Archive of SID

*چشم‌انداز مدیریت صنعتی*
سال نهم، شماره ۳۶، زمستان ۱۳۹۸
شاپا چاپی: ۹۸۷۴-۲۲۵۱، شاپا الکترونیکی: ۴۱۶۵-۲۶۴۵
ص‌ص ۱۶۳ – ۱۳۹

# ارائه مدل ریاضی برای حل مسئله زمان‌بندی خدمات دوره‌ای

**علیرضا ناصر صدرآبادی*، ستاره بشروئی شرق**، سید حیدر میرفخرالدینی*****

**چکیده**

مسائل زمان‌بندی دوره‌ای به شکل‌های متنوعی در صنایع و خدمات تعریف می‌شوند. در این گروه از مسائل تعدادی مشتری یا مراجعه‌کننده وجود دارند که باید به‌صورت دوره‌ای برای دریافت خدمت به سازمان یا ارائه‌دهنده خدمت مراجعه کنند. مراجعه دوره‌ای بیماران به پزشکان و مراجعه دوره‌ای دانشجویان به استادان، مثال‌هایی از مسائل زمان‌بندی دوره‌ای هستند. در این پژوهش شکل جدیدی از مسئله زمان‌بندی دوره‌ای مراجعه دانشجویان به استادان معرفی شده که تاکنون در مبانی نظری پژوهش وجود نداشته است. مسئله آن است که برنامه زمان‌بندی مراجعات دانشجویان به‌نحوی باشد تا ضمن رعایت محدودیت‌ها، هدف مسئله که توزیع یکنواخت مراجعات در طول دوره برنامه‌ریزی است، برآورده شود. رعایت فاصله زمانی بین مراجعات، تعداد مراجعات در طول دوره برنامه‌ریزی و پیوسته‌بودن مراجعات دانشجویانی که نیازمند تخصیص بیشتر از یک بازه زمانی هستند از جمله محدودیت‌های این پژوهش هستند. این مسئله علی‌رغم ساختار پیچیده‌ای که دارد با استفاده از برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح محض فرموله شده و به‌منظور اعتبارسنجی، مدل با درنظرگرفتن دو مثال عددی و یک مثال واقعی و با کمک نسخه ۱۷ نرم‌افزار LINGO حل شده است. نتایج نشان می‌دهد که مدل ارائه‌شده ضمن رعایت کلیه محدودیت‌ها از زمان پردازش قابل‌قبولی برخوردار است و در مسائل با ابعاد بزرگ نیز کارایی دارد.

**کلیدواژه‌ها: برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح؛ بهینه‌سازی؛ زمان‌بندی خدمات؛ مسائل چنددوره‌ای؛ مدل‌سازی ریاضی.**

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۹/۱۰، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۲۵.

* استادیار، دانشگاه یزد (نویسنده مسئول).
Email: alireza_naser@yazd.ac.ir
** کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد.
*** دانشیار، دانشگاه یزد.

www.SID.ir

Archive of SID

## ۱. مقدمه

مسئله‌های زمان‌بندی و برنامه‌ریزی یکی از شکل‌های شناخته‌شده مسائل تخصیص منابع هستند و از اواخر دهه ۱۹۵۰ موردتوجه پژوهشگران قرار گرفته‌اند. این‌گونه مسائل به سازگارسازی و هماهنگ‌کردن مجموعه‌ای از موجودیت‌ها، مانند رخدادها، فعالیت‌ها، افراد، ابزار و دستگاه‌ها، خودروها، مکان‌ها و مانند این‌ها، در یک الگوی فاصله-زمان می‌پردازند. هدف در این‌گونه مسائل آن است که به بهترین شیوه از منابع دردسترس بهره‌برداری شود؛ درحالی‌که باید شرایط موجود موردتوجه قرار گیرد و محدودیت‌ها برآورده شوند [۲۱].

مسئله جدول زمان‌بندی[1] یکی از مسائلی است که در دهه‌های اخیر با علاقه روزافزون مجامع علمی (به‌خصوص در رشته‌های بهینه‌سازی و هوش مصنوعی) روبه‌رو شده است. بسته به زمینه‌ای که این مسئله مطرح می‌شود، گونه‌های مختلفی از این مسئله شکل می‌گیرد. گستره وسیعی ازمسائل زمان‌بندی درحوزه‌های گوناگون از قبیل حوزه‌های آموزشی (جدول زمان‌بندی دروس دانشگاه و مدرسه)، بهداشت و درمان (جدول زمان‌بندی حضور پرستاران و جراحان)، حمل‌ونقل (جدول زمان‌بندی قطار و اتوبوس) و مسابقات ورزشی (جدول زمان‌بندی مسابقات بین تیم‌ها) تعریف شده است [۱۷].

مسئله جدول زمان‌بندی دروس دانشگاهی[2] شامل برنامه‌ریزی برای تخصیص دروس در یک دوره زمانی مشخص به کلاس‌های معین است. شائرف[3] (۱۹۹۹)، مسائل زمان‌بندی را به سه دسته مهم «زمان‌بندی مدرسه»، «زمان‌بندی درس‌ها» و «زمان‌بندی امتحانات» تقسیم کرده است [۲۴].

راه‌آهن به‌عنوان یکی از سیستم‌های حمل‌ونقل، نقش حیاتی در جابه‌جایی کالا و مسافران دارد و استفاده بهینه از امکانات موجود در این صنعت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بخش عمده‌ای از شبکه‌های راه‌آهن دنیا به دلایل اقتصادی تک‌ریل هستند و بنابراین قطارها فقط در ایستگاه‌ها، مجاز به عبور از کنارهم خواهند بود. در چنین شرایطی اگر زمان‌بندی حرکت قطارها بر اساس برنامه‌ریزی درستی نباشد باعث به‌وجودآمدن تلاقی قطارها در خطوط راه‌آهن می‌شود و چنین اتفاقی هزینه‌های جانی و مالی غیرقابل‌جبران به‌دنبال دارد. در این نوع مسائل، زمان ورود و خروج قطارها به خطوط تعیین می‌شود [۱۲].

