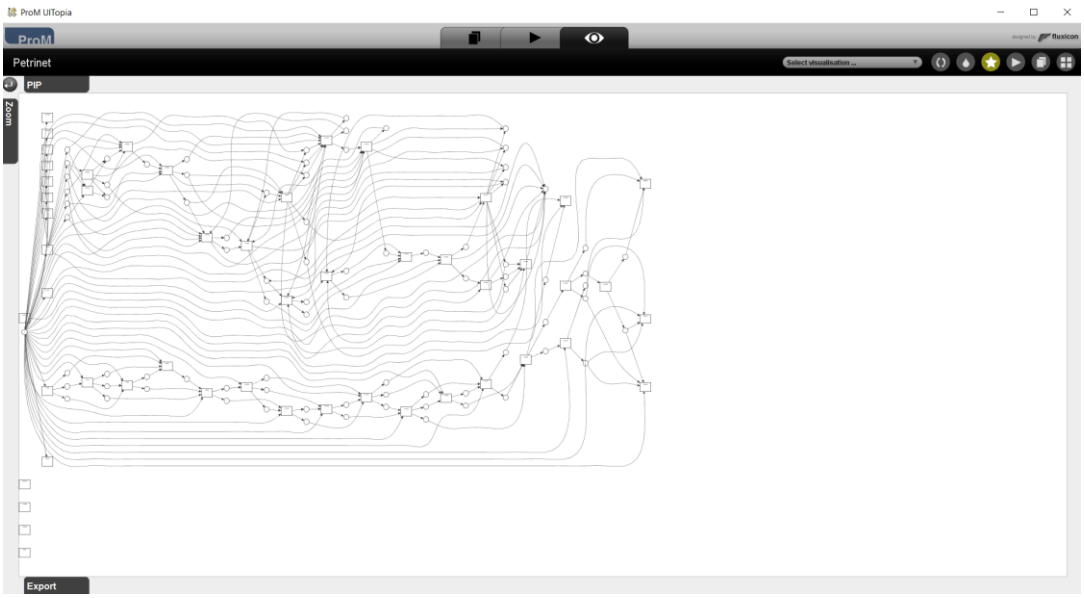
3.2.1.1 Alfa madencilik algoritması (alpha miner)

Şekil 3.7 de olay günlüğümüzün alfa madencilik algoritması kullanılarak petri ağına dönüştürüleceği aksiyon sayfasındaki ekran görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 3.7 : ProM da olay günlüğünün alfa algoritması ile petri ağına dönüştürüleceği aksiyon sayfasının ekran görüntüsü.

Şekil 3.8 de ise ProM da olay günlüğümüzün alfa madencilik algoritması kullanılarak oluşturulmuş petri ağını görebilirsiniz. Alfa algoritması ile oluşturulmuş petri ağının spaghetti diyagramına benzediği ilk bakışta rahatlıkla görülebilmektedir. Bu da alfa madencilik algoritması sonucu oluşturulan petri ağının ne kadar karmaşık olabileceğini göstermektedir. Modelimizde ayrıca 950, 1010, 1290, ve 1850 numaralı aktivitelerin (iş istasyonlarının) herhangi bir aktivite ile bağlantısının olmadığı da görülmektedir.



Şekil 3.8 : ProM da alfa algoritması sonucu oluşturulmuş petri ağı.

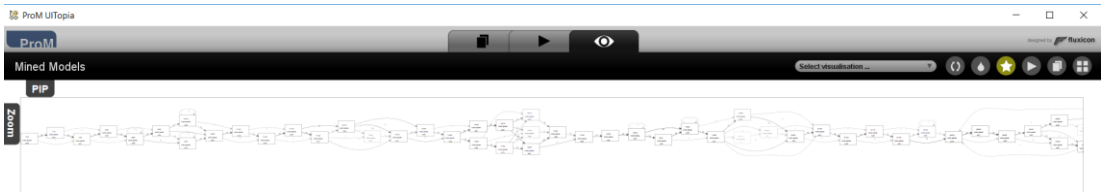
3.2.1.2 Sezgisel madencilik algoritması (heuristic miner)

Şekil 3.9 da sezgisel madencilik algoritması kullanılarak olay günlüğümüzün sezgisel ağa dönüştürüleceği aksiyon sayfasını görebilirsiniz.



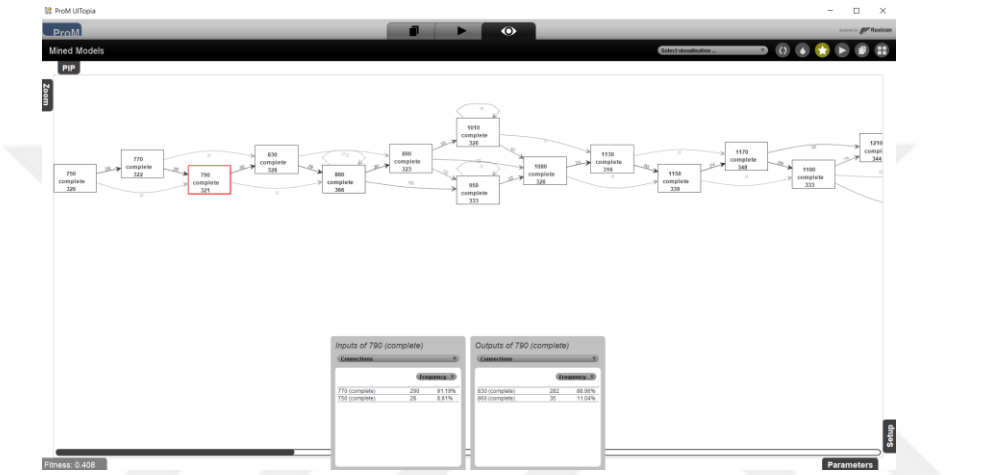
Şekil 3.9 : ProM da olay günlüğünün sezgisel algoritma ile sezgisel ağa dönüştürüleceği aksiyon sayfasının ekran görüntüsü.

Şekil 3.10 da sezgisel madencilik algoritması kullanılarak olay günlüğümüzden oluşturulan sezgisel ağ modeli görülmektedir.



Şekil 3.10 : ProM da sezgisel algoritma sonucu oluşturulmuş sezgisel ağ.

ProM da oluşturulmuş sezgisel ağda ilgili aktivite üzerine gelindiğinde girdi ve çıktı aktiviteleri, gerçekleşme sayıları ve oranları ile görülebilmektedirler. Bununla ilgili ekran görüntüsü Şekil 3.11 de görüldüğü gibidir.

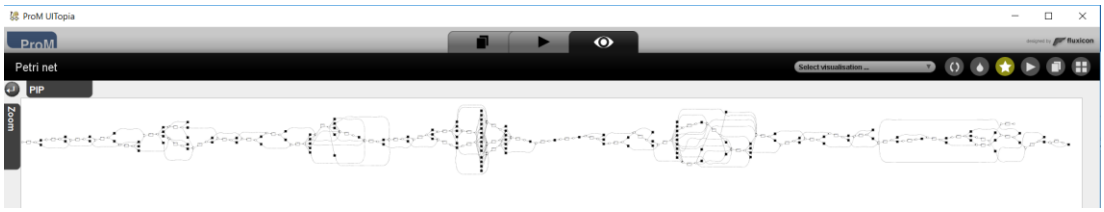


Şekil 3.11 : Sezgisel ağ uygulama sayfası.

Şekil 3.12 de sezgisel ağın petri ağına dönüştürüldüğü aksiyon sayfasının ekran görüntüsü görülmektedir. Ayrıca Şekil 3.13 te de sezgisel madencilik algoritması ile oluşturulmuş petri ağı modeli görülmektedir. Petri ağı gösteriminde düğümler arası geçiş sayılarının çokluğundan dolayı gerçek anlamda ne olduğunun bir bakışta görülebilmesinin zorluğundan söz edilebilir. Bu da modeli karmaşıklaştıran bir durumdur.



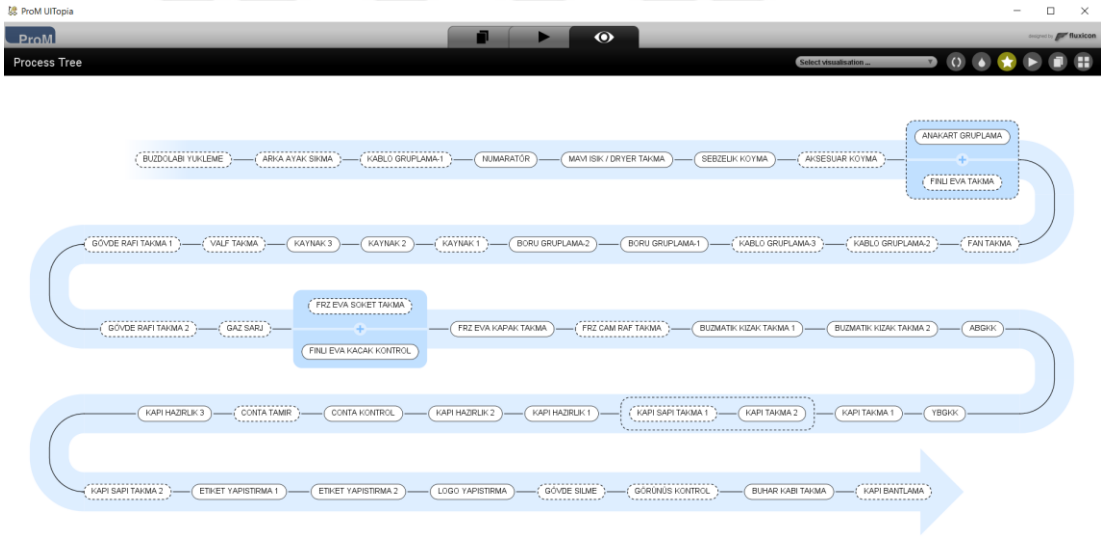
Şekil 3.12 : ProM da sezgisel ağın petri ağına dönüştürüldüğü aksiyon sayfası.



Şekil 3.13 : ProM da sezgisel algoritma sonucu oluşturulmuş petri ağı.

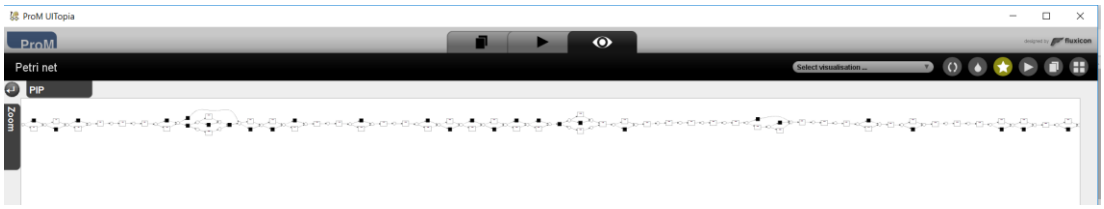
3.2.1.3 Tümevarımsal madencilik algoritması (inductive miner)

Şekil 3.14 te tümevarım madencilik algoritması kullanılarak oluşturulmuş süreç ağacı modelini görebilirsiniz. Süreç ağacı modelinde süreç model kontrol listesinden bağımsız, iş elemanlarının (buzdolabı paletlerinin) iş istasyonları arasındaki akış sıralaması açıkça görülebilmektedir. Ayrıca Şekil 3.15 te tümevarım madencilik algoritması kullanılarak oluşturulmuş petri ağı modeli görülmektedir. Uygunluk kontrolü adımında petri ağı ile olan süreç modeli üzerinden uygunluk analizi gerçekleştirilecektir.



Şekil 3.14 : ProM da tümevarımsal algoritma sonucu oluşturulmuş süreç ağacı modeli.

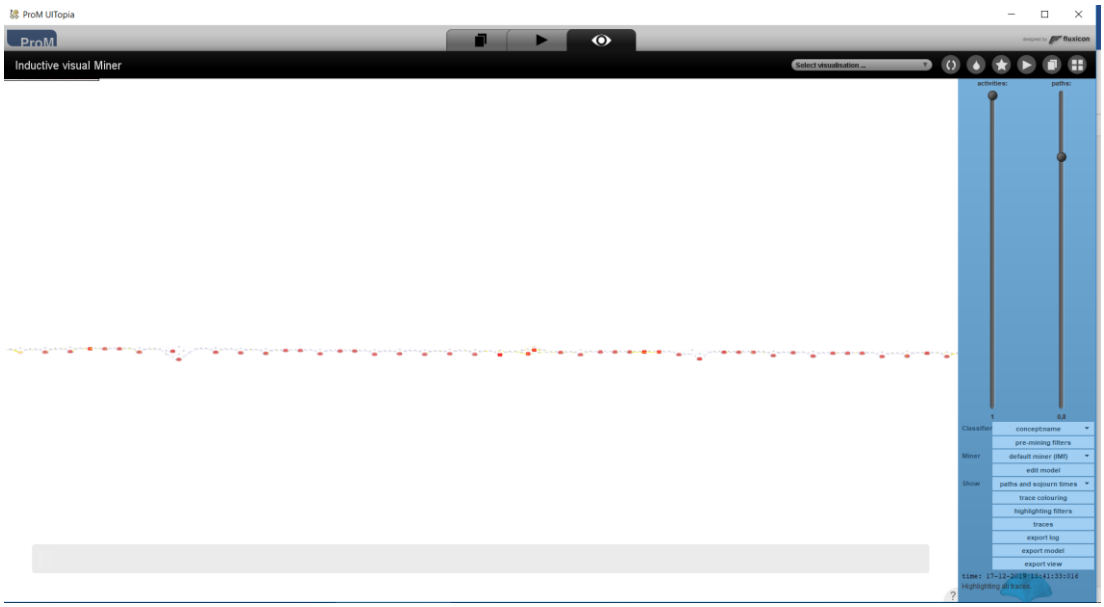
Süreç ağacında anakart gruplama ile finli eva takmanın ve frz eva soket takma ile finli eva kaçak kontrol operasyonlarının çift taraflı operasyon olduğu görülebilmektedir. Uygulaması yapılan üretim hattının hat konfigürasyonuna göre U tipi montaj hattı olduğu görülebilmektedir.



