

Citation / Atf: Kurtuluş, F. (2026). Süreç Madenciliği: Kavramsal Çerçeve, Türleri, Zorlukları ve Geleceğe Yönelik Araştırma Yönelimleri. *Journal of Management Theory and Practices Research*, 7(1), 278–298. <https://doi.org/10.71284/jmtp.20267114>

REVIEW / DERLEME

SÜREÇ MADENCİLİĞİ: KAVRAMSAL ÇERÇEVE, TÜRLERİ, ZORLUKLARI VE GELECEĞE YÖNELİK ARAŞTIRMA YÖNELİMLERİ

PROCESS MINING: CONCEPTUAL FRAMEWORK, TYPES, CHALLENGES, AND
FUTURE RESEARCH DIRECTIONS

Fettah Kurtuluş 

¹ Dr., İstanbul Kültür Üniversitesi,  Bilgisayar Programcılığı, Türkiye, e-mail: f.kurtulus@iku.edu.tr

Etik Beyan	Ethical Statement
Bu çalışmanın hazırlanma sürecinde bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan olunur. Fettah Kurtuluş	It is declared that scientific and ethical principles were complied with during the preparation of this study and all the studies used are cited in the bibliography Fettah Kurtuluş
İntihal	Plagiarism
Bu makalede intihal taraması yapılmış ve intihal içermediği teyit edilmiştir. İntihal.net - Turnitin	This article has been scanned for plagiarism and it has been confirmed that it does not contain plagiarism. İntihal.net - Turnitin
Yapay Zekâ Kullanımı	Use of Artificial Intelligence
Bu çalışmada, YÖK'ün "Üretken Yapay Zekâ Kullanımına Dair Etik Rehber"ine uygun biçimde, üretken yapay zekâ yalnızca yazım desteği amacıyla sınırlı ölçüde kullanılmıştır. Tüm içerik, bilimsel yöntem ve etik ilkelere uygun olarak yazar(lar) tarafından üretilmiştir. Fettah Kurtuluş	In this study, generative AI tools were used only for limited writing support in line with the ethical guidelines of the Turkish Council of Higher Education. The full content was created by the author(s) in accordance with scientific and ethical standards Fettah Kurtuluş
Hakem Sayısı Referees	Değerlendirme Review
İki Dış Hakem Two External Referees	Çift Kör Hakemlik Double Blind Referee
Etik Bildirim Complaints	

academicianstudies@gmail.com



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Telif Hakkı & Lisans | Copyright & License

The copyright of the works published in our journal remains with the authors, while the journal retains the rights for commercial use. All published works are made available as open access under the *Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives (CC BY-NC-ND)* license.

Dergimizde yayımlanan çalışmaların telif hakları yazarlara, ticari kullanım hakkı dergimize aittir. Yayımlanan çalışmalar CC-BY-NC-ND lisansı altında açık erişim olarak yayımlanmaktadır.

SÜREÇ MADENCİLİĞİ: KAVRAMSAL ÇERÇEVE, TÜRLERİ, ZORLUKLARI VE GELECEĞE YÖNELİK ARAŞTIRMA YÖNELİMLERİ

Özet

Süreç madenciliği, işletmelerin bilgi sistemlerinde kayıtlı olay günlüklerinden yararlanarak iş süreçlerini keşfetme, izleme ve iyileştirmeye olanak sağlayan disiplinler arası bir yaklaşımdır. Bu yöntem, özellikle karmaşık ve çok adımlı süreçlerde darboğazların tespit edilmesi, verimsizliklerin ortaya çıkarılması ve süreçlerin daha etkin hale getirilmesi için güçlü bir araçtır. Çalışma, süreç madenciliğinin kavramsal çerçevesini ele almakta; keşif, uygunluk ve iyileştirme olmak üzere üç temel türünü sistematik biçimde incelemektedir. Ayrıca üretim, sağlık, finans ve eğitim gibi farklı sektörlerdeki uygulama örnekleri üzerinden süreç madenciliğinin geniş kullanım alanları tartışılmaktadır. Bununla birlikte, veri kalitesi, süreç karmaşıklığı ve sistem entegrasyonu gibi süreç madenciliği uygulamalarında sıklıkla karşılaşılan temel zorluklar da ele alınmaktadır. Çalışma, aynı zamanda Endüstri 4.0, yapay zekâ ve büyük veri teknolojilerinin gelişimi ile birlikte süreç madenciliğinin sunduğu geleceğe yönelik fırsatları ortaya koymaktadır. Derleme niteliğindeki bu makale, Türkçe alanyazın sınırlı sayıda bulunan süreç madenciliği çalışmalarına katkı sağlamayı ve araştırmacılar için kapsamlı bir çerçeve sunmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Süreç Madenciliği, İş Süreçleri, Veri Analitiği, Dijital Dönüşüm, Endüstri 4.0.

JEL Kodu: M15, O3, L2

PROCESS MINING: CONCEPTUAL FRAMEWORK, TYPES, CHALLENGES, AND FUTURE RESEARCH DIRECTIONS

Abstract

Process mining is an interdisciplinary approach that enables the discovery, monitoring, and improvement of business processes by utilizing event logs recorded in information systems. This method serves as a powerful tool, particularly in complex and multi-step processes, for identifying bottlenecks, uncovering inefficiencies, and enhancing overall effectiveness. The study addresses the conceptual framework of process mining and systematically examines its three main types: discovery, conformance, and enhancement. Furthermore, the article discusses the wide range of applications across various sectors, including manufacturing, healthcare, finance, and education. In addition, the paper highlights the key challenges faced in process mining practices, such as data quality issues, process complexity, and integration with existing systems. It also emphasizes the future opportunities offered by the advancement of Industry 4.0, artificial intelligence, and big data technologies. These emerging developments pave the way for real-time monitoring, predictive analysis, and sector-specific innovative solutions. As a review article, this work aims to fill a notable gap in the Turkish literature on process mining by providing a comprehensive framework for researchers. By addressing both theoretical foundations and practical applications, it seeks to contribute to the growing academic discourse on process-oriented data analysis and organizational improvement.

Keywords: Process Mining, Business Processes, Data Analytics, Digital Transformation, Industry 4.0.

JEL Codes: M15, O3, L2

1. GİRİŞ

İşletmelerin karmaşık iş süreçlerini etkin biçimde yönetebilmesi, artan veri yoğunluğu, dijital dönüşüm ve rekabet baskısı nedeniyle kritik hale gelmiştir. Bu bağlamda süreç madenciliği (process mining) yaklaşımı, bilgi sistemlerinde bulunan olay günlüklerinden (event logs) hareketle iş süreçlerini keşfetme (discovery), mevcut süreçlerin kurallara uygunluğunu inceleme (conformance) ve süreç modellerini geliştirme (enhancement) gibi işlemleri gerçekleştirerek süreçlerin gerçek zamanlı davranışlarını sayısallaştırma ve iyileştirme olanağı sunmaktadır (van der Aalst, 2011; van der Aalst ve Carmona, 2022).

Süreç madenciliği, yalnızca teknik bir yöntem olmanın ötesinde, örgütsel verimlilik, maliyet kontrolü, risk yönetimi ve mevzuata uyum gibi işletme stratejileri ile doğrudan ilişkilidir. Özellikle sağlık, lojistik, üretim ve kamu sektörü gibi alanlarda süreç madenciliği uygulamaları, süreç performansının değerlendirilmesinde ve süreç iyileştirme fırsatlarının belirlenmesinde literatürde sıkça yer almaktadır (Santos vd., 2025). Ancak bu uygulamaların yaygınlaşmasıyla birlikte veri eksikliği, olay günlüklerindeki gürültü (noise), süreçlerin karmaşıklığı ve sistem entegrasyonu gibi teknik ve yönetsel zorluklar da ortaya çıkmaktadır (van der Aalst, 2016).

Süreç madenciliği alanında yapılan öncü çalışmalar, disiplinin kavramsal ve metodolojik temellerini oluşturmuştur. van der Aalst (2011) süreç madenciliğini bilgi sistemlerindeki olay günlüklerinden süreç çıkarımı yapmayı amaçlayan bir yaklaşım olarak tanımlamış, Carmona vd. (2018) süreç madenciliği tekniklerini türlerine göre sınıflandırarak bu alanın metodolojik çerçevesini geliştirmiştir. Augusto vd. (2019) tarafından gerçekleştirilen sistematik derleme, süreç madenciliğinin farklı sektörlerdeki uygulama eğilimlerini ortaya koymuştur. Ayrıca, Bogarín, Cerezo ve Romero (2018) eğitim süreçlerinde süreç madenciliği uygulamalarını ele alarak öğrenme analitiğiyle entegrasyonuna dikkat çekmiştir.

Bu çalışma sistematik bir literatür taraması (SLR) değil, kavramsal ve anlatsal bir derleme niteliğindedir. Bu çalışmanın amacı, süreç madenciliği alanındaki temel kavramları, metodolojik yaklaşımları ve güncel araştırma yönelimlerini bütüncül bir çerçevede ele alarak, özellikle Türkçe literatürde eksikliği hissedilen kavramsal çerçeveyi kapsamlı biçimde ortaya koymaktır.

Bu çalışmanın literatüre katkıları üç temel başlık altında özetlenebilir:

- (i) Süreç madenciliği alanına ilişkin kavramsal, metodolojik ve uygulama boyutlarının Türkçe literatürde bütüncül bir çerçevede sunulması,
- (ii) Literatürdeki temel yaklaşımların (keşif, uygunluk kontrolü, iyileştirme, tahmine dayalı ve açıklanabilir süreç madenciliği) karşılaştırmalı olarak analiz edilmesi,
- (iii) Süreç madenciliğinin geleceğine yönelik olarak adaptif süreç zekâsı, açıklanabilir yapay zekâ ve gerçek zamanlı analiz odaklı bir kavramsal araştırma gündemi önerilmektedir.

1.1. Araştırma Yöntemi

Bu çalışma, süreç madenciliği alanındaki mevcut literatürü kavramsal ve bütüncül bir bakış açısıyla incelemeyi amaçlayan anlatsal (narrative) bir derleme niteliğindedir. Sistematik literatür taramalarından (SLR) farklı olarak, bu çalışmada katı bir veri tabanı seçimi ve dahil etme/dışlama kriterleri yerine, alanın teorik temellerini oluşturan öncü çalışmalar ile güncel araştırmalar birlikte değerlendirilmiştir.

