بررسی چالش‌هایی موجود در روش‌های پایش پیش‌بینی کننده فرآیندهای کسب‌وکار

عرفان الهامی[۱]، فریدون شمس علیئی[۲]، بهار فراهانی[۳]

[۱] کارشناسی ارشد مهندسی فناوری اطلاعات، دانشکده مهندسی و علوم کامپیوتر، دانشگاه شهید بهشتی، ایران

[۲]دانشیار دانشکده مهندسی و علوم کامپیوتر، دانشگاه شهید بهشتی، ایران

[۳] فوق دکتری مهندسی فناوری اطلاعات، دانشکده مهندسی و علوم کامپیوتر، دانشگاه شهید بهشتی، ایران

چکیده

امروزه داده‌های سازمانی مانند معدنی است که می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را از جنبه‌های متفاوت برای سازمان و کسب‌وکار فراهم کند. از این رو استفاده از روش‌های داده‌کاوی و فرآیندکاوی در دستور کار بسیاری از سازمان‌ها قرار گفته است. پایش پیش‌بینی‌کننده فرآیندهای کسب‌وکار، یکی از روش‌های نشات گرفته از رویکردهای مبتنی بر داده و از دستاوردهای روش‌های فرآیندکاوی در سازمان‌ها است. این پایش از داده‌ها و نگاره‌های تاریخی رویدادها در اجرای فرآیندهای سازمانی استفاده می‌کند و با به کارگیری الگوریتم‌های یادگیری ماشین بینش‌هایی از آنها استخراج می‌کند تا فرآیندهای آتی سازمان را پیش‌بینی کند. طبیعت آینده‌نگر پایش پیش‌بینی‌کننده فرآیندها برای سازمان‌ها فرصت‌های جدیدی را در زمینه نظارت بر انطباق فرآیندها با نیازمندی‌های کسب‌وکار و محیط سازمان، ایجاد می‌کند. تکنیک‌های پایش و نظارت پیش‌بینی‌کننده فرآیند کسب‌وکار، در تلاش است تا از داده‌های بلادرنگ برای پشتیبانی از تصمیم‌سازی پویا و بهبود فرآیندهای کسب‌وکار استفاده کند. این مقاله با هدف بررسی و مقایسه روش‌های پایش پیش‌بینی کننده فرآیند و چالش‌های موجود در این حوزه نگارش یافته‌است و مقالات منتشر شده در زمینه پیش‌بینی فرآیند را معرفی، مقایسه و دسته‌بندی می‌کند. سپس با بررسی مقالات منتخب در این حوزه، روند شکل‌گیری پژوهش‌ها و جهت حرکت آینده این حوزه پژوهشی را مورد بررسی و کنکاش قرار داده‌است. علاوه بر آن در این مقاله جایگاه روش‌های پیش‌بینی فرآیند در معماری سازمانی و روش‌های بهبود و مهندسی مجدد فرآیندها مورد بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: پیش‌بینی فرآیندهای سازمان، فرآیندکاوی، تجزیه و تحلیل پیش‌بینی کننده، بهبود فرآیند، یادگیری ماشین.

۱- مقدمه

در گذشته، سازمان‌ها از ظرفیت داده‌های در دسترس و پردازش‌شده خود استفاده محدودتری می‌کردند. امروزه استفاده از داده‌ها و نتایج حاصل از تحلیل آنها، برای توسعه کسب‌وکارها بسیار رایج شده‌است. در حقیقت در گذشته، تحلیل‌ها بیش از آنکه بر اساس تخمین‌های حاصل از داده‌ها باشد، بر اساس تجارب گذشته خبرگان سازمان و حدسیات نیروی انسانی بود. در سال‌های اخیر، با گسترش نفوذ سیستم‌های اطلاعاتی سازمانی، نگهداری و سازماندهی نگاره-های سیستم‌ها بسیار گسترش یافته است. نگاره[۱] رویدادهای سازمان، مانند معدنی ارزشمند از داده‌های سازمانی است و می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را برای سازمان به ارمغان بیاورد.

فرآیند کاوی[۲] یکی از روش کشف، پایش[۳] و بهبود فرآیندهای کسب‌وکار و از زیر شاخه‌های مهم و مورد توجه داده‌کاوی است و بر پژوهش در رابطه با نگاره‌های ثبت شده جریان‌های کاری، رویدادها و فرآیندهای کسب‌وکار متمرکز است. هنر فرآیندکاوی در استفاده از داده‌های خام حاصل از نگاره‌ها و پردازش داده‌ها، برای تبدیل آنها به اطلاعات ارزشمند در کسب‌وکار و برای مدیریت سازمان است. نتایج حاصل از فناوری‌های فرآیندکاوی، در سطوح و کاربردهای متفاوت در سازمان مورد استفاده می‌گیرد. این روش‌ها از نگاره‌های رویداد، که به عنوان ورودی دریافت می‌کنند، برای کشف، پشتیبانی و پیش‌بینی آینده فرآیندهای کسب‌وکار استفاده می‌کنند.

فرآیندکاوی و روش‌های حاصل از فرآیندکاوی، از جمله پایش پیش‌بینی کننده فرآیندها، از ابزار و راه‌حل هایی هستند که توسط معماری سازمانی در مقاطع مختلف فرآیند معماری سازمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای مثال پایش پیش‌بینی کننده فرآیند در چرخه مدیریت فرآیندها یا مهندسی مجدد فرآیندهای[۴] سازمان، می‌تواند بسیار اثر بخش عمل کند و در فرآیندگرا[۵] شدن

[1] Log
[2] Process Mining
[3] Monitoring
[4] Business Process Reengineering
[5] Process Oriented

سازمان، به عنوان یکی از پیش نیازهای معماری سازمانی، نقش به سزایی ایفا کند.

در مجموع خروجی و دستاورد نهایی روش‌های فرآیندکاوی در سازمان‌ها، به سه دسته تقسیم می‌شوند. الف)کشف فرآیندهای جاری در سازمان که اولین کاربرد متصور برای این فناوری است، ب)بهبود در فرآیندهای سازمان، که به تحلیل و بررسی، نظارت و کنترل فرآیندها برای بهبود مستمر از طریق یافتن گلوگاه‌ها و مشکلات فرآیند می‌پردازد و ج)پیش‌بینی فرآیندهای سازمان جدیدترین دستاورد بوده که موضوع اصلی این مقاله است.