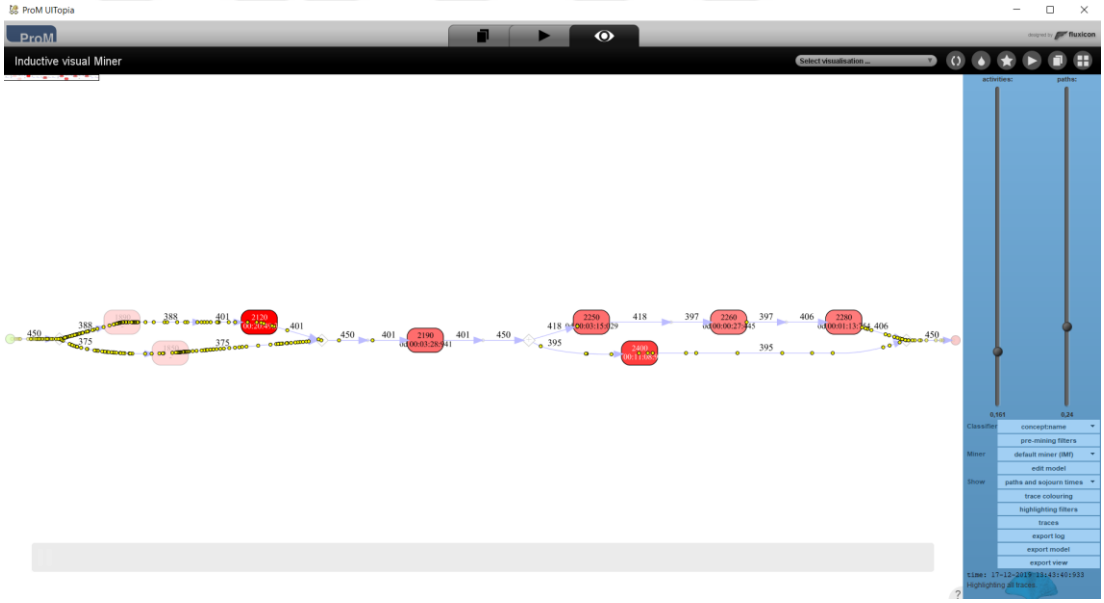
Şekil 3.15 : ProM da tümevarımsal algoritma sonucu oluşturulmuş petri ağı modeli.

Tümevarımsal algoritma ile süreç modelimizin bir üçüncü gösterim şekli ise görsel madencilik (inductive visual miner) ile oluşturulan gösterim şeklidir. Şekil 3.16 da tüm aktivitelerin 0,8 oranında filtrelenerek oluşturulmuş yol sayısı ile gösteriminin yapıldığı görsel madencilik sonucu oluşturulmuş süreç modeli görülmekte olup, Şekil 3.17 de aktivitelerin 0,16 oranında filtrelenmiş hali ile 0,24 oranında filtrelenmiş yol sayısı ile oluşturulmuş süreç modeli görülmektedir. Çalışmamızda gerek tüm aktiviteleri içermesi, gerekse ProM tarafından varsayılan ayarlar olması nedeniyle Şekil 3.16 daki gösterimi yapılan süreç modelini kullanacağız. Oluşturulan süreç modelinin ayrıntılı gösterimi Ekler bölümünde Ek B de verilmiştir. Süreç modelimizde kırmızı renk ile çerçevelenmiş dikdörtgenler aktiviteleri (iş istasyonlarını) temsil etmektedir. Dikdörtgenlerin içinde yazan süreler ilgili iş istasyonundaki ortalama işlemde kalma sürelerini ifade eder ve bir istasyona giren oklardaki sayılar, olay günlüğünde o etkinliğin gerçekleşme sayısını ifade eder. Görevimiz olay günlüğünde tamamlanma süresine sahip olmak olduğu için, işlemde kalma süresi, iki görev arasındaki bekleme süresi ile ikinci görevin işlem sürelerinin toplamı anlamına gelir.

Bu dikdörtgenlerdeki kırmızı renk yoğunluğu işlemde kalma sürelerinin uzunluğunu ifade eder, yani kırmızı renkler ne kadar koyu olursa, ilgili aktivite için ortalama işlemde kalma süresinin de o kadar uzun olduğu anlamına gelir. Tüm süreç modelimiz incelendiğinde en koyu renkli aktivitelerin ısrası ile 1890 (ybgkk-yüksek basınç gaz kaçak kontrol), 1650 (frz eva soket takma), 1590 (gaz şarj), 1680 (finli eva kaçak kontrol), 1960 (kapı takma 1) ve 830 (numaratör) numaralı iş istasyonları olduğu görülmektedir. Bu altı iş istasyonu darboğaz olarak karşımıza çıkmaktadır. Geliştirme aşamasında performans/uygunluk analizinde darboğaz iş istasyonlarına ayrıntılı bir şekilde değinilecek ve verilerin analizi yapılacaktır.



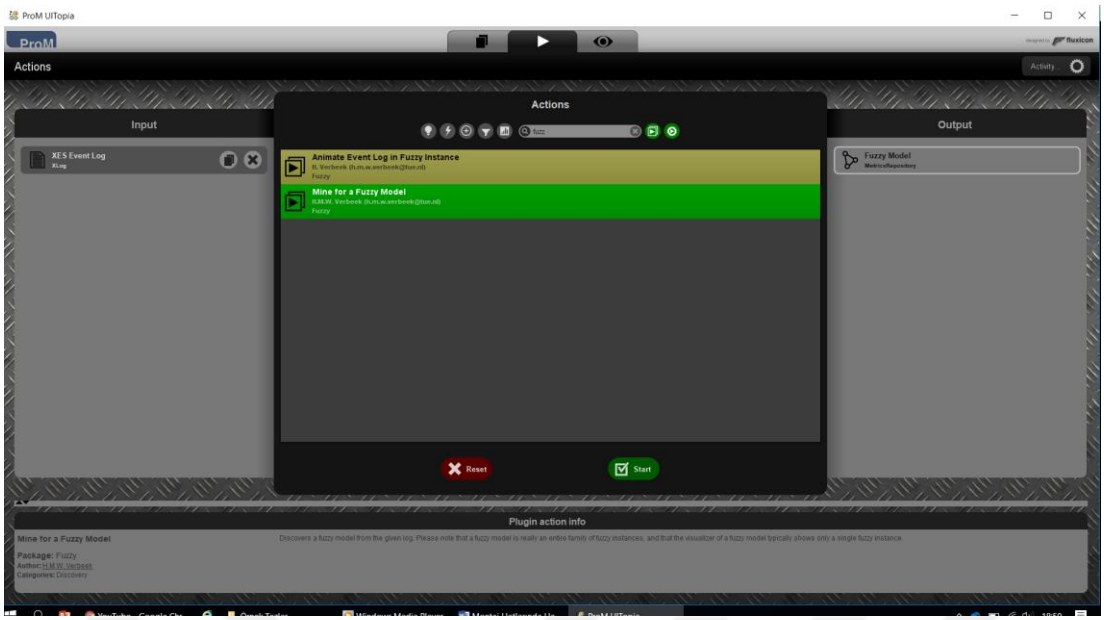
Şekil 3.16 : ProM da tümevarımsal görsel algoritma sonucu oluşturulmuş süreç modeli.



Şekil 3.17 : ProM da tümevarımsal görsel algoritma sonucu aktivite ve yol sayısı azaltılarak oluşturulmuş süreç modeli.

3.2.1.4 Bulanık madencilik algoritması (fuzzy miner)

Şekil 3.18 de bulanık algoritma madencilik aracı ile olay günlüğümüzün süreç modelini oluşturacağımız aksiyon sayfasının ekran görüntüsünü görebilirsiniz. Bu adımın takip eden diğer adımlarda varsayılan ayarlar kullanılmıştır.



Şekil 3.18 : ProM da olay günlüğüne bulanık algoritma madencilik aracının uygulandığı aksiyon sayfasının ekran görüntüsü.

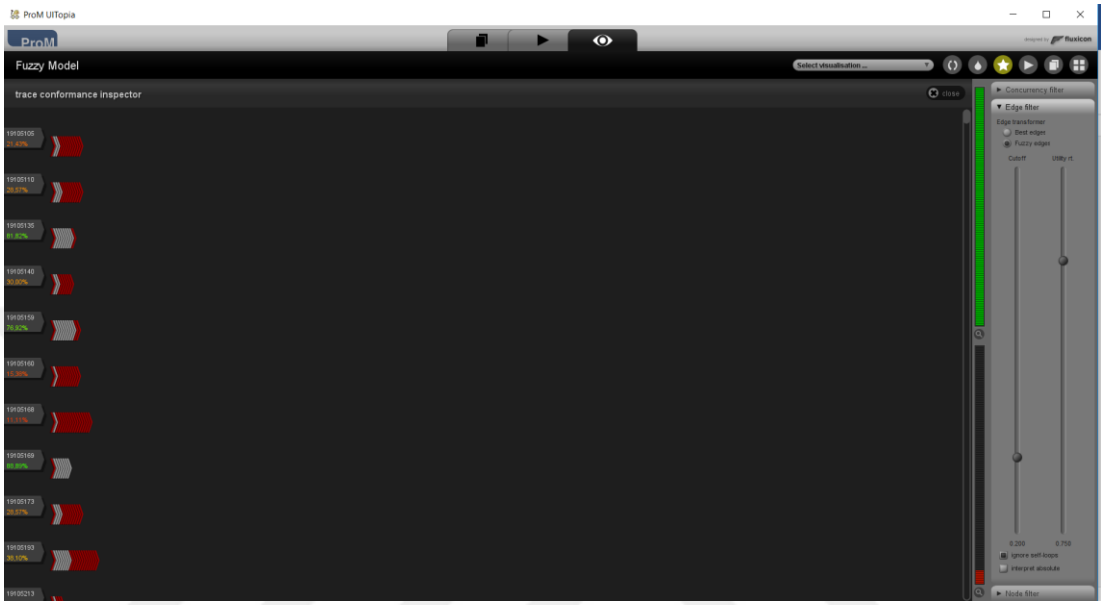
Şekil 3.19 da ise bulanık algoritma ile oluşturulmuş süreç modeli görülmektedir. Burada filtrleme seçeneklerinde varsayılan ayarlar kullanılmıştır.



Şekil 3.19 : ProM da bulanık algoritma ile oluşturulmuş süreç modeli.

Varsayılan ayarlar kullanılarak bulanık algoritma ile oluşturulan bu süreç modelinde iz, vaka uyum kontrol sayfasına bakıldığında geçersiz geçiş oranının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu da geçerli geçiş oranının düşük olduğu anlamına gelmektedir ki Şekil 3.20 de de görüleceği üzere beyaz oklar ilgili vaka için hangi iş istasyonunda geçerli geçiş olduğunu, kırmızı oklar ise hangi iş istasyonunda geçersiz

geçişler olduğunu; beyaz ve kırmızı okların yanlarında yazan oranlar ise geçerli geçiş oranlarını göstermektedir. Şekil 3.21 de ise bu model kullanılarak oluşturulmuş animasyon ekranından bir kesit görülmektedir. Animasyon ekranının sol üst köşesinde yukarıdan aşağıya sırası ile aktivite oranı, ilgili aktivitelerin tamamlanma oranı ve vakaların ilerleyişi görülmektedir.



Şekil 3.20 : ProM da bulanık algoritma ile oluşturulmuş süreç modelinin vaka uyum kontrol sayfasından bir kesit.

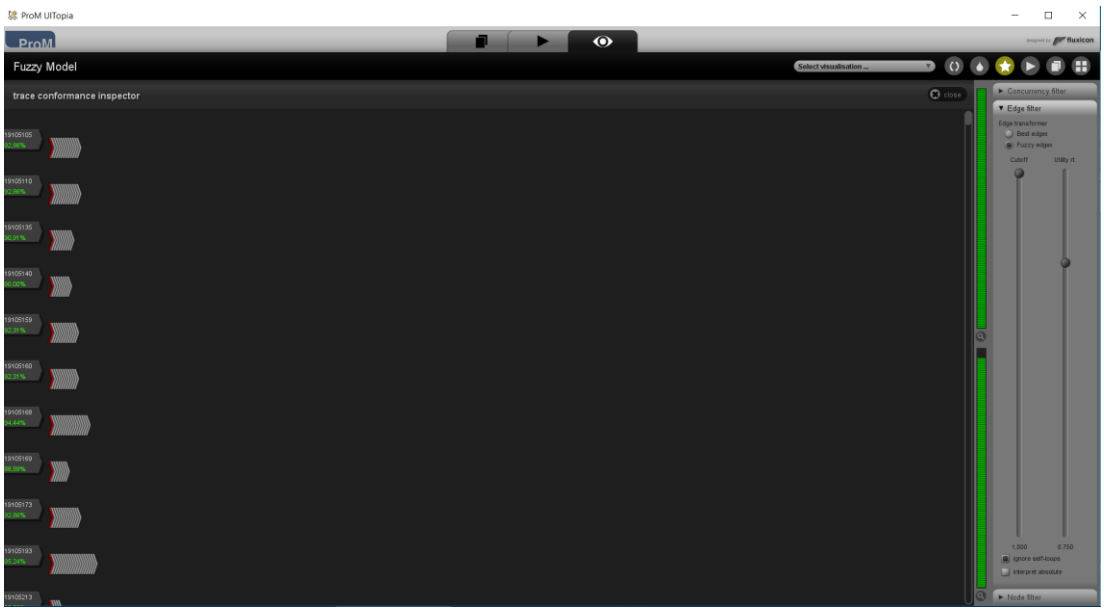


Şekil 3.21 : ProM da bulanık algoritma ile oluşturulmuş süreç modelinin animasyonu.

Tüm olası yolların gösterilebilmesi adına sınır üstü filtreleme (edge filter) seçeneğinden yararlanarak Şekil 3.22 deki süreç modeli elde edilebilir. Sınır üstü filtreleme seçeneğinde koparma (cutoff) filtreleme oranı 1.0 a getirilmiştir ki bu sayede tüm olası yollar modelimizde gözükmektedir. Bu model için oluşturulan vaka uyum kontrol sayfasından bir kesit ise Şekil 3.23 te görülmektedir. Burada geçerli geçiş oranlarının Şekil 3.20 deki gösterime göre yüksekliği dikkat çekmektedir.

