

شناسایی رانش مفهوم در نگاره رویداد با استفاده

از اطلاعات آماری گونه‌ها



فرشته جوادزاده، مهدی یعقوبی* و سهیلا کرباسی

گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی مهندسی گرگان، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

چکیده

در سال‌های اخیر مدیریت فرآیندهای سازمانی (BPM)، به دلیل افزایش کارایی سازمان‌ها بسیار مورد توجه قرار گرفته است. استخراج و تحلیل اطلاعات فرآیندهای سازمانی بخش مهمی از این ساختار است؛ اما این فرآیندها در طول زمان پایدار نیستند و به مرور دچار تغییر می‌شوند که به این تغییرات، رانش مفهوم در فرآیند گفته می‌شود. کشف رانش‌های مفهوم یکی از چالش‌های موجود در حوزه مدیریت فرآیندهای سازمانی است. در این مقاله الگوریتمی برای شناسایی رانش‌های مفهوم در نگاره رویداد ارائه شده که براساس تحلیل توزیع گونه‌های دنباله در اجرای فرآیند است. در این روش با حرکت دو پنجره روی نگاره رویداد، دو بردار ویژگی از گونه‌های دنباله‌های دو پنجره حاصل و سپس با استفاده از آزمون‌های آماری گونه‌های دو پنجره با یکدیگر مقایسه و در نهایت رانش‌ها شناسایی می‌شوند. آزمایش‌های صورت گرفته روی پایگاه‌های داده مصنوعی، درستی روش و برتری آن را نسبت به روش‌های پیشین نشان می‌دهند.

واژگان کلیدی: رانش مفهوم، نگاره رویداد، فرآیند کاوی، فرآیندهای سازمانی، گونه

Concept drift detection in event logs using statistical information of variants

Fereshteh javadzadeh, Mehdi Yaghoubi* & Soheila Karbasi

Department of Computer Engineering, Faculty of engineering,

Golestan university, Gorgan, Iran

Abstract

In recent years, business process management (BPM) has been highly regarded as an improvement in the efficiency and effectiveness of organizations. Extracting and analyzing information on business processes is an important part of this structure. But these processes are not sustainable over time and may change for a variety of reasons, such as the environment, human resources, capital market changes, seasonal, and climate changes. These changes in business processes are referred to as concept drift in event logs. The discovery of concept drifts is one of the challenges in business process management. These drifts may occur suddenly, gradually, periodically, or incrementally. This paper proposes an algorithm for identifying sudden concept drifts in event logs that are created by BPM. Each execution of the process instance follows a specific path in the process model called a trace, all traces that follow the same path in process model are called a variant. The proposed algorithm is based on the distribution of trace variants in the execution of processes. In this method, by moving two sliding windows on the event log, two feature vectors are derived from the two windows trace variants, these windows are named reference and detection windows. Then variants of the two windows are compared by applying statistical G-test and finally the drifts are identified. In statistics, G-test is likelihood-ratio or maximum likelihood statistical significance test. Experiments on artificial databases show the correctness of the method and its superiority to the previous methods. In the proposed method, the detection accuracy is 0.06% better than state-of-the-art methods on average

Keywords: Concept drift, event log, process mining, business processes, variant

* Corresponding author

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات

رانش مفهوم به طور عمومی می تواند به چهار حالت عمده^۶ ناگهانی^۶، تدریجی^۷، دوره ای^۸ و افزایشی^۹ اتفاق بیافتد که در شکل (۱) نمایش داده شده است. در تغییرات ناگهانی، فرآیند جدید جایگزین فرآیند موجود می شود و به طور معمول در مواقع اضطراری یا با تغییر قوانین صورت می گیرد. در تغییرات تدریجی نیز فرآیند موجود به وسیله فرآیند جدید جایگزین می شود اما برخلاف تغییر ناگهانی، در اینجا هر دو فرآیند برای مدت زمانی با هم در حال اجرا هستند و سپس فرآیند پیشین به تدریج کنار گذاشته می شود. تشخیص تغییرات تدریجی نسبت به تغییرات ناگهانی دشوارتر است، زیرا نقطه زمانی مشخصی برای شروع تغییر وجود ندارد. این تغییرات در یک بازه زمانی مشخص می شوند و رفتارهای قبلی به تدریج به رفتارهای جدید تغییر پیدا می کنند. در رانش دوره ای، مجموعه ای از فرآیندها بعد از مدت زمانی دوباره ظاهر می شوند که می تواند به دلیل تغییرات فصلی در سازمان باشد. همان طور که در شکل (۱) نشان داده شده است، در رانش افزایشی، فرآیند M_N با تغییرات کوچک و افزایشی جایگزین فرآیند M_1 شده است. این دسته از رانش ها اغلب در سازمان هایی مشاهده می شوند که در حال ارتقای کیفیت فرآیندهای خود هستند.

روش های شناسایی رانش مفهوم را می توان در دو دسته بزرگ برون خط^{۱۰} و برخط^{۱۱} طبقه بندی کرد [4]. روش های برون خط برای مواردی مناسب هستند که هدف از نتایج به دست آمده از تحلیل روی تغییرات، بهبود و طراحی مجدد فرآیندها است و تغییرات ایجاد شده در فرآیند به صورت بلادرنگ کشف و بررسی نمی شوند. برخلاف آن، در روش های برخط، تغییرات باید به صورت بلادرنگ شناسایی شوند و این امکان را به سازمان می دهند که به سرعت واکنش مناسب نشان دهد و اقدامات لازم برای تطبیق با شرایط جدید را به عمل آورد.

رانش مفهوم در فرآیند در واقع تغییر در مسیرهای مدل فرآیند است. این تغییرها می تواند حذف، ایجاد، تکرار و غیره برای یک مسیر یا چند مسیر در گراف مدل فرآیند باشد، در نتیجه در توزیع آماری اطلاعات ذخیره شده در اجرای فرآیند تأثیر می گذارد. در این مقاله الگوریتمی مبتنی بر توزیع آماری گونه ای دنباله ها در اجرای فرآیند

سامانه های اطلاعاتی که قادر به پشتیبانی فرآیندهای سازمانی هستند، روز به روز در حال افزایش هستند. در این سامانه ها، از اجرای فرآیندهای سازمانی، اطلاعاتی تحت عنوان نگاره رویداد^۱ ذخیره می شود که در فرآیند کاوی^۲ مورد تحلیل و آنالیز قرار می گیرد. فرآیند کاوی، مجموعه روش هایی است که با استفاده از اطلاعات استخراج شده از نگاره رویداد، فرآیندهای سازمانی را کشف و بررسی می کند و در نهایت باعث بهبود اجرای فرآیندها در سازمان ها می شود [1].

نقطه شروع فرآیند کاوی، نگاره رویداد است که شامل مجموعه ای از رویدادها است. در این نگاره ها، هر رویداد به یک کار^۳ (یک گام تعریف شده در مدل فرآیند) اشاره می کند و به یک پرونده^۴ (نمونه ای از اجرای فرآیند) خاص مرتبط است. رویدادهای یک پرونده با یک برچسب زمانی در نگاره رویداد ثبت و به صورت اثری از «اجرای» فرآیند دیده می شوند. در نگاره های رویداد اطلاعات دیگری نیز درباره رویدادها ذخیره می شود که شامل منابع اجراکننده فعالیت (مانند شخص یا دستگاه) و غیره است.

