

سال دوازدهم، شماره‌های ۴۳ و ۴۴، بهار و تابستان ۱۳۹۹

صاحب امتیاز: انجمن فناوری اطلاعات و ارتباطات ایران

مدیر مسؤول: دکتر مسعود شفیعی

سر دبیر: دکتر محمدشهرام معین

شمارگان: ۱۰۰۰

هیئت تحریریه:

فرخ حجت کاشانی (استاد)، دانشگاه علم و صنعت ایران

سید احمدرضا شرافت (استاد)، دانشگاه تربیت مدرس

مسعود شفیعی (استاد)، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

محمدرضا عارف (استاد)، دانشگاه صنعتی شریف

کریم فائز (استاد)، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

رضا فرجی دانا (استاد)، دانشگاه تهران

کمال محامدپور (استاد)، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

فرخ مروستی (استاد)، دانشگاه صنعتی شریف

سیداحمد معتمدی (استاد)، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

روزبه معینی (استاد)، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

کاظم اکبری (دانشیار)، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

کامبیز بدیع (دانشیار)، مرکز تحقیقات مخابرات ایران

علی اکبر جلالی (دانشیار)، دانشگاه علم و صنعت ایران

حمیدرضا ربیعی (دانشیار)، دانشگاه صنعتی شریف

امیر البدوی (دانشیار)، دانشگاه تربیت مدرس

محمد تشنه لب (دانشیار)، دانشگاه خواجه نصیر طوسی

اعضای هیئت مدیره:

• اعضای اصلی:

دکتر مسعود شفیعی (رئیس انجمن)

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دکتر عباس محمدی

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

مهندس ناصر یوسف پور

شرکت مخابرات همراه اول

دکتر سید علیرضا هاشمی گلپایگانی

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

مهندس فرهاد رضایی

شرکت کوشا تجارت نوپدید

دکتر علیرضا اهری لاحق

شرکت داده پردازی ایران

دکتر محمد جوادیان

دانشگاه صنعتی کرمانشاه

مهندس سیدعلی صموتی

دانشگاه فنی حرفه ای شهید شمسی پور

دکتر علیرضا یاری

پژوهشگاه فناوری اطلاعات و ارتباطات

دکتر اکبر کاری دولت آبادی

دانشگاه شهید ستاری

دکتر جمشید شنبه زاده

دانشگاه خوارزمی

• اعضای علی‌البدل:

دکتر مهدی شجری (دانشگاه صنعتی امیرکبیر)

مهندس امیرارسلان داداشی جوردهی (شرکت ارتباطات سیار ایران)

بازرسان:

• بازرس اصلی:

دکتر محمود کمره ای (دانشگاه تهران)

• بازرس علی‌البدل:

دکتر امیرشهاب شاهمیری (دانشگاه جامع علمی کاربردی)

براساس نامه شماره ۳/۴۸۱۷ مورخ ۱۳۸۶/۶/۱۱ دفتر امور پژوهشی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری و بیانیه رأی کمیسیون بررسی نشریات علمی کشور در تاریخ ۱۳۸۶/۴/۲۳، درجه علمی- پژوهشی به این فصلنامه اعطا شده است

فهرست

فصلنامه علمی - پژوهشی فناوری اطلاعات و ارتباطات ایران

سال دوازدهم، شماره‌های ۴۳ و ۴۴، بهار و تابستان ۱۳۹۹

- ۱ • ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی در سطح سازمان‌های دولتی ایران (موردکاوی: دانشگاه تربیت مدرس)
سعید حیدری، غلامعلی منتظر
- ۲۷ • بهبود روش شناسایی وب سایت فیشینگ با استفاده از داده‌های کاوی روی صفحات وب
مهديه بهارلو، علیرضا یاری
- ۳۹ • افزایش مقدار داده و کاهش هزینه با استفاده از کدگذاری شبکه در شبکه‌های حسگر بی‌سیم
احسان خراطی
- ۵۵ • ارائه‌ی یک روش بهبودیافته مبتنی بر رویکردهای انتشار برچسب و بهینه‌سازی مازولاریتی برای تشخیص
جوامع در شبکه‌های اجتماعی پویا
محمد ستاری، کامران زمانی فر
- ۷۱ • استفاده از یک الگوریتم بهینه سازی چند هدفه برای تخصیص کارها در سیستم‌های مبتنی بر ابر با هدف
کاهش انرژی مصرفی
سارا طبقچی میلان، نیما جعفری نویمی پور
- ۸۷ • ارائه مکانیزم پاداش دهی محرک برای سیستم محاسبات انسانی تشخیص نفوذ بر اساس نظریه بازی‌ها
یحیی لرمحمدحسنى اسفندقه، مجید غیوری ثالث
- ۱۰۵ • ارائه یک روش سریع و دقیق برای شناسایی رانش مفهوم با تحلیل سابقه‌ی رویدادها
مهدی یعقوبی، علی سبطی، سهیلا کرباسی
- ۱۱۹ • تحلیل متنی خبرهای بانک مرکزی در پیش‌بینی بلندمدت شاخص بورس اوراق بهادار تهران
میثم هاشمی، مهران رضایی، مرجان کائدی
- ۱۳۳ • بهبود کارایی سازوکارهای کنترل نرخ مبتنی بر کاوش به کمک دسته‌بندی: ارزیابی بر روی بستر آزمایشی
شبکه‌های بی‌سیم محلی پرسرعت
علی قالی‌باف، محمد نصیری، محمدحسن داعی، مهدی سخائی‌نیا
- ۱۴۳ • الگوریتم ژنتیک آگاه از بهترین عضو با کاربرد در رنگ آمیزی و بعدمتربیک گراف
محمود امین طوسی، هاشم عزتی
- ۱۵۵ • تبدیل توالی پروتئین به تصویر جهت طبقه‌بندی با شبکه عصبی کانولوشنی
رضا احسن، منصور ابراهیمی، روح الله دیانت
- ۱۶۹ • مدل‌سازی و شبیه‌سازی مولد مرکزی الگو جهت تولید حرکات منحنی - خطی در ربات مار
• یعقوب پوراسد، مرتضی واثق
- ۱۷۶ • چکیده انگلیسی مقالات

ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی در سطح سازمان‌های دولتی ایران (موردکاوی: دانشگاه تربیت مدرس)

سعید حیدری* غلامعلی منتظر**

* کارشناس ارشد فناوری اطلاعات، گروه مهندسی فناوری اطلاعات، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

** استاد گروه مهندسی فناوری اطلاعات، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۰

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

با توجه به اینکه دانشگاه‌ها به عنوان پرچمدار پیشرفت و نوآوری در جامعه شناخته می‌شوند انتظار از سطح بلوغ دولت الکترونیکی در دانشگاه‌ها بیشتر از سایر سازمان‌های دولتی است. دانشگاه‌ها با عنایت به ظرفیت بالای سرمایه انسانی، قابلیت آن را دارند زودتر از سایر سازمان‌ها خود را با دولت الکترونیکی تطبیق دهند. برای تحقق این انتظارات دولت الکترونیکی دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزش عالی باید به طور مستمر مورد ارزیابی قرار گیرند. در این مقاله به منظور طراحی مدلی برای ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی در سطح سازمان‌های دولتی، مدلی استخراج شده که شامل شاخص‌های «وابسته به سازمان» و شاخص‌های «مستقل از سازمان» است، شاخص‌های وابسته به سازمان به ترتیب اهمیت عبارتند از: «زیرساخت‌های فناورانه»، «نظارت، پشتیبانی و هماهنگی»، «اعتماد» «سیاست اجرایی و قوانین»، «منابع انسانی»، «فرهنگ دیجیتال»، «یکپارچگی» و «بودجه» و همچنین شاخص «زیرساخت‌های ملی» به عنوان شاخص مستقل از سازمان در نظر گرفته شده است. در ادامه در مطالعه میدانی از مدل مذکور برای ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی در دانشگاه تربیت مدرس استفاده شده است.

واژگان کلیدی: دولت الکترونیکی، آمادگی دولت الکترونیکی، دانشگاه، مدل فرو ملی، دانشگاه تربیت مدرس.

۱. مقدمه

کاهش هزینه‌ها است. دولت الکترونیکی منجر به کارکرد دولت به صورت مؤثرتر، شفاف‌تر، بهتر، ارائه خدمات ارزان‌تر، سریع‌تر و تسهیل تعامل بین دولت،

با توجه به اهمیت صرفه جویی هزینه‌ها در بخش عمومی، دولت الکترونیکی از گزینه‌های جدی برای

نویسنده‌ی مسئول: غلامعلی منتظر montazer@modares.ac.ir

است و سپس در بخش ۴ مدل ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی در سطح سازمانی معرفی و شاخص‌ها و سنججه‌های آن بر اساس نظر خبرگان و متخصصان اعتبار سنجی شده است. در ادامه با استفاده از مدل طراحی شده، آمادگی دولت الکترونیکی در دانشگاه تربیت مدرس بررسی و پیشنهادهایی برای بهبود وضعیت دولت الکترونیکی در این دانشگاه ارائه می‌شود. با توجه به ماهیت دولتی این دانشگاه و شباهت مأموریتی و ساختاری دانشگاه‌های دولتی در ایران، راهکارهای پیشنهادی برای عموم دانشگاه‌ها قابلیت استفاده خواهد داشت.

۲. مدل‌های ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی

در طول سال‌های اخیر، مدل‌های مختلفی برای ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی توسط سازمان‌های مختلف پیشنهاد شده است، این مدل‌ها از طیف وسیعی از شاخص‌ها برای ارزیابی استفاده می‌کنند و پژوهشگران مختلف تلاش کرده‌اند تا چارچوب‌ها و مدل‌های موجود را بهبود و یا شاخص‌های آنها را گسترش دهند [۴]. بوی (و همکاران (۲۰۰۳) [۵] چارچوبی را برای ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی کشورها بر اساس هشت عامل شامل: زیرساخت دیجیتال، اقتصاد کلان، رقابت، توانایی سرمایه‌گذاری، شهروندان مطلع، دسترسی به نیروی کار ماهر، فرهنگ، هزینه زندگی و قیمت‌گذاری ارائه دادند. جانسن و همکاران (۲۰۰۴) [۶] از ۱۸ مطالعه بین‌المللی ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی استفاده کردند و از طریق تجزیه و تحلیل این مطالعات، مدل جدیدی را با پنج شاخص برای ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی پیشنهاد دادند، مدل آنها شامل شاخص‌های ورودی، خروجی، کاربرد، تأثیر و شاخص‌های زیست محیطی است. قوامی‌فر و همکاران (۲۰۰۸) [۷] با مقایسه مدل‌های ارزیابی آمادگی دولت

مردم، بنگاه‌ها و سایر ذی‌نفعان خواهد شد [۱]. از سوی دیگر شرط لازم برای توسعه دولت الکترونیکی داشتن مدلی مؤثر برای ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی است [۲]. آمادگی دولت الکترونیکی تنها محدود به بدنه دولت نیست، آمادگی جامعه، منابع انسانی، بودجه، آموزش، اقتصاد، فرهنگ، زیرساخت‌های فناوری و سایر موضوعات مرتبط با دولت الکترونیکی نیز اهمیت دارند، در حقیقت دولت الکترونیکی ابعادی چندگانه دارد که هر بعد نیازمند هدایت، راهکار، هماهنگی و در نهایت چگونگی ترکیب این ابعاد با فناوری اطلاعات برای به دست آوردن دیدی واقعی از دولت الکترونیکی است [۳]. به منظور ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی مدل‌های مختلفی از سوی سازمان‌ها و نهادهای بین‌المللی عرضه شده است لیکن این مدل‌ها با محدودیت‌هایی مواجهند از جمله اینکه این مدل‌ها در محیطی که به سرعت در حال تغییر است طول عمر کوتاهی دارند و همچنین هیچ کدام از آنها برای ارزیابی دولت الکترونیکی در سطح فرم‌لی مناسب نیستند. در این پژوهش با بررسی مدل‌های ارزیابی آمادگی الکترونیکی و آمادگی دولت الکترونیکی و همچنین نظرسنجی از خبرگان فناوری اطلاعات، متناسب با شرایط اجتماعی و فناوری کشور مدلی برای ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی در دستگاه‌ها و سازمان‌های کشور پیشنهاد شده است که قابلیت استفاده در دانشگاه‌ها را دارد سپس مدل حاصل در ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی در یکی از مهم‌ترین دانشگاه‌های کشور (دانشگاه تربیت مدرس) به کار گرفته شده و نتایج آن بررسی شده است.

ساختار این مقاله بدین شرح است: بخش ۲ به مرور مدل‌های ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی و مهم‌ترین ارزیابی‌های انجام شده در سطح دانشگاه‌ها اختصاص یافته است، در بخش ۳ روش شناسی پژوهش آمده

³ Janssen

¹ Bui

² Knowledgeable Citizens

عباسی و منتظر (۱۳۹۶) [۱۲] مدلی ارائه دادند که دارای قابلیت ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی در سطح دستگاه، بخش و ملی است، این مدل کاربردی بر اساس ویژگی‌ها و مقتضیات بومی ایران تدوین شده است، این مدل شامل سه بُعد «آمادگی نرم» (سیاست-های الکترونیکی، منابع انسانی) (شهروندان و کارمندان)، فرهنگ، قوانین و مقررات، نظام مدیریتی، استاندارد، امنیت، منابع مالی، محتوای الکترونیکی سازمان و نرم افزارهای رایانه‌ای)، بُعد «آمادگی سخت» (تجهیزات رایانه‌ای، شبکه ارتباطی) و بُعد «آمادگی نظارت و هماهنگی» است.

۱-۲ پیشینه پژوهش

بر اساس مواد ۶۷ و ۶۸ قانون برنامه ششم توسعه، تکالیفی در حوزه توسعه و استقرار دولت الکترونیکی برای همه دستگاه‌های اجرایی تعیین شده است و وظیفه پایش و نظارت بر اجرای طرح‌های دولت الکترونیکی به سازمان فناوری اطلاعات محول شده است. بر همین اساس سازمان فناوری اطلاعات اقدام به ارزیابی خدمات الکترونیکی سازمان‌ها کرده است و از سال ۱۳۹۵ تا کنون پنج مرحله ارزیابی را انجام داده است در آخرین ارزیابی که گزارش جامع آن در خرداد ماه ۱۳۹۸ منتشر شده است تعداد ۱۰۵ سازمان و نهاد مختلف بررسی شده است با توجه به این گزارش بیمه مرکزی در جایگاه نخست و سازمان هدفمندسازی یارانه‌ها در رتبه ۱۰۵ قرار گرفته‌اند [۱۳]. شایان ذکر است ارزیابی‌های انجام شده توسط سازمان فناوری اطلاعات، با استفاده از مدل بلوغ پنج مرحله‌ای شامل مراحل حضور در وب، تعاملی، تراکنشی، یکپارچگی و مشارکتی انجام شده است. بیشتر مطالعاتی که در دانشگاه‌های کشور در حوزه ارزیابی فناوری اطلاعات

الکترونیکی نشان دادند که بیشتر آنها مبتنی بر شاخص‌های زیرساخت، منابع انسانی، سیاست، سرمایه-گذاری، محتوا و برنامه‌های کاربردی هستند. کوردی^۱ و همکاران (۲۰۱۱) [۸] چارچوبی را برای ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی، که متمرکز بر پردازش ابری است، طراحی کردند، این چارچوب شامل چهار بُعد است که عبارتند از: بُعد فناوری (زیرساخت‌های شبکه و امنیت، کیفیت سامانه‌ها و خدمات)، بُعد سازمانی (ساختار، فرهنگ، اندازه و خط مشی سازمان همراه با برنامه‌ریزی راهبردی)، بُعد ذی‌نفعان (شهروندان، کاروکسب‌ها و دولت‌ها) و بُعد جامعه و محیط زیست (ویژگی‌های جمعیت شناسی و مشکلات اجتماعی، فرهنگی، سیاسی و اقتصادی). با توجه به رشد سریع محاسبات ابری و افزایش ظرفیت ذخیره سازی اطلاعات و رشد برنامه‌های کاربردی مبتنی بر پردازش ابری [۹]، محمد و ابراهیم (۲۰۱۳) [۱۰] مدل‌های ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی را به منظور شناسایی شاخص‌های کلیدی مشترک و ارائه چارچوبی اولیه برای اصلاح شاخص‌ها با توجه به ویژگی‌های پردازش ابری بررسی کردند، چارچوب پیشنهادی آنها مبتنی بر این ادعا است که مزایای پردازش ابری، نیاز به برخی تجهیزات را کاهش می‌دهد. قاسم‌زاده و یوسفی‌زاد (۱۳۸۲) [۱۱] مدلی ارائه دادند که رویکرد اصلی آن رفع مشکلات و نقایص برخی مدل‌های مطرح در ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی است، در این مدل به مسائلی از قبیل «زیرساخت‌های فرهنگی و قانونی و استفاده از فناوری اطلاعات ارتباطات» توجه ویژه شده است. در این مدل سه سطح برای ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی در نظر گرفته شده و تأکید اصلی بر «استفاده از خدمات دولت الکترونیکی توسط شهروندان» به‌عنوان هدف نهایی است زیرا تمامی تلاش‌هایی را که در جهت ایجاد و پیاده‌سازی دولت الکترونیکی انجام می‌شود صرفاً در صورت استفاده شهروندان از آن می‌توان موفق دانست.

² Cloud Computing

¹ Kurdi

بودجه و ذی‌نفعان (کاربران، شرکا و فراهم‌کنندگان) مورد ارزیابی قرار گرفته است؛ نتایج حاصل از این ارزیابی نشان می‌دهد کارمندان، دانشجویان، مدیران و خبرگان فناوری اطلاعات از سطح خوبی از آمادگی برخوردار بودند و کمترین آمادگی مربوط به مقررات و بودجه بوده است. در پژوهشی دیگر حنفی زاده و همکاران (۱۳۸۷) [۱۸] مدلی برای ارزیابی آمادگی الکترونیکی دانشگاه‌ها طراحی کردند. این مدل دارای چهار بُعد: «مدیریت، راهبردها و سیاست‌های مبتنی بر فناوری اطلاعات»، «زیرساخت فناوری اطلاعات»، «نیروی انسانی» و «استفاده از فناوری» و شامل ۲۵ شاخص است، مدل طراحی شده در دو دانشگاه علم و صنعت ایران و آزاد اسلامی قزوین اجرا و میزان آمادگی الکترونیکی آنها اندازه‌گیری و ارزیابی شده است. با توجه به مطالب گفته شده و نیاز به مدلی که همه جنبه‌های دولت الکترونیکی را در بر بگیرد در ادامه مدل پیشنهادی ارائه شده است.

۳. روش شناسی پژوهش

از نظر روش شناسی مطالعات انجام شده در حوزه ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی به چند دسته تقسیم می‌شوند، تعدادی از مطالعات فقط به مرور متون پیشین پرداخته و در نهایت به ارائه یک مدل مفهومی اکتفا می‌کنند، برخی از مطالعات به دنبال ایجاد مدل بومی برای ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی هستند که از دو روش متفاوت استفاده می‌کنند، در روشی که روش «بالا به پایین» نامیده می‌شود محقق سعی می‌کند که یک مدل ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی را به عنوان مدل پایه انتخاب کند و شاخص‌های مدل پیشنهادی خود را بر اساس آن بومی سازی کند، در روش دوم که روش «پایین به بالا» نامیده می‌شود، از هیچ مدل پایه‌ای استفاده نمی‌شود و محقق برای به دست آوردن شاخص‌های ارزیابی آمادگی دولت

صورت پذیرفته است بر «آمادگی الکترونیکی» دانشگاه‌ها متمرکز بوده است و شامل همه ابعاد دولت الکترونیکی نبوده است؛ در برخی موارد نیز هدف صرفاً ارزیابی وبگاه دانشگاه‌ها بوده است. در ادامه به برخی از این مطالعات اشاره می‌شود: فرزندی پور و همکاران (۱۳۹۲) [۱۴] با استفاده از الگوی ارزیابی سازمان ملل، وبگاه ۳۷ دانشگاه علوم پزشکی کشور را از نظر چهار مرحله بلوغ دولت الکترونیکی شامل: «ظهور»، «تعامل»، «تراکنش» و «یکپارچگی» بررسی کرده‌اند. با توجه به نتایج این پژوهش، دانشگاه‌های علوم پزشکی کشور از مراحل ظهور و تعامل عبور کرده‌اند اما در مراحل تراکنش و یکپارچگی پیشرفتی نداشته‌اند. شایان ذکر است که این پژوهش فقط وبگاه دانشگاه‌های علوم پزشکی را مورد بررسی قرار داده و به سایر ابعاد دولت الکترونیکی توجهی نکرده است. خلیفه و آزاد (۱۳۹۰) [۱۵] با استفاده از مدل ارزیابی سازمان ملل، دانشگاه شهید چمران اهواز را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. نتیجه این پژوهش نشان می‌دهد که دانشگاه شهید چمران اهواز از مراحل ظهور و تعامل گذر کرده لیکن هنوز به طور کامل از مرحله سوم (تراکنش) گذر نکرده است. پیلی^۱ و اراسموس^۲ (۲۰۱۷) [۱۶] مدلی برای ارزیابی آمادگی الکترونیکی در دانشگاه‌های افریقای جنوبی پیشنهاد کرده‌اند. نتیجه این پژوهش معرفی شاخص‌های کلیدی برای ارزیابی آمادگی الکترونیکی در دانشگاه‌های افریقای جنوبی و شناسایی ذی‌نفعان است شاخص‌های کلیدی این مدل شامل: «سرمایه انسانی» (دانشجویان، استادان و کارمندان)، «زیرساخت‌ها» (نرم افزار، سخت افزار، امنیت و شبکه ارتباطی)، «سامانه‌های اطلاعاتی» (وبگاه و مجلات علمی دانشگاه) است. در تحقیقی دیگر رنجبرزاده و همکاران (۲۰۱۳) [۱۷] آمادگی الکترونیکی دانشگاه علوم پزشکی تبریز را مورد ارزیابی قرار دادند. در این پژوهش ابعادی شامل: سخت افزار، نرم افزار، شبکه ارتباطی، امنیت، پایگاه داده و سامانه‌های اطلاعاتی، فرایندها، مدیریت، مقررات،

² Erasmus

¹ Pillay

اداری سازمان اداری استخدامی کشور، مدیران فناوری اطلاعات سازمان‌های دولتی و متخصصانی که در حوزه دولت الکترونیکی دارای مقاله/کتاب بوده‌اند، انتخاب شده‌اند. در پرسش‌نامه طراحی شده، ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی در سطح فروم ملی سازه اصلی است که مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین به منظور ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی در دانشگاه تربیت مدرس با روش تحقیق مطالعه میدانی اطلاعات مورد نیاز از سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات، اتحادیه بین المللی مخابرات، مرکز رایانه و سایر بخش‌های دانشگاه و پرسش‌نامه، داده‌های مورد نیاز گردآوری شد. جامعه آماری این پرسش‌نامه شامل مدیران، کارکنان و دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس بوده است. این پرسش‌نامه به صورت مقیاس پنج درجه لیکرت یا به صورت بلی/خیر طراحی شده است.

۲-۳ جامعه آماری پرسش‌نامه

در این پژوهش با استفاده از نمونه تصادفی ۷۷ تایی تعداد ۵۰ پاسخ‌نامه تکمیل شده دریافت شد، از بین پاسخ‌های دریافت شده ۱۸ درصد از پاسخ‌دهندگان زن و ۸۲ درصد مرد بوده‌اند، ۲۸ درصد دارای مدرک تحصیلی دکتری، ۴۶ درصد مدرک تحصیلی کارشناسی ارشد و ۲۶ درصد نیز مدرک تحصیلی کارشناسی داشته‌اند، همچنین ۶ درصد پاسخ‌دهندگان بالای ۵۰ سال، ۷۰ درصد بین ۴۰ تا ۵۰ سال، ۲۰ درصد بین ۳۰ تا ۴۰ سال و ۴ درصد نیز کمتر از ۳۰ سال سن داشته‌اند. در شکل ۱ جامعه آماری پژوهش آمده است.

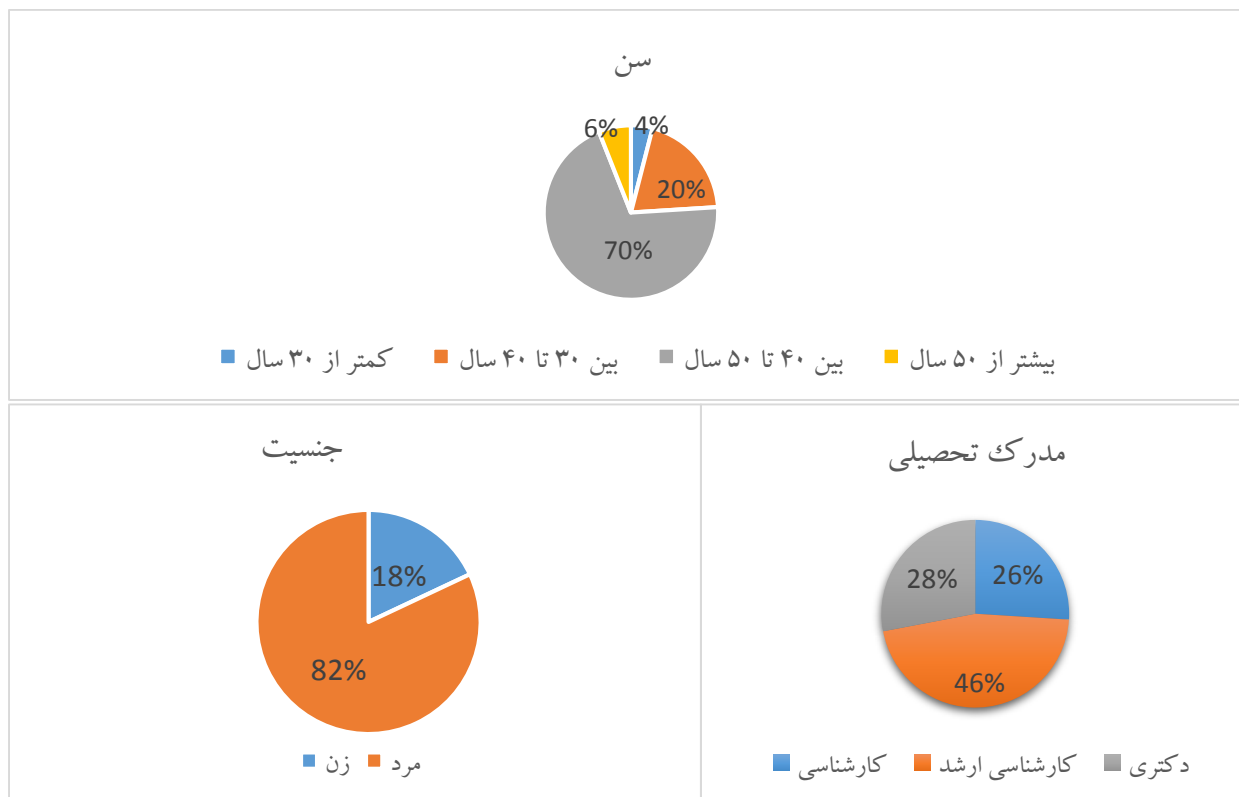
الکترونیکی از روش‌های مطالعات میدانی و پیمایشی استفاده می‌کند و یک مدل کاملاً بومی ارائه می‌کند [۱۹]. از نظر روش شناسی، پژوهش حاضر در دسته روش «پایین به بالا» قرار می‌گیرد به این صورت که پس از مرور منابع و نتایج پژوهش‌های پیشین، ابتدا با استفاده از درصد فراوانی شاخص‌های پرتکرار در ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی استخراج شد، سپس به منظور تعیین شاخص‌های اصلی و سنجه‌های هر شاخص و وزن آنها پرسش‌نامه‌ای به صورت سئوالات پنج گزینه‌ای کیفی از «بسیار کم» تا «بسیار زیاد» طراحی شد و در اختیار خبرگان حوزه دولت الکترونیکی قرار گرفت سپس به منظور اعتبار سنجی و تدوین نهایی مدل، آزمون‌های آماری صورت پذیرفت، پس از تدوین نهایی مدل، از آن برای ارزیابی میزان آمادگی دولت الکترونیکی در دانشگاه تربیت مدرس به عنوان نهادی فروم ملی استفاده شد و بر اساس آن، ضمن ارزیابی نقاط قوت و ضعف این دانشگاه در شاخص‌های مختلف، توصیه‌هایی برای ارتقای آمادگی دولت الکترونیکی دانشگاه ارائه شده است. در ادامه ساختار پرسش‌نامه و نتایج حاصل از تحلیل‌های آماری و اعتبار سنجی مدل آمده است.

۱-۳ ساختار پرسش‌نامه

به منظور نظرسنجی از خبرگان حوزه دولت الکترونیکی پرسش‌نامه‌ای با ۹ شاخص و ۱۱۰ سنجه طراحی شد. برای تدوین پاسخ‌ها از طیف پنج درجه‌ای لیکرت استفاده شده است. خبرگان دولت الکترونیکی در این پژوهش از بین استادان فعال در حوزه فناوری اطلاعات، کارشناسان معاونت توسعه دولت الکترونیکی سازمان فناوری اطلاعات، کارشناسان معاونت تحول و نوسازی

² International telecommunication union (ITU)

¹ Construct



شکل ۱. جامعه آماری پژوهش

اجرائی و قوانین»، «منابع انسانی»، «یکپارچگی»، «بودجه»، «زیرساخت‌های فناوریانه»، «فرهنگ دیجیتالی» و «نظارت، پشتیبانی و هماهنگی»، همچنین شاخص «زیرساخت‌های ملی» به عنوان شاخص مستقل از سازمان در نظر گرفته شده است. در ادامه اهمیت و اجزای هر یک از شاخص‌ها بررسی شده است.

۴-۱ اعتماد: اعتماد شهروندان به دولت الکترونیکی به عنوان یکی از جنبه‌های مهم در پذیرش دولت الکترونیکی مطرح است. دو بُعد اصلی اعتماد شامل: «اعتماد به توانایی و تعهد حاکمیت به دولت الکترونیکی» و «اعتماد به توانمندی فناوری» است [۲۰].

۴. مدل پیشنهادی ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی در دانشگاه‌ها

برای تحقق دولت الکترونیکی لازم است ابعاد مختلف آمادگی از لحاظ زیرساخت فنی، سیاسی، منابع انسانی و منابع مالی مورد ارزیابی قرارگیرد، بنابراین در این پژوهش به منظور ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی در سطح دستگاهی مدلی ارائه خواهد شد که ابعاد و شاخص‌های آن مستقل از سازمان خاصی است و توانایی ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی را برای هر سازمان دولتی دارد. شاخص‌های مدل شامل دو دسته اصلی: «وابسته به سازمان» و «مستقل از سازمان» است. شاخص‌های وابسته به سازمان (که با دستگاه مورد بررسی ارتباط مستقیم دارند) عبارتند از: «اعتماد»، «سیاست

۴-۲ قوانین و سیاست اجرایی سازمان: وجود اسناد و آیین نامه‌های توسعه دولت الکترونیکی در سطح سازمان برای ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی ضروری است [۲۱]. این شاخص بیانگر وجود سیاست‌ها و قوانین مناسب برای توسعه دولت الکترونیکی در سازمان است.

۴-۳ منابع انسانی: سطح بالای آمادگی نیروی انسانی باعث استفاده بهینه از مزایای فناوری اطلاعات می‌شود [۲۲]. آمادگی منابع انسانی در سطح سازمان از دو منظر قابل بررسی است: نخست بخشی از جامعه که بیشترین ارتباط را با سازمان دارند، به عبارتی هدف اصلی سازمان از ارائه خدمات الکترونیکی، خدمت رسانی به این قشر از جامعه است (جامعه هدف سازمان). استخدام افراد با مهارت‌های لازم یا آموزش کارکنان فعلی باعث تسریع در استقرار دولت الکترونیکی می‌شود [۲۳]. بنابراین بخش دوم ارزیابی منابع انسانی شامل ارزیابی آمادگی کارکنان و مدیران است.

۴-۴ یکپارچگی: این شاخص مربوط به ادغام داده‌های دیجیتال سازمان‌های مختلف در یک نقطه یکتا در دولت ملی الکترونیکی است، یکپارچگی از طریق اتصال به شبکه ملی اطلاعات ایجاد می‌شود [۲]. پیاده سازی دولت الکترونیکی نیازمند آن است که تمامی سازمان‌های دولتی داده‌های خود را در دسترس دیگران قرار دهند و با استفاده از فناوری اطلاعات تسهیل در کاروکسب‌ها و ارائه هر چه سریع‌تر خدمت به ذینفعان را فراهم آورند. به طور کلی، ادغام به معنای یافتن راه‌هایی برای همکاری سریع‌تر میان سازمان‌ها است [۲۴]. بنابراین اتصال به شبکه ملی اطلاعات پیش نیاز سازمان‌ها برای دستیابی به یکپارچگی است.

۴-۵ بودجه: تخصیص بودجه و فعالیت‌های مربوط به نظارت و ارزیابی هزینه‌ها نقش مهمی در پیاده‌سازی دولت الکترونیکی دارد، علاوه بر دولت ملی، سازمان‌ها نیز باید وضعیت بودجه، درآمدها و هزینه‌ها را به صورت شفاف منتشر کنند [۲۴]. عدم شفافیت بودجه و عدم نظارت از سوی مؤسسات حسابرسی رسمی اهداف توسعه پایدار را تهدید می‌کند [۲۵]. این شاخص مربوط به بودجه اختصاص یافته به زیرساخت‌های فناوری اطلاعات، هزینه‌های آموزش کارکنان و سایر هزینه‌های اجرای طرح‌های دولت الکترونیکی است.

۴-۶ زیرساخت‌های فناورانه: زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات شاخصی کلیدی برای ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی است. منظور از این شاخص، گروهی از منابع مشترک فیزیکی و نرم افزاری شامل موارد ذیل است [۲۶]. امنیت دیجیتالی، سخت افزارها و شبکه رایانه‌ای، نرم افزارها، استانداردها، و کانال دسترسی.

۴-۷ فرهنگ دیجیتالی: مشابه با شاخص منابع انسانی، شاخص فرهنگ دیجیتالی نیز از دو منظر آمادگی جامعه هدف سازمان و آمادگی مدیران و کارکنان سازمان قابل بررسی است در سازمان‌هایی که نظام دیوان سالارانه حاکم است، به دلیل وجود آیین نامه‌ها و قوانین مشخص، پذیرش طرح‌های دولت الکترونیکی بهتر صورت می‌گیرد؛ همچنین در سازمان‌هایی که مأموریت و چشم انداز سازمان مشخص است و همچنین ساز و کارهای ارتقای شغلی و نظام پاداش قاعده‌مند وجود دارد، پذیرش دولت الکترونیکی بهتر انجام می‌گیرد [۲۷].

۴-۸ نظارت، پشتیبانی و هماهنگی: برای اطمینان از هماهنگی و وجود راهبرد کلی، نیاز به نقش رهبری

واقع تنها یک لایه از متغیر یا متغیرهای پنهان در مدل وجود دارد [۳۱]. قدرت رابطه بین عامل (شاخص) و متغیر قابل مشاهده (سنجه) به وسیله بار عاملی نشان داده می‌شود. بار عاملی مقداری بین صفر و یک است. اگر بار عاملی کمتر از ۰/۳ باشد رابطه ضعیف در نظر گرفته شده و از آن صرف نظر می‌شود. بار عاملی بین ۰/۳ تا ۰/۶ قابل قبول است و اگر بزرگتر از ۰/۶ باشد خیلی مطلوب است [۳۲]. در تحلیل عاملی تأییدی متغیرهایی که عاملی (شاخص) را می‌سنجند، باید با آن عامل، بار عاملی بالا و با سایر عامل‌ها، بار عاملی پایین داشته باشند. در این پژوهش به دلیل اینکه در پی ارزیابی رابطه بین شاخص‌ها و سنجه‌ها هستیم از تحلیل عاملی تأییدی مرتبه اول استفاده شده است، تحلیل عاملی تأییدی این پژوهش با استفاده از نرم افزار لیزرل نسخه ۸ انجام گرفته است، با توجه به نتایج به دست آمده (پیوست الف)، بار عاملی همه سنجه‌های پرسش‌نامه بیشتر از ۰/۳ است که بیانگر اطمینان از اندازه گیری صحیح شاخص‌ها است.

۱-۵ آزمون برازش مدل

مهم‌ترین آماره برازش، آماره مجذور خی است، این آماره تفاوت ماتریس مشاهده شده و برآورد شده را اندازه می‌گیرد ضمن اینکه به حجم نمونه بسیار حساس است بنابراین در نمونه‌های با حجم بالا، بردرجه آزادی تقسیم می‌شود و در صورتی که از ۳ کمتر باشد مناسب محسوب می‌شود. همانگونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود مقدار $df/2x$ محاسبه شده برابر با ۲/۱۱ است که در محدوده مطلوبیت قرار دارد. همچنین ریشه میانگین توان دوم خطای تقریب (RMSEA) و ریشه میانگین توان دوم باقی مانده

است، چنین نقشی مسئول تنظیم استانداردها و راهکارهای نظارتی است [۲۵]. موفقیت دولت الکترونیکی در گرو تعهد مدیران سازمان و نظارت جدی بر اجرای طرح‌های دولت الکترونیکی است، این شاخص وجود سازوکارهای نظارتی در اجرای طرح‌های دولت الکترونیکی را ارزیابی می‌کند.

۴-۹ زیر ساخت‌های ملی: توسعه زیرساخت‌های فناورانه فرصت‌های جدیدی را در بخش خصوصی و دولتی ایجاد می‌کند، فناوری‌های دیجیتال می‌توانند با راه‌های کارآمد به توانمند سازی و انعطاف‌پذیری دولت‌ها کمک کنند [۲۸]. آمادگی الکترونیکی جامعه و گسترش زیر ساخت‌های ارتباطی کشور ضامن موفقیت دولت الکترونیکی در سطح فرو ملی است، این شاخص آمادگی الکترونیکی جامعه و زیر ساخت‌های ارتباطی کشور را مورد ارزیابی قرار می‌دهد، ارزیابی آمادگی زیر ساخت‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات کشور مستقل از سازمان خاصی است.

۵. تحلیل مدل

برای پی بردن به متغیرهای زیر بنایی یک پدیده یا تلخیص مجموعه‌ای از داده‌ها از تحلیل عاملی استفاده می‌شود. داده‌های اولیه برای تحلیل عاملی، ماتریس همبستگی بین متغیرها است [۲۹]. تحلیل عاملی تأییدی زمانی کاربرد دارد که پژوهشگر قصد آزمون فرضیاتی را درباره تعداد عوامل زیربنایی موجود در مجموعه‌ای از متغیرها، روابط عامل‌ها با شاخص‌ها و برازش مدل داشته باشد [۳۰]. در تحلیل عاملی مرتبه اول فرض بر آن است نمرات هر مطالعه در یک متغیر، در واقع منعکس کننده وضعیت آن مورد در یک عامل زیر بنایی تر است که به دلیل پنهان بودن امکان اندازه‌گیری مستقیم آن وجود ندارد اما این عامل پنهان خود از ابعاد عامل پنهان دیگری محسوب نمی‌شود و در

³ Lisrel

¹ Factor Analysis

² Factor Loading

(RMR) باید کمتر از ۰/۱ باشد که در مدل ارائه شده این مقادیر به ترتیب برابر ۰/۰۶ و ۰/۰۷۴ است. با توجه به جدول ۱ مقادیر شاخص‌های GFI, NFI, CFI, RFI و TLI در محدوده مطلوبیت قرار دارند بنابراین با توجه به نتایج حاصل از آماره‌های برازش مدل در جدول ۱ می‌توان ادعا کرد مدل به سطح مطلوبی از برازش دست یافته است.

جدول ۱. شاخص‌های برازش مدل

مقدار بدست آمده	مقادیر قابل قبول (مطلوب) [۳۳]	توضیحات	شاخص
۲/۱۱	< ۳	کای اسکوئر نسبی	Chi Square
۰/۰۶	< ۰/۱	ریشه میانگین توان دوم خطای تقریب	RMSEA
۰/۰۷۴	< ۰/۱	ریشه میانگین توان دوم باقی مانده	RMR
۰/۹۵	> ۰/۹	شاخص نیکویی برازش	GFI
۰/۹۱	> ۰/۹	شاخص برازش هنجار شده بتلر- بونت	NFI
۰/۹۸	> ۰/۹	شاخص برازش مقایسه‌ای	CFI
۰/۹۳	> ۰/۹	شاخص برازش نسبی	RFI
۰/۷۳	> ۰/۵	شاخص تاکر- لویز	TLI

«کایزر- مایر- اولکین» برای همه متغیرها از ۰/۶ بیشتر و سطح معناداری همه متغیرها نیز از ۰/۰۵ کمتر است بنابراین نتایج تحلیل عاملی اکتشافی مدل قابل قبول است.

۳-۵ رتبه‌بندی شاخص‌های مدل ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی

به منظور تعیین میزان تأثیر هر شاخص بر آمادگی دولت الکترونیکی از تحلیل واریانس ناپارامتری فریدمن^۲ استفاده شده است، در این تحلیل به دنبال اثبات یکی از فرضیه‌های زیر هستیم:

۲-۵ تحلیل عاملی اکتشافی

برای بررسی روایی سازه پرسش‌نامه و ساختار عوامل متغیرهای پژوهش، از تحلیل عاملی اکتشافی به روش مؤلفه‌های اصلی با چرخش واریماکس استفاده می‌شود، مقدار شاخص «کایزر- مایر- اولکین» برای هر متغیر بیشتر از ۰/۶ و در سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ برای تأیید نتایج قابل قبول است [۳۱]. به منظور بررسی روایی سازه پرسش‌نامه این پژوهش تحلیل عاملی اکتشافی به روش مؤلفه‌های اصلی همراه با چرخش واریماکس انجام شد. با توجه به اینکه مقدار شاخص

² Friedman

¹ Kaiser – Meyer – Olkin

H0 : از نظر پاسخ دهندگان اهمیت شاخص‌های آمادگی دولت الکترونیکی یکسان است.

H1 : از نظر پاسخ دهندگان اهمیت شاخص‌های آمادگی دولت الکترونیکی یکسان نیست.

نتایج حاصل از اجرای آزمون فریدمن در جدول ۲ آمده است. برای محاسبه درصد اهمیت هر شاخص از رابطه ۱ استفاده شده است.

$$\alpha = \frac{a_i \times 100}{\sum_{i=1}^i a_i} \quad (1)$$

در این رابطه، i تعداد سنجه‌های هر شاخص و a_i وزن هر شاخص بر اساس رتبه فریدمن است.

جدول ۲ رتبه‌بندی شاخص‌های آمادگی دولت الکترونیکی

رتبه	شاخص	وزن	درصد رتبه شاخص
۱	زیر ساخت‌های سازمانی	۶/۳۵	۱۴/۱۱
۲	نظارت پشتیبانی و هماهنگی	۶/۲۶	۱۳/۹۱
۳	اعتماد	۵/۷۸	۱۲/۸۴
۴	سیاست اجرایی و قوانین	۵/۴۳	۱۲/۰۷
۵	منابع انسانی	۵/۴۰	۱۲/۰۰
۶	فرهنگ دیجیتالی	۴/۶۷	۱۰/۳۸
۸	یکپارچگی	۴/۴۶	۹/۹۱
۸	بودجه	۳/۸۸	۸/۶۲
۹	زیرساخت‌های ملی	۲/۷۷	۶/۱۶

مهم ایران و از جمله سازمانهای دولتی شناخته می‌شود.

در این ارزیابی داده‌های مورد نیاز با روش مطالعه میدانی و پرسش‌نامه گردآوری شده است. جامعه آماری این پرسش‌نامه شامل مدیران، کارکنان (استادان و کارمندان) و دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس بوده است. پرسش‌نامه پژوهش به صورت مقیاس پنج درجه-ای لیکرت یا به صورت «بلی/خیر» طراحی شده است. به منظور تحلیل نتایج به دست آمده از پاسخ‌نامه‌ها از درصد سهم وزنی هر شاخص استفاده می‌شود، به بیان دیگر نسبت پاسخ‌ها را ملاک قرار داده و درصد سهم از وزن شاخص به عنوان امتیاز دانشگاه در یک شاخص در نظر گرفته می‌شود. در ادامه نتایج ارزیابی آمادگی

با توجه به جدول ۲ دو شاخص «زیرساخت‌های سازمانی» و «نظارت، پشتیبانی و هماهنگی» بیشترین تأثیر و دو شاخص «بودجه» و «زیرساخت‌های ملی» کمترین تأثیر را بر آمادگی دولت الکترونیکی در سطح فرو ملی دارند. وزن سنجه‌ها بر اساس آزمون فریدمن در پیوست ب آمده است.

۶. ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی در دانشگاه تربیت مدرس

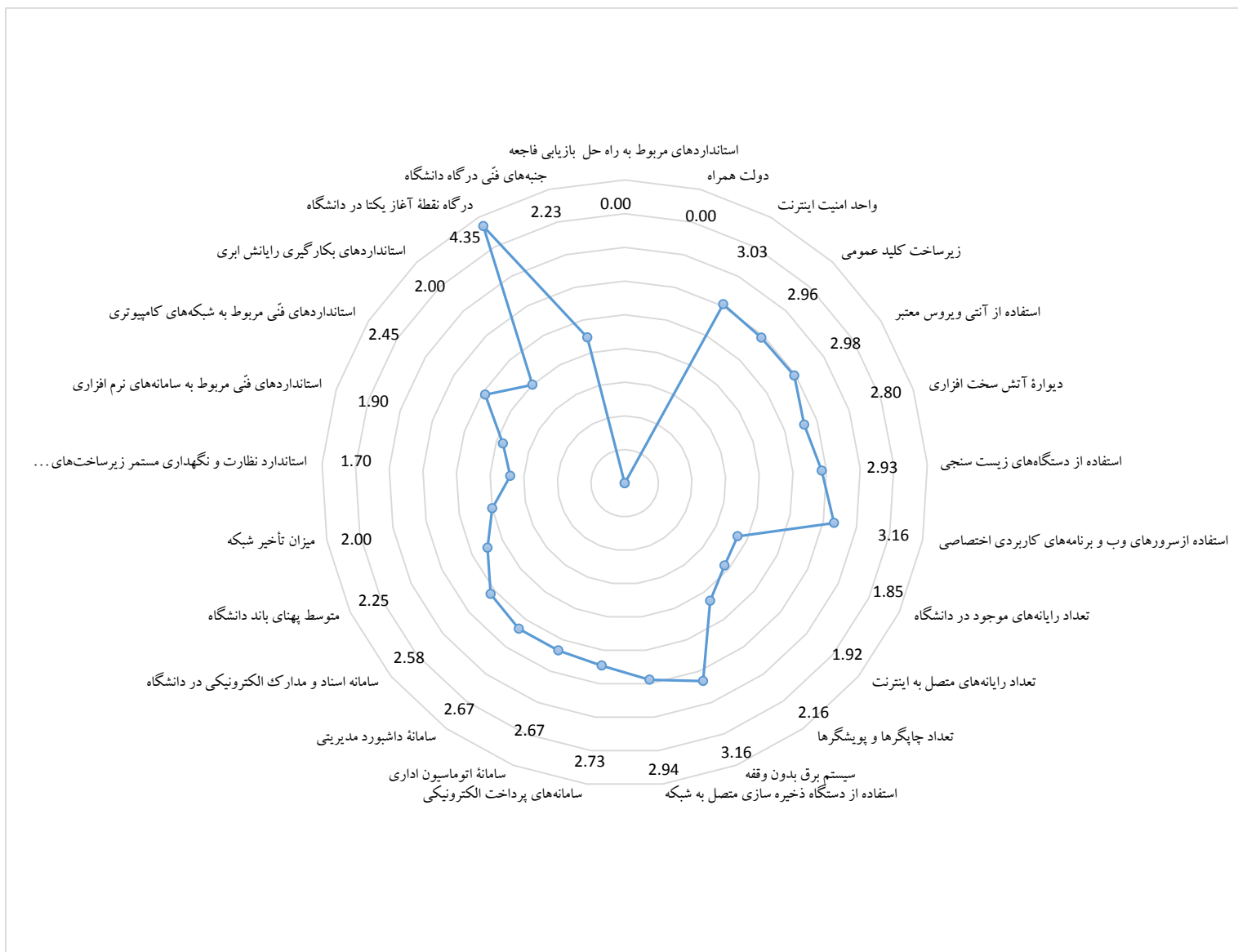
دانشگاه تربیت مدرس با حضور ۷۳۰ عضو هیئت علمی در قالب ۱۷ دانشکده و همچنین تعداد ۱۰۰۰۰ دانشجویکه درمقاطع تحصیلی دکتری و کارشناسی ارشد مشغول به تحصیل هستند به عنوان یکی از دانشگاه‌های

الکترونیکی در سطح بالایی باشند اگر کانال دسترسی و به خصوص وبگاه سازمان از کیفیت مناسبی برخوردار نباشد، سایر عوامل را هم تحت تأثیر منفی قرار خواهد داد در این بررسی وبگاه دانشگاه از نظر فنی مورد بررسی قرار گرفت برخی از این موارد عبارتند از: تطبیق پذیری با مرورگرهای مختلف، تطبیق پذیری با گوشی‌های هوشمند، پیوندهای خراب، سرعت بارگذاری صفحات، استفاده از شبکه‌های اجتماعی و غیره. امتیاز وبگاه دانشگاه تربیت مدرس در این بررسی ۵۲ از ۱۰۰ است، که در مقایسه با برخی دانشگاه‌های دیگر از جمله دانشگاه تهران با امتیاز ۷۰ از وضعیت مناسبی برخوردار نیست (یادآور می‌شود این بررسی در خرداد ۱۳۹۸ انجام شده است). علاوه بر این عدم استفاده از تلفن گویا و عدم توجه به استانداردهای دسترسی وب توسط وبگاه دانشگاه باعث کاهش امتیاز آمادگی شاخص زیرساخت دانشگاه شده است. بنابراین با توجه به وزن سنجه‌های ارزیابی شده امتیاز آمادگی این شاخص ۶/۳ از ۱۰ است. سایر سنجه‌های بررسی شده در شکل ۲ آمده است.

شاخص‌های دانشگاه تربیت مدرس به ترتیب اهمیت آمده است:

۶-۱ شاخص زیرساخت‌های فناورانه

این شاخص ترکیبی از منابع فیزیکی، نرم افزاری و مستندات است که عبارتند از: «امنیت دیجیتالی»، «سخت افزارها و شبکه رایانه‌ای»، «نرم افزارها»، «استانداردها»، و «کانال دسترسی». اطلاعات لازم برای ارزیابی این شاخص از طریق مصاحبه حضوری با رئیس مرکز رایانه دانشگاه جمع آوری شد، اصلی‌ترین کمبود در بحث استاندارد، نبود استانداردهای مربوط به «راه حل بازیابی فاجعه برای اطمینان از ادامه فعالیت‌های دانشگاه در شکست‌های گسترده» است. علاوه بر این عدم توسعه دولت همراه باعث کاهش امتیاز آمادگی شاخص زیرساخت دانشگاه شده است. از مهم‌ترین عواملی که بر استفاده از دولت الکترونیکی تأثیر گذار است و نقطه ارتباط ذی‌نفعان با دولت الکترونیکی هر سازمانی است، کانال دسترسی آن سازمان است، به عبارتی هر اندازه که سایر عوامل تأثیر گذار در دولت



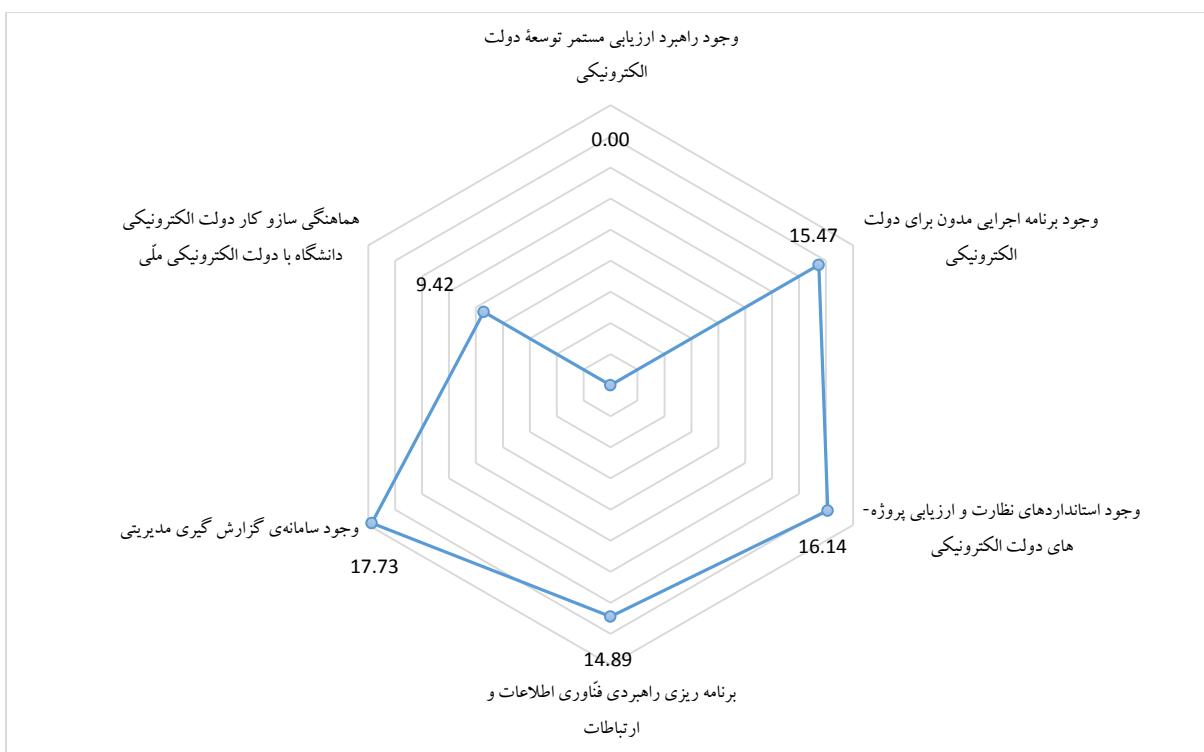
شکل ۲. آمادگی دانشگاه تربیت مدرس در شاخص زیرساخت‌های فناورانه

۲-۶ شاخص نظارت، پشتیبانی و هماهنگی

با توجه به بررسی به عمل آمده «استاندارد نظارت و ارزیابی پروژه‌های دولت الکترونیکی»، «برنامه ریزی راهبردی فناوری اطلاعات و ارتباطات»، «برنامه مدون برای پیاده سازی دولت الکترونیکی» و «سامانه گزارش گیری مدیریتی» در دانشگاه تعریف شده است. ضعف

اصلی دانشگاه در این شاخص عدم تعریف «راهبرد ارزیابی مستمر توسعه دولت الکترونیکی» است. امتیاز کلی دانشگاه در این شاخص ۷/۴ از ۱۰ است. سایر سنجه‌های بررسی شده در شکل ۳ آمده است.

ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی در سطح سازمان‌های دولتی ایران (مورد کاوی: دانشگاه تربیت مدرس)

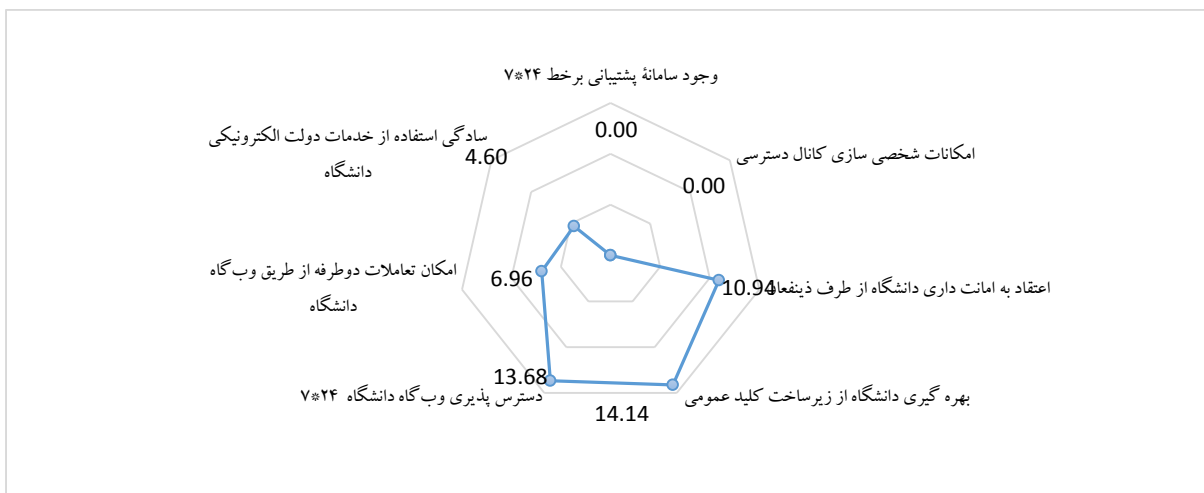


شکل ۳. آمادگی دانشگاه تربیت مدرس در شاخص نظارت، پشتیبانی و هماهنگی

۳-۶ شاخص اعتماد

آموزش (گلستان) را به منظور انجام امور مربوط به ثبت نام، انتخاب واحد و سایر فرایندهای مربوطه را پیچیده توصیف می‌کنند. همچنین تاکنون در مورد امکانات «پشتیبانی برخط ۲۴ ساعته» و «امکانات شخصی سازی وبگاه» اقدامی صورت نگرفته است بنابراین اقدام برای ایجاد این دو مورد از طرف مرکز رایانه باید در اولویت قرار گیرد. با توجه به وزن سنجه‌های ارزیابی شده امتیاز آمادگی این شاخص ۵ از ۱۰ است. سایر سنجه‌های بررسی شده در شکل ۴ آمده است.

با توجه به نظر سنجی انجام شده از دانشجویان نسبت به «دسترس پذیری ۲۴ ساعته وبگاه دانشگاه» و همچنین استفاده دانشگاه از «زیر ساخت کلید عمومی»، در این دو سنجه دانشگاه در وضعیت مطلوبی قرار دارد، از نظر دانشجویان و کارکنان، امکان تعاملات دوطرفه کامل با وبگاه دانشگاه وجود ندارد. همچنین بیشتر پاسخ‌دهندگان استفاده از سامانه نرم افزاری

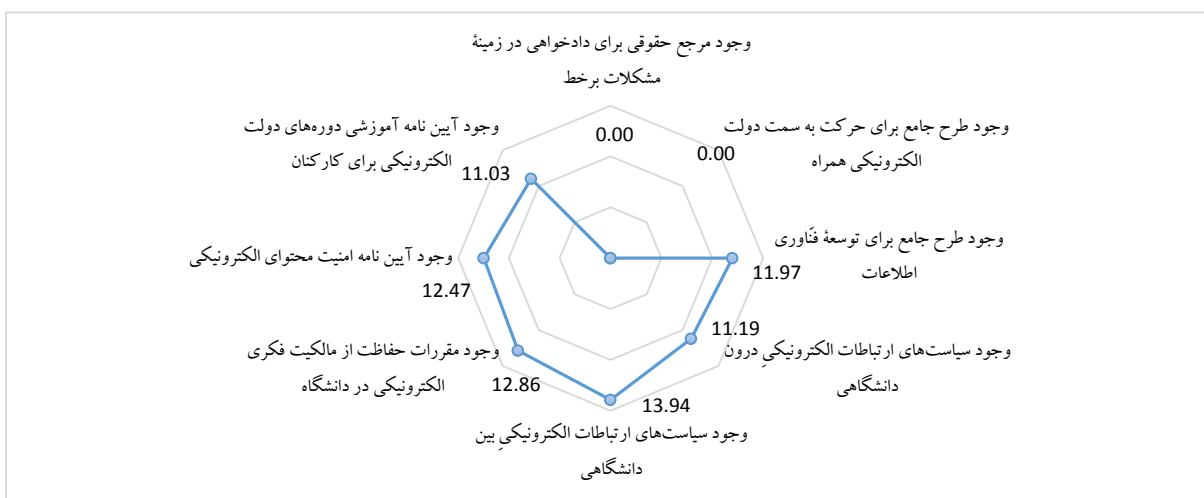


شکل ۴. آمادگی دانشگاه تربیت مدرس در شاخص اعتماد

است، فقدان «مرجع حقوقی مناسب برای رفع مشکلات برخط» و «طرح جامع حرکت به سمت دولت الکترونیکی همراه»، باعث کاهش امتیاز آمادگی دانشگاه در این شاخص شده است. با توجه به وزن سنجه‌های ارزیابی شده امتیاز آمادگی این شاخص ۷/۳ از ۱۰ است. سایر سنجه‌های بررسی شده در شکل ۵ آمده است.

۴-۶ شاخص قوانین و سیاست اجرایی

با توجه به بررسی‌های صورت پذیرفته، «آیین نامه‌های تخلفات رایانه‌ای» و «آیین نامه امنیت محتوای الکترونیکی» در دانشگاه تدوین شده است، همچنین «طرح جامع حرکت به سمت دولت الکترونیکی همراه» در دانشگاه در دست تدوین است اما مرجعی برای دادخواهی در زمینه شکایات برخط در نظر گرفته نشده



شکل ۵. آمادگی دانشگاه تربیت مدرس در شاخص قوانین و سیاست اجرایی

دانشگاهی برخوردار هستند، همچنین وجود سمت‌های «مدیریت اطلاعات» و «مدیریت فناوری اطلاعات»، باعث ارتقای آمادگی منابع انسانی دانشگاه شده است.

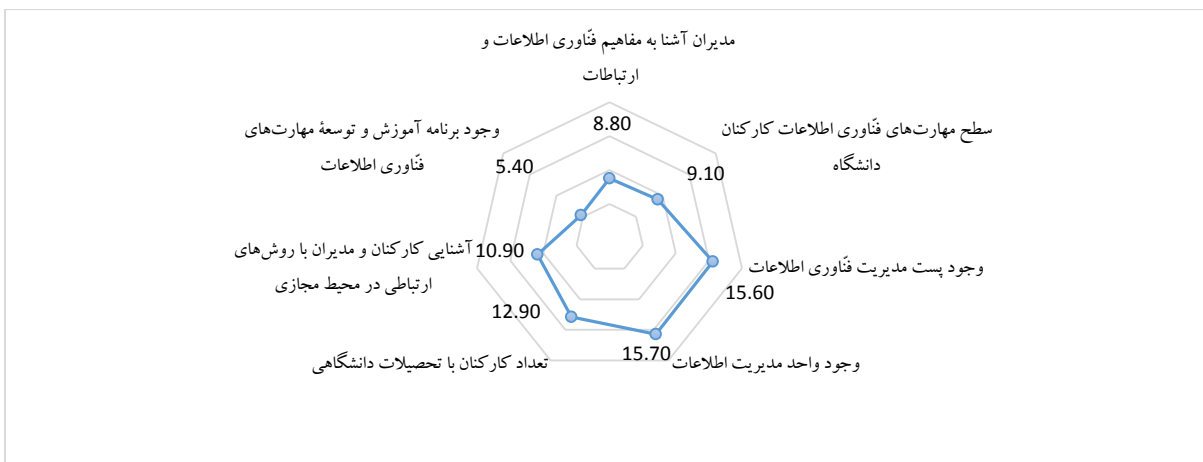
۶-۵ شاخص منابع انسانی

با توجه اطلاعات گردآوری شده کارکنان دانشگاه، به استثنای کارکنان بخش خدمات، از تحصیلات

ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی در سطح سازمان‌های دولتی ایران (موردکاوی: دانشگاه تربیت مدرس)

توجه به وزن سنجه‌های ارزیابی شده امتیاز آمادگی این شاخص ۷/۸ از ۱۰ است. سایر سنجه‌های بررسی شده در شکل ۶ آمده است.

با توجه به سطح علمی کارکنان و اعضای هیئت علمی دانشگاه و دانشجویان قابل پیش بینی است که دانشگاه در این شاخص از وضعیت مطلوبی برخوردار باشد. با

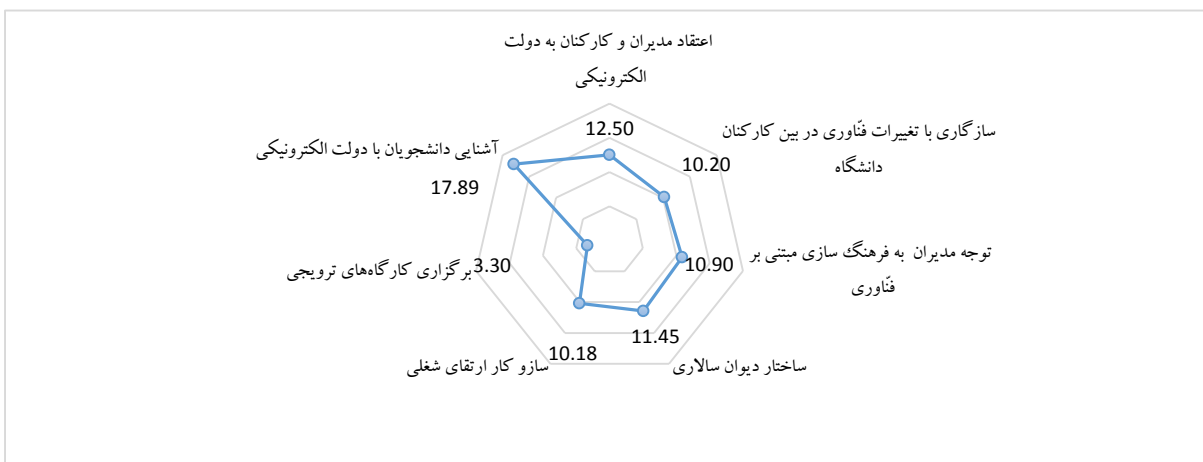


شکل ۶. آمادگی دانشگاه تربیت مدرس در شاخص منابع انسانی

عدم «برگزاری کارگاه‌های آموزشی» برای ذی‌نفعان و همچنین «مقاومت در برابر تغییرات فناوری» در بین کارکنان از دلایل اصلی کاهش امتیاز آمادگی فرهنگ دیجیتال در دانشگاه است. با توجه به وزن سنجه‌های ارزیابی شده امتیاز آمادگی این شاخص ۷/۷ از ۱۰ است. سایر سنجه‌های بررسی شده در شکل ۷ آمده است.

۶-۶ شاخص فرهنگ دیجیتالی

با توجه به نتایج به دست آمده، «ساختار دیوان‌سالار»، «داشتن سازو کار ارتقای شغلی» و «میزان آشنایی دانشجویان با خدمات دولت الکترونیکی دانشگاه» از نقاط قوت دانشگاه محسوب می‌شود و تأثیر مثبتی بر آمادگی شاخص فرهنگ دیجیتالی دارد.

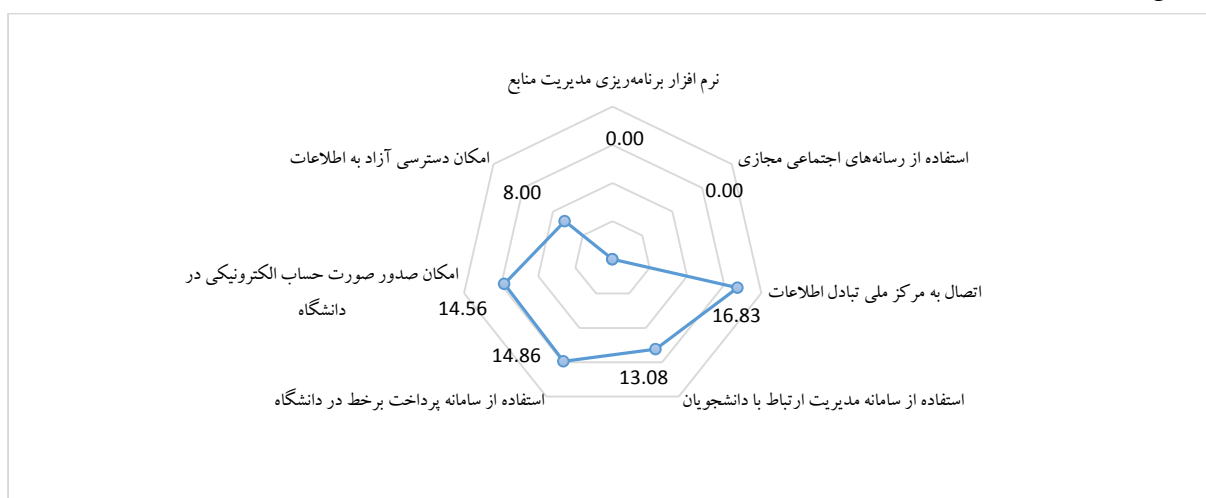


شکل ۷. آمادگی دانشگاه تربیت مدرس در شاخص فرهنگ دیجیتالی

۶-۷ شاخص یکپارچگی

با توجه به بررسی به عمل آمده در دانشگاه، «سامانه پرداخت برخط»، «صدور صورت حساب الکترونیکی» و «سامانه مدیریت ارتباط با دانشجویان» وجود دارد ضمن اینکه عدم استفاده دانشگاه از «سامانه مدیریت منابع» و «رسانه‌های اجتماعی مجازی» باعث کاهش آمادگی دانشگاه در این شاخص شده است.

همچنین از نظر دانشجویان و کارکنان دانشگاه، «امکان دسترسی آزاد» به اطلاعات از طریق وبگاه دانشگاه در حال حاضر به صورت کامل وجود ندارد. نقطه قوت دانشگاه در شاخص یکپارچگی «اتصال به مرکز ملی تبادل اطلاعات» است. با توجه به وزن سنجه‌های ارزیابی شده امتیاز آمادگی این شاخص ۶/۷ از ۱۰ است. سایر سنجه‌های بررسی شده در شکل ۸ آمده است.



شکل ۸. آمادگی دانشگاه تربیت مدرس در شاخص یکپارچگی

۶-۸ شاخص بودجه در دانشگاه

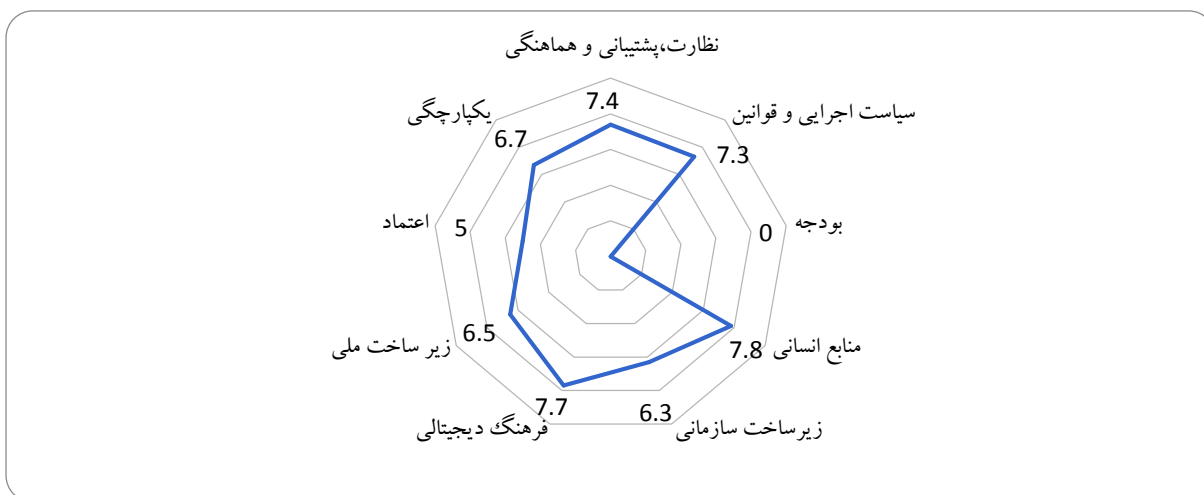
بر اساس قانون بودجه سال ۱۳۹۷، بودجه اختصاص یافته با دانشگاه تربیت مدرس ۳۰۰۰ میلیارد ریال تعیین شده است. به رغم تلاش فراوان برای کسب اطلاعاتی درباره بودجه تخصیص یافته به ردیف‌های مرتبط با فناوری اطلاعات و دولت الکترونیکی، اطلاعات قابل استنادی حاصل نشد. از مواردی که در بررسی شاخص «یکپارچگی» بررسی شد دسترسی آزاد به اطلاعات است که از نظر پاسخ‌دهندگان فقدان دسترسی به ردیف‌های بودجه دانشگاه، یکی از مصادیق «عدم دسترسی آزاد به اطلاعات» است.

۶-۹ شاخص زیر ساخت‌های ملی

امتیاز آمادگی این شاخص ۶/۵ از ۱۰ است، به منظور ارزیابی این شاخص از اطلاعات موجود در پایگاه اطلاعاتی «اتحادیه جهانی مخابرات» (۲۰۱۸) استفاده شده است. شایان ذکر است سازمان ملل نیز در ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی برای شاخص زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات از اطلاعات موجود در پایگاه اطلاعاتی این اتحادیه استفاده می‌کند. در این شاخص سنجه‌های «ضریب نفوذ تلفن ثابت»، «ضریب نفوذ تلفن همراه»، «نواحی تحت پوشش 4G»، «درصد کاربران اینترنت»، «هزینه‌های پهنای باند ثابت»، «پهنای باند شبکه ملی اطلاعات» و «درصد خانوارهای دارای رایانه» بررسی می‌شود. شایان ذکر است این عوامل مستقل از

¹ International Telecommunication Union (ITU)

دانشگاه بوده و ارتقای این شاخص خارج از حوزه اختیار دانشگاه است.



شکل ۹. آمادگی دولت الکترونیکی در دانشگاه تربیت مدرس

۷. تحلیل کلی ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی در دانشگاه تربیت مدرس

با توجه به مطالب بیان شده و محاسبه آمادگی شاخص‌های بررسی شده در بخش قبل میزان آمادگی دولت الکترونیکی دانشگاه تربیت مدرس در شکل ۹ آمده است.

با توجه به شکل ۹ دانشگاه تربیت مدرس در شاخص‌های «نظارت، پشتیبانی و هماهنگی»، «سیاست اجرایی و قوانین»، «منابع انسانی» و «فرهنگ دیجیتال» در وضعیت مناسب‌تری نسبت به سایر شاخص‌ها قرار دارد اما این به معنای مطلوبیت در این شاخص‌ها نیست. با توجه به اهمیت دولت همراه، چالش جدی دانشگاه تربیت مدرس در آینده تدوین طرح جامع و پیاده‌سازی دولت همراه و همچنین تعریف مرجع حقوقی برای حل مشکلات در زمینه دولت الکترونیکی خواهد بود. در «شاخص نظارت، پشتیبانی و هماهنگی» نقطه ضعف اصلی، فقدان راهبرد ارزیابی مستمر توسعه دولت الکترونیکی است، با توجه به اینکه وجود نظارت

و ارزیابی مستمر، سبب اطمینان از مصرف صحیح منابع و هزینه‌هاست، بنابراین فقدان طرح و برنامه برای ارزیابی باعث انحراف از توسعه صحیح طرح‌های دولت الکترونیکی خواهد شد؛ همچنین شایان ذکر است که بهبود سایر شاخص‌ها متأثر از ارزیابی مستمر است بنابراین انتظار می‌رود تدوین راهبرد ارزیابی مستمر توسعه دولت الکترونیکی در اولویت برنامه‌های ارتقای دولت الکترونیکی دانشگاه قرار گیرد. اطمینان از عملکرد صحیح سامانه‌ها و سخت‌افزارها در صورت بروز حوادث طبیعی و حملات سایبری نیازمند وجود استانداردهای فنی برای بازگشت به حالت پایدار است بنابراین این در شاخص «زیرساخت‌های فناورانه» تدوین استانداردهای بازایی از فاجعه ضروری است، همچنین فراهم کردن سازوکار امضای دیجیتال و گواهی دیجیتال و پیاده‌سازی خدمات تلفن گویا باعث ارتقای آمادگی این شاخص خواهد شد. وجود پشتیبانی برخط و فراهم کردن امکانات شخصی سازی وبگاه و به تبع آن امکان تعاملات دوطرفه از طریق وبگاه باعث ایجاد اعتماد در کاربران می‌شود. عدم استفاده از نرم

افزار مدیریت منابع برای اشتراک گذاری اطلاعات و فراهم کردن دسترسی آزاد به اطلاعات و همچنین عدم استفاده از شبکه‌های اجتماعی مجازی باعث کاهش آمادگی دانشگاه در شاخص «یکپارچگی» شده است با توجه به ظرفیت‌های فراوان شبکه‌های اجتماعی در اطلاع رسانی و انتشار اطلاعات، نیاز به استفاده از شبکه‌های اجتماعی مجازی اجتناب ناپذیر است، لذا توجه به این موارد باعث افزایش آمادگی دانشگاه تربیت مدرس در شاخص «یکپارچگی» خواهد شد.

۸. نتیجه گیری

چگونگی تحقق دولت الکترونیکی محلی در دانشگاه با سایر سازمان‌ها متفاوت است زیرا در سایر سازمان‌ها موانعی مانند عدم آمادگی سرمایه انسانی (ذی‌نفعان، کارکنان)، دسترسی کاربران به اینترنت و سایر ابزارهای فناوری وجود دارد ولی معمولاً در دانشگاه‌ها چنین مشکلاتی وجود ندارد، در مقابل انتظار این است که دانشگاه‌ها در زمینه مقررات، استفاده از شبکه‌های اجتماعی و ارتباطات متعامل با مخاطبان (دانشجویان، کارکنان و استادان) پیشرو باشند. در این مقاله پس از معرفی مدل‌های مختلف ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی، به چند مورد از ارزیابی‌های انجام شده در دانشگاه‌های ایران و جهان اشاره شد با توجه به اینکه ارزیابی‌های انجام شده همه ابعاد دولت الکترونیکی را مورد ارزیابی قرار نداده است، در این مقاله به منظور ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی در سطح دانشگاه‌ها، مدلی طراحی شده است، شاخص‌ها و سنجه‌های مدل پیشنهادی با استفاده از نظر خبرگان حوزه دولت الکترونیکی استخراج شد و با استفاده از آزمون‌های آماری، تأثیر شاخص‌های مدل در ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی در سطح دانشگاه‌ها به دست آمد. شاخص‌های مدل به ترتیب اهمیت عبارت است از: «زیرساخت‌های فناوریانه»، «نظارت، پشتیبانی و هماهنگی»، «اعتماد»، «سیاست اجرایی و قوانین»، «منابع انسانی»، «فرهنگ دیجیتال»، «یکپارچگی»، «بودجه» و «زیرساخت‌های ملی»، در این پژوهش شاخص زیرساخت‌های

ملی کمترین تأثیر را در ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی داراست که خود متضمن نگاه فروملی مدل در ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی است. در ادامه آمادگی دولت الکترونیکی در دانشگاه تربیت مدرس مورد ارزیابی قرار گرفت. ضعف اصلی دانشگاه در شاخص «نظارت، پشتیبانی و هماهنگی»، عدم تعریف «راهبرد ارزیابی مستمر توسعه دولت الکترونیکی» است، با توجه به اهمیت ارزیابی دولت الکترونیکی در شناخت نقاط ضعف و قوت ابعاد مختلف دولت الکترونیکی تدوین راهبرد ارزیابی مستمر دولت الکترونیکی ضروری است، همچنین تاکنون در مورد امکانات «پشتیبانی برخط ۲۴ ساعته» و «امکانات شخصی سازی وبگاه» از طرف مرکز رایانه دانشگاه اقدامی صورت نگرفته است بنابراین اقدام برای ایجاد این موارد از طرف مرکز رایانه باید در اولویت قرار گیرد. با توجه به ضریب نفوذ ۹۳ درصدی تلفن همراه در ایران [۳۴]، تعریف طرح جامع دولت همراه باید به صورت جدی مورد توجه قرار گیرد. از مزیت‌های دولت الکترونیکی امکان دسترسی آزاد به اطلاعات است که باعث ایجاد شفافیت بیشتر و افزایش اعتماد در ذی‌نفعان می‌شود بنابراین با توجه به اینکه امکان دسترسی آزاد به اطلاعات از طریق وبگاه دانشگاه وجود ندارد این امکان باید فراهم شود. از موارد بسیار مهمی که تأثیر بسزایی در میزان آمادگی دولت الکترونیکی دانشگاه دارد «تعریف مرجع حقوقی برای رفع مشکلات برخط» است که تاکنون اقدامی برای تعریف چنین مرجعی صورت نگرفته است بنابراین باید در بین اولویت‌های اصلی دولت الکترونیکی دانشگاه قرار بگیرد. از نتایج مهم این ارزیابی می‌توان به آمادگی بالای دانشگاه در شاخص‌های «منابع انسانی»، «فرهنگ دیجیتال»، «قوانین و سیاست اجرایی» و «نظارت، پشتیبانی و هماهنگی» اشاره کرد، آمادگی بالای دانشگاه تربیت مدرس در شاخص منابع انسانی بیانگر ظرفیت بالای دانشگاه در ارتقای سریع‌تر دولت الکترونیکی است، همچنین با توجه به آمادگی نه چندان مطلوب در شاخص‌های «اعتدال»، «یکپارچگی» و «زیرساخت‌های فناوریانه» نیاز به برنامه ریزی برای ارتقای این شاخص‌ها بیش از پیش احساس می‌شود. از

developments in E-systems Engineering (DeSE) pp 404-409.

[9] ITU. (2012). measuring the information society 2012 [online]. geneva (Switzerland): ITU. Available from: <http://www.itu.int/pub/d-ind-ictoi-2012/en>.

[10] Mohammed, F., and O. Ibrahim. (2013). "Refining e-government readiness index by cloud computing." *Journal Teknologi* 65, no. 1: 23-34.

[11] Ghasemzadeh, F., & Yousefizadeh, M. (2003). A three-layer model for evaluating e-government. 25th McMaster world congress, December 24 and 25, 2003, Canada.

[12] Abbasi, M., & Montazer, G. (2017), Effective factors in assessing e-government readiness in Iran, *Journal of Industrial Engineering and Management Sharif* 33 (1). (In Persian).

[13] Information Technology Organization of Iran. (2020). Report on the results of the fifth stage of evaluation of electronic services of organizations, Information Technology Executive Council, June 2020. (In Persian).

[14] Farzandipour, M., Maidani, Z., and Gilasi, H. (2013). Providing educational and research services in the direction of e-government: The role of the website of Iranian medical universities. *Education in Medical Sciences April 2013* 13 (1): 28-18. (In Persian).

[15] Khalifa, G., & Azad, M. (2011). The realization of e-government from the perspective of the staff of shahid Chamran university of Ahvaz. *Quarterly Journal of Education Strategies, Volume 4, Number 4, pp. 177-82*. (In Persian).

[16] Pillay, K., and L. Erasmus. (2017). "E-readiness in South African higher education: a Delphi study: With a focus on determining key factors and stakeholders. In IEEE AFRICON 2017; 758-763." IEEE. <https://doi.org/10.1109/AFRCON>.

[17] Ranjbarzadesh, F., Salek, M., Biglu, H., Hassanzadeh, S., Safaei, N., and Saleh, P. (2013) "E-readiness assessment at Tabriz University of medical sciences." *Research and Development in Medical Education* 2, no. 1: 3.

[18] Hanafizadeh, P., Hanafizadeh, M., Hedayipour, R. (2008) Designing an e-readiness assessment model for Iranian universities and higher education institutions.

نظر نگارندگان مهم‌ترین موضوعی که باید مد نظر مدیران دانشگاه قرارگیرد تدوین منشور «ارزیابی مستمر توسعه دولت الکترونیکی» است، چرا که پیشگیری از انحراف در توسعه دولت الکترونیکی تنها در صورت ارزیابی مستمر ممکن است؛ بنابراین نیاز به تعریف ساز و کار ارزیابی مستمر و همچنین ایجاد کارگروهی برای ارزیابی متمرکز و مستمر دولت الکترونیکی احساس می‌شود.

مراجع

[1] Machova, R., & Lnenicka, M. (2016). "Modelling e-government development through the years using cluster analysis." *JeDEM-eJournal of eDemocracy and OpenGovernment* 8, no. 1: 62-83.

[2] Al-Omari, A., & Al-Omari, H. (2006). "E-government readiness assessment model." *Journal of Computer Science* 2, no. 11: 841-845.

[3] Al-Hujran, O., & Al-Dalahmeh M. (2011). "The role of national culture on citizen adoption of e-government web sites." In ECEG2011-Proceedings of the 11th European Conference on E Government: ECEG2011, p. 17. Academic Conferences Limited.

[4] ITU. (2016). Available From: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/publications/mis2016/methodology.aspx> (access at 3/3/2018).

[5] Bui, T. X., Sankaran, S., & Sebastian, I. M. (2003). A framework for measuring national e-readiness. *International Journal of Electronic Business*, 1(1), 3-22.

[6] Janssen, D., Rotthier, S., & Snijkers, K. (2004). If you measure it they will score: An assessment of international e-government benchmarking. *Information Policy*, 9(3), 121-130.

[7] Ghavamifar, A., Beigi, L., & Montazer, G. (2008) "The comparison of different e-readiness assessment tools." *Information and Communication Technologies: From Theory to Applications, ICTTA 2008. 3rd International Conference on*, pp. 1-5.

[8] Kurdi, R., Taleb-Bendiab, A., Randles, M., & Taylor, M. (2011). E-government information systems and cloud computing (Readiness and Analysis). In

- [27] Nurdin, N., Stockdale, R., and Scheepers, H., (2010). "Examining the role of the culture of local government on adoption and use of e-government services." *In E-government, e-services and global processes*, pp. 79-93. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [28] APEC. (2017). "Internet and digital economy roadmap". Concluding senior officials meeting Danang, Vietnam 6-7 November 2017.
- [29] Khaki, G., (2012). Research method with an approach to dissertation writing. Tehran: Bazetab publisher. pp. 41-61. (In Persian).
- [30] Abdul Maleki, J., and Rashidi, Z., (2012). Structural equation modeling. Tehran Sociologists publisher. P.51. (In Persian).
- [31] Habibi, A., (2016). Lisrel software application training. Third Edition. Tehran: Jihaddaneshgahi publisher. pp. 43-45. (In Persian).
- [32] Klein, Paul. (1994). Easy guide to factor analysis: translated by Asghar Minaei. 2014. Tehran: Samat Publications. (In Persian).
- [33] Shumakher, R. E., & Lumex, R. J. (2009). Introduction to Structural Equation Modeling. Translated by: V. Ghasemi, Tehran: Sociology publisher, (In Persian).
- [34] ITU. (2018). Available From: <https://www.itu.int/en/ITU/D/Statistics/Pages/default.aspx>.
- Quarterly Journal of Research and Planning in Higher Education*. 14 (2): 103-137. (In Persian).
- [19] Pouti, N., (2017). A comprehensive review of e-government readiness assessment models and presentation of e-government readiness assessment methodology at the provincial analysis level, *bi-quarterly journal of information management*, 3 (2): 140-180. (In Persian).
- [20] Srivastava, Shirish C., and Thompson Teo.(2005). "Citizen trust development for e-government adoption: Case of Singapore." PACIS 2005 Proceedings : 59.
- [21] Alghamdi, I., Goodwin, R., & Rampersad, G., (2014). "E-government readiness assessment for government organizations in developing countries." *Computer and Information Science* 4, no. 3.
- [22] United Nations, *UN e-government development database (2012)*, [Online]. New York: UNPAN. From: <http://www2.unpan.org/egovkb/>.
- [23] Eggers, William D., & Bellman, J., (2016). "The journey to government's digital transformation." A Deloitte Digital global survey.
- [24] UN. (2018). The United Nations E-government survey 2018: gearing e-government to support transformation towards sustainable and resilient societies was launched on July 19 2018.
- [25] UN. (2016). Available from <https://publicadministration.un.org/egovkb/en-us/Reports/UN-E-GovernmentSurvey-2016> government.
- [26] Alghamdi, I., Goodwin, R., and Rampersad, G., (2014). "Organizational E-government readiness: an investigation in Saudi Arabia." *International Journal of Business and Management* 9, no. 5.

پیوست‌ها

پیوست الف. نتایج تحلیل عاملی تأییدی مرتبه اول

سطح معناداری	بار عاملی	سنجه	شاخص	سطح معناداری	بار عاملی	سنجه	شاخص
۰,۰۰۰	۰/۵۸	o1	زیرساخت سازمانی	۰,۰۰۰	۱	t1	اعتماد
۰,۰۰۰	۰/۶۵	o 2		۰,۰۰۰	۰/۸۵	t2	
۰,۰۰۰	۰/۵۴	o 3		۰,۰۰۰	۰/۴۵	t3	
۰,۰۰۰	۰/۶۹	o4		۰,۰۰۰	۰/۵۵	t4	
۰,۰۰۰	۰/۴۵	o5		۰,۰۰۰	۰/۴۳	t5	
۰,۰۰۰	۰/۶۹	o 6		۰,۰۰۰	۰/۵۷	t 6	
۰,۰۰۰	۰/۳۶	o 7		۰,۰۰۰	۰/۹۳	t 7	
۰,۰۰۰	۰/۵۳	o 8		۰,۰۰۰	۰/۴۱	p1	سیاست اجرایی سازمان و قوانین
۰,۰۰۰	۰/۷۸	o9		۰,۰۰۰	۱	p 2	
۰,۰۰۰	۰/۶۴	o10		۰,۰۰۰	۰/۶۵	p 3	
۰,۰۰۰	۰/۷۶	o 11		۰,۰۰۰	۰/۵۳	p 4	
۰,۰۰۰	۱	o12		۰,۰۰۰	۰/۴۳	p 5	
۰,۰۰۰	۰/۵۶	o 13		۰,۰۰۰	۰/۵۴	p 6	
۰,۰۰۰	۰/۶۸	o14		۰,۰۰۰	۰/۳۸	p 7	
۰,۰۰۰	۰/۴۳	o15		۰,۰۰۰	۰/۷۸	p 8	
۰,۰۰۰	۰/۶۴	o16		۰,۰۰۰	۰/۷۵	m1	نظارت، پشتیبانی و هماهنگی
۰,۰۰۰	۰/۴۹	o 17		۰,۰۰۰	۰/۴۲	m 2	
۰,۰۰۰	۰/۳۴	o 18		۰,۰۰۰	۰/۴۴	m 3	
۰,۰۰۰	۰/۷۵	h 19		۰,۰۰۰	۰/۵۶	m 4	
۰,۰۰۰	۰/۷۷	o20		۰,۰۰۰	۰/۷۶	m 5	
۰,۰۰۰	۰/۷۴	o21		۰,۰۰۰	۰/۳۸	m 6	
۰,۰۰۰	۰/۶۲	o22		۰,۰۰۰	۰/۴۳	m 7	
۰,۰۰۰	۰/۶۵	o23		۰,۰۰۰	۰/۸۷	m 8	
۰,۰۰۰	۰/۶۹	o24		۰,۰۰۰	۱	i1	یکپارچگی
۰,۰۰۰	۰/۷۲	o25		۰,۰۰۰	۰/۳۶	i 2	
۰,۰۰۰	۰/۴۳	o26		۰,۰۰۰	۰/۶۰	i 3	
۰,۰۰۰	۰/۶۷	o27		۰,۰۰۰	۰/۵۶	i 4	
۰,۰۰۰	۰/۷۵	o28		۰,۰۰۰	۰/۵۵	i 5	
۰,۰۰۰	۰/۶۸	o29		۰,۰۰۰	۰/۴۹	i6	
۰,۰۰۰	۰/۶۲	o30		۰,۰۰۰	۰/۳۲	i7	
۰,۰۰۰	۰/۶۶	o31		۰,۰۰۰	۰/۷۱	i8	

۰,۰۰۰	۰/۷۴	o32		۰,۰۰۰	۰/۳۲	c1	فرهنگ دیجیتال
۰,۰۰۰	۰/۵۴	o33		۰,۰۰۰	۰/۷۸	c 2	
۰,۰۰۰	۰/۴۲	o34		۰,۰۰۰	۱	c 3	
۰,۰۰۰	۰/۷۷	o35		۰,۰۰۰	۰/۶۶	c 4	
۰,۰۰۰	۰/۶۵	b1	بودجه	۰,۰۰۰	۰/۶۰	c 5	
۰,۰۰۰	۰/۵۵	b2		۰,۰۰۰	۰/۳۵	c 6	
۰,۰۰۰	۰/۵۴	b3		۰,۰۰۰	۰/۵۴	c 7	
۰,۰۰۰	۰/۷۶	b4		۰,۰۰۰	۰/۴۹	c 8	
۰,۰۰۰	۰/۶۳	b5		۰,۰۰۰	۰/۵۸	c9	
۰,۰۰۰	۰/۸۶	b6		۰,۰۰۰	۰/۷۹	c 10	
۰,۰۰۰	۰/۴۹	b7		۰,۰۰۰	۰/۳۷	c 11	
۰,۰۰۰	۰/۷۴	n1	زیرساخت ملی	۰,۰۰۰	۰/۵۴	h1	منابع انسانی
۰,۰۰۰	۰/۳۹	n2		۰,۰۰۰	۰/۶۳	h 2	
۰,۰۰۰	۰/۷۶	n3		۰,۰۰۰	۰/۷۶	h 3	
۰,۰۰۰	۰/۵۴	n4		۰,۰۰۰	۰/۴۴	h 4	
۰,۰۰۰	۰/۶۷	n5		۰,۰۰۰	۰/۹۸	h5	
۰,۰۰۰	۰/۷۳	n6		۰,۰۰۰	۰/۷۵	h 6	
۰,۰۰۰	۰/۴۸	n7		۰,۰۰۰	۰/۴۴	h 7	
۰,۰۰۰	۰/۴۶	n8		۰,۰۰۰	۰/۶۵	h 8	
۰,۰۰۰	۰/۴۹	n9		۰,۰۰۰	۰/۶۱	h 9	
				۰,۰۰۰	۰/۶۲	h 10	
				۰,۰۰۰	۰/۶۶	h11	
				۰,۰۰۰	۰/۸۷	h12	
				۰,۰۰۰	۰/۳۳	h 13	
				۰,۰۰۰	۰/۴۶	h14	
				۰,۰۰۰	۰/۸۷	h 15	
				۰,۰۰۰	۰/۵۶	h16	
				۰,۰۰۰	۰/۷۳	h 17	

پیوست ب. شاخص‌ها و سنجه‌های مدل فرو ملی آمادگی دولت الکترونیکی

وزن	سنجه	شاخص
۱۲/۸۶	اعتقاد به امانت داری سازمان باعث ایجاد اعتماد در کاربران می‌شود.	اعتماد (۱۲/۸۴)
۱۴/۱۴	بهره‌گیری سازمان از زیرساخت کلید عمومی باعث ایجاد اعتماد در کاربران می‌شود.	
۱۳/۶۸	دسترس پذیری وب‌گاه سازمان (۲۴×۷) باعث ایجاد اعتماد در کاربران می‌شود.	
۱۵/۰۴	وجود سامانه پشتیبانی برخط (۲۴×۷) باعث ایجاد اعتماد در کاربران می‌شود.	
۱۷/۳۶	امکانات شخصی سازی کانال دسترسی سازمان باعث ایجاد اعتماد در کاربران می‌شود.	
۱۱/۶۱	امکان تعاملات دوطرفه از طریق وب‌گاه سازمان باعث ایجاد اعتماد در کاربران می‌شود.	
۱۵/۳۲	سادگی استفاده از خدمات دولت الکترونیکی سازمان باعث ایجاد اعتماد در کاربران می‌شود.	
۱۱/۹۷	وجود طرح جامع برای توسعه فناوری اطلاعات در سازمان	سیاست اجرایی و قوانین سازمان (۱۲/۰۷)
۱۳/۰۸	وجود طرح جامع برای حرکت به سمت دولت الکترونیکی همراه	
۱۱/۱۹	وجود سیاست‌های ارتباطات الکترونیکی درون سازمانی	
۱۳/۹۴	وجود سیاست‌های ارتباطات الکترونیکی بین سازمانی	
۱۲/۸۶	وجود مقررات حفاظت از مالکیت فکری الکترونیکی در سازمان	
۱۳/۴۴	وجود مرجع مناسب حقوقی برای دادخواهی در زمینه مشکلات برخط دولت الکترونیکی	
۱۲/۴۷	وجود آیین نامه امنیت محتوای الکترونیکی	
۱۱/۰۳	وجود آیین نامه آموزشی دوره‌های دولت الکترونیکی برای کارکنان	نظارت، پشتیبانی و هماهنگی (۱۳/۹۱)
۱۳/۳۳	تعهد مدیریت سازمان به اجرای برنامه دولت الکترونیکی	
۱۲/۹۲	وجود راهبرد ارزیابی مستمر توسعه دولت الکترونیکی	
۱۲/۱۴	وجود برنامه اجرایی مدون برای دولت الکترونیکی در سازمان	
۱۳/۱۴	وجود استانداردهای نظارت و ارزیابی پروژه‌های دولت الکترونیکی	
۱۱/۸۹	برنامه ریزی راهبردی فناوری اطلاعات و ارتباطات	
۱۱/۵۶	مهارت‌های اجرایی و تجارب قبلی مدیریت فناوری اطلاعات و ارتباطات سازمان	
۱۱/۱۷	وجود سامانه گزارش‌گیری مدیریتی (داشبورد مدیریتی) در سازمان	
۱۳/۸۶	هماهنگی سازو کار دولت الکترونیکی سازمان با دولت الکترونیکی ملی	
۱۰/۸۶	وجود مدیران آشنا به مفاهیم فناوری اطلاعات و ارتباطات و دولت الکترونیکی در سازمان	
۱۰/۲۰	سطح مهارت‌های فناوری اطلاعات کارکنان سازمان	
۸/۸۲	وجود پست مدیریت فناوری اطلاعات به عنوان بخشی از سازمان	
۸/۹۵	وجود واحد مدیریت اطلاعات	
۸/۱۴	تعداد کارکنان با تحصیلات دانشگاهی	
۱۰/۴۱	خبرگان فناوری اطلاعات و ارتباطات (درصدا فراد استخدام شده)	
۷/۷۷	آشنایی کارکنان و مدیران با روش‌های ارتباطی در محیط مجازی (رایانامه، پیامک، پیام رسانی‌های شبکه‌ای، ارتباطات تصویری و غیره)	
۹/۲۷	وجود برنامه آموزش و توسعه مهارت‌های فناوری اطلاعات کارکنان سازمان	

۸/۳۸	آشنایی عمومی کارکنان و مدیران با تلفن‌های هوشمند، تبلت و استفاده از آنها	
۸/۹۱	وجود طرح مدّون برای آموزش استفاده از خدمات دولت الکترونیکی به کارکنان و شهروندان	
۸/۲۹	مهارت‌های دیجیتال پایه شهروندان (افراد بین ۱۶ تا ۷۴ سال)	
۱۸/۴۸	آشنایی شهروندان با خدمات دولت الکترونیکی سازمان	
۱۶/۰۰	میزان تحصیلات شهروندان (بیسواد، ابتدایی، دیپلم، کارشناسی، کارشناسی ارشد و بالاتر)	
۱۶/۵۷	آشنایی عمومی شهروندان با تلفن‌های هوشمند، تبلت و استفاده از آنها	
۱۴/۴۳	تعداد دانش آموختگان (رشته‌های مهندسی و علوم پایه در هزار نفر برای سنین بین ۲۰ تا ۲۹ سال)	
۱۶/۶۲	آشنایی شهروندان با روش‌های ارتباطی در محیط مجازی (رایانامه، پیامک، پیام رسان‌های شبکه‌ای، ارتباطات تصویری و غیره)	
۱۷/۹۰	وجود تبلیغات (صدا و سیما و شهری) به منظور آشنایی با خدمات دولت الکترونیکی سازمان برای شهروندان	
۱۳/۸۳	اتصال به مرکز ملی تبادل اطلاعات	
۱۳/۵۳	استفاده سازمان از نرم افزار برنامه‌ریزی مدیریت منابع برای به اشتراک گذاری اطلاعات	
۱۲/۰۸	به اشتراک گذاری اطلاعات داخل و خارج از سازمان	
۱۱/۳۳	استفاده سازمان از سامانه مدیریت ارتباط با مشتری	
۱۲/۸۶	استفاده از سامانه پرداخت برخط در سازمان	
۱۱/۵۶	امکان صدور صورت حساب الکترونیکی در سازمان	
۱۲/۸۱	استفاده از رسانه‌های اجتماعی مجازی در سازمان	
۱۲/۰۰	سهولت دسترسی به اطلاعات	
۱۴/۴۶	سهم بودجه دولت الکترونیکی از بودجه کل فناوری اطلاعات سازمان	بودجه (۸/۶۲)
۱۵/۰۴	سهم بودجه تأمین تجهیزات سخت افزاری، نرم افزاری، شبکه و زیرساخت ارتباطی از بودجه کل سازمان	
۱۵/۴۳	سهم بودجه امنیت فناوری اطلاعات از بودجه کل فناوری اطلاعات سازمان	
۱۴/۳۶	سهم بودجه آموزش کارکنان در حوزه فناوری اطلاعات از بودجه کل سازمان	
۱۳/۰۰	سهم بودجه آموزش فناوری اطلاعات از بودجه کل آموزش سازمان	
۱۲/۶۸	سهم بودجه تأمین محتوای الکترونیکی از بودجه کل فناوری اطلاعات سازمان	
۱۵/۰۴	سهم بودجه باز طراحی فرایندها (مهندسی مجدد فرایندها) از بودجه کل فناوری اطلاعات سازمان	
۳/۴۳	استفاده از سیستم عامل امن در سازمان	زیرساخت‌های سازمان (۱۴/۱۱)
۳/۰۳	وجود واحد امنیت اینترنت در سازمان	
۲/۹۶	وجود زیرساخت کلید عمومی در سازمان	

ارزیابی آمادگی دولت الکترونیکی در سطح سازمان‌های دولتی ایران (موردکاوی: دانشگاه تربیت مدرس)

۲/۹۸	استفاده از آنتی ویروس معتبر در سازمان	
۲/۸۰	وجود دیواره آتش سخت افزاری در سازمان	
۳/۲۷	وجود سازو کار امضای دیجیتال و گواهی‌های دیجیتال در سازمان	
۲/۹۳	استفاده از دستگاه‌های زیست سنجی در سازمان (خودپردازهای زیست سنجی، سیستم احراز هویت زیست سنجی و غیره)	
۳/۱۷	وجود برنامه های بازیابی فاجعه (Disaster Recovery Plan)	
۳/۱۶	استفاده از سرورهای وب و برنامه‌های کاربردی اختصاصی در سازمان	
۲/۳۱	تعداد رایانه‌های موجود در سازمان (نسبت به تعداد کارکنان)	
۲/۴۰	تعداد رایانه‌های متصل به اینترنت در سازمان (نسبت به تعداد کارکنان)	
۲/۱۶	تعداد چاپگرها و پویشگرها (نسبت به تعداد کارکنان)	
۳/۱۶	وجود سیستم برق بدون وقفه در سازمان	
۲/۹۴	استفاده از دستگاه ذخیره سازی متصل به شبکه (NAS)	
۲/۷۳	وجود سامانه‌های پرداخت الکترونیکی در سازمان	
۲/۶۷	وجود سامانه اتوماسیون اداری در سازمان	
۲/۶۷	وجود سامانه گزارش‌ساز، مولد گردش کار و داشبورد مدیریتی در سازمان	
۲/۵۸	وجود سامانه اسناد و مدارک الکترونیکی در سازمان	
۲/۶۰	وجود سامانه تلفن گویا در سازمان	
۲/۳۲	وجود شبکه محلی در سازمان (اینترنت داخلی)	
۲/۸۱	متوسط پهنای باند سازمان	
۲/۸۴	میزان تأخیر شبکه	
۲/۹۵	وجود استاندارد نظارت و نگهداری مستمر زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات	
۲/۸۵	وجود استانداردهای فنی مربوط به سامانه‌های نرم افزاری	
۲/۹۳	وجود استانداردهای فنی مربوط به شبکه‌های کامپیوتری	
۳/۰۵	وجود استانداردهای بکارگیری رایانش ابری	
۳/۱۳	وجود استانداردهای مربوط به راه حل بازیابی فاجعه برای اطمینان از ادامه فعالیت‌های سازمان در شکست‌های گسترده	
۳/۳۵	درگاه نقطه آغاز یکتا در سازمان	
۳/۲۲	وجود دولت همراه در سازمان (ارائه خدمات مبتنی بر تلفن‌های هوشمند)	
۳/۱۲	جنبه‌های فنی درگاه سازمان (از نظر پیوندهای خراب، امنیت، سرعت، برنامه نویسی، زیرساخت و غیره)	
۲/۵۷	وجود کیوسک‌های اطلاع رسانی در سطح شهر	
۲/۸۵	استانداردهای دسترسی وب (برای همه کاربران با هر توانایی جسمی قابل دسترسی باشد)	
۳/۲۶	واسط کاربری کاربر پسند	
۲/۲۴	امکانات شخصی سازی درگاه سازمان	
۲/۵۹	استفاده از شبکه‌های اجتماعی مجازی	
۱۸/۹۵	میزان اعتقاد مدیران و کارکنان به دولت الکترونیکی به عنوان روش خدمات رسانی مناسب	فرهنگ (۱۰/۳۸)

۱۸/۳۸	میزان سازگاری با تغییرات فناوری در بین کارکنان سازمان		
۱۸/۹۵	میزان توجه سازمان به فرهنگ سازی مبتنی بر فناوری		
۱۴/۷۶	ساختار دیوان سالاری (بوروکراتیک) سازمان		
۱۴/۶۲	داشتن سازو کار ارتقای شغلی و نظام پاداش (سازگاری)		
۱۴/۳۳	برگزاری کارگاه‌های ترویجی درباره دولت الکترونیکی		
۱۹/۸۰	تأثیر سن کاربران در استفاده از خدمات دولت الکترونیکی		
۱۴/۸۰	تأثیر جنسیت کاربران در استفاده از خدمات دولت الکترونیکی		
۱۹/۷۳	تأثیر تحصیلات کاربران در استفاده از خدمات دولت الکترونیکی		
۲۲/۴۷	میزان سازگاری شهروندان با تغییرات		
۲۳/۲۰	میزان آشنایی شهروندان با مزایای دولت الکترونیکی		
۱۲/۸۰	پهنای باند ملی (شبکه ملی اطلاعات)		زیرساخت‌های ملی (۶/۱۶)
۱۰/۶۷	هزینه‌های پهنای باند ثابت نسبت به درآمد مردم		
۱۱/۱۱	درصد خانوارهای دارای رایانه		
۱۰/۵۱	درصد خانوارهای دارای دسترسی به اینترنت		
۱۲/۰۹	پوشش 4G (نواحی پوشش داده شده، اپراتورها)		
۱۰/۵	ضریب نفوذ تلفن همراه (درصد)		
۹/۷۳	ضریب نفوذ تلفن ثابت (درصد)		
۱۱/۲۰	درصد مشترکان اینترنت پر سرعت (سرعت بیشتر از ۳۰ مگا بیت بر ثانیه)		
۱۱/۳۱	درصد کاربران اینترنت (افراد بین ۱۶ تا ۷۴ سال)		

Assessing e-government readiness at the level of Iranian government organizations (Case study: Tarbiat Modares University)

Abstract

Given the fact that universities are known as the pioneer of progress and innovation in society, the expectation of e-government maturity in universities is higher than in other government organizations. Given the high capacity of human capital, universities have the ability to adapt to e-government sooner than other organizations. To meet these expectations, the e-government of universities and higher education institutions must be continuously evaluated. In this paper, in order to design a model for assessing the readiness of e-government at the level of government organizations, a model has been extracted that includes "organizational-Affiliated" and "independent of the organization" indicators. The order of importance is: "Technological Infrastructure", "Monitoring, Support and Coordination", "Trust", "Executive Policy and Law", "Human Resources", "Digital Culture", "Integrity" and "Budget", as well as the "National Infrastructure" index is considered as an independent indicator of the organization. In the field study, the model was used to assess the readiness of e-government at Tarbiat Modares University.