اجرای فرآیندهای کسب‌وکار، عموماً منوط به سیاست‌های داخلی، قواعد، بهترین تجارب، آئین‌نامه‌ها و قوانین و مقررات هستند. برای این منظور، نظارت دائم بر انطباق آنها با نیازمندی‌ها امری ضروری در بسیاری از سازمان‌ها است. در نتیجه دسته‌ای از تحقیقات با هدف بررسی مشکلات مربوط به ارزیابی فرآیندهای اجرایی و مطابقت آنها با نیازمندی‌ها شکل گرفته است که البته این روش پایش یک روش واکنشی [1] است، یعنی کاربران آن، یک نقص را تنها پس از رخ دادن می توانند شناسایی کنند، و این روش‌ها از شناسایی و جلوگیری از بروز نواقص، پیش از رخ دادن آنها، پشتیبانی نمی‌کنند [۱].

یک فرصت در حال ظهور در حوزه پژوهش‌های فرآیندکاوی، که باعث دید بهتری نسبت به فرآیندهای کسب‌وکار می‌شود، پایش پیش‌بینی‌کننده فرآیندهای کسب‌وکار [2] است، که به شناسایی مشکلات احتمالی آتی فرآیند در حال اجرا می‌پردازد و می‌تواند زمینه‌ساز مدیریت و هدایت درست این مشکلات، با کمترین هزینه، زمان و ریسک در مسیر درست باشد [۲].

تعداد مقالات در زمینه پایش پیش‌بینی‌کننده فرآیند، در سال ۲۰۱۷ نزدیک به بیش از ۱۲۰ مقاله است و این تعداد در سال ۲۰۱۶ به ۱۰۰ مقاله می‌رسد. این فراوانی مقالات و نرخ صعودی آن در سال‌های اخیر، بر اهمیت این موضوع صحه می‌گذارد و انگیزه‌ی تحقیق در این حوزه را فزونی می‌بخشد [۲]. سوالی که این مقاله در پی بررسی و پاسخ به آن است، چالش‌ها، روند شکل‌گیری و حرکت مقالات منتشر شده در حوزه پیش‌بینی فرآیند است. به علاوه جایگاه روش‌های پایش پیش‌بینی کننده فرآیند در معماری سازمانی و روش‌های بهبود و مهندسی مجدد فرآیندها در این مقاله بررسی شده‌است.

در این مقاله در بخش ۲ روش‌های پایش پیش‌بینی کننده فرآیند شرح داده شده‌است. در بخش ۳ پژوهش‌های گذشته بررسی شده‌است. مقایسه مقالات و پژوهشی‌های انجام شده در بخش ۴ صورت گرفته است. چالش‌های روش‌های ترکیبی پیش‌بینی و مشکلات آنها در بخش ۵ مورد بحث قرار گرفته است. در بخش ۶ جایگاه پایش پیش‌بینی کننده فرآیند در چرخه استقرار و نگهداری معماری سازمانی و روش‌های بهبود و مهندسی فرآیندهای سازمان مطرح شده‌است. بخش ۷ نیز به نتیجه گیری مقاله پرداخته است.

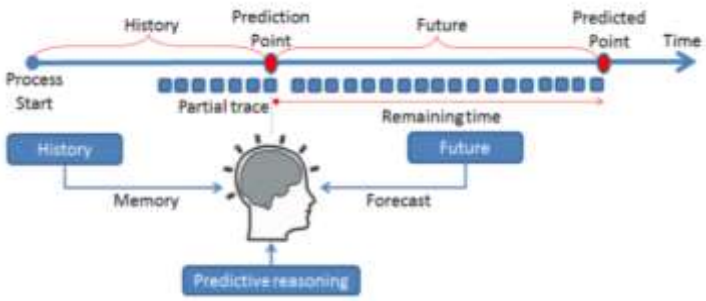
۲- پایش پیش‌بینی کننده فرآیند

پایش پیش‌بینی‌کننده فرآیندها، بر اساس تحلیل و نظارت بر اجرای فرآیندها به کاربران خود این توانایی را می‌دهد که به صورت مستمر، در مورد اجرای فرآیندها و خروجی‌های آنها پیش‌بینی کنند. در واقع در این نوع پیش‌بینی با از پیش آگاه شدن نسبت به نواقص، انحرافات و تاخیرهای اجرای یک فرآیند، توانایی اقدامات پیشگیرانه [3] به سازمان داده می‌شود [۳].

محور اصلی روش‌های پایش پیش‌بینی‌کننده فرآیند مدل‌های پیش‌بینی است که با کمک الگوریتم‌های یادگیری و بر اساس نگاره‌های رویداد از فرآیندهای تکمیل شده ساخته می‌شوند. در روش‌های پیش‌بینی فرآیند، از الگوریتم‌هایی مانند رگرسیون خطی و چندگانه، درخت تصمیم‌گیری، ماشین بردار پشتیبان [4]، شبکه عصبی مصنوعی [5] و دیگر الگوریتم‌های یادگیری ماشین استفاده می‌شود.

پیش‌بینی‌ها می‌توانند باتوجه به نیاز هر سازمان و کسب‌وکارهای آن باشد. چند نمونه از پیش‌بینی‌ها در سازمان می‌تواند اتمام موفق یک فرآیند، پیش‌بینی گام بعدی فرآیند، یا حتی ممکن است زمان اتمام و ریسک فرآیند باشد، که توسط تحلیل‌ها مورد پایش و پیش‌بینی قرار می‌گیرند. برای مثال در صنعت حمل‌ونقل، از فرآیندکاوی برای زمانبندی تحویل کالا برای مشتریان استفاده می‌شود. در سیستم سلامت، پزشکان با استفاده از فرآیندکاوی از تجارب موفق گذشته در بهبود بیماران جدید بهره می‌گیرند و در کسب‌وکارهای هواپیمایی از فرآیندکاوی برای کشف و پیش‌گیری از مشکلات مربوط به تاخیر و عدم حضور مسافران استفاده می‌شود.

با توجه به عدم قطعیت و کثرت متغیرهای موثر در محیط، پیش‌بینی فرآیند-ها از جوانب متفاوت، کار بسیار دشواری است. در نتیجه در پایش پیش‌بینی‌کننده فرآیند، پیش‌بینی‌ها معمولا در یک نقطه مشخص از زمان صورت می‌گیرد، که اطلاعات کافی برای پیش‌بینی فراهم شده باشد. همانطور که در شکل ۱



شکل ۱: نقطه پیش‌بینی و نقطه پیش‌بینی شده در پایش پیش‌بینی کننده فرآیند [۳۵].