روش های فرآیند کاوی معاصر، به طور عمومی فرآیندها را پایدار در نظر می گیرند؛ در صورتی که امروزه در واقعیت فرآیندهای سازمانی در طول زمان و در فواصل مختلف ممکن است دچار تغییر و تحول شوند. این تغییرات به دلایل مختلفی هم چون تغییر در قوانین سازمان ها، شرایط فصلی، تغییر در عرضه و تقاضا، تعادل بار کاری، تعدیل نیرو و یا بروز بلایا و فجایع طبیعی صورت می گیرد. برای مثال، در بیمارستان ها با توجه به پیشرفت و تغییر مواد دارویی، روند درمان بیمار تغییر می کند. این تغییرات ممکن است در طول زمان تأثیرات عمیقی بر روی کارایی فرآیندهای سازمانی بگذارند؛ به همین دلیل شناسایی محل وقوع و دلیل این تغییرات، برای مدیران سازمان ها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. به این حالت که فرآیند در حال اجرا دچار تغییر می شود، رانش مفهوم^۵ در فرآیند می گویند [2]. در بیانیه فرآیند کاوی، رانش مفهوم به عنوان چهارمین چالش فرآیند کاوی از یازده چالش معرفی شده است [3].

⁶ sudden

⁷ gradual

⁸ recurring

⁹ incremental

¹⁰ Offline

¹¹ Online

¹ Event log

² Process Mining

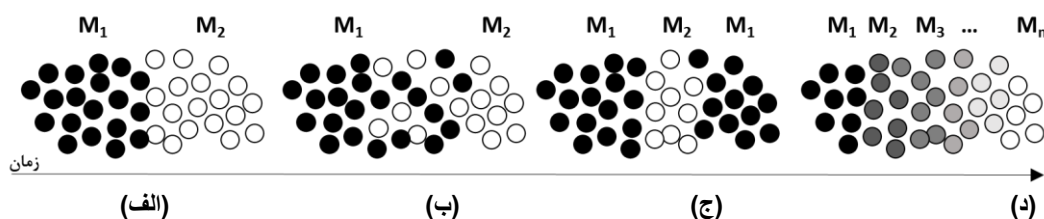
³ task

⁴ case

⁵ Concept Drift

تبدیل می‌شوند. در مرحله بعد با استفاده از آزمون آماری G، توزیع گونه‌های دو پنجره با یکدیگر مقایسه می‌شوند و در نهایت نقاطی که مقدار آزمون G در آن‌ها از یک مقدار آستانه بیشتر باشد، به عنوان رانش مفهوم شناسایی می‌شوند.

برای شناسایی رانش‌های مفهوم ارائه می‌شود. در این روش از دو پنجره هم‌طول با عنوان‌های پنجره مرجع و پنجره اکتشافی استفاده شده است که نگاره رویداد را به بخش‌های کوچک‌تر تقسیم می‌کند؛ سپس هر کدام از این دو پنجره‌ها به بردارهایی از توزیع گونه دنباله‌های خود



(شکل-۱): انواع رانش‌ها. (الف) رانش ناگهانی (ب) رانش تدریجی (ج) رانش دوره‌ای (د) رانش افزایشی.

محور افقی: زمان، تغییر تیرگی: مدل فرآیندها، دایره‌ها: نمونه فرآیندها (پرونده) [4]

(Figure-1): Different types of drifts. (a) Sudden drift. (b) Gradual drift. (c) Recurring drift. (d) Incremental drift. x-axis: time, color: process models, circles: process instances [4]

پنجره غیرهم‌پوشان و پیوسته با طول ثابت استفاده شده است و ویژگی‌های استخراج‌شده دنباله‌ها با استفاده از آزمون آماری با یکدیگر مقایسه می‌شوند. به دلیل استفاده از پنجره با طول ثابت، نتایج به دست آمده در این مقاله وابستگی زیادی به طول انتخاب شده دارد. برای حل این مشکل مارتجوشو و همکاران، ایده استفاده از پنجره تطبیقی را مطرح می‌کنند [7]. در پنجره تطبیقی، اندازه پنجره با توجه به ویژگی‌های جریان داده به صورت خودکار تغییر می‌کند. همچنین روشی برای شناسایی تغییرات دوره‌ای ارائه شده است که در آن به جای در نظر گرفتن جمعیت‌هایی با تعداد دنباله‌های ثابت، جمعیت‌ها را در دنباله‌هایی با اندازه متغیر در نظر می‌گیرد تا مقیاس‌های زمانی متفاوت را در برگیرد. برای آن که صحت و دقت کار افزایش یابد، باید فضای زیادی از ویژگی‌ها را به صورت خودکار جستجو کرد یا از کاربر خواسته شود که ویژگی‌های مورد نظر خود را تعیین کند، به این معنی که کاربر باید از ساختار و خصوصیات تغییر دانش قبلی داشته باشد. در همه این موارد ممکن است نتوان همه تغییرات را شناسایی کرد؛ زیرا این احتمال وجود دارد که ویژگی‌های انتخاب شده همه انواع رانش‌ها را پوشش ندهند. همچنین این روش‌ها با توجه به نیاز به استخراج و تحلیل حجم زیادی از ویژگی‌ها با ابعاد بزرگ، قابلیت مقیاس‌پذیری ندارند.

در مقاله ماراجی و همکاران روشی خودکار و مقیاس‌پذیر برای شناسایی تغییرات ارائه شده است [8]. ایده اصلی این مقاله، اعمال آزمون فرضیه آماری، روی

در ادامه این مقاله در بخش ۲، پژوهش‌های پیشین در این زمینه معرفی شده است. در بخش ۳ روش پیشنهادی و ایده اصلی بیان می‌شود. ارزیابی روش پیشنهادی در بخش ۴ انجام و در بخش ۵ نیز به نتیجه‌گیری پرداخته می‌شود.

۲- پژوهش‌های پیشین

پژوهش‌های زیادی در زمینه رانش مفهوم در داده‌کاوی و یادگیری ماشین صورت گرفته است. برای مثال در مقاله کلینکنبرگ و همکاران [5] با استفاده از کمینه‌سازی خطا در یادگیرنده ماشین بردار پشتیبان (SVM) رانش شناسایی می‌شود؛ اما به طور کلی روش‌های توسعه یافته در این حوزه با ساختارهای داده ساده سروکار دارد (اعم از متغیرهای عددی یا دسته‌بندی و بردارها)، در حالی که در فرآیندهای سازمانی، تغییرات در ساختارهای پیچیده‌تری صورت می‌گیرد (ساختارهای شامل حلقه، هم‌زمانی، تداخل، لغو و غیره). به همین دلیل نمی‌توان روش‌های تشخیص رانش مفهوم در داده‌کاوی را به راحتی به فرآیندکاوی انتقال داد.

در حال حاضر روش‌های متفاوتی در زمینه رانش مفهوم در فرآیندکاوی ارائه شده است که هر کدام از آن‌ها قادر به شناسایی انواع خاصی از رانش‌ها هستند. در روش ارائه شده توسط بوز و همکاران [4][6]، روشی برای شناسایی رانش مفهوم با استفاده از استخراج الگوها (یا ویژگی‌ها) از دنباله‌ها ارائه شده است. در این روش از

¹ Support Vector Machine

توزیع اجراهای^۱ مشاهده شده در دو پنجره زمانی متوالی است. «اجرا»، مجموعه‌ای از دنباله‌هایی است که به واسطه رابطه هم‌زمانی بین فعالیت‌های خود، با یکدیگر معادل هستند. از آن‌جا که در روش‌های مبتنی بر دنباله، چالش هم‌زمانی در شناسایی رانش وجود دارد، آنها سعی کردند با استفاده از روش مبتنی بر /جرا/، این مشکل را حل کنند. مسأله شناسایی رانش مفهوم در فرآیند به پیدا کردن نقطه‌ای از زمان است که در آن مجموعه اجراهای قبل از این نقطه با مجموعه اجراهای بعد از این نقطه، از نظر آماری اختلاف معناداری داشته باشند [8].