امروزه ورزش به یک تجارت بزرگ تبدیل شده است. این امر فرصت‌های اقتصادی، مشاغل جدید و توسعه و نوسازی زیرساخت‌ها را برای شهرها و کشورهای میزبان رقابت‌هایی مانند المپیک و جام‌جهانی فوتبال به ارمغان آورده است و بدین واسطه زمان‌بندی مسابقات رشته‌های

1. Time Tabling
2. University Course Timetabling Problem
3. Schaerf

www.SID.ir

Archive of SID

مختلف ورزشی یک دغدغه جدی برای برنامه‌ریزان این حوزه محسوب می‌شود. اهمیت مسئله زمان‌بندی ورزشی زمانی بیشتر می‌شود که پای محدودیت‌های مختلف از سوی ذی‌نفعان و سازمان‌های متولی امر به مسئله باز می‌شود [۱۵].

مسئله زمان‌بندی کارکنان از معروف‌ترین مسائل در حوزه تحقیق در عملیات به‌شمار می‌رود. زمان‌بندی کارکنان، فرآیند تهیه جدول زمانی بهینه و امکان‌پذیر برای کارکنان با درنظرگرفتن شرایط سازمان، کارکنان وقوانین کاری به‌منظور برآورده‌کردن تقاضای کاری سازمان است. تهیه بهترین جدول زمانی کاری کارکنان اغلب اوقات جزو مسائل بهینه‌سازی گسسته و ترکیباتی است و نیاز به رویکرد کارا و مؤثر دارد. در این راستا زمان‌بندی پرستاران یکی از این انواع است که با توجه به دشواربودن کار پرستاران و نیز به‌دلیل آنکه تنظیم بهینه برنامه نوبت کاری پرستاری بر کاهش هزینه‌های بیمارستان، افزایش رضایت شغلی پرستاران و نیز کیفیت مراقبت و افزایش بودجه ورودی بیمارستان تأثیر دارد، بسیار موردتوجه قرار گرفته است [۵].

مسائل جدول زمان‌بندی دوره‌ای، شکل خاصی از مسائل زمان‌بندی هستند که در آن‌ها تعدادی خدمت‌گیرنده باید به‌صورت دوره‌ای به یک یا چند ارائه‌دهنده خدمت مراجعه کنند. نانزدلتورو[1] و همکاران، مسئله زمان‌بندی دوره‌ای را به‌این صورت تعریف کرده‌اند که در این مسئله مجموعه‌ای از مشتریان وجود دارند که به‌صورت دوره‌ای و در یک بازه زمانی مشخص خواستار خدمتی هستند که به‌منظور ارائه خدمت به آن‌ها تعدادی اپراتور با ظرفیت و توان مشخص در نظر گرفته شده است. این بازه زمانی به فاصله‌های زمانی با طول مساوی تقسیم شده است که هر یک از فاصله‌های زمانی به یک مشتری اختصاص می‌یابد تا از یک سرویس‌دهنده، خدمت دریافت کند. وظیفه برنامه‌ریز آن است که مشخص کند هر مشتری در کدام بازه زمانی به کدام اپراتور مراجعه کند تا به اهداف ازپیش‌تعیین‌شده‌ای دست یابد [۱۹].

در این راستا دانشگاه‌ها و مراکز آموزش عالی که جزو سازمان‌های خدماتی محسوب می‌شوند نیز همانند سایر سازمان‌های خدماتی با مسائل متنوعی در زمینه تخصیص بهینه منابع مواجه هستند. در این میان «زمان» یکی از مهم‌ترین منابع مورداستفاده مراکز آموزش عالی است که لزوم تخصیص بهینه آن به مسائل متنوع زمان‌بندی منجر می‌شود.

در این پژوهش، شکل جدیدی از مسائل زمان‌بندی دوره‌ای معرفی می‌شود که به مراجعات دوره‌ای دانشجویان به استادان می‌پردازد و بر اساس جست‌وجوهای صورت‌گرفته توسط پژوهشگران، پیش از این موردتوجه قرار نگرفته است. مسئله پژوهش حاضر جز مسائل NP-Hard محسوب می‌شود که بارنوی و همکاران (۲۰۰۲)، در پژوهشی مربوط به مراجعه تعمیرکاران به ماشین‌آلات، این موضوع را اثبات کرده‌اند [۴]. ساختار مسئله پژوهش حاضر با