[1] Reactive
[2] Predictive Business Process Monitoring
[3] Preventive Actions
[4] Support Vector Machines
[5] Artificial Neural Network

مشخص شده‌است، نقطه پیش‌بینی[1] نقطه‌ای در زمان فرآیند است که پیش‌بینی در آن نقطه رخ می‌دهد و نقطه پیش‌بینی شده[2]، نقطه‌ای در زمان فرآیند است، که ارزش معیار کارایی فرآیند، در آن نقطه پیش‌بینی شده‌است.

رویکردهای سنتی پایش فرآیند، مبتنی بر تحلیل آفلاین اجرای فرآیند و مشاهده زمان اجرای فرآیند بوده‌است و تخمین‌های کارایی به صورت واکنشی ارائه می‌شدند، یعنی این روش‌ها، نقایص و مشکلات فرآیند را بعد از اتمام فرآیند تشخیص می‌دادند. پایش پیش‌بینی‌کننده فرآیند با استفاده از داده‌های تولید شده در حین اجرای فرآیند به صورت پویا به شناسایی محدودیت‌هایی پایش سنتی کمک می‌کند [۴]. جدول ۱ روش‌های تحلیل و مدیریت فرآیندهای کسب‌وکار را باهم مقایسه می‌کند.

جدول ۱: مقایسه روش‌های تحلیل فرآیند کسب‌وکار.

	ورودی	*بازه تحلیل*	*هدف(خروجی)*
فرآیندکاوی	فرآیندهای اجرا شده	گذشته‌نگر	شناسایی مشکلات فرآیند
پایش فعالیت‌های کسب‌وکار	فرآیند در حال اجرا	حال‌نگر	نظارت بر رویدادهای فرآیند
هوش تجاری	داده‌های ترکیبی از داخل و خارج سازمان	آینده‌نگر	پیش‌بینی محیط و بازار
پایش پیش‌بینی کننده فرآیند	مدل‌های پیش‌بینی و جریان رویدادها	آینده‌نگر	پیش‌بینی جنبه‌های مختلف اجرای فرآیند

۳- بررسی پژوهش‌های پیشین

امروزه پتانسیل بالقوه‌ای برای بهره‌گیری بیشتر و بهتر از روش‌های پیش‌بینی فرآیند در سازمان‌ها وجود دارد. البته با وجود روش‌های بسیار زیادی که از فنون مختلف برای پیش‌بینی استفاده می‌کنند، انتخاب و استفاده از آنها برای سازمان‌ها کمی گیج‌کننده شده‌است. تحقیقات صورت گرفته نیز بر مشکل سازمان‌ها در آماده‌سازی داده‌های لازم و اینکه چه چیزی می‌تواند با استفاده از این داده‌ها و تحت چه روشی، پیش‌بینی شود، اذعان می‌کند [۵]. در مجموع اگر روش‌های پیش‌بینی فرآیند را بر مبنای هدف پیش‌بینی آنها دسته‌بندی کنیم، کارهای پیشین منتشر شده، به چهار دسته اصلی تقسیم می‌شوند: ۱)پیش‌بینی مبتنی بر زمان[3]، ۲)پیش‌بینی خروجی فرآیند[4]، ۳)پیش‌بینی مسیر فرآیند[5] و ۴)پیش‌بینی ریسک فرآیند[6].

3-1- دسته اول: پیش‌بینی مبتنی بر زمان فرآیند

در پیش‌بینی مبتنی بر زمان فرآیند، زمان جنبه اصلی پیش‌بینی است. یعنی هر کاربر یا مشتری خواهان آگاهی یافتن از زمان دقیق خاتمه یافتن یک فرآیند، فعالیت یا وظیفه خاص است به همین دلیل باید بر اساس پیش‌بینی‌ها زمان دقیق اتمام آنها یافته شود. زمان باقی مانده، زمان تکمیل فرآیند، ضرب الاجل فرآیند، طول یک فرآیند، میانگین زمانی فرآیند و تاخیر در این دسته مورد پیش-بینی قرار می‌گیرد [۶, ۱۰-۲۱].

مقاله [۶]، روشی برای پیش‌بینی باقی مانده زمان اجرای فرآیندها، با فرض زمان سپری شده از آخرین رویداد ثبت شده ارائه شده‌است. در این پژوهش، یک مورد مطالعاتی در بخش حمل‌ونقل هلند بررسی شده‌است و نگاره‌های ثبت شده شامل ورود کشتی‌ها، تخلیه کانتینرها و تاریخ بارگیری کانتینرها در سیستم ترابری داخلی کشور هلند است. روش ارائه شده در این پژوهش، در تلاش برای پیش‌بینی زمان باقی‌مانده فرآیند مذکور است. برای ارزیابی نیز از مدل شبیه‌سازی شده داده‌های واقعی سیستم معرفی شده استفاده شده‌است. از مدل‌های مذکور ۱۰۰ اجرای مختلف تولید شده و به صورت نگاره‌های شبیه‌سازی شده ذخیره شده‌اند، علاوه بر مدل شبیه‌سازی شده، مدل شبکه پتری نیز به عنوان ورودی مورد استفاده قرار گرفته است. این روش به عنوان ورودی مدل فرآیند کسب‌وکار، وضعیت حاضر فرآیند نمونه، زمان کنونی و تعداد تکرار شبیه‌سازی شده را دریافت می‌کند و به عنوان خروجی میزان زمان باقی مانده فرآیند را تولید می‌کند و در نهایت به صورت افزوده[7] ProM[8] پیاده‌سازی شده‌است.

3-2- دسته دوم: پیش‌بینی خروجی‌های فرآیند

این دسته پیش‌بینی خروجی‌های فرآیند را پیش‌بینی می‌کنند که آیا فرآیندهای یک کسب‌وکار با موفقیت خاتمه می‌یابند یا خیر. همچنین آیا به اهداف کسب‌وکار با موفقیت دست می‌یابیم یا خیر. این دسته از مقالات شامل مقالاتی می‌شوند که به مباحث مربوط به استثنا، نقض و شکست در فرآیندهای کسب‌وکار می‌پردازند. پیش‌بینی خروجی در نقطه زمانی خاص، خروجی احتمالی یک فرآیند، کارایی احتمالی، دستیابی به اهداف، تخمین هزینه و پیش‌بینی رویدادها در این دسته انجام می‌شود [۷, ۲۲-۲۸].

