پژوهش‌های مدیریت منابع سازمانی
دوره 11، شماره 3، پاییز 1400

تخصیص یکپارچه و بهینه منابع انسانی سازمان در شرایط عادی و بحرانی با استفاده از یک روش تلفیقی نوین متاهیوریستیک-فازی

حمیدرضا سیفی[1]، کاوه محمد سیروس[2]*، ناصر شمس قارنه[3]

1- دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشکده/گروه مهندسی صنایع و مدیریت سیستم‌ها، دانشگاه امیرکبیر، تهران، ایران.
2- دانشیار، مهندسی صنایع، دانشکده/گروه مهندسی صنایع و مدیریت سیستم‌ها، دانشگاه امیرکبیر، تهران، ایران.
3- دانشیار، مهندسی صنایع، دانشکده/گروه مهندسی صنایع و مدیریت سیستم‌ها، دانشگاه امیرکبیر، تهران، ایران.

دریافت: 1399/11/13 پذیرش: 1400/4/12

چکیده

پژوهش حاضر با هدف حل مسئله تخصیص منابع انسانی به‌صورت یکپارچه و بهینه در شرایط عادی و بحرانی با استفاده از یک روش تلفیقی نوین متاهیوریستیک- فازی انجام شده است. روش حل شامل مدل ریاضی مسئله تخصیص و تلفیقی از الگوریتم فراابتکاری GWO و مدل استنتاج فازی سوگنو بوده است. در این پژوهش از مدل استنتاج فازی سوگنو در لایه تنظیم نرخ ارسال وظایف برای اضافه کردن قابلیت خودتنظیمی پارامترها به الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری برای حل مسئله استفاده شده است. پس از آماده‌سازی الگوریتم توسعه یافته نوین، مسئله تخصیص منابع انسانی قبل و بعد از شرایط بحرانی و زمان وقوع بحران با این الگوریتم حل از راه داده‌های پژوهش‌های برجسته پیشین، حل شده است. مقایسه نتایج این پژوهش با نتایج 5 روش برتر در پژوهش‌های قبلی (SGA، PRS، SRS،

* نویسنده مسئول مقاله: E-mail: cyrusk@aut.ac.ir

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-11-23]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1400.11.3.5.2]

MIP، HM) بر مبنای سه روش ارزیابی کیفیت حل‌ها (GA-FSGS، MP-FSGS، GA-SGS) نشان داد که افزایش Ω از 15000 به 25000 موجب بهبود مقادیر HM و SGA نسبت به پژوهش‌های قبلی در مجموعه داده‌های B100 و B200 شده است. همچنین مشخص شد که روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های حل پیشین و کیفیت راه‌حل‌های آنها، نتایج بهتر و کیفیت راه‌حل بالاتری دارد.

واژه‌های کلیدی: تخصیص منابع انسانی، شرایط عادی و بحرانی، روش متاهیورستیک- فازی، الگوریتم GWO، مدل استتاج فازی سوگنو.

1- مقدمه

امروزه مدیریت اثربخش منابع انسانی، نقش مهمی در موفقیت سازمان‌ها ایفا می‌کند و سازمان‌ها در راستای دستیابی به بازده بالا از منابع محدود، سعی در تخصیص زبده‌ترین افراد برای مسئولیت‌های مورد نظرشان را دارند [1]. هرچند که تصمیم‌هایی درخصوص تخصیص سرمایه‌های انسانی به بخش‌های مختلف سازمان و ترکیب کارآمد آنها از دشواری‌های مدیریت منابع انسانی به‌شمار می‌رود [2]. اما منابع انسانی ارزشمندترین منبع سازمان‌های امروزی به‌شمار می‌آیند و به تصمیم‌های سازمانی شکل داده، مسائل و مشکلات سازمان را حل کرده و بهره‌وری را عینیت می‌بخشند. ضمن اینکه افزایش بهره‌وری سازمان‌ها و توسعه روزافزون آنها هم مستلزم رشد و بهره‌وری کارکنان است [3]. مهم‌تر اینکه اهمیت و جایگاه منابع انسانی در سازمان، چینش کارآمد منابع انسانی در سازمان و ضرورت رویکردهای تخصیص منعطف و جامع منابع انسانی به‌خصوص در شرایط بحرانی، همگی ازجمله واقعیت‌های اثبات‌شده هستند [4]. اما مسئله تخصیص منابع انسانی چیست؟ مسئله تخصیص منابع انسانی در سازمان‌های مختلف یک مسئله برنامه‌ریزی با محدودیت منابع است که سعی دارد تا با فرض تجدیدپذیربودن منابع انسانی و اما دشواری در تأمین فوری این منابع، تعداد مشخصی از نیروی انسانی آموزش‌دیده و مناسب را در بخش‌هایی از فرایند انجام فعالیت‌های کاری سازمان قرار دهد تا با کمترین هزینه، کمترین زمان ممکن و بالاترین کیفیت مناسب به بالاترین عملکرد فردی و سازمانی دست پیدا کند [5]. درواقع این مسئله شامل فعالیت‌هایی است که باید باتوجه‌به محدودیت‌های منابع و اولویت‌ها به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی شود که هدفِ

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-11-23]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1400.11.3.5.2]

تعریف‌شده‌ای برای یک یا چند طرح در دست اجرا تحقق پیدا کند [6]. از دیدگاه برنامه‌ریزی پروژه نیز می‌توان مسئله تخصیص منابع انسانی را به‌عنوان یک مسئله استاندارد شناخته‌شده با نام برنامه‌ریزی پروژه با منابع محدود در نظر گرفت که البته برنامه‌ریزی پروژه یک عملیات با اهمیت در مدیریت پروژه است. البته وجود منابع محدود و همچنین اولویت روابط بین فعالیت‌ها، برنامه‌ریزی پروژه را به یک کار سخت تبدیل می‌کنند [7].

این نوع از مسائل در دهه‌های گذشته به یک مسئله استاندارد برای برنامه‌ریزی پروژه در ادبیات تبدیل شده است. این مسئله یک پروژه را با J فعالیت در نظر می‌گیرد که با $j=1,\ldots,J$ برچسب خورده‌اند. مدت زمان فعالیت j با p_j مشخص می‌شود. پس از شروع، یک فعالیت امکان توقف ندارد؛ یعنی به‌عنوان پیش‌فرض این امر مجاز نیست. به دلیل نیازهای فنی، روابط اولویت‌دار بین برخی فعالیت‌ها وجود دارد. این اولویت‌ها با مجموعه‌ای از پیش‌نیازهای فوری p_j داده شده‌اند که نشان‌دهنده آن است که فعالیت j نمی‌تواند قبل از اینکه پیش‌نیاز آن $i \in P_j$ تکمیل شود، شروع شود. روابط پیش‌نیازی می‌تواند با یک شبکه گره‌ای نشان داده شود که فرض می‌شود غیرحلقه‌ای است. هر فعالیت به مقدار مشخصی از منابع برای انجام‌شدن نیاز دارد. منابع انسانی تجدیدپذیر فرض می‌شوند، زیرا ظرفیت کامل آنها در هر دوره در دسترس است. K منبع تجدیدپذیر داریم که با $k=1,\ldots,K$ نشان داده می‌شوند. فرض شده است برای هر منبع k دردسترس‌بودن در هر دوره در طول زمان ثابت باشد و با R_k نشان داده شود. فعالیت j به r_{jk} واحد از منبع k در هر دوره در حال انجام نیاز دارند. ما دو فعالیت $j=0$ و $j=J+1$ را به‌ترتیب برای نشان‌دادن شروع و پایان پروژه در نظر می‌گیریم. هردو این فعالیت‌ها با داشتن مدت زمان 0 و احتیاج‌نداشتن به منابع، فعالیت‌های مجازی هستند. همچنین فرض می‌شود همه اطلاعات قطعی و از قبل شناخته‌شده هستند. فرض می‌شود پارامترها غیرمنفی و عدد صحیح هستند. یک تخصیص منابع، تخصیص زمان‌های شروع S_j به فعالیت‌های $j=0,1,\ldots,J+1$ است [8-9]. برای مسئله تخصیص منابع اولیه، هدف پیداکردن برنامه‌ای است که منجربه زودترین پایان ممکن پروژه شود؛ به عبارت دیگر، حداقل زمان کل برای پایان پروژه. وانهوک نشان داد که مسئله برنامه‌ریزی پروژه با منابع محدود متعلق به‌دسته مسائل NP-Hard قوی است [10].

