

زمان بندی کلاس های درس با استفاده از برنامه ریزی عدد صحیح

مجید اسماعیلیان،* سیده مریم عبداللهی**

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۲

چکیده

زمان بندی کلاس های درس یکی از شاخه های مهم مساله های عمومی زمان بندی است. مساله زمان بندی درس ها، به عنوان یک گام از فرایند برنامه ریزی درسی در دانشگاه ها، از جمله چالش هایی است که برنامه ریزان حوزه آموزش با آن مواجه هستند. مساله عبارت است از تخصیص درس های دانشگاهی به دوره های زمانی خاص در طول هفته برای یک نیم سال تحصیلی به طوری که محدودیت های معینی ارضا گردند. در این پژوهش، دو مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح برای مساله زمان بندی کلاس های درس ارائه شده است. چند مساله نمونه با استفاده از هر دو مدل، مدل سازی و با نرم افزار GAMS حل و نتیجه های بدست آمده (تعداد متغیرها و زمان حل) مقایسه و تحلیل شده اند. مقایسه نتیجه ها نشان می دهد که مدل دوم، توانایی مدل سازی مساله های با اندازه های بزرگ را داشته و از پیچیدگی اندازه و محاسباتی کمتری برخوردار است. این مدل برای زمان بندی بهینه درس های یک نیم سال تحصیلی در دانشکده اقتصاد و علوم اداری دانشگاه اصفهان استفاده شده و نتیجه های آن شامل جداول زمان بندی دروس اساتید، گروه های دانشجویان، کلاس های درس و روزهای هفته ارائه گردیده است.

واژه های کلیدی: مساله زمان بندی درس های دانشگاهی، برنامه ریزی خطی عدد صحیح، بهینه سازی

* استادیار گروه مدیریت صنعتی دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم اداری و اقتصاد (نویسنده مسئول)

Majid_esmaelian@yahoo.com

** دانش آموخته کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی

مقدمه

مساله زمان‌بندی از اواخر دهه ۱۹۵۰ مورد توجه پژوهش‌گران قرار گرفته و به دلیل ماهیت پیچیده و همچنین کاربرد گسترده آن در برنامه‌ریزی، پژوهش‌های زیادی در این زمینه، انجام شده است. مساله عمومی زمان‌بندی به تخصیص فعالیت‌ها به منابع می‌پردازد به طوری که این منابع بازه‌های زمانی را برای انجام فعالیت‌ها با وجود محدودیت‌های جانبی فراهم می‌آورند. کاربردهای زیادی از زمان‌بندی در ادبیات پژوهش مطرح شده است. از آن جمله می‌توان به زمان‌بندی امتحان‌ها (کاهار و کندال، ۲۰۱۰)، زمان‌بندی پروژه (آگاروال، کلاک و ارنگس، ۲۰۱۱)، زمان‌بندی کلاس‌های درس (پاست، کینگستون، احمدی، داسکالاکی، گگنز، کینگاس و اسکیرف، ۲۰۱۱) (میرحسینی و حبیبی، ۲۰۱۳)، زمان‌بندی کارکنان (باررا، ولاسکو و آمایا، ۲۰۱۲)، زمان‌بندی پروازها (پیتا، بارنهارت و آنتونس، ۲۰۱۲)، زمان‌بندی حرکت وسایط نقلیه عمومی (شفیعی، آقایی، سجادی و جمیلی، ۲۰۱۲) (کاسپی و راویو، ۲۰۱۳) و زمان‌بندی مسابقه‌های ورزشی (نارمی، گازنس و کینگاس، ۲۰۱۳) اشاره کرد. در این پژوهش مساله زمان‌بندی درس‌های دانشگاهی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. این مساله، به صورت فرایند تخصیص درس‌های دانشگاهی به دوره‌های زمانی معین و به کلاس‌های درس واجد شرایط برای تعداد مشخصی دانشجو و استاد در طول پنج روز کاری هفته تعریف شده است (داسکالاکی، بیرباس و هاوسس، ۲۰۰۴). برنامه‌ریزان حوزه آموزش در دانشگاه‌ها، همواره با منابع و محدودیت‌های گوناگون در تنظیم جدول زمانی کلاس‌های درسی مواجه هستند به طوری که تهیه یک جدول زمانی با در نظر گرفتن تمام این محدودیت‌ها در زمان کوتاه و بدون تداخل در تخصیص منابع به صورت غیرخودکار امری بسیار دشوار است. همچنین اعمال تغییرات لازم ناشی از تغییر در میزان و زمان دسترسی به منابع و یا تغییر در سیاست‌های دانشگاه‌ها در رابطه با قوانین و اولویت‌های برنامه‌ریزی، به راحتی امکان‌پذیر نیست. از سوی دیگر با گسترش کمی دانشکده‌ها از نظر گوناگونی رشته‌های تحصیلی، پذیرش دانشجو و مقطع‌های تحصیلی در ایران، ارائه روش‌های خودکار برنامه‌ریزی زمانی کلاس‌ها در مدت

زمان کوتاه، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. پژوهش حاضر در همین راستا و با هدف دستیابی به جدول بهینه زمان‌بندی کلاس‌های درسی با رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح ارائه می‌گردد. مدل‌سازی مساله بر اساس محدودیت‌ها و اهداف برنامه‌ریزان حوزه آموزش بوده و مدل‌های ارائه شده در این پژوهش قابل تعمیم به سایر دانشکده‌ها می‌باشند. در بخش‌های بعدی ضمن مرور ادبیات و پیشینه پژوهش، ابتدا مفروضات، محدودیت‌ها و اهداف زمان‌بندی کلاس‌های درس تعیین شده و مساله زمان‌بندی درس‌های دانشگاهی مورد مطالعه این تحقیق در قالب مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مبتنی بر متغیر مدل‌سازی می‌گردد. سپس یک مدل جدید برنامه‌ریزی عدد صحیح مبتنی بر فعالیت بر پایه مفروضات و محدودیت‌های ذکر شده، ارائه می‌شود به طوری که در مدل جدید، تعداد متغیرهای تصمیم به میزان قابل توجهی کاهش یافته و در نتیجه امکان حل بهینه مساله‌های با اندازه‌های بزرگتر را در زمان کوتاه‌تری فراهم می‌نماید. هر دو مدل ارائه شده دارای پیچیدگی محاسباتی و پیچیدگی اندازه‌بالایی می‌باشند، ولی مدل مبتنی بر فعالیت بسیار کاراتر از مدل مبتنی بر متغیر است. جهت بررسی و تحلیل کارایی مدل دوم، چند مساله نمونه مدل‌سازی و با استفاده از نرم افزار GAMS حل و نتیجه‌های آن‌ها تحلیل و مقایسه می‌شوند. در پایان، زمان‌بندی درس‌های دانشکده اقتصاد و علوم اداری دانشگاه اصفهان به عنوان مطالعه موردی با استفاده از مدل دوم، مدل‌سازی و نتیجه‌های حاصل از حل آن ارائه می‌گردد.