استوار و همکاران در ادامه پژوهش ماراجی [8]، علاوه بر اطلاعات آماری «اجرا» در سابقه رویدادها از روابط دوتایی بین رویدادها که در الگوریتم آلفا+ معرفی شده بود (الگوریتم آلفا و آلفا+ دو تا از الگوریتم‌های رایج و پایه‌ای در بحث فرآیندکاوی است که ساختار گراف مدل فرآیند را از نگاره رویداد استخراج می‌کند) برای شناسایی رانش مفهوم استفاده کردند. این روابط دوتایی شامل هم‌روندی^۲، تقدم-تاخر^۴، حلقه به خود^۵ و حلقه به طول دو^۶ (دوتایی) می‌باشد. اما متأسفانه در نتایج بهبود چندانی نسبت به روش ماراجی و همکاران حاصل نشد [16].

لی و همکاران یک ویژگی توسعه‌پذیر ارائه کرده‌اند که با استفاده از روش‌های پنجره زمانی و کاوش/بتکاری^۷، رانش مفهوم را در نگاره رویدادهای ناقص، شناسایی و مکان‌یابی می‌کند. این مقاله از الگوریتم فرآیند کاوی ژنتیک (GPM^۸) استفاده کرده و همچنین آن را با استفاده از کاوش/بتکاری وزنی (WHM^۹) و دیفرانسیل تکاملی (DE^{۱۰}) بهبود بخشیده است. سپس با استفاده از این الگوریتم بهبودیافته یک مدل فرآیند جدید برای فرآیندهای تغییر یافته کشف می‌کند [9].

در روشی دیگر سیلیگر و همکاران از ساخت مدل‌های فرآیند برای شناسایی رانش‌ها استفاده کرده‌اند [10]. ایده اصلی روش آن‌ها مقایسه ساختاری مدل‌های فرآیند و استفاده از معیارهای گراف برای شناسایی تغییرات فرآیند است. در این روش نگاره رویداد با استفاده از دو پنجره تطبیقی متوالی به دو زیرنگاره کوچک‌تر

تقسیم (پنجره مرجع و پنجره اکتشافی) و سپس مدل فرآیند زیرنگاره‌ها استخراج شده و از روی آن‌ها چند معیار گراف (مانند درجه گراف، تعداد یال‌ها، درجه رأس و غیره) محاسبه می‌شود؛ سپس با اعمال آزمون آماری G روی معیارهای گراف دو زیرنگاره متوالی، رانش‌های مفهوم شناسایی می‌شوند. سیلیگر برای استخراج مدل فرآیند از الگوریتم کاوش/بتکاری استفاده کرده است؛ زیرا این الگوریتم انتزاع خوبی از نگاره رویداد می‌دهد، سرعت خوبی دارد و هم‌زمانی رویدادها را به صورت خودکار تشخیص می‌دهد. از آنجایی که کاوش/بتکاری قادر نیست حلقه‌های طولانی را به درستی تشخیص دهد، در نتیجه این روش نمی‌تواند رانش‌های به وجود آمده در فرآیندهای دارای حلقه را به درستی شناسایی کند [10].

در دو پژوهش دیگر هم از روش‌های متفاوتی برای شناسایی رانش مفهوم استفاده می‌شود. آنها از خوشه‌بندی پیمایش‌ها و محاسبه فاصله هر جفت رویداد در هر پیمایش استفاده کردند. در حقیقت ساختار فرآیند در قالب محل قرارگرفتن هر رویداد در پیمایش در روش آنها مورد توجه قرار گرفت. در روش آنها هم مانند روش بوز و همکاران اندازه پنجره باید توسط کاربر تنظیم می‌شد [17,18].

در پژوهشی که توسط کارمونا و همکاران انجام شد، یک روش بلادرنگ با توانایی آموزش را برای شناسایی رانش مفهوم ارائه شد. در روش آنها اندازه پنجره طبق یک الگوریتم یادگیری تخمین زده می‌شد؛ سپس یک پنجره انطباقی با استفاده از پارامتر به دست آمده نقاط رانش مفهوم را شناسایی می‌کرد [19].

در مقاله‌ای که خجسته و همکاران انجام دادند رانش مفهوم ناگهانی را در فرآیندهای کسب‌وکار با استفاده از روش یادگیری عمیق شناسایی کردند. روش پیشنهادی آنها مستقل از پنجره طراحی و پیاده‌سازی شده است. در این روش با مدل‌سازی پیمایش‌ها بر دنباله واژگان در زبان طبیعی و خوشه‌بندی پیمایش‌ها، همه انواع روابط میان پیمایش‌ها را به صورت خودکار استخراج شده است [20].

۳- روش پیشنهادی

۳-۱- مفاهیم و تعاریف

هنگامی که یک فرآیند ایجاد می‌شود، مجموعه‌ای از کار^{۱۱}ها در فرآیند شکل می‌گیرد که روی هر کار مجموعه‌ای از رویدادها رخ می‌دهد. هر رویداد، شروع کار،

¹¹ task

¹ Distributions of runs

² Activity

³ Concurrency

⁴ Causality

⁵ Self-loop

⁶ Length-two loop

⁷ Heuristic Miner

⁸ Genetic Process Mining

⁹ Weighted heuristic miner

¹⁰ Differential Evolution

رویداد، نشان می‌دهد و بیان‌گر ترتیب کلی رخداد رویدادها در اجرای فرآیند است [8].

تعریف ۲: گونه (مسیر)

دو دنباله $\sigma_A = \langle e_{1A}, e_{2A}, e_{3A}, \dots, e_{nA} \rangle$ و $\sigma_B = \langle e_{1B}, e_{2B}, e_{3B}, \dots, e_{nB} \rangle$ را در نظر می‌گیریم. اگر تساوی $\lambda(e_{1A}), \lambda(e_{2A}), \dots, \lambda(e_{nA}) = \lambda(e_{1B}), \lambda(e_{2B}), \dots, \lambda(e_{nB})$ برقرار باشد (یعنی سلسله کارهای این دو دنباله یکسان باشد)، σ_A و σ_B در یک گونه یکسان v قرار می‌گیرند. به عبارت دیگر، دنباله‌هایی که در یک گونه از فرآیند قرار دارند، سلسله‌ای از کارهای یکسان دارند و با دنباله‌های گونه‌های دیگر متفاوت هستند و همچنین مسیر یکسانی را در مدل فرآیند پیموده‌اند. به بیان دیگر، گونه $v \in L^*$ شامل مجموعه‌ای از دنباله‌های مشابه است که همگی مسیر یکسانی را در مدل فرآیند طی می‌کنند. به عنوان مثال شکل (۲) بخشی از یک نگاره رویداد فرآیند «پرداخت خسارت» [1] را نشان می‌دهد. در این شکل، پنج دنباله و دو گونه وجود دارد.



(شکل-۲): بخشی از یک نگاره رویداد با ۵ دنباله و ۲ گونه

(Figure-2): A part of an event log with 5 traces and 2 variants.

