فصلنامه سیستم‌های پردازشی و ارتباطی چندرسانه‌ای هوشمند
Intelligent Multimedia Processing and Communication Systems (IMPCS)

Fall, 2021, 2 (3), 1-11
DOR: 20.1001.1.27832570.1400.2.4.1.8

Received: 18 Feb 2021
Accepted: 5 Apr 2021

A New Approach to The University Course Timetabling Problem based on Clustering Algorithms & Fuzzy Multi-Criteria Decision Making

Behzad Mohammadkhani Haji Khajehlou [1], Hamed Babaei[2*], Davod Eskandari[3], Mohammadreza Hasanzadeh[4]

1.MSc, Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Technical and Vocational University, Ahar, Iran.
2.MSc, Department of Civil Engineering, Faculty of Electrical and Computer Engineering, Technical and Vocational University, Ahar, Iran. (*Corresponding Author*) hamedbabaei63@gmail.com
3.MSc, Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Technical and Vocational University, Ahar, Iran.
4.MSc, Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Technical and Vocational University Ahar, Iran.

Abstract

Introduction: The UCTTP problem is a hybrid optimization problem that belongs to the NP-hard class, hence determining the optimal or analytical solution of this problem is challenging. This problem, which occurs at the beginning of the university semester, involves allocating events (courses, faculty, and students) to a number of time slot and specific number of rooms. The UCTTP problem must satisfy both hard and soft constraints so that feasible time tables are obtained after complete and correct satisfaction of all hard constraints. Satisfaction of soft constraints is merely for the quality improvement of the produced feasible time tables and unlike hard constraint their satisfaction is not mandatory. Another important issue associated with this problem is the multiplicity and variety of constraints (hard and soft) that are completely case dependent. The soft constraints considered by each solution (schedule) are evaluated by the penalty function, which is obtained by a summation operator. In this operator, a weight is assigned to each soft constraint, and according to these weights, a penalty function is obtained, the output of the penalty function is used in the objective function which yields final solutions. After obtaining all the final solutions, the schedule tables that have no collisions, that is, satisfy all the strict constraints, and secondly, have a higher value in terms of the value of the objective function are selected.

Method: According to the simulation results, it can be said that in using clustering algorithms, the efficiency of fuzzy C-clustering algorithm in minimizing resource loss (surplus) and descending satisfaction of soft constraints of common lecturers of faculties is higher than funnel clustering algorithm and the K-mean.

Findings: The optimal ratio of the number of applied penalties for the violations of lecturers' soft constraints and the percentage of violations of lecturers among the fuzzy multi-criteria decision comparison algorithms, local search and genetics, as well as the combination of these algorithms are related to the combination of two comparison algorithms (i.e. fuzzy multi-criteria decision making and local search).

Discussion and Conclusion: We observed that with regards to the percentage of satisfaction of soft constraints of common lecturers, the combination of local search algorithms with C-fuzzy clustering shows the best performance and f fuzzy multi-criteria decision comparison algorithm has the worst performance.

Keywords: University Course Timetabling (UCTTP), clustering algorithms, hybrid algorithms.

فصلنامه سیستم‌های پردازشی و ارتباطی چندرسانه‌ای هوشمند
Intelligent Multimedia Processing and Communication Systems (IMPCS)
انجمن علمی تجارت الکترونیکی ایران
واحد زنجان

مقایسه کارآیی رهیافت‌های حل مسأله جدول زمان‌بندی دروس دانشگاهی مبتنی‌بر الگوریتم‌های خوشه‌بندی و تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فازی ترکیبی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۳۰ سال دوم، پاییز ۱۴۰۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۱۶ شمارهٔ سوم، صص ۱- ۱۱

بهزاد محمدخانی حاجی‌خواجه لو[۱]، حامد بابایی[۲*]، داود اسکندری[۳]، محمدرضا حسن‌زاده[۴]

1. کارشناسی‌ارشد،گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، اهر، ایران.
2.کارشناسی‌ارشد،گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، اهر، ایران. (نویسندهٔ مسئول)
hamedbabaei63@gmail.com
3. کارشناسی‌ارشد،گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، اهر، ایران.
۴. کارشناسی‌ارشد،گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، اهر، ایران.

چکیده: مسأله جدول زمانبندی دروس دانشگاهی، فرآیند زمانبندی دروس برای یک نیم‌سال تحصیلی توسط دانشکده‌های یک دانشگاه است. این مسأله به‌ترتیب رویدادها (استادان/دانشجویان/دروس) را در منابع (برش‌های زمانی/ کلاس‌های درسی)، زمانبندی و تخصیص می‌دهد. فرآیند تخصیص دارای دو قید حساس شامل قید سخت و نرم می‌باشد. در این مقاله، رهیافت‌های به‌کارگرفته‌شده برای زمان‌بندی استادان (مشترک بین دانشکده‌ها) شامل: الگوریتم‌های خوشه‌بندی (K- میانگین، C- میانگین فازی و قیفی) و مقایسه تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فازی، ترکیبی (جستجوی محلی/ ژنتیک) می‌باشد. اهداف مقاله دربرگیرندهٔ کمینه‌سازی اتلاف منابع و ارضاء نزولی قیود نرم استادان (مشترک بین دانشکده‌ها) است. بهینگی و مقایسهٔ کارآیی عملکرد الگوریتم‌های به‌کاررفته در این مقاله بر روی مجموعهٔ داده‌ای دانشکده‌های دانشگاه آزاد واحد اهر تحلیل و بررسی‌شده‌است.

واژه‌های کلیدی:جدول زمانبندی دروس دانشگاهی، الگوریتم‌های خوشه‌بندی، الگوریتم مقایسهٔ تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فازی و الگوریتم‌های ترکیبی جستجوی محلی و ژنتیک.

۱. مقدمه

مسأله UCTTP، یک مسأله بهینه‌سازی ترکیبی در کلاس NP-hard است که مشکلاتی را برای حل بهینه و تحلیلی این مسأله به‌وجودآورده‌است. این مسأله که در شروع نیم‌سال تحصیلی دانشگاه‌ها رخ‌می‌دهد، شامل تخصیص رویدادها (دروس، استادان و دانشجویان) به تعدادی از برش‌های زمانی و اتاق‌های ثابت است. مسأله UCTTP باید دو قید سخت و نرم را برآورده‌سازد طوری‌که جداول زمانی امکان‌پذیر بعد از ارضاء کامل و صحیح کلیه قیود سخت حاصل‌می‌شود و ارضاء قیود نرم برای افزایش و ارتقاء درجهٔ کیفیت جداول زمانی امکان‌پذیر تولیدشده است و حتماً لزومی‌ندارد که همانند قیود سخت به‌طور کامل ارضاءشوند. موضوع مهم دیگر در این مسأله، تعدد و گوناگونی قیود (سخت و نرم) است که از یک مؤسسه به مؤسسه دیگر کاملاً متفاوت است. قیود نرمی که هر راه‌حل (جدول زمان‌بندی) درنظرمی‌گیرد توسط تابع پنالتی (که به‌وسیله یک عملگر مجموع به‌دست‌می‌آید)، ارزیابی‌می‌شود. در این عملگر برای هر قید نرم وزنی درنظرگرفته‌می‌شود و با توجه به این وزن‌ها تابع پنالتی به‌دست‌می‌آید، خروجی تابع پنالتی در تابع هدف استفاده‌شده و به‌ازای هر راه‌حل یک تابع هدف محاسبه‌می‌شود. پس از به‌دست‌آوردن کلیهٔ راه‌حل‌های نهایی، جداول زمانبندی که اولاً فاقد برخورد باشند، به‌عبارتی کلیهٔ قیود سخت را ارضاءکرده‌باشند و ثانیاً، ازلحاظ مقدار تابع هدف مقدار بالاتری داشته‌باشند، انتخاب‌می‌شوند [۱۳،...،۱].

