



Paper Type: Original Article

Teachers Timetabling in Torbat-E-Jam Schools Using Constructive Genetic Algorithm

Hamid Reza Yousefzadeh^{1*}, Seyed Mahdi Masumi²

¹ Department of Mathematics, Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran; Usefzadeh.math@pnu.ac.ir.

² Department of Mathematics, Toos Institute Higher Education, Mashhad, Iran; mobtakeran_tj@yahoo.com.

Citation:



Yousefzadeh, H. R., & Masumi, S. M. (2022). Teachers timetabling in Torbat-e-Jam schools using constructive genetic algorithm. *Modern research in performance evaluation*, 1(1), 42-48.

Received: 16/08/2021

Reviewed: 26/09/2021

Revised: 12/10/2021

Accept: 20/11/2021

Abstract

Purpose: In order to solve the problem of assigning teachers to schools, in the form of a mathematical model using an innovative approach based on Constructive Genetic Algorithm (CGA), we seek to increase teachers' satisfaction.

Methodology: In this paper, using the Constructive Genetic Algorithm (CGA), in a reasonable time, in addition to the appropriate allocation of teachers to schools, also increases their satisfaction. This type of algorithm includes several new features such as population consisting of schema, recombination between schema, dynamic population size, mutation in chromosomes, and possibility of using schema discoveries or chromosome representation. Schemas, unlike chromosomes, do not contain all the information about the problem data. By combining schemas, new schemas or chromosomes are created. New schemas are evaluated based on a predetermined assessment test, and if they are valid, they have the conditions to survive and are added to the population. Unlike other evolutionary algorithms in which the evaluation of individuals is defined on the basis of proportionality function, in CGA, this process involves the use of two functions, f and g .

Findings: The proposed algorithm is superior to the traditional method in terms of time, execution time and efficiency as well as flexibility of the problem. This algorithm selects the solution with the highest number of attributes as the final solution among several optimal solutions. One of the advantages of the proposed algorithm is its generalizability and flexibility, which can easily produce suitable various solutions by changing the existing constraints on the problem.

Originality/Value: The proposed algorithm for assigning teachers to schools for one academic year was implemented for the first time on the case study of boys' high schools in Torbat-e-Jam city.

Keywords: Time table, Scheduling, Mathematical programming, Meta-heuristic algorithm.



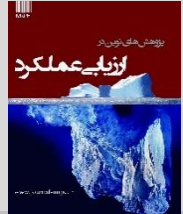
Corresponding Author: Usefzadeh.math@pnu.ac.ir



<http://dorl.net/dor/20.1001.1.28211960.1401.1.1.4.6>



Licensee. **Modern Research in Performance Evaluation**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



زمان‌بندی ساعات کاری دبیران در مدارس شهرستان تربت‌جام با استفاده از الگوریتم ژنتیک تطبیقی

حمیدرضا یوسف زاده^۱، سید مهدی معصومی^۲

^۱گروه ریاضی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

^۲گروه ریاضی، موسسه آموزش عالی توس، مشهد، ایران.

چکیده

هدف: به منظور حل مسئله اختصاص دبیران به مدارس، در قالب یک مدل ریاضی با استفاده از یک رویکرد ابتکاری مبتنی بر الگوریتم ژنتیک اصلاحی به دنبال افزایش رضایت‌مندی دبیران هستیم.

روش‌شناسی پژوهش: در این مقاله با استفاده از الگوریتم ژنتیک ساختگرا (CGA)، در یک‌زمان معقول علاوه بر تخصیص مناسب دبیران به مدارس، افزایش رضایت‌مندی آن‌ها را نیز به دنبال دارد. این نوع الگوریتم شامل چند ویژگی جدید مانند جمعیت تشکیل شده از طرح‌واره، ترکیب مجدد بین طرح‌واره، اندازه جمعیت پویا، جهش در کروموزوم‌های کامل، احتمال استفاده از اکتشافات در طرح‌واره و یا نمایش کروموزوم را ارائه می‌دهد. طرح‌واره‌ها، برخلاف کروموزوم‌ها تمام اطلاعات مربوط به داده‌های مسئله را در برنمی‌گیرند. با ترکیب طرح‌واره‌ها، طرح‌واره یا کروموزوم‌های جدید به وجود می‌آیند. طرح‌واره‌های جدید بر مبنای یک آزمون ارزیابی از پیش تعیین شده، ارزیابی می‌شوند و چنانچه در آن صدق کنند شرایط بقا را دارا می‌باشند و به جمعیت اضافه می‌شوند. برخلاف الگوریتم‌های تکاملی دیگر که ارزیابی افراد بر اساس یک تابع تناسب تعریف می‌شود، در CGA این فرایند مشتمل بر استفاده از دو تابع f و g است.

