

مدل سازی چند هدفه زمان بندی درس های دانشگاهی با در نظر گرفتن دوره تناوب دو هفته ای: مطالعه موردی

سکینه بیگی^۱، الهام بصیری^{۲*}

۱- مربی، دانشگاه کوثر بجنورد، گروه مهندسی صنایع، بجنورد، ایران

۲- استادیار، دانشگاه کوثر بجنورد، گروه ریاضیات و کاربردها، بجنورد، ایران

رسید مقاله: ۳۰ فروردین ۱۳۹۸

پذیرش مقاله: ۲۲ فروردین ۱۴۰۰

چکیده

تهیه جدول زمان بندی درس های دانشگاهی یک فرآیند تصمیم گیری بسیار زمانبر است که در هر نیمسال تحصیلی در مراکز آموزش عالی و با در نظر گرفتن محدودیت های بسیاری انجام می شود. در این تحقیق، یک مدل برنامه ریزی ریاضی خطی چندهدفه برای زمان بندی درس های دانشگاهی ارائه شده است. تابع هدف این تحقیق شامل سه تابع کمینه سازی مجموع اختلاف زمان آغاز و پایان کلاس ها در هر روز برای گروه های مختلف دانشجویان، بیشینه سازی مطلوبیت حاصل از ارائه درس ها و کمینه سازی تعداد درس هایی است که فاصله بین جلسدهای آن ها کمتر از یک روز است. محدودیت های مساله شامل محدودیت های مربوط به عدم تداخل برنامه ی استادان، کلاس ها و دانشجویان و همچنین محدودیت های مربوط به نحوه ارائه درس های مختلف است. در مدل پیشنهادی تحقیق، نحوه ارائه درس های سه واحدی با دوره تناوب دو هفته ای در نظر گرفته شده است. در پایان، کارایی مدل پیشنهادی تحقیق با استفاده از نرم افزار گمز برای یک مثال واقعی نشان داده شده است.

کلمات کلیدی: مدل سازی چندهدفه، بهینه سازی، زمان بندی درس های دانشگاهی، دوره تناوب دو هفته ای.

۱ مقدمه

طراحی و پیاده سازی سیستم زمان بندی درس های دانشگاهی که منطبق با نیازهای دانشجویان و قوانین آموزشی باشد، مورد نیاز بسیاری از مراکز آموزش عالی است. در بسیاری از دانشگاه ها تهیه جدول زمان بندی درس ها با صرف زمان قابل توجهی به صورت دستی انجام می شود. در تهیه یک برنامه زمان بندی مناسب علاوه بر رعایت بسیاری از محدودیت ها، بایستی رضایت و مطلوبیت مورد انتظار دانشجویان و استادان نیز مدنظر قرار گیرد. مساله تهیه جدول زمان بندی کلاس های درسی از جمله مسایل بهینه سازی تحقیق در عملیات است. در حالت کلی روش های حل مسایل بهینه سازی را می توان به دو دسته الگوریتم های دقیق و الگوریتم های تقریبی تقسیم بندی

* عهده دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: elham_basiri2000@yahoo.com

کرد؛ الگوریتم های دقیق با صرف زمان و هزینه بیشتری به جواب بهینه ی مساله دست می یابند. به علاوه در این روش ها یا تمامی جواب های ممکن مورد بررسی قرار گرفته، سعی می شود از میان آن ها بهترین جواب به دست آید و یا اینکه جواب ها دسته بندی شده، در هر مرحله دسته ای از جواب ها به علت دلایل منطقی کنار گذاشته می شود. در مقابل، الگوریتم های تقریبی در یک زمان اندک به جواب می رسد، هر چند که ممکن است جواب مربوطه متناسب با اندازه ی مساله، دارای دقت کمتری نسبت به جواب الگوریتم های دقیق باشد. این روش ها خود به سه دسته الگوریتم های ابتکاری، فراابتکاری و ترکیبی دسته بندی می شود [۱]. برای مطالعه جزئیات بیشتر در مورد روش های حل مسایل خطی و غیرخطی بهینه سازی می توان به [۲] مراجعه کرد.

تاکنون پژوهش گران زیادی مساله بهینه سازی زمان بندی درس های دانشگاهی را مورد مطالعه قرار داده اند. به عنوان مثال، در تحقیق [۳] نویسندگان با معرفی روشی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک از آن برای حل مساله بهینه سازی جدول زمانی درس های دانشگاهی استفاده کرده اند و روش پیشنهادی خود را برای تعیین زمان بندی درس های یک دانشکده فرضی به کار برده اند. آن ها سپس مقایسه ای را بین الگوریتم ژنتیک پیشنهادی و الگوریتم ژنتیک معمولی انجام داده اند و نقاط قوت الگوریتم پیشنهادی را ارایه کرده اند. پژوهش گران دیگری برای حل مساله برنامه ریزی درس ها از الگوریتم های جستجوی محلی استفاده کرده اند و یک برنامه هفتگی که محدودیت های سخت در آن رعایت شده است، را بهبود داده اند. الگوریتم های مورد استفاده در این پژوهش، الگوریتم تپه نوردی اولین انتخاب، الگوریتم شبیه سازی حرارت و الگوریتم بهینه سازی تکراری تصادفی با همسایگی های ترکیبی بوده اند. در نهایت، برای ارزیابی این الگوریتم ها از داده های واقعی مربوط به یک نیمسال تحصیلی دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شاهد بهره برده اند [۴].

یک مدل ریاضی صفر و یک برای مساله زمان بندی درس های دانشگاهی با در نظر گرفتن ترجیح های استادان در مورد بازه های زمانی و موضوع های درسی و همچنین دسترس پذیری درس ها برای دانشجویان در [۵] انجام شده است. در این پژوهش ابتدا کلیه درس ها اعم از دو یا سه واحدی در بازه های زمانی متناسب با درس های سه واحدی برنامه ریزی شده اند که این کار تعداد متغیرها و محدودیت های مساله را کاهش داده است. سپس جواب به دست آمده به عنوان ورودی مدل های خطی صفر و یک جدید استفاده شده است. در این مدل ها با جابه جایی مجدد درس های دو واحدی در بازه های مجاز، جواب حاصل ارتقا یافته است. دو الگوریتم فراابتکاری کلونی مورچگان و شبیه سازی تبرید برای حل مساله به کار گرفته شده است [۵].