(جدول-۱): فهرست نمادها

(Table-1): list of notations

نماد	عنوان	توضیحات
σ	دنباله‌ای از رویدادها	از کنار هم قرار گرفتن چند رویداد که ترتیب زمانی آنها در اجرای فرآیند اهمیت دارد. $\sigma \in E^*$
v	دنباله‌ای از برچسب‌ها	دنباله‌ای از کارها که در مدل فرآیند مشخص شده است و برای هر کار یک برچسب تعیین شده است به عبارت دیگر هر مسیر در گراف مدل فرآیند است. $v \in L^*$
E	مجموعه رویدادها	مجموعه تمام رویدادهایی که در اجرای یک فرآیند سازمانی رخ می‌دهد
L	مجموعه برچسب‌ها	مجموعه همه کارهایی (Task) که با یک برچسب یکتا در مدل فرآیند تعریف شده است.
λ	تابع استخراج برچسب هر رویداد.	$\lambda : E \rightarrow L$

۲-۳- ایده اصلی

رانش مفهوم در فرآیند بر اثر تغییر ساختار در مدل فرآیند صورت می‌گیرد. این تغییر ساختار می‌تواند بر اثر ایجاد یا حذف بخشی از فرآیند، ایجاد یک انشعاب جدید، اضافه شدن یک حلقه به فرآیند، جایگزینی و یا جابه‌جایی بخش‌های فرآیند صورت بگیرد. برای مثال در یک شرکت سفارش و تحویل غذا که هزینه را پس از تحویل غذا به مشتری دریافت می‌کند، براساس تغییر رویه و قانون جدید شرکت، هزینه را قبل از تحویل غذا دریافت می‌کند. یا براساس سیاست جدید شرکت، قبل از فرآیند تکمیل سفارش، گرفتن مشخصات فردی سفارش‌دهنده که در قبل در فرآیند وجود نداشته، به مراحل سفارش اضافه می‌شود. اثر هر کدام از این تغییرات را می‌توان در نگاره رویداد مشاهده کرد. به این صورت که برخی از این تغییرات،


```

5   Generate two vectors  $D_R$  and  $D_D$ 
6    $gValue = gTest(D_R, D_D)$ 
9    $\tau = Significance\_level(0.05)$ 
10  For ( $i = 0 : i < |gValue|$ )
11    Set flag = false.
12    If  $gValue[i] > \tau$  and flag = false then
13      If  $gValue[i] > \tau$  and flag = false then
14        Set flag = true
15        A drift detected.
16      If  $gValue[i] < \tau$ 
17        Set flag = false.

```

(الگوریتم-۱): شبه کد روش پیشنهادی

(Algorithm-1): Pseudocode of the proposed method

۳-۳-۱- دنباله‌های مرجع و اکتشافی

در مرحله نخست، نگاره رویداد را به بخش‌های کوچک‌تر یا زیرنگاره تقسیم می‌کنیم (خطوط ۲ الی ۴ الگوریتم ۱). برای این کار از دو پنجره متوالی استفاده می‌شود که طول هر کدام از پنجره‌ها ثابت و برابر با w است. پنجره نخست شامل دنباله‌های قدیمی‌تر و پنجره دوم شامل دنباله‌های جدیدتر هستند که به دنباله‌های آن‌ها به ترتیب، دنباله‌های پنجره مرجع W_R و دنباله‌های پنجره اکتشافی W_D گفته می‌شود. همان‌طور که در شکل (۳) دیده می‌شود، این دو پنجره مجاور یکدیگر هستند و یک پنجره ترکیبی به طول $2w$ از دنباله‌های نگاره تشکیل می‌دهند. در نتیجه $W_R = \sigma_i, \sigma_{i+1}, \dots, \sigma_{i+w-1}$ دنباله‌های پنجره مرجع است و $W_D = \sigma_{i+w}, \sigma_{i+w+1}, \dots, \sigma_{i+2w-1}$ دنباله‌های پنجره اکتشافی است.

۳-۳-۲- محاسبه بردار گونه‌ها

پس از شکستن نگاره رویداد با استفاده از پنجره‌ها، برای هر پنجره، دنباله‌های پنجره‌های مرجع و اکتشافی به بردار گونه‌های D_R و D_D تبدیل می‌شوند (شکل (۳) و خط ۵ الگوریتم (۱))، سپس بین هر دو پنجره مقایسه صورت گرفته و فاصله بین بردارهای آن‌ها محاسبه می‌شود.

برای محاسبه بردار گونه‌ها، در هر پنجره دنباله‌های مشاهده‌شده در گونه‌های خود دسته‌بندی و شمارش می‌شوند. هر بردار شامل دوتایی‌های سلسله‌رویدادهای گونه و تعداد تکرار آن‌ها است؛ به این صورت که در $D_{R_i} = ([\lambda(e_n), \lambda(e_{n+1}), \dots], m), \dots$ مقدار عبارت $\lambda(e_n), \lambda(e_{n+1}), \dots$ بیان‌گر سلسله‌رویدادهای آن گونه و m تعداد آن در بردار به‌دست‌آمده از پنجره اکتشافی i ام است. به‌عنوان مثال شکل (۴) بردار به‌دست‌آمده از دنباله‌های شکل (۲) را نشان می‌دهد.

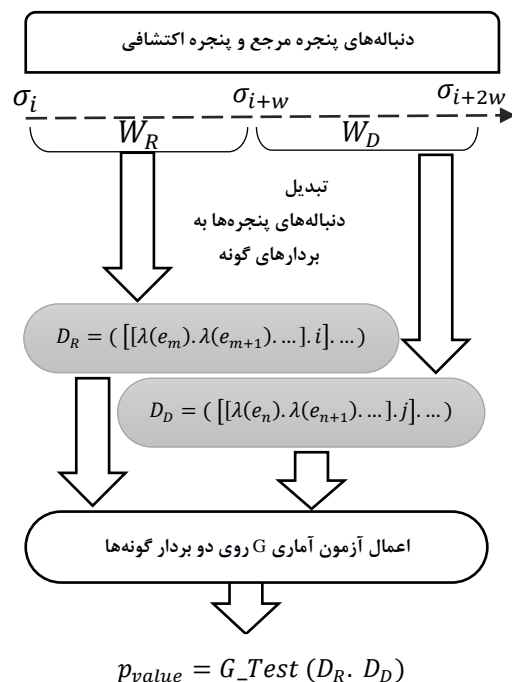
(شکل-۴): ایجاد بردار گونه‌ها از دنباله‌های شکل (۲)

(Figure-4): Generating variant vectors from figure (2) traces

منجر به ایجاد یک گونه جدید می‌شوند، برخی دیگر، گونه‌ای که وجود داشته را حذف و گونه دیگری را جایگزین و برخی نیز توزیع گونه‌ها را دگرگون می‌کنند. تنها حالتی که باعث تغییر گونه در فرآیند نمی‌شود، تغییر در توزیع انشعاب‌های شرطی است که این تغییر، فراوانی دو گونه (مسیر) را تغییر می‌دهد. در این پژوهش با توجه به آن که تغییرات فرآیند بر روی مسیرهایی که فرآیند در طول زمان طی می‌کند، تأثیر گذار است، توزیع گونه‌ها به عنوان معیار و خصوصیت اصلی برای شناسایی رانش مفهوم در نظر گرفته شده است.