یافته‌ها: الگوریتم مورد بررسی از نظر شاخص‌های زمان، سرعت اجرا و کارایی و همچنین انعطاف‌پذیری مسئله نسبت به روش سنتی برتر است. این الگوریتم از بین جواب‌های بهینه متعدد، جوابی را با تعداد اختصاص‌های بیشتر به‌عنوان جواب نهایی انتخاب می‌کند. یکی از مزایای الگوریتم پیشنهادی تعمیم‌پذیری و انعطاف‌پذیری آن است که می‌تواند به‌سادگی با تغییر محدودیت‌های موجود در مسئله جواب‌های متنوع مناسبی را تولید کرد.

اصالت/ارزش افزوده علمی: الگوریتم پیشنهادی برای تخصیص دبیران به مدارس برای یک سال تحصیلی برای اولین بار بر روی نمونه مطالعاتی دبیرستان‌های پسرانه شهرستان تربت‌جام اجرا شد.

کلیدواژه‌ها: جدول زمانی، زمان‌بندی، برنامه‌ریزی ریاضی، الگوریتم فرا ابتکاری.





این تحقیق به زمان‌بندی و تثبیت جایگاه بین معلمان و مدارس در یک دوره‌ی زمانی از پیش تعیین‌شده می‌پردازد. در این فرایند با در نظر گرفتن انواع مختلف محدودیت‌ها که به‌طور کلی شامل دو نوع محدودیت نرم و سخت می‌شود، با ارائه راهکار و نوعی الگوریتم تعمیم‌پذیر سعی در حل مسئله زمان‌بندی معلمان خواهیم بود. در برخی از ادبیات موضوع از این مسئله به‌عنوان مسئله‌ی اوقات کار معلمان یاد می‌شود. در ادبیات موضوع نمونه‌های مختلف مسئله‌ی زمان‌بندی معلمان ارائه‌شده که بر اساس نوع نهاد (دانشگاه یا دبیرستان) و نوع محدودیت‌ها با یکدیگر متفاوت هستند. شیوه‌ها و الگوریتم‌های مختلفی برای حل این مسئله وجود دارد که اکثر فن‌های اولیه مبتنی بر شبیه‌سازی روش‌های حل دستی مسئله هستند. شایان‌ذکر است که حل معمول یک نمونه ساده از این نوع مسئله زمان‌بندی که معمولاً به‌صورت دستی صورت می‌پذیرد، صرف‌نظر از برطرف نشدن برخی از محدودیت‌ها و افزایش ناراضایتی دبیران و مدارس، نیازمند چندین نیروی انسانی متخصص و همچنین صرف زمان زیادی می‌باشد. در این تحقیق با در نظر گرفتن زمان فعال (زمان کاری) مدارس و نیز دبیران، سعی در برنامه‌ریزی و زمان‌بندی منسجم دبیران کلیه دبیرستان‌های یک شهر در یک سال تحصیلی خواهیم بود. پارامترها و ویژگی‌های اصلی مسئله موردبحث عبارت‌اند از میزان ساعات موظف معلمان در مدارس، محدودیت‌های آموزشی مدارس در طول یک سال تحصیلی با توجه به تعداد رشته، تعداد کلاس، تعداد دانش‌آموزان، میزان فضای آموزشی و غیره. الگوریتم‌های ابتکاری و فرا ابتکاری مختلفی در ادبیات موضوع برای حل این‌گونه مسائل وجود دارد که به‌عنوان نمونه می‌توان به الگوریتم ژنتیک اشاره کرد. اساس این نوع از الگوریتم‌ها فراخوانی و ترکیب عملگرها و شکل‌گیری طرح و انتشار در بین نسل‌ها است. این پژوهش، از الگوریتم ژنتیک باهدف افزایش میزان رضایت‌مندی دبیران و نیز تأمین نیاز مدارس، برای حل مسائل زمان‌بندی دبیران در طول یک سال تحصیلی بهره می‌برد. در یک الگوریتم ژنتیک، جمعیت شامل موجودات زنده است. هریک از این موجودات زنده معمولاً از یک کروموزوم واحد تشکیل شده است. هر کروموزوم نشان‌دهنده یک جواب کامل برای مسئله مربوطه است.