در پژوهش [۶] دو مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح برای مساله زمان بندی کلاس های درسی ارایه شده است. سپس دو مدل با استفاده از نرم افزار گمز مورد مقایسه قرار گرفته اند. مدل اول این پژوهش یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح مبتنی بر متغیر و مدل دوم یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح مبتنی بر فعالیت است. به طوری که در مدل دوم تعداد متغیرهای تصمیم به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. نتایج نشان داده است که مدل دوم توانایی مدل سازی مساله های با اندازه های بزرگ را داشته و از پیچیدگی اندازه و محاسباتی کمتری برخوردار است. در انتها، این مدل برای زمان بندی درس های یک نیمسال تحصیلی در دانشکده اقتصاد و علوم

اداری دانشگاه اصفهان پیاده‌سازی شده است [۶]. پژوهشی مشابه با توسعه مدل ارایه شده در [۶] با سعی در کاهش تعداد متغیرها در مدل مبتنی بر فعالیت، کارایی محاسباتی مدل را افزایش داده است [۷].

در پژوهش [۸] از رویکرد برنامه‌ریزی محدودیت برای حل مساله زمان‌بندی استفاده شده است. در مدل پیشنهادی این تحقیق، از تابع هزینه‌ای برای حداقل‌سازی تخطی از محدودیت‌های نرم استفاده شده است. ضرایب این تابع هزینه از روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی محاسبه شده‌اند. در نهایت مدل پیشنهادی برای گروه مدیریت دانشگاه اصفهان اجرا شده است. در پژوهش [۹] نیز نویسندگان به ارایه یک مدل ریاضی برای برنامه‌ریزی درس‌های دانشگاهی پرداختند که علاوه بر ارضای محدودیت‌هایی از قبیل عدم تداخل در برنامه استادان، عدم تشکیل هم‌زمان دو گروه از یک درس، ترجیح استادان هیات علمی به حق‌التدریس و حداکثر تعداد مجاز درس ارایه شده برای هر استاد در هر روز، کیفیت برنامه‌ریزی آموزشی را نیز در نظر گرفته است. آن‌ها یکی از ابعاد ارزیابی کیفیت را با دو محدودیت ارایه تمام گروه‌های یک درس و حداقل‌سازی دروس ارایه شده در دوره آخر هر روز در نظر گرفتند. در مدل پیشنهادی این تحقیق محدودیت‌های دیگری از قبیل عدم تداخل محل تشکیل کلاس‌ها، ظرفیت محل تشکیل کلاس‌ها، ظرفیت استادان برای تدریس و برگزاری هم‌زمان درس‌های پیش‌نیاز و پس‌نیاز در نظر گرفته شده است. در پایان، برای اعتبارسنجی مدل پیشنهادی یک مثال عددی با نرم‌افزار لینگو حل شده است. در پژوهش [۱۰] یک مدل ریاضی دوهدفه با در نظر گرفتن ترجیح‌های دانشجویان و استادان طراحی شده است. تابع هدف اول این مدل حداکثرسازی ترجیحات استادان را شامل می‌شود و در تابع هدف دوم حداکثرسازی ترجیحات دانشجویان در نظر گرفته شده است. به دلیل پیچیدگی مدل پیشنهادی، مدل با روش‌های مرسوم مسایل غیرخطی قابل حل نیست و نویسندگان از الگوریتم فراابتکاری شبیه‌سازی تبرید برای حل مدل بهره گرفته‌اند.

در خارج از ایران نیز پژوهش‌های مشابهی تاکنون انجام شده است. به‌عنوان مثال، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح برای تخصیص درس‌ها به بازه‌های زمانی و کلاس‌ها در پژوهشی ارایه شد. هدف مدل ارایه شده، بیشینه‌نمودن مطلوبیت تخصیص برنامه‌های آموزشی به بازه‌های زمانی بود [۱۱]. پژوهشی دیگر با ارایه یک مدل صفر و یک و تعریف یک تابع هزینه خطی به مطالعه زمان‌بندی درس‌های دانشگاهی پرداخت. در این تحقیق، مطلوبیت تخصیص درس‌ها به بازه‌های زمانی مختلف متفاوت فرض شد و برای تخصیص درس‌ها به بازه‌های زمانی هزینه‌ای در نظر گرفته شد و هدف کمینه‌کردن این هزینه تعریف شد [۱۲]. در پژوهشی دیگر یک الگوریتم جست‌وجوی ممنوع تطبیقی برای حل مساله زمان‌بندی درس‌ها ارایه داده شد. نتایج بهینه بودن این الگوریتم با پیاده‌سازی یک مجموعه داده‌ی مشخص به همراه مقایسه‌ی آن با سایر الگوریتم‌ها نیز در این پژوهش ارایه شده است [۱۳]. پژوهش‌گران دیگری مدلی برای حل مسایل زمان‌بندی درس‌های دانشگاهی با استفاده از برنامه‌ریزی عدد صحیح ارایه داده‌اند. در این پژوهش، تابع هدف، انعکاس ترجیح‌های دانشجویان و استادان در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از پژوهش نشان‌دهنده‌ی ارضای تمامی محدودیت‌های سخت و نرم بود [۱۴].

در پژوهش [۱۵] زمان‌بندی درس‌های دانشگاهی با استفاده از الگوریتم جست‌جوی همسازی ارایه شده است. سپس، کارایی الگوریتم با داده‌های چند نمونه واقعی از دانشگاه نیپر و در اندازه و محدودیت‌های مختلف

مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت، نتیجه های حاصل با برخی الگوریتم های دیگر از جمله جستجوی ممنوع مورد مقایسه قرار گرفته است. در پژوهش دیگری نویسندگان برنامه ریزی درس های دانشگاهی را مورد مطالعه قرار داده اند که با وجود حجم بالای مساله، برای حل آن روش های دقیق استفاده شده است. در پایان مدل طراحی شده با استفاده از اطلاعات دانشگاه اوکلند پیاده سازی شده است [۱۶]. در تحقیق [۱۷] با استفاده از روشی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک زمان بندی درس های دانشگاهی به نحوی انجام شده است که مصرف انرژی در کلاس های درس کمینه شود. نتایج به دست آمده با استفاده از اطلاعات دانشکده هنرهای لیبرال در دانشگاه ملی سئول در کره جنوبی نشان داده است که با استفاده از مدل پیشنهادی تحقیق مصرف انرژی در ساختمان های درسی تا ۵ درصد کاهش داشته است. در [۱۸] نویسندگان مساله زمان بندی را به دو بخش زمان بندی و تخصیص کلاس تقسیم کرده اند. آن ها از الگوریتم بندر برای تولید شکاف هایی که زمان بندی و تخصیص کلاس را به هم مرتبط می کند، استفاده کرده اند. در نهایت الگوریتم ارایه شده با سایر روش های موجود مورد مقایسه قرار گرفته است. با به کارگیری الگوریتم ژنتیک پژوهش های دیگری به حل مساله زمان بندی درس های دانشگاهی پرداخته اند [۱۹ و ۲۰].