در مقاله‌ای [۷]، که با هدف پیش‌بینی رفتار آینده فرآیندهای کسب‌وکار نگارش یافته است، از جستجوی جدول[9] که به عنوان تاریخچه محسوب می‌شود، استفاده می‌کند. این روش از توالی رویدادها به عنوان ورودی استفاده می‌کند، سپس از مجموعه داده‌های آموزشی که مربوط به تمام نمونه فرآیندها است، آنهایی که با توالی آغاز می‌شوند را انتخاب کرده و احتمال آنکه رویداد بعدی از یک نوع رویداد معین باشد را با شمارش اینکه چه تعداد از توالی‌های انتخاب شده، با یک رویداد معین ادامه می‌یابد، تخمین می‌زند. در مرحله بعدی این تعداد را به شمار فرآیندهایی که این توالی در آنها وجود دارد، تقسیم می‌کند و نتیجه نهایی حاصل شود. نوع رویدادی که بالاترین احتمال را دارد، به عنوان رویداد بعدی پیش‌بینی می‌شود. این روش با استفاده از داده‌های واقعی که شامل ۲۶۲۰۰۰ رویداد در ۱۳۰۸۷ نمونه فرآیند می‌شوند ارزیابی شده‌است. این روش از الگوریتم EM[10] و مدل‌های احتمالی استفاده کرده‌است.

[1] Prediction Point
[2] Predicted Point
[3] Time-based Prediction
[4] Outcome Prediction
[5] Process Path Prediction
[6] Risk Prediction
[7] Plugin
[8] از ابزارهای فرآیندکاوی که به صورت چارچوبی متن باز ارائه شده‌است.
[9] در علم کامپیوتر، یک جدول جستجو یک آرایه است که محاسبات زمان اجرا را با عملیات نمایه‌سازی آرایه ساده‌تر جایگزین می‌کند.
[10] Expectation Maximization

3-3- دسته سوم: پیش‌بینی مسیر فرآیند

دسته مقالات پیش‌بینی مسیر فرآیند به پیش‌بینی مسیر و رفتار آینده فرآیندهای کسب‌وکار و سازمان می‌پردازند. پیش‌بینی مسیر فرآیند یکی از مهم‌ترین دسته‌های پیش‌بینی، در دسته‌بندی انواع پیش‌بینی‌های پایش پیش‌بینی کننده فرآیند است. زیرا انتخاب درست مسیر یک فرآیند، احتمال دریافت خروجی‌های مطلوب از فرآیند را بیشتر خواهد کرد. در این دسته مسیر فرآیند، فعالیت بعدی، رویداد بعدی و بار ترافیک مورد پیش‌بینی قرار می‌گیرد [۸, ۳۱-۲۹].

مقاله [۸]، در این دسته با هدف پیش‌بینی توالی رویدادهای آینده صورت گرفته است. در این پژوهش نویسنده یک سناریو را که در آن مدل یک دنباله جزئی از حوادث به ارمغان می‌آورد، توصیف می‌کند. این مدل در تلاش است تا احتمال دستیابی به توالی آینده‌ای از وقایع را پیش‌بینی کند. برای ارزیابی این روش از نگاره‌های ثبت شده در دنیای واقعی که در چالش هوش فرآیندی کسب‌وکار[۱] سال ۲۰۱۲ مورد استفاده قرار گرفته است، بهره گرفته‌اند. نگاره‌های ثبت شده برای یک شرکت مالی است و شامل ۲۶۲۰۰۰ رویداد در ۱۳۰۸۴ نمونه فرآیند است. این روش از ماشین متناهی احتمالی[۲] و برآورد بیشینه‌گر پسین[۳] استفاده کرده‌است. خروجی این روش نیز برآوردهای احتمالی است.

3-4- دسته چهارم: پیش‌بینی ریسک‌های فرآیند

همه فرآیندها با ریسک‌های متعددی همراه هستند و پیش‌بینی میزان ریسک هر یک، از قبل بسیار اهمیت دارد. اندازه‌گیری میزان ریسک‌ها و ارائه توصیه‌های سازنده در جهت کاهش آنها از اهداف اصلی دسته پیش‌بینی ریسک-های فرآیند از پیش‌بینی‌های فرآیند سازمان است. در این دسته ریسک فرآیند و انتشار ریسک[۴] پیش‌بینی می‌شود و در مقاله‌ای از این دسته بر مبنای ریسک فرآیند، فعالیت بعدی پیشنهاد می‌شود [۹, ۳۲, ۳۳].

در مقاله [۹]، هدف ارائه روشی برای پیش‌بینی ریسک فرآیندهای کسب‌وکار است که دستیابی به اهداف کسب‌وکار را در بازه زمانی یا بودجه مشخص به مخاطره می‌اندازند. در مقاله فرآیندهای تراکنش مالی بانک‌ها، مانند صدور کارت‌های اعتباری جدید، نصب دستگاه‌های خودپرداز، نقاط‌فروش[۵] و تراکنش‌های کارتی بررسی شده‌است. در این بررسی‌ها، رفتارهای اشتباهی که ممکن است باعث متحمل شدن هزینه اضافی به بانک شود، تشریح شده‌است. برای مثال اشتباه در فرآیند پول گذاری می‌تواند باعث ارائه اشتباه نقدینگی بین مردم و ضرر به بانک شود. یکی دیگر از ریسک‌های ممکن هنگامی است که یک درخواست اضطراری بانک به علت تفاوت توافقنامه سطح خدمت[۶] بین بانک و مرکز پردازش منجر به ضرر مالی بانک می‌شود. روش ارائه شده در این مقاله برای پیش‌بینی ریسک از شبکه‌های پتری و مدل‌های رگرسیون غیر پارامتریک استفاده کرده‌است و به پیش‌بینی ریسک‌ها قبل از رخ دادن آنها کمک می‌کند. این روش به صورت افزوده برای چارچوب ProM توسعه یافته است.

این افزوده به عنوان ورودی نگاره‌های رویدادهای کسب‌وکار را در فرمت XES و مدل‌های PNML[۷] دریافت می‌کند.

٤- مقایسه روش‌های پایش پیش‌بینی کننده فرآیندهای کسب‌و کار

برای مقایسه روش‌های پایش پیش‌بینی کننده فرآیند و کارهای انجام شده حدود ۳۰ مقاله، که عمدتاً مقالات مجلات معتبر در حوزه علوم و مهندسی کامپیوتر هستند، گردآوری شده‌است. در جدول شماره ۲ مقالات بررسی شده، به صورت دسته‌بندی شده بر مبنای چهار دسته معرفی شده مشخص شده‌اند. در این جدول ابتدا منابع ذکر شده، سپس در ستون دوم سال انتشار مقالات و ستون سوم دسته‌بندی چهارگانه را برای هر مقاله مشخص می‌کند. ستون چهارم جدول جزئیات پیش‌بینی هر مقاله و روش ارائه شده توسط آن را معرفی می‌کند و ستون پنجم الگوریتم استفاده شده در مقاله برای پیش‌بینی و ستون بعدی محیط پیاده‌سازی استفاده شده برای پیش‌بینی را بیان کرده‌است. در نهایت ستون آخر حوزه مورد مطالعه و کسب‌وکار روش‌های ارائه شده را بیان می‌کند. لازم به ذکر است برای مقالاتی که محیط پیاده‌سازی روش پیشنهاد شده، مشخص نشده‌است ستون محیط پیاده‌سازی با خط تیره پر شده و همینطور خط تیره در ستون حوزه مطالعاتی به این معنی است که یک حوزه خاص مورد مطالعه قرار نگرفته است.