۳-۳-۳- شناسایی رانش مفهوم

همان‌طور که گفته شد، در روش ارائه‌شده در این مقاله، برای تشخیص رانش مفهوم در فرآیند، از تغییر توزیع گونه‌ها در نگاره رویداد استفاده می‌شود. درواقع نقطه‌ای را به‌عنوان رانش مفهوم در نظر می‌گیریم که توزیع گونه‌ها، قبل و بعد از این نقطه، تفاوت قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر داشته باشند. الگوریتم (۱) روش کلی این پژوهش را بیان می‌کند. همچنین شکل (۳) نمایی کلی از روش ارائه‌شده را نشان می‌دهد که مراحل آن در ادامه با جزییات تشریح می‌شود.



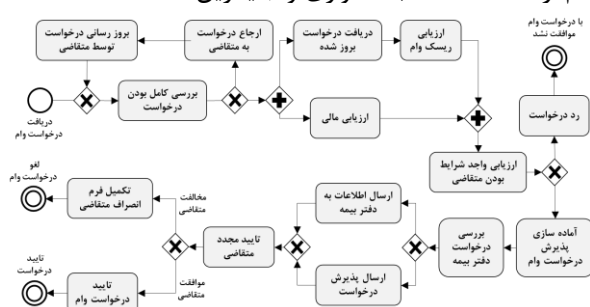
(شکل-۳): چارچوب کلی از روش ارائه‌شده

(Figure-3): Framework for the proposed method

- 1 Initialize the event log L , the window size w , p-value threshold τ , step size s
- 2 **For** ($i = 0 : i < |L| - w * 2 : s$)
- 3 $W_R = W[i : i + w - 1]$ // مرجع پنجره
- 4 $W_D = W[i + w : i + w * 2 - 1]$ // پنجره اکتشافی

۴- آزمایش‌ها و نتایج

در این بخش به ارزیابی روش ارائه‌شده برای شناسایی رانش‌های مفهوم در حالت ناگهانی پرداخته شده است. برای این منظور نتایج الگوریتم پیشنهادی را با الگوریتم‌های ارائه‌شده توسط ماراجی و همکاران [8]، بوز و همکاران [4] و سیلیگر و همکاران [10] مقایسه کرده و از بانک اطلاعاتی ماراجی و همکاران [8] ایجاد کرده‌اند، استفاده می‌کنیم. این بانک اطلاعاتی شامل ۷۲ نگاره رویداد ساختگی است که از نمونه فرآیند درخواست وام [13] گرفته شده است و شکل (۵) مدل "پایه" آن را نشان می‌دهد که دارای ۱۵ رویداد، یک رویداد شروع و ۳ رویداد پایان است. این مدل شامل ساختارهای گوناگونی اعم از حلقه‌ها، انشعابات موازی و جایگزین است.



(شکل-۵): مدل پایه فرآیند درخواست وام
(Figure-5): Base model of the loan application process

(جدول-۲): دوازده الگوی ساده تغییر [8]

(Table-2): 12 simple change patterns

کد	الگوی تغییر	گروه
re	ایجاد یا حذف بخشی از فرآیند	I
cf	شرطی کردن دو بخش یا پشت سر هم قراردادن آن‌ها	R
lp	حلقه داشتن یا نداشتن یک بخش	O
pl	موازی کردن دو بخش یا پشت سر هم قراردادن آن‌ها	R
cb	قابلیت پرش از قسمتی از فرآیند	O
cm	اضافه کردن یک بخش به انشعاب شرطی یا حذف یک بخش از آن	I
cd	همزمان سازی دو بخش	R
cp	تکثیر یک بخش	I
pm	موازی سازی یک بخش	I
rp	جایگزینی یک بخش	I
sw	جابه جایی دو بخش یا یکدیگر	I
fr	تغییر فراوانی یک انشعاب در فرآیند	O

ماراجی و همکاران [8]، برای ایجاد رانش مفهوم در نگاره‌ها، مدل پایه را با استفاده از انواع تغییرات جریان کنترلی شامل دوازده الگوی ساده تغییر که در مقاله وبر و همکاران [14] بیان شده است، دست‌کاری کرده و تغییر

بردارهای گونه‌های به‌دست‌آمده از دنباله‌های دو پنجره اکتشافی و مرجع می‌توانند طول یکسان نداشته باشند؛ زیرا ممکن است، گونه‌های دو پنجره مجاور یکسان نباشند.

۳-۳-۳- اعمال آزمون آماری G برای شناسایی رانش‌ها

در این مرحله، برای تشخیص وجود اختلاف قابل ملاحظه بین دو بردار پنجره اکتشافی و پنجره مرجع، آزمون آماری G اعمال می‌شود (خط ۶ الگوریتم (۱)). آزمون G، یک آزمون فرض آماری و از نوع غیر پارامتریک است که دانش اولیه‌ای از توزیع آماری ندارد و برای مقایسه توزیع آماری مشاهده‌شده با توزیع مورد انتظار به کار می‌رود. با استفاده از این آزمون، فاصله بین دو بردار گونه‌های هر دو پنجره محاسبه می‌شود.

همان‌طور که گفته شد، ممکن است، این دو بردار طول یکسانی نداشته باشند. راه حل در نظر گرفته‌شده در این مقاله به این صورت است که بین دو بردار اجتماع گرفته می‌شود؛ سپس برای هر بردار، تعداد گونه‌هایی که در آن وجود دارد و در بردار دیگر وجود دارد، صفر در نظر گرفته می‌شود. به این ترتیب طول هر دو بردار یکسان می‌شود و به‌عنوان ورودی به آزمون آماری داده می‌شوند.

در اینجا فرض صفر آماری این است که توزیع مشاهده‌شده از فراوانی دنباله‌های هر گونه در پنجره مرجع با توزیع مشاهده‌شده در پنجره اکتشافی یکسان باشد. روش محاسبه $gValue$ در آزمون آماری G بدین صورت است:

$$G = 2 \sum_i O_i \cdot \ln \frac{O_i}{E_i} \quad (1)$$

که در آن O_i بردار گونه‌های مشاهده شده است (بردار مرجع D_R) و E_i گونه‌های مورد انتظار (بردار اکتشافی D_D) است؛ در صورتی که $gValue$ به‌دست‌آمده از آزمون G از یک مقدار آستانه τ بیشتر باشد، به‌عنوان رانش مفهوم تشخیص داده می‌شود. از آنجایی که آزمون G از توزیع آماری chi-square تبعیت می‌کند [11]، مقدار آستانه، مقدار سطح معنی‌دار 0.05 در نظر گرفته می‌شود [12].

¹ significance level

$$r = \frac{TP}{TP + FN} \quad (4)$$

$$F_1 = 2 \cdot \frac{p \cdot r}{p + r} \quad (5)$$

برای محاسبه مقدار آستانه کافی است در هیستوگرام مقادیر G که از رابطه (۱) به دست می آید، محلی که ۹۵ درصد مساحت زیر نمودار سمت چپ آن قرار می گیرد (با توجه به شکل (۶ الف)) را به دست بیاوریم. به عنوان مثال در شکل (۶ الف) در نقطه ۲۲۰/۲۸ در نمودار هیستوگرام ۹۵ درصد مقادیر G کمتر از این مقدار است و این بدان معناست اگر مقدار آستانه را برای شناسایی رانش مفهوم مقدار ۲۲۰/۲۸ در نظر بگیریم احتمال تشخیص غلط کمتر از پنج درصد خواهد بود.