۲- پیشینه موضوع

مسئله جدول زمان‌بندی که به‌عنوان یک مسئله بهینه‌سازی تعریف می‌شود، در دسته مسائل *NP*-سخت قرار می‌گیرد (کوپر و کینگستون^۱، ۱۹۹۵). *NP*. **Error! Reference source not found.** سخت بودن به این معنا است که هیچ الگوریتمی با مرتبه زمانی چندجمله‌ای برای حل آن‌ها وجود ندارد؛ بنابراین در حل چنین مسائلی، تولید یک جدول زمان‌بندی بهینه را نمی‌توان تضمین نمود. در ادبیات موضوع، نمونه‌های مختلفی از جدول زمان‌بندی ارائه‌شده‌اند که بر اساس نوع سازمان (دانشگاه یا دبیرستان و...) و محدودیت‌های مختلف موجود، با یکدیگر متفاوت هستند.

هوشمند و همکاران^۲ (۲۰۱۳) از جستجوی ممنوع^۳ به‌عنوان یک روش ابتکاری برای توسعه الگوریتم خود استفاده کردند. آن‌ها درس‌ها را چندگانه در نظر گرفتند و جواب موردنیاز به‌عنوان یک جفت (درس، دوره) تعریف کردند. آن‌ها برای بهبود کارایی، از دو ساختار داده به‌صورت موازی استفاده کردند و توابع هدف چندگانه برای آزمایش امکان‌سنجی محدودیت‌ها ایجاد کردند. این الگوریتم پیشنهادی دارای سه مرحله است: پیش برنامه‌ریزی، مرحله آغازین و مرحله بهینه‌سازی با جستجوی ممنوع. ابتدا، یک الگوریتم مبتنی بر گراف برای ایجاد گروهی از دروس که باید به‌طور هم‌زمان برنامه‌ریزی شوند، استفاده می‌شود. سپس یک جواب آغازین با استفاده از یک روش ابتکاری حریصانه متوالی ساخته می‌شود. در پایان، جواب حاصل با استفاده از الگوریتم جستجوی ممنوع، بر اساس نوع مبتنی بر فراوانی، بهینه می‌شود (هوشمند و همکاران، ۲۰۱۳). کارماکر و همکاران^۴ (۲۰۱۵) الگوریتم زمان‌بندی با در نظر گرفتن ترجیحات درسی معلمان در یک موسسه پیشنهاد ارائه کردند. در این الگوریتم همه دروس بر اساس ترجیحات (اولویت‌های) معلمان تعیین شده و اگر هیچ ترجیحی باقی نماند، هر درس به‌طور تصادفی به معلمان اختصاص می‌یابد. نکته قابل‌ذکر این‌که این الگوریتم یک جواب بهینه را تضمین نمی‌کند، ولی بر روی محدودیت‌های نرم (ترجیح معلم در مورد دروس) تمرکز می‌کند (کارماکر و همکاران، ۲۰۱۵). پوددار و موندال^۵ (۲۰۱۸) ابتدا یک گراف درس-تضاد را در نظر گرفتند و با استفاده از رنگ‌آمیزی گراف به تولید یک گراف بدون تضاد پرداختند. گراف درس-تضاد با اختصاص دروس به‌عنوان رأس ساخته می‌شود و یال‌های در نظر گرفته‌شده بین رؤس، نشان‌دهنده دروس دارای تضاد هستند، یعنی

¹ Cooper and Kingston

² Hooshmand et al.

³ Tabu search

⁴ Karmaker et al.

⁵ Poddar and Mondal



دروس با دانش‌آموزان یکسان (پوددار و موندال، ۲۰۱۸). این مقاله بر میزان برقراری محدودیت‌ها، توزیع عادلانه کلاس‌ها و جواب‌های بهینه و منحصر به فرد اهمیت داده شده است. اگر چندین جواب مطلوب وجود داشته باشد، آنگاه جوابی انتخاب می‌شود که دارای شرایط متمایزکننده بهتری باشد. کالپه و همکاران^۱ (۲۰۱۹) از الگوریتم ژنتیک برای ایجاد یک جدول زمانی نیمه خودکار استفاده کرد. آن‌ها از جداول هش برای ذخیره‌سازی شکاف هر شیء به همراه محدودیت‌های آن استفاده می‌کنند. رویکرد تعاملی دومرحله‌ای آن‌ها ابتدا یک جواب اولیه ایجاد می‌کند و پس از آن جهش در جواب انتخاب‌شده برای رسیدن به بهترین نتیجه اعمال می‌شود (کالپه و همکاران، ۲۰۱۹). در مقاله‌ای یک روش متقاطع جدید برای ایجاد برنامه‌های بهینه با استفاده از روش ژنتیکی ارائه شد (سپترینی و همکاران^۲، ۲۰۲۰).