مساله زمان‌بندی درس‌های دانشگاهی

زمان‌بندی درس‌های دانشگاهی یکی از پرکاربردترین انواع مساله‌های زمان‌بندی است که پیچیدگی ناشی از اندازه، آن را در دسته مساله‌های NP-Hard چند بعدی قرار داده است. مساله زمان‌بندی عبارت است از زمان‌بندی درس‌ها، دانشجویان، استادان و کلاس‌ها در تعداد ثابتی از بازه‌های زمانی با در نظر گرفتن محدودیت‌های مشخص شده از سوی دانشگاه (بصیر، اسماعیل و نرواوی، ۲۰۱۳). مساله مورد نظر شامل ترکیب‌های گوناگونی از تعداد زیادی دانشجویان، استادان، کلاس‌ها و کلاس است به طوری که امکان انتخاب هر ترکیب تحت شرایط و

اهداف مورد نظر برنامه‌ریزان وجود دارد. به دلیل وجود تفاوت در تشکیلات دانشگاهی، ساختار زمان‌بندی متفاوت است (مکملان، ۲۰۰۷). زمان‌بندی، یک مساله NP-hard بوده و در طول چندین سال، پژوهش‌گران روش‌های گوناگونی برای حل آن ارائه کرده‌اند. از جمله روش‌ها و الگوریتم‌های مطرح شده در این زمینه می‌توان از برنامه‌ریزی عدد صحیح (الیاکوب و شرالی، ۲۰۰۷)، مساله رنگ آمیزی گراف^۱، روش‌های مبتنی بر محدودیت^۲ (هاو و بنلیک، ۲۰۱۱) و الگوریتم‌های فراابتکاری (دی کازمیکر، دمیستر و وندن برگ، ۲۰۰۹) (البتار، خادر و زمان، ۲۰۱۲) نام برد. رنگ آمیزی گراف، مساله تخصیص کمترین تعداد رنگ به گره‌های یک گراف است به طوری که هیچ دو گره هم‌رنگی با یک یال به یکدیگر متصل نشده باشند (دی کازمیکر و دیگران، ۲۰۰۹). در روش‌های مبتنی بر محدودیت، مجموعه‌ای از متغیرها (رویدادها) با شرط برقراری تعدادی محدودیت سخت و نرم، به منابعی از جمله استادان و کلاس‌ها تخصیص می‌یابند. برخلاف الگوریتم‌های بهینه‌سازی دقیق، روش‌های فراابتکاری راه‌حل‌های قابل پذیرش در زمان معقول را برای مساله‌های پیچیده و سخت ارائه می‌نمایند. از پرکاربردترین روش‌های فراابتکاری در حل مساله‌های بهینه‌سازی می‌توان از الگوریتم جستجوی ممنوع^۳، الگوریتم ژنتیک^۴، الگوریتم شبیه‌سازی تبرید^۵ و الگوریتم اجتماع مورچگان^۶ نام برد. مرور جامع بر ادبیات تحقیق در مطالعات برخی محققین (میرحسینی و دیگران، ۲۰۱۳) انجام شده است. از جمله اولین روش‌های ارائه شده در این زمینه می‌توان به الگوریتم خطی محاسبه جدول زمان‌بندی بهینه با تمرکز بر جلوگیری از تداخل در تخصیص‌ها (آکیونلو، ۱۹۷۳) و مدل زمان‌بندی چندهدفه با رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی^۷ (بادری، دیویس، دیویس و هالینگزورس، ۱۹۹۸) اشاره کرد. در سال ۲۰۰۴ یک مدل برنامه‌ریزی صفر و یک از مساله زمان‌بندی درس‌ها توسط داسکالاکی و دیگران فرموله شد. در این مدل، هدف،

¹ Graph-coloring problem

² Constraint based methods

³ Tabu search algorithm

⁴ Genetic algorithm

⁵ Simulated annealing algorithm

⁶ Ant colony algorithm

⁷ Goal programming

کمینه‌سازی تابع هزینه خطی تحت ترجیح‌های برنامه‌ریزان در رابطه با دوره‌های زمانی، روزهای هفته و یا کلاس‌های درس برای درس‌های خاص تعریف شده است. کاستاچ (۲۰۰۵)، روشی دو مرحله‌ای مبتنی بر الگوریتم شبیه‌سازی تبرید ارائه کرده است. یک الگوریتم فراابتکاری تجزیه شده دو مرحله‌ای برای حل یک مساله واقعی زمان‌بندی درس‌ها با ویژگی هم‌پوشانی بازه‌های زمانی توسط دی‌کازمیکر و دیگران (۲۰۰۹) ارائه شد. یک رویه ابتکاری بر اساس الگوریتم اجتماع مورچگان، توسط نادگر، مایر، واتال و راییدی (۲۰۱۲)، توسعه داده شد. در این الگوریتم، راه‌حل‌ها مبتنی بر فرامون‌ها^۱ و اطلاعات محلی ساخته می‌شوند. در این روش، دو ماتریس جداگانه ولی ساده شده جهت بهبود جواب‌ها و هم‌گرایی الگوریتم مورد استفاده قرار گرفته‌اند. البتار و دیگران (۲۰۱۲)، زمان‌بندی درس‌های دانشگاهی را با استفاده از الگوریتم جستجوی همساز^۲ حل کردند. کارایی الگوریتم با داده‌های چند نمونه واقعی از دانشگاه ناپیر و در اندازه و محدودیت‌های مختلف بررسی و نتیجه‌های حاصل با برخی الگوریتم‌های دیگر از جمله جستجوی ممنوع، مقایسه شده است. بادونیو، کپتا و میشر (۲۰۱۴)، یک الگوریتم پیوندی^۳ جدید (NHA) از ترکیب الگوریتم ژنتیک با جستجوی محلی و تعریف رویدادها مبتنی بر گروه‌بندی دانشجویان برای حل مساله زمان‌بندی ارائه کردند. در این پژوهش، کارایی الگوریتم پیشنهادی بر اساس مقدارهای گوناگون عوامل از جمله اندازه جمعیت و عملگرهای ترکیب^۴ و تقاطع^۵ محاسبه و مقایسه شده است. یک الگوریتم پیوندی بهینه‌سازی اجتماع زنبورها^۶ (BCO) به منظور حل مساله‌های زمان‌بندی درس‌ها توسط الزاقبه و عبدالله (۲۰۱۵) توسعه یافت. در این الگوریتم، سه قابلیت ویژه ایجاد شده است: استفاده از راهبردهای گوناگون انتخاب، ایجاد یک روش خود-تنظیمی برای انتخاب ساختار همسایگی در فرایند جستجو و ترکیب با الگوریتم‌های جستجوی محلی. فیلیپس، واترر، ارگات و رایان (۲۰۱۵) مساله زمان‌بندی درس‌های دانشگاهی را با روش

¹ Pheromone

² Harmony search algorithm

³ Hybrid algorithm

⁴ Mutation operator

⁵ Crossover operator

⁶ Bee colony optimization

برنامه‌ریزی عدد صحیح مدل‌سازی کردند. مدل ارائه شده با استفاده از داده‌های مربوط به دانشگاه آکلند بررسی شده است. بهداد، دهقانی و ذاکر تولایی (۱۳۸۵)، در پژوهشی، گام‌های به کارگیری الگوریتم ژنتیک به منظور زمان‌بندی درس‌ها را به همراه اصلاحاتی از قبیل تغییراتی در مدل اولیه مساله، روشی جدید در رمزگذاری و معرفی عملگرهای هوشمند جهش و ترکیب ارائه کردند. خاتمی فیروزآبادی، رحیمی مزرعه شاهی و محتشمی (۱۳۸۵) یک مدل برنامه‌ریزی صفر و یک برای زمان‌بندی دوره‌های تحصیلی در یک موسسه آموزشی کوچک ارائه نمودند. در این پژوهش محدودیت‌ها به دو دسته سخت و نرم تفکیک شده و برای تعریف محدودیت‌های نرم از برنامه‌ریزی آرمانی استفاده شده است. یک الگوریتم ژنتیک تغییر یافته در حل مساله بهینه‌سازی جدول زمانی درس‌ها برای یک دانشکده فرضی توسط منجمی، حسینک مسعودیان، استکی و نعمت بخش (۱۳۸۸)، ارائه شده است. در این رویکرد، روند تکاملی پاسخ‌ها طی تکرار نسل‌ها در الگوریتم ژنتیک، در نهایت منجر به تولید جدول زمان‌بندی درس‌ها می‌شود. جودکی، منتظری و موسوی (۱۳۹۰)، یک روش مبتنی بر الگوریتم ممتیک بهبود یافته^۱ که از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید به عنوان رویه جستجوی محلی خود استفاده می‌کند، برای حل یک مساله زمان‌بندی واقعی ارائه کردند. سلیمی فرد و بابایی زاده (۱۳۹۰)، یک سامانه پشتیبانی تصمیم برای زمان‌بندی کلاس‌های دانشگاهی طراحی و پیشنهاد کردند. این سامانه با به کارگیری پایگاه داده رابطه‌ای از اطلاعات مربوط به رویدادها، منابع در دسترس و عوامل درگیر، مساله را با استفاده از الگوریتم‌های ابتکاری حل نموده و جواب پذیرفتنی را در مدت زمان قابل قبول در اختیار کاربر قرار می‌دهد.