برای مثال شکل (۶ ب) رانش های مفهوم شناسایی شده در یکی از نگاره های رویداد استفاده شده در این مقاله را نشان می دهد. در این شکل هشت رانش شناسایی شده که هفت تای آن تشخیص درست (TP) و یکی از آنها نادرست (FP) است. همچنین دو رانش دیگر در این نگاره وجود دارد که شناسایی نشده اند (FN). در نتیجه مقادیر $r = 0.78$, $p = 0.88$ و $F1\text{-score} = 0.82$ هستند.

۴-۱- آزمایش شناسایی رانش مفهوم

ناگهانی

در این آزمایش، به بررسی تأثیر اندازه پنجره در شناسایی رانش های ناگهانی پرداخته شده است. همچنین نتایج به دست آمده را بین الگوهای تغییر مقایسه کرده و با پژوهش های قبلی صورت گرفته در این حوزه، مقایسه شده است.

۴-۱-۱- ارزیابی تأثیر تغییر در اندازه پنجره

در آزمایش نخست، اندازه پنجره ها تغییر داده شده است و تأثیر آن ها روی نتایج بررسی می شود. برای این منظور، روش ارائه شده را با پنجره های ثابت با طول های متفاوت روی هر ۷۲ نگاره رویداد آزمایش کردیم. طول های پنجره در نظر گرفته شده بین ۲۵ تا ۲۵۰ با افزایش ۲۵ تایی است. شکل (۷)، $F1\text{-score}$ به دست آمده از چهار دسته از نگاره ها (نگاره های به طول ۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰ و ۱۰۰۰) را نشان می دهد که برای هر دسته، بین $F\text{-score}$ های همه هجده الگوی تغییر میانگین گرفته شده است.

شکل (۷) نشان می دهد، در ابتدا با پنجره ای به طول ۲۵، کمترین مقدار $F1\text{-score}$ به دست آمده است (به طور میانگین ۰/۳۳). سپس با افزایش طول پنجره و

داده اند. این تغییرات که در جدول (۲) نشان داده شده اند، در سه گروه طبقه بندی شده اند: ایجاد^۱ ("I")، ترتیب بندی مجدد^۲ ("R") و قابلیت انتخاب^۳ ("O")؛ سپس برای تشکیل الگوهای تغییر پیچیده تر، الگوهای ساده را با یکدیگر ترکیب کرده و نگاره های رویداد بیشتری ساختند ("IOR", "IRO", "OIR", "ORI", "RIO", "ROI") که در مجموع شش نگاره رویداد ترکیبی و دوازده نگاره رویداد پایه ساخته شده است.

نحوه ترکیب این نگاره ها برای ایجاد رانش مفهوم، به این صورت است که ابتدا چهار نگاره به طول ۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰ و ۱۰۰۰ دنباله از مدل "پایه" و همچنین برای هر کدام از ۱۸ مدل "تغییر یافته"، ایجاد کرده و سپس پنج گروه از هر کدام از نگاره های پایه را با پنج گروه از هر کدام از نگاره های تغییر یافته به صورت یکی در میان ترکیب کرده اند و در نتیجه برای هر کدام از هجده الگو، نگاره های رویدادی به طول ۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰ و ۱۰۰۰ دنباله تشکیل شده است. به این صورت هر نگاره رویداد دارای ۹ رانش مفهوم با فاصله های مشخص است که با داشتن این دانش، می توانیم صحت و دقت روش خود را ارزیابی کنیم [8].

برای ارزیابی روش خود، از معیار $F1\text{-score}$ استفاده می کنیم که یکی از معیارهای مهم شناسایی رانش مفهوم در داده کاوی است [15]. $F1\text{-score}$ میانگین هارمونیک بین دو مقدار دقت^۴ p و بازخوانی^۵ r است. معیار دقت، نسبت رانش های شناسایی شده صحیح (TP) به کل رانش های شناسایی شده (TP + FP) و معیار بازخوانی، نسبت رانش های شناسایی شده صحیح (TP) به کل رانش های واقعی (TP + FN) است. به عبارت دیگر، مقدار دقت، میزان رانش های شناسایی شده ای که صحیح هستند و مقدار بازخوانی، میزان رانش های واقعی که کشف شده اند را نشان می دهند. روابط (۳) و (۴) محاسبه این دو مقدار را نشان می دهد. مقدار $F1\text{-score}$ با استفاده از (۳) و (۴) طبق رابطه (۵) محاسبه می شود:

$$p = \frac{TP}{TP + FP} \quad (3)$$

¹ Insertion

² Resequentialization

³ Optionalization

⁴ precision

⁵ recall

⁶ True Positive

⁷ False Positive

⁸ False Negative

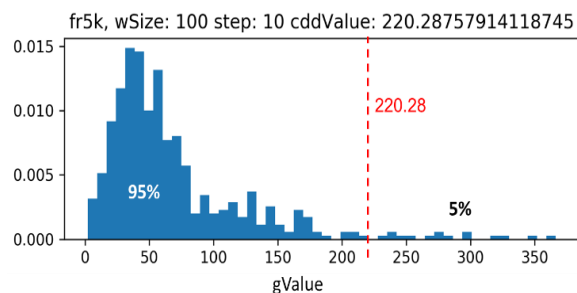
برای تشخیص رانش‌ها به نسبت طول پنجره‌ها مناسب‌تر هستند. همچنین در پنجره ۲۵۰ تایی، نتایج به‌طور کامل برعکس می‌شود؛ یعنی نگاره‌های بزرگ‌تر نتایج بهتری ارائه داده‌اند که نشان می‌دهد در این پنجره اطلاعات برای تشخیص درست رانش در نگاره ۱۰ هزار تایی مناسب‌تر است.

۲-۱-۴- ارزیابی و مقایسه الگوهای تغییر

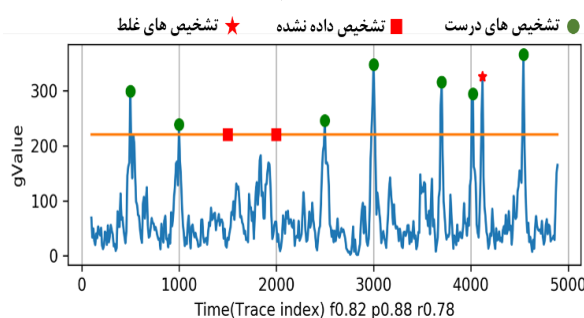
در آزمایش دوم، F_1 -score هر هجده الگوی تغییر را به دست آوردیم. برای این کار اندازه پنجره را ثابت و به طول ۱۰۰ در نظر گرفتیم (مانند روش‌های پیشین) تا قابل مقایسه با پژوهش‌های پیشین باشد. در این آزمایش از میانگین F_1 -score به دست آمده بین سه دسته از نگاره‌ها (نگاره‌های به طول ۵۰۰۰، ۷۵۰۰ و ۱۰۰۰۰) استفاده شده است. در این آزمایش، نتایج به دست آمده را با پژوهش‌های قبلی مقایسه کرده‌ایم که در شکل (۷) نمایش داده شده است. در روش سیلیگر [10] و ماراجی [8] از پنجره تطبیقی استفاده شده است که روش ایجاد پنجره‌های تطبیقی آن‌ها با یکدیگر متفاوت است و در روش بوز از پنجره ثابت به طول ۱۰۰ استفاده شده است. همان‌طور که در شکل (۸) قابل مشاهده است، در سیزده الگوی تغییر، روش پیشنهادی F_1 -Score بهتری نسبت به روش‌های پیشین به دست آورده است. به جز چهار الگوی cp ، fr ، OIR و IOR ، نتایج به دست آمده، بهتر یا به‌طور تقریبی برابر با روش‌های دیگر است. همچنین میانگین کلی به دست آمده از F_1 -score در روش پیشنهادی ۰/۹۵۱ و بالاتر از روش‌های پیشین است.