1. Núñez-del-Toro

www.SID.ir

Archive of SID

تعریف ویژگی‌هایی که در بخش مدل‌سازی به آن پرداخته خواهد شد، به‌مراتب پیچیده‌تر از مسئله مطرح‌شده در پژوهش بارنوی و همکاران (۲۰۱۴) است. در پژوهش حاضر، استادان در طول یک هفته کاری بخشی از زمان فعالیت خود را صرف رفتن به کلاس می‌کنند، بخشی از زمان را به حضور در جلسه‌ها اختصاص می‌دهند و زمان باقی‌مانده خود را که در اصطلاح «زمان‌های آزاد» نامیده می‌شود، صرف مطالعه و پژوهش و یا ارائه مشاوره به دانشجویان می‌کنند. زمان‌بندی مراجعات دوره‌ای دانشجویان به استادان با توجه به تنوع دانشجویان و زمان‌هایی که باید به آن‌ها اختصاص داده شود، یکی از مسائل مطرح‌شده در بحث‌های دانشگاهی است که معمولاً استادان بر اساس تجربه‌های قبلی یا برنامه‌ریزی اقتضائی این زمان‌بندی را انجام می‌دهند. مسئله موردبررسی در این پژوهش به‌صورت واقعی در «دانشگاه یزد» توسط استادان مطرح شده است. در این دانشگاه افزایش تعداد دانشجویان، به‌خصوص دانشجویان تحصیلات تکمیلی و به دنبال آن لزوم افزایش زمان‌های اختصاص‌یافته به این دانشجویان برای انجام پژوهش یا مشاوره‌های تحصیلی، استادان را بر آن داشته است تا از یک روش نظام‌مند، یکپارچه و هماهنگ برای مراجعات دوره‌ای دانشجویان استفاده کنند. در این پژوهش الگو و ساختاری خاص برای تنظیم برنامه زمانی مراجعات دانشجویان به استادان ارائه خواهد شد که باعث می‌شود برنامه‌ریزی مراجعات دانشجویان شکلی منظم و هدف‌مند به خود بگیرد. زمان‌بندی مناسب در برنامه استادان باعث می‌شود از زمان حضور استادان و دانشجویان در دانشگاه‌ها استفاده بهینه صورت گیرد و تبدیل این‌گونه مسائل به زبان ریاضی کمک می‌کند تا مسائلی ازاین‌دست در زمان بسیار کم و با دقت بیشتر صورت گیرد و موجب افزایش سطح بهره‌وری آموزشی دانشگاه شود. این پژوهش، مسئله زمان‌بندی مراجعات دوره‌ای دانشجویان به اساتید را نخستین بار به‌عنوان یک مسئله زمان‌بندی دوره‌ای معرفی می‌کند.

طرح کلی مطالب ارائه‌شده در مقاله به این شرح است که در بخش دوم، پژوهش‌های انجام‌شده در این حوزه بررسی می‌شود. در بخش سوم به تشریح و مدل‌سازی مسئله پرداخته خواهد شد. نتایج عددی مثال‌های مطرح‌شده برای تحلیل کارایی مدل ارائه‌شده در بخش چهارم این مقاله ارائه می‌شود و درنهایت بخش‌های پنجم و ششم مقاله به ارائه یافته‌های مدیریتی و نتایج حاصل از پژوهش اختصاص دارد.

## ۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در طول چند دهه گذشته پژوهش‌های بسیاری در زمینه مسئله زمان‌بندی صورت گرفته است که گستره وسیعی از حوزه‌ها، روش‌های فرموله‌سازی و روش‌های حل را دربرمی‌گیرد. مدل‌های زیادی در قالب مدل‌های ریاضی، ریانه‌ای، نمودارها و غیره در این زمینه گسترش یافته‌اند. هدف تمام این مدل‌سازی‌ها ارائه برنامه‌ای است که با واردکردن اطلاعات جدید، برنامه

www.SID.ir

Archive of SID

بهینه متناسب با اهداف، نیازها و منابع موجود به‌دست آید. در این بخش به تعدادی از پژوهش‌های انجام‌گرفته در این حوزه اشاره می‌شود. الیعقوب و شرالی[1] (۲۰۰۶)، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح برای تخصیص استادان به دروس با فرض زمان‌بندی مشخص دروس ارائه دادند. هدف این مدل، حداقل‌کردن نارضایتی استادان به‌طور فردی و جمعی بود. در این پژوهش نارضایتی به‌صورت تابعی از تخصیص استادان به بازه‌های زمانی و دروس اندازه‌گیری شد [۳]. گانو و همکاران[2] (۲۰۰۸) و البتر و همکاران[3] (۲۰۱۲)، به طراحی جدول زمان‌بندی دروس دانشگاهی با استفاده از تبرید شبیه‌سازی‌شده و جست‌وجوی هم‌سازی پرداختند [۹، ۲]. توپالوگلو[4] (۲۰۰۹)، یک مدل برنامه‌ریزی شیفتی چندهدفه با دو روش متوالی و وزنی برای رزیدنت‌های بیمارستان که در سطوح مختلفی قرار دارند، ارائه کرد. تابع هدف این مسئله به دنبال حداقل‌سازی انحرافات از محدودیت‌های نرم است. نتایج حاکی از مطلوبیت و باکیفیت‌بودن جواب‌های مسئله توسط مدل ارائه‌شده نسبت به حالت دستی بود [۲۷]. لیونگ و هو[5] (۲۰۱۰)، پژوهشی به‌منظور برنامه‌ریزی نیروی انسانی برای پذیرش خطوط هوایی با استفاده از الگوریتم‌های جست‌وجوی ممنوعه و شبیه‌سازی تدریجی انجام دادند. آن‌ها به‌دنبال سرویس‌دهی حداکثر پروازها از طریق برنامه‌ریزی گروه‌های کاری و زمان‌های شروع این گروه‌ها برای انجام وظایف بودند؛ به‌گونه‌ای که فقط گروه‌هایی با توانایی‌های مناسب می‌توانند به یک پرواز اختصاص یابند. نتایج محاسباتی حاکی از برتربودن الگوریتم جست‌وجوی ممنوعه نسبت به الگوریتم شبیه سازی تدریجی بود [۱۰]. ورمویتن و همکاران[6] (۲۰۱۶)، با توجه به تأثیر جدول زمان‌بندی بر روی جریان تجمع دانشجویان بین دو کلاس متوالی، رویکرد برنامه‌ریزی عدد صحیح دومرحله‌ای را برای ساخت جدول زمانی درسی دانشگاه، با هدف حداقل‌کردن تخطی از ترجیحات استاد و با تعیین‌کردن دروس به بازه‌های زمانی و کلاس‌ها ارائه کردند. نتایج نشان‌دهنده برتری این مدل در کاهش چشم‌گیر جریان تجمع دانشجویان در صف‌های مربوط به آسانسور و راه‌پله‌ها که موجب تأخیر در زمان شروع کلاس‌ها شده بود، می‌باشد [۲۸]. در پژوهش نانزدل‌تورو و همکاران[7] (۲۰۱۶)، دو رویکرد برای حداقل‌کردن تعداد اپراتورهایی که برای ارائه خدمت به مشتریانی که خواهان خدمات دوره‌ای هستند، ارائه شده است. در رویکرد نخست به مشتریان در زمان مقرر و تعیین‌شده خدمت ارائه می‌شود؛ درحالی‌که در رویکرد دوم، مشتریان می‌توانند زودتر از زمان تعیین‌شده توسط اپراتورها خدمت‌رسانی شوند. در این پژوهش