زمان‌بندی درس‌های دانشگاهی: مفاهیم و قاعده‌ها

در فرایند زمان‌بندی، درس‌ها در یک ساختار هفتگی و با در نظر گرفتن محدودیت منابع موجود شامل استادان و کلاس‌های درس، زمان‌بندی می‌شوند. منظور از درس، یک واحد از

¹ Improved mimetic algorithm

آموزش در طول یک نیم‌سال آموزشی است که توسط یک و یا تعداد بیشتری مدرس (استاد و یا هر نیروی انسانی آموزشی دیگر در دانشگاه) تدریس می‌شود. قالب‌های متفاوتی از درس در دانشگاه‌ها از جمله واحدهای نظری، سمینارها، درس‌های خودآموز، واحدهای آزمایشگاهی (عملی) و غیره به صورت اجباری و یا اختیاری تعریف می‌گردند. تمام دانشجویانی که در یک رشته تحصیلی و در یک نیم‌سال آموزشی ثبت‌نام شده‌اند به عنوان یک گروه آموزشی در نظر گرفته می‌شوند. ساختار زمانی هفتگی با دو پارامتر تعریف می‌شود: تعداد روزهای کاری هفته و تعداد ساعت‌های آموزشی (دوره‌های زمانی) در یک روز که توسط تشکیلات آموزشی دانشگاه معین می‌شوند. چند قاعده اصلی در فرایند زمان‌بندی مد نظر است به طوری که تخطی از آنها به دلیل ماهیت مساله غیر ممکن است. این قاعده‌ها عبارتند از:

الف) محدودیت منابع: برای هر درس محدودیت منابع مورد نیاز شامل استادان واجد شرایط و کلاس‌های درس در دسترس باید در برنامه‌ریزی لحاظ گردد.

ب) عدم امکان تداخل: تخصیص یک استاد به بیش از یک درس، یک گروه و یا یک کلاس در یک ساعت آموزشی، تخصیص یک کلاس به بیش از یک درس، یک استاد و یک گروه در یک ساعت و برنامه‌ریزی بیش از یک درس، یک استاد و یا یک کلاس در یک دوره زمانی به یک گروه امکان پذیر نیست.

ج) لزوم کامل بودن برنامه آموزشی: تعداد جلسه‌های هر درس برای همه گروه‌ها در یک هفته باید به طور کامل برنامه‌ریزی شود.

د) محدودیت‌هایی که تحت عنوان محدودیت‌های نرم^۱ شناخته می‌شوند، تا حد امکان باید رعایت گردند اگرچه ممکن است برای برخی درس‌ها، استادان و یا گروه‌های آموزشی نقض شوند. در مساله‌های بهینه‌سازی معمولاً نقض محدودیت‌های نرم با جریمه همراه است. به عنوان نمونه می‌توان به محدودیت‌های، حداقل کردن انفصال در برنامه، حداقل بودن جابه‌جایی کلاس‌ها و رعایت حداکثری ترجیحات استادان اشاره کرد.

¹ Soft constraints

تعریف مساله

هدف مساله، ارائه مدل زمان‌بندی درس‌های دانشگاهی است به طوری که ترجیح‌های استادان در رابطه با زمان برگزاری جلسه‌های درسی در قالب محدودیت‌های موجود حداکثر گردند. مجموعه درس‌ها بر اساس تعداد واحد به دو گروه درس‌های واحد-فرد و واحد-زوج دسته‌بندی می‌شوند به طوری که به ازای هر واحد درس ۱۶ ساعت آموزشی در طول یک نیم‌سال تحصیلی مورد نیاز است. جلسه‌های برگزار شده برای درس‌ها نیز به دو دسته جلسه‌های یک دوره‌ای و جلسه‌های دو دوره‌ای تقسیم بندی می‌گردند. طول هر دوره برابر با ۴۵ دقیقه است. برای درس‌های ۲ واحدی یک جلسه دو دوره‌ای، برای درس‌های ۴ واحدی دو جلسه دو دوره‌ای و برای درس‌های ۳ واحدی یک جلسه دو دوره‌ای و یک جلسه یک دوره‌ای در هفته برگزار می‌شوند. ساعت‌های آموزشی در طول یک روز نیز به دو دسته دوره‌های زمانی فرد و دوره‌های زمانی زوج تقسیم می‌شوند. شروع دوره‌های زمانی فرد در ساعت‌های ۸:۰۰ و ۱۰:۰۰ صبح و ۱:۰۰ و ۳:۰۰ بعد از ظهر و شروع دوره‌های زمانی زوج در ساعت‌های ۹:۰۰ و ۱۱:۰۰ صبح و ۲:۰۰، ۴:۰۰ و ۵:۰۰ بعد از ظهر است. هدف و محدودیت‌های برنامه‌ریزی عبارت‌اند از: الف: برنامه‌ریزی دو جلسه برای یک درس و یک گروه در یک روز مجاز نیست، ب: تمام جلسات مربوط به یک درس و یک گروه الزاماً باید به یک استاد تخصیص یابند، ت: تفاوتی در برنامه‌ریزی درس‌های اختیاری و اجباری وجود ندارد، ج: حداقل و حداکثر تعداد جلسه‌های مجاز برای هر استاد باید رعایت شوند. بر اساس سیاست‌های مد نظر مدیران هر دانشکده، این مقادارها برای استادان مختلف ممکن است متفاوت باشد. د: شروع جلسه‌های دو دوره‌ای در دوره‌های زمانی زوج مجاز نیست. ه: هدف مدل، زمان‌بندی تمام درس‌های ارائه شده در یک نیم‌سال تحصیلی در یک دانشکده است به طوری که تخصیص درس‌ها به استادان بر اساس ترجیح‌های زمانی اعلام شده از سوی آنها حداکثر شود.

مدل‌سازی مساله

در این بخش مساله مطرح شده در بخش قبل، در قالب برنامه‌ریزی عدد صحیح به دو صورت مختلف، مدل‌سازی می‌گردد. مدل اول تحت عنوان "مدل مبتنی بر متغیر" و مدل دوم تحت عنوان "مدل مبتنی بر فعالیت" ارائه می‌شوند. در مدل دوم، تعداد متغیرهای تصمیم به میزان قابل توجهی نسبت به مدل اول کاهش می‌یابد. در این مدل، هر فعالیت، در برگیرنده یک درس، یک استاد و یک گروه دانشجویی باشد. به عبارت دیگر سه بعد درس، استاد و گروه دانشجویی در یک فعالیت تلفیق می‌گردند. از سوی دیگر با تعریف هر فعالیت بر اساس درس، استاد و گروه مرتبط، ترکیب‌های غیر مجاز (استاد و یا گروهی که برای یک درس تعریف نشده است) از فضای مساله حذف می‌شوند. این امر در نهایت منجر به کاهش چشم‌گیر اندازه مساله و تعداد متغیرها و در نتیجه کاهش زمان حل مساله می‌گردد.