در نگاه اول به جدول با توجه به مقالات مورد بررسی این مقاله، غنی بودن مقالات دسته پیش‌بینی‌های مبتنی بر زمان به خوبی مشخص است. اغلب مقالات این دسته بر پیش‌بینی زمان باقی مانده فرآیند متمرکز هستند. از نظر زمان انتشار، میانگین زمانی انتشار مقالات این دسته نیز قدیمی‌تر از دسته‌های دیگر است، که این موضوع بیشتر بودن مقالات این دسته را توجیه می‌کند. حوزه مطالعاتی این دسته بیشتر کسب‌وکارهای مرتبط با حمل‌ونقل است و روش‌های پیاده‌سازی قالب آنها ابزار متن باز ProM است. از جمیع این موارد می‌توان نتیجه گرفت در این حوزه مقالات به بلوغ نسبی دست یافته و ابزار ProM یک ابزار مناسب برای استفاده سازمان‌ها در پیش‌بینی فرآیندها مبتنی بر زمان است.

هدف پیش‌بینی مقالات مرتبط با دسته دوم، مقالات پیش‌بینی خروجی، بسیار پراکنده تر از مقالات دسته اول است و نمی‌توان به صورت قاطع بیان کرد که تمرکز پیش‌بینی مقالات چه موضوعی است. حوزه مطالعاتی قالب این دسته موسسات مالی است. نکته دیگری که برای روش‌های این دسته قابل توجه است، عدم وجود مشخص محیط یا ابزار پیاده‌سازی مقالات این دسته است.

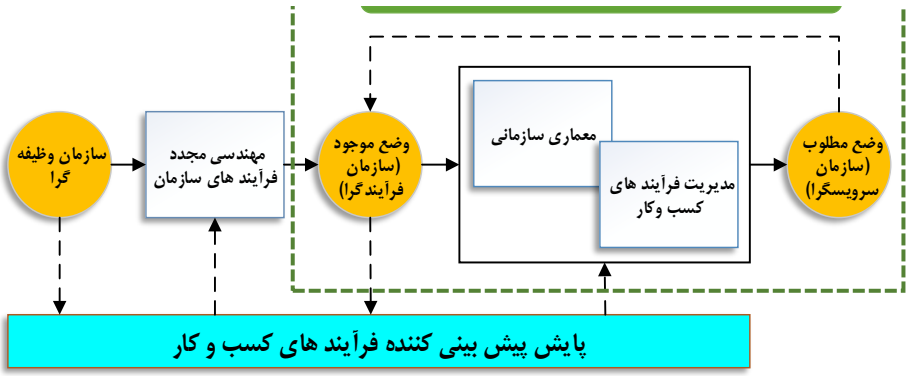
در مجموعه مقالات مورد بررسی ما، تمام مقالات مربوط به پیش‌بینی مسیر فرآیند بعد از سال ۲۰۱۴ منتشر شده‌اند، این مقالات متمرکز بر رفتار فرآیند در آینده و مسیر آینده فرآیند هستند و مانند دسته دوم، در مقالات دسته سوم نیز ابزار یا محیط پیاده‌سازی دقیقی وجود ندارد.

---

[1] Business Process Intelligence Challenge
[2] Probabilistic Finite Automata
[۳] Maximum a Posteriori، از روش‌های آماری است.
[4] Risk Propagation
[5] POS
[6] Service-level Agreement
[۷] یک استاندارد بین المللی برای نگاشت و تغییر قالب شبکه‌های پتری است.

جدول ۲: مقایسه روش‌های پیش‌بینی کننده فرآیندهای کسب‌وکار.