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-11-23]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1400.11.3.5.2]

اما چرا پژوهشگران در این مطالعه به مسئله تحصیص منابع انسانی پرداخته‌اند؟ این پژوهش به سه دلیل مهم در حوزه تخصیص منابع انسانی انجام شده است: 1) مسئله تخصیص منابع انسانی همواره یک مسئله رو به رشد بوده و با راه‌حل‌های مختلف، هنوز به‌طور کامل حل نشده است. این ادعا در جدول 1 به اثبات می‌رسد؛ 2) نتایج ارزیابی پژوهش‌های گذشته نشان می‌دهد توجه به مسئله تخصیص منابع انسانی یک نگاه جزیره‌ای بوده و به‌طور جامع و یکپارچه این مسئله حل نشده است؛ 3) از آن‌جایی‌که منابع انسانی سازمان همواره در دو شرایط غیربحرانی و بحرانی باید وضعیت مطلوب را داشته باشد و سازمان را دچار چالش نکند، اما تا ابتدای سال 2021 میلادی هیچ راه‌حلی برای جلوگیری از چالش‌های منابع انسانی در شرایط بحرانی (غیبت یا ترک کار کارکنان بر اثر حوادث قهری و غیرمترقبه یا حوادث فراگیر مانند بیماری کرونا و غیره) ارائه نشده است. البته هوگروست تلاش کرد تا به راه‌حلی برای این مهم دست پیدا کند. ولی پژوهش ایشان تنها توانست قبل و بعد از بحران کنترل لازم را انجام دهد و امیداوری کرده‌اند که بتوان یک راه‌حل هوشمند ارائه کرد که مسئله تخصیص منابع انسانی در شرایط بحرانی و غیربحرانی با حداقل دخالت انسانی (به دلیل خطای محاسباتی) انجام شود. در این پژوهش تلاش شده است تا با تلفیق الگوریتم GWO، روش استنتاج فازی سوگنو – به‌عنوان یک الگوریتم جدید که انتظار می‌رود قابلیت خودتنظیمی پارامترها را داشته باشد و بتواند برای نخستین بار حتی با تغییر اهداف مسئله نیز راه‌حل/ راه‌حل‌های بهینه را ارائه دهد- این مهم محقق شود.

2- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در رابطه با تخصیص منابع انسانی در سازمان، پژوهش‌های بسیاری انجام شده است که عمده این پژوهش‌ها در حوزه تخصیص کارکنان به وظایف و پست‌های سازمانی بوده است. در جدول 1 فهرست پژوهش‌های داخلی و خارجی انجام شده در رابطه با مسئله تخصیص منابع انسانی آمده است.

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-11-23]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1400.11.3.5.2]

جدول 1. خلاصه پژوهش‌های انجام‌شده در رابطه با تخصیص منابع انسانی

نام و نام نویسنده/گان	نوع تخصیص	شرایط محیطی		روش انجام
		عادی	بحرانی	
کاظمی و ترکانپور [2]	براساس تخصص	*		روش AHP
مهمانچی و شادرخ [11]	تحت معیار چندمهارته بودن	*		مدل ریاضی و الگوریتم DA
ادهم و همکاران [12]	عادی براساس نیازمندی فعالیت‌ها	*		تحلیل آمار توصیفی در SPSS
شفیعی و انگاشته [13]	عادی براساس نیازمندی فعالیت‌ها	*		مدل DEA
فلاح نژاد و همکاران [14]	براساس تخصص و تحت عدم قطعیت	*		تئوری صف و منطق فازی
ماکویی و همکاران [15]	عادی براساس فعالیت‌های شبکه	*		مدل ریاضی چندهدفه و حل قعطی
سمویی و همکاران [16]	براساس توجه به بالانس خطوط مونتاژ	*		مدل ریاضی و الگوریتم هیبریدی PSO
فتاحی و همکاران [17]	براساس بالانس خطوط مونتاژ	*		الگوریتم انجماد تدریجی چندهدفه
کمپانی و عظیمی [18]	عادی براساس فعالیت‌ها	*		مدل ریاضی و الگوریتم ژنتیک
Kwak et al. [19]	عادی به فعالیت‌ها	*		رویکرد فازی
L.Saaty et al. [20]	عادی به فعالیت‌ها	*		روش AHP
Alvarez-Valdés et al. [8]	تجدیدپذیری منابع	*		الگوریتم GRASP
Lin & Gen [21]	چندگانه	*		الگوریتم ژنتیک چندهدفه
Estellon et al. [22]	بر حسب زمان‌بندی وظایف	*		یک الگوریتم جستجوی محلی
Filho et al. [23]	عادی به فعالیت‌ها	*		رویکرد مسئله رضایت محدود
Perez et al. [24]	چندگانه	*		تکنیک‌های Socio-metric
Cabanillas et al. [25]	عادی براساس فرایند تجاری	*		تحلیل مبتنی‌بر وب سمانتیک
Chien et al. [26]	چندگانه	*		سازوکار مذاکره نوین
Stylianou & Andreou [27]	براساس زمان‌بندی پروژه	*		روش مدیریت پروژه نرم‌افزار

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-11-23]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1400.11.3.5.2]

نام و نام نویسندهاگان	نوع تخصیص	شرایط محیطی		روش انجام
		عادی	بحرانی	
Ponsteen & J.Kusters [28]	اتوماتیک چندپروژه‌ای	*		الگوریتم‌های مرکزی هیوریستیک
Park et al. [29]	تجربه‌محور	*		الگوریتم ژنتیک
Wibisono et al. [30]	عملکردمحور			روش نیس بایس
Roque et al. [31]	مشابهت وظایف	*		الگوریتم ژنتیک II و جستجوی تصادفی
Lilia [32]	برمبنای شایستگی افراد	*		روش بهینه‌سازی معکوس
Bouajaja & Dridi [33]	مقاله مروری			مقاله مروری
Aviso et al. [34]	برمبنای بحران‌های تغییرات آب و هوا	*		رویکرد پی-گراف
Tritschler et al. [9]	منابع منعطف بعد از وقوع بحران	*		مدل ریاضی و الگوریتم ژنتیک
Yua et al. [5]	برمبنای درجه اذیت‌شوندگی کارکنان	*		مدل برنامه‌ریزی پویا
Arias et al. [4]	معیارهای تخصیص			مقاله مروری
Arias et al. [35]	عادی به فعالیت‌ها	*		BPM و نقشه شناختی سیستماتیک
Arias et al. [36]	براساس کارآمدی فعالیت‌های مختلف	*		تحلیل چندعاملی و سناریوی بچ- تقاضا
Ersmus et al. [3]	برمبنای توانمندی‌های کارکنان	*		رویکرد تاکسونومی فلیشمن
Yousefi & Yousefi [7]	برمبنای حداقل‌سازی زمان رسیدگی	*		ANFIS, FNN, RNN, ICA
Ballesteros-Pérez et al.[6]	براساس تخصص			الگوریتم ژنتیک
Dabrian et al. [1]	براساس تخصص	*		مدلسازی دینامیک
پژوهش حاضر	براساس تخصص، کمینه‌سازی هزینه‌ها و زمان انجام فعالیت‌ها، حداکثرسازی کیفیت انجام فعالیت‌ها	*	*	مدل ریاضی، الگوریتم گرگ خاکستری، سیستم استنتاج فازی سوگنو