• **gNum**: تعداد گروه‌های دانشجویان دانشکده در یک نیم‌سال تحصیلی

• **cNum**: تعداد کل درس‌های ارائه شده به تمام گروه‌ها در یک نیم‌سال تحصیلی

• **rNum**: تعداد کلاس‌های درس در دسترس دانشکده

• **tNum**: تعداد استادان دانشکده

• **sNum**: تعداد دوره‌های زمانی یک روز که در این مدل برابر با ۹ می‌باشد.

• **dNum**: تعداد روز کاری هفته که در این مدل برابر با ۵ در نظر گرفته شده است.

• مجموعه $D_{d \times dNum}$ با شاخص **d**: مجموعه روزهای کاری هفته

• مجموعه $S_{s \times sNum}$ با شاخص **s**: مجموعه دوره‌های زمانی در یک روز

• مجموعه $C_{c \times cNum}$ با شاخص **c**: مجموعه درس‌هایی که باید زمان‌بندی شوند.

• مجموعه $T_{t \times tNum}$ با شاخص **t**: مجموعه استادان

• مجموعه $G_{g \times gNum}$ با شاخص **g**: مجموعه گروه‌های دانشجویان

• مجموعه $R_{r \times rNum}$ با شاخص **r**: مجموعه کلاس‌های در دسترس دانشکده

• مجموعه $TDS_{tNum \times dNum \times sNum}$ با شاخص t, d, s : ماتریس $0-1$ که نشان دهنده در دسترس

- بودن استاد **t** در روز **d** و در دوره زمانی **s** می‌باشد.
- مجموعه $RDS_{rNum \times dNum \times sNum}$ با شاخص r, d, s : ماتریس $0-1$ که نشان دهنده در دسترس بودن کلاس **r** در روز **d** و در دوره زمانی **s** می‌باشد.
- مجموعه $GC_{gNum \times cNum}$ با شاخص **g, c**: ماتریس $0-1$ که نشان دهنده وضعیت ارائه درس **c** به گروه **g** می‌باشد.
- مجموعه $TC_{tNum \times cNum}$ با شاخص **t, c**: ماتریس $0-1$ که نشان دهنده آمادگی ارائه درس **c** توسط استاد **t** می‌باشد.
- α_c : این پارامتر $0-1$ بوده و نشان دهنده وضعیت درس است. مقدار این پارامتر برای درس‌های واحد-زوج برابر 0 و برای درس‌های واحد-فرد برابر 1 می‌باشد.
- γ_c : این پارامتر تعیین کننده تعداد جلسه‌های لازم در هفته برای درس **c** است. برای درس‌های واحد-زوج 2 و برای درس‌های واحد-فرد 3 جلسه مورد نیاز است.
- ϕ_c : تعداد دانشجویانی که در درس **c** ثبت نام کرده‌اند.
- v_t : حداکثر تعداد واحد درسی مجاز برای استاد **t**
- l_t : حداقل تعداد واحد درسی مجاز برای استاد **t**
- ω_t : وزن استاد **t**، این پارامتر که مقدار عددی در بازه $[0-1]$ است بر اساس برخی مشخصات از جمله درجه علمی، سابقه و غیره تعیین می‌گردد.
- δ_{tds} : وزن دوره زمانی که بیانگر ترجیح استاد **t** نسبت به بازه **s** از روز **d** است.
- θ_s : این پارامتر، تعیین کننده زوج یا فرد بودن دوره زمانی است و مقدار آن برای دوره‌های زوج برابر با 1 و برای دوره‌های فرد برابر با 0 می‌باشد.
- φ_r : ظرفیت کلاس **r** بر اساس تعداد دانشجو

مدل مبتنی بر متغیر

متغیرهای تصمیم

$$y_{cdsrgt}, x_{cdsrgt} \in \{0, 1\}, \quad \forall c \in C, d \in D, s \in S, r \in R, g \in G, t \in T$$

$x_{cdsrgt} = 1$: چنان‌چه یک جلسه یک دوره‌ای از درس C برای گروه g، استاد t، در دوره S از روز d در کلاس I برنامه‌ریزی شود، در غیر این صورت برابر صفر است.

$y_{cdsrgt} = 1$: چنان‌چه یک جلسه دو دوره‌ای از درس C برای گروه g، استاد t، در دوره S از روز d در کلاس I برنامه‌ریزی شود، در غیر این صورت برابر صفر است.

قابل ذکر است که متغیر تصمیم Y برای همه درس‌ها و متغیر تصمیم X فقط برای درس‌های واحد-فرد تعریف می‌شود. مدل عدد صحیح مساله به صورت زیر فرموله می‌شود:

$$\text{Max} \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} \sum_{d \in D} \sum_{g \in G} \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} (\omega_t \delta_{t ds} (y_{cdsrgt} + x_{cdsrgt})) \quad (1)$$

تابع هدف (1) مجموع وزنی تخصیص زمان‌های در دسترس به استادان بر اساس ترجیح‌های آنها در رابطه با دوره‌های زمانی را بیشینه می‌نماید. این بدان مفهوم است که به طور نسبی، برای هر استاد با وزن بیشتر در مقایسه با سایرین، برنامه درسی تا حد امکان (با رعایت محدودیت‌های مساله) در زمان‌هایی گنجانده می‌شود که از سوی او وزن بیشتری نسبت به دوره‌های دیگر گرفته‌اند.

$$\sum_{t \in T} \sum_{d \in D} \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} (x_{cdsrgt} + \alpha y_{cdsrgt}) = \gamma_c GC_{gc}, \quad \forall g \in G, c \in C \quad (2)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{d \in D} \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} x_{cdsrgt} = (1 - \alpha_c) GC_{gc}, \quad \forall g \in G, c \in C \quad (3)$$

$$\sum_{t' \in T: t' \neq t} \sum_{d' \in D} \sum_{r' \in R} \sum_{s' \in S} (y_{cd's'r'gt'} + x_{cd's'r'gt'}) \leq \quad (4)$$

$$\left(1 - \sum_{s \in S} \sum_{r \in R} (y_{cdsrgt} + x_{cdsrgt}) \right) M, \quad \forall g \in G, c \in C, t \in T, d \in D$$

$$\sum_{c \in C} \sum_{t \in T} \sum_{d \in D} \sum_{g \in G} \sum_{r \in R} y_{cdsrgt} = 0, \quad \forall (s \in S: \theta_s = 1) \quad (5)$$

$$\sum_{s \in T} \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} (y_{cdsrgt} + x_{cdsrgt}) \leq 1, \quad \forall g \in G, c \in C, t \in T, d \in D \quad (6)$$

محدودیت‌های (۲) و (۳) تضمین کننده برنامه‌ریزی همه جلسه‌های مورد نیاز درس‌ها برای همه گروه‌ها می‌باشند به طوری که هیچ جلسه یک دوره‌ای به درس‌های واحد-زوج تخصیص داده نشود. همه جلسات یک درس شامل جلسات یک دوره‌ای و چند دوره‌ای باید به یک استاد تخصیص داده شود. این محدودیت توسط رابطه (۴) برقرار می‌گردد که در آن M یک عدد بزرگ است. بر اساس محدودیت (۵)، جلسات دو دوره‌ای در دوره‌های زمانی زوج برنامه‌ریزی نمی‌شوند. رابطه (۶) تضمین می‌کند که برای هر گروه از دانشجویان تعداد جلسات هر درس چه یک دوره‌ای و چه دو دوره‌ای حداکثر یک جلسه در روز باشد.

