

Endüstriyel Nesnelerin İnterneti Kullanılarak Üretim Hatlarına Yönelik Süreç Madenciliği Uygulaması

Application of Process Mining to Production Lines Using Industrial Internet of Things

Beyza Yapakçı¹, Zeynep Akdağcık², Bora Ayvaz³, Ali Fuat Ergenç³

¹Büyük Veri ve İş Analitiği Yüksek Lisans Programı
Veri Mühendisliği ve İş Analitiği Anabilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi

{yapakci17}@itu.edu.tr

²Endüstri Mühendisliği Bölümü
Mühendislik Fakültesi, Bilkent Üniversitesi

{zeynep.akdagcik}@ug.bilkent.edu.tr

³Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Bölümü
Elektrik Elektronik Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi

{ayvazb17}@itu.edu.tr

{aergenc}@itu.edu.tr

Özetçe

Süreç madenciliği, üretim sektöründeki üretim süreçlerini analiz etmek için geleneksel veri analiz yöntemlerinin sınırlarını ele alarak güçlü bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Üretim Yürütme Sistemleri (MES) aracılığıyla olay günlüklerinden süreç odaklı içgörüler çıkararak, süreç madenciliği üretim süreç akışlarının kapsamlı bir anlayışını sağlar ve darboğaz tespiti ile makine kullanım değerlendirmesini kolaylaştırır. Sistematik süreç madenciliği çerçevesi, veri hazırlama, veri ön işleme, üretim süreci madenciliği ve analiz, değerlendirme ve yorumlama adımlarını içerir. Alfa Madencisi yöntemi, süreç modeli oluşturmak için kullanılmış ve lineer bir yapı ortaya çıkararak potansiyel eksik kontrolleri ve zaman alıcı üretim adımlarını ortaya koymuştur. Çalışma, bu sorunları ele almanın süreç doğruluğunu ve verimliliğini artırmada önemini vurgular ve sonuç olarak üretim sektöründe süreç odaklı yaklaşımların benimsenmesine katkıda bulunur.

Abstract

Process mining has emerged as a powerful solution for analyzing production processes in the manufacturing sector, addressing the limitations of traditional data analysis methods. By extracting process-oriented insights from event logs through Manufacturing Execution Systems (MES), process mining provides a comprehensive understanding of production process flows, facilitating bottleneck identification and machine utilization evaluation. The systematic process mining framework involves data preparation, data preprocessing, production process mining and analysis, evaluation, and interpretation steps.

The Alpha Miner method was used to create a process model, revealing a linear structure and highlighting potential missing controls and time-consuming production steps. The study emphasizes the importance of addressing these issues to improve process accuracy and efficiency, ultimately contributing to the adoption of process-oriented approaches in the manufacturing sector.

1. Giriş

Üretim süreçlerinin analizi, günümüz endüstrisinde büyük öneme sahiptir. Ancak geleneksel veri analiz yöntemleri süreç ile ilgili detaylı bilgiler sağlamakta yeterli olamayabilir. Ayrıca, üretimde kullanılan sistemler tarafından üretilen büyük miktardaki veri, geleneksel veri analiz teknikleri kullanarak genel süreçleri anlamayı yeterli kılmamaktadır.

Bu kısıtlamaları ele almak için, süreç madenciliği güçlü bir çözüm olarak ortaya çıkar. Süreç madenciliği, MES aracılığıyla elde edilen olay günlüklerinden süreç odaklı bilgi çıkarmada yeteneklidir. Süreç madenciliği üretim sürecinin doğru bir görünümünü sunar ve gerçek üretim süreçlerine dair değerli bilgiler sağlar. Süreç madenciliğinin temelinde, darboğaz belirleme ve makine kullanımını değerlendirmesi gibi derinlemesine analizleri yapmak için bir üretim süreci modeli oluşturma yeteneği yatar. Süreç madenciliği çerçevesi, veri hazırlama, veri ön işleme, üretim süreci madenciliği ve analiz, değerlendirme ve yorumlama olmak üzere dört ana adımdan oluşur. Bu sistematik yaklaşım, üretim süreç akışlarının kapsamlı bir anlayışını sağlar. Bu bağlamda, üretim süreçleri genellikle ön işleme, ana üretim ve muayene olmak üzere üç aşamadan oluşur. Olay günlüklerini analiz ederek, etkinlikler arasında hareket eden lotların görselleştirilmesi, süreç akışının daha net anlaşılmasını sağlar ve

potansiyel darboğazları belirler.