تعاریف اساسی در مسأله UCTTP

در آغاز، باید با مفاهیم مسأله آشناشویم:

- رویداد: یک فعالیت زمان‌بندی‌شده. مانند استاد و...
- برش زمانی: یک بازه زمانی که هرکدام از رویدادها در آن، زمان‌بندی‌می‌شوند. مانند: ۸ ق.ظ تا ۹ ق.ظ.
- منبع: منابع موردنیاز رویدادها، مانند: تجهیزات، اتاق‌ها و...
- قید: یک محدودیت برای زمان‌بندی رویدادها است، مانند ظرفیت کلاس‌های درسی و برش زمانی معین.
- افراد: کسی (کسانی) که همراه رویدادها حضوردارند.
- برخورد: تلاقی دو رویداد با یکدیگر، مانند زمان‌بندی بیش از یک درس در زمان یکسان.

انواع محدودیت‌ها

قیود (محدودیت‌ها) در مسأله UCTTP، به دو قسمت سخت و نرم و به‌ترتیب زیر تقسیم‌بندی‌می‌شوند [۱۳،...،۱].

محدودیت‌های سخت

قیود سخت باید به‌طور کامل ارضاءشوند تا راه‌حل‌های تولیدشده، امکان‌پذیر و فاقد برخورد باشند و تخطی در این قیود جایز نیست.

- هر روز فقط یک جلسهٔ ارائه درس برای یک درس خاص وجوددارد.
- درنظرگرفتن خصوصیات کلاس نسبت به درس ارائه‌شده.
- هر دانشجو و استاد در یک زمان فقط در یک کلاس حضوردارند.
- بیش از یک درس که برای برش زمانی یکسان زمان‌بندی‌شده، نمی‌تواند برای کلاس درسی یکسان تخصیص‌دادهشود.
- استادان باید در زمان‌هایی که دروس‌شان زمان‌بندی‌شده‌است، در دسترس باشند.
- برخی از دروس نیاز به برگزاری تعداد ثابت و معین در هر هفته دارند. (مثلاً ۳، ۲، ۱ بار در هفته)
- هر درسی که از قبل زمان‌بندی‌شده‌باشد، نشانه‌دار بوده و باید زمان‌بندی آن در زمان خاص رعایت‌شود. (رعایت اولویت)

محدودیت‌های نرم

قیود نرم، یعنی قیودی که با تابع هدف مرتبط‌اند، باید تاحدّ امکان(نه حتماً) به تعدادی که موردنظر مسأله است،ارضاءشوند.

- استاد یک اولویت زمانی را برای تدریس درنظربگیرد.
- باید فضاهای خالی (کلاس‌های درس خالی) حذف‌شوند.
- ماکزیمم ساعت تدریس پیوسته برای استاد، ۳ ساعت است.
- ماکزیمم ساعت تدریس پیوسته برای دانشجویان ۴ ساعت است.
- یک موضوع (بخشی از یک درس) نباید برای بیش از دو ساعت متوالی تدریس شده‌باشد.
- تلاش برای توزیع یکنواخت دروس مابین برش‌های زمانی.
- استادان و دانشجویان باید ساعات ناهار (بین۱۲ ب.ظ تا ۱ب.ظ یا ۱ ب.ظ تا ۲ ب.ظ) داشته‌باشند.
- یک یا گروهی از دانشجویان نباید فقط یک برش زمانی (یک ساعت درسی) را در روز برای یک کلاس درس داشته‌باشند.

توصیف مشکلات در مسأله UCTTP

چون مسأله زمان‌بندی یک مسأله NP- complete است، باید به‌دنبال رهیافت‌های کاوش‌گرایانه باشیم. دلیل آن اولاً رشد نمایی این مسأله به‌سبب تغییر و رشد سریع تعداد دانشجویان است و دوم اینکه تعداد قیود در این مسأله از یک مؤسسه به مؤسسه دیگر متفاوت و متغیر است. پس مشکل اصلی در چگونگی ارضاء تعداد قیود نرم در مسأله UCTTP است [۱۳،...،۱].

۲. پیشینهٔ پژوهش

رهیافت‌هایی که مسأله UCTTP را حل‌کرده‌اند، شامل روش‌های زیر می‌باشند:

۱،۲. رهیافت‌های تحقیق در عملیات

رهیافت رنگ‌آمیزی گراف درمورد چگونگی مدل‌کردن یک مسأله UCTTP روش جستجوی محلی در الگوریتم ژنتیک صورت‌گرفت. یکی از با استفاده از یک گراف غیرجهت‌دار [۱۴]، که برای حل مسأله جدول جستجوهای محلی روی رویدادها و دیگری نیز روی برش‌های زمانی زمان‌بندی از رئوس به‌عنوان رویدادها، رنگ‌ها به‌عنوان برش‌های زمانی و اجرامی‌شدند.

یال‌ها به‌عنوان قیود استفاده‌می‌کند. در اینجا، هیچ دو رأس مجاوری نباید الگوریتم جستجوی ممنوعه اولین‌بار توسط [۲۳] برای تخصیص همرنگ باشند؛ چون نشانه‌ای از برخورد(تلاقی) در جدول زمانبندی است. دانشجویان به گروه‌های درسی و نیز متعادل‌کردن تعداد دانشجویان در رویکرد ترکیبی دیگر برای حل مسأله UCTTP توسط [۱۵] و با استفاده کل یک گروه ثبت‌نامی، صورت‌گرفت که فاز اول: تولید مجموعه‌ای از از رنگ‌آمیزی ژنتیک پیشنهادشد که هزینه یافتن تعداد حداقل رنگ‌های راه‌حل‌ها برای یک دانشجو، فاز دوم: ترکیب مجموعه‌ای از راه‌حل‌ها و موردنیاز برای رنگ‌آمیزی یک گراف را با روش ادغامی کاهش‌می‌داد.

در [۱۶]، روش IP (برنامه‌نویسی صحیح) برای مسأله UCTTP ارائه‌شد که هدف، تخصیص مجموعه‌ای از دروس بین استادان و گروه‌هایی از دانشجویان و نیز مجموعه‌ای از جفت‌های پریودهای زمانی هفتگی و روزانه را دربرمی‌گرفت.

[۱۷] برای تولید راه‌حل‌های کارآمد جداول زمانبندی، یک متد دومرحله‌ای آسان‌سازی مبتنی‌بر IP ارائه‌کرد که در طول مدت گام ۱، جلسات دروسی که نیازمند پی‌درپی‌پذیری باشند از طریق تخصیص دروس به روزها و زمان‌های خاص صورتمی‌گرفت و در طول مدت گام ۲، اطمینان از پی‌درپی بودن آن تعداد از دروسی که به بیش از یک پریود زمانی برای گروه‌های دانشجویی یکسان نیازداشتند، نیز انجام‌می‌شد.

۲،۲. رهیافت‌های متاهیورستیک

در [۱۸] یک الگوریتم ژنتیکی در راستای مرتب‌سازی جدول زمانبندی دانشگاهی به‌کارگرفته‌شد که نرخ تلاقی ۷۰٪ بود و البته از هیچ قید سختی در جدول زمانبندی تخطی‌نشد و قیود به‌کاررفته بیشتر بر روی مشغول‌بودن اتاق و ظرفیت اتاق‌ها بود.

[۱۹]تکنیک GA نوین را برای حل مسأله UCTTP که از یک ماشین یادگیر استفاده‌می‌کرد، پیشنهادداد. نتایج این تکنیک، کمینه‌سازی تعداد قیود نرم نقض‌شده، میزان استفاده بیشتر از اتاق‌های در دسترس و کمترشدن حجم کاری استادان بود.