1. Al-Yakoob & Sherali
2. Gunawan et al.
3. Al-Betar et al.
4. Topaloglu
5. Leung & Ho
6. Vermuyten et al.
7. Núñez-del-Toro et al.

www.SID.ir

Archive of SID

از فرموله‌سازی برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح برای هر دو رویکرد ذکرشده استفاده شد و درنهایت الگوریتم فراابتکاری حریصانه به‌منظور به‌دست‌آوردن جواب‌های بهتر و زمان محاسباتی کمتر ارائه شد [۱۹]. کنگ و ژو[1](۲۰۱۷)، دو مدل بهینه‌سازی کاربردی برای حرکت قطارهای آخر با هدف حداقل‌سازی انحراف استاندارد زمان‌های اضافی و زائد انتقال ارائه کردند. آن‌ها به‌منظور حل این دو مدل از دو الگوریتم شبیه‌سازی تدریجی و ژنتیک در شبکه حمل‌ونقل بیجینگ[2] بهره گرفتند. نتایج نشان می‌دهد که مسافرین قطار آخر می‌توانند در مجموع ۹۷,۴ دقیقه در وقت خود صرفه جویی کنند [۱۳]. پن و همکاران[3](۲۰۱۷)، از برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط چندهدفه برای ادغام چندین عامل در بهبود جدول زمان‌بندی اتاق جراحی استفاده کردند. آن‌ها مدلی ارائه کردند که به بیمارستان‌ها در ساخت یک جدول زمان‌بندی جدید با درنظرگرفتن بهینه‌سازی کاهش تعداد تخت‌های موردنیاز، حضور جراحان، ترجیحات جراحان، تنوع در نوع اتاق‌های عمل و مناسب‌بودن آن‌ها برای انواع عمل‌ها و دردسترس‌بودن تجهیزات محدود کمک می‌کند [۲۰].

در پژوهش گونزالز و فرامینان[4](۲۰۱۸)، یک مسئله زمان‌بندی انجام سفارش‌ها با هدف حداقل‌کردن مجموع وزنی زمان تکمیل سفارش‌ها مدنظر قرار گرفت. در این مسئله به‌منظور بهبود جواب‌ها دو روش ارائه شده است. زمانی که به راه‌حل‌های سریع احتیاج است، یک روش ابتکاری سازنده و زمانی که وقفه‌های طولانی‌تری مجاز است، یک استراتژی فراابتکاری جدید به‌منظور فراهم‌کردن جواب‌های بهتر ارائه شده است. الگوریتم فراابتکاری ارائه‌شده قادر است تا ۹۴ درصد جواب‌های بهینه‌ای که توسط برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط تولید شده است، در همان مدت‌زمان پیدا کند [۸] ساوینیک و همکاران[5](۲۰۱۸)، مسئله جدول زمان‌بندی دروس را با استفاده از الگوریتم‌های جست‌جوی محلی موازی بررسی کردند. در این پژوهش، هدف آن‌ها حداقل‌سازی مجموع وزنی انحراف از محدودیت‌های نرم بود که در این راستا از الگوریتم‌های جست‌وجوی ممنوعه و شبیه‌سازی تدریجی استفاده شد [۲۳].

سورنسن و همکاران[6](۲۰۱۹)، به بررسی مسئله برنامه‌ریزی رانندگان در سیستم حمل‌ونقل اتوبوس‌ها با هدف حداقل‌سازی مجموع هزینه‌ها و جریمه‌های ناشی از ترک سفر پرداختند. برای حل این مسئله، دو روش برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط و الگوریتم حریصانه مقایسه شد [۲۶]. شانگ و همکاران (۲۰۱۹)، برای حل مسئله جدول زمان‌بندی حرکت اتوبوس‌ها از روش جست‌وجوی عددی و برنامه‌ریزی غیرخطی استفاده کردند. آن‌ها سه رویه شامل رضایت

1. Kang & Zhu
2. Beijing
3. Penn et al.
4. Framinan & Gonzalez
5. Saviniec et al.
6. Sørensen et al.

www.SID.ir

Archive of SID

مسافران، جدول زمان‌بندی ابتدایی با بهینه‌سازی تعداد اتوبوس‌ها و نیز ارائه جدول زمان‌بندی بهینه که متضمن رضایت مسافران و کارایی سیستم حمل‌ونقل اتوبوس‌ها است را در نظر گرفتند [۲۵]. فیروزآبادی و همکاران (۱۳۸۸)، در پژوهشی با عنوان «مدل‌سازی مسئله زمان‌بندی دوره‌های تحصیلی»، مدلی کلاسیک با متغیرهای صفر و یک را با رویکرد تخصیص دنباله‌ای از رویدادها مانند دروس به تعداد محدودی از منابع متنوع مثل استادان، کلاس‌ها و بازه‌های زمانی به‌کار بردند. در این پژوهش از برنامه‌ریزی آرمانی استفاده شد که با هدف حداقل‌کردن مجموع انحرافات از بهترین شرایط هر محدودیت نرم، مسئله را حل می‌کند [۱۶]. درویش و همکاران (۱۳۸۸) و نصراللهی (۱۳۹۳)، به تنظیم برنامه نوبت کاری پرستاران با استفاده از الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی آرمانی صفر و یک پرداختند [۵، ۱۸].