Keywords: E-government, E-government readiness, University, National Model, Tarbiat Modares.

بهبود روش شناسایی وب سایت فیشینگ با استفاده از داده‌کاوی روی

صفحات وب

مهديه بهارلو* علیرضا یاری**

*دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران
**استادیار پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۳۰

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

فیشینگ یک نوع حمله اینترنتی در سطح وب است که هدف آن سرقت مشخصات فردی کاربران برای سرقت آنلاین است. فیشینگ دارای اثر منفی در از بین بردن اعتماد بین کاربران در کسب‌وکارهای الکترونیکی است؛ بنابراین در این تحقیق سعی بر بررسی روش‌های تشخیص وب‌سایت‌های فیشینگ با استفاده از داده‌کاوی شده‌است. شناسایی ویژگی‌های اصلی از صفحات وب فیشینگ یکی از پیش‌شرط‌های مهم در طراحی یک سیستم تشخیص فیشینگ دقیق است. در پژوهش حاضر، برای افزایش کارایی سامانه تشخیص فیشینگ، یک روش ترکیبی برای کاهش ویژگی‌های وب سایت‌های فیشینگ پیشنهاد شده است. این روش ترکیبی از روش‌های انتخاب و کاهش ویژگی است که در دو مرحله انجام می‌شود. برای پیاده‌سازی و ارزیابی این روش پیشنهادی، بعد از کاهش ویژگی‌ها دسته بندی داده‌ها از طریق روش‌های درخت تصمیم‌گیری J48، جنگل تصادفی و بی‌زین ساده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهند دقت مدل ایجاد شده برای تعیین وب سایت‌های فیشینگ با استفاده از کاهش ویژگی دو مرحله‌ای مبتنی بر پوششی و الگوریتم تحلیل مؤلفه اصلی در روش جنگل تصادفی که به میزان ۹۶٫۵۸٪ است، نسبت به سایر روش‌ها نتیجه مناسب‌تری را دارد.

واژگان کلیدی: حملات اینترنتی، فیشینگ، داده‌کاوی، انتخاب ویژگی، استخراج ویژگی

۱- مقدمه

تهدیدات و حملات مختلف در آن به وجود آید که ممکن است باعث خسارت مالی، سرقت هویت، از دست دادن اطلاعات خصوصی، آسیب شهرت نام تجاری و از دست دادن اعتماد مشتریان در تجارت الکترونیک شود [۱]. عواملی که

امروزه اینترنت به یک جزء ضروری از زیرساخت‌های اجتماعی و اقتصادی روزمره مردم تبدیل شده است. حجم بالای اطلاعات محرمانه و امنیتی اینترنت باعث می‌شود انواع

نویسنده مسئول: علیرضا یاری a_yari@itrc.ac.ir

تلفن، حمله بایوزی، فاپیدن تب، فارمینگ، فیشینگ موتور جستجو و فیشینگ مبتنی بر بدافزار دسته بندی کرد [۶،۷]. برای تشخیص صفحات فیشینگ از روش‌های متعددی استفاده می‌شود که هر یک به دسته‌ای از ویژگی‌های صفحات می‌پردازند. در این مقاله روشی جدیدی پیشنهاد شده است که برای دسته‌بندی داده‌های وب‌سایت‌های فیشینگ، از کاهش دمرحله‌ای ویژگی‌ها استفاده می‌نماید. بدین صورت که در مرحله اول بر اساس یک روش انتخاب ویژگی، زیرمجموعه‌ای مفید از ویژگی‌ها انتخاب شده و در مرحله دوم با کاهش بیشتر ترکیبی از ویژگی‌های مفید با ابعاد کمتر حاصل می‌شود.

در مقاله جاری، در ابتدا ابزارها و روش‌های مقابله با فیشینگ در قسمت پیشینه تحقیقات معرفی خواهند شد. سپس در بخش ۳ روش انجام کار، ویژگی‌های که توسط فیشرها برای ایجاد وب سایت‌های جعلی استفاده می‌شوند و همچنین روش‌های کاهش ویژگی و روش پیشنهادی کاهش ویژگی در این مقاله معرفی می‌گردد. در ادامه در بخش ۴ داده‌های حاصل از انجام آزمایشات مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند و نتیجه با کارهای مشابه گذشته مورد مقایسه قرار می‌گیرد. در نهایت در بخش نتیجه گیری، نتیجه حاصل از انجام تحقیق بررسی خواهد شد.

۲- پیشینه پژوهش

تکنیک‌های فیشینگ روزبه‌روز در حال افزایش است و درعین حال پیچیده‌تر می‌شود. در نتیجه نیاز فوری به یافتن راه‌حل‌های مناسب برای مبارزه با حملات فیشینگ وجود دارد. تاکنون، راه‌حل‌های مختلفی در پاسخ به حملات فیشینگ پیشنهاد شده است. این راه‌حل‌ها با توجه به شکل (۱) به سه روش مقابله با فیشینگ شامل ابزارهای ضد فیشینگ، راه‌حل‌های فنی و غیر فنی تقسیم می‌شوند [۸]. از جمله ابزار ضد فیشینگ می‌توان افزونه مرورگر WOT [۸]، سایت ضد فیشینگ فیش تانک [۹]، سازمان جیو تراست، موزیلا تاندر برد [۱۰] را نام برد؛ اما در ادامه به توضیح راه‌حل‌های فنی و غیر فنی خواهیم پرداخت.

تهدید و حمله را در یک شبکه اینترنتی به وجود می‌آورند عبارتند از: دسترسی بدون محدودیت به اینترنت، گمنامی افراد، سرعت بالای انتشار، عدم ارتباط چهره به چهره، دسترسی آزاد به خدمات و محتوای ارزشمند و همچنین عدم وجود قوانین و توافقات مناسب [۲]؛ بنابراین، مناسب بودن اینترنت به‌عنوان یک کانال برای انجام معاملات تجاری مطرح می‌شود.

در اوایل ۱۹۹۰، با محبوبیت رو به رشد اینترنت، ما شاهد تولد یک نوع جدید از جرائم اینترنتی بودیم؛ که فیشینگ نام دارد [۳].

برخلاف سایر روش‌های هک و ورود به سیستم، در روش فیشینگ معمولاً هیچ نفوذی انجام نشده و از رخنه‌ها و آسیب‌پذیری‌ها استفاده نمی‌شود. بلکه خود کاربر است که با استفاده از روش‌های گوناگون فریب‌خورده و اطلاعاتی نظیر نام کاربری، رمز عبور، اطلاعات حساب بانکی را در اختیار حمله‌کننده که به اصطلاح فیشر نامیده می‌شود، قرار می‌دهد [۴]. طبق بررسی انجام شده توسط "گروه کاری ضد فیشینگ" تعداد حملات فیشینگ سراسر جهان در سه ماهه چهارم سال ۲۰۱۹ کاهش یافته و به میانگین نزدیکتر شده است. البته در همین سال در کشور برزیل تا ۲۳۲ درصد افزایش یافته است. حملات فیشینگ که کاربران وب، ایمیل و سرویس‌های نرم افزاری را هدف قرار می‌دهد، همچنان بزرگترین گروه حملات فیشینگ است. تقریباً سه چهارم از همه سایت‌های فیشینگ اکنون از حفاظت SSL استفاده می‌کنند، بالاترین میزان ثبت شده از اوایل سال ۲۰۱۵، و این نشانگر این است که کاربران نمی‌توانند به تنهایی به SSL اعتماد کنند و برای درک درست نیاز به ویژگی‌های بیشتری دارند [۵].

برای وب‌سایت فیشینگ تعاریف زیادی ارائه شده است که می‌توان تمام تعاریف را به صورت جامع و کامل در یک جمله بیان نمود: "وب‌سایت فیشینگ عمل ایجاد یک کپی از یک وب‌سایت قانونی و استفاده از مهارت‌های اجتماعی برای فریب قربانی برای ارسال اطلاعات شخصی او است" [۳].

انواع حملات فیشینگ را می‌توان فیشینگ سرنیزه یا فیشینگ هدفمند، کلون فیشینگ، صید نهنگ، فیشینگ

جعلی؛ لیست سفید در واقع لیست صفحاتی هست که قانونی هستند و اما در مقابل در لیست سیاه سعی می‌شود تمام صفحات جعلی شناسایی و پوشش داده شود. در این روش شناسایی تمام صفحات و به‌روز رسانی اطلاعات کار بسیار دشوار و زمان بر هست، چراکه بطور دائم صفحات زیادی ایجاد شده و یا از بین می‌روند [۱۲].

برخی از ارائه‌دهندگان لیست سیاه مانند کاوش ایمن گوگل [۱]، فیش نت، لیست سیاه مبتنی بر DNS [۶] و نرم‌افزارهای ضد فیشینگ نت‌کرفت، وب‌سن و کلودمارک [۱۳] با استفاده از این روش مانع از حملات فیشینگ می‌شوند.

۲-۲-۲- روش‌های اکتشافی

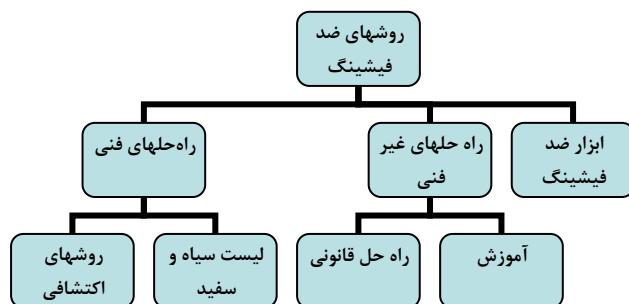
در این روش از ویژگی‌های وب‌سایت‌های فیشینگ برای تشخیص وب‌سایت‌های فیشینگ جدید استفاده می‌شود. در واقع قدرت اصلی تشخیص‌دهنده‌های فیشینگ بر اساس روش اکتشافی این است که آن‌ها قادر به تشخیص وب‌سایت‌های فیشینگ جدید هستند [۱۰].

۲-۲-۲-۱- روش‌های مبتنی بر الگوریتم‌های فازی

یک روش که توسط ابارس و همکاران در سال ۲۰۱۰ به‌کار گرفته شده است، بر مبنای الگوریتم‌های دسته‌بندی مبتنی بر قانون فازی برای تشخیص وب‌سایت‌های فیشینگ بانکداری الکترونیکی است [۱۳]. سعیدی در سال ۱۳۹۴ از روش دسته‌بندی مجموعه‌های فازی و روش ترکیبی تصمیم‌گیری AHP_TOPSIS برای تشخیص سریع‌تر و کارآمدتر وب‌سایت‌های فیشینگ در بانکداری الکترونیکی استفاده کرده است [۱۴]. عبدالحمید و همکاران در سال ۲۰۱۴ متد خاص دسته‌بندی انجمنی به نام دسته‌بند چند برچسب بر مبنای دسته‌بندی انجمنی را ارائه دادند [۱]. هادی و همکاران در سال ۲۰۱۶ از روش جدید دسته‌بندی انجمنی به نام الگوریتم دسته‌بندی انجمنی سریع استفاده کرده‌اند [۱۵].

۲-۲-۲-۲- روش‌های مبتنی بر یادگیری ماشین

باست و همکاران در سال ۲۰۱۲ از الگوریتم‌های یادگیری ماشین از جمله بیزین ساده، رگرسیون لجستیک و جنگل



شکل (۱): دسته‌بندی روش‌های شناسایی فیشینگ

۲-۱-۲- راه‌های غیر فنی

۲-۱-۲-۱- آموزش

آموزش مشتریان برای افزایش سطح آگاهی آن‌ها از جرائم آنلاین ضروری است تا با درک شاخص‌های امنیتی داخل وب‌سایت‌ها بتوانند به مقابله با فیشینگ بپردازند [۱۱]. اما این کار بسیار مشکل است چراکه کاربران باید زمان زیادی را صرف فراگیری متدهای فیشینگ کنند، علاوه بر آن فیشرها در ایجاد تکنیک‌های جدید هوشمندانه‌تر عمل می‌کنند [۳].

۲-۱-۲-۲- راه‌های قانونی

این راه‌حل‌ها در کشورهای زیادی استفاده شده‌اند. ایالت متحده اولین کشوری بود که قانونی را در مورد این وب‌سایت‌ها وضع کرد و همین امر موجب گردید، فعالیت‌های زیادی توقیف گردد و عاملین آن به زندان انداخته شوند. با این حال، راه‌حل‌های قانونی نمی‌توانند مانع عمل وب‌سایت‌های جعلی شوند، چراکه ردیابی آن‌ها به دلیل مخفی شدن سریع آن‌ها در دنیای سایبری مشکل است [۱].

۲-۲-۲- راه‌های فنی

علاوه بر روش‌های غیر فنی نظیر آموزش و قانون، برای مبارزه با فیشینگ، عموماً، دو متد فنی رایج در مبارزه با حملات فیشینگ، لیست سیاه و سفید و روش‌های اکتشافی است [۶].

۲-۲-۲-۱- لیست سیاه و سفید

در روش لیست سیاه و سفید تمام URL‌های درخواستی با URL‌های موجود در لیست سیاه و سفید فیشینگ مقایسه می‌شوند تا مشخص شود وب‌سایت مورد نظر قانونی است یا

۳-۱-۳- ویژگی‌های مبتنی بر جاوا اسکریپت و

HTML

- ارسال وبسایت
- سفارشی‌سازی نوار وضعیت
- غیرفعال کردن کلیک راست
- استفاده از پنجره پاپ آپ
- تغییر مسیر با تگ آیفریم

۳-۱-۴- ویژگی‌های مبتنی بر دامنه

- طول عمر دامنه
- رکورد DNS
- ترافیک وبسایت
- رتبه‌بندی صفحه
- شاخص گذاری گوگل
- تعداد پیوندهای اشاره کننده به صفحه
- ویژگی‌های مبتنی بر گزارش‌های آماری

۳-۲- روش‌های کاهش ویژگی

روش‌های کاهش ابعاد داده به دودسته روش‌های مبتنی بر استخراج ویژگی و همچنین روش‌های مبتنی بر انتخاب ویژگی تقسیم می‌شوند [۲۷]. روش‌های انتخاب ویژگی سعی می‌کنند با انتخاب زیرمجموعه‌ای از ویژگی‌های اولیه، ابعاد داده‌ها را کاهش دهند. برخلاف روش‌های مبتنی بر استخراج ویژگی، این روش‌ها معنای اصلی ویژگی‌ها را بعد از کاهش حفظ می‌کنند. روش‌های مبتنی بر انتخاب ویژگی خود به سه روش فیلتر، پوششی و جاسازی شده تقسیم می‌شوند [۲۸]. هرکدام از این سه روش انتخاب ویژگی حاوی الگوریتم‌هایی برای اجرا هستند. در این قسمت به توضیح الگوریتم‌هایی که قرار است در این پژوهش مورد استفاده قرار گیرند می‌پردازیم.

۳-۲-۱- روش پوششی

در این روش انتخاب زیرمجموعه ویژگی با استفاده از الگوریتم یادگیری انجام می‌شود. الگوریتم دسته‌ای از ویژگی‌ها را برای یادگیری انتخاب می‌نماید و نهایتاً آن دسته

مجموعه داده سایت داده کاوی UCI مورد بررسی قرار گرفته است. این مجموعه داده حاوی ۳۰ ویژگی مبتنی بر ۴ معیار زیر است [۲۶]:

- نوار آدرس
- غیرطبیعی بودن
- جاوا اسکریپت و HTML
- دامنه

در این قسمت با این ویژگی‌ها که در آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند آشنا می‌شویم. ویژگی‌ها به صورت صفر و یک و منفی یک کدگذاری شده‌اند.

۳-۱-۱- ویژگی‌های مبتنی بر نوار آدرس

- آدرس مبتنی بر IP
 - URL های طولانی
 - استفاده از خدمات کوتاه کننده URL
 - استفاده از نماد @ در URL
 - تغییر مسیر با "///"
 - وجود نماد "-" در دامنه
 - تعداد نقطه‌ها در دامنه
 - HTTPS
 - مدت ثبت دامنه
 - فاوآیکون
 - استفاده از درگاه غیراستاندارد
 - وجود توکن HTTPS در دامنه
- ### ۳-۱-۲- ویژگی‌های مبتنی بر غیرطبیعی بودن
- درخواست URL
 - تگ انکر
 - پیوندها در تگ‌های <Script>, <Meta> و <Link>
 - فرم هندلر در سرور
 - ارسال اطلاعات به ایمیل
 - URL غیرطبیعی

داشته و بر پایه احتمال وقوع یا عدم وقوع یک پدیده شکل می‌گیرد [۲۹].

- جنگل تصادفی

جنگل تصادفی مجموعه‌ای از درخت‌های تصمیم است که داده‌های آموزشی جهت ساخت هر درخت از روش انتخاب تصادفی با جایگذاری استفاده می‌کنند. هر درخت یک دسته‌بندی را می‌دهد که گفته می‌شود آن درخت به آن دسته رأی داده است. در انتها، دسته‌بندی که بیشترین رأی را داشته باشد انتخاب می‌شود. درخت‌ها هرس نمی‌شوند و در هر گره تعدادی ویژگی به‌طور تصادفی از مجموعه‌ی کل ویژگی‌ها برای انشعاب بررسی می‌شوند [۳۰].

- J48

این روش از معیار شاخص جینی جهت انتخاب ویژگی استفاده می‌کند [۲۷]. از میان ویژگی‌ها، هر کدام که مقدار شاخص جینی آن کوچک‌تر است، برای گروه جاری درخت تصمیم در نظر گرفته می‌شود.

۴-۳- روش پیشنهادی

همانطوریکه در شکل ۲ آمده است، روش پیشنهادی شامل سه مولفه هست: مولفه پیش‌پردازش، مولفه مدل‌سازی و مولفه آزمون و ارزیابی.

در این پژوهش در مولفه پیش‌پردازش داده‌ها برای کاهش ویژگی‌ها از روش ترکیبی جدیدی برای کاهش دومرحله‌ای ویژگی‌ها استفاده شده است. در این روش سعی شده است از پیچیدگی مسئله تا حد امکان کاسته شود و ویژگی‌هایی انتخاب گردد که در دسته‌بندی آن‌ها دارای بالاترین کارایی باشند و خطای دسته‌بندی نمونه‌ها را حتی‌الامکان کاهش دهد. بدین‌صورت که در مرحله اول بر اساس یک روش انتخاب ویژگی، زیرمجموعه‌ای مفید از ویژگی‌ها انتخاب می‌شود. برای این منظور با استفاده از روش‌های انتخاب ویژگی مبتنی بر پوششی، CFS و IG زیرمجموعه‌ای مهم از

از ویژگی‌ها که دقت بالاتری دارند، انتخاب می‌شود. الگوریتمی که کار ارزیابی زیرمجموعه ویژگی‌ها و انتخاب بهترین زیرمجموعه را انجام می‌دهد، خود به‌عنوان بخشی از تابع ارزیابی، کار جستجو برای انتخاب بهترین مدل را انجام می‌دهد [۷].

- روش CFS

CFS مقدار همبستگی بین ویژگی‌ها و کلاس‌هایشان و همچنین همبستگی بین خود ویژگی‌ها را اندازه‌گیری می‌کند. ایده کلی این است که زیرمجموعه ویژگی‌های خوب، همبستگی زیادی با کلاس‌ها دارند، اما نباید با یکدیگر همبستگی داشته باشند [۱۷]. در الگوریتم CFS، هیوریستیکی برای ارزیابی ارزش یا شایستگی یک زیرمجموعه ویژگی وجود دارد [۱۸].

- روش IG

تفاوت بین آنترپی $H(S)$ از مجموعه داده S و آنترپی مشروط $H(S|F)$ از مجموعه داده که پس از جداسازی توسط ویژگی F ساخته شده، به دست می‌آید. آنترپی روش اندازه‌گیری ناخالصی در یک مجموعه داده است و اگر یک مجموعه داده تعداد مساوی از نمونه‌ها برای هر کلاس داشته باشد، مقدار آن حداکثر در نظر گرفته می‌شود [۱۷].

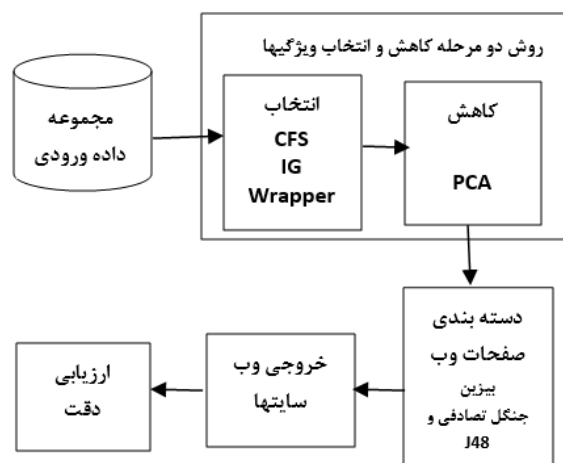
- روش PCA

یکی از عمومی‌ترین و شناخته‌شده‌ترین روش‌های آماری برای کاهش ویژگی‌ها است. هدف این روش به دست آوردن یک تبدیل تصویری است که از طریق آن بتوان با ترکیب خطی ویژگی‌های اصلی، تعداد کمتری ویژگی‌های جدید تولید نمود [۲۸].

۳-۳- الگوریتم‌های مدل‌سازی

- بیزین ساده

در روش بیزین ساده، دسته‌بندی بر پایه احتمالات و با فرض استقلال متغیرهای تصادفی ساخته می‌شود. این روش از ساده‌ترین الگوریتم‌های دسته‌بندی است که دقت قابل قبولی



شکل (۲): الگوریتم شناسایی فیشینگ

۴- آزمایش و ارائه نتیجه

در این قسمت از مقاله ابتدا به معرفی مجموعه داده و ابزار مورد استفاده در پژوهش می پردازیم؛ سپس به تحلیل نتایج حاصل از آزمایش ها پرداخته و در آخر نتایج حاصل را با چند روش دیگر مقایسه می کنیم.

۴-۱- دادگان آزمون

داده های مورد استفاده در این پژوهش تعدادی وبسایت جعلی و واقعی است که از سایت داده کاوی UCI [۲۶] استخراج شده است. نوع داده های این پژوهش از نوع دسته ای است. هر وبسایت در مجموعه داده دارای یک ویژگی کلاس یا هدف است که دسته آن را نشان می دهد. یک بودن ویژگی نشان دهنده وبسایت جعلی، صفر بودن آن نشان دهنده مشکوک و منفی یک نشان دهنده وبسایت واقعی است. در این مجموعه داده ۳۰ ویژگی در دسترس است که در بخش سوم تشریح گردید.

این مجموعه داده شامل ۱۱۰۵۵ وبسایت فیشینگ و قانونی متعلق به سال ۲۰۱۵ است که شامل ۴۸۹۸ وبسایت قانونی و ۶۱۵۷ وبسایت فیشینگ است.

۴-۲- ابزارهای آزمون

پایه سازی این پژوهش به کمک نرم افزار وکا نسخه ۳،۸،۱؛ یک نرم افزار منبع باز از دانشگاه Waikato [۱۲] است که

ویژگی ها انتخاب می شوند. سپس در مرحله بعد با اعمال روش استخراج ویژگی PCA بر روی ویژگی های باقیمانده، ترکیبی از این ویژگی ها با ابعاد کمتر به دست می آید. بدین صورت با کاهش دومرحله ای ویژگی ها، ترکیبی از ویژگی های مفید با ابعاد کمتر حاصل می شود. تکنیک های کاهش ویژگی دومرحله ای پیشنهادی، به صورت زیر نام گذاری شدند:

(۱) کاهش ویژگی با استفاده از روش انتخاب ویژگی مبتنی بر CFS و اعمال روش استخراج ویژگی PCA بر روی آن (CFS+PCA)

(۲) کاهش ویژگی با استفاده از روش انتخاب ویژگی مبتنی بر IG و اعمال روش استخراج ویژگی PCA بر روی آن (IG+PCA)

(۳) کاهش ویژگی با استفاده از روش انتخاب ویژگی مبتنی بر پوششی و اعمال روش استخراج ویژگی PCA بر روی آن (Wrapper+PCA)

در مولفه دوم برای مدل سازی از الگوریتم های مختلف داده کاوی نظیر J48، جنگل تصادفی و بیژین ساده برای داده های آموزشی و آزمون استفاده شده است. از این مدل ها همچنین برای تشخیص دسته ای وبسایت استفاده شده است. با استفاده از قوانین حاصل از این مدل ها می توان وبسایت های ورودی را دسته بندی کرده و در دسته فیشینگ یا غیر فیشینگ جای داد.

در بخش آخر هم ارزیابی و اندازه گیری دقت دسته بندی با توجه به داده های آزمون صورت می گیرد.

جدول (۳): تعداد ویژگی‌ها پس از اعمال روش‌های کاهش ویژگی

تعداد ویژگی			نام روش
۳۰			داده‌های نرمال بدون کاهش ویژگی
۵			CFS + PCA
۸			IG + PCA
بیزین ساده	جنگل تصادفی	J48	Wrapper + PCA
۵	۸	۸	

پس از کاهش ویژگی‌ها، روش‌های دسته‌بندی درخت تصمیم J48، جنگل تصادفی و بیزین ساده به ترتیب با استفاده از تابع‌های J48، RandomForest و NaiveBayes در نرم‌افزار وکا اجرا شدند و معیارهای ارزیابی با استفاده از روش اعتبار سنجی تقاطعی با ۱۰ تکرار محاسبه و مورد ارزیابی قرار گرفتند تا بتوان به بهترین روش کاهش ویژگی و بهترین روش دسته‌بندی دست یافت.

جدول (۴): نتایج بررسی روش‌های دسته‌بندی با استفاده از دقت

روش‌های مدل‌سازی			روش‌های کاهش ویژگی
بیزین ساده	جنگل تصادفی	J48	داده‌های نرمال بدون کاهش ویژگی
۹۲,۹۸۰۶	۹۷,۲۵۹۲	۹۵,۹۷۴۷	CFS + PCA
۹۱,۷۰۵۱	۹۴,۶۳۵۹	۹۴,۰۱۱۸	IG + PCA
۹۱,۳۷۹۵	۹۶,۵۷۱۷	۹۵,۱۷۸۷	Wrapper + PCA
۹۱,۱۳۵۲	۹۶,۵۸۰۷	۹۵,۲۷۸۲	

در جداول (۴) و (۵) سه الگوریتم داده‌کاوی را با توجه به روش‌های کاهش ویژگی به ترتیب از نظر دقت و شاخص F1 مقایسه می‌کنیم تا به بهترین الگوریتم دسته‌بندی و بهترین روش کاهش ویژگی برسیم.

جدول (۴) نشان می‌دهد از نظر دقت که مهم‌ترین معیار ارزیابی است، الگوریتم‌های دسته‌بندی جنگل تصادفی و J48 با تعداد ۸ ویژگی و بیزین ساده با ۵ ویژگی به ترتیب دارای بهترین دقت هستند. از نظر بهترین روش کاهش

در محیط سیستم‌عامل ویندوز ۷ و پردازشگر Intel Core 2 Duo و RAM 2GB انجام گرفته است.

در این پژوهش از روش اعتبار سنجی تقاطعی با ۱۰ تکرار استفاده شده است که موجب می‌شود نتیجه به دست آمده دقیق‌تر باشد. اعتبار سنجی تقاطعی با ۱۰ تکرار موجب ارزیابی منطقی از مدل‌ها و کاهش سرریز می‌شود [۱۵]، این روش به این شکل است که داده‌ها به k قسمت تقسیم شده و $k-1$ قسمت آن به عنوان آموزش و ۱ قسمت به عنوان تست استفاده می‌شود؛ این عمل k مرتبه تکرار می‌شود. ارزیابی دقت نهایی برابر با میانگین k دقت محاسبه می‌شود [۳۱].

۳-۴- نتیجه آزمون

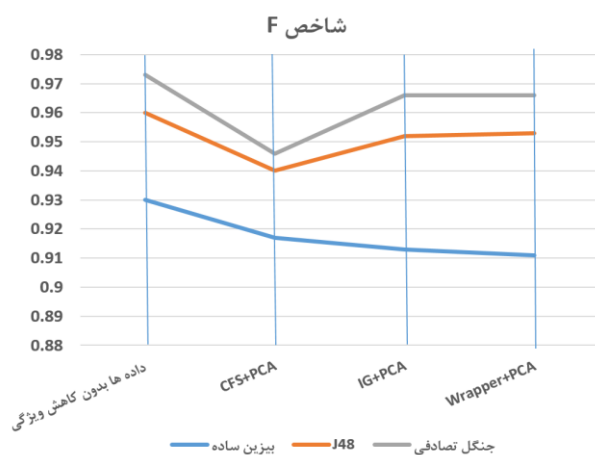
مدل آموزش یافته و آزمون شده با یک میزان دقت مشخص، می‌تواند جهت تشخیص کلاس یا اشیایی که برچسب کلاس آن‌ها ناشناخته است، مورد استفاده قرار گیرد [۳۲]. یکی از اهداف انتخاب ویژگی این است که یک زیرمجموعه از ویژگی‌ها برای افزایش دقت تشخیص، انتخاب شوند. به عبارت دیگر کاهش اندازه ساختار بدون کاهش قابل ملاحظه در دقت تشخیص دسته‌بندی که با استفاده از ویژگی‌های مدل به دست می‌آید، صورت گیرد [۱۵].

پس از اعمال روش‌های کاهش ویژگی بر روی داده‌ها، تعداد ویژگی‌ها به صورت نشان داده شده در جدول (۳) کاهش یافت. همان‌گونه که در جدول (۳) مشخص شده است، تعداد ویژگی‌ها با استفاده از تمام روش‌های کاهش ویژگی دو مرحله‌ای به طور قابل توجهی کاهش یافت. روش CFS+PCA و بیزین ساده در Wrapper+PCA به کمترین مقدار با تعداد ۵ ویژگی دست یافته‌اند؛ و مابقی روش‌ها به تعداد ۸ ویژگی رسیده‌اند.

همچنین براساس نتایج از ۴ معیار ذکر شده، معیار مبتنی بر جاوا اسکریپت و HTML با ۵ ویژگی متعلق به آن، کمترین تأثیر را در تشخیص وبسایت‌های فیشینگ دارد.

همان گونه که در جدول (۵) می بینیم با استفاده از کاهش ویژگی دو مرحله ای Wrapper+PCA و IG+PCA الگوریتم جنگل تصادفی بهترین عملکرد نسبت به سایر الگوریتم ها داشته و به مقدار یکسان ۰,۹۶۶ دست یافته است. پس از الگوریتم جنگل تصادفی الگوریتم J48 و بیزین ساده به ترتیب به بهترین نتیجه دست یافته اند.

مقدار F1 در بهترین نتیجه در الگوریتم جنگل تصادفی و J48 به میزان ۰,۰۰۷ و در بیزین ساده به میزان ۰,۰۱۳ نسبت به داده ها بدون انتخاب ویژگی کاهش یافته اند؛ که نشان می دهد الگوریتم جنگل تصادفی و J48 کمترین کاهش F1 را نسبت به مقدار اولیه داشته اند و از این نظر در یک سطح هستند. در نمودار (۲) شاخص F برای روش های دسته بندی در مقایسه با یکدیگر آمده است.



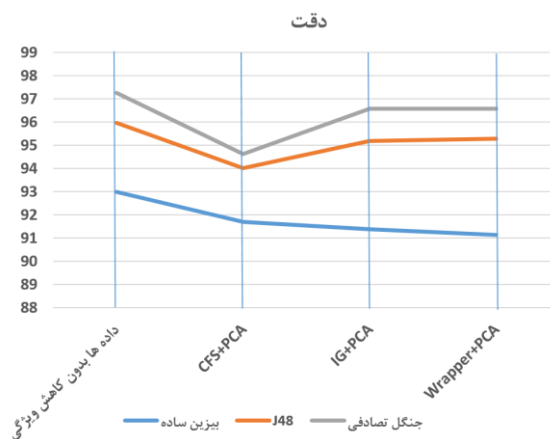
نمودار (۲): نتایج دسته بندی با استفاده از شاخص F

کاهش نامحسوس در مقدار دقت و F1 پس از کاهش ویژگی ها، حاصل افزایش هر دو مقدار نرخ FP و نرخ FN^۷ است. ولی همواره نرخ FN نسبت به نرخ FP پایین تر بوده و این امر بدین معنی است که احتمال اینکه یک وبسایت فیشینگ به عنوان وبسایت قانونی در نظر گرفته شود کمتر است. در نتیجه احتمال گیر افتادن در دام فیشینگ کاهش می یابد.

^۷False Positive

^۷False Negative

ویژگی ها در دو الگوریتم جنگل تصادفی و J48 به ترتیب روش های Wrapper+PCA، IG+PCA و CFS+PCA دارای بهترین نتیجه هستند؛ اما در الگوریتم بیزین ساده این ترتیب بالعکس است. در نمودار (۱) دقت روش های دسته بندی در مقایسه با یکدیگر آمده است.



نمودار (۱): نتایج دسته بندی با استفاده از شاخص دقت

مقدار دقت در الگوریتم جنگل تصادفی، J48 و بیزین ساده در بهترین نتیجه به ترتیب به میزان ۰,۶۷۸۵، ۰,۶۹۶۵ و ۱,۲۷۵۵ نسبت به داده ها بدون انتخاب ویژگی کاهش یافته اند؛ که نشان می دهد الگوریتم جنگل تصادفی کمترین کاهش را نسبت به دو الگوریتم دیگر داشته است. همچنین بالاترین دقت با مقدار ۹۶,۵۸۰۷ مربوط به الگوریتم جنگل تصادفی با روش کاهش ابعاد Wrapper+PCA است؛ در حالی که تعداد ویژگی ها کاهش محسوس نداشتند.

جدول (۵): نتایج بررسی روش های دسته بندی با استفاده از F1

روش های مدل سازی			روش های کاهش ویژگی
بیزین ساده	جنگل تصادفی	J48	
۰,۹۳	۰,۹۷۳	۰,۹۶	داده های نرمال بدون کاهش ویژگی
۰,۹۱۷	۰,۹۴۶	۰,۹۴	CFS + PCA
۰,۹۱۳	۰,۹۶۶	۰,۹۵۲	IG + PCA
۰,۹۱۱	۰,۹۶۶	۰,۹۵۳	Wrapper + PCA

۳-۴- مقایسه با روش‌های مشابه

در ادامه برای ارزیابی هرچه بیشتر رویکرد فوق، روش کاهش ویژگی دومرحله‌ای پیشنهادی با چند روش دیگر مقایسه می‌شود. از آنجاکه در اغلب روش‌های مشابه از معیار دقت برای ارزیابی استفاده کرده‌اند ما برای مقایسه روش خود با روش‌های دیگر از این معیار استفاده کردیم. جدول (۶) دقت به‌دست‌آمده از تحقیقات گذشته را با دقت به‌دست‌آمده از روش پیشنهادی نشان می‌دهد.

جدول (۶): مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های مشابه

ردیف	روش	تعداد ویژگی‌ها	تعداد ویژگی‌های باقی‌مانده	دقت	روش پیشنهادی
	روش پیشنهادی	۱۱۰۵۵	۸	۳۰	۹۶,۵۸
۲۰۱۱	[۱۹]	۳۰۰۰	۷	۷	۹۳
۲۰۱۲	[۲۳]	۲۵۰۰	۱۲	۲۳	۹۷,۶
۲۰۱۴	[۱]	۱۳۵۳	۹	۱۶	۹۴,۴
۲۰۱۵	[۲۵]	۱۰۰۰	۱۵	۱۵	۹۶,۵۶
۲۰۱۵	[۱۸]	۲۴۵۶	۱۵	۳۰	۹۷,۴۷
۲۰۱۶	[۳۳]	۱۱۰۵۵	۱۲	۳۰	۹۲,۵
۲۰۱۹	[۲۰]	۱۱۰۵۵	۶	۳۰	۹۴,۶

نتایج مطالعات ذکرشده محققان در مقایسه با روش جدید کاهش ویژگی دومرحله‌ای پیشنهادی، حاکی از برتری روش پیشنهادی است چراکه تعداد ویژگی‌های ما در بهترین عملکرد (۸ ویژگی) از تمامی آن‌ها کمتر بوده درحالی‌که به‌دقت بالاتری نسبت به آن‌ها دست‌یافته‌ایم. مجموعه داده استفاده‌شده در این پژوهش با مجموعه داده استفاده‌شده در [۳۳] یکسان بوده که در آن از یک روش طبقه‌بندی مشارکتی^۱ با الگوریتم FACA استفاده‌شده است.

در خصوص تحقیق‌های جدول ۶ که دقت بالاتری نسبت به روش پیشنهادی دارند، می‌بایست به تعداد ویژگی‌ها و همچنین تعداد نمونه به‌کاربرده شده توجه نمود.

تحقیق [۲۰] نیز با کاهش دو مرحله‌ای به تعداد ویژگی ۲۰ درصدی دست یافته‌است.

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به مشکلات و پیچیدگی‌های زیاد و سایر چالش‌ها در تشخیص صفحات فیشینگ، بررسی و ارائه روشی هوشمندانه برای تشخیص فیشینگ در صفحات وب ضروری است. در این پژوهش برای ساده‌سازی، کاهش دومرحله‌ای ویژگی‌ها پیشنهاد شده که در آن ابتدا با استفاده از روشهای پوششی، CFS و IG و ویژگیها انتخاب شده و سپس با اعمال روش استخراج ویژگی PCA از میان آنها بهترین ویژگی‌ها انتخاب می‌شوند که نهایتاً لیست خیلی کوتاهی از ویژگیهای صفحات وب حاصل می‌شود.

نتایج حاصل از اجرای روش پیشنهادی بر روی مجموعه داده UCI، در بهترین حالت به‌دقت ۹۶,۵۸٪ با روش دومرحله‌ای Wrapper+PCA و الگوریتم جنگل تصادفی دست‌یافت. در این روش تعداد ویژگی‌ها از ۳۰ ویژگی به ۸ ویژگی کاهش یافت.

مزیت مدل پیشنهادی نسبت به سایر سامانه‌های مشابه، دستیابی به کمترین تعداد ویژگی‌ها پس از کاهش ویژگی است که این امر موجب ساده‌سازی و کاهش پیچیدگی مدل می‌شود، مزیت دیگر استفاده از تعداد نمونه بیشتر است که موجب می‌شود نتایج به واقعیت نزدیک‌تر باشند.

به‌عنوان کارهای آتی به محققان پیشنهاد می‌شود زمان محاسباتی الگوریتم‌های یادگیری را موردبررسی و تحلیل قرار دهند. همچنین پیشنهاد می‌شود از مجموعه داده حاوی وب‌سایت‌های فارسی برای تشخیص وب‌سایت‌های فیشینگ استفاده نمایند.

^۱Associative classification

مراجع

(ICACCS -2016), Jan. 22 – 23, 2016, Coimbatore, INDIA, Available: IEEE Xplore, <http://www.ieee.org>.

[۱۱] محمدی، شهریار، غروی، عرفانه، "کاربرد تکنیک‌های داده‌کاوی جهت تشخیص آدرس‌های فیشینگ"، کنگره ملی مهندسی برق، کامپیوتر و فناوری اطلاعات، مشهد: موسسه آموزش عالی خیام، ۱۳۹۲.

[۱۲] Sanglerdsinlapachai, N., Rungsawang, A., "Using Domain Top-page Similarity Feature in Machine Learning-based Web Phishing Detection", *Third International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, IEEE, pp. 17-190, 2010.

[۱۳] Aburrous, M., Hossain, M. A., Keshav, D., Thabtah, F., "Predicting Phishing Websites using Classification Mining Techniques with Experimental Case Studies", *IEEE Seventh International Conference on Information Technology*, pp. 176-181, 2010.

[۱۴] سعیدی، پریسا، "بررسی سیستم‌های هوشمند تشخیص وب‌سایت فیشینگ در بانکداری الکترونیکی به روش منطق فازی"، نخستین کنفرانس بین‌المللی فناوری اطلاعات، تهران: مرکز همایش‌های توسعه ایران، ۱۳۹۴.

[۱۵] حاتمی خواه، نفیسه، "بررسی روش‌های مبتنی بر انتخاب ویژگی"، تهران، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ۱۳۹۲.

[۱۶] Basnet, R. B., Sung, A.H., Liu, Q., "Feature Selection for Improved Phishing Detection", *international conference on Industrial Engineering and Other Applications of Applied Intelligent Systems*, pp 252-261, 2012, Available: <https://link.springer.com>.

[۱۷] Khonji, M., Jones, A., Iraqi, Y., "A Study of Feature Subset Evaluators and Feature Subset Searching Methods for Phishing Classification", *Proceedings of the 8th Annual Collaboration, Electronic messaging, Anti-Abuse and Spam Conference*, pp.135-144, ACM, 2011.

[۱۸] Singh, P., Jain, N., Maini, A., "Investigating the Effect Of Feature Selection and

[۱] Abdelhamid, N., Ayes, A., Thabtah, F., "Phishing detection based Associative Classification data mining", *Expert Systems with Applications* 41 5948–5959, 2014.

[۲] معاونی، مسعود، "تشخیص حملات در بانکداری الکترونیکی با استفاده از سیستم ترکیبی فازی-راف (Fuzzy_rough)" گروه کامپیوتر دانشگاه امام رضا (ع)، ۱۳۹۴.

[۳] Mohammad, R. M., Thabtah, F., McCluskey, L., "Tutorial and critical analysis of phishing websites methods", *Computer Science Review* 17 (2015) 1-24.

[۴] Chaudhry, J. A., Rittenhouse, R. G., "Phishing: Classification and Countermeasures", *7th International Conference on Multimedia, Computer Graphics and Broadcasting*, pp. 28-31, IEEE, 2015.

[۵] Anti Phishing Working Group, Phishing activity trends report, http://www.antiphishing.org/resources/apwg-reports/apwg_trends_report_q4_2019.pdf.

[۶] Buber, E., Demir, Ö., Sahingoz, O.K., "Feature Selections for the Machine Learning based Detection of Phishing Websites", *International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP) IEEE*, 2017.

[۷] Kohavi, R., John, G. H., "Wrappers for feature subset selection", *Artificial Intelligence*, Vol. 97, pp. 273-324, 1997.

[۸] Abur-rous, M. R. M., "Phishing Website Detection Using Intelligent Data Mining Techniques", Ph.D, dissertation, Dept. Computing, Bradford Univ, Bradford, 2010.

[۹] PhishTank.<http://www.phishtank.com>, 2017.

[۱۰] Aravindhana, R., Shanmugalakshmi, Dr.R., Ramya, K., Dr.Selvan C, "Certain Investigation on Web Application Security: Phishing Detection and Phishing Target Discovery", *2016 3rd International Conference on Advanced Computing and Communication Systems*

- [۲۶] Mohammad, R. M., Thabtah, F., McCluskey, L., Phishing Website Dataset, <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Phishing+websites>, 2015.
- [۲۷] اسماعیلی، مهدی، مفاهیم و تکنیک‌های داده‌کاوی، کاشان: سوره، ۱۳۹۲.
- [۲۸] ورسلیز، کارلو، هوش تجاری داده‌کاوی و بهینه‌سازی برای تصمیم‌گیری، ترجمه‌ی احمدی، عباس، محبی، آزاده، ویرایش دوم، تهران، نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)، زمستان ۱۳۹۲.
- [۲۹] H.John, George, and pat Langley, “Estimating Continuous Distribution in Bayesian Classifiers”, In Proceeding of the Eleventh Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence. Morgan Kaufman, 1995.
- [۳۰] Breiman, Leo. “Random Forests”, Machine Learning, Kluwer Academic Publishers. Manufactured in The Netherlands, Statistics Department University of California Berkeley, 45, 5–32, 2001.
- [۳۱] Kohavi, Ron, “A Study of Cross-Validation and Bootstrap for Accuracy Estimation and Model Selection”, *Proceedings of the 14th international joint conference on Artificial intelligence (IJCAI)*, pp. 1137-1143, ACM, 1995.
- [۳۲] Lakhita, Yadav, S., Bohra, B., Pooja, “A Review on Recent Phishing Attacks in Internet”, *IEEE International Conference on Green Computing and Internet of Things (ICGCIoT)*, pp. 1312-1315, 2015.
- [۳۳] Hadi, W., Aburub, F., Alhawari, S., “A new fast associative classification algorithm for detecting phishing websites”, *Applied Soft Computing* 48 (2016) 729–734.
- Dimensionality Reduction On Phishing Website Classification Problem”, *1st International Conference on Next Generation Computing Technologies (NGCT) Dehradun, India, IEEE*, pp. 388-393, 2015.
- [۱۹] rahmi A. H., isredza, Abawajy, J., “Phishing Email Feature Selection Approach”, *10th International Joint Conference of IEEE TrustCom.*, pp. 916-921, 2011.
- [۲۰] K. L. Chiew, C. L. Tan, K. Wong, K. S. Yong, and W. K. Tiong, “A new hybrid ensemble feature selection framework for machine learningbased phishing detection system,” *Information Sciences*, vol. 484, pp. 153–166, 2019.
- [۲۱] M. Almseidin, A. A. Zuraiq, M. Alkasassbeh, and N. Alnidami, “Phishing detection based on machine learning and feature selection methods,” *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)*, vol. 13, no. 12, pp. 171–183, 2019.
- [۲۲] Meenu , Sunila godara, “Phishing Detection using Machine Learning Techniques”, *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)* , Volume-9 Issue-2, December, 2019.
- [۲۳] Pandey, M., Ravi, V., “Detecting phishing e-mails using Text and Data mining”, *IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC)*, 2012.
- [۲۴] Pandey, M., Ravi, V., “Text and Data Mining to Detect Phishing Websites and Spam Emails”, *Proceedings of the 4th International Conference on Swarm, Evolutionary, and Memetic Computing*, Vol. 8298, pp.559-573, 2013.
- [۲۵] لنگری، نفیسه، عبدالرزاق نژاد، مجید، “شناسایی وبگاه فیشینگ در بانکداری اینترنتی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی صفحات شیب‌دار”، *مجله پدافند الکترونیکی و سایبری*. شماره ۱، صفحه ۴۰-۲۹، ۱۳۹۴.

An efficient method for detecting phishing websites using data mining on web pages

Abstract

Phishing is regarded as a kind of internet attack on the web which aimed to steal the users' personal information for online stealing. Phishing plays a negative role in reducing the trust among the users in the business network based on the E-commerce framework. therefore, in this research, we tried to detect phishing websites using data mining. The detection of the outstanding features of phishing is regarded as one of the important prerequisites in designing an accurate detection system. Therefore, in order to detect phishing features, a list of 30 features suggested by phishing websites was first prepared. A new idea based on two steps: feature selection and feature extraction, has been proposed. To evaluate the proposed method, the performance of decision tree J48, random forest, naïve Bayes methods were evaluated on the reduced features. The results indicated that accuracy of the model created to determine the phishing websites by using the two-stage feature reduction-based Wrapper and Principal Component Analysis (PCA) algorithm in the random forest method of 96.58%, which is a desirable outcome compared to other methods.

Keywords: Internet attack, Phishing, Data Mining, Feature Selection, Feature Extraction.

افزایش مقدار داده و کاهش هزینه با استفاده از کدگذاری شبکه در شبکه‌های حسگر بی‌سیم

احسان خراطی

استادیار دانشکده فنی و مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، اراک

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۰۹

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

این مقاله، یک مدل بهینه‌سازی برای افزایش مقدار داده جمع‌آوری شده و تعادل روی مصرف پهنای باند یال‌ها ارائه کرده و از کدگذاری شبکه استفاده می‌کند. برای حل این مدل از روش دوگان استفاده شده و برای محاسبه یک کران پایین و یافتن جواب و نقطه بهینه در مدل بهینه‌سازی از شرایط کاروش-کان-تاگر استفاده می‌شود که نیاز به محاسبه مشتق تابع لاگرانژین نسبت به متغیرهای آن دارد. حل این مساله و معادلات در زمان چندجمله‌ای به دلیل دخیل بودن پارامترهای مختلف و محدود بودن منابع شبکه‌های حسگر بی‌سیم با تعداد زیادی گره بسیار مشکل و زمان‌بر و تقریباً غیرعملی است، لذا برای حل این مساله، یک الگوریتم توزیع‌شده و تکرارشونده پیشنهاد شده که از ترکیب روش زیرگردیان و روش تفکیک جریان شبکه استفاده می‌کند. اثربخشی مدل و الگوریتم پیشنهادی با شبیه‌سازی برحسب تعداد گره‌های حسگر منبع و ضریب لاگرانژین و اندازه گام بررسی شده است. نتایج بیانگر برتری در میانگین زمان لازم برای یافتن مسیر بهینه تا ۱۴ درصد، مقدار داده جمع‌آوری شده تا ۷ درصد، میانگین تاخیر انتها به انتها شبکه تا ۲۳ درصد، پهنای باند مصرف شده، میانگین طول عمر شبکه و انرژی مصرف شده است.

واژگان کلیدی: شبکه‌های حسگر بی‌سیم، کدگذاری شبکه، مسیر بهینه سینک متحرک، پهنای باند مصرف شده

۱- مقدمه

قابل ارسال را در نظریه گراف بیان کرده است که برابر ظرفیت حداقل برش بین گره‌های مبدأ و مقصد است. در روش‌های سنتی مسیریابی، نمی‌توان به حداکثر جریان قابل ارسال رسید، زیرا جریان‌های داده درون شبکه را مانند جریان مایعات در لوله‌های انتقال در نظر گرفته می‌گیرند اما با استفاده از کدگذاری شبکه، گره‌های میانی می‌توانند بسته‌های وارد شده را پردازش و ترکیب کرده تا به صورت چندبخشی ارسال کنند و از حداکثر ظرفیت شبکه استفاده می‌شود [۴]. چون در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، کانال‌های بی‌سیم دارای ویژگی پخش همگانی هستند، کدگذاری شبکه سبب افزایش بهبود عملکرد شبکه می‌شود. شکل الف ۱، نمونه‌ای از شبکه پروانه‌ای

وظایف گره‌های حسگر بی‌سیم شامل جمع‌آوری، پردازش و ذخیره‌سازی داده‌های حس شده از محیط پیرامونی شبکه‌های حسگر و ارسال داده‌های پردازش شده با کمک سایر گره‌های حسگر به سینک‌ها است [۱]. محدودیت شبکه‌های حسگر بی‌سیم شامل منابع انرژی، حافظه و پهنای باند است [۲]. حداکثر جریان قابل ارسال در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، برابر حداکثر میزان داده‌هایی است که می‌توان از یک گره مبدأ به مجموعه‌ای از گره‌های مقصد ارسال کرد. مرجع [۳] قضیه حداکثر جریان-حداقل برش و روش محاسبه حداکثر جریان

حل مدل پیشنهادی ارائه می‌کنیم که در آن بجای انجام مشتق‌ها از ترکیب روش زیرگردایان و روش تفکیک جریان شبکه استفاده می‌شود.

به طوری که هر گره به صورت محلی و براساس اطلاعات گره‌های همسایه خود، مسیریابی بهینه را انجام داده و مصرف پهنای باند در شبکه را متعادل می‌کند [۵].

مهمترین کارهایی که در این مقاله نسبت به مقاله‌های قبلی انجام شده است، شامل موارد زیر است.

۱. هدف مدل بهینه‌سازی پیشنهادی ایجاد تعادل و کاهش مصرف پهنای باند است که تعمیم‌یافته مدل برنامه‌ریزی خطی صحیح ILP در [۲] است.

۲. مدل پیشنهادی مستقل از تراکم و استقرار و دامنه ارسال و مدل انرژی گره‌های حسگر است و پارامترهای آن شامل نرخ تولید و ارسال داده‌ها و دامنه ارسال گره‌های حسگر است.

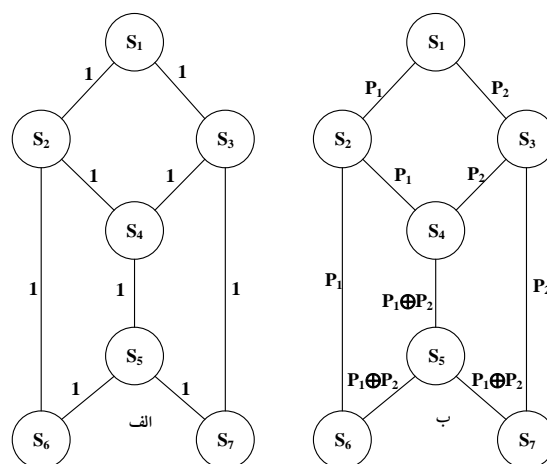
۳. الگوریتم پیشنهادی با پیچیدگی مناسب و به صورت توزیع شده و تکرار شونده و براساس اطلاعات گره‌های همسایه، مصرف پهنای باند در یال‌های شبکه را متعادل می‌کند که قابلیت مقیاس‌پذیری شبکه را بسیار افزایش می‌دهد.

۴. بررسی تاثیر افزایش تعداد گره‌های حسگر منبع و ضریب لاگرانژین و اندازه گام در مدل و الگوریتم پیشنهادی روی میانگین زمان لازم برای یافتن مسیر بهینه، کل مقدار جریان مجازی در یال‌ها، میانگین تاخیر انتها به انتهای شبکه، پهنای باند مصرف شده، میانگین طول عمر شبکه و انرژی مصرف شده.

بقیه مقاله به صورت زیر تنظیم شده است؛ بخش دوم شامل معرفی و تحقیقات مرتبط با کدگذاری شبکه در شبکه‌های حسگر بی‌سیم است. بخش سوم شامل آرایه یک مدل بهینه‌سازی با استفاده از کدگذاری شبکه برای برقراری تعادل در مصرف پهنای باند است. در بخش چهارم، یک الگوریتم توزیع‌شده و تکرار شونده برای حل مساله انتخاب مسیر کدگذاری شبکه با در نظر گرفتن محدودیت پهنای باند در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه می‌شود. در بخش پنجم به شبیه‌سازی، مقایسه و ارزیابی کارایی مدل و الگوریتم پیشنهادی پرداخته و در نهایت در بخش ششم نتیجه‌گیری کرده و پیشنهاداتی برای انجام تحقیقات بیشتر ارائه می‌شود.

را نشان داده که ظرفیت و پهنای باند هر یال برابر یک است و در نتیجه حداکثر جریان قابل ارسال بین گره مبدا S_1 و گره‌های مقصد S_6 و S_7 برابر دو است و لذا حداکثر می‌توان دو بسته در هر واحد زمانی به هر دو گره مقصد S_6 و S_7 ارسال کرد.

اما با استفاده از مسیریابی سنتی نمی‌توان به حداکثر جریان دو بسته در هر واحد زمانی رسید. برای این منظور مطابق شکل ب ۱، گره S_4 به جای ارسال بسته‌های P_1 و P_2 به صورت جداگانه و به ترتیب، آنها را به صورت $P_1 \oplus P_2$ با یکدیگر کدگذاری و XOR کرده تا گره S_5 همزمان به هر دو گره مقصد S_6 و S_7 ارسال کند. در نتیجه با استفاده از کدگذاری شبکه می‌توان به حداکثر جریان دو بسته در هر واحد زمانی رسید [۱].



شکل ۱: یک شبکه پروانه‌ای [۱]. الف: پهنای باند هر یال برابر یک است، ب: استفاده از کدگذاری شبکه و حداکثر جریان دو بسته

در این مقاله، ما یک مدل برنامه‌ریزی خطی صحیح^۱ ILP یا مدل MILP^۲ برای تعادل در مصرف پهنای باند یال‌ها با استفاده از کدگذاری شبکه آرایه می‌کنیم. این مدل، نسبت کل حداکثر مقدار پهنای باند به پهنای باند موجود یال‌ها را حداقل کرده و برای حل این مدل از روش دوگان استفاده می‌کنیم. همچنین برای محاسبه یک کران پایین و یافتن جواب و نقطه بهینه در مدل بهینه‌سازی از شرایط^۳ KKT استفاده می‌کنیم که برای این منظور نیاز به محاسبه مشتق تابع لاگرانژین نسبت به متغیرهای آن است تا شرایط به صورت یک دستگاه چند معادله چند مجهول بدست آید. اما چون حل معادلات کروش-کان-تاگر به صورت متمرکز برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم با تعداد زیادی گره بسیار مشکل و زمان‌بر و تقریباً غیرعملی است و یک مساله NP-hard^۴ است، یک الگوریتم توزیع‌شده و تکرار شونده برای

³ Karush-Kuhn-Tucker conditions

⁴ Non-deterministic Polynomial-time hard

¹ Integer Linear Programming

² Mixed-integer linear programming

۲-۱ سهم این مقاله

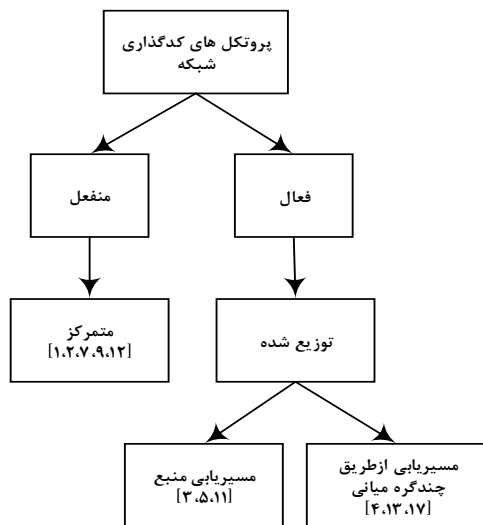
مرجع [۴]، معماری COPE را برای ارسال سال بسته‌های کدگذاری شده در شبکه‌های بی‌سیم معرفی کرده که می‌تواند به صورت قابل توجهی کارایی شبکه‌های بی‌سیم ایستا را افزایش دهد. این معماری، از کدگذاری شبکه بین جلسه‌ای بین لایه IP و MAC استفاده کرده و بسته‌ها را به صورت چندپخش ارسال می‌کند و جریان‌های داده را با یکدیگر XOR کرده و لذا پیاده‌سازی آن آسان است. در [۵] از ترکیب کدگذاری شبکه و کنترل توپولوژی استفاده کرده که سبب افزایش بهره‌وری در شبکه‌های حسگر بی‌سیم شده و در مرجع [۶] از ترکیب کدگذاری شبکه و کنترل مسیر حرکت سینک متحرک استفاده کرده که سبب افزایش بهره‌وری در شبکه‌های حسگر بی‌سیم خواهد شد.

در مقاله [۷] نشان داده که استفاده از کدگذاری شبکه سبب حداکثر شدن جریان قابل ارسال در شبکه می‌شود. در [۸] نشان داده که برای دستیابی به حداکثر ظرفیت جریان چندپخش به هر مقصد، باید از کدگذاری شبکه استفاده کرد. کدگذاری شبکه سبب کاهش حجم ترافیک عبوری و سهیم شدن تمام گره‌ها در ارسال بسته‌ها می‌شود و در نتیجه حجم بار ترافیکی متعادل شده و سبب کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌شود. همچنین چون در کدگذاری شبکه، بسته‌ها از مسیرهای مختلفی ارسال می‌شوند، سبب افزایش قابلیت اطمینان و امنیت می‌شود.

چون انرژی لازم برای انجام محاسبات و ترکیب بسته‌ها در گره‌های حسگر میانی بسیار کمتر از انرژی لازم برای ارسال دریافت بسته‌ها است، کدگذاری شبکه سبب افزایش بهره‌وری یا کارایی و کاهش مصرف پهنای باند، تاخیر، پیچیدگی و هزینه‌ها در شبکه می‌شود. شکل ۲، انواع روش‌های کدگذاری شبکه در شبکه‌های حسگر بی‌سیم را نشان می‌دهد [۹].

نقطه ضعف کدگذاری شبکه، محدودیت حافظه و سرریز بافر در گره‌های شبکه حسگر بی‌سیم و افزایش ترافیک در پهنای باند شبکه به سبب ارسال بسته‌ها از مسیرهای مختلف است. در کدگذاری شبکه، گره‌های میانی یکسری بسته‌های کد شده تولید می‌کنند و گره‌های مقصد باید بتوانند به روش حذفی گاوس این بسته‌ها را تشخیص و کدگشایی کنند [۱۰]. پیچیدگی روش حذفی گاوس از درجه سه است و لذا هرچه تعداد گره‌های حسگر منبع در شبکه بیشتر باشند، انجام کدگذاری شبکه غیرممکن و غیرعملی است. مشکل دیگر روش حذفی گاوس، محدود بودن تعداد بسته‌های کد شده است و اگر تعداد بسته‌های کد شده کمتر از این محدوده باشد، تعداد

بسته‌های کدگشایی شده تقریباً صفر خواهد بود [۱۱]. برای رفع مشکلات فوق و انجام بهینه کدگذاری شبکه باید از گره‌هایی با قدرت محاسباتی بیشتر استفاده کرد یا تعداد گره‌های میانی کدکننده را محدود کرد که انتخاب تعداد حداقل گره با توانایی کدگذاری شبکه، یک مساله NP-hard است [۱۲]. جدول ۱، شامل مقالات نویسنده است که به طور خلاصه مزایا و معایب و محدودیت‌ها و تابع هدف و الگوریتم و روش استفاده شده را بیان می‌کند.



شکل ۲: انواع روش‌های کدگذاری شبکه در شبکه‌های حسگر بی‌سیم [۶-۱]

جدول ۱: خلاصه مقایسه روش‌های بررسی شده [۴-۱]

مقاله	[۱]	[۲]	[۳]	[۴]	این مقاله
تابع هدف	کاهش انرژی	افزایش داده	کاهش تاخیر	افزایش بازدهی	کاهش مصرف پهنای باند
محدودیت‌ها	نرخ داده ارسالی	جریان چندپخش	حجم ترافیک	رای گیری	تعداد گره‌های حسگر منبع
الگوریتم حل مسئله	الگوریتم ژنتیک	الگوریتم خوشه‌بندی	الگوریتم ازدحام‌ذرات	الگوریتم حریصانه	الگوریتم توزیع شده تصادفی زیرگرایان
مزایا	بازدهی و بلادرنگ	سینک‌های متحرک	بازدهی و عدالت	اتصالات قوی	ایجاد تعادل در مصرف پهنای باند
معایب	عدم پوشش شبکه	چندگره میانی	اتصالات ضعیف	کاهش طول عمر	محاسبات فراوان و کند مسیریابی
نوآوری	کدگذاری محلی	کدگذاری سراسری	کدگذاری باینری	کدگذاری تصادفی	مستقل از تراکم و استقرار دامنه ارسال گره‌های حسگر

۳- مدل بهینه‌سازی پیشنهادی

در این مقاله برای ساده شدن مدل بهینه‌سازی پیشنهادی و مساله، فرض می‌کنیم که محیط باز و مسطح بوده و پوشش رادیویی کاملاً منظم است، که در کار در آینده می‌توان این مدل را در شرایط واقعی مانند داخل ساختمان یا تحت شرایط سخت و پوشش‌های رادیویی بسیار نامنظم و همراه با تداخل مورد استفاده قرار داد. برای مدل کردن شبکه مانند مقالات [۶-۱] از مدل گراف $G=(N,E)$ و ایرگراف $G=(N,A)$ استفاده کرده که N مجموعه متناهی گره‌ها، E مجموعه متناهی یال‌ها و A مجموعه ایریال‌ها هستند. یک یال از یک گره مانند i شروع شده و به گرهی دیگر مانند j ختم می‌شود و با (i, j) نمایش داده می‌شود [۱۳]. ایریال شامل مجموعه‌ای از یال‌ها است که از یک گره مانند i شروع شده و به Ji یا مجموعه‌ای از همسایه‌ها یا گره‌هایی که در محدوده دامنه ارسال گره i هستند ختم می‌شود که با (i, Ji) نشان داده می‌شود. جدول ۲، شامل نمادها و تعاریف مورد نیاز برای مدل بهینه‌سازی و الگوریتم پیشنهادی است.

جدول ۲: علایم استفاده شده در مدل و الگوریتم پیشنهادی

نماد	تعریف
Ji	مجموعه‌ای از همسایه‌ها یا گره‌هایی که در محدوده دامنه ارسال گره i هستند
$B_{(i,j)}$	مقدار پهنای باند موجود در یال (i,j)
B_{Max}	حداکثر مقدار پهنای باند در هر یال در شبکه
$V_{(i,j)}$	مقدار جریان مجازی روی یال (i,j)
$R_{(i,Ji)}$	مقدار جریان واقعی از گره i روی ایریال (i,Ji)
Δ_i	مقدار ثابت و غیرمنفی عرضه و تقاضا در گره i
$x[n]$	یک نقطه از فضای شدنی در مرحله n ام
$\theta[n]$	اندازه گام در نقطه $x[n]$
$\omega[n]$	زیرگرادیان تابع لاگرانژین در نقطه $x[n]$
$x[n+1]$	نقطه مرحله بعد
$\hat{x}[n+1]$	نقطه جواب و بهینه

ار سال داده‌ها با استفاده از کدگذاری شبکه شامل دو مرحله کدگذاری و مسیریابی است [۱۴]. در مرحله کدگذاری، داده‌ها در قالب بسته در گره‌های میانی شبکه ذخیره شده و سپس ترکیب خطی آنها به یال‌های خروجی ارسال می‌شود [۱۵]. در مرحله مسیریابی، بهترین زیرگراف برای ارسال بسته‌های چندپخشی کدگذاری شده انتخاب می‌شود.

مسیریابی بهینه بدون استفاده از کدگذاری شبکه برای جریان‌های چندپخشی یک مساله Np-hard است [۱۶]. در حالی که با استفاده از کدگذاری شبکه به صورت یک مساله بهینه‌سازی بیان می‌شود [۱۷]. در کدگذاری شبکه، دو نوع جریان مجازی و واقعی وجود دارد که جریان مجازی، یک متغیر میانی بوده و برای بدست آوردن جریان واقعی استفاده می‌شود. فرض می‌کنیم که $V_{(i,j)}$ مقدار جریان مجازی عبوری روی یال (i,j) و $R_{(i,Ji)}$ مقدار جریان واقعی عبوری از گره i به همسایه‌های آن یا Ji باشد. مدل بهینه‌سازی زیر نحوه ارسال جریان چندپخشی بر اساس کدگذاری شبکه با حداقل هزینه در شبکه است [۶-۱].

$$\text{minimize } f(R) = \sum_{i \in N} \sum_{j \in Ji} R_{(i,Ji)} \cdot a_{(i,j)} \quad \forall i, j \in N, \quad (i,j) \in E, \quad j \in Ji \quad (1)$$

Subject to:

$$R_{(i,Ji)} \geq \sum_{j \in Ji} V_{(i,j)} \quad \forall i, j \in N, \quad (i,j) \in E, \quad j \in Ji \quad (2)$$

$$V_{(i,j)} \geq 0 \quad \forall i, j \in N, \quad (i,j) \in E \quad (3)$$

$$R_{(i,j)} \leq B_{(i,j)} \quad \forall i, j \in N, \quad (i,j) \in E, \quad j \in Ji \quad (4)$$

$$\sum_{j \in Ji} V_{(i,j)} - \sum_{j \in Ji} V_{(j,i)} = \begin{cases} \Delta_i & \text{if } i \text{ is source} \\ -\Delta_i & \text{if } i \text{ is sink} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall i, j \in N, \quad (i,j) \in E, \quad j \in Ji \quad (5)$$

در این مدل، تابع هدف (۱)، هزینه جریان‌های واقعی یا $f(R)$ را در همه گره‌های شبکه حداقل کرده که $a_{(i,j)}$ مقدار تابع هزینه یا انرژی لازم برای ارسال یک بسته روی یال (i,j) است که وابسته به دامنه ارسال آن گره است. محدودیت (۲)، بیان کرده که همواره مقدار جریان واقعی که از یک گره عبور می‌کند بیشتر از مقدار مجموع همه جریان‌های مجازی است که از آن گره عبور می‌کند و چون آنتن همه گره‌ها به صورت تمام جهته است، با ارسال یک جریان از گره i ، تمام همسایگان i یا Ji ، جریان ارسالی را دریافت می‌کنند. محدودیت (۳)، بیان کرده که جریان‌های واقعی و مجازی مثبت هستند. محدودیت (۴)، بیان کرده که حداکثر جریان واقعی که از یک یال عبور می‌کند باید کمتر یا مساوی مقدار پهنای باند در آن یال باشد. محدودیت (۵)، قانون بقای جریان‌های چندپخشی را مانند جریان تک پخشی بیان کرده که تفاضل مجموع جریان‌های ورودی و خروجی در گره‌های حسگر میانی برابر صفر و در گره‌های منبع برابر مقدار ثابت و غیرمنفی عرضه و تقاضا یا Δ_i و در گره‌های مقصد برابر $-\Delta_i$ است.

$$\text{minimize} \quad f(R) = \sum_{i \in N} \sum_{j \in Ji} R_{(i,j)} \cdot \frac{B_{Max}}{B_{(i,j)}} \quad \begin{array}{l} \forall i, j \in N, \\ (i, j) \in E, \\ j \in Ji \end{array} \quad (7)$$

Subject to:

$$R_{(i,j)} = \left(\sum_{j \in Ji} (V_{(i,j)})^n \right)^{1/n} \quad \begin{array}{l} \forall i \in N, \\ (i, j) \in E, \\ j \in Ji \end{array} \quad (8)$$

$$-V_{(i,j)} \leq 0 \quad \begin{array}{l} \forall i, j \in N, \\ (i, j) \in E \end{array} \quad (9)$$

$$R_{(i,j)} - \sum_{j \in Ji} B_{(i,j)} \leq 0 \quad \begin{array}{l} \forall i, j \in N, \\ j \in Ji \end{array} \quad (10)$$

$$\sum_{j \in Ji} V_{(i,j)} - \sum_{j \in Ji} V_{(j,i)} - \Delta_i = 0 \quad \begin{array}{l} \forall i, j \in N, \\ (i, j) \in E, \\ j \in Ji \end{array} \quad (11)$$

۱-۳- دوگان مدل

مسائل مینیمم سازی خطی، زیرکلاسی از مسائل بهینه سازی محدب هستند و روش‌های متعددی برای حل آنها وجود دارد [۱۶]. یکی از روش‌های حل مسائل بهینه‌سازی ریاضی، استفاده از دوگان مدل است [۱۷]. برای این منظور و محاسبه یک کران پایین و بهینه برای مدل، نیاز به تابع محدب لاگرانژین مدل و یک ضریب برای هر محدودیت است [۱۸]. چون متغیر $R_{(i,j)}$ برحسب متغیر کمکی $V_{(i,j)}$ است، می‌توان آن را در تابع هدف جایگزین و یک مدل بهینه‌سازی با تابع هدفی برحسب متغیر $V_{(i,j)}$ بدست آورد [۱۹]. تابع لاگرانژین برای تابع هدف و محدودیت‌های مدل فوق به صورت زیر است که V متغیر بهینه سازی جریان مجازی در شبکه و α و β و γ و δ ضرایب لاگرانژین برحسب متغیرهای i و j برای محدودیت‌ها هستند.

$$L(V, \alpha, \beta, \gamma, \delta) = \sum_{i \in N} \sum_{j \in Ji} R_{(i,j)} \cdot \frac{B_{Max}}{B_{(i,j)}} + \sum_{i \in N} \alpha_i \cdot \left(\sum_{j \in Ji} (V_{(i,j)})^n \right)^{1/n} + \sum_{i \in N} \beta_i \cdot \left(R_{(i,j)} - \sum_{j \in Ji} B_{(i,j)} \right) + \sum_{i \in N} \sum_{j \in Ji} \gamma_{(i,j)} \cdot (-V_{(i,j)}) + \sum_{i \in N} \sum_{j \in Ji} \delta_{(i,j)} \cdot (V_{(i,j)} - V_{(j,i)} - \Delta_i) \quad (12)$$

در [۱۴] یک مدل بهینه‌سازی مشابه محدودیت‌های فوق برای ارسال جریان چندپخشی با حداقل مصرف انرژی در زیرگرافی از شبکه حسگر بی‌سیم ارائه داده است که برای این منظور مقدار تابع هزینه $a_{(i,j)}$ را برابر مربع فاصله بین دو گره در نظر گرفته است. اگر دامنه از سال گره از فاصله بین دو گره کمتر باشد، آنگاه جریانی بین آن دو گره برقرار نخواهد شد. در [۱۵] ثابت کرده است که مدل بهینه‌سازی فوق یک مدل بهینه‌سازی خطی با زمان اجرای نمایی است و راه حل این مدل، مقدار بهینه $R_{(i,j)}$ است. در این مقاله چون پهنای باند یال‌ها محدود است، برای کاهش مصرف انرژی و هزینه، تابع هدف و هزینه اصلی مساله را ایجاد تعادل در مصرف پهنای باند در نظر می‌گیریم.

اگر B_{Max} حداکثر مقدار پهنای باند در هر یال در شبکه و $B_{(i,j)}$ مقدار پهنای باند موجود در یال (i, j) باشد، تابع هزینه را به صورت $a_{(i,j)} = B_{Max}/B_{(i,j)}$ در نظر می‌گیریم تا یال‌هایی که پهنای باند آزاد بیشتری دارند، اولویت بیشتری برای انتخاب شدن در مسیریابی براساس کدگذاری شبکه داشته باشند. همچنین به دلیل استفاده از چندپخشی در گره‌های حسگر، محدودیت (۴) را به صورت $\forall i \in N, R_{(i,j)} \leq \sum_{j \in Ji} B_{(i,j)}$ تغییر می‌دهیم. همچنین برای اینکه بتوانیم فقط مقدار جریان مجازی را جایگزین مقدار جریان واقعی در سایر محدودیت‌ها کنیم، محدودیت (۲) را به صورت $R_{(i,j)} = \max_{j \in Ji} \{V_{(i,j)}\}$ تغییر می‌دهیم. اما چون این محدودیت گسسته است لذا باید آن را به فرم پیوسته تبدیل کرد. برای این منظور از تقریب نرم l^m به صورت زیر استفاده می‌کنیم [۲].

$$R_{(i,j)} = \max_{j \in Ji} \{V_{(i,j)}\} = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\sum_{j \in Ji} (V_{(i,j)})^n \right)^{1/n} \approx \left(\sum_{j \in Ji} (V_{(i,j)})^n \right)^{1/n} \quad (6)$$

همچنین برای اینکه مدل پیشنهادی به صورت محدب و در قالب یک مساله مینیمم سازی خطی باشد، محدودیت‌ها را در یک سمت نامساوی قرار می‌دهیم. بنابر توضیحات فوق، مدل بهینه‌سازی ریاضی محدب پیشنهادی برای ارسال جریان چندپخشی براساس کدگذاری شبکه و کاهش هزینه در یک شبکه حسگر بی‌سیم به صورت زیر است. ما در این مقاله این مدل را به مدل بهینه‌سازی ایجاد تعادل در مصرف پهنای باند با استفاده از کدگذاری شبکه یا BNCOM^۵ نامگذاری می‌کنیم.

⁵ Bandwidth Network Coding Optimization Model

$$\delta_{(i,j)} \cdot \frac{\partial(V_{(i,j)} - V_{(j,i)} - \Delta_i)}{\partial V_{(i,j)}} \Rightarrow \frac{\partial L(V, \alpha, \beta, \gamma, \delta)}{\partial V_{(i,j)}} = \frac{B_{Max}}{B_{(i,j)}} \cdot \frac{\partial R_{(i,j)}}{\partial V_{(i,j)}} + \alpha_i \cdot \frac{1}{n} \cdot (V_{(i,j)})^{n-1} \cdot \left(\sum_{j \in Ji} (V_{(i,j)})^n \right)^{(1/n)-1} + \quad (14)$$

$$\beta_i \cdot \frac{\partial R_{(i,j)}}{\partial V_{(i,j)}} - \gamma_{(i,j)} + \delta_{(i,j)} \quad (15)$$

$$\frac{\partial L(V, \alpha, \beta, \gamma, \delta)}{\partial \alpha_i} = \left(\sum_{j \in Ji} (V_{(i,j)})^n \right)^{1/n} \quad (16)$$

$$\frac{\partial L(V, \alpha, \beta, \gamma, \delta)}{\partial \beta_i} = R_{(i,j)} - \sum_{j \in Ji} B_{(i,j)} \quad (17)$$

$$\frac{\partial L(V, \alpha, \beta, \gamma, \delta)}{\partial \gamma_{(i,j)}} = -V_{(i,j)} \quad (18)$$

$$\frac{\partial L(V, \alpha, \beta, \gamma, \delta)}{\partial \delta_{(i,j)}} = V_{(i,j)} - V_{(j,i)} - \Delta_i \quad (19)$$

د دستگاه چند معادله چند مجهول این مدل به صورت زیر است که چون مدل پیشنهادی محدب است، لذا یک پاسخ بهینه و کمینه برای متغیر V برحسب ضرایب لاگرانژین α و β و γ و δ وجود دارد که باید شرایط زیر را برآورده کنند.

$$\frac{\hat{\alpha}_i}{n} \cdot (\hat{V}_{(i,j)})^{n-1} \cdot \left(\sum_{j \in Ji} (\hat{V}_{(i,j)})^n \right)^{(1/n)-1} + \quad (20)$$

$$\left(\hat{\beta}_i + \frac{B_{Max}}{B_{(i,j)}} \right) - \hat{\gamma}_{(i,j)} + (\hat{\delta}_{(i,j)} - \hat{\delta}_{(j,i)}) = 0$$

$$\hat{\alpha}_i \cdot \left(\left(\sum_{j \in Ji} (\hat{V}_{(i,j)})^n \right)^{1/n} - \sum_{j \in Ji} B_{(i,j)} \right) = 0 \quad (21)$$

$$-\hat{V}_{(i,j)} \leq 0 \quad (22)$$

$$\hat{\gamma}_{(i,j)} \cdot \hat{V}_{(i,j)} = 0 \quad (23)$$

$$\sum_{j \in Ji} \hat{V}_{(i,j)} - \sum_{j \in Ji} \hat{V}_{(j,i)} - \hat{\Delta}_i = 0 \quad (24)$$

$$\alpha_i \geq 0, \beta_i \geq 0, \gamma_{(i,j)} \geq 0, \delta_{(i,j)} \geq 0 \quad (25)$$

۴- الگوریتم توزیع شده برای حل مدل بهینه‌سازی

در بخش قبل، ما یک مدل بهینه‌سازی برای مسیریابی و تعادل در مصرف پهنای باند یال‌ها با استفاده از کدگذاری شبکه و جریان‌های چندپخشی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه کردیم. این مدل، نسبت کل پهنای باند به پهنای باند موجود

چون تابع هدف و شرایط مدل بهینه‌سازی پیشنهادی فوق، به صورت محدب و قابل تفکیک است، لذا دوگان این مدل نیز محدب بوده و راه‌حل یکتا دارد. در نتیجه دوگان مدل پیشنهادی فوق به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\begin{aligned} & \text{minimize: } L(V, \alpha, \beta, \gamma, \delta) \\ & \text{Subject to} \\ & \forall i \in N, j \in Ji, \alpha_i \geq 0, \beta_i \geq 0, \gamma_{(i,j)} \geq 0, \delta_{(i,j)} \geq 0 \end{aligned} \quad (13)$$

اگر Ψ مقدار بهینه مدل پیشنهادی و \hat{V} مقدار بهینه متغیر V باشد، آنگاه $\hat{\Psi} \leq L(\hat{V}, \alpha, \beta, \gamma, \delta)$ است. همچنین اگر $\hat{\Phi}$ مقدار بهینه دوگان مدل پیشنهادی باشد، آنگاه $\hat{\Phi} = L(\hat{V}, \hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\gamma}, \hat{\delta})$ است که $\hat{\alpha}$ و $\hat{\beta}$ و $\hat{\gamma}$ و $\hat{\delta}$ مقادیر بهینه ضرایب لاگرانژین α و β و γ و δ هستند. به اختلاف بین $\hat{\Psi}$ و $\hat{\Phi}$ فاصله دوگانی می‌گویند [۲۰].

در حالت کلی برای مساله‌های محدب و غیرمحدب، $\Psi \leq \hat{\Phi}$ است اما اگر مساله بهینه‌سازی محدب با حداقل یک نقطه، شدنی باشد، آنگاه $\hat{\Psi} = \hat{\Phi}$ است، که در این حالت اصطلاحاً به دوگانی قوی یا شرایط اسلاتر معروف است [۲۱]. در این مقاله نیز چون می‌خواهیم بهترین نقطه بهینه را برای مساله بیابیم، باید شرایط اسلاتر یا دوگانی قوی برآورده شود. یعنی باید جواب و نقطه بهینه مدل بهینه‌سازی پیشنهادی و دوگان مدل آن یکسان باشد. برای این منظور از شرایط کاروش-کان-تاگر استفاده می‌کنیم [۲۲].

۲-۳- شرایط کاروش-کان-تاگر

از شرایط کاروش-کان-تاگر برای یافتن جواب و نقطه بهینه در مدل بهینه‌سازی استفاده می‌شود. برای این منظور لازم است ابتدا مشتق تابع لاگرانژین نسبت به متغیرها و ضرایب آن محاسبه شود تا شرایط به صورت یک دستگاه چند معادله چند مجهول بدست آید. حل این دستگاه منجر به یافتن جواب و نقطه بهینه برای متغیر V یا مقدار جریان مجازی در شبکه خواهد شد. مشتق تابع لاگرانژین نسبت به متغیرها و ضرایب آن به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} \frac{\partial L(V, \alpha, \beta, \gamma, \delta)}{\partial V_{(i,j)}} &= \frac{B_{Max}}{B_{(i,j)}} \cdot \frac{\partial R_{(i,j)}}{\partial V_{(i,j)}} + \\ & \alpha_i \cdot \frac{\partial \left(\sum_{j \in Ji} (V_{(i,j)})^n \right)^{1/n}}{\partial V_{(i,j)}} + \\ & \beta_i \cdot \frac{\partial (R_{(i,j)} - \sum_{j \in Ji} B_{(i,j)})}{\partial V_{(i,j)}} + \gamma_{(i,j)} \cdot \frac{\partial (-V_{(i,j)})}{\partial V_{(i,j)}} + \end{aligned}$$

مانند x_0 از یک مجموعه باز محدب، برابر بردار v است که به‌ازای هر نقطه x رابطه $f(x) - f(x_0) \geq v \otimes (x - x_0)$ برقرار باشد که در آن f یک تابع محدب روی یک مجموعه باز محدب بوده و الزاماً در همه نقاط مشتق‌پذیر نیست و عملگر \otimes بیانگر ضرب داخلی است. مجموعه همه زیرگرادیان‌های x_0 برای یک تابع محدب را زیرگرادیان در x_0 گویند و با $\partial f(x_0)$ نمایش می‌دهند که یک مجموعه غیرتهی، بسته و محدب است. مقدار زیرگرادیان $\partial f(x_0)$ در بازه بسته و ناتهی $[a, b]$ قرار دارد که $a = \lim_{x \rightarrow x_0^-} \frac{f(x) - f(x_0)}{x - x_0}$ و $b = \lim_{x \rightarrow x_0^+} \frac{f(x) - f(x_0)}{x - x_0}$ است [۲۳].

مدل بهینه‌سازی پیشنهادی در بخش سوم مقاله، یک مدل محدب است و اگر فرض کنیم که X مجموعه‌ای از نقاط بهینه و جواب باشد، مجموعه X باید بسته و محدب و غیرتهی باشد. با فرض وجود نقطه بهینه برای مدل پیشنهادی فوق، می‌توان این مدل پیشنهادی را با استفاده از روش زیرگرادیان حل کرد. در روش زیرگرادیان، در مرحله m ، اگر $x[n] \in X$ یک نقطه از فضای شدنی و $\theta[n]$ اندازه گام و $\omega[n]$ زیرگرادیان تابع لاگرانژین در نقطه $x[n]$ باشد، آنگاه $x[n+1] \in X$ نقطه مرحله بعد و $\hat{x}[n+1]$ نقطه جواب و بهینه خواهد بود. در نتیجه ما با استفاده از تابع نگاشت P_X ، نزدیکترین نقطه به $\hat{x}[n+1]$ را به‌عنوان نقطه $x[n+1]$ در نظر می‌گیریم که روابط آنها به صورت زیر است. بنابراین در هر مرحله از روش زیرگرادیان، در جهت منفی زیرگرادیان، مقدار تابع کاهش داده می‌شود.

$$\hat{x}[n+1] = x[n] - \theta[n] \cdot \omega[n] \quad (26)$$

$$P_X(\hat{x}) = \operatorname{argmin}\{\|x - \hat{x}\| : x \in X\} \quad (27)$$

$$x[n+1] = P_X(\hat{x}[n+1]) \quad (28)$$

لاگرانژین مدل بهینه‌سازی که در بخش سوم این مقاله ارائه شد برای هر گره حسگر مانند i به‌صورت زیر است.

$$L_i(V, \delta)_i = R_{(i,j)} \cdot \frac{B_{Max}}{B_{(i,j)}} + \delta_i \cdot \left(\sum_{j \in J_i} V_{(i,j)} - \sum_{j \in J_i} V_{(j,i)} - \Delta_i \right) \quad (29)$$

$$= R_{(i,j)} \cdot \frac{B_{Max}}{B_{(i,j)}} + \sum_{j \in J_i} V_{(i,j)} \cdot (\delta_i[n] - \delta_j[n]) - \delta_i \cdot \Delta_i$$

مجموع تابع لاگرانژین فوق برای همه گره‌ها، برابر تابع لاگرانژین مدل بهینه‌سازی است.

$$L(V, \delta) = \sum_{i \in N} L_i(V, \delta)_i = \sum_{i \in N} R_{(i,j)} \cdot \frac{B_{Max}}{B_{(i,j)}} + \quad (30)$$

لیه‌ها را حداقل کرده و برای حل این مدل از روش دوگان استفاده کردیم.

همچنین برای محاسبه یک کران پایین و یافتن جواب و نقطه بهینه در مدل بهینه‌سازی از شرایط کاروش-کان-تاکر یا KKT استفاده کردیم که برای این منظور نیاز به محاسبه مشتق تابع لاگرانژین نسبت به متغیرهای آن بود تا شرایط به صورت یک دستگاه چند معادله چند مجهول بدست آید. حل این دستگاه منجر به یافتن جواب و نقطه بهینه برای متغیر V یا مقدار جریان مجازی در شبکه می‌شود. حل شرایط کاروش-کان-تاکر به‌صورت متمرکز برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم با تعداد زیادی گره بسیار مشکل و زمان‌بر و تقریباً غیرعملی است زیرا نیاز است اطلاعات همه گره‌ها در یک گره مرکزی جمع شده و محاسبات انجام شود و سپس جواب حل این معادلات به سایر گره‌ها ارسال شود.

در این بخش، برای رفع این مشکل، یک الگوریتم توزیع شده و تکرار شونده برای حل مدل پیشنهادی ارائه می‌کنیم که در آن بجای انجام مشتق‌ها از ترکیب روش زیرگرادیان و روش تفکیک جریان‌های شبکه استفاده می‌شود و هر گره به صورت محلی و براساس اطلاعات گره‌های هم‌سایه خود این معادلات را محاسبه کرده و مسیریابی بهینه را انجام داده و تصمیم‌گیری کند که بسته‌ها از چه مسیریابی عبور کنند تا مصرف پهنای باند در گره‌های حسگر متعادل شود. روش زیرگرادیان مانند الگوریتم جستجوی عمقی، به‌طور مستقیم در ناحیه جواب، جواب بهینه مساله را جستجو می‌کند و یک دنباله همگرا را تولید می‌کند که نقطه حد این روش یک مینیمم محلی است. روش زیرگرادیان در الگوریتم‌های بهینه‌سازی غیرخطی کاربرد دارد. در روش زیرگرادیان، مقدار تابع هدف همیشه کاهش پیدا نمی‌کند، بلکه ممکن است افزایش یابد. هر نقطه که در مراحل اجرای الگوریتم جستجو تولید می‌شود، شدنی بوده و می‌توان از این نقاط به‌عنوان یک راه‌حل میانی استفاده کرد. اگر فرآیند حل مساله، قبل از رسیدن به راه‌حل متوقف شود، آنگاه نقطه نهایی یک راه‌حل شدنی و احتمالاً راه‌حل بهینه برای مساله اصلی است. سرعت همگرایی روش نیوتن بیشتر از روش زیرگرادیان است اما چون روش زیرگرادیان نسبت به روش نیوتن ساده‌تر و دارای محاسبات کمتری است، اغلب از روش زیرگرادیان برای گره‌های حسگر بی‌سیم با تعداد محاسباتی کم استفاده می‌شود [۲۲].

در ریاضیات، زیرگرادیان مفهومی است که مشتق را برای توابعی مشتق‌ناپذیر تعمیم می‌دهد. مقدار زیرگرادیان یک نقطه

متغیر تصمیم بوده و $argmin$ به معنای یافتن حداقل مقدار برای متغیر تصمیم x است و مقادیر متغیرهای $\delta_i[n]$ و $V_{(i,t)}[n]$ ثابت هستند که متغیر $V_{(i,t)}$ همان $V_{(i,j)}$ بوده با این تفاوت که مقدار جریان مجازی از گره i به گیرنده یا مقصد متفاوتی مانند گره t است. این معادله، یک مساله تک متغیره محدب بوده که پیچیدگی محاسباتی کمی برای هر گره حسگر دارد.

$$V_{(i,j)}[n+1] = \underset{0 \leq x \leq c_i}{argmin} \left\{ \frac{B_{Max}}{B_{(i,j)}} \cdot \left(\sum_{t \in \mathcal{J}i} ((V_{(i,t)}[n])^n + x^n) \right)^{1/n} + x \cdot (\delta_i[n] - \delta_j[n]) \right\} \quad (34)$$

چون الگوریتم پیشنهادی به صورت تصادفی، زیرگردیان تابع یا $(\omega_\delta)_i[n]$ را انتخاب می‌کند، ممکن است شرط خاتمه الگوریتم، حتی با وجود نقطه بهینه $\hat{x}[n]$ هرگز رخ ندهد و الگوریتم همگرا نشود. برای همگرا شدن الگوریتم پیشنهادی باید رابطه $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\|V[n+1]-V[n]\|}{\|V[n+1]\|} = 0$ برقرار باشد. همگرایی الگوریتم زیرگردیان، وابسته به انتخاب اندازه گام یا θ است. اگر اندازه گام در هر مرحله کاهش یابد، همگرایی الگوریتم افزایش می‌یابد؛ به طوری که ابتدا اندازه گام را یک مقدار متوسط انتخاب می‌کنیم و به تدریج با نزدیک شدن به جواب بهینه مساله، مقدار آن را کاهش می‌دهیم. اثبات شده است که اگر اندازه گام سه شرط زیر را داشته باشد، الگوریتم یا به نقطه بهینه ختم می‌شود و یا بعد از تعداد محدودی مرحله، مقدار UB_i نزدیک به $Li(\hat{V}, \hat{\delta})$ خواهد شد [۲۳].

$$\theta[n] > 0 \quad (i)$$

$$\sum_{n \in \mathcal{N}} \theta[n] = \infty \quad (ii)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \theta[n]^2 = 0 \quad (iii)$$

شرط (i) تضمین کرده که مقدار اندازه گام باید مثبت باشد و شرط (ii) تضمین کرده که مقدار اندازه گام یا $\theta[n]$ خیلی سریع کاهش پیدا نکند و تعداد تکرار خیلی کم نشود و شرط (iii) تضمین کرده که با افزایش تعداد تکرارها، احتمال رسیدن به جواب بهینه افزایش یابد و اندازه گام می‌تواند تا صفر کاهش یابد. به عنوان مثال اگر اندازه گام به صورت $\theta[n] = \frac{l}{k+n}$ با l و k مثبت باشد، آنگاه سری به صورت همساز واگرا خواهد بود و هرچه مقدار l بزرگتر انتخاب شود، اندازه گام بزرگتر شده و

$$\sum_{i \in \mathcal{N}} \left(\left(\sum_{j \in \mathcal{J}i} V_{(i,j)} \cdot (\delta_i[n] - \delta_j[n]) \right) - \delta_i \cdot \Delta_i \right)$$

اما ممکن است در بعضی مواقع، مقدار تابع هدف کاهش پیدا نکند و مقدار $\hat{x}[n+1]$ متعلق به X نباشد. لذا لازم است بهترین مقدار $x[n]$ تا مرحله m ام در متغیر \hat{x} ذخیره شده و مقدار متناظر تابع لاگرانژین در این نقطه و به ازای آن مقدار، در حد بالا یا UB به صورت زیر ذخیره شود.

$$UB_i = L_i(V[n], \delta[n])_i = R_{(i,j)} \cdot \frac{B_{Max}}{B_{(i,j)}} + \sum_{j \in \mathcal{J}i} V_{(i,j)} (\delta_i[n] - \delta_j[n]) - \delta_i[n] \cdot \Delta_i \quad (31)$$

در این مرحله، تابع لاگرانژین را به چند تابع کوچکتر تجزیه و گسسته کرده و هر تابع را به یک گره اختصاص می‌دهیم. محاسبه هر تابع در هر گره به صورت همزمان انجام شده و در هر مرحله، گره‌ها باید مقدار جریان مجازی عبوری بین دو گره i و j در مرحله m ام یا $V_{(i,j)}[n]$ و ضریب لاگرانژین مساله در مرحله m ام یا $\delta_i[n]$ را محاسبه کرده و نگهداری کنند و مقدار این متغیرها را با همسایه‌های خود رد و بدل کرده و در نهایت به روز کنند تا مجموع توابع لاگرانژین نیز بهبود یابد. برای این منظور یکبار فرض کرده مقدار متغیر $V_{(i,j)}[n]$ ثابت است و سپس مقدار متغیر $\delta_i[n+1]$ محاسبه و به روز می‌کنیم و یکبار فرض کرده مقدار متغیر $\delta_i[n]$ ثابت است و سپس مقدار متغیر $V_{(i,j)}[n+1]$ را محاسبه و به روز می‌کنیم.

در حالت اول، اگر فرض کنیم مقدار متغیر $V_{(i,j)}[n]$ ثابت باشد، مقدار متغیر $\delta_i[n+1]$ به صورت زیر با روش زیرگردیان محاسبه و به روز می‌شود که در آن، $\theta_\delta[n]$ اندازه گام و $(\omega_\delta)_i[n]$ زیرگردیان یا مشتق تابع لاگرانژین نسبت به متغیر δ_i در $x[n]$ است و $(\cdot)^+$ ، تابع نگاشت است که نزدیک‌ترین نقطه نامنفی را به صورت $(a)^+ = \begin{cases} a & \text{if } a > 0 \\ 0 & \text{if } a \leq 0 \end{cases}$ محاسبه می‌کند [۴].

$$(\omega_\delta)_i[n] = \frac{\partial L_i(V, \delta)_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \in \mathcal{J}i} V_{(i,j)}[n] - \sum_{j \in \mathcal{J}i} V_{(j,i)}[n] - \Delta_i \quad (32)$$

$$\delta_i[n+1] = (\delta_i[n] + \theta_n[n] (\omega_\delta)_i[n])^+ \quad (33)$$

در حالت دوم، اگر مقدار متغیر $\delta_i[n]$ ثابت باشد، مقدار متغیر $V_{(i,j)}[n+1]$ تو سطر هر گره مانند i برای هر یال (i,j) به صورت مستقل و جداگانه به صورت زیر محاسبه و به روز می‌شود که x

شکل ۴، الگوریتم پیشنهادی یا BNCDA را نشان داده که یک الگوریتم توزیع شده براساس کدگذاری شبکه و برای ایجاد تعادل در مصرف پهنای باند در شبکه است. این الگوریتم توسط هر گره حسگر اجرا شده و در هر مرحله یک رشته از نقاط را برای مسیریابی داده‌های کدگذاری شده تولید می‌کند و هر نقطه براساس نقاط قبلی محاسبه می‌شود. هرچه تعداد مراحل برای رسیدن به جواب بهینه و اصلی کمتر باشد، همگرایی الگوریتم بیشتر خواهد بود.

Algorithm BNCDA

Begin

$n \leftarrow 1$;

Select an initial point and select the current point as the optimal point;

$\forall (i, j) \in E : \hat{V}_{(i,j)} = V_{(i,j)}[1] = 0$;

$\forall i \in N : \delta_i = \delta_i[1] = 0$;

Calculating the upper bound of the objective function or UB_i using equation (31);

While ($\forall i \in N \|\omega_{\delta}\|_i[n] \neq 0$)

Begin

Each node calculates the values of variables $V_{(i,j)}[n]$ and $\delta[n]$ and $(\omega_{\delta})_i[n]$ using equations (32) and (33) and (34) and

Sends its output to all the edges; $n++$;

Each node calculates the value of the variables $V_{(i,j)}[n]$ and $V_{(i,j)}[n+1]$ using equations (33), (34) and (6);

If ($[n+1], [n+1] < UB_i$), then

Begin

Update the optimal values of $\hat{V}_{(i,j)}$ and δ_i and UB_i as

$\hat{V}_{(i,j)} = V_{(i,j)}[n+1]; \delta_i = \delta_i[n+1]$;

$UB_i = L_i(V[n+1], \delta[n+1])_i$;

End if

End while

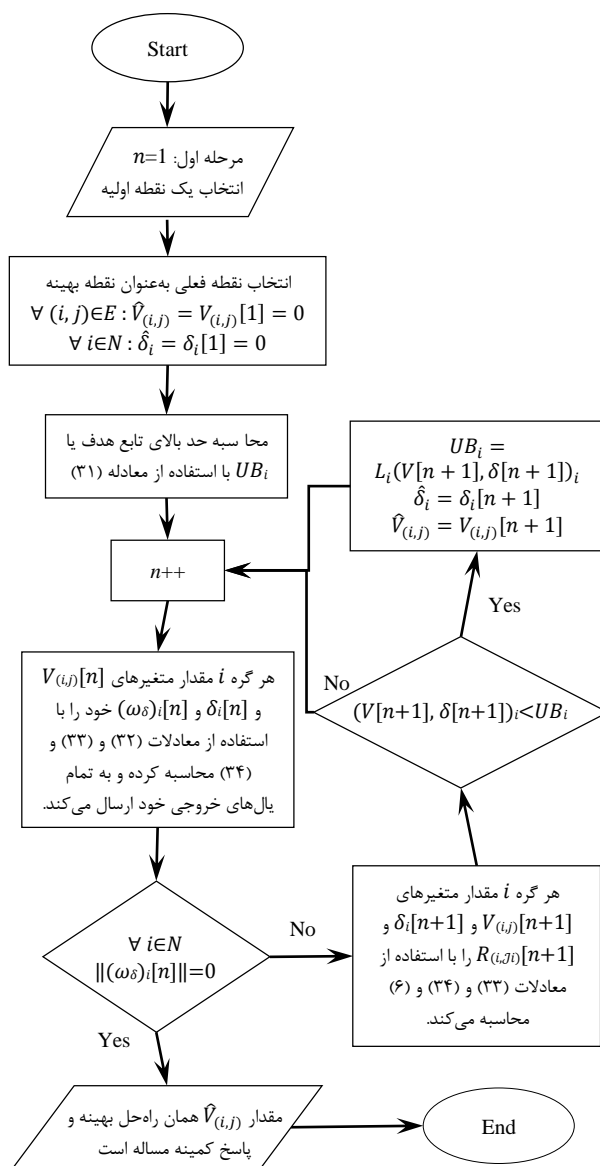
Return the value of $\hat{V}_{(i,j)}$ as the optimal and minimum solution value;

End.

شکل ۴: شبه‌کد الگوریتم پیشنهادی توزیع شده BNCDA

هرچه مقدار k بزرگتر انتخاب شود، اندازه گام کوچکتر می‌شود [۱۴].

شکل ۳، فلوچارت الگوریتم توزیع شده و تکرارشونده پیشنهادی براساس کدگذاری شبکه برای مسیریابی و متعادل کردن مصرف پهنای باند یال‌ها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم را نشان می‌دهد.



شکل ۳: فلوچارت الگوریتم پیشنهادی توزیع شده BNCDA

۵- شبیه‌سازی و ارزیابی کارآیی

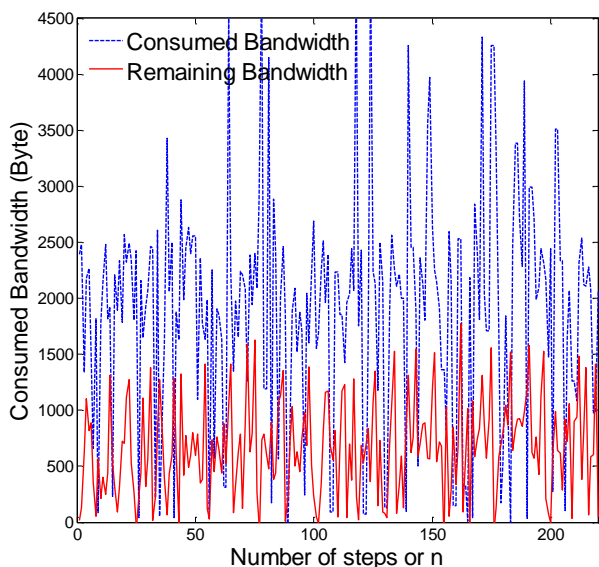
در این بخش، کارایی و عملکرد مدل بهینه‌سازی پیشنهادی یا BNCOM در بخش سوم مقاله و الگوریتم توزیع‌شده پیشنهادی یا BNCDA در بخش چهارم مقاله را از نظر مصرف پهنای باند و کل مقدار جریان مجازی در یال‌ها یا V براساس پارامترهای اندازه گام یا θ و ضریب لاگرانژین یا δ در مراحل مختلف را ارزیابی کرده و سپس آنها را با مدل بهینه‌سازی SIPNec در مقاله [۸] و مدل بهینه‌سازی OPT در مقاله [۱۲] مقایسه و ارزیابی می‌کنیم. مدل بهینه‌سازی SIPNec از کدگذاری شبکه استفاده کرده و برای ارسال داده‌های کدگذاری شده از گره‌های میانی و حمال‌های داده استفاده می‌کند اما ایجاد تعادل در پهنای باند را در نظر نمی‌گیرد.

مدل بهینه‌سازی OPT قبل از ارسال داده‌های کدگذاری شده، مسیریابی داده‌ها را بر اساس دامنه گره‌های χ سگر به صورت آگاهانه و یکنواخت انجام می‌دهد و فقط براساس مسیریابی بهینه است و از کدگذاری شبکه و ایجاد تعادل در پهنای باند استفاده نمی‌کند. مشکل این مدل آن است که اگر یک گره سگر در ادامه مسیر، رویدادی را حس نکند، کل مسیر از بین می‌رود. مدل‌های بهینه‌سازی فوق چون از طریق یک مدل MILP^۷ بدست آمده‌اند، بهترین عملکرد را در تابع هدف خود دارند و پارامترهای اصلی آنها به درستی تنظیم شده است.

شبیه‌سازی‌ها در محیط MATLAB روی رایانه‌ای با پردازنده ۵ هسته‌ای اینتل ۲٫۵ گیگاهرتز و حافظه رم ۶ گیگا بایت اجرا شده است و برای مدل‌سازی مدل‌های بهینه‌سازی از نرم‌افزار AMPL و برای حل مدل‌های بهینه‌سازی از نرم‌افزار CPLEX و کتابخانه PuIp استفاده می‌کنیم. همچنین برای حل مدل بهینه‌سازی BNCOM می‌توانیم از حل معادلات مربوط به شرایط کاروش-کان-تاکر استفاده کنیم.

برای اجرا و پیاده‌سازی الگوریتم توزیع‌شده پیشنهادی BNCDA از زبان پایتون استفاده کرده و برای حل معادلات و نمایش نمودارها از همان نرم‌افزار متلب استفاده می‌کنیم. مقادیر اندازه‌گیری شده، حاصل میانگین ۲۰ بار اجرا و تکرار شبیه‌سازی است و یا شبیه‌سازی را آنقدر تکرار کرده تا انرژی اولین گره سگر خاتمه یابد و لذا نتایج با اطمینان ۹۵٪ و دقت ۵٪ هستند.

ما در مدل شبیه‌سازی شبکه فرض کرده که هر گره χ سگر حداکثر چهار همسایه دارد و گره‌های سگر همزمان هستند و نحوه ارسال و دسترسی گره‌ها به پهنای باند بدون تداخل است و مکان رخ دادن رویدادها به صورت تصادفی و یکنواخت است و نقطه شروع حرکت سینک‌ها به مرکز شبکه نزدیک است و کانال ایده‌آل بوده و ارسال بین گره‌های سگر به صورت هماهنگ از لایه کنترل دسترسی رسانه یا MAC کنترل شده است و هیچ برخورد و خطای داده‌ای رخ نمی‌دهد. همچنین در شبیه‌سازی این مقاله مانند منابع [۵-۳]، فرض کرده ۵۰ گره χ سگر به صورت تصادفی در یک شبکه 100×100 متر مربع مستقر هستند و انرژی اولیه هر گره سگر برابر $e_0=10$ ژول و دامنه ارسال هر گره برابر $r=10$ متر و حداکثر پهنای باند اولیه هر یال برابر $B_{Max}=10$ کیلو بایت و اندازه هر بسته برابر ۱۰ بایت و نرخ تولید بسته در هر گره سگر برابر ۱۰ بسته در هر ثانیه و اندازه بافر هر گره سگر برابر ۱۰۰ کیلوبایت است. شکل ۵، میزان پهنای باند موجود و پهنای باند مصرف شده برحسب بایت در شبکه را در حین اجرای الگوریتم توزیع شده پیشنهادی BNCDA به صورت پویا نشان می‌دهد.



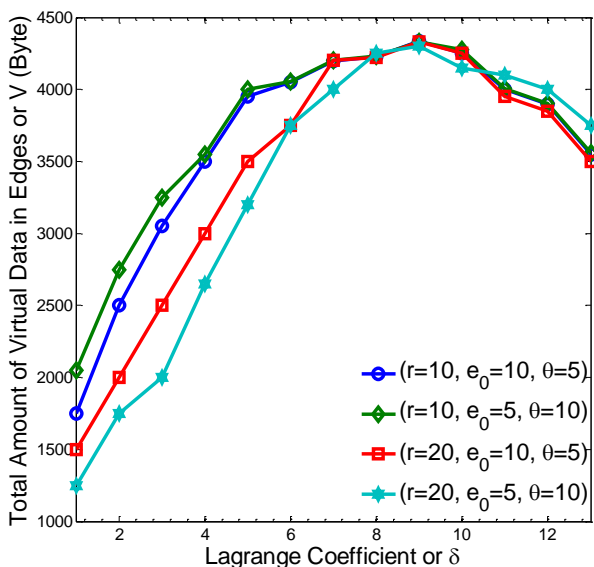
شکل ۵: میزان پهنای باند موجود و پهنای باند مصرف شده در شبکه در حین اجرای الگوریتم توزیع شده پیشنهادی BNCDA

⁷ Mixed-integer linear programming

همانگونه که می‌بینیم، با افزایش اندازه گام از مقدار اولیه تا نقاط نشان داده شده، کل مقدار جریان مجازی در یال‌ها افزایش یافته که بیانگر سازگاری بین فرمول‌های تئوری و نتایج تجربی است. هرچند پس از نقاط نشان داده شده، کل مقدار جریان مجازی در یال‌ها هنوز می‌تواند افزایش یابد، اما همان‌طور که در بخش چهارم مقاله به‌صورت تئوری نشان داده شد، همیشه تضمین چنین افزایشی وجود ندارد.