$$\sum_{d \in D} \sum_{s \in S} \sum_{r \in R} \sum_{g \in G} (y_{cdsr} + x_{cdsr}) \leq TC_{tc} \times M, \quad \forall c \in C, t \in T \quad (7)$$

$$\sum_{c \in C} \sum_{g \in G} \sum_{r \in R} (y_{cdsr} + x_{cdsr}) \leq TDS_{tds}, \quad \forall t \in T, s \in S, d \in D \quad (8)$$

$$\sum_{c \in C} \sum_{g \in G} \sum_{r \in R} (y_{cdsr} + x_{cd, s+1, r}) \leq TDS_{tds+1}, \quad \forall t \in T, (s \in S : s < sNum), d \in D \quad (9)$$

$$t_l \leq \sum_{c \in C} \sum_{s \in S} \sum_{d \in D} \sum_{g \in G} \sum_{r \in R} (y_{cdsr} + x_{cdsr}) \leq \nu_t, \quad \forall t \in T \quad (10)$$

بر اساس محدودیت (۷)، درس به استادی که مایل به ارائه آن نیست تخصیص داده نمی‌شود. رابطه (۸) تضمین می‌کند که هر استاد در هر دوره زمانی حداکثر به یک درس، یک گروه و یک کلاس تخصیص داده شود. این رابطه همچنین از تخصیص استادان به دوره‌های زمانی که جزو ساعت‌های حضور آنها نیست جلوگیری می‌کند. محدودیت (۹) از برنامه‌ریزی یک جلسه دو دوره‌ای و یک جلسه یک دوره‌ای به یک استاد در دو دوره متوالی و همچنین برنامه‌ریزی یک جلسه دو دوره‌ای به یک استاد در دوره S به طوری که او در دوره بعد $(S+1)$ در دسترس نباشد جلوگیری می‌کند. بر اساس محدودیت (۱۰)، مجموع جلسه‌های برنامه‌ریزی شده برای استادان در بازه‌ی کمترین تا بیشترین مقدار مجاز می‌باشد.

$$\sum_{c \in C} \sum_{g \in G} \sum_{t \in T} (y_{cdsr} + x_{cdsr}) \leq RDS_{rds}, \quad \forall r \in R, s \in S, d \in D \quad (11)$$

$$\sum_{c \in C} \sum_{g \in G} \sum_{t \in T} (y_{cdsr} + x_{cd, s+1, r}) \leq RDS_{rd, s+1}, \quad \forall r \in R, (s \in S : s < sNum), d \in D \quad (12)$$

$$\sum_{c \in C} \sum_{g \in G} \sum_{t \in T} \phi_c (y_{cdsrgt} + x_{cdsrgt}) \leq \varphi_r, \quad \forall r \in R, s \in S, d \in D \quad (13)$$

بر اساس رابطه (۱۱)، تخصیص یک کلاس به بیش از یک درس، یک استاد و یک گروه در یک دوره مجاز نیست. محدودیت (۱۲) بیان گر این شرط است که برنامه ریزی یک جلسه دو دوره ای در دوره S برای یک کلاس مشروط به در دسترس نبودن آن در دوره S+1 امکان پذیر نیست. از سوی دیگر این رابطه از برنامه ریزی یک جلسه دو دوره ای و یک جلسه یک دوره ای در دو دوره متوالی برای یک کلاس جلوگیری می کند. رابطه (۱۳) بیان گر ظرفیت کلاس ها است.

$$\sum_{c \in C} \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} (y_{cdsrgt} + x_{cdsrgt}) \leq 1, \quad \forall g \in G, s \in S, d \in D \quad (14)$$

$$\sum_{c \in C} \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} (y_{cdsrgt} + x_{cd,s+1,rgt}) \leq 1, \quad \forall g \in G, (s \in S : s < sNum), d \in D \quad (15)$$

رابطه (۱۴) برنامه ریزی حداکثر یک درس، استاد و کلاس در یک دوره را برای هر گروه تضمین می کند. بر اساس رابطه (۱۵) اگر یک جلسه دو دوره ای برای یک گروه در یک دوره در نظر گرفته شود برنامه ریزی جلسه های یک دوره ای برای همان گروه در دوره بعد امکان پذیر نیست و برعکس.

۵-۲. مدل مبتنی بر فعالیت

در مدل مبتنی بر فعالیت، تعداد متغیرهای تصمیم به میزان قابل توجهی کاهش می یابد. هر فعالیت شامل یک درس، یک استاد و یک گروه است به طوری که استاد و گروه مذکور به ترتیب عضو مجموعه استادان ارائه دهنده درس و مجموعه گروه های ثبت نام شده در آن درس هستند. به عنوان مثال ارائه درس C ام برای گروه g ام توسط استاد t ام یک فعالیت در نظر گرفته میشود (فعالیت I ام) که باید در طول هفته زمان بندی گردد. ابتدا پارامترها و متغیرهای تصمیم مدل مبتنی بر فعالیت تعریف می گردند. پارامترها و مجموعه های مشترک با مدل مبتنی بر متغیر، پیش از این تعریف شده اند، بنابراین فقط به تشریح پارامترهای جدید می پردازیم.

- A : مجموعه تمام فعالیت‌هایی که در جدول زمان‌بندی قابل تعریف هستند. هر فعالیت با یک درس، یک استاد و گروه مرتبط با آن تعریف می‌شود.
- $AG^g \subseteq A$: مجموعه فعالیت‌های وابسته به گروه g
- $AT^t \subseteq A$: مجموعه فعالیت‌های وابسته به استاد t
- $AGT^{g,t} = AG^g \cap AT^t$
- $\bar{S} \subseteq S$: مجموعه دوره‌های زمانی زوج
- $\bar{A} \subseteq A$: مجموعه فعالیت‌های وابسته به درس‌های واحد-فرد (برای $c \in (A - \bar{A})$ جلسه یک دوره‌ای تعریف نمی‌شود)

متغیرهای تصمیم

- $x_{idsr} = 1$: چنان چه یک جلسه یک دوره‌ای برای فعالیت $i \in \bar{A}$ در دوره S از روز d در کلاس I برنامه‌ریزی شود، در غیر این صورت برابر صفر است.
- $y_{idsr} = 1$: چنان چه یک جلسه دو دوره‌ای برای فعالیت $i \in A$ در دوره S از روز d در کلاس I برنامه‌ریزی شود، در غیر این صورت برابر صفر است.
- مدل عدد صحیح مساله بصورت زیر فرموله می‌شود:

$$\text{Max} \quad \sum_{t \in T} \sum_{i \in AT^t} \sum_{d \in D} \sum_{r \in R} \left(\omega_t \delta_{ids} \left(\sum_{s \in \bar{S}} y_{idsr} + \sum_{s \in S; i \in \bar{A}} x_{idsr} \right) \right) \quad (16)$$

$$\sum_{d \in D} \sum_{r \in R} \left(\sum_{s \in S; i \in \bar{A}} x_{idsr} + \sum_{s \in \bar{S}} y_{idsr} \right) = \gamma_i, \quad \forall g \in G, i \in AG^g \quad (17)$$

$$\sum_{d \in D} \sum_{r \in R} \sum_{s \in S; i \in \bar{A}} x_{idsr} = 1, \quad \forall g \in G, i \in AG^g \cap \bar{A} \quad (18)$$

$$\sum_{r \in R} \sum_{d' \in D} \sum_{t' \in T; i \in AGT^{g't'}, t' \neq t} \left(\sum_{s \in \bar{S}} y_{jd'sr} + \sum_{s' \in S; i \in \bar{A}} x_{jd'sr} \right) \leq \quad (19)$$

$$\left(1 - \sum_{r \in R} \left(\sum_{s \in \bar{S}} y_{idsr} + \sum_{s \in S; i \in \bar{A}} x_{idsr} \right) \right) M, \quad \forall g \in G, t \in T, i \in AGT^{gt}, d \in D$$

$$\sum_{r \in R} \left(\sum_{s \in S; i \in \bar{A}} x_{idsr} + \sum_{s \in \bar{S}} y_{idsr} \right) \leq 1, \quad \forall g \in G, i \in AG^g, d \in D \quad (20)$$