یقینی و محمدزاده (۱۳۹۰)، در حوزه حمل‌ونقل و جدول زمان‌بندی حرکت قطارها، یک مدل زمان‌بندی با درنظرگرفتن زمان‌های توقف برای نماز برای محورهای دوخطه راه آهن، با هدف حداقل‌کردن مجموع تأخیرات قطارها ارائه کردند. در این پژوهش، محدودیت توقف اجباری در بین مسیر برای ادای نماز طوری طراحی شده است که ایستگاه انتخابی برای توقف قطار باعث ایجاد کمترین تأخیر در مجموع زمان سفر همه قطارها شود [۲۹]. اکبری و همکاران (۱۳۹۱)، مدلی ریاضی برای زمان‌بندی به‌منظور بهره‌برداری از عملکرد بهینه کارکنان با هدف حداقل‌سازی هزینه‌های نیروی کار و گماشتن کارکنان کارا در نوبت‌های کاری، ارائه کردند. از نوآوری‌های این پژوهش، مدل‌سازی ابعاد ذکرشده با استفاده از توابع هذلولی و نمایی بود. در این پژوهش به‌منظور حل مدل گسسته و غیرخطی از الگوریتم ژنتیک استفاده شد. این مطالعه نشان داد که الگوریتم ژنتیک کارایی و اثربخشی مطلوبی در یافتن جواب بهینه دارد [۱].

در پژوهش اسکندری و بهرامی (۱۳۹۶)، مسئله زمان‌بندی چندهدفه اتاق‌عمل با استفاده از بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی با هدف کمینه‌کردن هزینه‌های اضافه‌کاری و خالی‌ماندن اتاق‌های عمل و نیز کمینه‌کردن روزهای انتظار بیماران برای جراحی، موردتوجه قرار گرفت. آن‌ها از دو الگوریتم NSGA-II و FastPGA برای ترکیب با شبیه‌سازی استفاده کرده و عملکرد آن‌ها را با مدل ریاضی و با یکدیگر مقایسه کردند [۶]. کارگر و همکاران (۱۳۹۶)، یک مدل ریاضی چنددوره‌ای و چندهدفه برای تخصیص اعضای پیوندی که از اهداکنندگان مرگ مغزی فراهم می‌شود، ارائه کردند. در این پژوهش با توجه به تغییر وضعیت سلامتی بیماران در هر دوره، مدل پیشنهادی چنددوره‌ای در نظر گرفته شد؛ همچنین برای حل مدل چندهدفه از برنامه‌ریزی آرمانی فازی اولویت‌بندی استفاده شد. نتایج حاکی از کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل و بهبود خروجی‌های پزشکی حاصل از پیوند با درنظرگرفتن ابعاد لجستیکی و پزشکی مسئله تخصیص عضو در مرحله انتخاب گیرنده مناسب بود [۱۴]. در پژوهش سجادی و همکاران (۱۳۹۷)، مسئله تخصیص ظرفیت اتاق‌های عمل با درنظرگرفتن استراتژی برنامه‌ریزی و

www.SID.ir

Archive of SID

زمان‌بندی بلوکی و با هدف حداقل‌کردن انحراف‌های نامطلوب شامل تقاضای برآورده‌نشده، اضافه‌کاری سرویس‌ها و بیکاری اتاق‌های عمل تخصیص‌یافته، موردتوجه قرار گرفت؛ همچنین مدل برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی برای برنامه‌ریزی و تعیین تعداد و ترکیب بهینه جراحی‌ها و تخصیص ظرفیت به سرویس‌های جراحی با درنظرگرفتن تقاضای غیرقطعی به‌کار رفت. با توجه به NP-Hardبودن مسئله الگوریتم فراابتکاری شبیه‌سازی تبرید نیز ارائه شد. ایده مدل پیشنهادشده آن است که با تغییر تعداد و ترکیب موارد جراحی می‌توان انحراف‌های نامطلوب را کاهش داد [۲۲]. در پژوهش فاطمی قمی و همکاران (۱۳۹۷)، مدل ریاضی جدیدی به‌منظور بهینه‌سازی مسئله مسیریابی تخصیص کارکنان درمانی مراکز ارائه‌دهنده خدمات پزشکی در منزل، با هدف یافتن بهترین زمان‌بندی توالی ویزیت بیماران و حداقل‌سازی هزینه‌های مؤسسه ارائه شده است [۷]. ایمانلو و عتیقه‌چیان (۱۳۹۷)، مسئله زمان‌بندی روزانه فرآیند اعمال جراحی را با درنظرگرفتن مراحل مختلف و شرایط واقعی بررسی کردند. در این پژوهش که هدف آن کمینه‌کردن مجموع زمان بیکاری و اضافه‌کاری اتاق‌های عمل در شرایط عدم‌قطعیت بود، از رویکرد بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی استفاده شد. در این پژوهش ابتدا مدل ریاضی مسئله در حالت قطعی ارائه شد و سپس با توجه به ناکارایی روش‌های دقیق در حل مسائل احتمالی بزرگ و واقعی، یک الگوریتم ترکیبی از الگوریتم مورچگان دوسطحی با شبیه‌سازی به‌کار رفت. الگوریتم ارائه‌شده توسط سناریوهای تصادفی تولیدشده آزمون شد [۱۱].