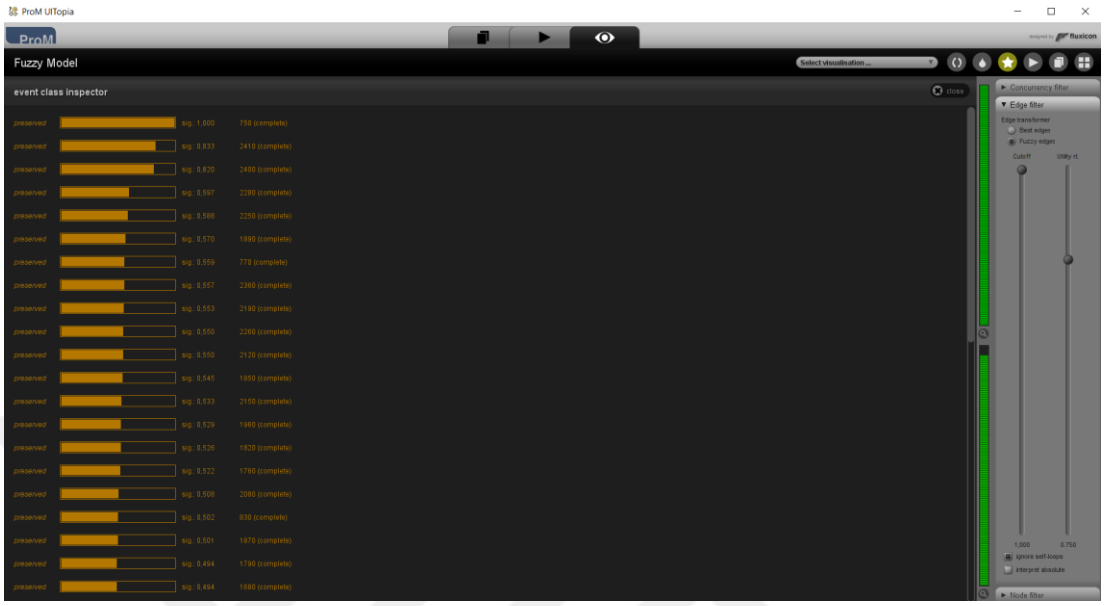


Şekil 3.22 : ProM da bulanık algoritma ile sınır üstü filtresi kullanılarak oluşturulmuş süreç modeli.



Şekil 3.23 : ProM da bulanık algoritma ile sınır üstü filtresi kullanılarak oluşturulmuş süreç modelinin vaka uyum kontrol sayfasından bir kesit.

Son olarak bulanık algoritma ile oluşturulmuş süreç modelinin olay sınıf kontrol sayfasından bir kesit Şekil 3.24 te gösterildiği gibidir. Burada tüm olay sınıfları (iş istasyonları) için önem dereceleri görülebilmektedir.

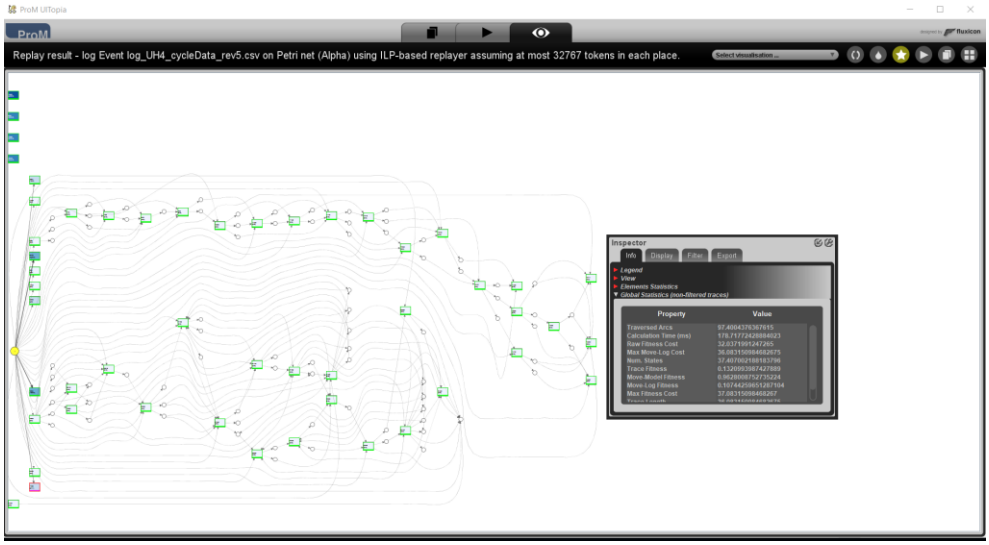


Şekil 3.24 : ProM da bulanık algoritma ile oluşturulmuş süreç modelinin olay sınıf kontrol sayfasından bir kesit.

3.2.2 Süreç uygunluk kontrolü uygulaması

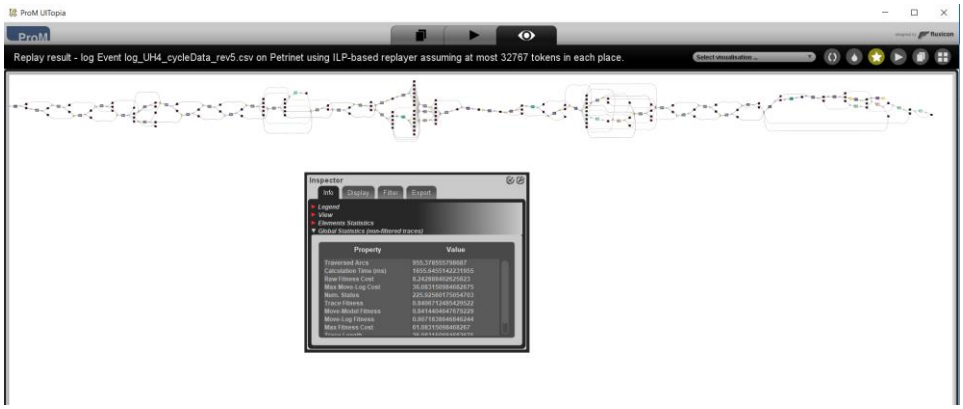
Uygunluk kontrolü, olay günlüğü ile süreç keşif algoritmaları kullanılarak oluşturulan ve referans alınan süreç modeli arasındaki tutarsızlıkların ortaya çıkması adına mukayese edildikleri adımdır. Bu çalışmada sırasıyla alfa, sezgisel ve tümevarımsal madencilik algoritmaları ile oluşturulan süreç modelleri için uygunluk kontrolünü yapıyor olacağız. Bulanık algoritma madencilik aracı kullanıldığında petri ağı yerine süreç grafiği ile süreç modeli oluşturulabildiğinden, bulanık algoritma için uygunluk kontrolü yapılamamaktadır.

İlk olarak Şekil 3.8 de gösterilen ve alfa algoritması kullanılarak oluşturulan süreç modeline ProM da uygunluk analizini uyguladığımızda Şekil 3.25'teki uygunluk kontrolü ve kontrol çıktısına ulaşırız. Kontrol çıktısında uygunluk değerinin 0,13 gibi oldukça düşük bir değere sahip olduğu görülmektedir. Bu da alfa madencilik algoritması ile oluşturulan süreç modelimizin aslında olay günlüğümüz ile arasında oldukça büyük tutarsızlıkların olduğunu bize söyler. Özetle alfa algoritması ile oluşturulan süreç modeli verilerimizi temsil etmekte yetersiz kalmaktadır.



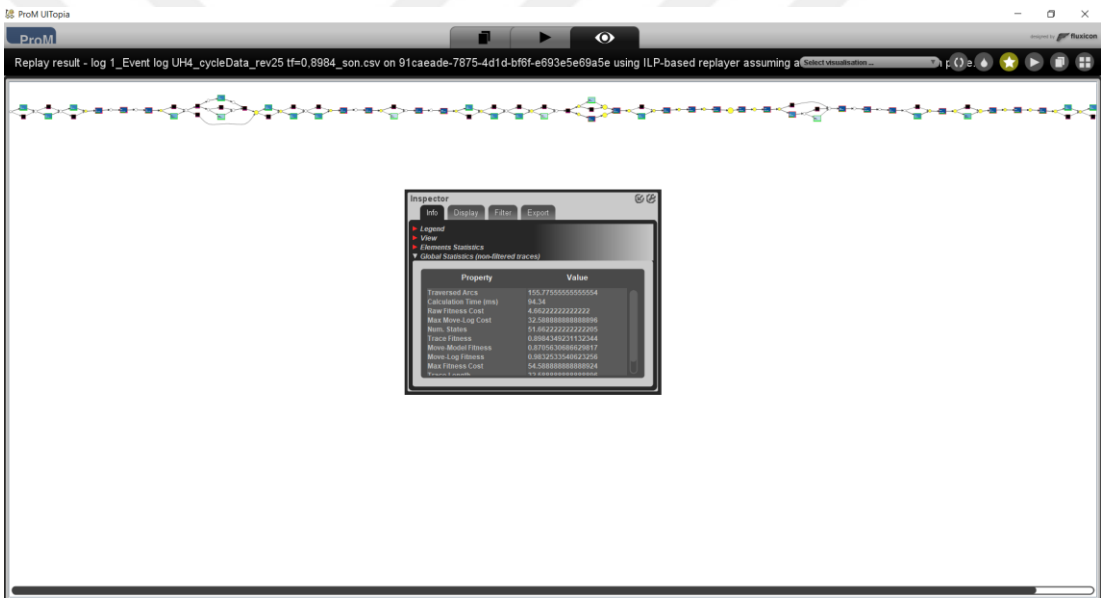
Şekil 3.25 : Alfa madencilik algoritması ile oluşturulan süreç modelinin uygunluk analizi ve kontrol çıktısının ekran alıntısı.

İkinci olarak Şekil 3.13 te gösterilen ve sezgisel madencilik algoritması kullanılarak oluşturulan süreç modeline ProM da uygunluk analizini uyguladığımızda Şekil 3.26'daki uygunluk kontrolü ve kontrol çıktısına ulaşırız. Kontrol çıktısında uygunluk değerinin 0,84 gibi bir değere sahip olduğu görülmektedir. Bu değer tek başına ele alındığında sezgisel algoritma ile oluşturulan süreç modelinin aslında verilerimizi temsil edebildiği, olay günlüğümüz ile süreç modelimiz arasında bazı sapmalar olmakla beraber büyük tutarsızlıkların olmadığı, özetle modelimizin uygun olduğu anlamına gelir. Ancak bir diğer madencilik algoritması olan tümevarımsal algoritma ile oluşturulan süreç modelinde uygunluk değeri daha yüksek olacağı için ve diğer süreç modeli kontrol kriterleri açısından değerlendirme yaptığımızda sezgisel madencilik ile oluşturulan süreç modelini de tercih etmeyeceğiz.



Şekil 3.26 : Sezgisel madencilik algoritması ile oluşturulan süreç modelinin uygunluk analizi ve kontrol çıktısının ekran alıntısı.

Son olarak ise Şekil 3.15 te petri ağı şeklinde gösterilen ve tümevarımsal madencilik algoritması kullanılarak oluşturulan süreç modeline ProM da uygunluk analizini (replay a log on petri net for conformance analysis eklentisi) uyguladığımızda Şekil 3.27'deki uygunluk kontrolü ve kontrol çıktısına ulaşırız. Kontrol çıktısında uygunluk değerinin (trace fitness) 0,90 gibi oldukça yüksek çıktığı görülmektedir. Tümevarımsal algoritma ile oluşturulan süreç modelinin verilerimizi gayet yüksek seviyede temsil edebildiği, olay günlüğümüz ile süreç modelimiz arasında önemli tutarsızlıkların olmadığı, özetle modelimizin uygun bir model olduğu anlamına gelir. Diğer süreç modeli kontrol kriterleri açısından da olay günlüğümüzü en iyi temsil edecek süreç modelinin tümevarımsal madencilik algoritması ile oluşturulan model olduğu söylenebilir.



Şekil 3.27 : Tümevarımsal madencilik algoritması ile oluşturulan süreç modelinin uygunluk analizi ve kontrol çıktısının ekran alıntısı.

Şekil 3.27'deki kontrol çıktısında yer alan raw fitness cost, move-model fitness ve move-log fitness gibi diğer bazı önemli ifadelerden de kısaca bahsedecek olursak, raw fitness cost oluşturulan süreç modelimizin optimum çözümünde, yani modelin doğru bir model olmasını sağlamak adına model ve izi içerisinde hesaba katılmayan iş istasyonlarının, bir başka ifadeyle hatalı hareketlerin toplam değerlerinin ortalamasıdır. Bu değer ne kadar düşük olursa, modelin uygunluk değeri o kadar yüksek olacaktır. Bir diğer ifade olan move-model fitness ise süreç modelimizin sapmalarıyla alakalıdır. Buradaki sapma türü, modelimizde olup, ilgili izlerde olmayan

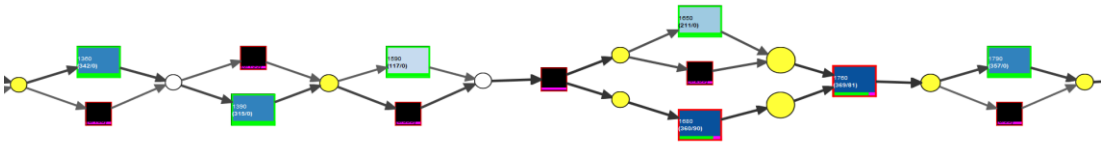
iş istasyonlarının göz önünde bulundurulmasıyla hesaplanan değerdir. Son olarak değinilmesinde fayda olan ifade move-log fitness'ta tıpkı move-model fitness gibi süreç modelimizin sapmalarıyla ilgilidir. Ancak move-log fitness'a konu olan sapmalar izlerde olup, bunun modelde karşılığı olmayan sapmalarla ilgilidir ve elde edilen değer bu tür sapmalara göre hesaplanmıştır.

Dört farklı süreç madenciliği algoritması ile oluşturulan süreç modellerinin uygunluk değerleri Çizelge 3.2 de paylaşıldığı gibidir.

Çizelge 3.2 : Süreç modellerinin uygunluk değeri açısından sonuçları.