1.1. Literatür Taraması

Süreç madenciliği, görece yeni gelişen bir araştırma disiplini olup bir tarafta hesaplama zekası ve veri madenciliği ile diğer tarafta süreç modelleme ve analiz arasında bir noktaya konumlanmaktadır. [1] Son yıllarda işletmelerin (bilgi) sistemlerinde üretip kaydettiği veri miktarının giderek artması ve hızla değişen ortamlarda firmaların iş süreçlerini analiz edip iyileştirme ihtiyacının yükselmesiyle beraber süreç madenciliğine olan ilginin de artmış olduğu görülmektedir. [1]. 2012 yılında IEEE tarafından oluşturulan ve Hollanda'daki Eindhoven Teknoloji Üniversitesi'nden Wil van der Aalst tarafından yönetilen Süreç Madenciliği Görev Grubu, Süreç Madenciliği Manifestosu [1] isimli yayınlarında süreç madenciliğinin temel fikirlerini, rehber ilkelerini ve araştırma alanı olarak karşılaşılan zorlukları açıklamıştır. IEEE'nin yayınında yer verilen kapsamda süreç madenciliği; mevcut bilgi sistemlerinde kolayca erişilebilen olay kayıtlarından bilgi edinerek varsayılan süreçlerin aksine gerçek süreçleri tespit etmeyi, takip etmeyi ve geliştirmeyi amaçlar. [manifesto] Süreç madenciliği (otomatik) olay kayıtlarından süreç modellerinin çıkarılması ile süreç keşfi, model ve kayıtlar arasındaki sapmaların gösterilmesi ile uygunluk kontrolü, sosyal ağ/örgütsel madencilik, otomatik simulasyon modeli oluşturma, model genişletme, model onarma, olay öngörüsü ve geçmişe dayalı öneriler gibi teknikleri kapsamaktadır.[1] Bu yenilikçi yaklaşımlar, çeşitli uygulama alanlarında süreçleri anlamak, izlemek ve geliştirmek için yeni yöntemler sunmaktadır.

Dakic ve diğerleri (2018) tarafından yapılan bir çalışmada görüldüğü üzere, süreç madenciliği bu zamana kadar yapılmış çalışmalarda en yaygın olarak süreç keşfi ve süreç iyileştirmesi amacıyla kullanılmış olup bu süreç madenciliği türlerini uygunluk kontrolü takip etmiştir. [2] Aynı çalışmada süreç madenciliğinin ele alındığı çalışmalar sektör bakımından da incelenmiş ve %28 oranla sağlık alanının en çok çalışma yapılan sektör olduğu, bunu sırasıyla bilgi teknolojileri, finans ve imalat sektörlerinin takip ettiği görülmüştür.[2] Literatürde yapılan çalışmalar çoğunlukla işletme süreçlerini ve bilgi sistemlerini kapsamış olsa da, süreç madenciliğinin üretim süreçlerinde ve sistemlerinde uygulandığı çalışmalar da mevcuttur.

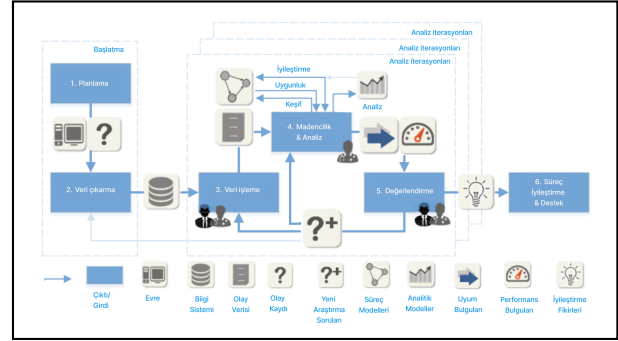
SookYoung Son ve diğerleri (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, process mining'in imalat süreçleri analizi için nasıl kullanıldığı bir vaka çalışması üzerinden ele alınmıştır. Bu çalışmada, büyük veri miktarının analizini kolaylaştırmak ve imalat süreçlerindeki performansı, üretim modelini anlamak için process mining'in nasıl değerli bir araç olduğu vurgulanmıştır [3].