به‌کارگیری الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها نیز توسط [۲۰] برای مسأله UCTTP پس از ثبت‌نام، باتوجه‌به مجموعهٔ داده‌ای ITC-2007 صورت‌گرفت که در اینجا، مورچه‌ها رویدادها را به اتاق‌ها و برش‌های زمانی مبتنی‌بر دو نوع ماده فرومون T_{ij}^{s} و T_{jk}^{y} تخصیص-می‌دادند. این الگوریتم بر روی جدول زمان‌بندی خوب عمل‌کرده و در زمان اجرای طولانی‌تر، نتایج خوبی تولیدمی‌کند.

به‌کارگیری یک سیستم کلونی مورچهٔ ترکیبی برای حل مسأله UCTTP در [۲۱] پیشنهادشد که دو سیستم ترکیبی مورچه در آن عبارتند از: ترکیب SA با AC و ترکیب TS با AC. یک تعداد از مورچه‌ها تخصیص کامل از دروس را به برش‌های زمانی مبتنی‌بر یک لیست ازپیش تعریف شده، انجام‌می‌دهند. انتخاب احتمالات برش‌های زمانی توسط مورچه‌ها برای تخصیص دروس، با استفاده از اطلاعات هیورستیک و اطلاعات یک مکانیزم هماهنگ‌کننده غیرمستقیم بین عامل‌ها (Stigmergic) و فعالیت‌های حاضر در محیط صورت‌می‌پذیرد. الگوریتم ممتیک به‌وسیله [۲۲] برای حل مسأله UCTTP با ترکیب به‌کارگیری جستجوی ممنوعه با استراتژی‌های محلی و فاز سوم: تخصیص اتاق و بهبود تخصیص، بدون تغییردادن تخصیص اولیهٔ دروس به برش‌های زمانی بود.

در [۲۴] تاثیر ساختارهای همسایگی برروی الگوریتم جستجوی ممنوعه در حل مسأله UCTTP ارائه‌شد که تأثیر انتقالات simple و swap بر روی عملیات جستجوی ممنوعه، که مبتنی‌بر ساختارهای همسایگی بودند، آزمایش‌شد. در اینجا، ۴ ساختار همسایگی جدید هم به‌کاررفته و مقایسه‌شده‌اند.

برای حل مسأله UCTTP، ادغام زنجیره همسایگی kempe در رهیافت الگوریتم شبیه‌سازی حرارتی توسط [۲۵] ارائه‌شد که در اینجا، از طریق آسان‌سازی (Relaxation) یکی از قیود سخت فرمول‌سازی مجدد صورت‌می‌گیرد و سپس این قید در قالب یک قید نرم آسان‌سازی-شده، ایجادمی‌گردد. البته مسأله آسان‌سازی در دو مرحله تحلیل می‌شود: ۱-برای ایجاد یک راه‌حل امکان‌پذیر از گرافی مبتنی‌بر هیورستیک استفاده‌شده ؛ ۲- از یک الگوریتم شبیه‌سازی حرارتی، برای کمینه‌کردن تخطی‌های قیود نرم استفاده‌شده‌است (در فاز دوم، یک هیورستیک مبتنی‌بر یک زنجیره همسایگی kempe، استفاده‌می‌شود.

[۲۶] نیز از استراتژی جستجوی محلی هدایتشده در درون الگوریتم ژنتیک برای حل مسألهUCTTP استفاده‌کرده‌است که در اینجا، استراتژی جستجوی هدایت‌شده برای ایجاد فرزندان از ساختمان داده‌ای استفاده‌می‌کند که این، اطلاعات استخراجی افراد خوب نسل‌های قبلی را در خود ذخیره و نگهداری‌می‌کند. نتایج با این جستجوی محلی که در الگوریتم ژنتیک ادغام‌شده، رضایت‌بخش است. هدف، بیشینه‌کردن تخصیص‌ها و کمینه‌کردن تخطی‌ها از قیود نرم بود.

[۲۷] الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر (VNS) را برای حل مسأله UCTTP ارائه‌کرد و در آن یک VNS پایه پیشنهادداد و سپس برای اینکه هریک از راه‌حل‌ها، یک معیار پذیرش مونت‌کارلوی نمایی را استفاده‌کنند، اصلاحاتی را نیز بیان‌کرد. البته ایده اصلی به‌کارگیری معیار پذیرش مونت‌کارلو، بهبود اکتشافات به‌واسطه پذیرش بهترین راه‌حل با احتمال معین بود، تا تعداد همسایه‌های وعده داده‌شده، پیداشود.

۳،۲. رهیافت‌های نوین

یک الگوریتم ترکیبی توسط [۲۸] که از هیورستیک ترتیبی و شبیه‌سازی حرارتی برای حل مسأله UCTTP بر روی مجموعهٔ داده-ای ITC-2002 است، ارائه‌گردید. این روش شامل ۳ فاز است. فاز 1: استفاده از یک هیورستیک ترتیبی برای تولید جداول زمانبندی اولیه

امکان‌پذیر، فاز 2: به‌کارگیری شبیه‌سازی حرارتی برای حداقل‌کردن تعداد تخطی‌های قیود نرم و فاز 3: استفاده از الگوریتم شبیه‌سازی حرارتی برای افزایش بهبود کیفیت جداول زمانبندی تولیدشده.

اخیراً، یک الگوریتم ژنتیک ترکیبی چندجمعیتی نیز توسط [۲۹] برای حل مسأله UCTTP مبتنی‌بر سه نوع الگوریتم ژنتیکی FGARI، FGASA و FGATS پیشنهادشده است. در این الگوریتم، منطق فازی برای سنجش تعداد تخطی از قیود نرم در تابع برازش جهت سروکارداشتن با داده‌های دنیای واقعی که به‌صورت مبهم و غیرقطعی‌اند، استفاده‌می‌شود و روش‌های تصادفی، جستجوی محلی، شبیه‌سازی حرارتی و جستجوی ممنوعه نیز به همراه روش فازی جهت بهبود جستجوی استنتاجی برای ارضاء توانایی جستجو مفید خواهندبود.

برای حل مسأله UCTTP، [۳۰] یک روش مرتب‌سازی هیورستیک چندگانهٔ فازی را ارائه‌کرد که در آن، مرتب‌سازی رویدادها به‌واسطهٔ ملاحظه همزمان سه هیورستیک مجزا با استفاده از متدهای فازی انجام-شده‌است. ترکیب ترتیبی سه هیورستیک به صورت: ۱- بزرگترین درجه ۲- درجهٔ اشباع و ۳- درجهٔ ثبت نام، مرتب‌سازی می‌شوند و وزن فازی یک رویداد نیز برای نمایش اینکه رویداد چه مشکلی برای زمانبندی دارد، استفاده‌می‌شود. رویدادهای مرتب‌شده به‌صورت نزولی و به‌ترتیب به آخرین برش زمانی با حداقل مقدار هزینه جریمه تخصیص داده-می‌شوند و این در حالی است که امکان‌پذیری در سراسر کل فرآیند حفظ‌می‌شود.

یک راه‌حل فازی، مبتنی‌بر رهیافت ممتیک برای حل مسأله جدول زمانبندی دانشگاهی از سوی [۳۱] ارائه‌شد که در آن، جدول زمانبندی با هر دو الگوریتم ژنتیک و ممتیک مقایسه‌شده و نتایج آن قیود موجود را همزمان و در یک بازه زمانی کوتاه‌تر ارضاء‌کرده‌است. هدف، استفاده از منطق فازی به‌عنوان ابزاری برای جستجوی محلی در الگوریتم ممتیک بود. ایدهٔ هیورستیک ژنتیک فازی را نیز [۳۲] برای حل مسأله UCTTP پیشنهادداد که الگوریتم ژنتیک با استفاده از نمایش غیرمستقیم براساس ویژگی‌های رویدادها یکپارچه‌سازی، و مدل مجموعهٔ فازی نیز برای سنجش تخطی از قیود نرم در تابع هدف با توجه به عدم‌قطعیت و ابهامات داده‌های دنیای واقعی که در آن‌ها است، به-کارگرفته‌شد. در این مورد، برای هر قید نرم درجه‌ای از عدم‌قطعیت (موجود در تابع هدف) درنظرگرفته‌می‌شود و قطعیت فرمول‌سازی پارامتر تخطی از قید نرم در تابع هدف با استفاده از توابع عضویت فازی سنجیده-می‌شود.