از آن جا که مساله زمان بندی کلاس های دانشگاهی از اهمیت زیادی برخوردار است، هر روشی که باعث بهبود جدیدی شود درخور توجه خواهد بود. درس های سه واحدی در بسیاری از دانشگاه ها به صورت یک جلسه ثابت در هفته و یک جلسه هفته در میان برگزار می شوند. اما این نحوه برگزاری جلسه های درس در مقاله هایی که تاکنون منتشر شده اند، در نظر گرفته نشده است. عدم پراکندگی برنامه هفتگی دانشجویان نیز از جمله هدف های مهمی است که در برنامه ریزی درس های هر نیمسال تحصیلی در مراکز آموزش عالی مورد توجه قرار می گیرد. این هدف مهم در تحقیق هایی از جمله تحقیق [۱۳] دیده شده است اما نحوه مدل سازی این تحقیق منجر به ارایه مدلی ریاضی با تابع هدف و محدودیت های غیرخطی شده است. در تحقیق [۲۱] نیز با به کار بردن مفهومی مشابه، از روشی مبتنی بر الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر^۱ که یک روش جستجوی محلی است برای کمینه سازی تعداد حفره های زمانی بین کلاس ها و کمینه سازی درس های جدا افتاده در هر نیمروز استفاده شده است.

مدل برنامه ریزی ریاضی خطی ارایه شده در تحقیق حاضر شامل مهم ترین هدف هایی است که مدیران گروه های آموزشی برای برنامه ریزی در هر نیمسال تحصیلی در نظر می گیرند و به دلیل ماهیت پیچیده این مساله و وجود محدودیت های فراوان با وجود صرف زمان قابل توجه ممکن است به سطح مطلوبی از این اهداف دست نیابند. مدل ریاضی ارایه شده در این تحقیق شامل سه تابع هدف کمینه سازی مجموع اختلاف زمان بین آغاز تا پایان کلاس های هر گروه از دانشجویان در هر روز، بیشینه سازی مطلوبیت حاصل از تخصیص درس ها به بازه های زمانی مختلف و کمینه سازی تعداد درس های سه واحدی که فاصله بین جلسه های آن ها در یک هفته کمتر از یک روز است، می شود. کارایی مدل پیشنهادی با استفاده از اطلاعات یک مثال واقعی نشان داده شده است.

¹ Variable Neighborhood Search (VNS)

این مقاله در پنج بخش تهیه شده است. در بخش ۲ به بیان مساله، نمادگذاری و محدودیت‌های مساله پرداخته شده است. مدل‌سازی مساله در بخش ۳ ذکر شده است. در بخش ۴ یک مثال عددی واقعی که داده‌های مربوط به یک نیمسال تحصیلی گروه مهندسی صنایع دانشگاه کوثر بجنورد است، بررسی شده است. در پایان پیشنهادها و نتایج حاصل از این تحقیق در بخش ۵ ارائه شده است.

۲ بیان مساله

مدیران گروه در دانشگاه‌ها در هر نیمسال تحصیلی با صرف زمان زیادی برنامه‌ریزی درس‌های دانشگاهی را انجام می‌دهند. برنامه‌ریزی درس‌ها در رشته‌های تحصیلی که شامل چندین گروه دانشجو و دانشجویانی با شرایط تحصیلی خاص هستند (دانشجویانی که به دلایل مختلف از جمله پاس نشدن درس‌های پیشنیاز، برنامه پیشنهادی هر نیمسال تحصیلی را رعایت نکرده‌اند) سخت‌تر خواهد بود. درس‌های ارائه‌شده در گروه‌های مختلف معمولاً شامل درس‌های یک واحدی، دو واحدی و سه واحدی هستند. درس‌های یک واحدی و دو واحدی یک جلسه در هفته و درس‌های سه واحدی معمولاً به صورت یک جلسه ثابت و یک جلسه هفته در میان تشکیل می‌شوند. استادان معمولاً مایلند که جلسه‌های یک درس در طول هفته دارای حداقل یک روز فاصله باشد. با این حال با توجه به محدودیت‌های بسیاری که در زمان‌بندی درس‌ها وجود دارد، ممکن است این ترجیح برای برخی از درس‌ها رعایت نشود. علاوه بر این، مدیران گروه اغلب در تلاش هستند تا برنامه گروه‌های مختلف دانشجویان در هر روز طوری تنظیم شود که زمان بیکاری دانشجویان بین جلسه‌های درس هر روز زیاد نباشد. برای یادگیری بهتر برخی درس‌ها، زمان‌هایی برای ارائه درس پیشنهاد می‌شوند که هر کدام از آن‌ها مطلوبیت متفاوتی دارند. در مدل ریاضی ارائه‌شده در این تحقیق معیارهای ذکر شده برای تهیه برنامه درسی دانشجویان در نظر گرفته شده است. تابع هدف این تحقیق شامل سه تابع کمینه‌سازی مجموع اختلاف زمان پایان آخرین کلاس و زمان آغاز اولین کلاس در هر روز برای گروه‌های مختلف دانشجویان، بیشینه‌سازی مطلوبیت حاصل از ارائه درس‌ها و کمینه‌سازی تعداد درس‌هایی که فاصله بین جلسه‌های آن‌ها کمتر از یک روز است، می‌شود. فرض‌های عمده مساله عبارتند از:

- ۱) درس‌های یک واحدی و دو واحدی یک جلسه در هفته برگزار می‌شوند و زمان برگزاری آن‌ها در هفته زوج و هفته فرد مشابه هم است.
 - ۲) درس‌های سه واحدی به صورت یک جلسه ثابت و یک جلسه متغیر در دو هفته متوالی برگزار می‌شوند و زمان برگزاری جلسه ثابت آن‌ها در هفته زوج و هفته فرد مشابه هم است.
 - ۳) دوره‌های زمانی در طول هفته شامل ۶ جلسه درسی از ۸ صبح الی ۸ بعدازظهر در روزهای شنبه تا چهارشنبه به علاوه زمان نماز و ناهار است.
- برخی از محدودیت‌های مساله که بایستی رعایت شوند، عبارتند از:
- ۱) در یک روز، ساعت و کلاس مشخص حداکثر یک استاد، یک درس را تدریس می‌نماید.

۲) هر استاد در روز و ساعت مشخص حداکثر در یک کلاس حضور دارد و یک درس را تدریس می نماید.

۳) در هیچ کلاسی هم زمان بیش از یک درس تدریس نمی شود.