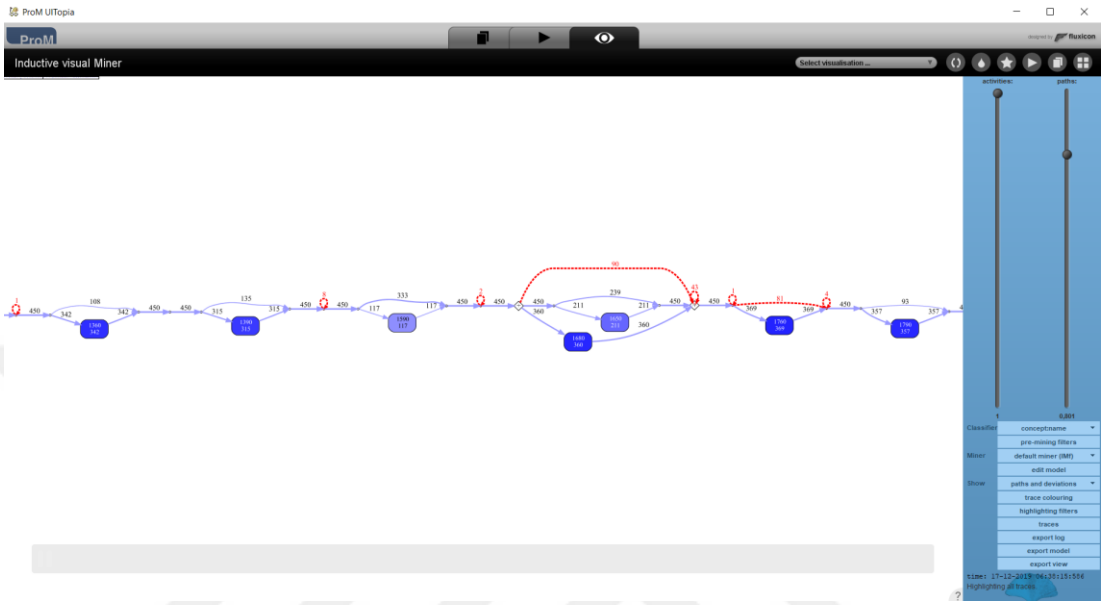
Uygulanan Süreç Madenciliği Algoritması	Uygunluk Değeri
Alfa algoritması	0,13
Sezgisel algoritma	0,84
Tümevarımsal algoritma	0,9
Bulanık algoritma	-

Şekil 3.28'deki detaylı uygunluk kontrolü gösterimde koyu mavi ile belirtilen aktivitelerin gerçekleşmesi (örnek olarak 1680 numaralı iş istasyonu için 360 adet), açık mavi ile belirtilen aktivitelere (örnek olarak 1590 numaralı iş istasyonu için 117 adet) göre daha sık olduğu anlamına gelmektedir. Ayrıca kırmızı çerçeve ile belirtilen aktiviteler, tüm vakaların bu yolu takip etmediğini, alt taraftaki yeşil bar söz konusu vaka için toplam olay sayısı içerisinde bu yolu takip eden olay sayısını, pembe bar ise bu yolu takip etmeyen olay sayısını vermektedir. Örneğin 1680 numaralı iş istasyonu için ilgili vakadaki toplam 360 olayın 90 tanesinin bu yolu, yani 1680 numaralı iş istasyonunu takip etmediği, yani süreçten sapan olay sayısına denk geldiği söylenebilir. Süreç modeli içerisinde kırmızı çerçeveli gösterime sahip aktivite sayısı ne kadar az ise, modelimizin uygunluk değeri de o kadar yüksek olmaktadır.



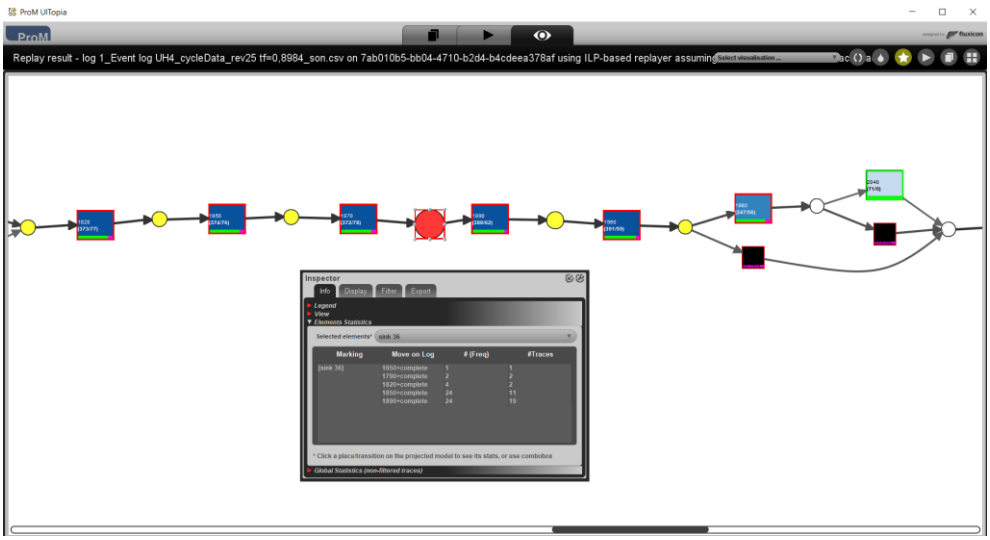
Şekil 3.28 : Tümevarımsal madencilik algoritması ile oluşturulan süreç modelinin uygunluk kontrol analizinden detaylı bir kesit.

Ayrıca Şekil 3.29' daki bir başka gösterimde ilgili aktiviteler için atlanan olay sayıları kesikli kırmızı çizgiler ile görülebilir. Yukardaki örnekte 1680 numaralı iş istasyonu için tüm olaylardan 90 tanesinin 1680 numaralı aksiyonda yer almayarak, bu güzergahtan geçmediğini belirtmiştik.



Şekil 3.29 : Tümevarımsal görsel madencilik algoritması ile oluşturulan süreç modelinden yol ve sapmaların gösterildiği bir kesit.

Şekil 3.30'daki gösterim de sarı renk ile belirtilen düğüm noktalarını ProM uygulamasında seçtiğimizde, bu nokta üzerinden atlanan olay sayısını, hangi aktivitelerde gerçekleştiğini ve hangi vakalarla alakalı olduğunu bize anlatır.



Şekil 3.30 : Tümevarımsal madencilik algoritması ile oluşturulan süreç modelinin uygunluk kontrol analizinden detaylı bir kesit.

Süreç madenciliğinin üçüncü türü olan süreç geliştirme adımına geçmeden önce süreç keşfi ve süreç uygunluk kontrolü adımlarında uygulanan süreç modelinin doğruluk ve kalite kriterleri açısından dört farklı süreç madenciliği algoritmasını karşılaştıracak olursak;

- Alfa madenciliği:

Alfa madencilik algoritması aşağıdaki sorunları bünyesinde barındırır:

  - Doğru bir model oluşturmayı garanti etmez.
  - Modelimizde oluşabilecek gürültüleri filtreleyemez, bu nedenle genellikle gerçek hayattaki olay günlüklerine uygulanamaz.
  - Kısa döngülerle ilgili genellikle sorunların oluşmasına neden olur.
  - Uzun dönemli ilişkileri kurmakta, belirlemekte sıkıntıları vardır.

Alfa madencilik algoritmasının yukarıdaki açıklamalar ışığında Şekil 3.8 de gösterilmiş olan ve alfa madencilik algoritması ile oluşturulan süreç modeli için süreç modeli kontrol maddelerinin hiç birinin geçerli olmadığı; modelin doğru bir model olmadığı, uygun olmadığı, kesinlik belirtmediği, iyi bir genelleme ve sadelikte de olmadığı yorumunda bulunulabilir. Özetle alfa algoritması kullanılarak oluşturulan süreç modelinin verilerimizi iyi bir şekilde temsil etmediği söylenebilir.

- Sezgisel madencilik:

Sezgisel madencilik, alfa madenciliğinin geliştirilmiş versiyonu olarak düşünülebilir. Olayların gerçekleşme sıklığını hesaba katar, kısa çevrimleri, döngüleri ve uygulanmayan aktiviteleri belirler. Ancak doğru bir süreç modelini bu süreç madenciliği aracı da garanti etmez. Bu bilgiler ışığında sezgisel madencilik algoritması ile oluşturulan ve Şekil 3.13 te gösterilmiş olan süreç modelini, süreç modeli kontrol maddelerine göre inceleyecek olursak; modelin doğru bir model olmadığı, ancak bunun dışında kalan dört kalite kriterine göre ise iyi bir model olduğu söylenebilir.

Sezgisel madencilik algoritması kullanılarak oluşturulan süreç modeli doğru bir model olmadığı için ve uygunluk değeri tümevarımsal algoritma ile oluşturulan süreç modeline göre daha düşük olduğundan bu algoritma seçilmeyecektir. Bununla alakalı önceki bölümlerde Garcia ve diğ. (2019)'a göre sezgisel madencilik ile nadir yollar (paths) modele dahil edilmediğinden toplam doğruluğun sağlanamayacağından bahsedilmişti.

- Tümevarımsal algoritma:

Tümevarımsal algoritma ile süreç modelinin doğruluğu garanti altına alınmış olur. Ayrıca olay günlüğünde en belirgin ayrımı bularak ve her iki alt olay günlüğünde de süreç akışına devam ederek, süreci tekrarlanabilir kılar. Bu bilgiler çerçevesinde Şekil 3.14, Şekil 3.15 ve Şekil 3.16 da gösterilmiş olan ve tümevarımsal madencilik algoritması ile oluşturulmuş olan süreç modelimiz incelendiğinde, süreç modeli kontrol maddelerinin beşine de modelimizin uyduğu; özetle doğru, uygun, kesin, genellenebilir ve sade bir model olduğu söylenebilir. Dolayısıyla uygulamamızda tümevarımsal algoritma ile oluşturulmuş olan süreç modelimizi kullanıyor ve hat dengeleme çalışmaları için bu modelin çıktılarını esas alıyor olacağız.

- Bulanık algoritma:

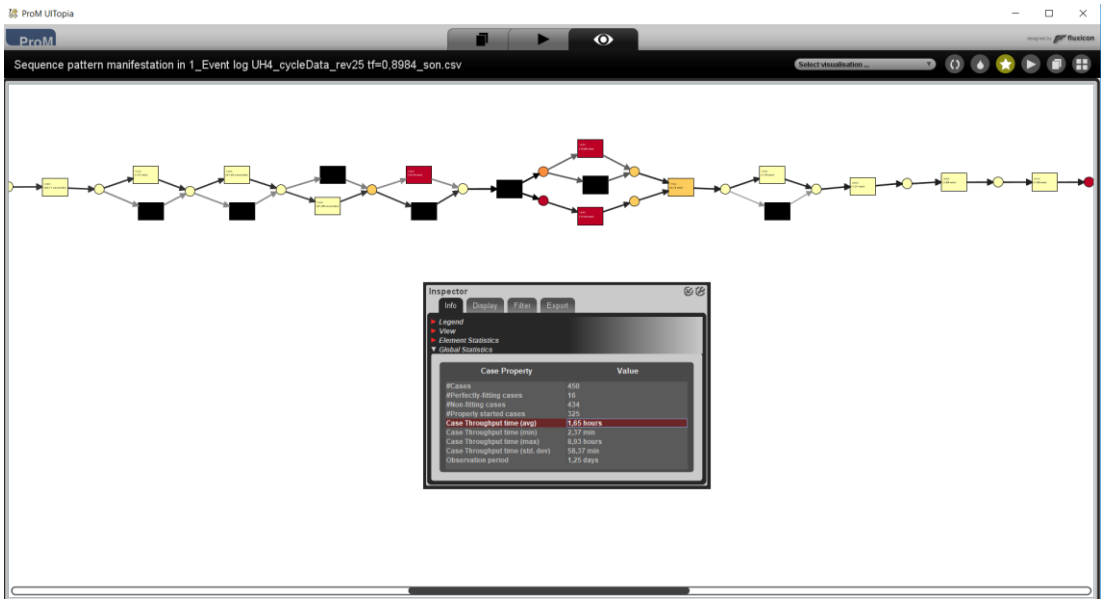
Bulanık algoritma diğer algoritma türlerinden biraz farklıdır. Süreç modelini oluştururken petri ağı yerine süreç grafiğini oluşturur. Süreç grafiği de seçim yapmayı ve paralelliği ayırt edemez. Bulanık algoritma daha çok Disco ve Celonis gibi ticari yazılım araçlarında kullanılır. Şekil 3.19 da bulanık algoritma ile oluşturulmuş olan süreç modeli incelendiğinde, bu süreç modelinin petri ağı şeklinde değil, süreç grafiği şeklinde olduğu görülebilmektedir. Dolayısıyla bulanık algoritma ile oluşturulan süreç modelleri için dört kalite kriterinin incelenmesi ve yorumda bulunulması söz konusu değildir (Url-1). Buna ilave olarak bulanık algoritma doğruluğu (soundness) garanti etmez (Garcia ve diğ, 2019). Biz de bu kapsamda uygulamamızda bulanık algoritmayı tercih etmeyeceğiz.

Özetlemek gerekirse dört farklı süreç madenciliği algoritması içinde tümevarımsal madencilik algoritmasının çıktılarını bundan sonrası için kullanacağız.