براساس پژوهش‌های ارائه‌شده جدول 1 و مدل‌ها و روش‌های استفاده‌شده در این پژوهش‌ها، ضعف آشکاری در مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضیاتی، الگوریتم‌ها و روش‌های

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-11-23]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1400.11.3.5.2]

تخصیص منابع انسانی این پژوهش‌ها وجود دارد. زیرا نخست مدل‌های برنامه‌ریزی خطی نمی‌توانند مسائل چندهدفه تخصیص منابع انسانی را که به‌خصوص ماهیت غیرقطعی (فازی) دارند، کنترل کنند. دوم، ریاضی‌کردن مسئله تخصیص منابع انسانی باتوجه‌به ماهیت پویای اهداف آن، ساختارهای تکامل‌شونده در سازمان‌ها و عدم قطعیت‌های موجود در محیط‌های پیرامون سازمان‌ها را پوشش دهد. درواقع، همه پژوهش‌ها سعی می‌کنند تا با ثابت‌کردن محیط مسئله و تعیین حدود برای پارامترها و اهداف مسئله تخصیص منابع انسانی، به یک الگوی خاص از زمان، هزینه یا کیفیت دست پیدا کنند. اما محیط و پارامترهای این مسئله متغیر بوده است، بنابراین این پژوهش تلاش کرده است تا با فرض متغیربودن پارامترهای تأثیرگذار بر مسئله تخصیص منابع انسانی، یک شبیه‌سازی از تخصیص منابع انسانی در شرایط عادی (قبل و بعد از وقوع بحران) و بحرانی (زمان وقوع بحران) ارائه دهد. ازطرفی، شرکت‌ها و سازمان‌های مختلف تحت شرایط بحرانی معمولی و حاد (با غیبت یکی یا چند نفر از کارکنان یا ترک شغل و یا اخراج کارکنان) دچار به‌هم‌ریختگی در انجام فرایندهای کاری می‌شوند. همچنین، در یک سازمان به‌عنوان یک سیستم، وظایف و افراد تا حد معینی به هم وابسته و متکی به هم بوده و نیاز است یک رویکرد منعطف برای تخصیص منابع انسانی در سازمان‌ها وجود داشته باشد. بنابراین نیاز به‌روشی نوین و منعطف است که بتواند باتوجه‌به تغییر اولویت در اهداف مسئله تخصیص منابع انسانی، ساختار خود را بهینه کند و به بهترین پاسخ ممکن (چینش بهینه/ تخصیص) دست پیدا کند.

درواقع روش پیشنهادی باید بتواند باتوجه‌به اهداف واقعی مسئله، ساختار و چینش محلی خود را تغییر دهد تا با بهترین الگو و ضمن رعایت ماهیت پویا و متغیر پارامترهای مسئله، به بهترین حالت تخصیص منابع انسانی در سازمان دست پیدا کند. این مهم تنها در الگوریتم گرگ خاکستری مقدور است و دیگر الگوریتم‌های بهینه‌سازی محلی نمی‌توانند همزمان با جستجوی نقاط بهینه محلی، ساختار خویش را متناسب با نوع دستیابی به هدف/ اهداف مسئله تغییر دهند. پس، استفاده از این الگوریتم و انجام تخصیص قبل از بروز بحران، زمان بحران و بعد از بحران را به‌خوبی انجام می‌دهد که این نوع جامع از تخصیص تاکنون در هیچ پژوهشی انجام نشده است و در دنیای واقعی نیز یک مسئله جدی و بدون پاسخ بوده است. این شبیه‌سازی می‌تواند موفقیت جدیدی در حوزه مدیریت منابع انسانی و برنامه‌ریزی بهینه برای

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-11-23]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1400.11.3.5.2]

کنترل تأثیر نامطلوب انواع شرایط بحرانی بر عملکرد نیروی انسانی و عملکرد سازمانی باشد. اهمیت این پژوهش در شرایط بحرانی مانند غیبت ناگهانی برخی کارکنان، بیماری‌های فراگیر مانند کرونا و انواع آنفولانزا، بروز حوادث غیرمترقبه که سازمان را به اتخاذ تصمیم‌های برنامه‌ریزی شده در حوزه منابع انسانی وادار می‌سازد و غیره، به‌خوبی قابل‌درک بوده و انتظار می‌رود که سازمان‌ها با یک الگوی علمی و مهندسی‌شده بتوانند با منابع انسانی موجود، عملکرد فردی و سازمانی را طی فرایندهای اجرایی سازمان در حد مطلوب نگه دارند.

3- روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش مسئله تخصیص منابع انسانی در شرکت های پیمانکاری موردتوجه قرار گرفته است. این مسئله پیش‌تر در پژوهش‌های [8-9؛ 37-44] مطالعه شده است. در این پژوهش، از مدل ریاضی ارائه‌شده در پژوهش‌های [8؛ 9] و داده‌های پژوهش‌های [44؛ 45] برای دستیابی به اهداف پژوهش استفاده شده است. در این پژوهش با توسعه الگوریتم GWO و الحاق قواعد سوگنوی فازی به کدنویسی آن، این الگوریتم جستجوی محلی به یک الگوریتم جستجوی محلی خودتنظیم‌شونده تبدیل شده است. سپس از الگوریتم توسعه‌یافته جدید برای حل مدل ریاضی مسئله تخصیص تحت داده‌های نامبرده، استفاده شده است. در این پژوهش تلاش می‌شود نتایج این پژوهش با نتایج 5 روش برتر در پژوهش‌های قبلی (SGA، PRS، SRS، MIP، HM) بر مبنای سه روش ارزیابی کیفیت حل‌ها (GA-FSGS، MP-FSGS، GA-SGS) مقایسه شود و کارایی روش پیشنهادی نیز مشخص شود.

3-1- فرمول‌بندی مسئله تخصیص منابع انسانی

در این پژوهش از مدل ریاضی ارائه‌شده در پژوهش‌های الوارز- والدز و همکاران[1] [8] و پژوهش تریتشلر و همکاران[2] [9] به‌عنوان فرمول‌بندی مسئله تخصیص منابع انسانی استفاده

1. Alvarez-Valdés et al.
2. Tritschler et al.

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-11-23]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1400.11.3.5.2]

می‌شود. ازاین‌رو به دلیل جلوگیری از طولانی‌شدن توضیحات از ارائه مدل ریاضی مسئله خودداری و به الگوریتم توسعه‌یافته خودتنظیمی پیشنهادی پرداخته می‌شود.

3-2- الگوریتم توسعه یافته خودتنظیمی پیشنهادی

در این پژوهش تلاش شده است تا با ترکیب الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری (GWO) و روش استنتاج فازی سوگنو به الگوریتم پیشنهادی موردنظر دست پیدا کنیم. درواقع، برای جلوگیری از ازدحام وظایف در گره‌های دریافت وظایف و عدم تعادل بار بر گره‌های نیروی انسانی در الگوریتم پایه گرگ خاکستری، از قواعد استنتاج فازی سوگنو و در بخش کنترل‌گر فازی یک چارچوب دولایه استفاده شده است که به‌صورت پویا، در دولایه به‌صورت پیوسته عملیات تخصیص منابع انسانی را در شرایط متغیر انجام می‌دهد. نخست در لایه تنظیم نرخ ارسال وظایف، گره‌های دریافت وظایف، وظایف را به‌گونه‌ای دریافت می‌کند که از ازدحام وظایف جلوگیری شود. به‌صورت همزمان در لایه تخصیص منابع، پس از ارزیابی وضعیت فعلی، منابع انسانی موجود به‌صورت بهینه با استفاده از الگوریتم تکاملی گرگ خاکستری تخصیص خواهد یافت. الگوریتم پیشنهادی توسعه‌یافته پیشنهادی قابلیت پارامترهای مسئله به‌صورت خودکار را دارد. این یکی از مهم‌ترین نوآوری در حل مسائل NP-Hard است که در این پژوهش با تلفیق الگوریتم پایه GWO و قواعد استنتاج فازی سوگنو حاصل شده است.