Stefanie Rinderle-Ma ve Juergen Mangler (2021) tarafından sunulan bir konferans makalesinde, process mining'in imalat süreçlerinde otomasyon ve analiz alanında nasıl kullanılacağı tartışılmıştır [4]. Bu çalışma, imalat sektöründeki süreçlerin otomasyonunu ve verimliliğini artırmak için process mining'in önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir.

Lorenz ve diğerleri (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, süreç madenciliği gerçek bir fabrikadaki üretim hattına uygulanarak üretim akışının modeli gerçek zamanlı verilerle oluşturulmuş ve idealde tasarlanmış süreç modeliyle karşılaştırılmış-

tır. Çalışmanın gerçek üretim hattında doğrulanması sonucunda fabrikada ambalajlama hatlarının atıl kalmasının sebepleri belirlenmiş ve akış için iyileştirme önerileri sunulmuş, aynı zamanda işlem madenciliğinin süreç uygunluğunu ve verimlilik artırma fırsatlarını etkili bir şekilde ortaya çıkardığı gösterilmiştir.[5]

Proje metodolojisi bakımından, literatürde veri madenciliği için yaygın olarak kullanılan CRISP-DM ve SEMMA gibi yöntemler olmasına karşın, bu yöntemlerin çok genel olması ve az rehberlik sağlaması sebebiyle süreç madenciliği projelerini desteklemeye yönelik özel olarak uyarlanmış proje yöntemleri oluşturmak üzere çalışmalar da yapılmıştır.[6] Van der Aalst (2011) tarafından sunulan PM²(Süreç Madenciliği Proje Yöntemi) yaklaşımı, süreç performansının iyileştirilmesi veya kurallar ve düzenlemelere uyumun sağlanmasını amaçlamıştır. Bu yöntem, hem çeşitli süreç madenciliği ve analiz tekniklerini kapsamı, hem de yapılandırılmış ve yapılandırılmamış süreçlerin analizine uygun olması bakımından fark yaratmaktadır. [7]



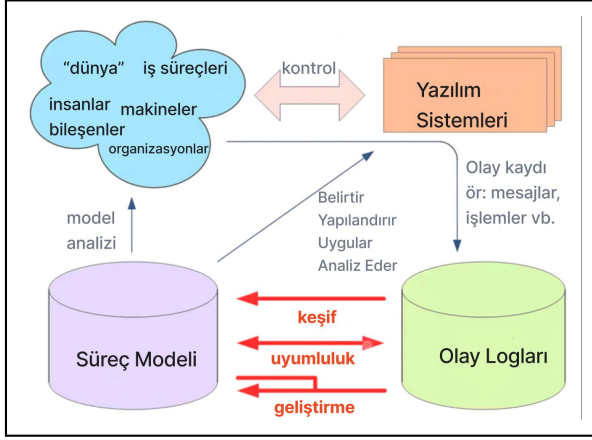
Şekil 1: PM² proje yönteminin genel hattı. [7]

2. Metodoloji

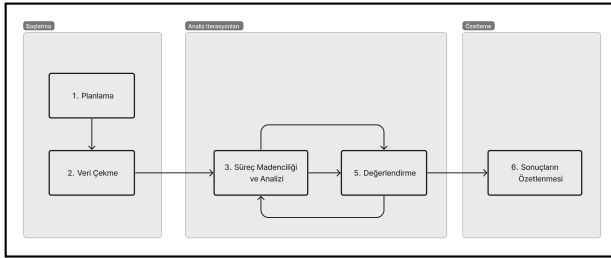
Wil van der Aalst'in 2011 yılında yayımlanan "Process Mining Manifesto" başlıklı makalesinde, süreç madenciliğinin iş süreçlerinde gerçekleşen olayları otomatik olarak keşfetmek, izlemek ve geliştirmek için kullanılan bir disiplin olduğu vurgulanmaktadır. Manifesto, iş süreçlerinin analiz edilmesiyle gerçek performans, etkinlik ve verimliliğin anlaşılmasını, darboğazların ve iyileştirme fırsatlarının belirlenmesini hedeflemektedir. [1] Süreç madenciliği olay günlükleri üzerinden otomatik olarak iş süreçlerinin modelini çıkarır, süreç akışlarını görselleştirir ve disiplinlerarası bir yaklaşım benimser.