۴،۲. رهیافت مبتنی‌بر سیستم‌های چندعاملی

برای تولید جدول زمانبندی دروس، [۳۳] از یک معماری چندعاملی توزیع‌شده سودجست. در این رهیافت، مسأله UCTTP شامل مجموعه‌ای از دروس در پریودهای زمانی ثابت در یک هفتهٔ چرخشی است. مسأله UCTTP تنها منحصر به یک مجموعه از دپارتمان‌های دانشگاه است. هر دپارتمان، دارای برنامه تحصیلی مطابق با قوانین خاص، قیود و اهداف منطبق‌بر منابع خود است و منبعی خاصیت اشتراکی ندارد، مگراینکه معاوضهٔ منابع بین دپارتمان‌ها سودمندباشد که آن‌هم از طریق مذاکره مشخص‌خواهدشد. برای حل مسأله، یک سیستم زمانبندی چندعاملی مبتنی‌بر یک بازار، همراه یک پول مصنوعی درنظرگرفته‌شده-است؛ هر دپارتمان نیز شامل سه عامل همکار می‌باشد: ۱- جستجو برای یک راه‌حل محلی، ۲- مذاکره درمورد منابع با سایر دپارتمان‌ها و ۳- مدیریت اطلاعات مرتبط. بررسی مسأله جدول زمانبندی توزیع‌شده بر مبنای عامل‌های زمانبندی توسط [۳۴]، بیشتر در مسائل جدول زمانبندی دنیای واقعی شامل قسمت‌های سازمان‌یافته‌ای کاربرد دارد که نیازمند ایجاد جداول زمانبندی برای افراد درگیر در یک روش مستقل است و این در حالی است که برخی از قیود سراسری موردنظراند. اخیراً، جداول زمانبندی دپارتمانی به‌صورت یک نتیجه‌ای از یکپارچگی و راه‌حل‌های سازگار با یکدیگر ترکیب‌می‌شوند و خود این ترکیب نیز مستلزم مذاکرهٔ عامل‌های مختلف خواهدبود. در اینجا، مدلی که فقط شامل یک عامل مضاعف به‌نام CA (عامل مرکزی) است، بررسی‌می‌شود و وظیفه آن نیز هماهنگی فرآیند جستجو در بین کلیهٔ SA(s) (عامل‌های زمانبندی) است. البته این ایده در راستای ایجاد راه‌حل‌های امکان‌پذیر برای شبکه‌ای از SA(s) است.

پیاده‌سازی جدول زمانبندی کلاس نیز توسط [۳۵] براساس سیستم‌های چندعاملی انجام و فرآیند پیاده‌سازی با به‌کارگیری الگوریتم تپه‌نوردی با تندترین شیب رو به بالا (تا رسیدن به جد) ارائه‌شد. عوامل Combination Generator و Min Finders به‌ترتیب برای تولید ترکیبات ورودی بیشینه و ایجاد ترکیبی با مقدار کمینه تابع ارزیابی برای متوالی‌کردن مضاعف امتحانات به‌کاررفتند. استفاده از این روش پیشنهادی، راه‌حل تصادفی اولیه را تا به‌دست‌آوردن راه‌حل بهینهٔ موردنظر ادامه خواهدداد.

ارائه مدل سیستمی برای مسأله UCTTP، توسط [۳۶] نیز با استفاده از عامل‌های سیار پیشنهادشد که سیستم چندعاملی را برای تولید راه‌حل‌های مسأله UCTTP به‌کاربرد. چهار عامل به‌ترتیب: ۱- درس (سیار) ۲- ارضاءگر (Signboard) ۳- ناشر (Publisher) و ۴- واسط (Mediator) با هم برای انجام فرآیند زمانبندی دروس مشارکت-می‌کنند. کلید قدرتمند این رهیافت استفاده از ویژگی خودمختاری عامل‌ها است. این خود مختاری در کارکرد عامل درس به‌طور آشکار تعبیه‌می‌شود. هر عامل درس در سیستم مسئولیت دارد که با سایر عامل‌های درس دیگر برای یافتن کلاس منبع رضایت‌بخش جهت ارائه و نمایش دروس، مذاکره داشته‌باشد.

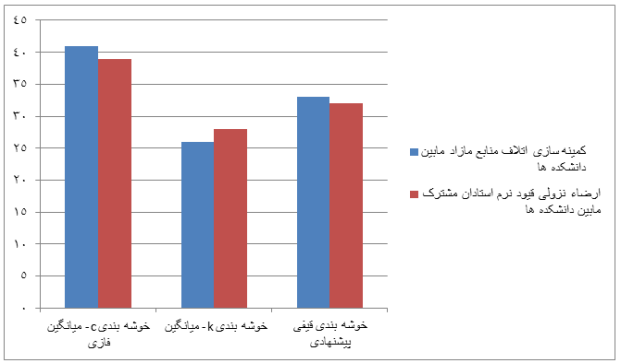
۳. رهیافت‌های حل مسألهٔ جدول زمانبندی دروس دانشگاهی

این بخش دربرگیرندهٔ چهار قسمت شامل: ۱- الگوریتم‌های خوشه‌بندی ۲- الگوریتم مقایسهٔ تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فازی ۳- الگوریتم‌های ترکیبی و ۴- شبه‌کد رهیافت‌های الگوریتم‌های حل مسأله جدول زمانبندی دروس دانشگاهی خواهدبود.

۱،۳. حل مسأله زمانبندی استادان مشترک بین دانشکده‌ها با الگوریتم‌های خوشه‌بندی

در این قسمت نحوهٔ به‌کارگیری الگوریتم‌های خوشه‌بندی (K- میانگین، C- میانگین فازی و قیفی) در مسأله زمانبندی استادان مشترک بین دانشکده‌ها بررسی‌می‌گردد. الگوریتم‌های خوشه‌بندی فرآیند زمانبندی استادان مشترک را براساس اولویت‌ها (قیود نرم) و خواسته‌هایشان برمبنای قواعد مربوط به ساختارشان خوشه‌بندی‌می‌کنند. فرآیندهای زمانبندی براساس الگوریتم‌های خوشه‌بندی برمبنای ساختار هر الگوریتم خوشه‌بندی را صورت‌نمی‌دهند. پس از فرآیند خوشه‌بندی عمل نگاشت این خوشه‌ها (استادان مشترک بین دانشکده‌ها) در منابع (برش-های زمانی/کلاس‌های درسی) انجام‌می‌پذیرد. عملکرد بهینهٔ خوشه‌بندی استادان مشترک جهت نگاشت در منابع برای زمانبندی آن‌ها (استادان مشترک) برای یک نیم‌سال تحصیلی انجام‌می‌گیرد. مجموعهٔ داده‌ای به-کاررفته جهت شبیه‌سازی الگوریتم‌های خوشه‌بندی به‌ترتیب چنین است: ۳۰ استاد، ۵ دانشکده (مهندسی کامپیوتر، مهندسی برق، مهندسی عمران، علوم انسانی و علوم ریاضی)، ۷ برش‌زمانی هفتگی (تمام روزهای هفته)، ۷ برش‌زمانی روزانه (هر روز با برش‌زمانی ۹/۳۰-۸/۰۰ آغاز و با برش‌زمانی ۲۰/۳۰-۱۹ پایان‌می‌یابد) و ۱۳ کلاس درسی به‌ازای هر دانشکده (۳ کلاس درس عملی و ۱۰کلاس درس تئوری).