با توجه به این که حل یک نمونه ساده از جداول زمان‌بندی، نیازمند حداقل چندین روز کاری برای تعیین یک جواب دستی است (ورا^۳، ۱۹۹۵). لذا طراحی برنامه زمان‌بندی با روش‌های سنتی صرفاً با محدودیت‌های سخت نیازمند صرف زمان زیاد و نیز هزینه اضافی از سوی دبیران و کارشناسان مربوط است و غالباً توانایی تأمین رضایت حداکثری دبیران را که با محدودیت‌های نرم تعریف می‌شوند، ندارد. در این مقاله به منظور رفع مشکلات موجود در روند تخصیص دبیران به مدارس یک مدل ریاضی ارائه شده است که با حل آن با استفاده از الگوریتم ژنتیک ساختگرا (CGA) که در بجی و ابولارینوا^۴ (۲۰۱۱) معرفی شده است، در یک زمان معقول علاوه بر تخصیص مناسب دبیران به مدارس، افزایش رضایت‌مندی آن‌ها را نیز به دنبال دارد. این نوع الگوریتم که یک رویکرد نسبتاً جدید است، شامل چند ویژگی جدید مانند جمعیت تشکیل شده از طرح‌واره، ترکیب مجدد بین طرح‌واره، اندازه جمعیت پویا، جهش در کروموزوم‌های کامل، احتمال استفاده از اکتشافات در طرح‌واره و یا نمایش کروموزوم را ارائه می‌دهد. طرح‌واره‌ها، برخلاف کروموزوم‌ها تمام اطلاعات مربوط به داده‌های مسئله را در بر نمی‌گیرند. با ترکیب طرح‌واره‌ها، طرح‌واره یا کروموزوم‌های جدید به وجود می‌آیند. طرح‌واره‌های جدید بر مبنای یک معیار ارزیابی از پیش تعیین شده، ارزیابی می‌شوند و چنانچه در این معیار صدق کنند، شرایط بقا را دارا می‌باشند و لذا به جمعیت اضافه می‌شوند. برخلاف الگوریتم‌های تکاملی دیگر که ارزیابی افراد بر اساس یک تابع تناسب تعریف می‌شود، در CGA این فرایند مشتمل بر استفاده از دو تابع f و g است (لورنا و فیلهو^۵، ۲۰۰۱).

۳- الگوریتم CGA

در این مقاله، برنامه‌ریزی سالانه یک منطقه آموزشی (مدارس پسرانه در منطقه آموزشی تربت‌جام به‌عنوان مورد مطالعاتی در نظر گرفته شده است) با هدف تخصیص دبیران به مدارس ابتدا به‌عنوان یک مسئله خوشه‌بندی در نظر گرفته و به کمک CGA به حل آن پرداخته می‌شود. این نمونه عملی شامل ۶ مدرسه عادی و ۳ مدرسه خاص (استعدادهای درخشان و نمونه)، ۷۵ معلم و ۱۳ عنوان درسی می‌باشد که جزئیات و پارامترهای الگوریتم بر مبنای پیاده‌سازی بر روی این مورد مطالعاتی شرح داده می‌شود.

الف) مراحل پیاده‌سازی الگوریتم: در این مقاله، هدف مسئله زمان‌بندی تخصیص مناسب دبیران به مدارس است. به‌عبارت‌دیگر، انتخاب بهترین زوج‌های مرتب (معلم، مدرسه) از بین تمام زوج‌های شدنی ممکن است. با توجه به قوانین آموزشی، میزان موظف هر معلم در مقطع متوسطه ۲۴ ساعت است که در منطقه آموزشی مورد مطالعه، ساعات موظفی هر معلم در هفته به‌صورت ۳ واحد زمانی ۸ ساعته در نظر گرفته می‌شود. لذا تعداد n زوج مرتب ممکن (معلم، مدرسه) در $p=3$ خوشه دسته‌بندی می‌شوند. زوج مرتب (معلم و مدرسه) توسط ستون‌های صفر-یک، نمایش داده می‌شود. الگوریتم CGA بر روی یک جمعیت از رشته‌ها (در این مقاله $k=3$ لحاظ شده است) کار می‌کند. هر ستون در هر رشته به طول n با یکی از سه نماد ۰، ۱ و # مشخص می‌شود. هر ستون متناظر با یک زوج مرتب (معلم، مدرسه) است. برای مثال $S = (\#, 0, 0, 0, \#, 0, 1, \#, 1, 1, 0, 0, 0, 1, \#, \#, 0, \#, 0, 1, 0, 0, 0, 1, \#)$ یک طرح‌واره است که در آن نماد 1 متناظر ستونی است که به‌عنوان مرکز خوشه در نظر گرفته شده و تعداد آن‌ها برابر $p=3$ است. نماد 0 متناظر ستونی است که به یک خوشه اختصاص داده شده است و نماد # متناظر با ستونی است که هنوز به خوشه‌ای اختصاص نیافته است. سنجش عدم تشابه بین دو ستون z و k ، بر اساس رابطه (۱) محاسبه می‌شوند.