3-3- مطالعه موردی

این مطالعه با استفاده از نمونه‌های مسئله مجموعه آزمون A و B پژوهش‌های [37؛ 38] انجام شده است. مجموعه آزمون A شامل نمونه‌هایی با حداکثر 4 منبع، 509 نمونه آزمون و با حداکثر 55 فعالیت است. نمونه آزمون مجموعه A با $A\leq 55$ برچسب‌گذاری شده‌اند که اندیس‌ها تعداد فعالیت‌ها را نشان می‌دهد. مجموعه آزمون B شامل نمونه مجموعه‌های B_{10}, B_{20}, B_{40}, B_{100} و B_{200} با به‌ترتیب 10, 20, 40, 100 و 200 فعالیت و حداکثر 4 منبع است. فاندلینگ و تراتمن 480 نمونه مسئله در هر مجموعه با استفاده از طراحی فاکتوریل توان

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-11-23]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1400.11.3.5.2]

ترتیبی[1] (OS) پارامترهای مسئله، عامل منبع و توان منبع تولید کردند. البته هرچه این پارامتر بالاتر باشد، روابط اولویت در شبکه پروژه بیشتر خواهند بود و در این پژوهش مقادیر 0/25، 0/5 و 0/75 برای OS استفاده شده‌اند. عامل منبع[2] (RF) تعداد منابع لازم به ازای فعالیت را نشان می‌دهد. مقادیر آن 0/25، 0/5 و 0/75 و 1 در نظر گرفته شده است. توان منبع[3] (RS) نیز کمبود منابع را از راه مقایسه میزان نیاز به منبع با سطح در دسترس‌بودن منبع، اندازه‌گیری می‌کند. در این پژوهش مقادیر RS برابر صفر، 0/25، 0/5 و 0/75 خواهند بود که هرچه RS کمتر باشد، کمبود بیشتر است. همچنین برای RS=0 برای هر منبع حداقل یک فعالیت وجود دارد که ممکن است به‌طور خاص منبع را به دلیل کرانه بالای استفاده منبع q_{ir} اشغال کند و برای RS=1 دسترسی به منبع موجب محدودشدن زمان‌بندی نمی‌شود. بازه زمانی کمینه به‌طور تصادفی نیز بین 2 و 4 بلوک تعیین شده است [37-39]. در هر نمونه مسئله همه فعالیت‌ها نیازمند همان منبع اصلی $\hat{r}$ هستند. به‌علاوه برای منبع مستقل r مؤلفه‌های تابع منبع $\alpha_{ir} = (\bar{q}_{ir} - \underline{q}_{ir})/(\bar{q}_{i\hat{r}} - \underline{q}_{i\hat{r}})$ و $\beta_{ir} = \underline{q}_{ir} - \underline{q}_{i\hat{r}}\alpha_{ir}$ براساس پژوهش [39] نیز در حل الگوریتمی مسئله استفاده می شوند.

3-4- ارزیابی نتایج روش پیشنهادی با بهترین روش‌های موجود در پژوهش‌های پیشین

در این پژوهش، روش پیشنهادی با روش‌های زیر از پژوهش‌های پیشین مقایسه خواهد شد:

- الگوریتم ژنتیک خودسازگار (SGA) [39]
- الگوسازی هیوریستیک تصادفی موازی به‌یادآورنده (PRS): به‌وسیله الگوسازی تصادفی لیست فعالیت می‌سازد و زمان‌بندی با SGS موازی استاندارد تولید می‌کند [40].
- الگوسازی تصادفی سریال هیوریستیک (SRS): همان PRS است، اما از SGS سریال استاندارد استفاده می‌کند.

1. Order Strength
2. Resource Factor
3. Resource Strength

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-11-23]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1400.11.3.5.2]

- MIP: به‌عنوان مرجع حل‌کننده‌های تجاری با استفاده از FP-DT3 مدل PIM شناخته می‌شود. بهترین راه‌حل به‌دست‌آمده بعد از گذشت زمان 2 ساعت به‌عنوان جواب در نظر گرفته شده است [39].
- HM: این روش که یک روش متاهیوریستیک برای حل مسئله است، توسط پژوهش [9] ارائه شد.

علاوه بر این به‌منظور تجزیه و تحلیل اثر مؤلفه‌های HM بر کیفیت راه‌حل، سه متغیر HM باهم مقایسه شده‌اند و نتایج با روش پیشنهادی مقایسه شده است:

GA-FSGS: FSGS بدون VNS درون GA جایگذاری شده است. این ترکیب استفاده شده است تا اثر VNS را ارزیابی کند [41].

MP-FSGS: به‌منظور ارزیابی اثر GA، FSGS در یک روش چندگذری به کار گرفته شده است. این روش با استفاده از FSGS مقدار زیادی زمان‌بندی تولید می‌کند و بهترین مقدار تابع هدف را انتخاب می‌کند. سه λ با قوانین اولویت LPF, MTS و MWR تولیدشده و ρ و σ صفر می‌باشند. λ باقیمانده با استفاده از انتخاب فعالیت تصادفی و ρ و σ را به‌طور تصادفی در محدوده کران‌های داده‌شده انتخاب می‌شود [38].

GA-SGS: GA تنها در λ کار می‌کند و با SGS موازی استاندارد ترکیب شده است. این ترکیب برای ارزیابی FSGS استفاده شده است.

روش‌های ذکرشده در بالا، براساس بیشترین تعداد زمان‌بندی تولیدشده (Ω) به ازای تعداد نمونه باهم مقایسه شده‌اند. بعلاوه، اگر مدت‌زمان انجام پروژه برابر با T_{min} باشد، آنگاه زمان‌بندی بهینه به‌دست‌آمده و محاسبات پایان پیدا می‌کند و زمان محاسبه موردنیاز هر روش به‌عنوان زمان CPU تک‌رشته‌ای بیان می‌شود [41-42]. روش پیشنهادی پژوهش حاضر با استفاده از یک رایانه با سی پی یو 4.3 گیگاهرتز Intel Core i7-7700k با 16 گیگ رم و نرم‌افزار شبیه‌ساز متلب پیاده‌سازی شده است.

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-11-23]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1400.11.3.5.2]

3-5- تنظیمات پارامترها

یکی از ویژگی‌های الگوریتم و روش پیشنهادی نوین در پژوهش حاضر این است که پارامترها به‌صورت خودکار به‌وسیله الگوریتم تنظیم می‌شوند. در این پژوهش، برای سازگارکردن GA در مسئله‌های با اندازه متفاوت، اندازه گروه آن باتوجه‌به تابع min (10·n,400) تعداد فعالیت‌های n قرار داده شده و از نرخ دگرگونی برای فهرست فعالیت pλ=5% و همچنین $p_\sigma = 0.5\%$ و $p_\rho = 5\%$ استفاده شده است. به‌علاوه، فعل و انفعالات بین GA و VNS با سازگاری تعداد زمان‌بندی به‌عنوان معیار خاتمه براساس اندازه مسئله، ساده می‌شود. نکته دیگر اینکه برای حد زمان‌بندی VNS مقدار $\Omega_{VNS} = \lfloor \Omega . \max(n/200, 0.25) \rfloor$ و حد زمان‌بندی GA مقدار $\Omega_{GA} = \Omega - \Omega_{VNS}$ قرار داده شده است. در VNS نیز از حد 1000 زمان‌بندی بهبود نیافته به ازای راه‌حل مفروض، 200 زمان‌بندی تولیدشده به ازای همسایگی، بیشترین همسایگی 5 و حد 5 طولانی‌ترین مسیر در انتخاب فعالیت استفاده شده است. برای GSA اندازه گروه min (5·n,200) استفاده شده و فهرست فعالیت‌ها در گروه اولیه به همان صورت HM ساخته شده‌اند [43].