Süreç madenciliği için temelde bir olay (event) bilgisine ihtiyaç vardır. Bu event bilgisi üç ana veriden oluşur: zaman (time) bilgisi, durum (case) bilgisi ve kimlik (id) bilgisi. Zaman bilgisi, her bir olayın gerçekleşme zamanını içerir ve olayların sıralamasını belirlemeye yardımcı olur. Olay bilgisi, gerçekleşen her bir eylemi temsil eder ve iş sürecinin adımlarını tanımlar. Kimlik bilgisi ise her bir olayın benzersiz bir tanımlayıcısını içerir, böylece olayların kaynağı ve bağlantısı tespit edilebilir. Bu üç temel bilgiye ek olarak ilgili olayın farklı verileri de dahil edilebilir ancak bu üç temel veri olmadan olay tanımlamak mümkün değildir.

Bu çalışmada proje metodolojisi bakımından önceki bölümde bahsedilen PM² metodolojisi deney kapsamında yorumlanarak Şekil 3'te görülen çerçeve oluşturulmuş ve sü-



Şekil 2: Süreç madenciliği çerçevesi. [1]



Şekil 3: Bu çalışmada kullanılan PM^2 yorumu.

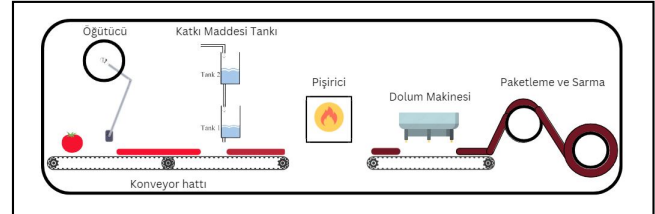
reç madenciliği proje yöntemi olarak benimsenmiştir. Planlama aşaması, süreç madenciliği kapsamında analiz edilecek üretim süreçlerinin tanımlanması ve araştırma sorularının belirlenmesini kapsamaktadır. Veri Çekme fazı, seçilen süreçlerle ilgili verilerin ilgili bilgi sistemlerinden toplanması ve bunların tek bir olay koleksiyonu halinde birleştirilmesini kapsamaktadır. Ayrıca verinin ne sıklıkla çekileceği, hangi veri özniteliklerinin çıkarılacağı gibi spesifikasyonlar da bu fazda belirlenmektedir. Bu çalışmada, PM^2 yönteminden farklı olarak Veri İşleme fazı uygulanmamıştır, çünkü toplanan veriler, sonraki bölümde de anlatıldığı üzere, kurulan iletişim mimarisi sayesinde doğrudan süreç madenciliği ve analizine hazır olay kayıtları şeklinde elde edilmektedir. Madencilik ve Analiz aşamasında, olay günlüklerine süreç madenciliği teknikleri uygulanarak süreçlerin performansı ve uyumluluğu hakkında bilgi edinilmesi amaçlanmaktadır. Çalışma kapsamında süreçler, keşif ve uyumluluk bakımından çeşitli madencilik teknikleri kullanılarak ProM yazılımı ortamında analiz edilmiştir. Değerlendirme aşaması, analiz bulgularını projenin hedeflerini gerçekleştiren iyileştirme fikirleriyle ilişkilendirmeyi amaçlamaktadır. Analiz sonuçlarında çıkan tablolar incelenerek olağandışı sonuçlar ayırtılıp bu bulguların doğruluğu araştırılmıştır. Bir çalışmada, yine PM^2 yönteminden farklı olarak Süreç İyileştirme ve Destek aşaması kapsam dahiline alınmamıştır. Bunun yerine, Sonuçların Özetlenmesi aşaması eklenmiş ve Değerlendirme fazından çıkan bulgularla süreç analizi sonuçları derlenmiştir.