۲-۵- تاثیر ضریب لاگرانژین δ روی کل مقدار جریان مجازی

در یال‌ها یا V در الگوریتم توزیع‌شده پیشنهادی BNCDA شکل ۷، تاثیر ضریب لاگرانژین δ روی کل مقدار جریان مجازی در یال‌ها یا V را در الگوریتم توزیع‌شده پیشنهادی BNCDA برای چهار مجموعه مختلف گره‌های حسگر نشان می‌دهد. مشاهده شده که با افزایش ضریب لاگرانژین δ در هر مرحله، به دلیل ایجاد تعادل بیشتر در مصرف پهنای باند، کل مقدار جریان مجازی در یال‌ها تا یک نقطه افزایش می‌یابد، اما بعد از آن نقطه، کل مقدار جریان مجازی در یال‌ها کاهش می‌یابد. دلیل آن این است که چون موقعیت گره‌های حسگر ثابت است، هرچه ضریب لاگرانژین δ بیشتر باشد، تعداد گره‌های حسگر بیشتری می‌توانند داده‌های کدگذاری شده خود را در شبکه منتشر کنند و در نتیجه مقدار جریان مجازی در یال‌ها کاهش می‌یابد. در نهایت با افزایش بیش از حد ضریب لاگرانژین δ ، کل مقدار جریان مجازی در یال‌ها در الگوریتم توزیع‌شده پیشنهادی BNCDA به صفر می‌رسد. از نظر تئوری، یافتن مقدار بهینه ضریب لاگرانژین δ نیاز به محاسبات زیادی دارد.



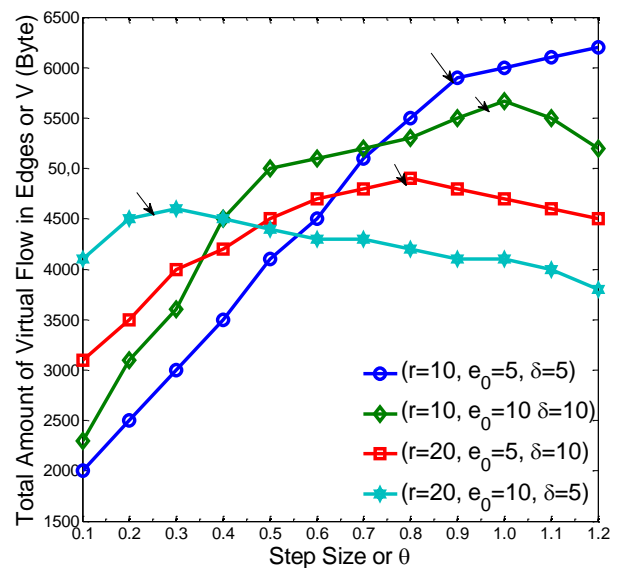
شکل ۷: تاثیر ضریب لاگرانژین δ روی کل مقدار جریان مجازی در یال‌ها یا V در الگوریتم توزیع‌شده پیشنهادی BNCDA

۱-۵- تاثیر اندازه گام یا θ روی کل مقدار جریان مجازی در

یال‌ها یا V در الگوریتم توزیع‌شده پیشنهادی BNCDA

همان‌طور که در بخش چهارم مقاله اشاره شد، همگرایی الگوریتم زیرگردان، وابسته به انتخاب اندازه گام است. اگر اندازه گام در هر مرحله کاهش یابد، همگرایی الگوریتم توزیع‌شده پیشنهادی BNCDA افزایش می‌یابد؛ به‌طوری‌که ابتدا اندازه گام را یک مقدار متوسط انتخاب می‌کنیم و به تدریج با نزدیک شدن به جواب بهینه مساله، مقدار آن را کاهش می‌دهیم. اگر اندازه گام بیش از حد بزرگ باشد، الگوریتم توزیع‌شده پیشنهادی BNCDA از نقطه بهینه دور شده و سری به‌صورت همساز واگرا شده و منجر به عدم تعادل در مصرف پهنای باند می‌شود. همچنین اگر اندازه گام خیلی کوچک باشد، در نقاط بهینه محلی گیر کرده و قبل از پایان عمر شبکه باز هم سبب عدم تعادل در مصرف پهنای باند می‌شود زیرا تعداد تکرارها کاهش یافته و احتمال رسیدن به جواب بهینه اصلی کاهش می‌یابد.

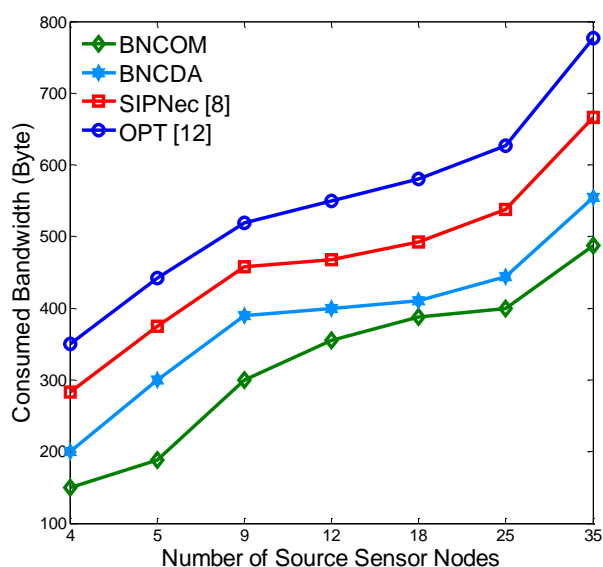
شکل ۸، تاثیر افزایش اندازه گام روی متغیر اصلی V یا کل مقدار جریان مجازی در یال‌ها را در الگوریتم توزیع‌شده پیشنهادی BNCDA برای چهار مجموعه مختلف گره‌های حسگر نشان می‌دهد. این چهار مجموعه گره‌های حسگر برحسب انرژی اولیه یا e_0 ، دامنه ارسال داده یا r ، ضریب لاگرانژین یا δ و اندازه گام یا θ هستند. نقاط نشان داده شده بیانگر مقدار بهینه اندازه گام برای هر مجموعه است که از معادلات (۲۶) و (۳۳) با استفاده از نرم‌افزار متلب محاسبه شده است.



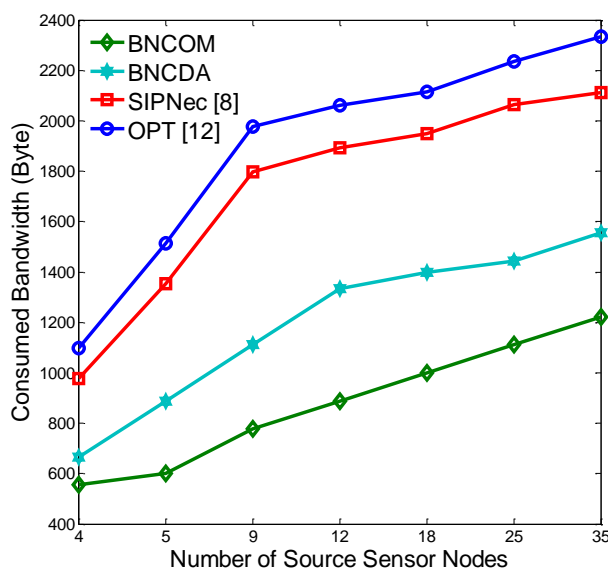
شکل ۸: تاثیر اندازه گام یا θ روی کل مقدار جریان مجازی در یال‌ها یا V در الگوریتم توزیع‌شده پیشنهادی BNCDA و نقاط آستانه اندازه گام برای ۴ مجموعه مختلف از گره‌های حسگر

۳-۵- مجموع پهنای باند مصرف شده در شبکه

شکل‌های ۸ و ۹، نتایج ارزیابی و بررسی تاثیر تعداد گره‌های منبع - حسگر روی مصرف پهنای باند شبکه بر حسب بایت را به ترتیب برای دامنه ارسال گره‌های حسگر ۱۰ و ۲۰ متر نشان می‌دهد. در حالت ۴ گره - حسگر منبع، ۴ گره - حسگر منبع در چهار گوشه شبکه قرار دارند و داده‌های حس شده را تولید کرده و سایر گره‌های میانی، داده‌ها را کدگذاری می‌کنند. حالت ۵ گره حسگر منبع، مانند حالت ۴ گره حسگر منبع بوده با این تفاوت که گره منبع پنجم در مرکز شبکه قرار دارد.



شکل ۸: تاثیر تعداد گره‌های حسگر منبع روی مجموع پهنای باند مصرف شده در شبکه بر حسب بایت با دامنه ارسال ۱۰ متر



شکل ۹: تاثیر تعداد گره‌های حسگر منبع روی مجموع پهنای باند مصرف شده در شبکه بر حسب بایت با دامنه ارسال ۲۰ متر

تعداد گره‌های همسایه یک گره حسگر منبع با دامنه ارسال ۱۰ متر، بین ۲ تا ۴ و با دامنه ارسال ۲۰ متر، بین ۵ تا ۱۲ است. مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد گره‌های حسگر منبع، داده‌های بیشتری تولید شده و پهنای باند بیشتری مصرف می‌شود. استفاده از کدگذاری شبکه سبب کاهش تعداد ارسال‌ها و ترافیک داده‌ها و در نتیجه کاهش مصرف پهنای باند در شبکه می‌شود. در مدل بهینه‌سازی BNCOM، چون مسیریابی داده‌های کدگذاری شده از پهنای باند که پهنای باند آزاد بیشتری دارند، لذا کمترین پهنای باند در شبکه مصرف شده است. همچنین مشاهده شده که با افزایش تعداد گره‌های حسگر منبع، تفاوت بین مدل بهینه‌سازی OPT با سایر مدل‌های بهینه‌سازی بیشتر مشخص می‌شود.

با افزایش دامنه ارسال گره‌های حسگر منبع، تعداد گره‌های همسایه یک گره حسگر منبع افزایش یافته و مصرف پهنای باند در شبکه افزایش می‌یابد. اما با افزایش تعداد همسایه‌ها، فرصت کدگذاری در شبکه نیز افزایش یافته و در نتیجه در مدل‌های بهینه‌سازی BNCOM و SIPNec و الگوریتم توزیع شده پیشنهادی BNCDA که از کدگذاری شبکه استفاده می‌کنند، سبب کاهش مصرف پهنای باند در شبکه نسبت به مدل بهینه‌سازی OPT که فاقد کدگذاری شبکه است می‌شود.

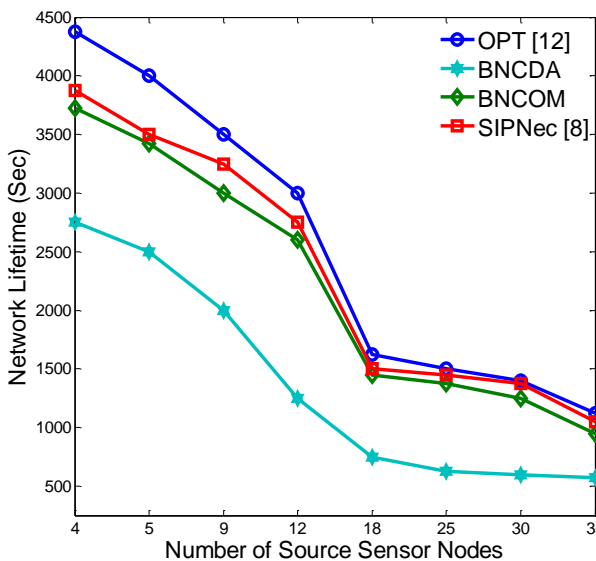
۴-۵- ارزیابی مجموع انرژی مصرف شده در شبکه

شکل‌های ۱۰ و ۱۱، نتایج ارزیابی و بررسی تاثیر تعداد گره‌های حسگر منبع روی مجموع انرژی مصرف شده بر حسب میلی ژول را به ترتیب برای دامنه ارسال گره‌های حسگر ۱۰ و ۲۰ متر نشان می‌دهند. هرچه تعداد گره‌های حسگر منبع کمتر باشد، داده‌های کمتری تولید شده و انرژی کمتری مصرف می‌شود و با افزایش تعداد گره‌های حسگر منبع، داده‌های بیشتری تولید شده و انرژی بیشتری مصرف می‌شود اما از کدگذاری شبکه بیشتر می‌توان استفاده کرد که سبب کاهش تعداد ارسال‌ها و ترافیک داده‌ها و در نتیجه کاهش انرژی در شبکه می‌شود. با افزایش دامنه ارسال گره‌های حسگر، تعداد همسایگان افزایش یافته و مصرف انرژی افزایش می‌یابد اما با افزایش تعداد همسایه‌ها، فرصت کدگذاری شبکه افزایش یافته و در نتیجه سبب کاهش مصرف انرژی در الگوریتم توزیع شده پیشنهادی BNCDA نسبت به روش‌های فاقد کدگذاری می‌شود.

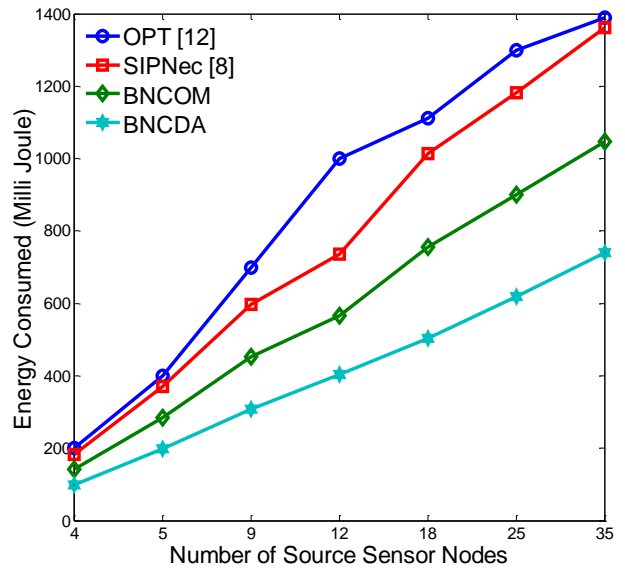
چون فقط به تعیین مسیر بهینه برای ارسال داده‌ها می‌پردازد و از کدگذاری شبکه استفاده نمی‌کند، به دلیل کوتاه بودن مسیر ارسال بسته‌ها، طول عمر بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها دارد.

۵-۵- ارزیابی و بررسی طول عمر شبکه

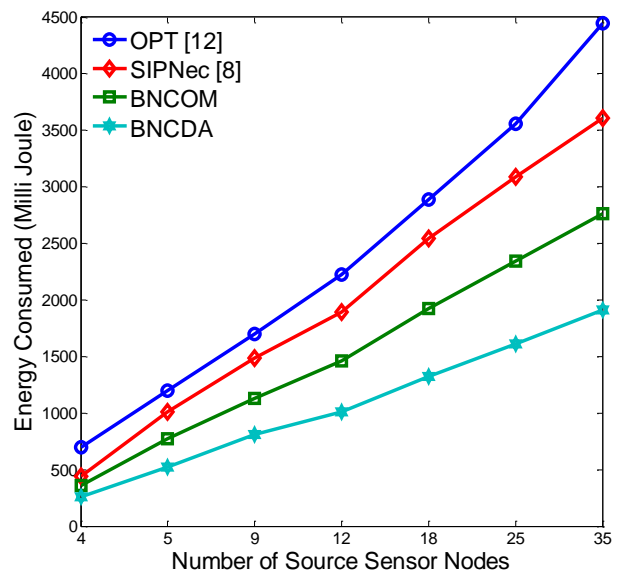
یکی از مهمترین اهداف در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، طولانی‌تر شدن عمر شبکه است. در این مقاله، مانند منابع [۶، ۷]، عمر شبکه را از زمان استقرار گره‌های حسگر تا تخلیه انرژی اولین گره حسگر تعریف می‌کنیم. چون مصرف انرژی برای ارسال بسته‌ها در گره‌های حسگر خیلی بیشتر از مصرف انرژی برای کدگذاری بسته‌ها در گره‌ها است، لذا طول عمر گره‌های حسگر نسبت معکوس با نرخ تولید بسته‌ها توسط گره‌های حسگر دارد. شکل ۱۲، تاثیر افزایش تعداد گره‌های حسگر منبع روی طول عمر شبکه بر حسب ثانیه را نشان می‌دهد. مشاهده شده که چون همه مدل‌های بهینه‌سازی از تعیین مسیر بهینه استفاده می‌کنند، تقریباً روند مشابهی دارند و با افزایش تعداد گره‌های حسگر منبع، میزان ارسال داده‌ها افزایش یافته و در نتیجه مصرف انرژی نیز در آنها افزایش یافته و در نتیجه طول عمر شبکه در آنها کاهش می‌یابد. همچنین مشاهده شده که چون مدل بهینه‌سازی BNCOM فقط به ایجاد تعادل در مصرف پهنای باند می‌پردازد و بسته‌ها را از یال‌هایی ارسال می‌کند که پهنای باند خالی بیشتری دارند، لذا شانس کدگذاری شبکه در این مدل کمتر از مدل بهینه‌سازی SIPNec بوده و طول عمر مدل بهینه‌سازی SIPNec بیشتر از مدل بهینه‌سازی BNCOM است.



شکل ۱۲: تاثیر تعداد گره‌های حسگر منبع روی میانگین عمر شبکه بر حسب ثانیه



شکل ۱۰: تاثیر تعداد گره‌های حسگر منبع روی مجموع انرژی مصرف شده در شبکه بر حسب بایت با دامنه ارسال ۱۰ متر



شکل ۱۱: تاثیر تعداد گره‌های حسگر منبع روی مجموع انرژی مصرف شده در شبکه بر حسب بایت با دامنه ارسال ۲۰ متر

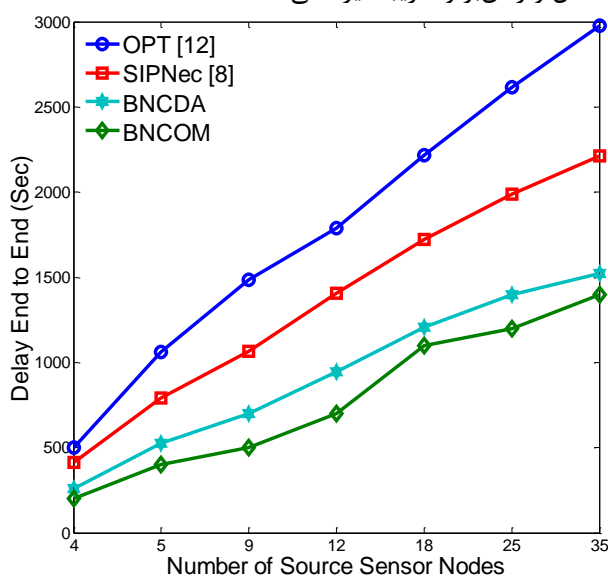
مشاهده شده که با افزایش تعداد گره‌های حسگر منبع، تفاوت بین مدل‌هایی بهینه‌سازی که از کدگذاری شبکه استفاده می‌کنند با مدل بهینه‌سازی OPT که فاقد کدگذاری شبکه است بیشتر مشخص می‌شود. مدل بهینه‌سازی SIPNec نیز چون تعادل در مصرف پهنای باند را در نظر نمی‌گیرد، عملکرد ضعیف‌تری نسبت به مدل بهینه‌سازی BNCOM دارد. همچنین چون الگوریتم توزیع شده پیشنهادی BNCDA، مسیریابی بسته‌های کدگذاری شده را بین گره‌های حسگر در هر مرحله به صورت پیوسته و توزیع شده انجام می‌دهد، طول عمر کوتاه‌تری نسبت به مدل‌های بهینه‌سازی دارد. مدل بهینه‌سازی OPT نیز

۵-۶- ارزیابی و بررسی میانگین تاخیر انتها به انتها

پارامتر تاخیر انتها به انتها داده‌ها برای کاربردهای بلادرنگ در شبکه بسیار اهمیت دارد و وابسته به تعداد گره‌های حسگر منبع و نرخ تولید داده و بار ترافیکی است. شکل ۱۳، نتایج ارزیابی و بررسی تاثیر تعداد گره‌های حسگر منبع روی میانگین تاخیر انتها به انتها برحسب ثانیه را نشان می‌دهد.

مشاهده شده که با افزایش تعداد گره‌های حسگر منبع، میزان داده‌ها در سطح شبکه افزایش یافته و میزان تاخیر برای ارسال داده‌های کدگذاری شده افزایش می‌یابد. اما چون مدل بهینه‌سازی BNCOM و الگوریتم توزیع‌شده پیشنهادی BNCDA از کدگذاری شبکه و ایجاد تعادل روی مصرف پهنای باند یال‌ها استفاده می‌کنند، سبب کاهش بسته‌های کدگذاری شده و تداخل و برخورد داده‌ها در لایه فیزیکی کمتر شده و در نتیجه نسبت به مدل‌های بهینه‌سازی SIPNec و OPT تاخیر انتها به انتها کمتری دارند. همچنین چون الگوریتم توزیع‌شده پیشنهادی BNCDA یک الگوریتم تکرارشونده است و برای مسیریابی بسته‌ها نیاز به چندین مرحله دارد، تاخیر آن بیشتر از مدل بهینه‌سازی BNCOM است.

اما چون مدل‌های بهینه‌سازی BNCOM و SIPNec و OPT به صورت متمرکز حل می‌شوند نیاز است که اطلاعات همه گره‌ها در یک گره مرکزی جمع شده و سپس مدل‌های بهینه‌سازی حل شوند و محاسبات انجام شده و آنگاه جواب محاسبات به سایر گره‌ها ارسال شود. بنابراین روش حل متمرکز برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم با تعداد زیاد گره بسیار مشکل و زمان‌بر و تقریباً غیرعملی است.

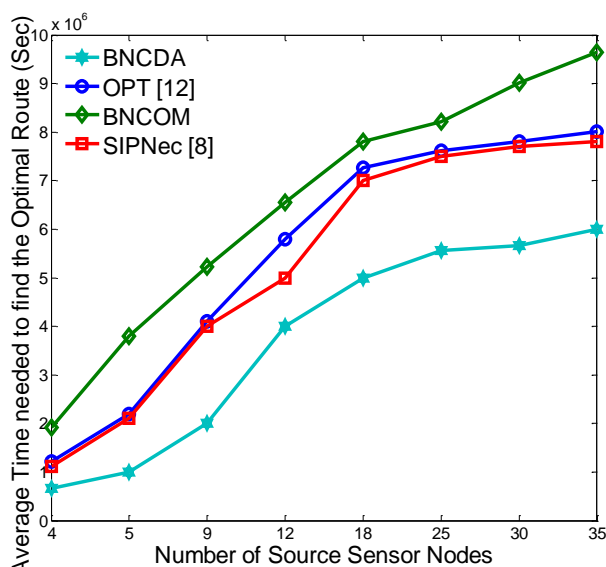


شکل ۱۳: تاثیر تعداد گره‌های حسگر منبع روی میانگین تاخیر انتها به انتها شبکه برحسب ثانیه

۵-۷- پیچیدگی زمانی برای رسیدن به جواب بهینه

از عوامل دیگر در ایجاد تاخیر، پیچیدگی زمانی برای حل مدل و رسیدن به جواب بهینه است. انرژی لازم برای انجام محاسبات در گره‌های حسگر خیلی کمتر از انرژی مورد نیاز برای ارسال بسته‌ها است. اما گره‌های حسگر، توانایی محاسبات ضعیفی دارند و نمی‌توانند محاسبات پیچیده را انجام دهند. لذا هرچه پیچیدگی محاسبات کمتر باشد، کارایی مسیریابی بسته‌ها بهتر خواهد بود. شکل ۱۴، نتایج ارزیابی و بررسی تاثیر تعداد گره‌های حسگر منبع روی میانگین زمان لازم برای یافتن مسیر بهینه را برحسب ثانیه نشان می‌دهد.

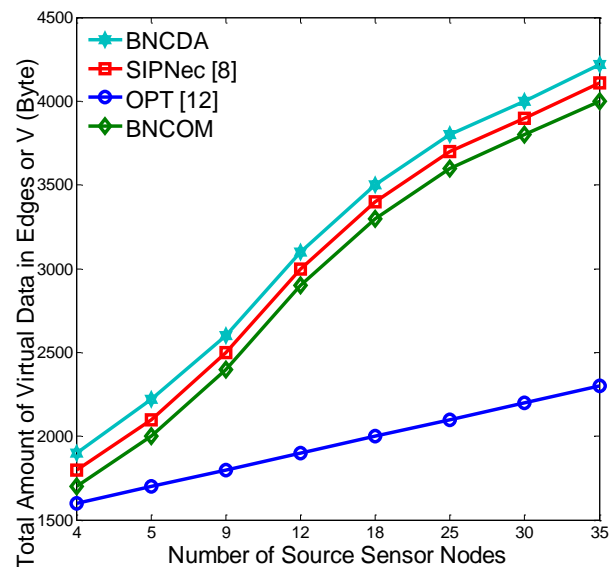
مشاهده شده که زمان لازم برای یافتن مسیر بهینه در الگوریتم توزیع‌شده پیشنهادی BNCDA به مراتب کمتر از مدل‌های بهینه‌سازی BNCOM و SIPNec و OPT است. زیرا این الگوریتم، توزیع‌شده بوده و نیاز به جمع‌آوری اطلاعات کل شبکه در یک نقطه متمرکز نیست و محاسبات ساده‌ای دارد، لذا گره‌های حسگر به راحتی و همزمان می‌توانند این الگوریتم را اجرا کنند. بنابراین این الگوریتم در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با تعداد زیادی گره قابل اجرا و مقیاس‌پذیر است. البته تعداد تکرار الگوریتم توزیع‌شده پیشنهادی BNCDA وابسته به سرعت همگرایی است.



شکل ۱۴: تاثیر تعداد گره‌های حسگر منبع روی میانگین زمان لازم برای یافتن مسیر بهینه را برحسب ثانیه

۸-۵- ارزیابی کل مقدار جریان مجازی در یال‌ها یا V

کل مقدار جریان مجازی در یال‌ها نسبت عکس با فاصله بین گره‌های حسگر دارد و هرچه فاصله بین گره‌های حسگر کمتر شود، مقدار جریان مجازی بیشتری روی یال‌ها در جریان خواهد بود. شکل ۱۵، نتایج ارزیابی و بررسی تاثیر تعداد گره‌های حسگر منبع روی کل مقدار جریان مجازی در یال‌ها برحسب بایت تا دقیقه ۲۰ را نشان می‌دهد. مشاهده شده که با افزایش تعداد گره‌های حسگر منبع، کل مقدار جریان مجازی در یال‌ها یا V در همه مدل‌ها و الگوریتم توزیع شده پیشنهادی BNCDA افزایش می‌یابد. چون مدل‌های بهینه‌سازی BNCOM و SIPNec و OPT متمرکز و بهینه هستند و از مسیریابی آگاهانه داده‌های کدگذاری شده در شبکه استفاده می‌کنند، سبب کاهش طول مسیریابی بین گره‌های حسگر و کاهش کل مقدار جریان مجازی در یال‌ها می‌شوند. هرچه تعداد گره‌های حسگر منبع کمتر باشد، طول مسیر ارسال داده‌ها افزایش یافته که سبب کاهش کل مقدار جریان مجازی در یال‌ها می‌شود. اما با افزایش تعداد گره‌های حسگر منبع، استقرار گره‌های حسگر منبع در مرکز بیشتر شده و طول مسیریابی داده‌های کدگذاری شده کاهش یافته و کل مقدار جریان مجازی در یال‌ها افزایش می‌یابد.



شکل ۱۵: تاثیر تعداد گره‌های حسگر منبع روی کل مقدار جریان مجازی در یال‌ها یا V برحسب بایت

همچنین مشاهده شده که کل مقدار جریان مجازی در یال‌ها در الگوریتم توزیع شده پیشنهادی BNCDA بیشتر از مدل‌های بهینه سازی است. به طوری که اگر تعداد گره‌های حسگر منبع برابر ۴ باشد، فاصله بین الگوریتم توزیع شده پیشنهادی

BNCDA با دو مدل بهینه‌سازی BNCOM و SIPNec تقریباً یک کیلو بایت و با مدل بهینه سازی OPT تقریباً دو کیلو بایت است و اگر تعداد گره‌های حسگر منبع برابر ۳۵ باشد، فاصله بین الگوریتم توزیع شده پیشنهادی BNCDA و دو مدل بهینه‌سازی BNCOM و SIPNec تقریباً تغییر نمی‌کند اما فاصله بین الگوریتم توزیع شده پیشنهادی BNCDA و مدل بهینه‌سازی OPT بسیار بیشتر (۱۵ برابر) می‌شود که دلیل آن عدم استفاده مدل بهینه‌سازی OPT از کدگذاری شبکه و ایجاد تعادل در مصرف پهنای باند است.

۶- نتیجه‌گیری

یکی از محدودیت‌ها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، میزان پهنای باند موجود در شبکه است. مساله یافتن مسیر بهینه برای ارسال داده‌ها و ایجاد تعادل در مصرف پهنای باند شبکه، یک مساله NP-hard است. در این مقاله، یک مدل بهینه سازی با هدف تعیین مسیر بهینه برای ارسال داده‌ها و ایجاد تعادل در مصرف پهنای باند با استفاده از کدگذاری شبکه در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه شد. چون برای حل مدل بهینه‌سازی باید اطلاعات به یک گره مرکزی ارسال شود، برای حل این مشکل یک الگوریتم توزیع شده و تکرار شونده ارائه شده که بر اساس روش زیرگردان و روش تفکیک جریان‌های شبکه است و به صورت پویا و پیوسته و بر اساس پهنای باند باقیمانده گره‌های حسگر، مسیر بهینه را برای ارسال داده‌های کدگذاری شده تعیین می‌کند.

اثربخشی مدل بهینه‌سازی و الگوریتم توزیع شده پیشنهادی با چندین بار اجرای شبیه‌سازی برحسب تعداد گره‌های حسگر منبع و ضریب لاگرانژین و اندازه گام بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهند که مدل و الگوریتم پیشنهادی به دلیل مسیریابی آگاهانه و کدگذاری شبکه می‌تواند پارامترهای میانگین زمان لازم برای یافتن مسیر بهینه، کل مقدار جریان مجازی در یال‌ها، میانگین تاخیر انتها به انتها شبکه، پهنای باند مصرف شده، میانگین طول عمر شبکه و انرژی مصرف شده را بهبود بخشد و یا نسبت به مدل‌های دیگر خیلی ضعیف عمل نکنند. همچنین الگوریتم پیشنهادی قابلیت مقیاس‌پذیری بسیار خوبی دارد، زیرا محاسبات به صورت توزیع شده و غیر متمرکز انجام شده و وابستگی کمی بین گره‌ها وجود دارد.

در مدل بهینه‌سازی و شبیه‌سازی این مقاله برای ساده شدن مساله، فرض شده که محیط باز و مسطح است و پوشش رادیویی کاملاً منظم است و گره‌ها همزمان هستند و ارسال و

- Journal of Network and Computer Applications*, vol. 121, pp. 89-118, 2018/11/01/, 2018.
- [11] E. Kharati, "Creating Balance on Bandwidth Consumption using Network Coding in Wireless Sensor Networks," *Majlesi Journal of Electrical Engineering*, vol. 14, no. 3, pp. 23-38, 2020.
- [12] C. Lv, Q. Wang, W. Yan, and J. Li, "A sparsity feedback-based data gathering algorithm for Wireless Sensor Networks," *Computer Networks*, vol. 141, pp. 145-156, 2018/08/04/, 2018.
- [13] R. Logambigai, S. Ganapathy, and A. Kannan, "Energy-efficient grid-based routing algorithm using intelligent fuzzy rules for wireless sensor networks," *Computers & Electrical Engineering*, vol. 68, pp. 62-75, 2018/05/01/, 2018.
- [14] C. Li, J. Bai, J. Gu, X. Yan, and Y. Luo, "Clustering routing based on mixed integer programming for heterogeneous wireless sensor networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 72, pp. 81-90, 2018/04/01/, 2018.
- [15] O. M. Al-Kofahi, and A. E. Kamal, "Transmissions Scheduling in Network Coding-Based Resilient WSNs," *Resilient Wireless Sensor Networks*, pp. 53-65: Springer, 2015.
- [16] C. Abreu, F. Miranda, and P. M. Mendes, "Smart context-aware QoS-based admission control for biomedical wireless sensor networks," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 88, pp. 134-145, 2017/06/15/, 2017.
- [17] N. Javaid, S. Hussain, A. Ahmad, M. Imran, A. Khan, and M. Guizani, "Region based cooperative routing in underwater wireless sensor networks," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 92, pp. 31-41, 2017/08/15/, 2017.
- [18] I. L. C. Vasconcelos, I. C. Martins, C. M. S. Figueiredo, and A. L. L. Aquino, "A data sample algorithm applied to wireless sensor network with disruptive connections," *Computer Networks*, vol. 146, pp. 1-11, 2018/12/09/, 2018.
- [19] A. Abuarqoub, M. Hammoudeh, B. Adebisi, S. Jabbar, A. Bounceur, and H. Al-Bashar, "Dynamic clustering and management of mobile wireless sensor networks," *Computer Networks*, vol. 117, pp. 62-75, 2017/04/22/, 2017.
- [۲۰] خراطی احسان (۲۰۲۰). "کنترل مسیریابی چاهک‌های متحرک برای حداکثر کردن مقدار داده جمع‌آوری شده و طول عمر در شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیرآب." *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*.
- [21] M. Koç, and I. J. I. J. o. D. S. N. Korpeoglu, "Controlled sink mobility algorithms for wireless sensor networks," vol. 10, no. 4, pp. 167508, 2014.
- [22] T. Ho, B. Leong, R. Koetter, M. Médard, M. Effros, and D. R. Karger, "Byzantine modification detection in multicast networks with random network coding," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 54, no. 6, pp. 2798-2803, 2008.
- [23] H. Kaushal, and G. Kaddoum, "Underwater optical wireless communication," *IEEE access*, vol. 4, pp. 1518-1547, 2016.
- دسترسی گره‌ها به پهنای باند بدون تداخل است، که در کار در آینده می‌توان این مدل را در شرایط واقعی مانند داخل ساختمان یا تحت شرایط سخت و پوشش‌های رادیویی نامنظم و همراه با تداخل در نظر گرفت.
- ### مراجع
- [1] E. Kharati, M. Khalily-D, and H. Kermajani, "Increasing the Value of Collected Data and Reducing Energy Consumption Using Network Coding and Mobile Sinks in Wireless Sensor Networks", *AUT Journal of Modeling and Simulation*, 2019.
- [2] E. Kharati, M. Khalily-Dermayn, and H. Karmajani, "Increasing the Amount of Collected Data using Network Coding and Continuous Movement of Mobile Sinks in Wireless Sensor Networks," *IET Networks*, 2019.
- [3] E. Kharati, "Mobile Sink Routing Control to Maximize the Amount of Collected Data and Lifetime in Underwater Wireless Sensor Networks," *TABRIZ JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING (TJEE)*, vol. 50, no. Computer, 2020.
- [4] E. Kharati, M. Khalily-D, and H. Kermajani, "Optimized sink control to increase the lifetime of underwater wireless sensor networks", *Computer and Knowledge Engineering*, 2019. 9.
- [5] E. Kharati, "Decrease round-trip time in Reno TCP," 6th International Symposium on Telecommunications (IST), IEEE, pp 733-736, 2012.
- [6] E. Kharati, and M. Khalily-Dermayn, "Determination of the Multicast Optimal Route for Mobile Sinks in a Specified Deadline Using Network Coding and Tabu Search Algorithm in Wireless Sensor Networks," *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Electrical Engineering*, 2020/08/17, 2020.
- [7] S. Basagni, A. Carosi, E. Melachrinoudis, C. Petrioli, and Z. M. Wang, "A New MILP Formulation and Distributed Protocols for Wireless Sensor Networks Lifetime Maximization." pp. 3517-3524.
- [8] N. Sabor, S. Sasaki, M. Abo-Zahhad, and S. M. Ahmed, "A comprehensive survey on hierarchical-based routing protocols for mobile wireless sensor networks: review, taxonomy, and future directions," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2017, 2017.
- [9] Z. Fei, B. Li, S. Yang, C. Xing, H. Chen, and L. Hanzo, "A survey of multi-objective optimization in wireless sensor networks: Metrics, algorithms, and open problems," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 19, no. 1, pp. 550-586, 2017.
- [10] W. Rehan, S. Fischer, and M. Rehan, "Anatomizing the robustness of multichannel MAC protocols for WSNs: An evaluation under MAC oriented design issues impacting QoS,"

Increasing the Amount of Data and Reducing the Cost of Using Network Coding in Wireless Sensor Networks

Abstract:

This paper presents an optimization model to increase the amount of data collected and balance the bandwidth consumption of the edges and uses network coding. To solve this model, the dual method is used and to calculate a lower bound and find the optimal answer and point in the optimization model, the Karush-Kun-Tucker condition is used, which requires calculating the derivative of the Lagrangian function with respect to its variables. Solving this problem and equations in polynomial time is very difficult, time consuming and almost impractical due to the involvement of different parameters and limited resources of wireless sensor networks with a large number of nodes, so to solve this problem, a distributed and iterative algorithm is proposed. It uses the sub gradient method and the network flow separation method. The effectiveness of the proposed model and algorithm has been investigated by simulation in terms of number of source sensor nodes, Lagrangian coefficient and step size. Up to 23% of bandwidth consumed, average network life and energy consumed.

Keywords: Wireless Sensor Networks, Network Coding, Optional Route, Bandwidth.

ارائه‌ی یک روش بهبودیافته مبتنی بر رویکردهای انتشار برچسب و بهینه‌سازی ماژولاریتی برای تشخیص جوامع در شبکه‌های اجتماعی پویا

محمد ستاری* کامران زمانی فر**

* مرکز تحقیقات فناوری اطلاعات در امور سلامت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

** گروه مهندسی نرم‌افزار، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۰۹

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

تشخیص جوامع در شبکه‌های اجتماعی پویا یکی از مهمترین موضوعات تحقیقاتی است که در سالیان اخیر مورد توجه قرار گرفته است. رویکردهای گوناگونی برای تشخیص جوامع در شبکه‌های اجتماعی در حالت پویا وجود دارد که در بین آنها، رویکرد انتشار برچسب دلیل سادگی و کارایی انتخاب شده است. این رویکرد شامل روش‌های بسیاری است که غالباً تصادفی هستند. از میان این روش‌ها، روش رتبه‌بندی برچسب مبتنی بر زمان یک روش قطعی است. البته مسلماً این روش هم با مشکلاتی مواجه است، یکی از مشکلات این است وقتی یک گره می‌خواهد به یک جامعه بپیوندد، ساختار درونی آن جامعه در نظر گرفته نمی‌شود. بنابراین برای حل این مشکل، یک رویکرد حریصانه برای بهبود رویکرد انتشار برچسب استفاده شده است. رویکرد جدید ارائه‌شده و دیگر روش‌های مورد ارزیابی در مجموعه داده‌های واقعی و مصنوعی مورد آزمایش قرار می‌گیرند. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی نسبت به روش‌های دیگر از لحاظ میزان صحت و قابلیت افراز به نسبت بهتر عمل کرده است.

واژگان کلیدی: رتبه‌بندی برچسب مبتنی بر زمان حریصانه، رتبه‌بندی برچسب مبتنی بر زمان، رویکرد انتشار برچسب، تشخیص جوامع، شبکه‌ی اجتماعی پویا

۱. مقدمه

تراکم ارتباطی پایینی با گره‌های خارج از جامعه دارند [۱]. تشخیص جوامع نه تنها برای بهبود بازاریابی مفید است، بلکه می‌تواند به بهبود مسیریابی در شبکه کمک کند [۲ و ۳]. روش‌های بسیاری برای تشخیص جوامع به صورت ایستا در شبکه‌های اجتماعی وجود دارد [۴-۶]، این در حالیست که شبکه‌های اجتماعی ذاتاً پویا هستند و مدام در حال تغییر هستند.

رویکردهای مختلفی برای تشخیص جوامع در حالت پویا وجود دارد [۷-۱۰] که در بین آنها، رویکرد

شبکه‌های اجتماعی میلیون‌ها و حتی میلیاردها کاربر را از سراسر جهان در سال‌های اخیر به سوی خود جلب کرده‌اند. برای مثال، شبکه‌ی اجتماعی فیسبوک بیش از یک میلیارد کاربر دارد. یک شبکه‌ی اجتماعی، مجموعه‌ای از گره‌ها و یال‌ها است گره‌ها معادل با کاربران شبکه هستند و یال‌ها، وابستگی بین گره‌ها مانند دوستی، خویشاوندی، همکاری‌بودن و غیره را مشخص می‌کند. یکی از موضوعات مطرح در زمینه‌ی شبکه‌های اجتماعی، مبحث تشخیص جوامع است. به طور کلی یک جامعه در یک شبکه‌ی اجتماعی، مجموعه‌ای از گره‌ها است که تراکم ارتباطی بین آنها بالاست. در عین حال

روش پیشنهادی و دیگر روش‌های مورد ارزیابی براساس معیارهای کیفیت افراز، صحت و سرعت با هم مقایسه می‌شوند.

در بخش دوم کارهای مرتبط بیان می‌شوند. در بخش سوم مقدمات بیان خواهد شد و در بخش چهارم، روش پیشنهادی تشریح خواهد شد. در بخش پنجم، ارزیابی و بخش ششم، نتیجه‌گیری خواهد بود.

۲. کارهای مرتبط

رویکردهای مختلفی برای تشخیص جوامع در شبکه‌های اجتماعی وجود دارد که مهمترین این رویکردهای شامل تئوری بازی، انتشار برچسب و بهینه‌سازی ماژولاریتی است.

۲-۱ تئوری بازی

در رویکرد تئوری بازی [۱۵، ۱۶]، هر گره به عنوان یک عامل در نظر گرفته می‌شود که قصد دارد بهره‌وری خود را بهبود دهد. نقطه‌ی ضعف این رویکرد، این است که گره‌هایی که در هر نما وارد شبکه‌ی اجتماعی می‌شوند به نوعی تابع جوامعی قبلی موجود در شبکه‌های اجتماعی هستند و شانس ایجاد جوامع جدید را ندارند.

۲-۲ رویکرد بهینه‌سازی ماژولاریتی

در رویکرد بهینه‌سازی ماژولاریتی [۱۹-۱۷]، هر گره به صورت یک عامل در نظر گرفته می‌شود و هر عملی که گره انجام می‌شود در جهت بهبود ماژولاریتی است. یکی از مشکلات این رویکرد، ایجاد جوامع تک عضوی با تعداد اعضای کم است. روش [19] که به نام C-Blondel شناخته می‌شود، روشی سریعتر از روش لووین [20] بود. دلیل سریع‌تر بودن روش، کاهش اندازه‌ی گراف‌های فشرده‌شده در هر نما بود. این روش بر مبنای این ایده بود که گره‌های و یال‌هایی که در یک نما به گراف اضافه و یا حذف می‌شوند، تاثیر زیادی در نزدیکترین همسایه‌های خود دارند. بنابراین تاثیر رویدادهای افزودن و حذف گره و یال در این روش بررسی می‌شود.

۲-۳ رویکرد انتشار برچسب

رویکرد انتشار برچسب، یک رویکرد ساده و کارا است. ایده‌ی روش‌های مبتنی بر انتشار برچسب برای تشخیص جوامع در ابتدا توسط راگاون و همکاران [۶] مطرح شد

انتشار برچسب به دلیل سادگی و کارایی انتخاب شده است [۶]. در این رویکرد، هر گره یک برچسب به صورت یکتا دارد که آن را با همسایگانش به اشتراک می‌گذارد. در نهایت، برچسب‌های مشابه جوامع را مشخص می‌کنند. این رویکرد با توجه به محلی بودن، قابلیت اجرا به صورت موازی را دارد [۱۱]. رویکرد انتشار برچسب، مزایای زیادی دارد، ولی تصادفی بودن این رویکرد می‌تواند منجر به این شود که نتایج آن در اجراهای مختلف، متفاوت شود. یکی از مهمترین روش‌هایی که سعی کرده است قابلیت تصادفی بودن این رویکرد را به قطعی بودن تبدیل کند، روش رتبه‌بندی برچسب مبتنی بر زمان [۱۲] نام دارد که مبتنی بر روش رتبه‌بندی برچسب [۱۳] است.

در روش رتبه‌بندی برچسب مبتنی بر زمان، هر گره در ابتدای یک بردار توزیع برچسب دارد که آن را با گره‌های همسایه‌اش به اشتراک می‌گذارد. در واقع بردار هر گره در طی ۴ گام انتشار، تورم، بریدن و بروزرسانی شرطی دوباره مقاداردهی خواهد شد. گام‌های ۱ تا ۴ چندین مرتبه اعمال خواهد شد. در نهایت گره‌هایی که برچسب‌های با بیشترین احتمال‌شان مشابه هستند، تشکیل یک جامعه را می‌دهند. در این روش، معمولاً یک گره‌ی که در یک نما به شبکه‌ی اجتماعی اضافه می‌شود به جامعه‌ای می‌پیوندد که بیشترین یال را به آن دارد بدون آنکه ساختار داخلی جوامع را در نظر بگیرد. این مسئله منجر به کاهش دقت تشخیص جوامع در شبکه‌های اجتماعی در حالت پویا خواهد شد. در روش ارائه‌شده برای حل این مسئله، استفاده از یک رویکرد به نام بهینه‌سازی ماژولاریتی^۴ در کنار روش رتبه‌بندی برچسب مبتنی بر زمان پیشنهاد شده است. در این رویکرد از معیاری به نام ماژولاریتی محلی [۱۰] برای در نظر گرفتن ساختار جوامع استفاده شده است. در رویکرد پیشنهادی، در نمای اولیه، روش رتبه‌بندی مبتنی بر زمان استفاده می‌شود و در نماهای بعدی، ترکیبی از روش رتبه‌بندی مبتنی بر زمان و رویکرد حریصانه مبتنی بر بهبود ماژولاریتی محلی^۵ استفاده می‌شود. روش رتبه‌بندی مبتنی بر زمان حریصانه به عنوان نام روش پیشنهادی در نظر گرفته شده است.

مجموعه داده‌های مورد استفاده، مجموعه داده‌های واقعی و مصنوعی هستند. مجموعه داده‌های مصنوعی به کمبود جوامع حقیقی در مجموعه داده‌های واقعی استفاده شده‌اند.

⁵ Local Modularity

⁶ Synthetic

¹ Label Propagation

² LabelRankT

³ LabelRank

⁴ Modularity Optimization

به طوری که در آن تشخیص جوامع به صورت مجزا در حالت ایستا در نظر گرفته می‌شود. راگاون اعتقاد داشت که در رویکرد انتشار برچسب، ۹۵٪ گره‌ها پس از انجام ۵ تکرار، تقریباً برچسب نهایی خود را انتخاب می‌کنند [۶]. لیونگ و همکاران [۲۱] پتانسیل انتشار برچسب را برای شبکه‌های اجتماعی در حالت پویا مطرح کردند. آنها اعتقاد داشتند که با توجه به محلی بودن روش انتشار برچسب، این امکان وجود دارد که به صورت پویا انجام شود.

روش‌های مختلفی مبتنی بر انتشار برچسب در حالت پویا وجود دارد. یکی از این روش‌ها، روش رتبه‌بندی برچسب مبتنی بر زمان [۸] است که یک روش قطعی مبتنی بر رویکرد انتشار برچسب است. یکی از نقاط ضعف این روش، در نظر نگرفتن ساختار جوامع در هنگام پیوستن یک گره به جامعه است. هان و همکاران [۲۲] روش انتشار برچسب منطبق را برای تشخیص جوامع در شبکه‌های اجتماعی در حالت پویا ارائه دادند. در این روش، رویکرد انتشار برچسب در نمای اولیه استفاده می‌شود. در نماهای دوم به بعد مشابه روش تشخیص جوامع ذاتا طولی^۱ برای هر تغییر به صورت جداگانه عمل می‌شود. یکی از نقاط ضعف این روش، این است که ساختار قبلی جامعه با افزودن یک یال می‌تواند از بین رود.

لیو و همکاران [۲۳] روش انتشار برچسب برجسته‌ی گسترش‌یافته که ارتقایافته‌ی روش انتشار برچسب برجسته [۲۴] بود، برای تشخیص جوامع در شبکه‌های اجتماعی در حالت پویا ارائه دادند. در این روش، مفهومی به نام برچسب برجسته برای هر گره تعریف شده است که نشان‌دهنده‌ی جامعه‌ی اصلی آن گره است. این روش، قابلیت تشخیص جوامع همپوشان و مجزا را با هم فراهم کرده است. در واقع جامعه‌ی اصلی هر گره متناظر با جوامع مجزا هستند. یکی از نقاط ضعف این روش، این است که ممکن است ماکزیمم محلی به عنوان بیشترین بهره‌وری گره در نظر گرفته شود. زینژنگ و همکاران روش دیگری [۲۵] را برای تشخیص جوامع مبتنی بر انتشار برچسب در شبکه‌های اجتماعی پویا ارائه داد. در این روش از الگوریتم ژنتیک در کنار انتشار برچسب جهت تشخیص جوامع در شبکه‌های اجتماعی استفاده شده است. یکی از نقاط ضعف این روش، این است که گره‌های جدیدی که در هر نما وارد می‌شوند معمولاً عضو جوامع گره‌های قبلی می‌شوند.

۳. مقدمات

در این قسمت در ابتدا علائمی که استفاده شده است، مختصراً توضیح داده می‌شود و سپس روش رتبه‌بندی برچسب مبتنی بر زمان توضیح داده خواهد شد.

۳-۱ علائم

به طور کلی، یک شبکه توسط یک گراف $G(V,E)$ بیان می‌شود که در آن V مجموعه‌ی رئوس و E مجموعه‌ی یال‌ها است. در این مقاله از جهت یال‌ها صرف‌نظر شده است. جامعه به صورت مجموعه‌ای از گره‌ها در نظر گرفته می‌شود که توسط Com بیان می‌شود. با توجه به اینکه روش ارائه‌شده، جوامع غیر همپوشان یا مجزا را در نظر می‌گیرد، تشخیص جامعه به صورت ماژول‌های مجزا با چگالی درونی بالا و چگالی بیرونی پایین تعریف می‌شود. شبکه‌ی اجتماعی پویا، به صورت مجموعه‌ای از نماها تعریف می‌شود. این نماها در یک مجموعه‌ی داده‌ای واقعی در دوره‌های زمانی مختلف از سیستم گرفته می‌شود، در حالی که در مجموعه‌های داده‌ای مصنوعی تولید می‌شوند. هر نما متناسب با یک گراف است. نماد T بیان‌کننده‌ی شماره‌ی نما است که از یک شروع می‌شود.

۳-۲ رتبه‌بندی برچسب مبتنی بر زمان

در این روش، فرض می‌شود که تعداد کل گره‌ها برابر با n باشد. در این روش، رتبه‌بندی برچسب [۱۳] در نمای اول اعمال می‌شود. بدین‌صورت که هر گره یک بردار توزیع برچسب اسپارس به طول تعداد n دارد که هر درایه‌ی این بردار، احتمال عضویت برچسب متناظر با آن درایه را برای گره موردنظر مشخص می‌کند. در ابتدا احتمال عضویت کلیه‌ی برچسب‌ها مساوی و برابر با $\frac{1}{n}$ است. در ادامه برای کلیه‌ی گره‌ها، توزیع برچسب در طی ۴ گام انتشار، تورم، بریدن و بروزرسانی شرطی دوباره مقداردهی خواهد شد [۱۲]. گام‌های ذکر شده به صورت ذیل انجام می‌شود:

می‌شود. بخش ایستا جوامع را در نمای اولیه تشخیص می‌دهد و بخش پویا جوامع را در نماهای دوم به بعد تشخیص می‌دهد.

۴-۱ بخش ایستا

این بخش شامل اولین نما از گراف شبکه‌ی اجتماعی است که الگوریتم تشخیص جوامع بر روی آن پیاده‌سازی می‌شود. در این بخش، روش رتبه‌بندی برچسب بکار برده می‌شود به گونه‌ای که به هر گره، یک بردار توزیع برچسب اختصاص داده می‌شود. سپس گره‌ها بردار توزیع برچسب خود را به صورت همگام بروز می‌کنند. در نهایت گره‌هایی که محتمل‌ترین برچسب‌هایشان مشابه هستند تشکیل یک جامعه را می‌دهند. بنابراین جوامعی که بدین صورت تشخیص داده شدند به عنوان ورودی به بخش پویا داده خواهند شد.

۴-۲ بخش پویا

این بخش شامل نمای دوم به بعد است. این بخش، یک روشی را ارائه می‌کند که تشخیص جوامع را بهبود دهد. برای رسیدن به این هدف، از یک معیار به نام ماژولاریتی محلی استفاده می‌شود. در ماژولاریتی محلی، فرض می‌شود که یک جامعه به دو بخش مرکزی و مرزی تقسیم می‌شود و هر چه ارتباطات در بخش مرکزی بیشتر و در بخش مرزی کمتر باشد، ماژولاریتی بیشتر خواهد شد. این معیار به صورت ذیل محاسبه می‌شود [۲۶]:

$$Lm = \frac{\sum_{v \in D} IK_v}{\frac{|D|}{\sum_{v \in D} EK_v}} \quad (1)$$

که D یکی از جوامع تشخیص داده شده است و B گره‌های مرزی D را در برمی‌گیرد. گره‌ی می‌تواند گره‌ی مرزی باشد که حداقل یک همسایه خارج از مجموعه‌ی D داشته باشد [26]. نماد IK_v تعداد ارتباطات بین گره v و بقیه‌ی گره‌های موجود در D را بیان می‌کند. نماد EK_v تعداد ارتباطات بین گره‌ی v و گره‌ها در S را بیان می‌کند. مجموعه‌ی S شامل گره‌هایی هست که مجاور گره‌های مجموعه‌ی D هستند، ولی به این مجموعه تعلق ندارند.

روش ارائه‌شده، روش رتبه‌بندی برچسب را با یک رویکرد بهینه‌سازی ماژولاریتی به صورت محلی ترکیب می‌کند. در ابتدا، این روش، یک مجموعه‌ی جوامع کاندیدا برای

(۱) **گام انتشار:** در گام انتشار، هر گره ماتریس برچسب خود را برای گره‌های همسایه‌اش ارسال می‌کند. سپس هر گره میانگین ماتریس برچسب‌های ارسال شده توسط همسایگانش را محاسبه کرده و به عنوان ماتریس برچسب جدیدش در نظر می‌گیرد.

(۲) **گام تورم:** در این گام، عملگر تورم اعمال می‌شود. بدین صورت که احتمال هر برچسب در ماتریس برچسب جدید بروزسانی می‌شود. در واقع برای هر برچسب، احتمالش به توان عملگر تورم می‌رسد و بر مجموع احتمال کلیه‌ی برچسب‌ها به توان عملگر تورم تقسیم می‌شود. بدین ترتیب احتمال جدید برچسب محاسبه می‌شود. این عمل باعث می‌شود که میزان احتمال برچسب‌های محتمل افزایش یابد و متعاقباً میزان احتمال برچسب‌هایی که محتمل نیستند، کاهش یابد.

(۳) **گام قطع کردن:** برچسب‌هایی که احتمالشان کمتر از یک مقدار آستانه است از ماتریس برچسب گره‌ها حذف می‌شوند. این گام، تعداد درایه‌های بردار برچسب را به میزان زیادی کاهش می‌دهد.

(۴) **گام بروزسانی شرطی:** در گام بروزسانی شرطی، بروزسانی‌های ذکرشده در صورتی که ماتریس برچسب گره تفاوت محسوسی با گره‌های همسایه داشته باشد، تغییر خواهد کرد. بنابراین می‌توان گفت که این گام به دنبال حفظ ساختار جوامع است.

گام‌های ۱ تا ۴ چندین مرتبه اعمال خواهد شد. در نهایت گره‌هایی که برچسب‌های با بیشترین احتمالشان مشابه هستند، تشکیل یک جامعه را می‌دهند. در نماهای دوم به بعد، برای گره‌هایی که یال‌های متصل به آنها تغییر نکرده‌اند، توزیع برچسب آنها تغییری نمی‌کند. اما برای بقیه‌ی گره‌ها، روش رتبه‌بندی برچسب اعمال می‌شود و توزیع برچسب در طی ۴ فاز انتشار، تورم، قطع کردن و به‌روزرسانی شرطی دوباره مقداردهی خواهد شد. این مقداردهی دوباره چندین مرتبه اعمال شده و هرکدام از این گره‌های تغییر یافته به یکی از جوامع موجود می‌پیوندند. در نهایت گره‌هایی که محتمل‌ترین برچسب‌هایشان مشابه هستند تشکیل یک جامعه را می‌دهند.

۴. روش پیشنهادی

در این مقاله، یک رویکرد حریصانه‌ی جدید به روش رتبه‌بندی برچسب مبتنی بر زمان به نام بهینه‌سازی ماژولاریتی اضافه شده است. روش پیشنهادی به دو بخش ایستا و پویا تقسیم

میانگین ماتریس برچسب‌های ارسال شده توسط همسایگانش را محاسبه کرده و به عنوان ماتریس برچسب جدیدش در نظر می‌گیرد.

(۲) گام تورم: در این گام، عملگر تورم اعمال می‌شود. بدین صورت که احتمال هر برچسب در ماتریس احتمال کلیه‌ی برچسب‌ها به توان عملگر تورم تقسیم می‌شود. بدین ترتیب احتمال جدید برچسب محاسبه می‌شود. این عمل باعث می‌شود که شانس انتخاب برچسب‌ها با احتمال بالا، بیشتر افزایش یابد و متعاقباً شانس انتخاب برچسب‌ها با احتمال پایین، بیشتر کاهش یابد.

(۳) گام قطع کردن: برچسب‌هایی که احتمالشان کمتر از یک مقدار آستانه است از ماتریس برچسب گره‌ها حذف می‌شوند. این گام، تعداد درایه‌های بردار برچسب را به میزان زیادی کاهش می‌دهد.

(۴) گام بروزرسانی شرطی: در گام بروزرسانی شرطی، بروزرسانی‌های ذکر شده در صورتی که ماتریس برچسب گره تفاوت محسوسی با گره‌های همسایه داشته باشد، تغییر خواهد کرد. این گام به دلیل حفظ ساختار جوامع است.

گام‌های فوق چندین مرتبه اجرا شده و در نهایت گره‌های که محتمل‌ترین برچسب‌های مشابه هستند، تشکیل یک جامعه را می‌دهند.

۴-۳ الگوریتم روش پیشنهادی

این الگوریتم براساس وجود دو بخش ایستا و پویا برای روش به صورت الگوریتم ۱ و ۲ مشخص می‌شود. در الگوریتم ۱ که شامل بخش ایستای روش است. در ابتدا، بردار توزیع برچسب مقداردهی اولیه می‌شود. سپس گام-های روش رتبه‌بندی برچسب بر روی گره‌ها و یال در اولین نما پیاده‌سازی می‌شود. در آخر، جوامع تشخیص داده شده و به عنوان ورودی نمای دوم در نظر گرفته می‌شوند.

الگوریتم ۲ شامل بخش پویای روش می‌شود و نام آن، رتبه‌بندی برچسب حریصانه است. در این الگوریتم، در ابتدا برای کلیه‌ی گره‌ی تغییر یافته، مجموعه‌های D و S ایجاد می‌شوند. سپس، گره‌هایی که به D اتصال دارند ولی جزئی از D نیستند به عنوان مجموعه‌ی S در نظر گرفته می‌شوند. هر یک از اعضای مجموعه‌ی S به عنوان یک جامعه در نظر گرفته شده و هر یک از اعضای مجموعه‌ی B و D به عنوان یک گره لحاظ می‌شوند. در میان اعضای مجموعه‌ی S ، جامعه‌ی با بیشترین افزایش

هر گره‌ی تغییر یافته ایجاد می‌کند. این مجموعه شامل جوامعی است که این گره حداقل یک یال به آنها دارد. در واقع یک گره می‌تواند به یکی از این مجموعه‌ها بپیوندد. اینکه کدامیک را انتخاب کند برحسب ماژولاریتی محلی مشخص می‌شود.

در واقع برای هر یک از جوامع موجود در مجموعه‌ی جوامع کاندیدا، معیار ماژولاریتی محلی محاسبه می‌شود. سپس میزان بهبود یا عدم بهبود ماژولاریتی محلی با افزودن آن گره محاسبه شده و از بین جوامع، جامعه‌ی که بیشترین بهبود را در معیار ماژولاریتی محلی ایجاد کرده است به عنوان جامعه‌ی کاندیدا در نظر گرفته می‌شود. پس از اینکه جامعه‌ی کاندیدا برای گره مورد نظر مشخص شد، بردار توزیع جامعه‌ی انتخاب شده در یک ضریب α ضرب شده و بردار توزیع دیگر جوامع در یک ضریب β ضرب می‌شود. مقدار α بزرگتر از یک و مقدار β کوچکتر از یک خواهد بود. استفاده از این ضرایب، شانس رویدادهایی مرتبط با جامعه‌ی منتخب را افزایش می‌دهد در واقع شانس رویدادهای جوامع دیگر را کاهش می‌دهد. به طوری که هر چه مقدار α بیشتر از یک باشد، شانس این رویدادها بیشتر خواهد بود. در مقابل هر چه مقدار β به صفر نزدیکتر باشد، شانس رویدادهای جوامع دیگر بیشتر کاهش می‌یابد. در واقع اگر جامعه‌ی منتخب معادل با جامعه‌ی باشند که گره قبلاً به آن تعلق داشته، شانس رویداد باقی‌ماندن در جامعه افزایش می‌یابد. در غیراینصورت، شانس رویدادهای تغییر یا توسعه افزایش می‌یابد. در واقع استفاده از ماژولاریتی محلی می‌تواند در مدیریت بهتر موثر باشد. یک بردار توزیع جدید برای هر گره‌ی تغییر یافته به صورتی که در ذیل آمده است، محاسبه می‌شود.

$$p_i = \frac{\sum_{j \in \text{neighbour}(i)} \text{coef}_j p_j}{k} \quad (2)$$

که p_i و p_j به ترتیب بردارهای توزیع گره‌های i و j هستند و نماد k ، تعداد همسایگان گره‌ی i را مشخص می‌کند.

همچنین ضریب coef_j ، ضریب گره‌ی i را تعیین می‌کند. هر یک از گره‌ها، ممکن است چندین ضریب متناظر با گره‌های تغییر یافته‌ی متفاوت داشته باشند. به بیان دیگر، برای هر یک از گره‌های تغییر یافته، روش رتبه‌بندی برچسب بردار توزیع هر گره را به صورت مجزا محاسبه می‌کند و بردار توزیع گره‌های همسایه بدون تغییر باقی می‌ماند. این روش شامل ۴ گام است:

(۱) گام انتشار: در این گام، هر گره ماتریس برچسب خود را برای گره‌های همسایه‌اش می‌فرستد. سپس آن گره

الگوریتم ۲: رتبه بندی برچسب حریصانه
Algorithm 2 : GreedyLabelRank

1. input : snapshot G (V,E) ([1,2,...,T])
2. **for** t=2:T **do**
 tracking the changed nodes in G(t) due to the changes in the edges they attach to since t-1
3. **for each** changed nodes cn
4. Create empty set s,d,B
5. add cn to D and B
6. add all candidate
 Community of D to S
7. **For all** Com ∈ S **do**
8. **compute** L_m
9. **end for**
10. **Find** CCOM with the
 maximum increasing L_m
11. **Compute** coefficient of
 cn and its neighbours based on Com
12. **repeat**
13.
$$P'_{cn} = \frac{\sum_{j \in \text{neighbour}(cn)} \text{coeff}_j * p_j}{N}$$
 //
 compute label distribution vector
- $$P'_{cn} = \Gamma_{in} P$$
 // Inflate the node
 label distribution vector to contract the
 propagation
15.
$$P'_{cn} = \Phi_r P'$$
 // Remove the node
 labels that are below the threshold
16.
$$P'_{cn} = \Theta_q (P', P)$$
 // Conditional
 updating for the node label
 distribution vector
17. **until** stop criterion satisfied
18. **end for**
19. copy label distribution of unchanged
 nodes
20. **end for**

در ماژولاریتی محلی انتخاب شده و نام آن CCom قرار داده می‌شود. سپس ضرایب گره‌های تغییر یافته و همسایگان براساس CCom محاسبه می‌شود. در ادامه، بردار توزیع برچسب برای هر یک از گره‌های تغییر یافته براساس ضرایب و عملگرهای رتبه‌بندی برچسب دوباره مقداردهی می‌شوند. بروزرسانی بردار برچسب تا زمانی انجام می‌شود که شرایط متوقف شدن بروزرسانی فراهم شود. شرط توقف در بروزرسانی، این است که تعداد گره‌هایی که بردار بروزرسانی‌شان تغییر می‌کند از یک آستانه‌ی از پیش تعریف شده کمتر باشد. آستانه‌ی از پیش تعریف شده براساس تعداد گره‌های موجود در مجموعه داده‌های مورد ارزیابی تعیین می‌شود. و در نهایت بردار توزیع برچسب‌های تغییر نیافته کپی شده و جوامع استخراج خواهند شد.

الگوریتم ۱: رتبه بندی برچسب
Algorithm 1 : LabelRank [9]

1. input : snapshot G (V,E) ([0])
2. add selfloop to adjacency matrix W
3. initialize label distribution P
4. **repeat**
5.
$$P' = W * P$$
 // Propagate label
 distribution vector
6.
$$P' = \Gamma_{in} P'$$
 // Inflate label
 distribution vector to contract the
 propagation
7.
$$P' = \Phi_r P'$$
 // Remove labels that are
 below the threshold
8.
$$P' = \Theta_q (P', P)$$
 // Conditional updating
9. **until** stop criterion satisfied
10. output communities

۴-۴ پیچیدگی زمانی

نماد n را تعداد گره‌ها و نماد m را تعداد یال‌ها در نظر بگیرید. در بخش ایستای روش، قسمت انتشار برچسب بر روی یال‌ها اجرا شده و بقیه‌ی قسمت‌ها بر روی گره‌ها اجرا می‌شوند. بنابراین پیچیدگی زمانی این قسمت متناظر با تعداد یال‌ها و برابر با $O(m)$ است. در بخش دوم که متناظر با بخش پویا است، دو قسمت مهم وجود دارد. قسمت اول که متناظر با محاسبه‌ی ماژولاریتی محلی است و پیچیدگی زمانی آن بر حسب $O(n*m)$ خواهد بود. قسمت دوم که متناظر با روش روش رتبه-بندی برچسب است که بر حسب $O(m)$ خواهد بود لذا با توجه به اینکه t نما داریم، بنابراین پیچیدگی زمانی بر روی کلیه‌ی نماها برابر با $O(n*m*t)$ خواهد بود. با توجه

مقاله درون این مجموعه‌ی داده‌ای به مقاله‌ای خارج از پایگاه داده ارجاع بدهد هیچ یالی بین آنها ایجاد نخواهد شد و گراف مجموعه داده هیچ اطلاعی در این مورد نخواهد داد.

۵. ارزیابی Arxiv HEP-TH [۲۹]: یکی دیگر از مجموعه

داده‌های ارجاع مقالات است که مقالات موجود در زمینه‌ی تئوری فیزیک را پشتیبانی می‌کند. مشابه مجموعه داده‌ی قبلی، مقالات را معادل گره در گراف شبکه‌ی اجتماعی و ارجاعات بین مقالات را به عنوان یال‌های گراف در نظر می‌گیرد. این مجموعه داده شامل ۲۷۷۷۰ گره و ۳۵۲۸۰۷ یال است. این مجموعه‌ی داده‌ای مقالات ۱۱ سال را از ژانویه ۱۹۹۳ تا آوریل ۲۰۰۳ و مقالات و ارتباطات بین آنها در هر دو ماه را به عنوان یک نما در نظر می‌گیرد. تفاوت این مجموعه داده با مجموعه داده‌ی قبلی در این است که تعداد نماها را نسبت به مجموعه‌ی قبلی کاهش داده است.

۲-۱-۵ مجموعه داده‌های مسیریابی

۱-Autonomous System-Oregon-1 [۲۹]: یک

سیستم خودکار است که شامل روترهایی است که بین ۳۱ مارس ۲۰۰۱ تا ۲۶ می ۲۰۰۱ ایجاد شده‌اند. این سیستم شامل ۱۱۱۷۴ گره و ۲۳۴۰۹ یال است که گره‌ها همان روترها و یال‌ها جریان ارتباطی بین آنها را نشان می‌دهند. نکته‌ای که این مجموعه‌ی داده‌ای را نسبت به مجموعه داده‌های دیگر جدا می‌کند، این است که بازه‌ی زمانی کوتاه‌تری را در نظر گرفته است (تقریباً ۲ ماه). بنابراین نماهای کوچکتری در نظر گرفته می‌شوند. در این مجموعه داده، هر هفته به عنوان یک نما در نظر گرفته می‌شود. تمایز این مجموعه داده با مجموعه داده‌ی ارجاع مقالات، این است که گره‌ها و یال‌ها علاوه بر اینکه اضافه می‌شوند، می‌توانند حذف شوند. پس تعداد گره‌ها می‌تواند کم یا زیاد شوند.

۲-Autonomous Systems AS-73 [۲۹]: یک

سیستم خودکار است که شامل روترهایی است که بین نوامبر ۱۹۹۷ تا ژانویه ۲۰۰۰ ایجاد شده‌اند. بنابراین بازه‌ی زمانی بیشتری را نسبت به مجموعه داده‌ی قبلی در نظر می‌گیرد. این سیستم شامل ۶۴۷۴ گره و ۱۳۸۹۵ یال است که گره‌ها همان روترها و یال‌ها جریان ارتباطی بین آنها را نشان می‌دهند. تعداد نماهای این مجموعه ۷۳۳ نما است که بیشترین تعداد نما را در بین مجموعه

به اسپارس بودن شبکه‌ها، اگر m را متناظر با $O(kn)$ در نظر بگیریم که k ، درجه‌ی شبکه‌ی است، آنگاه پیچیدگی زمانی بر حسب $O(n^2 * k * t)$ خواهد بود.

۵. ارزیابی

در این بخش، صحت و زمان اجرای روش پیشنهادی و دو روش رتبه‌بندی برچسب مبتنی بر زمان [۱۳]، نسخه‌ی غیر همپوشان روش انتشار برچسب برجسته‌ی گسترش یافته [۲۳]، روش الگوریتم ژنتیک چند هدفه پویا مبتنی بر انتشار برچسب [27] و روش [19] C-Blondel را بر روی مجموعه‌ی های داده‌ای واقعی و مصنوعی مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. در این قسمت در ابتدا مجموعه‌های داده‌ای معرفی می‌شوند و سپس معیارهای ارزیابی بیان خواهند شد. در نهایت، نتایج ارزیابی روش پیشنهادی و روش‌های موجود بر روی شبکه‌ی واقعی و مصنوعی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۵ معرفی مجموعه داده‌های واقعی

مجموعه داده‌های واقعی شامل مجموعه‌های ارجاع مقالات و مسیریابی است که در مورد هر یک از آنها صحبت خواهیم کرد. تفاوت این دو مجموعه در این است که در مجموعه‌های ارجاع مقالات، یگانه رویدادی که برای گره و یال‌ها اتفاق می‌افتد، رویداد افزودن گره یا یال است. در حالیکه در مجموعه‌ی داده‌ای مسیریابی، علاوه بر رویداد افزودن، حذف نیز اتفاق می‌افتد.

۱-۱-۵ مجموعه داده‌های ارجاع مقالات

مجموعه داده‌های ارجاع مقالات شامل مقالات و ارتباط بین آنها است. ارتباط بین دو مقاله بدین صورت شکل می‌گیرد که یک مقاله به مقاله دیگر ارجاع دهد. در واقع ارتباط بین مقالات، یک ارتباط جهت‌دار خواهد بود. نکته‌ای وجود دارد، این است که یک مقاله می‌تواند به مقاله‌ای ارجاع دهد که پیش از آن چاپ شده است.

۲-Arxiv HEP-PH [۲۸]: این یک مجموعه ارجاع

مقالات است که شامل مقالاتی است که بین ژانویه ۱۹۹۳ تا آوریل ۲۰۰۳ چاپ شده‌اند. این مجموعه‌ی داده‌ای شامل ۳۴۵۴۶ گره و ۴۲۱۵۷۸ یال است که در آن گره‌ها نشان‌دهنده‌ی مقالات و یال‌ها وجود ارجاع بین آنها را نشان می‌دهند. به عنوان مثال اگر مقاله‌ی i به مقاله‌ی j ارجاع داده باشد، آنگاه یک یال جهت‌دار بین گره‌ی i و گره‌ی j وجود دارد. این مجموعه داده، مقالاتی که در هر ماه چاپ شده‌اند را به عنوان یک نما در نظر می‌گیرد. لازم به ذکر است اگر یک

ارائه‌ی یک روش بهبودیافته مبتنی بر رویکردهای انتشار برچسب و بهینه‌سازی ماژولاریتی برای تشخیص جوامع در شبکه‌های اجتماعی پویا

است که تعداد گره‌ها را نشان می‌دهد. پارامتر n برای مجموعه داده‌ی مصنوعی برابر با ۶۰۰۰ است. پارامتر k پارامتر بعدی است که میانگین درجات گره‌ها را نشان می‌دهد که برای این مجموعه داده، میانگین درجات ۳۰ است.

سمبل $maxd$ ماکزیمم درجات یک گره را نشان می‌دهد. سمبل $minc$ و $maxc$ به ترتیب مینیمم و ماکزیمم اندازه‌ی یک جامعه را نشان می‌دهد. همچنین

پارامتر	مقدار
S	10
N	6000
k	30
maxd	50
minc	25
maxc	80
O_{nc}	3
μ	0.3

جدول ۳. پارامترهای مرکزی برای ایجاد مجموعه داده‌های مصنوعی

سمبل O_n نشان‌دهنده‌ی تعداد گره‌هایی است که عضو بیش از یک جامعه هستند سمبل O_{nc} تعداد جوامعی که گره‌های فوق‌الذکر به آن تعلق دارد را بیان می‌کند. در جدول ۴ پارامترهای سفارشی آمده است که تعداد هر یک از رویدادها در زوج مرتب رویدادها مشخص شده است.

تعداد	رویدادها
۲۰	ایجاد و مردن جوامع قبلی
۲۰	گسترش و افول جوامع قبلی
۲۰	گسترش و زنده ماندن جوامع قبلی
۲۰	تغییر یک جامعه

جدول ۴. پارامترهای سفارشی استفاده شده برای ایجاد مجموعه داده‌های مصنوعی

داده‌ها به خود اختصاص داده است. در مقابل کمترین تعداد گره‌ها در بین مجموعه داده‌ها مورد ارزیابی دارد.

مجموعه داده	Autonomous Systems - Oregon-1	Autonomous Systems AS-73
تعداد گره‌ها	11174	6474
تعداد یال‌ها	23409	13895
تعداد نماها	9	733
نوع	بدون جهت، مبتنی بر زمان، بدون وزن	جهت‌دار، مبتنی بر زمان، بدون وزن

جدول ۱. مجموعه داده‌های ارجاع مقالات

مجموعه داده	Arxiv HEP-TH	Arxiv HEP-PH
تعداد گره‌ها	27770	34546
تعداد یال‌ها	352807	421578
تعداد نماها	62	124
نوع	جهت‌دار، مبتنی بر زمان، بدون وزن	بدون جهت، مبتنی بر زمان، بدون وزن

۵-۲ مجموعه داده‌های مصنوعی

جدول ۲. مجموعه داده‌های مسیریابی

مجموعه داده‌های مصنوعی مجزا در این مقاله در نظر گرفته شده است که پارامترهای مورد نیاز برای مجموعه داده‌های مصنوعی براساس LFR معرفی شده در [۳۰] مشخص شده است. پارامترهای اصلی برای ایجاد این مجموعه داده در جدول ۳ آمده است. سمبل k معادل با تعداد نماهای مورد نیاز برای ایجاد این گونه از شبکه‌هاست. در جدول ۳، سمبل k ، مقدار ۱۵ را گرفته است که نشان‌دهنده‌ی این است که مجموعه داده‌ی مصنوعی شامل ۱۰ نما است. پارامتر دیگری که برای ایجاد مجموعه داده‌های مصنوعی استفاده می‌شود، پارامتر n

۳-۵ معیارها

به طور کلی دو معیار برای ارزیابی در نظر گرفته می‌شود. معیار اول، صحت و دومین معیار، معیار زمان اجرا است. صحت جامعه نشان می‌دهد که جوامع تشخیص داده شده چقدر با جوامع واقعی مطابقت دارند. تعیین صحت جامعه در صورتی که جوامع واقعی وجود داشته باشند، می‌تواند بهتر انجام شود. اگر جوامع حقیقی وجود داشته باشند، می‌توان از معیار اطلاعات متقابل نرمال شده استفاده کرد. هر چه شباهت بین جوامع تشخیص داده شده و جوامع واقعی بیشتر باشد، معیار اطلاعات متقابل نرمال شده بیشتر خواهد بود. معیار اطلاعات متقابل نرمال شده بین صفر تا یک است. بنابراین هر چه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد، جوامع تشخیص داده شده و جوامع حقیقی به هم شبیه‌تر هستند. این معیار به صورت ذیل تعریف می‌شود [۳۱]:

$$NMI = \frac{-2 \sum_{i,j} N_{i,j} \log \frac{N_{i,j} N_t}{N_i N_j}}{\sum_i N_i \log \frac{N_i}{N_t} + \sum_{i,j} N_j \log \frac{N_j}{N_t}} \quad (3)$$

که N ماتریس مطابقت جوامع تشخیص داده و جوامع حقیقی است. که هر درایه‌ی آن $N_{i,j}$ تعداد گره‌های مشترک بین جوامع تشخیص داده شده i و جامعه‌ی حقیقی j را نشان می‌دهد. نمادهای N_i و N_j مجموع درایه‌های هر سطر را مشخص می‌کند.

برای تعیین کیفیت افزار جامعه در صورتی که جوامع حقیقی موجود نباشند، می‌توان از یک معیار به نام معیار ماژولاریتی استفاده کرد. معیار ماژولاریتی مطابقت ساختاری جوامع تشخیص داده شده را با تعریف جوامع بررسی می‌کند. پیش فرض این معیار، این است که جوامع به صورت مجزا هستند و هیچ همپوشانی ندارند. این معیار به صورت ذیل تعریف می‌شود [۳۲]:

$$Q = \frac{1}{2m} \sum_{i,j} (A_{ij} - \frac{k_i k_j}{2m}) \delta_{ij} \quad (4)$$

ماتریس A_{ij} یک ماتریس مجاورت است و m تعداد یال‌ها را مشخص می‌کند. نمادهای k_i و k_j درجه‌ی گره‌های i و j را بیان می‌کند. همچنین نماد δ_{ij} همان دلتای کرونکر است که اگر دو گره برچسب یکسان داشته باشند، برابر با ۱ خواهد شد، در غیر اینصورت برابر با صفر خواهد بود. دومین معیار، سرعت تشخیص است که متناظر با زمان اجرا است. هر چه زمان اجرا بیشتر باشد، سرعت تشخیص متعاقباً کمتر است.

۴-۵ نتایج بر روی مجموعه داده‌های واقعی

مجموعه‌های داده‌ای واقعی در این مقاله شامل دو مجموعه داده‌ی ارجاع مقالات و مسیریابی است. در این مجموعه‌ها، معیار ماژولاریتی، اطلاعات متقابل نرمال شده و زمان اجرا برای ارزیابی روش ارائه شده و دیگر روش‌های موجود مورد استفاده قرار گرفته است.

۴-۵-۱ نتایج بر روی مجموعه داده‌های ارجاع

مقالات

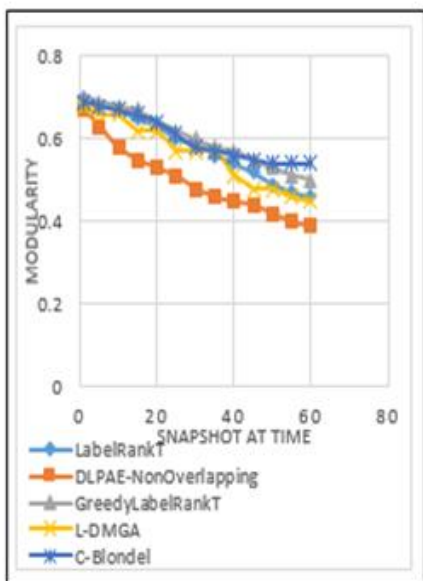
بر اساس داده‌ی مربوط به شکل ۱ قسمت الف، مشخص است که روش پیشنهادی در مجموعه داده‌ی Arxiv HP-PH نسبت به دیگر روش‌ها، ماژولاریتی بیشتری دارد. این بهبود ماژولاریتی ناشی از در نظر گرفتن ساختار داخلی شبکه است. همچنین بر اساس قسمت ب همین شکل می‌توان گفت که زمان اجرای روش پیشنهادی کمی بیشتر از رتبه‌بندی برچسب مبتنی بر زمان است. این موضوع به دلیل حجم محاسبات ماژولاریتی محلی است.

در مجموعه داده‌ی Arxiv HP-TH مشابه مجموعه داده‌ی قبلی، روش پیشنهادی ماژولاریتی بیشتری نسبت به دیگر روش‌های موجود در اکثر نماها دست پیدا کرده است. (شکل ۲ قسمت ۱) فاصله‌ی بین روش پیشنهادی و روش رتبه‌بندی مبتنی بر زمان تقریباً ۱ درصد است. روش C-Blondel عملکرد نزدیکی نسبت به روش پیشنهادی داشته است و حتی در نماهای آخر عملکردش بهتر هم بوده است. زمان اجرای روش پیشنهادی نسبت به دیگر روش‌های موجود خیلی بیشتر نیست (شکل ۲ قسمت ۲).

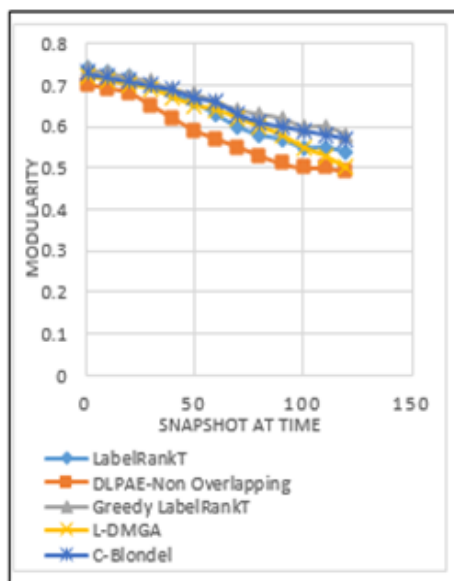
آنچه که بر اساس شکل ۱ و ۲ می‌توان گفت، این است که یک روند واضحی از کاهش ماژولاریتی در مجموعه داده‌ی های ارجاع مقالات وجود دارد. برای هر روش، میزان کاهش در مجموعه داده‌ی Arxiv HEP-PH نسبت به این مجموعه داده‌ی Arxiv HEP-TH بیشتر است. با این وجود، زمان اجرای همه‌ی روش‌ها در مجموعه داده‌ی Arxiv HEP-PH بیشتر از Arxiv HEP-TH به طور میانگین است. در هر دو شبکه‌های داده‌ای ارجاع مقالات، روش پیشنهادی نسبت به دیگر روش‌ها، کیفیت افراز بهتری داشته است. این موضوع می‌تواند به دلیل استفاده از ماژولاریتی محلی باشد. بنابراین با توجه به خصوصیت مجموعه داده‌ی ارجاع مقالات، می‌توان نتیجه‌گیری کرد

ارائه‌ی یک روش بهبودیافته مبتنی بر رویکردهای انتشار برجسب و بهینه‌سازی ماژولاریتی برای تشخیص جوامع در شبکه‌های اجتماعی پویا

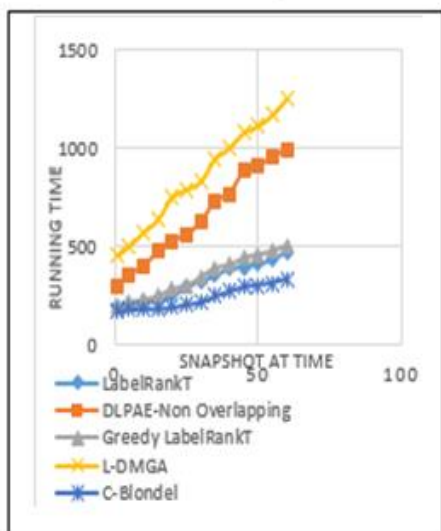
که رویداد اضافه‌کردن گره‌ها، تاثیر نامناسبی بر روی روش پیشنهادی نداشته است.



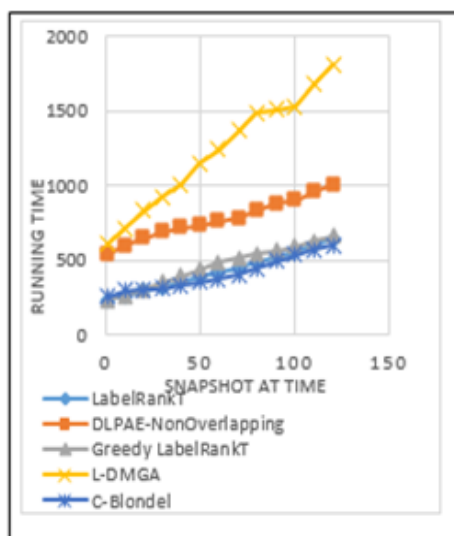
1. ماژولاریتی



1. ماژولاریتی



2. زمان اجرا



2. زمان اجرا

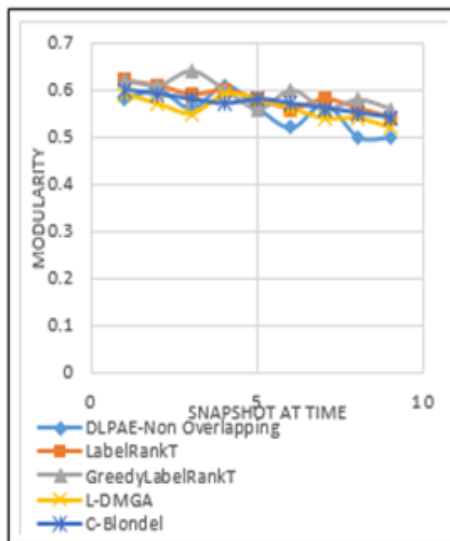
شکل 2. ماژولاریتی و زمان اجرای یدست‌آمده توسط روش پیشنهادی و دیگر روش‌های موجود بر روی مجموعه داده‌ی HEP-TH

شکل 1. ماژولاریتی و زمان اجرای یدست‌آمده توسط روش پیشنهادی و دیگر روش‌های موجود بر روی مجموعه داده‌ی Arxiv HEP-PH

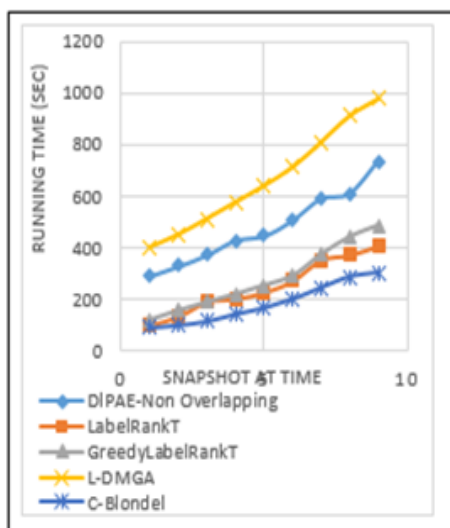
۵-۴-۲. نتایج بر روی مجموعه داده‌های مسیریابی

همانطور که از شکل ۳ قسمت الف مشخص است، هر یک از روش‌های ارائه شده در مجموعه داده‌ی Autonomous System-Oregon-1 به طور نامنظم بالا و پایین می‌روند. در نزدیک نصف نماها، روش پیشنهادی ماژولاریتی بهتری نسبت به روش مبتنی بر زمان دارد. همچنین روش پیشنهادی نسبت به روش رتبه‌بندی برچسب مبتنی بر زمان، نسخه‌ی غیرهمپوشان روش انتشار برچسب برجسته‌ی گسترش‌یافته، روش الگوریتم ژنتیک چند هدفه پویا مبتنی بر انتشار برچسب و روش C-Blondel در اکثر نماها عملکرد بهتری داشته است. همچنین روش پیشنهادی نسبت به نسخه‌ی غیرهمپوشان روش انتشار برچسب برجسته‌ی گسترش‌یافته و روش الگوریتم ژنتیک چند هدفه پویا مبتنی بر انتشار برچسب سریعتر عمل کرده است و نسبت به روش رتبه‌بندی برچسب مبتنی بر زمان و روش C-Blondel کندتر است (شکل ۳ قسمت ۲).

همچنین با توجه به اینکه در مجموعه داده‌ی Autonomous Systems AS-733 تعداد نماها خیلی بیشتر از دیگر مجموعه‌های داده‌ای و تعداد گره‌ها نیز کمتر است و حجم تغییرات نیز متعاقبا بسیار کم است. بنابراین عملکرد مناسب روش پیشنهادی نسبت به روش‌های موجود در نیمی از نماها بهتر عمل کرده است (شکل ۴ قسمت ۱). به طور کلی در مجموعه‌ی داده‌ای مسیریابی می‌توان گفت که در حالتی که تغییرات بسیار کم باشد، روش پیشنهادی تنها در نیمی از نماها بهتر عمل کرده است. این مسئله به این دلیل است که در حالتی که تغییرات بسیار کم است، نمی‌توان انتظار بهبود زیادی را داشت. زمان اجرای روش پیشنهادی نزدیک به روش رتبه‌بندی برچسب مبتنی بر زمان است (شکل ۴)



الف) ماژولاریتی

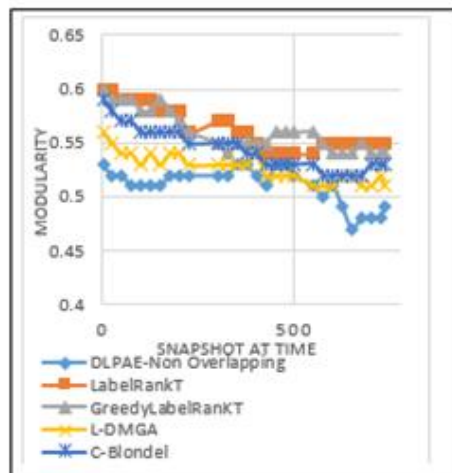


ب) زمان اجرا

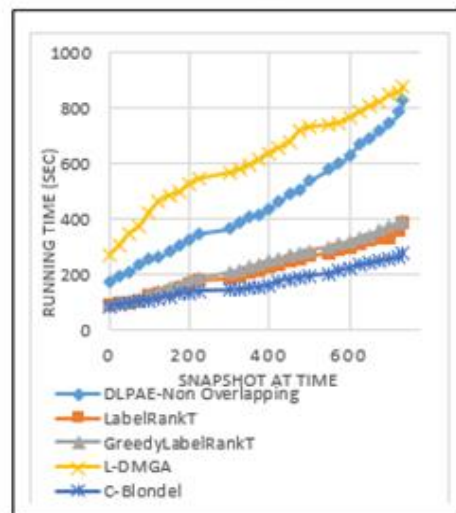
شکل ۳. ماژولاریتی و زمان اجرای دست‌آمده توسط روش پیشنهادی و دیگر روش‌های موجود بر روی مجموعه داده‌ی Autonomous System-Oregon-1

۵-۵ نتایج بر روی مجموعه داده‌های مصنوعی

برای مطالعه‌ی کارایی روش ارائه‌شده، نتایج بر روی ۴ شبکه‌ی پویا پیاده‌سازی شده است. معیار اطلاعات متقابل نرمال‌شده برای کلیه‌ی روش‌ها در این مجموعه‌ی داده‌ای بدست آمده است. آنچه که از شکل ۵ قسمت ۴ قابل توجه است، این است که معیار اطلاعات متقابل نرمال‌شده روش ارائه‌شده و دیگر روش‌ها نزدیک به هم است. در مقابل براساس اشکال ۶ قسمت‌های ۱ و ۲ و ۳ می‌توان گفت که معیار اطلاعات متقابل نرمال‌شده برای روش پیشنهادی بیشتر از روش‌های موجود در اکثر نماها است. براساس موارد فوق می‌توان گفت که روش ارائه‌شده در همه‌ی رویدادها به غیر از رویداد تغییر جامعه نسبت به دیگر روش‌ها بهتر عمل کرده است. این موضوع نقش ماژولاریتی محلی را در بهبود رویدادهای گسترش و ایجاد جوامع را نشان می‌دهد. شکل ۶ هم نشان می‌دهد که زمان اجرا برای روش پیشنهادی به طور میانگین بر روی ۴ مجموعه داده‌ی مصنوعی نسبت به دیگر روش‌های موجود بهتر عمل کرده است. روش پیشنهادی از لحاظ زمان اجرا به طور میانگین نزدیک به روش رتبه‌بندی برچسب مبتنی بر زمان عمل کرده است.

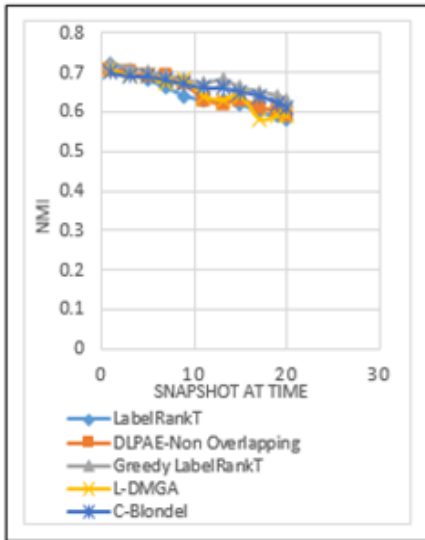


۱) ماژولاریتی

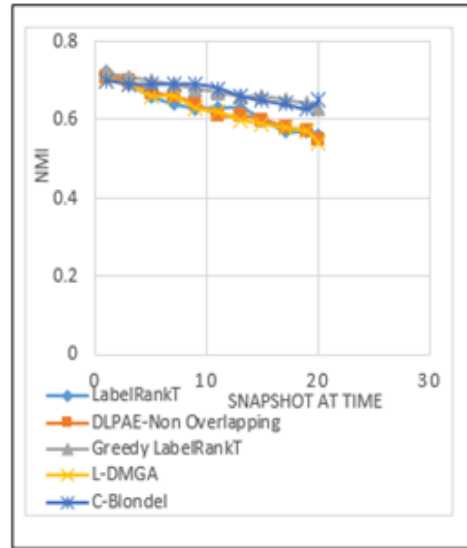


۲) زمان اجرا

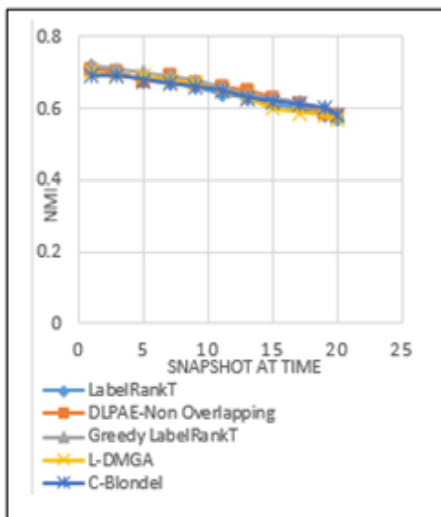
شکل ۴. ماژولاریتی و زمان اجرای یدست‌آمده توسط روش پیشنهادی و دیگر روش‌های موجود بر روی مجموعه داده‌ی Autonomous Systems AS-733



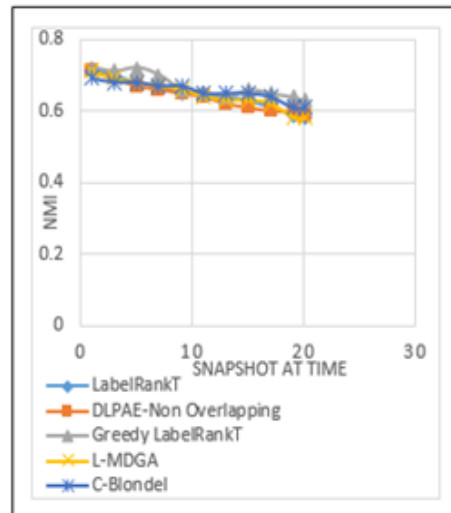
3) گسترش و زنده ماندن جامعه



1) ایجاد و مردن جوامع



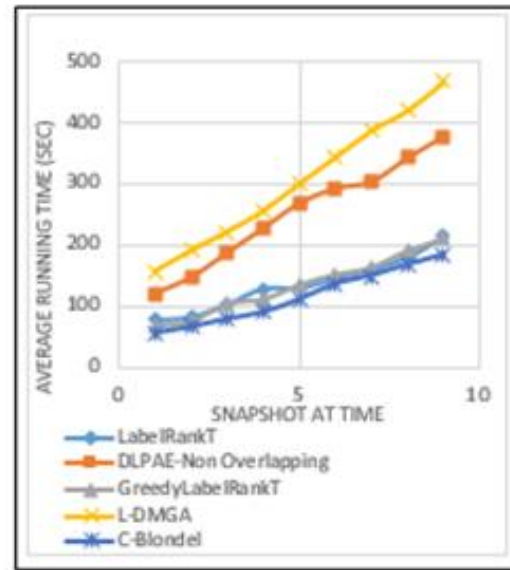
4) تغییر یک جامعه



2) گسترش و افول جوامع

شکل 5. معیار اطلاعات متقابل نرمال شده برای روش پیشنهادی و دیگر روش‌های موجود بر روی مجموعه داده‌های مصنوعی

- [۲] S. Fortunato, "Community detection in graphs," *Physics Reports*, pp. 75-174, 2010.
- [۳] N. P. Nguyen, T. N. Dinh, Y. Shen, and M. T. Thai, "Dynamic social community detection and its applications," *PLoS One*, vol. 9, no.4, p. e91431, 2014.
- [۴] V. D. Blondel, J. Guillaume, and E. Lefebvre, "Fast unfolding of communities in large networks," *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, no. 10, pp. 1-12, 2008.
- [۵] S. Soundarajan, and J. E. Hopcroft, "Use of local group information to identify communities in networks". *ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data (TKDD)*, vol. 9, no.3, pp 1-35, 2015.
- [۶] U. N. Raghavan, R. Albert, and S. Kumara, Near linear time algorithm to detect community structures in large-scale networks, *Physical review E*, vol. 76, no.3, p.036106, 2007.
- [۷] M. Sattari, K. Zamanifar, "A spreading activation-based label propagation algorithm for overlapping community detection in dynamic social networks", *Data & Knowledge Engineering*, vol. 113, pp.155-170, 2018.
- [۸] M. Sattari, K. Zamanifar. "A cascade information diffusion based label propagation algorithm for community detection in dynamic social networks", *Journal of Computational Science*. vol. 25, pp. 122-33, 2018.
- [۹] X. Ma, D. Dong, "Evolutionary nonnegative matrix factorization algorithms for community detection in dynamic networks". *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 29, no. 5, pp. 1045-58, 2017.
- [۱۰] G. Rossetti, L. Pappalardo, Pedreschi D, Giannotti F. "Tiles: an online algorithm for community discovery in dynamic social networks", *Machine Learning*. vol. 106, no. 8, pp. 1213-41, 2017.
- [۱۱] K. Kuzmin, S. Y. Shah, and B. K. Szymanski, "Parallel overlapping community detection with SLPA". *In Social Computing (SocialCom)*, pp. 204-212, 2013.
- [۱۲] J. Xie, M. Chen, and B. Szymanski, "LabelrankT: Incremental community detection in dynamic networks via label propagation," *In Proceedings of the ACM Workshop on Dynamic Networks*



شکل 6. میانگین زمان اجرای بدست آمده توسط روش پیشنهادی و دیگر روش‌های موجود بر روی مجموعه داده‌های مصنوعی

۶. نتیجه‌گیری

تشخیص جوامع یکی از موضوعات مهم در آنالیز شبکه‌های اجتماعی است. در این مقاله، یک روش مبتنی بر انتشار برچسب و بهینه‌سازی ماژولاریتی برای تشخیص جوامع به صورت پویا در شبکه‌های اجتماعی ارائه شده است. در روش پیشنهادی، یک معیار حریم‌ساز به روش رتبه‌بندی برچسب مبتنی بر زمان اضافه شده است. در این معیار، هدف بهبود ماژولاریتی محلی است. نتایج نشان می‌دهد که این روش کیفیت افراز جوامع را در شبکه‌ی واقعی و معیار اطلاعات متقابل نرمال‌شده را در شبکه‌های مصنوعی بهبود می‌دهد. علاوه بر این، زمان اجرای روش پیشنهادی کمی بیشتر از روش رتبه‌بندی برچسب مبتنی بر زمان است که فاصله‌ی خیلی محسوسی نیست. به طور کلی، روش پیشنهادی صحت را در مقایسه با دیگر روش‌های موجود در تقریباً همه‌ی مجموعه داده‌های مورد ارزیابی اعم از واقعی و مصنوعی بهبود داده است. تشخیص جوامع به صورت پویا هنوز در ابتدای راه قرار دارد و مسلماً در آینده شاهد روش‌های بیشتری در این زمینه خواهیم بود.

مراجع

- [۱] M. E. Newman, and M. Girvan, "Finding and evaluating community structure in networks", *Physical review E*, vol.69 , no.2, p.026113, 2004.

- [۲۳] K. Liu, J. Huang, H. un, M. Wan, Y. Qi, and H. Li, "Label propagation based evolutionary clustering for detecting overlapping and non-overlapping communities in dynamic networks," *Knowledge-Based Systems*, vol. 89, pp. 487–496, 2015.
- [۲۴] S. H.L, H. J.B, T. Y.Q., Q.B., and L.Huai-Liang, "Detecting overlapping communities in networks via dominant label propagation," *Chinese Phys.B*, vol. 24, no.1, p. 18703, 2015.
- [۲۵] X. Niu, W. Si, and C.Q. Wu, 2017. A label-based evolutionary computing approach to dynamic community detection. *Computer Communications*, Vol. 108, pp.110-122, 2017.
- [۲۶] M. Takaffoli, R. Rabbany, and O. R. Za, "Incremental local community identification in dynamic social networks." In Proceedings of the IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining, IEEE/ACM pp. 90-94, 2013.
- [۲۷] X. Niu, W. Si, and C.Q. Wu, "A label-based evolutionary computing approach to dynamic community detection", *Computer Communications*, Vol. 108, pp.110-122, 2017.
- [۲۸] J. Gehrke, P. Ginsparg and J. Kleinberg, "Overview of the 2003 KDD Cup", *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, vol. 5, no. 2, pp.149-151, 2003.
- [۲۹] J. Leskovec, J. Kleinberg and C. Faloutsos. "Graphs over Time: Densification Laws, Shrinking Diameters and Possible Explanations.", *ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD)*, ACM, pp. 177-187, 2005.
- [۳۰] A. Lancichinetti, S. Fortunato, "Benchmarks for testing community detection algorithms on directed and weighted graphs with overlapping communities", *Phys. Rev. E*, vol. 80, no.1, p. 016118, 2009.
- [۳۱] L. Danon, A. Diaz-Guilera, J. Duch, and A. Arenas. Comparing community structure identification. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2005(09):P09008, 2005.
- [۳۲] M. Newman, "modularity and community structure in networks". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 103, no. 23, pp. 8577 –8582, 2002.
- [۱۳] J. Xie, and B. K. Szymanski, "LabelRank: A stabilized label propagation algorithm for community detection in Networks," *In Network Science Workshop (NSW)*, IEEE, pp. 138-143, 2013.
- [۱۴] M. Takaffoli, R. Rabbany, and O. R. Za, "Incremental local community identification in dynamic social networks." *In Proceedings of the IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining*, IEEE/ACM pp. 90-94, 2013.
- [۱۵] H. Alvari, A. Hajibagheri, and G. Sukthankar, "Community detection in dynamic social networks: A game-theoretic approach," *In Advances in Social Networks Analysis and Mining (ASONAM)*, IEEE/ACM , pp. 101–107, 2014.
- [۱۶] R. I. Lung, C. Chira, and A. Andreica, "Game theory and extremal optimization for community detection in complex dynamic networks". *PloS one*, vol.9, no.2, pp. 891-901, 2014.
- [۱۷] M. Takaffoli, R. Rabbany, and O. R. Za, "Incremental local community identification in dynamic social networks." *In Proceedings of the IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining*, IEEE/ACM pp. 90-94, 2013.
- [۱۸] J. He and D. Chen, "A fast algorithm for community detection in temporal network", *PhysicaA: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 429, pp. 87–94, 2015.
- [۱۹] Seifikar, Mahsa, Saeed Farzi, and Masoud Barati. "C-Blondel: An Efficient Louvain-Based Dynamic Community Detection Algorithm." *IEEE Transactions on Computational Social Systems* 7.2 (2020): 308-318.
- [۲۰] V. D. Blondel, J.-L. Guillaume, R. Lambiotte, and E. Lefebvre, "Fast unfolding of communities in large networks," *J. Stat. Mech., Theory Exp.*, vol. 2008, no. 10, Oct. 2008, Art. no. P10008.
- [۲۱] LXY.Leung, P.Hui, P.Liu , and J.Crowcroft, "Towards real-time community detection in large networks.", *Physical Review E* , vol. 79, no. 6, p.066107, 2009.
- [۲۲] J. Han, W. Li, L. Zhao, Z. Su, Y. Zou, and W. Deng, "Community detection in dynamic networks via adaptive label propagation", *PloS one*, vol.12, no.11, p.e0188655,2017.

An Improved Method for Community Detection in Dynamic Social Networks Based on Label Propagation and Modularity Optimization

Abstract

Community detection in dynamic social networks is one of the most important research topics that has been considered in recent years. There are various approaches to detecting communities in dynamic social networks, among which the label propagation approach has chosen due to simplicity and efficiency. This approach involves many methods that are often random. Among these methods, LabelRankT(Time) is a deterministic method. Of course, this method also has problems, one of the problems is that when a node wants to join a community, the internal structure of that community is not considered. So, for solving this problem, a greedy approach has been used to improve the label publishing approach. The proposed approach and other evaluated methods are tested in real and Synthetic datasets. The results show that the proposed method has performed relatively better than the other methods in terms of accuracy and modularity.

Keywords: GreedyLabelRankT, LabelRankT, Label Propagation Approach, Community Detection, Dynamic Social Network.

استفاده از یک الگوریتم بهینه سازی چند هدفه برای تخصیص کارها در سیستم- های مبتنی بر ابر با هدف کاهش انرژی مصرفی

سارا طبقچی میلان* نیما جعفری نویمی پور**

*کارشناسی ارشد، گروه مهندسی کامپیوتر، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
**دکتری، گروه مهندسی کامپیوتر، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۳۰
نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

امروزه فناوری‌های نوین باعث افزایش تقاضای کسب و کار در محیط وب شده است. لذا افزایش تقاضا منجر به افزایش تنوع و تعداد خدمات و در نتیجه ایجاد مراکز داده رایانش با مقیاس بزرگ شده است که علاوه بر هزینه‌های عملیاتی بالا، مقادیر عظیمی از توان الکتریکی را مصرف می‌کند. از طرفی سیستم‌های خنک کننده ناکافی و ناکارآمد، نه تنها باعث گرم شدن بیش از حد منابع و کاهش عمر کاری دستگاه‌ها می‌شود، بلکه باعث تولید کربن می‌شود که در وضعیت آب و هوا نقش مهمی دارد. از این رو باید با روش‌های مناسب، مصرف انرژی کل این سیستم‌ها را کاهش داد. در این پژوهش، یک روش موثر مدیریت منابع انرژی در مراکز داده ابری مجازی شده ارائه شده است که علاوه بر کاهش مصرف انرژی و هزینه‌های عملیاتی، باعث افزایش کیفیت خدمات نیز شده است. این پژوهش، به ارائه یک استراتژی تخصیص منبع در سیستم‌های ابری با هدف کاهش انرژی و هزینه اجرا پرداخته و کاربرد آن را در محیط رایانش ابری را بررسی می‌نماید. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی می‌تواند نسبت به روش‌های NPA، DVFS، ST و MM، میانگین انرژی مصرفی را تا ۰٫۶۲۶ کیلووات ساعت کاهش دهد، همچنین نیاز به مهاجرت و موارد نقض SLA نیز کاهش پیدا نمود.