الگوریتم خوشه‌بندی C- میانگین فازی چون برمبنای قواعد و محاسبات قوی ریاضی صورت‌می‌گیرد بهینه‌ترین عملکرد را در تشکیل ماتریس $U^{(0)}$ بین دو الگوریتم قیفی و K- میانگین خواهدداشت[۳۷]. الگوریتم خوشه‌بندی قیفی چون برمبنای انتخاب‌های تصادفی اولیه در تشکیل ماتریس $U^{(0)}$ صورت‌نمی‌گیرد و به‌جای آن از قاعدهٔ اشتراک در جبر مجموعه‌ها استفاده می‌شود، کارآیی و عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم k- میانگین دارد[۳۸]. الگوریتم k- میانگین بین الگوریتم‌های خوشه‌بندی قیفی و C- میانگین فازی یک عملکرد غیربهینه‌ای را به-دلیل وجود ساختار تصادفی و نیز وجود فقط دو انتخاب صفر یا یک برای هر یک از رویدادها (استادان مشترک) در ماتریس $U^{(0)}$ دارد[۳۹]. شکل ۱ مقایسهٔ الگوریتم‌های خوشه‌بندی براساس دو هدف کمینه‌سازی اتلاف منابع و ارضاء نزولی قیود نرم استادان مشترک بین دانشکده‌ها است.



شکل۱: مقایسه الگوریتم‌های خوشه‌بندی

۲،۳. حل مسأله زمانبندی استادان (مشترک بین) دانشکده(ها) با الگوریتم مقایسهٔ تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فازی

این قسمت با استفاده از مقایسهٔ فازی برای دو رویداد (براساس اولویت‌ها و قیود نرم استادان (مشترک) صورت می‌گیرد. در اینجا کلیهٔ استادان (مشترک بین) دانشکده‌ها، لیست اولویت‌ها و خواسته‌هایشان را درقالب یک عبارت ریاضی به‌صورت فازی ارائه‌می‌کنند و برای اینکه استادان (مشترک بین) دانشکده‌ها در منابع (برش‌های زمانی/کلاس‌های درسی) نگاشت شوند، باید زمانبندی شوند. در این روش استادان (مشترک) براساس خواسته‌های فازی‌شان دوبه‌دو و به‌صورت کامل و میدانی با یکدیگر مقایسه فازی می‌شوند [۴۰] و براساس بالاترین اولویت (بالاترین وزن) فرآیند نگاشت استادان (مشترک) در منابع، جهت زمانبندی برای یک نیم‌سال تحصیلی انجام‌می‌گیرد.

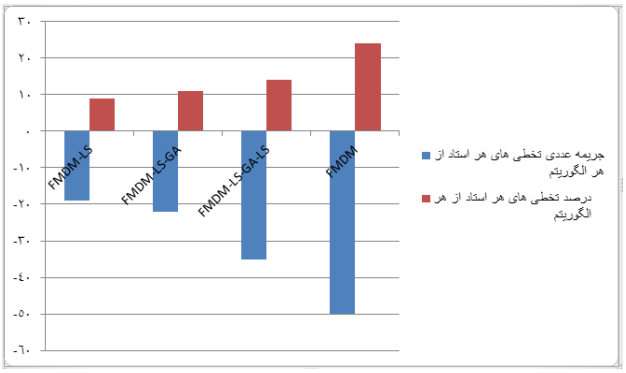
الگوریتم مقایسهٔ تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فازی به‌دلیل وجود حجم بالای مقایسه‌های فازی با رشد سریع رویدادها، به‌تنهایی عملکردی قوی در زمانبندی بهینهٔ استادان (مشترک بین) دانشکده‌ها ندارد و باید همراه یک الگوریتم کمکی مانند جستجوی محلی با الگوریتم ژنتیک به-کارگرفته‌شود[۴۱]. البته مجموعهٔ داده‌ای به‌کاررفته در شبیه‌سازی الگوریتم‌های مقایسهٔ تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فازی، جستجوی محلی و ژنتیک به ترتیب: ۵۰ استاد، ۱ دانشکده (مهندسی کامپیوتر)، ۷ برش‌زمانی هفتگی (تمام روزهای هفته)، ۷ برش‌زمانی روزانه (هرروز با برش‌زمانی ۹/۳۰-۸/۰۰ برای آغاز و برش‌زمانی ۲۰/۳۰-۱۹ برای پایان) و ۵ کلاس درسی (۳ کلاس درسی تئوری و ۲ کلاس درسی عملی) است.

۳،۳. الگوریتم‌های ترکیبی (جستجوی محلی / ژنتیک)

این قسمت در برگیرندهٔ دو الگوریتم جستجوی محلی و ژنتیک است که برای زمانبندی استادان (مشترک بین) دانشکده‌ها به‌کاررفته‌است. الگوریتم جستجوی محلی با هفت ساختار همسایگی مرکب تصادفی، فرآیند جابجایی برش‌های زمانی استادان (مشترک بین) دانشکده‌ها در راه‌حل (جدول زمانبندی) تولیدشده را انجام‌می‌دهد تا یک بهینگی را در ترجیح اولویت استادان (مشترک بین) دانشکده‌ها ایجادکند. گفته‌می‌شود الگوریتم جستجوی محلی مکملی برای الگوریتم‌های خوشه‌بندی و مقایسهٔ تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فازی است[۴۱].

الگوریتم ژنتیک با استفاده از قاعده و ساختار ذاتی الگوریتم تکاملی-ای که در درون خود دارد، فرآیند بهبود راه‌حل (جدول زمانبندی) تولیدی در مراحل قبلی (یعنی خروجی الگوریتم مقایسهٔ جندمعیارهٔ فازی، الگوریتم خوشه‌بندی و جستجوی محلی) را انجام‌می‌دهد. میزان تخطی تک‌تک استادان دانشکده به‌ازای هر یک از الگوریتم‌ها به‌این-صورت است که ترکیب الگوریتم‌های مقایسهٔ تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فازی با جستجوی محلی بهترین عملکرد و درمقابل ترکیب الگوریتم‌های مقایسهٔ تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فازی با ژنتیک دارای بدترین عملکرد می‌باشد[۴۱].

الگوریتم ژنتیک باید تعداد زیادی از نسل‌ها را برای تولید بهینهٔ راه-حل (جدول زمانبندی) موردنظر سپری‌کند که در اینجا به‌دلیل وجود عملکرد جهش چون فرآیند تصادفی را در جابجایی استادان زمانبندی-شده از جدول زمانبندی انجام‌می‌دهد، پس از نسل سوم راه‌حل (جدول زمانبندی) تولیدشده بهینگی و کارایی خود را ازدست‌می‌دهد و به‌همین دلیل از نسل سوم به بعد از ادامهٔ الگوریتم ژنتیک اجتناب می‌شود. شکل ۲ شامل نتایج به‌کارگیری و ترکیب الگوریتم‌های مقایسهٔ تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فازی با جستجوی محلی و ژنتیک است و در آن تعداد جریمه از تخطی‌های قیود نرم استادان و درصد تخطی‌های استادان طبق هر الگوریتم و ترکیب الگوریتم‌ها بایکدیگر به تفکیک ارائه‌شده‌است.