3. Uygulama

Önceki bölümlerde bahsedilen yöntemlerin uygulanabilmesi ve test edilebilmesi için bir laboratuvar ortamında üretim hattı kurulmuş ve bir kesikli üretim modeli oluşturulmuştur. Laboratuvar ortamında kurulan üretim hattında aşağıdaki kriterler dikkate alınmıştır.

- Gerçek ve uygulanabilir bir üretim hattını temsil etmesi,
- Endüstriyel kontrol ürünleri kullanılarak endüstriyel veri üretimi yapılabilmesi,
- Kesintisiz veri toplanabilmesi için uygun bir haberleşme ve veritabanı altyapısı sunabilmesi,
- Farklı alt süreç sistemlerinden farklı anlamlar elde edilebilmesi. [8].

Yukarıda belirtilen kriterler kapsamında üretim hattı bir sos üretim tesisini temsil edecek şekilde kurulmuştur. Üretim hattında öğütücü sistemine karşılık gelen bir doğrusal krank mekanizması, katkı maddesi ve koruyucu eklemesine karşılık gelen çift tank kontrol sistemi, pişirme sistemine karşılık gelen endüstriyel fırın, paket dolum sistemine karşılık gelen servo motor elektronik cam kontrol sistemi ve paketleme sistemine karşılık gelen kağıt sarma sistemi kullanılmıştır. Ayrıca sistemde kesikli üretim modeline uygun olarak kullanıcı girişleri, iş emirleri, kalite onayları ve uyari mekanizmaları bulunmaktadır.



Şekil 4: Üretim hattı diyagramı.

Şekil 4'te kurulan hattın diyagramı görülmektedir. Bu diyagramda bulunan otomasyon sistemleri ve üretim makineleri ile kurulmuş olan sos üretimi süreci kesintili üretim modeli akışı Tablo 1'de görüldüğü gibidir.

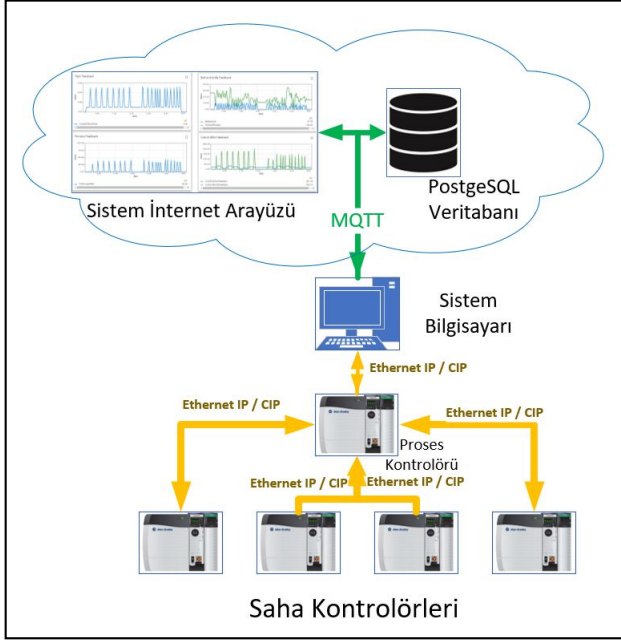
Tablo 1'de görülen sos üretimi süreç akışının adımları, endüstriyel kontrolörler ve endüstriyel nesnelerin interneti araçlarıyla gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda, kullanıcı girişleri ve iş emirleri, endüstriyel kontrolörlere hızlı ve veri kaybı olmadan iletilmesi için özel bir endüstriyel haberleşme ve veritabanı altyapısıyla entegre edilmiştir.