3.2.3 Süreç geliştirme uygulaması

Uygulamamızın geliştirme evresinde ProM süreç madenciliği aracındaki performans/uygunluk analizi eklentisini kullanacağız. Bu eklentiyi süreç modelimizdeki darboğaz olan noktaları belirlemek, aktivite bazında ortalama işlemde kalma sürelerini ve tüm vaka için ortalama işlem sürelerinin analiz edilmesinde kullanırız. Şekil 3.31'de tümevarımsal madencilik algoritması ile oluşturduğumuz süreç modelimizin performans/uygunluk analizinden bir kesit görülmektedir. Burada öncelikli olarak kırmızı renkli iş istasyonları olan 1650 (frz eva soket takma), 1590 (gaz şarj), 1890 (ybgkk), 1960 (kapı takma 1) ve 1680 (finli eva kaçak kontrol);

sonrasında da koyu turuncu renkli iş istasyonu 830 (numaratör) 'un darboğaz oldukları söylenebilir ve sırasıyla ortalama işlemde kalma süreleri 15,90 dk, 15,34 dk, 14,76 dk, 13,75 dk, 13,44 dk ve 12,57 dk olarak görülmektedir. İlave olarak turuncu renkli 1080 (4,47 dk), 1760 (4,14 dk), 2040 (4,71 dk), 2080 (5,10 dk) ve 2400 (3,46 dk) iş istasyonlarının da analiz edilmesi tavsiye edilmektedir. Ayrıca kontrol ekranındaki global istatistik sonuçlarını yorumlayacak olursak, vakalarımızın ortalama işlem süresinin 1,65 saat olduğu ve toplam 450 vakanın 16 tanesinin birbirleri ile mükemmel bağlı olduğunu ve düzgün başlatılan vaka sayısının 325 olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 3.31 : Tümevarımsal madencilik algoritması ile oluşturulan süreç modelinin performans/uygunluk analizinden bir kesit.

Sosyal ağ analizi de süreç madenciliğinde geliştirme adımlarından biridir. Burada sosyal ağ analizi ile amaçlanan, değerlendirme kriterlerinizin birbirlerine göre değişimlerini, ilişkilerini, birbirlerini etkileyip etkilemediklerini yorumlanmasıdır. ProM da genel hatlarıyla üç farklı şekilde sosyal ağ analizi gerçekleştirilebilir, bunlar; noktalı grafik gösterimi, tümevarımsal madencilik algoritması ve sosyal ağ eklentisi (Url-1). Biz uygulamamızda noktalı grafik gösteriminde yararlanacağız. Süreç keşfi adımında bahsedilen gösterime ilave olarak Şekil 3.32'de vakaların ("Y" ekseni) aktivite kırılımına göre, zamana bağlı ("X" ekseni) gerçekleşme durumlarını görebilirsiniz. Burada her bir rengin karşılık geldiği farklı aktiviteler söz konusudur, ekran alıntısında kontrol sayfasında detaylar görülmektedir.

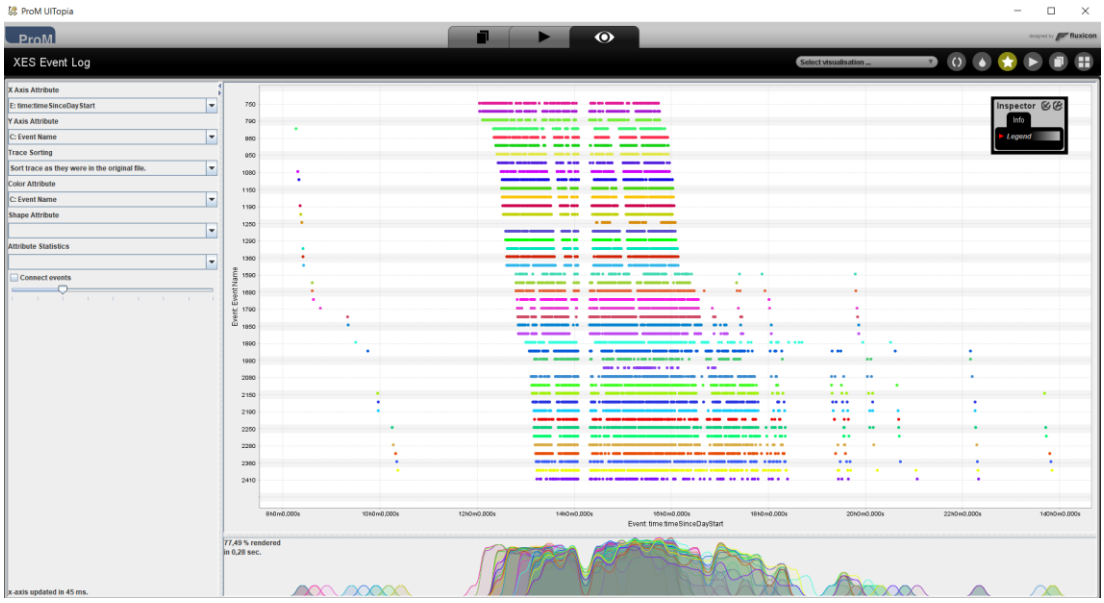


Şekil 3.32 : Vakaların aktivite kırılımı ile zamana göre değişimini gösteren sosyal ağ analizi.

Şekil 3.33'te ise aktivitelerin ("Y" ekseni) gerçekleştikleri gün bazında zamana bağlı ("X" ekseni) gerçekleşme durumlarını görebilirsiniz. Burada her bir nokta farklı bir olayı temsil etmektedir. Şekil 3.34'te ise benzer bir gösterimi görebilirsiniz, buradaki noktalı grafik gösterimi, ilgili olay için gerçekleştiği günden bağımsız, zaman dilimine göre, hangi olayın, ne zaman, hangi aktiviteyi gerçekleştirdiğinin bilgisini bize veriyor.



Şekil 3.33 : Aktivitelerin zamana göre değişimini gösteren sosyal ağ analizi.



Şekil 3.34 : Aktivitelerin gerçekleştikleri günden bağımsız zaman dilimine göre değişimini gösteren sosyal ağ analizi.

3.3 Hat Dengeleme Uygulaması

Uygulamamızda sezgisel hat dengeleme yöntemlerinden en çok tercih edilen sıralı pozisyon ağırlığı (ranked positional weight) metodunu uygulayacağız. Üretim hattı için gerekli olan iş istasyonlarının hesaplanması ve çevrim süresi ataması bu yöntem ile kolaylıkla yapılabilir, diğer yöntemler buna olanak sağlayamayabilirler. Bu kapsamda sıralı pozisyon ağırlığı methodu diğer sezgisel yöntemlere kıyasla iş elemanlarının istasyonlara atanmasında daha verimli bir hat dengeleme yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır (Ghutukade ve Sawant, 2013).

Örneğin en büyük aday kuralı (largest candidate rule) yönteminde en yüksek çevrim zamanına sahip iş istasyonundan atamaya başlanması bizi yanlış yönlendirebilir.

Sırala ve ata (rank and assign) yönteminde de iş istasyonlarının süreden bağımsız olarak, ardıl sayılarına göre sıralanması ve buna göre iş istasyonu atamalarının yapılması da atamanın verimliliğini olumsuz etkileyen bir unsur durumundadır. Kilbridge wester ve Moodie young yöntemleri ise pozisyon ağırlığı yöntemine çok benzer olup, kendi içlerinde pozisyon ağırlığı yöntemini kullanmaktadırlar.

Moodie young yönteminin ikinci adımında uygulanan en yüksek çevrim zamanına sahip iş istasyonu ile en düşük çevrim zamanına sahip iş istasyonları arasındaki çevrim sürelerinin farkının yarısının hedef süre olarak alınarak, en düşük süreli iş istasyonuna eklenmesi işlemi özellikle gerçek verilerle hat dengeleme çalışması yapılacak

uygulamalarda suni bir iyileşme gerçekleştirebileceği için bize sağlıklı bir çözüm yöntemi sunmamaktadır.

Sıralı pozisyon ağırlığı sezgisel hat dengeleme yöntemini analitik yöntemlerden herhangi birine tercih etmemizdeki en önemli unsur ise; analitik yöntemlerde işlem sayılarının artması çözümü karmaşıklaştırmakta, dolayısıyla da artan işlem sayıları çözüme ulaşmayı zorlaştırmaktadır (Aksoy ve diğ, 2014'de atıfta bulunulduğu gibi). Ayrıca sezgisel yöntemlerde çözüme analitik yöntemlere kıyasla daha kısa sürede ulaşılması da özellikle çevik üretim ve just-in-time felsefesini benimseyen endüstriyel işletmelerin sezgisel yöntemleri analitik yöntemlere kıyasla daha fazla tercih etmelerinde önemli bir rol oynamaktadır (Görgülü, 2019).

Sezgisel yöntemleri bir diğer hat dengeleme problemi çözüm yöntemlerinden olan benzetim yöntemlerine göre tercih etme sebeplerimiz arasında ise benzetim tekniklerinde sistem modellemesinin uzun sürmesi, farklı sistem parametre grupları için modeli yeniden çalıştırma gereksinimi ve her benzetim modelinin bir başka benzetim modelinden farklı olması ve bu nedenle model seçiminin oldukça zor olması (Görgülü, 2019'da atıfta bulunulduğu gibi).

Uygulamanın yapıldığı montaj hattı (üretim hattı 4) hat konfigürasyonuna göre U- tipi, ürün çeşidine göre ise çok modelli montaj hattıdır. Hattın mevcut durumu ile alakalı bilgiler Çizelge 3.3 te paylaşıldığı gibidir.

Çizelge 3.3 : Üretim hattı 4 için mevcut durum.

Gösterge	Birim
Üretim kapasitesi	600 adet/vardiya
Çevrim zamanı (cycle time)	42,66 sn.
İş istasyonu sayısı	45
Operatör sayısı	45
Net çalışma süresi	25.500 saniye/vardiya

İş istasyonu bazında işlem süreleri ise Çizelge 3.4 te paylaşıldığı gibidir.

Çizelge 3.4 : İş istasyonu bazında ortalama işlem süreleri.

Operasyon Numarası	Operasyon Tanımı	Ortalama İşlem Süresi
750	BUZDOLABI YUKLEME	23,20
770	ARKA AYAK SIKMA	23,90

Çizelge 3.4 (devam) : İş istasyonu bazında ortalama işlem süreleri.

Operasyon Numarası	Operasyon Tanımı	Ortalama İşlem Süresi
790	KABLO GRUPLAMA-1	27,21
830	NUMARATÖR	26,74
860	MAVI ISIK / DRYER TAKMA	28,05
890	SEBZELIK KOYMA	24,57
950	AKSESUAR KOYMA	28,03
1010	FINLI EVA TAKMA	29,98
1080	ANAKART GRUPLAMA	26,63
1130	FAN TAKMA	28,72
1150	KABLO GRUPLAMA-2	30,46
1170	KABLO GRUPLAMA-3	30,26
1190	BORU GRUPLAMA-1	28,95
1210	BORU GRUPLAMA-2	29,41
1250	KAYNAK 1	24,85
1270	KAYNAK 2	27,48
1290	KAYNAK 3	24,46
1340	VALF TAKMA	27,93
1360	GÖVDE RAFI TAKMA 1	22,69
1390	GÖVDE RAFI TAKMA 2	13,12
1590	GAZ SARJ	42,66
1650	FRZ EVA SOKET TAKMA	41,80
1680	FINLI EVA KACAK KONTROL	28,58
1760	FRZ EVA KAPAK TAKMA	29,31
1790	FRZ CAM RAF TAKMA	30,44
1820	BUZMATIK KIZAK TAKMA 1	28,10
1850	BUZMATIK KIZAK TAKMA 2	22,88
1870	ABGKK	23,85
1890	YBGKK	12,85
1960	KAPI TAKMA 1	24,53
1980	KAPI TAKMA 2	17,39
2040	KAPI SAPI TAKMA 1	38,17
2080	KAPI HAZIRLIK 1	30,23
2120	KAPI HAZIRLIK 2	32,59
2150	CONTA KONTROL	33,96
2170	CONTA TAMIR	28,03
2190	KAPI HAZIRLIK 3	25,72
2240	KAPI SAPI TAKMA 2	18,41
2250	ETIKET YAPISTIRMA 1	20,61
2260	ETIKET YAPISTIRMA 2	21,82
2280	LOGO YAPISTIRMA	27,95
2320	GÖVDE SILME	25,63
2360	GÖRÜNÜS KONTROL	27,63
2400	BUHAR KABI TAKMA	28,24
2410	KAPI BANTLAMA	16,75

3.3.1 Mevcut durumun değerlendirilmesi

Mevcut durum ile uyguladığımız sezgisel method arasında karar vermek için üç kavram üzerinde duruyor olacağız. Bunlar sırasıyla denge gecikmesi (balance delay), hat verimliliği (line efficiency) ve düzgünlük indeksi (smoothness index).

Şimdi mevcut durum için bu değerleri sırasıyla hesaplayalım;

- Denge gecikmesi (balance delay):

Denge gecikmesi montaj hatlarındaki toplam ideal sürenin, toplam harcanan süreye oranı olduğunu belirtmiştik. Çizelge 3.4 teki 45 iş istasyonunda gerçekleşen işlem sürelerinin toplamının 1205 sn olduğu görülmektedir. Denge gecikmesinin formülünü denklem 2.3'te vermiştik ve mevcut durum için denge gecikmesi aşağıdaki gibi %37,22 olarak hesaplanır.

BD= (45*42,66-1205)/(45*42,66)=%37,22

- Hat verimliliği (line efficiency):

Montaj hatlarında hat verimliliğinin iş istasyonlarında geçen toplam işlem sürelerinin operasyon sayısı ile hattın çevrim zamanı çarpımlarının oranına eşit olduğunu belirtmiştik ve formülünü denklem 2.4'te vermiştik. Mevcut durum için aşağıdaki gibi hat verimliliği %62,77 olarak hesaplanır.

LE=1205/(42,66*45)=%62,77

- Düzgünlük indeksi (smoothness index):

Düzgünlük indeksi her bir operasyonun maksimum çevrim süresine sahip operasyona göre çevrim süreleri arasındaki farkların karelerinin toplamının karekökünе eşit olduğunu belirtmiştik ve formülünü denklem 2.5'te vermiştik. Mevcut durum için düzgünlük indeksi aşağıdaki gibi 113,57 olarak hesaplanır.

$SI= \sqrt{(42,66-23,20)^2+(42,66-23,90)^2+\ldots\ldots\ldots\ldots+(42,66-16,75)^2}$

SI=113,57 olarak hesaplanır.

3.3.2 Sıralı pozisyon ağırlığı (ranked position weighted) methodu

Sezgisel hat dengeleme metodlarından en yaygın olarak kullanılanların başında gelen sıralı pozisyon ağırlığı metodu 1961 yılında Helgeson ve Birnie tarafından

geliştirilmiştir. Genel hatları ile beş adımdan oluşmaktadır, bu adımlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır (Aksoy ve diğ, 2014).