منبع	تاریخ انتشار	نوع پیش‌بینی	جزئیات پیش‌بینی	الگوریتم پیش‌بینی	محیط پیاده‌سازی	حوزه مطالعاتی
[۱۰]	۲۰۱۴	پیش‌بینی مبتنی بر زمان	زمان تکمیل فرآیند و فعالیت بعدی	کشف الگوی متوالی	–	–
[۱۱]	۲۰۱۵	پیش‌بینی مبتنی بر زمان	زمان باقی مانده، گام بعدی و پیش-بینی مهلت ضرب الاجل	درخت تصمیم‌گیری و تصمیم‌کاوی	CoCaMa	–
[۱۲]	۲۰۱۵	پیش‌بینی مبتنی بر زمان	طول زمان یک فعالیت	سری زمانی	ProM	–
[۱۳]	۲۰۱۴	پیش‌بینی مبتنی بر زمان	زمان باقی مانده	مدل‌های رگرسیون	ProM	حمل‌ونقل
[۱۴]	۲۰۱۱	پیش‌بینی مبتنی بر زمان	زمان باقی مانده	مدل پنهان مارکوف	–	–
[۶]	۲۰۱۳	پیش‌بینی مبتنی بر زمان	زمان باقی مانده	مدل احتمالی شبکه پتری	ProM	حمل‌ونقل
[۱۵]	۲۰۱۳	پیش‌بینی مبتنی بر زمان	زمان باقی مانده	کشف الگو، مدل‌های رگرسیون غیر پارامتریک و خوشه‌بندی پیش‌بینی	–	حمل‌ونقل
[۱۶]	۲۰۱۲	پیش‌بینی مبتنی بر زمان	میانگین زمانی فرآیند	شبیه‌سازی جریان‌کاری	–	موسسات مالی
[۱۷]	۲۰۱۴	پیش‌بینی مبتنی بر زمان	زمان باقی مانده	کاتالوگ‌های پرس‌وجو	–	–
[۱۸]	۲۰۱۴	پیش‌بینی مبتنی بر زمان	میانگین تاخیر زمانی	صف‌کاوی	–	–
[۱۹]	۲۰۱۳	پیش‌بینی مبتنی بر زمان	زمان باقی مانده و میانگین زمان پردازش	درخت طبقه‌بندی پیش‌بینی	ProM	حمل‌ونقل
[۲۰]	۲۰۱۲	پیش‌بینی مبتنی بر زمان	زمان باقی مانده	درخت طبقه‌بندی پیش‌بینی	–	حمل‌ونقل
[۲۱]	۲۰۱۶	پیش‌بینی مبتنی بر زمان	زمان انتظار، مدت زمان بازدهی و نرخ سودمندی	آزمون تحلیل واریانس	ProM	موسسات مالی
[۲۲]	۲۰۱۱	پیش‌بینی خروجی	پیش‌بینی خروجی در نقطه زمانی خاص	بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها و درخت تصمیم‌گیری	–	موسسات بیمه‌ای
[۲۳]	۲۰۱۴	پیش‌بینی خروجی	خروجی احتمالی یک فرآیند در حال اجرا	درخت طبقه‌بندی پیش‌بینی	–	–
[۲۴]	۲۰۱۶	پیش‌بینی خروجی	تخمین احتمالی خروجی	متن‌کاوی و طبقه‌بندی متوالی	پایتون	موسسات مالی
[۲۵]	۲۰۱۶	پیش‌بینی خروجی	کارایی احتمالی (مثلاً با سنجش زمان باقی مانده بر تعداد گام ها)	مدل‌های رگرسیون غیر پارامتریک و الگوریتم‌های EM	–	–
[۲۶]	۲۰۱۵	پیش‌بینی خروجی	تخمین کارایی	سری زمانی	–	حمل‌ونقل
[۲۷]	۲۰۱۶	پیش‌بینی خروجی	دستیابی به اهداف فرآیند	طبقه‌بندی درخت تصمیم	–	مخابرات
[۲۸]	۲۰۱۴	پیش‌بینی خروجی	تخمین هزینه فرآیند	مشخص نشده	ProM	–
[۷]	۲۰۱۶	پیش‌بینی خروجی	پیش‌بینی رویداد بعدی	الگوریتم‌های EM و مدل‌های رگرسیون	–	موسسات مالی
[۲۹]	۲۰۱۶	پیش‌بینی مسیر فرآیند	پیش‌بینی مسیر فرآیند	درخت تصمیم‌گیری و الگوریتم انتخاب مسیر	–	–
[۳۰]	۲۰۱۴	پیش‌بینی مسیر فرآیند	پیش‌بینی فعالیت بعدی	مدل‌های مارکوف، الگوریتم K-mean و خوشه‌بندی	–	مخابرات
[۳۱]	۲۰۱۴	پیش‌بینی مسیر فرآیند	پیش‌بینی رویداد بعدی	ماشین متناهی پیش‌بینی (PFA) و ترکیب جستجوی توری با الگوریتم EM	جاوا	–
[۸]	۲۰۱۲	پیش‌بینی مسیر فرآیند	پیش‌بینی بار ترافیک	مشخص نشده	–	شبکه
[۳۲]	۲۰۱۵	پیش‌بینی ریسک فرآیند	پیشنهاد فعالیت بعدی بر مبنای ریسک	درخت تصمیم‌گیری	YAWL BPM system	موسسات بیمه‌ای
[۹]	۲۰۱۶	پیش‌بینی ریسک فرآیند	ریسک فرآیند	مدل‌های رگرسیون غیر پارامتریک و سری زمانی	ProM	موسسات مالی
[۳۳]	۲۰۱۶	پیش‌بینی ریسک فرآیند	انتشار ریسک در نمونه فرآیند	گراف مشابهت وزنی فرآیند (PING) و الگوریتم انتشار ریسک	Workflow Management System Camunda	موسسات مالی
[۳۴]	۲۰۱۷	پیش‌بینی مبتنی بر زمان و مسیر فرآیند	پیش‌بینی زمان باقی مانده، رویداد بعدی و زمان رویداد بعدی، وظیفه بعدی و مسیر فرآیند	شبکه عصبی بازگشتی با حافظه طولانی کوتاه مدت	پایتون	-



شکل ۲: جایگاه روش‌های پیش‌بینی کننده فرآیندها در معماری سازمانی.

مقالات مرتبط با دسته آخر که متمرکز بر پیش‌بینی ریسک فرآیند هستند، بیشترین توجه را در حوزه‌های مطالعاتی مالی و بیمه کسب کرده‌اند که با توجه به خاصیت بازارهای مالی، این موضوع کاملا منطقی به نظر می‌رسد. مقالات این دسته از نظر بازه انتشار، جدیدترین مقالات هستند که نمایانگر انتقال تمرکز مقالات در سال‌های اخیر به این دسته است. علی رغم دسته‌های دوم و سوم، این دسته از مقالات از نظر ابزار پیاده‌سازی غنی‌تر به نظر می‌رسند و این موضوع استفاده و به کارگیری پیش‌بینی‌های مرتبط با ریسک را برای سازمان‌ها ساده‌تر می‌کند.

۵- چالش‌های روش‌های پیش‌بینی ترکیبی

در دسته‌بندی مقالات در حوزه پیش‌بینی فرآیند، دسته‌ای از مقالات هستند که سعی در ارائه پیش‌بینی‌های فرآیند به صورت ترکیبی دارند. به این معنی که دستاورد آنها پیش‌بینی دو هدف به صورت همزمان است. به عنوان مثال زمان باقی مانده و گام بعدی در فرآیند به صورت همزمان پیش‌بینی می‌شود. این مقالات از نظر زمانی اغلب جدیدتر از میانگین روش‌های پیش‌بینی با یک هدف هستند، که به خوبی روند حرکت پژوهش به ارائه روش‌های پیش‌بینی ترکیبی را مشخص می‌کند. برای این منظور از روش‌های شبکه عصبی بازگشتی، درخت تصمیم‌گیری و آزمون تحلیل واریانس استفاده شده‌است.

مقاله‌ی [۳۴] که در سال ۲۰۱۷ منتشر شده و تا زمان نگارش مقاله حاضر ۱۸ بار مورد ارجاع قرار گرفته است، از مقالاتی است که به صورت خاص روشی برای پیش‌بینی‌های ترکیبی پیشنهاد داده‌است. این مقاله در مقایسه با روش‌های گذشته، با بهره‌گیری از شبکه‌های عصبی بازگشتی، علاوه بر ایجاد مدل‌های پیش‌بینی با قابلیت ارائه پیش‌بینی‌های ترکیبی، یکی از بالاترین نرخ صحت پیش‌بینی را در ارزیابی روش خود بدست آورده‌است. البته دستیابی به این نرخ بالای صحت و مدل‌های ترکیبی پیش‌بینی باعث افزایش بار پردازشی روش ارائه شده در مقاله مذکور شده‌است. برای رفع مشکل بار پردازشی بالا در روش-های پیش‌بینی ترکیبی، می‌توان از ایده مقاله [۴] برای انتقال بخشی از گام‌های پردازش از زمان اجرا به بخش پیش‌پردازش استفاده کرد.