FMCDM: Fuzzy Multi Criteria Decision Making
LS: Local Search, **GA**: Genetic Algorithm

شکل۲: تعداد جریمه از تخطی‌های قیود نرم استادان و درصد تخطی-های استادان طبق هر الگوریتم

۴,۳. شبه‌کد رهیافت‌های حل مسأله جدول زمانبندی دروس دانشگاهی

The proposed algorithm: Generating Optimal Timetabling for multi-departments common Lecturers using Hybrid Fuzzy and Clustering Algorithms

Input: events (common lecturers, L_i) and resources (timeslots and classrooms, R_i) of each departments

Begin

Phase 1:

Step 1: Generating an empty timetable and allocate the priorities and demands of common lecturers within departments to produce the initial solutions of common lecturers.

Step 2: Ranking and prioritization in respect of satisfying soft constraints per common lecturer in feasible timetables generated in step 1 accompanied with satisfying hard constraints related to each common lecturer (fuzzy multi criteria decision making).

Step 3: Improving the quality of timetables generated based on satisfying soft constraints in the objective function of step 2 through applying a meta-heuristic method as local search algorithm.

Phase 2:

Step 1: Timetabling agents (input: events (common lecturers) and resources, output: timetables) // TA_i agents

Step 2: Mediator agent (input: timetables, output: timetables including common lecturers among departments) // MA agent

Step 3: Clustering agent (input: timetables received from MA and clustering process, output: clustered common lecturers, L_i) // CA agent

3-1: Applying k-means algorithm

3-2: Applying fuzzy c-means algorithm

3-3: Applying funnel clustering algorithm

Step 4: Traverser agent (input: timetables of each departments, output: the traversed resources per departments, R_i) // TraA agent

Step 5: Mapping (input: clustered common lecturers, L_i and traversed resources, R_i, output: mapping of f_i: $L_i \rightarrow T_i \times C_i$ per departments)

End

Output: The planned timetables for each departments to inform common lecturers timetabling

۴. بحث، ارزیابی و مقایسه نتایج

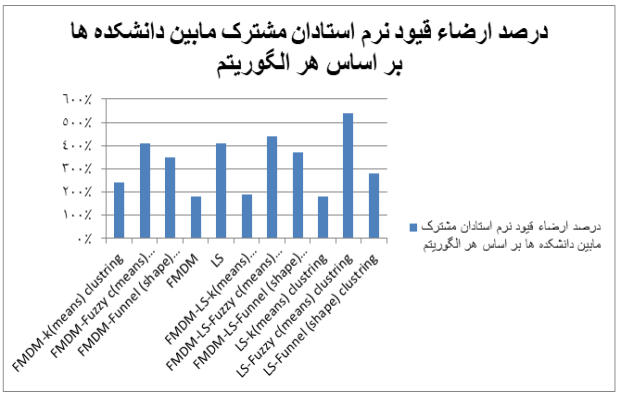
براساس بحث و بررسی‌های مقالات مرتبط با الگوریتم‌های خوشه‌بندی، مقایسهٔ تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فازی و ترکیبی نتایج به‌دست‌آمده طبق [۴۲] ترکیب الگوریتم جستجوی محلی با الگوریتم خوشه‌بندی C- میانگین فازی دارای نتایج بهینه‌ای برای ارضاء قیود نرم استادان مشترک بین دانشکده‌ها و به‌کارگیری منفرد و یکتای الگوریتم مقایسهٔ تصمیم-گیری چندمعیارهٔ فازی دارای کارآیی پایین‌تری نسبت به سایر الگوریتم-ها و ترکیب‌های آن‌ها است. البته درصد اتلاف منابع (برش‌های زمانی / کلاس‌های درسی) بین دانشکده‌ها نیز با ترکیب الگوریتم‌های مقایسهٔ تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فازی و خوشه‌بندی C– میانگین فازی دارای بهینگی خوبی است و میزان اتلاف منابع نیز پایین‌تر است، درحالی‌که ترکیب سه الگوریتم مقایسهٔ تصمیم‌گیری‌چندمعیارهٔ فازی جستجوی محلی و خوشه‌بندی K- میانگین دارای درصد اتلاف منابع زیادتر و غیربهینه است.

به‌کارگیری الگوریتم‌های خوشه‌بندی در زمانبندی استادان مشترک بین دانشکده‌ها به‌این‌صورت است که کارایی الگوریتم خوشه‌بندی C- میانگین فازی از لحاظ درصد ارضاء قیود نرم استادان مشترک مابین دانشکده‌ها بالاتر از دو الگوریتم خوشه‌بندی قیفی و K- میانگین است. البته از لحاظ درصد اتلاف منابع ما بین دانشکده‌ها نیز الگوریتم خوشه-بندی C- میانگین فازی دارای میزان اتلاف منابع پایین‌تری نسبت به

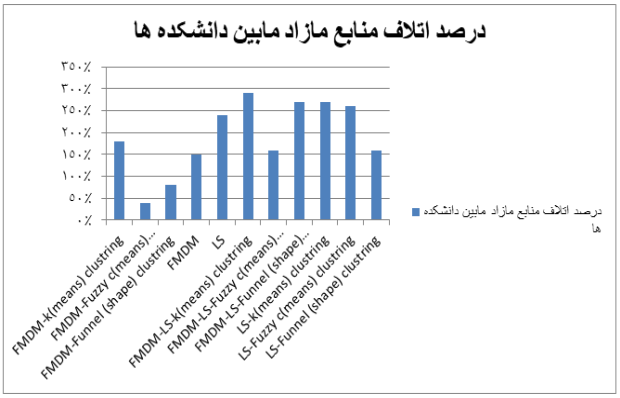
دو الگوریتم خوشه‌بندی قیفی و K- میانگین می‌باشد. الگوریتم خوشه-بندی قیفی از لحاظ میزان درصد ارضاء قیود نرم استادان مشترک و نیز درصد میزان اتلاف منابع بین دانشکده‌ها بهینه‌تر از الگوریتم خوشه‌بندی K- میانگین است.

درکل می‌توان‌گفت که الگوریتم خوشه‌بندی K- میانگین ازلحاظ درصد ارضاء قیود نرم استادان مشترک بین دانشکده‌ها و منابع بین دانشکده‌ها، نسبت به دو الگوریتم خوشه‌بندی C- میانگین فازی و قیفی ناکارآمدتر است[۴۲].

به‌کارگیری الگوریتم‌های مقایسهٔ تصمیم‌گیری فازی ترکیبی (جستجوی محلی/ژنتیک) در مسأله زمانبندی استادان یک دانشکده به این صورت است که میانگین درصد تخطی ایجادشده هر یک از الگوریتم-ها نسبت به اولویت‌های استادان در یک دانشکده طبق ترکیب الگوریتم-های مقایسهٔ تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فازی با ژنتیک دارای بدترین عملکرد و درمقابل ترکیب الگوریتم‌های مقایسهٔ تصمیم‌گیری چند معیارهٔ فازی با جستجوی محلی دارای بهترین عملکرد خواهدبود. در شکلهای ۳ و ۴ به ترتیب مقایسهٔ درصد ارضاء قیود نرم استادان مشترک بین دانشکده‌ها و مقایسهٔ درصد اتلاف منابع مابین دانشکده‌ها توسط هر یک از الگوریتم‌ها نشان‌داده‌شده‌اند[۴۲].