1. Adım: Öncelik diyagramı çizilir

2. Adım: Her bir operasyon için pozisyon ağırlığı belirlenir. Her bir operasyonun pozisyon ağırlığı, ilgili operasyonun işlem süresi ile o operasyonun ardılı, yani kendisinden sonra gelen operasyonların işlem sürelerinin toplamına eşittir. Pozisyon ağırlıkları öncelik diyagramındaki akış yönüne göre hesaplanır.

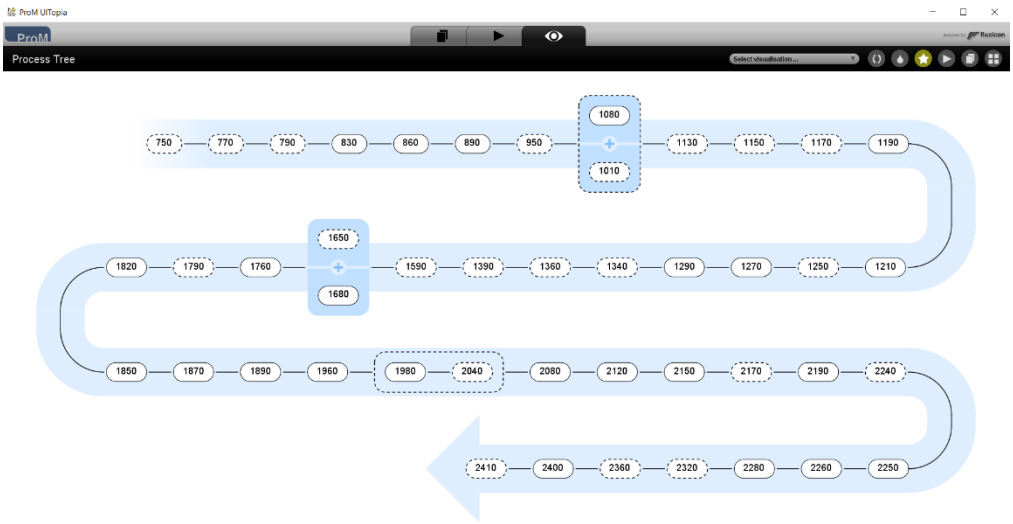
3. Adım: Operasyonlar pozisyon ağırlık değerlerine göre büyükten küçüğe olacak şekilde sıralanır.

4. Adım: İş istasyonları (operasyon) atamaları yapılırken pozisyon ağırlıkları en yüksek olanlar seçilir. Hattın çevrim süresini geçmeyecek şekilde operasyon atamaları yapılır.

5. Adım: Atanmayan operasyon kalmayasıya kadar 4. adım faaliyetleri tekrar edilir.

Uygulama adımları:

1. Adım: Uygulaması yapılan üretim hattı 4 ün öncelik diyagramı olarak ProM da oluşturulan süreç ağacı Şekil 3.35 deki gibi kullanılmıştır.



Şekil 3.35 : Öncelik diyagramı.

2. Adım: Öncelik diyagramı oluşturulduktan sonra her bir operasyonun pozisyon ağırlıkları oluşturulur. Operasyon numarası bazında pozisyon ağırlıkları Çizelge 3.5 te verilmiştir.

Çizelge 3.5 : Operasyon numaraları bazında pozisyon ağırlıkları.

İstasyon Sayısı	Operasyon Numarası	Operasyon Tanımı	İşlem Süresi	Pozisyon ağırlıkları
1	750	BUZDOLABI YUKLEME	23,20	1204,75
2	770	ARKA AYAK SIKMA	23,90	1181,55
3	790	KABLO GRUPLAMA-1	27,21	1157,65
4	830	NUMARATÖR	26,74	1130,44
5	860	MAVI ISIK / DRYER TAKMA	28,05	1103,71
6	890	SEBZELIK KOYMA	24,57	1075,66
7	950	AKSESUAR KOYMA	28,03	1051,09
8	1010	FINLI EVA TAKMA	29,98	996,43
9	1080	ANAKART GRUPLAMA	26,63	993,08
10	1130	FAN TAKMA	28,72	966,45
11	1150	KABLO GRUPLAMA-2	30,46	937,73
12	1170	KABLO GRUPLAMA-3	30,26	907,26
13	1190	BORU GRUPLAMA-1	28,95	877,00
14	1210	BORU GRUPLAMA-2	29,41	848,05
15	1250	KAYNAK 1	24,85	818,64
16	1270	KAYNAK 2	27,48	793,79
17	1290	KAYNAK 3	24,46	766,30
18	1340	VALF TAKMA	27,93	741,85
19	1360	GÖVDE RAFI TAKMA 1	22,69	713,92
20	1390	GÖVDE RAFI TAKMA 2	13,12	691,23
21	1590	GAZ SARJ	42,66	678,11
22	1650	FRZ EVA SOKET TAKMA	41,80	606,88
23	1680	FINLI EVA KACAK KONTROL	28,58	593,66
24	1760	FRZ EVA KAPAK TAKMA	29,31	565,08
25	1790	FRZ CAM RAF TAKMA	30,44	535,77
26	1820	BUZMATIK KIZAK TAKMA 1	28,10	505,33
27	1850	BUZMATIK KIZAK TAKMA 2	22,88	477,23
28	1870	ABGKK	23,85	454,35
29	1890	YBGKK	12,85	430,50
30	1960	KAPI TAKMA 1	24,53	417,65
31	1980	KAPI TAKMA 2	17,39	393,12
32	2040	KAPI SAPI TAKMA 1	38,17	375,73
33	2080	KAPI HAZIRLIK 1	30,23	337,57
34	2120	KAPI HAZIRLIK 2	32,59	307,34
35	2150	CONTA KONTROL	33,96	274,75

Çizelge 3.5 (devam) : Operasyon numaraları bazında pozisyon ağırlıkları.

İstasyon Sayısı	Operasyon Numarası	Operasyon Tanımı	İşlem Süresi	Pozisyon ağırlıkları
36	2170	CONTA TAMIR	28,03	240,79
37	2190	KAPI HAZIRLIK 3	25,72	212,76
38	2240	KAPI SAPI TAKMA 2	18,41	187,04
39	2250	ETIKET YAPISTIRMA 1	20,61	168,63
40	2260	ETIKET YAPISTIRMA 2	21,82	148,02
41	2280	LOGO YAPISTIRMA	27,95	126,20
42	2320	GÖVDE SILME	25,63	98,25
43	2360	GÖRÜNÜS KONTROL	27,63	72,62
44	2400	BUHAR KABI TAKMA	28,24	44,99
45	2410	KAPI BANTLAMA	16,75	16,75

3. Adım: Çizelge 3.5 te operasyonların pozisyon ağırlıkları büyükten küçeğe olacak şekilde sıralıdır.

4. Adım: 4. adımda pozisyon ağırlıklarına göre büyükten küçüğe sıralanan iş istasyonları en yüksek pozisyon ağırlığı değerine sahip operasyonun işlem süresine bir sonraki en yüksek pozisyon ağırlığı değerine sahip operasyonun işlem süresi eklenerek toplam işlem süresi hattın çevrim süresini geçmeyecek değere sahipse toplam işlem süresi söz konusu operasyonların işlem süreleri toplamına; hattın çevrim zamanından büyükse ilgili operasyonun işlem süresi toplam süre olarak alınarak işlem devam eder. Çizelge 3.6 da pozisyon ağırlığına göre operasyonların atamalarının yapılışı görülmektedir.

Çizelge 3.6 : Pozisyon ağırlıklarına göre operasyonların atamalarının yapılması.

Operasyon Numarası	Operasyon Tanımı	İşlem Süresi	Toplam İşlem Süresi	İstasyon Sayısı
750	BUZDOLABI YUKLEME	23,20	23,20	1
770	ARKA AYAK SIKMA	23,90	23,90	2
790	KABLO GRUPLAMA-1	27,21	27,21	3
830	NUMARATÖR	26,74	26,74	4
860	MAVI ISIK / DRYER TAKMA	28,05	28,05	5
890	SEBZELIK KOYMA	24,57	24,57	6
950	AKSESUAR KOYMA	28,03	28,03	7
1010	FINLI EVA TAKMA	29,98	29,98	8
1080	ANAKART GRUPLAMA	26,63	26,63	9
1130	FAN TAKMA	28,72	28,72	10
1150	KABLO GRUPLAMA-2	30,46	30,46	11

Çizelge 3.6 (devam) : Pozisyon ağırlıklarına göre operasyonların atamalarının yapılması.

Operasyon Numarası	Operasyon Tanımı	İşlem Süresi	Toplam İşlem Süresi	İstasyon Sayısı
1170	KABLO GRUPLAMA-3	30,26	30,26	12
1190	BORU GRUPLAMA-1	28,95	28,95	13
1210	BORU GRUPLAMA-2	29,41	29,41	14
1250	KAYNAK 1	24,85	24,85	15
1270	KAYNAK 2	27,48	27,48	16
1290	KAYNAK 3	24,46	24,46	17
1340	VALF TAKMA	27,93	27,93	18
1360	GÖVDE RAFI TAKMA 1	22,69	35,81	19
1390	GÖVDE RAFI TAKMA 2	13,12		
1590	GAZ SARJ	42,66	42,66	20
1650	FRZ EVA SOKET TAKMA	41,80	41,80	21
1680	FINLI EVA KACAK KONTROL	28,58	28,58	22
1760	FRZ EVA KAPAK TAKMA	29,31	29,31	23
1790	FRZ CAM RAF TAKMA	30,44	30,44	24
1820	BUZMATIK KIZAK TAKMA 1	28,10	28,10	25
1850	BUZMATIK KIZAK TAKMA 2	22,88	22,88	26
1870	ABGKK	23,85	36,7	27
1890	YBGKK	12,85		
1960	KAPI TAKMA 1	24,53	41,91	28
1980	KAPI TAKMA 2	17,39		
2040	KAPI SAPI TAKMA 1	38,17	38,17	29
2080	KAPI HAZIRLIK 1	30,23	30,23	30
2120	KAPI HAZIRLIK 2	32,59	32,59	31
2150	CONTA KONTROL	33,96	33,96	32
2170	CONTA TAMIR	28,03	28,03	33
2190	KAPI HAZIRLIK 3	25,72	25,72	34
2240	KAPI SAPI TAKMA 2	18,41	39,02	35
2250	ETIKET YAPISTIRMA 1	20,61		
2260	ETIKET YAPISTIRMA 2	21,82	21,82	36
2280	LOGO YAPISTIRMA	27,95	27,95	37
2320	GÖVDE SILME	25,63	25,63	38
2360	GÖRÜNÜS KONTROL	27,63	27,63	39
2400	BUHAR KABI TAKMA	28,24	28,24	40
2410	KAPI BANTLAMA	16,75	16,75	41

5. Adım: Ataması yapılmayan herhangibir iş istasyonu kalmayasaya kadar 4. adım tekrar ettirilmiş olup Çizelge 3.6 daki tabloya ulaşılır.

Sezgisel hat dengeleme yöntemlerinden hangisinin en iyi yöntem olduğuna karar vermek için üç kavram üzerinde duracağımızdan bahsetmiştik.

Şimdi sıralı pozisyon ağırlığı metodunun uygulandığı hat dengeleme çözümü için bu değerleri sırasıyla hesaplayalım;

- Denge gecikmesi (balance delay):

Denge gecikmesi montaj hatlarındaki toplam ideal sürenin, toplam harcanan süreye oranıdır ve formülünü denklem 2.3'te vermiştik.

BD= (41*42,66-1205)/(41*42,66)=%31,10 olarak hesaplanır.

- Hat verimliliği (line efficiency):

Montaj hatlarında hat verimliliği iş istasyonlarında geçen toplam işlem sürelerinin operasyon sayısı ile hattın çevrim zamanı çarpımlarının oranına eşittir. Formülü denklem 2.4'te verilmişti.

LE=1205/(42,66*41)=%68,89 olarak hesaplanır.

- Düzgünlük indeksi (smoothness index):

Düzgünlük indeksi her bir operasyonun maksimum çevrim süresine sahip operasyona göre çevrim süreleri arasındaki farkların karelerinin toplamının karekökünü eşittir. Formülü denklem 2.5'te verilmişti.

$SI= \sqrt{(42,66-23,20)^2+(42,66-23,90)^2+\ldots\ldots\ldots\ldots+(42,66-16,75)^2}$

SI=92,06 olarak hesaplanır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu bölümün sonuç kısmında uygulamamızın iki fazından bahsedilecek. İlk fazında süreç madenciliği ile ham verimizin nasıl görselleştirildiğinden, yani süreç modelimizin nasıl oluşturulduğundan, bu veriyi farklı algoritmalar kullanarak nasıl yorumlandığından bahsedilecek. İkinci fazında ise sıralı pozisyon ağırlığı sezgisel hat dengeleme yöntemi sonuçlarının mevcut durum ile mukayesesinden bahsedilecek. Ayrıca süreç madenciliği ile hat dengeleme yöntemi sonuçlarının da bir arada değerlendirmesi yapılacaktır.

Öneriler kısmında ise bundan sonrası için yapılacak çalışmalar genelinde önerilerde bulunulacaktır.

4.1 Sonuçlar

Uygulamamız Eskişehir Arçelik Buzdolabı işletmesinde üretim hattı 4 te yapıldı. Uygulamamızda kullanılan veriler 16 ve 17 Aralık 2019 tarihlerinde üretilen D70455NP model buzdolabına ait verilerden oluşmaktadır. Sonuçlar bölümünü üç aşamada değerlendireceğiz; öncelikli olarak süreç madenciliği sonuçlarını, sonrasında montaj hatlarında hat dengeleme çalışmasının sonuçlarını, son olaraksa süreç madenciliği ve hat dengeleme yöntemi sonuçlarını bir arada değerlendireceğiz.