4- یافته‌های پژوهش

4-1- نتایج محاسباتی

در این پژوهش محاسبات آماری در سطح اهمیت $\alpha = 0.05$ تأییدشده در Kruskal–Wallis تجزیه و تحلیل یک‌طرفه متغیر یا آزمون Mann–Whitney U اشاره کرده است.

4-2- کیفیت راه‌حل

جدول 3 میانگین انحراف نسبی میانگین Δ_{mip} حاصل از بهترین راه‌حل MIP و انحراف میانگین نسبی Δ_{lb} حاصل از کران پایین مدت‌زمان انجام پروژه T_{min} را نشان می‌دهد. براساس اطلاعات جدول 3، نتایج برای مجموعه‌های B_{20}، B_{40} و $A \leq 55$ در همه راه‌حل‌ها بهینه نیستند. برای هر مجموعه نمونه، نتایج میانگین برای حدود زمان‌بندی Ω در آخرین

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-11-23]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1400.11.3.5.2]

ردیف جدول نتایج کلی در طی همه نمونه مجموعه‌ها و حدود زمان‌بندی را نشان می‌دهد. تفاوت‌های بین روش‌ها به‌صورت آماری در همه ردیف‌ها قابل‌توجه است. براساس نتایج مشاهده شده در جدول 3، نتایج پژوهش [9] در مجموعه داده B10 بیشترین مقدار است، درحالی‌که همه MIPها برای بهینه‌شدن حل‌شده و Δ_{mip} با فاصله بهینه‌شدن برابر است. برای 25000 زمان‌بندی با فاصله بهینه‌شدن 14 درصد، حدود 9 برابر کمتر از همان مقدار در روش‌های دیگر است. همچنین با افزایش Ω از 15000 به 25000 بهبود پیدا می‌کند، درحالی‌که روش‌های دیگر ثابت می‌مانند. اما براساس اطلاعات جدول 3، الگوریتم و روش پیشنهادی پژوهش حاضر برای تمام حالت‌ها نتایج بهتری را نسبت به پژوهش [9] ارائه داده است.

جدول 3. انحراف میانگین به‌صورت درصد حاصل از بهترین راه‌حل MIP (Δ_{mip}) و Tmin (Δ_{lb})

Set / Ω	روش پیشنهادی		تحقیق [9]		SGA		PRS		SRS	
		٪		٪		٪		٪		٪
A≤55	- 0/73	2/52	0/03	5/60	2/12	7/82	2/64	8/41	3/89	9/83
1000	0/11	4/73	0/64	6/27	2/52	8/30	3/26	9/09	4/66	10/68
5000	- 0/54	3/76	0/01	5/58	2/13	7/83	2/67	8/45	3/95	9/86
15000	- 0/56	4/68	- 0/24	5/30	1/95	7/63	2/37	8/10	3/57	9/47
25000	- 1/07	3/96	- 0/27	5/25	1/88	7/53	2/26	7/98	3/40	9/28
B10	0/16	3/73	0/24	5/40	1/31	6/57	1/55	6/81	1/59	6/88
1000	- 0/51	4/12	0/44	5/62	1/34	6/61	1/56	6/83	1/62	6/91
5000	- 0/10	3/94	0/22	5/38	1/30	6/56	1/55	6/82	1/58	6/87
15000	- 0/34	3/63	0/15	5/31	1/30	6/56	1/55	6/81	1/58	6/87
2500	- 0/85	4/60	0/14	5/28	1/30	6/56	1/55	6/81	1/58	6/87
B20	- 0/64	3/81	0/28	4/24	0/75	4/77	1/28	5/34	1/31	5/40
1000	- 0/21	3/31	0/60	4/60	0/86	4/90	1/63	5/73	1/70	5/84
5000	- 0/41	3/48	0/27	4/23	0/75	4/78	1/31	5/37	1/30	5/39
15000	- 0/05	2/79	0/15	4/10	0/70	4/71	1/12	5/16	1/15	5/23
25000	- 0/53	3/07	0/10	4/04	0/69	4/70	1/07	5/10	1/09	5/16
B40	- 2/86	3/05	- 1/88	4/08	- 1/73	4/29	- 0/05	6/21	0/32	6/74
1000	- 2/53	3/02	- 1/66	4/35	- 1/53	4/55	0/49	6/84	0/93	7/44
5000	- 2/69	3/74	- 1/88	4/09	- 1/72	4/31	- 0/01	6/26	0/42	6/85

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-11-23]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1400.11.3.5.2]

Set / Ω	روش پیشنهادی		تحقیق [9]		SGA		PRS		SRS	
		∠		∠		∠		∠		∠
15000	- 2/54	3/39	- 1/98	3/96	- 1/82	4/18	- 0/29	5/94	0/04	6/41
25000	- 2/56	3/70	- 2/01	3/93	- 1/85	4/13	- 0/40	5/81	- 0/09	6/26
B100		2/10		3/94		4/05		7/15		8/09
1000		3/65		4/07		4/21		7/68		8/86
5000		3/52		3/98		4/08		7/21		8/14
15000		3/72		3/89		3/97		6/92		7/84
25000		2/21		3/87		3/93		6/80		7/71
B200		1/72		3/41		3/55		7/12		8/20
1000		1/60		3/46		3/65		7/53		8/67
5000		2/04		3/40		3/57		7/16		8/27
15000		2/30		3/39		3/51		6/95		7/98
25000		1/82		3/39		3/48		6/83		7/88
مجموع	- 0/97	3/41	- 0/33	4/46	0/63	5/20	1/37	6/86	1/81	7/55

4-3- زمان محاسبه

در جدول 4 زمان محاسبه میانگین برحسب ثانیه نیازمند تولید 1000زمان‌بندی براساس میانگین برای 25000 زمان‌بندی تولیدشده، آمده است. نتایج جدول 4 نشان می‌دهد که زمان محاسبه روش پیشنهادی تقریباً 100 برابر بهتر از بهترین جواب به‌دست‌آمده از روش‌های پیشین پژوهش [9] است. دلیل این اتفاق علاوه بر قوی‌تربودن روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌ها، قدرت‌مندتر بودن سیستم مورد استفاده برای آزمایش است.

جدول 4. زمان میانگین برای تولید 1000 زمان‌بندی در ثانیه

Set	روش پیشنهادی	تحقیق [9]	GA	VNS	SGA	PRS	SRS
A ≤55	0/0006	0/14	0/11	0/24	0/05	0/06	0/02
B10	0/0002	0/08	0/08	0/17	0/04	0/04	0/02
B20	0/0010	0/2	0/18	0/28	0/09	0/09	0/05
B40	0/0084	0/5	0/38	0/65	0/21	0/21	0/1
B100	0/0146	1/55	1/19	2/72	0/84	0/69	0/31
B200	0/0190	4/44	3/58	9/08	2/61	1/85	0/7
مجموع	0/01	1/15	0/92	2/19	0/64	0/49	0/2

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-11-23]

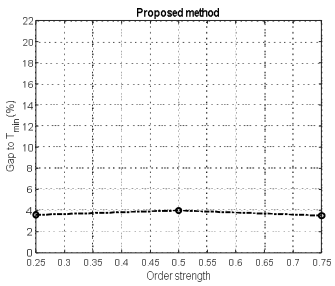
[DOR: 20.1001.1.22286977.1400.11.3.5.2]

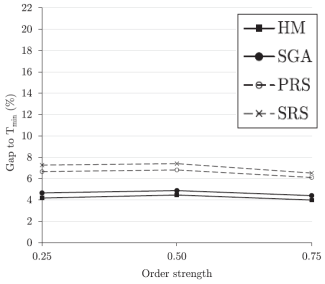
4-4- پارامترهای نمونه

جدول 5 و شکل 1، فاصله T_{min} برای مقادیر توان ترتیبی (OS)، فاکتور منبع (RF)، توان منبع (RS) و حداقل طول بلوک را نمایان می‌کند. میانگین‌ها در برابر هر 4 حد زمان‌بندی Ω برای مجموعه نمونه‌های B_{10} تا B_{200} به تصویر کشیده شده‌اند. توان ترتیبی تأثیر غیرقابل‌انکاری بر کیفیت راه‌حل، در راستای نتایج پژوهش [38] دارد. تأثیر حداقل طول بلوک به همین ترتیب کوچک است. توان منبع و فاکتور منبع تأثیر مشخصی بر کیفیت راه‌حل دارند.