واژگان کلیدی: رایانش ابری، انرژی مصرفی، تخصیص کار، الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه.

۱- مقدمه

زیرساخت معقول را فراهم می‌نماید [۴] [۵]، [۶]. با ظهور عصر رایانش ابری، تقاضا برای منابع فناوری اطلاعات و خدمات رسانی‌ها برای اتصال به اینترنت به‌طور مداوم در حال افزایش می‌باشد [۵]، [۷]. این فناوری شامل مفهوم رایانش موازی توزیع‌شده^۷ به منظور فراهم نمودن اشتراک‌گذاری منابع، سخت‌افزار، نرم‌افزار و اطلاعات برای

امروزه اینترنت و خدمات وب به اشتراک‌گذاری اطلاعات را تسهیل نموده‌اند [۱-۳]. رایانش ابری^۱ نیز به‌عنوان یک رویکرد جدید و مبتنی بر اینترنت قابلیت دسترسی^۲ بالا، مقیاس‌پذیری مناسب^۳، محاسبات انعطاف‌پذیر^۴، کارایی^۵ بالا، ظرفیت^۶ زیاد و هزینه‌های

⁵ Performance
⁶ Capacity
⁷ Distributed computing

¹ Cloud computing
² Available
³ Scalability
⁴ Flexible

نویسنده مسئول: نیما جعفری نویمی پور jafari@iaut.ac.ir

ادامه این مقاله به ترتیب زیر سازمان یافته است. در فصل دوم، به مطالعه و بررسی کارهای مرتبط پرداخته است. فصل سوم، به ارائه کامل روش پیشنهادی اختصاص یافته است. در فصل چهارم به معرفی محیط شبیه سازی و پارامترهای شبیه سازی و ارائه نتایج حاصل پرداخته شده است و در نهایت فصل پنجم نتیجه گیری و کارهای آتی ارائه شده است.

۲- کارهای مرتبط

در این بخش، برخی از روش‌های مرتبط در زمینه تخصیص منابع در رایانش ابری به همراه مزایا و معایب آن‌ها بررسی و ارائه می‌شوند.

یک روش مبتنی بر نظریه بازی‌ها برای زمانبندی مبتنی بر خدمات ابری با همکاری نیازهای کیفیت خدمات ارائه شده است [۲۰]. ارائه خدمات محاسباتی هزینه‌هایی به همراه خواهد داشت که به تعداد زیادی رقابت وابسته است. هر وظیفه محاسباتی چندین وابستگی و زیر وظایف همگن دارد که در زمان اجرا تاثیر دارند. نظریه بازی‌ها برای یافتن راه حل بهینه در نظر گرفته شده است. روش معرفی شده به این صورت است که در مرحله اول برای دست یافتن به بهینه سازی اولیه روش باینری پیشنهاد شده است که تخصیص دوباره منابع در نظر گرفته نشده است. سپس بر اساس نتایج اولیه مکانیسم تکاملی برای رسیدن به راه حل مطلوب و منصفانه طراحی شده است. در این روش بهره‌وری و کیفیت خدمات افزایش یافته‌اند و پیچیدگی زمانی کاهش یافته است؛ اگر چه هزینه و انرژی مصرفی در نظر گرفته نشده است.

در ادامه یک روش تخصیص منابع انرژی موثر مبنی بر ایمنی کلونال^۱ برای مراکز داده مجازی ارائه شده است [۲۱]. الگوریتم تخصیص منبع موثر، منابع را به کارها تخصیص می‌دهد طوری که انرژی مصرفی مراکز داده و زمان تکمیل اجرای کارها را کمینه می‌کند. در این پژوهش، بهبود تخصیص منابع با استفاده از الگوریتم انتخاب کلونال مبتنی بر بهینه سازی زمان تکمیل کارها و انرژی مصرفی می‌باشد. در روش پیشنهادی ابتدا عملگر کلونال یک نقشه تصادفی آنتی بال می‌باشد. در سیستم ایمنی بیولوژیکی کلونی یک گروه از سلول‌های یکسان می‌باشد و در سیستم ایمنی منظور از

کامپیوترها و یا دیگر دستگاه‌ها می‌باشد [۵، ۸] و حتی کل برنامه‌های کاربردی نرم‌افزاری به کاربران تحت خدمات حین تقاضا تحویل داده می‌شود [۹]. رایانش ابری یک مدل خدمت برای تأمین خدمات فناوری اطلاعات است که اغلب مبنی بر مجازی‌سازی و فناوری‌های رایانش توزیع شده می‌باشد [۱۰]. منابع ابری شامل انواع مختلف منابع از جمله منابع ذخیره‌سازی^۲، پردازش^۳، حافظه^۴، پهنای باند شبکه^۵ و ماشین‌های مجازی^۶ است [۱۱]. نرم‌افزار به‌عنوان خدمت [۱۲، ۱۳]، زیرساخت به‌عنوان خدمت [۱۴، ۱۵] و بستر نرم‌افزاری به‌عنوان خدمت^۹ [۱۶] سه شکل معروف منابع مجازی^{۱۰} در رایانش ابری می‌باشند [۵].

از طرف دیگر، تخصیص منابع یک فرآیند توزیع شده بین برنامه‌ها و کاربران از دیدگاه اقتصادی است که منابع در دسترس را در اختیار برنامه‌های کاربردی ابری قرار می‌دهد که به عنوان مسئله *Np-hard* شناخته شده است [۱۷]. هدف از تخصیص منابع برای ارائه خدمات منحصر به فرد بهینه سازی کیفیت خدمات و بهبود بهره‌وری منابع و انرژی می‌باشد [۱۸]. با توجه به افزایش روزافزون محبوبیت رایانش ابری، اگر انرژی مصرفی در ارائه دهندگان خدمات کنترل نگردد، آنگاه در گام اول هزینه ارائه خدمت افزایش می‌یابد و در پی آن هزینه پرداختی خدمت گیرندگان افزایش خواهد داشت. علاوه بر این، افزایش مصرف انرژی سهم زیادی در افزایش آلودگی محیط زیست خواهد داشت؛ لذا کشف راهکارهای بهره‌وری انرژی بسیار ضروری است. از این رو ضرورت ایجاد می‌کند تا با بهبود الگوریتم‌های تخصیص منبع به همراه شناسایی پارامترهای تأثیرگذار و کاهش مصرف انرژی، سطح رضایت کاربر نیز افزایش داده شود. در نتیجه این امر باعث کاهش هزینه تمام شده خدمات نیز خواهد شد. با توجه به ماهیت *NP-hard* این مساله [۱۹]، در این پژوهش از یک الگوریتم کارآمد به نام بهینه سازی چند هدفه برای تخصیص منابع ابری استفاده شده است که اهداف آن به شرح زیر خواهد بود:

- کاهش مصرف انرژی
- کاهش هزینه کل
- کاهش میزان نیاز به مهاجرت
- افزایش توازن بار

⁷ Software as a Service(SaaS)

⁸ Infrastructure as a Service(IaaS)

⁹ Platform as a Service(PaaS)

¹ Virtualized resources

¹ Clonal immune

¹ makespan

¹ Virtualization

² Storage

³ Processing

⁴ Memory

⁵ Network bandwidth

⁶ Virtual Machine(VM)

بهره‌وری بالای منابع و کاهش هزینه‌ها ارائه شده است [۲۵]. در روش پیشنهادی ابتدا درخواست کاربر بر اساس مهلت زمانی و در دسترس بودن منابع ارسال می‌شود. کیفیت خدمات در روش پیشنهادی شامل پارامترهای همگن و ناهمگن از جمله زمان اجرا، سطح اطمینان مشتری براساس *SLA* می‌باشد. در مرحله بعدی کیفیت خدمات مد نظر متقاضی در منابع موجود بررسی می‌شود و لیستی از منابع ایجاد می‌گردد و مطابق درخواست تامین منابع صورت می‌گیرد و عمل تخصیص صورت می‌پذیرد. در روش ارائه شده، بهره‌وری منابع، کیفیت خدمات و زمان اجرا بهبود یافته است؛ اگرچه هزینه، زمان پاسخ، انرژی مصرفی و زمان تکمیل کارها به خوبی بررسی نشده است.

در مراکز داده ابری، ماشین‌های مجازی نیاز به تخصیص در ماشین‌های فیزیکی دارند بطوری که کمترین میزان هدر رفت از منابع را داشته باشند. لذا روشی مبتنی بر گرده افشانی به منظور کاهش مصرف انرژی پیشنهاد شده است [۲۶]. در این روش فریم‌ورکی در نظر گرفته شده است که بوسیله‌ی آن نزدیکترین و بهینه‌ترین راه حل یافت می‌شود که این راه حل بر اساس میزان حافظه و پردازنده منابع خواهد بود. در روش ارائه شده، توازن بار، انرژی مصرفی و بهره‌وری از منابع بهبود یافته؛ اگرچه هزینه، زمان پاسخ و زمان تکمیل کارها به خوبی بررسی نشده است.

طبق مقالات مطالعه شده قبلی همانطور که آشکار است عمده‌ترین مسائل در رایانش ابری انتخاب منبع مناسب برای مشتریان می‌باشد بصورتی که کیفیت خدمات در آن نقض نشود. لذا یک روشی چند هدفه مبتنی بر ژنتیک به منظور تخصیص منابع با به حداقل رساندن هزینه‌ها و افزایش کیفیت خدمات ارائه شده است [۱۹]. بطور کلی فراهم‌کنندگان خدمات ابری تعداد نمونه‌های محاسباتی و پایگاه‌های داده را مجزا می‌نمایند. در روش پیشنهادی منابع مناسب براساس الگوریتم ژنتیک به تناسب تقاضاهای مشتری تخصیص می‌یابند. در روش پیشنهادی زمان پاسخ و کیفیت خدمات بهبود یافته است؛ اگرچه زمان تکمیل اجرای کل کارها، هزینه و انرژی مصرفی در نظر گرفته نشده است.

به طور خلاصه، در هیچ یک از روش‌های ذکر شده، کاهش زمان اجرای کل کارها، انرژی مصرفی و هزینه در محیط‌های ابری با استفاده از تخصیص منابع مورد استفاده قرار نگرفته‌اند؛ لذا روشی که قادر است تخصیص منابع در محیط‌های ابری را با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه انجام دهد در بخش بعدی بررسی و ارائه می‌شود.

کلونی یک گروه از سلولهای یکسان می‌باشد که از یک اجداد مشترک تنها تولید می‌شود. در این روش زمان پاسخ، زمان تکمیل اجرای کارها و انرژی مصرفی کاهش یافته است؛ اما هزینه و توازن بار به خوبی بررسی نشده است.

در ادامه کارها و روش‌های مطالعاتی، سیستمی مبتنی بر فناوری مجازی سازی برای تخصیص منابع مراکز داده ارائه شده و دستیابی به رایانش سبز را با بهینه کردن تعداد سرورها تضمین می‌کند [۲۲]. در این پژوهش، از چولگی برای محاسبه‌ی ناهمواری‌ها در بهره‌وری منابع در یک سرور استفاده شده است و با به حداقل رساندن چولگی می‌توان حجم کارهای مختلفی را ترکیب نمود و بهره‌وری کلی از منابع بهبود می‌یابد. در روش ارائه شده، توازن بار، انرژی مصرفی و بهره‌وری از منابع و تعداد سرورهای استفاده شده بهبود یافته؛ اگرچه هزینه، زمان پاسخ و زمان تکمیل کارها به خوبی بررسی نشده است.

همچنین، در ادامه یک روش مبتنی بر بهینه‌سازی رویکردی تخصیص منبع برای برنامه‌های کاربردی خدمت به عنوان نرم افزار در محیط ابری ارائه شده است [۲۳]. از آنجا که کاربران نیاز به ارسال خدمات به ارائه‌دهندگان ابری دارند، انتخاب ارائه‌دهنده مناسب بسیار مهم است. در روش پیشنهادی ارائه‌دهندگان خدمات به عنوان تامین‌کننده خدمات نرم افزاری عمل می‌کند که سرورها درخواست‌های کاربران خدمت نرم افزاری را با افزایش کیفیت خدمات تضمین می‌کنند. در روش پیشنهادی تخصیص منابع و هزینه انرژی مصرفی بهبود یافته است؛ اگرچه زمان تکمیل اجرای کل کارها، هزینه و انرژی مصرفی در نظر گرفته نشده است.

یک چارچوب مبتنی بر سطح توافقنامه خدمات به منظور تسهیل در تخصیص منابع ارائه شده است که حجم کارها و موقعیت جغرافیایی مراکز داده توزیع شده در نظر گرفته شده است [۲۴]. در این چارچوب، ارائه‌دهنده ابر چندین مراکز داده دارند که در مناطق جغرافیایی گسترش یافته‌اند. در این پژوهش، بر تخصیص منابع پویا در مرکز داده بدون در نظر گرفتن تاخیر در شبکه جهانی تمرکز شده است که تخصیص منابع بر اساس انتخاب مراکز داده در میان مراکز داده توزیع شده می‌باشد. در این روش زمان پاسخ، توازن بار، هزینه بهبود یافته است؛ اگرچه انرژی مصرفی، زمان تکمیل کارها در نظر گرفته نشده است.

تخصیص و تامین منابع بر اساس کیفیت خدمات به شیوه‌ی موثری انجام می‌شود ولی در موارد خاصی تامین منابع بصورت پویا صورت نمی‌گیرد و بسیاری از کارهای انجام شده بر اساس مدیریت منابع همراه با هزینه و سرعت بالایی است. لذا سیاستی مبتنی بر مدیریت موثر در تخصیص منابع با زمان کم بر اساس منابع قابل دسترس و

۳- روش پیشنهادی

در این بخش نسبت به معرفی مساله بهینه سازی چند هدفه و مجموعه پارتو، تشریح الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات و در نهایت روش پیشنهادی پرداخته خواهد شد.

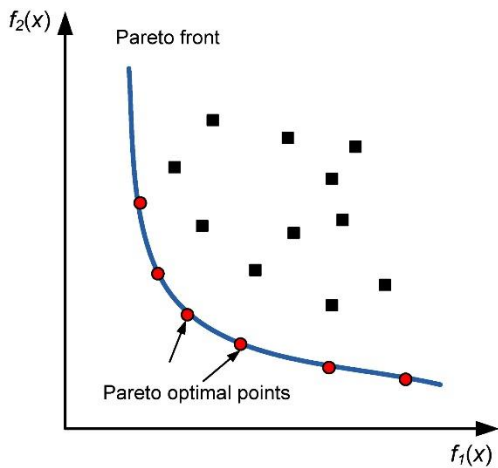
۳-۱. بهینه سازی چند هدفه

بهینه‌سازی با مسائلی سر و کار دارد که هدف آن انتخاب بهترین گزینه از مجموعه‌ای از پاسخ‌ها بر اساس معیارهای خاص می‌باشد. اگر تنها یک معیار در نظر گرفته شود، مساله بهینه‌سازی به مساله بهینه سازی تک هدفه تبدیل می‌شود، که مطالعات گسترده‌ای طی ۵۰ سال گذشته در خصوص آن صورت پذیرفته است. اگر بیش از یک معیار وجود داشته باشد، که می‌بایستی همزمان مد نظر قرار گیرد، مساله بهینه سازی چند هدفه مطرح خواهد شد [۲۷] که این مسائل در طراحی، مدل‌سازی و برنامه‌ریزی سیستم‌های واقعی بسیار پیچیده در حوزه صنعت، حمل و نقل شهری، مالی، مدیریت منابع طبیعی، توزیع انرژی و غیره کاربرد دارد. عمده مسائل تصمیم‌گیری در دنیای واقعی شامل اهداف متعدد هستند و اعمال محدودیت‌های مختلف بر انتخاب راه حل بهینه لازم است که حل مسائل را پیچیده می‌کند. برای حل این مساله راهکارهایی ارائه شده است که مهمترین آنها روشی است که توسط پارتو ارائه شده است [۲۸]. اخیراً الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات، توجه ویژه‌ای را برای حل مساله بهینه‌سازی چند هدفه به سمت خود جذب کرده است، که نتایج آن در تحقیقات و گزارش‌هایی که به عنوان "ارزیابی بهینه سازی چند هدفه" (EMO) ارائه شده است [۲۹، ۳۰]. صورت کلی مساله بهینه سازی چندهدفه با رابطه (۱) مدل می‌شود.

$$\min F(x) = \{f_1(x), \dots, f_n(x)\} \quad (1)$$

که $f_i(x)$ تابع هدف نام مساله بهینه‌سازی چندهدفه است.

هدف کمینه کردن توابع چندگانه $f_i(x)$ بصورت توأمان است. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود که مثالی از نمودار پارتو دو هدفه می‌باشد، هدف کمینه کردن دو تابع f_1 و f_2 است. اگر ۲ عضوی از مجموع جواب‌های پارتو باشد، ۱ بر ۲ غلبه دارد و اگر در هیچ یک از دو تابع بدتر از ۲ نباشد، حداقل در یک تابع بهتر از آن می‌باشد.



شکل ۱: مثالی از نمودار پارتو دو هدفه [۳۱]

یک روش کارا برای بهینه سازی چند هدفه، بهترین راه حل را از مجموعه‌ای از راه‌حل‌های (بهترین مجموعه شناسایی شده پارتو) ممکن انتخاب می‌کند، اما هر روشی که برای حل مساله بهینه‌سازی چند هدفه ارائه شده باید سه هدف متضاد زیر را برآورده کند:

- ۱- مجموعه پارتو منتخب باید تا حدی که ممکن است به پارتو درست همگرا باشد، در حالت ایده‌ال، مجموعه پارتو منتخب باید زیر مجموعه‌ای از مجموعه بهینه پارتو باشد.
 - ۲- راه‌حل‌های مجموعه پارتو منتخب باید توزیع یکنواخت داشته باشند و تنوع آنها بر روی مجموعه پارتو حفظ شود تا تصمیم‌گیری واقعی‌تر و تصویر درست‌تری از واقعیت داشته باشد.
- مجموعه پارتو منتخب بایستی تمام طیف مجموعه پارتو را پیمایش کند و اینکار مستلزم آن است که راه‌حلی که بیشترین فاصله را با تابع هدف دارند بررسی شوند. در روش پیشنهادی از بهینه‌سازی پارتو برای دو هدف اصلی پژوهش، کاهش مصرف انرژی و کاهش زمان کل اجرا استفاده شده است، روابط زیر:

$$\text{Obj1: } \min(\text{Energy}) = \sum_{i=1}^m \text{Energy}_i \quad (2)$$

$$\text{Obj2: } \min(\text{TotalTime}) = \sum_{j=1}^n \text{TotalTime}_j \quad (3)$$

که در آن m نشان دهنده تعداد منابع و n نشان دهنده تعداد وظایف است.

۲-۳. الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

با توجه به کارایی الگوریتم ازدحام ذرات در حل مسائل تک هدفه، سیرا و کوئلو کوئلو در سال ۲۰۰۶ با ایجاد تغییراتی در ساختار این الگوریتم، الگوریتم چند هدفه بهینه‌سازی ازدحام ذرات را معرفی کردند. تحقیقات انجام شده، حاکی از عملکرد بالای این الگوریتم در حل مسائل بهینه‌سازی چند هدفه می‌باشد. در واقع این الگوریتم تعمیمی است از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات که برای حل مسائل چند هدفه بکار می‌رود. در الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات یک مفهومی به نام آرشیو یا مخزن نسبت به الگوریتم ازدحام ذرات اضافه شده است، که به تالار مشاهیر نیز معروف است [۳۲]. انتخاب بهترین جواب کلی و بهترین خاطره شخصی برای هر ذره گام مهم و اساسی در الگوریتم بهینه‌سازی ذرات چندهدفه ازدحام ذرات است.

زمانی که ذرات می‌خواهند حرکتی انجام دهند یک عضو از مخزن را به عنوان رهبر انتخاب می‌کنند. این رهبر حتما باید عضو مخزن و همچنین نامغلوب باشد. اعضای مخزن بیانگر جنبه پارتو و شامل ذرات نامغلوب هستند. پس به جای بهترین مکان سراسری ذره^۳ یکی از اعضای مخزن انتخاب می‌شود. از آنجا که در الگوریتم ازدحام ذرات تنها یک هدف وجود دارد، مخزن وجود ندارد و تنها یک ذره است که بهترین است. اما در بهینه‌سازی ازدحام ذرات چند ذره وجود دارد که نامغلوب هستند و در مجموعه جواب جای دارند.

برای مقایسه بهترین مکان محلی ذره^۴ به شکل زیر عمل می‌شود:

(۱) اگر موقعیت جدید، بهترین مکان محلی ذره را مغلوب کند، آنگاه موقعیت جدید جای بهترین مکان محلی ذره را خواهد گرفت. به بیان ریاضی:

$$Pbest_i^{n+1} = X_i^{n+1} \quad (4)$$

(۲) اگر موقعیت جدید توسط بهترین مکان محلی ذره مغلوب شود، کاری انجام نمی‌گیرد. به بیان ریاضی:

$$Pbest_i^{n+1} = Pbest_i^n \quad (5)$$

(۳) اگر هیچ کدام یکدیگر را مغلوب نکنند، به صورت تصادفی یکی را به عنوان بهترین مکان محلی ذره در نظر گرفته می‌شود.

ترتیب اجرای الگوریتم پیشنهادی به شرح زیر می‌باشد:

- (۱) تعیین پارامترهای مورد نیاز برای اجرای الگوریتم چندهدفه ازدحام ذرات: حداکثر تکرار برای اجرای الگوریتم، اندازه جمعیت، مقادیر C_0, C_1, C_2 و میزان اعضای مخزن.
- (۲) ایجاد جمعیت اولیه
- (۳) تعیین بهترین مکان محلی برای هر ذره
- (۴) جداسازی اعضای نامغلوب جمعیت و ذخیره سازی آنها در مخزن.
- (۵) انتخاب لیدر از مخزن توسط هر یک از ذرات و حرکت بر اساس آن (به روزرسانی سرعت و موقعیت)
- (۶) بهترین مکان محلی هر ذره به روزرسانی می‌گردد
- (۷) اعضای نامغلوب جدید به مخزن اضافه می‌گردند.
- (۸) اعضای مغلوب مخزن حذف می‌گردند.
- (۹) اگر شرایط خاتمه تحقق نیافته باشد، از مرحله ۵ تکرار می‌گردد.

۳-۳. مساله تخصیص منابع با رویکرد کاهش انرژی و هزینه

اجرا

برای تشریح مساله تخصیص ابتدا پارامترها، شرایط، خصوصیات منابع و کارها بیان می‌شود. برای این کار منبع مجازی با VR نامگذاری شده است و بصورت زیر بیان می‌شود:

$$VR = \{CP_r, SR_r, SW_r, CO_r, ER_r\} \quad (6)$$

که در آن، CP_r نشان دهنده تعداد منابع محاسباتی، SR_r نشان دهنده فضای حافظه، SW_r نشان دهنده مجموعه نرم افزارهایی که توسط VR پشتیبانی می‌شود، CO_r هزینه VR در واحد زمان و ER_r انرژی مصرفی VR می‌باشد. از آنجایی که ممکن است بسیاری از وظایف درخواستی مشتریان برای انجام به بیش از یک ماشین نیاز داشته باشد، بنابراین هر وظیفه به زیروظایف با اولویت و ترتیب اجرا تجزیه می‌گردد. متناظر با هر VR ، یک زیر وظیفه ST بصورت زیر تعریف می‌گردد:

$$ST = \{CP_t, SR_t, SW_t\} \quad (7)$$

سه پارامتر ST به ترتیب عبارتند از: تعداد منابع محاسباتی مورد نیاز (CP_t)، مقدار فضای حافظه مورد نیاز (SR_t) و نوع نرم افزار مورد نیاز (SW_t).

بنابراین هر وظیفه که شامل مجموعه زیروظایف است، بصورت زیر تعریف می‌شود:

³ gbest
⁴ pbest

¹ Reyes Sierra and Coello-Coello

² Multi-Objective Particle Swarm Optimization (MOPSO)

VR ، هزینه در واحد زمان (O_r) بصورت یک عدد بیان می‌شود، هزینه کل VR با محاسبه مجموع هزینه‌های مربوط به هر وظیفه به دست می‌آید و به این ترتیب هزینه کل زمانبندی با جمع کردن همه هزینه‌های کل منابع به دست می‌آید. لازم به ذکر می‌باشد این هزینه بستگی به تعداد کل وظایف انجام شده دارد.

• **انرژی کل:** یکی از دغدغه‌های اساسی در تخصیص منابع، کاهش مصرف انرژی توسط منابع جهت صرفه جویی و مسائل زیست محیطی می‌باشد. همانند هزینه کل، انرژی کل نیز از مجموع انرژی مصرفی کل هر یک از VR ها به دست می‌آید و انرژی کل هر VR نیز از مجموع انرژی مصرفی برای هر یک از وظایف (E_r) در VR به دست می‌آید. انرژی مصرفی برابر خواهد بود با توان مصرفی P اندازه گیری شده در زمان T .

$$E = P * T \quad (9)$$

لازم به ذکر می‌باشد که نقض SLA به شرح ذیل محاسبه خواهد شد:

$$Violation_{SLA} = T_{SLAH} \times PerfDegM \quad (10)$$

که $Violation_{sta}$ برابر است با درصد نقض سطح توافق خدمات و T_{SLAH} برابر است با درصدی از زمانی که میزبان فیزیکی ۱۰۰٪ از پردازنده مرکزی را در حالت فعال به کار می‌گیرد. $PerfDegM$ نشان دهنده عملکرد سیستم به هنگام مهاجرت می‌باشد.

همانطور که مشهود است زمانی که ماشین فیزیکی بیشترین توان خود را به کار می‌گیرد در نتیجه ماشین‌های مجازی کمتری در دسترس خواهد بود و امکان استفاده منابع بیشتری نخواهد بود لذا در نظر گرفتن محدودیت منابع از مهمترین موارد می‌باشد. فرمول ۱۱ نحوه محاسبه T_{SLAH} را نمایش می‌دهد.

$$T_{SLAH} = 1 / N_{Host} * \sum T_{FUi} / T_{Active} \quad (11)$$

N_{Host} برابر با تعداد ماشین‌های فیزیکی می‌باشد. T_{FUi} برابر با زمانی می‌باشد که میزبان فیزیکی I ۱۰۰٪ پردازنده مرکزی را به کار می‌گیرد که ممکن است منجر به نقض SLA شود. $T_{Activei}$ برابر است با مدت زمانی که میزبان i در حالت فعال است.

$$T = \{ST_1, ST_2, \dots, ST_{nT}\} \quad (8)$$

nT ، نشان دهنده تعداد زیر وظایف مربوط به وظیفه T می‌باشد. فرض کنید N وظیفه و به تعداد M دستگاه VR وجود داشته باشد، بنابراین مساله تخصیص وظایف به منابع، عبارت است از تخصیص همه زیروظایف این N وظیفه بر روی M تعداد از VR ها. برای تخصیص چندین شرط اساسی وجود دارد که عبارتست از:

• **محدودیت نرم افزار:** هر وظیفه و زیروظایفش باید به ماشینی که قابلیت اجرا و رفع نیازهای نرم افزاری آن وظیفه را داراست، تخصیص داده شود.

• **محدودیت تعداد منابع:** تعداد منابع مورد نیاز (پردازش و حافظه) وظیفه و زیروظایفش نباید بیشتر از تعداد منابع VR باشد که کار مورد نظر به آن تخصیص داده شود.

• **محدودیت ترتیب و اولویت اجرای زیروظایف:** ترتیب اجرای زیروظایف بایستی بر اساس دنباله روند اجرای آن باشد و تمام زیروظایف دنباله به یک VR برای اجرا تخصیص داده شود.

• **محدودیت زمان:** وظایف بایستی به منابعی تخصیص داده شوند که در یک بازه زمانی تعیین شده اجرا و تمام شوند. عبارتی اجرای همه زیروظایف باید در فاصله زمانی تعیین شده شروع و پایان یابد.

فاکتورهای زیادی توسط ارائه دهندگان خدمت رایانش ابری برای لحاظ کردن، تنظیم زمانبندی و تخصیص منابع، تعیین می‌شود. در این بخش به چند نمونه اشاره می‌کنیم:

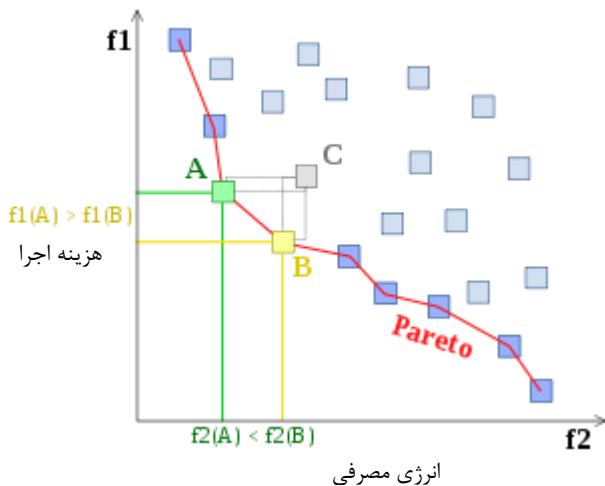
• **زمان کل اجرای وظیفه:** عبارتست از زمان صرف شده برای اجرای کامل یک وظیفه، زمان انتظار، زمان مهاجرت (در صورت نیاز).

• **کیفیت ارائه خدمات:** به منظور پاسخ به درخواست‌های رسیده از مشتریان در یک بازه زمانی مشخص به اندازه کافی VR وجود داشته باشد، در این حالت کیفیت ارائه خدمات نقش اساسی پیدا می‌کند.

• **هزینه کل:** هزینه منابع از مهمترین مواردی است که برای ارائه دهندگان خدمات و مشتریان اهمیت دارد. برای هر

که در آن نشان دهنده سرعت و x_i^t نشان دهنده موقعیت ذره v_i^t در تکرار t ام می‌باشد و pb و gb به ترتیب بهترین موقعیت یا راه حل محلی (فردی) و بهترین راه حل سراسری (کلی) می‌باشد. R و r مقادیر تصادفی در بازه احتمالاتی $[0,1]$ و w و c_1 و c_2 پارامترهای وزنی می‌باشند.

برای انتخاب بهترین موقعیت محلی و سراسری، زمانی که بیش از یک هدف مد نظر باشد، انتخاب به یک چالش اساسی تبدیل می‌شود که برای حل این مساله از مفهوم نظریه پارتو برای مقایسه و انتخاب بهترین زمانبندی یا موقعیت ذره با لحاظ کردن چندین هدف، استفاده می‌شود. فرض کنید دو هدف کاهش انرژی مصرفی و هزینه اجرا دو هدفی باشند که مد نظر هستند، بنابراین نمودار پارتو مربوطه بصورت زیر خواهد بود (شکل ۲).



شکل ۲: نمودار پارتو الگوریتم پیشنهادی

در شکل فوق، مجموعه نقاط قرمز رنگ مشخص شده بر روی روی منحنی مجموعه جبهه پارتو هستند که مخزن پارتو را تشکیل می‌دهند. این نقاط موقعیت ذراتی هستند که بهترین موقعیت محلی را نسبت به سایر موقعیت‌ها بر اساس دو هدف کاهش انرژی و هزینه اجرا دارا می‌باشند. بنابراین برخلاف الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، در الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چند هدفه، بیش از یک موقعیت بهینه خواهد بود. در صورتی که از نظریه پارتو استفاده نمی‌شود، می‌بایستی بر روی مقادیر دو هدف نرمال‌سازی انجام می‌شد و از میانگین وزنی برای تعیین یک تابع برآزش استفاده می‌شد. اما از آنجا که تعیین وزن و نرمال‌سازی مقادیر می‌تواند به دقت کار لطمه بزند و انتخاب یک مقدار میانگین می‌تواند دقت پایین‌تری داشته باشد لذا از نظریه پارتو استفاده شده و مجموعه‌ای از موقعیت‌های بهینه ذرات برای تعیین رهبر به کار گرفته می‌شود.

$$PerfDegM = 1/N_{VM} * \sum Deg_j / MIPS \quad (12)$$

N_{VM} برابر با تعداد ماشین‌های مجازی است. Deg_j برابر است با عملکرد ماشین مجازی با ۱۰٪ سرعت اجرای دستورالعمل. $MIPS$ برابر است با مجموع سرعت اجرای دستورالعمل‌ها.

و در آخر تابع هدف به شرح ذیل خواهد بود [36].

$$ESV = E * Violation_{SLA} * cost \quad (13)$$

مکانیسم تخصیص منابع بر اساس الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چند هدفه در الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، هر ذره به عنوان یک راه حل تخصیص و به شرح زیر، در نظر گرفته می‌شود.

کد گذاری ذرات: برای کدگذاری ذرات از یک بردار دو بعدی بصورت زوج مرتب استفاده می‌شود، هر زوج مرتب به ترتیب شامل شناسه ماشین مجازی و شناسه منبع می‌باشد. برای مثال، یک مساله با شش ماشین مجازی برای تخصیص به دو منبع را در نظر بگیرید. اگر اولین تخصیص این باشد که ماشین مجازی اول به منبع دوم تخصیص یابد، بصورت زوج مرتب (۱ و ۲) نشان داده می‌شود و دومین تخصیص، تخصیص دومین ماشین مجازی به اولین منبع باشد، آن نیز بصورت (۲ و ۱) نشان داده خواهد شد. در کل کد بندی ذره بصورت زیر خواهد بود:

$$\{(2,6) \text{ و } (2,5) \text{ و } (1,4) \text{ و } (1,3) \text{ و } (1,2) \text{ و } (2,1)\}$$

بهینه‌سازی فرمول‌های حرکتی ذرات: فرمول‌های ارائه شده در بخش قبل برای الگوریتم بهینه‌سازی ذرات، برای طبیعت طراحی شده، اما مقادیر مورد نظر در این پژوهش برای کدگذاری ذرات بصورت اعداد صحیح خاص که اندیس هستند بیان شده است، لذا نیاز به تغییر در فرمول‌های مذکور احساس می‌شود. بصورت ساده، برای اینکار پس از محاسبات، مقادیر حقیقی به دست آمده با مقادیر صحیح مناسب تغییر داده می‌شود. برای اینکه در این تغییر برخی از منابع به دلایل گرد کردن یا روش مشابه از گردونه خارج نشوند از یک روش مقدار دهی چرخشی برای این منظور استفاده می‌شود. ایده اصلی استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، یافتن بهترین راه حل از حرکت کل ذرات با کاهش مصرف انرژی، هزینه اجرا یا زمان کل اجرا می‌باشد. هر ذره، شامل یک موقعیت که نشان دهنده راه حل و یک بردار سرعت است که نشان دهنده جهت و مقدار حرکت ذره می‌باشد. موقعیت و سرعت حرکت هر ذره را با روابط زیر بیان می‌شود [۳۳]:

$$\begin{cases} v_i^{(t+1)} = wv_i^t + c_1r(pb_i^{(t)} - x_i^{(t)}) + c_2R(gb^{(t)} - x_i^{(t)}) \\ x_i^{(t+1)} = x_i^{(t)} + v_i^{(t+1)} \end{cases} \quad (14)$$

۴-۳ مراحل روش پیشنهادی

مراحل روش پیشنهادی به شرح زیر است:

گام (۱): مقدار $t=0$ برای اولین تکرار انتخاب می‌شود. تمامی k ذره در اجتماع S_{set}^t با استفاده از الگوریتم حریصانه مقداردهی اولیه می‌شود.

گام (۲): برای هر ذره محاسبات مربوطه با استفاده از روابط (بخش قبل) و توضیحات بند (۲) این بخش انجام و K ذره جدید تولید می‌شود. مجموع ذرات جدید و قدیم به تعداد $2k$ اجتماع حافظه موقتی T_{set} را تشکیل می‌دهد.

گام (۳): با استفاده از نظریه پارتو ذرات بهینه یا همان موقعیت‌های محلی بهینه پیدا می‌شود و با PO_{set} نامگذاری می‌گردد و تعداد اعضای مجموعه بهینه با N_{po} نشان داده می‌شود. اگر $N_{po} < K$ باشد گام (۴) و در غیر اینصورت گام (۵) اجرا می‌شود.

گام (۴): به تعداد $K - N_{po}$ ذره از بین ذراتی که بهینه پارتو نیستند برای اضافه کردن به مجموعه PO_{set} به خاطر تکمیل کردن تعداد مجموعه و رساندن آن به K تعداد انتخاب می‌شود تا مجموعه اجتماع ذرات در مرحله بعد S_{set}^{t+1} را تشکیل دهند.

گام (۵): به صورت تصادفی K تعداد از مجموعه انتخابی بهینه پارتو PO_{set} برای ایجاد مجموعه اجتماع ذرات مرحله بعد S_{set}^{t+1} انتخاب می‌شود.

گام (۶): شرط خاتمه الگوریتم بررسی می‌شود که شرایط به دست آمده مطلوب است یا تعداد تکرارها پایان یافته یا خیر. لازم به ذکر است که منظور از شرایط خاتمه شرایط تخصیصی می‌باشند که در بخش ۳-۳ به آن پرداخته شده است که شامل محدودیت نرم افزار، محدودیت تعداد منابع، محدودیت ترتیب و اولویت اجرای زیر وظایف است. (رجوع شود به بخش ۳-۳) در صورت تحقق شرط خاتمه گام (۸) و در غیر اینصورت گام (۷) اجرا می‌شود.

گام (۷): مقدار $t=t+1$ به روز شده و گام (۲) اجرا می‌شود.

گام (۸): الگوریتم پایان یافته و به مجموعه بهینه پارتو PO_{set} برای تصمیم گیری و انتخاب راه حل بهینه سراسری مراجعه می‌شود.

۴-۴ نتایج

در این بخش محیط شبیه سازی، پارامترهای شبیه سازی و نتایج حاصل بررسی می‌شود.

۴-۱-۱- محیط شبیه سازی

از آنجا که امکان آزمایش عملی با توجه به گستردگی محیط های ابری و در دسترس نبودن آن میسر نیست، برای آزمایش و اعتبارسنجی الگوریتم پیشنهادی، از زبان برنامه نویسی جاوا در محیط نت بینز آی دی ای ۸،۱ و نسخه ۳،۰،۱ بسته شبیه سازی کلودسیم [۳۴]، کتابخانه الگوریتم های فرااکتشافی و ابزار کمی محیط جاوا با عنوان MOEA framework استفاده شده است. کامپیوتر مورد استفاده با مشخصات پردازنده اینتل با حافظه ۴ گیگابایت و تحت سیستم عامل ویندوز ۷ انتخاب گردید.

۴-۲-۴ پارامترهای شبیه سازی

برای شبیه سازی از یک سناریو با اعمال مقادیر مناسب برای منبع تغذیه و انرژی مصرفی استفاده شده است [۲۹] که مقادیر آن در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: پارامترها و مقادیر اولیه شبیه سازی

<p>HP ProLiant ML110 G4 (1 x [Xeon 3040 1860 MHz, 2 cores], 4GB)</p> <p>HP ProLiant ML110 G5 (1 x [Xeon 3075 2660 MHz, 2 cores], 4GB)</p>	ماشین فیزیکی
<p>سرعت اجرای دستور العمل: {۱۸۶۰ و ۲۶۶۰}</p> <p>تعداد پردازنده ها: ۲</p> <p>رم: ۴۰۹۶</p> <p>پهنای باند: ۱ گیگا بایت بر ثانیه</p> <p>حافظه: ۱ گیگا بایت</p>	
<p>سرعت اجرای دستورالعمل: {۲۵۰۰ و ۲۰۰۰ و ۱۰۰۰ و ۵۰۰}</p> <p>تعداد پردازنده ها: ۱</p> <p>رم: {۸۷۰ و ۱۷۴۰ و ۱۷۴۰ و ۶۱۳}</p> <p>پهنای باند: ۱۰ مگابیت بر ثانیه</p>	ماشین مجازی
<p>طول: ۲۱۶۰ مگا بایت</p> <p>تعداد پردازنده ها: ۱</p>	وظایف

۴-۳-۴ نتایج بدست آمده

لحظه آماده به کار شدن می‌گردد. میانگین زمان کل اجرا برای این سناریو برابر است با ۰,۰۰۵۳۳ ثانیه، که در مقایسه با سایر سناریوها تحلیل خواهد شد. انحراف معیار زمان کل اجرای آن ۰,۰۰۵۱۱ ثانیه است که مقدار زیادی است و نشان از پراکندگی زیاد در مقادیر زمان اجرا است و حاکی از عدم توازن بار بین منابع است.

در سناریوی دوم (اعمال سیاست پیشنهادی مبتنی بر الگوریتم ازدحام ذرات چند هدفه در کلاس VMselectionpolicy)؛ کلاس انتخاب ماشین مجازی از سیاست الگوریتم ارائه شده مبتنی بر الگوریتم ازدحام ذرات چند هدفه استفاده گردید تا ماشین‌های مجازی مناسب از بین ماشین‌های مجازی در دسترس انتخاب شوند. در کلاس تخصیص ماشین مجازی از سیاست انتخاب مبتنی بر آستانه و به تبعیت از سیاست اتخاذی در کلاس انتخاب ماشین مجازی استفاده گردید. در واقع در این روش، الگوریتم ارائه شده در کلاس VM selection policy اعمال گردید که در جدول ۳ قابل مشاهده است.

مقادیر ستون ۲ از جدول ۳، در مقایسه با مقادیر به دست آمده از سناریوی اول در ستون ۱ جدول ۳ تفاوت محسوسی دارد. در سناریوی دوم، میزان انرژی مصرفی حدود 50% کاهش پیدا کرده است، تعداد مهاجرت‌ها از ۵۷۰۰ مورد به ۵۶ مورد کاهش یافته که دلیل بر تخصیص بهینه است. موارد نقض توافقیانه به 0.00143% کاهش پیدا کرده است و درصد موارد نقض به دلیل مهاجرت صفر شده است. موارد خاموش شدن‌های میزبان‌ها نیز به ۴۶ مورد کاهش پیدا کرده که در مقایسه با مقدار آن در سناریوی اول، ۶۳۴ مورد بسیار پایین است. میانگین زمان اجرای کل از ۰,۰۰۵۳۳ به ۰,۰۰۱۵۷ سناریوی نخست و اتلاف زمان می‌باشد. انحراف معیار پایین سناریوی دوم نسبت به سناریوی اول کمتر است، و حاکی از توازن بار بیشتر است.

در سناریوی سوم (اعمال سیاست پیشنهادی مبتنی بر الگوریتم ازدحام ذرات چند هدفه در کلاس VMallocationpolicy) از سیاست انتخاب ماشین مجازی با کمترین مقدار بهره‌وری استفاده شد و در کلاس تخصیص ماشین مجازی از سیاست الگوریتم ارائه شده مبتنی بر الگوریتم ازدحام ذرات چند هدفه استفاده گردید تا بهترین تخصیص بر اساس الگوریتم پیشنهادی صورت پذیرد (جدول ۳).

در اولین ارزیابی، نتایج شبیه سازی برای چهار حالت مختلف ارائه می‌گردد. این چهار حالت شامل اتخاذ سیاست‌های مختلف در دو کلاس منشعب از کلاس‌های مادر ماشین مجازی allocation policy برای اعمال سیاست تخصیص و ماشین مجازی selection policy برای اعمال سیاست انتخاب می‌باشد که در جدول ۲، حالت‌های مختلف اعمال شده در شبیه سازی آورده شده است.

جدول ۲: حالت‌ها و سناریوهای مختلف شبیه سازی

سناریو	ماشین مجازی selection policy	ماشین مجازی allocation policy
۱	Minimum Utilization(mu)	Threshold Allocation (thr)
۲	Minimum Energy(me) with MOPSO	Threshold Allocation (thr)
۳	Minimum Utilization(mu)	MOPSO Allocation (mopso)
۴	Minimum Energy(me) with MOPSO	MOPSO Allocation (mopso)

در سناریوی اول (حالت استاندارد)؛ کلاس انتخاب ماشین مجازی، از سیاست انتخاب ماشین مجازی با کمترین مقدار بهره‌وری استفاده شده است، و در کلاس تخصیص ماشین مجازی از سیاست آستانه بهره‌وری با مقدار آستانه ۰,۸ استفاده گردید. در واقع این روش حالت نرمال شبیه ساز کلود سیم بوده و سیاست خاصی در کلاس تخصیص اعمال نشده بلکه از سیاست انتخاب مبتنی بر انتخاب بیکارترین ماشین‌های مجازی با یک آستانه مشخص استفاده شده است (جدول ۳).

در جدول ۳، میزان کل مصرف انرژی به کیلووات ساعت را نشان داده شده است که برابر با ۳۰,۵۹ می‌باشد، تعداد مهاجرت‌های ماشین‌های مجازی ۵۷۰۰ می‌باشد که رقمی بالاست و حاکی از تخصیص اولیه غیر کارآمد است. موارد نقض سطح توافقیانه خدمت نسبتاً زیاد است و موارد نقض به دلیل مهاجرت 0.45% می‌باشد که موجب عدم رضایت مشتریان خواهد شد. دلیل این نقض، ناشی از تخصیص‌های نامناسب و مهاجرت‌های زیاد می‌باشد. تعداد خاموش شدن‌های میزبان‌ها ۶۳۴ می‌باشد، که نسبتاً زیاد است. خاموش شدن‌های بی مورد و زیاد، باعث افزایش زمان آماده به کار شدن آنها و در نتیجه افزایش زمان کل اجرا و همچنین افزایش انرژی مصرفی اولیه در

¹ Minimum Utilization

استفاده از یک الگوریتم بهینه سازی چند هدفه برای تخصیص کارها در سیستم‌های مبتنی بر ابر با هدف کاهش انرژی مصرفی

9- Mean time before a host shutdown(sec)	1443.59	2278.74	1443.59	2278.74
10- StDev time before a host shutdown(sec)	1319.58	8257/02	1319.58	8257.02
11- Mean time before a VM migration	20.14	19.90	20.14	19.09
12- StDev time before a VM migration	8.01	7.86	8.01	7.86
13- Execution time - VM selection mean	0.00019	0.00024	0.00019	0.0019
14- Execution time - VM selection stDev	0.00039	0.00062	0.00084	0.00040
15- Execution time - host selection mean	0.00033	0.00038	0.00026	0.00033
16- Execution time - host selection stDev	0.00048	0.00075	0.00046	0.00048
17- Execution time - VM reallocation mean	0.00230	0.0003	0.00196	0.0003
18- Execution time - VM reallocation stDev	0.00303	0.00018	0.00246	0.00018
19- Execution time - total mean	0.00533	0.00157	0.00484	0.00187
20- Execution time - total stDev	0.00511	0.00276	0.00514	0.00370

نتایج سناریوی سوم که در ستون ۳ از جدول ۳ آمده است، نشان می‌دهد که در این پیاده‌سازی نتایج مشابه سناریوی اول است، به غیر از میانگین زمان کل اجرا که از ۰,۰۰۵۳۳ به ۰,۰۰۴۸۴ رسیده است و اندکی کاهش را نشان می‌دهد. اما انحراف معیار از ۰,۰۰۵۱۱ به ۰,۰۰۵۱۴ افزایش یافته است که نشان از توزان بار کمتر نسبت به سناریوی اول است.

در سناریوی چهارم (اعمال سیاست الگوریتم پیشنهادی در هر دو کلاس VM selection policy و VM allocation policy)، در هر دو کلاس انتخاب ماشین مجازی و تخصیص ماشین مجازی از سیاست الگوریتم پیشنهادی استفاده گردید (جدول ۳).

نتایج جدول ۳ ستون ۴ نشان می‌دهد که عملکرد سناریوی چهارم در کاهش مصرف انرژی، میزان نیاز به مهاجرت، درصد موارد نقض توافقنامه و خاموش شدن‌های میزبان مشابه سناریوی دوم است اما میانگین زمان کل اجرای آن که در سناریوی دوم ۰,۰۰۱۵۷ بود به ۰,۰۰۱۸۷ افزایش یافته است و انحراف معیار زمان کل اجرا نیز از ۰,۰۰۲۷۶ به ۰,۰۰۳۷۰ افزایش یافته است که حاکی از ضعف سناریوی چهارم نسبت به سناریوی دوم است. سناریوی چهارم در مقایسه با سناریوهای اول و سوم بهتر عمل کرده است و در رده دوم قرار دارد.

جدول ۴: نتایج سناریوهای شبیه سازی شده

الف- مقادیر یکسان شبیه سازی				
Number of hosts: 50				
Number of VMs: 50				
Total simulation time: 86400.00 sec				
ب- نتایج سناریوهای اجرایی				
پارامترها	سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳	سناریو ۴
1-Energy consumption(kwh)	30.59	16.09	30.59	16.09
2- Number of VM migrations	5700	56	5700	56
3- SLA(%)	0.10356	0.00143	0.10356	0.00143
4- SLA perf degradation due to migration(%)	0.45	0.00	0.45	0.00
5- SLA time per active host(%)	22.8	73.72	22.8	73.72
6- Overall SLA violation(%)	7.74	33.07	7.74	33.07
7- Average SLA violation(%)	18.83	36.27	18.83	36.27
8- Number of host shutdowns	634	46	634	46

۴-۳-۱ ارزیابی کارایی روش پیشنهادی در کاهش مصرف انرژی

از آنجا که یکی از اهداف اصلی روش پیشنهادی کاهش مصرف انرژی در ابر می‌باشد، در این بخش نقش الگوریتم پیشنهادی در کاهش مصرف انرژی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای این منظور نتایج حاصل از اعمال شرایط چهار حالت و سناریوی مختلف که در بخش قبل توضیح داده شد در شکل ۳ آورده شده است.

همانطور که در شکل مشخص است میزان کاهش مصرف انرژی در سناریوی دوم و چهارم که الگوریتم پیشنهادی در کلاس انتخاب ماشین مجازی اعمال شده است به طور کاملاً محسوسی کاهش پیدا کرده است. نتایج این نمودار نشان می‌دهد که در سناریوی چهارم که در مقایسه با سناریوی دوم، در کلاس تخصیص نیز الگوریتم پیشنهادی بصورت توامان اعمال شده است، بهینگی صورت پذیرفته

SLA perf degradation due to migration: 0.00%
SLA time per active host: 74.95%
Overall SLA violation: 28.00%
Average SLA violation: 30.91%
Number of host shutdowns: 79
Mean time before a host shutdown: 2174.04 sec
StDev time before a host shutdown: 9968.25 sec
Mean time before a VM migration: 2.05 sec
StDev time before a VM migration: 0.00 sec
Execution time - VM selection mean: 0.00054 sec
Execution time - VM selection stDev: 0.00067 sec
Execution time - host selection mean: 0.00080 sec
Execution time - host selection stDev: 0.00064 sec
Execution time - VM reallocation mean: 0.00005 sec
Execution time - VM reallocation stDev: 0.00023 sec
Execution time - total mean: 0.00513 sec
Execution time - total stDev: 0.00995 sec

با توجه به نتایج جدول ۸، میزان کل انرژی مصرفی روش ارائه شده برابر است با ۶۲,۶۹ کیلو وات ساعت، تعداد ماشین‌های مجازی مهاجرت داده شده برابر است با ۱۸۶ ماشین مجازی، موارد نقض توافقنامه کیفیت ارائه خدمات ۰,۰۰۰۰۷ درصد است که مقدار بسیار پایینی است و حاکی از کارایی الگوریتم پیشنهادی در تضمین کیفیت ارائه خدمات است. با توجه به پایین بودن میزان نیاز به مهاجرت ماشین‌ها، موارد نقض توافقنامه به دلیل مهاجرت صفر شده است. تعداد خاموش شدن‌های میزبان‌ها ۷۹ مورد است، در نهایت میانگین زمان کل اجرای کارها ۰,۰۰۵۱۳ ثانیه و انحراف معیار آن ۰,۰۰۹۹۵ ثانیه است. در ادامه این نتایج با نتایج سایر روش‌های پیشین با شرایط شبیه‌سازی یکسان مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در [۳۳]، که مروری بر کارهای گذشته در این حوزه داشته است، مقایسه الگوریتم‌های ان پی آی، دی وی اف اس، اس تی و MM را در شرایط یکسانی که در جدول (۳) آمده است، صورت پذیرفت. در جدول (۴-۵) نتایج نهایی این آزمایش‌ها در مقایسه با روش پیشنهادی ارائه شده است. با توجه به جدول (۳) میزان انرژی مصرفی توسط الگوریتم پیشنهادی برابر است با ۶۲,۶۹ کیلو وات

۴-۳-۴ ارزیابی کارایی روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های

پیشین

در ارزیابی دیگری به عنوان ارزیابی نهایی، کارایی الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم‌های قبلی مورد بررسی قرار گرفت، برای این منظور ابتدا شرایط و تنظیمات یکسان بصورت جدول ۴ اعمال گردید [۳۵]. در این مرحله از ارزیابی سناریوی دوم که بهترین سناریو و پیاده‌سازی از الگوریتم پیشنهادی بود اجرا گردید.

جدول ۴- تنظیمات شبیه سازی یکسان برای مقایسه با الگوریتم‌های

پیشین

مقدار دهی اولیه و تنظیمات شبیه‌سازی برای مقایسه روش

پیشنهادی با روش‌های دیگر

```

NUMBER_OF_VMS = 290;
NUMBER_OF_HOSTS = 100;
VM_TYPES      = 4;
VM_MIPS       = { 250, 500, 750, 1000 };
VM_PES        = { 1, 1, 1, 1 };
VM_RAM        = { 128, 128, 128, 128 };
VM_BW         = 100000; // 100 Mbit/s
VM_SIZE       = 1000; // 1 GB
HOST_TYPES    = 3;
HOST_MIPS     = { 1000, 2000, 3000 };
HOST_PES      = { 1, 1, 1 };
HOST_RAM      = { 8192, 8192, 8192 };
HOST_BW       = 1000000; // 1 Gbit/s
HOST_STORAGE = 1000000000; // 1 TB
HOST_POWER    =
PowerModelSpecPowerHpProLiantM110G4Xeon3040()
    
```

در این مرحله از شبیه‌سازی، تعداد ماشین‌های مجازی: ۲۹۰، تعداد میزبان: ۱۰۰، انواع ماشین مجازی: ۴ نوع با مشخصات پردازشی، تعداد هسته، حافظه رم، پهنای باند و اندازه حافظه جانبی مندرج در جدول و سه نوع میزبان با مشخصات ذکر شده در جدول ۴ ایجاد گردید. خروجی شبیه‌سازی در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵- خروجی شبیه‌سازی با شرایط مقایسه‌ای

نتایج شبیه سازی

Experiment name: thr_me_0.8
Number of hosts: 100
Number of VMs: 290
Total simulation time: 86400.00 sec
Energy consumption: 62.69 kWh
Number of VM migrations: 186
SLA: 0.00007%

³ ST

¹ NPA

² DVFS

۵- نتیجه گیری و کارهای آتی

نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی نشان داد که استفاده از الگوریتم فرااکتشافی بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای تخصیص منابع می‌تواند به طور قابل توجهی میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی را بهبود بخشد. اهداف تعریف شده در این پژوهش کاهش مصرف انرژی و کاهش زمان اجرای کل بود که به آنها دست یافته شد. کاهش مدت زمان اجرا به ۰,۰۰۵۱۳ ثانیه و کاهش میانگین انرژی مصرفی به ۰,۶۲۶ کیلووات ساعت در مقایسه با بهترین روش قبلی که ۱,۱۴۲ کیلووات ساعت بود، همچنین کاهش میزان نیاز به مهاجرت و توازن بار از دستاوردهای دیگر این پژوهش بود. طی این تحقیق مشخص شد که از قابلیت‌های ویژه الگوریتم‌های فرااکتشافی به ویژه الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات و بهینه‌سازی چندهدفه می‌توان به نتایج بهتری بدست آورد. تعریف توابع جدید در بهینه‌سازی چندهدفه، برای دستیابی به حصول سایر شرایط و اهداف مورد نیاز می‌تواند موثر باشد.

به عنوان کارهای پژوهشی آینده استفاده از روش پیشنهادی برای زمانبندی وظایف در ماشین‌های مجازی، اعمال پارامترهای سودمند دیگر برای تعیین تابع برازندگی، استفاده از روش ارایه شده برای سایر اهداف سیستم‌های ابری، همانند کاهش هزینه مشتری و افزایش سود ارایه دهندگان خدمت، استفاده از روش‌های دیگر فرا ابتکاری و روش‌های ترکیبی مشابه جهت تخصیص منابع، آزمایش روش پیشنهادی بر روی محیط اتحادیه ابر برای صرفه‌جویی بیشتر در مصرف انرژی و نتایج بهتر می‌توانند در جهت توسعه روش ارائه شده در این پژوهش انجام شوند.

مراجع

1. Jafari Navimipour, N. and B. Zareie, *A model for assessing the impact of e-learning systems on employees' satisfaction*. Computers in Human Behavior, 2015. **53**: p. 475-485.
2. Chiregi, M. and N.J. Navimipour, *A new method for trust and reputation evaluation in the cloud environments using the recommendations of opinion leaders' entities and removing the effect of troll entities*. Computers in Human Behavior, 2016. **60**: p. 280-292.
3. Souri, A. and N. Jafari Navimipour, *Behavioral modeling and formal verification of a resource discovery approach in Grid computing*. Expert Systems with Applications, 2014. **41**(8): p. 3831-3849.
4. Ding, Y., et al., *Energy efficient scheduling of virtual machines in cloud with deadline constraint*. Future Generation Computer Systems, 2015. **50**: p. 62-74.

ساعت و تعداد میزبان برابر است با ۱۰۰ بنابراین میانگین مصرف انرژی برای هر میزبان برابر است با ۰,۶۲۶۹ کیلو وات ساعت و در مقایسه با روش‌های قبلی کمترین میزان مصرف انرژی را دارد و از بهترین نتایج به دست آمده در روش‌های ان پی آ، دی وی اف اس، اس تی با دو سناریوی پیاده‌سازی و ام ام با سه سناریوی پیاده‌سازی به طور محسوسی بهینه است.

جدول ۶- نتایج نهایی مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های قبلی

میانگین SLA	مهاجرت ماشین مجازی	SLA violation	انرژی (کیلو وات ساعت)	الگوریتم
-	-	-	9.151	ان پی آ
-	-	-	4.402	دی وی اف اس
81.8%	35226	5.4%	2.034	اس تی ۵۰٪
87.9%	34519	7.4%	1.622	اس تی ۶۰٪
56.9%	3360	1.1%	1.476	ام ام ۳۰٪-۷۰٪
65.7%	3241	2.8%	1.266	ام ام ۴۰٪-۸۰٪
76.1%	3121	6.7%	1.142	ام ام ۵۰٪-۹۰٪
30.91%	186	28%	0.626	روش پیشنهادی

ستون سوم نشان دهنده درصد نقض شرایط توافقنامه کیفیت ارائه خدمات سراسری است که الگوریتم پیشنهادی ضعیف تر از بقیه است. در ستون مهاجرت ماشین مجازی مشاهده می‌شود که تعداد مهاجرت‌ها در روش پیشنهادی به طور قابل مقایسه‌ای کاهش یافته است و این حاکی از تخصیص بهینه می‌باشد که نتایج‌اش در کاهش مصرف انرژی نیز ظهور پیدا کرده است. ستون آخر این ارزیابی مربوط است به میانگین توافقنامه سطح خدمت که اعداد مربوط به این ستون نشان دهنده درصد موارد رعایت توافقنامه کیفیت ارایه خدمات است، به عبارتی اعداد این ستون درصد تخصیص‌های نامناسب را به لحاظ سرعت اجرای دستور العمل ماشین فیزیکی نسبت به سرعت اجرای دستور العمل درخواستی نشان می‌دهد، هر چقدر این مقدار کم باشد حاکی از بهینگی روش مذکور است. مشاهده می‌شود که روش پیشنهادی کمترین مقدار (۳۰,۹۱٪) را در بین روش‌های ارائه شده دارد.

- Clouds. European Journal of Operational Research, 2014. **236**(1): p. 326-339.
17. Yousafzai, A., et al., *Cloud resource allocation schemes: review, taxonomy, and opportunities*. Knowledge and Information Systems, 2017. **50**(2): p. 347-381.
 18. Hameed, A., et al., *A survey and taxonomy on energy efficient resource allocation techniques for cloud computing systems*. Computing, 2016. **98**(7): p. 751-774.
 19. Devarasetty, P. and S. Reddy, *Genetic algorithm for quality of service based resource allocation in cloud computing*. Evolutionary Intelligence, 2019.
 20. Wei, G., et al., *A game-theoretic method of fair resource allocation for cloud computing services*. The Journal of Supercomputing, 2010. **54**(2): p. 252-269.
 21. Shu, W., W. Wang, and Y. Wang, *A novel energy-efficient resource allocation algorithm based on immune clonal optimization for green cloud computing*. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2014. **2014**(1): p. 64.
 22. Xiao, Z., W. Song, and Q. Chen, *Dynamic Resource Allocation Using Virtual Machines for Cloud Computing Environment*. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2013. **24**(6): p. 1107-1117.
 23. Li, C., Y.C. Liu, and X. Yan, *Optimization-based resource allocation for software as a service application in cloud computing*. Journal of Scheduling, 2017. **20**(1): p. 103-113.
 24. Son, S., G. Jung, and S.C. Jun, *An SLA-based cloud computing that facilitates resource allocation in the distributed data centers of a cloud provider*. The Journal of Supercomputing, 2013. **64**(2): p. 606-637.
 25. Jala, J. and K.R.H. Rao. *QoS-Based Technique for Dynamic Resource Allocation in Cloud Services*. 2019. Singapore: Springer Singapore.
 26. Usman, M.J., et al., *Energy-efficient Virtual Machine Allocation Technique Using Flower Pollination Algorithm in Cloud Datacenter: A Panacea to Green Computing*. Journal of Bionic Engineering, 2019. **16**(2): p. 354-366.
 27. Lau, H.Y.K. and Y. Zhao, *Integrated scheduling of handling equipment at automated container terminals*. International Journal of Production Economics, 2008. **112**(2): p. 665-682.
 28. Holland, J.H., *Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. 1992: MIT press.
 29. Coello, C.A.C., *Evolutionary multi-objective optimization*. Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery, 2011. **1**(5): p. 444-447.
 30. Abraham, A. and L. Jain, *Evolutionary multi-objective optimization*. Evolutionary Multi-objective Optimization, 2005: p. 1-6.
 5. Jafari Navimipour, N., et al., *Expert Cloud: A Cloud-based framework to share the knowledge and skills of human resources*. Computers in Human Behavior, 2015. **46**: p. 57-74.
 6. Xiao, P., Z.-G. Hu, and Y.-P. Zhang, *An Energy-Aware Heuristic Scheduling for Data-Intensive Workflows in Virtualized Datacenters*. Journal of Computer Science and Technology, 2013. **28**(6): p. 948-961.
 7. Song, J., et al., *Study on energy-consumption regularities of cloud computing systems by a novel evaluation model*. Computing, 2013. **95**(4): p. 269-287.
 8. L.D, D.B. and P. Venkata Krishna, *Honey bee behavior inspired load balancing of tasks in cloud computing environments*. Applied Soft Computing, 2013. **13**(5): p. 2292-2303.
 9. Alami Milani, B. and N. Jafari Navimipour, *A comprehensive review of the data replication techniques in the cloud environments: Major trends and future directions*. Journal of Network and Computer Applications, 2016. **64**: p. 229-238.
 10. Lombardi, F. and R. Di Pietro, *Secure virtualization for cloud computing*. Journal of Network and Computer Applications, 2011. **34**(4): p. 1113-1122.
 11. Jafari Navimipour, N., et al., *Behavioral modeling and automated verification of a Cloud-based framework to share the knowledge and skills of human resources*. Computers in Industry, 2015. **68**: p. 65-77.
 12. Almorisy, M., J. Grundy, and A.S. Ibrahim, *Adaptable, model-driven security engineering for SaaS cloud-based applications*. Automated Software Engineering, 2014. **21**(2): p. 187-224.
 13. Wu, L., S. Kumar Garg, and R. Buyya, *SLA-based admission control for a Software-as-a-Service provider in Cloud computing environments*. Journal of Computer and System Sciences, 2012. **78**(5): p. 1280-1299.
 14. Ramamoorthy, S. and S. Rajalakshmi, *A Preventive Method for Host Level Security in Cloud Infrastructure*, in *Proceedings of the 3rd International Symposium on Big Data and Cloud Computing Challenges (ISBCC - 16')*, V. Vijayakumar and V. Neelanarayanan, Editors. 2016, Springer International Publishing: Cham. p. 3-12.
 15. Dam, S., et al., *An Ant Colony Based Load Balancing Strategy in Cloud Computing*, in *Advanced Computing, Networking and Informatics- Volume 2: Wireless Networks and Security Proceedings of the Second International Conference on Advanced Computing, Networking and Informatics (ICACNI-2014)*, M. Kumar Kundu, et al., Editors. 2014, Springer International Publishing: Cham. p. 403-413.
 16. Anselmi, J., D. Ardagna, and M. Passacantando, *Generalized Nash equilibria for SaaS/PaaS*

31. Li, H., K. Deb, and Q. Zhang, *Variable-length Pareto Optimization via Decomposition-based Evolutionary Multiobjective Algorithm*. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2019.
32. Sheikholeslami, F. and N.J. Navimipour, *Service allocation in the cloud environments using multi-objective particle swarm optimization algorithm based on crowding distance*. Swarm and Evolutionary Computation, 2017. **35**: p. 53-64.
33. Clerc, M., *Standard particle swarm optimisation*. 2012.
34. Calheiros, R.N., et al., *CloudSim: a toolkit for modeling and simulation of cloud computing environments and evaluation of resource provisioning algorithms*. Software: Practice and Experience, 2011. **41**(1): p. 23-50.
35. Beloglazov, A., J. Abawajy, and R. Buyya, *Energy-aware resource allocation heuristics for efficient management of data centers for Cloud computing*. Future Generation Computer Systems, 2012. **28**(5): p. 755-768.
36. Mandal, R., Mondal, M.K., Banerjee, S. et al. An approach toward design and development of an energy-aware VM selection policy with improved SLA violation in the domain of green cloud computing. *J Supercomput* (2020). <https://doi.org/10.1007/s11227-020-03165-6>

Using a multi-objective optimization algorithm to allocate tasks in cloud-based systems to reduce energy consumption

Due to the increasing demand for business in the web environment, the variety and number of services have increased. As a result, large-scale computing data centers have been created that increase costs and electrical power. Inadequate and inefficient cooling systems not only overheat the resources and reduce the devices' service life but also produce carbon, which plays an important role in weather conditions.

Therefore, it is necessary to reduce the total energy consumption of these systems with appropriate methods. In this research, an effective method of energy resource management in virtualized cloud data centers is presented. In addition to reducing energy consumption and operating costs, it has also increased the quality of services. This study presents a resource allocation strategy in cloud systems to reduce energy and implementation costs and examine its application in the cloud computing environment. The simulation results showed that the proposed method could reduce the average energy consumption up to 0.626 kWh compared to NPA, DVFS, ST, and MM methods. Also, the need for migration and SLA violations are decreased.

Keywords: Cloud Computing, Energy Consumption, Job Allocation, Multi-Objective Optimization Algorithm.

ارائه مکانیزم پاداش‌دهی محرک برای سیستم محاسبات انسانی

تشخیص نفوذ بر اساس نظریه بازی‌ها

یحیی لرمحمدحسینی اسفندقه* مجید غیوری ثالث**

*دانشجوی کارشناسی ارشد گروه کامپیوتر - دانشکده فناوری اطلاعات و ارتباطات - دانشگاه جامع امام حسین (ع)

**استادیار گروه کامپیوتر - دانشکده فناوری اطلاعات و ارتباطات - دانشگاه جامع امام حسین (ع)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۱۷

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

با وجود پیشرفت‌های شگرف در حوزه طراحی سیستم‌های محاسبات انسانی اکثر آن‌ها از مشارکت کم یا مشارکت بدون کیفیت رنج می‌برند و درصد بالایی از آن‌ها با شکست مواجه می‌شوند. موفقیت این سیستم‌ها تا حدود زیادی به رفتار مشارکت‌کنندگان در سیستم بستگی دارد. از آنجایی که سیستم‌هایی محاسبات انسانی شامل واحدهای کوچکی از کارها هستند و هر کار سود کمی به مشارکت‌کنندگان می‌رساند، انسان‌ها در صورتی در سیستم رفتار مطلوبی بروز می‌دهند که برای انجام آن به خوبی تحریک شده باشند. در این مقاله، ما این مسئله را در سیستم محاسبات انسانی تشخیص نفوذ مورد بررسی قرار دادیم. هدف ما از ایجاد تحریک افزایش مشارکت، انجام کارها توسط افراد متخصص و انجام کارها با بیشترین تلاش و دقت در ازای کمترین هزینه ممکن است. پس از انتخاب محرک‌های مناسب برای این سیستم اقدام به طراحی مکانیزم پاداش‌دهی محرک کردیم. ایده طراحی این مکانیزم استفاده از مهارت کارکنان در تعیین پاداش آن‌ها است و از ضریب کاپا برای ارزیابی توافق مشارکت کارکنان استفاده شده است. پس از طراحی این مکانیزم از نظریه بازی‌ها برای تحلیل مکانیزم و تعیین حداقل پاداش ممکن برای هر دسته از کارها استفاده می‌کنیم. با تشویق کارکنان به مشارکت زیاد و باکیفیت از شکست سیستم جلوگیری می‌شود و با اختصاص کمترین منابع مالی مورد نیاز به کارکنان، منابع مالی سیستم را مدیریت می‌کنیم. طراحی این مکانیزم منجر به افزایش دقت مشارکت‌کنندگان و در نتیجه افزایش دقت سیستم محاسبات انسانی تشخیص نفوذ در شناسایی حملات جدید و کاهش نرخ هشدار اشتباه آن‌ها می‌شود.

واژگان کلیدی: پاداش‌دهی محرک، محاسبات انسانی، نظریه بازی، تشخیص نفوذ، ضریب کاپا.

۱. مقدمه

سیستم‌های تشخیص نفوذ یک از مهم‌ترین آن‌ها است. اما سیستم‌های تشخیص نفوذ از دو نقص اساسی رنج می‌برند. این سیستم‌ها در مواجهه با حملات شناخته‌شده نرخ هشدار اشتباه بسیار بالایی دارند و در مواجهه با حملات ناشناخته

امروزه با فراگیر شدن علم کامپیوتر حملات سایبری روزبه‌روز در حال افزایش است. به‌منظور مقابله با این حملات از ابزارهای مختلفی استفاده می‌شود که

زیادی سیستم محاسبات انسانی تحت وب وجود دارد، اما سطح مشارکت و همکاری در این سیستم‌ها بسیار متفاوت است. تفاوت این سیستم‌ها در نحوه‌ی تحریک انسان برای استفاده از آن سیستم است و سیستمی موفق‌تر است که بتواند تحریک لازم را ایجاد کرده باشد. انسان‌ها می‌توانند در ازای دریافت پول، رسیدن به شهرت، اهداف خیرخواهانه یا در خلال کارهای ضمنی (بازی و سرگرمی) اقدام به شرکت در سیستم‌های محاسبات انسانی نمایند [۴]. ساختار مقاله به این شکل است. پس از انتخاب محرک مناسب، یک مکانیزم تحریک‌آمیز برای کارکنان سیستم محاسبات انسانی تشخیص نفوذ طراحی می‌کنیم. سپس این مکانیزم را بر اساس نظریه بازی‌ها تحلیل و بررسی می‌کنیم تا مطمئن شویم به اهداف خود از ایجاد مکانیزم تحریک‌آمیز رسیده‌ایم و کمترین پاداش ممکن را برای هر دسته از کارها را تعیین می‌کنیم. در پایان درستی مکانیزم تحریک‌آمیز را نیز بر اساس نتایج پیاده‌سازی نشان می‌دهیم.

۲. کارهای مرتبط

سیستم‌های محاسبات انسانی زیادی از نظریه بازی به‌منظور طراحی و تحلیل سیستم پاداش‌دهی خود استفاده کرده‌اند. این سیستم‌ها اهداف متفاوتی از طراحی و تحلیل سیستم پاداش‌دهی خود بر اساس نظریه بازی‌ها داشته‌اند. برخی از آن‌ها به‌منظور افزایش مشارکت کارکنان، برخی دیگر به‌منظور استخراج نظر درست و واقعی کاربران و بعضی به‌منظور استخراج بیشترین تلاش شرکت‌کنندگان این کار را انجام می‌دهند. چالش بال‌ن قرمز دارپا^۱ یک مثال عمومی از سیستم‌های محاسبات انسانی بود که هدف او از تحریک افزایش مشارکت بوده است [۵].

یکی از کاربردهای رایج سیستم‌های محاسبات انسانی در محدوده استفاده از جمع، برای ارزیابی یا قضاوت است که این سیستم‌ها را جمع‌سپاری می‌نامند. در [۶] یک مکانیزم تحریک برای این سیستم‌ها پیشنهاد شده است. هدف آن‌ها از ایجاد تحریک استخراج حداکثر تلاش کارکنان بوده و از محرک پول استفاده کرده‌اند. در مکانیزم ارائه‌شده پاسخ‌های کارکنان دو حالت ۰ و ۱ دارد و از پاسخ‌ها و توافق کارکنان برای امتیازدهی و ایجاد تحریک استفاده شده است. پس از

دقت بسیار پائینی دارند. معمولاً در کنار سیستم‌ها تشخیص نفوذ از یک انسان به‌عنوان مدیر سیستم استفاده می‌شود و وظیفه آن بررسی هشدارهای دریافتی از سیستم تشخیص نفوذ و تصمیم‌گیری نهایی در مورد حمله بودن یا نبودن و نحوه پاسخ‌گویی به آن‌ها است. این شخص ممکن است دانش محدودی داشته باشد یا در مورد برخی حملات جدید دانش نداشته باشد در نتیجه دقت لازم در تشخیص حملات را ندارد. بنابراین به‌جای یک نفر استفاده از یک سیستم محاسبات انسانی با عنوان سیستم محاسبات انسانی تشخیص نفوذ پیشنهاد شده است [۱].

استفاده از انسان به‌عنوان منبع محاسباتی منطقی با عنوان سیستم محاسبات انسانی اولین بار توسط ون آهو در سال ۲۰۰۵ پیشنهاد شده است [۲]. نحوه کار سیستم‌های محاسبات انسانی به این شکل است که در این سیستم‌ها سؤالات محاسباتی توسط وب، ایمیل یا موبایل برای انسان‌ها (مشارکت‌کنندگان) ارسال می‌شود و سپس پاسخ‌های آن‌ها جمع‌آوری و ترکیب می‌شود تا پاسخ مسئله حاصل شود [۳]. از آنجایی که استفاده از هوش انسان و توانایی آن در بررسی ترافیک شبکه به‌صورت کلی و یکجا برای تشخیص نفوذ کارا است، سیستم محاسبات انسانی تشخیص نفوذ به وجود آمده است. نحوه کار سیستم محاسبات انسانی تشخیص نفوذ بدین شکل است که الگوی ترافیک شبکه و خصوصیات آن برای مشارکت‌کنندگان که متخصصان شبکه هستند، ارسال می‌شود سپس متخصصان با دیدن این الگوها در مورد حمله بودن یا نبودن و نوع حمله تصمیم‌گیری می‌کنند. پس از جمع‌آوری پاسخ‌های مشارکت‌کنندگان آن‌ها را باهم ترکیب کرده و نظر کلی آن‌ها در مورد ترافیک شبکه استخراج می‌شود. پس از استخراج پاسخ کلی آن‌ها در سیستم تشخیص نفوذ مورداستفاده قرار می‌دهند.

موفقیت سیستم‌های محاسبات انسانی تا حد زیادی به انسان‌هایی که به‌صورت واقعی در سیستم رفتار و ایفای نقش می‌کنند، بستگی دارد و کیفیت پاسخ آن‌ها تأثیر مستقیم بر روی موفقیت سیستم دارد. چون سیستم‌های محاسبات انسانی شامل واحدهای کوچکی از کارها هستند که مستقیماً به مشارکت‌کنندگان سود نمی‌رسانند، آن‌ها در صورتی در سیستم شرکت می‌کنند که محرک برای انجام آن کار وجود داشته باشد. در حقیقت درحالی که تعداد

² Crowdsourcing

¹ DARPA

کرده‌اند. آن‌ها هدف خود را استخراج بیشترین تلاش کارکنان معرفی کرد و از محرک سرگرمی استفاده کرده‌اند. پس از تحلیل بازی بر اساس نظریه بازی‌ها نشان دادند که استخراج بیشترین تلاش کارکنان نقطه تعادل بازی است. استفاده از محرک سرگرمی از تفاوت‌های اساسی این کار با کارهای مرتبط است.

سیستم‌های محاسبات انسانی رای‌گیری نوع دیگری از سیستم‌های محاسبات انسانی می‌باشند که به‌عنوان مثال برای رتبه‌بندی و ارزیابی کیفیت استفاده می‌شوند. در این سیستم‌ها هدف استخراج بهترین پاسخ‌های درست و صحیح از نتیجه رای‌گیری است. در [۱۱] یک مکانیزم تحریک برای این‌گونه سیستم‌ها طراحی کرده‌اند که هدفشان را تحریک کارکنان به رأی دادن صحیح معرفی کرده‌اند و از محرک شهرت استفاده کرده‌اند. در مکانیزم ارائه‌شده گراف نظرات را بخش‌بندی کرده و از هر بخش K نظر را انتخاب کرده‌اند. در پایان این مکانیزم را بر اساس نظریه بازی‌ها تحلیل کرده و نشان دادند که به اهداف خود رسیده‌اند. استفاده از محرک شهرت از ویژگی‌های خاص این مکانیزم است.

سیستم محاسبات انسانی گوشی‌های هوشمند نوع دیگری از سیستم‌های محاسبات انسانی است. در این نوع سیستم‌ها کاربران گوشی‌های هوشمند را به‌منظور فرستادن اطلاعات استخراج‌شده توسط سنسورهای گوشی استخدام می‌کنند و در ازای انجام این کار به آن‌ها پول پرداخت می‌کنند. در [۱۲] یک مکانیزم تحریک برای این نوع سیستم‌ها پیشنهاد شده است که هدف افزایش مشارکت بوده و از محرک پول استفاده می‌کنند. در آن یک مکانیزم بر اساس روش مزایده ارائه کرده و برای تحلیل آن از مدل بازی استکلبرگ استفاده کرده و درستی مکانیزم خود را نشان داده‌اند. از معایب مکانیزم ارائه‌شده می‌توان به همگن بودن کارها، عدم ارزیابی فعالیت کاربران، عدم استفاده از مکانیزم تنبیه و عدم دریافت جایزه بعضی از کارکنان به دلیل استفاده از مزایده اشاره کرد. در [۱۳] نیز مکانیزم دیگری برای این نوع سیستم‌ها ارائه شده است که هدف آن‌ها از ایجاد تحریک استخراج باکیفیت‌ترین پاسخ‌ها با حداکثر رفاه کارکنان بوده است. در مکانیزم ارائه‌شده انتخاب‌های کارکنان نه تنها به اطلاعات شخصی بلکه به انتخاب‌های سایر کارکنان وابسته است. از معایب این روش می‌توان به سواری مجانی^۲ و

تحلیل مکانیزم ارائه‌شده بر اساس نظریه بازی‌ها نشان داده‌اند که اعمال بیشترین تلاش یک تعادل نش است. در مکانیزم ارائه‌شده سود به تمام کارکنان می‌رسد حتی اگر سطح مهارت متفاوتی داشته باشند و این یکی معایب این مکانیزم است. از دیگر معایب مکانیزم این است که در حالتی که همه کارکنان پاسخ یک دهند، هیچ‌کس جایزه نمی‌گیرد و فرض بر این است که پاسخ‌ها شانس می‌باشند.

در [۷] نیز یک مکانیزم برای سیستم‌های جمع‌سپاری ارائه شده است. آن‌ها هدف از تحریک را افزایش مشارکت و بهینه کردن میزان پرداختی به کارکنان معرفی کرده و از محرک پول استفاده می‌کنند. پس از ارائه مکانیزم تحریک آن را تحت بازی استکلبرگ تحلیل کرده‌اند و نشان داده‌اند که مکانیزم آن‌ها منجر به افزایش مشارکت و بهینه کردن میزان پرداختی به کارکنان می‌شود. از معایب مکانیزم ارائه‌شده می‌توان به عدم اعتبارسنجی پاسخ‌های کاربران و تعیین پاداش قبل از انجام کارها اشاره کرد.

در [۸] نیز یک مکانیزم تحریک برای سیستم‌های جمع‌سپاری ارائه شده است. آن‌ها هدف از تحریک را انجام کارها توسط افراد متخصص معرفی کرده‌اند و از محرک پول استفاده کرده‌اند. در مکانیزم ارائه‌شده ارزیابی پاسخ‌ها توسط درخواست‌کننده صورت می‌پذیرد و پاداش بین افرادی که پاسخ آن‌ها توسط درخواست‌کننده پذیرفته شده است تقسیم می‌شود. آن‌ها از یک مکانیزم تنبیه برای جلوگیری از تقلب کارکنان استفاده کرده‌اند و پس از تحلیل مکانیزم بر اساس نظریه بازی‌ها نشان داده‌اند که انجام کارها توسط متخصصین با اعمال تلاش زیاد، نقطه تعادل بازی است. از معایب این مکانیزم می‌توان به تعیین پاداش قبل از انجام کار، توسط درخواست‌کننده و تقسیم پاداش بین افراد مبتدی اشاره کرد.

سیستم‌های بازی با یک هدف^۱ یک نمونه موفق از سیستم‌های محاسبات انسانی است [۹]. در این نوع سیستم‌ها علاوه بر اینکه انسان‌ها یک بازی ساده را بازی می‌کنند، هم‌زمان ورودی مناسب به یک محاسبات یا وظایفی که کامپیوتر به‌تنهایی قادر به اجرای آن‌ها نیست را انجام می‌دهند. بازی ESP یک نمونه موفق از این نوع سیستم‌ها بوده است که در [۱۰] مکانیزم ارائه‌شده برای این نوع سیستم‌ها را تحلیل کرده و یک مکانیزم جدید ارائه

^۲ Free riding

1 Game With A Purpose

ارائه مکانیزم پاداش‌دهی محرک برای سیستم محاسبات انسانی تشخیص نفوذ بر اساس نظریه بازی‌ها

کیفیت و کمیت کار آن‌ها است. این مکانیزم از محرک شهرت برای پاداش‌دهی و تحریک کارکنان استفاده می‌کنند. آن‌ها فرض کرده‌اند که کارکنان باکیفیت همیشه پاسخ‌های باکیفیت تولید می‌کنند و پاداش کارها از قبل توسط مدیر سیستم مشخص می‌شود. در [۱۶] و [۱۷] مکانیزم‌های مشوقی برای این سیستم‌ها ارائه شده است که هدف آن‌ها افزایش مشارکت کارکنان است. [۱۸] و [۱۹] نیز از کارهای مرتبط می‌باشند و در [۲۰] می‌توان لیست کاملی از کارهای انجام‌شده حوزه را مشاهده کرد.

همگن در نظر گرفتن کارها و کارکنان، مجموعه محدود استراتژی‌های رد کردن یا پذیرفتن کارها توسط کارکنان و ارزیابی کارکنان توسط صاحب‌کار اشاره کرد. در [۱۴] مکانیزم دیگری برای این سیستم‌ها پیشنهاد شده است. آن‌ها از محرک پول استفاده کرده و هدف خود را استخراج بهترین پاسخ‌ها بیان کرده‌اند. در این مکانیزم پاداش قبل از انجام کارها توسط مدیر سیستم تعیین می‌شود و کارکنان پس از مشاهده پاداش سطح مشارکت خود را تعیین می‌کنند. در [۱۵] مکانیزمی ارائه شده است که هدف آن‌ها استخراج حداکثر کارایی کارکنان به‌منظور اطمینان از

جدول ۱. مقایسه کارهای مرتبط در حوزه‌ی مکانیزم‌های محرک در سیستم‌های محاسبات انسانی تحلیل‌شده بر اساس نظریه بازی‌ها

سیستم محاسبات انسانی	هدف تحریک	نوع محرک	تعداد و نوع کارکنان	نوع وظایف	نوع بازی
مکانیزم جمع سپاری [۶]	استخراج حداکثر تلاش کارکنان	پول	چندین کارمند، همگن	همگن	ایستا با اطلاعات کامل، غیر مجموع صفر، همکارانه
بازارهای جمع سپاری [۷]	افزایش مشارکت و بهینه کردن میزان پاداش	پول	چندین کارمند، همگن	همگن و ناهمگن	مزایده و استکلبرگ، غیرهمکارانه، ایستا با اطلاعات کامل
مکانیزم محرک جمع سپاری [۸]	انجام کارها توسط افراد متخصص	پول	چندین کارمند، همگن	غیرهمگن	ایستا با اطلاعات کامل، غیر مجموع صفر، همکارانه
GWAP [۱۰]	استخراج بیشترین تلاش کارکنان	بازی و سرگرمی	دو کارمند	همگن	ایستا با اطلاعات کامل، غیر مجموع صفر، همکارانه
VOTING [۱۱]	رای دادن صحیح توسط کارکنان	شهرت	چندین کارمند، همگن	همگن	همکارانه، ایستا با اطلاعات کامل، مجموع صفر
سیستم محاسبات انسانی گوشه‌های هوشمند [۱۲]	افزایش مشارکت	پول	چندین کارمند، همگن	همگن، ناهمگن	مزایده و استکلبرگ غیرهمکارانه ایستا با اطلاعات کامل
جمع سپاری وظایف حجیم [۱۳]	استخراج باکیفیت‌ترین پاسخ‌ها با حداکثر رفاه	پول	چندین کارمند، همگن	همگن	غیرهمکارانه بدون اطلاعات کامل، تکرارپذیر
جمع سپاری موبایل [۱۴]	استخراج بهترین پاسخ‌ها	پول	چندین کارمند، همگن	همگن	استکلبرگ با/بدون اطلاعات کامل
جمع سپاری [۱۵]	استخراج حداکثر کارایی کارکنان	پول و شهرت	چندین کارمند، همگن	همگن	بازی تکرارپذیر بدون اطلاعات کامل
پرسش و پاسخ یا هو [۱۸]	استخراج پاسخ صحیح	سیستم امتیازدهی و شهرت	چندین کارمند	همگن	پویا با اطلاعات کامل، غیر مجموع صفر، غیرهمکارانه

تحریک دارد و باید با توجه به این محدودیت‌ها مکانیزم محرک را طراحی کرد. کارهای مرتبط با توجه به ویژگی‌های سیستم مدنظر اقدام به طراحی مکانیزم محرک کرده‌اند. سیستم محاسبات انسانی تشخیص نفوذ نیز ویژگی‌های منحصر به فرد خود را دارد. به‌عنوان مثال در اکثر کارهای

در جدول ۱ به مقایسه کارهای انجام شده می‌پردازیم. هر سیستم محاسبات انسانی ویژگی‌های یکتایی از قبیل نوع محرک، نوع کارکنان، نوع وظایف، حرکت‌های در دسترس برای انتخاب، ماهیت جوایز و محدودیت‌های متفاوت در نحوه‌ی اختصاص آن‌ها و مهم‌تر از همه هدف از ایجاد

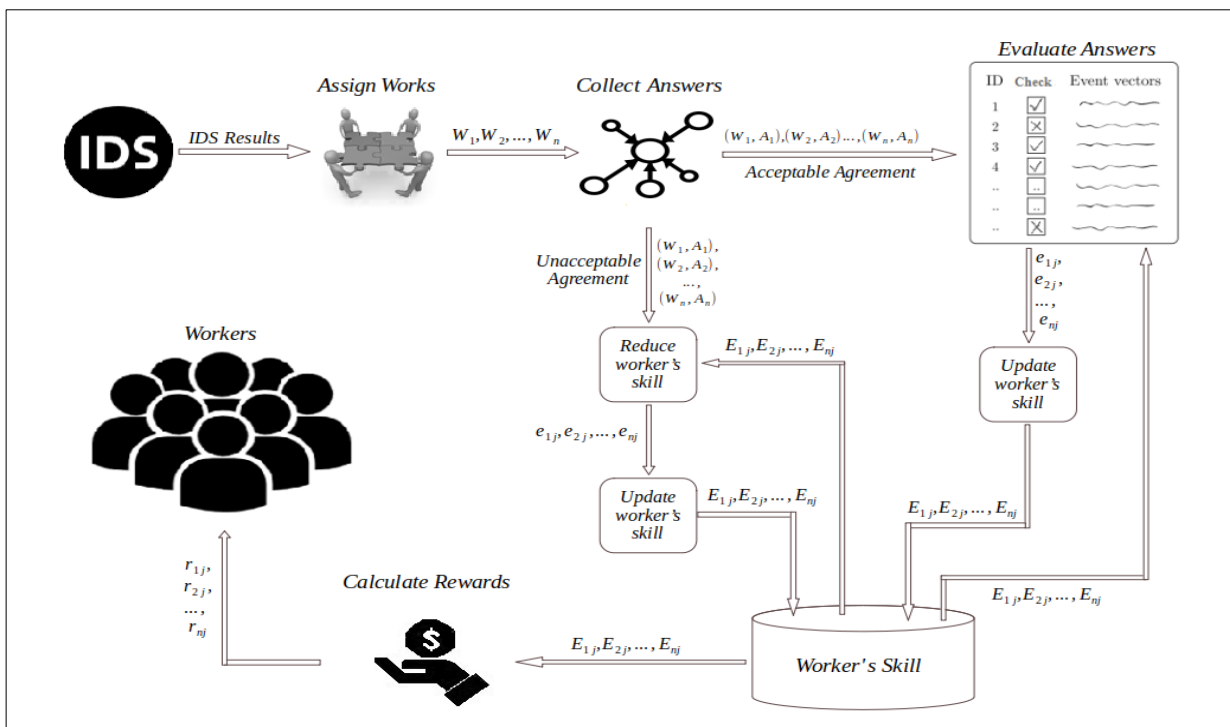
برای سیستم محاسبات انسانی تشخیص نفوذ طراحی نشده است، اقدام به طراحی چنین مکانیزمی کرده‌ایم.

۳. مکانیزم پیشنهادی

ایده اصلی روش پیشنهادی، اهدای پاداش کارکنان بر اساس فاکتور مهارت کارکنان است. مهارت کارکنان در مراحل بازی کم‌وزن‌تر می‌شود. این مکانیزم شامل مراحل تقسیم و اختصاص وظایف، جمع‌آوری پاسخ‌ها، ارزیابی پاسخ‌ها و به‌روزرسانی مهارت کارکنان، محاسبه و اهدای پاداش کارکنان است. در شکل ۱ معماری پیشنهادی را مشاهده می‌کنید. در ادامه به تشریح بخش‌های معماری می‌پردازیم.

مرتبط نوع کارکنان و وظایف را همگن در نظر گرفته‌اند اما همان‌طور که در بخش‌های آتی توضیح خواهیم داد این فرض در طراحی ما اشتباه است. همچنین ما هدف متفاوتی از ایجاد تحریک دنبال می‌کنیم.

در خلال بیان کارهای مرتبط معایب آن‌ها را نیز بیان کردیم. این معایب را از دید استفاده از آن‌ها در سیستم محاسبات انسانی تشخیص نفوذ بیان شده است و آن کارها قطعاً در حوزه‌ی مدنظر نویسندگان کارایی لازم را دارند. با توجه به معایب روش‌های موجود، ویژگی‌های منحصر به فرد سیستم‌ها محاسبات انسانی تشخیص نفوذ، هدف متفاوت ما از ایجاد تحریک و از آنجایی که تاکنون هیچ مکانیزم محرکی



شکل ۱: معماری روش پیشنهادی

سواری مجانی است. همچنین اهداف ما از ایجاد تحریک افزایش مشارکت، مشارکت با بیشترین تلاش و دقت در ازای کمترین پاداش ممکن و انجام کارها توسط کارکنان متخصص می‌باشند. در این معماری با چالش‌های نحوه ایجاد و اختصاص وظایف، ارزیابی توافق کارکنان، ارزیابی پاسخ‌های هر یک از کارکنان، نحوه به‌روزرسانی مهارت کارکنان و تعیین پاداش آن‌ها روبه‌رو هستیم که در ادامه به روش‌های رفع این چالش‌های می‌پردازیم.

از تفاوت‌های اساسی این معماری با کارهای مشابه استفاده از شاخص مهارت کارکنان برای ارزیابی و اختصاص پاداش به آن‌ها، نحوه ایجاد وظایف بر اساس نتایج سیستم تشخیص نفوذ، ارزیابی توافق کارکنان با استفاده از ضریب کاپا، تعریف کارها به‌صورت همگن و ناهمگن، در نظر گرفتن کارکنان به‌صورت ناهمگن، شناور بودن سطح مهارت کارکنان، داشتن استراتژی تلاش زیاد یا کم و رد کردن وظایف توسط کارکنان و تنبیه کارکنان برای جلوگیری از

۱-۳. معرفی روش پیشنهادی

از آنجایی که کارکنان مهارت‌های متفاوتی در انجام وظایف محوله دارند، تصمیم گرفتیم که از فاکتور میزان مهارت آن‌ها در انجام هر نوع کار در تعیین پاداش کارکنان استفاده کنیم. سطح اولیه مهارت کارکنان توسط یک آزمون مشخص می‌شود و پس از جمع‌آوری پاسخ‌های کارکنان در مورد ترافیک شبکه و استخراج پاسخ نهایی از آن‌ها اقدام به افزایش یا کاهش مهارت کارکنان بر اساس پاسخ‌های دریافتی آن‌ها و چندین فاکتور دیگر که در ادامه مطرح می‌شود، می‌کنیم. سپس بر اساس مهارت کلی کارکنان اقدام به پرداخت پاداش به کارکنان می‌کنیم.

سیستم تشخیص نفوذ موردنظر ما یک سیستم تشخیص نفوذ مبتنی بر شبکه است که با استفاده از جمع‌آوری اطلاعات از ترافیک شبکه اقدام به شناسایی حملات می‌کند. سیستم‌های تشخیص نفوذ با معماری گفته‌شده از روش‌های مختلفی اقدام به شناسایی حملات می‌کنند و هر یک می‌تواند در کنار سیستم محاسبات انسانی مورد استفاده قرار گیرد؛ اما سیستم موردنظر شبیه به سیستمی است که در [۲۱] پیشنهاد شده است و از مدل مخفی مارکف تکاملی برای شناسایی حملات استفاده می‌کند. در مجموع از هر نوع سیستم تشخیص نفوذ دیگری نیز می‌توان استفاده کرد.

محرک‌های متفاوتی در سیستم‌های محاسبات انسانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. انتخاب نوع محرک نیز وابسته نوع سیستم محاسبات انسانی هدف است، اما اکثر سیستم‌های محاسبات انسانی که کارهای خطیر را انجام می‌دهند از محرک پول استفاده می‌کنند. به دلیل حساسیت کار سیستم‌های تشخیص نفوذ در تأمین امنیت و نوع شرکت‌کنندگان در سیستم که از تخصص شبکه برخوردار هستند از پول به‌عنوان محرک استفاده می‌کنیم. همچنین به دلیل سختی کار تشخیص نفوذ، طراحی این کار به‌عنوان بازی و سرگرمی و استفاده از سیستم محاسبات انسانی کار بسیار دشوار و غیرعملی به نظر می‌رسد. همچنین شرکت‌کنندگان در ازای اهداف خیرخواهانه و یا شهرت این کار خطیر را انجام نمی‌دهند پس پول محرک خوبی به نظر می‌رسد؛ بنابراین محرک اصلی در سیستم ما پول است اما با توجه به معماری مکانیزم طراحی شده در این مقاله، از محرک‌های شهرت، یادگیری و رقابت نیز می‌توان به‌راحتی در این سیستم مورد استفاده قرار داد.

هدف ما از ایجاد تحریک افزایش مشارکت، انجام کارها توسط افراد متخصص و انجام کارها با بیشترین تلاش و دقت در ازای کمترین هزینه ممکن است. به فاکتور کمترین هزینه ممکن توجه کنید یعنی قصد داریم در ازای پرداخت کمترین هزینه ممکن بیشترین تلاش و دقت را دریافت کنیم. همچنین ما از یک روش تنبیه در کنار مکانیزم تحریک به‌منظور جلوگیری سوارگی مجانی کارکنان استفاده می‌کنیم.

۲-۳. نوع کارکنان و پاسخ‌های آنها

سیستم‌های محاسبات انسانی از کارکنان متفاوتی به‌منظور انجام وظایف استفاده می‌کنند و این مسئله کاملاً وابسته به نوع سیستم است. از آنجایی که شناسایی حملات نیاز به تخصص دارد بنابراین عوامل انسانی شرکت‌کننده در سیستم محاسبات انسانی تشخیص نفوذ را افرادی در نظر می‌گیریم که این تخصص را دارند. کارکنان ممکن است در شناسایی برخی حملات خیره و در برخی دیگر مبتدی و یا حتی ناآشنا باشند. سطح کارکنان در حملات مختلف شبکه در ابتدا توسط یک آزمون تعیین می‌شود. بر اساس نتایج آزمون کارکنان را در پنج دسته ناآشنا، مبتدی، نیمه متخصص، متخصص و خیره تقسیم‌بندی می‌کنیم. سطح کارمند در یک کار بر اساس میزان و کیفیت مشارکت او در آن دسته از کارها به‌روزرسانی می‌شود. بنابراین ممکن است کارمند در یک کار خیره و در کار دیگری مبتدی شود.

کارکنان پس از مشاهده وظایف می‌توانند در آن‌ها شرکت کرده و نظر دهند. به‌منظور تعیین کردن نوع پاسخ کارکنان از مفهومی بنام طیف لیکرت استفاده می‌کنیم. طیف لیکرت یک مقیاس روان‌سنجی است که در پرسشنامه‌های پژوهشی مورد استفاده قرار می‌گیرد و به‌افتخار مبدع آن، لیکرت نام‌گذاری شده است. این مقیاس عموماً برای اندازه‌گیری دیدگاه، احساس، نظر و مواردی از این قبیل که قابل مشاهده نیستند، مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۲]. بنابراین پاسخ‌های کارکنان را به‌صورت فرمول ۱ بیان می‌کنیم. منظور از A_{ij} پاسخ کارمند i روی کار j می‌باشد.

$$A_{ij} \in \{ \text{حمله است، احتمالاً حمله است،} \quad (1) \\ \{ \text{نمی‌دانم، احتمالاً حمله نیست، حمله نیست} \}$$

¹ Likert scale

۳-۳. ایجاد و اختصاص وظایف^۱

مفهومی به نام ضریب کاپا^۲ استفاده می‌کنیم. در ادامه به بیان این مفهوم می‌پردازیم.

هنگامی که n نفر، N شیء را در k گروه دسته‌بندی می‌کنند معیار فلایس کاپا (K) میزان اعتبار توافق رأی‌دهندگان را مشخص می‌کند. به بیانی دیگر این شاخص میزان صحت نتایج را نشان داده و بایاس شدن نتایج را بسیار کم‌رنگ می‌کند [۲۳]. هرچه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد اعتبار توافق بیشتر است و هرچه به صفر نزدیک‌تر شویم درجه اعتبار توافق کمتر می‌شود. اگر این ضریب برابر یک باشد توافق کامل و اگر از صفر کمتر باشد توافق کاملاً شانس‌ی بوده است. این شاخص عیب اساسی دارد که پس از استفاده از آن متوجه این عیب شدیم. عیب این ضریب این است که وقتی توافق خیلی دقیق و نزدیک به توافق کامل باشد یک تناقض ایجاد شده و جواب منفی می‌دهد. در مقاله [۲۴] به این مشکل پرداخته شده و یک روش جدید ارائه داده‌اند که عیب گفته‌شده را ندارد. بنابراین ما از فرمول ارائه‌شده در این مقاله در مکانیزم خود استفاده می‌کنیم.

پس از تعیین اعتبار توافق بر اساس معیار کاپا، یک آستانه^۴ برای میزان اعتبار توافق در نظر می‌گیریم. حد آستانه بر اساس نوع کار و تعداد شرکت‌کنندگان در آن کار مشخص می‌شود. این شاخص را با (T_k) نشان می‌دهیم و منظور آستانه توافق یک دسته از کارها است. برای کارهای سخت‌تر یا کاری با تعداد شرکت‌کنندگان زیاد، حد آستانه کوچک‌تری در نظر گرفته می‌شود و بالعکس. اگر اعتبار توافق از حد آستانه بیشتر باشد توافق را قابل قبول در غیر این صورت توافق غیرقابل قبول می‌گوییم. اگر توافق قابل قبول باشد پاسخ‌های کارکنان را ارزیابی و بر این اساس به آن‌ها پاداش می‌دهیم. اگر توافق قابل قبول نباشد، ما پاسخ‌های کارکنان را ارزیابی نمی‌کنیم و کلیه شرکت‌کنندگان در کار را مجازات می‌کنیم. در ادامه، به توافق قابل قبول و غیرقابل قبول و نحوه تعیین مهارت در هریک از این موارد می‌پردازیم. در شکل ۲ فلوچارت دقیق این مرحله را می‌بینید.

طراحی وظایف یکی از مهم‌ترین بخش‌های سیستم‌های محاسبات انسانی است و وابسته به نوع سیستم محاسبات انسانی است. طراحی وظایف باید به گونه‌ای باشد که کارکنان بتوانند به راحتی آن‌ها را انجام دهند. گاهی لازم است وظایف یک سیستم شکسته شود و به وظایف کوچک‌تر تبدیل شود و در برخی سیستم‌ها عکس این عمل صورت گیرد.

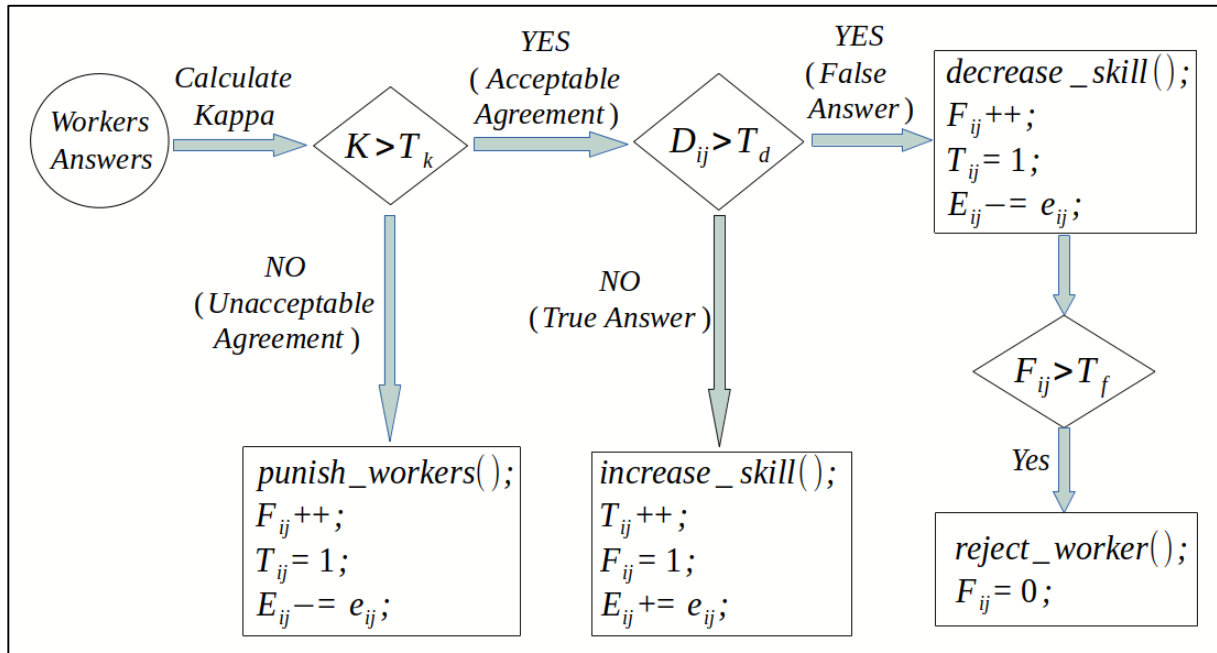
کارکنان سیستم ما ممکن است در شناسایی برخی حملات تخصص داشته و در برخی دیگر مبتدی باشند. بنابراین وظایف سیستم را بر اساس نوع حملات تقسیم‌بندی و ایجاد می‌کنیم. چهار نوع حمله اصلی (DOS) (همچنین DDOS)، U2R، R2L و Probing وجود دارد. ما بنا بر نظر سیستم تشخیص نفوذ حملات را در یکی از این چهار دسته قرار داده و به همراه سایر ویژگی‌های آن در اختیار کارکنان قرار می‌دهیم. در مجموع چهار نوع کار داریم که می‌تواند به صورت دسته‌ای^۳ در اختیار کارکنان گیرد و کارکنان در مورد آن‌ها نظر دهند. کارها را با b_i نمایش می‌دهیم و منظور دسته i کارها است. طبق مطالب گفته‌شده $i \in \{1, 2, 3, 4\}$ است.

۳-۴. ارزیابی توافق کاربران

استفاده از پول به عنوان محرک اصلی منجر به تولید پاسخ‌های شانس‌ی و تقلب در سیستم می‌شود. پس از جمع‌آوری پاسخ‌های کارکنان به منظور تعیین میزان تلاش و دقت کارکنان در انجام وظایف کیفیت پاسخ‌ها را ارزیابی می‌کنیم. در هیچ‌یک از کارهای مرتبط به طور دقیق به مسئله ارزیابی پاسخ‌های کارکنان پرداخته نشده است. در اینجا پاسخ‌های کارکنان به صورت جداگانه مورد ارزیابی قرار نمی‌گیرد بلکه توافقی که بین آن‌ها در مورد کار صورت گرفته را ارزیابی می‌کنیم. به منظور ارزیابی توافق بین مشارکت‌کنندگان و تعیین میزان اعتبار توافق آن‌ها از

^۲ Fleiss Kappa
^۴ Threshold

^۱ Assigning works
^۲ Batch



شکل ۲: ارزیابی پاسخ‌های کارکنان

۱-۴-۳. توافق قابل قبول

$$\sum E_{ij} * A_{ij} \quad (2)$$

برای تعیین مهارت هر کارمند از فاکتورهای دیگری نیز استفاده می‌کنیم. اولین معیار حساسیت^۱ و وظایف است. از آنجایی که چهار دسته کار داریم پس چهار سطح حساسیت تعریف می‌کنیم و آن را با $\{1, 2, 3, 4\}$ نمایش می‌دهیم. وظیفه با سطح حساسیت چهار حساس‌ترین کار است. از معیارهای دیگر می‌توان به تعداد پاسخ‌های غلط و درست کارکنان اشاره کرد. تعداد پاسخ‌های غلط کارمند I در کار J را با F_{ij} و تعداد پاسخ‌های درست او را با T_{ij} نشان می‌دهیم.