Bu kapsamda ilgili literatür, “process mining”, “conformance checking” ve “process discovery” gibi anahtar kelimeler kullanılarak başlıca akademik veri tabanları (ör. Scopus, Web of Science) ve ilgili bilimsel kaynaklar üzerinden taranmıştır. Alanın kapsamlı bir şekilde ele alınabilmesi amacıyla, hem öncü ve yüksek atıf alan çalışmalar hem de güncel araştırmalar incelemeye dahil edilmiştir.

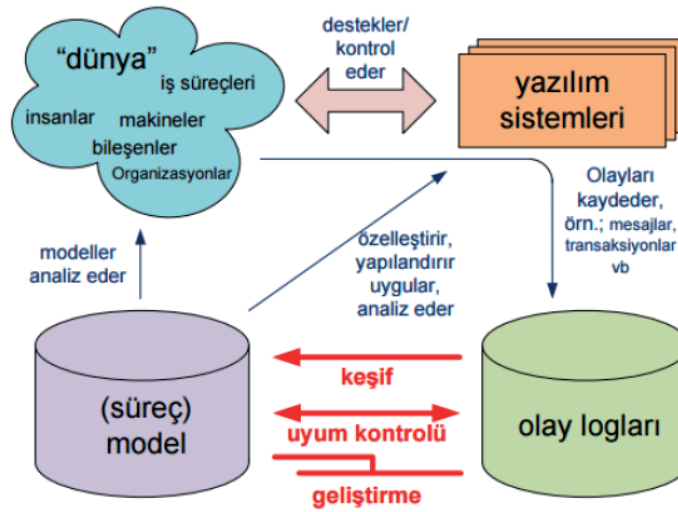
Literatür incelemesi kapsamında, süreç madenciliği alanında yüksek etkiye sahip öncü çalışmaların yanı sıra güncel eğilimleri yansıtan araştırmalar da değerlendirilmiştir. Bu çalışmalar kavramsal çerçeve, metodolojik yaklaşımlar, uygulama alanları ve geleceğe yönelik araştırma yönelimleri doğrultusunda tematik olarak analiz edilmiştir.

Bu yaklaşım, süreç madenciliği alanına ilişkin dağınık literatürü bütüncül bir perspektifle bir araya getirerek özellikle Türkçe literatürdeki kavramsal boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Giderek artan müşteri talepleri ve küresel rekabetin yoğunlaşması, işletmeleri dinamik ve belirsizliklerle dolu iş ortamında hem hizmet kalitesini hem de operasyonel verimliliği artırmak amacıyla iş süreçlerini geliştirmeye zorlamaktadır. Günümüzde birçok işletme, yürüttükleri iş süreçlerine dair ayrıntılı bilgileri bilgi sistemleri aracılığıyla üretilen olay günlüklerinde saklamaktadır. Süreç madenciliği (process mining), işletmelerdeki bilgi sistemlerinde tutulan olay günlüklerinden (event logs) yararlanarak süreçlerin gerçek davranışlarını analiz etme yöntemidir (van der Aalst, 2012). Olay günlükleri, her bir olayın hangi işleme ait olduğu, hangi zaman damgasına sahip olduğu, hangi bileşenler tarafından yürütüldüğü gibi bilgiler içerir (van der Aalst, 2016). Süreç madenciliği, süreçlerin modellenmesi (process modeling) ve analizine, veri madenciliği teknikleriyle (sınıflama, kümeleme vb.) ve iş süreci yönetimi yaklaşımlarıyla birlikte katkı sağlar (van der Aalst ve Carmona, 2022).

Şekil 1. Süreç madenciliğinin üç ana türünün konumlandırılması: keşif, uygunluk ve iyileştirme.



Kaynak: van der Aalst, 2011

Bu kavramsal çerçevede üç temel tür ön plana çıkar:

- **Süreç Keşfi Madenciliği (Process Discovery)**

Keşif, süreç madenciliğinin en temel adımındır. Olay günlüklerinden hareketle herhangi bir önceden tanımlanmış model olmadan süreç modeli çıkarılır. Bu model, iş akışlarının sırası, paralellik, koşul dallanması gibi kontrol akışı yapılarını gösterir (van der Aalst, 2011). Keşif teknikleri, örneğin Alpha Algoritması (van der Aalst, 2011), Heuristic Miner (Sarno, Haryadita vd., 2015), Fuzzy Miner (Potavin vd., 2012) gibi yaklaşımları içermektedir.

- **Uygunluk Kontrolü (Conformance Checking)**

Uygunluk, çıkarılan veya önceden oluşturulmuş ideal süreç modeli ile olay günlüğündeki gerçek süreç

davranışının karşılaştırılmasıdır. Amaç, olay günlüğü ile model arasındaki uyumsuzlukları, sapmaları belirlemek ve süreçlerin tanımlanan kurallara, prosedürlere veya standartlara uygun şekilde yürütülüp yürütülmediğini tespit etmektir (Rozinat ve van der Aalst, 2008). Bu teknikler, kontrol akışındaki sapmaları, geç kalan aktiviteleri veya modelin öngörmedik davranışlarını açığa çıkarır.

- **Geliştirme / İyileştirme (Enhancement)**

Bu türde, çıkarılan süreç modelleri veya mevcut modeller, olay günlüklerinden elde edilen yeni veriler ve bilgiler ışığında iyileştirilir ya da zenginleştirilir. Modelin performans analizi, beklenen performans kriterleri ile karşılaştırılması, darboğazların, gecikme noktalarının, kaynak kullanımındaki verimsizliklerin belirlenmesi bu başlık altında değerlendirilir (van der Aalst, 2016).

Bunlara ek olarak, süreç madenciliğinde kavramsal çerçevenin tamamlayıcı bileşenleri vardır:

Süreç madenciliğinde analizlerin çıkış noktası olay kayıtlarıdır. Olay kayıtları, bilgi sistemlerinde yapılan işlemleri kronolojik olarak saklayan veri yapıları olup süreçlerin nasıl işlediğini anlamak, modeller oluşturmak ve iyileştirmeler yapmak için kritik öneme sahiptir (van der Aalst, 2016). Bu kayıtlar genellikle olay numarası, aktivite türü ve zaman bilgisi gibi temel öznitelikleri içerir (van der Aalst, 2011). Bu yapı, süreç madenciliği algoritmalarının doğru ve verimli sonuçlar üretebilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

Olay günlükleri dijital ortamda daha fazla üretilmekte ve katlanarak büyümektedir (Manyika vd., 2011). Bu yaygınlık, varsayımsal ya da kurgusal modellere bağımlılığı azaltarak, doğrudan gözlemlenen verilere dayalı süreç analizi yöntemlerini mümkün kılmaktadır. Süreç madenciliği için başlangıç noktası bir olay günlüğüdür (van der Aalst, 2012).

Şekil 2. LMS olay günlüğü örneği

Zaman	IP Adresi	Öğrenci No	Etkinlik Türü	Ek Bilgi
8.01.2025 09:15	192.168.1.10	100123	Kaynak Görüntüleme	Konu 1
8.01.2025 09:16	192.168.1.10	100123	Kaynak Görüntüleme	Konu 2
8.01.2025 09:30	192.168.1.15	100456	Video İzleme	Ders Videosu - Bölüm 1
8.01.2025 09:45	203.123.45.67	100789	Ödev Gönderme	Ödev 1 - Çözüm Yükleme
8.01.2025 10:00	203.123.45.67	100789	Kaynak İndirme	Ders Notları.pdf
8.01.2025 10:15	145.124.25.65	100123	Forum Gönderisi	Ders Videosu - Bölüm 1
8.01.2025 10:20	155.123.23.14	100456	Klasör Görüntüleme	Pratik Dersler (Tanı)
8.01.2025 10:35	192.168.1.12	100123	Sınav Denemesi Başlatma	Sınav 1
8.01.2025 11:00	192.168.1.12	100123	Sınav Denemesi Tamamlama	Sınav 1
8.01.2025 11:30	192.168.1.15	100456	Video İzleme	Ders Videosu - Bölüm 2

Zaman Damgası Olay Kimliği Etkinlik Türü Ek Bilgiler

Kaynak: Kurtuluş, 2025

Süreç Modeli Gösterim Dili: Petri ağları, BPMN, akış diyagramları gibi ifadeler kullanılır. Modelin okunabilirliği, analiz edilebilirliği önemlidir (van der Aalst, 2016).

Kalite Ölçütleri: Keşfedilen modelin uygunluğu, doğruluğu, sadeliği, genelleştirilebilirliği gibi ölçütler değerlendirilir. Örneğin uygunluk (fitness), kesinlik (precision), genellebilirlik (generalization) gibi metrikler kullanılır (de Leoni vd., 2014).

Performans ve Uyumluluk: Zaman gecikmeleri, kaynak kullanımı, maliyet, hizmet seviyesi gibi performans ölçütleri; aynı zamanda süreçlerin standartlara, mevzuata uygunluğu gibi uyum ölçütleri de bu çerçevenin içinde yer alır (van der Aalst ve Carmona, 2022).

Bu kavramsal çerçeve, süreç madenciliğinin hem teorik temellerini hem pratik uygulama alanlarını anlamada yön gösterir.

2.1. Süreç Keşfi Madenciliği

Süreç keşfi (process discovery), süreç madenciliğinin en temel ve en yaygın kullanılan türüdür. Bu yaklaşımda, önceden tanımlanmış herhangi bir süreç modeli bulunmaksızın olay günlüklerinden hareketle süreçlerin kontrol akışı otomatik olarak çıkarılır (van der Aalst, 2011). Olay günlüklerinde kayıtlı vakalar (cases), aktiviteler ve zaman damgaları üzerinden oluşturulan süreç modeli, işletmelerin süreçlerinin gerçek davranışını görselleştirmeye olanak sağlar.

Şekil 3. Süreç keşfi girdi ve çıktı açısından açıklanması



Kaynak: Bogarın vd., 2017

Şekil 3'te gösterilen yapı, süreç keşfi yaklaşımının veri odaklı dönüşüm mantığını ortaya koymaktadır. Bu modelde olay günlüğü (event log), önceden tanımlanmış süreç şemasına ihtiyaç duyulmaksızın doğrudan algoritmik işleme tabi tutulmakta ve çıktı olarak kontrol akışı yapısını temsil eden bir süreç modeli üretilmektedir. Bu dönüşüm, süreç madenciliğinin geleneksel iş süreci modelleme yaklaşımlarından temel farkını göstermektedir: model, varsayımsal tasarımdan değil, gerçekleşmiş davranıştan türetilmektedir.