جدول 5. فاصله میانگین تا T_{min} برحسب درصد

Set	روش پیشنهادی	تحقیق [9]	GA-FSGS	MP-FSGS	GA-SGS
$A_{\leq 55}$	5/26	5/6	5/69	6/92	7/88
B10	4/43	5/4	5/41	5/6	6/85
B20	3/87	4/24	4/28	5/02	5/09
B40	3/72	4/08	4/17	5/84	4/54
B100	3/32	3/94	4/09	5/23	4/16
B200	2/78	3/41	3/58	4/24	3/69
مجموع	3/89	4/46	4/55	5/49	5/39



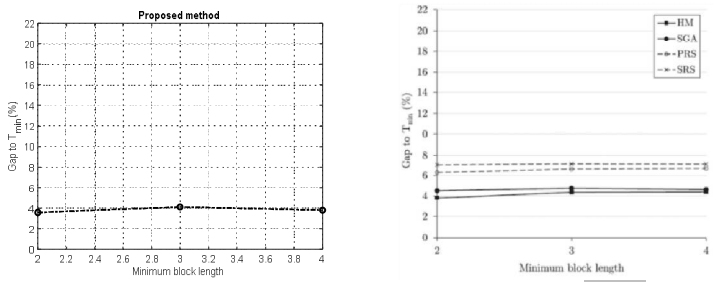


شکل 1. خروجی روش پیشنهادی فاصله T_{min} برای مقادیر متفاوت توان ترتیبی (OS) و پژوهش [9]

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-11-23]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1400.11.3.5.2]

شکل 2 نسبت فاصله به T_{min} میانگین در طول هر 4 حد زمان‌بندی Ω نشان می‌دهد و نتایج کلی در سطر آخر، GA-FSGS نتایج بهتری نسبت به MP-FSGS و GA-SGS با علایم آماری مشخص، تولید کرده است.



شکل 2. فاصله T_{min} برای مقادیر متفاوت حداقل طول بلوک از روش پیشنهادی و پژوهش [9]

4-5- وابستگی به Fuzzy-RCPSP با منابع گسسته

در این بخش، به‌عنوان یک تلاش اساسی اثبات می‌شود که چگونه روش پیشنهادی می‌تواند برای حل مسائل با منابع گسسته تحت رویکرد فازی استفاده شود. ذکر این نکته مهم است که به‌رغم توزیع با منابع گسسته، نتایج محاسباتی منابع گسسته نمی‌تواند با آنهایی که در پژوهش [38، 44] ارائه شده است، مقایسه شود. در جدول 6 نتایج برای منابع گسسته آمده است. براساس اطلاعات جدول 6، کیفیت راه‌حل در مراحل انحراف‌های میانگین بهترین راه‌حل MIP DR و از مرز پایین‌تر مدت‌زمان انجام پروژه T_{min} را هم برای HM و هم برای GA-FSGS گزارش می‌دهد. درحالی‌که مقادیر T_{min} مرجع بدون اثرپذیری باقی می‌مانند، بهترین راه‌حل‌های MID DR از حل‌کردن بهترین مدل FP-DT3 از پژوهش [39] به‌دست آمد، اگرچه با یکپارچگی بر همه متغیرهای پرتعداد منبع تحمیل شده است.

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-11-23]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1400.11.3.5.2]

جدول 6. کیفیت راه‌حل برای FRCPSP با منابع گسسته

نمونه	روش پیشنهادی		HM		GA-FSGS	
B10	0/23	5/68	0/29	5/77	0/31	5/79
1000	0/47	6/04	0/55	6/06	0/58	6/09
5000	0/21	5/65	0/26	5/47	0/28	5/76
15000	0/17	5/59	0/18	5/64	0/19	5/66
25000	0/18	5/62	0/18	5/65	0/19	5/66
B20	- 0/08	4/52	- 0/04	4/56	- 0/02	4/58
1000	0/25	4/84	0/26	4/89	0/27	4/91
5000	- 0/04	4/47	- 0/03	4/57	- 0/02	4/58
15000	- 0/24	4/33	- 0/17	4/41	- 0/14	4/44
25000	- 0/31	4/34	- 0/22	4/36	- 0/19	4/39
B40	- 2/01	4/44	- 2/01	4/47	- 2/01	4/47
1000	- 1/74	4/86	- 1/67	4/86	- 1/77	4/76
5000	- 2/06	4/43	- 2/04	4/43	- 2/02	4/45
15000	- 2/15	4/26	- 2/14	4/31	- 2/10	4/36
25000	- 2/28	4/18	- 2/18	4/26	- 2/14	4/31
B100		4/14		4/21		4/34
1000		4/29		4/34		4/42
5000		4/16		4/20		4/34
15000		4/17		4/17		4/30
25000		4/13		4/15		4/29
مجموع	- 0/63	4/71	- 0/58	4/75	- 0/57	4/79

ازاین‌رو روش پیشنهادی این پژوهش در مقایسه با الگوریتم‌ها و روش‌های پیشرفته ارائه‌شده در پژوهش‌های پیشین برتری داشته و نتایج بسیار بهتری را ارائه داده است. این پژوهش پیش‌شرط‌های مسئله تخصیص را کاملاً تحت واقعیت‌های محیطی و با بازه واقعی از تغییرات در نظر گرفت و روش پیشنهادی نیز با یک ساختار منعطف مسئله را در هردو حالت عادی و بحرانی حل کرد که نتایج نشان‌دهنده برتری روش پیشنهادی این پژوهش بر

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-11-23]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1400.11.3.5.2]

پژوهش‌های پیشین بود. بنابراین یک روش نوین ارائه شد که برای نخستین بار تخصیص منابع انسانی را در شرایط عادی و شرایط بحرانی انجام داد.

5- بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش باتوجه‌به فقدان اساسی در حوزه روش‌های تخصیص منابع انسانی در شرایط عادی و بحرانی، پژوهشگران سعی کردند تا با بهره‌گیری از یک چارچوب نوین، تخصیص پیوسته منابع انسانی را در شرایط واقعی (متغیربودن اهداف و شرایط سازمانی) شبیه‌سازی و حل کنند. برای این کار از ویژگی‌های منحصربه‌فرد الگوریتم گرگ خاکستری استفاده شد. در آغاز مدل ریاضی مسئله تخصیص منابع انسانی ارائه شد و سپس با بهره‌گیری از قواعد استنتاج فازی سوگنو و الگوریتم گرگ خاکستری مسئله در چندین شرایط و با داده‌های مختلف از پژوهش‌های قبلی حل و نتایج آن با آن پژوهش‌ها مقایسه شد.