الف. افزایش مهارت

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌کنید اگر توافق قابل قبول و $D_{ij} < T_d$ باشد، مهارت کارمند را افزایش می‌دهیم. بر اساس تحلیل‌های انجام‌شده و روابطی که از نظر منطقی بین شاخص‌های گفته‌شده و مهارت کارکنان وجود دارد از فرمول ۳ برای محاسبه میزان افزایش مهارت هر کارمند استفاده می‌شود. این مقدار به مهارت کلی کارمند در آن کار اضافه می‌شود. پس از محاسبه میزان افزایش مهارت، T_{ij} یک واحد افزایش پیدا می‌کند و از آنجایی که

همان‌طور که گفتیم در صورتی که توافق کارکنان قابل قبول باشد، پاسخ‌های کارکنان را مورد ارزیابی قرار می‌دهیم. بدین منظور پاسخ هر کارمند را با پاسخ نهایی کار مقایسه می‌کنیم. اگر تفاضل پاسخ کارمند با پاسخ نهایی کار، از یک حد آستانه کمتر باشد مهارت او را افزایش می‌دهیم و در غیر این صورت مهارت او را کاهش می‌دهیم. تفاضل پاسخ‌ها را با D_{ij} نشان می‌دهیم. تعیین حد آستانه به محل استفاده سیستم و نوع وظایف بستگی دارد. آستانه را با T_d نشان می‌دهیم و منظور آستانه فاصله پاسخ یک کار با پاسخ نهایی آن کار است. همچنین میزان مهارتی که کارمند I از مشارکت در کار J به دست می‌آورد را با e_{ij} و میزان مهارتی که از دست می‌دهد را با e_{ij} نمایش می‌دهیم. مهارت کلی کارمند I در کار J را با E_{ij} نشان می‌دهیم.

به‌منظور ارزیابی پاسخ‌ها ابتدا باید پاسخ نهایی کار از پاسخ‌های مشارکت‌کنندگان استخراج شود میزان مهارت کارمند را در تعیین فراوانی یک پاسخ تأثیر داده و فراوانی یک پاسخ را بر اساس فرمول زیر محاسبه می‌کنیم. پاسخی که بیشترین فراوانی را داشته باشد به‌عنوان پاسخ نهایی کار در نظر می‌گیریم. فراوانی پاسخ I در کار J را با استفاده از فرمول ۲ محاسبه می‌کنیم

¹ Sensitivity

پاسخ‌ها از شاخص D_{ij} در محاسبه میزان کاهش مهارت استفاده نمی‌شود. ضریب کاپا را در آن تأثیر می‌دهیم و شیب کاهش مهارت در این حالت بیشتر است. توجه داشته باشید در صورتی که توافق غیرقابل قبول باشد هیچ‌گونه پاداشی به کارکنان تعلق نمی‌گیرد.

$$e'_{ij} = \frac{E_{ij}(S_i + F_{ij})}{KE_{ij}T_{ij}} \quad (5)$$

e_{ij} نشان‌دهنده میزان کاهش مهارت کارمند i حاصل از شرکت کار j است. با کم کردن e'_{ij} از E_{ij} مهارت کارکنان را به‌روزرسانی می‌کنیم. ابتدا آن را به بازه $[-1, 1]$ نرمال‌سازی می‌کنیم و سپس از E_{ij} کم می‌کنیم.

۳-۵. پاداش‌دهی

در صورتی که توافق کارکنان قابل قبول باشد پاداش تعیین‌شده برای کار را با استفاده از فرمول ۶ بین شرکت‌کنندگان تقسیم می‌کنیم. پاداش یک کار را با استفاده از تحلیل سیستم بر اساس نظریه بازی‌ها تعیین کنیم که در بخش بعد به آن می‌پردازیم. فرض کنید n نفر در انجام کار j شرکت کرده‌اند و پاداش این کار برابر با R است. پاداش کارمند i برابر است با R_{ij} و با فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$R_{ij} = \frac{RE_{ij}}{\sum_{i=1}^n E_{ij}} \quad (6)$$

بر طبق فرمول ۶ کارمندان برای افزایش پاداش باید مهارت خود را افزایش دهند. بر اساس مطالب بیان‌شده مهارت یک کارمند تنها در صورتی افزایش پیدا می‌کند که مشارکت مستمری در سیستم داشته و کارها را با بیشترین تلاش و دقت انجام دهد. همچنین کارمند تحریک می‌شود در کارهایی شرکت کند که مهارت بیشتری دارد تا پاداش بیشتری کسب کند. بنابراین ما به اهداف خود از ایجاد تحریک شامل افزایش مشارکت، مشارکت با بیشترین تلاش و دقت و انجام کارها توسط کارکنان متخصص رسیده‌ایم. در ادامه مکانیزم پیشنهادی را بر اساس نظریه بازی‌ها تحلیل می‌کنیم.

۴. تحلیل بر اساس نظریه بازی

تعداد پاسخ‌های غلط پشت سر هم برای تعیین مهارت مدنظر است F_{ij} به مقدار پایه‌اش یعنی ۱ بازنشانی می‌شود.

$$e_{ij} = \frac{E_{ij}(S_i + T_{ij})}{E_{ij}F_{ij} + \sqrt{D_{ij}}} \quad (3)$$

e_{ij} نشان‌دهنده میزان افزایش مهارت کارمند i حاصل از شرکت کار j است. با افزودن e_{ij} به E_{ij} مهارت کارکنان را به‌روزرسانی می‌کنیم. برای اینکه شیب تغییرات E_{ij} به‌درستی اتفاق بیفتد e_{ij} را به بازه $[-1, 1]$ نرمال‌سازی می‌کنیم و سپس به E_{ij} اضافه می‌کنیم.

ب. کاهش مهارت

بر طبق شکل ۲، اگر توافق قابل قبول باشد اما $D_{ij} > T_d$ باشد، مهارت کارمند را کاهش می‌دهیم. میزان کاهش مهارت را با استفاده از فرمول ۴ محاسبه و از مهارت کلی کارمند در آن کار کم می‌کنیم. پس از محاسبه میزان کاهش مهارت F_{ij} یک واحد افزایش پیدا می‌کند و از آنجایی که تعداد پاسخ‌های درست پشت سر هم برای تعیین مهارت مدنظر است T_{ij} به مقدار پایه‌اش یعنی ۱ بازنشانی می‌شود.

$$e'_{ij} = \frac{E_{ij}(S_i + F_{ij}) + \sqrt{D_{ij}}}{E_{ij}T_{ij}} \quad (4)$$

در اینجا یک مکانیزم نیز برای جلوگیری از سواری مجانی کارکنان پیشنهاد شده است. منظور از سواری مجانی این است که کارمند در کارها شرکت کند و پاسخ‌شناسی بدهد اما از آنجایی که توافق مورد قبول باشد، پاداش دریافت کند. اگر کارمند پاسخ‌شناسی بدهد احتمال پاسخ‌های غلط او بسیار بالا می‌رود. برای جلوگیری از سواری مجانی اگر F_{ij} از آستانه T_f بیشتر شد کارمند را در یک بازه زمانی مشخص از شرکت در آن دسته از کارها محروم می‌کنیم. F_{ij} را به مقدار پایه‌اش یعنی ۱ بازنشانی می‌کنیم.

۲-۴-۳. توافق غیرقابل قبول

بر طبق شکل ۲ اگر $K < T_k$ باشد، توافق غیرقابل قبول است. در این حالت پاسخ‌های کارکنان ارزیابی نمی‌شود و به‌منظور تنبیه آن‌ها مهارت تمام افراد شرکت‌کننده در کار بر طبق فرمول ۵ کاهش می‌یابد. این مرحله شبیه به مرحله کاهش مهارت در توافق قابل قبول است. به دلیل عدم ارزیابی

در نظر می‌گیریم. واضح است که بازیکنی که یک کار را رد می‌کند، هیچ‌گونه هزینه و پاداشی ندارد. بازیکن i را با P_i نشان می‌دهیم.

منظور از هزینه، هزینه‌ای است که انجام یک وظیفه برای یک بازیکن در پی دارد. هزینه را با C_{ij} نمایش می‌دهیم و منظور هزینه‌ای است که انجام کار j برای بازیکن P_i در پی دارد. منطقی است که هرچه قدر بازیکن خبره‌تر باشد، وقتش باارزش‌تر است. بنابراین صرف وقت برای انجام وظایف هزینه بیشتری در مقایسه با افراد مبتدی برای او به دنبال دارد. همچنین هزینه انجام کار با تلاش زیاد بیشتر از هزینه انجام کار با تلاش کم توسط یک بازیکن است. پیامد بازیکنان نیز در واقع تفاضل پاداش و هزینه انجام کارها است.

۴-۲. تحلیل بازی یک‌نفره

در این بازی فقط یک بازیکن داریم که آن را با P_1 نشان می‌دهیم. این بازیکن در انجام دسته J از کارها شرکت کرده است و انجام این کار با تلاش زیاد هزینه C_{1j} و با تلاش کم هزینه C'_{1j} را برای او به دنبال دارد. پاداش این کار برابر با R است. سطح بازیکن مهم نیست و می‌تواند از هر سطحی باشد. بر اساس مطالب بیان شده پیامد این بازیکن را می‌توان به شکل جدول ۲ نمایش داد.

جدول ۲: پیامد بازیکن در بازی یک‌نفره

	H	$R - C_{1j}$
P_1	L	$R - C'_{1j}$
	D	0

حال اگر بخواهیم کمترین مقدار پاداش را به‌گونه‌ای تعیین کنیم که بازیکن کار را با تلاش زیاد انجام دهد باید پیامد حاصل از تلاش زیاد را بیشتر از پیامد حاصل از تلاش کم قرار دهیم، یعنی $R - C_{1j} > R - C'_{1j}$. با ساده کردن این رابطه به $C_{1j} < C'_{1j}$ می‌رسیم. این بدین معنی است که هزینه انجام کار با تلاش کم بیشتر از هزینه انجام کار با تلاش زیاد باشد که عملاً غیرممکن است. در این نوع بازی رسیدن به اهدافمان در ایجاد تحریک غیرممکن است.

در صورتی که توافق غیرقابل قبول باشد همه مشارکت‌کنندگان تنبیه می‌شوند و نیازی به تحلیل شرایط و تعیین پاداش نیست. در غیر این صورت به‌منظور ایجاد یک مکانیزم پاداش‌دهی محرک در ابتدا هزینه‌ها و سودهای مشارکت کارکنان در سیستم را شناسایی کرده و بر اساس نظریه بازی‌ها تحلیل می‌کنیم. برای دستیابی به هدف انجام کارها در ازای کمترین پاداش، کمترین مقدار ممکن پاداش را بر اساس نتایج حاصل از تحلیل تعیین می‌کنیم. رفتار کارکنان را تحت تأثیر پاداش تعیین‌شده تحلیل می‌کنیم و در صورت نیاز پاداش را به شکلی تغییر می‌دهیم که منجر به تحریک رفتار عامل‌ها و رسیدن به خروجی موردنظر شود. در ادامه پس از مدل کردن بازی، نوع بازی و سایر جزئیات آن را بیان کرده و بازی را تحلیل می‌کنیم.

۴-۱. مدل کردن بازی

به‌منظور تحلیل یک شرایط بر اساس نظریه بازی‌ها باید نوع بازی و بازیکنان، استراتژی آن‌ها، سودهای بازی و اطلاعات بازیکنان از شرایط بازی را مشخص کنیم. بازی سیستم محاسبات انسانی تشخیص نفوذ یک بازی ایستا است زیرا بازیکنان به‌صورت هم‌زمان پاسخ می‌دهند و پاسخ‌ها هم‌زمان جمع‌آوری می‌شود. به این مسئله توجه کنید که ممکن است بازیکنان در زمان‌های متفاوت پاسخ دهند اما از آنجایی که پاسخ‌ها به‌صورت هم‌زمان جمع‌آوری می‌شود پس یک بازی ایستا است. بازیکنان اطلاعات کاملی در مورد نوع وظایف، سطح مهارت خود و مهارت سایر بازیکنان در هر دسته از وظایف دراند اما از پاسخ‌های سایر کارکنان اطلاعی ندارند. بنابراین بازی یک بازی غیر مشارکتی، تکرارپذیر با اطلاعات کامل، قواعد ثابت و نامتقارن است.

بازیکنان، کارکنانی هستند که در سیستم محاسبات انسانی تشخیص نفوذ شرکت کرده‌اند و برای به دست آوردن سود بیشتر با یکدیگر رقابت می‌کنند. یک عامل دیگر که در این سیستم نقش ایفا می‌کند مدیر سیستم است که به‌عنوان بازیکن در نظر گرفته نمی‌شود. مدیر سیستم وظیفه دارد تا شرایط بازی را به نحوی تعیین کند که با کمترین هزینه ممکن به اهداف خود از تحریک برسیم و این کار را به‌وسیله تعیین میزان پاداش برای هر کار انجام می‌دهد. برای بازیکنان سه استراتژی انجام وظایف با تلاش زیاد (H)، انجام وظایف با تلاش کم (L) و رد کردن وظایف را (D)

می‌پردازد. اگر این بازیکن کار با تلاش کم انجام دهد مهارت e_{1j} را از دست داده و هزینه C_{1j} را می‌پردازد. برای بازیکن دوم نیز به همین شکل است. پیامد بازیکنان به شکل جدول ۳ است.

بنابراین در این سیستم هیچ کاری نباید تنها توسط یک نفر انجام شود و باید به دو یا بیش‌تر از دو نفر سپرده شود.

۳-۴. تحلیل بازی دو نفره

در این بازی دو بازیکن هم‌زمان در انجام دسته J از کارها شرکت کرده‌اند. مهارت بازیکن اول در این دسته از کارها برابر E_{1j} است. اگر این بازیکن کار را با تلاش زیاد انجام دهد مهارت e_{1j} را به دست آورده و هزینه C_{1j} را

جدول ۳: پیامد بازیکنان در بازی دو نفره

		P_2		
		H	L	D
P_1	H	$\frac{(E_{1j} + e_{1j})R}{E_{1j} + E_{2j} + e_{1j} + e_{2j}} - C_{1j}$	$\frac{(E_{1j} + e_{1j})R}{E_{1j} + E_{2j} + e_{1j} - e_{2j}} - C_{1j}$	$R - c_{1j}$
	L	$\frac{(E_{2j} + e_{2j})R}{E_{1j} + E_{2j} + e_{1j} + e_{2j}} - C_{2j}$	$\frac{(E_{2j} - e'_{2j})R}{E_{1j} + E_{2j} + e_{1j} - e_{2j}} - C'_{2j}$	zero
P_1	L	$\frac{(E_{1j} - e'_{1j})R}{E_{1j} + E_{2j} - e'_{1j} + e_{2j}} - C'_{1j}$	$\frac{(E_{1j} - e'_{1j})R}{E_{1j} + E_{2j} - e'_{1j} - e_{2j}} - C'_{1j}$	$R - C'_{1j}$
	D	$\frac{(E_{2j} + e_{2j})R}{E_{1j} + E_{2j} - e'_{1j} + e_{2j}} - C_{2j}$	$\frac{(E_{2j} - e'_{2j})R}{E_{1j} + E_{2j} - e_{1j} - e_{2j}} - C'_{2j}$	zero
		D	zero	zero
		H	$R - c_{2j}$	zero

سیستم باید مطمئن شود کار توسط دو نفر انجام شده و گرنه کار را دوباره به کارکنان بسپارد. برای محاسبه R بر طبق جدول ۳ برای بازیکن اول داریم:

$$\frac{(E_{1j} + e_{1j})R}{E_{1j} + E_{2j} + e_{1j} + e_{2j}} - C_{1j} > \frac{(E_{1j} - e'_{1j})R}{E_{1j} + E_{2j} - e'_{1j} + e_{2j}} - C'_{1j} \quad (7)$$

و به همین ترتیب برای بازیکن دوم فرمول ۸ را داریم:

$$\frac{(E_{2j} + e_{2j})R}{E_{1j} + E_{2j} + e_{1j} + e_{2j}} - C_{2j} > \frac{(E_{2j} - e'_{2j})R}{E_{1j} + E_{2j} - e_{1j} - e_{2j}} - C'_{2j} \quad (8)$$

به‌منظور انجام کار با بیشترین تلاش توسط دو بازیکن، مدیر سیستم کمترین مقدار R را باید به‌گونه‌ای تعیین کند که حالت (H, H) نقطه تعادل بازی شود. بدین منظور باید برای هر بازیکن، سود حاصل از استراتژی H را درحالی‌که بازیکن حریف H بازی کرده است، بزرگ‌تر از سود حاصل از استراتژی L آن بازیکن قرار داده و مقدار R را محاسبه کنیم.

به این نکته توجه داشته باشید که اگر یکی از بازیکنان استراتژی D را انتخاب کند بازی به یک بازی یک‌نفره تبدیل می‌شود. همان‌طور که در بخش قبل توضیح دادیم رسیدن به اهدافمان در بازی یک‌نفره غیرممکن است. مدیر

فرض کنید بیش از دو کارمند در انجام یک دسته از کارها شرکت کرده‌اند. تحلیل این بازی شبیه به بازی دونفره است با این تفاوت که باید آن را حالت کلی تعمیم داد. در این حالت مشابه معادلات ۷ و ۸ معادله ۱۰ را برای هر یک از بازیکنان داریم. فرض کنید n کارمند در انجام کار j شرکت کرده‌اند. به منظور محاسبه R برای بازیکن i داریم:

$$\frac{(E_{ij} + e_{ij})R}{\sum_{k=1}^n E_{kj} + \sum_{k=1}^n e_{kj}} - C_{ij} > \frac{(E_{ij} - e'_{ij})R}{\sum_{k=1}^n E_{kj} + \sum_{k=1, k \neq i}^n e_{kj} - e'_{ij}} - C'_{ij} \quad (10)$$

برای محاسبه R معادله ۱۱ را داریم:

$$R > \frac{(C_{ij} - C'_{ij})}{\frac{E_{ij} + e_{ij}}{\sum_{k=1}^n E_{kj} + \sum_{k=1}^n e_{kj}} - \frac{E_{ij} - e'_{ij}}{\sum_{k=1}^n E_{kj} + \sum_{k=1, k \neq i}^n e_{kj} - e'_{ij}}} \quad (11)$$

طبق مطالب گفته شده در بازی دونفره، اگر ثابت کنیم که مخرج کسر ۱۱ همواره مثبت است آنگاه مقدار R به درستی تعیین می‌شود. این اثبات در پیوست ب آورده شده است. پس در این حالت نیز مقدار R به نحوی تعیین می‌شود که منجر به استخراج بیشترین تلاش کارکنان در ازای کمترین هزینه ممکن می‌شود.

۵. ارزیابی

پس از اثبات درستی مکانیزم ارائه شده با استفاده از نظریه بازی‌ها، آن را با استفاده از پیاده‌سازی تحلیل می‌کنیم. در ادامه با پیاده‌سازی مکانیزم پیشنهادی، بررسی می‌کنیم که آیا به اهداف خود از ایجاد تحریک دست پیدا کرده‌ایم؟ برای این کار وظایف را بر اساس نتایج حاصل از سیستم تشخیص نفوذ مبتنی بر شبکه ایجاد و به کارکنان اختصاص داده و پاسخ‌های آن‌ها را دریافت و پس ارزیابی به کارکنان پاداش می‌دهیم.

در ابتدا مسئله انجام کارها توسط افراد متخصص را بررسی می‌کنیم. در شکل ۳ رفتار یک کارمند را در طول زمان بررسی کردیم. کارمند در دو دسته از کارها شرکت کرده است که مهارتش در یکی از کارها بیشتر بوده است. سطح سختی کارها متفاوت بوده است. همان‌طور که شکل ۳ مشاهده می‌کنید کارمند در کاری که ماهرتر بوده مهارت

$$> \frac{(E_{2j} - e'_{2j})R}{E_{1j} + E_{2j} + e_{1j} - e'_{2j}} - C'_{2j}$$

حال باید ثابت کنیم که معادلات ۷ و ۸ مقادیر صحیحی برای R تعیین می‌کنند. برای این کار معادله ۷ را به معادله ۹ ساده می‌کنیم.

$$R > \frac{1}{\frac{E_{1j} + e_{1j}}{E_{1j} + E_{2j} + e_{1j} + e_{2j}} - \frac{E_{1j} - e'_{1j}}{E_{1j} + E_{2j} - e'_{1j} + e_{2j}}} (C_{1j} - C'_{1j}) \quad (9)$$

هزینه انجام کار با تلاش زیاد (C_{1j}) از هزینه انجام کار با

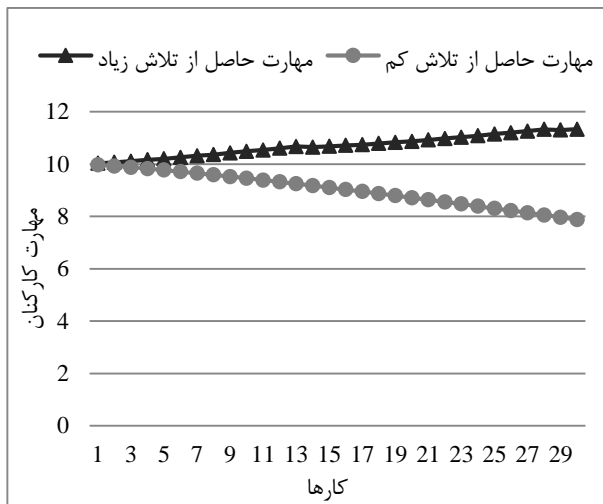
تلاش کم (C'_{1j}) بیشتر است، بنابراین $(C_{1j} - C'_{1j}) > 0$

است. بنابراین اگر ما ثابت کنیم که مخرج کسر همواره مثبت است در نتیجه جواب این معادله همواره R را بزرگ‌تر از یک مقدار مثبت مشخص می‌کند و برای معادله ۸ نیز به همین شکل است. مقدار ماکزیممی که این دو معادله برای R مشخص می‌کنند را برای آن در نظر می‌گیریم تا هر دو حالت را پوشش دهد. اثبات اینکه مخرج کسر برای هر دو معادله ۷ و ۸ مثبت است در پیوست الف آورده شده است.

پس به این ترتیب و با اثبات پیوست الف همواره مقدار R به درستی تعیین می‌شود. با تعیین R به این روش، نقطه تعادل این بازی (H, H) است و ما به هدف خود یعنی انجام کارها با بیشترین تلاش در ازای کمترین هزینه رسیدیم. مقدار $(C_{1j} - C'_{1j})$ در تعیین جایزه تأثیر دارد.

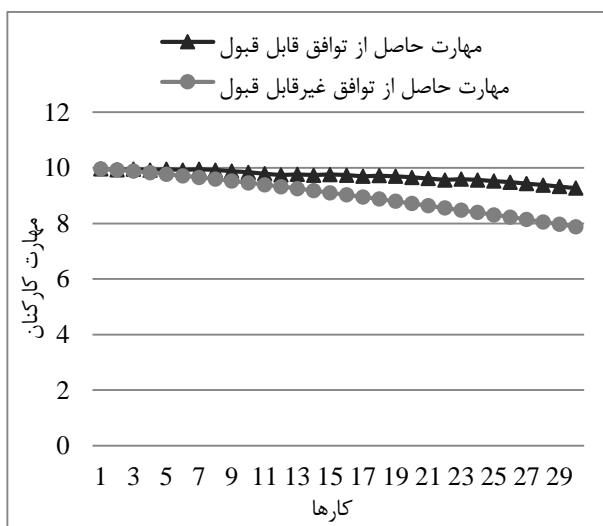
هر چه یک بازیکن ماهرتر باشد این مقدار بزرگ‌تر است در نتیجه پاداش دریافتی آن‌ها هم بیشتر است. بنابراین کارکنان سعی می‌کنند در انجام کاری شرکت کنند که مهارت بیشتری دارند و منجر به افزایش کیفیت پاسخ‌های دریافتی می‌شود. ما به یکی دیگر از اهداف خود یعنی انجام کارها توسط افراد متخصص رسیدیم. همچنین سود حاصل از استراتژی D برابر با صفر بوده و قابل مقایسه با استراتژی‌های H و L که بازیکن در ازای آن‌ها مهارت و پاداش دریافت می‌کند، نیست. بنابراین بازیکنان تحریک می‌شوند حداقل با استراتژی L در سیستم شرکت کنند. به این ترتیب ما به هدف افزایش مشارکت کارکنان نیز رسیده‌ایم.

۴-۴. تحلیل بازی چندنفره



شکل ۴: مقایسه مهارت حاصل از تلاش زیاد و تلاش کم

در شکل ۵ شیب کاهش مهارت در توافق قابل قبول و غیرقابل قبول در یک دسته از کارها را بررسی می‌کنیم. همان‌طور که مشاهده می‌کنید، شیب کاهش مهارت در توافق غیرقابل قبول بیشتر از شیب کاهش مهارت در توافق قابل قبول است. بنابراین کارکنان تحریک می‌شوند یک توافق قابل قبول انجام دهند تا مهارت بیشتری کسب کرده و سود بیشتری دریافت کنند.



شکل ۵: مقایسه شیب کاهش مهارت در توافق قابل قبول و غیرقابل قبول

برای به دست آوردن پاسخ باکیفیت باید شاخص‌های تعداد کارکنان و ضریب کاپا را بر اساس نوع کارها و سطح مهارت کارکنان تعیین کرد. هر چه کار سخت‌تر باشد باید تعداد کارکنان کمتری در انجام آن شرکت کنند و ضریب کاپا

بیشتری کسب کرده و در نتیجه پاداش بیشتری دریافت می‌کند. در نتیجه این کارمند به انجام کارهایی که مهارت بیشتری دارد تحریک می‌شود. بنابراین کارها توسط افراد متخصص انجام می‌شود.



شکل ۳: مقایسه انجام کار با مهارت زیاد و کم

در ادامه رفتار دو کارمند کاملاً مشابه در انجام یک دسته از کارها را طول زمان بررسی کردیم. یکی از کارمندان همه کارها را با تلاش زیاد و دیگری با تلاش کم انجام می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌کنید، مهارت کارمندی که کارها را با تلاش زیاد انجام داده بیشتر از کارمند دیگر رشد کرده است و پاداش بیشتری دریافت می‌کند. بنابراین کارمندان به انجام کارها با تلاش زیاد تحریک می‌شوند. توجه کنید که انجام کارهای سطح پایین توسط کارکنان ماهر مطلوب نیست زیرا باید پاداش بیشتری پرداخت شود. بر اساس تحلیل انجام شده در شکل ۴ کارکنان به انجام کارهایی که در آن مهارت بیشتری دارند تحریک می‌شوند، بنابراین حالتی که توضیح دادیم یعنی انجام کارهای سطح پایین توسط افراد ماهر اتفاق نمی‌افتد.

و کارکنان هیچ‌گونه کنترلی روی آن ندارند. به این نکته توجه داشته باشید صاحبان کار علم مناسب در مورد نحوه تعیین پاداش ندارند. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌کنید در مکانیزم ما پاداش کارکنان در اثر افزایش مهارت رشد مناسبی داشته است. بنابراین کارکنانی که در این دسته از کار تخصص دارند به مشارکت بیشتر برای افزایش پاداش تحریک می‌شوند. در نتیجه مکانیزم پیشنهادی در تحریک کارکنان به مشارکت بیشتر و بهتر موفق‌تر بوده است.

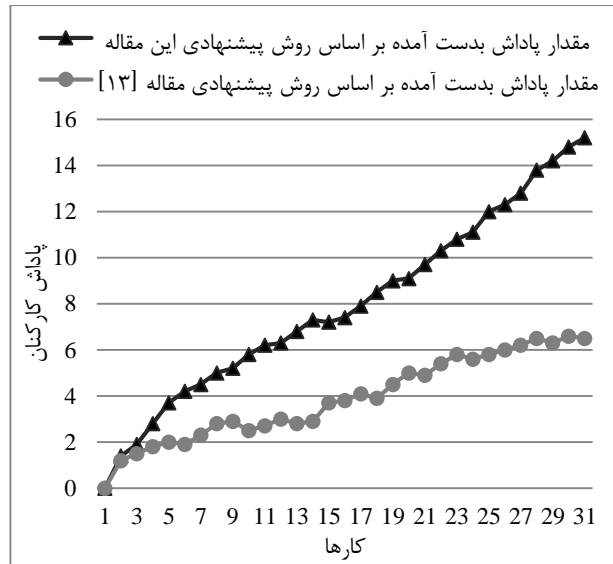
۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مقاله ما بر آن بودیم که برخی از اساسی‌ترین نقص‌های سیستم‌های محاسبات انسانی و به‌طور خاص سیستم محاسبات انسانی تشخیص نفوذ مانند کمبود مشارکت، مشارکت بی‌کیفیت و هزینه‌های زیاد را برطرف کنیم. سعی کردیم این کار را با طراحی یک مکانیزم پاداش‌دهی محرک انجام دهیم. هدف ما از تحریک افزایش مشارکت، انجام کارها توسط کارکنان متخصص با بیشترین تلاش و دقت در ازای کمترین هزینه ممکن بود. بر اساس ویژگی‌های سیستم محاسبات انسانی تشخیص نفوذ محرک‌های مناسب انتخاب شد و مکانیزم تحریک‌آمیز را طراحی کرده و بر اساس نظریه بازی‌ها تحلیل کردیم. نتیجه این تحلیل تعیین کمترین هزینه (پاداش) یک کار برای استخراج بیشترین تلاش و دقت کارکنان بود. در پایان بر اساس نتایج پیاده‌سازی نشان دادیم که به اهداف خود از ایجاد تحریک کاملاً دست پیدا کرده‌ایم. از دستاوردهای طراحی این مکانیزم، افزایش دقت کارکنان در مشارکت و در نتیجه افزایش دقت سیستم محاسبات انسانی تشخیص نفوذ در شناسایی حملات جدید و کاهش نرخ هشدار اشتباه این سیستم‌ها بوده که مانع از شکست سیستم می‌شود. یکی دیگر از دستاوردهای مهم، مدیریت منابع مالی سیستم با استفاده از تعیین کمترین منابع مالی موردنیاز برای مشارکت‌کنندگان بر اساس نتایج تحلیل حاصل از نظریه بازی‌ها است.

همان‌طور که بیان کردیم در صورتی که کارکنان در یک دسته از کارها اشتباه زیادی داشته باشند، آن‌ها را از شرکت در آن دسته از کارها محروم می‌کنیم. تحلیل این مکانیزم تنبیه به‌صورت یک بازی تکرارپذیر می‌تواند از کارهای آتی

کمتری در نظر گرفته شود تا منجر به دریافت پاسخ‌های باکیفیت شود. بالعکس اگر کار ساده باشد باید تعداد کارکنان بیشتری شرکت کنند و ضریب کاپا بزرگ‌تری در نظر گرفته شود تا پاسخی باکیفیت دریافت شود. ضریب کاپا را برای کاری که کارکنان ماهرتری دارد بیشتر در نظر می‌گیریم زیرا مهارت آن‌ها زیاد است و توافق بهتری انجام می‌دهند و بالعکس. همچنین برای دریافت پاسخ باکیفیت در کارهایی با کارکنان ماهرتر، باید ضریب کاپا بزرگ‌تری در نظر گرفته شود.

به دلیل عدم وجود کار مشابه در حوزه سیستم‌های محاسبات انسانی تشخیص نفوذ، مکانیزم پیشنهادی را با یکی از بروزترین کارهای مشابه [۱۳] ارائه‌شده در حوزه‌های دیگر مقایسه می‌کنیم. مکانیزم ارایه شده در این مقاله را در بخش کارهای مرتبط توضیح دادیم. در مقاله موردنظر کارها را به‌صورت همگن در نظر گرفته بنابراین برای مقایسه یک دسته از کارها را در طول زمان برای کارکنان ارسال کرده و نتایج را ارزیابی می‌کنیم. بهترین شاخص ارزیابی میزان و نحوه مشارکت کارکنان در انجام کارها است. برای این کار میزان پاداش کارکنان را مقایسه می‌کنیم.



شکل ۶: مقایسه میزان پاداش دریافتی مکانیزم ارائه‌شده

در این مقاله با مقاله [۱۳]

در مکانیزم ما اگر کارکنان مشارکت قابل‌قبولی داشته باشند (آنها را به انجام این کار تحریک کرده‌ایم) مهارت آن‌ها در آن کار افزایش پیدا می‌کند در نتیجه پاداش آن‌ها نیز افزایش پیدا می‌کند. اما در مکانیزم ارائه‌شده در مقاله مورد مقایسه پاداش کارکنان توسط صاحب‌کار مشخص می‌شود

- budget", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 35, no. 2, pp. 502-516, 2017.
- [8] H. Xie, J. C. S. Lui, J. W. Jiang and W. Chen, "Incentive mechanism and protocol design for crowdsourcing systems", 2014 52nd Annual Allerton Conference on Communication, Control and Computing (Allerton), Monticello, IL, pp. 140-147, 2014.
- [9] L. Von Ahn, L. Dabbish, "Designing games with a purpose", Communications of the ACM, vol. 51, no. 8, pp. 58-67, 2008.
- [10] S. Jain, D. C. Parkes, "A game-theoretic analysis of the ESP game", ACM Transactions on Economics and Computation (TEAC), vol. 1, no. 1, pp.1-35, 2013.
- [11] N. Alon et al., "Sum of us: Strategyproof selection from the selectors." Proceedings of the 13th Conference on Theoretical Aspects of Rationality and Knowledge, pp. 101-110, 2011.
- [12] D. Yang et al. "Incentive mechanisms for crowdsensing: Crowdsourcing with smartphones", IEEE/ACM transactions on networking, vol. 24, no. 3, pp. 1732-1744, 2015.
- [13] C. Tang, X. Li, M. Cao, Z. Zhang and X. Yu, "Incentive Mechanism for Macrotasking Crowdsourcing: A Zero-Determinant Strategy Approach", in IEEE Internet of Things Journal, vol. 6, no. 5, pp. 8589-8601, Oct. 2019.
- [14] J. Nie, J. Luo, Z. Xiong, D. Niyato and P. Wang, "A Stackelberg Game Approach Toward Socially-Aware Incentive Mechanisms for Mobile Crowdsensing", in IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 18, no. 1, pp. 724-738, Jan. 2019.
- [15] Q. Li, H. Cao, S. Wang and X. Zhao, "A Reputation-Based Multi-User Task Selection Incentive Mechanism for Crowdsensing", in IEEE Access, vol. 8, pp. 74887-74900, 2020.
- [16] X. Gan, Y. Li, W. Wang, L. Fu and X. Wang, "Social crowdsourcing to friends: An incentive mechanism for multi-resource sharing", IEEE Journal on
- باشد. در این مقاله سه نوع استراتژی برای کارکنان در نظر گرفتیم، در نظر گرفتن استراتژی‌های متعدد و مطابق با واقعیت‌های رفتاری انسان‌ها می‌تواند از کارهای آتی باشد. بررسی اثر فاکتورهای انسانی از قبیل تعصبات و محرک‌های نوع‌دوستانه در طراحی مکانیزم‌های محرک و استفاده از آن‌ها در طراحی، نیز از کارهای آتی است. همچنین ایجاد یک مدل رسمی که میزان سرگرم شدن کاربران از فعالیت‌های شناختی را به دست آورد نیز یک مسئله باز است.
- مراجع**
- [1] K. Veeramachaneni, I. Arnaldo, V. Korrapati, C. Bassias and K. Li, "AI²: Training a Big Data Machine to Defend", 2016 IEEE 2nd International Conference on Big Data Security on Cloud (BigDataSecurity), IEEE International Conference on High Performance and Smart Computing (HPSC), and IEEE International Conference on Intelligent Data and Security (IDS), New York, NY, pp. 49-54, 2016.
- [2] L. von Ahn, "Human Computation", 2008 IEEE 24th International Conference on Data Engineering, Cancun, pp. 1-2, 2008.
- [3] E. Law, L. Von Ahn, "Solving Computational Problems", Human Computation, Morgan and Claypool Publishers, pp. 13-56, 2011.
- [4] A. J. Quinn and B. B. Bederson, "Human computation: A survey and taxonomy of a growing field", annual conference on Human factors in computing systems, New York, NY, USA, pp. 1403-1412, 2011.
- [5] J.C. Tang, M. Cebrian, N. A. Giacobe, H. Kim, and T. Kim, "Reflecting on the DARPA Red Balloon Challenge", communications of the ACM, vol. 54, no. 4, pp. 78-85, 2011.
- [6] A. Dasgupta, A. Ghosh, "Crowdsourced judgement elicitation with endogenous proficiency." Proceedings of the 22nd international conference on World Wide Web, pp. 319-330, 2013.
- [7] W. Wu et al., "Incentive mechanism design to meet task criteria in crowdsourcing: How to determine your

- [21] م. درویشی، م. غیوری ثالث، " تشخیص نفوذ در شبکه‌های رایانه‌ای با استفاده از مدل مخفی مارکوف تکاملی"، دوفصل نامه علمی ترویجی منادی امنیت فضای تولید و تبادل اطلاعات (افتا)، جلد ۱۶، شماره ۲، صفحه ۱۶-۳، ۱۳۹۸.
- [22] A. Joshi, S. Kale, S. Chandel, and D. K. Pal, "Likert Scale: Explored and Explained", CJASt, Vol. 7, No. 4, pp. 396-403, Feb. 2015.
- [23] Fleiss, Joseph L, "Measuring nominal scale agreement among many raters", Psychological bulletin, Vol. 76, No. 5, pp. 378-382, 1971.
- [24] J. J. Randolph. "Free-Marginal Multirater Kappa (multirater K [free]): An Alternative to Fleiss' Fixed-Marginal Multirater Kappa", In Joensuu Learning and Instruction Symposium, 2005.
- Selected Areas in Communications, vol. 35, no. 3, pp. 795-808, 2017.
- [17] D. Peng, F. Wu and G. Chen, "Data Quality Guided Incentive Mechanism Design for Crowdsensing", in IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 17, no. 2, pp. 307-319, Feb. 2018.
- [18] S. Jain, Y. Chen, and D. C. Parkes, "Designing incentives for online question-and-answer forums", Games and Economic Behavior, vol. 86, pp. 458-474, 2014.
- [19] A. Morishima et al. "CyLog/Crowd4U: A declarative platform for complex data-centric crowdsourcing", Proceedings of the VLDB Endowment, vol. 5, no. 12, pp. 1918-1921, 2012.
- [20] Y. Liu, C. Miao, "A survey of incentives and mechanism design for human computation systems", arXiv preprint arXiv: 1602.03277, 2016.

$$\Rightarrow (e_{ij} + e'_{ij})(\sum_{k=1}^n E_{kj} + \sum_{k=1}^n e_{kj} - E_{ij}) - e_{ij}(e_{ij} + e'_{ij}) > 0$$

$$\Rightarrow (e_{ij} + e'_{ij})(\sum_{k=1}^n X_{kj} + \sum_{k=1}^n e_{kj} - X_{ij} - e_{ij}) > 0$$

مقدار $(e_{ij} + e'_{ij})$ همواره مثبت است، پس باید ثابت کنیم که:

$$\sum_{k=1}^n E_{kj} + \sum_{k=1}^n e_{kj} - E_{ij} - e_{ij} > 0 \quad (پ ۱)$$

$$\Rightarrow (\sum_{k=1}^n E_{ij} + \sum_{k=1}^n e_{kj}) - (E_{ij} + e_{ij}) > 0$$

از آنجایی که $E_{ij} \in \sum_{k=1}^n E_{kj}$ است و همچنین $e_{ij} \in \sum_{k=1}^n e_{kj}$ بنابراین:

$$\left(\sum_{k=1}^n E_{ij} + \sum_{k=1}^n e_{kj} \right) > (E_{ij} + e_{ij}) \quad (پ ۲)$$

بر طبق معادله ۲ ثابت می‌شود که معادله ۱ همواره برقرار است. بنابراین ثابت کردیم که مخرج کسر همواره بزرگ‌تر از صفر است.

پیوست

به منظور اثبات درستی تعیین پاداش در بازی دونفره باید ثابت کنیم که معادله زیر همواره مثبت است. بنابراین:

$$\frac{E_{1j} + e_{1j}}{E_{1j} + E_{2j} + e_{1j} + e_{2j}} - \frac{E_{1j} - e'_{1j}}{E_{1j} + E_{2j} - e'_{1j} + e_{2j}} > 0$$

$$\Rightarrow \frac{E_{1j} + e_{1j}}{E_{1j} + E_{2j} + e_{1j} + e_{2j}} > \frac{E_{1j} - e'_{1j}}{E_{1j} + E_{2j} - e'_{1j} + e_{2j}}$$

پس از انجام طرفین وسطین و ساده‌سازی به معادله ۱۳ می‌رسیم:

$$e_{1j}(E_{2j} + e_{2j}) > -e'_{1j}(E_{2j} + e_{2j})$$

$$\Rightarrow (E_{2j} + e_{2j})(e_{1j} + e'_{1j}) > 0$$

از آنجایی که $E_{2j}, e_{2j}, e'_{1j}, e_{1j}$ مقادیری همواره مثبت هستند پس معادله بالا برقرار است.

پیوست ب

به منظور اثبات درستی تعیین پاداش در بازی چندنفره باید ثابت کنیم که معادله زیر همواره مثبت است. بنابراین:

$$\frac{E_{ij} + e_{ij}}{\sum_{k=1}^n E_{kj} + \sum_{k=1}^n e_{kj}} - \frac{E_{ij} - e'_{ij}}{\sum_{k=1}^n E_{kj} + \sum_{k=1, k \neq i}^n e_{kj} - e'_{ij}} \Rightarrow$$

$$\frac{E_{ij} + e_{ij}}{\sum_{k=1}^n E_{kj} + \sum_{k=1}^n e_{kj}} > \frac{E_{ij} - e'_{ij}}{\sum_{k=1}^n E_{kj} + \sum_{k=1, k \neq i}^n e_{kj} - e'_{ij}}$$

پس از انجام طرفین وسطین و ساده‌سازی به معادله ۱۵ می‌رسیم:

$$-e_{ij}E_{ij} - e'_{ij}E_{ij} + e_{ij} \sum_{k=1}^n E_{kj} + e_{ij} \sum_{k=1}^n e_{kj} - e_{ij}^2 - e'_{ij}e'_{ij} + e'_{ij}(\sum_{k=1}^n E_{kj} + \sum_{k=1}^n e_{kj}) > 0$$

اگر از مقادیر مشترک فاکتور بگیریم:

$$e_{ij}(\sum_{k=1}^n E_{kj} + \sum_{k=1}^n e_{kj} - E_{ij}) + e'_{ij}(\sum_{k=1}^n E_{kj} + \sum_{k=1}^n e_{kj} - E_{ij}) - e_{ij}^2 - e'_{ij}e'_{ij} > 0$$

Incentive Reward Mechanism for Human Computation Intrusion Detection System Based on Game Theory

Yahya Lor Mohammad Hassani Esfandaghe¹

Majid Ghayoori Sales²

1. Masters student, Department of Computer Science, Faculty of Information and Communication Technology, Imam Hossein university, ylmhasani@ihu.ac.ir
2. Assistant Professor, Department of Computer Science, Faculty of Information and Communication Technology, Imam Hossein university, ghayoori@ihu.ac.ir

Abstract:

Despite the tremendous advances in the design of human computation systems, most of them suffer from low or low-quality contributions, and a high percentage of them fail. The success of these systems mostly depends on the behavior of people who participated in the system. Because human computation systems involve small work units, and each work brings little benefit to the participants, humans exhibit desirable behavior if they are well motivated. In this paper, we investigated this issue in the human computation intrusion detection (HCID) system. Our goal is to design a mechanism to get tasks done by experts with the utmost effort and accuracy for the lowest possible cost with a high percentage of participation. After choosing the appropriate motivation, we design the reward incentive mechanism for this system. The idea behind this mechanism was to use worker's skills in determining their rewards, and we used the Kappa coefficient to evaluate worker's agreement. After designing this mechanism, we use game theory to analyze the mechanism and determine the minimum possible reward for each task category. We prevent system failure by encouraging the workers to be high and quality participation. Also, we manage the system's financial resources by allocating the least necessary financial resources to the workers. This mechanism's design leads to an increase in the participants' accuracy and, consequently, to an increase in the human computation intrusion detection system's accuracy in identifying new attacks and reducing their false alert rate.

Keywords: Incentive Rewarding, , Human Computation, Game Theory, Intrusion Detection, Kappa Coefficient

ارائه یک روش سریع و دقیق برای شناسایی رانش مفهوم با تحلیل سابقه‌ی رویدادها

مهدی یعقوبی* علی سبطی* سهیلا کرباسی*

*استادیار گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی مهندسی گرگان، دانشگاه گلستان، گرگان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۷

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

در سازمان‌ها و شرکت‌های بزرگ که از سیستم‌های مدیریت فرآیندهای کسب و کار (BPMS) بهره می‌برند، در هر لحظه با توجه به قوانین بالادستی و شرایط بازار، ممکن است در فرآیندهای کسب و کار تغییرات رخ دهد. این تغییرات گاهی به صورت آنی و گاهی به صورت تدریجی روی سیستم اعمال می‌گردد. شناسایی به موقع این تغییرات می‌تواند در تصمیم‌گیری بهتر مدیران سازمان اثر گذار باشد. تجزیه و تحلیل سابقه‌ی رویدادها در این سیستم‌ها، امکان شناسایی تغییرات ایجاد شده در فرآیندهای کسب و کار را به صورت خودکار فراهم می‌کند. به این تغییرات در فرآیندها به اصطلاح رانش مفهوم در فرآیند کسب و کار گفته می‌شود. استخراج رانش مفهوم اشاره دارد به شناسایی محل و نوع تغییراتی که در طول زمان در فرآیندهای کسب و کار یا به طور کلی در سابقه‌ی رویداد رخ داده است. در این مقاله یک روش ابتکاری با معرفی یک تابع فاصله اصلاح شده، برای شناسایی محل و زمان ایجاد رانش مفهوم ارائه می‌شود. آزمایش‌های انجام شده بر روی ۷۲ پایگاه داده‌گان موجود در پیشینه‌ی پژوهش که شامل ۶۴۸ رانش مفهوم در ۱۲ نوع مختلف است، نشان می‌دهد روش پیشنهادی ۹۸/۱۸ درصد از رانش‌ها را تشخیص می‌دهد درحالی که روش پیشنهادی نسبت به بهترین روش موجود بسیار سریع‌تر است.

واژگان کلیدی: مدیریت فرآیندهای کسب و کار، شناسایی تغییرات در فرآیند، رانش مفهوم، فرآیندکاوی

۱- مقدمه

معاصر، عموماً فرآیندها را پایدار در نظر می‌گیرند، در صورتیکه امروزه در واقعیت فرآیندهای کسب و کار در طول زمان و در فواصل مختلف ممکن است دست‌خوش تغییر و تحول شوند. این تغییرات به دلایل مختلفی همچون تغییر در قوانین سازمان‌ها، شرایط فصلی، تغییر در عرضه و تقاضا، تعادل بارکاری، تعدیل نیرو و یا بروز بلایا و فجایع طبیعی صورت می‌گیرد. 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 سازمان‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به این نوع تغییرات در اجرای فرآیندهای کسب و کار که در طول زمان باعث

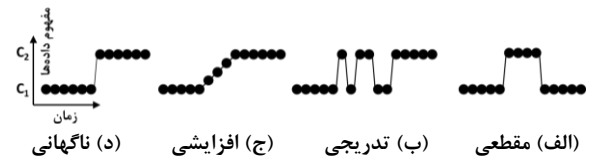
تجزیه و تحلیل سابقه‌ی رویداد^۱ در سیستم‌های مدیریت فرآیندهای کسب و کار (BPMS) یکی از محبوب‌ترین تحقیقاتی است که در این حیطه انجام می‌شود. یکی از این تحقیقات فرآیند کاوی است. فرآیند کاوی به دسته‌ای از تحقیقات بر روی سابقه‌ی رویداد تمرکز دارد که هدف اصلی آنها استخراج آمدل فرآیند، سازگاری یا تطبیق آمدل استخراج شده با سابقه‌ی رویداد و بهبود و توسعه مدل^۲ موجود می-باشد [۱] الگوریتم‌های زیادی برای استخراج فرآیند از سابقه‌ی رویداد وجود دارد که از آن دسته می‌توان الگوریتم‌های آلفا، آلفا++، آلفا#، ابتکاری، نام برد. تکنیک‌های فرآیند کاوی

^۱Discovery

^۲Conformance checking

^۳Enhancement of process models

تغییراتی در سابقه‌ی رویداد می‌شود، رانش مفهوم^۵ می‌گویند. رانش مفهوم در فرآیند می‌تواند به صورت تدریجی، ناگهانی، افزایشی و مقطعی صورت بگیرد [۲]. در تغییرات ناگهانی، فرآیند جدید جایگزین فرآیند موجود می‌شود و معمولاً در مواقع اضطراری یا با تغییر قوانین صورت می‌گیرد. در تغییرات تدریجی نیز فرآیند موجود توسط فرآیند جدید جایگزین می‌شود 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 می‌شود. در تغییرات افزایشی تغییرات به صورت مرحله به مرحله انجام می‌شود و در تغییرات مقطعی، تغییرات برای مقطع زمانی کوتاهی اعمال می‌شود و دوباره به روال قبلی برمی‌گردد. در شکل (۱) انواع رانش‌های مفهوم (تغییرات) بین دو مفهوم (گونه‌ی فرآیند کسب و کار) C_1 و C_2 به تصویر کشیده شده است. شناسایی انواع رانش و تفکیک هر یک از آنها از چالش‌های اصلی در شناسایی رانش مفهوم است. در روش‌های موجود توجه روی شناسایی رانش‌های ناگهانی است و دقت شناسایی در انواع دیگر نسبت به رانش‌های ناگهانی کمتر است.



شکل ۱- انواع رانش مفهوم از نظر اثر تغییر در سابقه‌ی رویداد در طول زمان [۲]

۱-۱- رانش مفهوم

فرآیندکاوی یکی از مسائل مورد توجه در BPMS است که هدف آن استخراج مدل فرآیند از سابقه‌ی رویداد است. مدل فرآیند شامل ساختارهای هم‌زمانی، انتخابی، توالی و حلقه‌ها است که اجرای آن به شکل دنباله‌ای از رویدادها در سابقه‌ی رویداد ذخیره می‌شود. در حالی که شناسایی و استخراج رانش مفهوم مسئله‌ی پیچیده‌تری است و هدف آن کشف تغییرات رخ داده در ساختار مدل فرآیند است که باید با آنالیز و تحلیل داده‌های ذخیره شده در سابقه‌ی رویداد کشف شود. استخراج رانش مفهوم نیز یکی از مسایل پر طرفدار در شاخه‌های مختلف هوش مصنوعی است و در داده کاوی به عنوان یک مسئله رایج هم به صورت یادگیری با نظارت و هم بدون نظارت مورد مطالعه قرار

گرفته است [۳-۶] با این حال، این مسایل به عنوان بخشی از مراحل فرآیند کاوی مورد توجه قرار نگرفته است. اگر چه تجربیات بدست آمده در داده کاوی و یادگیری ماشین در فرآیند کاوی قابل استفاده است، اما پیچیدگی‌های ساختار فرآیند مانند ساختارهای انتخابی^۶، حلقه، هم روندی، انصراف^۷ و انتخاب‌های مشروط^۸ (وابسته به انتخاب‌های قبلی در اجرای فرآیند) چالش‌های زیادی را در استخراج رانش مفهوم از سابقه-ی رویداد ایجاد می‌کند.

همانطور که گفته شد، فرآیندها ممکن است به منظور تطبیق با تغییرات محیطی و شرایط جدید، دچار تغییر شوند. برای مثال، شرکت‌های مسافرتی در فصول مختلف در فرآیند فروش خود دچار تغییر می‌شوند. بنابراین سازمان‌ها برای رسیدن به عملکرد بهتر باید بتوانند به خوبی با تغییرات محیطی تطبیق یابند. رانش مفهوم زمانی رخ می‌دهد که فرآیند در هنگام اجرا دچار تغییر شود. نیاز به مدیریت این تغییرات، محققان را بر آن داشته که روش‌ها و ابزارهای گوناگونی جهت تحلیل کسب و کار و شناسایی تغییرات فرآیند ارائه دهند. تا کنون روش‌های مختلفی برای شناسایی رانش مفهوم در فرآیندهای کسب و کار با استفاده از سابقه‌ی رویداد ارائه شده است که هر کدام از آن‌ها قادر به شناسایی دسته خاصی از تغییرات می‌باشند. تحلیل تغییرات در فرآیندهای سازمانی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است، زیرا می‌تواند به شناسایی تغییرات و بهبود اجرای فرآیندها، یک دیدگاه صحیح از اجرای فرآیندها در هر بازه زمانی بدست آورد و در نهایت باعث بهبود عملکرد سیستم خواهد شد.

۲_۱ عوامل ایجاد رانش مفهوم در فرآیندها

مراجعی و همکاران [۷] عوامل تغییر فرآیند را معرفی کردند و این عوامل را با ۱۲ الگو متفاوت طبقه بندی کردند، در جدول (۱) لیست این عوامل ذکر شده است. مراجعی این عوامل را در سه گروه درجی (I)، انتخابی (O) و تغییر ترتیب (R) دسته‌بندی کرد و بر هر یک از عوامل جدول (۱) چهار فایل پایگاه داده‌گان با اندازه‌های ۱۰۰۰۰، ۷۵۰۰، ۵۰۰۰ و ۲۵۰۰ پیمایش^۹ با استفاده از تکنیک‌های شبیه‌سازی روی فرآیند درخواست وام (شکل (۲)) ایجاد کرد و ۶ فایل داده‌گان ترکیبی نیز از ترکیب عوامل هر دسته ایجاد کردند که در مجموع ۷۲ فایل داده‌گان (۱۲ عامل اصلی و ۶ عامل ترکیبی در ۴ اندازه مختلف) توسط

^۵Non-free Choice

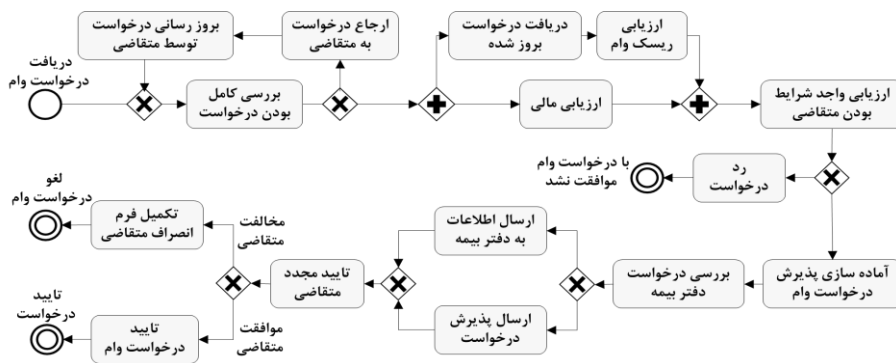
^۶Trace

^۵Concept drift

^۶Choice

^۷Cancellation

ارائه یک روش سریع و دقیق برای شناسایی رانش مفهومی با تحلیل سابقه‌ی رویدادها



شکل ۲- فرآیند درخواست وام جهت ایجاد پایگاه دادگان [۷]

دو بردار ویژگی برای هر پنجره ایجاد می‌شود و از یک تابع فاصله‌ی جدید (معرفی شده در این مقاله) با عنوان symgTest^{10} استفاده می‌شود که منجر به استخراج بهتر رانش مفهومی در فرآیندهای کسب و کار می‌شود.

۲- پیشینه پژوهش

سیستم‌های مدیریت فرآیندهای کسب و کار به گونه‌ای طراحی شده‌اند که امکان تغییر در فرآیندهای کسب و کار را به سادگی برای کاربران فراهم می‌کند. این تغییرات به صورت مداوم در پاسخ به عوامل خارجی مانند اسناد بالادستی، قوانین و مقررات جدید، شرایط بازار، تغییر در تقاضای مشتریان، تغییرات فصلی و سال مالی به وجود می‌آید. برخی از این تغییرات با اطلاع قبلی و مستند می‌باشد، ولی برخی از آنها بدون آگاهی و گاهی به صورت سهوی به وجود می‌آیند و بعد از گذشت مدتی به عنوان یک تغییر هنجار در سیستم باقی می‌مانند. برخی از این تغییرات ممکن است در کد منبع سیستم‌های اطلاعاتی خارج از مدل فرآیند ایجاد شود که ناشی از نبودن امکان یا عدم پشتیبانی سیستم مدیریت فرآیند باشد. اگرچه پژوهش‌های زیادی برای شناسایی فرآیندها از سابقه‌ی رویداد انجام شده است [۸، ۹] ولی اکثر پژوهش‌های انجام شده فرض می‌کنند فرآیند در طول دوره‌ای که اجرا شده است تغییری در آن رخ نداده است [۱۰] در حالی که عبارت رانش مفهومی در فرآیند یک اصطلاح شناخته شده است و شناسایی آن قبل از استخراج فرآیند می‌تواند باعث بهبود فرآیند کاوی و ارائه فرآیندهای مستخرج شده قابل انطباق‌تر شود [۱۱-۱۴].

گوندر و همکاران [۱۵] برای شناسایی تغییرات در فرآیند از سابقه‌ی تغییرات در مدل فرآیند استفاده شده است این بدان معناست که نویسندگان از یک دانش بالا دستی برای شناسایی تغییرات استفاده کرده‌اند و در واقع امکان شناسایی تغییراتی که

ماراجی و همکاران ایجاد شد. در هر فایل دادگان، ۹ رانش مفهومی به صورت عمدی ایجاد شده است که در مجموع ۶۴۸ رانش مفهومی را شامل می‌شود. پایگاه دادگان ماراجی در مقالات بعدی مورد توجه نویسندگان و محققان قرار گرفت و محققان برای آزمایش روش‌های خود از آن استفاده کردند.

ردیف	شرح	اختصار	گروه
۱	حذف یا ایجاد یک بخش در فرآیند	re	درجی (I)
۲	قرار دادن یا خارج کردن یک بخش در انشعاب شرطی	cm	
۳	تکرار دوتایی یک بخش	cp	
۴	قرار دادن یا خارج کردن یک بخش در انشعاب موازی	pm	
۵	تعویض یک بخش از فرآیند	rp	
۶	جابجایی دو بخش	sw	
۷	ایجاد حلقه رو یک بخش یا حذف حلقه	lp	انتخابی (O)
۸	ایجاد پرش از روی یک بخش یا حذف پرش	Cb	
۹	تغییر در فراوانی انشعاب انحصاری	Fr	
۱۰	همگام سازی دو بخش	cd	تغییر ترتیب (R)
۱۱	تغییر دو بخش از انتخاب انحصاری به توالی و بالعکس	cf	
۱۲	تغییر دو بخش با اجرای موازی به توالی و بالعکس	pl	

جدول ۱- عوامل ایجاد رانش مفهومی در فرآیندها [۷]

در این مقاله، از یک روش رایج جهت استخراج رانش مفهومی از سابقه‌ی رویداد استفاده می‌شود که با حرکت دو پنجره با اندازه یکسان و ثابت اطلاعات دو بردار ویژگی را از دو ناحیه کنار هم در سابقه‌ی رویداد استخراج می‌کند، سپس به یک روش ابتکاری

¹⁰Fitness

¹⁰Symmetric Goodness of fit Test

مستند سازی نشده است در روش آنها وجود ندارد و صرفاً تغییرات مدل فرآیند (نه اثر تغییرات در اجرای فرآیند) مورد بررسی قرار گرفته است.

بوز (Bose) و همکاران [۱۶] تنها با بررسی سابقه‌ی رویدادها توانستند محل رانش مفهوم در فرآیند را شناسایی کنند. آنها برای شناسایی محل رانش هم از ویژگی‌های محلی و هم از ویژگی‌های عمومی رویدادها استفاده کردند، با این حال قادر به شناسایی همه انواع رانش مفهوم در فرآیند نبودند. از طرف دیگر در روش آنها لازم بود، کاربر پارامتری را تحت عنوان اندازه‌ی پنجره تنظیم کند تا رانش مفهوم به درستی شناسایی شود در حالی که تنظیم این پارامتر نیاز به یک دانش اولیه در مورد سابقه‌ی رویداد ورودی دارد، در روش آنها میزان دقت نتایج بسیار به پارامتر اندازه‌ی پنجره وابسته بود.

ماراجی و همکاران [۷] برای رفع مشکل بوز از یک پنجره‌ی انطباقی برای شناسایی رانش مفهوم استفاده کردند. در روش آنها از آزمون آماری G-test بر روی دو پنجره استفاده می‌شود، یک پنجره، به عنوان پنجره‌ی ارجاع و دیگری به عنوان پنجره‌ی تشخیص، در هر کدام، تعدادی از پیمایش‌ها^{۱۵} موجود در سابقه‌ی رویداد مورد بررسی قرار می‌دهند و تفاوت در توزیع آماری داده‌ها ملاک اصلی تشخیص رانش مفهوم در پنجره‌ی تشخیص است.

مارتجوشو (Martjushev) و همکاران [۱۴] مانند ماراجی از ایده پنجره انطباقی استفاده کردند و الگوریتمی را تحت عنوان Change Point معرفی کردند. آنها الگوریتم خود را برای شناسایی رانش‌های مفهوم تدریجی توسعه دادند. سیلیگر (Seeliger) و همکاران [۱۷] از الگوریتم Change Point استفاده کردند و برای استخراج ویژگی‌های پنجره‌های ارجاع و تشخیص از ویژگی‌های گراف مدل فرآیند استخراج شده در هر پنجره استفاده کرد و برای آزمایش الگوریتم خود از پایگاه دادگان ماراجی استفاده کرد و به دقت شناسایی ۹۴/۶۶ درصد دست یافتند.

استوار (Ostovar) و همکاران [۱۸] یک مفهوم سطح بالاتر به عنوان «اجرا» تعریف کردند، این مفهوم به معنای مجموعه از پیمایش‌ها است که در اجرای فرآیند کسب و کار، با هم به صورت موازی اجرا شوند. استوار و همکاران علاوه بر اطلاعات

آماری «اجرا» در سابقه‌ی رویدادها از روابط دوتایی بین رویدادها که در الگوریتم آلفا+ معرفی شده بود برای شناسایی رانش مفهوم استفاده کردند. این روابط دوتایی شامل هم روندی^{۱۳}، تقدم-تاخر^{۱۴}، حلقه به خود^{۱۵} و حلقه به طول دو^{۱۶} (دوتایی) می‌باشد. استوار و همکاران در ادامه‌ی تحقیقات خود [۱۳] با معرفی درخت فرآیند و استخراج درخت فرآیند در دو پنجره‌ی ارجاع و تشخیص به جای استخراج مدل فرآیند، دقت و سرعت روش خود را بهبود دادند که باعث شد به دقت ۹۹/۷۴ درصدی دست یابند.

آکورسی و همکاران [۱۹] و هومیز و همکاران [۲۰] هم از روش‌های متفاوتی برای شناسایی رانش مفهوم استفاده می‌شود. آنها از خوشه‌بندی پیمایش‌ها و محاسبه‌ی فاصله‌ی هر جفت رویداد در هر پیمایش استفاده کردند. در حقیقت ساختار فرآیند در قالب محل قرار گرفتن هر رویداد در پیمایش در روش آنها مورد توجه قرار گرفت. در روش آنها هم مانند روش بوز و همکاران اندازه‌ی پنجره باید توسط کاربر تنظیم می‌شد. کارمونا و همکاران [۱۲] یک روش بلادرنگ با توانایی آموزش را برای شناسایی رانش مفهوم ارائه شد. در روش آنها اندازه‌ی پنجره طبق یک الگوریتم یادگیری تخمین زده می‌شد سپس یک پنجره‌ی انطباقی با استفاده از پارامتر بدست آمده نقاط رانش مفهوم را شناسایی می‌کرد.

۳- روش پژوهش

سیستم‌های مدیریت فرآیندهای کسب و کار (BPMS) حداقل شامل سه بخش اساسی هستند. یک بخش شامل یک ویرایش-گر گرافیکی قدرتمند برای طراحی مدل فرآیند است و بخش دوم که می‌توان مهم‌ترین بخش این سیستم‌ها دانست موتور اجرای فرآیند سازمانی است و بخش سوم آن تحلیل و بهینه سازی اجرای فرآیندها می‌باشد. در سازمان‌هایی که از BPMS برای مدیریت و اداره‌ی سیستم‌های اطلاعاتی خود استفاده می‌کنند، هر فرآیند برای پاسخ دهی به یک درخواست مشتری یا یک درخواست از سایر بخش‌های سازمان طراحی می‌شود. با ایجاد یک درخواست، از مدل فرآیند مربوطه با آن درخواست یک نمونه فرآیند^{۱۷} ایجاد می‌شود و این نمونه فرآیند در موتور اجرای فرآیند اجرا می‌شود. در جریان اجرای یک فرآیند مجموعه‌ای از رویدادها رخ می‌دهد که مهم‌ترین آنها ایجاد یک

^۱Self-loop

^۲Length-two loop

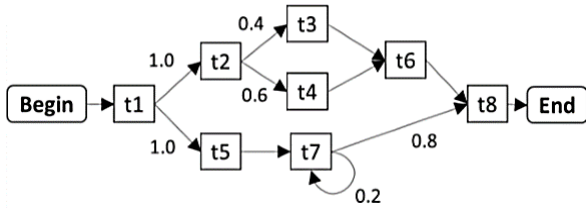
^۳Process Instance

^۴Traces

^۵Concurrency

^۶Causality

دلیل وجود حلقه روی کار t_7 می‌تواند به صورت تئوری بینهایت گونه تولید کند.



- $\langle t_1, t_2, t_3, t_5, t_6, t_7, t_8 \rangle$ گونه ۱
- $\langle t_1, t_2, t_5, t_7, t_4, t_6, t_8 \rangle$ گونه ۲
- $\langle t_1, t_2, t_3, t_5, t_6, t_7, t_7, t_8 \rangle$ گونه ۳
- $\langle t_1, t_2, t_5, t_3, t_6, t_7, t_8 \rangle$ گونه ۴
- ⋮
- $\langle t_1, t_2, t_5, t_3, t_7, t_6, t_7, t_7, t_8 \rangle$ گونه n

شکل ۳. مدل فرآیند تولید [21]

۱-۳- ایده‌ی اصلی

از آنجایی که عامل‌های اصلی رانش مفهومی به نوع تغییر در فرآیند برمی‌گردد. هر نوع تغییری در فرآیند کسب و کار (به جز تغییر در احتمال انتخاب انشعاب XOR) در طول (تعداد) رویدادهای موجود در پیمایش و دسته‌بندی گونه‌ی پیمایش اثر گذار خواهد بود. و باعث تغییر در توزیع و فراوانی گونه‌ها می‌شود. در این مقاله برای شناسایی رانش مفهومی از دو پنجره‌ی زمانی با عنوان‌های پنجره‌ی «ارجاع» و پنجره‌ی «تشخیص» استفاده می‌شود. این دو پنجره در طول زمان روی سابقه‌ی رویداد حرکت می‌کنند. طول هر دو پنجره با هم برابر است و عبارت است از تعداد پیمایش‌هایی از سابقه‌ی رویداد که در این پنجره‌ها قرار می‌گیرد. ایده‌ی اصلی در شناسایی رانش مفهومی، تغییر توزیع آماری گونه‌های موجود در این دو پنجره‌ی ارجاع و تشخیص می‌باشد.

۲-۳- شناسایی رانش مفهومی براساس فراوانی گونه

روند کلی روش پیشنهادی در شکل (۴) آمده است. در ابتدا، دو پنجره با اندازه‌ی یکسان روی سابقه‌ی رویداد حرکت می‌کند از هر پنجره یک بردار از میزان فراوانی جفت کارهای پشت سر هم داخل پنجره ایجاد می‌شود. در این مرحله دو بردار فراوانی یا بردار ویژگی به نام‌های V_D و V_R ایجاد می‌شود سپس با یک آزمون آماری یا یک تابع مشخص، فاصله‌ی این دو بردار محاسبه می‌شود. با حرکت دو پنجره بر روی کل سابقه‌ی رویداد و محاسبه‌ی فاصله‌ی بردارهای ویژگی، نمودار تغییرات فاصله برای کل سابقه‌ی رویداد ایجاد می‌شود. سپس در مرحله‌ی بعد

کار، تخصیص یک کار به منبع (نیروی انسانی)، شروع انجام کار و اتمام کار می‌باشد و دنباله‌ای از این رویدادها به صورت یک یا چند فایل که غالباً به دو فرمت XES یا MXML است به عنوان سابقه‌ی رویداد ذخیره می‌شوند. تحلیل سابقه‌ی ایجاد شده از اجرای فرآیندها پیشین می‌تواند باعث بهبود و بهینه سازی اجرای فرآیندهای آتی شود. یکی از این موارد می‌تواند شناسایی رانش مفهومی در سابقه‌ی رویداد باشد. در ادامه قبل از بیان ایده‌ی اصلی این مقاله لازم است برخی از مفاهیم موجود در این زمینه را تعریف کنیم.

۱-۳- مفاهیم پایه و تعاریف

۱-۱-۳ مدل فرآیند، سابقه رویداد، پیمایش، گونه

مدل فرآیند $M = (T, C, F, start, end)$ پنج‌تایی است که شامل مجموعه‌ای از کارها $T = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_n\}$ است و مجموعه‌ی مشخصی از راس‌های کنترلی $C = \{AND_{join}, AND_{split}, XOR_{join}, XOR_{split}\}$ و دو راس $start$ و end به عنوان راس‌های شروع و پایان است که در یک گراف جهت‌دار $F = (V, E)$ به هم وصل شده‌اند به طوری که $V = \{start, end\} \cup C \cup T$ و $E = V \times V$ که بیانگر تقدم و تاخر انجام کارها در مدل فرآیند است.

یک سابقه‌ی رویداد \mathcal{L} شامل مجموعه‌ای از پیمایش‌ها $\mathcal{L} = \{\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_L\}$ است. که $L = |\mathcal{L}|$ اندازه‌ی سابقه‌ی رویداد یا همان تعداد پیمایش‌های موجود در سابقه‌ی رویداد را مشخص می‌کند. هر پیمایش خود شامل دنباله‌ای از رویدادهایی است که در اجرای یک نمونه فرآیند مربوط به یک درخواست مشخص در سابقه‌ی رویداد ثبت می‌شود. بنابراین هر پیمایش را می‌توان به صورت $\tau = \langle e_1^a, e_2^b, e_3^c, \dots, e_k^d \rangle$ نشان داد. در هر عنصر e_i^a از این پیمایش متناظر با رویدادی که در زمان i ام روی کار $a \in T$ از فرآیند رخ داده است. از آنجایی که در گراف F می‌تواند حلقه وجود داشته باشد؛ مقدار a در رویدادهای یک پیمایش می‌تواند تکراری باشد. تابع $\rho: \mathcal{T} \rightarrow T^*$ را به عنوان مسیر حرکت پیمایش τ روی گراف F تعریف می‌کنیم. پیمایش‌های موجود در سابقه‌ی رویداد را می‌توان بر اساس مسیر حرکتش روی گراف F دسته بندی کرد به عبارت دیگر دو پیمایش $\tau_i, \tau_j \in \mathcal{L}$ که $\rho(\tau_2) = \rho(\tau_1)$ یک مسیر یکسان را روی گراف F پیمایش می‌کنند؛ در یک دسته قرار می‌گیرند در ادامه این مقاله به هر دسته از پیمایش‌ها یک «گونه» می‌گوییم. به عنوان مثال در شکل (۳) اجرای فرآیند تولید [۲۱] به

^۱Variant

^۱Task

۳-۲-۱- محاسبه‌ی فاصله‌ی دو بردار ویژگی

در این مقاله برای محاسبه‌ی فاصله‌ی دو بردار ویژگی از دو آزمون آماری χ^2 و $gTest$ و فاصله‌ی زاویه‌ای دو بردار (کسینوسی) و یک تابع فاصله‌ی پیشنهادی استفاده کرده‌ایم که نتایج آن به صورت تفکیک شده در بخش نتایج گزارش می‌شود. از آنجایی که در تابع فاصله‌ی پیشنهادی مشابه به آزمون آماری $gTest$ است. آنرا در ادامه $symgTest$ می‌نامیم.

$$chi2_Test = \chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(V_i^R - V_i^D)^2}{V_i^D} \quad (1)$$

$$gTest = 2 \sum_{i=1}^n V_i^D \cdot \ln\left(\frac{V_i^D}{V_i^R}\right) \quad (2)$$

$$\cos(\theta) = \frac{V^R \cdot V^D}{\|V^R\| \times \|V^D\|} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i^D V_i^R}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (V_i^D)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (V_i^R)^2}} \quad (3)$$

$$symgTest = \sum_{i=1}^n |V_i^R - V_i^D| \times \left| \ln\left(\frac{V_i^R}{V_i^D + \varepsilon}\right) \right| \quad (4)$$

با تعیین مقدار آستانه، نقاط رانش مفهوم شناسایی می‌شود. بنابراین با توجه به شکل (۴) می‌توان مراحل شناسایی رانش مفهوم را در روش پیشنهادی به صورت ذیل بیان کرد.

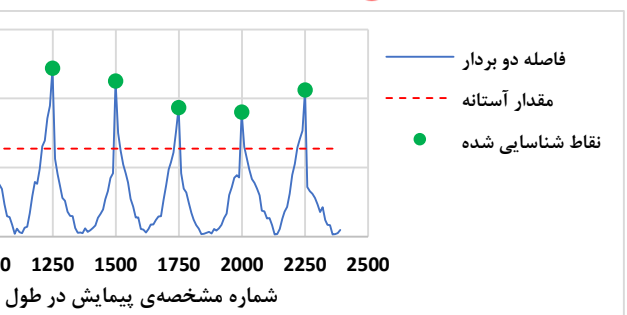
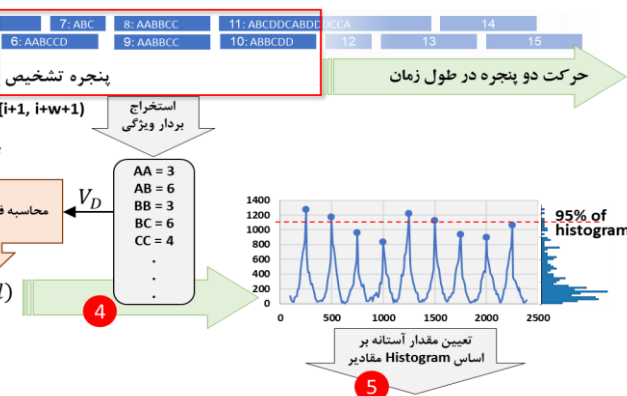
(۱) ایجاد دو پنجره با اندازه‌ی w تحت عنوان پنجره‌ی ارجاع $W_R = \{\tau_{i-w}, \tau_{i-w+1}, \tau_{i-w+2}, \dots, \tau_i\}$ و پنجره‌ی تشخیص $W_D = \{\tau_{i+1}, \tau_{i+2}, \tau_{i+3}, \dots, \tau_{i+w+1}\}$ بر روی سابقه‌ی رویداد به طوری که در مجموع $2w$ پیمایش از سابقه‌ی رویداد را در بر بگیرد.

(۲) استخراج بردار ویژگی برای هر پنجره با شمارش جفت کارهای پشت سر هم در گونه‌های موجود در هر پنجره به نام‌های V_D و V_R به ترتیب برای پنجره‌های ارجاع و تشخیص

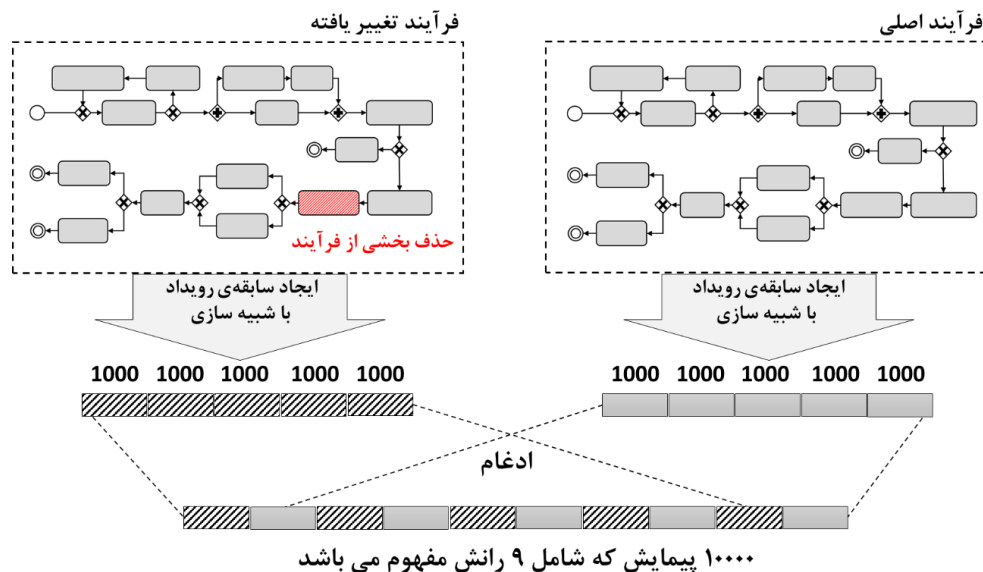
(۳) محاسبه‌ی فاصله‌ی دو بردار ویژگی بر اساس رابطه (۴) در بخش ۳-۳-۱ (تابع پیشنهادی این مقاله)

(۴) تکرار مراحل ۱ الی ۳ با حرکت دادن دو پنجره در طول زمان تا کل پیمایش‌های موجود در سابقه‌ی رویداد مشاهده

شوند و استخراج تغییرات فاصله بردارهای V_D و V_R محاسبه‌ی مقدار آستانه با استفاده از هیستوگرام مقادیر فاصله‌ی بردارهای ویژگی



شکل ۴. روند کلی روش پیشنهادی



شکل ۵. روش ایجاد فایل‌های پایگاه داده شناسایی رانش مفهومی [۲۲]

یکی در میان از فرآیند اصلی و تغییر یافته با هم ادغام شدند و در نهایت به ترتیب فایل‌هایی شامل ۱۰۰۰۰ یا ۷۵۰۰، ۵۰۰۰ و ۲۵۰۰ پیمایش ایجاد شد. هر فایل شامل ۹ رانش مفهومی از فرآیند اصلی به تغییر یافته و بعکس را دارا است. به همین ترتیب برای هر یک از ۱۲ عامل لیست شده در جدول (۱) و (۶) عامل با ترکیب و انتخاب یک عامل از هر گروه) چهار فایل دادگان ایجاد کردند. به عنوان مثال برای «حذف یا ایجاد یک بخش در فرآیند» چهار فایل به عنوان re5k are7.5k are10k و re2.5k با فرمت MXML ایجاد شده است.

۴-۱- روش اندازه‌گیری دقت شناسایی

برای اندازه‌گیری دقت شناسایی از معیار F_1 استفاده می‌کنیم که روش محاسبه‌ی آن در رابطه‌ی (۷) آمده است.

$$\text{precision} = \frac{\text{True positives}}{\text{True positives} + \text{False positives}} \quad (5)$$

$$\text{recall} = \frac{\text{True positives}}{\text{True positives} + \text{False negatives}} \quad (6)$$

$$F_1 = 2 \cdot \frac{\text{precision} \cdot \text{recall}}{\text{precision} + \text{recall}} \quad (7)$$

در هر فایل از سابقه‌ی رویداد ۹ رانش مفهومی وجود دارد. در شکل (۶) یک نمونه از اجرای روش پیشنهادی روی فایل fr5k را نشان می‌دهد در این فایل ۹ رانش در محل‌های 500k برای مقادیر $k = 1.9 \in \mathbb{N}$ وجود دارد. در این اجرا ۷ رانش مفهومی به درستی تشخیص داده شده است، یک رانش مفهومی در شماره پیمایش ۴۱۱۹ به اشتباه تشخیص داده شده است و دو رانش

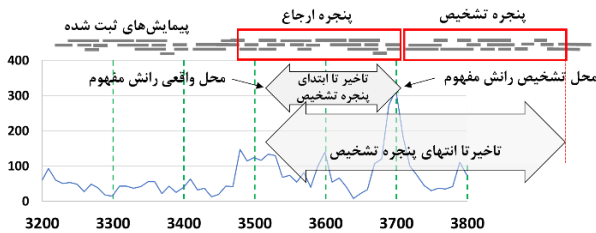
در رابطه‌های (۱) و (۲) هر پیمایش به عنوان یک متغیر تصادفی در نظر گرفته می‌شود و جامعه آماری در پنجره‌ی ارجاع را به عنوان مرجع قرار می‌دهد و انتظار دارد نمونه‌های (پیمایش-های) مشاهده شده در پنجره تشخیص جامعه‌ی آماری مشابهی با پنجره‌ی ارجاع داشته باشد. رابطه‌ی (۳) فاصله کسینوسی دو بردار را نشان می‌دهد و در مواقعی که فضای بردارهای ویژگی فضای متریک است و اگر تغییرات فاصله‌ی دو بردار به صورت نسبی مشابه هم باشد، می‌تواند نتایج بهتری را در شناسایی رانش مفهومی نشان دهد. رابطه‌ی (۴) نسخه‌ی متقارن شده‌ی رابطه‌ی (۲) است که در این مقاله پیشنهاد شده است، این تغییر توانسته علاوه بر متقارن کردن فاصله $gTest$ با اضافه کردن پارامتر ϵ نقش پیمایش‌هایی که در یکی از دو پنجره وجود دارد و در دیگری وجود ندارد را برجسته کند. هرچه مقدار ϵ کوچک‌تر باشد این اثر برجسته‌تر می‌شود.

۴-۲ تجزیه و تحلیل یافته‌ها

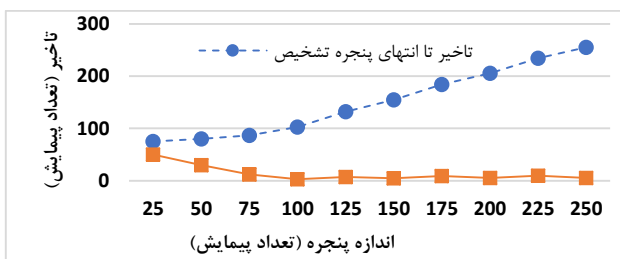
ماراجی و همکاران [۷] برای آزمایش روش پیشنهادی خود ۷۲ فایل سابقه‌ی رویداد در فرمت MXML با استفاده از شبیه‌ساز BIMP^{۲۰} ایجاد کردند. ماراجی برای ایجاد پایگاه دادگان خود، روی فرآیند درخواست وام (شکل (۲)) تغییرات جدول (۱) را ایجاد کرد و هر دو فرآیند اصلی و تغییر یافته را در شبیه‌ساز BIMP برای تعداد درخواست ۵۰۰۰، ۳۷۵۰، ۲۵۰۰ و ۱۲۵۰ اجرا شده است و مانند شکل (۵) درخواست به ۵ دسته‌ی به ترتیب ۱۰۰۰ یا ۷۵۰، ۵۰۰ و ۲۵۰ تایی تقسیم شده و به صورت

^{۲۰}<http://bimp.cs.ut.ee/>

عملکرد سیستم گرفته می‌شود، بنابراین شناسایی به موقع و زود هنگام رانش مفهوم از اهمیت ویژه‌ای در این حیطه برخوردار است. همانطور که در شکل (۷) مشاهده شد؛ افزایش اندازه پنجره باعث بهبود در دقت شناسایی رانش مفهوم شد. اما همین افزایش می‌تواند باعث افزایش تاخیر در شناسایی شود. برای این منظور در آزمایش انجام شده مطابق با شکل (۸) برای شناسایی - های درست تشخیص داده شده میانگین تاخیر به ازای هر اندازه پنجره اندازه‌گیری شد که نتیجه‌ی آن در شکل (۹) آمده است.



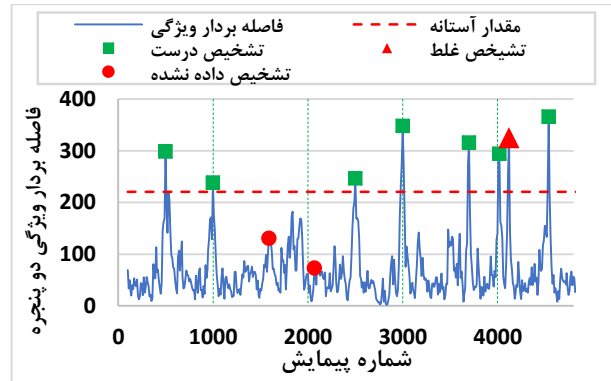
شکل ۸- روش محاسبه‌ی تاخیر در شناسایی رانش مفهوم



شکل ۹- اثر اندازه پنجره در تاخیر شناسایی رانش مفهوم

همان‌طور که در شکل (۹) نشان داده شده است، افزایش اندازه پنجره تاخیر شناسایی را تا ابتدای پنجره تشخیص کاهش می‌دهد ولی از آنجایی که در پیشینه‌ی پژوهش تاخیر شناسایی تا انتهای پنجره تشخیص تعریف شده است. متأسفانه با افزایش اندازه پنجره تاخیر افزایش می‌یابد. این اثر در شکل (۹) در نمودار تاخیر تا انتهای پنجره تشخیص مشهود است. بنابراین با اینکه افزایش اندازه پنجره باعث بهبود دقت شناسایی می‌شود ولی در کاربردهای برخط که کاهش تاخیر شناسایی نیز دارای اهمیت است باید اندازه پنجره خیلی بزرگ نباشد. در نتیجه با توجه به نمودارهای دقت شناسایی و تاخیر شناسایی که در شکل (۷) و شکل (۹) آمده است می‌توان اندازه پنجره ۱۰۰ را مقدار مناسبی که نتیجه‌ی این دو تقابل است در نظر گرفت. که هم دقت به اندازه کافی افزایش یافته است و هم تاخیر هنوز خیلی زیاد نشده است. البته نگاه دقیق‌تر به پیشینه‌ی پژوهش، اندازه پنجره ۱۰۰ را روی پایگاه داده‌گان مورد آزمایش تأیید می‌کند.

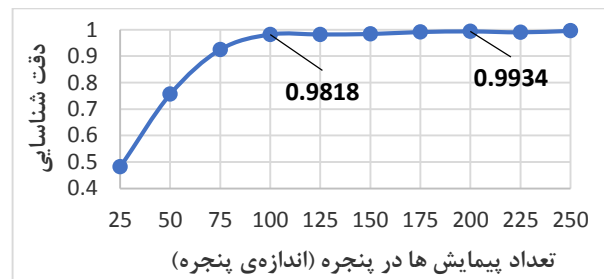
مفهوم در محلهای ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ تشخیص داده نشده است. بنابراین طبق رابطه‌ی (۷) مقدار $F_1 = 2 \frac{0.875 \times 0.778}{0.875 + 0.778} = 0.823$ خواهد شد. به همین صورت مقدار F_1 برای ۷۲ اجرا محاسبه خواهد شد.



شکل ۶- نمودار فاصله بردار ویژگی بین دو پنجره ارجاع و تشخیص حاصل از اجرای الگوریتم پیشنهادی روی فایل fr5k

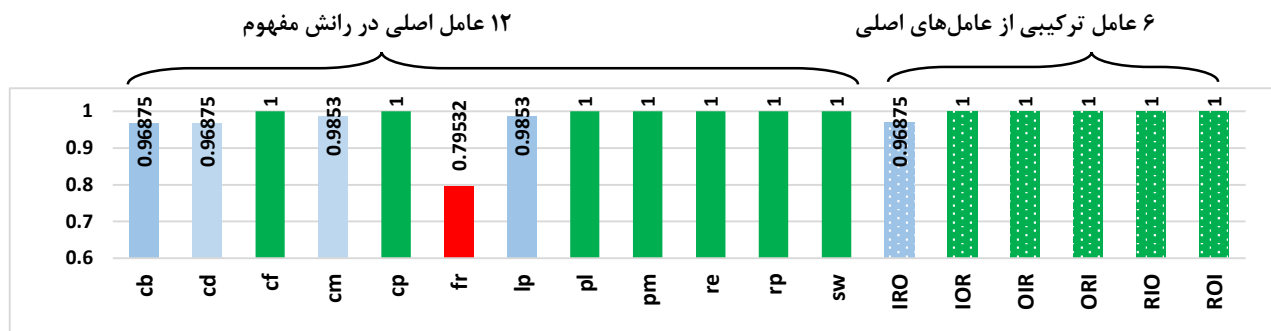
۴-۲- اثر اندازه پنجره در دقت شناسایی

از آنجایی که الگوریتم پیشنهادی بر اساس حرکت دو پنجره ارجاع و تشخیص طراحی شده است اندازه‌ی این دو پنجره در دقت شناسایی تأثیر گذار است. هرچه اندازه پنجره بزرگتر باشد پیمایش‌های بیشتری در هر پنجره بررسی می‌شود و بردارهای ایجاد شده ابعاد بزرگتری خواهد داشت، در نتیجه باعث بهبود دقت شناسایی می‌شود. برای نمایش این اثر در روش پیشنهادی از تابع فاصله $symgTest$ (رابطه‌ی (۴)) و مقادیر اندازه پنجره ۲۵ الی ۲۵۰ پیمایش با افزایش ۲۵ تایی استفاده می‌شود و مقدار میانگین آن برای ۷۲ فایل ورودی پایگاه داده‌گان محاسبه می‌شود که نتیجه‌ی آن در شکل (۷) نمایش داده شده است.

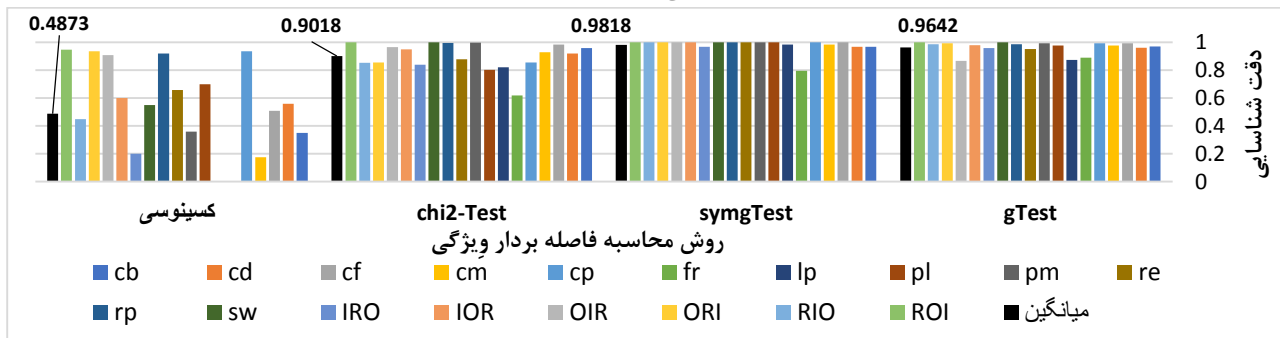


شکل ۷- اثر اندازه پنجره های تشخیص و ارجاع در دقت شناسایی (F_1) رانش مفهوم

در شناسایی رانش مفهوم علاوه بر دقت شناسایی زمان یا سرعت تشخیص رانش نیز اهمیت دارد، مخصوصاً در کاربردهای برخط که بعد از شناسایی رانش توسط مدیریت تصمیماتی در مورد



شکل ۱۰- دقت شناسایی به تفکیک عامل‌های رانش



شکل ۱۱- مقایسه توابع فاصله بردارهای ویژگی در میزان دقت شناسایی

پیشنهادی را نسبت به سایر توابع را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است تابع gTest، تابع استفاده شده در سایر پژوهش‌ها ذکر شده در این مقاله است. مقایسه با الگوریتم‌های موجود

۴-۴-۱- از نظر دقت شناسایی

جهت مقایسه‌ی روش پیشنهادی، چهار روش از بهترین الگوریتم‌های موجود در پیشینه‌ی پژوهش، استوار [۱۳، ۱۸]، ProDrift [۲۲] و Change Point [۱۷] و یک الگوریتم پایه‌ای که توسط بوز (Bose) و همکاران [۱۶] ارائه شده است را انتخاب کردیم. دو تا روش‌های مورد مقایسه، از استوار و همکاران انتخاب شده است که یکی از آنها در ۲۰۱۶ ارائه شده است و دیگری در مارس ۲۰۲۰ ارائه شده است که بهترین الگوریتم ارائه شده در شناسایی رانش مفهومی تا کنون است. برای مشخص شدن این دو روش از یکدیگر، در ادامه از عناوین Ostovar و Ostovar20 استفاده شده است. نتایج اجرای الگوریتم پیشنهادی و پنج الگوریتم انتخاب شده بر روی ۷۲ فایل پایگاه داده معرفی شده توسط ماراجی [۷]، در شکل (۱۲) نمایش داده شده است. در این آزمایش اندازه‌ی پنجره‌ها برای هر الگوریتم، مقدار (مقدار اولیه برای پنجره انطباقی) ۱۰۰ پیمایش در نظر گرفته شده است، البته روش‌های Ostovar و Chage Point از پنجره‌های انطباقی (طول متغییر) استفاده کرده اند. نتایج به تفکیک ۱۲ عامل رانش مفهومی و ۶ عامل ترکیبی نمایش داده شده است.

۴-۳- اثر عامل‌های رانش مفهومی در دقت شناسایی

برای آزمایش دقیق‌تر اثر عامل‌های رانش بر روی روش پیشنهادی، با اینکه در پایگاه دادگان برای ۱۲ ماهیت رانش (و ۶ نوع ترکیبی) ۴ فایل وجود داشت و در هر فایل ۹ رانش با فاصله‌های ۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰ و ۱۰۰۰ پیمایش؛ برای حذف اثر اندازه‌ی پنجره در نتایج آزمایش برای مقادیر ۲۵ الی ۲۵۰ با فاصله ۲۵ تایی (در مجموع ۱۰ اندازه پنجره) تکرار شد. در واقع برای هر نوع رانش ۴۰ آزمایش انجام شد. میانگین دقت شناسایی در شکل (۱۰) نشان داده شده است. همانطور که در شکل (۱۰) مشهود است بجز رانش مفهومی از نوع fr (تغییر در فراوانی انشعاب انحصاری) در سایر عامل‌ها دقت بالای ۹۶ درصد بدست آمده است و در ۱۲ مورد به دقت ۱۰۰ درصد حاصل شده است. با توجه به نتایج حاصل می‌توان به این نتیجه رسید که رانش‌های مفهومی که در سابقه‌ی رویداد باعث ایجاد و یا حذف یک گونه از پیمایش‌ها می‌شوند روش پیشنهادی در شناسایی آنها دقت بالایی دارد و در مواردی که فقط فراوانی گونه‌های تغییر می‌کند دقت کمتری خواهد داشت.

۴-۴-۲- اثر نوع توابع فاصله در دقت شناسایی

در این مقاله علاوه بر تابع symgTest (تابع پیشنهادی) به عنوان فاصله‌ی دو بردار ویژگی در پنجره‌های ارجاع و تشخیص سه تابع gTest، Chi2-Test و فاصله کسینوسی (رابطه‌های (۱) الی (۳)) مورد آزمایش قرار گرفتند. شکل (۱۱) اثر بهتر تابع

[16] Bose با روش پیشنهادی با اندازه‌ی ۱۰۰ پیمایش در پنجره‌ی ارجاع و تشخیص

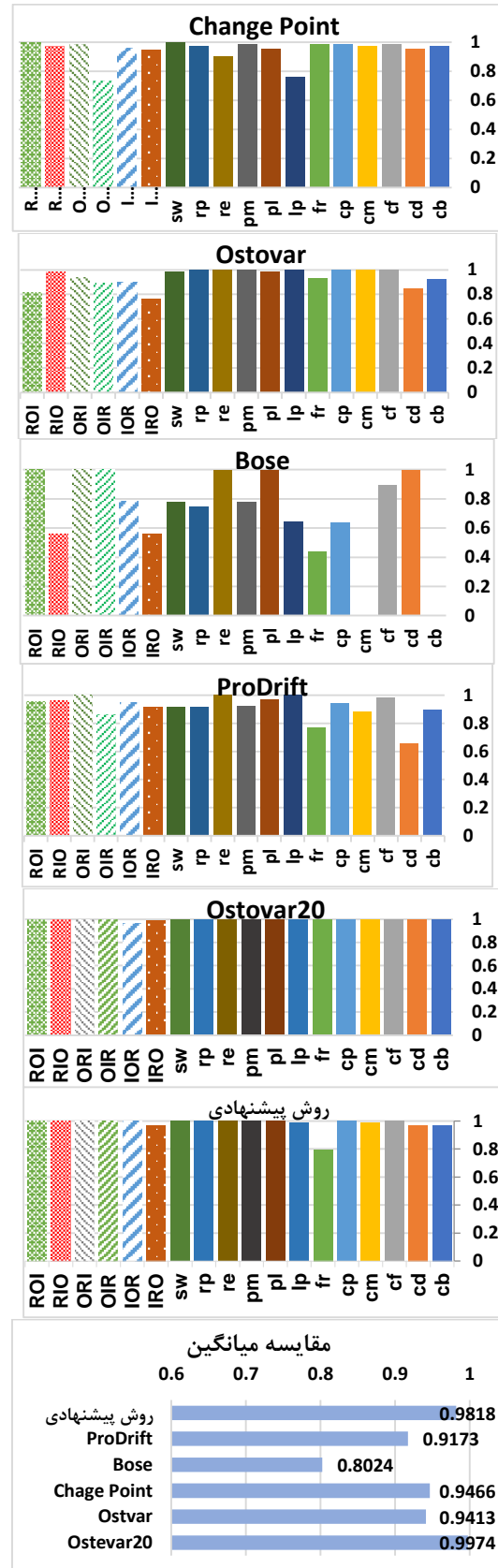
۴-۲- از نظر سرعت

الگوریتم ارائه شده در این مقاله مشابه الگوریتم‌های Bose و ProDrift است با این تفاوت که نحوه‌ی استخراج بردارهای ویژگی از پنجره‌های ارجاع و تشخیص متفاوت است. در این الگوریتم‌ها دو پنجره با طول ثابت w پیمایش بر روی فایل دادگان با $|L|$ پیمایش حرکت داده می‌شود و ویژگی‌های آماری با پیچیدگی زمانی $O(w)$ از هر پنجره استخراج می‌شود که در بدترین حالت پیچیدگی بررسی کل فایل دادگان $O(2w|L|)$ خواهد شد. در روش پیشنهادی در هر پنجره به ازای هر پیمایش، جفت کارهای کنار هم نیز شمارش می‌شود که باعث می‌شود ضریب t^2 در پیچیدگی زمانی آن ظاهر می‌شود. در الگوریتم Change Point نیز از دو پنجره با طول متوسط w استفاده می‌شود (طول پنجره در زمان اجرا تغییر می‌کند) با این تفاوت که در هر پنجره به جای استخراج ویژگی‌های آماری، مدل فرآیند هر پنجره با استفاده از الگوریتم فرآیندکاوی ابتکاری (HM) استخراج می‌شود سپس از روی گراف حاصل شده ویژگی‌های متریک آن استخراج می‌گردد که در مجموع در بدترین حالت استخراج مدل فرآیند و ویژگی‌ها آن $O(w + t^2 + wl)$ زمان خواهد برد که t و l به ترتیب متوسط طول پنجره‌ی تطبیقی، تعداد کارهای (Task) مدل فرآیند (تعداد راس‌های گراف) و متوسط طول پیمایش است. الگوریتم‌های Ostovar و همکاران هم بر اساس دو پنجره با اندازه‌ی تطبیقی شناسایی رانش مفهوم را در بدترین حالت با پیچیدگی زمانی $O(|L|^2)$ انجام می‌دهد که مستقل از اندازه‌ی پنجره است [۱۸].

جدول ۲- پیچیدگی زمان الگوریتم‌های مقایسه شده

الگوریتم	پیچیدگی زمانی
Ostovar	$O(L ^2)$
Ostovar۲۰	$O(L ^2)$
Change Point	$O(2(w + t^2 + wl) L)$
ProDrift	$O(2w L)$
Bose	$O(2w L)$
روش پیشنهادی	$O(2wt^2 L)$

برای آزمایش پیچیدگی زمانی تحلیل شده برای الگوریتم پیشنهادی، زمان اجرای الگوریتم پیشنهادی روی یک پردازنده Core i3 8109U با فرکانس 3GHz با مقدار حافظه 4GB در زبان برنامه‌نویسی Python اندازه‌گیری شده است. در شکل (۱۳) مقایسه‌ی زمان اجرای روش پیشنهادی با سایر الگوریتم‌ها را

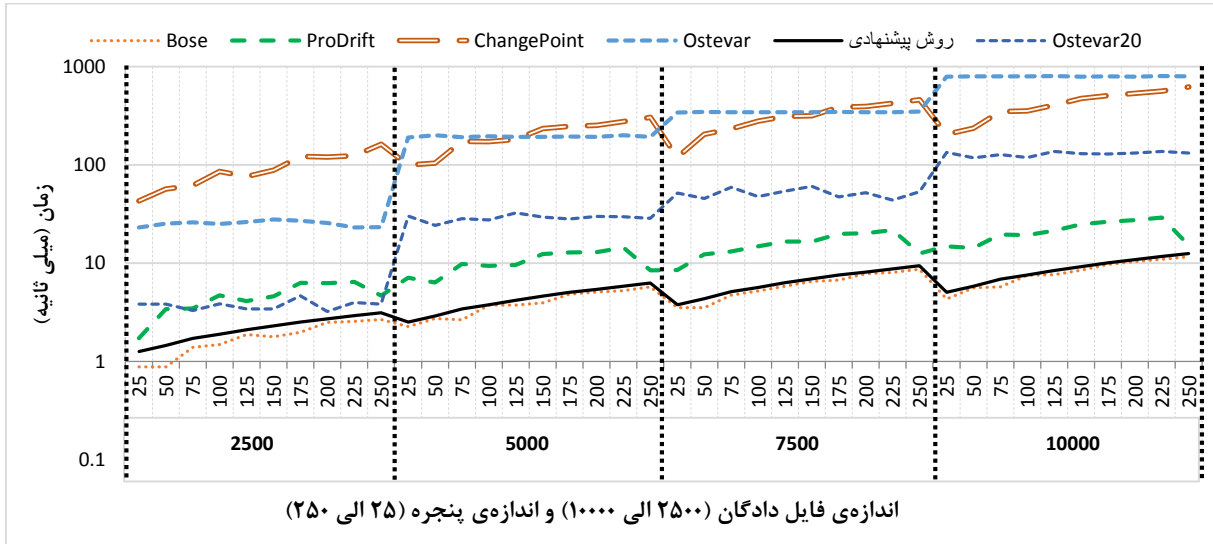


دقت شناسایی

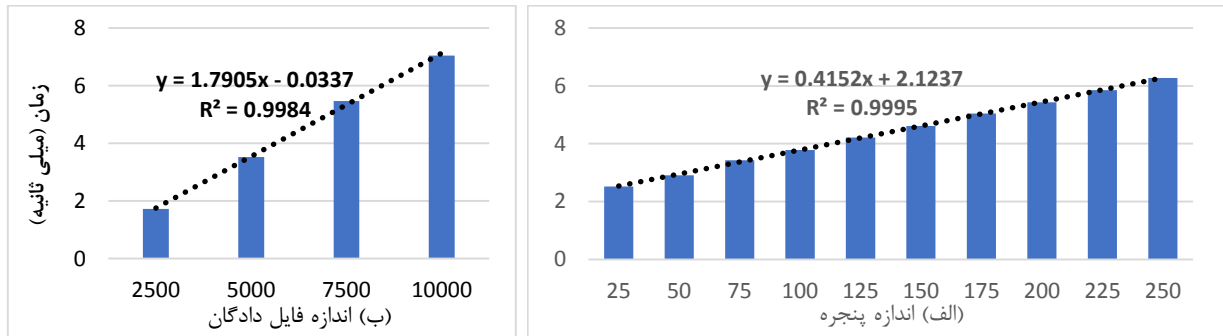
شکل ۱۲- مقایسه‌ی روش‌های [13] Ostovar20، [17] Change Point، [22] ProDrift و [18] Ostovar

الگوریتم پیشنهادی از بهترین روش کمتر از یک درصد است. در شکل (۱۳) نتایج اجرای روش پیشنهادی به تفکیک اندازه‌ی پنجره و اندازه‌ی فایل دادگان به صورت جداگانه نمایش داده شده است. همانطور که در شکل (۱۴) مشخص است زمان اجرای الگوریتم پیشنهادی، با افزایش اندازه‌ی پنجره و افزایش فایل دادگان به صورت خطی افزایش یافته است.

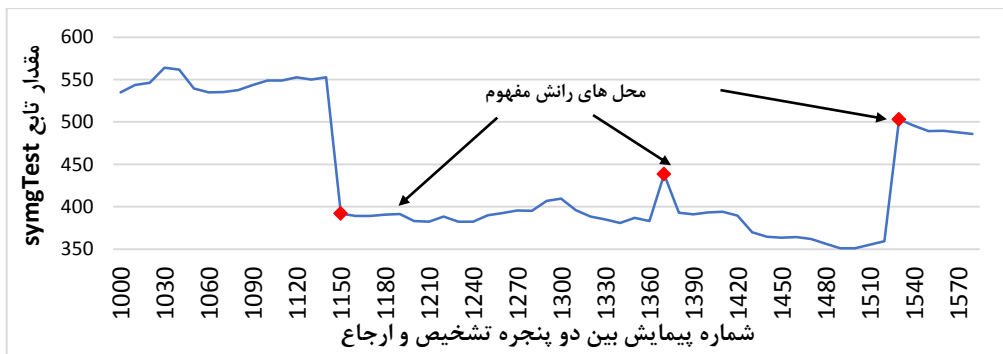
نشان می‌دهد. این آزمایش روی ۷۲ فایل (۱۸ الگو در چهار اندازه فایل دادگان) و اندازه پنجره‌ی ۲۵ الی ۲۵۰ پیمایش انجام شده است. همانطور که در جدول ۲ و شکل (۱۳) مشخص است سه الگوریتم Bose، ProDrift و ChangePoint و روش پیشنهادی زمان اجرای خیلی کمتری نسبت به سه الگوریتم Ostevar، Ostevar20 و ChangePoint هست که می‌توان علت اصلی این تفاوت را در استفاده از پنجره انطباقی دانست، درحالی که دقت شناسایی



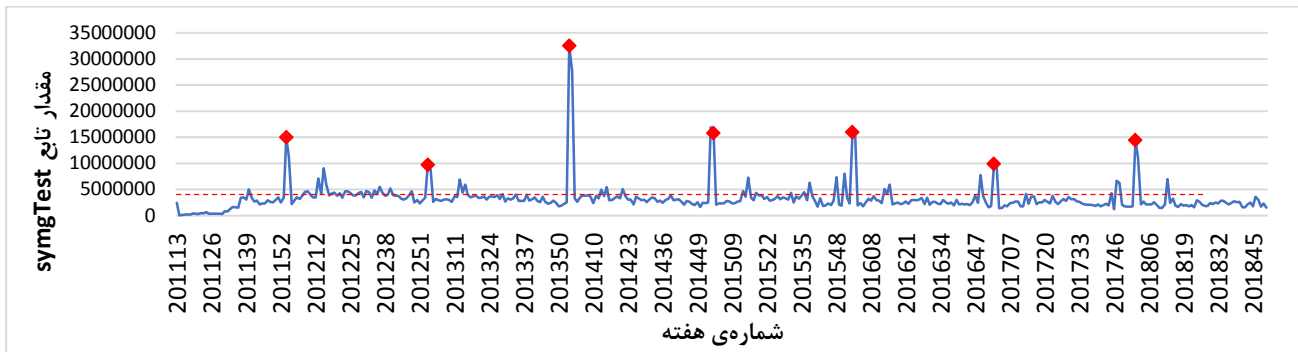
شکل ۱۳- اندازه‌گیری زمان اجرا و مقایسه‌ی روش پیشنهادی با سایر روش‌ها (محور افقی تغییرات اندازه‌ی فایل دادگان و اندازه‌ی پنجره را نشان می‌دهد و محور عمودی زمان اجرای الگوریتم را به میلی ثانیه در مقیاس لگاریتمی نشان می‌دهد)



شکل ۱۴- اندازه‌گیری زمان اجرای الگوریتم پیشنهادی (الف) برای مقادیر مختلف اندازه‌ی پنجره و (ب) برای مقادیر مختلف اندازه فایل دادگان که با افزایش آنها زمان استخراج رانش به صورت خطی افزایش می‌یابد



شکل ۱۵- استخراج رانش مفهوم روی پایگاه دادگان فرآیند مدیریت بلیط که دو رانش ناگهانی و یک رانش مقطعی را نشان می‌دهد



شکل ۱۶- استخراج رانش مفهوم روی داده‌های ترافیکی شهر مقدس مشهد که هفت رانش مقطعی را نشان می‌دهد

شمارش تعداد من‌کارت‌های استفاده شده در هر ترمینال بردار ویژگی هر پنجره حاصل می‌شود. در این آزمایش از پنجره‌های زمانی یک هفته‌ای با پرس‌های یک هفته استفاده شده است و از تابع پیشنهادی syngTest برای مقایسه‌ی بردارهای استفاده شده است. شکل (۱۶) محل‌های رانش‌های اصلی را در داده‌های ترافیکی شهر مقدس مشهد را نشان می‌دهد. در این شکل محل‌های رانش مفهوم مربوط به دو مناسبت رحلت رسول اکرم (ص) و شهادت امام رضا (ع) است که تاثیر چشم‌گیری در رفتار ترافیک شهری مشهد گذاشته است که با فواصل مرتب یکسال قمری در شکل (۱۶) مشهود است.