۴) ساعت های اعلام شده استادان برای ارایه درس هایشان رعایت می شود.

۵) کلاس باید ظرفیت و شرایط (ویدیو پروژکتور و ...) مورد نیاز برای ارایه درس را داشته باشد.

۶) زمانی یک درس در روز و ساعت مشخص به یک کلاس تخصیص می یابد که در آن روز و ساعت مشخص، آن کلاس در دسترس باشد.

ورودی های مساله شامل اطلاعاتی است که برای حل مساله مورد نیاز است. این اطلاعات بایستی از آموزش دانشکده، استادان و دانشجویان جمع آوری شود و شامل موارد زیر است:

۱) درس های ارایه شده در هر نیمسال: مجموعه درس هایی که نیاز است تا در نیمسال تحصیلی ارایه شوند شامل کد درس، تعداد واحد درس، ساعت های مورد نیاز برای ارایه درس و ظرفیت مورد نظر برای برگزاری درس باید مشخص شود.

۲) استادان ارایه دهنده درس ها: بایستی مشخص شود که هر درس را چه استادانی می توانند ارایه دهند.

۳) امکانات مورد نیاز ارایه درس ها: اگر برای درسی امکانات خاصی از قبیل ویدیو پروژکتور و غیره لازم است، به عنوان ورودی ذکر می گردد.

۴) ساعت پیشنهادی استادان: هر یک از استادان زمان هایی را برای حضور در کلاس های درس مدنظر دارند که این زمان ها به عنوان ورودی مساله در نظر گرفته می شود.

۵) تعداد گروه های مختلف دانشجویان: دانشجویانی که دارای شرایط انتخاب واحد مشابهی هستند، به عنوان یک گروه در نظر گرفته می شوند.

۶) درس های انتخابی توسط گروه دانشجویان: مجموعه درس هایی که برای هر گروه از دانشجویان بایستی ارایه شود، مشخص می شود. برخی درس ها ممکن است بین دو یا چند گروه مختلف مشترک باشند.

۷) تعداد و امکانات کلاس ها و دسترسی به آن ها: تعداد کلاس ها، روز و ساعت دسترسی به آن ها در هر نیمسال تحصیلی، ظرفیت هر یک از کلاس ها و همچنین امکانات آموزشی مورد نیاز برای ارایه هر درس از جمله ویدیو پروژکتور به عنوان ورودی مشخص می شوند. استفاده از برخی از کلاس ها از جمله کارگاه ها و آزمایشگاه هایی که بیرون از دانشگاه قرار دارند، ممکن است تنها در روزها و ساعت های مشخصی امکان پذیر باشد.

خروجی های این مساله برنامه درسی نیمسال تحصیلی شامل نام درس، نام استاد، زمان برگزاری کلاس درس و مکان تشکیل کلاس است. همچنین خروجی های دیگری مانند برنامه نیمسال استادان، کلاس ها و دانشجویان از جواب مساله قابل حصول است.

جدول ۱ اندیس ها و پارامترهای مدل پیشنهادی را معرفی می کند. متغیرهای مساله عبارتند از:

هفته فرد (هفته زوج) $(xz_{i,d,j,k,l})xf_{i,d,j,k,l}$: متغیر باینری تخصیص درس i در روز d و در دوره زمانی j به کلاس k و استاد l در

$X_{i,l}$: متغیر باینری تخصیص درس i به استاد l

$(ef_{d,g})ez_{d,g}$: متغیر زمان خاتمه کلاس‌های گروه g از دانشجویان در روز d در هفته فرد (هفته زوج)

$(sf_{d,g})sz_{d,g}$: متغیر زمان آغاز کلاس‌های گروه g از دانشجویان در روز d در هفته فرد (هفته زوج)

جدول ۱. اندیس‌ها و پارامترها

k, k'	اندیس کلاس
l	اندیس استاد
i	اندیس درس
i'	اندیس درس‌های یک واحدی
i''	اندیس درس‌های دو واحدی
i'''	اندیس درس‌های سه واحدی
d, d', d''	اندیس روزهای هفته
j, j', j''	اندیس بازه زمانی برگزاری کلاس
g	اندیس گروه‌های مختلف دانشجویان
C_i	مجموعه کلاس‌هایی که می‌توان در آن‌ها درس i را تدریس نمود.
F_l	مجموعه درس‌هایی که استاد l می‌تواند تدریس کند.
T_i	مجموعه استادانی که می‌توانند درس i را تدریس نمایند.
H_g	مجموعه درس‌های ارائه شده برای گروه g از دانشجویان
s_j	زمان شروع کلاس ساعت j ام
e_j	زمان خاتمه کلاس ساعت j ام
$a_{l,d,j}$	پارامتر باینری، هرگاه استاد l در روز d ام و بازه زمانی j ام مایل به برگزاری جلسه درس باشد، مقدار آن یک و در غیر این صورت مقدار آن برابر صفر است.
$b_{d,j,k}$	پارامتر باینری، اگر کلاس k در روز d و در بازه زمانی j در دسترس باشد مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.
$U_{i,j}$	مطلوبیت حاصل از ارائه درس i در بازه زمانی j
q_l	حداقل تعداد واحدهایی که بایستی به استاد l تخصیص یابد (برای در نظر گرفتن واحدهای موظف تدریس استادان هیات علمی)
$rf_{i'''}(rz_{i'''})$	متغیر باینری هرگاه فاصله بین دو جلسه درس سه واحدی i''' در هفته فرد (هفته زوج) کمتر از یک روز باشد، مقدار آن برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر است.

۳ مدل‌سازی

در این بخش، با توجه به نمادهای بیان شده در بخش قبل، توابع هدف و محدودیت‌های مساله بررسی می‌شوند.

$$\min Z_1 = \sum_d \sum_g [(ef_{d,g} - sf_{d,g}) + (ez_{d,g} - sz_{d,g})], \quad (1)$$

$$\sum_j \sum_{\substack{k \in C_i \\ b_{d \rightarrow j, k} = 1}} x f_{i^m, d \rightarrow j, k, l} + \sum_j \sum_{\substack{k \in C_i \\ b_{d, j, k} = 1}} x f_{i^m, d, j, k, l} - r f_{i^m} \leq 1$$

$$\sum_j \sum_{\substack{k \in C_i \\ b_{d \rightarrow j, k} = 1}} x z_{i^m, d \rightarrow j, k, l} + \sum_j \sum_{\substack{k \in C_i \\ b_{d, j, k} = 1}} x z_{i^m, d, j, k, l} - r z_{i^m} \leq 1 \quad \forall i^m \in F_l, l, d \quad (7)$$