Şekil 5'te kurulan endüstriyel kontrol, haberleşme ve veritabanı altyapısı görülmektedir. Üretim makinelerinin tamamı kendilerine özel endüstriyel kontrolörler ile kontrol edilmektedir ve bu kontrolörlere saha kontrolörü adı verilmektedir. Saha kontrolörleri üretim sistemlerinin kontrol çevrimlerinden ve ister takiplerinden sorumludur. Saha kontrolörleri Ethernet/IP/CIP haberleşmesi aracılığı ile süreç kontrolörü ile haberleşmektedir. Süreç kontrolörü sos üretimi akış diyagramında bulunan adımların sağlanmasından, kullanıcı girişleri ve iş emirlerinin uygulanmasından ve süreç madenciliği için gerekli olan olay, zaman, süreç ve ID bilgilerinin üretilmesinden sorumludur.

Süreç kontrolörünün ürettiği süreç verileri Ethernet/IP/CIP haberleşmesi ile yardımıyla sistem bilgisayarı/sunucuya iletil-

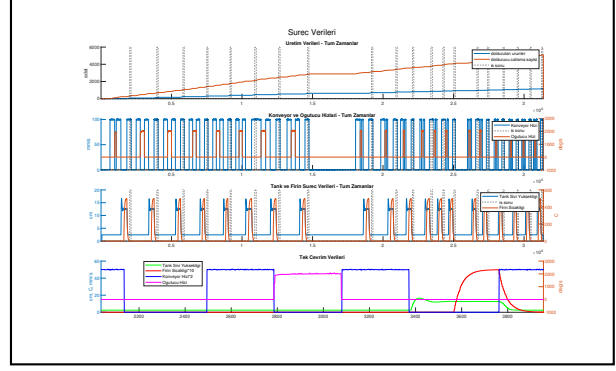
Tablo 1: Sos Üretimi Süreç Akışı

Aktivite	Süre
Mal kapıya geldi	-
Giriş kalite iş emri oluşturuldu	15 dk
Giriş kalite onayı verildi	1 saat
Hammadde kabulü yapıldı	20 dk
Mal yükleme iş emri oluşturuldu	15 dk
Öğütücü mal yüklemesi yapıldı	30 dk
Öğütme iş emri başladı	4 saat
Öğütme iş emri bitti	
Öğütücü boşaltıldı	40 dk
Tank hattı kurulumu yapıldı	2 saat
Sos üretimi iş emri başladı	1 saat
Sos üretimi iş emri bitti	
Dolum hattı iş emri başladı	1 saat 20 dk
Dolum hattı iş emri bitti	
Paketleme iş emri başladı	50 dk
Paketleme iş emri bitti	
Paletleme iş emri başladı	30 dk
Paletleme iş emri bitti	



Şekil 5: Endüstriyel haberleşme ve veritabanı altyapısı.

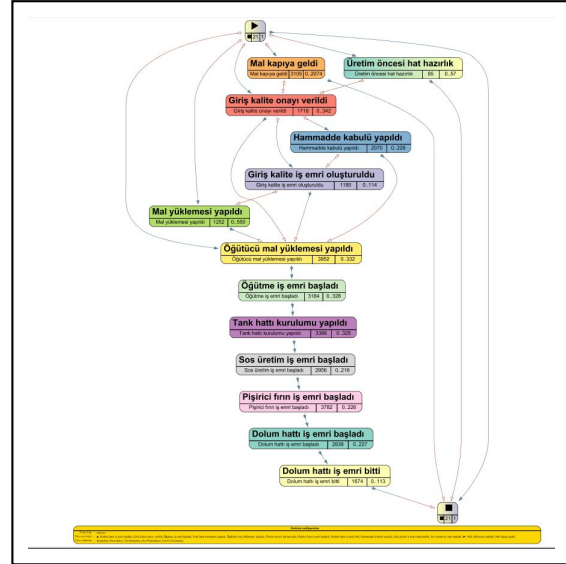
mektedir. Sunucuda toplanan veriler MQTT haberleşmesi yardımı ile internet tabanlı kullanıcı arayüzüne gönderilmekte ve arayüze ait PostgreSQL veritabanına kaydedilmektedir. Süreç madenciliği analizlerinde kullanılan veriler, ana sunucuda bulunan PostgreSQL veritabanı üzerinden elde edilmektedir. Kurulan altyapı ve otomasyon sistemleri ile birlikte sos üretim hattı hızlandırılmış olarak yaklaşık 20 iş çevrimi boyunca çalıştırılmış ve 1 saniyelik örnekleme zamanlarında veri toplaması yapılmıştır. Elde edilen süreç verileri tüm çevrim ve tek çevrim olarak Şekil 6'da görüldüğü gibidir.