۶- جایگاه پایش پیش‌بینی کننده فرآیند در معماری سازمانی و مدیریت فرآیندها

روش‌های پایش پیش‌بینی کننده فرآیندهای کسب‌وکار را می‌توان به عنوان یکی از ابزارها و راه‌حل‌های گذر از وضع موجود سازمان به وضع مطلوب، به خدمت گرفت. در پروژه‌های معماری سازمانی اغلب یک فاز پیش از معماری برای انتقال سازمان از شرایط وظیفه‌گرا به فرآیندگرا رخ می‌دهد. پس از آن چرخه استقرار و نگهداری معماری سازمانی در فازهای متفاوت شکل می‌گیرد. همانطور که در شکل ۲ مشخص شده‌است، پایش پیش‌بینی کننده فرآیندهای سازمان، ابتدا در فاز گذر از سازمان وظیفه‌گرا به سازمان فرآیندگرا، که یکی از پیش‌نیازهای استقرار معماری سازمانی و بهبود سازمان است، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در این مرحله، پایش پیش‌بینی کننده فرآیند می‌تواند در

شکل ۳: حوزه‌های مورد تاثیر پایش پیش‌بینی کننده فرآیند در چارچوب زکمن.

مهندسی مجدد فرآیندها و نظارت و پیش‌بینی میزان تناسب فرآیندهای باز تعریف شده توسط مهندسی مجدد مثمر ثمر واقع شود. در گام بعدی، پایش پیش‌بینی کننده فرآیندهای کسب‌وکار، در چرخه استقرار و نگهداری معماری سازمانی و همچنین در مدیریت فرآیندهای کسب‌وکار، به عنوان یک راه‌حل و یک ابزار در جهت بهبود شرایط سازمان و انطباق فرآیندها با نیازها، مورد استفاده و بهره‌برداری قرار می‌گیرد. در واقع پایش پیش‌بینی کننده در کنار چرخه مدیریت فرآیندها، می‌تواند به عنوان یکی از نتایج معماری سازمانی در همراستا سازی کسب‌وکار و فرآیندهای سازمانی، و بهبود شرایط و تصمیم‌گیری‌های داخلی سازمان، با پیش‌بینی فرآیندهای سازمان از جنبه‌های مختلف باتوجه به نیاز سازمان مفید واقع شود.

در شکل ۳ پایش پیش‌بینی کننده فرآیند به چارچوب زکمن، که چارچوب مادر در معماری سازمانی است، نگاشت داده شده و جنبه‌هایی از سازمان را که توسط پایش پیش‌بینی کننده فرآیند تحت تاثیر قرار می‌گیرد، مشخص شده-است. همانطور که در شکل نمایش داده شده، با توجه به نتایج استفاده از پایش پیش‌بینی کننده فرآیندها، فرآیندهای سازمانی، گردش کاری، رویدادهای سازمانی و سیستمی، اهداف کوتاه مدت و فعالیت‌ها را مورد تاثیر قرار می‌دهد. نکته قابل مشاهده در این شکل تمرکز تاثیر روش‌های پیش‌بینی فرآیند بر دیدگاه منتسب به مالک در چارچوب زکمن است و این موضوع حاکی از توانایی این روش‌ها در به کارگیری و استفاده توسط ذینفعان در سطوح بالای مدیریت سازمان و به طور خاص مالک سازمان در پایش و نظارت بر فرآیندهای سازمان است.

۷- نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر پایش پیش‌بینی کننده فرآیندهای کسب‌وکار در حوزه پژوهشی و عملیاتی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. این روش با ارائه بینشی آینده‌نگر به سازمان و مدیریت سازمان، توانایی هدایت درست کسب‌وکار در جهت کاهش هزینه‌ها و مشکلات، و به حداکثر رساندن بهره‌مندی از فرصت‌ها را می‌دهد. بررسی‌های صورت گرفته در مقالات پایش پیش‌بینی کننده فرآیند-های کسب‌وکار، بر روند رو به رشد جهت‌گیری مقالات، برای ارائه روش‌های پیش‌بینی ترکیبی، با استفاده از یک مدل پیش‌بینی واحد دارد. اگرچه به نظر می‌رسد که روش‌های حال حاضر برای این مقصود، از کمبودهایی، مانند بار پردازشی بالا برخوردار هستند.

روش‌های پایش پیش‌بینی کننده فرآیندها در مراحل مختلفی از چرخه حیات سازمان و معماری سازمانی قابلیت استفاده در جهت بهبود و سهولت بخشیدن به فرآیند گذر سازمان از وضع موجود به وضع مطلوب را دارند. روش-های پیش‌بینی فرآیند هم قبل از معماری سازمانی در هموارسازی راه و احیا شرایط لازم برای استقرار معماری سازمانی می‌تواند موثر عمل کنند و هم به عنوان یک ابزار و راه‌حل پس از استقرار معماری سازمانی در خدمت سازمان قرار می‌گیرند.

منابع

[1] C. Koshy, “A Literature Review on Predictive Monitoring of Business Processes,” UNIVERSITY OF TARTU,Institute of Computer Science, 2017.

[2] M. Lorenzen, F. Allgöwer, and M. Cannon, “Adaptive model predictive control with robust constraint satisfaction,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 50, no. 1, pp. 3313–3318, 2017.

[3] I. Verenich, M. Dumas, M. La Rosa, F. Maggi, and I. Teinemaa, “Survey and cross-benchmark comparison of remaining time prediction methods in business process monitoring,” *arXiv Prepr. arXiv1805.02896*, 2018.

[4] C. Di Francescomarino, M. Dumas, F. M. Maggi, and I. Teinemaa, “Clustering-based predictive process monitoring,” *IEEE Trans. Serv. Comput.*, 2016.

[5] A. Cuzzocrea, F. Folino, M. Guarascio, and L. Pontieri, “Predictive monitoring of temporally-aggregated performance indicators of business processes against low-level streaming events,” *Inf. Syst.*, 2018.

[6] A. Rogge-Solti and M. Weske, “Prediction of remaining service execution time using stochastic petri nets with arbitrary firing delays,” in *International Conference on Service-Oriented Computing*, 2013, pp. 389–403.

[7] D. Breuker, M. Matzner, P. Delfmann, and J. Becker, “Comprehensible Predictive Models for Business Processes.,” *MIS Q.*, vol. 40, no. 4, pp. 1009–1034, 2016.