۶- جمع بندی و نتیجه گیری

در این مقاله یک روش ابتکاری جهت استخراج رانش مفهوم در فرآیندهای کسب و کار ارائه شد. در این روش با حرکت دو پنجره‌ی ارجاع و تشخیص، بر روی سابقه‌ی رویداد و استخراج مولفه‌های آماری پنجره‌ها و مقایسه‌ی آنها جهت شناسایی رانش استفاده شده است. ایده‌ی اصلی مقاله شمارش جفت کارهای انجام شده پشت سر هم در اجرای فرآیند است که ویژگی مفیدی در استخراج الگوهای رانش مفهوم است. علاوه بر این در این مقاله یک تابع مقایسه تحت عنوان syngTest معرفی شد که نسبت به gTest نتیجه‌ی بهتری (۱/۷۶ درصد) را در دقت شناسایی در روش پیشنهادی داشت. در صورتی که فاصله‌ی دو بردار از حد آستانه افزایش یابد، شناسایی رانش انجام می‌شود. برای محاسبه‌ی حد آستانه نیز از هیستوگرام نمودار فاصله‌ی دو بردار استفاده شده است. آزمایش عملکرد و دقت روش پیشنهادی بر روی یک پایگاه دادگان موجود در پیشینه‌ی پژوهش انجام شد. آزمایش انجام شده دقت شناسایی ۹۸/۱۸

۵- آزمایش روش پیشنهادی روی پایگاه دادگان واقعی

۵-۱- شناسایی رانش در فرآیند مدیریت بلیط

مشابه با آزمایش انجام شده توسط استوار و همکاران [13] روش پیشنهادی روی یک پایگاه دادگان فرآیند مدیریت بلیط آذر یک شرکت نرم افزاری ایتالیایی اجرا شد. در این پایگاه ۲۱۳۴۸ رویداد، ۱۴ فعالیت، ۴۵۸۰ پیمایش وجود دارد. در اجرای الگوریتم پیشنهادی مشابه آزمایش استوار، اندازه پنجره‌ها ۱۰۰۰ پیمایش در نظر گرفته شده است که با پرس‌های ۱۰ پیمایش در شکل (۱۵) نشان داده شده است. مشابه گزارش استوار و همکاران روش پیشنهادی در این مقاله نیز دو رانش اصلی در محل‌های ۱۱۵۰ و ۱۵۳۰ را نشان می‌دهد، روش پیشنهادی علاوه بر گزارش استوار و همکاران یک رانش کوچکتر را نیز در محل ۱۳۷۰ را یافته است که البته گزارش نشدن آن توسط استوار و همکاران می‌تواند به علت متفاوت بودن مقدار حد آستانه تغییرات در شناسایی رانش مفهوم باشد.

۵-۲- شناسایی رانش روی داده‌های ترافیکی مشهد

پایگاه دادگان واقعی دومی که برای آزمایش در این مقاله استفاده شده است یک پایگاه داده غیر فرآیندی است که با یک تغییر جزئی در استخراج بردار ویژگی در روش پیشنهادی، امکان استخراج رانش‌های مفهوم در داده‌های ترافیک شهری را نشان می‌دهد و اهمیت موضوع مورد بحث در این مقاله را روشن‌تر می‌کند. پایگاه دادگان ترافیک شهری مشهد شامل ۵,۹۷۹,۰۷۳ رویداد ثبت اطلاعات استفاده از من‌کارت در ۲۶۹۶ ترمینال اتوبوسرانی و قطار شهری در شهر مقدس مشهد است که در بازه‌ی تاریخی ۲۰۱۱/۰۳ الی ۲۰۱۸/۰۳ ثبت شده است. با

8. M. Reichert, C. Hensinger, and P. Dadam, "Supporting adaptive workflows in advanced application environments," 1998.
9. S. Rinderle, M. Reichert, and P. Dadam, "Correctness criteria for dynamic changes in workflow systems, a survey," *Data Knowl. Eng.*, vol. 50, no. 1, pp. 9–34, 2004.
10. A. Adriansyah *et al.*, "Process mining manifesto," 2012.
11. 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.
12. 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.
13. A. Ostovar, S. J. J. Leemans, and M. La Rosa, "Robust drift characterization from event streams of business processes," *ACM Trans. Knowl. Discov. from Data*, vol. 14, no. 3, pp. 1–57, 2020.
14. J. Martjushev, R. P. J. C. Bose, and W. M. P. van der Aalst, "Change point detection and dealing with gradual and multi-order dynamics in process mining," in *International Conference on Business Informatics Research*, 2015, pp. 161–178.
15. C. W. Günther, S. Rinderle, M. Reichert, and W. Van Der Aalst, "Change mining in adaptive process management systems," in *OTM Confederated International Conferences "On the Move to Meaningful Internet Systems"*, 2006, pp. 309–326.
16. R. P. J. C. Bose, W. M. P. Van Der Aalst, I. Žliobaitė, and M. Pechenizkiy, "Dealing with concept drifts in process mining," *IEEE Trans. neural networks Learn. Syst.*, vol. 25, no. 1, pp. 154–171, 2014.
17. A. Seeliger, T. Nolle, and M. Mühlhäuser, "Detecting Concept Drift in Processes using Graph Metrics on Process Graphs," pp. 1–10, 2017.
18. 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 Modeling*, 2016, pp. 330–346.
19. 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.
20. 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.
21. Y. Xie, C. F. Chien, and R. Z. Tang, "A dynamic task assignment approach based on individual worklists for minimizing the cycle time of business processes," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 99, no. 12, pp. 401–414, 2016.
22. A. Maaradji, M. Dumas, M. La Rosa, and A. Ostovar, "Detecting sudden and gradual drifts in business processes from execution traces," *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.*, vol. 29, no. 10, pp. 2140–2154, 2017.

درصد برای اندازه پنجره ۱۰۰ را نشان می‌دهد. این مقدار بهترین نتیجه‌ی حاصل در روشهای ارائه شده با اندازه پنجره ثابت است در حالی که بهترین دقت شناسایی (۹۹/۷۴ درصد) مربوط به استوار و همکاران روشی با اندازه پنجره تطبیقی است. تغییر اندازه پنجره در زمان شناسایی رانش مفهوم هزینه زمانی بیشتری را نسبت به روشها با پنجره ثابت دارد. با اینکه روش پیشنهادی دقت کمی کمتر از روش استوار دارد ولی هزینه زمانی بسیار کمتری را نسبت به روش استوار دارد. در روش پیشنهادی هزینه زمانی نسبت به اندازه فایل دادگان به صورت خطی رشد می‌کند در حالی که روش استوار نسبت به اندازه فایل دادگان از نوع چندجمله‌ای درج دوم است. یکی از مزایای روش پیشنهادی عدم وابستگی روش به ساختار گراف در مدل فرآیند است و فقط از توالی جفت کارهای پشت سر هم استفاده می‌کند. به دلیل سادگی روش پیشنهادی در پیاده سازی، این روش را به راحتی می‌توان برای سایر داده‌های غیر فرآیندی نیز استفاده کرد.

مراجع

1. W. M. P. van der Aalst, *Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011.
2. R. P. J. C. Bose, W. M. P. van der Aalst, I. Žliobaitė, and M. Pechenizkiy, "Handling concept drift in process mining," in *International Conference on Advanced Information Systems Engineering*, 2011, pp. 391–405.
3. A. Tsymbal, M. Pechenizkiy, P. Cunningham, and S. Puuronen, "Handling local concept drift with dynamic integration of classifiers: Domain of antibiotic resistance in nosocomial infections," in *19th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS'06)*, 2006, pp. 679–684.
4. M. Pechenizkiy, J. Bakker, I. Žliobaitė, A. Ivannikov, and T. Kärkkäinen, "Online mass flow prediction in CFB boilers with explicit detection of sudden concept drift," *ACM SIGKDD Explor. Newsl.*, vol. 11, no. 2, pp. 109–116, 2010.
5. M. Van Leeuwen and A. Siebes, "Streamkrimp: Detecting change in data streams," in *Joint European Conference on Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases*, 2008, pp. 672–687.
6. D. Brzezinski and J. Stefanowski, "Reacting to different types of concept drift: The accuracy updated ensemble algorithm," *IEEE Trans. Neural Networks Learn. Syst.*, vol. 25, no. 1, pp. 81–94, 2014.
7. A. Maaradji, M. Dumas, M. La Rosa, and A. Ostovar, "Fast and accurate business process drift detection," *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 9253, pp. 406–422, 2015.

Fast and accurate concept drift detection from event logs

Abstract

In organizations and large companies that are using business process management systems (BPMSs), process model can change due to upstream laws, market conditions. BPMSs have flexible to these changes. Effect of these change are saved in storage devises and event logs; these changes are sometimes applied suddenly or gradually on the event logs. Changing the season or starting a new financial term can be a factor to make these changes. This change is called concept drift in business process model. On time detection and recognition of process concept drift can affect the decision making of managers and administrations of systems. An analysis of the event logs in BPMS allows the automatic detection of the concept drift. This paper presents an innovative method by introducing a modified distance function to identify the concept drift. Experimental results were performed on 72 datasets in the research history, which included 648 concept drifts in 12 different types. It shows that the proposed method detects 98.18% of the drifts, while the proposed method is much faster than other state of the art methods.

Keywords: Business process management systems, Process mining, Concept drift, Process drift detection

تحلیل متنی خبرهای بانک مرکزی در پیش‌بینی بلندمدت شاخص

بورس اوراق بهادار تهران

میثم هاشمی* مهران رضایی** مرجان کاندی***
*دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر، دانشگاه اصفهان
**استادیار دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه اصفهان
***دانشیار دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه اصفهان
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۵
نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

بازارهای مالی همواره تحت تاثیر انتشارات رسانه‌های خبری بوده‌اند. به همین دلیل تحلیل اسناد خبری به عنوان یک رهیافت برای پیش‌بینی بورس اوراق بهادار به کار رفته است. در تحقیقات پیشین در این زمینه، تحلیل اسناد متنی با استفاده از روش‌های رایج در بازیابی اطلاعات انجام گرفته است. مبنای آماری این روش‌های رایج بر این است که کلماتی که در مجموعه اسناد کم‌تکرار هستند ولی در یک سند پرتکرار هستند، نسبت به کلمات پرتکرار مجموعه و سند، وزن بالاتری بگیرند. ولی مشکل این است که برخلاف آنچه در تحقیقات قبلی در نظر گرفته شده است، در اسناد خبری، کلمات پرتکرار نشان‌دهنده خبرهای مهم و تاثیرگذار هستند. در این تحقیق برای رفع این مشکل، یک روش جدید برای وزن‌دهی کلمات اسناد خبری ارائه شده است. روش پیشنهادی روی داده‌های شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران و اسناد خبری بانک مرکزی ایران در بازه زمانی ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۹ ارزیابی شده است. نتایج حاکی از ۶۴ درصد صعودی و ۴۱ درصد نزولی دقت پیش‌بینی نوسانات شاخص کل و کاهش ۱۰ درصد میانگین در صد خطای مطلق نسبت به بهترین روش رایج می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که اگرچه تغییرات در نسبت بین تعداد کلمات مثبت و منفی شواهد پیش‌گویانه‌ای ارائه نمی‌کند اما بین خبرهای منتشر شده از سوی بانک مرکزی و نوسانات شاخص کل بورس تهران ارتباط وجود دارد.

واژگان کلیدی: شاخص کل بورس تهران، پیش‌بینی بلندمدت، تحلیل متنی، اخبار مالی، وزن‌دهی DF

۱- مقدمه

اگر در زمان حال ادعایی درباره رویدادهای آینده مطرح شود یک پیش‌بینی انجام شده‌است. تحقیقاتی که در زمینه پیش‌بینی‌های بورس اوراق بهادار انجام شده‌است به دو دسته پیش‌بینی قیمت و گرایش آن تقسیم می‌شود که هر کدام بنا به زمان مورد پیش‌بینی به دو گروه بلندمدت و کوتاه‌مدت تقسیم می‌شوند. برای انجام یک پیش‌بینی، به داده‌های مرتبط با رویداد مورد پیش‌بینی نیاز است. داده‌های مورد استفاده در پیش‌بینی می‌توانند کمی و یا کیفی باشند. داده‌های کمی از ساختار بهره می‌برند و داده‌های کیفی فاقد ساختار هستند. روش‌های سری زمانی که از رایج‌ترین روش‌های پیش‌بینی به شمار می‌روند، از نوع داده کمی برای مدل سازی و پیش‌بینی استفاده می‌کنند. داده‌های کمی، داده تاریخی‌ای هستند. در مقابل، داده‌های کیفی طیف وسیعی از داده‌ها را در بر می‌گیرند، از اطلاعات مربوط به عزل و نصب‌های داخل شرکت تا مدیران اقتصادی و بازارهای مالی و از جریان‌ات و رویدادی داخلی تا رویدادهای کلان یک کشور و حتی اطلاعات داخلی رقبا همگی از نوع داده‌های کیفی محسوب می‌شوند. به طور کلی می‌توان گفت انواع داده در مورد رویدادهای خصوصی و همچنین رویدادهای عمومی جزء داده کیفی به شمار می‌آیند [۵-۱].

پیش‌بینی سری زمانی به عنوان روشی که از داده‌های کمی استفاده می‌کند سعی دارد براساس داده‌های گذشته، یک مدل به دست آورد. سپس با استفاده از مدل، مقادیر آینده را پیش‌بینی کند. پیش‌بینی سری زمانی یکی از مسائل مهم در سرمایه‌گذاری و تصمیم‌گیری به شمار می‌رود. با این وجود، در زمینه پیش‌بینی سری‌های زمانی، مشکلاتی نظیر نویز، پویایی و درهم برهم بودن داده کمی مطرح است. عدم استفاده از داده کیفی نیز به عنوان یک مساله در زمینه سری‌های زمانی شناخته شده است که برای رفع آن، تحقیقات بسیاری انجام گرفته است [۵-۱۱].

اخبار، یکی از منابع اطلاعاتی موثر بر قیمت سهام است و بازار سهام نسبت به انتشار اخبار با محتوای مرتبط واکنش نشان می‌دهد [۱، ۴ و ۱۱]. در این زمینه، رابرتسون و همکاران بررسی کرده‌اند که آیا محتوای اخبار عمومی می‌تواند رفتار نابهنجار بازار سهام را پیش‌بینی کند و در بررسی خود با تحلیل خروجی دسته‌بندها، ثابت کرده‌اند که بازار به اخبار عمومی واکنش نشان می‌دهد [۱۲]. کلویچنکو و همکاران با ترکیب روش‌های داده و متن کاوی در تحلیل داده‌های کمی

و کیفی گزارشات مالی، ثابت کرده‌اند که تحلیل متنی گزارشات مالی شرکت‌ها، حاوی نمایه‌هایی راجع به عملکرد مالی شرکت در آینده می‌باشد [۲]. بیکر و همکاران در پیش‌بینی نوسانات کوتاه مدت قیمت سهام ثابت کرده‌اند که اخبار مالی بر روی قیمت سهام تاثیرگذار می‌باشد و افراد حرفه‌ای در بازار سهام به رسانه‌های خبری توجه ویژه‌ای دارند [۱۳]. آسائه با بررسی ارتباط بین قیمت سهام و اسناد خبری، ثابت کرده است که اخبار نقش بسزایی در نوسانات بازار سهام دارد [۸]. گوپتا و بانرجی [۱۴] نشان داده‌اند که حس مثبت یا منفی نهفته در اخبار سازمان OPEC بر روی بازده شرکت‌های فعال در بخش انرژی اثرگذار بوده است. به عنوان مثال، اخبار منفی OPEC باعث افزایش بازده شرکت‌های آمریکایی شده است. وو و همکاران [۱۵] و وی و همکاران [۱۶] نیز در پژوهش‌هایی جداگانه نشان دادند که بر اساس اخبار اقتصادی می‌توان بازده بازار سهام در کشور تایوان را پیش‌بینی کرد.

بنابراین نتایج مطالعات یادشده در مجموع نشان می‌دهند که محتوای اخبار منتشر شده بر گرایش‌ات بازار مالی تاثیرگذار بوده و این دو مرتبط هستند.

برای اینکه عوامل کیفی از متن اخبار استخراج شوند، از روش‌های متن کاوی استفاده می‌شود. رویکردهای تحلیل متنی ارائه شده در تحقیقات قبلی مبتنی بر روش‌های بازیابی اطلاعات و پردازش زبانی طبیعی می‌باشند [۱، ۸ و ۱۰]. در روش‌های یادشده، کلمات کم تکرار مجموعه نسبت به کلمات پرتکرار مجموعه وزن‌های بالاتری می‌گیرند و به ویژگی‌های خاص اسناد خبری توجه نشده است، حال آنکه در اسناد خبری کلمات پرتکرار نشان‌دهنده خبرهای مهم می‌باشند. این نکته در پژوهش پیش رو مدنظر قرار خواهد گرفت و براساس آن، روش برای وزن‌دهی به کلمات در متن‌های خبری ارائه خواهد شد. در ادامه، در بخش ۲ پژوهش‌های پیشین مرور می‌شوند و در بخش ۳، مساله پژوهشی شرح داده می‌شود. سپس در بخش‌های ۴ و ۵ به ترتیب به شرح رویکرد پیشنهادی و ارزیابی آن پرداخته می‌شود. در بخش ۶، نتیجه‌گیری و کارهای آینده بررسی خواهند شد.

۲- مرور تحقیقات پیشین

در این بخش، تحقیقات انجام شده در زمینه استفاده از داده‌های متنی برای پیش‌بینی مالی مرور خواهند شد. فوریگل و گوردون از داده‌های متنی خبری در بهینه‌سازی پیش‌بینی شاخص‌های مالی استفاده کرده‌اند. در سیستم پشتیبان

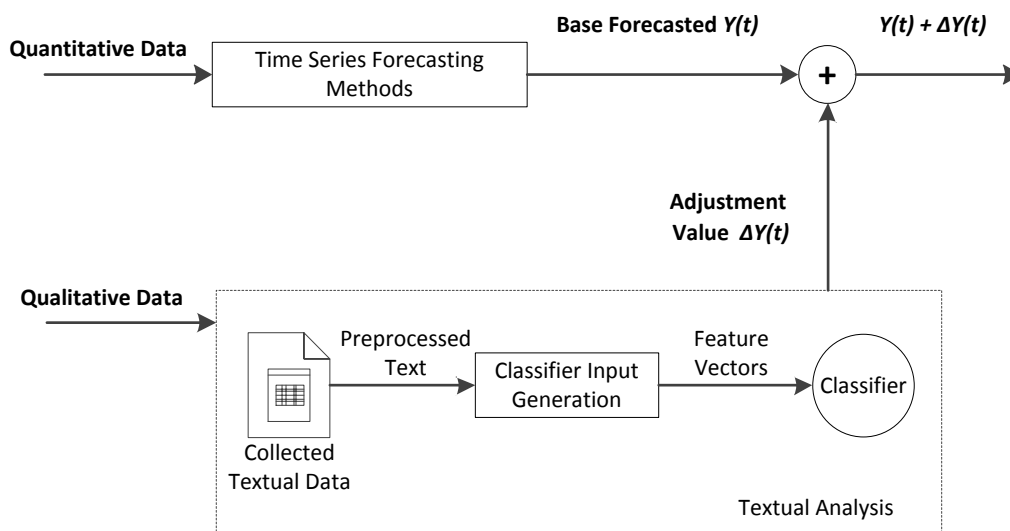
تصمیم که این پژوهشگران پیاده‌سازی کرده‌اند از روش TF-IDF برای وزن‌دهی استفاده شده است. روش ترکیبی ایشان با کاهش خطای RMSE به مقدار ۱۹/۵، ۱۹/۴ و ۳۵/۶ درصد به ترتیب در پیش‌بینی شاخص‌های DAX, CDAX و STOXX Europe 600 همراه بوده است [۱۷]. رن و همکاران با این باور که داده‌های متنی تولیدشده توسط کاربران می‌تواند در پیش‌بینی بازار سهام مورد استفاده قرار بگیرد رویکردی جدید مرکب از روش‌های یادگیری ماشین و بازیابی اطلاعات ارائه کرده‌اند. در این رویکرد به تحلیل احساسات بر روی داده‌های متنی پرداخته شده و در پیش‌بینی شاخص SSE 50 مقدار ۸۹/۹۳ درصد صحت جهت‌گیری به دست آمده است [۱۸]. یکی دیگر از مطالعات انجام شده با استفاده از تحلیل احساسات به عنوان رویکرد متن کاوی در پیش‌بینی مالی توسط رحمان و همکاران با هدف پیش‌بینی تغییرات قیمت سهام در بورس مالزی انجام شده است. در رویکرد ترکیبی ایشان از ماشین بردار پشتیبان و TF-IDF استفاده شده و روند تغییرات قیمت در بازار سهام با نرخ ۵۶ درصد صحت انجام شده است [۱۹]. نادری و همکاران با استفاده از تحلیل متنی رویدادهای خبری به پیش‌بینی روند تغییرات قیمت در بازار ارز پرداخته‌اند. ایشان با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین و صرفاً روش وزن‌دهی TF بجای TF-IDF به ۶۶/۳ درصد صحت پیش‌بینی دست یافته‌اند [۲۰]. لین یو و همکاران با بکارگیری تئوری مجموعه‌های ناهموار بر روی داده‌های به‌دست آمده از تحلیل متنی، نوسانات قیمت بازار نفت خام را پیش‌بینی کردند. روش آنها نسبت به شبکه‌های عصبی ۱۱ درصد و نسبت به رگرسیون خطی ۳۰ درصد بهبود داشته است [۲۱]. لاس و اسپرمانت برای پیش‌بینی تغییرات نابهنجار قیمت در بازار سهام از تحلیل متنی، استفاده کرده‌اند که حداکثر دقت دسته بندی اسناد خبری در پژوهش ایشان ۷۱ درصد گزارش شده است [۲۲]. پینتو و اسنانی با استفاده از اخبار و گفتگوهای معاملاتی، گرایش قیمت سهام را پیش‌بینی کرده‌اند که دقت ۵۰ درصد برای پیش‌بینی شاخص را گزارش کرده‌اند [۲۳]. ناصری و احمدی برای پیش‌بینی قیمت نفت در بلندمدت یک رویکرد ترکیبی مبتنی بر خوشه بندی نزدیک ترین همسایه، ژنتیک و شبکه عصبی مصنوعی بر روی داده‌های کمی و کیفی ارائه داده‌اند که میانگین دقت جهت گیری قیمت نفت را در بلندمدت به میزان ۷۸ درصد به دست آورده‌اند [۲۴]. آنتویلر و فرانک با استفاده از روش‌های پردازش زبان طبیعی، پیام‌های کاربران یاهو درباره شرکت‌های تجاری را برای به دست آوردن

توصیه‌ای جهت خرید، فروش و نگهداری یک سهام خاص، مورد تحلیل قرار داده‌اند [۲۵]. گواردیا سباوم و همکاران برای پیش‌بینی فروش هفتگی فیلم، از روش‌های نظرکاوی بر روی داده‌های توییتر استفاده کرده‌اند که خطای میانه در بین سه معیار خطای متفاوت، ۵۶ درصد بوده است [۲۶]. جیوجیانگ و همکاران با استفاده از روش‌های متن کاوی و شبکه عصبی مصنوعی به پیش‌بینی قیمت طلا پرداخته‌اند که مقدار میانگین مربع خطا را ۲۷۱۴ به دست آورده‌اند [۲۷]. در زمینه پیش‌بینی فروش هفتگی فیلم، آسور و همکاران از داده‌های توییتر استفاده کرده‌اند که میانگین درصد خطای مطلق را برابر با ۰/۵۶ گزارش کرده‌اند [۲۸]. فیوریگل و گوردون برای پیش‌بینی شاخص‌های اقتصاد کلان، روش‌های مختلف یادگیری ماشین را بر روی فراوانی کلمات مختلف در اخبار اعمال کردند و سپس برای مواجهه با مشکل بیش-برازش که ناشی از ابعاد زیاد داده بود، مهندسی ویژگی‌ها انجام دادند. مثلاً کلماتی که از دسته‌های معنایی یکسانی هستند را به ساختارهای پنهانی نگاشت کردند تا بدین ترتیب، ابعاد فضای ویژگی به میزان قابل توجهی کاهش یابد [۲۹]. چن و همکاران [۳۰] حس عمومی جامعه را از طریق تحلیل اخبار موجود در شبکه‌های اجتماعی استخراج کرده‌اند و از آن برای پیش‌بینی نوسانات بازار سهام در کشور چین استفاده کرده‌اند. نم و سنونگ [۳۱] روابط سببی بین شرکت‌هایی که با هم ارتباط دارند، را برای پیش‌بینی قیمت سهام یک شرکت در نظر گرفته‌اند و اخباری که در مورد شرکت‌های مرتبط با شرکت موردنظر منتشر می‌شود را برای پیش‌بینی نوسانات قیمت سهام شرکت موردنظر استفاده می‌کنند. دایی و همکاران با استناد به خبرهای سیاسی و اقتصادی ۱۷ خبرگزاری در طول ۱۲۲ روز آخر سال ۱۳۹۷ شمسی، به پیش‌بینی جهت قیمت سهام در بورس اوراق بهادار مبادرت ورزیدند [۴۳]. آنها در پژوهش خود از روش متن کاوی استفاده کرده و برای انتخاب و وزن‌دهی ویژگی‌ها فرمول TF-IDF (فرمول ۱) را بکار گرفته‌اند. سپس روش خود را با الگوریتم بردار ماشین پشتیبان برای پیش‌بینی جهت قیمت ترکیب کرده و سهام گروه محصولات شیمیایی را مورد مطالعه قرار داده‌اند. تحلیل متن در مطالعات مرور شده، با استفاده از روش‌های رایج در زمینه‌های بازیابی اطلاعات و پردازش زبان طبیعی انجام شده است. اما با توجه به عدم کارایی مناسب اینگونه روش‌ها در زمینه تحلیل متن مالی، در این مطالعه یک روش جدید برای تحلیل متن مالی ارائه خواهد شد که به طور خاص منطبق با اسناد خبری عمل خواهد کرد.

۳- شرح مساله

تبدیل می‌شوند. همانطور که در معماری عمومی (شکل ۱) مشاهده می‌شود، در موازات تحلیل داده‌های کمی که منجر به تولید یک مقدار پایه برای پیش‌بینی می‌شوند، داده‌های کیفی نیز مورد تحلیل قرار گرفته و منجر به تولید مقدار تعدیلی می‌شوند.

در شکل ۱، معماری عمومی پژوهش‌های انجام شده در زمینه به‌کارگیری تکنیک‌های متن‌کاوی در پیش‌بینی‌های مالی، نشان داده شده‌است. اسناد متنی جمع‌آوری شده پس از عملیات پیش‌پردازش متن، در مرحله تولید ورودی دسته‌بند، به بردارهای ویژگی



شکل ۱. معماری عمومی یک سیستم پیش‌بینی مالی با استفاده از داده‌های متنی (با الهام از ون-بین یو [۲۸])

$$w_{i,j} = \frac{P_i R}{1 - P_i R} \quad (2)$$

$$w_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{if } \exists c(q) \mid c(q) = c(d_j) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

در این رابطه P_i احتمال وجود کلمه i در مجموعه اسناد R می‌باشد. رابطه (۳) به نام بولی شناخته می‌شود و مقادیر بدست آمده از آن در بازه بسته اعداد طبیعی $[0, 1]$ قرار می‌گیرند [۳۳]. در این رابطه $c(q)$ ویژگی درخواست شده است و بقیه متغیرها مانند رابطه (۱) می‌باشند.

براساس رابطه (۱)، به عنوان روش اصلی وزن‌دهی در متن کاوی مالی، کلمه‌ای که در اسناد کمتری تکرار شده باشد وزن بالاتری خواهد داشت. چرا که می‌تواند در زمان بازیابی اطلاعات برای یک کوئری، شانس بیشتری برای بازیابی سندی فراهم کند که حاوی کلمه‌ای است که در تعداد اسناد کمتری تکرار شده‌است. اما در اسناد خبری وضعیت متفاوتی وجود دارد. همه خبرها به نوبه خود می‌توانند بر بازارهای مالی تاثیرگذار باشند اما جریان اصلی تاثیرگذار بر نوسانات بورس اوراق بهادار حاوی خبرهای مهم است. از طرفی خبرهای مهم

در برخی پژوهش‌های نیز از داده‌های کمی استفاده نشده است و پیش‌بینی مالی صرفاً با استفاده از داده‌های کیفی انجام گرفته است. در این گونه پژوهش‌ها در بخش تحلیل متنی، قیمت با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین قیمت پیش‌بینی می‌شود. این رویکردی است که در پژوهش پیش رو نیز مد نظر است.

بخش تحلیل متنی شامل گام‌های جمع‌آوری اسناد متنی، پیش‌پردازش، تبدیل سند به بردار ویژگی، وزن‌دهی ویژگی، کاهش ویژگی و انتخاب ویژگی می‌باشد. روش رایجی که به طور معمول مورد استفاده قرار می‌گیرد پشته کلمات است که براساس وزن‌دهی TF-IDF بنانهاده شده‌است و روش محاسبه آن برای کلمه W_i در سند d_j در رابطه (۱) نشان داده شده‌است [۳۳]. در این رابطه، مقدار N تعداد اسناد مجموعه، n_i تعداد اسناد حاوی کلمه W_i و $f_{i,j}$ نرخ تکرار کلمه W_i در سند d_j می‌باشد. رابطه (۲) به نام احتمالی شناخته شده و مبتنی بر احتمالات و قانون بیز بوده که یکی از مدل‌های وزن‌دهی پایه می‌باشد [۳۳].

$$w_{i,j} = (1 + \text{Log } f_{i,j}) \text{Log } \frac{N}{n_i} \quad (1)$$

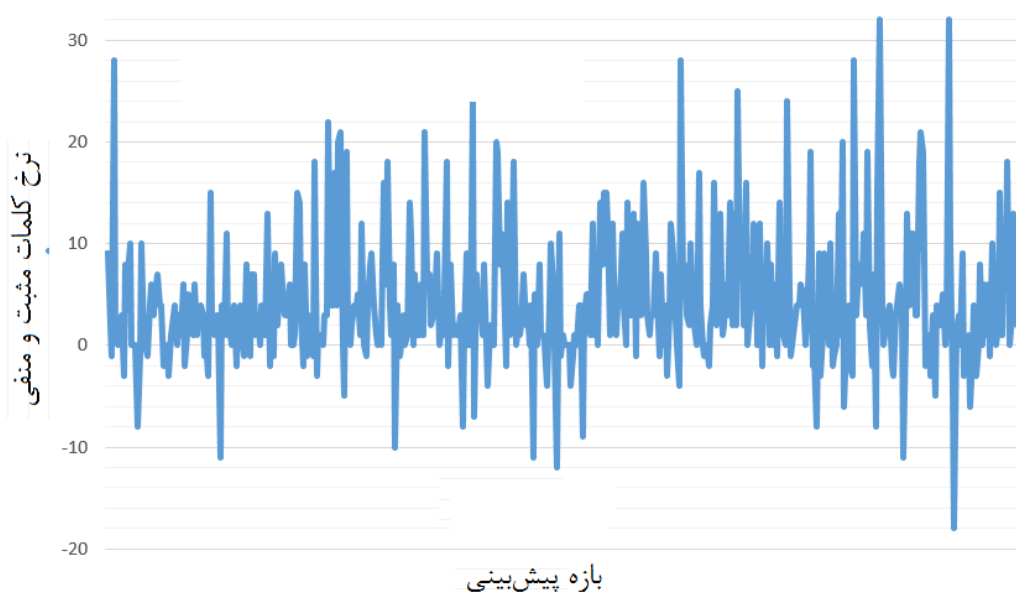
۴- رویکرد پیشنهادی

در این بخش یک روش جدید برای وزن‌دهی کلمات اسناد خبری ارائه و شرح داده می‌شود که در آن کلمات پرتکرار مجموعه اسناد خبری با مقادیر بزرگتر نسبت به کلمات کم تکرار مجموعه، وزن‌دهی می‌شوند.

در شکل ۲، نسبت تکرار کلمات مثبت و منفی در خبرهای بانک مرکزی در بازه زمانی مورد تحقیق (۱۳۸۴ تا ۱۳۹۹) نشان داده شده است. در این شکل، محور افقی بازه زمانی و محور عمودی نرخ کلمات مثبت و منفی می‌باشد.

در شکل ۳ نیز شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران مشاهده می‌شود.

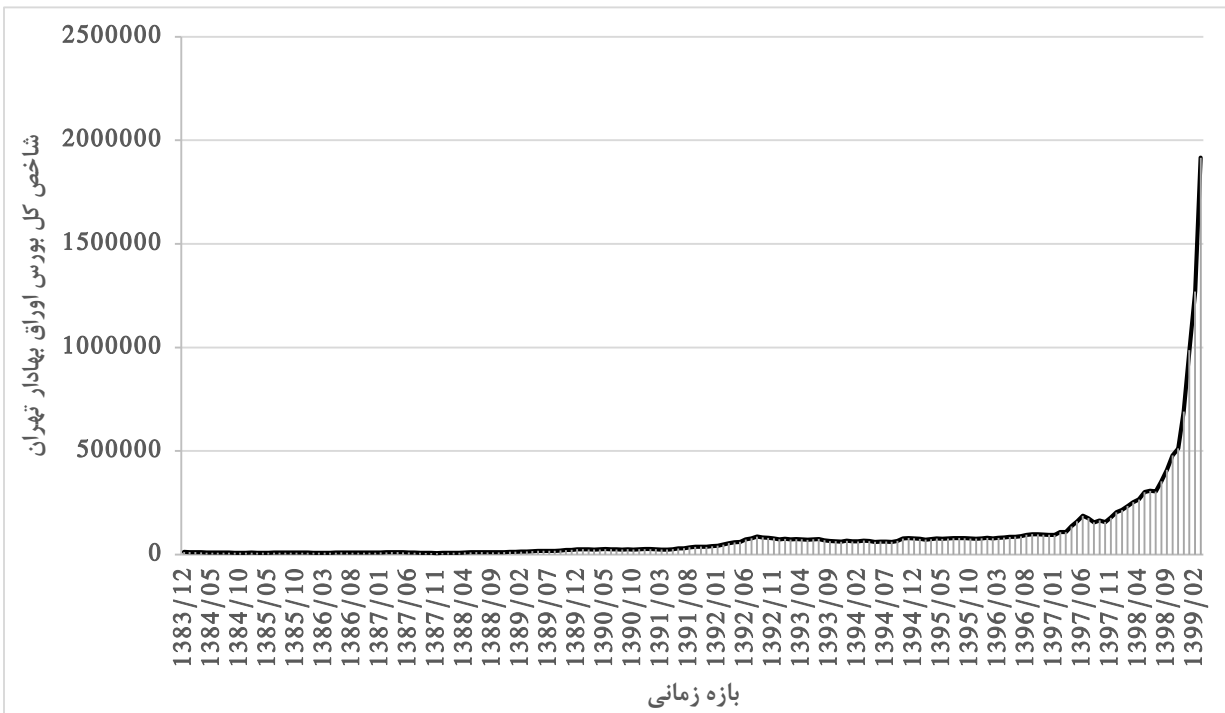
صرفاً توسط یک خبرگزاری منتشر نخواهند شد و بالعکس خبرهای مهم در یک روز بارها توسط خبرگزاری‌های متفاوت منتشر خواهند شد و بنابراین در میان کلیه اسناد خبری، خبرهای مهم نرخ انتشار بالاتری خواهند داشت. چنانچه از رابطه (۱) برای وزن‌دهی کلمات خبرها استفاده کنیم خبرهای با نرخ انتشار بالا وزن‌های کمتری به دست می‌آورند. نتیجه آن خواهد شد که به خبرهای مهم و به عبارتی جریان اصلی خبری ارزش کمتری داده شود. این مساله‌ای است که در این پژوهش پیش رو، مدنظر است. در این مقاله روشی ارائه خواهد شد که برخلاف رابطه (۱)، کلمات کم تکرار و پرتکرار مجموعه به ترتیب وزن‌های کمتر و بیشتری دریافت کنند. پیش‌بینی مالی براساس این وزن‌دهی انجام می‌شود.



شکل ۲. نرخ کلمات مثبت و منفی در خبرهای بانک مرکزی

تقریبی شاخص کل ۱۰۰۰۰ و چه زمانی که مقدار این شاخص برابر با ۵۰۰۰۰ بوده، تعداد کلمات مثبت منفی در اسناد خبری بانک مرکزی تقریباً مساوی است. بنابراین اگر وزن کلمات در هر دو مقطع زمانی یادشده، یکسان محاسبه شود پیش‌بینی گرایش قیمت به درستی انجام نمی‌گیرد [۳۴-۳۶]. در ادامه روش پیشنهادی برای مواجهه با این موضوع شرح داده می‌شود.

در این شکل، محور افقی زمان و محور عمودی مقدار شاخص می‌باشد. همانطور که از مقایسه شکل ۲ و ۳ مشاهده می‌شود، نرخ تکرار کلمات مثبت و منفی در بازه زمانی زمانی ۹ ساله تقریباً مساوی است، حال آنکه روند تغییرات شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران در همین بازه زمانی بیش از ۵ برابر رشد داشته است. بنابراین اگر کلمات مثبت و منفی در کل دوره در نظر گرفته شوند پیش‌بینی گرایش شاخص کل به درستی انجام نخواهد شد. زیرا مثلاً چه زمانی که مقدار



شکل ۳. روند شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران از ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۹ [۳۶]

خروجی: [«نرخ»، «ارز»، «غیر»، «مرجع»، «در»، «مرکز»، «مبادلات»، «ارزی»، «اعلام»، «شد»، «»]

در مرحله تحلیل واژگان، هر رشته کلمات به اجزاء آن تقسیم می‌شود و هر جزء بیانگر یک ویژگی است. از این رو تعداد ویژگی‌ها بسیار زیاد است و نمی‌توان برای دسته‌بندی از همه ویژگی‌ها استفاده کرد. یکی از مراحل بسیار حساس در فرآیند تحلیل متن، مرحله انتخاب ویژگی‌ها است. در این مرحله کلماتی از بین کل اسناد انتخاب می‌شوند. در برخی پژوهش‌های پیشین [۳۲ و ۳۷]، از روش دستی برای انتخاب ویژگی استفاده شده است. در پژوهش ما نیز از مجموعه کلمات مثبت و منفی استخراج شده توسط یو و همکاران [۳۲] استفاده شده است (پس از انجام بومی‌سازی). این کلمات در پیوست (۱) آورده شده‌اند.

برای آنکه محاسبات عددی بر روی متن قابل انجام باشد، هر سند متنی باید به شکلی بازنمایی شود. سند متنی در متن کاوی و بازیابی اطلاعات براساس یک مدل فضای برداری بازنمایی می‌شود [۳۸]. ابعاد در این مدل متناظر با ویژگی‌های مستخرج از متن می‌باشند و هر بردار توصیفی از یک سند متنی خواهد بود. بنابراین هر سند توسط یک بردار و هر ویژگی توسط یک بعد از بردار بازنمایی می‌شود. روش‌های متنوعی برای بازنمایی بوسیله فضای برداری قابل پیاده‌سازی

اسناد متنی تقریباً از هیچ گونه ساختاری بهره نمی‌برند. حتی قالب کدهای HTML یکسانی نیز ندارند. برای آنکه از یک سند HTML صرفاً و دقیقاً محتوای اصلی آن استخراج گردد نیاز به تفسیر کدهای آن سند می‌باشد. خوشبختانه اسنادی که از یک وبسایت دریافت می‌شوند قالب‌های شبیه به یکدیگر دارند. خبرهای منتشر شده در وبسایت بانک مرکزی نیز همین ویژگی را دارند [۷ و ۳۲].

پس از پیش‌پردازش اولیه و تبدیل اسناد درهم HTML به اسناد پالایش شده Text، گام تحلیل واژگان آغاز می‌شود. در این تحقیق گام تحلیل واژگان به شیوه استفاده شده در [۳۹] انجام می‌شود. در این گام یک رشته متنی به اجزائی مانند کلمات، نمادها، حروف ربط و ... به نام توکن تقسیم می‌شود. واژه‌های سراسری، کلماتی با نرخ تکرار تقریباً کامل در کل اسناد هستند و از نظر اطلاعاتی ارزش نداشته و قابل توجه نمی‌باشند. یکی از گام‌های پیش‌پردازش اسناد متنی، حذف این طیف از کلمات است. لیست‌های گوناگونی از واژه‌های سراسری وجود دارد که در این تحقیق از یک لیست کوتاه [۴۰] استفاده شده است.

مثال (۱):

ورودی: نرخ ارز غیر مرجع در مرکز مبادلات ارزی اعلام شد.

پیش‌بینی‌های بلندمدت برای ارزیابی نتایج انتخاب شده‌اند [۱، ۸ و ۳۶]، در این پژوهش نیز از این دو معیار برای ارزیابی روش پیشنهادی استفاده می‌شود. معیار دقت جهت‌گیری، نشان‌دهنده توانایی روش در پیش‌بینی روند تغییرات قیمت است. همچنین معیارهای درصد خطای مطلق و مجذور میانگین خطای مربع پیش‌بینی نیز برای ارزیابی نتایج به کار خواهند رفت. رابطه‌های (۵) تا (۸) به ترتیب روش محاسبه دقت جهت‌گیری، خطای مطلق، درصد خطای مطلق و مجذور میانگین خطای مربع پیش‌بینی را نشان می‌دهند.

$$DA = \frac{TR + TF}{TR + TF + FR + FF} \quad (۵)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N |E_t| \quad (۶)$$

$$MAPE = \frac{100}{N} \sum_{t=1}^N \left| \frac{E_t}{Y_t} \right| \quad (۷)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^N E_t^2} \quad (۸)$$

در این روابط، تعداد آزمایش‌ها با N ، خطای نقطه‌ای با E_t ، جهت‌گیری‌های صحیح با $TR + TF$ و جهت‌گیری‌های غلط با $FR + FF$ نشان داده شده‌اند.

۵-۱ مجموعه داده

داده‌های مورد استفاده در تحقیق شامل دو نوع داده کمی (تاریخچه‌ای) و کیفی می‌باشند. مجموعه داده کیفی متشکل از اسناد خبری بانک مرکزی از آبان ماه سال ۱۳۸۴ تا تیرماه سال ۱۳۹۹ است و داده‌های کمی نیز شامل شاخص کل بورس اوراق بهادار مربوط به همین بازه زمانی می‌باشد. بخشی از داده‌های کمی (از ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۹) از وبسایت رسمی بورس اوراق بهادار تهران (به آدرس <http://tsetmc.ir>) و بقیه داده‌ها (از ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۷) از وبسایت ره‌آورد۳۶۵ (به آدرس <https://rahavard365.com>) گردآوری شده‌اند. داده‌های کیفی (یا به عبارتی اسناد متنی خبری) نیز به طور کامل از وبسایت رسمی بانک مرکزی ایران (به آدرس <https://cbi.ir>) قابل دریافت است. این اخبار به صورت سالانه تفکیک شده‌اند و دریافت آنها به صورت اسناد HTML امکان‌پذیر است. کل داده متنی بانک مرکزی شامل ۳۹۳۳ خبر بوده و شاخص بورس برای ۱۸۴ ماه پیش‌بینی شده است. از کل بازه زمانی مورد نظر این پژوهش، ماه‌های

است. روش رایج مبنی بر این است که متناظر با تکرار هر ویژگی در هر سند، وزن ویژگی قرار می‌گیرد. در تحقیقات قبلی متداول بوده است که این وزن از رابطه (۱) محاسبه شود و سایر ویژگی‌ها که در یک سند تکرار نشده‌اند مقدار صفر بگیرند [۷، ۳۲ و ۴۱]. ولی در این مقاله روش جدیدی برای وزن‌دهی ویژگی‌ها ارائه شده که با مقدار DF معرفی می‌شود و مقدار آن از رابطه (۴) به دست می‌آید:

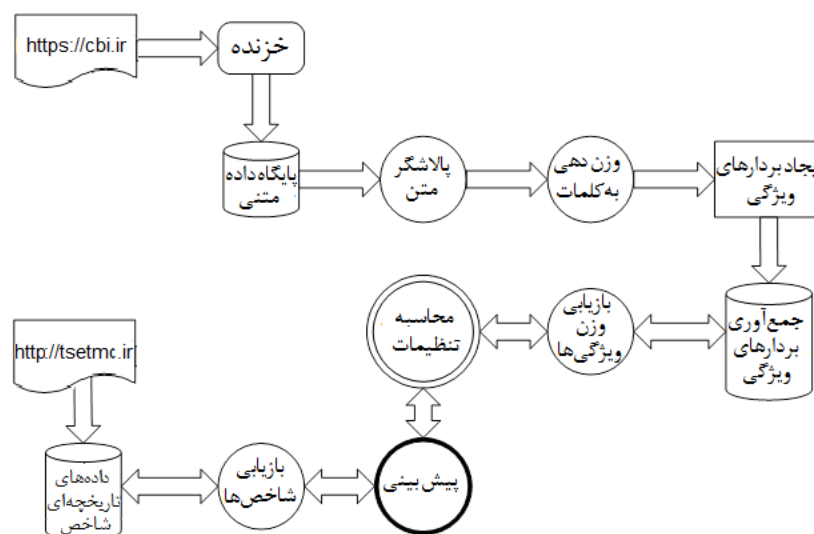
$$DF_i = \frac{F_i}{\text{Log}N} \quad (۴)$$

در این رابطه، مقادیر F_i و N به ترتیب مربوط به تعداد تکرار ویژگی i در مجموعه و تعداد ویژگی‌های مجموعه هستند. در مرحله اجرای محاسبات پیش‌بینی می‌توان از روش‌های یادگیری ماشین و یا آماری استفاده کرد. ما در این مطالعه از روش جستجوی محلی استفاده کرده‌ایم. با استفاده از جستجوی محلی تعداد رخداد‌های ویژگی‌های منتخب در داده‌های متنی به دست می‌آید. سپس برای هر ویژگی رخ داده (یافته شده) وزن متناظر با استفاده از رابطه ۴ محاسبه می‌شود. سرانجام، با استفاده از مجموع مقادیر به دست آمده از وزن ویژگی‌ها به همراه مقدار شاخص کل در بازه زمانی فعلی پیش‌بینی شاخص کل در بازه زمانی آتی انجام می‌گیرد. توصیفی از جریان داده و مراحل کار در شکل ۴ آورده شده است. در این شکل کلیه پردازش‌هایی که برای پالایش یک سند HTML باید طی شود تا داده متنی خالص به دست آید در یک مرحله با عنوان پالایش متن نشان داده شده است. در این مرحله، فرآیندهای پاک‌سازی شامل حذف انواع تگ‌های HTML و داده‌های نامرتبط و فرآیندهای پیش‌پردازش متن شامل توکن‌سازی، حذف استاپ‌وردها و برچسب‌گذاری زمانی است. پس از انجام فرآیندهای پیش‌پردازش متن، مهم‌ترین مرحله یعنی وزن‌دهی کلمات آغاز می‌شود. خروجی این مرحله، بردارهای ویژگی است که در محاسبه مقدار تعدیلی مورد استفاده قرار می‌گیرند. حاصل ضرب مقدار تعدیلی و مقدار پایه شاخص کل، عددی است که نشان‌دهنده مقدار پیش‌بینی شده برای شاخص کل در پایان ماه می‌باشد.

۵- ارزیابی

معیارهای متنوعی برای ارزیابی رویکردهای پیش‌بینی مالی وجود دارد. با توجه به اینکه در معیارهای دقت جهت‌گیری (Directional Accuracy) و میانگین خطای مطلق در

مرداد و شهریور سال ۸۴ بدون خبر بوده و مورد پیش‌بینی قرار نگرفته است.



شکل ۴: توصیفی از جریان داده و مراحل کار

جدول ۱. میانگین دقت جهت‌گیری

DA	TF-IDF	Boolean	Probabilistic	DF
Observed Up	57.14	57.14	57.14	57.14
True Forecasted Up	81.73	84.61	83.65	64.42
Observed Down	42.85	42.85	42.85	42.85
True Forecasted Down	26.92	23.08	24.36	41.02
Observed Bias St.	14.29	14.29	14.29	14.29
Forecasted Bias St.	54.81	61.53	59.29	23.4

تغییرات شاخص کل با استفاده از تحلیل خبرهای بانک مرکزی و در بازه ماهانه، در وضعیت‌هایی که تغییرات شاخص به صورت صعودی و نزولی بوده است، پیش‌بینی شد. در پایان ماه، تغییرات شاخص برای روز پایانی ماه بعد پیش‌بینی شد. در این پیش‌بینی، برای معیار درصد بایاس جهت‌گیری، مقدار ۲۳/۴ درصد به دست آمده است. بنابراین، بین خبرهای منتشرشده از سوی بانک مرکزی و نوسانات شاخص کل ارتباط وجود داشته و کشف آن با استفاده از روش پیشنهادی میسر شده است.

نتیجه پیش‌بینی روند تغییرات شاخص در شکل ۵ نشان داده شده است. در جدول‌های ۱ و ۲ روش پیشنهادی (DF) با روش‌های TF-IDF، احتمالی و بولی مقایسه شده است. جدول ۱ نیز میانگین دقت جهت‌گیری را با استفاده از رابطه

۲-۵ پیش‌بینی شاخص کل در بلند مدت

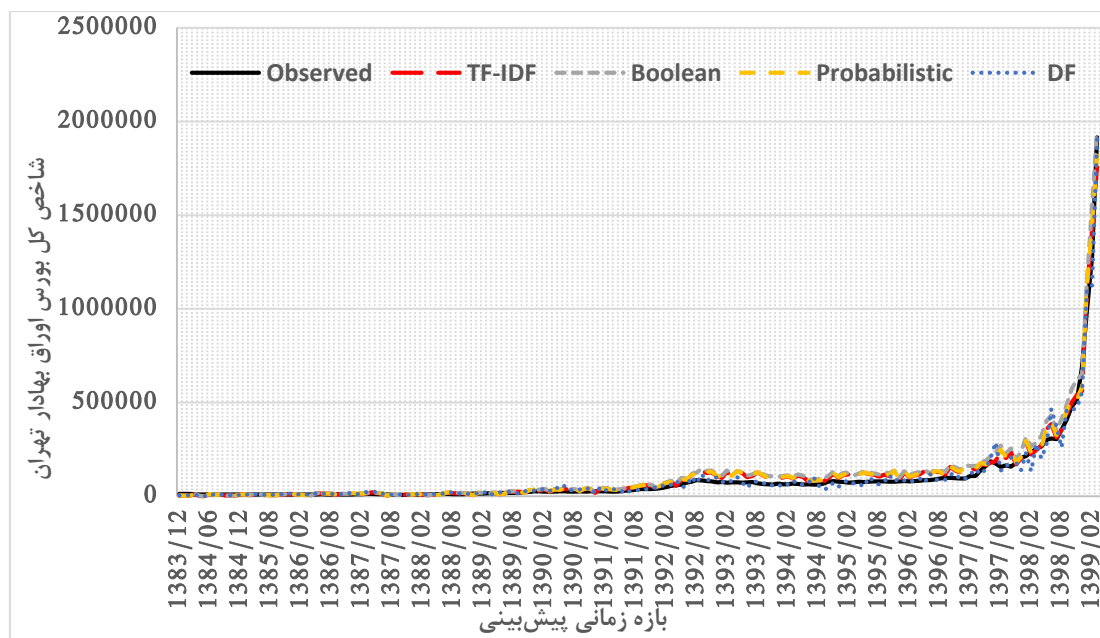
شکل ۵ پیش‌بینی گرایش قیمت را با استفاده از رویکرد پیشنهادی نشان می‌دهد. در بازه زمانی مربوط به اواخر سال ۱۳۸۴ تا اواسط سال ۱۳۸۸ نوسان شاخص کل بسیار کم بوده و مشاهده می‌شود که مقدار پیش‌بینی شده نیز به مقدار واقعی نسبتاً نزدیک است. از سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۲ و از سال ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۹ شاخص کل با تغییرات زیادی همراه بوده که پیش‌بینی آن نیز با خطای بیشتری مواجه شده است. بیشترین خطای پیش‌بینی مربوط به فروردین ماه ۱۳۹۹ بوده است. در این مقطع زمانی مقدار واقعی ۶۹۰۰۳۷ و مقدار پیش‌بینی شده ۵۵۳۶۹۱ می‌باشد اما جهت‌گیری صحیح پیش‌بینی شده است.

است، که این امر خود باعث می‌شود خطای پیش‌بینی شاخص کل در مقایسه با خطای پیش‌بینی قیمت سهام زیادتر باشد. حتی در برخی از بازه‌های مورد پیش‌بینی مقدار شاخص ۱۰۰ درصد افزایش یافته است که چنین نوسانی کار پیش‌بینی را بسیار مشکل می‌کند. مقدار بایاس روش پیشنهادی نسبت به روش‌های دیگر بسیار کمتر بوده و توانسته ۴۱ درصد روزهای نزولی را پیش‌بینی کند. مقدار بایاس رویت شده ۱۴ درصد و مقدار بایاس پیش‌بینی شده ۲۳ درصد است که نسبت به سایر روش‌ها بیش از ۵۰ درصد کمتر می‌باشد.

(۵) نشان می‌دهد. همچنین جدول ۲ میانگین خطا را با استفاده از روابط (۶) تا (۸) نشان می‌دهد. میانگین خطای مطلق برای روش پیشنهادی برابر با ۱۵۱۶۹ است. اگر چه این خطا نسبتاً زیاد به نظر می‌رسد، اما میانگین خطای مطلق برابر با تنها ۲۶ درصد است و باید در نظر داشت در پیش‌بینی گرایش بلندمدت به دلیل فاصله‌های یک ماهه بین هر دو مقطع زمانی مورد پیش‌بینی، مقدار ۱۵۱۶۹ برای میانگین خطای مطلق می‌تواند قابل قبول باشد. چرا که میزان تغییرات شاخص کل نسبت به تغییرات قیمت سهام بیشتر

جدول ۲. میانگین خطا

Error	TF-IDF	Boolean	Probabilistic	DF
MAE	21309	28532	22500	15169
MAPE	36.01	43.82	38.05	26.99
RMSE	32987	43535	34271	27360



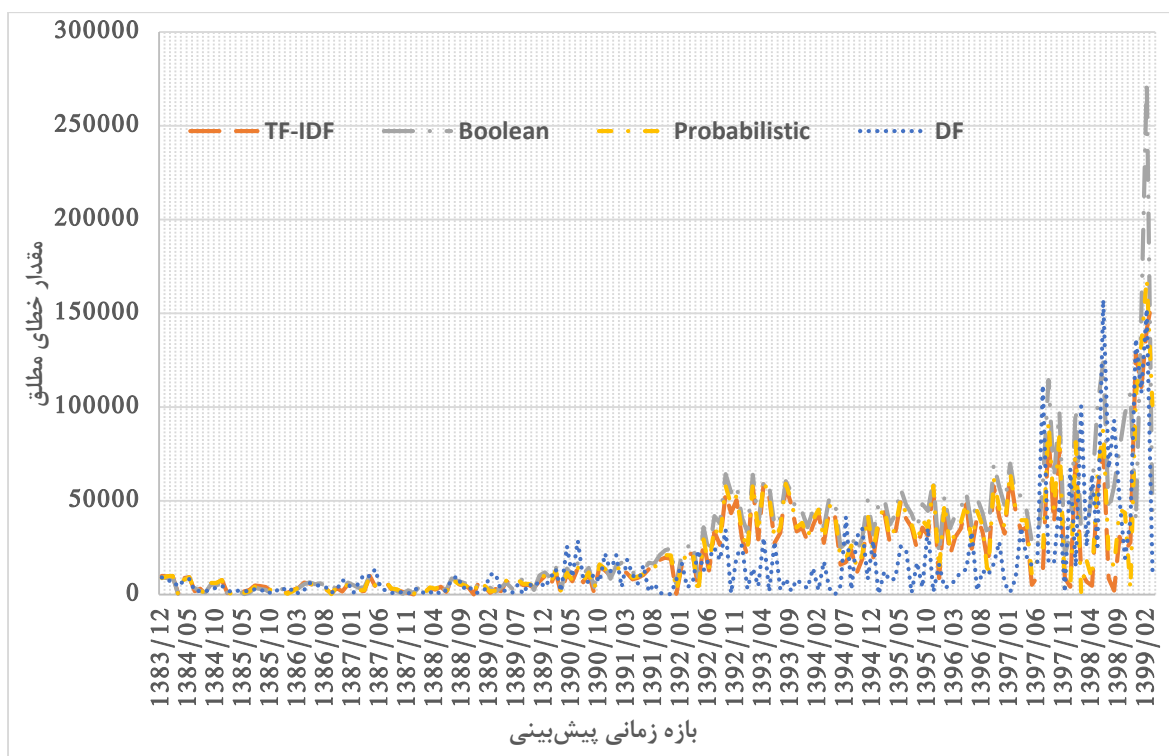
شکل ۵. پیش‌بینی روند شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران توسط روش‌های مورد مقایسه و روش پیشنهادی (DF)

این است که نوسان شاخص کل ۲۱/۵ برابر نوسان سهام بانک ملت است [۳۶]. در کل بازه زمانی آزمایشی، تفاضل بین کمینه و بیشینه شاخص کل تقریباً ۲ میلیون واحد بوده که این مقدار ۱۳۱ برابر میانگین خطای مطلق روش پیشنهادی می‌باشد. برای دقت جهت‌گیری با استفاده از روش پیشنهادی مقدار ۶۴ و ۴۱ درصد به ترتیب صعودی و نزولی به دست آمده است. شوماخر و چن [۱] در پژوهش خود با استفاده از داده تاریخی‌های و متنی، مقدار میانگین ۵۸ درصد را برای دقت جهت‌گیری به دست آورده‌اند. روش پیشنهادی ما و

به عنوان مثال سهام بانک ملت در ابتدای سال ۱۳۹۰ برابر با ۵۵۴ و در انتهای همان سال برابر با ۴۹۲ بوده است که بالاترین قیمت آن در همان سال به ۶۴۷ و کمترین قیمت آن به ۴۹۲ رسیده است. اما مقدار شاخص کل در ابتدای سال ۱۳۹۰ برابر با ۲۳۷۵۶ و در انتهای همان سال برابر با ۲۵۹۰۵ بوده است که بالاترین مقدار آن به ۲۷۰۹۸ و کمترین مقدار آن به ۲۳۷۵۶ رسیده است. تفاضل بین کمینه و بیشینه قیمت سهام بانک ملت برابر با ۱۵۵ بوده است که مقدار آن برای شاخص کل برابر با ۳۳۴۲ رقم خورده است، که حاکی از

محاسبه شده برای رویکرد مبتنی بر مقدار DF و روش‌های مورد مقایسه نشان داده شده است. در این شکل، نقاط روی منحنی‌ها متناسب با میزان خطای متناظر، از محور افقی فاصله گرفته‌اند. کمترین مقدار خطای به دست آمده از رویکرد مبتنی بر مقدار DF مربوط به شهریور ماه سال ۱۳۸۸ و برابر با ۱۸,۳۵ می‌باشد.

روش شوماخر و چن [۱] کمتر از ۲۰ درصد تفاوت دارند در حالی که در روش پیشنهادی ما صرفاً از داده متنی برای انجام پیش‌بینی استفاده شده است ولی شوماخر و چن روش وزن‌دهی کلمات را با روش‌های یادگیری ماشین مانند بردار ماشین پشتیبان ترکیب کرده‌اند (برای ادامه این پژوهش، ترکیب روش پیشنهادی ما با روش‌های سری زمانی و یا هوش مصنوعی در دستور کار قرار گرفته است). در شکل ۶ خطای



شکل ۶. خطای مطلق برای روش‌های مورد مقایسه و روش پیشنهادی (DF)

دارای خطای بسیار بیشتری نسبت به بازه ۹۱ تا ۹۵ خواهد بود.

ما با کاهش دادن بازه زمانی مورد مطالعه به محدوده سال ۹۱ تا ۹۵ (مشابه بازه زمانی که راعی و همکاران [۴۲] در نظر گرفته‌اند) به مقدار خطای ۹ درصد می‌رسیم که نسبت به مقدار خطای برای کل بازه مورد پیش‌بینی ۶۵ درصد کاهش دارد. به همین ترتیب، فاکتورهای موثر دیگری نیز همچون پنجره زمانی پیش‌بینی (که در پژوهش راعی و همکاران ۲۰ روزه و در روش ما ۳۰ روزه است) وجود دارند. اما مهمترین فاکتور که نقش کاملاً تعیین کننده‌ای دارد استفاده از داده‌های سری زمانی و تکنیک‌های داده کاوی است که خطای پیش‌بینی را به شدت کاهش می‌دهند. اگر چه روش پیشنهادی ذاتاً رویکردی برای بهبود روش وزن‌دهی در متن

خطای حاصل از پیش‌بینی شاخص کل در بازه زمانی ۹۱ تا ۹۵ توسط راعی و همکاران [۴۲] که از تکنیک‌های داده کاوی و داده‌های سری زمانی بهره برده‌اند کمتر از ۱ درصد اعلام شده است. در اینجا فاکتورهایی تاثیرگذار وجود دارند مانند بازه زمانی مورد مطالعه که ما از سال ۸۴ تا سال ۹۹ را پوشش داده‌ایم ولی راعی و همکاران فقط از سال ۹۱ تا ۹۵ را مورد مطالعه قرار داده‌اند. لازم به ذکر است که شاخص کل در ابتدای سال ۹۱ مقدار ۲۶۲۸۰ واحد بوده و در شهریور ۹۵ به ۷۶۴۵۰ واحد رسیده که حدوداً ۳ برابر شده است این در حالی است که شاخص کل در ابتدای سال ۸۴ مقدار ۱۲۷۰۲ واحد بوده و در تیرماه ۹۹ به مقدار ۱۹۱۶۱۹۴ واحد رسیده که حدوداً ۱۵۰ برابر شده است. مسلماً با چنین دامنه‌ای از تغییرات، پیش‌بینی شاخص کل در بازه ۸۴ تا ۹۹ مشکل‌تر و

- [3] C. Robertson, S. Geva, and R. C. Wolff, "Can the Content of Public News be used to Forecast Abnormal Stock Market Behaviour?," in Seventh IEEE International Conference on Data Mining, ICDM 2007, pp. 637-642.
- [4] E. F. Fama, "The behavior of stock-market prices," The journal of Business, vol. 38, pp. 34-105, 1965.
- [5] S. Chopra and P. Meindl, Supply Chain Management Strategy, planning and operation. 3rd Edition, Pearson Prentice Hall, ISBN: 0-13-208608-5, 2007.
- [6] P. Falinouss, "Stock trend prediction using news articles: a text mining approach," M.S. thesis, Lulea university of technology, Lulea, Sweden, 2007.
- [7] K. G. Aase, "Text Mining of News Articles for Stock Price Predictions," M.S. thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, 2011.
- [8] M. Arias, A. Arratia, and R. Xuriguera, "Forecasting with Twitter Data," ACM Transactions on Intelligent Systems Technology, 5, 1, Article 8 (January 2014), 24 pages.
- [9] M. A. Mittermayer, "Forecasting intraday stock price trends with text mining techniques," in Proceedings of the 37th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, Big Island, 0-7695-2056-1, IEEE, 5-8 Jan, 2004.
- [10] M. Butler and V. Kešelj, "Financial Forecasting Using Character N-Gram Analysis and Readability Scores of Annual Reports," In Advances in Artificial Intelligence (pp. 39-51). Springer Berlin Heidelberg, 2009.
- [11] B. G. Malkiel, "A Random Walk Down Wall Street: The Time-Tested Strategy for Successful Investing," WW Norton & Company, New York, 1973.
- [12] C. Robertson, S. Geva, and R. C. Wolff, "Can the Content of Public News be used to Forecast Abnormal Stock Market Behaviour?," in Seventh IEEE International Conference on Data Mining, ICDM 2007, pp. 637-642.
- [13] S. Bacher and H. Stuckenschmidt, "Mining Unstructured Financial News to Forecast Intraday Stock Price Movements," M.S. thesis, University of Mannheim, Mannheim, Germany, Oct, 2012.
- [14] Kartick Gupta, Rajabrata Banerjee, "Does OPEC news sentiment influence stock returns of energy firms in the United States?" Energy Economics, vol. 77, pp. 34-45, 2019.
- [15] George Guan-Ru Wu, Tony Chieh-Tse Hou, Jin-Lung Lin, "Can economic news predict Taiwan stock market returns?," Asia Pacific Management Review, vol. 24, pp. 54-59, 2019.
- [16] Yu-Chen Wei, Yang-Cheng Lu, Jen-Nan Chen, Yen-Ju Hsu, "Informativeness of the market news sentiment in the Taiwan stock market", North American Journal of Economics and Finance, vol. 39, PP. 158-181, 2017.

کاوی مالی می‌باشد و در آن صرفاً از داده‌های متنی برای ارزیابی رویکرد استفاده شده است، با این حال، نسبت به روش‌های داده کاوی خطای بسیار پایین و قابل قبولی دارد. از آنجا که روش‌های جدید در پیش‌بینی‌های مالی ترکیبی از تکنیک‌های متن کاوی و داده کاوی می‌باشند، برای بخش کاوش متن مالی رویکرد پیشنهادی می‌تواند روش کارآمدتری نسبت به روش‌های رایج به شمار آمده و در رویکردهای ترکیبی مورد استفاده قرار گیرد.

۶- نتیجه‌گیری

نرخ تکرار کلمات مثبت و منفی در اسناد خبری بانک مرکزی در بازه نه ساله اخیر تقریباً یکسان بوده و پیش‌بینی شاخص کل صرفاً با استفاده از آن ممکن نیست. در این پژوهش، روشی برای وزن‌دهی کلمات ارائه شده و سپس بر اساس آن، پیش‌بینی گرایش شاخص کل در بلندمدت انجام شد. ارزیابی روش پیشنهادی نشان داد که مقدار میانگین درصد خطای مطلق و میانگین بایاس دقت جهت‌گیری نوسانات شاخص به ترتیب برابر با ۲۶/۹۹ و ۲۳/۴ درصد است. این نتایج نشان داد که خبرهای منتشر شده در وبسایت بانک مرکزی ایران با روند تغییرات شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران مرتبط است و بنابراین بر اساس محتوای آنها می‌توان شاخص کل را در بلندمدت پیش‌بینی کرد.

در پایان، سه رویکرد پیشنهادی برای ادامه این تحقیق معرفی می‌گردند: پیشنهاد اول این است که برای کاهش مقدار خطای مطلق از روش‌های سری‌های زمانی در کنار رویکرد پیشنهادی استفاده شود. پیشنهاد دیگر این است که به غیر از خبرهای مالی، خبرهای سایر گروه‌ها (نظیر سیاسی و اجتماعی) نیز جمع‌آوری و مورد تحلیل قرار گیرند. در انتها نیز پیشنهاد می‌گردد که روش‌های هوشمند برای انتخاب بهترین ویژگی‌ها آزموده شوند و نتایج مورد تحلیل قرار گیرد.

مراجع

- [1] R. P. Schumaker and H. Chen, "Textual analysis of stock market prediction using breaking financial news: The AZFin text system," ACM Transactions on Information Systems (TOIS), vol. 27, p. 12, 2009.
- [2] A. Kloptchenko, T. Eklund, J. Karlsson, B. Back, H. Vanharanta, and A. Visa, "Combining data and text mining techniques for analysing financial reports," Intelligent systems in accounting, finance and management, vol. 12, pp. 29-41, 2004.

- [29] Stefan Feuerriegel, Julius Gordon, "News-based forecasts of macroeconomic indicators: A semantic path model for interpretable predictions", *European Journal of Operational Research*, vol. 272, pp. 162-175, 2019.
- [30] Weiling Chen, Chai Kiat Yeo, Chiew Tong Lau, Bu Sung Lee, "Leveraging social media news to predict stock index movement using RNN-boost", *Data & Knowledge Engineering*, vol. 118, pp. 14-24, 2018.
- [31] KiHwan Nam, NohYoon Seong, "Financial news-based stock movement prediction using causality analysis of influence in the Korean stock market", *Decision Support Systems*, *Decision Support Systems*, vol. 117, pp. 100-112, 2019.
- [32] W. B. Yu, B. R. Lea, and B. Guruswamy, "A Theoretic Framework Integrating Text Mining and Energy Demand Forecasting," *IJEBM*, vol. 5, pp. 211-224, 2007.
- [33] R. Baeza-Yates and B. Ribeiro-Neto, *Modern information retrieval*. Vol. 463. New York: ACM press, 1999.
- [34] D. Thorleuchter and D. Van den Poel, "Predicting e-commerce company success by mining the text of its publicly-accessible website," *Expert Systems with Applications*, vol. 39, pp. 13026-13034, 2012.
- [35] S. Mahfoud and G. Mani, *Financial forecasting using genetic algorithms*. *Applied Artificial Intelligence*, vol. 10, no. 6, 543-566, 1996.
- [36] Tehran Stock Exchange, Available: <http://www.tse.ir/market/Indices.aspx>
- [37] Cambridge University Press. Available: <http://nlp.stanford.edu/IR-book/html/htmledition/tokenization-1.html>
- [38] Cambridge University Press. Available: <http://nlp.stanford.edu/IR-book/html/htmledition/dropping-common-terms-stop-words-1.html>
- [39] X. Liang and R. C. Chen, "Mining Stock News in Cyberworld Based on Natural Language Processing and Neural Networks," in *International Conference on Neural Networks and Brain*, 2005, ICNN&B'05. Vol. 2, IEEE.
- [40] G. Salton, A. Wong, and C. S. Yang, "A vector space model for automatic indexing," *Communications of the ACM* 18.11 (1975): 613-620.
- [41] B. Drury, "A Text Mining System for Evaluating the Stock Market," Ph.D. Dissertation, Universities of Minho, Aveiro and Porto, 2009.
- [۴۲] رضا راعی، علی نیک عهد قصیرائی و مصطفی حبیبی، «پیش‌بینی شاخص بورس اوراق بهادار تهران با ترکیب روش‌های آنالیز مولفه‌های اصلی، رگرسیون بردارپشتیبان و حرکت جمعی ذرات»، راهبرد مدیریت مالی، سال چهارم، ماه پانزدهم، ۱۳۹۵، صص: ۱-۲۳.
- [۴۳] امیردایی، امیدعبادت‌ی و کیوان برنا، «به‌کارگیری وب‌کاوی در پیش‌بینی جهت قیمت سهام گروه محصولات شیمیایی در
- [17] S. Feuerriegel, J. Gordon, "Long-term stock index forecasting based on text mining of regulatory disclosures," *Decision Support Systems*, vol. 112, pp. 88-97, 2018.
- [18] R. Ren, D. D. Wu, and T. Liu, "Forecasting stock market movement direction using sentiment analysis and support vector machine," *IEEE Systems Journal*, vol. 13, no. 1, pp. 760-770, 2019.
- [19] A.S. Ab. Rahman, S. Abdul-Rahman, and S. Mutalib, "Mining textual terms for stock market prediction analysis using financial news," in Mohamed A., Berry M., Yap B. (eds) *Soft Computing in Data Science. SCDS 2017. Communications in Computer and Information Science*, vol. 788. Springer, Singapore, 2017.
- [20] H. Naderi Semiroimi, S. Lessmann, and Wiebke Peters, "News will tell: Forecasting foreign exchange rates based on news story events in the economy calendar," *The North American Journal of Economics and Finance* vol. 52, 101-181, 2020.
- [21] L. Yu, S. Wang, and K. Lai, "A rough-set-refined text mining approach for crude oil market tendency forecasting," *International Journal of Knowledge and Systems Sciences*, vol. 2, pp. 33-46, 2005.
- [22] R. Luss and A. d'Aspremont, "Predicting abnormal returns from news using text classification," *Quantitative Finance*, arXiv:0809.2792v3, 2009.
- [23] M. V. Pinto and K. Asnani, "Stock Price Prediction Using Quotes and Financial News," *International Journal of Soft Computing*, vol. 1, Issue 5, November 2011.
- [24] M. R. Amin-Naseri and E. A. Gharacheh, "A hybrid artificial intelligence approach to monthly forecasting of crude oil price time series," in *The Proceedings of the 10th International Conference on Engineering Applications of Neural Networks*, CEUR-WS284, 2007, pp. 160-167.
- [25] W. Antweiler and M. Z. Frank, "Is all that talk just noise? The information content of internet stock message boards," *The Journal of Finance*, vol. 59, pp. 1259-1294, 2004.
- [26] E. Guardia-Sebaoun, A. Rafrafi, V. Guigue, and P. Gallinari, "Cross-media sentiment classification and application to box-office forecasting," in *Proceedings of the 10th Conference on Open Research Areas in Information Retrieval*, 2013, pp. 201-208.
- [27] X. Guo-Xiang, S. Ben-Chang, H. Yen-Bin, S. Po-Chih, and C. Kuo-Hao, "To Integrate Text Mining and Artificial Neural Network to Forecast Gold Futures Price," in *International Conference on New Trends in Information and Service Science*, NISS'09, 2009, pp. 1014-1020.
- [28] S. Asur and B. A. Huberman, "Predicting the future with social media," In *International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology (WI-IAT)*, 2010 *IEEE/WIC/ACM (Vol. 1, pp. 492-499)*. IEEE.

بوس اوراق بهادار»، فصلنامه علمی- پژوهشی فناوری اطلاعات و ارتباطات ایران، سال یازدهم، شماره‌های ۳۹ و ۴۰، بهار و تابستان ۱۳۹۸، صص: ۱۹ - ۴۸.

پیوست : لیست ویژگی‌ها (کلمات مورد بررسی) در اخبار مربوط به بورس

نقدینگی	اقتصادی	مسکن	پروژه	پایانی	عمومی	بانکداری
برنامه	صندوق	ارزی	پرداخت	فروش	خدمات	روابط
اوراق	تسهیلات	اعلام	شرکت	قانون	جلسه	مؤسسات
اجلاس	چین	نسبت	ارائه	صورت	توسعه	کار
نرخ	فعالیت	کالا	عامل	کمیسیون	ابلاغ	چک
سپرده	شاخص	لازم	معادل	استفاده	فرهنگی	نظارت
مردم	تعیین	مسافرتی	ضوابط	اسکناس	مصرفی	مناطق
شهری	قرض	مقررات	پولشویی	هیات	نظارتی	صادرات
اقتصاد	حضور	جهانی	بها	سیاستهای	مجموعه	دولتی
بانکی	اقدام	بخشنامه	شعب	نفت	جاری	درآمد

Textual analysis of central bank news in forecasting long-term trend of Tehran stock exchange index

Abstract

Financial markets have always been under influence of media news; therefore, text analysis of news is considered as an effective method of stock exchange forecasting. Research in this context has been conducted with the help of information retrieval techniques, in which high frequency words in a document that appeared sporadically in the whole corpus received higher weight than others. In contrast, the words which appeared in many news of a corpus, during a certain time, indicate the importance of an event. In our research, to address this contradiction, a new technique of assigning weight to influential words of news is presented. Financial news of Iran Central Bank (CBI) and actual data of Tehran Stock Exchange Index (TSEI) in the duration of 2005 to 2020 AD were utilized to evaluate the proposed method. The empirical results show 64% and 41% accuracy of trend prediction when TSEI moves upward and downward respectively and about 10% decreasing in Mean Absolute Error (MAE) to compare with prevalent techniques. While, the changes of the ratio between the number of positive and negative words in news does not offer predictive or analytical evidences, our results show that, there still exists a meaningful relationship between CBI news and TSEI fluctuations.

Keywords: Tehran Stock Exchange Index, long-term forecasting, textual analysis, word weighting.

بهبود کارایی سازوکارهای کنترل نرخ مبتنی بر کاوش به کمک دسته- بندی: ارزیابی بر روی بستر آزمایشی شبکه‌های بی‌سیم محلی پرسرعت

علی قالی‌باف* محمد نصیری** محمدحسن داعی* مهدی سخائی‌نیا***

* دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی فناوری اطلاعات، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

** دانشیار گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

*** استادیار گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۷

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

فناوری MIMO در شبکه‌های محلی بی‌سیم، امکان استفاده از طیف متنوعی از نرخ‌های ارسال را فراهم می‌آورد. به‌منظور بهبود کارایی پیمانانه کنترل نرخ، اطلاعات آماری در مورد تاریخچه و وضعیت و میزان استفاده از هر نرخ در سال در لایه MAC نگهداری می‌شود تا به تعیین نرخ ارسال بسته‌های آتی کمک نماید. باین‌وجود، تنوع زیاد نرخ‌های ارسال در استانداردهای 802.11n و 802.11ac هزینه سربار زیادی را برای به‌روزرسانی این اطلاعات تحمیل می‌کند. در این مقاله، برای کاهش فضای حالت نرخ‌های ارسال و به‌روز نگه‌داری توأمان آمار همه آن‌ها، روشی برای دسته‌بندی نرخ‌ها ارائه شده است به‌نحوی که هنگام ارسال یک بسته با نرخ ارسال مشخص، اطلاعات آماری مربوط به همه نرخ‌های ارسال که در همان دسته قرار می‌گیرند، به‌روز شود. در نتیجه، آمار و وضعیت تعداد بیشتری از نرخ‌های ارسال حتی با وجود ارسال تعداد کمی بسته‌های داده می‌تواند به‌روز شود. سازوکار پیشنهادی در محیط هسته لینوکس پیاده‌سازی و عملکرد آن را تحت شرایط مختلف در یک بستر آزمایشی که در آزمایشگاه پژوهشی خود راه‌اندازی نموده‌ایم، ارزیابی گردید. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی از نقطه‌نظر گذرداد و تعداد ارسال موفق از سازوکار Minstrel-HT به‌عنوان روش پیش‌فرض لینوکس عملکرد بهتری دارد.

واژگان کلیدی: نرخ کنترل ارسال، شبکه‌های بی‌سیم محلی پرسرعت، بستر آزمایشی، دسته‌بندی نرخ، روش Minstrel HT، روش CRA

۱- مقدمه

بهترین نرخ ارسال فیزیکی را بر اساس کیفیت کانال در شرایط مختلف زمانی انتخاب می‌کنند [۱]. به‌طور کلی زمانی که کانال شرایط مساعدی ندارد، ارسال داده‌های با نرخ کم‌تر و مقاوم در برابر عوامل محیطی با وجود زمان انتقال بالا انتخاب معقول‌تری است، همچنین در زمان مناسب بودن شرایط کانال، نرخ‌های با گذرداد بالا بهتر عمل کرده و داده‌ها در زمان کوتاه‌تری ارسال می‌شوند. در شبکه‌های بی‌سیم پرسرعت به علت داشتن مکانیسم‌های مختلف مانند MIMO^۱ و همچنین وجود تداخل،

شبکه‌های بی‌سیم از رسانه هوا برای انتقال اطلاعات استفاده می‌کنند و به همین دلیل تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله شکست، نویز و انعکاس قرار می‌گیرند. از آنجاکه میزان تأثیر این عوامل در محیط‌های مختلف متغیر است؛ لذا شناخت محیط و اتخاذ تصمیم‌های مناسب در شرایط مختلف امری حیاتی است. از جمله این تصمیم‌ها که تأثیر بسزایی بر روی کارایی شبکه دارد، انتخاب مناسب نرخ ارسال داده است. الگوریتم تطبیق نرخ،

¹ Multiple Input Multiple Output

تمامی نرخ‌ها، تعداد زیادی از نرخ‌ها مدت زیادی به‌روز نمی‌شوند. لذا نتایج آماری آن‌ها، مقادیر قابل اطمینانی نبوده و نرخ ارسال انتخابی دارای گذرداد بالایی نیست [۳، ۱۰].

در این مقاله به‌منظور حل عدم به‌روزرسانی تمامی نرخ‌ها، یک سازوکار دسته‌بندی معرفی می‌شود. با انجام دسته‌بندی فضای حالت نرخ ارسال‌ها کوچک‌تر می‌گردد. برای هر دسته فقط یک بسته کاوش ارسال می‌گردد و وضعیت ارسال برای تمامی MCS‌های متعلق به آن دسته بر اساس آن به‌روز می‌گردند. لذا با ارسال بسته‌های کاوش به همان تعداد قبلی می‌توان آمار تمامی نرخ‌ها را به‌صورت تقریبی تخمین زد. انتخاب معیار دسته‌بندی برای حفظ کیفیت خدمات شبکه از اهمیت زیادی برخوردار است. در این پژوهش معیار گم‌شدگی بسته برای دسته‌بندی پیشنهاد گردیده است و نشان داده شده است که معیار پیشنهادی، معیار مناسبی برای دسته‌بندی خواهد بود.

اساساً برای ارزیابی روش‌ها و الگوریتم‌های موجود در حوزه شبکه‌های بی‌سیم می‌توان به سه طریق تحلیل ریاضی، ابزارهای شبیه‌ساز و بستر آزمایشی واقعی عمل کرد. هرچند مقیاس‌پذیری و تحرک ایستگاه‌ها در شبیه‌ساز بسیار ساده‌تر صورت می‌گیرد ولی با توجه به ویژگی‌های رسانه‌ی بی‌سیم از جمله وجود نویزهای متنوع، تداخل امواج، نوسانات شرایط کانال، پدیده‌ی محوشدگی، نوسانات موجود در اتصال MIMO و ... نمی‌توان آن را به‌طور دقیق و مطابق با دنیای واقعی مدل‌سازی و شبیه‌سازی کرد؛ حال آنکه نتایج به‌دست‌آمده از بستر آزمایشی باوجود پیچیدگی‌های پیاده‌سازی و محدودیت تجهیزات، می‌تواند به نتایج واقعی نزدیک‌تر باشد. به همین دلیل و به‌منظور بررسی عملکرد روش پیشنهادی، تعدادی از روش‌های ارائه‌شده در دسته لینوکس پیاده‌سازی شده و روش پیشنهادی بر روی روش‌های مذکور نیز از لحاظ میزان گذرداد مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

نوآوری‌های این مقاله به‌طور خلاصه عبارت‌اند از:

۱. ارائه روشی برای دسته‌بندی نرخ‌های ارسال بسته کاوش بر اساس معیار گم‌شدگی بسته

۲. سازوکار جدید برای به‌روزرسانی وضعیت نرخ‌های ارسال

۳. پیاده‌سازی روش ارائه شده بر بستر واقعی به‌منظور ارزیابی روش در محیط واقعی.

در ادامه مقاله، در بخش دوم مفاهیم پایه و قابلیت‌های استاندارد IEEE802.11n بیان می‌شود. در بخش سوم کارهای مرتبط و

کانال دارای شرایط بسیار متنوعی است. به همین علت تطبیق نرخ ارسال در این شبکه‌ها از اهمیت بیشتری نسبت به شبکه‌های بی‌سیم سنتی (802.11a/b/g) برخوردار است و انتخاب نادرست نرخ ارسال می‌تواند منجر به پایین آمدن گذرداد در مقیاس بزرگ‌تری شود [۲]. در مقاله [۳] نشان داده شده است که روش‌های موجود تطبیق نرخ در شبکه‌های بی‌سیم سنتی کارایی بالایی در شبکه‌های بی‌سیم پرسرعت ندارند و این نتایج منجر به تحقیقات گسترده‌ای در زمینه تطبیق نرخ در استانداردهای 802.11n و 802.11ac در سال‌های اخیر شده است [۴-۸].

روش تطبیق نرخ ارسال شامل دو مرحله است: مرحله اول تخمین شرایط کانال و مرحله بعدی انتخاب نرخ ارسال مناسب. برای انتخاب نرخ ارسال مناسب برحسب شرایط کانال روش‌هایی وجود دارد که این روش‌ها به دو دسته کلی حلقه باز و حلقه بسته [۹] تقسیم می‌شوند. در روش حلقه باز فرستنده به‌تنهایی و با استفاده از مشاهدات و تجربیاتش از کانال، نرخ ارسال داده را مشخص می‌کند. درحالی‌که در روش حلقه بسته از گیرنده در جهت انتخاب نرخ ارسال مناسب کمک گرفته می‌شود.

یکی از روش‌های تطبیق نرخ حلقه باز روش مبتنی بر ارسال بسته کاوش است. در این روش فرستنده، پس از ارسال موفق و پیوسته تعداد ثابت بسته در یک نرخ مشخص، تلاش می‌نماید یک بسته با نرخ دیگری ارسال نماید. این بسته را بسته کاوش می‌نامند که اطلاعات و وضعیت ارسال مربوط به این نرخ نگهداری می‌گردد. پس از ارسال بسته کاوش، بر اساس وضعیت ارسال مربوط به نرخ‌ها در گذشته از جمله بسته کاوش، در خصوص نرخ ارسال برای بسته‌های بعدی تصمیم‌گیری می‌شود. وضعیت ارسال در روش‌های مختلف دارای پارامترهای مختلفی مانند گذرداد، نرخ-گم‌شدگی و ... است. در روش‌های مبتنی بر ارسال بسته کاوش، با ارسال در یک نرخ، فقط اطلاعات وضعیت ارسال مربوط به آن نرخ به‌روزرسانی می‌شود. برای به‌روز نگه‌داشتن تمامی نرخ‌های موجود، باید در تمامی نرخ‌ها داده ارسال گردد. به‌عبارت‌دیگر در شبکه‌های بی‌سیم پرسرعت مبتنی بر استاندارد 802.11n که فرستنده داده‌ها را بر اساس یک MCS مشخص پیکربندی و ارسال می‌کند، نیاز است برای تمامی MCS‌ها ارسال بسته کاوش صورت گرفته تا تمامی نرخ‌ها به‌روز گردد. طبیعتاً تعداد زیاد نرخ‌ها برای ارسال داده سبب ایجاد هزینه سربار زیادی می‌گردد. در روش‌های موجود به دلیل اجتناب از ارسال در

⁵ Packet loss rate

² Probe packet

³ Modulation and Coding Scheme

⁴ Quality of Service

فاصله محافظ و پهنای کانال مطابق جدول ۱ به گروه‌های MCS تقسیم شده است.

جدول ۱- گروه‌بندی MCSها [۷]

MCS group	Rate index	Spatial stream number	Modulation & coding type	Channel width (MHz)	GI (ns)	Data rate (Mbps)
0	0	1	BPSK 1/2	20	800	6.5
	1		QPSK 1/2			13
	2		QPSK 3/4			19.5
	3		16-QAM 1/2			26
	4		16-QAM 3/4			39
	5		64-QAM 2/3			52
	6		64-QAM 3/4			58.5
	7		64-QAM 5/6			65
1	8	2	BPSK 1/2	20	800	13
	9		QPSK 1/2			26
	10		QPSK 3/4			39
	11		16-QAM 1/2			52
	12		16-QAM 3/4			78
	13		64-QAM 2/3			104
	14		64-QAM 3/4			117
	15		64-QAM 5/6			130
...
11	88	3	BPSK 1/2	40	400	45
	89		QPSK 1/2			90
	90		QPSK 3/4			135
	91		16-QAM 1/2			180
	92		16-QAM 3/4			270
	93		64-QAM 2/3			360
	94		64-QAM 3/4			405
	95		64-QAM 5/6			450

در تمامی روش‌های تطبیق نرخ ارسال ارائه شده، فرستنده داده‌ها را بر اساس یک MCS مشخص پیکربندی و ارسال می‌کند. به‌طور مثال زمانی که فرستنده داده‌ها را در MCS15 ارسال می‌کند در حقیقت داده‌ها را در دو جریان داده‌ای و با مدولاسیون 64-QAM و کدگذاری 5/6، در پهنای باند ۲۰ مگاهرتز و با فاصله بین نمادی ۸۰۰ نانوثانیه ارسال می‌کند.

۳- مروری بر کارهای مرتبط

در سال‌های اخیر الگوریتم‌های متعددی با اهداف مختلفی مانند کاهش انرژی و تأخیر و یا استفاده در شبکه‌های با مسافت زیاد [۱۳-۱۵] در زمینه تطبیق نرخ ارسال ارائه شده است اما هدف عمومی در تطبیق نرخ ارسال افزایش گذر داد شبکه‌های بی‌سیم محلی است. در سال ۲۰۱۰ پفکیاناکیس و همکارانش [۳] مشکلات تطبیق نرخ در 802.11n را بررسی کردند و متوجه رابطه غیریکنواخت بین نرخ خطای فریم و نرخ بیت در مدهای مختلف MIMO شدند. مبتنی بر همین مشاهده، روش MiRA را پیشنهاد دادند. این روش به‌صورت زیگزاگ بین مدهای مختلف

چندین روش تطبیق نرخ بررسی می‌شود. در بخش چهارم روش پیشنهادی به‌طور کامل تشریح شده و در بخش پنجم نتایج مقایسه و ارزیابی گزارش شده و تحلیل می‌شود. بالاخره بخش ششم به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها در راستای ادامه پژوهش حاضر می‌پردازد.

۲- مفاهیم پایه

یکی از اصلی‌ترین اهداف استانداردهای جدید مانند IEEE 802.11ac و IEEE 802.11n^۶، افزایش گذر داد شبکه است. گذر داد از مشخصه‌های مهم در فراهم‌آوری کیفیت خدمات محسوب می‌شود. همچنین بهبود گذر داد در شبکه تأثیر مستقیمی بر سایر مشخصه‌های کیفیت خدمات خواهد داشت. در استانداردهای مذکور این افزایش با بهبودهایی در هر دو لایه فیزیکی و کنترل دسترس به دست آمده است. در لایه فیزیکی سازوکارهایی مانند MIMO^۷، ادغام کانال و فاصله زمانی محافظ^۸ کوتاه‌تر و در لایه کنترل دسترسی سازوکارهایی چون ساختار تصدیق بلوکی^۹ و تجمیع فریم به‌منظور بهبود به کار گرفته شده است.

در استاندارد IEEE 802.11n با معرفی فناوری MIMO قابلیت ارسال و دریافت چندین جریان داده به‌صورت هم‌زمان در آنتن‌های مختلف ارائه گردید. همچنین در این استاندارد با ادغام دو کانال ۲۰ مگاهرتز و همچنین کوتاه کردن فاصله بین نمادهای حامل داده میزان گذر داد اسمی می‌تواند حداکثر تا ۶۰۰ مگابیت بر ثانیه ارتقا یابد. این تغییرات در لایه فیزیکی به دلیل وجود سربار در ارسال بسته‌ها تا اندازه‌ای توانست گذر داد و تأخیر را بهبود بخشد؛ علاوه بر این، سازوکارهایی نیز در لایه کنترل دسترسی به‌منظور کاهش میزان سربار ارائه شد. مهم‌ترین سازوکار معرفی شده تجمیع فریم بود که اقدام به تجمیع چندین فریم و ارسال آن‌ها به‌صورت یکجا می‌کند و سازوکار دیگر تصدیق بلوکی است که چندین بسته‌ی تصدیق ارسال را به‌صورت یکجا و در قالب یک بسته ارسال می‌کند.

با معرفی استاندارد 802.11n از مدولاسیون و کدگذاری‌های متنوع‌تری به‌منظور تعیین نرخ داده استفاده شد. مدولاسیون و کدگذاری و یا به عبارتی MCS به ترکیب روش‌های مدولاسیون (مانند BPSK, QPSK) و روش‌های کدگذاری (مانند 1/2 و 5/6) گفته می‌شود. در روش پیش فرض هسته لینوکس [۱۱] و روش ارائه شده در [۱۲] نرخ‌های موجود بر اساس تعداد جریان‌ها، اندازه

⁹ Back Acknowledgement

¹ Frame Aggregation

⁶ Institute of Electrical and Electronics Engineers

⁷ Multiple Input Multiple Output

⁸ Guard Interval

هنگام مساعد بودن شرایط کانال نیز در صورت داشتن سابقه مناسب در ارسال، MCS بعدی جایگزین می‌شود.

در مقاله [۱۸] به بررسی اثر نرخ گم‌شدگی بسته‌ها در عملکرد و کارایی شبکه مدرن 802.11 پرداخته شده است. در این مقاله نشان داده شده است خوشه‌بندی نرخ گم‌شدگی در کاربردهای مختلف در این شبکه‌ها از جمله تطبیق نرخ باعث افزایش کارایی شبکه می‌گردد.

در L3S [۱۹] از تعداد بسته‌های گم‌شده جهت کاهش نرخ استفاده شده است. این روش مانند روش MiRA با ارسال بسته‌های کاوش هوشمند در گروه‌های مجاور سعی در پیدا کردن و ارسال در بهترین نرخ ممکن را دارد.

گونه‌های جدید نظیر 802.11ac تعداد نرخ‌های ارسال بسیار بیشتری را پشتیبانی نموده و امکان استفاده از نرخ‌های ارسال تا چندین گیگابیت بر ثانیه را فراهم می‌سازد. بنابراین با توجه به گسترش فضای جستجو نرخ‌های ارسال، تلاش بیشتری برای تعیین نرخ ارسال بهینه لازم است. از طرف دیگر اختلاف نرخ ارسال بهینه و غیر بهینه می‌تواند آن قدر زیاد باشد که استفاده از یک نرخ ارسال غیر بهینه باعث افت شدید گذراند کلی شبکه گردد. در [۲۰] ابتدا روشی برای کاهش فضای جستجو و حذف برخی نرخ‌های ارسال باهدف تسریع همگرایی ارائه می‌نماید و سپس الگوریتم انتخاب نرخ ارسال را مبتنی بر نمونه‌برداری تامسون معرفی و کارایی آن را به کمک شبیه‌سازی ارزیابی می‌نماید. چی یو لی و همکاران در [۲۱]، روشی مبتنی بر یادگیری ماشین برای شناسایی خودکار همبستگی بین نرخ ارسال، گذراند و کیفیت لینک ارائه دادند و برای کاهش فضای جستجو از یک الگوریتم جستجوی نرخ دوسطحی و یک تشخیص‌گر ازدحام بهره می‌برد. کارمکار و همکاران در [۲۲] مسئله پیکربندی خودکار لینک در شبکه‌های 802.11ac را با لحاظ طیف متنوعی از پارامترهای لایه فیزیکی و کنترل دسترسی بررسی نموده‌اند. سپس به کمک یادگیری پویا و منطق فازی و بر اساس میزان بار شبکه و شرایط کانال روشی برای حل آن ارائه داده‌اند.

در [۲۳]، روشی برای انتخاب نرخ ارسال برای شبکه‌های بی‌سیم مش مبتنی بر استاندارد 802.11s معرفی شده است. با توجه به ارتباطات چندگانه در این شبکه‌ها، در انتخاب نرخ ارسال، میزان تصادم بسته‌ها و نیز مسئله انتخاب بهترین مسیر در نظر گرفته شده است.

MIMO حرکت می‌کند تا نرخ‌هایی را که بیشترین گذراند را دارند پیدا کند. این روش فقط از تعداد نرخ‌های محدودی پشتیبانی و استفاده می‌کند. در سال ۲۰۱۳ نیز روشی مشابه و با اندکی تغییر به نام Window-based [۱۶] ارائه شد.

روش Minstrel HT [۱۱] توسعه‌یافته روش Minstrel [۱۷] و الگوریتم پیش‌فرض موجود در اغلب درایورهای بی‌سیم منبع-باز 802.11n از جمله ath9k است. این روش تمامی نرخ‌ها را تا زمان رسیدن به بهترین نرخ به صورت کاملاً تصادفی کاوش می‌کند. در ابتدای کار تعدادی از MCSها به صورت تصادفی در یک جدول قرار داده شده و کاوش موفق برای هر MCS صورت می‌گیرد. بر اساس اطلاعات وضعیت ارسال در جدول نمونه‌ها، برای هر بسته جهت ارسال، چهار نرخ ارسال مشخص می‌شود و زمانی که نرخ بعد از چند ارسال ناموفق باشد، نرخ بعدی بررسی می‌شود. اولین نرخ مربوط به پیکربندی است که بالاترین میزان گذراند را داشته باشد. دومین انتخاب نرخ با دومین گذراند است. سومین گزینه مربوط به نرخ با بالاترین احتمال ارسال موفق بوده و در آخر داده با نرخ پایه ارسال می‌شود. این سازوکار، زنجیره تکرار نامیده می‌شود. در هر بازه‌ی زمانی بهترین نرخ در هر گروه مشخص می‌شود. برخلاف روش Minstrel که ارسال بسته نرخ کاوش به صورت کاملاً تصادفی انتخاب می‌شد، در این روش بسته‌های کاوش این گونه ارسال می‌شود که ابتدا یک نرخ در گروه یک کاوش می‌شود و سپس گروه دو و ...؛ اما ترتیب انتخاب نرخ داخل هر گروه تصادفی است. در این روش هر ۵۰ میلی‌ثانیه آمار تمامی نرخ‌ها به‌روز می‌شود.

روش CRA [۱۲] مانند Minstrel HT اقدام به ارسال بسته کاوش در نرخ‌های دیگر می‌کند با این تفاوت که کاوش در بین نرخ‌های با گذراند بالاتر از نرخ ارسال فعلی صورت می‌گیرد. در CRA هر نرخ که در گذشته آمار ارسال موفق بالاتری را داشته باشد از احتمال بالاتری برای ارسال بسته کاوش نیز برخوردار است. مکانیسم روش CRA به این شکل است که یک نرخ جهت ارسال بسته کاوش انتخاب می‌شود، اگر آمار ارسال موفق آن نرخ در بازه‌های زمانی قبلی بالای ۵۰ درصد باشد بسته کاوش در آن نرخ ارسال می‌شود و اگر بین ۱۰ الی ۵۰ درصد باشد آنگاه با احتمال ۵۰ درصد بسته کاوش در آن نرخ ارسال شده و در غیر این صورت با احتمال ۱۰ درصد ارسال می‌شود. روش CRA همچنین برای مواجهه با تغییرات زودگذر کانال از سازوکار تغییر نرخ ارسال قبل از رسیدن به زمان به‌روزرسانی استفاده کرده است. در این حالت اگر نرخ دچار مشکل گردد آنگاه MCS پایین‌تر آن تا رسیدن به انتهای بازه زمانی انتخاب می‌شود و در

۴- الگوریتم روش پیشنهادی

ابتدا باید دسته‌بندی MCSها صورت گیرد. همان‌طور که در الگوریتم ۱ نشان داده شده است در بخش پیش‌پردازش و گام اول نرخ گمشدگی بسته برای هر MCS محاسبه می‌گردد. برای این منظور باید برای هر MCS به مدت‌زمان مشخصی داده ارسال گردد تا بر اساس آن نرخ گمشدگی محاسبه گردد. این عمل برای تمامی MCSها باید صورت پذیرد. در گام دوم الگوریتم، MCSها بر اساس نرخ گمشدگی بسته دسته‌بندی می‌گردند. هر دسته شامل MCSهایی است که فاصله بین نرخ گمشدگی اعضای متعلق به آن دسته کم است. با تعیین دسته‌ها و به دنبال آن انتخاب فاصله مجاز نرخ گمشدگی، MCSها دسته‌بندی می‌گردند. منظور از فاصله مجاز این است که هر دسته یک مرکز دارد و MCSهایی که فاصله آنها از این مرکز کمتر از مقدار مشخصی است در آن دسته قرار می‌گیرند.

سپس روش اصلی تطبیق نرخ ارسال آغاز می‌گردد. در بازه‌های زمانی مشخص نرخ ارسال برحسب شرایط کانال انتخاب می‌گردد. همان‌طور که در الگوریتم ۱ نشان داده شده است، مطابق با گام ۳ در شروع هر بازه زمانی برای هر دسته متوسط نرخ گمشدگی محاسبه می‌گردد (aprolldi). در خلال ارسال داده‌ها مطابق باسیاست روش اصلی (مثلاً زنجیره تکرار در Minstrel HT) ممکن است چندین بار بسته کاوش ارسال گردد. در هر بار ارسال بسته کاوش در یک نرخ مشخص، وضعیت ارسال در آن نرخ به‌روز می‌گردد (گام ۴). در انتهای بازه زمانی و قبل از انتخاب نرخ ارسال جدید، اطلاعات وضعیت ارسال برای تمامی نرخ‌ها به‌روز می‌شود (گام ۵). بدین منظور و مطابق با a تا c در الگوریتم ۱ برای هر دسته i میانگین نرخ گمشدگی جدید محاسبه شده

الگوریتم ۱- الگوریتم روش پیشنهادی

<p>ا) پیش‌پردازش</p> <p>گام ۱) محاسبه نرخ گمشدگی بسته، plr، برای ارسال‌ها در هر MCS</p> <p>گام ۲) دسته‌بندی MCS بر اساس plr در دسته‌های C₁...C_k</p> <p>تکرار انتخاب نرخ ارسال در بازه‌های زمانی مشخص</p> <p>گام ۳) برای دسته نام، C_i، در C₁...C_k دستورات زیر را تکرار کن</p> <p>محاسبه متوسط plr برای C_i در arolldi</p> <p>...</p> <p>گام ۴- در هر بازه زمانی چندین بار بسته کاوش ارسال می‌گردد</p> <p>ارسال بسته کاوش بر اساس MCS_x</p> <p>به‌روزرسانی اطلاعات وضعیت نرخ ارسال از جمله plr مربوط به MCS_x</p> <p>...</p> <p>گام ۵) برای دسته نام، C_i، در C₁...C_k دستورات زیر را تکرار کن</p>
--

- (a) محاسبه متوسط plr برای C_i در aplrnew
- (b) محاسبه delta= aplrnew- aplrldi
- (c) به‌روزرسانی plr همه MCSها در C_i به جز MCS_x با مقدار delta
- ...

(aplrnew) و به‌روزرسانی نرخ گمشدگی برای هر MCS در آن دسته (به جز MCS_x) با تفاضل میانگین دسته قبل و بعد از ارسال بسته‌های کاوش (delta) انجام می‌شود. این امر سبب می‌گردد که شیب تغییرات نرخ گمشدگی در دسته‌ها ملایم باشد و میزان تغییرات در نرخ‌هایی که بسته در آنها ارسال می‌شود نسبت به بقیه نرخ‌ها بیش‌تر است.

۴-۱ معیار دسته‌بندی

همان‌طور که در بخش‌های قبلی ذکر گردید یکی از اصلی‌ترین اهداف استانداردهای جدید مانند IEEE 802.11n افزایش گذر داد شبکه است. گذر داد از مشخصه‌های مهم در فرآهم‌آوری کیفیت خدمات محسوب می‌شود. بنابراین شاخص گذر داد اثربخشی قابل‌ملاحظه‌ای در انتخاب معیار دسته‌بندی خواهد داشت.

در روش‌های حلقه باز مبتنی بر روش Minstrel HT، برای محاسبه گذر داد از فرمول (۱) استفاده می‌شود [۱۱]:

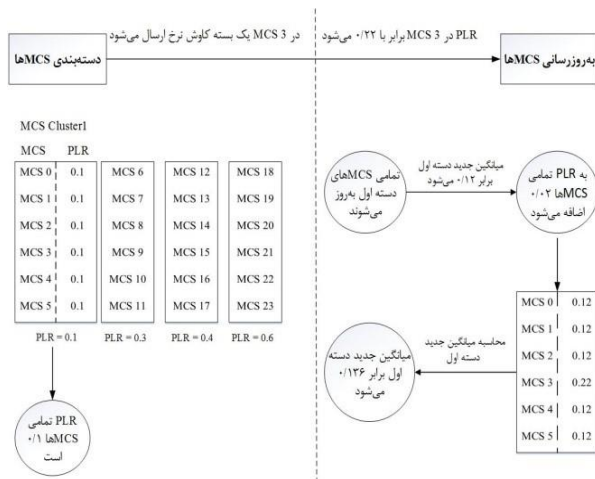
$$Throughput = P_{success} \times \frac{1}{T} \quad (1)$$

که $P_{success}$ نشان‌دهنده میزان موفقیت ارسال هر نرخ در بازه‌های قبلی و T مدت زمان ارسال است که بر اساس فرمول (۲) محاسبه می‌شود:

$$T = T_{normal} + \frac{overhead}{AVG_{AMPDU}} \quad (2)$$

که مقدار T_{normal} نشان‌دهنده زمان معمولی ارسال یک بسته در آن نرخ است و میزان $overhead$ برابر با میزان سربار ناشی از ارسال و اندازه AVG_{AMPDU} برابر با اندازه میزان تجمیع فریم است. در روش مدنظر هنگامی که گذر داد یک نرخ تغییر می‌کند آنگاه اندازه گذر داد بقیه نرخ‌ها نیز تغییر پیدا می‌کنند. با بالا و پایین بردن اندازه گذر داد در سایر نرخ‌های دسته در هنگام به‌روزرسانی، دیگر فرمول ۱ صحیح نیست چراکه با افزایش و کاهش گذر داد در نرخ‌های دیگر فقط مقدار گذر داد افزایش پیدا کرده و درعین حال

بهبود کارایی سازوکارهای کنترل نرخ مبتنی بر کاهش به کمک دسته بندی: ارزیابی بر روی بستر آزمایشی شبکه‌های بی‌سیم محلی پرسرعت



شکل ۱- مثالی از روش پیشنهادی

۵- ارزیابی روش پیشنهادی

به منظور ارزیابی کارایی، روش پیشنهادی با استفاده از مجموعه Backports در هسته لینوکس پیاده‌سازی شده است. تمامی آزمایش‌ها در بستر آزمایشی و با شرایط واقعی انجام شده‌اند. بستر مذکور [۲۴] در آزمایشگاه پژوهشی شبکه در دانشگاه بوعلی سینا راه‌اندازی شده است.