¹ Kolhe et al.

² Saptarini et al.

³ Werra

⁴ Bajeh and Abolarinwa

⁵ Filho and Lorena

$$d_{jk} = 1 - \frac{\sum_i |a_i^k - a_i^j|}{\sum_i (a_i^k + a_i^j)} \quad (1)$$



که در آن $a_i^t \in \{0,1\}$ مقدار موقعیت i ، در ستون t را نشان می‌دهد. قبل از اعمال خوشه‌بندی به منظور مرتب‌سازی دو مرحله را در نظر می‌گیریم: الف) ستون‌ها بر طبق سطح معلم و تعداد محدودیت‌های اولویت تعریف‌شده از قبل، رتبه‌بندی و مرتب می‌شوند. ب) یک ستون مرکزی طوری در نظر گرفته می‌شود که نسبت به ستون‌های مرکزی دیگر، از شباهت کمتری برخوردار باشد. اضافه شدن یک ستون به یک خوشه با عملکرد منطقی OR صورت می‌گیرد و یک ستون جدید صفر-یک و در نتیجه یک مرکز جدید تولید می‌شود. بعد از اتمام خوشه‌بندی، دقیقاً p خوشه به نام‌های $C_1(s_i), C_2(s_i), \dots, C_p(s_i)$ تولید می‌شود.

ب) محاسبات الگوریتم CGA : به منظور زمان‌بندی ساعات دبیران و اختصاص آن‌ها به مدارس مختلف برحسب محدودیت‌های سخت و نرم مشخص شده با استفاده از CGA ، ابتدا مسئله را به‌عنوان یک مسئله بهینه‌سازی دو هدفه (BOP) زیر مدل‌بندی می‌کنیم:

$$\begin{aligned} & \text{Min} \quad \{g(s_i) - f(s_i)\} \\ & \text{Max} \quad g(s_i) \\ & \text{s.t.} \\ & g(s_i) \geq f(s_i) \quad \forall s_i \in X. \end{aligned} \quad (2)$$

که در این مدل X مجموعه تمام رشته‌ها s_i (شامل کروموزوم و طرح‌واره) است و جمعیت اولیه را تشکیل می‌دهند. ارزیابی مطلوبیت دوگانه یک‌رشته توسط دو تابع f و g که در آن $f: X \rightarrow \mathbb{R}_+$ و $g: X \rightarrow \mathbb{R}_+$ به طوری که $f(s_i) \leq g(s_i)$ ، $\forall s_i \in X$ ، صورت می‌گیرد.

توابع f و g باید جهت نمایش اهداف بهینه‌سازی مسائل، به صورت دقیق شناسایی و تعریف شوند. برای هر $s_i \in X$ دقیقاً p خوشه توابع $C_1(s_i), C_2(s_i), \dots, C_p(s_i)$ تعریف شده است. توابع f و g در رابطه (۳) تعریف می‌شوند:

$$g(s_i) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^p \left[(|C_j(s_i)| - 1) \cdot |C_j(s_i)| \right] \quad \text{and} \quad f(s_i) = g(s_i) - \sum_{j=1}^p \left[\text{conflict} |C_j(s_i)| \right]. \quad (3)$$

با توجه به محدودیت‌های مسئله، به منظور رفع تناقضات حاصل از اختصاص اشتباه زوج (معلم و مدرسه) به خوشه‌ها از مفاهیم گراف استفاده می‌شود. رئوس گراف به‌عنوان ستون‌ها و یال‌ها به‌عنوان تناقضات احتمالی بین عناصر هر خوشه در نظر گرفته می‌شود. تابع $g(s_i)$ بیانگر تعداد کل تناقضات احتمالی در تمام خوشه‌ها است که در $g(s_i)$ فرض بر این است که در هر خوشه همه عناصر موجود در هر خوشه با هم در تناقض هستند. تابع $f(s_i)$ بیانگر تفاضل تعداد کل تناقضات واقعی در خوشه‌های $C_j(s_i)$ و $g(s_i)$ است. واضح است اگر $f(s_i) = g(s_i)$ آنگاه p خوشه $C_j(s_i)$ بدون تناقض هستند و بنابراین یک جواب شدنی حاصل شده است.