$$\sum_{r \in R} \left(\sum_{i \in AT^t : s \in \bar{S}} y_{idsr} + \sum_{i \in AT^t \cap \bar{A}} x_{idsr} \right) \leq TDS_{t ds}, \quad \forall t \in T, s \in S, d \in D \quad (21)$$

$$\sum_{r \in R} \left(\sum_{i \in AT^t : s \in \bar{S}} y_{idsr} + \sum_{i \in AT^t \cap \bar{A}} x_{ids+\nu r} \right) \leq TDS_{t ds+\nu}, \quad \forall t \in T, (s \in S : s < sNum), d \in D \quad (22)$$

$$t_t \leq \sum_{d \in D} \sum_{r \in R} \sum_{i \in AT^t} \left(\sum_{s \in \bar{S}} y_{idsr} + \sum_{s \in S : i \in \bar{A}} x_{idsr} \right) \leq \nu_t, \quad \forall t \in T \quad (23)$$

$$\sum_{i \in A : s \in \bar{S}} y_{idsr} + \sum_{i \in A \cap \bar{A}} x_{idsr} \leq RDS_{r ds}, \quad \forall r \in R, s \in S, d \in D \quad (24)$$

$$\sum_{i \in A : s \in \bar{S}} y_{idsr} + \sum_{i \in A \cap \bar{A}} x_{ids+\nu r} \leq RDS_{t ds+\nu}, \quad \forall r \in R, (s \in S : s < sNum), d \in D \quad (25)$$

$$\sum_{i \in A : s \in \bar{S}} \phi_i y_{idsr} + \sum_{i \in A \cap \bar{A}} \phi_i x_{idsr} \leq \varphi_r, \quad \forall r \in R, s \in S, d \in D \quad (26)$$

$$\sum_{r \in R} \left(\sum_{i \in AG^g : s \in \bar{S}} y_{idsr} + \sum_{i \in AG^g \cap \bar{A}} x_{idsr} \right) \leq 1, \quad \forall g \in G, s \in S, d \in D \quad (27)$$

$$\sum_{r \in R} \left(\sum_{i \in AG^g : s \in \bar{S}} y_{idsr} + \sum_{i \in AG^g \cap \bar{A}} x_{ids+\nu r} \right) \leq 1, \quad \forall g \in G, (s \in S : s < sNum), d \in D \quad (28)$$

روابط مدل مبتنی بر فعالیت، بر اساس روابط مدل مبتنی بر متغیر به صورت آن چه در ادامه آمده بازنویسی شده‌اند. محدودیت‌های درس (۴-۲) و (۶) به صورت روابط (۲۰-۱۷) فرموله شده‌اند. محدودیت‌های استاد (۱۰-۸) و محدودیت‌های کلاس (۱۳-۱۱) به ترتیب به صورت روابط (۲۳-۲۱) و (۲۶-۲۴) بازنویسی شده‌اند. همانگونه که پیش از این ذکر شد، جلسات دو دوره‌ای تنها برای مجموعه دوره‌های فرد $\bar{S} \subseteq S$ قابل برنامه‌ریزی هستند، لذا محدودیت (۵) حذف شده‌است. محدودیت‌های گروه (۱۵-۱۴) به صورت روابط (۲۸-۲۶) فرموله شده‌اند. تابع هدف (۱) نیز در رابطه (۱۶) بازنویسی شده است.

یافته‌های پژوهش

نتیجه‌های محاسباتی

در این بخش با بررسی چند مثال عددی، به مقایسه دو مدل می‌پردازیم. ابتدا به منظور محاسبه تعداد متغیرهای تصمیم در مدل مبتنی بر فعالیت، به ازای هر فعالیت دو مجموعه استادهای وابسته به فعالیت I و گروه‌های وابسته به فعالیت I بدین ترتیب تعریف می‌گردند:

$$TI^i \subseteq T = \{t_1 | i \in AT^{t1}, t_2 | i \in AT^{t2}, \dots, t_n | i \in AT^{tn}\} \quad (29)$$

$$GI^i \subseteq G = \{g_1 | i \in AG^{g1}, g_2 | i \in AG^{g2}, \dots, g_n | i \in AG^{gn}\} \quad (30)$$

بر اساس تعریف مجموعه‌های فوق و همچنین مجموعه‌ها و متغیرهای تصمیم هر دو مدل که در بخش‌های پیشین معرفی گردیدند، تعداد متغیرهای تصمیم در مدل مبتنی بر متغیر و مدل مبتنی بر فعالیت به ترتیب با استفاده از رابطه‌های (۳۱) و (۳۲) محاسبه می‌گردند.

$$n_1 = 2 \times (cNum \times gNum \times tNum \times dNum \times sNum \times rNumG) \quad (31)$$

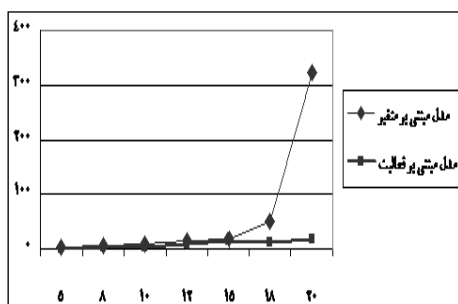
$$n_2 = rNum \times dNum \times \left[\sum_{i \in A} (|TI^i| \times |GI^i| \times \bar{s}Num) + \sum_{i \in \bar{A}} (|TI^i| \times |GI^i| \times sNum) \right] \quad (32)$$

در رابطه (۳۱)، $\bar{s}Num$ برابر است با تعداد دوره‌های زمانی زوج که تخصیص جلسه‌های دو دوره‌ای در آنها مجاز است. پیش از بررسی و حل مساله واقعی، به منظور بررسی کارایی مدل‌های ارائه شده، تعداد هفت مساله نمونه با نرم افزار GAMS و با استفاده از کامپیوتر با مشخصات $CPU \ 2/67 \ GHZ$ و $RAM \ 4 \ G$ ، حل و نتیجه‌ها مقایسه و تحلیل شده‌اند. در این نمونه‌ها، تعداد درس‌ها از ۵ تا ۲۰ عدد متغیر است. سایر اندازه‌های مساله شامل تعداد روزها، تعداد دوره‌های زمانی، تعداد گروه‌های دانشجویان، تعداد استادان و تعداد کلاس‌های درس به ترتیب برابر با ۵، ۷، ۳، ۴ و ۶ در نظر گرفته شده است. نتیجه‌های بدست آمده در جدول (۱) نمایش داده شده است.

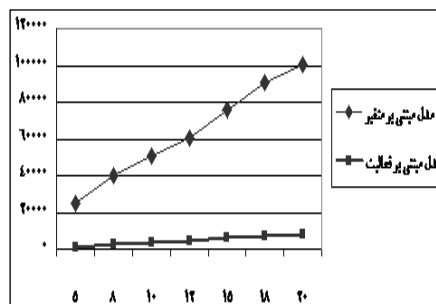
جدول ۱. مشخصات و نتیجه‌های حل مساله‌های نمونه

مدل مبتنی بر فعالیت							مدل مبتنی بر متغیر							تعداد درس‌ها
۲۰	۱۸	۱۵	۱۲	۱۰	۸	۵	۲۰	۱۸	۱۵	۱۲	۱۰	۸	۵	
۷۷۱۰	۶۹۳۰	۵۹۴۰	۴۵۰۰	۳۱۲۰	۲۳۴۰	۱۲۰۰	۱۰۰۸۰۰	۹۰۷۲۰	۷۵۶۰۰	۶۰۴۸۰	۵۰۴۰۰	۴۰۳۲۰	۲۵۲۰۰	
۱۹	۱۴	۱۲	۹	۴	۳	۱	۳۲۴	۵۱	۱۷	۱۶	۸	۵	۳	

همان گونه که در شکل‌های (۱) و (۲) و جدول (۱) مشاهده می‌شود، تعداد متغیرهای تصمیم در مدل مبتنی بر متغیر از ۲۵۲۰۰ تا ۱۰۰۸۰۰ و زمان حل از ۳ تا ۳۲۴ ثانیه متغیر است و در مدل مبتنی بر فعالیت این نتیجه‌ها به ترتیب برابر با ۱۲۰۰ تا ۷۷۱۰ متغیر و ۱ تا ۱۹ ثانیه می‌باشند. کاهش در زمان حل مدل، به دلیل کاهش بسیار چشم‌گیر تعداد متغیرهای تصمیم در مدل مبتنی بر فعالیت حاصل شده است. شکل (۲) همچنین بیان‌گر این مساله است که در مدل مبتنی بر متغیر با افزایش ابعاد مساله، زمان حل مدل به شکل قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. مدل مبتنی بر فعالیت، کارایی محاسباتی بهتری داشته و برای مدل‌سازی مساله زمان‌بندی در مطالعه موردی این پژوهش به کار گرفته شده است.