Şekil 3 aynı zamanda süreç keşfinin tümevarımsal karakterini vurgular. Girdi olarak kullanılan olay günlüğünün kalitesi, varyant sayısı ve gürültü düzeyi, elde edilen modelin karmaşıklığını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle keşif aşaması yalnızca teknik bir model üretim süreci değil, aynı zamanda veri kalitesi ile model anlaşılabilirliği arasındaki dengenin kurulduğu analitik bir karar sürecidir.

Keşif sürecinde en çok kullanılan yöntemlerden bazıları Alpha algoritması (van der Aalst, 2011), Heuristic Miner ve Inductive Miner gibi tekniklerdir. Alpha algoritması, süreç modellerini olayların sıralanma ilişkisine göre çıkarırken; Heuristic Miner (Augusto vd., 2019), verideki gürültüyü azaltmak için istatistiksel eşik değerler kullanır. Inductive Miner ise hiyerarşik bir yaklaşım benimseyerek modellerin daima sound ve uyumlu olmasını garanti eder (Leemans, Fahland, ve van der Aalst, 2013). Literatürde tartışılan başlıca metodolojik yaklaşımların yapılandırılmış bir karşılaştırmasını sağlamak amacıyla, Tablo 1, temel süreç keşif algoritmalarını özellikleri, avantajları ve sınırlamaları açısından özetlemektedir.

Tablo 1. Süreç Keşfi Algoritmalarının Karşılaştırılması

Algoritma	Temel Yaklaşım	Güçlü Yönler	Sınırlılıklar	Gürültüye Dayanıklılık	Çıktı Model Özelliği	Kullanım Alanı
Alpha Algorithm	Olaylar arasındaki doğrudan ardışıklık ilişkilerine dayanır	Basit, teorik temel	Gürültüye duyarlı	Çok yüksek	Petri net tabanlı	Akademik
Heuristic Miner	Frekans tabanlı	Gürültü toleransı	Parametre bağımlı	Orta	Daha okunabilir süreç modelleri üretir, esnek yapı	Gerçek hayat veri setleri
Inductive Miner	Böl-parçala yaklaşımı	Sound model üretir	Basitleştirme kaybı	Düşük	Blok yapılı, formal olarak geçerli model üretir	Endüstriyel ve büyük veri uygulamaları

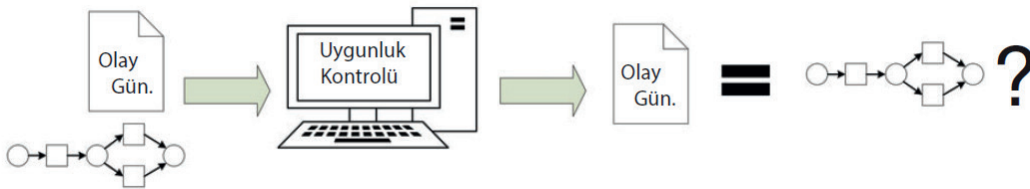
Güncel araştırmalar, keşif algoritmalarının yalnızca kontrol akışını değil, aynı zamanda kaynak kullanımı, maliyet ve zaman gibi farklı boyutları da kapsayacak şekilde çok perspektifli süreç modelleri üretebildiğini göstermektedir. Ayrıca, büyük veri ortamlarında (ör. IoT sistemleri, kurumsal ERP yazılımları) ölçeklenebilir keşif yöntemleri geliştirilmekte, yapay zekâ ve makine öğrenmesi tabanlı hibrit yaklaşımlar süreç modellerinin daha doğru çıkarılmasına katkı sağlamaktadır.

Sonuç olarak keşif, işletmelerin “gerçekte ne olduğunu” görmelerini sağlayarak süreç optimizasyonu, darboğaz analizi ve sürekli iyileştirme çalışmaları için temel oluşturur.

2.2. Uygunluk Kontrolü

Uygunluk kontrolü (conformance checking), süreç madenciliğinde çıkarılan veya önceden tanımlanmış bir süreç modelinin, gerçek olay günlükleri ile karşılaştırılmasına dayalıdır. Amaç, olay günlüklerinde kaydedilen davranışların modele ne derece uyduğunu, hangi noktalarda sapmaların bulunduğunu ve sürecin öngörülen işleyişten ne ölçüde farklılaştığını ortaya koymaktır (Rozinat ve van der Aalst, 2008).

Şekil 4. Süreç uygunluk kontrolü girdi ve çıktı açısından açıklanması



Kaynak: Bogarín vd., 2017

Şekil 4'te sunulan yapı, uygunluk kontrolünün çift yönlü karşılaştırma mantığını göstermektedir. Bu yaklaşımda hem süreç modeli hem de olay günlüğü analizin girdisi olarak kullanılmakta, çıktı olarak ise sapmalar, uyum derecesi ve performans farklılıkları elde edilmektedir. Bu yapı, süreç keşfinden farklı olarak doğrulayıcı bir analiz yaklaşımına işaret etmektedir.

Şekildeki girdi-çıkış akışı, uygunluk kontrolünün normatif doğasını ortaya koymaktadır. Burada temel soru “Süreç nasıl işliyor?” değil, “Süreçin nasıl işlemesi gerekiyordu ve gerçekte nasıl işledi?” sorusudur. Bu bağlamda Şekil 4, süreç madenciliğinin denetim, kalite yönetimi ve mevzuata uyum alanlarındaki stratejik rolünü kavramsal olarak görünür kılmaktadır.

Bu yaklaşım sayesinde kurumlar yalnızca süreçlerini görselleştirmekle kalmaz, aynı zamanda mevzuata uyum, standart prosedürlerin takibi ve kalite yönetimi açısından da denetim yapabilirler. Örneğin, sağlık sektöründe klinik protokollere uyumun veya finans sektöründe düzenleyici otoritelerin zorunlu kıldığı süreçlerin kontrolü bu yöntemle analiz edilebilmektedir (Carmona vd., 2018).

Uygunluk analizinde kullanılan en önemli ölçütlerden bazıları uygunluk (fitness), kesinlik (precision), genellenebilirlik (generalization) ve sadelik (simplicity) olarak öne çıkmaktadır. Uygunluk (fitness), olay günlüklerindeki davranışların modele ne ölçüde sığıdığını ölçerken; kesinlik (precision), modelin olay günlüğünde bulunmayan davranışları ne kadar izin verdiğini değerlendirir. Genellenebilirlik (generalization), modelin gelecekteki potansiyel davranışları kapsayıp kapsamadığını, sadelik (simplicity) ise modelin anlaşılabilirlik derecesini gösterir (van der Aalst, 2016).

Güncel çalışmalarda, uygunluk kontrolü yalnızca statik süreç uyumu ile sınırlı kalmamakta; aynı zamanda performans sapmalarını, kaynak kullanımındaki verimsizlikleri ve iş akışındaki darboğazları da ortaya çıkaracak biçimde geliştirilmiştir (Carmona vd., 2018). Böylece süreç madenciliği, sadece model ile günlük arasındaki uyumsuzlukları değil, aynı zamanda operasyonel verimliliğe ilişkin kritik bilgileri de sunmaktadır.

2.3. İyileştirme

İyileştirme (enhancement), süreç madenciliğinin üçüncü temel bileşeni olup mevcut süreç modellerinin olay günlüklerinden elde edilen yeni bilgilerle zenginleştirilmesini ve optimize edilmesini hedefler. Bu yaklaşım sayesinde süreç modelleri yalnızca kontrol akışı düzeyinde kalmaz; aynı zamanda performans, kaynak kullanımı, maliyet ve zaman boyutları da modele entegre edilebilir (van der Aalst, 2016).

Şekil 5. Süreçlerin iyileştirilmesi girdi ve çıktı açısından açıklanması



Kaynak: Bogarín vd., 2017

Şekil 5'te gösterilen iyileştirme süreci, süreç madenciliğinin döngüsel ve gelişimsel doğasını temsil etmektedir. Bu aşamada model yalnızca doğrulanmaz veya keşfedilmez; aynı zamanda performans, zaman, maliyet ve kaynak boyutları eklenerek zenginleştirilir. Böylece süreç analizi statik bir modelleme sürecinden dinamik bir optimizasyon sürecine dönüşmektedir.

Şekil 3 ve Şekil 4 ile birlikte değerlendirildiğinde Şekil 5, süreç madenciliğinin üçlü yapısını tamamlamaktadır: keşif (tanımlama), uygunluk (değerlendirme) ve iyileştirme (dönüştürme). Bu üç aşama birlikte ele alındığında süreç madenciliği, organizasyonel öğrenme ve sürekli iyileştirme mekanizmasının veri temelli bir aracı haline gelmektedir. Bu üç görsel birlikte değerlendirildiğinde süreç madenciliğinin doğrusal değil, iteratif bir analiz döngüsü sunduğu görülmektedir.

İyileştirme teknikleri genellikle üç amaca yöneliktir:

1. Performans Analizi: Zaman gecikmeleri, darboğazlar ve kaynak kullanımındaki dengesizlikler belirlenerek süreç verimliliği artırılır (Bolt ve van der Aalst, 2015).
2. Modelin Zenginleştirilmesi: Olay günlüklerinden elde edilen ek bilgiler (ör. aktörler, roller, maliyetler) mevcut süreç modeline eklenerek daha kapsamlı ve çok boyutlu bir görünüm elde edilir (Carmona vd., 2018).
3. Tahmine Dayalı İyileştirme: Makine öğrenmesi ve yapay zekâ tabanlı yaklaşımlar kullanılarak süreçlerdeki gelecekteki sapmalar veya darboğazlar öngörülür ve proaktif önlemler alınır (Teinmaa vd., 2019).

Güncel çalışmalar, iyileştirme sürecinde çok perspektifli modelleme (kontrol akışı, kaynak, organizasyon, zaman boyutlarının birlikte ele alınması) ve gerçek zamanlı veri analitiği gibi yaklaşımlara odaklanmaktadır (Carmona vd., 2018). Böylece süreç modelleri statik yapılar olmaktan çıkarak, organizasyonların değişen koşullara uyum sağlamasına yardımcı olan dinamik araçlara dönüşmektedir.

2.4. Süreç Madenciliğinde Kullanılan Araçlar

Süreç madenciliğinde en çok tercih edilen platformlardan biri olan ProM, açık kaynak kodlu yapısı sayesinde araştırmacılara geniş bir esneklik sunmakta ve süreç keşfi, uygunluk analizi ile iyileştirme gibi pek çok işlevi desteklemektedir (van der Aalst vd., 2009). Kullanıcı dostu tasarımı ve güçlü algoritmalarıyla öne çıkan Disco, özellikle veri keşfi ve görselleştirme aşamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Günther ve Rozinat, 2012). Kurumsal ölçekli projelerde sıkça tercih edilen Celonis ise, gerçek zamanlı analiz kapasitesi ve güçlü entegrasyon yetenekleriyle süreç madenciliği alanında lider çözümlerden biri olarak kabul edilmektedir (van der Aalst, 2018).