محدودیت‌های (۸) نشان می‌دهد درس‌های یک واحدی و دو واحدی یک جلسه در هفته برگزار می‌شوند و زمان برگزاری آن‌ها در هفته زوج و هفته فرد مشابه هم است.

$$x f_{i', d, j, k, l} = x z_{i', d, j, k, l}$$

$$\sum_{l \in T_{i'}} \sum_d \sum_j \sum_{\substack{k \in C_{i'} \\ b_{d, j, k} = 1}} x f_{i', d, j, k, l} = 1 \quad \forall i' \in F_l, d, j, k \in C_{i'}, l \quad (8)$$

$$x f_{i'', d, j, k, l} = x z_{i'', d, j, k, l}$$

$$\sum_{l \in T_{i''}} \sum_d \sum_j \sum_{\substack{k \in C_{i''} \\ b_{d, j, k} = 1}} x f_{i'', d, j, k, l} = 1 \quad \forall i'' \in F_l, d, j, k \in C_{i''}, l$$

محدودیت‌های (۹) موجب می‌شوند تا زمان برگزاری جلسه ثابت درس‌های سه واحدی در هفته‌های زوج و فرد مشابه هم باشد.

$$x z_{i^m, d, j, k, l} \leq x f_{i^m, d, j, k, l} + 2 \left(3 - \sum_{\substack{k' \in C_{i^m} \\ b_{d', j', k'} = 1}} x f_{i^m, d', j', k', l} - \sum_{d''} \sum_{j''} \sum_{\substack{k' \in C_{i^m} \\ b_{d'', j'', k'} = 1}} x f_{i^m, d'', j'', k', l} \right)$$

$$x f_{i^m, d, j, k, l} \leq x z_{i^m, d, j, k, l} + 2 \left(3 - \sum_{\substack{k' \in C_{i^m} \\ b_{d', j', k'} = 1}} x z_{i^m, d', j', k', l} - \sum_{d''} \sum_{j''} \sum_{\substack{k' \in C_{i^m} \\ b_{d'', j'', k'} = 1}} x z_{i^m, d'', j'', k', l} \right) \quad (9)$$

$$\forall i^m \in F_l, d \neq d', j, j', k \in C_{i^m}, l$$

محدودیت‌های (۱۰) نشان می‌دهند در یک روز، ساعت و کلاس مشخص حداکثر یک استاد، یک درس را تدریس می‌کند.

$$\sum_i \sum_{l \in T_i} x f_{i, d, j, k, l} \leq 1$$

$$\sum_i \sum_{l \in T_i} x z_{i, d, j, k, l} \leq 1 \quad \forall d, j, k \in C_i, b_{d, j, k} = 1 \quad (10)$$

محدودیت‌های (۱۱) نشان می‌دهند هر استاد در روز و ساعت مشخص حداکثر در یک کلاس حضور دارد و یک درس را تدریس می‌کند.

$$\sum_i \sum_{\substack{k \in C_i \\ b_{d, j, k} = 1}} x f_{i, d, j, k, l} \leq 1$$

$$\sum_i \sum_{\substack{k \in C_i \\ b_{d, j, k} = 1}} x z_{i, d, j, k, l} \leq 1 \quad \forall d, j, l \quad (11)$$

محدودیت های (۱۲) از برگزاری هم زمان درس های مربوط به یک گروه از دانشجویان جلوگیری می کند.

$$\sum_{i \in H_g} \sum_{\substack{k \in C_i \\ b_{d,j,k}=1}} x f_{i,d,j,k,l} \leq 1 \\ \sum_{i \in H_g} \sum_{\substack{k \in C_i \\ b_{d,j,k}=1}} x z_{i,d,j,k,l} \leq 1 \quad \forall d, j, l, g \quad (12)$$

محدودیت های (۱۳) موجب می شود که ساعت های پیشنهادی استادان برای حضور در کلاس درس رعایت شود.

$$\sum_{i \in F_l} \sum_{\substack{k \in C_i \\ b_{d,j,k}=1}} x f_{i,d,j,k,l} \leq a_{l,d,j} \\ \sum_{i \in F_l} \sum_{\substack{k \in C_i \\ b_{d,j,k}=1}} x z_{i,d,j,k,l} \leq a_{l,d,j} \quad \forall d, j, l \quad (13)$$

محدودیت (۱۴) بیان می کند که هر درس تنها به یک استاد بایستی تخصیص یابد و محدودیت (۱۵) مربوط به حداقل تعداد واحدهایی است که بایستی به هر استاد تخصیص یابد.

$$\sum_{l \in I_i} x_{i,l} = 1 \quad \forall i \quad (14)$$

$$3 \sum_{i'' \in F_l} x_{i'',l} + 2 \sum_{i'' \in F_l} x_{i'',l} \geq q_l \quad \forall l \quad (15)$$

برای حل مدل سه هدفه می توان از روش وزن دهی (رابطه (۱۶)) استفاده کرد. به این ترتیب هر یک از توابع هدف بنابر نظر اعضای گروه وزن دهی خواهند شد و برنامه خروجی گروه آموزشی مشخص خواهد شد.

$$\min Z = W_1 \frac{Z_1}{Z_1^{opt}} - W_2 \frac{Z_2}{Z_2^{opt}} + W_3 \frac{Z_3}{Z_3^{opt}}, \quad (16)$$

که در آن Z_1^{opt} ، Z_2^{opt} و Z_3^{opt} جواب های بهینه حاصل از حل مدل های تک هدفه هستند.

۴ مثال عددی

در این بخش برای ارزیابی مدل پیشنهادی تحقیق به ارایه یک مثال عددی واقعی پرداخته می شود. اطلاعات این مثال مربوط به برنامه درسی دوره کارشناسی مهندسی صنایع در نیمسال دوم سال تحصیلی ۹۸-۹۹ در دانشگاه کوثر بنجورد است. در این مثال، ۱۲ استاد ($l = 1, \dots, 12$)، ۲۴ درس ($i = 1, \dots, 24$) که شامل ۸ درس یک و دو واحدی (درس های ۵، ۱۲، ۱۳، ۱۹، ۲۰، ۲۲، ۲۳ و ۲۴) و ۱۶ درس سه واحدی است، پنج روز هفته ($d = 1, \dots, 5$)، پنج دوره زمانی ($j = 1, \dots, 5$)، چهار کلاس در هر بازه زمانی ($k = 1, \dots, 4$) و چهار گروه دانشجوی ($g = 1, \dots, 4$) در نظر گرفته شده است. کلاس چهار مربوط به کارگاه های آموزشی است و تنها در دو نوبت انتهایی هر روز در دسترس هستند. سایر کلاس ها در تمامی روزها در دسترسند.