شکل ۲. روند تغییرات زمان حل بهینه با افزایش تعداد درس‌ها



شکل ۱. روند تغییرات تعداد متغیرهای تصمیم با افزایش تعداد درس‌ها

مطالعه موردی

ما در این بخش، مدل مبتنی بر فعالیت را برای زمان‌بندی درس‌های ارائه شده در نیم‌سال تحصیلی اول ۹۳-۹۲ در دانشکده اقتصاد و علوم اداری دانشگاه اصفهان بکار گرفته‌ایم. در این دانشکده تعداد ۲۹ گروه دانشجوی در سه مقطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری مشغول به تحصیل می‌باشند. ابعاد مساله برابر با ۱۸۰ درس، ۲۹ گروه، ۴۵ استاد و ۳۳ کلاس درس می‌باشند. مساله مذکور با استفاده از مدل مبتنی بر فعالیت مدل‌سازی و مدل با نرم افزار GAMS و کامپیوتر با مشخصات CPU 2/67 GHZ-RAM 4 G، حل و در زمان ۱۵ دقیقه و ۴۶ ثانیه به حل بهینه سراسری رسید. بخشی از نتیجه‌های بدست آمده به عنوان نمونه در جداول (۲)، (۳) و (۴) ارائه شده است.

جدول ۲. برنامه کلاس‌های روز شنبه

شنبه									
کلاس	۸-۹	۹-۱۰	۱۰-۱۱	۱۱-۱۲	۱۳-۱۴	۱۴-۱۵	۱۵-۱۶	۱۶-۱۷	۱۷-۱۸
۱	G ₉ , T ₂₈ , L ₁₁		G ₂₈ , T ₄₄ , L ₁₅₈				G ₉ , T ₂₂ , L ₇₁		G ₄ , T ₅ , L ₈₄
۲	G ₅ , T ₃ , L ₆	G ₁₅ , T ₄₁ , L ₃₈				G ₂₃ , T ₄₅ , L ₁₅		G ₁₃ , T ₁ , L ₉₆	
⋮	⋮		⋮		⋮		⋮		⋮
۳۱	G ₆ , T ₃₇ , L ₈₇				G ₂₅ , T ₁₅ , L ₁₇₃		G ₁₂ , T ₄ , L ₉₄		
۳۲			G ₂₉ , T ₄₀ , L ₁₆₅		G ₂₁ , T ₄₁ , L ₁₄₉		G ₂₅ , T ₂₄ , L ₁₆₉		
۳۳	G ₁₀ , T ₁₉ , L ₉₂						G ₇ , T ₂₇ , L ₈₈		

جدول ۳. برنامه هفتگی گروه شماره ۲

دوره زمانی								
	۸-۹	۹-۱۰	۱۰-۱۱	۱۱-۱۲	۱۳-۱۴	۱۴-۱۵	۱۵-۱۶	۱۶-۱۷
شنبه				L ₄₁ , T ₄₃ , C ₁₂				
یکشنبه	L ₂₁ , T ₆ , C ₁₃		L ₁ , T ₂₃ , C ₉		L ₁₀₁ , T ₁₇ , C ₂₈		L ₆₁ , T ₇ , C ₂	
دوشنبه			L ₆₁ , T ₇ , C ₃		L ₁₀₁ , T ₁₇ , C ₁₂			
سه شنبه			L ₁ , T ₂₃ , C ₁₂		L ₂₁ , T ₆ , C ₃₃			
چهارشنبه	L ₄₁ , T ₄₃ , C ₂		L ₅₁ , T ₁₉ , C ₁₁					

جدول ۴. برنامه هفتگی استاد شماره ۲

دوره زمانی								
	۸-۹	۹-۱۰	۱۰-۱۱	۱۱-۱۲	۱۳-۱۴	۱۴-۱۵	۱۵-۱۶	۱۶-۱۷
شنبه		L ₂₉ , G ₈ , I ₈ , C ₆			L ₃₄ , G ₁₂ , C ₁₁		L ₉₆ , G ₁₃ , C ₂	
یکشنبه							L ₂₉ , G ₈ , C ₅	
دوشنبه			L ₁₃₈ , G ₂₃ , C ₂₇					
سه شنبه			L ₁₀₆ , G ₁₈ , C ₂₄					
چهارشنبه		L ₉₆ , G ₁₃ , C ₄						

جدول ۵. ترجیح‌های زمانی استاد شماره ۲

	دوره زمانی							
	۸-۹	۹-۱۰	۱۰-۱۱	۱۱-۱۲	۱۳-۱۴	۱۴-۱۵	۱۵-۱۶	۱۶-۱۷
شنبه	۰/۱	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۳	۰/۲	۰/۱	۰/۱
یکشنبه	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲
دوشنبه	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵
سه شنبه	۰/۱	۰/۱	۰/۳	۰/۳	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵
چهارشنبه	۰/۵	۰/۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰

با مقایسه ترجیح‌های استاد شماره ۲ در جدول ۵ با برنامه هفتگی او در جدول ۴، مشخص می‌شود که برنامه کلاسی این استاد در هر روز در دوره‌های تنظیم شده که نسبت به دوره‌های دیگر در همان روز وزن بیشتری دارند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در مساله زمان‌بندی، متغیرها و محدودیت‌های بسیار زیادی دخیل بوده که حل اینگونه مساله‌ها را با چالش جدی از لحاظ زمان حل مواجه کرده‌اند. از سوی دیگر در بسیاری از موارد دانشگاه‌های مختلف، سیاست‌ها و قوانین متفاوتی در این رابطه داشته که باید در برنامه‌ریزی لحاظ گردند که این امر خود به پیچیدگی مساله می‌افزاید. در این پژوهش، دو مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح برای مساله زمان‌بندی درس‌های دانشگاهی تحت عناوین مدل مبتنی بر متغیر و مدل مبتنی بر فعالیت ارائه شده است. هدف این برنامه‌ریزی، زمان‌بندی تمام درس‌های ارائه شده برای همه گروه‌ها است به طوری که مجموع وزن‌دار تخصیص‌ها بر اساس ترجیح‌های استادان در رابطه با ساعت‌های کلاس‌ها حداکثر گردد. به منظور بررسی کارایی مدل‌های ارائه شده، چند مساله نمونه از طریق هر دو مدل حل شده و نتیجه‌های بدست آمده بر مبنای تعداد متغیرهای تصمیم و زمان حل مقایسه گردیده است. مقایسه‌های انجام شده نشان دهنده کارایی بیشتر مدل دوم (مدل مبتنی بر فعالیت) است. لذا مساله زمان‌بندی