از آنجاکه پیاده‌سازی روش پیشنهادی نیازمند تغییر برخی توابع در لایه کنترل دسترسی است، لزوماً بایستی از یک درایور منبع-باز استفاده شود. به همین دلیل، مجموعه Backports را در یک ایستگاه مجهز به سیستم عامل لینوکس نصب نموده و کارت شبکه حاوی تراشه بی‌سیم Atheros AR9580 به همراه درایور متن‌باز ath9k را به آن اضافه نمودیم. این تراشه و درایور مربوط به آن در پژوهش‌های مرتبط با ارزیابی کارایی مکانیسم کنترل دسترسی در شبکه‌های بی‌سیم محلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شایان ذکر است که از آنجاکه الگوریتم انتخاب بهترین نرخ ارسال بسته در پیمانۀ mac80211 اجرا می‌شود، کارت‌های شبکه که محصول سازندگان متفاوت هستند، مادامی‌که از این استاندارد پشتیبانی نمایند، تفاوتی در نتایج آزمایش‌ها ایجاد نمی‌شود.

عملکرد روش‌های Minstrel HT و CRA بدون دسته‌بندی نرخ ارسال در [۲۵] باهم مقایسه نموده‌ایم. استفاده از دسته‌بندی MCS‌ها امکان به‌روزرسانی اطلاعات نرخ‌های ارسال را با سربار کمتر و با سرعت همگرایی بیشتر فراهم می‌سازد. بنابراین برای ارزیابی عملکرد آن بایستی میزان تأثیر آن بر یک مکانیسم کنترل نرخ موجود سنجیده شود. به همین منظور در مقاله عملکرد Minstrel HT (به اختصار MHT) با نسخه تغییر یافته آن بر اساس روش پیشنهادی (Cluster-MHT) مقایسه شده است. یادآوری می‌گردد که هدف از انجام آزمایش‌ها، مقایسه CRA و Minstrel HT نیست بلکه نسخه اصلاح شده هر کدام

مقادیر $P_{success}$ و T که اجزای تشکیل‌دهنده آن هستند بدون تغییر مانده‌اند. بنابراین باید معیار دسته‌بندی یک معیار مستقل بوده تا به‌روزرسانی بر اساس آن معیار و بدون آسیب رساندن به معیارهای دیگر صورت پذیرد.

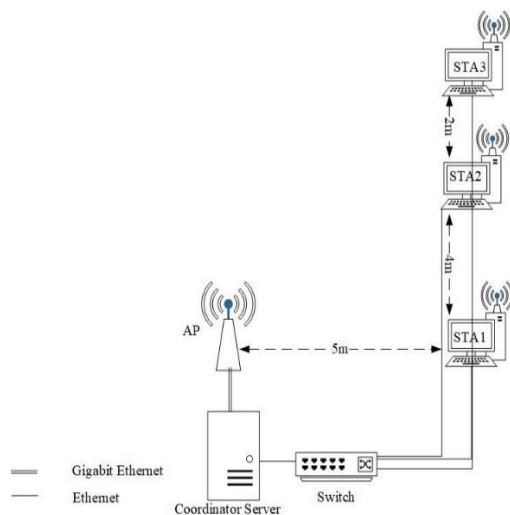
در فرمول ۱ مقدار $P_{success}$ مقداری مستقل و غیرقابل تجزیه است چراکه این مقدار به صورت کاملاً مستقل از متغیرهای دیگر کیفیت خدمات سرویس و فقط بر اساس میزان موفقیت ارسال بسته‌ها به دست می‌آید. از این رو معیار نرخ گمشدگی بسته معیار مناسبی خواهد بود.

۴_۲ یک مثال

از آنجاکه مطابق استاندارد و آزمایش‌های صورت گرفته، مقدار فاصله اطمینان تأخیری در میزان اندازه‌گم‌شدگی بسته ندارد، بنابراین مقدار گم‌شدگی بسته‌ها در نرخ‌های گروه ۰ تا ۵ برابر با میزان گم‌شدگی نرخ‌های گروه ۶ تا ۱۱ است. با فرض انجام آزمایش در باند فرکانسی ۲۰ مگاهرتز، میزان گم‌شدگی بیست و چهار MCS اول در جدول ۱ نشان داده شده است.

روند به‌روزرسانی بر اساس شکل ۱ است. در این روش به ازای تفاوت ایجاد شده در میانگین هر دسته، میزان موفقیت نرخ‌های آن دسته نیز تغییر می‌کنند. در این روش با تغییر گم‌شدگی بسته در یک نرخ میزان میانگین گم‌شدگی آن دسته تغییر می‌کند. در روش ارائه‌شده این تفاوت بر تمامی نرخ‌های موجود در آن دسته اعمال شده و پس از آن میانگین مجدد محاسبه می‌شود.

مطابق شکل ۱ در هر دسته شش MCS قرار دارد. میانگین PLR تمامی MCS‌های مربوط به دسته اول برابر ۰/۱ است. زمانی که مقدار گم‌شدگی بسته ۳ MCS تغییر کند و به اندازه ۰/۱۲ افزایش یابد، آنگاه میانگین جدید نسبت به میانگین قبلی ۰/۰۲ افزایش پیدا می‌کند. این میزان ۰/۰۲ به تمامی نرخ‌های دیگر داخل دسته اضافه‌شده و میانگین جدید بر اساس PLR‌های جدید محاسبه می‌گردد که در این مثال اندازه میانگین برابر با ۰/۱۳۶ می‌شود.



شکل ۲- توپولوژی بستر آزمایش واقعی

جدول ۲- مشخصات نقطه دسترسی مورد استفاده در آزمایش

IEEE 802.11 a/b/g/n	استاندارد قابل پشتیبانی
149 (5745 MHz) – IR regulatory	شماره کانال
HT20	عرض کانال
Atheros AR9580	تراشه بی‌سیم
ath9k	درایور
3×3:3	فناوری MIMO

به صورت مجزا با نسخه اصلی آن مکانیسم مقایسه می‌شود تا تأثیر روش پیشنهادی ارزیابی شود.

مطابق توپولوژی مدنظر در شکل ۲، شبکه و ارتباط‌های موردنیاز در ارزیابی کارایی همانند [۲۴] پیکربندی شده‌اند. علاوه بر شبکه بی‌سیم محلی، نقطه دسترسی^۱ و تمامی ایستگاه‌ها از طریق یک شبکه اترنت به هماهنگ‌کننده متصل شده‌اند. آماده‌سازی، جمع‌آوری اطلاعات و تمامی فرآیند مدیریت و کنترل آزمایش فقط از طریق شبکه اترنت انجام خواهد گرفت. با این عمل، تنها ترافیک مورد بررسی از شبکه بی‌سیم عبور کرده و سایر ارتباطات باعث تغییر در شرایط آزمایش نخواهند شد. برای کاهش اختلال از باند فرکانسی ۵ گیگاهرتز استفاده شده و آزمایش‌ها در ساعات نیمه‌شب اجرا شده‌اند [۳]. مشخصات نقطه دسترسی مورد استفاده در مرحله ارزیابی در جدول ۲ آمده است.

مدت‌زمان هر آزمایش ۱۲۰ ثانیه بوده و ۱۰ بار نیز تکرار شده است. پس از انجام آزمایش‌ها، نتایج به‌دست‌آمده با بازه اطمینان ۹۵٪ محاسبه شده‌اند. در شکل ۳ میزان گم‌شدگی بسته در ۳ ایستگاه مدنظر در شکل ۲ نشان داده شده است. هر ایستگاه در تغییر میزان گم‌شدگی بسته روند خاص خود را دارد. ایستگاه STA1 شرایط نسبتاً مطلوبی دارد؛ چراکه میزان گم‌شدگی بسته در اغلب MCS‌های آن میزان قابل قبولی است. ایستگاه STA2 از دو ایستگاه دیگر وضع مطلوب‌تری دارد و در آخر ایستگاه سوم دارای مقدار گم‌شدگی بسته زیاد در MCS‌های بالاتر است.

با توجه به میزان گم‌شدگی بسته‌ها در هر لینک اقدام به دسته‌بندی MCS‌ها شده است. میزان فاصله‌ی مجاز برای قرارگیری در یک دسته ۰/۱ در نظر گرفته شده است. نتایج ارزیابی دسته‌بندی نرخ‌ها بر اساس میزان گم‌شدگی بسته‌ها در شکل ۴ نشان داده شده است.

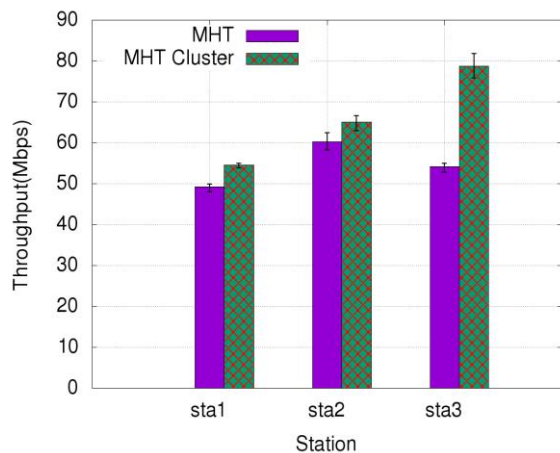
¹ Coordinator

²

¹ Access Point

¹

بهبود کارایی سازوکارهای کنترل نرخ مبتنی بر کاوش به کمک دسته بندی: ارزیابی بر روی بستر آزمایشی شبکه های بی سیم محلی پرسرعت

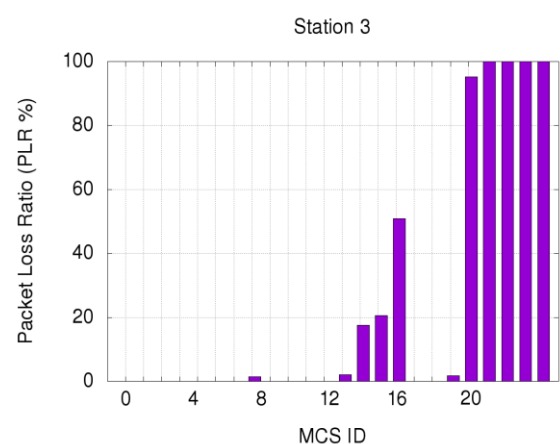
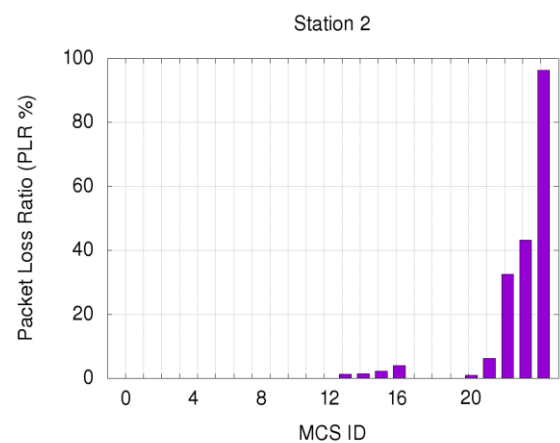
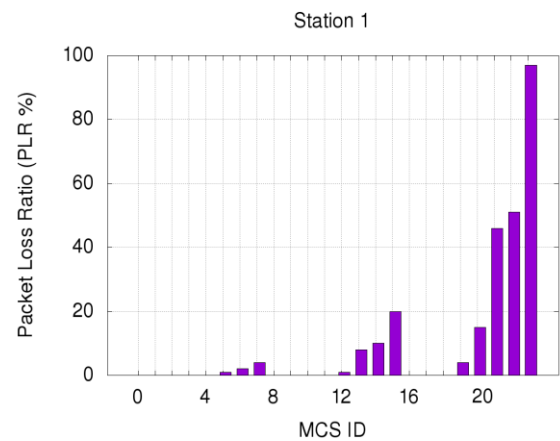


شکل ۴- گذرداد سناریو دسته بندی Minstrel HT بر اساس نرخ گم شدگی

در روش پیشنهادی به دلیل به روزرسانی همزمان اطلاعات آماری همه MCS های یک دسته، مشابه با ارسال یک بسته در یکی از MCS های آن دسته به روز می شوند لذا نسبت به شرایط و تغییرات کانال حساس تر و دقیق تر عمل می کند. در روش های حلقه-باز چون بازخوردی از سمت مقابل دریافت نمی گردد؛ لذا باید فرستنده تخمین بروزتری از شرایط کانال داشته باشد. بر همین اساس، نسخه اصلاح شده Minstrel HT، در هر مرحله MCS مناسبتری برای ارسال بسته داده انتخاب می کند که در نهایت منجر به افزایش گذرداد شبکه می شود.

به منظور بررسی تأثیر روش دسته بندی MCS ها بر عملکرد مکانیسم های دیگر، ابتدا روش تطبیق نرخ CRA را در هسته لینوکس پیاده سازی نمودیم و سپس روش دسته بندی پیشنهادی مشابه Minstrel HT را بر روی آن اعمال نمودیم. نتایج حاصل از دسته بندی در روش CRA در شکل ۵ قابل مشاهده است. شکل ۵ نشان می دهد که ترکیب روش دسته بندی ارائه شده با مکانیسم CRA برخلاف Minstrel HT کارایی مناسبی ندارد. برای بررسی بیشتر موضوع، ابتدا تعداد ارسال های موفق و ناموفق را در هر دو روش CRA و Minstrel HT با فعال سازی امکان دسته بندی پیشنهادی بررسی می کنیم.

نمودار پایینی شکل ۶ نتایج حاصل از روش دسته بندی CRA و نمودار بالایی شکل ۶ نتایج مربوط به روش دسته بندی Minstrel HT را نشان می دهد. تعداد ارسال های ناموفق در روش CRA که بخش عمده ای از آن را بسته های کاوش شامل می شود، بسیار زیاد است. علت این امر ماهیت ذاتی روش CRA است؛ چراکه بسته های کاوش را در نرخ های بالاتر ارسال می کند. زمانی که در یک دسته MCS، یک بسته کاوش با موفقیت ارسال می شود، میانگین موفقیت تمامی نرخ ها را افزایش می دهد.



شکل ۳- روند تغییر PLR در MCS های ایستگاه های مختلف

با توجه به نتایج آزمایش می توان دریافت که روش پیشنهادی میانگین گذرداد بالاتری نسبت به روش Minstrel HT به دست آورده است که نتایج این آزمایش ها در شکل ۴ قابل مشاهده هست. به طور مثال روش پیشنهادی در ایستگاه اول تا سوم به ترتیب باعث افزایش ۸، ۱۰ و ۴۳ درصدی گذرداد شده است. نتایج مشخص کننده این حقیقت است که در روش Minstrel HT بسیاری از نرخ ها مطابق شرایط کانال به روز نیستند و باعث انتخاب نرخ نامناسب می شوند؛ لذا روش پیشنهادی با به روزرسانی مداوم تمامی نرخ ها موجب انتخاب نرخ مناسب می شود.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله ابتدا به بررسی روش‌های حلقه باز و سازوکار انتخاب نرخ جهت ارسال پرداخته شد. در استانداردهای شبکه‌های پرسرعت جدید تعداد نرخ ارسال افزایش پیدا کرده است و از طرفی در روش‌های حلقه باز مبتنی بر تاریخچه ارسال، داشتن آمار تمامی نرخ‌ها امری ضروری است. به‌روزرسانی کامل آمار نرخ‌ها یا با ارسال داده در تمامی نرخ‌ها و یا کوچک کردن فضای حالت امکان‌پذیر است. به‌منظور کاهش فضای حالت جهت به‌روزرسانی آمار تمامی نرخ‌ها، روش دسته‌بندی MCSها بر اساس معیارهای مختلف بررسی شد که معیار گم‌شدگی بسته، معیار مناسبی جهت دسته‌بندی نرخ‌ها ارائه داد.

در ادامه و برای بررسی عملکرد روش دسته‌بندی، الگوریتم CRA بر روی هسته لینوکس پیاده‌سازی و سپس دسته‌بندی بر روی آن انجام گرفت. روش دسته‌بندی پیشنهادی بر روی روش Minstrel HT تا حد اکثر ۴۳ درصد بهبود در گذر داد نسبت به روش بدون دسته‌بندی ارائه داده است. دسته‌بندی نرخ‌ها بر روی الگوریتم CRA موجب کاهش بسیار کارایی در روش CRA شد که این کاهش پس از بررسی نشان‌دهنده سازگاری بین روش پیشنهادی در دسته‌بندی و عملکرد روش CRA بود.

در ادامه قصد داریم روشی کارآمد برای زمان‌بندی ارسال بسته‌های کاوش و ترتیب نرخ‌های ارسال مورد استفاده برای ارسال این بسته‌ها را ارائه دهیم و تأثیر آن بر پارامترهای کارایی شبکه نظیر گذر داد و تأخیر انتها به انتها را بر روی بسته ارائه شده بررسی نماییم.

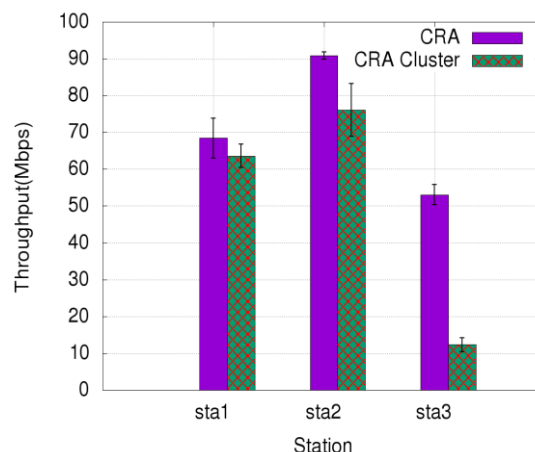
مراجع

[۱] L. Deek, E. Garcia-Villegas, E. Belding, S.-J. Lee, and K. Almeroth, "A practical framework for 802.11 MIMO rate adaptation," *Computer Networks*, vol. 83, pp. 332-348, 2015.

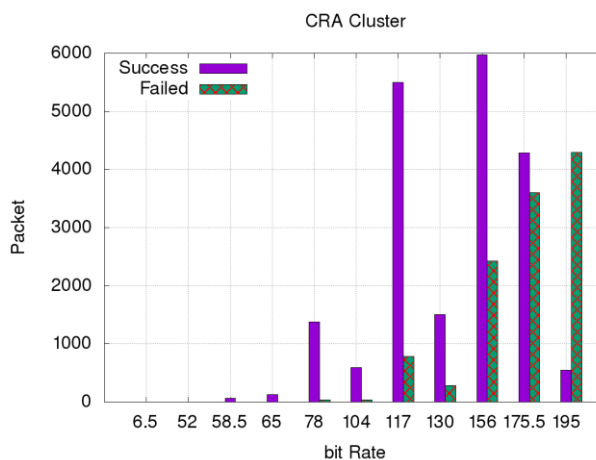
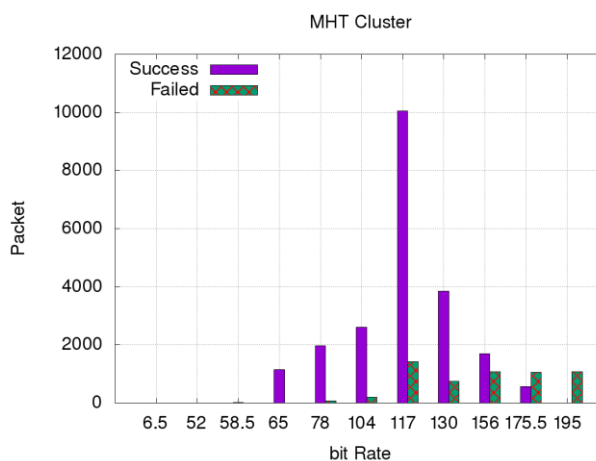
[۲] L. Kriara and M. K. Marina, "SampleLite: A hybrid approach to 802.11 n link adaptation," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 45, no. 2, pp. 4-13, 2015.

[۳] I. Pefkianakis, Y. Hu, S. H. Wong, H. Yang, and S. Lu, "MIMO rate adaptation in 802.11 n wireless networks," in *Proceedings of the sixteenth annual international conference on Mobile computing and networking*, 2010: ACM, pp. 257-268.

[۴] R. Karmakar, S. Chattopadhyay, and S. Chakraborty, "Dynamic link adaptation for high throughput wireless access networks," in *2015 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS)*, 2015: IEEE, pp. 1-6.



شکل ۵- گذر داد سناریو دسته‌بندی CRA بر اساس نرخ گم‌شدگی حال این افزایش ممکن است موجب انتخاب اشتباه نرخ‌های با گذر داد بالا شود. ماهیت روش CRA در کاهش محتاطانه نرخ ارسال این امر را شدت می‌بخشد و در نهایت باعث ارسال بسته‌های ناموفق متعددی در نرخ‌های با گذر داد بالا می‌گردد.



شکل ۶- مقایسه تعداد ارسال‌های موفق و ناموفق در دسته‌بندی‌های مبتنی بر MHT و CRA

- [۱۷] D. Smithies and F. Fietkau, "Minstrel rate control algorithm," *Online. Disponvel em <http://linuxwireless.org/en/developers/Documentation/mac80211/RateControl/minstrel>*. *Ultimo acesso em*, vol. 16, no. 11, p. 2009, 2005.
- [۱۸] R. K. Sheshadri and D. Koutsonikolas, "On packet loss rates in modern 802.11 networks," in *IEEE INFOCOM 2017-IEEE Conference on Computer Communications*, 2017: IEEE, pp. 1-9.
- [۱۹] A. B. Makhlof and M. Hamdi, "Practical rate adaptation for very high throughput wlangs," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 12, no. 2, pp. 908-916, 2013.
- [۲۰] H. Qi, Z. Hu, X. Wen, and Z. Lu, "Rate adaptation with Thompson sampling in 802.11 ac WLAN," *IEEE Communications Letters*, vol. 23, no. 10, pp. 1888-1892, 2019.
- [۲۱] C.-Y. Li, S.-C. Chen, C.-T. Kuo, and C.-H. Chiu, "Practical Machine Learning-based Rate Adaptation Solution for Wi-Fi NICs: IEEE 802.11 ac as a Case Study," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2020.
- [۲۲] R. Karmakar, S. Chattopadhyay, and S. Chakraborty, "An online learning approach for auto link-Configuration in IEEE 802.11 ac wireless networks," *Computer Networks*, vol. 181, p. 107426, 2020.
- [۲۳] T. Y. A. Munandar, R. Adriman, and R. Munadi, "CARA-OHT: Collision-Aware Rate Adaptation for Optimal High-Throughput in IEEE 802.11 s Wireless Mesh Networks," *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, vol. 14, no. 13, 2020.
- [۲۴] م.ح. داعی، م. نصیری و س.و. ازهری، "ارائه و پیاده‌سازی یک ساختار منعطف در بستر واقعی جهت ارزیابی روش‌های بهبود QoS در شبکه‌های بی‌سیم". هشتمین کنفرانس بین‌المللی فناوری اطلاعات و دانش، همدان، دانشگاه بوعلی سینا، (۱۳۹۵).
- [۲۵] ع. قالی‌باف، م.ح. داعی و م. نصیری، "پیاده‌سازی و ارزیابی کارایی روش‌های کنترل نرخ ارسال در شبکه‌های بی‌سیم پرسرعت در یک بستر واقعی". دومین کنفرانس ملی محاسبات نرم، گیلان، دانشگاه گیلان، (۱۳۹۶).
- [۵] H. Munazar and T. Y. Arif, "AARF-HT: Adaptive auto rate fallback for high-throughput IEEE 802.11 n WLANs," *International Journal of Communication Networks and Information Security*, vol. 10, no. 1, pp. 170-179, 2018.
- [۶] F. A. Setia, T. Y. Arif, and R. Munadi, "Collision-aware rate adaptation algorithm for high-throughput IEEE 802.11 n WLANs," in *2018 6th International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT)*, 2018: IEEE, pp. 12-17.
- [۷] T. Y. Arif and R. Munadi, "Evaluation of the Minstrel-HT Rate Adaptation Algorithm in IEEE 802.11 n WLANs," *International Journal of Simulation--Systems, Science & Technology*, vol. 18, no. 1, 2017.
- [۸] R. Albar, T. Y. Arif, and R. Munadi, "Modified Rate Control for Collision-Aware in Minstrel-HT Rate Adaptation Algorithm," in *2018 International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICELTICs)*, 2018: IEEE, pp. 7-12.
- [۹] D. Nguyen and J. Garcia-Luna-Aceves, "A practical approach to rate adaptation for multi-antenna systems," in *Network Protocols (ICNP), 2011 19th IEEE International Conference on*, 2011: IEEE, pp. 331-340.
- [۱۰] B. Radunovic, A. Proutiere, D. Gunawardena, and P. Key, "Dynamic channel, rate selection and scheduling for white spaces," in *Proceedings of the Seventh Conference on emerging Networking EXperiments and Technologies*, 2011, pp. 1-12.
- [۱۱] F. Fietkau and D. Smithies, "minstrel ht: New rate control module for 802.11 n," ed, 2010.
- [۱۲] S. Seytnazarov and Y.-T. Kim, "Cognitive rate adaptation for high throughput IEEE 802.11 n WLANs," in *Network Operations and Management Symposium (APNOMS), 2013 15th Asia-Pacific*, 2013: IEEE, pp. 1-6.
- [۱۳] C.-Y. Li, C. Peng, S. Lu, and X. Wang, "Energy-based rate adaptation for 802.11 n," in *Proceedings of the 18th annual international conference on Mobile computing and networking*, 2012, pp. 341-352.
- [۱۴] C.-Y. Li, C. Peng, S. Lu, X. Wang, and R. Chandra, "Latency-aware rate adaptation in 802.11 n home networks," in *2015 IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM)*, 2015: IEEE, pp. 1293-1301.
- [۱۵] Z. Zhao, F. Zhang, S. Guo, X.-Y. Li, and J. Han, "RainbowRate: MIMO rate adaptation in 802.11 n WiLD links," in *2014 IEEE 33rd International Performance Computing and Communications Conference (IPCCC)*, 2014: IEEE, pp. 1-8.
- [۱۶] I. Pefkianakis, Y. Hu, S.-B. Lee, C. Peng, S. Sakellaridi, and S. Lu, "Window-based rate adaptation in 802.11 n wireless networks," *Mobile Networks and Applications*, vol. 18, no. 1, pp. 156-169, 2013.

Improving performance of probe-based rate control mechanisms using classification: evaluation on an experimental testbed for High Throughput WLANs

Abstract:

MIMO technology offers a wide range of transmission rates for modern wireless LANs. In order to improve the performance of the rate control module, statistical information on the history of state and usage of each transmission rate is maintained at the MAC layer to help determine the rate at which future packets are sent. However, the great diversity of transmission rates in the 802.11n and 802.11ac standards imposes an overhead for updating this information. In this article, to reduce the state space of transmission rates while keeping statistics approximately up to date for each rate, a method for clustering rates is presented so that when sending a packet over a transmission rate, statistical information relating to all the rates belonging to the same cluster is updated. As a result, statistics for a greater number of rates can be updated even when sending a fewer number of packets. We implemented our proposed mechanism in the Linux kernel environment and evaluated its performance under different conditions on an experimental testbed deployed in our research laboratory. The results show that the proposed method outperforms the de-facto Minstrel-HT rate control mechanism in terms of throughput and number of successful transmissions.

Keywords: Rate adaptation, High-Throughput Wireless LAN, Real Testbed, Classification, Minstrel HT, CRA.

الگوریتم ژنتیک آگاه از بهترین عضو با کاربرد در رنگ آمیزی و

بعدمتریک گراف

محمود امین طوسی* هاشم عزتی**

* استادیار، دانشکده ریاضی و علوم کامپیوتر، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار.

** دانشجوی دکتری، دانشکده ریاضی و علوم کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۸/۳

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

الگوریتم ژنتیک از معروف ترین روش های حل مسائل بهینه سازی ترکیبیاتی است که کاربردهای متعددی در حوزه های گوناگونی همچون برق، کامپیوتر و ریاضی داشته و دارد. نسل بعد در این الگوریتم با انتخاب اعضای جمعیت بر اساس میزان برازندگی آنها صورت می پذیرد. ارتباط اعضا از طریق عملگر ترکیب می باشد و برخی از بهترین اعضا مستقیماً به نسل بعد منتقل می شوند. به صورت معمول اعضای ضعیف جمعیت نیز امکان مشارکت در ایجاد نسل بعد را دارند و حذف نمی شوند. در این مقاله، عملگرهای تولید فرزند، از بهترین عضو نسل جاری آگاه هستند و تنها فرزندان مرتبط با بهترین عضو، تولید شده و در نسل بعد قرار می گیرند. شیوه ی پیشنهادی در دو کاربرد رنگ آمیزی و بعدمتریک گراف با روش معمول الگوریتم ژنتیک مورد مقایسه قرار گرفته و برتری آن در حالت متوسط هم از نظر کیفیت و هم سرعت اجرا نسبت به الگوریتم ژنتیک مرسوم، نشان داده شده است.

واژگان کلیدی: الگوریتم ژنتیک، الگوریتم های فراابتکاری، بعدمتریک گراف، رنگ آمیزی گراف

۱- مقدمه

رسیدن به حداکثر تعداد تکرار از پیش تعیین شده، عدم بهبود جواب در چند تکرار پیاپی و رسیدن به جواب از جمله مرسوم ترین شروط توقف الگوریتم های تکراری می باشند.

در برخی مسائل همچون مسئله چند وزیر^۲ مقدار تابع هدف در نقطه جواب (بهینه ی سراسری) مشخص است، اما در مسائلی همچون رنگ آمیزی گراف (حالت کلی)، مقدار جواب بهینه سراسری مشخص نیست و تعامل اعضای جمعیت در جهت بهتر شدن جواب هاست. در همه ی این روش های هوش جمعی، در جمعیت جواب های ممکن، پاسخ های نامناسب نیز در بین اعضا هستند. در این الگوریتم ها پاسخ های با کیفیت کم حذف نمی شوند اما شانس کمتری برای حضور در ادامه الگوریتم دارند. ایده اصلی این نوشتار حذف جواب های بدتر از بهترین پاسخ

مسائل بسیاری در حوزه های گوناگون وجود دارند که از دسته مسائل ان پی-سخت^۱ می باشند و الگوریتم های فراابتکاری عموماً جواب های مناسبی در زمان های معقولی برای آنها بدست می دهند. دسته هایی از الگوریتم های فراابتکاری همچون الگوریتم ژنتیک، ازدحام ذرات، خفاش، کرم شب تاب، قورباغه و زنبور عسل جزو رده ی هوش جمعی محسوب می شوند که از طریق تعامل با اعضا، در پی یافتن جواب بهینه ی سراسری هستند. در همه این الگوریتم ها، جواب های بهتر، شانس بیشتری برای حضور در تکرارهای بعدی یا تولید نسل بعد دارند. شرط پایان الگوریتم نیز در تمام این شیوه ها مشابه هم می باشد،

نویسنده مسئول: محمود امین طوسی m.amintoosi@hsu.ac.ir

^۱NP-hard

^۲N-Queen Problem

با اعضای جدید ثمربخش، در عملگرهای الگوریتم ژنتیک است. شیوهی پیشنهادی قابل استفاده در آن دسته از مسائل بهینه‌سازی است که نسخه‌ی تصمیم^۹ آنها موجود است. در اثبات NP-کامل بودن^{۱۰} یک مسئله، نسخه تصمیم آن ملاک قرار می‌گیرد. نسخه تصمیم مسائل مشهوری همچون مسئله یکرختی گراف^{۱۱} و مسائل رنگ‌آمیزی و بعد متریک گراف^{۱۲} در این رده قرار می‌گیرند. به لحاظ آنکه در ادامه مقاله با این دو مسئله سروکار داریم، مرور مختصری بر آنها خواهیم داشت.

۱-۱- مسئله رنگ‌آمیزی گراف

فرض کنید گراف $G = (V, E)$ داده شده باشد، تعداد کمترین رنگی که بتوان با آن رئوس گراف G را رنگ‌آمیزی کرد به گونه ای هیچ دو رأس مجزای مجاور از گراف G دارای رنگ مشابه نباشند را عدد رنگی گراف G می‌گوییم [۱۵].

مسئله k -رنگ‌آمیزی گراف مفروضات: گراف بدون جهت $G = (V, E)$. هدف: یافتن تابع $c: V \rightarrow \{1, 2, \dots, k\}$ به نحوی که: $c(u) \neq c(v), \forall (u, v) \in E$ [۱۶].

مسئله بهینه‌سازی رنگ‌آمیزی گراف مفروضات: گراف بدون جهت $G = (V, E)$. هدف: یافتن کمینه مقدار k به نحوی که گراف G ، k -رنگ‌پذیر باشد.

مسئله تصمیم رنگ‌آمیزی گراف مفروضات: گراف بدون جهت $G = (V, E)$ و عدد k . هدف: آیا گراف G ، k -رنگ‌پذیر است؟

در مسائلی که در این نوشتار مورد بررسی قرار خواهد گرفت، از جواب‌های نسخه تصمیم مسئله در حل نسخه بهینه‌سازی کمک گرفته خواهد شد. مسائل رنگ‌آمیزی و بعد متریک گراف کاربردهایی هستند که شیوه پیشنهادی بر روی آن‌ها آزمایش و کارایی آن نشان داده شده است. به این منظور گراف‌هایی از دو دسته مشهور تولید شده و شیوه پیشنهادی بر روی آنها اعمال شده است. همان‌گونه که در بخش نتایج به تفصیل بیان خواهد شد، در هر دو دسته گراف تولید شده، در حالت میانگین، روش پیشنهادی نتایج بهتری نسبت به الگوریتم ژنتیک تولید کرده است. مسئله رنگ‌آمیزی گراف تعریف شد، در ادامه به صورت مختصر مسئله بعد متریک گراف را بیان می‌کنیم.

پیدا شده فعلی و اجازه تولید جواب‌هایی خارج از محدوده‌ی پاسخ‌های ممکن است. برای نمایش کارایی شیوهی پیشنهادی، از بین الگوریتم‌های فراابتکاری، الگوریتم ژنتیک انتخاب شده است. حذف جواب‌هایی با کیفیت پایین در روش‌هایی همچون الگوریتم زنبورعسل هم انجام می‌شود، اما شیوه پیشنهادی هم با روش مورد استفاده در الگوریتم زنبورعسل متفاوت است و هم تا آنجا که نگارندگان مطلع هستند تاکنون در الگوریتم ژنتیک بکار برده نشده است.

در الگوریتم ژنتیک تبادل اطلاعات بین اعضای جمعیت از طریق عملگر باز ترکیب^۳ انجام می‌شود. در ایده‌ی پیشنهادی به اعضای جمعیت اجازه داده می‌شود از وضعیت دیگر اعضا آگاه باشند و در صورت لزوم، اعضای که منجر به جواب بهتری خواهند شد، با جواب دیگری جایگزین شوند. در جایگزینی یک چنین جواب‌هایی، به صورت موقت قیدهای مسئله لحاظ نمی‌شوند. این روش برای دسته‌ای از مسائل همچون بدست آوردن بعد متریک گراف نسبت به شیوهی مرسوم الگوریتم ژنتیک، نتایج بهتری بدست داده است که در بخش نتایج آزمایشات مشاهده خواهد شد.

علت انتخاب الگوریتم ژنتیک، قابلیت‌های مناسب و کاربرد گسترده این روش در حوزه‌های مختلف، همچون زمانبندی کلاسی، مسائل برش و بسته‌بندی، مسائل متنوع در حوزه گراف، یادگیری شبکه‌های عصبی و ... می‌باشد [۱، ۲، ۳، ۴]. نسخه‌های گوناگونی از الگوریتم ژنتیک معرفی شده اند [۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲] که هر یک به نحوی سعی در بهبود کارایی الگوریتم ژنتیک در حالت کلی یا در حالات خاص داشته‌اند. انواع روش‌های نمایش جواب‌ها و گونه‌های مختلف باز ترکیب و جهش ابداع شده، در همین راستا در نظر گرفته می‌شوند. در مدل الگوریتم ژنتیک جزیره‌ای [۸، ۹، ۱۰، ۷] با ایجاد چند جمعیت متفاوت و تعامل بین چند نسخه از الگوریتم ژنتیک، جواب‌های بهتری حاصل شده است. روش‌های باز ترکیب مرتبه‌ی یک^۴، PMX^۵ و Cycle Cross-over برای مسائل جایگشتی مطرح شده‌اند. در [۱۳] روش EIX^۶ ارائه شده است که مقادیر ژن‌های فرزندان ترکیبی از مقادیر ژن‌های والدین می‌باشد و به صورت گسترده در پیاده‌سازی‌های الگوریتم ژنتیک مورد استفاده می‌باشد. روش UNDX^۷ در [۱۴] ارائه شده است که اطلاعات والدین را در تولید فرزندان مخلوط^۸ می‌کند. ایده‌ی اصلی این مقاله، جایگزینی اعضای غیرامیدبخش

^۳Crossover

^۴Order-1 Crossover

^۵Partially Mapped Crossover

^۶Extended Intermediate Recombination

^۷Unimodal Normal Distribution Crossover (UNDX)

^۸Mix

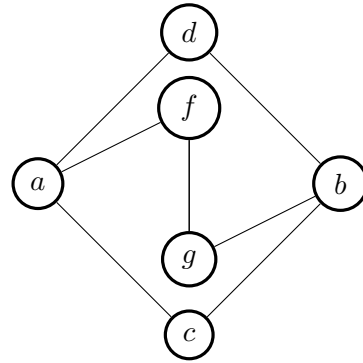
^۹Decision Problem

^{۱۰}NP-Complete

^{۱۱}Subgraph Isomorphism Problem

^{۱۲}Metric Dimension

مثال ۱-۱. در شکل ۱ یک گراف همبند، ساده و بدون جهت داده شده است. که آن را G_1 می‌نامیم. مجموعه $S = \{a, b, c\}$ یک مجموعه تفکیک کننده برای G_1 می‌باشد. برای اثبات این موضوع کافیست $r(v|S)$ را برای همه رؤس گراف مذکور بدست آورد. هماگونه که ذکر شد $r(v|S)$ برداری است که فاصله رأس v با هر یک از عناصر S را نشان می‌دهد. به عنوان نمونه $r(a|S) = (0, 2, 1)$ بیانگر فاصله‌ی رأس a تا هر یک از رؤس مجموعه S می‌باشد. فاصله رأس a با اولین عضو S که خود a هست، صفر و فاصله‌ی آن با دو رأس b و c ، به ترتیب ۱ و ۲ است. سایر موارد نیز به صورت مشابه محاسبه شده‌اند. بردارهای $r(a|S)$ تا $r(g|S)$ که در (۱) آمده‌اند، متمایز می‌باشند.



شکل ۱: گراف ساده، همبند و بدون جهت G_1

۲-۱- مسئله بعد متریک گراف

فرض کنید $S = \{v_1, v_2, \dots, v_k\}$ یک مجموعه مرتب از رؤس گراف همبند، ساده و بدون جهت $G(V, E)$ باشد. نمایش متریک رأس v نسبت به مجموعه S ، بردار k تایی می‌باشد $r(v|S) = (d(v, v_1), d(v, v_2), \dots, d(v, v_k))$ که در آن $d(v, v_i)$ کوتاهترین فاصله بین دو رأس v و v_i می‌باشد. همچنین i عددی بین ۱ تا k می‌باشد. S مجموعه تفکیک کننده رؤس گراف G نامیده می‌شود، هرگاه برای هر دو رأس متمایز u و v متعلق به $V(G)$ داشته باشیم $r(u|S) \neq r(v|S)$. تعداد اعضای کوچکترین مجموعه تفکیک کننده گراف G بعد متریک گراف نامیده شده و با $dim(G)$ نشان داده می‌شود [۱۷].

عموم کارهایی که در این حوزه انجام شده، یا مرتبط با محاسبه بعد متریک گراف‌های خاص است و یا به بررسی تئوری حدود بالا و پایین بعد متریک گراف‌های مشخصی پرداخته شده است [۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲]. اما روش پیشنهادی در این مقاله برای هر گرافی قابل اجراست، البته هدف این نوشتار نمایش برتری این شیوه در مقایسه با سایر روش‌های محاسبه‌ی بعد متریک گراف نیست؛ بلکه به عنوان یک کاربرد از روش پیشنهادی است که می‌تواند نتایج بهتری نسبت به الگوریتم ژنتیک مرسوم داشته باشد.

مسئله بهینه سازی بعد متریک گراف: مفروضات: گراف ساده، همبند و بدون جهت $G = (V, E)$. هدف: یافتن کوچکترین مجموعه تفکیک کننده S .

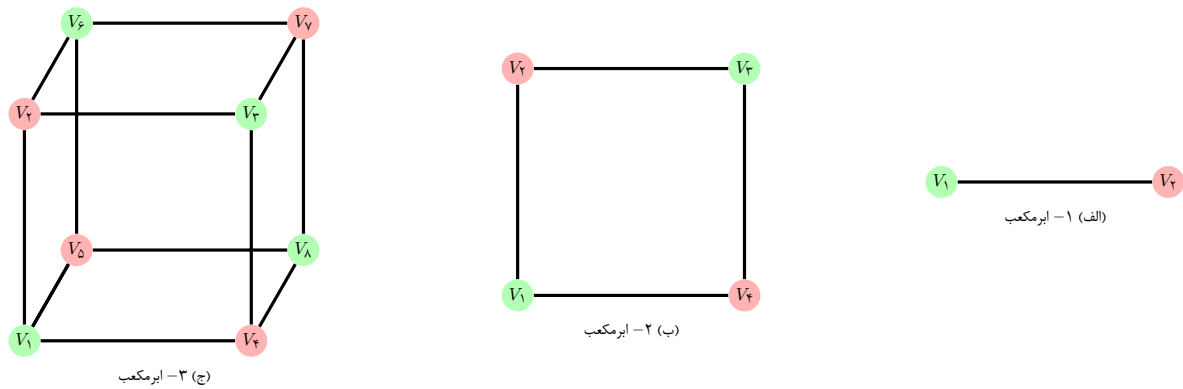
مسئله تصمیم بعد متریک گراف: مفروضات: گراف ساده، همبند و بدون جهت $G = (V, E)$ و مجموعه S با k رأس. هدف: آیا مجموعه S یک مجموعه تفکیک کننده گراف G می‌باشد.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود هر ۶ بردار سه مؤلفه‌ای فوق متمایز از هم هستند و لذا مطابق تعریف مجموعه‌ی تفکیک کننده، S یک مجموعه‌ی تفکیک کننده محسوب می‌شود.

روش پیشنهادی روی هر گرافی قابل اجراست اما در ادامه از دو دسته گراف مشهور ابرمکعب و همینگ^{۱۳} استفاده خواهیم کرد. در شکل‌های ۲ و ۳ تعدادی ابرمکعب و یک گراف همینگ و نحوه‌ی رنگ‌آمیزی بهینه‌ی آنها نمایش داده شده است. در شکل‌های ۴ و ۵ نیز بعد متریک گراف‌های مذکور نشان داده شده است. تعریف این دو گروه از گرافها در بخش ۳ خواهد آمد.

در بخش ۲ ابتدا مرور مختصری بر الگوریتم ژنتیک داشته و سپس شیوه پیشنهادی بیان خواهد شد. در بخش ۳ کارایی شیوه پیشنهادی در چند مسئله نشان داده شده است. در نهایت در بخش ۴ همگرایی روش پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفته است.

^{۱۳}Hamming



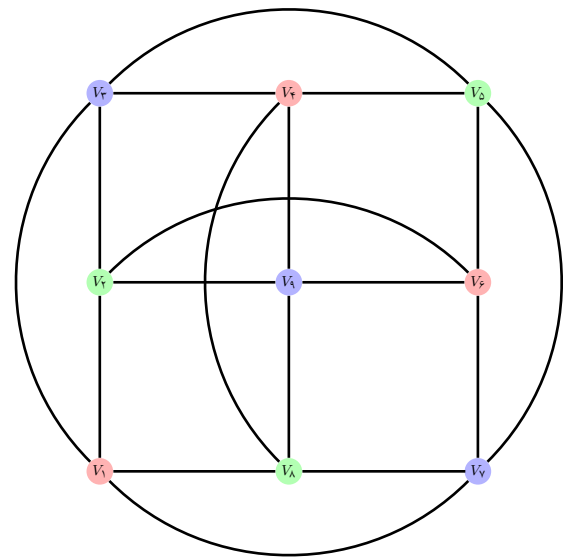
شکل ۲: سه ابرمکعب و نحوه ی رنگ آمیزی آنها با کمترین تعداد رنگ. (تعریف ابر-مکعب در بخش ۳ آمده است).

الگوریتم ۱ روال کلی الگوریتم ژنتیک

ورودی: تعداد جمعیت اولیه (n) ، نرخ ترکیب (p_c) ، نرخ جهش (p_m) ، شرط خاتمه، روش های انتخاب.

خروجی: جواب بهینه.

- ۱: جمعیت n کروموزومی به طور تصادفی ایجاد کنید.
- ۲: مراحل زیر را تا زمانی که شرط خاتمه برقرار شود انجام دهید. (در هر دور جمعیت جدیدی ایجاد و جایگزین جمعیت قبل خواهد شد).
- ۳: برازندگی هر کروموزوم در جمعیت را ارزیابی کنید.
- ۴: والدین را از میان جمعیت متناسب با میزان شایستگی آنها انتخاب کنید و با توجه به احتمال ترکیب، برای تشکیل فرزندان جدید آنها را ترکیب کنید.
- ۵: با توجه به احتمال جهش فرزندان را مورد جهش قرار دهید.
- ۶: فرزندان جدید را در جمعیت بگنجانید.



شکل ۳: گراف $H_{2,3}$ با ۹ رأس و ۱۸ یال. رنگ رئوس، یکی از حالات رنگ آمیزی آن با ۳ رنگ را نشان می دهد. (این گراف از دسته ی همینگ گراف ها می باشد، تعریف همینگ-گراف در بخش ۳ آمده است).

عملگر جهش: این عملگر باعث ایجاد تغییرات جزئی در برخی جواب های موجود در هر نسل می شود.

عملگر ترکیب: با استفاده از عملگر ترکیب، دو والد انتخاب شده بر اساس میزان برازندگی، با یکدیگر ترکیب شده و فرزندان را تولید می کنند. دو عملگر معروف این حوزه، روش های باز ترکیب تک نقطه ای^{۱۶} و باز ترکیب دو نقطه ای^{۱۷} می باشند.

۲-۲- الگوریتم ژنتیک آگاه از بهترین عضو

در فرم معمول الگوریتم ژنتیک، فرض شدنی^{۱۸} بودن جواب تولید شده را همیشه داریم. اگر فرزند تولید شده در قیود مسئله

۲- روش پیشنهادی

در این بخش ابتدا توضیحی درباره الگوریتم ژنتیک و نحوه انجام عملگرهای ترکیب^{۱۴} و جهش^{۱۵} خواهیم داشت و در ادامه روش پیشنهادی (الگوریتم ۷) بیان خواهد شد.

۲-۱- الگوریتم ژنتیک

چارچوب کلی الگوریتم ژنتیک در الگوریتم ۱ آمده است. دو عملگر اصلی این الگوریتم، عملگرهای ترکیب (ادغام یا باز ترکیب) و جهش می باشند.

^{۱۶}Single Point Crossover

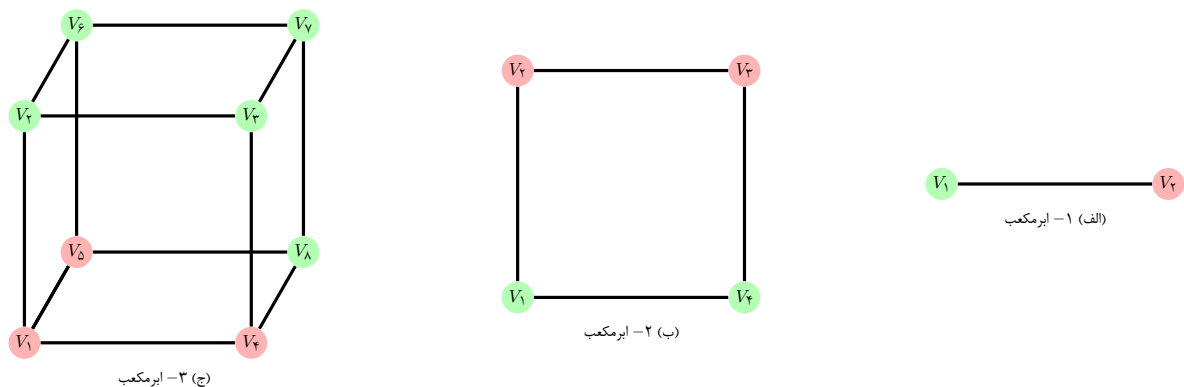
^{۱۷}Two Point Crossover

^{۱۸}FeasibleSolution

^{۱۴}Crossover

^{۱۵}Mutation

الگوریتم ژنتیک آگاه از بهترین عضو با کاربرد در رنگ آمیزی و بعد متریک گراف



شکل ۴: سه ابرمکعب و رئوس مرتبط با بعد متریک آنها. رئوسی که دارای رنگ قرمز می باشند، تشکیل دهنده کوچکترین مجموعه تفکیک کننده (بعد متریک) هر گراف می باشند.

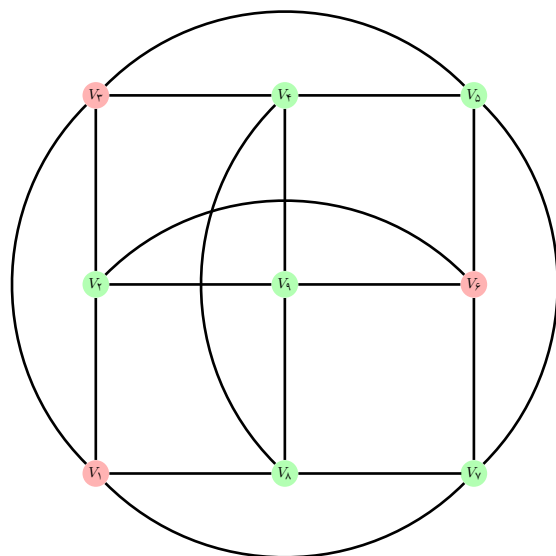
الگوریتم ۲ الگوریتم ژنتیک آگاه از بهترین عضو

ورودی: تعداد جمعیت اولیه (n)، نرخ ترکیب (p_c)، نرخ

جهش (p_m)، شرط خاتمه، روش های انتخاب.

خروجی: جواب بهینه.

- ۱: جمعیت n کروموزومی به طور تصادفی ایجاد کنید.
- ۲: مراحل زیر را تا زمانیکه شرط خاتمه برقرار شود انجام دهید. (در هر دور جمعیت جدیدی ایجاد و جایگزین جمعیت قبل خواهد شد).
- ۳: برازندگی هر کروموزوم در جمعیت را ارزیابی کنید.
- ۴: والدین را از میان جمعیت متناسب با میزان شایستگی آنها انتخاب کنید و با توجه به احتمال ترکیب، برای تشکیل فرزندان جدید آنها را ترکیب کنید.
- ۵: با توجه به احتمال جهش فرزندان را مورد جهش قرار دهید.
- ۶: اگر عضو جدید بهتر یا مساوی با بهترین عضو نسل جاری نیست، با یک عضو جدید احتمالاً شدنی بهتر یا مساوی با بهترین عضو جایگزین شود (توضیح بیشتر در متن).
- ۷: فرزندان جدید را در جمعیت بگنجانید.



شکل ۵: گراف $H_{2,3}$ با ۹ رأس و ۱۸ یال، رئوسی که دارای رنگ قرمز می باشند، تشکیل دهنده کوچکترین مجموعه تفکیک کننده (بعد متریک) این گراف می باشند. توجه شود که احتمال وجود مجموعه تفکیک کننده دیگری با همین اندازه وجود دارد.

صادق نباشد و به عبارتی شدنی نباشد، آنقدر اصلاح می شود که تبدیل به یک جواب ممکن شود. در شیوه پیشنهادی، فرزندان احتمالاً شدنی بهتر یا مساوی با بهترین عضو تولید می شوند. چارچوب کلی روش پیشنهادی در الگوریتم ۲ آمده است. روال کلی همان چارچوب الگوریتم ۱ است با این تفاوت که در رول تولید اعضای جدید در الگوریتم بهبود یافته، فرزندان تولیدی می توانند شدنی نباشند. منظور از احتمالاً شدنی بهتر فرزندی است که صرفنظر از قیود مسئله، مقدار تابع هدف بهتری داشته باشد.

جدا از اضافه شدن مفهوم فرزند احتمالاً شدنی بهتر یا مساوی با بهترین عضو که مستلزم دو موضوع می باشد، سایر

بخشهای الگوریتم پیشنهادی، همان الگوریتم اصلی ژنتیک است. دو موضوع مدنظر عبارتند از «آگاهی از بهترین عضو» در روال عملیات تولید نسل جدید و «پذیرش یا تولید فرزندان که احتمالاً شدنی نیستند». در الگوریتم ژنتیک اصلی فرزندان هر نسل بدون آگاهی از وضعیت بهترین جواب نسل فعلی تولید می شوند، اما در الگوریتم پیشنهادی با داشتن چنین دانشی، سعی بر آن است که فرزندان بهتر یا مساوی با بهترین جواب فعلی تولید شوند. منظور از احتمالاً شدنی بهتر را با یک مثال بیان خواهیم کرد. مسئله ای را در نظر بگیرید که زیرمجموعه ای از یک مجموعه ای اصلی یک جواب ممکن مسئله است و هدف،

جدول ۱: مشخصات ابر-مکعب های مورد استفاده در آزمایشات.

ردیف	گراف	تعداد رئوس	تعداد یالها
۱	Q_1	۲	۱
۲	Q_2	۴	۴
۳	Q_3	۸	۱۲
۴	Q_4	۱۶	۳۲
۵	Q_5	۳۲	۸۰
۶	Q_6	۶۴	۱۹۲
۷	Q_7	۱۲۸	۴۴۸
۸	Q_8	۲۵۶	۱۰۲۴
۹	Q_9	۵۱۲	۲۳۰۴
۱۰	Q_{10}	۱۰۲۴	۵۱۲۰
۱۱	Q_{11}	۲۰۴۸	۱۱۲۶۴
۱۲	Q_{12}	۴۰۹۶	۲۴۵۷۶

گراف های ابر مکعب 19 و همینگ گراف ها 20 در آزمایشات بکار گرفته شده اند، گراف های دسته اول با Q_n و گراف های دسته دوم با $H_{r,k}$ نمایش داده می شوند.

گراف ابرمکعب Q_n گرافیست که مجموعه رئوس آن مشتمل بر 2^n بردار دودویی n -تایی (بردارهایی با مختصات صفر و یک) می باشد که دو رأس در صورتی مجاورند که فقط در یک مؤلفه با هم متفاوت باشند [۲۳].

به منظور مقایسه روش پیشنهادی و الگوریتم ژنتیک، ۱۲ نمونه گراف ابرمکعب با ابعاد مختلف تولید شده است. مشخصات این گراف ها در جدول ۱ آمده است.

گراف همینگ $H_{r,k}$ به صورت $H_{r,k} = K_k \square K_k \square \dots \square K_k$ ساخته می شود که در آن \square عملگر ضرب کارتیزین دو گراف است که به صورت زیر تعریف می شود:

تعریف ۳-۱. ضرب کارتیزین دو گراف $G_1 = (V_1, E_1)$ و $G_2 = (V_2, E_2)$ با نماد $G_1 \square G_2$ نمایش داده می شود که در آن مجموعه $V_1 \times V_2 = \{(a, v) | a \in V_1, v \in V_2\}$ رئوس گراف و یال (a, v) با یال (b, w) مجاور می باشد اگر $a = b$ و $\{v, w\} \in E_2$ یا $v = w$ و $\{a, b\} \in E_1$ [۱۷].

۱۲ نمونه گراف همینگ با ابعاد مختلف تولید و در آزمایشات بکار گرفته شده اند. مشخصات این گراف ها در جدول ۲ آمده است.

۳-۱- نتایج آزمایشات

جداول ۳ و ۴ شامل نتایج اجرای الگوریتم ژنتیک، الگوریتم پیشنهادی (الگوریتم ژنتیک آگاه از بهترین عضو) و روش تبرید شبیه سازی شده در مسئله رنگ آمیزی گراف روی دو دسته

کمینه بودن تعداد اعضای مجموعه جواب با رعایت قیودی خاص است. اگر در نسل جاری بهترین پاسخی که یافت شده است دارای ۱۰ عضو باشد، پس تولید فرزندان با بیش از ۱۰ عضو خیلی ثمربخش نخواهد بود. منظور از تولید فرزند احتمالاً **شدنی بهتر**، در این حالت آن است که زیرمجموعه های با ۹ یا کمتر عضو را به عنوان فرزندان می پذیریم یا تولید می کنیم. مشکلی که وجود دارد آن است که این زیرمجموعه های ۹ عضوی ممکن است در قیود مسئله صدق نکنند و به اصطلاح شدنی نباشند. مثلاً در بعد متریک گراف، اگر فرزند تولید شده ۹ عضوی یک مجموعه ای تفکیک کننده نباشد، مورد قبول نیست. در چنین وضعیتی با لحاظ کردن قیود مسئله، مقدار تابع هدف برای چنین فرزندی ۹ نخواهد شد، **اما اگر قیدهای مسئله را موقتاً نادیده بگیریم، مقدار تابع هدف برای این پاسخ برابر ۹ است که از بهترین پاسخ یافت شده بهتر است.** در الگوریتم پیشنهادی چنین فرزندان به ظاهر بهتری پذیرفته می شوند به امید آنکه یا خودشان پاسخی شدنی باشند یا فرزندان بهتر و شدنی تولید کنند. در فرآیند الگوریتم پیشنهادی مقدار تابع هدف برای چنین فرزندان یک مقدار ماکزیمم در نظر گرفته شده و مطابق با سایر اعضا با آنها رفتار خواهد شد؛ فقط در حین تولید آنها موقتاً شدنی بودن آنها چک نمی شود. پس منظور از «بهتر» بودن در این بخش از الگوریتم پیشنهادی، برانده تر بودن جواب، بدون رعایت قیود مسئله است. البته همان گونه که در مرحله ۶ الگوریتم پیشنهادی ذکر شده است، جواب های احتمالاً **شدنی بهتر یا مساوی** با بهترین جواب فعلی مد نظر هستند. از آنجا که شرط مساوی بودن را داریم، حداقل یک جواب با چنین خصوصیتی - حتی با رعایت قیدهای مسئله - وجود دارد: بهترین جواب فعلی. لذا در بدترین شرایط مجموعه انتخاب های روش پیشنهادی تهی نخواهد بود. در بخش بعد با اجرای الگوریتم ژنتیک، شیوه پیشنهادی و تبرید شبیه سازی شده بر روی دو مسئله معروف بعد متریک گرافها و مسئله رنگ آمیزی گرافها کارایی شیوه پیشنهادی نشان داده خواهد شد. سپس به بررسی همگرایی شیوه پیشنهادی پرداخته خواهد شد.

۳- کاربردها و نتایج آزمایشات

در این بخش نتایج شیوه پیشنهادی روی دو مسئله بعد متریک و رنگ آمیزی گراف نشان داده خواهد شد. نمایش و مقایسه نتایج روش پیشنهادی با الگوریتم ژنتیک و تبرید شبیه سازی شده در انتهای بخش خواهد آمد.

^{۱۹}Hypercubes

^{۲۰}Hamming

جدول ۳: نتایج بدست آمده برای مسئله رنگ آمیزی گراف بر روی گراف های ابرمکعب. هرچه تعداد رنگ بدست آمده کمتر باشد، عملکرد الگوریتم بهتر بوده است.

mGA		SA		GA		Spec		
K	T	K	T	K	T	N	Graph	No
۲	۰٫۲۳	۲	۰٫۰۷	۲	۰٫۴۳	۲	Q _۱	۱
۲	۰٫۴۱	۲	۰٫۱۳	۲	۰٫۴۱	۴	Q _۲	۲
۲	۰٫۶۴	۲	۰٫۲۷	۲	۰٫۶۴	۸	Q _۳	۳
۳	۰٫۷۶	۶	۰٫۵۳	۴	۰٫۸۹	۱۶	Q _۴	۴
۹	۱٫۶۱	۱۲	۱٫۰۷	۱۰	۱٫۱۹	۳۲	Q _۵	۵
۱۹	۴٫۱۱	۲۷	۲٫۱۳	۲۲	۳٫۳۶	۶۴	Q _۶	۶
۳۶	۱۲٫۸۳	۵۴	۴٫۲۷	۴۱	۱۲٫۰۰	۱۲۸	Q _۷	۷
۹۳	۲۵٫۷۱	۱۲۸	۸٫۵۳	۹۶	۲۵٫۶۶	۲۵۶	Q _۸	۸
۲۷۵	۵۱٫۶۲	۲۸۳	۱۷٫۰۷	۲۴۸	۵۱٫۸۵	۵۱۲	Q _۹	۹
۵۸۹	۱۰۵٫۲۴	۵۵۸	۳۴٫۱۴	۵۳۲	۱۰۴٫۲۵	۱۰۲۴	Q _{۱۰}	۱۰
۲۰۴۸	۲۳۱٫۷۰	۲۰۴۸	۶۸٫۳۳	۱۲۳۹	۲۲۱٫۱۶	۲۰۴۸	Q _{۱۱}	۱۱
۲۴۳۲	۴۹۱٫۴۶	۲۵۶۸	۱۳۶٫۸۰	۴۰۹۶	۴۹۱٫۴۵	۴۰۹۶	Q _{۱۲}	۱۲
۴۵۹	۷۷٫۱۹	۴۷۴	۲۲٫۷۸	۵۲۶	۷۶٫۱۱			میانگین:

بوده است که در هر دو مورد میانگین کمینه پاسخ پیدا شده توسط روش پیشنهادی ۶ بوده است؛ یعنی کاهش بیش از ۹۷ درصد.

از آنجا که مقایسه اعداد در جدول‌های فوق‌الذکر ممکن است راحت نباشد، پاسخ‌های بدست آمده و زمان‌های اجرای مندرج در این جدول‌ها در قالب نمودارهایی در شکل‌های ۶، ۷، ۸، و ۹ نمایش داده شده‌اند. نمودار میله‌ای (الف) در هر شکل نمایش دهنده بهترین پاسخ یافت شده و نمودار خطی (ب) در هر شکل زمان اجرا را نشان می‌دهد. از آنجا که اعداد محور *y*ها با افزایش ابعاد مسئله بسیار بزرگ می‌شوند، در هر دو نمودار محور *y*ها لگاریتمی است. منظور از پاسخ، در مسائل رنگ‌آمیزی گراف تعداد رنگ کمینه‌ی یافت شده و در بعد متریک گراف، بعد متریک کمینه‌ی پیدا شده می‌باشد (ستون‌های K و GD در جداول مذکور در قبل). در نمودارهای (الف) در برخی موارد هر سه روش مقدار یکسانی را بدست آورده‌اند که توسط میله‌های هم‌ارتفاع در نمودارهای میله‌ای قابل مشاهده است. عموم این حالات، مربوط به وضعیت‌هایی است که روش‌های مدنظر موفق به پیدا کردن جواب مسئله نشده‌اند؛ مثل نمونه‌های ۱۱ و ۱۲ در شکل ۷(الف).

آزمایشات در نرم افزار متلب نسخه R2018 با تعداد جمعیت اولیه ۱۵۰، نرخ ترکیب ۰٫۸۵، نرخ جهش ۰٫۰۱، میزان نخبه‌گرایی ۳۰ و بر روی سیستمی با پردازنده Intel Core i7 2.4 GHz انجام شده است.

از آنجا که در گراف‌های بزرگ زمان اجرا بسیار طولانی می‌شد، برای همه روش‌ها حداکثر زمانی برابر با یک دهم تعداد رئوس گراف مورد اجرا در نظر گرفته شد. به عنوان نمونه در گراف Q_{۱۰} که ۱۰۲۴ رأس دارد، زمان اجرا ۱۰۲ ثانیه در نظر گرفته شده است. با اینکه زمان اجرای همه روش‌های یکسان بوده است، اما هر روش در صورتی که بعد از چند تکرار متوالی موفق

جدول ۲: مشخصات همینگ گراف های مورد استفاده در آزمایشات.

ردیف	گراف	تعداد رئوس	تعداد یالها
۱	H _{۲,۳}	۹	۱۸
۲	H _{۳,۳}	۲۷	۸۱
۳	H _{۴,۳}	۸۱	۳۲۴
۴	H _{۵,۳}	۲۴۳	۱۲۱۵
۵	H _{۲,۴}	۱۶	۴۸
۶	H _{۳,۴}	۶۴	۲۲۸
۷	H _{۴,۴}	۲۵۶	۱۵۳۶
۸	H _{۵,۴}	۱۰۲۴	۷۶۸۰
۹	H _{۲,۵}	۲۵	۱۰۰
۱۰	H _{۳,۵}	۱۲۵	۷۵۰
۱۱	H _{۴,۵}	۶۲۵	۵۰۰۰
۱۲	H _{۵,۵}	۳۱۲۵	۳۱۲۵۰

گراف مورد اشاره می‌باشند. جداول ۵ و ۶ نتایج حل مسئله‌ی بعد متریک گراف را نشان می‌دهند. در [۲۴] از تبرید شبیه‌سازی شده برای حل مسئله بعد متریک گراف استفاده شده بوده است که با روش پیشنهادی مورد مقایسه قرار گرفته است.

در هر سطر جدول، میانگین نتایج حاصل از ۳ بار اجرا روی هر گراف آمده است. ستون‌های GA و SA^{۲۱} بیانگر روش‌های الگوریتم ژنتیک و تبرید شبیه‌سازی شده و ستون mGA^{۲۲} مشخص کننده الگوریتم پیشنهادی است. از نمادهای K, T, GD و به ترتیب برای نمایش معیارهای زمان اجرا، کمینه عدد رنگی گراف و بعد متریک گراف استفاده شده است. در هر سطر، مشخصات یک گراف و بهترین جواب پیدا شده و زمان اجرای الگوریتم موردنظر آمده است. سطر آخر هر جدول میانگین مقادیر ستون مربوطه را نشان می‌دهد. نتیجه روش با بهترین میانگین پاسخ با زمینه خاکستری مشخص شده است. بهترین زمان اجرا با خط زیر نمایش داده شده است.

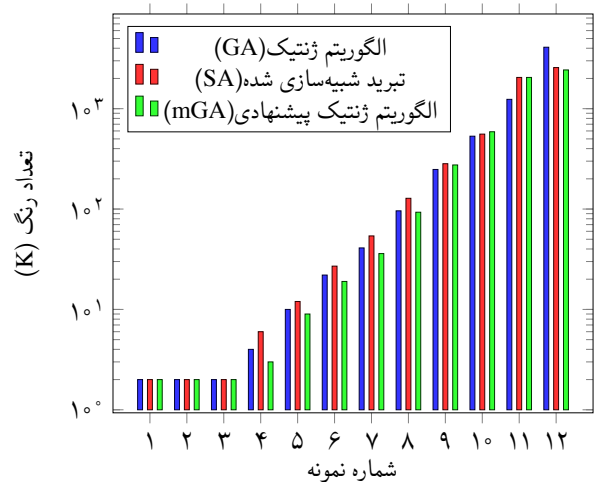
در سه جدول از ۴ جدول مذکور (جدول‌های ۳، ۵ و ۶) روش پیشنهادی از هر دو روش دیگر عملکرد بهتری در پیدا کردن جواب داشته است. فقط در مسئله رنگ‌آمیزی گراف‌های همینگ (جدول ۴) روش الگوریتم ژنتیک پایه حدود یک درصد در حالت میانگین بهتر بوده است. اما در مسئله رنگ‌آمیزی گراف‌های ابرمکعب (جدول ۳) حدود ده درصد میانگین جواب بدست آمده توسط الگوریتم پیشنهادی از الگوریتم ژنتیک پایه بهینه‌تر بوده است. میزان بهبود پاسخ بدست آمده در مسئله بعد متریک گراف در شیوه پیشنهادی بسیار چشمگیر بوده است. مطابق جداول ۵ و ۶ روش پیشنهادی پاسخ‌ها را بیشتر از ۹۷ درصد کمینه‌تر کرده است. در جدول‌های ۵ و ۶ میانگین کمینه پاسخ یافت شده توسط الگوریتم ژنتیک به ترتیب ۳۰۳ و ۱۹۸

^{۲۱} Simulated Annealing

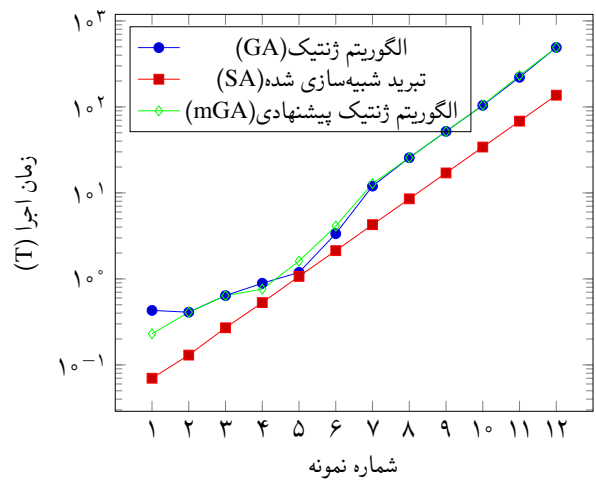
^{۲۲} modified GA

جدول ۴: نتایج بدست آمده برای مسئله رنگ آمیزی گراف بر روی گراف های همینگ. هر چه تعداد رنگ بدست آمده کمتر باشد، عملکرد الگوریتم بهتر بوده است.

mGA		SA		GA		Spec		
K	T	K	T	K	T	N	Graph	No
۳	۰/۷۲	۳	۰/۳۴	۳	۰/۷۹	۹	$H_{۲,۳}$	۱
۹	۱/۲۹	۱۲	۰/۸۳	۱۰	۱/۰۲	۲۷	$H_{۳,۳}$	۲
۲۷	۷/۴۳	۳۵	۲/۷۳	۲۹	۵/۵۱	۸۱	$H_{۴,۳}$	۳
۱۱۳	۲۰/۱۴	۱۳۲	۸/۱۳	۸۸	۲۴/۵۷	۲۴۳	$H_{۵,۳}$	۴
۷	۰/۷۵	۸	۰/۵۷	۵	۱/۱۱	۱۶	$H_{۲,۴}$	۵
۲۳	۴/۸۹	۳۰	۲/۱۷	۲۳	۳/۶۹	۶۴	$H_{۳,۴}$	۶
۱۲۵	۲۲/۱۰	۱۴۴	۸/۵۷	۱۰۳	۲۵/۸۸	۲۵۶	$H_{۴,۴}$	۷
۱۰۲۵	۱۰۳/۱۸	۱۰۲۵	۳۴/۱۷	۱۰۲۵	۱۰۵/۶۳	۱۰۲۴	$H_{۵,۴}$	۸
۱۱	۱/۱۷	۱۲	۰/۸۷	۱۰	۱/۵۹	۲۵	$H_{۲,۵}$	۹
۴۸	۱۲/۶۶	۶۷	۴/۲۰	۴۴	۹/۴۶	۱۲۵	$H_{۳,۵}$	۱۰
۶۲۶	۶۳/۵۳	۶۲۶	۲۰/۸۷	۶۲۶	۶۳/۲۲	۶۲۵	$H_{۴,۵}$	۱۱
۳۱۲۶	۳۳۶/۰۴	۳۱۲۶	۱۰۴/۲۱	۳۱۲۶	۳۳۸/۵۳	۳۱۲۵	$H_{۵,۵}$	۱۲
۴۲۹	۴۷/۸۳	۴۲۵	۱۵/۶۵	۴۲۴	۴۸/۴۲		میانگین:	



(الف) مقایسه بهترین جواب



(ب) مقایسه زمان اجرا (لگاریتمی)

شکل ۶: مقایسه بهترین جواب و زمان اجرا برای رنگ آمیزی گراف های ابرمکعب

به بهبود بهترین جواب خود نمی شده است، متوقف می شده است. به علاوه در الگوریتم هایی مانند الگوریتم ژنتیک در متلب، اگر حداکثر زمان اجرا تمام شود اما هنوز عملیات نسل جاری به اتمام نرسیده باشد، اجرا تا تکمیل این نسل ادامه پیدا می کند. به این دلایل است که با اینکه حداکثر زمان تخصیص داده شده به همه روش ها یکسان بوده است اما زمان های اجرای آنها متفاوت شده است. در ادامه به همگرایی روش پیشنهادی پرداخته می شود.

۴- بررسی همگرایی الگوریتم پیشنهادی

الگوریتم پیشنهادی، مشتق شده از الگوریتم ژنتیک است؛ قواعد حاکم بر الگوریتم ژنتیک و همگرایی آن در اینجا نیز صادق است. تفاوت اصلی آن با الگوریتم ژنتیک، جایگزینی فرزندان بدتر از بهترین عضو نسل جاری با اعضای ثمربخش تر است،

که این اعضای ممکن است شدنی نباشند. در بخش ۲ منظور از بهتر بودن توضیح داده شد: فرزندان صرفنظر از ارضا کردن قیود مسئله مورد ارزیابی قرار می گیرند.

در این بخش با بررسی فضای جواب مثال ۱-۱ و نمایش فضای جواب آن در شکل ۱۰ که نشان دهنده سیر نزولی اکید جواب های شدنی برای گراف G_1 (شکل ۱) در مسئله بعد متریک می باشد همگرایی الگوریتم پیشنهادی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در تاریخچه الگوریتم ژنتیک مرسوم این است که مسئله مورد بحث در قالب یک مسئله ی بیشینه سازی مورد بررسی قرار گیرد که مقدار بیشتر تابع هدف در یک نقطه، به منزله برازندگی بیشتر آن نقطه باشد؛ اما در ادامه کمینه سازی تابع هدف را مفروض می گیریم. در این مثال چند مجموعه از رئوس گراف G_1 (شکل ۱) برای مسئله بعد متریک مورد بررسی قرار گرفته و فضای جواب گراف مذکور در شکل ۱۰ ترسیم شده است. شکل تابع هدف در فضای جواب نحوه عمل الگوریتم پیشنهادی را بهتر نشان می دهد. برای توضیح شکل مذکور ابتدا یک گزاره و سپس مثال هایی را خواهیم دید.

گزاره ۴-۱. برای هر گراف ساده، همبند و بدون جهت $G = (V, E)$ مجموعه $S = V$ بزرگترین مجموعه تفکیک کننده آن است.

اثبات. اندیس نام از بردار متناظر با هر رأس i ، که فاصله این رأس با خودش را مشخص می کند، صفر است. با در نظر گرفتن دو رأس متمایز $u, v \in V$ بردارهای $r(u|S)$ و $r(v|S)$ حداقل در مؤلفه هایی که صفر هستند، با هم متفاوت می باشند. □

به عنوان نمونه، مجموعه $V = \{a, b, c, d, f, g\}$ بزرگترین مجموعه تفکیک کننده برای گراف G_1 شکل ۱ با بردارهای

جدول ۵: نتایج بدست آمده برای مسئله بعدمتریک گراف بر روی گراف های ابرمکعب. هر چه عدد بدست آمده کمتر باشد، عملکرد الگوریتم بهتر بوده است.

mGA		SA		GA		Spec		
GD	T	GD	T	GD	T	N	Graph	No
۱	۰/۲۲	۱	۰/۰۷	۱	۰/۳۸	۲	Q _۱	۱
۲	۰/۴۱	۲	۰/۱۳	۲	۰/۴۱	۴	Q _۲	۲
۳	۰/۶۴	۳	۰/۲۷	۳	۰/۶۱	۸	Q _۳	۳
۴	۰/۷۹	۴	۰/۵۳	۴	۰/۸۲	۱۶	Q _۴	۴
۴	۱/۲۴	۴	۱/۰۷	۴	۱/۷۶	۳۲	Q _۵	۵
۵	۲/۶۳	۵	۲/۱۳	۵	۵/۴۷	۶۴	Q _۶	۶
۶	۶/۳۹	۶	۶/۲۷	۱۸	۱۲/۹۸	۱۲۸	Q _۷	۷
۶	۱۷/۹۳	۶	۸/۵۳	۷۵	۲۶/۴۳	۲۵۶	Q _۸	۸
۷	۵۱/۴۲	۱۵۲	۱۷/۰۷	۱۹۹	۵۷/۲۳	۵۱۲	Q _۹	۹
۸	۹۹/۸۹	۴۶۱	۳۴/۱۴	۴۵۶	۱۱۴/۸۷	۱۰۲۴	Q _{۱۰}	۱۰
۹	۵۰۰/۴۶	۹۷۹	۶۸/۳۷	۹۳۶	۵۴۱/۸۱	۲۰۴۸	Q _{۱۱}	۱۱
۱۶	۲۳۹۸/۲۵	۲۰۱۸	۱۳۷/۶۹	۱۹۳۳	۲۶۸۷/۰۱	۴۰۹۶	Q _{۱۲}	۱۲
۶	۲۵۶/۶۹	۳۰۳	۲۲/۸۶	۳۰۳	۲۸۷/۴۸		میانگین:	

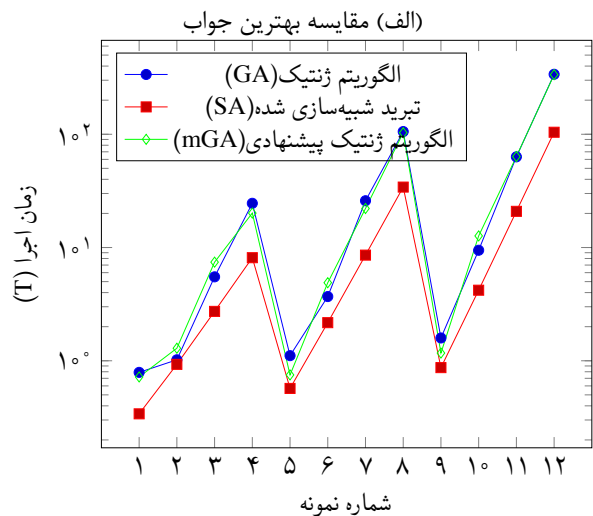
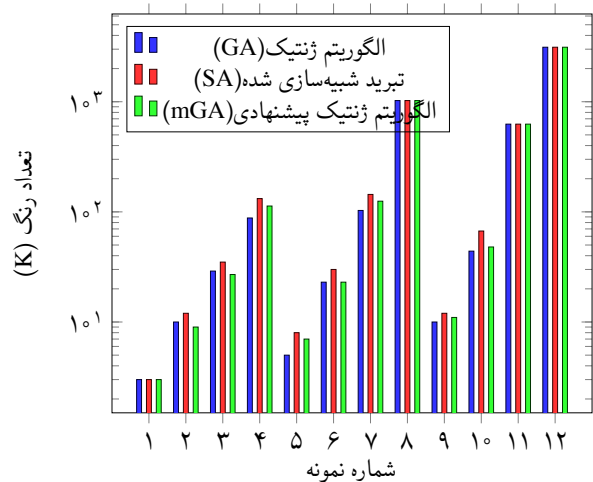
زیر یک مجموعه تفکیک کننده با اندازه‌های کوچکتر از اندازه S برای G_1 می‌باشد:

$$\begin{aligned}
 r(a|T) &= (1, 1) \\
 r(b|T) &= (1, 2) \\
 r(c|T) &= (0, 2) \\
 r(d|T) &= (2, 2) \\
 r(f|T) &= (2, 1) \\
 r(g|T) &= (2, 0)
 \end{aligned} \quad (3)$$

هر زیرمجموعه‌ی سه عضوی، ممکن است یک مجموعه‌ی تفکیک کننده نباشد، به عنوان نمونه مجموعه $S' = \{a, f, g\}$ با بردارهای زیر یک مجموعه تفکیک کننده برای G_1 نمی‌باشد، چون دو بردار $r(c|S')$ و $r(d|S')$ متمایز نیستند.

$$\begin{aligned}
 r(a|S') &= (0, 1, 2) \\
 r(b|S') &= (2, 2, 1) \\
 r(c|S') &= (1, 2, 2) \\
 r(d|S') &= (1, 2, 2) \\
 r(f|S') &= (1, 0, 1) \\
 r(g|S') &= (2, 1, 0)
 \end{aligned} \quad (4)$$

اگر یک زیر مجموعه k عضوی داشته باشیم، مقدار تابع هدف مسئله برای این جواب ممکن، کمتر از k نخواهد بود. مقدار تابع هدف را برای جواب‌هایی که زیرمجموعه‌هایی که تفکیک کننده نیستند (شدنی نیستند)، یکی بیشتر از تعداد رئوس گراف (در این مثال هفت) در نظر گرفته‌ایم. نمودار تابع هدف در فضای جواب مسئله بعد متریک گراف



(ب) مقایسه زمان اجرا (لگاریتمی)

شکل ۷: مقایسه بهترین جواب و زمان اجرا برای رنگ آمیزی گراف های همبند.

متمایز زیر می‌باشد:

$$\begin{aligned}
 r(a|V) &= (0, 2, 1, 1, 1, 2) \\
 r(b|V) &= (2, 0, 1, 1, 2, 1) \\
 r(c|V) &= (1, 1, 0, 2, 2, 2) \\
 r(d|V) &= (1, 1, 2, 0, 2, 2) \\
 r(f|V) &= (1, 2, 2, 2, 0, 1) \\
 r(g|V) &= (2, 1, 2, 2, 1, 0)
 \end{aligned} \quad (2)$$

همان گونه که مشاهده می‌شود هر دو بردار انتخابی حداقل در مؤلفه‌های با مقدار صفر با هم متفاوت هستند.

در مثال ۱-۱ ملاحظه شد که مجموعه $S = \{a, b, c\}$ یک مجموعه تفکیک کننده برای گراف G_1 بود، اما کوچکترین مجموعه نیست. زیرا مجموعه $T = \{c, f\}$ با بردارهای متمایز

جدول ۶: نتایج بدست آمده برای مسئله بعد متریک گراف های همینگ. هر چه عدد بدست آمده کمتر باشد، عملکرد الگوریتم بهتر بوده است.

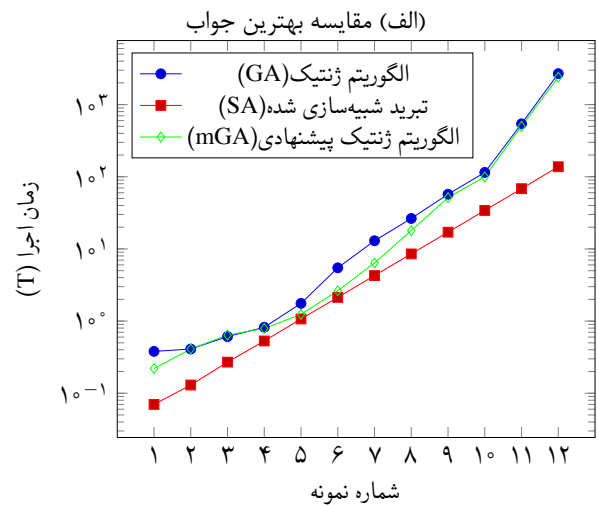
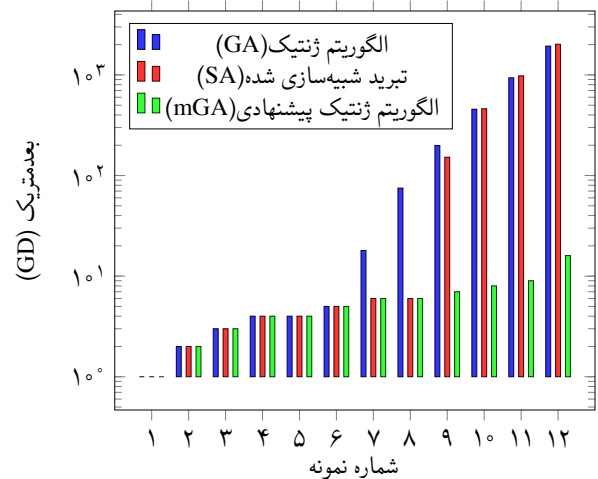
mGA		SA		GA		Spec		
GD	T	GD	T	GD	T	N	Graph	No
۳	۰/۶۴	۳	۰/۳۰	۳	۰/۸۱	۹	$H_{۲,۳}$	۱
۴	۱/۰۳	۴	۰/۹۰	۴	۱/۰۹	۲۷	$H_{۲,۳}$	۲
۵	۳/۲۴	۵	۲/۷۰	۵	۷/۶۱	۸۱	$H_{۲,۳}$	۳
۶	۱۴/۷۴	۶	۸/۱۰	۷۳	۲۵/۳۵	۲۴۳	$H_{۵,۳}$	۴
۴	۰/۶۸	۴	۰/۵۳	۴	۰/۶۹	۱۶	$H_{۲,۴}$	۵
۶	۲/۸۲	۶	۲/۱۳	۶	۵/۰۰	۶۴	$H_{۲,۴}$	۶
۷	۱۷/۳۲	۷	۸/۵۳	۷۸	۲۶/۹۳	۲۵۶	$H_{۴,۴}$	۷
۹	۱۰۰/۳۷	۴۵۶	۳۴/۲۵	۴۵۳	۱۰۹/۷۲	۱۰۲۴	$H_{۵,۴}$	۸
۶	۱/۳۶	۶	۰/۸۳	۶	۱/۶۰	۲۵	$H_{۲,۵}$	۹
۷	۱۰/۷۷	۷	۴/۱۷	۱۱	۱۲/۷۵	۱۲۵	$H_{۲,۵}$	۱۰
۹	۶۲/۷۱	۲۲۹	۲۰/۸۳	۲۶۴	۶۴/۷۰	۶۲۵	$H_{۴,۵}$	۱۱
۱۱	۱۴۱۹/۸۷	۱۵۲۶	۱۰۵/۹۹	۱۴۷۲	۱۵۵۳/۱۵	۳۱۲۵	$H_{۵,۵}$	۱۲
۶	۱۳۶/۳۰	۱۸۸	۱۵/۷۷	۱۹۸	۱۵۰/۷۸		میانگین:	

نسبت بازه های تخصیص داده شده به هر دسته و نسبتی از هر بازه که متناسب با تعداد زیرمجموعه های i عضوی تفکیک کننده و غیر تفکیک کننده هستند با یک برنامه برای تمام حالات در این گراف کوچک محاسبه شده و بازه های مربوطه به همین نسبت ها ترسیم شده اند.

تمام مجموعه های پنج عضوی جواب شدنی می باشند که ارزشی معادل عدد ۵ به آنها داده شده است. بخشی از مجموعه های چهار، سه، دو و تمام مجموعه های یک عضوی در شرایط مسئله صادق نبوده اند که ارزشی معادل عدد ۷ گرفته اند.

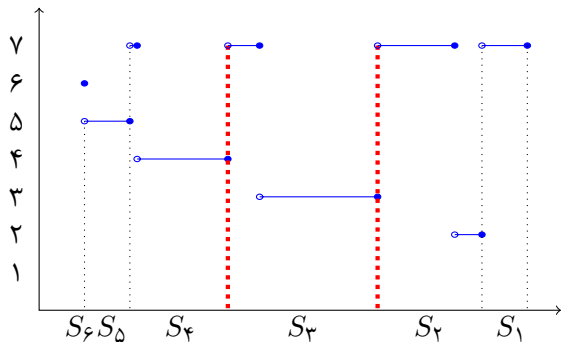
اگر جوابی با مقدار تابع هدف برابر با ۳ پیدا شود، یعنی حداقل یک زیرمجموعه ی ۳ عضوی به عنوان جواب شدنی وجود دارد. لذا در تولید جواب های جدید، زیرمجموعه هایی با تعداد بیشتر از ۳ عضو تولید نخواهیم کرد. تولید جواب های با تعداد عضو بیشتر بی فایده خواهد بود. مثلاً در مسئله رنگ آمیزی گراف، به فرض گرایی با ۲ رنگ قابل رنگ آمیزی است و بهترین پاسخی که الان یافت شده ۳ رنگ باشد؛ جستجو و ترکیب جواب هایی که گراف را با چهار رنگ یا بیشتر رنگ آمیزی می کنند فایده ی بیشتری از جستجو در میان جواب های سه رنگی نخواهد داشت.

روش معمول مورد استفاده در الگوریتم های فراابتکاری برای تولید زیرمجموعه هایی از یک مجموعه ی جهانی، تولید یک بردار با اعضای فقط صفر و یک است که مقدار یک بیانگر حضور عنصر متناظر در جواب است. به عنوان مثال در مسئله ی بعد متریک گراف وقتی به پاسخی با سه عضو برسیم (به عنوان کمترین بعد یافت شده تاکنون)، مقدار تابع هدف برابر با ۳ است؛ هیچ جواب دیگری با تعداد بیشتر از ۳ عضو، مفید نخواهد بود. تولید جواب های تصادفی با تعداد ۴ یا بیشتر عضو، فقط زمان رسیدن به جواب نهایی را طولانی تر خواهد کرد. روال معمول الگوریتم ژنتیک در طی چند نسل چنین جواب های نامطلوبی را حذف خواهد کرد، اما با روش پیشنهادی، در نسل بعد، اصلاً



شکل ۸: مقایسه بهترین جواب و زمان اجرا برای بعد متریک گراف های ابرمکعب.

در شکل ۱۰ نشان داده شده است. در این شکل S_i مجموعه ی همه ی مجموعه های i عضوی می باشد. با توجه به این که فقط یک مجموعه شش عضوی داریم V ، (با یک تک نقطه با ارتفاع ۶ نشان داده شده است؛ چرا که همان گونه که ذکر شد مجموعه ی ۶ عضوی V یک مجموعه ی تفکیک کننده است. اندازه هر بخش متناسب با نسبت تعداد زیرمجموعه های i عضوی به تعداد کل زیرمجموعه هاست. به عنوان نمونه ناحیه مرتبط با زیرمجموعه های ۳ عضوی S_3 و نقطه چین قرمز مشخص شده است. این قسمت دارای دو سطح از تابع هدف است: (۱) سطح تابع هدف برابر با ۳ برای زیر مجموعه های سه عضوی مانند $S = a, b, c$ که یک مجموعه تفکیک کننده (جواب شدنی) هستند و مقدار تابع هدف در آنها برابر ۳ هست و (۲) سطح γ مانند $S' = a, f, g$ که یک مجموعه ی تفکیک کننده نیست و مقدار تابع هدف γ را در نظر گرفته ایم.



شکل ۱۰: نمایش فضای جواب گراف شکل ۱ در مسئله ی بعد متریک گراف. S_i ها زیر مجموعه های i عضوی می باشند.

حافظه هستند، در الگوریتم ازدحام ذرات، از بهترین جواب خود و گروه مطلع هستند. در نوشتار حاضر به کروموزم ها در الگوریتم ژنتیک اجازه داده شده است که از دیگر کروموزم ها مطلع باشند و بقای کروموزوم ها وابسته به بهترین جواب های پیدا شده توسط دیگر اعضای جمعیت باشد. اعضای که قدرت رقابت با بهترین عضو را ندارند با جواب هایی که با صرف نظر کردن از رعایت قیدهای مسئله، پاسخ های خوبی محسوب می شوند جایگزین می شوند. آزمایشات انجام شده بر روی دو مسئله مشهور در حوزه گراف: رنگ آمیزی و بعد متریک گراف، کارایی شیوه پیشنهادی را نشان داده است. اعمال شیوه ی پیشنهادی روی دیگر مسائل حوزه بهینه سازی ترکیبیاتی از جمله کارهای آتی مدنظر نویسندگان است.

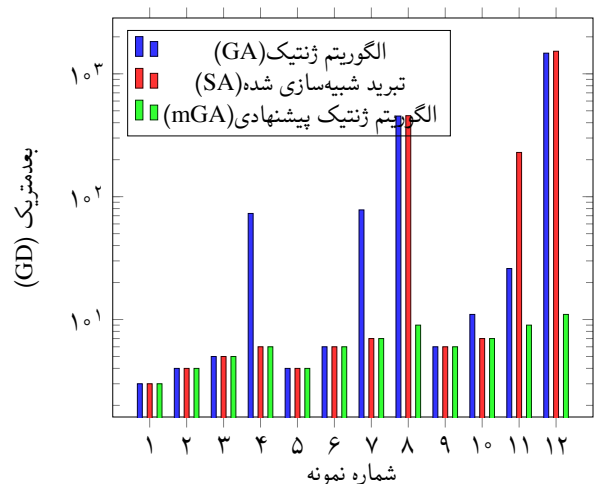
مراجع

[1] D. Beasley, D. R. Bull, and R. R. Martin, "An overview of genetic algorithms: Part 1, fundamentals," *University Computing*, vol.15, no.2, pp.58–69, 1993.

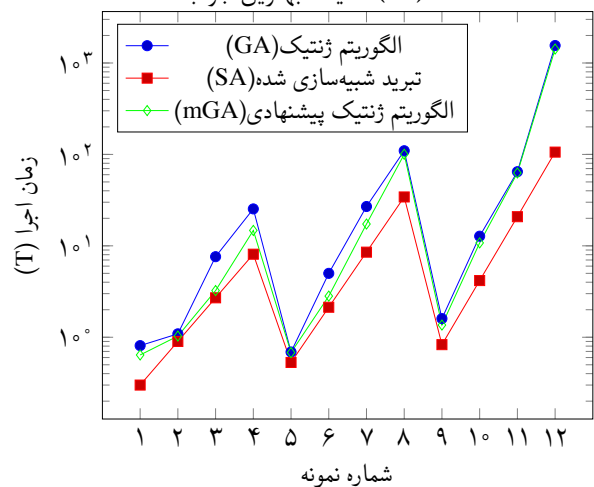
[۲] م. امین طوسی و ه صدوقی یزدی، "کلاس بندی فازی بهینه دانشجویان با استفاده از یک تابع فازی در حل مسئله برنامه ریزی ژنتیکی دروس هفتگی دانشگاه"، در نهمین کنفرانس سالانه انجمن کامپیوتر ایران، (تهران، ایران)، صفحات ۳۵۲–۳۴۵، دانشگاه صنعتی شریف، اسفند ۱۳۸۲.

[3] M. Amintoosi, H. SadoghiYazdi, M.Fathy, and R. Monsefi, "Using pattern matching for tiling and packing problems," *European Journal of Operational Research*, vol.183, pp.950–960, 2007.

[۴] ر. منصفی و م. امین طوسی، "جورچینی قطعات راست گوشه با استفاده از شبکه های عصبی و الگوریتم ژنتیک"، در پنجمین کنفرانس سالانه انجمن کامپیوتر ایران، (تهران، ایران)، صفحات ۳۰۴–۲۹۸، دانشگاه شهید بهشتی، بهمن ۱۳۷۸.



(الف) مقایسه بهترین جواب



(ب) مقایسه زمان اجرا (لگاریتمی)

شکل ۹: مقایسه بهترین جواب و زمان اجرا برای بعد متریک گراف های همینگ.

پاسخ هایی با چهار عضو را خواهیم داشت. به جای اینکه عمل اصلاح چنین اعضای در طی چندین نسل انجام شود، در روش پیشنهادی این کار توسط عملگرهای الگوریتم انجام شده و نیاز به جستجوی کورکورانه الگوریتم ژنتیک برای این حالات خاص مرتفع می شود. به همین دلیل در نتایج آزمایشات ذکر شده، به صورت میانگین الگوریتم پیشنهادی سریع تر بوده است.

۵- نتیجه گیری

بسیاری از روش های فراابتکاری در حل مسائل بهینه سازی همچون الگوریتم ژنتیک، الگوریتم ازدحام ذرات، الگوریتم های مورچگان، الگوریتم زنبور عسل، فاخته، خفاش و کرم شب تاب، ملهم از پدیده های طبیعی هستند که عموماً نسخه ی مصنوعی این پدیده ها، حذف و اضافاتی نسبت به پدیده واقعی در خلقت دارند. به عنوان مثال در الگوریتم مورچگان، مورچه ها دارای

- [15] <https://en.wikipedia.org/wiki/Graph-coloring>, 2016.
- [16] T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest, and C. Stein. *Introduction to Algorithms, Third Edition*. The MIT Press, 3rd ed. , 2009.
- [17] J. Kratica, V. Kovačević-Vujčić, and M. Čangalović, “Computing the metric dimension of graphs by genetic algorithms,” *Computational Optimization and Applications*, vol.44, pp.343–361, 01 2009.
- [18] J. Bensmail, F. Mc Inerney, and N. Nisse, “Metric Dimension: from Graphs to Oriented Graphs,” in *LAGOS 2019 - 10th Latin & American Algorithms, Graphs and Optimization Symposium*, vol.346 of *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, (Belo Horizonte, Brazil), pp.111–123, June 2019.
- [19] J. Cáceres, C. Hernando, M. Mora, I. M. Pelayo, M. L. Puertas, C. Seara, and D. R. Wood, “On the metric dimension of cartesian products of graphs,” *SIAM Journal on Discrete Mathematics*, vol.21, no.2, pp.423–441, 2007.
- [20] S. Farooq, Rashid; Akhter, “Metric dimension of fullerene graphs,” *GTA Research Group, Univ. Newcastle, Indonesian Combinatorics Society and ITB*, vol.Vol 7, No 1 (2019): Electronic Journal of Graph Theory and Applications, 2019.
- [21] Z. Shao, S. M. Sheikholeslami, P. Wu, and J.-B. Liu, “The Metric Dimension of Some Generalized Petersen Graphs,” *Discrete Dynamics in Nature and Society*, vol.2018, pp.1–10, August 2018.
- [22] A. Ahmad, M. Bača, and S. Sultan, “Computing the metric dimension of kayak paddles graph and cycles with chord,” *Proyecciones (Antofagasta, On line)*, vol.39, pp.287–300, Apr. 2020.
- [23] F. Harary, J. P. Hayes, and H.-J. Wu, “A survey of the theory of hypercube graphs,” *Computers & Mathematics with Applications*, vol.15, no.4, pp.277 – 289, 1988.
- [24] هـ عزتی و م. امین‌طوسی، “محاسبه بعد متریک گراف با الگوریتم شبیه‌سازی تبرییدی،” در سومین سمینار کنترل و بهینه‌سازی، (دانشگاه حکیم سبزواری)، صفحات ۳۹–۴۲، ۱۳۹۸.
- [5] J. Kratica, “Improving performances of the genetic algorithm by caching,” *Computers and Artificial Intelligence*, vol.18, 01 1999.
- [6] Z. Xin and X. Chunbo, “New genetic algorithm improved and its applications,” in *2011 International Conference on Electronics, Communications and Control (ICECC)*, pp.926–928, Sept 2011.
- [7] A. Shrestha and A. Mahmood, “Improving genetic algorithm with fine-tuned crossover and scaled architecture,” *Journal of Mathematics*, vol.2016, p.10, Article ID 4015845 2016.
- [8] R. Tanese, “Distributed genetic algorithms,” in *Proceedings of the 3rd International Conference on Genetic Algorithms*, (San Francisco, CA, USA), pp.434–439, Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1989.
- [9] T. C. Belding, “The distributed genetic algorithm revisited,” in *Proceedings of the 6th International Conference on Genetic Algorithms*, (San Francisco, CA, USA), pp.114–121, Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1995.
- [10] D. Whitley, S. Rana, and R. B. Heckendorn, “The island model genetic algorithm: On separability, population size and convergence,” *Journal of Computing and Information Technology*, vol.7, pp.33–47, 1998.
- [11] S. H. Ling and F. H. Leung, “An improved genetic algorithm with average-bound crossover and wavelet mutation operations,” *Soft Comput.*, vol.11, pp.7–31, Jan. 2007.
- [12] R.-L. Wang and K. Okazaki, “An improved genetic algorithm with conditional genetic operators and its application to set-covering problem,” *Soft Comput.*, vol.11, pp.687–694, Feb. 2007.
- [13] H. Mühlenbein and D. Schlierkamp-Voosen, “Predictive models for the breeder genetic algorithm i. continuous parameter optimization,” *Evol. Comput.*, vol.1, pp.25–49, Mar. 1993.
- [14] I. Ono, H. Kita, and S. Kobayashi, “Advances in evolutionary computing,” chap. A Real-coded Genetic Algorithm Using the Unimodal Normal Distribution Crossover, pp.213–237, New York, NY, USA: Springer-Verlag New York, Inc., 2003.

The aware genetic algorithm of the best member, applied to graph coloring and metric-dimension of the graph problems

Abstract:

Genetic algorithm is one of the most famous methods for solving Combinatorial Optimization Problems. It had various applications in different field of studies such as Electronics, Computer Science and Mathematics and still has. In this algorithm, the population members which contribute for producing the next generation are selected according to their fitness values. The combination of the members is through Crossover Operator; And in some versions a few of the best members migrate to the next generation directly. Normally, the weak members of population may participate to the next generation. In this study, the combination operators are aware of the best member of generation; Only those child which are as good as the best member, are allowed to form the next generation. The proposed method is applied on graph coloring and finding metric-dimension of graph problems. The results are compared with the common genetic algorithm. Experimental results shows the superior performance of the proposed method in comparison to common genetic algorithm.

Keywords: Genetic Algorithm, Metaheuristic Algorithms, Metric Dimension of Graphs, Graph Coloring

تبدیل توالی پروتئین به تصویر جهت طبقه‌بندی با شبکه عصبی کانولوشنی

رضا احسن* منصور ابراهیمی** روح الله دیانت*

* استادیار دانشکده فنی مهندسی - دانشگاه قم - قم - ایران

** دانشیار دانشکده علوم پایه - دانشگاه قم - قم - ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۱۸

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

از آنجا که روش‌های مخصوص طبقه‌بندی توالی یادگیری ماشین، جهت طبقه‌بندی پروتئین‌های سالم و سرطانی موفق نبودند بنابراین یافتن راهکاری برای بازنمایی این توالی‌ها جهت طبقه‌بندی افراد سالم و مریض با رویکردهای یادگیری عمیق ضرورت تام دارد. در این مطالعه، روش‌های مختلف بازنمایی توالی پروتئین، جهت طبقه‌بندی توالی پروتئین افراد سالم و سرطانی خون، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که تبدیل حروف اسید آمینه به بردار ویژگی یک‌بعدی در طبقه‌بندی ۲ کلاس موفق نبود و فقط یک کلاس مریض تشخیص داده شد. با تغییر بردار ویژگی به صورت اعداد رنگی دقت تشخیص کلاس سالم کمی بهبود یافت. روش بازنمایی توالی پروتئینی به صورت یکپارچه دودویی، با ابتکار حفظ دنباله توالی در دو حالت یک‌بعدی و دوبعدی (تصویر با اعمال فیلتر گابور)، نسبت به روش‌های قبلی موثرتر بود. بازنمایی توالی پروتئین به شکل تصویر دودویی با اعمال فیلتر گابور با دقت ۱۰۰٪ توالی پروتئین افراد سالم و ۹۸٫۶٪ توالی پروتئین افراد دارای سرطان خون را طبقه‌بندی کرد. یافته‌های این تحقیق نشان داد که بازنمایی توالی پروتئین به شکل تصویر دودویی با اعمال فیلتر گابور، می‌تواند به‌عنوان روش موثر جدید در بازنمایی توالی‌های پروتئینی جهت طبقه‌بندی، ارائه نماید.

واژگان کلیدی: تبدیل توالی پروتئین به تصویر، فیلتر گابور، شبکه عصبی کانولوشنی، طبقه‌بندی توالی پروتئین.

۱- مقدمه

باعث افزایش سریع تعیین توالی ژنوم بسیاری از گونه‌های موجودات شد، به طوری که پروژه‌های تعیین توالی ژنوم‌ها از پروژه‌های بسیار رایج به حساب می‌آیند. مطالعه وابستگی این پروفایل‌های توالی پروتئینی و حالت‌های بیماری یا مراحل سلول‌ها نقش مهمی را در کاربردهای بالینی و بیولوژیکی بازی می‌کند [۲]. پروفایل‌های توالی پروتئینی می‌تواند از چندین نمونه بافت به دست آورده شود و در مقایسه ژن‌های بیان شده در بافت نرمال با آن ژن‌هایی که در بافت بیمار است، فرد می‌تواند به بصیرت بهتری در

ساختار ژنومی و پروتئینی هر جاندار توسط یک سری از توالی‌های خاص تکراری درست شده است. چهار نوکلئوتید آدنین، گوانین، تیمین، و سیتوزین ساختار اصلی توالی‌های ژنومی و بیست اسید آمینه ساختار توالی پروتئین را تشکیل می‌دهند. به دلیل تکراری بودن این توالی‌ها امکان استفاده از مدل‌های مختلف داده کاوی در تحلیل ژنومی فراهم شده است [۱]. در چند دهه اخیر، پیشرفت در زیست‌شناسی مولکولی و تجهیزات مورد نیاز تحقیق در این زمینه

نویسنده مسئول: منصور ابراهیمی mansour@future.edu

یا کلاس‌های مختلف از توالی، بهتر تمایز قائل می‌شود [۷]. کاربرد مفید دیگر یادگیری عمیق موفقیت در پیدا کردن و وصل کردن بخشهای اطلاعاتی کدکننده ژن یعنی اگزون‌ها می‌باشد [۸، ۹]; یادگیری عمیق در تشخیص ویژگی‌های پروتئین‌های متصل‌شونده به DNA و RNA [۱۰]; در تشخیص ویژگی‌های علائم اپی ژنتیک که مطالعه بر روی تاثیرات محیط برای باز شدن رشته‌های DNA یا RNA پیچ خورده برای بیان شدن را دارند [۱۱]; و [۱۲]، موفقیت آمیز عمل کرده است. یکی از بهترین و دقیق‌ترین روش‌های یادگیری عمیق در این زمینه، شبکه عصبی کانولوشنی است، در شبکه عصبی کانولوشنی استخراج ویژگی به صورت سلسله مرتبی انجام می‌شود [۱۳].