در کلیه پژوهش‌های صورت‌گرفته در زمینه مسائل جدول زمان‌بندی به چهار حوزه «آموزشی»، «بهداشت و درمان»، «حمل‌ونقل» و «ورزش» توجه شده است؛ حال آنکه این پژوهش با طرح مسئله جدیدی در حوزه مسائل جدول زمان‌بندی دانشگاهی و ارائه مدل ریاضی جدید و مناسبی به دنبال حل مسئله مراجعات دانشجویان به استادان است که تاکنون در مبانی نظری پژوهش وجود نداشته است؛ بنابراین این پژوهش هم به لحاظ تعریف مسئله و هم مدل‌سازی و نیز از لحاظ کاربردی و اجرا دارای نوآوری است. یادآوری این نکته لازم است که امکان مقایسه تعریف مسئله پژوهش حاضر، به‌دلیل آنکه برای نخستین بار در این پژوهش مطرح شده و مسئله‌ای نوین است، با سایر پژوهش‌ها وجود نداشته است.

## ۳. روش‌شناسی پژوهش

با توجه به اینکه رویکرد اصلی پژوهش حاضر، ارائه مدل ریاضی مناسب برای زمان‌بندی مراجعه دانشجویان به استادان است، پژوهش جنبه کاربردی-توصیفی دارد و با توجه به اینکه به دنبال توسعه دانش کاربردی و کاربرد عملی دانش است، می‌توان آن را از نظر هدف، کاربردی دانست. استادان دانشگاه در هر هفته کاری بخشی از زمان خود را به مشاوره با دانشجویان اختصاص می‌دهند و معمولاً این مشاوره به‌صورت دوره‌ای برگزار می‌شود. با این مفهوم که در

www.SID.ir

Archive of SID

طول دوره برنامه‌ریزی ( برای مثال، یک ماه یا یک نیم‌سال تحصیلی)، یک دانشجو باید تعداد مشخصی از مراجعات را به استاد داشته باشد و هر دانشجو در هر مراجعه، یک یا چند بازه زمانی نیم‌ساعته از وقت آزاد استاد را به خود اختصاص می‌دهد. بدین ترتیب هر دانشجو معادل با یک مشتری و استاد متناظر با یک خدمت‌دهنده قلمداد می‌شود. فرض شده است که در هر روز کاری، زمانی را که یک استاد می‌تواند به دانشجویان اختصاص دهد به بازه‌های نیم‌ساعته تفکیک می‌کند و در هر روز $P$ بازه نیم‌ساعته دارد که می‌تواند به مراجعه دانشجویان اختصاص دهد یا به دلایلی مانند برگزاری کلاس، تشکیل جلسه یا زمان استراحت استاد و یا غیره، امکان تخصیص بعضی بازه‌های زمانی به مراجعات دانشجویان وجود نداشته باشد. این بازه‌های زمانی ارائه‌شده توسط استاد در ماتریس $F_{j,k}$ که در جدول ۲، تعریف شده است، مشاهده می‌شود.

در این مسئله سه نوع دانشجو در مقاطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری وجود دارند که دانشجویان مقطع کارشناسی به $R_x$ بازه نیم‌ساعته پیاپی، دانشجویان مقطع کارشناسی ارشد به $R_y$ بازه نیم‌ساعته پیاپی و دانشجویان مقطع دکتری به $R_z$ بازه نیم‌ساعته پیاپی برای هر مراجعه احتیاج دارند؛ ضمن اینکه در دوره برنامه‌ریزی، دانشجویان مقاطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری به‌ترتیب به $T_x$، $T_y$ و $T_z$ مرتبه مراجعه احتیاج دارند و بین این مراجعات نیز حداقل فاصله زمانی باید رعایت شود. این حداقل فاصله زمانی برای سه مقطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری به‌ترتیب برابر $B_x$، $B_y$ و $B_z$ روز است؛ ضمن اینکه در هر روز تعداد مشخصی بازه برای مراجعات اضطراری دانشجویان در نظر گرفته می‌شود تا در صورت لزوم بتوان مراجعات برنامه‌ریزی‌نشده را نیز مدیریت کرد. هدف این است که زمان‌های مراجعه دانشجویان به‌نحوی برنامه‌ریزی شود که تا حد امکان مراجعات دانشجویان به‌صورت یکنواخت در طول دوره برنامه‌ریزی توزیع شود. برای مثال، اگر قرار است چهار مراجعه توسط دانشجویان صورت بگیرد، این چهار مراجعه در یک روز برنامه‌ریزی نشود؛ بلکه در چهار روز مختلف و در هر روز یک مراجعه صورت گیرد؛ ضمن اینکه هدف دیگر قرارگرفتن بازه‌های مراجعات اضطراری در انتهای مراجعات برنامه‌ریزی‌شده و در نخستین زمان‌های آزاد پس از آن‌ها باشد.

**مدل‌سازی مسئله.** در این بخش یک مدل ریاضی به منظور شناسایی و استفاده از آن برای حل مسئله مطرح‌شده ارائه می‌شود و به جزئیات مدل و مفاهیم آن پرداخته خواهد شد. در این راستا اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم برای درک بهتر در جدول‌های ۱، ۲ و ۳، ارائه شده است. مفروضات مسئله پژوهش حاضر نیز به شرح زیر است:

ـ هر دانشجو نوع $s$ باید در طول دوره برنامه‌ریزی $T_s$ مرتبه به استاد خود برای دریافت مشاوره مراجعه کند $(s = x, y, z)$.