Süreç madenciliğinde öne çıkan yazılımlar arasında ProM, Disco ve Celonis, farklı özellikler barındırmakla birlikte birbirini tamamlayan nitelikler sunmaktadır. Çelik ve Ayçetin'in çalışmasında, ProM'un açık kaynak yapısı sayesinde akademik araştırmalara esneklik sağladığı; Disco'nun pratik kullanımı ve hızlı modelleme imkânıyla iş dünyasına hitap ettiği; Celonis'in ise büyük veri setlerini işleyebilme kapasitesi ve entegrasyon yetenekleriyle öne çıktığı ifade edilmektedir. Her aracın belirli kısıtları bulunmakla birlikte, en uygun tercih kullanım amacına bağlıdır (Çelik ve Akçetin, 2018). Metodolojik yaklaşımlara ek olarak, süreç madenciliği araçları yetenekleri, kullanılabilirlikleri ve uygulama alanları açısından önemli ölçüde farklılık gösterir. Tablo 2, literatürde yaygın olarak kullanılan araçların karşılaştırmalı bir özetini sunmaktadır.

Tablo 2. Süreç Madenciliği Araçlarının Karşılaştırılması

Araç	Tür	Temel Özellikler	Güçlü Yönler	Zayıf Yönler	Kullanım Alanı
ProM	Açık Kaynak	Çok sayıda algoritma ve eklenti desteği sunar	Esnek, çok algoritma	Karmaşık	Akademik çalışmalar ve araştırma
Disco	Ticari	Hızlı süreç keşfi ve güçlü görselleştirme araçları sunar	Kullanıcı dostu, hızlı analiz imkânı	Sınırlı analiz	İş dünyası ve operasyonel analiz
Celonis	Kurumsal	Gerçek zamanlı süreç analizi ve güçlü entegrasyon altyapısı	Büyük veri işleme kapasitesi, süreç zekâsı yaklaşımı	Maliyet	Büyük ölçekli organizasyonlar

Literatürde çok sayıda yazılım geliştirilmiş olsa da, akademik araştırmalarda en yaygın kullanılan araçlar ProM, Disco ve Celonis'tir.

2.5. Süreç Madenciliği Yaklaşımlarının Karşılaştırmalı Analizi ve Literatürdeki Eğilimler

Süreç madenciliği literatüründe yer alan çalışmalar, farklı metodolojik yaklaşımlar, veri türleri ve uygulama amaçları doğrultusunda çeşitlilik göstermektedir. Bu bağlamda, mevcut literatürdeki yaklaşımların sistematik ve analitik biçimde karşılaştırılması, alanın gelişim yönünün ve araştırma boşluklarının ortaya konulması açısından önem taşımaktadır. Bu amaçla, Tablo 3'te süreç madenciliği alanında öne çıkan çalışmalar, yaklaşım türleri, güçlü ve zayıf yönleri ile uygulama bağlamları açısından karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 3. Süreç Madenciliği Yaklaşımlarının Karşılaştırmalı Analizi

Çalışma	Yöntem	Veri Türü	Temel Katkı	Güçlü Yönler	Sınırlılıklar	Belirlenen Araştırma Boşluğu
van der Aalst vd., 2004	PM Temel Çerçeve	Olay Günlükleri	Süreç madenciliğini tanımlayarak olay günlüklerinden süreç modeli çıkarımına yönelik araştırma gündemi sunması.	Alanın teorik temelini oluşturma; süreç keşfi ve uygunluk denetimini sistematikleştirme; geniş uygulama alanı sunması.	Gürültülü ve eksik veri ile başa çıkma konularında sınırlı çözüm; erken dönem algoritmaların karmaşık süreçlerde yetersiz kalması	Gürültülü veri işleme ve çok perspektifli süreç madenciliği yaklaşımlarının geliştirilmesi gerekliliği
Günther & van der Aalst., 2007	Süreç Keşfi	Karmaşık Günlükler	Karmaşık süreçlerde oluşan "spagetti" modelleri sadeleştirmek için çok perspektifli metriklere dayalı öneri	«Spagetti» modelleri okunabilir haritalara dönüştürme.	Bilgi kaybı riski; parametre ayarına bağımlılık; model doğruluğu ile basitlik arasında trade-off	Otomatik parametre optimizasyonu, doğruluk-basitlik dengesi ve açıklanabilir süreç soyutlama eksikliği
Roziyat & van der Aalst., 2008	Uygunluk Kontrolü	Olay Günlükleri & Süreç Modelleri	Gerçek davranış ile tasarlanan model arasındaki farkları ölçen ilk metod.	Sapmaları «token replay» ile sayısal ve görsel olarak kanıtlama.	Petri net bağımlılığı; büyük veri ve karmaşık süreçlerde hesaplama maliyeti; açıklanabilirlik sınırlı	Ölçeklenebilir uyum teknikleri, gerçek zamanlı analiz, çok perspektifli uyumluluk analizi eksikliği
Maggi vd., 2011	Bildirimsel Keşif	Olay Günlükleri	Katı akışlar yerine kısıt tabanlı esnek süreç modelleme.	Değişkenliği çok yüksek süreçlerde «çerçeve» kurallar oluşturma.	Kullanıcı müdahalesine bağımlılık; otomasyon sınırlı; büyük veri setlerinde ölçeklenebilirlik problemi	Tam otomatik bildirimsel model keşfi, ölçeklenebilirlik eksikliği
van der Aalst vd., 2012	Küresel Manifesto	Çoklu Veri	Disiplinin 6 kuralını ve 11 zorluğunu belirleyerek standartlaşma sağlama.	Akademik ve endüstriyel topluluğu ortak vizyonda birleştirme.	Teknik bir uygulama kılavuzu içermemesi.	Büyük veri entegrasyonu standartları.

Leemans vd., 2014	Süreç Keşfi	Olay Günlükleri	Olay günlüklerinden gürültü, uyumlu ve blok-yapılı süreç modelleri için polinomsal zamanlı keşif algoritması önermesi.	Gürültüye karşı yüksek direnç ve model geçerlilik garantisi.	Gürültülü veri karşısında hassasiyet; varyasyon yüksekse model basitleştirme ihtiyacı; parametre bağımlılığı	Gürültü toleransı, model genelleme, eksikliği
Rojas vd., 2016	Sağlık PM Metodolojisi	Akademik çalışmalar, vaka analizleri	Sağlık alanında süreç madenciliği uygulamalarını kapsamlı şekilde analiz ederek kullanılan veri türleri, teknikler ve araçlar hakkında sistematik bir çerçeve sunması	Geniş kapsamlı analiz; sağlık alanındaki uygulamaları kategorize etmesi; trend ve gelecek yönelimleri ortaya koyması	Yeni yöntem önermemesi; ikincil veri bağımlılığı; ampirik doğrulama sınırlı	Sağlık verisi standardizasyonu, veri entegrasyonu, gerçek zamanlı analiz ve hasta-merkezli süreç modelleme eksikliği
Tax vd., 2017	Tahminleyici İzleme	Olay Günlükleri	LSTM kullanılarak bir sonraki aktiviteyi tahmin etme.	Karmaşık zaman bağımlılıklarını öğrenerek yüksek doğruluk sunma.	Model kararlarının iş mantığıyla açıklanamaması (kara kutu).	Tahminlerin «neden» yapıldığının açıklanması.
Bogarın vd., 2017	Eğitsel PM	LMS Günlükleri	Öğrenci davranış örüntülerini analiz eden metodolojik inceleme.	Öğrenme süreçlerindeki tıkanıklıkları ve başarı faktörlerini belirleme.	Pedagojik bağlamın veriyle ilişkilendirilme zorluğu.	Kişiselleştirilmiş öğrenme yolları için anlamlı öneri.
Erdoğan & Tarhan, 2018	Sistematik Haritalama (SM)	Olay Günlükleri ve Akademik Literatür (2005–2017)	Sağlıkta PM kullanımı için kapsamlı bir sınıflandırma şeması ve literatür yol haritası oluşturulması. 172 birincil çalışmayı incelemiştir.	Çok geniş bir literatür havuzunu (2428 yayın) taraması; 21 farklı tıbbi uzmanlık alanını sınıflandırması.	Sadece İngilizce yayınlarla sınırlı olması;	Klinik yollarında çoklu departman analizi eksikliği; gerçek zamanlı operasyonel destek ve tahminleme modellerinin yetersizliği.
Augusto vd., 2019	Otomatik Keşif	Gerçek ve sentetik olay günlükleri	Doğruluk ve basitlik dengeyi optimize eden ileri düzey algoritma.	Kapsamlı karşılaştırma, standardizasyon, farklı kalite metriklerini birlikte değerlendirme.	Yeni yöntem önermemesi; belirli veri setlerine bağımlılık	Algoritma seçimi, akademik karşılaştırma, araç değerlendirme