درس‌های دانشکده اقتصاد و علوم اداری دانشگاه اصفهان برای یک نیم‌سال تحصیلی با استفاده از مدل مذکور در زمان ۱۵ دقیقه و ۴۶ ثانیه با موفقیت انجام و قسمتی از نتیجه‌های بدست آمده ارائه گردید. مدل مبتنی بر فعالیت، با کاهش قابل توجه تعداد متغیرهای تصمیم منجر به کاهش فضای جستجوی و امکان حل مساله زمان‌بندی در زمان نسبتاً کوتاه‌تری می‌گردد، با این حال این مدل نیز دارای پیچیدگی اندازه و محاسباتی بالایی بوده و برای یک مساله بزرگ، زمان حل مدل توسط بهترین و کامل‌ترین روش‌های حل هم بسیار بالا خواهد بود. در نظر گرفتن اهداف دیگری هم چون کمینه سازی اتلاف زمانی استادان و گروه‌ها و حل مدل پیشنهادی با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری گوناگون و تحلیل کارایی آنها و همچنین مدل‌سازی و حل مساله‌های زمان‌بندی کلاس درس با استفاده از الگوریتم برنامه‌ریزی محدودیتی (CP) در پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌گردد. زمان حل مدل‌های ارائه شده می‌تواند به عوامل مختلفی چون تعداد استادان، حداکثر و حداقل تعداد واحد مجاز برای هر استاد و غیره وابسته باشد. مقایسه اندازه و کارایی محاسباتی مدل‌های ارائه شده در این پژوهش با مدل‌های دیگران و تحلیل حساسیت آنها نیز برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود.

منابع

- بهداد، محمد، دهقانی، تکتم، ذاکر تولایی، مهناز (۱۳۸۵). *رویکردی نوین در زمان بندی درس های دانشگاه با استفاده از الگوریتم ژنتیک*. دوازدهمین کنفرانس بین المللی انجمن کامپیوتر ایران دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، تهران، ایران.
- جودکی، مجید، منتظری، محمدعلی، موسوی، سید رسول (۱۳۹۰). بررسی مساله زمان بندی درسی دانشگاهی با استفاده از ترکیب الگوریتم ممتیک بهبود یافته و الگوریتم سرد شدن شبیه سازی شده. *مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ایران*، دوره ۹، شماره ۴، صص. ۱۹۲-۲۰۲.
- خاتمی فیروز آبادی، ع، رحیمی مزرعه شاهی، م، محتشمی، ع (۱۳۸۵). *مدل سازی مساله زمان بندی دوره های تحصیلی در یک موسسه آموزشی کوچک*. *مطالعات مدیریت صنعتی* شماره ۱۴، صص ۲۹-۵۴.
- سلیمی فرد، خداکرم، بابایی زاده، سلمان (۱۳۹۰). *یک سیستم پشتیبانی تصمیم برای زمان بندی کلاس های دانشگاه*. *مدیریت فناوری اطلاعات*، دوره ۳، شماره ۷، صص ۷۷-۹۹.
- منجمی، سید امیر حسین، مسعودیان، سولماز، استکی، افسانه، نعمت بخش، ناصر (۱۳۸۸). *طراحی جدول زمان بندی خودکار برای درس ها دانشگاهی با استفاده از الگوریتم های ژنتیک*. *فناوری آموزش*، دوره ۴، شماره ۲، صص ۱۲۷-۱۱۳.
- Agarwal, A., Colak, S., & Erenguc, S. (2011). *A neurogenetic approach for the resource-constrained project scheduling problem*. *Computers & Operations Research*, 38 (1), 44-50.
- Akkoyunlu, E. A. (1973). *A linear algorithm for computing the optimum university timetable*. *The Computer Journal*, 16 (4), 347-350.
- Alzaqebah, M., & Abdullah, S. (2015). *Hybrid bee colony optimization for examination timetabling problems*. *Computers &*

Operations Research, 54, 142-154.

Al-Betar, M. A., Khader, A. T., & 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.

Al-Yakoob, S. M., & Sherali, H. D. (2007). A mixed-integer programming approach to a class timetabling problem: A case study with gender policies and traffic considerations. European Journal of Operational Research, 180 (3), 1028-1044.

Badoni, R. P., Gupta, D. K., & Mishra, P. (2014). *A new hybrid algorithm for university course timetabling problem using events based on groupings of students*. Computers & Industrial Engineering, 78, 12-25.

Badri, M. A., Davis, D. L., Davis, D. F., & Hollingsworth, J. (1998). *A multi-objective course scheduling model: Combining faculty preferences for courses and times*. Computers & operations research, 25 (4), 303-316.

Barrera, D., Velasco, N., & Amaya, C. A. (2012). *A network-based approach to the multi-activity combined timetabling and crew scheduling problem: Workforce scheduling for public health policy implementation*. Computers & Industrial Engineering, 63 (4), 802-812.

Basir, N., Ismail, W., & Norwawi, N. M. (2013). *A Simulated Annealing for Tahmidi Course Timetabling*. Procedia Technology, 11, 437-445.

Daskalaki, S., Birbas, T., & Housos, E. (2004). An integer programming formulation for a case study in university timetabling. European Journal of Operational Research, 153 (1), 117-135.

De Causmaecker, P., Demeester, P., & Berghe, G. V. (2009). *A decomposed metaheuristic approach for a real-world university*

timetabling problem. *European Journal of Operational Research*, 195 (1), 307-318.

Hao, J. K., & Benlic, U. (2011). Lower bounds for the ITC-2007 curriculum-based course timetabling problem. *European Journal of Operational Research*, 212 (3), 464-472.

Kahar, M. M., & Kendall, G. (2010). The examination timetabling problem at Universiti Malaysia Pahang: Comparison of a constructive heuristic with an existing software solution. *European Journal of Operational Research*, 207 (2), 557-565.

Kaspi, M., & Raviv, T. (2013). *Service-oriented line planning and timetabling for passenger trains*. *Transportation Science*, 47 (3), 295-311.

Kostuch, P. (2005). *The university course timetabling problem with a three-phase approach*. In *Practice and Theory of Automated Timetabling V* (pp. 109-125). Springer Berlin Heidelberg.

Mcmullan, P. (2007). *An extended implementation of the great deluge algorithm for course timetabling*. In *Computational Science-ICCS 2007* (pp. 538-545). Springer Berlin Heidelberg.

MirHassani, S. A., & Habibi, F. (2013). *Solution approaches to the course timetabling problem*. *Artificial Intelligence Review*, 39 (2), 133-149.

Nothegger, C., Mayer, A., Chwatal, A., & Raidl, G. R. (2012). *Solving the post enrolment course timetabling problem by ant colony optimization*. *Annals of Operations Research*, 194 (1), 325-339.

Nurmi, K., Goossens, D., & Kyngäs, J. (2013). Scheduling a triple round robin tournament with minitournaments for the Finnish national youth ice hockey league. *Journal of the Operational Research Society*, 65 (11), 1770-1779.

Phillips, A. E., Waterer, H., Ehrgott, M., & Ryan, D. M. (2015). *Integer programming methods for large-scale practical classroom*

assignment problems. Computers & Operations Research, 53, 42-53.

Pita, J. P., Barnhart, C., & Antunes, A. P. (2012). Integrated flight scheduling and fleet assignment under airport congestion. *Transportation Science, 47* (4), 477-492.

Post, G., Kingston, J. H., Ahmadi, S., Daskalaki, S., Gogos, C., Kyngas, J., ... & Schaerf, A. (2014). *XHSTT: an XML archive for high school timetabling problems in different countries. Annals of Operations Research, 218* (1), 295-301.

Shafia, M. A., Aghaee, M. P., Sadjadi, S. J., & Jamili, A. (2012). *Robust Train Timetabling problem: Mathematical model and Branch and bound algorithm. Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on, 13* (1), 307-317.