۴- فرآیند تکامل

در فرآیند تکامل CGA ابتدا کران عدم پذیرش تطبیقی با توجه به دو هدف BOP (کمینه‌سازی فاصله‌ای و بیشینه‌سازی g) محاسبه می‌شود. برای این منظور پارامتر $\alpha \geq 0$ در رابطه (۴) تعریف می‌شود:

$$g(s_i) - f(s_i) \geq dg_{\max} - \alpha \cdot d [g_{\max} - g(s_i)]. \quad (4)$$

که در آن عدد حقیقی نامنفی g_{\max} که از رابطه $g_{\max} > \text{Max}_{s_i \in X} g(s_i)$ به دست می‌آید، به‌عنوان کران بالای تابع هدف دوم تعریف می‌شود و طول فاصله‌ای dg_{\max} از عدد g_{\max} با $0 < d < 1$ حاصل می‌شود. در محاسبه کران بالای g_{\max} حالتی در نظر گرفته می‌شود که بین عناصر خوشه بیشترین تناقض ممکن وجود داشته باشد؛ که این حالت با توجه به مباحث نظریه گراف برابر با تعداد یال‌های گراف کامل با $n - (p - 1)$ رأس، یعنی $\frac{1}{2}((n - p) \times (n - p + 1)) = \binom{n - (p - 1)}{2}$ ؛ بنابراین $g_{\max} = \binom{n - (p - 1)}{2}$ تعریف می‌شود. در فرآیند تکامل، با در نظر گرفتن این‌که طرح‌واره‌های مناسب باید برای ترکیب مجدد، حفظ شوند، α از صفر شروع و به تدریج از نسلی به نسل دیگر افزایش می‌یابد. جمعیت در زمان تکامل α (P_α)، نسبت به مقدار پارامتر تطبیقی α ، از اندازه پویا برخوردار است و می‌تواند در طی چندین تکرار تهی شود. با توجه به رابطه (۴)، رتبه متناظر با s_i در رابطه (۵) محاسبه می‌شود:



$$\alpha \geq \frac{dg_{\max} - [g(s_i) - f(s_i)]}{d[g_{\max} - g(s_i)]} = \delta(s_i). \quad (5)$$

با تولید s_i جدید، رتبه $\delta(s_i)$ به‌روز می‌شود و با پارامتر تکامل فعلی α ، مقایسه می‌شود و در صورتی که $\delta(s_i)$ کمتر یا مساوی α باشد، کروموزوم با طرح‌واره حذف می‌گردد. در نتیجه تا زمانی که اندازه جمعیت از حد مشخصی کوچک‌تر شود، الگوریتم CGA ادامه می‌یابد.

پارامترهای الگوریتم ژنتیک.

عملگر انتخاب: توابع f و g تعریف شده در رابطه (۳)، محدودیت‌های نرم را به‌صورت مستقیم در رسیدن به جواب‌های شدنی (یعنی خوشه‌های عاری از تناقض) در نظر نمی‌گیرند. برای رسیدن به این مهم، عملگر انتخاب با تعریف معیار جدید α ، محدودیت‌های نرم را به‌صورت صریح مدنظر قرار می‌دهد.

$$d(s_i) = \frac{\sum_{j=1}^c w_j d_j(s_i)}{\sum_{j=1}^c w_j} \quad i = 1, 2, \dots, k. \quad (6)$$

که در آن w_j ضرایب وزنی محدودیت j ام ($j = 1, 2, \dots, c$) هستند و $d_j(s_i) = [g_j(s_i) - f_j(s_i)] / g_j(s_i)$ معیاری را برای تعیین تناقض‌های موجود برای هر محدودیت j تعریف می‌کند. محدودیت‌های مسئله با توجه به هدف مسئله و با توجه به نظرات کارشناس‌های خبره تعریف شده‌اند. جدول ۱ محدودیت‌های تعریف شده در این مقاله را نشان می‌دهد.

جدول ۱- محدودیت‌های d_j و ضرایب وزنی متناظر.

Table 1- Constraints of d_j and corresponding weighted coefficients.

نوع محدودیت	محدودیت‌های مسئله	w_j	1
سخت	اختصاص اشتباه یک معلم به چند مدرسه در کروموزوم یا طرح‌واره S_i	1	1
سخت	تعداد اختصاص اشتباه معلم به مدارس در رشته S_i	1	2
نرم	اختصاص اشتباه معلم خاص به مدرسه معمولی در رشته S_i	0/25	3
نرم	تعداد تناقضات در اولویت انتخاب معلم در رشته S_i	0/25	4
سخت	اختصاص تعداد معلم مازاد به هر درس در مدارس در رشته S_i	0/75	5

جمعیت ایجاد شده در هر نسل CGA، با تعریف مقدار عددی $\Delta(s_i) = (I + d(s_i)) / (n - n_{\#})$ که در آن $n_{\#}$ تعداد نمادهای # در رشته s_i است، به‌صورت غیر کاهشی مرتب می‌شوند. طرح‌واره‌ها با $n_{\#}$ کوچک و یا $d(s_i)$ کوچک از کیفیت بالاتر و در نتیجه در رتبه‌های اول جمعیت ظاهر می‌شوند.