[8] K. Krinkin and E. Kalishenko, “Traffic prediction in wireless mesh networks using process mining algorithms,” in *Open Innovations Association (FRUCT), 2012 11th Conference of*, 2012, pp. 88–94.

[9] A. Pika, W. M. P. van der Aalst, M. T. Wynn, C. J. Fidge, and A. H. M. ter Hofstede, “Evaluating and predicting overall process risk using event logs,” *Inf. Sci. (Ny).*, vol. 352, pp. 98–120, 2016.

[10] M. Ceci, P. F. Lanotte, F. Fumarola, D. Pietro Cavallo, and D. Malerba, “Completion time and next activity prediction of processes using sequential pattern mining,” in *International Conference on Discovery Science*, 2014, pp. 49–61.

[11] S. Huber, M. Fietta, and S. Hof, “Next step recommendation and prediction based on process mining in adaptive case management,” in *Proceedings of the 7th International Conference on Subject-Oriented Business Process Management*, 2015, p. 3.

[12] A. Rogge-Solti, L. Vana, and J. Mendling, “Time series petri net models-enrichment and prediction,” 2015.

[13] M. Polato, A. Sperduti, A. Burattin, and M. de Leoni, “Data-aware remaining time prediction of business process instances,” in *Neural Networks (IJCNN), 2014 International Joint Conference on*, 2014, pp. 816–823.

[14] S. Pandey, S. Nepal, and S. Chen, “A test-bed for the evaluation of business process prediction techniques,” in *Collaborative Computing: Networking, Applications and Worksharing (CollaborateCom), 2011 7th International Conference on*, 2011, pp. 382–391.

[15] A. Bevacqua, M. Carnuccio, F. Folino, M. Guarascio, and L. Pontieri, “Adaptive Trace Abstraction Approach for Predicting Business Process Performances,” in *21st Italian Symposium on Advanced Database Systems, SEBD 2013*, 2013.

Nauta, "A framework for cost-aware process management: cost reporting and cost prediction," *J. Univers. Comput. Sci.*, vol. 20, no. 3, pp. 406–430, 2014.

[29] M. Unuvar, G. T. Lakshmanan, and Y. N. Doganata, "Leveraging path information to generate predictions for parallel business processes," *Knowl. Inf. Syst.*, vol. 47, no. 2, pp. 433–461, 2016.

[30] M. Le, D. Nauck, B. Gabrys, and T. Martin, "Sequential Clustering for Event Sequences and Its Impact on Next Process Step Prediction," in *International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems*, 2014, pp. 168–178.

[31] J. Becker, D. Breuker, P. Delfmann, and M. Matzner, "Designing and implementing a framework for event-based predictive modelling of business processes," *Enterp. Model. Inf. Syst. Archit. 2014*, 2014.

[32] R. Conforti, M. de Leoni, M. La Rosa, W. M. P. van der Aalst, and A. H. M. ter Hofstede, "A recommendation system for predicting risks across multiple business process instances," *Decis. Support Syst.*, vol. 69, pp. 1–19, 2015.

[33] R. Conforti, S. Fink, J. Manderscheid, and M. Röglinger, "Prism--a predictive risk monitoring approach for business processes," in *International Conference on Business Process Management*, 2016, pp. 383–400.

[34] N. Tax, I. Verenich, M. La Rosa, and M. Dumas, "Predictive business process monitoring with LSTM neural networks," in *International Conference on Advanced Information Systems Engineering*, 2017, pp. 477–492.

[35] C. Di Francescomarino, C. Ghidini, F. M. Maggi, and F. Milani, "Predictive Process Monitoring Methods: Which One Suits Me Best?," *arXiv Prepr. arXiv1804.02422*, 2018.

[16] Y. Liu, H. Zhang, C. Li, and R. J. Jiao, "Workflow simulation for operational decision support using event graph through process mining," *Decis. Support Syst.*, vol. 52, no. 3, pp. 685–697, 2012.

[17] A. Bolt and M. Sepúlveda, "Process remaining time prediction using query catalogs," in *International Conference on Business Process Management*, 2014, pp. 54–65.

[18] A. Senderovich, M. Weidlich, A. Gal, and A. Mandelbaum, "Queue mining--predicting delays in service processes," in *International Conference on Advanced Information Systems Engineering*, 2014, pp. 42–57.

[19] A. Bevacqua, M. Carnuccio, F. Folino, M. Guarascio, and L. Pontieri, "A data-driven prediction framework for analyzing and monitoring business process performances," in *International Conference on Enterprise Information Systems*, 2013, pp. 100–117.

[20] F. Folino, M. Guarascio, and L. Pontieri, "Context-aware predictions on business processes: an ensemble-based solution," in *International Workshop on New Frontiers in Mining Complex Patterns*, 2012, pp. 215–229.

[21] B. F. A. Hompes, J. C. A. M. Buijs, and W. M. P. van der Aalst, "A generic framework for context-aware process performance analysis," in *OTM Confederated International Conferences" On the Move to Meaningful Internet Systems"*, 2016, pp. 300–317.

[22] G. T. Lakshmanan, S. Duan, P. T. Keyser, F. Curbera, and R. Khalaf, "Predictive analytics for semi-structured case oriented business processes," in *International Conference on Business Process Management*, 2011, pp. 640–651.

[23] S. Pravilovic, A. Appice, and D. Malerba, "Process mining to forecast the future of running cases," in *International Workshop on New Frontiers in Mining Complex Patterns*, 2014, pp. 67–81.

[24] I. Teinemaa, M. Dumas, F. M. Maggi, and C. Di Francescomarino, "Predictive business process monitoring with structured and unstructured data," in *International Conference on Business Process Management*, 2016, pp. 401–417.

[25] E. Cesario, F. Folino, M. Guarascio, and L. Pontieri, "A Cloud-Based Prediction Framework for Analyzing Business Process Performances," in *International Conference on Availability, Reliability, and Security*, 2016, pp. 63–80.

[26] F. Folino, M. Guarascio, and L. Pontieri, "A prediction framework for proactively monitoring aggregate process-performance indicators," in *Enterprise Distributed Object Computing Conference (EDOC), 2015 IEEE 19th International*, 2015, pp. 128–133.

[27] H. Horita, H. Hirayama, T. Hayase, Y. Tahara, and A. Ohsuga, "Process Mining Approach Based on Partial Structures of Event Logs and Decision Tree Learning," in *Advanced Applied Informatics (IIAI-AAI), 2016 5th IIAI International Congress on*, 2016, pp. 113–118.

[28] M. T. Wynn, W. Z. Low, A. H. M. ter Hofstede, and W.