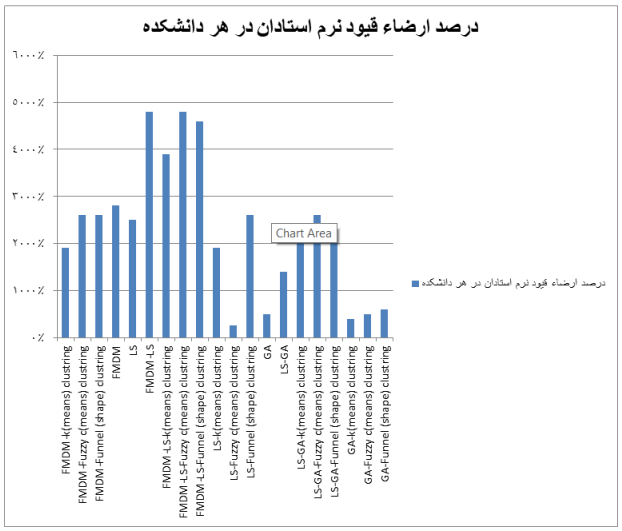


شکل۳: مقایسهٔ درصد ارضاء قیود نرم استادان مشترک بین دانشکده‌ها توسط هر الگوریتم



شکل۴: مقایسهٔ درصد اتلاف منابع مابین دانشکده‌ها توسط هر الگوریتم

در ترکیب الگوریتم‌های خوشه‌بندی مقایسهٔ تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فازی و ترکیبی (جستجوی محلی / ژنتیک) می‌توان‌گفت که افزایش ارضاء قیود نرم استادان یک دانشکده به‌واسطهٔ به‌کارگیری و ترکیب سه الگوریتم مقایسهٔ تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فازی، جستجوی محلی و خوشه‌بندی C- میانگین فازی بهترین عملکرد را دارد و درمقابل، به‌کارگیری و ترکیب دو الگوریتم ژنتیک و خوشه‌بندی K- میانگین دارای بدترین عملکرد ازلحاظ میزان درصد ارضاء قیود نرم و اولویت‌های استادان یک دانشکده می‌باشند. در شکل ۵ درصد ارضاء قیود نرم استادان یک دانشکده توسط هریک از الگوریتم‌ها ارائه‌شده‌است[۴۳].



شکل ۵: درصد ارضاء قیود نرم استادان یک دانشکده طبق هر الگوریتم

۵. نتیجه‌گیری

الگوریتم‌های جدیدی که در حل مسأله UCTTP در سال‌های اخیر ارائه‌شده‌اند می‌توانند ایده‌های نوی را در اذهان پژوهشگران و محققان ایجادکنند. البته ساختار خود مسأله UCTTP با روش‌های فرامکاشفه-ای جدید نیز می‌تواند مورد بررسی و تحلیل قرارگیرد تا نتایج قابل‌توجه و بهتری را نسبت به راه‌حل‌های سنتی داشته‌باشد. معرفی الگوریتم‌های خوشه‌بندی (K- میانگین، C- میانگین فازی و قیفی) همراه الگوریتم-های مقایسهٔ چندمعیارهٔ فازی و ترکیبی (جستجوی محلی / ژنتیک) و ترکیب این الگوریتم‌ها با یکدیگر طبق مقالات منتشر شده هرکدام دارای نتایج و ارزیابی‌های قابل‌توجه با رهیافت‌های حل‌کننده موجود در مسأله UCTTP را نشان‌می‌دهند. طبق شبیه‌سازی‌ها و نتایج به‌دست‌آمده از بخش‌های ۳ و ۴ مقاله می‌توان‌گفت که در به‌کارگیری الگوریتم‌های خوشه‌بندی، کارآمدی الگوریتم خوشه‌بندی C- میانگین فازی در کمینه‌سازی اتلاف منابع (مازاد) و ارضاء نزولی قیود نرم استادان مشترک بین دانشکده‌ها نسبت به دو الگوریتم خوشه‌بندی قیفی و K- میانگین، بیشتر است. البته نسبت بهینهٔ تعداد جریمه از تخطی‌های قیود نرم استادان و درصد تخطی‌های استادان در بین الگوریتم‌های مقایسهٔ تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فازی، جستجوی محلی و ژنتیک و نیز ترکیب

این الگوریتم‌ها بایکدیگر به ترکیب دو الگوریتم مقایسهٔ تصمیم گیری چند معیارهٔ فازی، جستجوی محلی با یکدیگر مربوط‌می‌شود. بایدگفت در مقایسهٔ درصد ارضاء قیود نرم استادان مشترک مابین دانشکده‌ها ترکیب الگوریتم‌های جستجوی محلی با خوشه‌بندی C- میانگین فازی بهترین و درمقابل به‌کارگیری منفرد الگوریتم مقایسهٔ تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فازی، بدترین عملکرد را دارد. درمقابل نیز مقایسهٔ درصد اتلاف منابع (مازاد) بین دانشکده‌ها به‌واسطهٔ ترکیب الگوریتم‌های خوشه‌بندی C- میانگین فازی با مقایسهٔ تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فازی بهترین و ترکیب الگوریتم‌های مقایسهٔ تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فازی و جستجوی محلی و خوشه‌بندی K- میانگین بدترین نتیجه را دارد. در انتها می‌توان اظهار داشت که میزان درصد ارضاء قیود نرم استادان یک دانشکده به‌واسطهٔ به‌کارگیری ترکیب الگوریتم‌های مقایسهٔ تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فازی و جستجوی محلی و خوشه‌بندی C- میانگین فازی با یگدیگر کارآمدتر نسبت به ترکیب دو الگوریتم ژنتیک با خوشه‌بندی K- میانگین می‌باشد.

پیشنهادمی‌شود پژوهشگران و محققان علوم و مهندسی کامپیوتر برای کارهای آتی در حوزه حل مسأله UCTTP با رویکرد الگوریتم‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق در حوزه سیستم‌های خبره و مهندسی دانش رهیافت‌های متنوع آن‌ها را مورد آزمون، تحلیل و مقایسه با سایر رهیافت‌های موجود قراردهند.

مراجع

[1] Obit, J. H., *Developing Novel Meta-heuristic, Hyper-heuristic and Cooperative Search for Course Timetabling Problems*, Ph.D. Thesis, School of Computer Science University of Nottingham, 2010.

[2] Gotlib, C. C., *"The Construction of Class-Teacher TimeTables", Proc IFIP Congress*, Vol. 62, pp. 73-77, 1963.

[3] Asmuni, H., *Fuzzy Methodologies for Automated University Timetabling Solution Construction and Evaluation*, Ph.D. Thesis, School of Computer Science University of Nottingham, 2008.

[4] Lewis, M. R., *Metaheuristics for University Course Timetabling*, Ph.D. Thesis, Napier University, 2006.

[5] Redl, T. A., *A Study of University Timetabling that Blends Graph Coloring with the Satisfaction of Various Essential and Preferential Conditions*, Ph.D. Thesis, Rice University, Houston, Texas, 2004.

[6] Babaei, H., Hadidi, A., *"A Review of Distributed Multi-Agent Systems Approach to Solve University Course Timetabling Problem"*, ACSIJ Advances in Computer Science: An International Journal, Vol. 3, Issue 5, No. 11, ISSN: 2322-5157, pp. 19-28, 2014.

[7] Feizi-Derakhshi, M. R., Babaei , H., Heidarzadeh, J., *"A Survey of Approaches for University Course TimeTabling Problem"*, Proceedings of 8th International Symposium on Intelligent and Manufacturing Systems, Sakarya University Department of Industrial Engineering, Adrasan, Antalya, Turkey, pp. 307-321, 2012.

[8] Babaei, H., Karimpour, J., Hadidi, A., *"A survey of approaches for university course timetabling problem"*, Computers & Industrial Engineering, 86, pp. 43–59, 2015.

[9] Obit, J. H., Landa-Silva, D., Ouelhadj, D., Khan Vun, T., Alfred, R., "Designing a Multi-Agent Approach System for Distributed Course TimeTabling," *IEEE*, 2011.

[10] Shatnawi, S., Al -Rababah, K., Bani-Ismail, B., *"Applying a Novel Clustering Technique Based on FP- Tree to University Timetabling Problem: A Case Study," IEEE*, 2010.

[11] Wangmaeteekul, P., *Using Distributed Agents to Create University Course TimeTables Addressing Essential Desirable Constraints and Fair Allocation of Resources*, Ph.D. Thesis, School of Engineering & Computing Sciences Durham University, 2011.