روشی که در عملگر انتخاب به‌منظور انتخاب طرح‌واره یا کروموزوم مورد استفاده قرار می‌گیرد، به این صورت است که ابتدا یک رشته مبنا (s_{base}) از n موقعیت ابتدایی جمعیت و رشته دیگر (s_{guide}) به‌طور تصادفی از کل جمعیت جاری انتخاب می‌شود.

عملگر ترویج: در هر نسل، دقیقاً k رشته جدید توسط عملگر ترویج به وجود می‌آید. اگر فرزند جدید، یک طرح‌واره باشد، وارد جمعیت می‌شود. در غیر این صورت عملگر جهش بر روی فرزند جدید پیاده شده و با بهترین جواب‌های یافت شده، مقایسه می‌شود.

عملگر جهش تطبیقی: الگوریتم سه‌گامی زیر که در ذیل به بیان آن خواهیم پرداخت، فرایند جهش تطبیقی را توصیف می‌کند:

الگوریتم جهش تطبیقی: ابتدا اختصاص معلم به مدرسه در هر گروه بررسی می‌شود، در صورتی که معلم به درس خودش اختصاص نیافته بود اصلاح می‌گردد (d_2).

اختصاص معلم به چند مدرسه در هر گروه بررسی می‌گردد، اگر به یک معلم بیشتر از ۳ مدرسه اختصاص یافته بود باید اصلاح گردد (d_1)

تعداد معلم مازاد به هر درس در هر مدرسه بررسی و اصلاح می‌گردد (d_3).



در این بخش به پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی بر روی نمونه مطالعاتی دبیرستان‌های پسرانه شهرستان تربت جام می‌پردازیم. در این مورد مطالعاتی، تخصیص کلیه دبیران مقطع دبیرستان در آموزش و پرورش تربت جام به مدارس برای یک سال تحصیلی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای این منظور، نتایج عددی حاصل از پیاده‌سازی این الگوریتم، با توجه به داده‌ها و نتایج واقعی حاصل از تخصیص دبیران به مدارس این شهر در سنوات گذشته که به صورت دستی صورت می‌گرفته است، مورد مقایسه و ارزیابی قرار می‌گیرد.

نتایج عددی به دست آمده، نشان می‌دهند که در هر بار اجرا با تغییر گام‌های به‌روز شده α به اندازه مقادیر ϵ ، در هر اجرا تعداد نسل‌ها و نیز بهترین جواب برحسب تعداد اختصاص صحیح تغییر می‌یابد و هر چه ϵ افزایش یابد، تعداد نسل‌ها برای رسیدن به بهترین جواب کاهش می‌یابد و جواب از کیفیت بهتری برخوردار است. بهترین حالت اختصاص مربوط به $\epsilon = 0/05$ با تعداد ۱۶۲ اختصاص صحیح از بین ۱۸۱ اختصاص ممکن با زمان محاسباتی ۳۸۳۶۹۵ می‌باشد که با در نظر گرفتن مقدار نسبی $(162/181) = 0/89$ (که عددی نزدیک به یک است) و مدت زمان محاسباتی برنامه، نسبت به زمان بندی دستی، مدت زمان بسیار کمتری صرف می‌کند. شایان ذکر است که با مقایسه این نتایج با حالت زمان بندی دستی در سنوات گذشته که در آن‌ها تعداد محدودیت‌های نرم کمتر از تعداد محدودیت‌های نرم این مقاله می‌باشد، علاوه بر افزایش کیفیت تخصیص صورت گرفته، مدت زمان لازم برای تخصیص دبیران به مدارس به طور چشمگیری کاهش یافت. به عبارت دیگر، با توجه به نظرات کارشناسان برنامه‌ریزی، مدت زمان برای انجام برنامه‌ریزی و سازمان‌دهی ۷۵ معلم در ۹ مدرسه به صورت دستی حداقل برابر با ۱۵۰۰۰۰ ثانیه است (حدود ۳/۹ برابر کمتر)؛ بنابراین الگوریتم مورد بررسی از نظر شاخص‌های زمان، سرعت اجرا و کارایی و همچنین انعطاف پذیری مسئله نسبت به اعمال محدودیت‌های نرم بیشتر در مقایسه با روش سنتی برتر است. این الگوریتم از بین جواب‌های بهینه متعدد، جوابی را با تعداد اختصاص‌های شدنی بیشتر به عنوان جواب نهایی انتخاب می‌کند. در ادامه برای تجزیه و تحلیل دقیق‌تر، به تحلیل حساسیت ضرایب وزن d_j یعنی w_j نیز پرداختیم. با افزایش w_j خطای حاصل از نقض محدودیت w_j کاهش می‌یابد. تغییر این ضرایب وزنی می‌تواند هم‌سو و در برگیرنده سیاست‌های اداره آموزش و پرورش و نیز تجارب عملی کارشناسان در امر برنامه‌ریزی باشد. همان‌طور که اشاره شد، یکی از مزایای الگوریتم پیشنهادی تعمیم پذیری و انعطاف پذیری آن است که می‌تواند به سادگی با تغییر محدودیت‌های موجود در مسئله جواب‌های متنوع و مطلوبی را تولید کرد.