Teinmaa vd., 2019	Karşılaştırmalı Analiz	Olay Günlükleri	Tahminleyici PM yöntemleri için ilk kapsamlı kıyaslama (benchmark) çerçevesi.	Farklı tekniklerin performans sınırlarını bilimsel olarak kanıtlama.	Yeni model önermemesi; belirli veri setlerine bağımlılık; gerçek zamanlı uygulama sınırlı	Standart kıyaslama eksikliği ve heterojen veri setleri ile değerlendirme metrikleri nedeniyle yöntemler arası karşılaştırılabilirliğin düşük olması
Galanti vd., 2020	Açıklanabilir PM	Olay Günlükleri	Tahminleyici modeller için açıklanabilirlik taksonomisi ve çerçevesi.	Tahminlerin arkasındaki mantığı sunarak kullanıcı güvenini artırma.	Açıklamaların hesaplama maliyeti yüksek; gerçek zamanlı kullanım sınırlı; açıklama kalitesi veri setine bağlı	Açıklama kalitesinin ölçümü, gerçek zamanlı XAI entegrasyonu ve kullanıcı odaklı açıklama tasarımının eksikliği
Kratsch vd., 2021	Tahminleyici Süreç Madenciliği	Olay Günlükleri	Derin öğrenme (LSTM, DNN) ile klasik ML (RF, SVM) yöntemlerinin sistematik performans karşılaştırması	Çoklu veri seti kullanımı; deneysel analiz; DL vs ML farkını net ortaya koyması; pratik çıkarımlar sunması	Sınırlı veri seti; gerçek zamanlı uygulama değerlendirilmesi yok; açıklanabilirlik konusu sınırlı	Veri özelliklerine duyarlı model seçim mekanizmalarının eksikliği ve farklı veri türlerinde model performansının genellebilirliğinin sınırlı olması
van der Aalst, 2023	OCPM Temelleri	Nesne Odaklı Olay Günlükleri	Geleneksel case-centric yaklaşımı aşarak çok nesnel süreçlerin modellenmesi için OCPM ve OCED kavramlarını tanımlaması	Gerçek süreçleri daha doğru modelleme; çoklu nesne ilişkilerini analiz edebilme; daha zengin süreç içgörülere	Veri modelleme karmaşıklığı; mevcut araç desteğinin sınırlı olması;	OCPM için standart veri modelleri, ölçeklenebilir algoritmalar ve tahminleyici + açıklanabilir OCPM entegrasyonu eksikliği
Vitale vd., 2025	Süreç Madenciliği Tabanlı Dijital İkiz	Olay günlükleri, endüstriyel süreç verisi	Süreç madenciliği ile elde edilen süreç modellerini kullanarak dijital ikiz (digital twin) oluşturulması ve süreçlerin simülasyon yoluyla analiz edilmesi	Gerçek süreçlerin dinamik simülasyonu; karar destek; operasyonel iyileştirme	Sınırlı gerçek dünya doğrulaması; yüksek model karmaşıklığı; alan bağımlılığı (özellikle endüstriyel sistemler).	Süreç madenciliği ve dijital ikiz entegrasyonunda standart metodolojilerin ve gerçek zamanlı senkronizasyon mekanizmalarının eksikliği

Tablo 3 incelendiğinde, süreç madenciliği literatürünün 2004'ten günümüze tanımlayıcı bir disiplinden tahminleyici ve giderek yönlendirici yaklaşımların öne çıktığı bir ekosisteme doğru evrildiği

görülmektedir. Erken dönem çalışmalar, temel keşif algoritmaları ve manifestolar aracılığıyla disiplinin kavramsal sınırlarını belirlerken; 2010'lu yıllarda hizalama ve çok perspektifli analiz teknikleri ile analiz derinliği ve kalite ölçütleri önemli ölçüde gelişmiştir.

2017 sonrasında ise derin öğrenme ve otomatik modelleme yaklaşımlarının entegrasyonu ile veri odaklı ve tahmine dayalı süreç analitiği ön plana çıkmış; bu gelişim, beraberinde açıklanabilirlik, güvenilirlik ve gizlilik odaklı süreç madenciliği gereksinimlerini de gündeme getirmiştir. 2023 ve sonrası literatürde, geleneksel vaka odaklı analizlerin ötesine geçilerek nesne odaklı süreç madenciliği yaklaşımlarının geliştiği ve karmaşık, iç içe geçmiş süreç yapılarının daha gerçekçi biçimde modellenmesine yönelik çalışmaların arttığı gözlemlenmektedir. Bu doğrultuda, dijital ikizler ve akıllı otomasyon sistemleri ile entegrasyon, süreç madenciliğinin gelecekteki gelişim yönlerinden biri olarak öne çıkmaktadır.

Bu dönüşüm, yalnızca metodolojik bir değişimi değil, aynı zamanda süreç madenciliğinin kullanım amacındaki evrimi de yansıtmaktadır. Başlangıçta süreçlerin modellenmesi ve sapmaların tespiti ön plandayken, günümüzde süreçlerin gelecekteki davranışlarının tahmin edilmesi, gerçek zamanlı izlenmesi ve karar destek mekanizmalarına entegre edilmesi giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

Bununla birlikte, literatürde önemli araştırma boşluklarının devam ettiği görülmektedir. Özellikle açıklanabilirlik, gerçek zamanlı analiz ve çok nesneli süreçlerin yönetimi alanlarında bütünlük ve ölçeklenebilir çözümlerin sınırlı olduğu dikkat çekmektedir.

Bu çalışma, söz konusu boşlukları dikkate alarak süreç madenciliği yaklaşımlarını daha bütüncül, açıklanabilir ve uygulamaya dönük bir perspektifle ele almayı amaçlamaktadır.

3. SÜREÇ MADENCİLİĞİ UYGULAMA ALANLARI

Süreç madenciliği yalnızca iş süreçlerinin görselleştirilmesiyle sınırlı değildir; aynı zamanda farklı sektörlerde operasyonel verimliliğin artırılması, müşteri memnuniyetinin geliştirilmesi ve mevzuata uyumun sağlanması için önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Literatürde en sık vurgulanan dört temel uygulama alanı şunlardır: iş süreçleri optimizasyonu, mevzuata uyum, performans analizi ve müşteri yolculuğu analizi (van der Aalst, 2016).

a. İş Süreçleri Optimizasyonu: İşletmelerde operasyonel süreçlerin keşfi ve darboğazların belirlenmesi, süreç madenciliğinin en yaygın uygulama alanıdır. Üretim sektöründe yapılan çalışmalar, süreç madenciliği teknikleri ile üretim hatlarında zaman kayıplarının tespit edilip süreçlerin yeniden tasarlanmasıyla maliyetlerin düşürüldüğünü göstermektedir (Augusto vd., 2019).

b. Mevzuata Uyum Çalışmaları: Mevzuat ve standartlara uyum, özellikle finans, sağlık ve kamu yönetimi gibi yüksek regülasyona tabi sektörlerde kritik öneme sahiptir. Süreç madenciliği, olay günlüklerini kullanarak süreçlerin belirlenen kurallar çerçevesinde yürütülüp yürütülmediğini analiz eder. Örneğin bankacılıkta, kara para aklamayı önleme prosedürlerinin kontrolünde etkin şekilde kullanılmaktadır (Carmona vd., 2018).

c. Performans Analizi: Performans analizi, süreçlerin hız, maliyet ve kaynak kullanımına ilişkin ölçütlerle değerlendirilmesine odaklanır. Süreç madenciliği teknikleri, darboğazların ve gecikmelerin kaynağını belirleyerek süreç performansının artırılmasına katkı sağlamaktadır. Özellikle sağlık sektöründe hasta akışlarının analiz edilmesi, tedavi sürelerinin kısaltılması ve kaynakların daha etkin kullanılması için süreç madenciliği yaygın olarak kullanılmaktadır (Santos vd., 2025).

d. Müşteri Yolculuğu Analizi: Müşteri yolculuğu, müşterilerin ürün veya hizmetle etkileşim sürecinde izledikleri adımları ifade eder. Süreç madenciliği, e-ticaret ve hizmet sektörlerinde müşteri davranışlarını olay günlüklerinden çıkararak müşteri memnuniyetini artırmaya yönelik stratejilerin geliştirilmesini sağlar (Halvorsrud vd., 2024).

e. Eğitim ve Öğretim Süreçlerinin Geliştirilmesi: Süreç madenciliği yalnızca işletme, sağlık ya da finans sektörlerinde değil, aynı zamanda eğitim alanında da etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Öğrenme yönetim sistemlerinde (LMS) kaydedilen olay günlükleri, öğrencilerin öğrenme davranışlarını, etkileşim kalıplarını ve başarı düzeylerini incelemek için değerli bir veri kaynağıdır. Bu kapsamda süreç madenciliği, öğrenci davranışlarının analiz edilmesi, öğrenme süreçlerinde darboğazların belirlenmesi, kişiselleştirilmiş öğrenme yollarının geliştirilmesi ve akademik performansın tahmini gibi amaçlarla kullanılmaktadır (Bogarín vd., 2017). Türkiye’de yapılan çalışmalarda da süreç madenciliğinin eğitim bağlamında kullanımı giderek artmaktadır. Özellikle öğrenme analitikleri ile birleştirildiğinde, süreç madenciliği, öğrenci başarısını artırmaya yönelik güçlü bir karar destek mekanizması sunmaktadır. Bu bağlamda Kurtuluş’un (2025) doktora tezinde, LMS verileri üzerinde süreç madenciliği ve makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak öğrenci davranış modelleri çıkarılmış ve akademik performans tahmini yapılmıştır. Bu çalışma, süreç madenciliğinin eğitimde hem teorik hem de pratik katkılar sağlayabileceğini ortaya koymaktadır (Kurtuluş, 2025).

4. SÜREÇ MADENCİLİĞİNDE KARŞILAŞILAN ZORLUKLAR

Süreç madenciliği, iş süreçlerinin analizinde güçlü bir yöntem olmakla birlikte, uygulamada çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Literatürde ve Süreç Madenciliği Manifestosunda (van der Aalst vd., 2012) bu zorluklar kapsamlı biçimde tartışılmıştır. Aşağıda en kritik başlıklar özetlenmiştir.

4.1. Veri Kalitesi ve Olay Günlüklerinin Hazırlanması

Olay günlükleri, süreç madenciliğinin temel veri kaynağıdır; ancak eksik, hatalı veya tutarsız kayıtlar analizlerin güvenilirliğini azaltmaktadır. Manifesto’da “Finding, Merging, and Cleaning Event Data” başlığı altında vurgulandığı gibi, farklı sistemlerden elde edilen verilerin birleştirilmesi, temizlenmesi ve analiz için uygun hale getirilmesi önemli bir güçlük oluşturmaktadır (van der Aalst vd., 2012).

4.2. Süreç Karmaşıklığı ve Spagetti Modelleri

Gerçek dünyadaki süreçler çok sayıda varyant, istisna ve döngü içerdiğinden, ortaya çıkan modellerin karmaşık ve anlaşılması zor hale gelmesine yol açabilmektedir. Bu durum literatürde “spagetti modelleri” olarak anılmaktadır (Augusto vd., 2019). Manifesto da “Complex Event Logs with Diverse Characteristics” başlığı altında benzer bir sorun tanımlamaktadır (van der Aalst vd., 2012).

4.3. Kavram Kayması (Concept Drift)

İş süreçleri zamanla değişmekte, yeni kurallar, prosedürler ve iş akışları ortaya çıkmaktadır. Bu değişim dikkate alınmadığında çıkarılan süreç modeli, sürecin güncel halini yansıtamaz hale gelir. Manifesto bu sorunu “Dealing with Concept Drift” olarak ifade etmekte ve süreç modellerinin sürekli güncellenmesi gerektiğini vurgulamaktadır (van der Aalst vd., 2012).