Şekil 6: Sos üretim hattı süreç verileri.

4. Sonuçlar

Yapılan çalışmada, elde edilen veriler ProM kullanılarak analiz edilmiştir. ProM içerisinde XES dosyası ile yapılan görselleştirmede "log as log skeleton" yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, verilerin işlem günlüğündeki temel yapılarını dikkate alarak süreci genel çerçeveleriyle görselleştirmeye ve analiz yapmaya yardımcı olur [9]. Bu yöntem sayesinde sürecin işleyişi daha iyi anlaşılırken, potansiyel iyileştirmelerin daha görünür hale getirmeye olanak tanır.

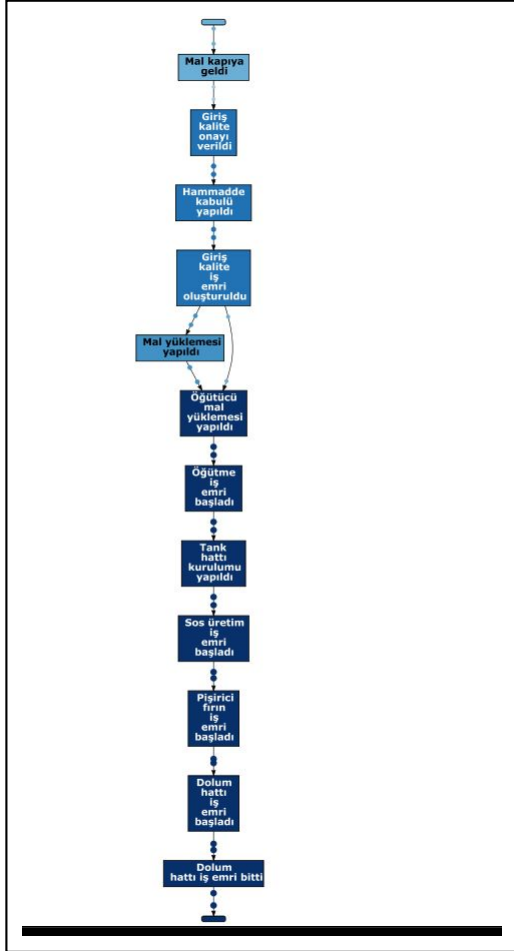


Şekil 7: Kayıtların "log as log skeleton" yöntemi ile çizimi.

Görselleştirmeler yardımıyla, süreçte planlanan adımlardan sapmalar ve anomali durumları tespit edilebilir. Bu durumda, olası sorunları ve gecikmeleri önceden fark ederek önleyici adımlar almak mümkün hale gelir. Bu uygulamalar, sürecin verimliliğini artırmak için etkili bir araç sunar. Bu kapsamda, "log as log skeleton" yöntemiyle yapılan görselleştirme, işlem günlüğündeki verilerin daha etkili bir şekilde analiz edilmesini sağlamış ve süreç keşfinin önemli bir aracı olmuştur. Bu yöntem sayesinde, işlem süreçlerinin iyileştirilmesi ve performansın artırılması için değerli bilgiler elde edilmiştir.

Bu çalışmada, üretim sürecinin analizi için Alpha Miner

yöntemi kullanılarak bir süreç modeli oluşturulmuş ve analiz sonuçlarına dayalı olarak değerlendirilmeler yapılmıştır. Doğrusal yapının belirlenmesi, sürecin temel adımlarının düzenli ve sistematik bir şekilde ilerlediğini göstermiştir. Ancak, Alpha Miner analizi sırasında bazı nadir durumlar da tespit edilmiştir. Özellikle, mal yüklemesi onayı almadan yapılan akışların varlığı, üretim sürecindeki kontrollerin eksikliğine işaret etmektedir. Bu tür durumların üretim sürecinin doğruluğunu ve güvenilirliğini olumsuz yönde etkileyebileceği söylenebilir. Mal yüklemesi onayı gibi önemli aşamaların atlanmasının, ürün kalitesi ve müşteri memnuniyeti açısından risk oluşturabileceği vurgulanmalıdır.