ابتدا مجموعه درس هایی که استاد l می تواند تدریس کند (F_l)، درس های مربوط به هر گروه از دانشجویان که نباید هم زمان برگزار شوند (H_g)، ساعت های حضور استادان در دانشگاه ($a_{l,d,j}$)، مطلوبیت

حاصل از تخصیص هر درس به هر بازه زمانی $(U_{i,j})$ ، کلاس‌هایی که امکان برگزار هر درس در آنجا وجود دارد (C_i) و بازه‌های زمانی که هر کلاس در دسترس است $(b_{d,j,k})$ تعیین شد.

مطلوبیت حاصل از آرایه درس‌های ۱۰، ۱۱، ۱۴، ۱۵ و ۱۷ برای بازه زمانی دوم دو برابر بازه زمانی سوم در نظر گرفته شده است و به ازای بقیه درس‌ها و بازه‌های زمانی مقدار صفر دارد. به عبارت دیگر، برای آرایه مطلوب سایر درس‌ها بازه زمانی اهمیتی ندارد. درس‌های ۱۳، ۱۸، ۲۰، ۲۲، ۲۳ و ۲۴ که مربوط به کارگاه‌های آموزشی است در کلاس چهار برگزار می‌شوند و سایر درس‌ها می‌توانند در کلاس‌های ۱ تا ۳ برگزار شوند. جزییات مربوط به ورودی‌های مساله در جدول‌های ۲ تا ۴ آمده است. در گام بعدی، با حل مدل پیشنهادی تحقیق در نرم‌افزار گمز نسخه ۲۴.۱.۲ به کمک حل‌کننده CPLEX ۱۲.۵.۱، برنامه زمان‌بندی درس‌های هر گروه از دانشجویان تعیین شد. نتایج در جدول ۵ گزارش شده است. لازم به ذکر است که برای حل مدل چندهدفه پیشنهادی تحقیق، وزن مربوط به تابع هدف‌ها یکسان فرض شده است و به این ترتیب مدل چندهدفه تبدیل به مدلی یک هدفه شده است. مقدار جواب بهینه مدل یک هدفه برای مثال عددی ذکر شده عدد یک به دست آمده است. به عبارتی دیگر، برنامه زمان‌بندی پیشنهادی این مدل هر یک از توابع هدف را نیز بهینه کرده است. در جدول ۵ سلول‌هایی که با رنگ خاکستری مشخص شده‌اند مربوط به جلسه‌های درسی هستند که به صورت هفته در میان برگزار می‌شوند.

جدول ۲. مجموعه درس‌هایی که استاد l می‌تواند تدریس کند (F_l)

استاد l	درس F_l	استاد l	درس F_l
۱	۷	۷	۱ و ۹
۲	۱۴	۸	۲
۳	۲۲	۹	۱۵ و ۱۰
۴	۱۲ و ۵	۱۰	۴
۵	۱۷ و ۱۱ و ۸	۱۱	۱۳ و ۱۶ و ۱۸ و ۲۱ و ۲۳ و ۲۵
۶	۲۰	۱۲	۳

جدول ۳. درس‌های مربوط به هر گروه از دانشجویان (H_g)

درس‌ها/شماره گروه دانشجویان	۱	۲	۳	۴	درس‌ها/شماره گروه دانشجویان	۱	۲	۳	۴
۱	*				۱۳		*		
۲	*				۱۴		*		
۳	*				۱۵		*		
۴	*	*	*		۱۶		*	*	
۵	*	*			۱۷		*		
۶	*				۱۸		*		
۷	*	*			۱۹		*	*	
۸	*				۲۰		*		
۹	*				۲۱		*		

بصیری و بیگی، مدل سازی چند هدفه زمان بندی درس های دانشگاهی با در نظر گرفتن دوره تناوب دو هفته ای: مطالعه موردی

۱۰	*		۲۲	*	
۱۱	*	*	۲۳	*	
۱۲	*	*	۲۴	*	

جدول ۴. حضور یا عدم حضور استاد l در روز d و بازه زمانی j

$(l,d) / j$	۱	۲	۳	۴	۵	$(l,d) / j$	۱	۲	۳	۴	۵
(۱,۳)				۱	۱	(۷,۱)		۱			
(۱,۴)	۱		۱			(۷,۲)	۱	۱			
(۲,۱)		۱	۱			(۷,۳)	۱	۱			
(۲,۲)	۱	۱	۱			(۷,۴)	۱	۱			
(۲,۳)	۱		۱			(۷,۵)	۱	۱			
(۲,۴)	۱	۱				(۸,۴)				۱	۱
(۳,۱)		۱	۱	۱		(۹,۱)	۱	۱	۱		
(۳,۵)	۱	۱	۱	۱		(۹,۲)	۱	۱	۱		
(۴,۱)	۱	۱	۱			(۹,۳)	۱	۱	۱		
(۴,۴)			۱			(۹,۵)	۱	۱	۱		
(۴,۵)	۱		۱			(۱۰,۱)				۱	۱
(۵,۱)		۱				(۱۰,۲)				۱	۱
(۵,۲)		۱				(۱۱,۱)	۱		۱	۱	۱
(۵,۳)			۱			(۱۱,۲)	۱		۱	۱	۱
(۵,۴)		۱				(۱۱,۳)	۱		۱	۱	۱
(۵,۵)		۱				(۱۱,۴)	۱		۱	۱	۱
(۶,۴)		۱				(۱۱,۵)	۱		۱	۱	۱
(۷,۱)		۱				(۱۲,۱)		۱	۱	۱	۱

جدول ۵. برنامه زمان بندی حاصل از مدل پیشنهادی تحقیق برای تمامی گروه های دانشجویی

روز		۱۰-۸	۱۲-۱۰	۱۶-۱۴	۱۸-۱۶	۲۰-۱۸
شبه-فرد	نوبت	۱	۲	۳	۴	۵
	کلاس	۱ ۲ ۳ ۴	۱ ۲ ۳ ۴	۱ ۲ ۳ ۴	۱ ۲ ۳ ۴	۱ ۲ ۳ ۴
	درس	۱۶ ۱۲	۸ ۱۴	۶ ۲۱	۳	۳
	استاد	۱۱ ۴	۵ ۲	۴ ۳	۱۲	۱۲
شبه-زوج	نوبت	۱	۲	۳	۴	۵
	کلاس	۱ ۲ ۳ ۴	۱ ۲ ۳ ۴	۱ ۲ ۳ ۴	۱ ۲ ۳ ۴	۱ ۲ ۳ ۴
	درس	۱۶ ۱۲	۸ ۱۴	۶ ۲۱	۳	
	استاد	۱۱ ۴	۵ ۲	۴ ۳	۱۲	
روز		۱۰-۸	۱۲-۱۰	۱۶-۱۴	۱۸-۱۶	۲۰-۱۸
شنبه	نوبت	۱	۲	۳	۴	۵