۲- ادبیات تحقیق

سال‌های اخیر انفجاری در پیشرفت تکنیک‌هایی با تکنولوژی بالا برای دستیابی و نشان دادن جنبه‌های مختلف فعالیت ژن به وجود آمده است. اکنون با استفاده از این تکنولوژی‌های جدید، شناسایی ارتباطات جدید بین ژن‌ها را با قدرت تفکیک پذیری بالاتر نسبت به گذشته ممکن ساخته است. برای مثال خیلی زود این امکان وجود خواهد داشت که نقشه کل مجموعه کنش متقابل پروتئین برای هر ارگانیسم نیز مشخص شود. دسترسی این مجموعه داده وسیع ژنوم یک فرصت بی نظیر برای کشف ویژگی‌های سلولی جدید از منظر سیستمی می‌دهد و توانایی دانشمندان را در پیش‌بینی صحیح عملکرد ژن در حجم‌های وسیع افزایش می‌دهد [۱۴]. شماری از تکنیک‌های طبقه‌بندی یادگیری ماشین جهت طبقه‌بندی بافت به دو نوع سرطانی و نرمال استفاده شده است. بعلاوه تعداد زیاد ویژگی در مقابل تعداد کم نمونه‌های آموزشی، حل این مساله را خیلی سخت‌تر می‌کند [۱۵]. در گذشته، راه‌حل‌های زیادی جهت مساله طبقه‌بندی سرطان پیشنهاد شده است. در این روش‌ها، بیشتر از کاهش فضای مشخصه با انتخاب و یا استخراج ویژگی استفاده شده است. اگرچه این منجر به مشکلاتی با آن روش‌هایی می‌شود که اکثراً مقیاس پذیر نیستند و نمی‌توانند به انواع جدید سرطان بدون باز طراحی مشخصات جدید تعمیم داده شوند. بعلاوه این تکنیک‌ها نمی‌توانند راه‌حل موثری از نمونه‌های بافت از دیگر سرطان‌ها اتخاذ کنند [۱۶]. یادگیری

طب آسیب شناسی بیماری برسد [۳]. یکی از بیماری‌های مهم در این زمینه سرطان می‌باشد. سرطان در واقع یک بیماری ژنتیکی است که مشخصه آن جهش (تغییر در توالی ژنوم) در بخشی از DNA در یک یا چند گروه از سلول‌های طبیعی می‌باشد که منجر به تقسیم نامحدود این سلول‌ها می‌گردد [۴]. سرطان خون یا لوسمی بیماری پیش‌رونده و بدخیم اعضای خون‌ساز بدن است. این بیماری در اثر تکثیر و تکامل ناقص گویچه‌های سفید خون و پیش‌سازهای آن در خون و مغز استخوان ایجاد می‌شود. به این معنی که مغز استخوان به صورت غیر عادی، مقدار بسیار زیادی سلول خونی تولید می‌کند که باعث توقف در تولید سلول‌های سفید می‌شوند و توانایی فرد در مقابله با بیماری‌ها از بین می‌رود. این سلول‌ها که با سلول‌های خون نرمال متفاوت هستند بر تولید سایر انواع سلول‌های خونی که توسط مغز استخوان ساخته می‌شود مانند گویچه‌های قرمز خون که اکسیژن به بافت‌های بدن می‌رسانند و پلاکت‌های خونی که از لخته شدن جلوگیری می‌کنند، اثر می‌گذارند [۵]. پیشرفت‌های فن آوری در علم ژنتیک و تصویر برداری یک انفجاری در ایجاد حجم زیادی از نمونه‌های مولکولی و سلولی کرده است. تحلیل و بررسی این حجم زیاد از نمونه‌های مولکولی و سلولی با روشهای متعارف با توجه به ابعاد بالای داده‌های بیولوژیکی چالش برانگیز است [۶]. روشهای مدرن یادگیری ماشین، از قبیل یادگیری عمیق، نویدی برای قدرت نفوذ به ساختار مخفی بین مجموعه داده‌های بسیار بزرگ و ساخت پیش‌بینی‌های دقیق دارد. ارزش شبکه عصبی عمیق در این زمینه دو جنبه است. ابتدا، شیوه‌های قدیمی یادگیری ماشین نمی‌تواند مستقیماً روی توالی اجرا شود، بنابراین نیازمند ویژگی‌های از پیش تعریف شده دارد که می‌تواند بر اساس دانش قبلی استخراج شود مانند حضور یا عدم حضور متغیرهای تک نوکلئوتیدی؛ تعداد دفعاتی که زیر توالی^۲ ظاهر شده؛ توالی‌های تکراری کوتاه نوکلئوتیدی یا آمینواسیدی^۳ و دنباله‌های حفظ شده که در نسل‌های مختلف تغییر نکرده است^۴. شبکه‌های عصبی عمیق به صورت خودکار نه دستی، الگوهای مشترک از داده‌ها را از طریق یادگیری ویژگی پیدا می‌کنند. بدین معنی که بازنمایی غنی شده‌ای از داده‌های توالی ایجاد می‌کند تا بتواند وابستگی‌های غیر خطی و اثرات متقابل آنها را در محدوده توالی گسترده‌تر در مقیاس ژنومی متعدد را نشان دهد و این بازنمایی در روند دسته‌بندی، بین دسته‌ها

⁴ conservation

⁵ splicing

¹ SNVs

² K-mer

³ Motif

پیشنهاد می‌دهیم. سپس با اعمال فیلتر گایوربا زاویه و طول موج مختلف به تصویر دودویی، دقت طبقه‌بندی معماری پیشنهاد شده شبکه عصبی کانولوشنی را بررسی کرده و تعیین می‌کنیم با چه تنظیماتی می‌توانیم در بینش بیولوژیکی با تبدیل توالی پروتئین به تصویر باینری از آن استفاده نماییم. ما همچنین زمان آموزش برای رسیدن به دقت کل ۱۰۰٪ جهت طبقه‌بندی توالی‌های پروتئین سالم و سرطان خون بازنمایی شده با تصویر دودویی را با اعمال حالت‌های مختلف زوایا و طول موج فیلتر گایور و چگونگی بهترین استفاده از این تکنولوژی جدید را مورد بحث قرار می‌دهیم.

۳- شبکه عصبی کانولوشنی

شبکه عصبی کانولوشنی رده‌ای از یادگیری عمیق هستند که معمولاً برای تحلیل تصاویر در یادگیری ماشین استفاده می‌شوند. ساختار شبکه کانولوشنی از فرایندهای زیستی قشر بینایی گربه الهام گرفته شده است. این ساختار به گونه‌ای است که تک نورون‌ها، تنها در یک ناحیه محدود به تحریک پاسخ می‌دهند که به آن ناحیه ادراکی گفته می‌شود. نواحی ادراکی نورون‌های مختلف، به صورت جزئی باهم هم-پوشانی دارند به گونه‌ای که کل میدان دید را پوشش می‌دهند. یک شبکه عصبی کانولوشنی از سه لایه اصلی تشکیل می‌شود که عبارتند از: لایه کانولوشنی^۶، لایه ادغام^۷ و لایه تماماً متصل^۸. لایه‌های مختلف وظایف مختلفی را انجام می‌دهد. در هر شبکه عصبی کانولوشنی دو مرحله برای آموزش وجود دارد. مرحله پیش‌رو^۹ و مرحله پس‌انتشار^{۱۰} در مرحله اول تصویر ورودی به لایه کانولوشن شبکه تغذیه می‌شود و این عمل چیزی جز ضرب نقطه ای بین ماتریس تصویر ورودی و ماتریس فیلتر در هر لایه کانولوشن نیست. خروجی لایه‌های کانولوشن نشان‌دهنده ویژگی‌های سطح بالا در داده‌ها است، به عبارت ساده هدف لایه‌های کانولوشن در پردازش عکس ساختن ویژگی‌ها از داده‌های خام می‌باشد، آنها به دنبال اشیا و دنباله‌های با معنی موجود در عکس می‌گردند اما هیچ تصمیم‌گیری در مورد طبقه‌بندی انجام نمی‌دهند. فلت کردن این ویژگی‌ها در انتهای شبکه و اتصال آنها به دو لایه تماماً متصل معمولاً یک روش ارزان «از لحاظ بار محاسباتی» برای یادگیری ترکیبات غیرخطی این ویژگی‌ها است. ابعاد ماتریس وزن، برای تولید تعداد نرون‌های لازم در لایه تمام متصل برابر است با حاصل ضرب تعداد این نرون‌ها در تعداد نرون‌های لایه قبلی آنها. یکسوساز^{۱۱} جهت

عمیق در حال حاضر با تحلیل ژن‌های بیمار برای کمک به تشخیص بیماری‌ها مورد استفاده است. این تکنیک می‌تواند سلول‌های سرطانی را تشخیص دهد که دانشمندان موفق به مشاهده آنها نشده‌اند همچنین می‌تواند به محققان در درک بهتر جهش‌های عامل سرطان و توسعه درمان‌های جدید برای آنها کمک کند [۱۷]. یادگیری عمیق از زیر شاخه‌های یادگیری ماشین است. این روش ویژگی را به صورت سلسله مراتبی از لایه‌های مختلف از طریق توابع غیر خطی استخراج می‌کند ورودی هر لایه خروجی لایه قبلی است و آموزش آن می‌تواند به صورت ناظر یا بدون ناظر باشد. در واقع تک لایه مخفی در شبکه عصبی با تعدادی زیادی (عمیق) لایه جایگزین شده است [۱۸]. شبکه‌های عصبی کانولوشنی یکی از مهم‌ترین روش‌های یادگیری عمیق هستند که در آنها چندین لایه با روشی قدرتمند آموزش می‌بینند. این روش بسیار کارآمد بوده و یکی از رایج‌ترین روشها در کاربردهای مختلف بینایی کامپیوتر است [۱۹]. پروتئین‌ها می‌توانند فعال کننده یا مهار کننده بیماری باشند علاوه بر نقش خود به عنوان یک عامل تمایز، سرکوبگر تومور نیز می‌باشند. در حدود ۹۰٪ از سلول‌های سرطانی دارای فعالیت بالای ترکیبات نوکلئوپروتئینی می‌باشند که سبب می‌شود سلول‌ها رشد غیرعادی داشته باشند [۲۰]. بنابراین بررسی فعالیت توالی پروتئینی سلول‌های سرطانی، می‌تواند به عنوان ابزاری برای تشخیص و طبقه‌بندی بیماری سرطان مورد استفاده قرار گیرد. در ارتباط با این مساله و جهت تسهیل و توسعه نسخه‌های تعمیم یافته‌تر دسته‌کننده‌های سرطان، در این تحقیق، ما راه کلی تری از یادگیری مشخصه‌ها به وسیله کاربرد یادگیری مشخصه با ناظر و روش‌های یادگیری عمیق، در واقع شبکه کانولوشنی را پیشنهاد می‌دهیم. در روش پیشنهادی از داده‌های توالی پروتئینی بیماران مبتلا به سرطان خون و انسان سالم، استفاده شده است. در این مقاله ما در رابطه با نوع جدیدی از برنامه‌های کاربردی در آنالیز دستاوردهایی از بازنمایی توالی پروتئین به تصویر را بحث می‌کنیم. هدف اصلی این مطالعه استفاده از قابلیت‌های شبکه عصبی کانولوشنی جهت طبقه‌بندی تصاویر بازنمایی شده از توالی پروتئین می‌باشد. ما ابتدا نوآوری در این تحقیق یعنی تبدیل توالی پروتئین به تصویر را ارائه می‌دهیم برای این منظور روش‌های مختلف در تبدیل توالی پروتئین به تصاویر را

⁹ Feed-Forward

¹ Back Propagation

¹ RELU

⁶ Convolution

⁷ Pooling

⁸ Full Connected

در رابطه (۱) λ طول موج فرکانس سینوسی، θ زاویه چرخش فیلترهای گابور برای تعیین جهت نوارهای موازی تابع گابور، ψ جابه‌جایی فاز برای تعیین تقارن تابع گابور، σ انحراف استاندارد پوشش تابع گاوسی، γ نسبت ابعاد فضایی و بیضوی، در صورتی که به‌طور مناسب و دقیق تنظیم شوند، عملکرد بسیار مناسبی در تشخیص ویژگی‌های بافت و لبه بافت دارند [۲۲]. ویژگی دیگر فیلترهای گابور درجه تفکیک مشترک بالای آنها است. این بدان معنی است که پاسخ آنها هم در حوزه مکان و هم در حوزه فرکانس کاملاً محلی و قابل تنظیم کردن است.

در این مقاله زوایای مختلف چرخش فیلتر گابور با 2 طول موج فرکانس سینوسی جهت استخراج ویژگی‌های مهمتر مورد مقایسه قرار می‌گیرند.

۵- روش‌های طبقه‌بندی توالی

سه روش متداول جهت طبقه‌بندی توالی وجود دارد. روش اول، طبقه‌بندی مبتنی بر ویژگی است. کل تعداد ویژگی‌های یک توالی پروتئین به طول n ، شامل همه زیرمجموعه‌های ممکن برای مکان آمینواسیدها، به‌صورت رابطه ۲ تعریف می‌شود.

$$\sum_{k=0}^n \binom{n}{k} = \binom{n}{0} \binom{n}{1} + \dots + \binom{n}{n} = 2^n \quad (2)$$

در رابطه ۲، n تعداد ویژگی‌های اولیه است. و k نیز زیر مجموعه انتخاب شده است. نشان داده شده است که پیدا کردن زیر مجموعه بهینه، یک مسئله NP-hard است [۲۳، ۲۴]. به‌عنوان روش‌های مبتنی بر ویژگی، در مرحله اول موقعیت حروف اسید آمینه به عنوان ویژگی تعریف شدند. در مرحله دوم، در حین حفظ یکپارچگی، حروف اسید آمینه توالی پروتئین به بردار دودویی تبدیل می‌شود؛ در این روش بازنمایی، به دلیل اینکه دنباله توالی‌ها باید حفظ شود، برای تک تک حروف اسید آمینه، در طول توالی پروتئین، اگر حرف مورد نظر ظاهر شود، مقدار ۱ و در غیر این صورت مقدار ۰ جایگزین می‌شود. جدول ۱ بازنمایی توالی پروتئین به شکل بردار دودویی را نشان می‌دهد.

صفر کردن مقادیر منفی ماتریس بدست آمده، استفاده می‌شود. لایه ادغام معمولاً بعد از لایه کانولوشن قرار می‌گیرد و اندازه داده را کوچک می‌کنند. در ترکیب نوروها، مکانیزم‌های مختلفی وجود دارد که معروف‌ترین آنها ادغام ماکسیمم^۱ است. در این مکانیزم پنجره‌هایی بر روی ماتریس بدست‌آمده مرحله قبل اعمال شده و با گام مشخصی حرکت می‌کند و وظیفه آن قرار دادن ماکسیمم اعداد موجود در پنجره به‌جای اعداد می‌باشد. لایه بیشینه هموار^۳ خروجی لایه تماماً متصل^۴ را به توزیع احتمال کلاس‌ها تبدیل می‌کند. سپس خروجی شبکه محاسبه می‌شود. به منظور تنظیم پارامترهای شبکه (مقادیر فیلترهای لایه کانولوشن و ماتریس‌های وزن لایه‌های تماماً متصل)، در مرحله اول با استفاده از یک تابع خطا^۵، خروجی شبکه را با پاسخ صحیح مقایسه کرده و خطا محاسبه می‌شود. در مرحله بعدی بر اساس میزان خطای محاسبه شده مرحله پس‌انتشار خطا آغاز می‌شود. در این مرحله گرادینت هر پارامتر، با توجه به قاعده زنجیره‌ای^۶ محاسبه می‌شود و تمامی پارامترها با توجه به تأثیری که بر خطای ایجادشده در شبکه دارند تغییر پیدا می‌کنند. بعد از بروز شدن پارامترها، مرحله بعدی پیش-رو شروع می‌شود. با تکرار تعداد مناسبی از این مراحل، آموزش شبکه پایان می‌یابد.

۴- فیلتر گابور

در کاربردهای مختلف بینایی کامپیوتر از قبیل آنالیز بافت و آشکارسازی لبه، توابع گابور بطور وسیعی استفاده شده‌اند. فیلتر گابور یک فیلتر خطی و محلی است. هسته کانولوشن فیلتر گابور حاصل ضرب یک تابع نمایی مختلط و گوسین است [۲۱]. مجموعه فیلترهای گابور از طریق رابطه (۱) بدست آورده می‌شوند.

$$g(x, y; \lambda, \theta, \psi, \sigma, \gamma) = \exp\left(-\frac{(x \cos \theta + y \sin \theta)^2 + \gamma^2 + (-x \sin \theta + y \cos \theta)^2}{2\sigma^2}\right) * \exp\left(i\left(2\pi \frac{(x \cos \theta + y \sin \theta)}{\lambda} + \psi\right)\right)$$

¹ loss function
¹ chain rule

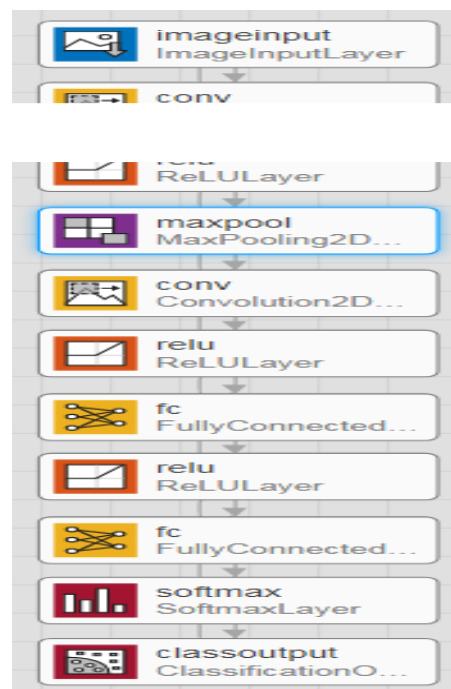
5
6

¹ Max pooling
¹ Softmax
¹ fully connected

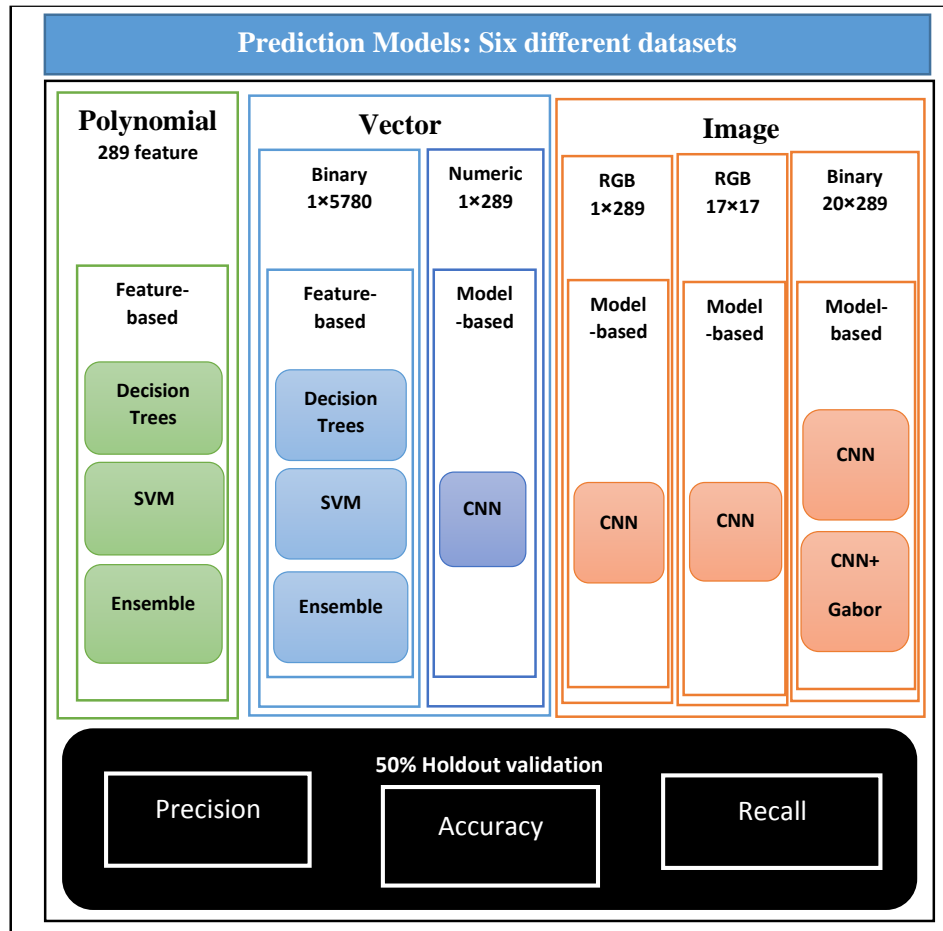
2
3
4

مجموعه داده چهارم با بردار کد رنگ ایجاد شد، در این مجموعه داده به‌ازای هر توالی ۲۸۹ کد رنگ به عنوان ویژگی در نظر گرفته شد. برای این مجموعه داده نیز جهت طبقه بندی مبتنی بر مدل از شبکه عصبی کانولوشنی با معماری شکل ۵ استفاده شد.

جایگزین می‌شود. تعداد کل ویژگی‌ها در این روش ۲۸۹*۲۰ برابر با ۵۷۸۰ خواهد شد. این مجموعه داده نیز جهت طبقه بندی مدل‌های مبتنی بر ویژگی ایجاد شد، روش‌های طبقه بندی مبتنی بر ویژگی در این ۲ مجموعه داده شامل درختان تصمیم، ماشین بردار پشتیبان، و روش‌های گروهی می‌باشد. مجموعه داده سوم، برداری از اعداد صحیح است، برای هر توالی به طول ۲۸۹، برداری شامل ۲۸۹ عدد صحیح به‌عنوان ویژگی، مطابق با اعداد صحیح جدول ۱ تعریف شد، شبکه عصبی کانولوشنی با معماری معرفی شده در شکل ۵ جهت طبقه بندی مبتنی بر مدل برای این مجموعه داده انتخاب شد. در معماری این شبکه عصبی کانولوشنی از ۱۱ لایه پس از لایه ورودی برای طبقه بندی استفاده شده است. لایه اول از لایه کانولوشن با ۳۰ فیلتر با ابعاد ۱X۳، لایه دوم از یکسوساز جهت صفر کردن اعداد منفی خروجی لایه قبل، لایه سوم لایه کانولوشن با ۶۰ فیلتر ۱X۲ و لایه چهارم نیز لایه یکسوساز، لایه پنجم لایه ادغام با ناحیه ادراکی ۱X۲ با عملگر حداکثر با گام ۲، لایه ششم لایه کانولوشن با ۸۰ فیلتر ۱X۳، لایه هفتم لایه یکسوساز، لایه هشتم و نهم تماماً متصل به ترتیب با ۳۳ و ۲ نورون، لایه دهم لایه بیشینه هموار و لایه یازدهم، لایه طبقه بندی^۹ تعریف شده است.



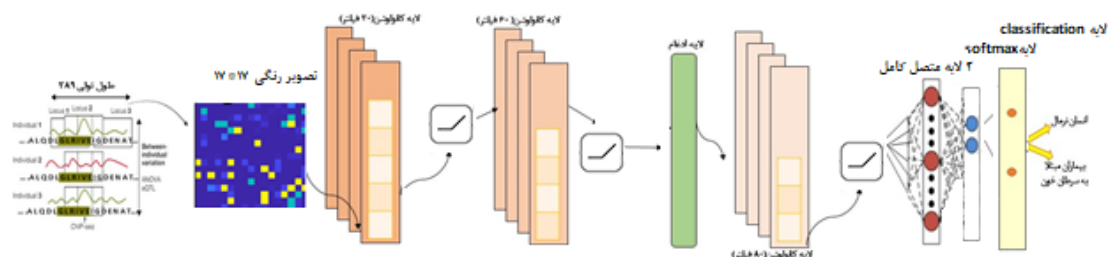
شکل ۵: معماری شبکه عصبی کانولوشن با ورودی عدد آرایه یک بعدی.



شکل ۶: روش‌های طبقه‌بندی در ۶ مجموعه داده

صفر کردن اعداد منفی خروجی لایه قبل، لایه سوم لایه کانولوشنی با $60 \times 4 \times 4$ و لایه چهارم نیز لایه یکسوساز، لایه پنجم لایه ادغام با ناحیه ادراکی 2×2 با عملگر ماکسیمم، لایه ششم لایه کانولوشنی با $80 \times 3 \times 3$ ، لایه هفتم لایه یکسوساز، لایه هشتم و نهم تماماً متصل به ترتیب با 20×2 و 2 نورون، لایه دهم، لایه بیشینه هموار و لایه یازدهم، لایه طبقه‌بندی تعریف شده است.

در مجموعه داده پنجم، برای هر توالی تصویر رنگی 17×17 تعریف شد. در این روش ۲ مدل معماری شبکه عصبی عمیق پیشنهاد داده شد. مطابق با شکل ۷ در مدل اول از شبکه عصبی کانولوشنی با ۱۱ لایه پس از لایه ورودی برای طبقه‌بندی تصاویر رنگی مربعی بازنمایی شده از توالی‌های پروتئین استفاده شد. لایه اول از لایه کانولوشنی با 20 فیلتر با ابعاد 5×5 ، لایه دوم از یکسوساز جهت

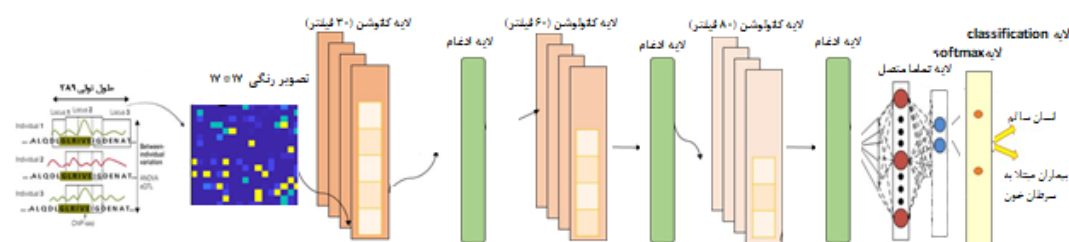
شکل ۷: مدل اول شبکه عصبی کانولوشن جهت طبقه‌بندی تصویر رنگی 17×17

استفاده شد. در لایه اول، از 30 فیلتر کانولوشن با ابعاد 3×3 ، لایه دوم از لایه ادغام جهت کاهش ابعاد با ناحیه ادراکی 2×2 ، لایه

مطابق با شکل ۸ در مدل دوم، از 10 لایه پس از لایه ورودی جهت طبقه‌بندی تصاویر رنگی مربعی بازنمایی شده از توالی‌های پروتئین

۲، لایه هفتم و هشتم لایه های تماما متصل به ترتیب با ۳۳ و ۲ نرون، لایه نهم، لایه بیشینه هموار و لایه دهم، لایه طبقه‌بندی تعریف شده است.

سوم شامل ۶۰ فیلتر کانولوشن با ابعاد 2×2 ، لایه چهارم مانند لایه دوم، لایه پنجم شامل ۸۰ فیلتر کانولوشن با ابعاد 3×3 ، لایه ششم نیز شبیه لایه چهارم و دوم از لایه ادغام با ناحیه ادراکی 2×2



شکل ۸: مدل دوم شبکه عصبی کانولوشن در روش اول پیشنهادی

با ابعاد 4×80 ، لایه پنجم: لایه یکسوساز، لایه ششم: لایه تماما متصل با ۱۰۰ نرون، لایه هفتم: لایه یکسوساز، لایه هشتم: لایه تماما متصل با ۲ نرون، لایه نهم: لایه بیشینه هموار، لایه دهم: لایه طبقه‌بندی در نظر گرفته شده است.

مطابق با شکل ۹ در روش پیشنهادی سوم از ۱۰ لایه شبکه عصبی کانولوشنی برای طبقه‌بندی خروجی فیلتر گابور تصاویر دودویی 20×289 استفاده می‌شود. لایه اول شامل ۱۰ فیلتر کانولوشن با ابعاد 10×10 ، لایه دوم: لایه یکسوساز، لایه سوم: لایه ادغام با ناحیه ادراکی 5×5 ، لایه چهارم شامل ۱۰ فیلتر کانولوشن



شکل ۹: معماری شبکه کانولوشن در روش پیشنهادی تبدیل توالی پروتئین به تصاویر دودویی

نرم‌افزار متلب در روش‌های مبتنی بر ویژگی، ورودی توالی به صورت بردار دودویی نتایج بهتری نسبت به ورودی داده‌های اسمی ارائه می‌دهند. علت افزایش دقت به ۲ دلیل می‌باشد. اول اینکه در روش بازنمایی با بردار دودویی، دنباله توالی پروتئین به صورت یکپارچه کد شده‌اند، دوم اینکه پیوستگی در زیر دنباله در این روش بازنمایی حفظ شده است. جدول ۵ ارزیابی روش‌های طبقه‌بندی بر مدل را نشان می‌دهد. شبکه عصبی کانولوشنی مجموعه داده بردار عددی یک‌بعدی کلاس ۱ را تشخیص نداد. ارزیابی طبقه‌بندی شبکه عصبی کانولوشنی با ورودی به صورت بردار کد رنگ نسبت به بردار عددی بهتر شد. در هر ۲ روش بردار عدد صحیح و بردار کد رنگ به دلیل بازنمایی غیر یکپارچه حروف توالی، ارزیابی مناسبی نداشتند. شبکه عصبی کانولوشنی بر روی تصاویر رنگی مربعی در قالب (۱۷ X ۱۷)، در دو معماری مختلف جهت آموزش شبکه ارائه شد. هر یک از معماری‌ها با مقادیر و لایه‌های مختلف، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته شد. در این بررسی مشاهده شد که به دلیل قطعه قطعه شدن دنباله برای ایجاد تصویر مربعی در ۲ مدل شبکه عصبی کانولوشنی، و همچنین با توجه به یکپارچه نبودن بازنمایی اسیدهای آمینه به مقادیر رنگی به دلیل تفاوت بسیار زیاد اعداد رنگی ایجاد شده از اسیدهای آمینه، دقت و حساسیت کلاس ۱ کمتر از ۵۰٪ شد. اما در روش پیشنهادی با تعریف قالب ورودی به شکل تصاویر (۲۸۹ X ۲۰) دودویی و اعمال فیلتر گابور، دقت و حساسیت هر ۲ کلاس بیشتر از ۹۰٪ شد. جهت رسیدن به دقت کل بالاتر و تعیین تعداد دفعات لازم برای آموزش داده‌های آموزشی شبکه عصبی، ۴ زاویه (۰ و ۴۵ و ۹۰ و ۱۳۵) و ۲ طول موج (۵ و ۱۰) برای اعمال فیلتر گابور در نظر گرفته شد. نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد که زاویه ۹۰ درجه از دو جنبه تعداد دفعات لازم برای آموزش داده‌های آموزشی شبکه عصبی و دقت کل داده‌های تست، با توجه به روش بازنمایی تصویر باینری و نگاشت حروف اسید آمینه به صورت یکنواخت دودویی در عرض تصویر، مناسب‌تر است. همانطور که مشاهده می‌شود کمترین دقت و حساسیت در تشخیص کلاس سالم، مربوط به روش‌های مبتنی بر ویژگی، با ورودی داده‌های اسمی توالی پروتئین در مدل Logistic regression و Ensemble Boosted Trees و با ورودی بردار دودویی توالی پروتئین در مدل Ensemble Boosted Trees و Coarse Gaussian SVM و همچنین در مدل‌های مبتنی بر مدل با ویژگی‌ها به صورت بردار

۱۰- ارزیابی مدل‌های پیشنهادی طبقه‌بندی توالی پروتئین سالم و مریض (سرطانی)

با توجه به عدم توازن تعداد نمونه‌های هر دو کلاس، جهت ارزیابی دقت، از روش 2-fold-Cross-Validation (در مرحله اول ۵۰ درصد اول داده‌ها در هر کلاس به عنوان داده‌های آموزشی و ۵۰ درصد دوم نیز به عنوان داده‌های تست و در مرحله دوم ۵۰ درصد اول تست و ۵۰ درصد دوم آموزشی در نظر گرفته می‌شوند) جهت مقایسه عملکرد مدل‌های مخصوص طبقه‌بندی توالی با مدل‌های طبقه‌بندی مبتنی با تصویر استفاده شده است. در این ارزیابی از حساسیت (تقسیم تعداد درست تشخیص داده شده یک کلاس بر تعداد واقعی همان کلاس) و دقت (تقسیم تعداد درست تشخیص داده شده یک کلاس بر تعداد پیش‌بینی همان کلاس) و دقت کل^۲ (تقسیم تعداد درست تشخیص داده شده ۲ کلاس بر تعداد کل نمونه‌های تست) استفاده شده است.

۱۱- یافته‌ها

روش‌های طبقه‌بندی یادگیرنده نرم‌افزار متلب^۳ شامل ۳ روش درخت تصمیم (Fine Tree, Medium Tree, Coarse Tree)، و ۷ روش ماشین بردار پشتیبان (Logistic Regression, Linear SVM, Quadratic SVM, Cubic SVM, Fine Gaussian SVM, Medium Gaussian SVM, Ensemble Boosted Trees, Ensemble Boosted Trees, Ensemble RUS Boosted Trees) جهت طبقه‌بندی ۲ کلاس نامتوازن سالم و مریض در ۲ مجموعه داده مبتنی بر ویژگی معرفی شده در شکل ۵ مورد استفاده قرار گرفتند. جدول ۳، ارزیابی روش‌های طبقه‌بندی یادگیرنده نرم‌افزار متلب با داده اسمی در مجموعه داده مبتنی بر ویژگی را نشان می‌دهد. در این مجموعه داده، روش طبقه‌بندی Ensemble Bagged Trees بیشترین دقت کل را در طبقه‌بندی ۲ کلاس ارائه داد. جدول ۴ نیز ارزیابی روش‌های طبقه‌بندی یادگیرنده نرم‌افزار متلب با داده بردار دودویی در مجموعه داده مبتنی بر ویژگی را نشان می‌دهد. در این مجموعه داده، روش‌های طبقه‌بندی Quadratic SVM و Cubic SVM با دقت ۹۲٫۰٪ بیشترین دقت کل را در طبقه‌بندی ۲ کلاس ارائه دادند. همچنین در مقایسه جدول ۳ با ۴ مشاهده شد در بیشتر روش‌های طبقه‌بندی یادگیرنده

2 Accuracy 2
2 Classification Learner - MathWorks 3

2 Recall 0
2 Precision 1

جدول ۴: حساسیت و دقت ارزیابی 2Fold-Cross-Validation روش‌های طبقه‌بندی یادگیرنده نرم‌افزار متلب با ورودی روش ابتکاری بازنمایی یکپارچه دودویی توالی پروتئین مبتنی بر ویژگی

روش طبقه‌بندی	نوع کلاس	حساسیت Recall	دقت Precision	دقت کل Accuracy
Fine Tree	۱	۶۳٪	۵۹٪	۸۹,۶٪
	۲	۹۴٪	۹۴٪	
Medium Tree	۱	۶۳٪	۵۹٪	۸۹,۶٪
	۲	۹۴٪	۹۴٪	
Coarse Tree	۱	۴۴٪	۵۵٪	۸۸,۵٪
	۲	۹۵٪	۹۴٪	
Logistic Regression	۱	۷۶٪	۳۸٪	۸۱,۳٪
	۲	۸۲٪	۹۶٪	
Linear SVM	۱	۲۴٪	۱۰۰٪	۹۰,۲٪
	۲	۱۰۰٪	۹۰٪	
Quadratic SVM	۱	۳۷٪	۱۰۰٪	۹۲,۰٪
	۲	۱۰۰٪	۹۲٪	
Cubic SVM	۱	۳۷٪	۱۰۰٪	۹۲,۰٪
	۲	۱۰۰٪	۹۲٪	
Fine Gaussian SVM	۱	۲۷٪	۱۰۰٪	۹۰,۷٪
	۲	۱۰۰٪	۹۰٪	
Medium Gaussian SVM	۱	۲۹٪	۱۰۰٪	۹۰,۹٪
	۲	۱۰۰٪	۹۱٪	
Coarse Gaussian SVM	۱	۰٪	۰٪	۸۷,۲٪
	۲	۱۰۰٪	۸۷٪	
Ensemble Boosted Trees	۱	۰٪	۰٪	۸۷,۲٪
	۲	۱۰۰٪	۸۷٪	
Ensemble Bagged Trees	۱	۲۹٪	۱۰۰٪	۹۰,۹٪
	۲	۱۰۰٪	۹۱٪	
Ensemble RUS Boosted Trees	۱	۸۵٪	۴۳٪	۸۳,۵٪
	۲	۸۳٪	۹۷٪	

عددی یک‌بعدی در شبکه عصبی کانولوشنی با میانگین ۰٪ و بیشترین دقت و حساسیت در ورودی تصاویر دودویی با ابعاد 289×20 و اعمال فیلتر گابور با زاویه ۹۰ درجه در روش پیشنهادی با میانگین ۹۵,۴٪ را نشان دادند. در تشخیص کلاس مریض (سرطانی) کمترین دقت و حساسیت در مدل Logistic regression در روش مبتنی بر ویژگی در ورودی بردار دودویی با میانگین ۸۹٪ و بیشترین دقت و حساسیت با میانگین ۹۹,۳٪ با ورودی تصویر دودویی با ابعاد 289×20 و اعمال فیلتر گابور با زاویه ۹۰ درجه در روش پیشنهادی مشاهده شد. پایین‌ترین و بالاترین دقت کل در مجموع تشخیص هر ۲ کلاس نیز به ترتیب در مدل Logistic regression در روش مبتنی بر ویژگی در ورودی بردار دودویی با دقت کل ۸۱,۳٪ و در روش سوم پیشنهادی با ورودی تصویر دودویی با ابعاد 289×20 و اعمال فیلتر گابور (طول موج ۱۰ و زاویه ۹۰ درجه) با دقت کل ۹۸,۸٪ بدست آمد.

جدول ۳: حساسیت و دقت ارزیابی 2Fold-Cross-Validation روش‌های طبقه‌بندی یادگیرنده نرم‌افزار متلب با ورودی داده‌های اسمی توالی پروتئین مبتنی بر ویژگی

روش طبقه‌بندی	نوع کلاس	حساسیت Recall	دقت Precision	دقت کل Accuracy
Fine Tree	۱	۴۷٪	۵۰٪	۸۷,۲٪
	۲	۹۳٪	۹۲٪	
Medium Tree	۱	۴۷٪	۵۰٪	۸۷,۲٪
	۲	۹۳٪	۹۲٪	
Coarse Tree	۱	۳۷٪	۵۰٪	۸۷,۲٪
	۲	۹۵٪	۹۱٪	
Logistic Regression	۱	۰٪	۰٪	۸۷,۲٪
	۲	۱۰۰٪	۸۷٪	
Linear SVM	۱	۲٪	۵۰٪	۸۷,۲٪
	۲	۹۹٪	۸۷٪	
Quadratic SVM	۱	۲٪	۵۰٪	۸۷,۲٪
	۲	۹۹٪	۸۷٪	
Cubic SVM	۱	۲٪	۵۰٪	۸۷,۲٪
	۲	۹۹٪	۸۷٪	
Fine Gaussian SVM	۱	۲٪	۳۳٪	۸۷,۰٪
	۲	۹۹٪	۸۷٪	
Medium Gaussian SVM	۱	۲٪	۵۰٪	۸۷,۲٪
	۲	۹۹٪	۸۷٪	
Coarse Gaussian SVM	۱	۲٪	۳۳٪	۸۷,۰٪
	۲	۹۹٪	۸۷٪	
Ensemble Boosted Trees	۱	۰٪	۰٪	۸۷,۲٪
	۲	۱۰۰٪	۸۷٪	
Ensemble Bagged Trees	۱	۲۴٪	۱۰۰٪	۹۰,۲٪
	۲	۱۰۰٪	۹۰٪	
Ensemble RUS Boosted Trees	۱	۷۱٪	۵۸٪	۸۹,۶٪
	۲	۹۲٪	۹۶٪	

۱۲- بحث

روش‌های طبقه‌بندی مخصوص توالی مبتنی بر ویژگی، به دلیل در نظر نگرفتن ارتباط بین زیر مجموعه‌های توالی به‌عنوان ویژگی، که بر اساس موقعیت زیر مجموعه در توالی معنی پیدا می‌کنند، و همچنین روش‌های طبقه‌بندی مخصوص توالی مبتنی بر فاصله، به دلیل تفاوت در طول توالی پروتئین، و در نهایت روش‌های طبقه‌بندی مخصوص توالی مبتنی بر مدل با ورودی بردار یک‌بعدی به‌ازای هر توالی، به دلیل عدم یکپارچگی در کد کردن حروف اسید آمینه، جهت طبقه‌بندی ۴۶۰ توالی پروتئین با طول بین ۲۳۵ و ۲۸۹ در ۲ کلاس سالم و سرطانی موفق نبودند. جهت بهبود دقت طبقه‌بندی در روش‌های یادگیری ماشین، با رویکرد ابتکاری، در حین حفظ یکپارچگی، حروف اسید آمینه توالی پروتئین به بردار دودویی تبدیل شدند. جهت بهبود دقت در طبقه‌بندی مبتنی بر مدل در شبکه عصبی کانولوشنی، ۳ روش برای بازنمایی توالی پروتئین به تصویر ارائه شد. روش اول، در تبدیل حروف توالی پروتئین به کد رنگ به دلیل بازنمایی غیریکپارچه برای هر اسید آمینه موفق نبود. روش دوم با تغییر ساختار دنباله با کنار هم قرار دادن هر ۱۷ اسید آمینه برای ایجاد تصویر رنگی مربعی، در طبقه‌بندی توالی‌ها، موفق نبود. روش سوم، بازنمایی تصویر دودویی به دلیل بازنمایی یکپارچه اسید آمینه و عدم تغییر در ساختار اصلی دنباله و اعمال فیلتر گابور برای استخراج ویژگی‌های مناسب مانند بافت و لبه بافت بسیار موفق عمل کرد. با توجه به اینکه عرض تصاویر دودویی تعیین کننده نوع اسید آمینه موجود در توالی پروتئین می‌باشد زاویه فیلتر گابور ۹۰ درجه به بهترین شکل ویژگی‌های موثر را استخراج کردند. تجزیه و تحلیل انجام شده بر روی روش‌های بازنمایی توالی پروتئین، بیان کننده موفقیت نگاشت توالی به صورت ماتریس ۲ بعدی نسبت به بردار یک‌بعدی را نشان می‌دهد. ماتریس ۲ بعدی به شکل دودویی، به دلیل حفظ یکپارچگی در بازنمایی حروف اسید آمینه در عرض ماتریس، نسبت به حالت یک‌بعدی که حروف اسید آمینه بدون رعایت یکپارچگی به عدد نگاشت می‌شوند، بازنمایی مناسب‌تری دارند. علت مهم عدم موفقیت طبقه‌بندی در نگاشت توالی پروتئین به عدد ارایه یک بعدی، جایگزین کردن داده‌های اسمی با داده‌های عددی می‌باشد، اختلاف این اعداد برای شبکه عصبی معنی دار خواهد بود و لایه‌های مختلف شبکه عصبی نمی‌توانند بازنمایی خوبی از این اعداد ایجاد نمایند و پارامترهای وزن لایه تمام متصل نیز برای پیش‌بینی کلاس درست، به خوبی آموزش نخواهد دید. از طرف دیگر به دلیل یکسان بودن طول ماتریس با طول توالی، ساختار توالی در بازنمایی به صورت ماتریس دودویی حفظ می‌شود و وابستگی‌های موجود بین حروف اسید آمینه که با ترتیب قرار گرفتن

جدول ۵: مقایسه حساسیت و دقت ارزیابی 2Fold-Cross-Validation

روش‌های بازنمایی توالی پروتئین مبتنی بر مدل

نوع روش بازنمایی توالی پروتئین	نوع کلاس	حساسیت Recall	دقت Precision	دقت کل Accuracy
بردار اعداد صحیح ۱×۲۸۹	۱	۰,۰%	۰,۰%	۸۷,۲%
	۲	۱۰۰%	۸۷%	
بردار کد رنگ ۱×۲۸۹	۱	۴۸,۴%	۶۸,۲%	۹۰,۲%
	۲	۹۶,۶%	۹۲,۵%	
معماری اول تصویررنگی ۱۷×۱۷	۱	۴۵,۲%	۴۵,۲%	۸۵,۵%
	۲	۹۱,۶%	۹۱,۶%	
معماری دوم تصویر رنگی ۱۷×۱۷	۱	۵۰%	۹,۷%	۸۶,۸%
	۲	۸۷,۷%	۹۸,۵%	
تصویر دودویی ۲۰×۲۸۹	۱	۱۷,۲%	۱۰۰%	۸۹,۵%
	۲	۱۰۰%	۸۹,۳%	
تصویر دودویی با فیلتر گابور	۱	۱۰۰%	۹۰,۷%	۹۸,۸%
	۲	۹۸,۶%	۱۰۰%	

جدول ۶: مقایسه حساسیت و دقت ارزیابی 2Fold-Cross-Validation

و تعداد آموزش روش‌های اعمال فیلتر گابور در

تصویر دودویی

نوع فیلتر گابور	تعداد آموزش	نوع کلاس	حساسیت Recall	دقت Precision	دقت کل Accuracy
بدون فیلتر	۳۵۰	۱	۱۷,۲%	۱۰۰%	۸۹,۵%
		۲	۱۰۰%	۸۹,۳%	
زاویه ۰ طول ۵	۲۰۰	۱	۵۸,۶%	۶۰,۷%	۹۰,۰%
		۲	۹۴,۵%	۹۴,۰%	
زاویه ۰ طول ۱۰	۳۵۰	۱	۴۸,۳%	۷۰,۰%	۹۰,۸%
		۲	۹۷,۰%	۹۲,۸%	
زاویه ۴۵ طول ۵	۲۵۰	۱	۶۶,۵%	۶۵,۵%	۹۱,۳%
		۲	۹۵,۰%	۹۵,۰%	
زاویه ۴۵ طول ۱۰	۳۵۰	۱	۵۵,۲%	۵۹,۳%	۸۹,۵%
		۲	۹۴,۵%	۹۳,۶%	
زاویه ۹۰ طول ۵	۲۰۰	۱	۸۲,۸%	۸۸,۹%	۹۶,۵%
		۲	۹۸,۵%	۹۷,۵%	
زاویه ۹۰ طول ۱۰	۲۰۰	۱	۱۰۰%	۹۰,۷%	۹۸,۸%
		۲	۹۸,۶%	۱۰۰%	
زاویه ۱۳۵ طول ۵	۲۵۰	۱	۳۱,۰%	۹۰,۰%	۹۰,۸%
		۲	۹۹,۵%	۹۰,۹%	
زاویه ۱۳۵ طول ۱۰	۲۵۰	۱	۳۴,۵%	۷۶,۹%	۹۰,۴%
		۲	۹۸,۵%	۹۱,۲%	

مهم و امید بخش می‌باشد. در این تحقیق نشان دادیم که چگونه یادگیری مشخصه با ناظر، می‌تواند برای داده توالی پروتئین اسیدهای آمینه، با استفاده از یادگیری عمیق مورد استفاده قرار گیرد. مزیت اصلی روش پیشنهادی نسبت به روش‌های قبلی طبقه‌بندی داده توالی اسیدهای آمینه پروتئین، انتخاب بازنمایی متناسب با نگاشت ژنوم با رویکرد یادگیری عمیق بود. به دلیل تفاوت در ابعاد تصاویر بازنمایی شده در سه روش پیشنهادی، از معماری‌های متفاوتی برای ایجاد شبکه عصبی کانولوشنی برای هر روش پیشنهادی استفاده شد. روش پیشنهادی موفق ما در این تحقیق، نگاشت توالی پروتئین اسیدهای آمینه به صورت تصاویر دودویی با ابعاد 289×20 و اعمال فیلتر گابور با زاویه 90° درجه روی تصاویر و همچنین طبقه‌بندی تصاویر با شبکه عصبی کانولوشنی با معماری پیشنهادی، ذکر شده در این مقاله می‌باشد. نتایج بدست آمده از تجزیه و تحلیل بر روی داده‌های توالی پروتئینی اسیدهای آمینه افراد سالم و افراد دارای سرطان خون، نشان داد که روش پیشنهادی، جهت طبقه‌بندی افراد سالم و افراد دارای سرطان خون با وجود عدم توازن در تعداد نمونه داده‌های 2 کلاس به دلیل استفاده از رمزگذاری یکپارچه حروف اسید آمینه و عدم تغییر ساختار دنباله و همچنین اعمال فیلتر گابور با زاویه 90° درجه بسیار موفقیت آمیز صورت گرفته است و بنابراین نوید دهنده دستیابی کلی‌تر و جامع‌تری برای طبقه‌بندی داده توالی اسیدهای آمینه پروتئین خواهد بود.

مراجع

- [1] A. Gupta, H. Wang, and M. Ganapathiraju, "Learning structure in gene expression data using deep architectures, with an application to gene clustering," 2015, pp. 1328-1335.
- [2] Y. Liu, S. Zhou, and Q. Chen, "Discriminative deep belief networks for visual data classification," *Pattern Recognition*, vol. 44, pp. 2287-2296, 2011.
- [3] J. Chen, R. Swofford, J. Johnson, B. B. Cummings, N. Rogel, K. Lindblad-Toh, et al., "A quantitative framework for characterizing the evolutionary history of mammalian gene expression," *Genome research*, vol. 29, pp. 53-63, 2019.
- [4] T. Hardy, J. Feng, D. Lawrence, T. Fullston, and H. Scott, "Application of Artificial Intelligence To Analysis of The Embryonic Genome For Preimplantation Genetic Diagnosis," *Pathology*, vol. 51, p. S65, 2019.

آنها در دنباله تعریف می‌شود نیز برقرار می‌ماند، این در حالی است که برخی از این وابستگی‌ها، در روش‌های مخصوص توالی مبتنی بر ویژگی نادیده گرفته می‌شود زیرا که آنها بخشی از زیر مجموعه‌های توالی را به عنوان ویژگی‌ها در نظر می‌گیرند. فیلتر گابور همانطور که در تصاویر، به عنوان تشخیص لبه و بافت تعریف می‌شود. در تصویر دودویی بازنمایی شده از توالی، جهت تشخیص وابستگی‌های مهم در بین حروف اسید آمینه اعمال شده است، لذا بازنمایی توالی به صورت ماتریس دودویی در درجه اول، یکنواختی در تبدیل حروف اسید آمینه را با استفاده از اعداد دودویی برقرار می‌کند، و در درجه دوم، وابستگی بین حروف اسید آمینه توالی که در ترتیب این حروف تعریف می‌شود، را حفظ می‌کند. در نتیجه ماتریس دودویی به عنوان ورودی شبکه عصبی کانولوشنی، بازنمایی مناسبی از توالی پروتئین را ارائه می‌دهد. رویکرد ارائه شده یادگیری عمیق با اعمال فیلتر گابور به تصویر دودویی و معماری شبکه عصبی کانولوشنی شامل 11 لایه معرفی شد. لایه‌های کانولوشن در این معماری با اعمال فیلترهای مختلف برای پیچش^۴ کردن تصویر دودویی ورودی و همچنین برای نگاشت ویژگی‌های میانی استفاده می‌شود. اتصال محلی فیلترها با تصویر دودویی ورودی ارتباط موجود در زیر دنباله توالی را یاد می‌گیرند و با نگاشت ویژگی که انجام می‌شود تعداد پارامترها تصویر دودویی ورودی بسیار کاهش می‌یابد. ابعاد 100×10 فیلتر با گام 1 در لایه اول کانولوشن به این دلیل انتخاب شده است که عرض تصویر دودویی ورودی برابر 20 و طول تصویر دودویی ورودی برابر 289 می‌باشد و بتواند وابستگی تقریباً نیمی از زیر دنباله را در توالی استخراج و نگاشت کند. لایه یکسوساز بعد از این لایه مقادیر منفی را صفر می‌کند، لایه ادغام نیز برای کاهش ابعاد و لایه کانولوشن دوم با 10 فیلتر 40×80 نیز طوری انتخاب شده است که تقریباً نیمی از ابعاد خروجی لایه قبل را پوشش دهد. لایه یکسوساز مجدداً جهت صفر کردن اعداد منفی و 2 لایه تماماً متصل جهت آموزش وزن‌ها برای نگاشت داده‌ها ابتدا به 100 عدد و سپس به 2 عدد تعریف شده است. لایه بیشینه هموار جهت تعیین احتمال پیش‌بینی هر کلاس و لایه طبقه‌بندی برای تعیین کلاس خروجی در نظر گرفته شده است.

۱۳- نتیجه گیری

استفاده از ابزارهای کامپیوتری مکانیزه کننده، مخصوصاً در یادگیری عمیق به منظور تسهیل آنالیزهای پزشکی و تشخیص، یک عرصه

- [15] I. Guyon, J. Weston, S. Barnhill, and V. Vapnik, "Gene selection for cancer classification using support vector machines," *Machine learning*, vol. 46, pp. 389-422, 2002.
- [16] M. D. Zeiler and R. Fergus, "Visualizing and understanding convolutional networks," in *European conference on computer vision*, 2014, pp. 818-833.
- [17] M. Biswas, A. Tiwari, M. Turk, J. Laird, C. Asare, L. Saba, et al., "A Review on a Deep Learning Perspective in Brain Cancer Classification," *Cancers*, vol. 11, 2019.
- [18] J. Schmidhuber, "Deep learning in neural networks: An overview," *Neural networks*, vol. 61, pp. 85-117, 2015.
- [19] J. Gu, Z. Wang, J. Kuen, L. Ma, A. Shahroudy, B. Shuai, et al., "Recent advances in convolutional neural networks," *Pattern Recognition*, vol. 77, pp. 354-377, 2018.
- [20] M. A. Jafri, S. A. Ansari, M. H. Alqahtani, and J. W. Shay, "Roles of telomeres and telomerase in cancer, and advances in telomerase-targeted therapies," *Genome medicine*, vol. 8, p. 69, 2016.
- [21] X. Chu and K. L. Chan, "Rotation and scale invariant texture analysis with tunable Gabor filter banks," in *Pacific-Rim Symposium on Image and Video Technology*, 2009, pp. 83-93.
- [22] R. C. González, R. E. Woods, and S. L. Eddins, *Digital Image Processing Using MATLAB: Pearson*, 2004.
- [23] I. Guyon and A. Elisseeff, "An introduction to variable and feature selection," *Journal of machine learning research*, vol. 3, pp. 1157-1182, 2003.
- [24] H. Liu and L. Yu, "Toward integrating feature selection algorithms for classification and clustering," *IEEE Transactions on Knowledge & Data Engineering*, pp. 491-502, 2005.
- [5] C. S. Boddy and S. Ma, "Frontline therapy of CLL: evolving treatment paradigm," *Current hematologic malignancy reports*, vol. 13, pp. 69-77, 2018.
- [6] K. He, D. Ge, and M. He, "Big data analytics for genomic medicine," *International journal of molecular sciences*, vol. 18, p. 412, 2017.
- [7] C. Angermueller, T. Pärnamaa, L. Parts, and O. Stegle, "Deep learning for computational biology," *Molecular systems biology*, vol. 12, p. 878, 2016.
- [8] M. Leung, H. Xiong, L. Lee, and B. Frey, "Deep learning of the tissue-regulated splicing code," *Bioinformatics* 30, pp. i121 – i129, 2014.
- [9] H. Xiong, B. Alipanahi, L. Lee, H. Bretschneider, D. Merico, R. Yuen, et al., "The human splicing code reveals new insights into the genetic determinants of disease," *Science* 347, p. 1254806, 2015.
- [10] J. Yosinski, J. Clune, Y. Bengio, and H. Lipson, "How transferable are features in deep neural networks?," *Advances in Neural Information Processing Systems* 27, pp. 3320-3328, 2014.
- [11] B. Alipanahi, A. Delong, M. Weirauch, and B. Frey, "Predicting the sequence specificities of DNA- and RNA-binding proteins by deep learning," *Nat Biotechnol* 33, pp. 831 – 838, 2015.
- [12] J. Zhou and O. Troyanskaya, "Predicting effects of noncoding variants with deep learning-based sequence model," *Nat Methods* 12, pp. 931 – 934, 2015.
- [13] A. S. Razavian, H. Azizpour, J. Sullivan, and S. Carlsson, "CNN features off-the-shelf: an astounding baseline for recognition," 2018, pp. 512-519.
- [14] W. Sun, T.-L. B. Tseng, J. Zhang, and W. Qian, "Enhancing deep convolutional neural network scheme for breast cancer diagnosis with unlabeled data," *Computerized Medical Imaging and Graphics*, vol. 57, pp. 4-9, 2017.

Converting protein sequence to image for classification with convolutional neural network

Reza Ahsan, PhD Student of Information Technology ¹, Mansour Ebrahimi, Associate Professor ²,
Rouhollah Dianat, Assistant Professor ³

1- Faculty of Engineering, University of Qom, Qom, Iran, Email: ahsan@qom-iau.ac.ir

2- Faculty of Basic sciences, University of Qom, Qom, Iran, Iran, Email: mansour@future.edu

3- Faculty of Engineering, University of Qom, Qom, Iran, Email: rdianat@qom.ac.ir

Abstract

Since methods for sequencing machine learning sequences were not successful in classifying healthy and cancerous proteins, it is imperative to find a way to represent these sequences to classify healthy and ill individuals with deep learning approaches. In this study different methods of protein sequence representation for classification of protein sequence of healthy individuals and leukemia have been studied. Results showed that conversion of amino acid letters to one-dimensional feature vectors in classification of 2 classes was not successful and only one disease class was detected. By changing the feature vector to colored numbers, the accuracy of the healthy class recognition was slightly improved. The binary protein sequence representation method was more efficient than the previous methods with the initiative of sequencing the sequences in both one-dimensional and two-dimensional (image by Gabor filtering). Protein sequence representation as binary image was classified by applying Gabor filter with 100% accuracy of the protein sequence of healthy individuals and 98.6% protein sequence of those with leukemia. The findings of this study showed that the representation of protein sequence as binary image by applying Gabor filter can be used as a new effective method for representation of protein sequences for classification.

Keywords: Converting protein sequence to image, Gabor filter, Convolution Neural Network, Protein classification.

مدل سازی و شبیه سازی مولد مرکزی الگو جهت تولید حرکات منحنی-خطی در ربات مار

مرتضی واثق* یعقوب پوراسد**

* دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکترونیک، دانشگاه صنعتی ارومیه، ایران
** استادیار دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی ارومیه، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۰۵
نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

با پیشرفت علوم و صنایع و اهمیت به کارگیری ربات‌ها، ضرورت استفاده از سیستم‌های خودکار امری ضروری به نظر می‌رسد. از آنجا که بیشتر کاربردهای ربات‌های مار حرکت در محیط‌های ناشناخته و بعضاً پیچیده است، لزوم ایجاد روش‌های کنترلی متفاوت برای آن‌ها احساس می‌شود. ماحصل ادغام دو علم عصب شناسی و رباتیک، تولید کننده‌های عصبی حرکتی هستند که با نام مولدهای مرکزی الگو شناخته می‌شوند که مسئله تولید حرکت در ربات می‌باشد. در این مقاله به بررسی کنترل حرکت ربات مار مانند با مولد مرکزی الگو (CPG) پرداخته شده که قادر به تولید الگوهای هماهنگ سیگنال‌های خروجی با فرکانس‌های مختلف هستند، بدین منظور لازم است که در ابتدا ربات مار مدل شود و پس از آن اعمال کنترلی اعمال شود. در این مقاله بررسی کنترل حرکت ربات در دو حالت حلقه باز و حلقه بسته برای شبکه CPG ارائه شده است. در عین حال این پژوهش با شبیه‌سازی‌های انجام شده نشان می‌دهد که هر چه میزان تحریک کمتر باشد و سطح آن پایین‌تر، منجر به تولید حرکتی با فرکانس پایین‌تر می‌شود و بالعکس. سپس نحوه تاثیر مدل‌های CPG که به عنوان شبکه‌های عصبی استفاده می‌شوند، در کنترل حرکت شبیه‌سازی شده‌اند. در این مقاله نکته قابل توجه در مقایسه با سایر کنترل کننده‌ها این است که در شبکه‌های عصبی مولد مرکزی الگو سیگنال‌های ساده برای تحریک و القای حرکت ربات‌ها کافی می‌باشد که در شبیه‌سازی نشان داده شده است.

واژگان کلیدی: مولد مرکزی الگو، شبیه‌سازی، ربات مار، کنترل کننده عصبی.

۱- مقدمه

محیط‌های ناشناخته و تصادفی کاربردهای بیشتری دارند، الزاماً به کارگیری روش‌های کنترلی جدید برای کنترل آن‌ها نیاز می‌باشد [۱]. یکی از این روش‌ها، ساختار کنترلی مولد مرکزی الگو است که در تحقیقات مختلفی ارائه شده است [۲-۳]. در [۲] مدل دینامیک غیرخطی کنترل کننده بیولوژیکی به وسیله طراحی یک مولد مرکزی الگو انجام شده است که کوپلینگ نوسان‌ها می‌باشد.

پیشرفت روزافزون علوم مختلف کاربرد ربات‌ها را در محیط‌های پیرامون افزایش داده است که در این راستا فضای کاری گسترده هست و نیاز به ربات قابل انعطاف حس می‌شود که از این رو نسل جدیدی از ربات‌های مار مانند به وجود آمدند. اکثر ربات‌های مار شکل درجات آزادی زیادی جهت انجام وظایف جانبی و بهینه کردن کاربردی شاخص‌های اصلی دارند. از آنجا که این نسل از ربات‌ها در

نویسنده مسئول: یعقوب پوراسد y.pourasad@uut.ac.ir

بالا بودن تعداد درجه آزادی باعث افزایش قدرت مانور و درجه مهارت ربات شده است [۱۰].

کوتاهی ابعاد ارتفاعی و عرضی ربات امکان حرکت در مسیرهای باریک مثل لوله و همچنین قابلیت استتار را برای آن فراهم ساخته است. در چنین رباتی مشکل تعادل و پایداری عمودی ربات وجود ندارد. با ثابت کردن جزو انتهایی ربات مار مانند می‌توان از آن به عنوان یک بازوی مکانیکی ماهر با درجه آزادی اضافی استفاده کرد. عامل محرک در چنین رباتی چرخ و یا اجزا دیگر نیست؛ بلکه می‌توان با استفاده از تعدادی راه‌انداز چرخشی، از طریق ایجاد گشتاور در مفاصل عامل محرک را ایجاد کرد. در کنترل و ایجاد حرکت در ربات فقط می‌توان با کنترل موقعیت سر ربات مسیر حرکت آن را تعیین کرد به طوری که دیگر عضوها از آن پیروی کنند. در برنامه‌ریزی حرکت ربات مسئله اساسی پیدا کردن یک حرکت ایمن و انجام پذیر برای رسیدن به هدف، با در نظر گرفتن قیود و ملاحظات خاص که منجر به چنین حرکتی شود، می‌باشد [۱۱].

اجرای عملی CPG در رشد اندام‌های پروتز فعال زانو در [۱۲] پیشنهاد شد. در برخی از پژوهش‌ها، شبیه‌سازی مدل CPG در متلب برای کنترل رفتار ربات با استفاده از دینامیک غیرخطی هست [۱۳ و ۱۴]. در [۱۵] روشی سریع جهت حل سینماتیک معکوس بازوهای مکانیکی با درجه آزادی بالا ارائه گردیده است که قادر به کمینه کردن مسیر حرکت مفاصل، انرژی مصرفی و گشتاور محرک‌ها در حین رسیدن به هدف با استفاده از الگوریتم ژنتیک می‌باشد.

در این مقاله کنترل حرکت ربات مار مانند با مولد مرکزی الگو (CPG) ارائه شده است که قادر به تولید الگوهای هماهنگ سیگنال‌های خروجی با فرکانس‌های مختلف می‌باشد. حرکت ربات در دو حالت حلقه باز و مقایسه شده و با توجه به استفاده از سیگنال‌های ساده برای تحریک و القای حرکت ربات‌ها، سیستم سریع و دقیق ارائه شده است.

۲- فرمول‌بندی مساله

۲-۱- ساختار CPG

ساختار اصلی CPG ارائه شده، بر اساس نوسانگر فرکانس تطبیقی Hopf است که در شکل (۱) ارائه شده است. ساختار CPG از نوسان‌سازهای فرکانس سازگار Hopf ساخته شده است، که نوسان‌سازهای Hopf اصلاح شده هستند که بر اساس [16] توسعه داده شده‌اند. این نوسان‌سازها این خاصیت را دارند

تحقیقات متعددی در زمینه بهینه‌سازی حرکت پیچشی ربات خزندگان با طراحی یک کنترل کننده ارائه شده است [۴-۶].

مسئله تولید حرکت در ربات مسئله‌ای است که در آن دو علم عصب‌شناسی و رباتیک با یکدیگر ملاقات می‌کنند. وجه مشترک این دو علم تولیدکننده‌های عصبی حرکتی هستند که با نام مولد مرکزی الگو شناخته می‌شوند. مولد مرکزی الگو مدارهای عصبی هستند که معمولاً در بین انتهایی مغز تا نخاع قرار گرفته‌اند و قادر هستند الگوهای هماهنگی را جهت حرکت‌های مختلف تولید کنند. ورودی این شبکه‌های عصبی اطلاعات حسگری ساده و خروجی آن‌ها الگوهای پیچیده، هماهنگ و دارای نظم برای حرکت می‌باشند. با توجه به [۷] اساس بسیاری از حرکات ریتمیک در حیوانات (مهره-داران و بی‌مهره) مولد مرکزی الگو می‌باشد. در حالت کلی مراحل تولید حرکت در یک ربات را می‌توان به سه لایه تقسیم کرد [۸]. لایه اول که لایه استراتژی کنترل نام دارد مقاصد سطح بالای ربات جهت حرکت به سمت یک نقطه مشخص و از روی یک منحنی معین را تعیین می‌کند. این لایه وظیفه تولید سیگنال‌های مرجع برای حرکت را نیز بر عهده دارد. لایه دوم، لایه برنامه‌ریزی و مولفه‌های میانی نام دارد. در این لایه شکل سیگنال‌های مرجع جهت حرکت به مقصدی از قبل تعیین شده و از مسیری معین تولید می‌شود.

لایه سوم ربات شامل کنترل کننده‌هایی است که برای تطبیق سیگنال‌های مورد نیاز خروجی محرک‌ها استفاده می‌شود و تضمین‌کننده تعقیب شدن سیگنال‌های مرجع تولید شده در لایه بالایی می‌باشد و مسئله اصلی حرکت در ربات‌ها شیوه تولید سیگنال‌های مرجع حرکتی با توجه به مقاصد سطح بالای ربات یا در حقیقت لایه دوم می‌باشد. ربات مار مانند که با الهام از طبیعت و حرکت خزشی مار طراحی می‌شود جزو ربات‌های خزنده محسوب می‌شود که بدون استفاده از محرک‌هایی قادر به حرکت است. حرکت خزشی به عنوان یک مدل حرکتی که در طبیعت در برخی جانوران از جمله مارها دیده می‌شود از تحلیل سینماتیکی و دینامیکی خاص برخوردار است.

در طبیعت مار با حرکات گوناگون خود می‌تواند در محیط‌های مختلفی نظیر آب و خاک، زمین‌های سفت و حتی ناهموار حرکت کنند. این جانور حتی قادر است از اجسام یا درختان بالا رود، از موانع عبور کند و یا در محیط‌های شنی و لغزنده نیز به حرکت خود ادامه دهد؛ بنابراین یک ربات خزنده می‌تواند از قابلیت‌های بالایی برخوردار باشد. بند بند بودن ربات، افزایش و یا کاهش طول بدنه، موتورها عضوها به یکدیگر را به سادگی امکان‌پذیر ساخته است [۹].

عنوان یک سیستم دینامیکی قابلیت‌هایی مانند سنکرون کردن و یا قفل کردن فاز و فرکانس آن‌ها را دارند.

۳-۲- معادلات نوسانگر دینامیکی مولدهای مرکزی الگو

با توجه به نوسانگر دینامیکی غیرخطی، معادله دارای یک حلقه f دو شاخه است که با معادلات متفاوتی ارائه می‌شود [۱۶] که در اینجا در معادله ۴ نشان داده شده است.

$$\begin{aligned} x &= \alpha(\mu v - r^2)(x - 0) - \omega l \\ y &= \alpha(\mu v - r^2)y + \omega l(x - 0) \end{aligned} \quad (4)$$

که $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ است، x, y متغیرهای ثابت هستند. نوسانگر غیرخطی دارای یک حلقه دو شاخه f است که راه‌حل دو شاخه‌ای یا دارای نقطه ثابت در $(x, y) = (0, 0)$ برای $(\mu v < 0)$ است، یا به شکل ساختاری نوسان هارمونیک ثابتی در حدود $(x, y) = (0, 0)$ برای $(\mu v > 0)$ دارد.

۴-۲- کنترل مستقل نوسان‌گرهای دینامیکی

نوسان‌گر به وسیله معادله ۴ ایجاد شده در مسیر نوسانی x توصیف می‌شود که بخش‌های صعودی و نزولی دارای مدت یکسانی هستند. برای به دست آوردن کنترل مستقل در مدت این بخش‌ها، از معادله پیشنهاد شده در [۱۷] استفاده می‌شود (معادله ۵).

$$\omega = \frac{1 - \beta}{\beta} \frac{\omega_{sw}}{e^{-az} + 1} + \frac{\omega_{sw}}{e^{az} + 1} \quad (5)$$

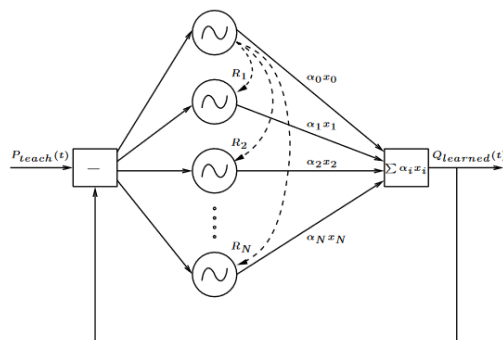
مقدار رابطه در این حالت بین دو مقدار $\frac{1-\beta}{\beta} \omega_{sw}$ و ω_{sw} است و به مقدار متغیر Z وابسته است. متغیر β فاکتور وظیفه است و سهم فاز حمایتی برای حرکت است. اگر $Z < 0$ باشد، می‌تواند راه حل x در بخش کاهش حرکت باشد. با تغییر مقدار فرکانس در هر مرحله از راه حل x ، به طور مستقل طول مدت هر بخش را می‌توان کنترل کرد. تغییر سرعت بین این دو مقدار به وسیله a کنترل می‌شود.

۵-۲- نوسان‌گر دینامیکی مولد مرکزی الگو برای خزش‌های

مفاصل ربات

یکی از ویژگی مهم نوسان‌کننده دینامیکی این است که آن‌ها برای سازماندهی توزیع شده مناسب هستند. توجه شود که واحد مولد مرکزی الگو کنترل‌کننده مفصل است، مختصات DOF درون مفاصل شکم به وسیله جفت شدن به دست می‌آید. در رفتار ارائه

که می‌توانند فرکانس یک سیگنال ورودی تناوبی را بدون هیچ‌گونه فرآیند بهینه‌سازی بیرونی ثابت نگه دارند.



شکل ۱: ساختار اصلی CPG بر اساس نوسانگر فرکانس تطبیقی [۱۶].

۲-۲- طراحی شبکه مرکزی ایجاد الگو با روش سیستم‌های دینامیکی برای ایجاد گیت‌های حرکتی

در ابتدا برای طراحی کنترل‌کننده نیاز به دانستن دینامیک ربات و نحوه حرکت آن هست که این دینامیک‌ها به صورت معادلات ۱ و ۲ به دست می‌آید.

$$\begin{bmatrix} \mathcal{S} & 0 \\ 0 & ml \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{\omega} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C\dot{\theta}^2 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathcal{R} & S \\ \mathcal{S} & Q \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{D} \\ 0 \end{bmatrix} u \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} \mathcal{R} & S \\ \mathcal{S} & Q \end{bmatrix} := \begin{bmatrix} D_\tau & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{\mathcal{L}} \\ \dot{E} \end{bmatrix} \Omega_\theta D_f \Omega_\theta \begin{bmatrix} \mathcal{L} & E \end{bmatrix} \quad (2)$$

نوسانگرها به عنوان زیرمجموعه مهمی در سیستم‌های دینامیکی می‌باشند که دارای ساختارهای پایداری مانند سیکل حدی می‌باشند. به طور کلی یک سیستم دینامیکی به صورت مجموعه‌ای از معادلات دیفرانسیل مدل‌سازی می‌شود که نرخ تغییرات برخی از متغیرهای آن توسط تعدادی از پارامترها تنظیم و تغییر می‌یابد. این مدل‌سازی کلی در معادله ۳ نشان داده شده است:

$$\dot{\vec{X}} = F(\vec{X}, \vec{P}) \quad (3)$$

که $\vec{X} = \{X_1, \dots, X_n\}$ متغیر سیستم دینامیکی و بردار پارامترهای مدل‌سازی $\vec{P} = \{P_1, \dots, P_n\}$ می‌باشد.

در این مقاله مولد مرکزی الگو به عنوان شبکه‌ای متشکل از نوسانگرهای غیرخطی مدل‌سازی می‌شود که با یکدیگر در یک توپولوژی مفروض کوپل شده‌اند و گذار این سیستم دینامیکی در طول زمان، توسط تعدادی پارامتر تعیین می‌شود. خروجی رفتار این سیستم دینامیکی یا مولد مرکزی الگو به صورت متناوب دارای فرکانس مشخص می‌باشد. با تغییر دادن پارامترهای اصلی در معادلات نوسانگرها می‌توان دامنه، فاز و کوپلینگ بین نوسانگرها را تغییر داد. علت اصلی این توانایی هم این می‌باشد که نوسانگرها به

۷-۲- طراحی ساختار شبکه‌ی دو لایه ای برای ایجاد گیت‌های حرکتی و کنترل آن

ویژگی‌های کلی به دست آمده با این روش به صورت زیر فهرست شده است [۱۲]:

- ایجادکننده الگوهای حرکتی خودکار در هر مفصل که توسط فرمان‌های ساده بتوان فعالیت‌های ریتمیک، فرکانس و دامنه آن‌ها را تنظیم نمود.

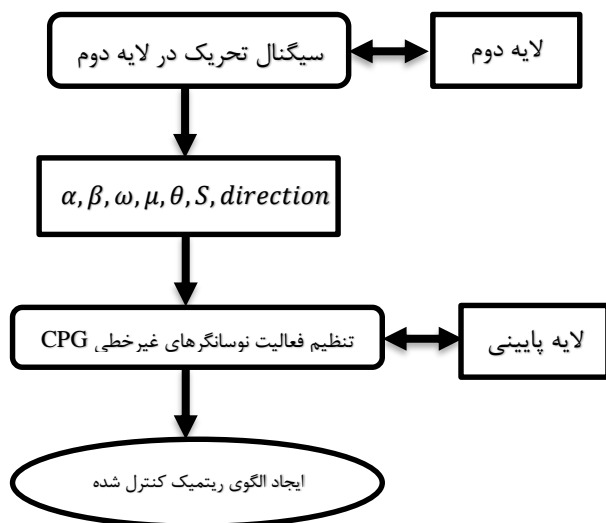
- کنترل مستقل قسمت فراز و نشیب الگوها CPG، یعنی بتوان به صورت مستقل زمان فاز SWING و STANCE را برای ایجاد سرعت‌های مختلف در ربات ایجاد کرد.

- ایجاد هماهنگی زمانی بین مفاصل، تا به درستی حرکت و گیت مورد نظر را ایجاد کند.

- فاز نسبی بین مفاصل در گذار گیت‌ها به تدریج به حالت سنکرون با افزایش سرعت تغییر پیدا بکند تا باعث پایداری حرکتی ربات شود.

- تنظیم الگوها و فعالیت‌های CPG با فرمان‌ها یا سیگنال‌های ساده از بخش‌های دیگر، تا به این شبکه ارسال و متناسب با زمان بندی دقیق آنها فعالیت شبکه CPG تنظیم شود.

برای به دست آوردن ویژگی‌های بالا بایستی سیگنال تحریک در زمان بندی مشخص، پارامترهای اصلی نوسانگرها را تنظیم کرد که شکل ۲ این پارامترهای اصلی را نشان می‌دهد.



شکل ۲: بلوک دیاگرام ساختار دو لایه‌ای جهت تولید الگوهای ریتمیک و قابل تنظیم.

۳- نتایج شبیه سازی

۱-۳- شبیه سازی کنترل کننده در حالت حلقه باز

در گام اول کنترل کننده CPG به شکل حلقه باز شبیه سازی شده است. در حالت حلقه باز جهت تنظیم حرکت ربات لازم است

شده، دینامیک هر واحد مولد مرکزی الگو درون همان شکم است. با این جفت شدگی اطمینان حاصل می‌شود که مفصل همگام باقی می‌ماند. به ویژه، در زمانی که مفصل نوسانی در فاز نوسانی قرار دارد، مفصل در حال حرکت مرتبط باید در فاز نوسانی قرار داشته باشد، هر واحد مولد مرکزی الگو به شکل یک طرفه جفت می‌شود که به نوسان شکم واحد مولد مرکزی الگو مرتبط است و به وسیله تغییر معادلات دیفرانسیلی Z انجام می‌شود بر اساس معادله ۶ انجام می‌شود.

$$Z_f = k \frac{Z_s}{r_s} \quad (6)$$

که در آن K شدت اتصال (جفت شدن) مفاصل است. واحدهای مولد مرکزی الگو از طریق Z جفت می‌شوند، زیرا این روش ساده ترین روش جفت شدگی است.

۶-۲- مدل سازی مولد مرکزی الگو

۱-۶-۲. شروع و توقف حرکت

از نظر کیفی، به وسیله اصلاح پارامتر ν ، سیستم ۱ بین نقطه ثابت ساکن در $x = 0$ (برای $\nu = -1$) و حرکت مناسب ($\nu = 1$) قرار دارد؛ بنابراین، پارامتر ν کنترل می‌کند که آیا نوسان گرها به وسیله واحد مولد مرکزی الگو تولید شده است یا نه و در نهایت، حرکت ایجاد می‌شود. باید توجه شود که برای $\nu = 1$ ، حرکت ایجاد شده یک حرکت گسسته است. در این حالت نقطه ثابت می‌تواند تغییرات را جبران کند. پارامتر $\nu_{p,i}$ مجموعه‌ای است از m تا $A_{p,i}$ که به صورت ν است:

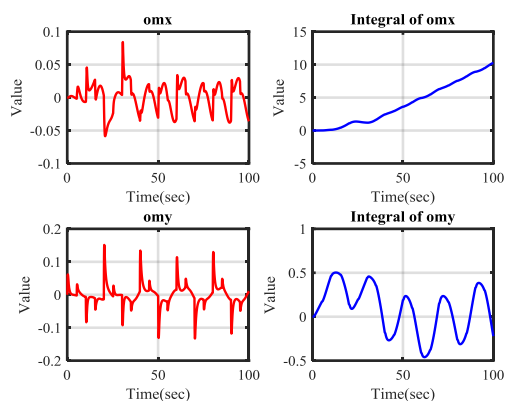
$$\nu_{p,i} = \begin{cases} -1, & m < m_{low} \vee |A_{p,i}| \leq 0.5 \\ 1, & m \geq m_{low} \wedge |A_{p,i}| > 0.5 \end{cases} \quad (7)$$

۲-۶-۲. مدل سازی سرعت ربات

سرعت ربات به وسیله تغییر فاکتور وظیفه β تغییر می‌کند که منجر به کنترل مدت فاز ایستادن می‌شود، مدت فاز ایستادن کوچکتر منجر به سرعت بالاتر می‌شود. همانطور که تعدیل راندن در شدت افزایش پیدا می‌کند، فاکتور وظیفه β ، به شکل خطی از 0.89 (برای حرکت خزیدن) تا 0.5 کاهش پیدا می‌کند. فاکتور وظیفه به شکل ریاضی به عنوان یک تابع خطی تکه‌ای است که در ۸ نشان داده شده است.

$$\beta = \begin{cases} 0.89 & m < m_{low} \\ 0.5 & m \geq 2.5 \end{cases} \quad (8)$$

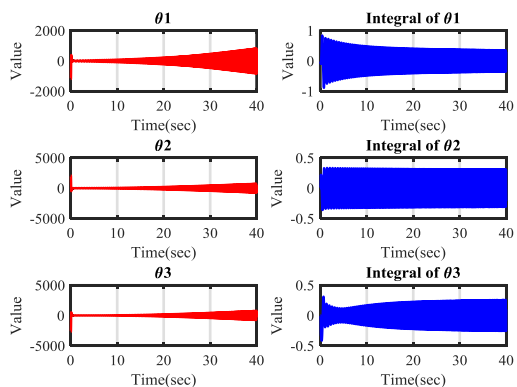
این عملکرد برای $\beta = 0.5$ اشباع را نشان می‌دهد؛ زیرا شکم ربات نمی‌تواند سریعتر از راه رفتن عمل کند.



شکل ۵: مسیر حرکت ربات در راستای XY.

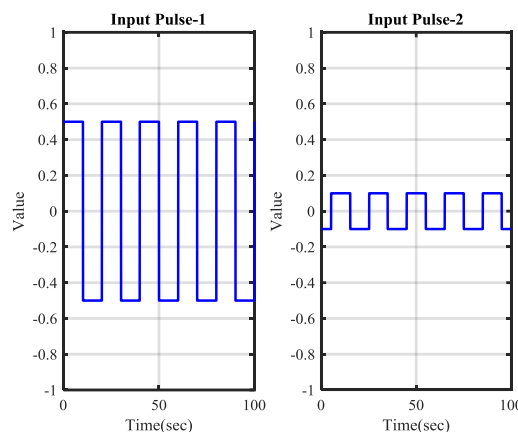
۲-۳- حرکت در راستای محور x با سرعت معین

در این حالت پارامتر کنترل جهت حرکت در زاویه صفر درجه تنظیم می‌شود که هدف حرکت در راستای محور X است که در این حالت سرعت حرکت ربات که قابل تغییر با پارامتر Speed است، به اندازه ۲ واحد انتخاب می‌شود. همانطور که در شکل‌های ۶ و ۷ مشخص است، در لحظات اولیه شبیه‌سازی به علت زیاد بودن زمان نشست سیگنال کنترلی در راستای Y در لحظات اولیه حرکت ربات در راستای محور Y نوسان سینوسی خواهد داشت. پس از حدود ۲۰ ثانیه حرکت در راستای محور Y پایدار خواهد بود و در مجموع حرکت پایداری را از ربات خواهیم دید.



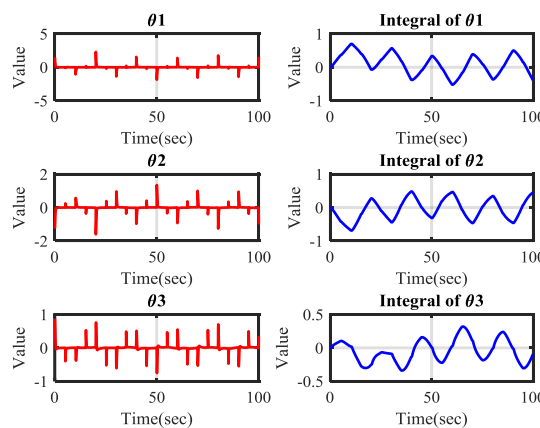
شکل ۶: تغییرات فازها در حالت حلقه بسته.

سیگنال ورودی به واحد CPG اعمال شود. به همین منظور سیگنال پالس مربعی با دامنه واحد و آفست DC برابر با -0.5 به ورودی کنترل کننده وارد می‌شود. به علت اینکه ساختار اولیه شبیه‌سازی حلقه بسته نیست؛ بنابراین نوسانگر پالس مربعی به عنوان سیگنال ورودی تحریک وارد می‌شود (شکل ۳).

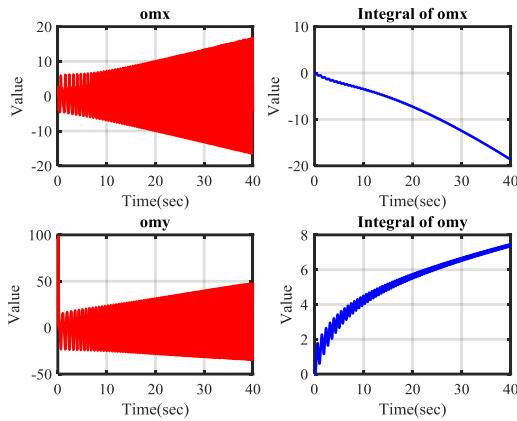


شکل ۳: سیگنال‌های تحریک کننده ورودی کنترل‌گر در حالت حلقه باز.

جهت تسریع سرعت حرکت ربات لازم است، دو سیگنال تحریک به ورودی وارد شده به طوری که تاخیری به اندازه ۵ ثانیه بین دو سیگنال تحریک ورودی وجود دارد. با اعمال این سیگنال تحریک خروجی‌های کنترل کننده به صورت شکل‌های ۴ و ۵ به دست آمده است.



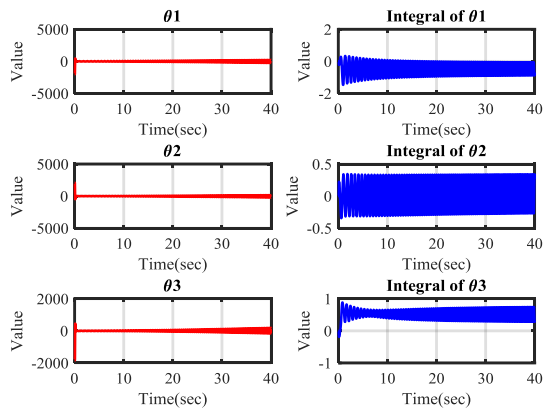
شکل ۴: تغییرات فازهای θ_1 ، θ_2 و θ_3 در حالت حلقه باز.



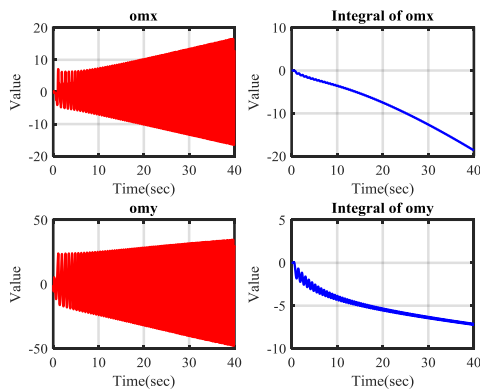
شکل ۹: مسیر حرکت ربات در راستای XY در حالت حلقه بسته.

۳-۴- حرکت در راستای منفی محور y و مثبت محور x در سرعت معین

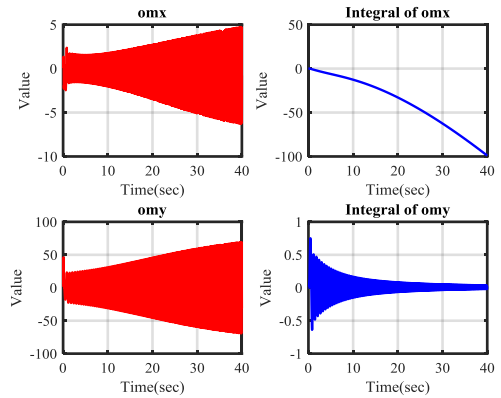
مشابه حالت دوم، در این حالت به ازای تغییر پارامتر جهت مسیر حرکت ربات در راستای منفی محور Y تغییر یافته است. با توجه به شکل‌های ۱۰ و ۱۱ می‌توان دریافت که فرکانس تغییرات فاز نسبت به نتایج حالت اول کاهش یافته است. در شکل ۱۰ به ازای ۴۰ ثانیه شبیه‌سازی تنها ۲۰ واحد حرکت در راستای محور X و ۸ واحد حرکت در راستای منفی محور Y وجود دارد.



شکل ۱۰: تغییرات فازهای θ_1 ، θ_2 و θ_3 در حالت حلقه بسته با $Speed=2$



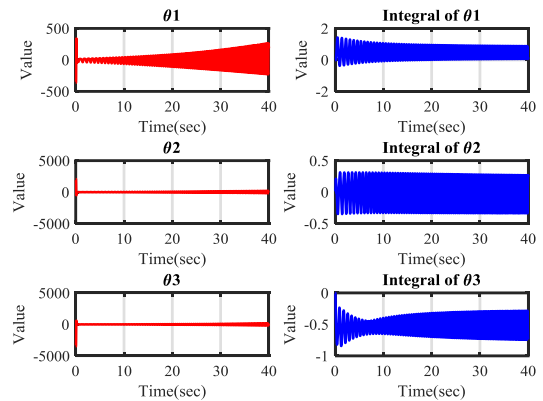
شکل ۱۱: مسیر حرکت ربات در راستای XY در حالت حلقه بسته.



شکل (۷): مسیر حرکت ربات در راستای XY در حالت حلقه بسته.

۳-۳- حرکت در راستای مثبت محور y و مثبت محور x با سرعت معین

در این حالت به ازای تغییر پارامتر جهت مسیر حرکت ربات در راستای مثبت محور Y تغییر یافته است. با توجه به شبیه‌سازی‌های انجام شده که در شکل‌های ۸ و ۹ نشان داده شده، می‌توان دریافت که فرکانس تغییرات فاز نسبت به نتایج حالت اول کاهش یافته است. با دقت در شبیه‌سازی شکل ۹ به ازای ۴۰ ثانیه شبیه‌سازی تنها ۲۰ واحد حرکت در راستای محور X و ۸ واحد حرکت در راستای محور Y وجود دارد.



شکل ۸: تغییرات فازها در حالت حلقه بسته.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک معماری معرفی شده است که این ساختار از مولدهای مرکزی الگو (نخاع حیوان) الهام گرفته و حالت‌های زیر را پیشنهاد می‌دهد که نسبت به کارهای قبلی دارای برتری هست:

-مختصات مورد نیاز مسیره‌ها را برای حرکت ایجاد می‌کند.
-الگوهای موتور را مطابق با افزایش سرعت مدل‌سازی تغییر می‌دهد.
-برای به دست آوردن حرکت در جهت مناسب در سرعت راه رفتن، مسیر و زاویه سرعت مناسب ارائه شده است.

- به علاوه در این مقاله، CPG با استفاده از نوسانگر غیرخطی طراحی می‌شود که چندین مزیت دلخواه را در کاربردهای ربات نشان می‌دهد که از آن جمله می‌توان به امکان فراهم کردن یکپارچه‌سازی مکانیسم بازخورد حسی اشاره کرد.

-همچنین این کاربردها اجازه می‌دهند تا مختصات همه مفصل‌ها در تمام جهت‌های مناسب قرار گیرد. در این حالت همچنین یک روش برای مدل‌سازی همه پارامترهای CPG، نشان داده شده است که فقط در تعداد کمی از پارامترها به تبدیل دستی نیاز دارد.

-به علاوه در این مقاله، دستورات هدایت کردن در فعالیت‌های هدایت رفتارهای موتور مدل‌سازی می‌شود که از طریق مدل‌سازی دامنه‌های نوسانی و در حال حرکت انجام می‌شود.

- حرکت ایجاد شده از طریق دستورات سطح بالاتر مدل‌سازی می‌شود و حرکت راه رفتن مطلوب در سرعت انتقالی، جهت راه رفتن در سرعت زاویه‌ای کدگذاری می‌شود؛ بنابراین، ابعاد کنترل مسئله کاهش پیدا می‌کند. که این مورد یکی از مزیت‌های مهم این مقاله هست.

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که کنترل‌گر ارائه شده بر اساس [۷] می‌تواند جهت حرکت مفصل مورد نیاز را ایجاد کند که شامل حرکت در جهت مناسب و تغییر حرکت است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که محاسبات دامنه حرکت و مسیر هر مفصل، بر خلاف مقدار سرعت تقریبی، می‌تواند به شکل موفقیت آمیزی در پارامترهای CPG در سرعت انتقالی دلخواه مدل شود و همچنین دامنه حرکت می‌تواند با سرعت زاویه‌ای و جهت راه رفتن مدل‌سازی شود و ربات می‌تواند حرکت در جهت مناسبی را اجرا کند.

مراجع

- Computer and Information Science. 2011, 168, 289-300. 10.1007/978-3-642-22606-9_31.
۳. شهبازی ح، جمشیدی ا، و منجمی ا، ۱۳۹۰، مدل‌سازی مولد مرکزی الگو در نخاع جهت تولید حرکات منحنی - خطی در ربات انسان نما، یازدهمین کنفرانس سیستم‌های فازی ایران، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
4. Atoofi P., Hamker F., Nassour J., Learning of Central Pattern Generator Coordination in Robot Drawing, Front. Neurobot., 23, 2018, 13-22.
۵. تقی راد ح، ظریف لولویی آ، خسروی م، رباتهای موازی کابلی: سینماتیک، دینامیک و کنترل، مجله کنترل، جلد ۸، شماره ۳، ۱۳۹۳، ۸۷-۱۱۷.
6. Komarov M., Pikovsky A., The Kuramoto model of coupled oscillators with a bi-harmonic coupling function, Physica D: Nonlinear Phenomena, 289, 2014, 18-31.
7. Ijspeert A.J., Central pattern generators for locomotion control in animals and robots: a review, Journal of Neural Networks, 21, 4, 2008, 642-653.
۸. صفایی سیف د، فرشاد ب، ارایه روش جدید برای حل سینماتیک معکوس و بهینه کردن عملکرد بازوهای مکانیکی ماهر با درجه آزادی بالا توسط الگوریتم ژنتیک، کنترل، شماره ۱ دوره ۲، ۱۳۸۷، ۶۵-۷۳.
9. Transteth A., Ytterstad K., Developments in snake robot modeling and locomotion, ICARCV, 2006. 156-164.
10. Ijspeert J., Crespi A., Ryczko D., Cabelguen J. M., From swimming to walking with a salamander robot driven by a spinal cord model, Journal of Science, 315 (5817), 2017, 1416-1420.
- A. Ijspeert J., Crespi A., Cabelguen J. M., Simulation and robotics studies of salamander locomotion: Applying neurobiological principles to the control of locomotion in robots, Journal of NeuroInformatics, Vol 3(3), 2015, pp. 171-196.
11. Ludovic R., Auke Jan J., Programmable Central Pattern Generators: an application to biped locomotion control, Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation Orlando, Florida - May 2006.
۱۲. خدابنده ب، شهبازی ح، منجمی ا، آموزش تقلیدی حرکات پیچیده به رباتهای انسان نما به کمک بهینه‌سازی تکاملی شبکه عصبی مولد الگوی واحد، نشریه مهندسی مکانیک امیرکبیر، ۱۳۹۷، ۵۰، ۱۱۲۳-۱۱۳۶.
13. Chang H., Vela Patricio A., Shape-centric modeling for control of traveling wave rectilinear locomotion on snake-like robots, Robotics and Autonomous Systems, 124, 2020, 103406.
14. Ludovic R., & Jonas B., Ijspeert, A.J., Dynamic Hebbian learning in adaptive frequency oscillators. Physica D: Nonlinear Phenomena. 216, 2016, 269-281. 10.1016/j.physd.2016.02.009.
15. Castañõs F., Franci A., Implementing robust neuromodulation in neuromorphic circuits, Neurocomputing, 233, 12, 2017, 3-13.
16. Dutta, S., Parihar, A., Khanna, A. Programmable coupled oscillators for synchronized locomotion. Nat Commun 2019, 10, 3299. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-11198-6>.

1. Bamdad M., Mardany A., Motion analysis of continuum robots structures with cable actuation, Modares Mechanical Engineering, 14, 14, 2015, 67-87.
2. Mondal S., Nandy A., Verma, C., Shukla S., & Saxena, N., Chakraborty P., Nandi, G. Modeling a Central Pattern Generator to Generate the Biped Locomotion of a Bipedal Robot Using Rayleigh Oscillators. Communications in

Modeling and simulation of the central generator of the pattern to produce curved-linear motions in the snake robot

Abstract

With the advancement of science and technology and the importance of using robots, the need to use automated systems seems essential. Since most applications of snake robots move in unfamiliar and sometimes complex environments, there is a need to develop different control methods for them. The product of the integration of the two sciences of neuroscience and robotics, are motor neuron producers known as model central generators, which is the problem of producing motion in the robot. In this paper, we control the movement of a snake-like robot with a central pattern generator (CPG) that is able to produce coordinated patterns of output signals with different frequencies. For this purpose, it is necessary to model the snake robot first and then apply control. In this paper, the control of robot motion in two modes of open loop and closed loop for CPG network is presented. At the same time, this study with simulations shows that the lower the level of stimulation and the lower its level, the lower the frequency of motion production and vice versa. Then, the effect of CPG models, which are used as neural networks, is simulated in motion control. In this paper, the remarkable point in comparison with other controllers is that in the central generating neural networks, the pattern of simple signals is sufficient to stimulate and induce the movement of robots, which is shown in the simulation.

Keywords: Central pattern generator, simulation, snake robot, neural control.

Assessing e-government readiness at the level of Iranian government organizations (Case study: Tarbiat Modares University)

S. Haydari*, G. Montazer**

Abstract:

Given the fact that universities are known as the pioneer of progress and innovation in society, the expectation of e-government maturity in universities is higher than in other government organizations. Given the high capacity of human capital, universities have the ability to adapt to e-government sooner than other organizations. To meet these expectations, the e-government of universities and higher education institutions must be continuously evaluated. In this paper, in order to design a model for assessing the readiness of e-government at the level of government organizations, a model has been extracted that includes "organizational-Affiliated" and "independent of the organization" indicators. The order of importance is: "Technological Infrastructure", "Monitoring, Support and Coordination", "Trust", "Executive Policy and Law", "Human Resources", "Digital Culture", "Integrity" and "Budget", as well as the "National Infrastructure" index is considered as an independent indicator of the organization. In the field study, the model was used to assess the readiness of e-government at Tarbiat Modares University..

Keywords: E-government, E-government readiness, University, National Model, Tarbiat Modares

An efficient method for detecting phishing websites using data mining on web pages

*M. Baharloo ** A. Yari

Abstract:

Phishing is regarded as a kind of internet attack on the web which aimed to steal the users' personal information for online stealing. Phishing plays a negative role in reducing the trust among the users in the business network based on the E-commerce framework. therefore, in this research, we tried to detect phishing websites using data mining. The detection of the outstanding features of phishing is regarded as one of the important prerequisites in designing an accurate detection system. Therefore, in order to detect phishing features, a list of 30 features suggested by phishing websites was first prepared. A new idea based on two steps: feature selection and feature extraction, has been proposed. To evaluate the proposed method, the performance of decision tree J48, random forest, naïve Bayes methods were evaluated on the reduced features. The results indicated that accuracy of the model created to determine the phishing websites by using the two-stage feature reduction-based Wrapper and Principal Component Analysis (PCA) algorithm in the random forest method of 96.58%, which is a desirable outcome compared to other methods.

Keywords: Internet attack, Phishing, Data Mining, Feature Selection, Feature Extraction.

Increasing the Amount of Data and Reducing the Cost of Using Network Coding in Wireless Sensor Networks

*E. kharati

Abstract:

This paper presents an optimization model to increase the amount of data collected and balance the bandwidth consumption of the edges and uses network coding. To solve this model, the dual method is used and to calculate a lower bound and find the optimal answer and point in the optimization model, the Karush-Kun-Tucker condition is used, which requires calculating the derivative of the Lagrangian function with respect to its variables. Solving this problem and equations in polynomial time is very difficult, time consuming and almost impractical due to the involvement of different parameters and limited resources of wireless sensor networks with a large number of nodes, so to solve this problem, a distributed and iterative algorithm is proposed. It uses the sub gradient method and the network flow separation method. The effectiveness of the proposed model and algorithm has been investigated by simulation in terms of number of source sensor nodes, Lagrangian coefficient and step size. Up to 23% of bandwidth consumed, average network life and energy consumed.

Keywords: Wireless Sensor Networks, Network Coding, Optional Route, Bandwidth.

An Improved Method for Community Detection in Dynamic Social Networks Based on Label Propagation and Modularity Optimization

*M. Sattari **K. Zamanifar ***HR. Naji

Abstract:

Community detection in dynamic social networks is one of the most important research topics that has been considered in recent years. There are various approaches to detecting communities in dynamic social networks, among which the label propagation approach has chosen due to simplicity and efficiency. This approach involves many methods that are often random. Among these methods, LabelRankT(Time) is a deterministic method. Of course, this method also has problems, one of the problems is that when a node wants to join a community, the internal structure of that community is not considered. So, for solving this problem, a greedy approach has been used to improve the label publishing approach. The proposed approach and other evaluated methods are tested in real and Synthetic datasets. The results show that the proposed method has performed relatively better than the other methods in terms of accuracy and modularity.

Keywords: GreedyLabelRankT, LabelRankT, Label Propagation Approach, Community Detection, Dynamic Social Network

Using a multi-objective optimization algorithm to allocate tasks in cloud-based systems to reduce energy consumption

*S. Tabaghchimilan **N. Jafarinovimipour

Abstract:

Due to the increasing demand for business in the web environment, the variety and number of services have increased. As a result, large-scale computing data centers have been created that increase costs and electrical power. Inadequate and inefficient cooling systems not only overheat the resources and reduce the devices' service life but also produce carbon, which plays an important role in weather conditions.

Therefore, it is necessary to reduce the total energy consumption of these systems with appropriate methods. In this research, an effective method of energy resource management in virtualized cloud data centers is presented. In addition to reducing energy consumption and operating costs, it has also increased the quality of services. This study presents a resource allocation strategy in cloud systems to reduce energy and implementation costs and examine its application in the cloud computing environment. The simulation results showed that the proposed method could reduce the average energy consumption up to 0.626 kWh compared to NPA, DVFS, ST, and MM methods. Also, the need for migration and SLA violations are decreased.

Keywords: Cloud Computing, Energy Consumption, Job Allocation, Multi-Objective Optimization Algorithm

Incentive Reward Mechanism for Human Computation Intrusion Detection System Based on Game Theory

* .YLor Mohammad Hassani Esfandaghe ** M.Ghayoori Sales

Abstract:

Despite the tremendous advances in the design of human computation systems, most of them suffer from low or low-quality contributions, and a high percentage of them fail. The success of these systems mostly depends on the behavior of people who participated in the system. Because human computation systems involve small work units, and each work brings little benefit to the participants, humans exhibit desirable behavior if they are well motivated. In this paper, we investigated this issue in the human computation intrusion detection (HCID) system. Our goal is to design a mechanism to get tasks done by experts with the utmost effort and accuracy for the lowest possible cost with a high percentage of participation. After choosing the appropriate motivation, we design the reward incentive mechanism for this system. The idea behind this mechanism was to use worker's skills in determining their rewards, and we used the Kappa coefficient to evaluate worker's agreement. After designing this mechanism, we use game theory to analyze the mechanism and determine the minimum possible reward for each task category. We prevent system failure by encouraging the workers to be high and quality participation. Also, we manage the system's financial resources by allocating the least necessary financial resources to the workers. This mechanism's design leads to an increase in the participants' accuracy and, consequently, to an increase in the human computation intrusion detection system's accuracy in identifying new attacks and reducing their false alert rate.

Keywords: Incentive Rewarding, , Human Computation, Game Theory, Intrusion Detection, Kappa Coefficient

Fast and accurate concept drift detection from event logs

* M.Yaghoubi ** A.Sebti ***S.Karbasi

Abstract:

In organizations and large companies that are using business process management systems (BPMSs), process model can change due to upstream laws, market conditions. BPMSs have flexible to these changes. Effect of these change are saved in storage devises and event logs; these changes are sometimes applied suddenly or gradually on the event logs. Changing the season or starting a new financial term can be a factor to make these changes. This change is called concept drift in business process model. On time detection and recognition of process concept drift can affect the decision making of managers and administrations of systems. An analysis of the event logs in BPMS allows the automatic detection of the concept drift. This paper presents an innovative method by introducing a modified distance function to identify the concept drift. Experimental results were performed on 72 datasets in the research history, which included 648 concept drifts in 12 different types. It shows that the proposed method detects 98.18% of the drifts, while the proposed method is much faster than other state of the art methods.

Keywords: Business process management systems, Process mining, Concept drift, Process drift detection

Textual analysis of central bank news in forecasting long-term trend of Tehran stock exchange index

* M.Hashemi ** M.Rezaei ***M.Kandi

Abstract:

Financial markets have always been under influence of media news; therefore, text analysis of news is considered as an effective method of stock exchange forecasting. Research in this context has been conducted with the help of information retrieval techniques, in which high frequency words in a document that appeared sporadically in the whole corpus received higher weight than others. In contrast, the words which appeared in many news of a corpus, during a certain time, indicate the importance of an event. In our research, to address this contradiction, a new technique of assigning weight to influential words of news is presented. Financial news of Iran Central Bank (CBI) and actual data of Tehran Stock Exchange Index (TSEI) in the duration of 2005 to 2020 AD were utilized to evaluate the proposed method. The empirical results show 64% and 41% accuracy of trend prediction when TSEI moves upward and downward respectively and about 10% decreasing in Mean Absolute Error (MAE) to compare with prevalent techniques. While, the changes of the ratio between the number of positive and negative words in news does not offer predictive or analytical evidences, our results show that, there still exists a meaningful relationship between CBI news and TSEI fluctuations.

Keywords: Tehran Stock Exchange Index, long-term forecasting, textual analysis, word weighting.

Improving performance of probe-based rate control mechanisms using classification: evaluation on an experimental testbed for High Throughput WLANs

* A.Ghalibaf ** M.Nasiri ***MH.Daei ****M.Sakhaei

Abstract:

MIMO technology offers a wide range of transmission rates for modern wireless LANs. In order to improve the performance of the rate control module, statistical information on the history of state and usage of each transmission rate is maintained at the MAC layer to help determine the rate at which future packets are sent. However, the great diversity of transmission rates in the 802.11n and 802.11ac standards imposes an overhead for updating this information. In this article, to reduce the state space of transmission rates while keeping statistics approximately up to date for each rate, a method for clustering rates is presented so that when sending a packet over a transmission rate, statistical information relating to all the rates belonging to the same cluster is updated. As a result, statistics for a greater number of rates can be updated even when sending a fewer number of packets. We implemented our proposed mechanism in the Linux kernel environment and evaluated its performance under different conditions on an experimental testbed deployed in our research laboratory. The results show that the proposed method outperforms the de-facto Minstrel-HT rate control mechanism in terms of throughput and number of successful transmissions.

Keywords: Rate adaptation, High-Throughput Wireless LAN, Real Testbed, Classification, Minstrel HT, CRA.

The aware genetic algorithm of the best member, applied to graph coloring and metric-dimension of the graph problems

* M.Amintoosi ** H.Ezzati

Abstract:

Genetic algorithm is one of the most famous methods for solving Combinatorial Optimization Problems. It had various applications in different field of studies such as Electronics, Computer Science and Mathematics and still has. In this algorithm, the population members which contribute for producing the next generation are selected according to their fitness values. The combination of the members is through Crossover Operator; And in some versions a few of the best members migrate to the next generation directly. Normally, the weak members of population may participate to the next generation. In this study, the combination operators are aware of the best member of generation; Only those child which are as good as the best member, are allowed to form the next generation. The proposed method is applied on graph coloring and finding metric-dimension of graph problems. The results are compared with the common genetic algorithm. Experimental results shows the superior performance of the proposed method in comparison to common genetic algorithm.

Keywords: Genetic Algorithm, Metaheuristic Algorithms, Metric Dimension of Graphs, Graph Coloring

Converting protein sequence to image for classification with convolutional neural network

* R.Ahsan ** M. Ebrahimi *** R.Dianat

Abstract:

Since methods for sequencing machine learning sequences were not successful in classifying healthy and cancerous proteins, it is imperative to find a way to represent these sequences to classify healthy and ill individuals with deep learning approaches. In this study different methods of protein sequence representation for classification of protein sequence of healthy individuals and leukemia have been studied. Results showed that conversion of amino acid letters to one-dimensional feature vectors in classification of 2 classes was not successful and only one disease class was detected. By changing the feature vector to colored numbers, the accuracy of the healthy class recognition was slightly improved. The binary protein sequence representation method was more efficient than the previous methods with the initiative of sequencing the sequences in both one-dimensional and two-dimensional (image by Gabor filtering). Protein sequence representation as binary image was classified by applying Gabor filter with 100% accuracy of the protein sequence of healthy individuals and 98.6% protein sequence of those with leukemia. The findings of this study showed that the representation of protein sequence as binary image by applying Gabor filter can be used as a new effective method for representation of protein sequences for classification.

Keywords: Converting protein sequence to image, Gabor filter, Convolution Neural Network, Protein classification.

Modeling and simulation of the central generator of the pattern to produce curved-linear motions in the snake robot

* Y.Pourasad ** M. Vasegh

Abstract:

With the advancement of science and technology and the importance of using robots, the need to use automated systems seems essential. Since most applications of snake robots move in unfamiliar and sometimes complex environments, there is a need to develop different control methods for them. The product of the integration of the two sciences of neuroscience and robotics, are motor neuron producers known as model central generators, which is the problem of producing motion in the robot. In this paper, we control the movement of a snake-like robot with a central pattern generator (CPG) that is able to produce coordinated patterns of output signals with different frequencies. For this purpose, it is necessary to model the snake robot first and then apply control. In this paper, the control of robot motion control in two modes of open loop and closed loop for CPG network is presented. At the same time, this study with simulations shows that the lower the level of stimulation and the lower its level, the lower the frequency of motion production and vice versa. Then, the effect of CPG models, which are used as neural networks, is simulated in motion control. In this paper, the remarkable point in comparison with other controllers is that in the central generating neural networks, the pattern of simple signals is sufficient to stimulate and induce the movement of robots, which is shown in the simulation.

Keywords: Central pattern generator, simulation, snake robot, neural control.