[12] Amintoosi, M., Haddadnia, J., *"Fuzzy C-means Clustering Algorithm to Group Students in A Course into Smaller Sections," Springer-Verlag Berlin Heidelberg, LNCS 3616*, pp. 147–160, 2005.

[13] S. Srinivasan, J. Singh, V. Kumar, *"Multi-Agent based Decision Support System Using Data Mining and Case Based Reasoning"*, IJCSI International Journal of Computer Science Issues, Vol. 8, Issue 4, No 2, July 2011.

[14] DeWerra, D., *"An Introduction to TimeTabling"*, European Journal of Operational Research, 19: pp. 151-162, 1985.

[15] Asham, G.M., Soliman, M.M., Ramadan, A.R., *"Trans Genetic Coloring Approach for Timetabling Problem"*, Artificial Intelligence Techniques Novel Approaches & Practical Applications, IJCA, pp. 17-25, 2011.

[16] Daskalaki, S., Birbas, T., Housos, E., *"An integer programming formulation for a case study in university timetabling"*, European Journal of Operational Research, 153 (2004), pp. 117–135, 2004.

[17] Daskalaki, S., Birbas, T., *"Efficient solutions for a university timetabling problem through integer programming"*, European Journal of Operational Research, 160 (2005), pp. 106–120, 2005.

[18] Khonggamnerd, P., Innet, S., *"On Improvement of Effectiveness in Automatic University Timetabling Arrangement with Applied Genetic Algorithm"*, 978-0-7695-3896-9, IEEE, 2009.

[19] Alsmadi, O. MK., Abo-Hammour, Z. S., Abu-Al-Nadi, D. I., Algsoon, A., *"A Novel Genetic Algorithm Technique for Solving University Course Timetabling Problems"*, 978-1-4577-0690-5/11, IEEE, 2011.

[20] Mayer, A., Nothegger, C., Chwatal, A., Raidl, G., *"Solving the Post Enrolment Course Timetabling Problem by Ant Colony Optimization"*, In Proceedings of the 7th International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling, 2008.

[21] Ayob, M., Jaradat, G., *"Hybrid Ant Colony Systems for Course Timetabling Problems"*, 2nd Conference on Data Mining and Optimization 27-28 October 2009, Selangor, Malaysia, IEEE, pp. 120-126, 2009.

[22] Jat, N. S., Shengxiang, Y., *"A Memetic Algorithm for the University Course Timetabling Problem"*, 20th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence, IEEE, pp. 427-433, 2008.

[23] Alvarez, R., Crespo, E., Tamarit, J. M., *"Design and Implementation of a Course Scheduling System Using Tabu Search"*, European Journal of Operational Research 137, pp. 512-523, 2002.

[24] Aladag, C. H., Hocaoglu, G., Basaran, A. M., *"The effect of neighborhood structures on tabu search algorithm in solving course timetabling problem"*, Expert Systems with Application, 36 (2009), pp. 12349–12356, 2009.

[25] Tuga, M., Berretta, R., Mendes, A., *"A Hybrid Simulated Annealing with Kempe Chain Neighborhood for the University Timetabling Problem"*, 6th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science (ICIS 2007), 2007.

[26] Shengxiang, Y., Jat, N.S., *"Genetic Algorithms with Guided and Local Search Strategies for University Course Timetabling"*, IEEE Transactions on Systems, MAN, and Cybernetics-PART C: Applications and Reviews, Vol. 41, No. 1, January 2011.

of Artifical Intelligence in Electrical Engineering, Vol. 6, No. 21, 2017.

[27] Abdullah, S., Burke, E.K., McColloum, B., *"An Investigation of Variable Neighborhood Search for University Course Timetabling"*, In The 2th Multidisciplinary Conference on Scheduling: Theory and Applications, NY, USA, pages 413-427, 2005.

[28] Kostuch, P., *"The University Course Timetabling Problem with a Three-Phase Approach"*, In Lecture Notes in Computer science, pages 109-125, Springer-Berlin / Heidelberg, 2005.

[29] Shahvali Kohshori, M., Abadeh, M. S., *"Hybrid Genetic Algorithms for University Course Timetabling"*, IJCSI International Journal of Computer Science Issues, Vol. 9, Issue 2, No 2, March 2012.

[30] Asmuni, H., Burke, E.K., Garibaldi, J.M., *"Fuzzy multiple heuristic ordering for course timetabling"*, The Proceedings of the 5th United Kingdom Workshop on Computational Intelligence (UKCI05), London, UK, pp 302-309, 2005b.

[31] Golabpour, A., Mozdorani Shirazi, H., Farahi, A., kootiani, M., beige, H., *"A fuzzy solution based on Memetic algorithms for timetabling"*, International Conference on MultiMedia and Information Technology, IEEE, pp. 108-110, 2008.

[32] Chaudhuri, A., Kajal, D., *"Fuzzy Genetic Heuristic for University Course Timetable Problem"*, Int. J. Advance. Soft Comput. Appl., Vol. 2, No. 1, ISSN 2074-8523, March 2010.

[33] Gaspero, L.D., Missaro, S., Schaerf, A., *"A Multiagent Architecture for Distributed Course Timetabling"*, Proceedings of the 5th International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling (PATAT '04), pp. 471-474, 2004.

[34] Meisels, A., Kaplansky, E., *"Scheduling Agents-Distributed TimeTabling Problems (DisTTP)"*, Springer- Verlog Berlin Heldelberg, LNCS 2740, PP. 166 – 177, 2003.

[35] Nandhini, M., Kanmani, S., *"Implementation of Class Timetabling Using Multi Agents"*, 978-1-4244-4711-4/09, IEEE, 2009.

[36] Yanga, Y., Paranjape, R., *"A multi-agent system for course timetabling"*, Intelligent Decision Technologies, Computer Science and Artificial Intelligence, IOS Press, Volume 5, page 113-131, Number 2, 2011.

[37] Babaei, H., Karimpour, J., Oroji, H., *"Using fuzzy c-means clustering algorithm for common lecturers timetabling among departments"*, 6th International Conference on Computer and Knowledge Engineering (ICCKE 2016), 978-1-5090-3586 IEEE, October 20-21, Ferdowsi University of Mashhad, 2016.

[38] Babaei H., Karimpour J., Hadidi A., *"Common lecturers timetabling among departments based on funnel-shape clustering algorithm"*, Springer Science + Business Media New York, *Applied Intelligence*, DOI 10.1007/s10489-016-0828-5, 46: pp. 386-408, 2017.

[39] Babaei H., Karimpour J., Mavizi S., *"Using k-means clustering algorithm for common lecturers timetabling among departments",* ACSIJ Advances in Computer Science: An International Journal, Vol. 5, Issue 1, No.19, ISSN: 2322-5157, pp. 86-102, 2016.

[40] Ross, J. T., *Fuzzy logic with engineering applications*. Wiley, University of New Mexico, New Mexico, 2004.

[41] Babaei, H., Karimpour, J., Hadidi, A., *"Applying Hybrid Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Approach to Find the Best Ranking for the Soft Constraint Weights of Lecturers in UCTP"*, Int. J. Fuzzy Syst. Taiwan Fuzzy Systems Association and Springer -Verlag Berlin Heidelberg, 2017.

[42] Babaei H., Karimpour J., Hadidi A., *"Generating an optimal timetabling for multi-departments common lecturers using hybrid fuzzy and clustering algorithms"*, Springer-Verlag GmbH Germany, Soft Computing, doi.org/10.1007/s00500-018-3126-9, Volume 23, Issue 13 , pp 4735–4747, 2019.

[43] Babaei H., Hadidi A., *"Generating optimal timetabling for lecturers using hybrid fuzzy and clustering algorithms"*, Journal