Şekil 8: Alfa madencisi kullanılarak yapılan analiz sonucu.

Ayrıca, analiz sonuçları, üretim işleminin diğer adımlara kıyasla sürecin en uzun süren ve verimliliği düşüren aşama olduğunu ortaya koymuştur. Üretim işlemindeki potansiyel gecikmelerin ve verimlilik düşüşlerinin nedenleri araştırılmalı ve bu aşamada iyileştirme fırsatları değerlendirilmelidir. Bu şekilde, üretim sürecinin hızlandırılması ve verimliliğinin artırılması hedeflenmelidir.

Sonuç olarak, bu çalışma süreç madenciliği analizi ile üretim sürecinin temel yapı ve performansını değerlendiren önemli bir adım olmuştur. Elde edilen sonuçlar, sürecin iyileştirilmesi için yöneticilere ve uygulayıcılara değerli bilgiler sunmaktadır.

Kontrol noktalarının gözden geçirilmesi, verimlilik düşüşlerinin giderilmesi ve sürecin akışının optimize edilmesi, üretim sürecinin kalitesini artırarak şirketin rekabet gücünü artırabilir ve buna bağlı olarak müşteri memnuniyetini artırabilir. Bu çalışma, gelecekte daha fazla analiz ve iyileştirme çalışmalarının temelini oluşturabilir ve süreç tabanlı yaklaşımların üretim endüstrisinde benimsenmesine katkı sağlayabilir.

5. Kaynakça

- [1] Van der Aalst, W. M. et al. (2012). process mining Manifesto, In: BPM 2011 Business Process Management Workshops, Lecture Notes in Business Information Processing, Vol 99., Daniel F., Barkaoui K., Dustdar S. (eds), pp. 169-194, Springer, ISBN: 978-3-642-28107-5, Berlin, Heidelberg.
- [2] D. Dakic, D. Stefanovic, I. Cosic, T. Lolic, and M. Medojevic, "Business Process Mining Application: A literature review," Proceedings of the 29th International DAAAM Symposium 2018, pp. 0866-0875, 2018. doi:10.2507/29th.daaam.proceedings.125
- [3] M. Park, M. Song, T. H. Baek, and S. Son, "Workload and Delay Analysis in Manufacturing Process Using Process Mining," in Proceedings of the Asia-Pacific Conference on Business Process Management, June 2015.
- [4] S. Rinderle-Ma and J. Mangler, "Process Automation and Process Mining in Manufacturing," in Business Process Management, pp. 3-14, University of Vienna, August 2021.
- [5] R. Lorenz, J. Senoner, W. Sihn, and T. Netland, "Using process mining to improve productivity in make-to-stock manufacturing," International Journal of Production Research, vol. 59, no. 16, pp. 4869-4880, 2021. doi:10.1080/00207543.2021.1906460
- [6] W.M.P. van der Aalst, "Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes," Springer, 2011.
- [7] M. L. van Eck, X. Lu, S. J. Leemans, and W. M. van der Aalst, "PM²: A process mining project methodology," Advanced Information Systems Engineering, pp. 297-313, 2015. doi:10.1007/978-3-319-19069-3-19
- [8] Yapakçı, B., Ayvaz, B., Ergenç, A. F. Endüstriyel Nesnelerin İnterneti Sunucusu Tasarımı, Geliştirilmesi ve Uygulanması Design, Development and Implementation of a New Industrial Internet of Things Server.
- [9] H. M. W. Verbeek, "The Log Skeleton Visualizer in ProM 6.9," International Journal on Software Tools for Technology Transfer, vol. 24, pp. 549-561, 2022.
- [10] W. M. P. van der Aalst, M. Bichler, and A. Heinzl, "Robotic Process Automation," Business and Information Systems Engineering, vol. 60, no. 4, pp. 269-272, 2018.