۶- نتیجه گیری

هرسال با توجه به تخصیص دستی دبیران به دروس توسط کارشناسان برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش و نیز تعدد مدارس و تنوع واحدهای درسی، ارائه یک زمان بندی مناسب، نیازهای موجود و رضایت دبیران را برطرف کند، یکی از دغدغه اساسی کارشناسان و دبیران است که قبل از شروع سال تحصیلی با آن مواجه هستند. در این راستا، در این مقاله بر آن شدیم تا با ارائه یک مدل ریاضی مناسب در قالب یک مسئله بهینه‌سازی چندهدفه، درصد رفع این چالش اساسی باشیم. در ادامه با ارائه یک الگوریتم فرا ابتکاری مبتنی بر ژنتیک اصلاحی، علاوه بر حل مسئله نمونه یعنی مسئله تخصیص دبیران به دروس در مدارس منطقه آموزشی شهرستان تربت جام، در یک زمان معقول، رضایت مندی دبیران را در قالب محدودیت‌های نرم افزایش دادیم. نتایج عددی بیانگر این مطلب هستند که این رویکرد ارائه شده از نظر شاخص‌های زمان، سرعت اجرا و کارایی و همچنین انعطاف پذیری مسئله نسبت به اعمال محدودیت‌های نرم بیشتر در مقایسه با روش سنتی از عملکرد بسیار مطلوب‌تری برخوردار است.

تعارض منافع

در نگارش این مقاله نویسندگان هیچ تعارض منافی با هم ندارند.

منابع

- Bajeh, A. O., & Abolarinwa, K. O. (2011). Optimization: a comparative study of genetic and tabu search algorithms. *International journal of computer applications*, 31(5), 43-48.
- Saptarini, N. G. A. H., Ciptayani, P. I., & Purnama, I. B. I. (2020). A custom-based crossover technique in genetic algorithm for course scheduling problem. *TEM journal*, 9(1), 386-392.



- Hooshmand, S., Behshameh, M., & Hamidi, O. (2013). A tabu search algorithm with efficient diversification strategy for high school timetabling problem. *International journal of computer science and information technology*, 5(4), 21-34. DOI: [10.5121/ijcsit.2013.5402](https://doi.org/10.5121/ijcsit.2013.5402)
- Karmaker, D., Islam, M. R., Rahman, H., Bhowmik, A., & Imteaj, M. N. (2015). A heuristic approach to course scheduling problem. *American international university-Bangladesh*. 29-33. <https://www.academia.edu/download/37711599/138.pdf>
- Kolhe, A. D., Patil, C. D., Aherrao, M. A., & Rai, R. S. (2019). Automatic scheduling system using AI. *International journal of engineering trends and technology*, 6(2). <http://ijett.in/index.php/IJETT/article/view/591>
- Filho, G., & Lorena, L. (2001). A constructive evolutionary approach to school timetabling. *Applications of evolutionary computing*, 130-139. <https://link.springer.com/book/10.1007/3-540-45365-2#page=145>
- Poddar, N., & Mondal, B. (2018). An instruction on course timetable scheduling applying graph coloring approach. *International journal of recent scientific research*, 9(2), 23939-23945. <https://www.academia.edu/download/55956502/9937-A-2018.pdf>
- Cooper, T. B., & Kingston, J. H. (1995, August). The complexity of timetable construction problems. *International conference on the practice and theory of automated timetabling* (pp. 281-295). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-61794-9_66
- Werra, D. D. (1995, August). Some combinatorial models for course scheduling. *International conference on the practice and theory of automated timetabling* (pp. 296-308). Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: https://doi.org/10.1007/3-540-61794-9_67