همان‌طور که در جدول (۲) مشهود است روش پیشنهادی در دوازده مورد از هجده الگوی تغییر به تشخیص صد درصدی رسیده است؛ درحالی‌که روش ماراجی [8] در دو مورد، سیلیگر در سه مورد و بوز فقط در پنج مورد به تشخیص صد درصدی رسیده است. از مهم‌ترین چالش‌هایی که در روش‌های پیشین وجود داشته (بجز روش ماراجی در تشخیص fr که جای تعجب است) و همچنان در روش پیشنهادی هم دیده می‌شود، تشخیص الگوی fr و cp است که در روش پیشنهادی به ترتیب به دقت تشخیص ۷۹ درصدی و ۷۲ درصدی رسیده است، که علت آن را می‌توان در عدم تشخیص تغییرات فراوانی مسیرهای انشعابی در مدل فرآیند در روش پیشنهادی دانست.

در نتیجه در اختیار داشتن داده‌های کافی، مقدار F_1 -score بهبود یافته است. بهترین نتایج در پنجره به طول ۲۲۵ به مقدار ۰/۹۸ به دست آمده به‌طوری‌که در دسته نگاره‌های ۲۵۰۰ تایی در این پنجره، F_1 -score به ۰/۹۹ رسیده است.

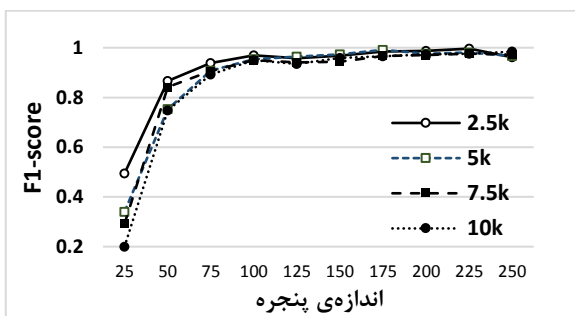


(الف) هیستوگرام مقادیر G



(ب) مقادیر G برای پنجره به طول ۱۰۰ روی نگاره رویداد fr با ۵۰۰۰ دنباله

(شکل-۶): نمونه‌ای از رانش‌های شناسایی شده، رانش‌های شناسایی نشده و تشخیص‌های غلط در یک نگاره رویداد (Figure-6): An example of identified, unidentified and incorrect identified drifts in an event log.



(شکل-۷): F_1 -score به دست آمده از طول پنجره‌های متفاوت (Figure-7): F_1 -score obtained from different window lengths

به‌طور تقریبی در نیمی از پنجره‌ها (به‌خصوص پنجره‌های کوچک‌تر)، نگاره رویداد ۲۵۰۰ تایی نتایج بهتری را نشان می‌دهد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که اغلب در پنجره‌های کوچک‌تر، نگاره‌های با طول کمتر نتایج بهتری ارائه داده‌اند و از آنجا که فواصل رانش‌ها در نگاره‌های کوچک‌تر، کمتر است، می‌توان نتیجه گرفت که در نگاره ۲۵۰۰ تایی تعداد داده‌های موجود در پنجره‌ها

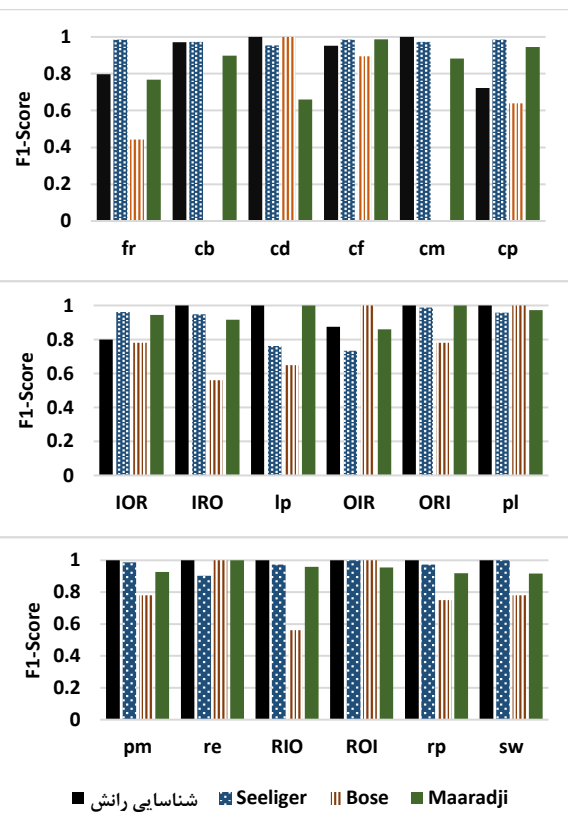
۵- نتیجه گیری

در این مقاله روشی برای شناسایی رانش‌های مفهوم براساس تغییر در توزیع گونه‌های نگاره رویداد ارائه شده است. هر کدام از گونه‌ها، سلسله‌ای از رویدادهای فرآیند را دربر می‌گیرد و تغییر در رفتار فرآیند، در توزیع گونه‌ها تأثیر می‌گذارد. در این روش با استفاده از پنجره‌های مرجع و اکتشافی، گونه‌های فرآیند استخراج و به‌وسیله آزمون آماری با یکدیگر مقایسه شدند. همچنین الگوریتم خود را روی یک نگاره رویداد معرفی شده در سابقه پژوهش آزمایش کردیم که نتایج به‌دست‌آمده نسبت به پژوهش‌های قبلی به میزان ۰/۰۶٪ بهبود داشته است. مزیت این روش، سادگی و پیچیدگی کمتر نسبت به روش‌های پیشین است.

در این مقاله روش ارائه‌شده روی رانش‌های ناگهانی اعمال و روی رانش‌های تدریجی، دوره‌ای و افزایشی کمتر مطالعه و پژوهش انجام شده است و می‌تواند از جمله پژوهش‌هایی باشد که در آینده مورد توجه پژوهش‌گران قرار گیرد؛ علاوه بر آن روش پیشنهادی روی دو الگوی تغییر fr و cp هنوز به دقت تشخیص بالای ۰/۸ نرسیده است و می‌توان با الهام از روش سیلیگر و همکاران [10] که در این دو نوع الگوی تغییر نتیجه‌ای خوبی داشته‌اند، بهبود قابل توجهی در تشخیص این الگوها ایجاد کرد. روش پیشنهادی در این مقاله قابل تعمیم برای تشخیص هر نوع رانش مفهومی در پایگاه داده‌ها دیگر نیز است و در اینجا برای شناسایی رانش‌های مفهوم در مدل فرآیند استفاده شده است.