	کلاس	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴
	درس							۱۵				۱۱		۴			۲۵			۴	۲۰
	استاد							۹				۵		۱۰			۱۱			۱۰	۱۱
یکشنبه-زوج	نوبت	۱				۲				۳				۴				۵			
	کلاس	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴
	درس							۱۵				۱۱		۴			۲۵				۲۰
	استاد							۹				۵		۱۰			۱۱				۱۱
روز		۱۰-۸				۱۲-۱۰				۱۶-۱۴				۱۸-۱۶				۲۰-۱۸			
دوشنبه-زوج و فرد	نوبت	۱				۲				۳				۴				۵			
	کلاس	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴
	درس			۹		۱۰	۱		۱۷								۲۳				۱۸
	استاد			۷		۹	۷		۵								۱۱				۱۱
روز		۱۰-۸				۱۲-۱۰				۱۶-۱۴				۱۸-۱۶				۲۰-۱۸			
سه شنبه-فرد	نوبت	۱				۲				۳				۴				۵			
	کلاس	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴
	درس					۱۹		۱۴			۷				۲	۱۳					۲۲
	استاد					۶		۲			۱				۸	۱۱					۱۱
سه شنبه-زوج	نوبت	۱				۲				۳				۴				۵			
	کلاس	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴
	درس	۷				۱۹		۱۱			۷				۲	۱۳	۲				۲۲
	استاد	۱				۶		۵			۱				۸	۱۱	۸				۱۱
روز		۱۰-۸				۱۲-۱۰				۱۶-۱۴				۱۸-۱۶				۲۰-۱۸			
چهارشنبه-فرد	نوبت	۱				۲				۳				۴				۵			
	کلاس	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴
	درس	۵	۲۱			۱۵	۸	۱			۱۶	۶					۱۸				
	استاد	۴	۳			۹	۵	۷			۱۱	۵					۱۱				
چهارشنبه-زوج	نوبت	۱				۲				۳				۴				۵			
	کلاس	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴
	درس	۵	۹			۱۰	۱۷														
	استاد	۴	۷			۹	۵														

برای نمایش بهتر برنامه زمان بندی خروجی، برنامه درسی مربوط به گروه ۳ از دانشجویان در جدول ۶ آمده است. کد مربوط به هر درس در داخل پرانتز ذکر شده است. همان طور که در این جدول ۶ مشاهده می شود کلاس های درس به صورت منسجم برنامه ریزی شده اند. علاوه بر آن، درس های تحقیق در عملیات ۲، اقتصاد مهندسی و اصول شبیه سازی در ساعت مطلوب استادان درس (ابتدا ساعت ۱۰-۱۲ و سپس ساعت ۱۴-۱۶)

برگزار می شود. جلسه های کلاسی مربوط به درس تحلیل سیستم ها و کنترل پروژه به دلیل ساعت اعلامی استادان مدعو گروه در یک روز زمان بندی شده است.

جدول ۶. برنامه زمان بندی حاصل از مدل پیشنهادی تحقیق برای گروه ۳ از دانشجویان

روز/نوبت	۱۰-۸	۱۲-۱۰	۱۶-۱۴	۱۸-۱۶	۲۰-۱۸
شنبه	مدیریت مالی (۱۲)	اصول شبیه سازی (۸)			
یکشنبه			اقتصاد مهندسی (۱۱)	تحلیل سیستم ها (۴)	تحلیل سیستم ها، فرد
دوشنبه	طرح ریزی واحدهای صنعتی (۹)	تحقیق در عملیات ۲ (۱۷)			
سه شنبه	کنترل پروژه، زوج	اقتصاد مهندسی، زوج	کنترل پروژه (۷)	کارگاه ریختگری (۱۳)	
چهارشنبه	طرح ریزی واحدهای صنعتی، زوج	اصول شبیه سازی، فرد تحقیق در عملیات ۲، زوج			

لازم به ذکر است که در برنامه زمان بندی تمامی گروه های دانشجویان تنها ۴ درس ۳ واحدی در جلسه هایی با فاصله کمتر از یک روز برگزار می شوند که به دلیل ساعت های اعلامی استادان مدعو اجتناب ناپذیر بوده است.

۵ نتیجه گیری

مساله زمان بندی کلاس های دانشگاهی از جمله مسایل مهم در دانشگاه ها است و هر روشی که باعث بهبودی در حل این مساله شود درخور توجه خواهد بود. عموماً برنامه های درسی در دانشگاه ها در هر نیمسال تحصیلی به صورت دستی و با صرف زمان زیادی تهیه می شوند.

در این پژوهش یک مدل ریاضی خطی چندهدفه شامل سه تابع هدف کمینه سازی مجموع اختلاف زمان پایان آخرین کلاس و زمان آغاز اولین کلاس در هر روز برای گروه های مختلف دانشجویان، بیشینه سازی مطلوبیت حاصل از ارایه درس ها و کمینه سازی تعداد درس های سه واحدی که فاصله بین جلسه های آن ها کمتر از یک روز است، تعریف شده است. همچنین مدل پیشنهاد شده همه محدودیت های شامل عدم تداخل برنامه ای استادان، کلاس ها و دانشجویان و همچنین محدودیت های مربوط به نحوه ارایه درس های مختلف را در نظر می گیرد. در ادامه، مدل پیشنهاد شده براساس داده های واقعی از گروه مهندسی صنایع دانشگاه کوثر بجنورد مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاکی از آن است که مدل پیشنهادی تحقیق می تواند در زمانی معقول برنامه زمان بندی درس های گروه های مختلف دانشجویان را با در نظر گرفتن تمامی محدودیت ها تعیین نماید.

در اکثر مقاله های علمی پژوهشی که تاکنون منتشر شده اند، فرض شده است که تمامی درس ها در طول هفته یک یا دو جلسه برگزار می شوند. در حالی که با توجه به سرفصل های مصوب وزارت علوم، تحقیقات و فناوری و ساعت های مورد نیاز برای ارایه درس های ۳ واحدی در یک نیمسال، در بسیاری از دانشگاه ها نحوه

ارایه درس‌های ۳ واحدی به صورت یک جلسه ثابت در هفته و یک جلسه هفته در میان است. در این تحقیق برنامه درس‌های گروه آموزشی برای هفته‌های زوج و فرد به تفکیک ارایه شده است.