4.1.1 Süreç madenciliği sonuçlarının değerlendirilmesi

Uygulamamızda süreç madenciliği araçlarından ProM 6.9 JRE8 kullanılmıştır. Süreç modelimizi oluşturmakta kullandığımız olay günlüğümüzdeki olay sayısını üçüncü bölümde bahsettiğimiz aşamalardan geçirerek 93.198 den 14.665'e getirmiştik. Sonrasında sırasıyla alfa (alpha miner), sezgisel (heuristic miner), tümevarımsal (inductive miner) ve bulanık (fuzzy miner) madencilik algoritmaları kullanılarak 14.665 olaydan oluşan olay günlüğümüzün süreç modelleri oluşturuldu. Petri ağı şeklinde ve dört farkı süreç madenciliği algoritması kullanılarak oluşturulan bu süreç modellerinin uygunluk kontrollerini gerçekleştirdiğimizde önceki bölümde de bahsettiğimiz üzere Çizelge 3.2 deki sonuçlara ulaşmıştık.

Çizelge 3.2'de görüleceği üzere bulanık algoritma ile uygunluk değeri hesaplanamamıştır. Bunun nedeni ise bu madencilik algoritması kullanılarak oluşturulan süreç modelinin Petri ağı şeklinde değil, süreç grafiği şeklinde olmasıdır. ProM yazılımında uygunluk kontrol analizi ile uygunluk değerinin hesaplanabilmesi için oluşturulan süreç modelinin Petri ağı şeklinde olması gereklidir.

Çizelge 3.2'de alfa algoritması ile oluşturulan süreç modelinin uygunluk değeri 0,13 gibi oldukça düşük bir değere sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak bu madencilik algoritması ile oluşturulan süreç modeli ile uygulamada kullanılan olay günlüğünün arasında büyük tutarsızlıkların olması gösterilebilir. Bu da alfa algoritması ile oluşturulan süreç modelinin verilerimizi temsil etmekte yetersiz kaldığı anlamına gelmektedir.

Çizelge 3.2'de sezgisel algoritma ile oluşturulan süreç modelinin uygunluk değerinin 0,84 gibi iyi sayılabilecek bir değere sahip olduğu görülebilmektedir. Bu değer tek başına ele alındığında sezgisel algoritma ile oluşturulan süreç modelinin aslında verilerimizi temsil edebildiği, olay günlüğümüz ile süreç modelimiz arasında büyük tutarsızlıkların olmadığı, özetle modelimizin uygun olduğu sonucuna varılabilir. Ancak bir diğer madencilik algoritması olan tümevarımsal algoritma ile oluşturulan süreç modelinde uygunluk değeri daha yüksek olacağı için ve süreç modeli kontrol kriterleri açısından değerlendirme yapıldığında sezgisel madencilik ile oluşturulan süreç modelinin de eksiklerinin olduğu sonucuna varılabilir.

Son olarak Çizelge 3.2'de tümevarımsal algoritma ile oluşturulan süreç modelinin uygunluk değerinin 0,90 gibi oldukça yüksek bir değere sahip olduğu görülmektedir. Tümevarımsal algoritma ile oluşturulan süreç modelinin verilerimizi gayet yüksek seviyede temsil edebildiği, olay günlüğümüz ile süreç modelimiz arasında önemli tutarsızlıkların olmadığı, özetle modelimizin uygun bir model olduğu söylenebilir. Diğer süreç modeli kontrol kriterleri açısından da olay günlüğümüzü en iyi temsil edecek süreç modelinin tümevarımsal madencilik algoritması ile oluşturulan model olduğu sonucuna kolaylıkla varılabilmektedir.

Tümevarımsal süreç madencilik algoritması kullanılarak oluşturulan süreç modeli için süreç madenciliğinin geliştirme adımında performans/uygunluk analizi uygulandığında kırmızı renkli iş istasyonları olan 1650 (frz eva soket takma), 1590 (gaz şarj), 1890 (ybgkk), 1960 (kapı takma 1) ve 1680 (finli eva kaçak kontrol);

sonrasında da koyu turuncu renkli iş istasyonu 830 (numaratör) 'un darboğaz oldukları söylenebilir ve sırasıyla ortalama işlemde kalma süreleri 15,90 dk, 15,34 dk, 14,76 dk, 13,75 dk, 13,44 dk ve 12,57 dk olarak görülmektedir. Burada ortalama işlemde kalma süreleri (sojourn time) beklemeli çevrim zamanı olarak düşünülebilir. Beklemeli çevrim zamanı; ilgili iş istasyonu için işlem süresi ile, kendisinden önceki iş istasyonundan çıkan paletin ilgili iş istasyonuna ulaşıncaya kadar geçen sürenin toplamını ifade etmektedir. İlave olarak turuncu renkli 1080 (anakart gruplama; 4,47 dk), 1760 (frz eva kapak takma; 4,14 dk), 2040 (kapı sapı takma 1; 4,71 dk), 2080 (kapı hazırlık 1; 5,10 dk) ve 2400 (buhar kabı takma; 3,46 dk) iş istasyonlarının da analiz edilmesi tavsiye edilmektedir. Darboğaz olan iş istasyonları detaylı incelendikten sonra darboğaz olmalarına neden olan unsurlar belirlenerek, bu unsurları ortadan kaldırmaya yönelik aksiyonlar alınırsa bu iş istasyonlarında beklemeli çevrim zamanı iyileşmeleri gerçekleşecek olup, bu da beraberinde kapasite ve verimlilik artışını getirecektir. Verimlilik artışı hem toplam ekipman verimliliği (OEE), hem toplam işçi verimliliği (OME) özelinde gerçekleşebilir.

4.1.2 Hat dengeleme sonuçlarının değerlendirilmesi

Uygulamamızda sezgisel hat dengeleme yöntemlerinden sıralı pozisyon ağırlığı methodu uygulanmıştır. Mevcut durum ile pozisyon ağırlığı methodu arasında karar verebilmemiz için; denge gecikmesi (balance delay), hat verimliliği (line efficiency) ve düzgünlük indeksi (smoothness index) kavramları hesaplanmıştı. Çizelge 4.1'de bu üç kavram ve iş istasyonu sayısı ile operatör sayısı açısından mevcut durum ile sıralı pozisyon ağırlığı (RPW) yönteminin sonuçlarının mukayesesi görülmektedir.

Çizelge 4.1: Mevcut durum ile sıralı pozisyon ağırlığı yönteminin mukayesesi.

Tanım	Mevcut durum	RPW
Denge gecikmesi	37,22%	31,10%
Hat verimliliği	62,77%	68,89%
Düzgünlük indeksi	113,57	92,06
İş istasyonu sayısı	45	41
Operatör sayısı	45	41

Çizelge 4.1'de görüldüğü üzere sıralı pozisyon ağırlığı methodu uygulanarak hat dengelemesi yapıldığında mevcut duruma göre denge gecikmesinde %16 lık bir

iyileşme ile %37,22'den %31,10'a düşme; hat verimliliğinde %10'luk bir iyileşme ile %62,77'den %68,89'a yükselme; düzgünlük indeksinde ise %19'luk bir iyileşme ile 113,57'den 92,06'ya düşme gerçekleşmiştir. Bu değerlerdeki iyileşme miktarlarının, uygulanan hat dengeleme yöntemi ile iş istasyonu sayısının, dolayısıyla operatör sayısının 45'ten 41'e düşmesinin neticesinde gerçekleşebildiği söylenebilir. Uygulanan sıralı pozisyon ağırlığı sezgisel hat dengeleme yöntemi ile dört operatör tasarruf sağlanmış olup, işçilik verimliliğinde üretim hattı 4 için %9 oranında bir iyileşme gerçekleşmiştir.

Uygulamasını yaptığımız montaj hattı dengelemesini amacına göre sınıflandırırsak, tip-1 (MHD-1) sınıfında olduğunu söyleyebiliriz. Yani montaj hattımızın mevcut çevrim süresi için istasyon sayısını minimize etmeye çalıştık. Bununla birlikte uygulamasını yaptığımız montaj hattımızı hat konfigürasyonuna göre sınıflandıracak olursak U tipi olduğunu, ürün çeşidine göre sınıflandıracak olursakta çok modelli montaj hattı olduğunu söyleyebiliriz. Son olarak işlem sürelerinin durumuna göre uygulamayı gerçekleştirdiğimiz montaj hattını ele alırsak, deterministik işlem süreli montaj hattı olduğunu söyleyebiliriz.

İlave olarak 2400 (buhar kabı takma) ve 2410 (kapı bantlama) iş istasyonlarının toplam işlem süreleri 44,99 saniye, hattın çevrim süresinin de 42,66 saniye olduğu göz önünde bulundurulduğunda bu iki iş istasyonunda toplam 2,33 saniyelik bir işlem zamanı iyileştirmesi yapılırsa bir operatör daha tasarruf potansiyelinden bahsedilebilir.

4.1.3 Süreç madenciliği ile hat dengeleme sonuçlarının bir arada değerlendirilmesi

Üretim alanında süreç madenciliği çok sık uygulanmaz. Bunun temel nedeni, şu anda üretim süreç optimizasyonundaki ana zorluklardan biri olan veri merkezli süreç analitiği için gereken verilere erişilememesidir (Rehse ve diğ, 2018). Biz de uygulamamızda bu sorunla sıkça karşılaşmakla beraber, bunun üstesinden gelerek üretim alanında süreç madenciliğini uygulayabildik.

Süreç madenciliği adımında altı iş istasyonunu darboğaz operayon olarak belirlemiştik. Sıralı pozisyon ağırlığı hat dengelemesinde ise sekiz farklı iş istasyonu kendi içerisinde birleştirilerek dört istasyona düşürülmüştü. Çizelge 4.2'de hangi uygulama aracı için hangi istasyonların darboğaz oldukları, hangi iş istasyonlarının pozisyon ağırlıklarına göre atamaların yapılmasının ardından birbirleri ile birleştirildiği görülmektedir.

Çizelge 4.2: Uygulama aracı bazında iyileşme potansiyelleri.

Uygulama Aracı	Darboğaz Tezgahlar	Birleştirilen İş İstasyonları
Süreç Madenciliği	830, 1590, 1650, 1680, 1890, 1960	
Hat Dengeleme		1360/1390 1870/1890 1960/1980 2240/2250

Burada ilk bakışta her iki uygulama aracı için 1890 (ybgkk-yüksek basınç gaz kaçak kontrol) ve 1960 (kapı takma 1) numaralı iş istasyonlarının ortak olduğu dikkat çekmektedir. Ayrıca bu iş istasyonları birbirlerinin ardıllarıdır, yani uygulamamızın yapıldığı U-tipi montaj hattında 1890 numaralı iş istasyonundan sonra buzdolabı paleti 1960 numaralı iş istasyonunda işlem görmektedir. Bu bilgi her iki uygulama aracının ortak çıktısı olarak karşımıza çıkmaktadır. Öncelikli iyileştirme faaliyetleri 1890 ve 1960 numaralı iş istasyonlarında yapılırsa üretim hattında kapasite artışı potansiyeli bulunmaktadır. 830 (numaratör), 1590 (gaz şarj), 1650 (frz eva soket takma), 1680 (finli eva kaçak kontrol) numaralı iş istasyonlarının ise ortalama işlem süreleri zaten uzun olduğu için bu istasyonlarda yapılacak iyileştirme faaliyetlerinin hat dengelemede hat verimliliğini arttırma potansiyeli üzerindeki etkilerinin düşük olduğundan bahsedebiliriz. Ancak bu dört iş istasyonu için beklemeli çevrim zamanlarındaki (sojourn time) iyileşme potansiyelleri yüksek olduğu için, potansiyel kapasite artışının maksimum seviyede gerçekleşebilmesinin de ancak bu iş istasyonlarındaki beklemeli çevrim zamanında yapılabilecek iyileştirme faaliyetleri ile sağlanabileceğinden bahsedebiliriz.

4.2 Öneriler

Yapılan çalışmada öncelikli olarak süreç madenciliği ile süreç modelimizi oluşturmuştuk. Bu süreç modelini analiz ettiğimizde iyileştirme noktalarımız ortaya çıkmıştı. Daha sonra sezgisel hat dengeleme yöntemlerinden sıralı pozisyon ağırlığı methodunu kullanarak montaj hattımızda hat dengelemesi yaptık ve süreç madenciliği çıktıları ile hat dengeleme çıktılarını bir arada yorumladık. Literatürde üretim tesislerinde montaj hattı dengelemesinde süreç madenciliği aracından yararlanan çok az kaynak var. Bu iki çalışma bir arada değerlendirilerek süreç madenciliği çıktılarını

hat dengeleme sonuçlarının girdisi olarak ele almak sureti ile kapasite, toplam işçilik verimliliği (overall men efficiency, OME) ve toplam ekipman verimliliği (overall equipment efficiency, OEE) gibi kavramlar üzerindeki potansiyel iyileşme olanaklarından yararlanılabilir.

KAYNAKLAR

Aalst, W.M.P. (2012). Process mining: Overview and opportunities, *ACM Transactions on Management Information Systems, 3* (2), 99-114.

Aalst, W.M.P., Pesic, M., ve Schonenberg, H. (2009). Declarative workflows: Balancing between flexibility and support, *Computer Science-Research and Development, 23* (2), 99-113.

Aalst, W.M.P., Reijers, H.A., Weijters, A.J.M.M., Dongen, B.F., Medeiros, A.K., Song, M., ve Verbeek, H.M.W. (2006). Business process mining: an industrial application, *Information Systems, 32* (5), 713-732.

Aalst, W.M.P., Rubin, W., Verbeek, H.M.W., Dongen, B.F., Kindler, E., ve Günther, C.W. (2010). Process mining: a two-step approach to balance between underfitting and overfitting, *Software and Systems Modeling,* 87-111.

Aalst, W.M.P. & Weijters, A.J.M.M. (2009). Process mining, *Process-Aware Information System,* 235-256.

Akeren, K. & Tarhan, A. (2016). Hastalıkların tedavi sürecinin protokollere uygunluğunun analizi: Süreç madenciliğine yönelik araç geliştirme, *10. Ulusal Yazılım Mühendisliği Sempozyumu*, 207-218.

Aksoy, S., Yıldız, M.S., ve Altınova, S. (2014). Pozisyon ağırlığı metodu ile tek model U tipi montaj hattı dengeleme, *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 16* (2), 83-89.

Avikal, S., Jain, R., Mishra, P.K., ve Yadav, H.C. (2013). A heuristic approach for U-shaped assembly line balancing to improve labor productivity, *Computers & Industrial Engineering, 64,* 895-901.

Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü. (2018). *Montaj Hattı Tasarımı ve Analizi Ders Notları* [PowerPoint slides]. Retrieved from http://ikucukkoc.baun.edu.tr/lectures/EMM4208/EMM4208MontajHattiBirlesikNotlar.pdf

Boysen, N., Fliedner, M., ve Scholl, A. (2007). A classification of assembly line balancing problems, *European Journal of Operational Research, 183* (2), 674-693.

Deshpande, V.A. & Joshi, A.Y. (2007). Application of ranked positional weight method for assembly line balancing – a case study, *Proceedings of International Conference on Advances in Machine Design & Industry Automation*, 348-352.

Doğan, O., Fernandez, C., ve Öztayşi, B. (2019). Process mining application for analysis of customer's different visits in a shopping mall, *Springer Verlag, 1029*, 151-159.

Dongen, B.F., Medeiros, A.K., Verbeek, H.M.W., Weijters, A.J.M.M., ve Aalst, W.M.P. (2005). The ProM Framework: A new era in process mining tool support, *Springer Verlag*, 444-454.

Eck, M.L., Lu, X., Leemans, S.J.J., ve Aalst, W.M.P. (2015). Process mining project methodology, *Eindhoven University of Technology*, 1-15.

Edokpia, R.O. & Owu, F.U. (2013). Assembly line re-balancing using ranked positional weight technique and longest operating time technique: a comparative analysis, *Advanced Materials Research, 824*, 568-578.

Er, M., Arsad, N., Astuti, H.M., Kusumawardani, R.P., ve Utami, R.A. (2018). Analysis of production planning in a global manufacturing company with process mining, *Journal of Enterprise Information Management, 31* (2), 317-337.

Eryürük, S.H., Kalaoğlu, F., ve Baskak, M. (2014). Etek üretimi yapan bir konfeksiyon işletmesinde montaj hattı dengeleme çalışması, *Tekstil ve Mühendislik, 21* (96), 20-26.

Garcia, C., Meincheim, A., Junior, E.R.F., Dallagassa, M.R., Sato, D.M.V., Carvalho, D.R., Santos, E.A.P., ve Scalabrin, E.E. (2019). Process mining techniques and applications - a systematic mapping study, *Expert Systems With Applications, 133*, 260-295.

Ghutukade, S.T. & Sawant, S.M. (2013). Use of ranked position weighted method for assembly line balancing, *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*, 1-3.

Gökçen, H. & Ağpak, K. (2004). Hat dengelemede yeni bir felsefe parallel montaj hatlarının eşzamanlı dengelenmesi, *Teknoloji, 7* (1), 181-188.

Görgülü, K.G. (2019). *Ergonomik etmenler dikkate alınarak montaj hatlarında dengeleme yapılması ve bir fabrika uygulaması.* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Günther, C.W. & Aalst, W.M.P. (2007). Fuzzy mining – adaptive process simplification based on multi-perspective metrics, *Business Process Management, Springer Berlin Heidelberg*, 328-343.

Gürgen, T. & Tarhan, A. (2011). Süreç madenciliğinin yazılım süreç doğrulama için kullanımı, *V. Ulusal Yazılım Mühendisliği Sempozyumu*, 234-237.

Hakim, I.M., Mu'min, S.A., ve Zaqiah, R.O. (2018). Increasing the efficiency of the cub engine assembly lines in the automotive industry using ranked positional weight, *1st International Conference on Industrial Electrical and Electronics, 218*, 1-7.

Leemans, S.J.J., Fahland, D., ve Aalst, W.M.P. (2014). Process and deviation exploration with inductive visual miner, *Eindhoven University of Technology*, 1-5.

Mahajan, P. & Manoria, A. (2015). Balancing the line by using heuristic method based on cpm in salbp –a case study, *International Journal of Research in Engineering and Technology, 4* (12), 76-80.

Mannhardt, F., Leoni, M., ve Reijers, H.A. (2017). Heuristic mining revamped: an interactive, data-aware, and conformance-aware miner, *15th International Conference on Business Process Management,* 1-5.

Natschlager, C., Kossak, F., Lettner, C., Geist, V., Denkmayr, A., ve Kaferböck, B. (2017). A practical approach for process mining in production processes, *Innovations in Enterprise Information Systems Management and Engineering, 285,* 87-95.

Ongkunaruk, P. & Wongsatit, W. (2014). An ECRS-based line balancing concept: a case study of a frozen chicken producer, *Business Process Management Journal, 20* (5), 678-692.

Qattawi, A. & Madathil, S.C. (2019). Assembly line design using a hybrid approach of lean manufacturing and balancing models, *Production and Manufacturing Research, 7* (1), 125-142.

Rehse, J.R., Dadashnia, S., ve Fettke, P. (2018). Business process management for Industry 4.0 –Three application cases in the DFKI-Smart-Lego-Factory, *IT-Information Technology, 60* (3), 133-141.

Roldan, J.J., Crespo, E., Martin-Barrio, A., Pena-Tapia, E., ve Barrientos, A. (2019). A training system for Industry 4.0 operators in complex assemblies based on virtual reality and process mining, *Robotics and Computer-Intergrated Manufacturing, 59,* 305-316.

Ruschel, E., Santos, E.A.P., ve Loures, E.F.R. (2018). Establishment of maintenance inspection intervals: an application of process mining techniques in manufacturing, *Journal of Intelligent Manufacturing,* 1-20.

Sathish, S. & Lakshmanan, A.R. (2015). Assembly line efficiency measurement and line balancing-a case study on automobile cluster assembly line, *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 9* (8), 651-654.

Saylam, R. (2014). *Yazılım geliştirme ve test döngüsü üzerinde süreç madenciliği yaklaşımı.* (Yüksek lisans tezi). Hava Harp Okulu, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü, İstanbul.

Siregar, I., Sipangkar, T.U.A., ve Prasetio, A. (2017). Improvement of production layout based on optimum production balancing scale results by using moodie young and comsoal method, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 237,* 1-8.

Sriwana, I.K., Marie, I.A., ve Mangala, D. (2017). The recommendation of line-balancing improvement on MCM product line 1 using genetics algorithm and moodie young at XYZ Company, Co., *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 277,* 1-8.

Syahputri, K., Sari, R.M., Anizar, Rizkya, I., Leviza, J., ve Siregar, I. (2018). Improving assembly line balancing using moodie young methods on dump truck production, *2nd Annual Applied Science and Engineering Conference (AASEC), 288,* 1-6.

Wu, Q., He, Z., Wang, H., Wen, L., ve Yu, T. (2019). A business process analysis methodology based on process mining for complaint handling service processes, *Applied Sciences, 9* (16), 1-21.

Yılmaz, Y. (2019). *Business process reeengineering using process mining*. (Yüksek lisans tezi). Boğaziçi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Yüzkat, M. (2016). *Süreç analizi ve keşfi için bir süreç madenciliği sistemi*. (Yüksek lisans tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Url-1 <*http://www.futurelearn.com/courses/process-mining*>, erişim tarihi 20.11.2019.

EKLER

EK A: Olay Günlüğü Verilerinden Bir Bölüm

EK B: Tümevarımsal Görsel Madencilik Algoritması ile Oluşturulan Süreç Modeli

EK A

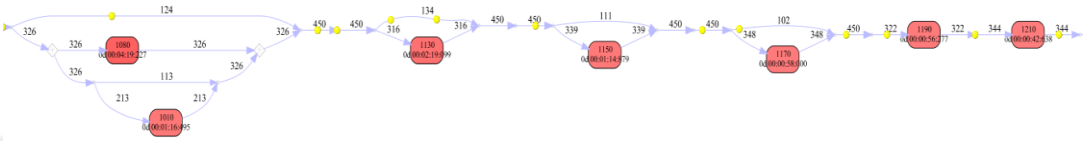
Çizelge A.1: Olay günlüğü verilerinden bir bölüm.

CVNumber (event)	İş İstasyonu (event)	Product Number	ProductSeria l (case)	Station EntranceTim e	Loa d Tim e	Op1 Time	Op2 Tim e	Wait Tim e	Topla m	Station Exit Time
1130	FAN TAKMA	729322019 0	19105295	16.12.2019 14:26:31	16	174	0	0	19	16.12.201 9 14:26:50
2250	ETIKET YAPISTIRMA 1	729322019 0	19105240	16.12.2019 14:26:36	17	127	0	8	15,2	16.12.201 9 14:26:51
1150	KABLO GRUPLAMA-2	729322019 0	19105294	16.12.2019 14:26:40	16	201	0	2	21,9	16.12.201 9 14:27:01
830	NUMARATÖ R	729322019 0	19105300	16.12.2019 14:26:36	30	277	0	1	30,8	16.12.201 9 14:27:06
1170	KABLO GRUPLAMA-3	729322019 0	19105293	16.12.2019 14:26:42	15	252	0	1	26,8	16.12.201 9 14:27:08
1190	BORU GRUPLAMA-1	729322019 0	19105292	16.12.2019 14:26:46	15	204	0	1	22	16.12.201 9 14:27:08
1150	KABLO GRUPLAMA-2	729322019 0	19105295	16.12.2019 14:27:02	16	161	0	2	17,9	16.12.201 9 14:27:19
1210	BORU GRUPLAMA-2	729322019 0	19105291	16.12.2019 14:26:54	16	278	0	2	29,6	16.12.201 9 14:27:23
1890	YBGKK	729322019 0	19105251	16.12.2019 14:27:11	14	111	0	1	12,6	16.12.201 9 14:27:23
830	NUMARATÖ R	729322019 0	19105301	16.12.2019 14:27:09	30	147	0	1	17,8	16.12.201 9 14:27:26
860	MAVI ISIK / DRYER TAKMA	729322019 0	19105299	16.12.2019 14:27:07	20	183	0	2	20,5	16.12.201 9 14:27:27
890	SEBZELIK KOYMA	729322019 0	19105298	16.12.2019 14:27:10	14	161	0	2	17,7	16.12.201 9 14:27:27
1170	KABLO GRUPLAMA-3	729322019 0	19105294	16.12.2019 14:27:09	17	205	0	2	22,4	16.12.201 9 14:27:31
860	MAVI ISIK / DRYER TAKMA	729322019 0	19105300	16.12.2019 14:27:27	19	144	0	2	16,5	16.12.201 9 14:27:43
890	SEBZELIK KOYMA	729322019 0	19105299	16.12.2019 14:27:30	15	163	0	1	17,9	16.12.201 9 14:27:47
830	NUMARATÖ R	729322019 0	19105302	16.12.2019 14:27:29	31	164	0	1	19,6	16.12.201 9 14:27:48
1210	BORU GRUPLAMA-2	729322019 0	19105292	16.12.2019 14:27:24	16	279	0	2	29,7	16.12.201 9 14:27:53
2280	LOGO YAPISTIRMA	729322019 0	19105240	16.12.2019 14:27:29	19	246	0	1	26,6	16.12.201 9 14:27:55
1170	KABLO GRUPLAMA-3	729322019 0	19105295	16.12.2019 14:27:31	17	229	0	2	24,8	16.12.201 9 14:27:55
2190	KAPI HAZIRLIK 3	729322019 0	19105241	16.12.2019 14:27:41	26	137	0	0	16,3	16.12.201 9 14:27:57
1890	YBGKK	729322019 0	19105256	16.12.2019 14:27:46	12	115	0	2	12,9	16.12.201 9 14:27:58
860	MAVI ISIK / DRYER TAKMA	729322019 0	19105301	16.12.2019 14:27:44	20	152	0	1	17,3	16.12.201 9 14:28:01
830	NUMARATÖ R	729322019 0	19105303	16.12.2019 14:27:50	29	139	0	1	16,9	16.12.201 9 14:28:06

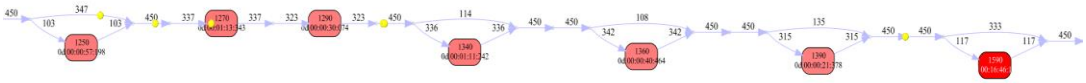
EK B



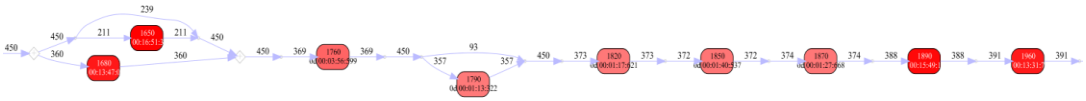
(a)



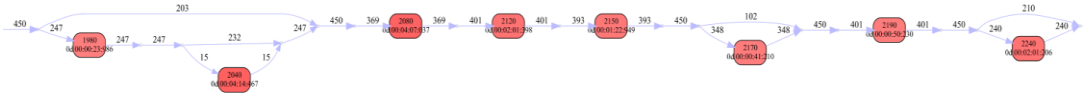
(b)



(c)

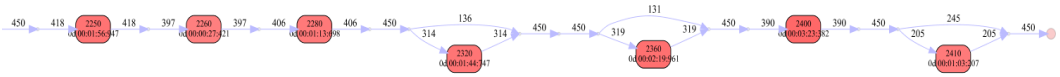


(d)



(e)

Şekil B.1: Tümevarımsal görsel madencilik algoritması ile oluşturulan süreç modeli.



(f)

Şekil B.1 (devam): Tümevarımsal görsel madencilik algoritması ile oluşturulan süreç modeli.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad **: İsmail Samet KISAKAYA**

Doğum Tarihi ve Yeri **: 25.05.1987- Eskişehir**

E-posta **:** ismailsamet.kisakaya@arcelik.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2009, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** **:** 2020, İstanbul Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Mühendislik Yönetimi Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2009-2013 yılları arasında Mekke/Arabistan'da gerçekleştirilen yaya tüneli projesinde bakım mühendisi ve şef mühendis olarak çalıştı,
- 2013-2015 yılları arasında Eskişehir Modern Ambalaj A.Ş. 'de mekanik bakım şefi olarak çalıştı,
- 2015 yılı Haziran ayı itibariyle Arçelik A.Ş. Eskişehir Kompresör İşletmesinde Kıdemli Uzman-Bakım görevine devam etmektedir.
- Arçelik A.Ş. Kompresör İşletmesinde 2019 yılı Üstün Başarı ve Özel Görevlendirme (ÜBÖG) ödülünü aldı.