در این پژوهش از مفهوم جداسازی صفحه انجام وظایف از صفحه تخصیص منابع استفاده شد. به این منظور برای جلوگیری از ازدحام وظایف در گره‌های دریافت وظایف و عدم تعادل بار بر گره‌های نیروی انسانی، یک چارچوب دولایه پیشنهاد شد که به‌صورت پویا، در دولایه به‌صورت پیوسته عملیات تخصیص منابع انسانی را در شرایط متغیر انجام می‌داد. در لایه تنظیم نرخ ارسال وظایف، گره‌های دریافت وظایف، وظایف را به‌گونه‌ای دریافت می‌نمود که از ازدحام وظایف جلوگیری می‌شد. انجام این بخش به کمک سیستم استنتاج فازی انجام شد. به‌صورت همزمان در لایه تخصیص منابع، پس از ارزیابی وضعیت فعلی، منابع انسانی موجود به‌صورت بهینه با استفاده از الگوریتم تکاملی گرگ خاکستری تخصیص پیدا کرد. در این پژوهش برای بهبود جستجوی سرتاسری الگوریتم گرگ خاکستری استاندارد از سه حل بهینه از جمعیت جواب‌های فعلی استفاده شد که شامل بهترین جواب بهینه جمعیت α' و دومین و سومین راه‌حل بهینه به‌ترتیب $\beta'^{\wedge}$ و δ' بود و استفاده از این سه مقدار به دلیل تغییر مقدار آنها در هر بار اجرای الگوریتم باعث گسترش فضای جستجو و همچنین جستجوی سرتاسری در الگوریتم گرگ خاکستری می‌شد. این مطالعه روی نمونه مسئله مجموعه آزمون A و B پژوهش‌های وانهوک [10] و کولیش و همکاران [37] انجام شد. همچنین، روش پیشنهادی

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-11-23]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1400.11.3.5.2]

پژوهش حاضر با برترین روش‌های تخصیص منابع انسانی در پژوهش‌های قبلی براساس بیشترین تعداد زمان‌بندی تولیدشده به ازای نمونه مسئله (Ω) مقایسه شد. در این پژوهش همچنین سعی شد تا معیارهای خاتمه روش پیشنهادی در حل مسئله تخصیص منابع انسانی در دسترس باشد، زیرا معیار خاتمه مزیت‌هایی دارد که مستقل از پلتفرم است و اجازه مقایسه مستقیم نتایج پیشنهادی با مطالعات آینده را می‌دهد. یکی از ویژگی‌های روش پیشنهادی، عدم نیاز به تنظیم پارامتر در آن بود. زیرا پارامترهای روش پیشنهادی این پژوهش خود-تنظیم‌شونده هستند و پارامترها به‌صورت خودکار در الگوریتم تنظیم می‌شوند. این یکی از مهم‌ترین نوآوری در حل مسائل NP-Hard است که پژوهشگران در این پژوهش با تلفیق الگوریتم گرگ خاکستری و قواعد استنتاج سوگنو به آن دست پیدا کرده‌اند. به‌این‌ترتیب، این خودتنظیمی درواقع هم مسئله تخصیص منابع انسانی را تحت شرایط عادی و هم تحت شرایط بحرانی به‌راحتی حل می‌کند. براساس نتایج مشاهده‌شده، روش پیشنهادی منجربه نتایج بهتر نسبت به‌روش‌های دیگر شد. مزیت تحقیق الوارز- والدز و همکاران [8] به‌عنوان بهترین پژوهش در حوزه تخصیص منابع انسانی در مجموعه داده B_{10} بیشترین مقدار بود، درحالی‌که همه MIPها برای بهینه‌شدن حل‌شده بودند و Δ_{mip} با فاصله بهینه‌شدن برابر است. برای 25000 زمان‌بندی، با فاصله بهینه‌شدن پژوهش الوارز- والدز و همکاران [8] 14 درصد، حدود 9 برابر کمتر از همان مقدار در روش‌های دیگر پژوهش‌ها است. پژوهش الوارز- والدز و همکاران [8] با افزایش Ω از 15000 به 25000 بهبود پیدا می‌کند، درحالی‌که روش‌های دیگر ثابت می‌مانند. به‌علاوه در پژوهش آنها برای مجموعه داده متوسط $A_{\leq 55}$ و B_{40}، HM تعدادی از بهترین راه‌حل‌های جدید را پیدا می‌کرد و در مجموعه داده‌های بزرگ‌تر B_{100} و B_{200}، HM و SGA به‌طور واضح الگوسازی تصادفی هیوریستیک بهتری را انجام داده‌اند. اما همان‌طورکه در جدول‌های 3 تا 6 و در شکل‌های 5 و 6 نشان داده شد و داده‌های آنها تحلیل شد، برای تمام حالت‌ها روش پیشنهادی نتایج بهتری را نسبت به پژوهش الوارز- والدز و همکاران [8] ارائه داد. ضمن برتری نتایج، پژوهشگران با ارائه یک روش پیشنهادی نوین و توسعه سطح مسئله تخصیص منابع انسانی در پژوهش تریتشلر و همکاران [9] توانستند این مسئله را در شرایط عادی (قبل و بعد از بحران) و در شرایط بحرانی (زمان وقوع بحران) حل کنند که این توسعه تاکنون در هیچ پژوهش انجام نشده بود. از این‌رو روش پیشنهادی این پژوهش با

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-11-23]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1400.11.3.5.2]

استفاده از حل یک مسئله با ابعاد کوچک انجام گرفت و با تغییر پارامترهای مسئله رفتار مدل پیشنهادی بررسی و کارایی مدل پیشنهادی اثبات شد.

6- منابع

[1] Dabirian SH., Abbaspour S., Khanzadi M., Ahmadi M., "Dynamic modelling of human resource allocation in construction projects", *International Journal of Construction Management*, 2019, https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1616411.

[2] کاظمی عالیه، اسماعیلی ترکان‌پوری کیوان، «تخصیص مطلوب نیروی انسانی در آزمایشگاه پزشکی با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی»، *مجله علوم آزمایشگاهی*، سال هشتم، 3 (20)، 1393: 96-90.

[3] Erasmus J., Vanderfeesten I., Traganos K., Jie-A-Looi X., Kleingeld A., Grefen P., "A method to enable ability-based human resource allocation in business process management systems", *Lecture Notes in Business Information Processing*, 335, 2018. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02302-73.

[4] Arias M., Munoz-Gama J., Sepúlveda M., "Towards a taxonomy of human resource allocation criteria", *Lecture Notes in Business Information Processing*, 308, 2018. https://doi.org/10.1007/978-3-319-74030-0_37.

[5] Yua L., Zhang C., Yang H., Miao L., "Novel methods for resource allocation in humanitarian logistics considering human suffering", *Computers & Industrial Engineering*, 119, 2018: 1-20.

[6] Ballesteros-Pérez P., Ting Phu F.T., Mora-Melià, D., "Human resource allocation to multiple projects based on members' expertise, group heterogeneity, and social cohesion", *Journal of Construction Engineering and Management*, 145(2), 2018. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001612.

[7] Yousefi M., Yousefi M., "Human resource allocation in an emergency department: A meta-model-based simulation optimization", *Kybernetes*, 49(3), 2019: 779-796.

[8] Alvarez-Valdés R., Crespo E., Tamarit J.M., Villa F., "GRASP and path relinking for project scheduling under partially renewable resources", *European Journal of Operational Research*, 189(3), 2008:1153–1170.

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-11-23]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1400.11.3.5.2]

[9] Tritschler M., Naber A., Kolisch R., "A hybrid metaheuristic for resource-constrained project scheduling with flexible resource profiles", *European Journal of Operational Research*, 262(1), 2017: 262–273.

[10] Vanhoucke M., "Setup times and fast tracking in resource-constrained project scheduling", *Computers & Industrial Engineering*, 54(5), 2008: 1062–1070.

[11] مهمانچی عرفان، شادرخ شهرام، «یک مدل ریاضی برای حل همزمان مسئله زمان‌بندی پروژه و تخصیص نیروی انسانی»، *نشریه مهندسی صنایع*، 1، 1393: 45 54-.

[12] ادهم داود، مهدوی عبدالله، مهرتک محمد، ابراهیمی کمال، آذری آرزو، «مقایسه تخصیص منابع انسانی بیمارستان‌های عمومی دانشگاهی شهرستان‌های استان آذربایجان‌شرقی با استاندارد کشوری»، *مجله سلامت و بهداشت*، 5 (24)، 1394: 507 516-.