ـ در هر مرتبه مراجعه، دانشجویان به $R_s$ بازه زمانی پیاپی احتیاج دارند $(s = x, y, z)$.

www.SID.ir

Archive of SID

ـ بین هر دو مراجعه دانشجویان باید حداقل $B_s$ روز فاصله باشد $(s = x, y, z)$.
ـ در هر روز تعداد مشخصی بازه برای مراجعات اضطراری دانشجویان در نظر گرفته می‌شود.

**مالکیت مدل.** مسائل جدول زمان‌بندی شامل حوزه‌های گوناگون از قبیل آموزشی (جدول زمان‌بندی دروس و امتحانات مدرسه و دانشگاه)، بهداشت و درمان (جدول زمان‌بندی پرستاران و جراحان)، حمل‌ونقل ( جدول زمان‌بندی قطار، اتوبوس و هواپیما) و ورزش (جدول زمان‌بندی مسابقات بین هر دو تیم) است که تاکنون پژوهش‌های بسیاری در این حوزه‌ها صورت گرفته است. مسئله زمان‌بندی خدمات دوره‌ای توسط ناندز دل تورو و همکاران (۲۰۱۶)، مطرح شد که در پژوهش آن‌ها دو رویکرد برای حداقل‌کردن تعداد اپراتورها برای خدمت‌رسانی به مشتریان خواهان خدمات دوره‌ای، ارائه شده است. مسئله پژوهش حاضر از نظر نوع در دسته مسائل خدمات دوره‌ای قرار می‌گیرد و از چند جنبه دارای نوآوری است: نخست اینکه بازه‌های زمانی موردنیاز برای ارائه خدمت به خدمت‌گیرندگان با توجه به تعریف انواع مختلف خدمت‌گیرندگان متفاوت است؛ دوم آنکه تعریف این مسئله در حوزه مسائل دانشگاهی برای نخستین بار صورت گرفته و تاکنون در مبانی نظری وجود نداشته است؛ همچنین در این پژوهش زمان‌ها و بازه‌های اضطراری برای مراجعات برنامه‌ریزی‌نشده در نظر گرفته شده است. ساختار مدل طراحی‌شده در این پژوهش نیز دارای نوآوری است و برای نخستین بار در این مقاله معرفی می‌شود.

*جدول ۱. معرفی اندیس‌ها*

| نام | تعریف |
|---|---|
| $i$ | اندیس شمارنده دانشجویان در هر مقطع |
| $j$ | اندیس شمارنده روز مراجعه دانشجویان به استاد |
| $k$ , $h$ | اندیس‌های مربوط به شمارنده بازه‌های زمانی نیم‌ساعته در یک روز کاری |

*جدول ۲. معرفی پارامترها*

| نام | تعریف |
|---|---|
| $N_x$ | تعداد دانشجویان مقطع کارشناسی |
| $N_y$ | تعداد دانشجویان مقطع کارشناسی‌ارشد |
| $N_z$ | تعداد دانشجویان مقطع دکتری |
| $D$ | تعداد روزهای کاری |
| $P$ | تعداد بازه‌های زمانی قابل‌برنامه‌ریزی در هر روز |
| $T_x$ | تعداد دفعات مراجعات دانشجویان مقطع کارشناسی در دوره برنامه‌ریزی |
| $T_y$ | تعداد دفعات مراجعات دانشجویان مقطع کارشناسی ارشد در دوره برنامه‌ریزی |
| $T_z$ | تعداد دفعات مراجعات دانشجویان مقطع دکتری در دوره برنامه‌ریزی |
| $B_x$ | حداقل فاصله زمانی بین مراجعات دانشجویان مقطع کارشناسی |

www.SID.ir

Archive of SID

| | |
|---|---|
| $B_y$ | حداقل فاصله زمانی بین مراجعات دانشجویان مقطع کارشناسی ارشد |
| $B_z$ | حداقل فاصله زمانی بین مراجعات دانشجویان مقطع دکتری |
| $R_x$ | تعداد بازه زمانی پیاپی موردنیاز برای دانشجویان مقطع کارشناسی در هر مراجعه |
| $R_y$ | تعداد بازه زمانی پیاپی موردنیاز برای دانشجویان مقطع کارشناسی ارشد در هر مراجعه |
| $R_z$ | تعداد بازه زمانی موردنیاز برای دانشجویان مقطع دکتری در هر مراجعه |
| $L$ | تعداد زمان‌های اضطراری در هر روز کاری |
| $F_{j,k}$ | ماتریس دوبُعدی نشان‌دهنده زمان حضور یا عدم‌حضور استاد در روز $j$ بازه $k$ * |

* منظور از وقت آزاد استاد زمان‌هایی است که می‌تواند به مشاوره دانشجویان اختصاص یابد. اگر استاد در روز $j$ و بازه $k$ وقت آزاد داشته باشد، مقدار این پارامتر برابر با ۱ و در غیر این‌صورت مقدار آن برابر صفر است.