4.4. Model Kalitesi Kriterleri Arasında Denge

Süreç madenciliğinde elde edilen modeller, fitness, precision, generalization ve simplicity gibi kalite kriterlerine göre değerlendirilir (Rozinat ve van der Aalst, 2008). Ancak bu kriterler arasında tam denge sağlamak zordur; örneğin yüksek doğruluk sağlayan modeller çoğu zaman karmaşıklaşırken, basit modeller gerçek süreci yeterince yansıtmayabilir (van der Aalst, 2016).

4.5. Kullanılabilirlik ve Anlaşılabilirlik

Elde edilen süreç modellerinin yalnızca uzmanlar için değil, farklı disiplinlerden gelen kullanıcılar için de anlaşılır olması gerekir. Manifesto’da bu, “Improving Usability and Understandability for Non-Experts” başlığı altında tartışılmaktadır (van der Aalst vd., 2012). Özellikle karar vericilerin teknik ayrıntılarla değil, açık ve anlaşılır görselleştirmelerle desteklenmesi sürecin başarısı için kritik önemdedir (Carmona vd., 2018).

4.6. Ölçeklenebilirlik

Artan veri hacimleri, süreç madenciliği algoritmalarının büyük olay günlüklerini işleme kapasitesini zorlamaktadır. Büyük veri çağında bu sorun daha da belirginleşmiş ve daha verimli algoritmalara ve dağıtık işlem altyapılarına olan ihtiyacı artırmıştır (Teinmaa vd., 2019).

5. GELECEĞE YÖNELİK ARAŞTIRMA FIRSATLARI

Süreç madenciliği literatürü incelendiğinde, alanın yalnızca algoritmik iyileştirmeler ekseninde ilerlemediği; daha adaptif, açıklanabilir, gerçek zamanlı ve bütünlük bir süreç zekâ mimarisine doğru evrildiği görülmektedir. Geleneksel süreç madenciliği yaklaşımı statik olay günlükleri üzerinden geriye dönük analiz yapmaya odaklanırken; yeni nesil süreç madenciliği, sürekli veri akışı, makine öğrenmesi destekli tahminleme, açıklanabilir analitik ve çok boyutlu modelleme bileşenlerini entegre eden dinamik bir karar destek sistemine dönüşmektedir.

Bu çalışma kapsamında süreç madenciliğinin geleceği dört temel eksen üzerinden kavramsallaştırılmaktadır: (i) adaptif süreç zekâsı, (ii) açıklanabilir ve güvenilir süreç analitiği, (iii) gerçek zamanlı ve dağıtık süreç madenciliği ve (iv) çok perspektifli ve entegre süreç modelleme. Bu eksenler birlikte değerlendirildiğinde süreç madenciliği, geçmiş analiz eden bir teknik araç olmaktan çıkarak organizasyonel öğrenmeyi destekleyen bütünlük bir süreç zekâ sistemine dönüşmektedir.

5.1. Adaptif Süreç Zekâsı ve Kavram Kayması

İş süreçleri statik yapılar değildir; zaman içinde yeni prosedürlerin eklenmesi, organizasyonel yapıların değişmesi ve çevresel koşulların evrilmesi nedeniyle dönüşüm geçirmektedir. Bu durum, olay günlüklerinin aynı sürecin farklı versiyonlarını içermesine ve çıkarılan süreç modellerinin geçerliliğini yitirmesine yol açabilmektedir. Literatürde kavram kayması olarak adlandırılan bu olgu, süreç madenciliğinin adaptif hale gelmesini zorunlu kılmaktadır (Kraus ve van der Aa, 2025).

Adaptif süreç zekâsı yaklaşımı, süreç modellerinin yalnızca geçmiş veriye dayalı olarak çıkarılmasını değil; zaman içindeki değişimi algılayarak kendini güncellemesini hedeflemektedir (van der Aalst, 2011). Makine öğrenmesi tabanlı kavram kayması tespit mekanizmaları, ani, kademeli veya tekrarlayan değişimleri tanımlayarak süreç modellerinin dinamik biçimde yeniden yapılandırılmasına imkân sağlamaktadır. Bu bağlamda süreç madenciliği, retrospektif analizden proaktif süreç izleme ve erken uyarı sistemlerine doğru evrilmektedir.

Bununla birlikte, mevcut kavram kayması tespit yöntemlerinin büyük ölçekli ve çok perspektifli olay günlüklerinde nasıl performans gösterdiği henüz yeterince incelenmemiştir. Ayrıca adaptif süreç modellerinin organizasyonel karar mekanizmalarına entegrasyonu konusunda ampirik çalışmalar sınırlıdır. Gelecek araştırmaların, kayma tespit algoritmalarının performans karşılaştırmalarını standart karşılaştırmalı veri setleri üzerinde gerçekleştirmesi ve adaptif modellerin karar kalitesine etkisini ölçmesi önemli bir araştırma alanı olarak görülmektedir.

5.2. Açıklanabilir ve Güvenilir Süreç Analitiği

Süreç madenciliğinin tahmine dayalı ve yapay zekâ destekli modellere doğru genişlemesi, model çıktılarının açıklanabilirliğini kritik hale getirmiştir. Performans tahmini, sapma öngörüsü veya risk analizi gibi uygulamalarda karar vericilerin yalnızca sonuçları değil, bu sonuçların hangi faktörlere dayandığını da anlaması gerekmektedir.

Açıklanabilir yapay zekâ (Explainable AI – XAI) yaklaşımlarının süreç madenciliği ile entegrasyonu, model şeffaflığını artırarak güvenilirliği güçlendirmektedir (Nannini vd., 2025). Süreç varyantlarının hangi aktiviteler nedeniyle sapma gösterdiği, hangi karar noktalarının gecikmeye yol açtığı veya hangi faktörlerin performansı etkilediği açıklanabilir analitik teknikler aracılığıyla ortaya konulabilmektedir. Bu dönüşüm, süreç madenciliğini yalnızca teknik bir analiz yöntemi olmaktan çıkararak stratejik ve

hesap verebilir bir karar destek mekanizmasına dönüştürmektedir.

Bununla birlikte, süreç madenciliğinde açıklanabilirlik kavramı henüz sistematik bir metodolojik çerçeveye kavuşmamıştır. Mevcut çalışmalar genellikle makine öğrenmesi modellerine sonradan açıklama teknikleri uygulamakta; ancak süreç odaklı, kontrol akışı temelli açıklanabilirlik metrikleri yeterince geliştirilmemiştir. Özellikle uygunluk (fitness), kesinlik (precision) ve genellenebilirlik (generalization) gibi klasik süreç kalite ölçütlerinin açıklanabilirlik boyutu ile nasıl ilişkilendirileceği literatürde açık bir çerçeveye sahip değildir.

Ayrıca açıklanabilir modellerin yönetsel karar kalitesi üzerindeki etkisi ampirik olarak sınırlı biçimde incelenmiştir. Süreç madenciliği çıktılarının karar vericiler tarafından nasıl algılandığı, güven düzeyinin performans sonuçlarına nasıl yansıdığı ve açıklanabilirlik ile organizasyonel öğrenme arasındaki ilişkinin nasıl yapılandığı gelecekteki araştırmalar için önemli bir alan oluşturmaktadır. Bununla birlikte, açıklanabilir yapay zekâ (XAI) yaklaşımlarının süreç madenciliğine entegrasyonu yalnızca kavramsal düzeyde değil, metodolojik düzeyde de ele alınmalıdır. Bu bağlamda XAI, süreç madenciliğinin temel aşamaları olan keşif (discovery), uygunluk kontrolü (conformance checking) ve iyileştirme (enhancement) süreçlerine entegre edilebilir. Keşif aşamasında XAI teknikleri, süreç modellerinin oluşumunda etkili olan baskın olay dizilerini ve kontrol akışı örüntülerini açıklamak için kullanılabilir. Bu sayede yalnızca modelin kendisi değil, modelin hangi veri örüntülerine dayanarak oluştuğu da yorumlanabilir hale gelir. Uygunluk kontrolü aşamasında XAI, tespit edilen sapmaların nedenlerini açıklamak için kullanılabilir. Böylece yalnızca model ile olay günlüğü arasındaki uyumsuzluklar belirlenmekle kalmaz, aynı zamanda bu sapmalara neden olan aktiviteler, karar noktaları veya süreç varyantları da ortaya konulabilir. İyileştirme aşamasında ise XAI, makine öğrenmesi tabanlı tahmin modellerinin çıktılarını açıklamak için kritik bir rol üstlenir. Süreç performansı, gecikmeler veya risk tahminleri gibi çıktılar, SHAP veya LIME gibi tekniklerle yorumlanarak karar vericilere şeffaf ve güvenilir bilgiler sunulabilir. Bu bütünlük yaklaşım, XAI'ın süreç madenciliğine dışsal bir bileşen olarak değil, her aşamaya entegre edilen tamamlayıcı bir analitik katman olarak konumlandırılması gerektiğini göstermektedir.

Tablo 4. Süreç Madenciliği Aşamalarına Göre XAI Entegrasyonu

Süreç Madenciliği Aşaması	XAI Entegrasyon Amacı	Temel Özellikler
Süreç Keşfi (Discovery)	Model açıklanabilirliği	Süreç modelinin hangi olay örüntülerine dayanarak oluştuğunu açıklar
Uygunluk Kontrolü (Conformance)	Sapma analizi	Model ve gerçek süreç arasındaki sapmaların nedenlerini açıklar
İyileştirme (Enhancement)	Tahmin açıklama	Makine öğrenmesi modellerinin ürettiği sonuçların yorumlanmasını sağlar

Tablo 4 incelendiğinde, açıklanabilir yapay zekâ yaklaşımlarının süreç madenciliğinin her bir aşamasına farklı işlevlerle entegre edilebildiği görülmektedir. Keşif aşamasında model oluşumuna katkı sağlayan örüntülerin açıklanması ön plana çıkarken, uygunluk kontrolü aşamasında süreç sapmalarının nedenlerinin yorumlanması önem kazanmaktadır. İyileştirme aşamasında ise makine öğrenmesi tabanlı tahminlerin açıklanması, karar vericiler için kritik bir avantaj sağlamaktadır. Bu yapı, süreç madenciliğinin yalnızca analiz eden değil, aynı zamanda açıklayan ve karar destek sağlayan bütünlük bir sistem haline dönüşümünü ortaya koymaktadır.