6- References

- [1] W. Van Der Aalst, "Process mining: discovery, conformance and enhancement of business processes," *Springer*, vol. 2, pp.157-158, 2011.
- [2] W. M. P. Aalst, "Process Mining: Overview and Opportunities," *ACM Trans. Manag. Inf. Syst.*, vol. 3, no. 2, pp. 1-17, 2012.
- [3] W. Van Der Aalst, A. Adriansyah, A. K. A. De Medeiros, F. Arcieri, T. Baier, T. Blickle, J. C. Bose, P. Van Den Brand, R. Brandtjen, J. Buijs, and others, "Process mining manifesto," in *International Conference on Business Process Management*, 2011, pp. 169-194.
- [4] R. P. J. C. Bose, W. M. P. van der Aalst, I. Zliobaite, and M. Pechenizkiy, "Dealing with concept drifts in process mining," *IEEE Trans. neural networks Learn. Syst.*, vol. 25, no. 1, pp. 154-71, 2014.
- [5] R. Klinkenberg and T. Joachims, "Detecting Concept Drift with Support Vector Machines."



(شکل-۸): مقایسه F1-score به‌دست‌آمده در روش پیشنهادی

برای هر الگوی تغییر با روش ماراجی و همکاران [8]، بوز و

همکاران [4] و سیلیگر و همکاران [10]

(Figure-8): The F1 score obtained for each pattern of change and comparison with Maaradji et al. [8], Bose et al. [4] and Seeliger et al. [10]

(جدول-۲): نتایج F1-score به‌دست‌آمده در مقایسه با

پژوهش‌های پیشین با اندازه پنجره ۱۰۰

(Table-2): The F1-score results of the proposed algorithm and comparison with others works by window size 100

ماراجی [8]	بوز [4]	سیلیگر [10]	روش پیشنهادی	
F1-score				
0.9853	0.442	0.7677	0.7965	fr
0.9722		0.8985	0.972	cb
0.9546	1	0.6599	1	cd
0.9853	0.895	0.9868	0.9523	cf
0.9722		0.8833	1	cm
0.9853	0.6395	0.9444	0.7228	cp
0.9606	0.7805	0.9444	0.8	IOR
0.9487	0.5612	0.9167	1	IRO
0.7618	0.6484	1	1	lp
0.7331	1	0.8603	0.875	OIR
0.9869	0.7805	1	1	ORI
0.9575	1	0.9722	1	pl
0.9869	0.7805	0.9265	1	pm
0.9036	1	1	1	re
0.9722	0.5612	0.9591	1	RIO
1	1	0.9559	1	ROI
0.9722	0.75	0.9194	1	rp
1	0.7805	0.9167	1	sw
0.9465	0.7887	0.9173	0.9510	میانگین

- [17] R. Accorsi and T. Stocker, "Discovering workflow changes with time-based trace clustering," in *International Symposium on Data-Driven Process Discovery and Analysis*, 2011, pp. 154–168.
- [18] B. Hompes, J. C. A. M. Buijs, W. M. P. van der Aalst, P. Dixit, and H. Buurman, "Detecting Change in Processes Using Comparative Trace Clustering," in *SIMPDA*, 2015, pp. 95–108.
- [19] J. Carmona and R. Gavalda, "Online techniques for dealing with concept drift in process mining," in *International Symposium on Intelligent Data Analysis*, 2012, pp. 90–102.
- [20] F. Khojasteh, M. Kahani and B. Behkamal, "Concept drift detection in business process logs using deep learning" *Signal and Data Processing*, vol. 46, no. 4, pp. 33–48, 2021

[۲۰] فاطمه خجسته، محسن کاهانی و بهشید بهکمال "شناسایی رانش مفهومی در نگاره‌های فرایند کسب‌وکار با استفاده از یادگیری عمیق." پردازش علائم و داده‌ها، شماره ۴، نسخه ۴۶، صفحه ۳۳–۴۸، ۱۳۹۹



فرشته جوادزاده دانشجوی

کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر در دانشگاه گلستان، دوره کارشناسی خود را از دانشگاه گلستان در رشته مهندسی نرم‌افزار کامپیوتر دریافت کرده است.

زمینه پژوهشی ایشان فرآیندکاوی و رانش مفهوم در فرآیندهای کسب و کار است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

fereshteh.jvz@gmail.com



مهدی یعقوبی عضو هیأت علمی

دانشگاه گلستان، گروه مهندسی کامپیوتر، فارغ‌التحصیل مقطع دکترا گرایش هوش مصنوعی از دانشگاه صنعتی شاهرود، مقطع کارشناسی

ارشد گرایش نرم‌افزار از دانشگاه صنعتی امیرکبیر است. در حال حاضر زمینه پژوهشی ایشان سامانه‌های اطلاعاتی مبتنی بر فرآیندهای کسب و کار، فرآیندکاوی و داده‌کاوی است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

m.yaghoobi@gu.ac.ir

- [6] B. R. P. J. C. . b, V. D. A. W.M.P.a, Ž. I.a, and P. M.a, "Handling concept drift in process mining," in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2011, vol. 6741 LNCS, pp. 391–405.
- [7] J. Martjushev, R. P. Jagadeesh Chandra Bose, and W. M. P. van der Aalst, "Change point detection and dealing with gradual and multi-order dynamics in process mining," in *Lecture Notes in Business Information Processing*, 2015, vol. 229, pp. 161–178.
- [8] A. Maaradji, M. Dumas, M. La Rosa, and A. Ostovar, "Fast and accurate business process drift detection," in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2015, vol. 9253, pp. 406–422.
- [9] T. Li, T. He, Z. Wang, Y. Zhang, and D. Chu, "Unraveling Process Evolution by Handling Concept Drifts in Process Mining," in *Proceedings - 2017 IEEE 14th International Conference on Services Computing, SCC 2017*, 2017, pp. 442–449.
- [10] A. Seeliger, T. Nolle, and M. Mühlhäuser, "Detecting Concept Drift in Processes using Graph Metrics on Process Graphs," in *Proceedings of the 9th Conference on Subject-Oriented Business Process Management*, 2017, pp. 1–10.
- [11] P. Harremoës and G. Tusnády, "Information divergence is more χ^2 2-distributed than the χ^2 2-statistics," in *2012 IEEE International Symposium on Information Theory Proceedings*, 2012, pp. 533–537.
- [12] R. Nuzzo, "Scientific method: statistical errors," *Nat. News*, vol. 506, no. 7487, pp. 150, 2014.
- [13] M. Dumas, M. La Rosa, J. Mendling, H. A. Reijers, and others, *Fundamentals of business process management*, vol. 1. Springer, 2013.
- [14] B. Weber, M. Reichert, and S. Rinderle-Ma, "Change patterns and change support features--enhancing flexibility in process-aware information systems," *Data Knowl. Eng.*, vol. 66, no. 3, pp. 438–466, 2008.
- [15] S.-S. Ho, "A martingale framework for concept change detection in time-varying data streams," in *Proceedings of the 22nd international conference on Machine learning*, 2005, pp. 321–327.
- [16] A. Ostovar, M. Abderrahmane, M. La Rosa, A. H. ter Hofstede, and B. F. van Dongen, "Detecting drift from event streams of unpredictable business processes," in *International Conference on Conceptual*



سهیلا کرباسی عضو هیأت علمی
دانشگاه گلستان، گروه مهندسی
کامپیوتر، فارغ التحصیل مقطع دکترا
گرایش سامانه‌های اطلاعاتی از دانشگاه
دانشگاه پل سباتیه در کشور فرانسه،

مقطع کارشناسی ارشد گرایش نرم‌افزار از دانشگاه فردوسی
مشهد است. در حال حاضر در زمینه سامانه‌های اطلاعاتی،
جستجوی اطلاعات، داده‌کاوی پژوهش و مطالعه می‌کند.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

s.karbasi@gu.ac.ir