علاوه بر این، در این تحقیق یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی خطی چندهدفه پیشنهاد شده است. مدل چندهدفه این تحقیق شامل مهم‌ترین اهدافی است که مدیران گروه‌های آموزشی برای برنامه‌ریزی در هر نیمسال تحصیلی آن‌ها را در نظر می‌گیرند. در حالی که در اغلب تحقیق‌هایی که تاکنون انجام شده است تابع هدف به صورت کمینه‌سازی تخطی از محدودیت‌های نرم تعریف شده است و بیشتر این تحقیق‌ها بر ارایه الگوریتمی برای یافتن پاسخی نزدیک به بهینه با زمان اندک متمرکز شده‌اند؛ استفاده از مدل پیشنهادی این تحقیق باعث می‌شود تا برنامه هفتگی گروه‌های مختلف دانشجویان به طور منسجم در طول هفته زمان‌بندی شود (تابع هدف اول) و زمان‌های بیکاری بین جلسه‌های درس حداقل باشد. پیشینه‌سازی مطلوبیت حاصل از ارایه درس‌ها در بازه‌های زمانی مناسب به عنوان تابع هدف دوم مدل در نظر گرفته شده است. تابع هدف سوم نیز باعث می‌شود تا جایی که امکان دارد فاصله بین جلسه‌های درس‌های سه واحدی کمتر از یک روز نباشد.

قدردانی

در اینجا لازم است تا از سردبیر، هیأت تحریریه و داوران محترم مجله به خاطر صرف وقت در مطالعه مقاله و ارایه پیشنهادات ارزنده که باعث بهبود چشمگیری در مقاله شده است، تقدیر و تشکر شود. نویسندگان این مقاله از طرف دانشگاه کوثر بجنورد با شماره قرارداد NO.9712201690 حمایت شده‌اند.

منابع

- [1] Ebrahimi, M., Khoshalahan, F., Borajee, M., Tehranian, O., (2014). A multi-objective scatter search algorithm for solving multi-objective vehicle routing problem with loading cost and workload balacing, Journal of Operations Research in its Applications. 3 (42), 35-57.
- [2] Luenberger, D. G. and Ye, Y., (1984). Linear and nonlinear programming (Vol. 2). Reading, MA: Addison-wesley.
- [3] Monajemi, A. H., Masoudian, S., Estaki, A., and Nematbakhsh, N., (2009). Designing an Automated Timetable for University Courses Using Genetic Algorithms. Technology of Education Journal (TEJ). 4(1), 23-37.
- [4] Hasanzadeh, M., and Bashizade, R., (2012). Optimizing University Course Timetable Using Local Search Methods. Soft Computing Journal. 1(1), 24-31.
- [5] Mir Mohammadi, S. H. and Rastgar Amin, F., (2015). University Course Schedule and Assignment Based on Preliminary Registration Statistics, International Journal of Industrial Engineering and Production Management. 26 (3), 329-344.
- [6] Esmaelian, M. and Abdollahi, S. M., (2016). Binary Integer Programming for University Timetabling (The Case: Faculty of Administrative Sciences and Economics of Esfahan University), Industrial Management Studies. 14(41), 163-187.
- [7] Esmaelian, M. and Abdollahi, S. M., (2017). Proposing a Two-Phase Integer Linear Programming for University-Course Timetabling, Industrial Management Journal. 9(1), 19-42
- [8] Shahmoradi, H., Ketabi, S. and Esmaelian, M., (2017). University Course Timetabling using Constraint Programming, Journal of Production and Operations Management. 8(1), 119-138.
- [9] Tavakoli, M. M., Shirouyehzad, H., Hosseinzadeh Lotfi, F., Najafi, E., (2018). Proposing a New Mathematical Model for Planning of University Course Timetabling based on Quality of Lesson Presentation TT, Journal of Operational Research and Its Applications. 15(3), 45-66.

- [10] Vaziri, Sh., Zaretalab, A. and Sharifi, M., (2019). Development of multi-objective simulated annealing based decision support system for course timetabling with consideration preferences of teachers and students, *Industrial Management Studies*. 17(55), 35–64.
- [11] Dimopoulou M, Miliotis P., (2001). Implementation of a university course and examination timetabling system, *European Journal of Operational Research*. 130(1), 202-213.
- [12] Daskalaki, S., Birbas, T., and Housos, E., (2004). An integer programming formulation for a case study in university timetabling. *European Journal of Operational Research*. 153(1), 117-135.
- [13] Lü, Z. and Hao, J. K., (2010). Adaptive tabu search for course timetabling. *European Journal of Operational Research*. 200(1), 235-244.
- [14] Havås, J., Olsson, A., Persson, J. and Schierscher, M. S. (2013). Modeling and optimization of university timetabling-A case study in integer programming. Student Thesis, University of Gothenburg, Gothenburg, Sweden.
- [15] Al-Betar, M. A., Khader, A. T., and Zaman, M. (2012). University course timetabling using a hybrid harmony search metaheuristic algorithm. *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on*. 42 (5), 664-681.
- [16] Phillips, A., Ryan, D., and Ehrgott, M., (2013). Solving the classroom assignment problem using integer programming. In *Proceedings of the 2013 Joint New Zealand Statistical Association (NZSA)+ Operations Research Society of New Zealand (ORSNZ) Conference*, Hamilton, New Zealand.
- [17] Kwonsik S. Sooyoung, K. Moonseo, P and Hyun-Soo, L., (2017). Energy efficiency-based course timetabling for university buildings. *Energy*. 139, 394-405.
- [18] Bagger, N. C. F., Sørensen, M., and Stidsen, T. R., (2018). Benders' decomposition for curriculum-based course timetabling. *Computers and Operations Research*. 91, 178-189.
- [19] Modibbo, U. M., Umar, I., Mijinyawa, M., and Hafisu, R., (2019). Genetic Algorithm for Solving University Timetabling Problem. *Amity Journal of Computational Sciences (AJCS)*. 3 (1), 43-50.
- [20] Shen, J. J., Dong, H. Z., Su, Y. R., and Zhang, Z. G., (2019). Application of Genetic Algorithm and Simulated Annealing Algorithm for Course Scheduling Problem. In *2019 International Conference on Modeling, Analysis, Simulation Technologies and Applications (MASTA 2019)*. Atlantis Press.
- [21] Rahma, B. Abdelkarim, E and Malek, M., (2017). Variable neighborhood descent search based algorithms for course timetabling problem: Application to a Tunisian University. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*. 58, 119-126.