Bu bağlamda, süreç madenciliğinde açıklanabilirlik düzeyini ölçen nicel göstergelerin geliştirilmesi ve farklı sektörlerde deneysel çalışmalarla test edilmesi önemli bir araştırma fırsatı olarak değerlendirilmektedir.

5.3. Gerçek Zamanlı ve Dağıtık Süreç Madenciliği

Dijital dönüşüm süreci ile birlikte olay verileri yalnızca kurumsal bilgi sistemlerinden değil; IoT cihazları, bulut tabanlı uygulamalar ve dağıtık veri platformlarından da üretilmektedir. Bu durum, süreç analizlerinin merkezi ve offline yapılardan, çevrimiçi ve dağıtık yapılara doğru evrilmesini zorunlu kılmaktadır.

Gerçek zamanlı süreç madenciliği, süreçte meydana gelen sapmaları anlık olarak tespit ederek hızlı müdahale imkânı sunmaktadır. Veri akışı işleme teknikleri ve dağıtık mimariler, büyük ölçekli olay günlüklerinin eş zamanlı analiz edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu bağlamda kurumlararası süreç madenciliği ve tedarik zinciri analizi gibi araştırma alanları da önem kazanmaktadır. Süreç madenciliğinin Endüstri 4.0 ekosistemi ile bütünleşmesi, alanın gelecekte daha proaktif ve entegre bir yapıya kavuşacağını göstermektedir. Diğer güncel bir çalışma da bu eğilimi doğrulamakta ve süreç madenciliğinin, çevrimdışı ve merkezi analizden, çevrimiçi ve dağıtık bir paradigmaya evrilmesi gerektiğini savunmaktadır (Weisenseel vd., 2025).

Bununla birlikte, gerçek zamanlı ve dağıtık süreç madenciliği alanında önemli metodolojik ve teknik boşluklar bulunmaktadır. Mevcut süreç keşfi ve uygunluk kontrolü algoritmalarının büyük çoğunluğu statik veri kümeleri için tasarlanmıştır; veri akışı ortamlarında düşük gecikmeli ve ölçeklenebilir performans sunan standart algoritmik çerçeveler henüz yeterince olgunlaşmamıştır. Özellikle gerçek zamanlı uygunluk kontrolü ve anlık sapma tespiti konusunda ampirik karşılaştırmalı çalışmalar sınırlıdır.

Ayrıca dağıtık veri kaynaklarında süreç madenciliği yapılırken veri gizliliği, güvenlik ve veri bütünlüğü konularında metodolojik belirsizlikler bulunmaktadır. Kurumlararası süreç madenciliği senaryolarında gizlilik korumalı analiz yaklaşımlarının nasıl entegre edileceği açık bir araştırma alanı oluşturmaktadır. Bu bağlamda, veri akışı süreç madenciliği algoritmalarının performans karşılaştırma ölçütlerinin geliştirilmesi, dağıtık mimarilerde ölçeklenebilirlik analizlerinin yapılması ve gerçek zamanlı sistemlerin organizasyonel karar kalitesine etkisinin ölçülmesi gelecekteki araştırmalar için kritik fırsatlar sunmaktadır.

5.4. Çok Perspektifli ve Entegre Süreç Modelleme

Geleneksel süreç madenciliği uygulamaları çoğunlukla kontrol akışı boyutuna odaklanmaktadır. Ancak süreçlerin zaman, maliyet, kaynak kullanımı, organizasyonel roller ve performans göstergeleri gibi çoklu boyutları birlikte ele alınmadığında elde edilen modeller sınırlı kalmaktadır.

Çok perspektifli modelleme yaklaşımı, kontrol akışı ile birlikte performans, organizasyonel yapı ve maliyet boyutlarının entegre biçimde analiz edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu çerçevede kalite ölçütlerinin standartlaştırılması, karşılaştırmalı referans veri setlerinin geliştirilmesi ve temsil gücü yüksek değerlendirme çerçevelerinin oluşturulması da gelecekteki araştırma alanları arasında yer almaktadır. Böylece süreç madenciliği, yalnızca model keşfi değil; bütüncül süreç yönetimi ve performans optimizasyonu sunan bir analitik altyapıya dönüşmektedir.

Bu dört eksen birlikte değerlendirildiğinde süreç madenciliğinin statik analizden dinamik süreç zekâsına doğru evrildiği görülmektedir. Adaptif mekanizmalar değişimi yönetmekte, açıklanabilir analitik güveni artırmakta, gerçek zamanlı yapılar müdahale kapasitesini güçlendirmekte ve çok perspektifli modelleme stratejik karar kalitesini yükseltmektedir. Bu dönüşüm, süreç madenciliğini dijital dönüşüm çağında organizasyonel rekabet avantajı sağlayan bütüncül bir yönetim aracı haline getirmektedir.

Bununla birlikte, çok perspektifli süreç modelleme alanında önemli kavramsal ve metodolojik boşluklar bulunmaktadır. Kontrol akışı, zaman, maliyet, kaynak ve organizasyonel boyutların entegre biçimde analiz edilmesi henüz standart bir modelleme çerçevesine kavuşmamıştır. Özellikle bu boyutlar arasında ortaya çıkan çelişkilerin nasıl optimize edileceği ve çoklu performans ölçütleri arasında nasıl sistematik bir denge kurulacağı literatürde açık bir metodolojik rehberden yoksundur.

Ayrıca uyum, kesinlik, genellenebilirlik ve sadelik gibi klasik kalite ölçütlerinin çok perspektifli modellerde nasıl birlikte değerlendirileceği ve bu ölçütler arasında karar verici odaklı bir ağırlıklandırma sisteminin nasıl geliştirileceği önemli bir araştırma alanı oluşturmaktadır. Standart benchmark veri setlerinin sınırlı olması ve sektörler arası karşılaştırmalı çalışmaların yetersizliği de bu alandaki gelişimi kısıtlamaktadır. Gelecek araştırmaların, çok boyutlu süreç modelleri için karşılaştırmalı değerlendirme çerçeveleri geliştirmesi ve farklı sektörlerde ampirik testler gerçekleştirmesi literatüre önemli katkılar sağlayacaktır.

SONUÇ ve TARTIŞMA

Bu çalışma, süreç madenciliği alanına yönelik mevcut literatürü kavramsal, metodolojik ve uygulama boyutlarıyla bütüncül bir perspektiften ele alarak, özellikle Türkçe alanyazındaki önemli bir boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda çalışmanın literatüre katkıları üç temel başlık altında değerlendirilebilir.

İlk olarak, süreç madenciliğinin temel bileşenleri, teknik yaklaşımları ve uygulama alanları sistematik bir yapı içerisinde ele alınarak, alanın kavramsal çerçevesi Türkçe alanyazında erişilebilir ve bütüncül bir biçimde sunulmuştur. İkinci olarak, süreç keşfi, uygunluk kontrolü, süreç iyileştirme, tahmine dayalı süreç madenciliği ve açıklanabilir süreç madenciliği gibi temel yaklaşımlar karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş; bu yaklaşımlar arasındaki metodolojik farklılıklar ve kullanım amaçları ortaya konulmuştur. Üçüncü olarak ise, literatürde giderek önem kazanan gerçek zamanlı süreç analitiği, çok perspektifli modelleme ve açıklanabilir yapay zekâ entegrasyonu gibi güncel araştırma yönelimleri bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilerek gelecekteki araştırmalar için yön gösterici bir çerçeve önerilmiştir.

Bu yönleriyle çalışma, yalnızca mevcut bilgiyi özetleyen bir derleme olmanın ötesine geçerek, süreç madenciliği alanının mevcut durumunu ve dönüşüm yönünü ortaya koyan analitik bir değerlendirme sunmaktadır. Elde edilen bilgiler, hem akademik araştırmacılar hem de süreç yönetimi ve veri odaklı karar destek sistemleri ile ilgilenen uygulayıcılar için yol gösterici niteliktedir.

ETİK BEYAN ve KATKI ORANLARI	
Yazar Katkı Oranı: 1. Yazar: %100	Contribution Rate: 1. Author: %100
Çıkar Çatışması: Çıkar çatışması beyan edilmemiştir.	Conflicts of Interest: No conflict of interest declared.
Etik Kurul İzni: Etik kurul izni gerektirmemektedir.	Ethics Committee Permission: This study does not require ethics committee approval.
Teşekkür	Acknowledgements