[13] شفیعی مرتضی، انگاشته بلقیس، «تخصیص بهینه منابع انسانی به پایگاه‌های اورژانس با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌های متمرکز»، *فصلنامه پژوهش‌های مدیریت منابع سازمانی*، 1(21)، 1395: 105 132-.

[14] فلاح‌نژاد محمدصابر، خلیلی سعید، محمدزاده هادی، «تخصیص تعداد بهینه نیروی انسانی به خط تولید در شرایط عدم قطعیت با استفاده از تئوری صف و منطق فازی»، *نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید*، 27(2)، 1396: 187.

[15] ماکویی احمد، بشیری مهدی، صمدپور الهام، «مسیریابی وسایل نقلیه برای توزیع کالاهای فسادپذیر با برنامه‌ریزی تخصیص نیروی انسانی در مسیرها»، *نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید*، 2، 1396: 219 226-.

[16] سمویی پروانه، فتاحی پرویز، زندیه مصطفی، «ارائه الگوریتم هیبریدی بهینه‌سازی توده ذرات و تئوری محدودیت‌ها برای حل مسائل همزمان بالانس خطوط مونتاژ دوطرفه مدل‌های ترکیبی و تخصیص نیروی انسانی»، *نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید*، 3، 1396: 405 419-.

[17] فتاحی پرویز، سمویی پروانه، زندیه مصطفی، «الگوریتم انجماد تدریجی چندهدفه جهت مسئله هم‌زمان بالانس خطوط مونتاژ دوطرفه و تخصیص نیروی انسانی»، *مجله مدیریت تولید و عملیات*، 1 (14)، 1396: 1 20-.

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-11-23]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1400.11.3.5.2]

[18] کمپانی محمدسعید، عظیمی پرهام، «توسعه یک مدل جدید دوهدفه و حل آن به‌وسیله بهینه‌سازی از طریق شبیه‌سازی جهت تخصیص بهینه نیروی انسانی و تجهیزات موازی به ایستگاه‌ها در یک خط تولید»، *فصلنامه مطالعات مدیریت صنعتی*، 46، 1396: 57 - 71.

[19] Kwak W., Shi Y., Jung K., "Human resource allocation in a CPA firm: A fuzzy set approach", *Review of Quantitative Finance and Accounting*, 20, 2003: 277–290.

[20] L.Saaty T., Peniwati K., S. Shang J., "The analytic hierarchy process and human resource allocation: Half the story", *Mathematical and Computer Modelling*, 46(7–8), 2007: 1041-1053.

[21] Lin CH-L., Gen, M., "Multi-criteria human resource allocation for solving multistage combinatorial optimization problems using multi-objective hybrid genetic algorithm", *Expert Systems with Applications*, 34(4), 2007: 2480-2490.

[22] Estellon B., Gardi F., Nouioua K., "High-Performance Local Search for Task Scheduling with Human Resource Allocation", *Lecture Notes in Computer Science*, 2009. https://doi.org/10.1007/978-3-642-03751-1_1.

[23] Filho F.C., Aparecid D., Roch R., Guimarães Fernandes Costa M., Albuquerque Pereir W.C., "Using constraint satisfaction problem approach to solve human resource allocation problems in cooperative health services", *Expert Systems with Applications*, 39(1), 2012: 385-394.

[24] Pérez P., González-Cruz M.C., Diego M.F., "Human resource allocation management in multiple projects using sociometric techniques", *International Journal of Project Management*, 30(8), 2012: 901-913.

[25] Cabanillas C., García J.M., Resinas M., Ruiz D., Mendling J., Ruiz-Cortés A., "Priority-Based Human Resource Allocation in Business Processes". Lecture Notes in Computer Science, 2013. https://doi.org/10.1007/978-3-642-45005-1_26.

[26] Chien T.H., Lin Y.I., Tien K.W., "Agent-based negotiation mechanism for multi-project human resource allocation", *Journal of Industrial and Production Engineering*, 30(8), 2013: 518-527.

[27] Stylianou C., Andreou A.S., *Human resource allocation and scheduling for software project management*, 2013. https://doi.org/10.1007/978-3-642-55035-5_4.

[28] Ponsteen A., J.Kusters R., "Classification of human- and automated resource allocation approaches in multi-project management, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 194, 2015: 165-173.

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-11-23]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1400.11.3.5.2]

[29] Park J., Seo D., Hong G., Shin D., Hwa J., Ba D.H., "Human resource allocation in software project with practical considerations", *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*, 25(1), 2015: 5-26.

[30] Wibisono A., Nisafani A.S., Bae H., Park, Y.J., "On-the-fly performance-aware human resource allocation in the business process management systems environment using Naïve bayes", *Lecture Notes in Business Information Processing*, 219, 2015. https://doi.org/10.1007/978-3-319-19509-4_6.

[31] Roque L., Araújo A.A., Dantas A., Saraiva R., Souza J., "Human resource allocation in agile software projects based on task similarities", *Lecture Notes in Computer Science*, 2016. https://doi.org/10.1007/978-3-319-47106-8_25.

[32] Lilia ZH., "An inverse optimization model for uuman resource Allocation problem considering competency disadvantage structure", *Procedia Computer Science*, 112, 2015: 1611-1622.

[33] Bouajaja S., Dridi N., "A survey on human resource allocation problem and its applications", *Operation Research International Journal*, 17, 2017: 339–369.

[34] Aviso K.B., Cayamanda C.D., Mayol A.P., "Optimizing human resource allocation in organizations during crisis conditions: A p-graph approach". *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 1, 2017: 59–68.

[35] Arias M., Saavedra R., Marques M.R., Munoz-Gama J. Sepúlveda M., "Human resource allocation in business process management and process mining: A systematic mapping study", *Management Decision*, 56(2), 2017: 376-405.

[36] Arias M., Munoz-Gama J., Sepúlveda J., Miranda J.C., "Human resource allocation or recommendation based on multi-factor criteria in on-demand and batch scenarios", *European Journal of Industrial Engineering*, 2018. https://doi.org/10.1504/ EJIE.2018.092009.

[37] Kolisch R., Sprecher A., "PSPLIB-a project scheduling problem library: OR software-ORSEP operations research software exchange program", *European Journal of Operational Research*, 96(1), 1997: 205–216.

[38] Fündeling C.U., Trautmann N., "A priority-rule method for project scheduling with work-content constraints", *European Journal of Operational Research*, 203(3), 1997: 568–574.

[39] Naber A., Kolisch R., "MIP models for resource-constrained project scheduling with flexible resource profiles", *European Journal of Operational Research*, 239(2), 2014: 335–348.

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-11-23]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1400.11.3.5.2]

[40] Kolisch R., Sprecher A., Drexl A., "Characterization and generation of a general class of resource-constrained project scheduling problems", *Management Science*, 41(10), 1995: 1693–1703.
[41] Kolisch R., Hartmann S., "Experimental investigation of heuristics for resource-constrained project scheduling: An update", *European Journal of Operational Research*, 174(1), 2006: 23–37.
[42] Van Peteghem V., Vanhoucke M., "An experimental investigation of metaheuristics for the multi-mode resource-constrained project scheduling problem on new dataset instances", *European Journal of Operational Researc*h, 235(1), 2014: 62–72.
[43] Hartmann S.A., "Competitive genetic algorithm for resource-constrained project scheduling", *Naval Research Logistics*, 45(7), 1998: 733–750.
[44] Baumann P., Fündeling C.U., Trautmann N., "The resource-constrained project scheduling problem with work-content constraints", *In Handbook on Project Management and Scheduling*, 1, 2015: 533–544.

[Downloaded from ormr.modares.ac.ir on 2024-11-23]

[DOR: 20.1001.1.22286977.1400.11.3.5.2]