KAYNAKÇA

- Augusto, A., Conforti, R., Dumas, Rosa, L. M., Maggi, M., & Marrella, A. (2019). Automated Discovery of Process Models from Event Logs: Review and Benchmark. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 31(4), 686-705. doi:10.1109/TKDE.2018.2841877
- Bogarín, A., Cerezo, R., & Romero, C. (2017). A survey on educational process mining. *WIREs Data Mining Knowl Discovery*, 8(1). doi:10.1002/widm.1230
- Bolt, A., & van der Aalst, W. M. (2015). Multidimensional process mining using process cubes. *Enterprise, Business-Process and Information Systems Modeling BPMDS EMMSAD 2015*. 214, s. 102–116. Springer. doi:10.1007/978-3-319-19237-6_7
- Carmona, J., van Dongen, B., Solti, A., & Weidlich, M. (2018). Conformance Checking Relating Processes and Models. *Springer*. doi:10.1007/978-3-319-99414-7
- Çelik, U., & Akçetin, E. (2018). Process Mining Tools Comparison. *AJIT-E: Academic Journal of Information Technology*, 9(34), 97-104. doi:10.5824/1309-1581.2018.4.007.x
- de Leoni, M., van der Aalst, W. M., & Dees, M. (2014). A General Framework for Correlating Business Process Characteristics. *Lecture Notes in Computer Science*, 8659. doi:10.1007/978-3-319-10172-9_16
- Erdoğan, T. G., & Kolukısa Tarhan, A., (2018). Systematic Mapping of Process Mining Studies in Healthcare. *IEEE ACCESS*, vol.6, 24543-24567. doi:10.1109/access.2018.2831244
- Galanti, R., Coma-Puig, B., de Leoni, M., Carmona, J., & Navarin, N. (2020). Explainable predictive process monitoring. In **Proceedings of the 2nd International Conference on Process Mining (ICPM)** (pp. 1–8). *IEEE*. doi:10.1109/ICPM49681.2020.00012
- Günther, C. W., van der Aalst, W. M. (2007). Fuzzy Mining – Adaptive Process Simplification Based on Multi-perspective Metrics. In: *Alonso, G., Dadam, P., Rosemann, M. (eds) Business Process Management. BPM 2007. Lecture Notes in Computer Science, vol 4714. Springer, Berlin, Heidelberg*. doi:10.1007/978-3-540-75183-0_24
- Günther, C. W., & Rozinat, A. (2012). Disco: discover your processes. *CEUR Workshop Proceedings*. 940, s. 40-44. Tallinn, Estonia: *Proceedings of the Demonstration Track of the 10th International Conference on Business Process Management (BPM 2012)*.
- Halvorsrud, R., Mannhardt, F., Prillard, F., & Boletsis, C. (2024). Customer journeys and process mining – challenges and opportunities. *ITM Web Conf.*, 62. doi:10.1051/itmconf/20246205002
- Kraus, A., & van der Aa, H. (2025). Machine learning-based detection of concept drift in business processes. *Process Sci*, 2. doi:10.1007/s44311-025-00012-w
- Kratsch, W., Manderscheid, J., Röglinger, M., & Seyfried, J. (2021). Machine Learning in Business Process Monitoring: A Comparison of Deep Learning and Classical Approaches Used for Outcome Prediction. *Bus Inf Syst Eng* 63, 261–276. doi:10.1007/s12599-020-00645-0
- Kurtuluş, F. (2025). Dijital eğitimde süreç madenciliği ve makine öğrenmesi: LMS verileri ile öğrenci davranış modelleri ve akademik performans tahmini (Doktora Tezi).
- Leemans, S. J. J., Fahland, D., & van der Aalst, W. M. (2014). Discovering block-structured process models from event logs containing infrequent behaviour. In *Business Process Management Workshops*, 171, s. 66-78. doi:10.1007/978-3-319-06257-0_6
- Leemans, S. J. J., Fahland, D., & van der Aalst, W. M. P. (2013). Discovering Block-Structured Process Models from Event Logs - A Constructive Approach. In: *Colom, JM., Desel, J. (eds) Application and Theory of Petri Nets and Concurrency. PETRI NETS 2013. Lecture Notes in Computer Science, vol 7927, 311-329. Springer, Berlin, Heidelberg*. doi:10.1007/978-3-642-38697-8_17
- Manyika, J., Chui, M., Brown, B., Bughin, J., Dobbs, R., Roxburgh, C., & Byers, A. (2011). *Big Data: The Next Frontier for Innovation, Competition, and Productivity*. San Francisco: McKinsey Global Institute.
- Maggi, F. M., Mooij, A. J., & van der Aalst, W. M. (2011). User-guided discovery of declarative process models. *IEEE Symposium on Computational Intelligence and Data Mining (CIDM), Paris, France, 2011*, pp. 192-199, doi:10.1109/CIDM.2011.5949297.

- Nannini, L., Catalá, A., Lama, M., & Barro, S. (2025). Explainable Ai in Process Mining: A Systematic Literature Review. *SSRN Electronic Journal*. doi:10.2139/ssrn.5162771
- Potavin, J., Jongswat, N., & Premchaiswadi, W. (2012). Applying Fuzzy-Genetic mining in conformance and dependency relations. *2012 Tenth International Conference on ICT and Knowledge Engineering*, (s. 228-235). doi:10.1109/ICTKE.2012.6408560
- Rojas, E., Munoz-Gama, J., Sepúlveda, M., & Capurro, D. (2016). Process mining in healthcare: A literature review. *Journal of Biomedical Informatics*, 61, 224–236. doi:10.1016/j.jbi.2016.04.007
- Rozinat, A., & van der Aalst, W. M. (2008). Conformance checking of processes based on monitoring real behavior. *Information Systems*, 33(1), 64-95. doi:10.1016/j.is.2007.07.001
- Santos, A., Leal, G., & Balancieri, R. (2025). Process mining in healthcare: a tertiary study. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 25. doi:10.1186/s12911-025-02967-z
- Sarno, R., Haryadita, F., Sunaryono, D., & Munif, A. (2015). Model discovery of parallel business processes using modified Heuristic Miner. *2015 International Conference on Science in Information Technology (ICSITech)*, (s. 30-35). doi:10.1109/ICSITech.2015.7407772
- Teinemaa, I., Dumas, M., Rosa, M. L., & Maggi, F. M. (2019). Outcome-oriented predictive process monitoring: Review and benchmark. *ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data*, 13(2), 1-57. doi:10.1145/3301300
- Tax, N., Verenich, I., La Rosa, M., & Dumas, M. (2017). Predictive Business Process Monitoring with LSTM Neural Networks. In: *Dubois, E., Pohl, K. (eds) Advanced Information Systems Engineering. CAiSE 2017i 477–492. Lecture Notes in Computer Science, vol 10253. Springer, Cham*. doi:10.1007/978-3-319-59536-8_30
- van der Aalst, W. M., & Weijters, A. J. M. M. (2004). Process mining: A research agenda. *Computers in Industry*, 53, 231–244. doi:10.1016/j.compind.2003.10.001
- van der Aalst, W. M. (2018). *Process Mining: Data Science in Action (2nd Edition)*. Springer. doi:10.1007/978-3-662-49851-4
- van der Aalst, W. M. (2011). *Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes*. Springer.
- van der Aalst, W. M. (2012). Process Mining: Overview and Opportunities. *ACM Transactions on Management Information Systems (TMIS)*, 1-17. doi:10.1145/2229156.2229157
- van der Aalst, W. M. (2016). *Process Mining: Data Science in Action*. Berlin, Heidelberg: Springer. doi:10.1007/978-3-662-49851-4
- van der Aalst, W. M., & Carmona, J. (2022). *Process Mining Handbook (Cilt 448)*. Springer.
- van der Aalst, W. M., Adriansyah, A., de Medeiros, A. K., Arcieri, F., Baier, T., Blickle, T., . . . Wynn, M. T. (2012). Process Mining Manifesto. *Business Process Management Workshops BPM 2011 International Workshops* (s. 169-194). Springer-Verlag. doi:10.1007/978-3-642-28108-2_19
- van der Aalst, W. M. (2023). Object-Centric Process Mining: Unraveling the Fabric of Real Processes. *Mathematics*, 11(12), 2691. doi:10.3390/math11122691
- van der Aalst, W. M., Dongen, B. F., Günther, C. W., Verbeek, H. M., & Weijters, A. J. (2009). ProM: The process mining toolkit. In *Proceedings of the BPM 2009 Demonstration Track (BPM Demos 2009)*, (s. 1-4). Ulm, Germany.
- Weisenseel, M., Andersen, J., Akili, S., Imenkamp, C., Reiter, H., Rubensson, C., . . . & Koschmider, A. (2025). Process mining on distributed data sources. doi:10.48550/arXiv.2506.02830
- Vitale, F., Guarino, S., Flammini, F., Faramondi, L., Mazzocca, N., & Setola, R. (2025). Process Mining for Digital Twin Development of Industrial Cyber-Physical Systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 21, 866-875. doi:10.1109/TII.2024.3465600

PROCESS MINING: CONCEPTUAL FRAMEWORK, TYPES, CHALLENGES, AND FUTURE RESEARCH DIRECTIONS

Extended Abstract

Process mining is an interdisciplinary approach that leverages event logs recorded in information systems to discover, monitor, and improve the actual execution of business processes. In today's data-driven and highly competitive environment, organizations increasingly rely on analytical tools to enhance operational efficiency, ensure regulatory compliance, and support evidence-based decision-making. In this context, process mining has emerged as a powerful methodology that bridges data science and business process management by transforming raw event data into actionable process insights. This study aims to provide a comprehensive and integrative overview of the process mining field by examining its conceptual foundations, core methodologies, application areas, challenges, and emerging research directions, with a particular focus on addressing the relative scarcity of comprehensive studies in the Turkish literature. The study adopts a narrative review approach, aiming to synthesize and interpret the existing body of knowledge from a holistic perspective rather than following a strictly systematic protocol. Relevant literature was identified through major academic databases such as Scopus and Web of Science using keywords including "process mining," "conformance checking," and "process discovery." Both seminal and highly cited studies, as well as recent contributions reflecting current trends, were included to ensure a balanced and comprehensive representation of the field. The selected studies were analyzed thematically based on their conceptual contributions, methodological approaches, application contexts, and identified research gaps. The findings indicate that process mining is structured around three fundamental dimensions: process discovery, conformance checking, and enhancement. Process discovery focuses on deriving process models directly from event logs without predefined assumptions, enabling organizations to visualize actual process behavior. Conformance checking compares observed behavior with predefined models to identify deviations and assess compliance, while enhancement aims to improve existing models by incorporating performance-related information such as time, cost, and resource utilization. Beyond these core types, the literature demonstrates a clear evolution toward predictive and prescriptive process mining, supported by machine learning techniques and real-time data processing capabilities. Additionally, process mining is increasingly applied across diverse domains including manufacturing, healthcare, finance, and education, where it contributes to performance optimization, bottleneck detection, compliance verification, and behavioral analysis. Despite its advantages, the study identifies several critical challenges that limit the effective implementation of process mining. These include data quality issues, such as incomplete or inconsistent event logs; process complexity, often resulting in difficult-to-interpret "spaghetti models"; and concept drift, which reflects the dynamic nature of business processes over time. Furthermore, scalability issues in big data environments and the limited interpretability of advanced analytical models remain significant concerns. In response to these challenges, recent studies emphasize the importance of integrating explainable artificial intelligence (XAI), real-time analytics, and multi-perspective modeling approaches into process mining frameworks. Building on these findings, this study contributes to the literature in three main ways. First, it provides a comprehensive conceptual framework that integrates the fundamental components, methodologies, and application areas of process mining in a structured manner. Second, it offers a comparative analysis of key process mining approaches, including discovery, conformance checking, enhancement, predictive process monitoring, and explainable process mining, highlighting their methodological differences, strengths, and limitations. Third, it proposes a future research agenda centered on adaptive process intelligence, explainable and trustworthy analytics, real-time and distributed process mining, and multi-perspective integrated modeling. These directions reflect the ongoing transformation of process mining from a retrospective analytical tool into a proactive and intelligent decision-support system. In conclusion, this study demonstrates that process mining is evolving toward a more dynamic, integrated, and intelligent analytical paradigm aligned with the broader context of digital transformation and Industry 4.0. By combining conceptual clarity, comparative analysis, and forward-looking insights, the study provides both theoretical guidance for researchers and practical implications for organizations seeking to enhance process transparency, efficiency, and adaptability. The integration of process mining with emerging technologies such as artificial intelligence and big data analytics further reinforces its role as a strategic enabler for sustainable competitive advantage.

Keywords: Process Mining, Business Processes, Data Analytics, Digital Transformation, Industry 4.0

JEL Classification Codes: M15, O3, L2