*جدول ۳. معرفی متغیرهای تصمیم*

| متغیر تصمیم | تعریف |
|---|---|
| $X_{i,j,k}$ | این متغیر مقدار ۱ خواهد گرفت، اگر دانشجوی $i$ام دوره کارشناسی در روز $j$ام در بازه $k$ام مراجعه کند؛ در غیر این‌صورت این مقدار برابر صفر خواهد بود. |
| $Y_{i,j,k}$ | این متغیر مقدار ۱ خواهد گرفت اگر دانشجوی $i$ام دوره کارشناسی ارشد در روز $j$ام در بازه $k$ام مراجعه کند؛ در غیر این‌صورت این مقدار برابر صفر خواهد بود. |
| $Z_{i,j,k}$ | این متغیر مقدار ۱ خواهد گرفت، اگر دانشجوی $i$ام دوره دکتری در روز $j$ام در بازه $k$ام مراجعه کند؛ در غیر این‌صورت این مقدار برابر صفر خواهد بود. |
| $E_{j,k}$ | این متغیر مقدار ۱ خواهد گرفت، اگر در روز $j$ام بازه $k$ام به مراجعه اضطراری اختصاص یابد؛ در غیر این‌صورت این مقدار برابر صفر خواهد بود. |
| $W_{i,j}$ | این متغیر مقدار ۱ خواهد گرفت، اگر دانشجوی $i$ام در روز $j$ام مراجعه کند؛ در غیر این‌صورت این مقدار برابر صفر خواهد بود. |

**محدودیت‌های مدل.** محدودیت‌های مدل به شرح زیر است که در ادامه بـه توصـیف کـارکرد و وظیفه هر یک پرداخته خواهد شد.

$$\sum_{k=1}^{P} E_{j,k} = L \qquad \forall j \in \{1,\dots, D\} \tag{۱}$$

$$\sum_{i=1}^{N_x} X_{i,j,k} + \sum_{i=1}^{N_y} Y_{i,j,k} + \sum_{i=1}^{N_z} Z_{i,j,k} + E_{j,k} \le F_{j,k} \tag{۲}$$

$$\forall k \in \{1,\dots, P\} \ \forall j \in \{1,\dots, D\}$$

$$\sum_{k=1}^{P} X_{i,j,k} = R_x \times W_{i,j} \quad \forall j \in \{1,\dots, D\} \quad , \ \forall i \in \{1,\dots, N_x\} \tag{۳}$$

$$X_{i,j,k} + X_{i,j,h} \le 1 \tag{۴}$$

www.SID.ir

Archive of SID

$\forall j \in \{1,...,D\}$, $k + R_x \le h \le P$, $\forall k \in \{1,...,P\}$, $\forall i \in \{1,...,N_x\}$

$$\sum_{k=1}^{P} Y_{i,j,k} = R_y \times W_{i,j} \quad Y_{i,j,k} + Y_{i,j,h} \le 1 \qquad (۵)$$

$\forall i \in \{1,...,N_y\}$, $\forall j \in \{1,...,D\}$

$$Y_{i,j,k} + Y_{i,j,h} \le 1 \qquad (۶)$$

$\forall j \in \{1,...,D\}$, $k + R_y \le h \le P$, $\forall k \in \{1,...,P\}$ $\forall i \in \{1,...,N_y\}$

$$\sum_{k=1}^{P} Z_{i,j,k} = R_z \times W_{i,j} \quad , \forall i \in \{1,...,N_z\} \ , \forall j \in \{1,...,D\} \qquad (۷)$$

$$Z_{i,j,k} + Z_{i,j,h} \le 1 \qquad (۸)$$

$\forall j \in \{1,...,D\}$, $k + R_z \le h \le P$, $\forall k \in \{1,...,P\}$, $\forall i \in \{1,...,N_z\}$

$$\sum_{j=1}^{D} \sum_{k=1}^{P} X_{i,j,k} = R_x \times T_x \qquad (۹)$$

$\forall i \in \{1,...,N_x\}$

$$\sum_{j=1}^{D} \sum_{k=1}^{P} Y_{i,j,k} = R_y \times T_y \qquad (۱۰)$$

$\forall i \in \{1,...,N_y\}$

$$\sum_{j=1}^{D} \sum_{k=1}^{P} Z_{i,j,k} = R_z \times T_z \qquad (۱۱)$$

$\forall i \in \{1,...,N_z\}$

$$\sum_{k=1}^{P} \sum_{j=t}^{t+B_x} X_{i,j,k} \le R_x \qquad (۱۲)$$

$t \in \{1,...,D - B_x\}$ , $\forall i \in \{1,...,N_x\}$

$$\sum_{k=1}^{P} \sum_{j=t}^{t+B_y} Y_{i,j,k} \le R_y \qquad (۱۳)$$

$t \in \{1,...,D - B_y\}$, $\forall i \in \{1,...,N_y\}$

www.SID.ir

Archive of SID

$$\sum_{k=1}^{P}\sum_{j=t}^{t+B_z} Z_{i,j,k} \le R_z \quad \forall i \in \{1,...,N_z\}, t \in \{1,...,D-B_z\} \qquad (۱۴)$$

محدودیت ۱، مربوط به تخصیص بازه اضطراری در هر روز است؛ به این معنا که در هر روز باید $L$ بازه زمانی برای مراجعات اضطراری در نظر گرفته شود. محدودیت ۲، در ارتباط با ماتریس $F_{j,k}$ تعریف شده است. این ماتریس زمان حضور یا عدم‌حضور استاد در دانشگاه را نشان می‌دهد. اگر استاد وقت آزاد داشته باشد، مقدار $F_{j,k}$ برابر یک و در غیر این‌صورت مقدار آن برابر صفر خواهد بود. این محدودیت نشان می‌دهد که نخست، زمان‌ها یا بازه‌هایی به دانشجویان اختصاص یابد که استاد اعلام حضور کرده‌است؛ دوم به هر بازه زمانی بیش از یک دانشجو اعم از کارشناسی، کارشناسی ارشد، دکتری و بازه‌های اضطراری اختصاص پیدا نکند. محدودیت‌های ۳ و ۴، مربوط به دانشجویان مقطع کارشناسی هستند.

محدودیت ۳، باعث می‌شود که هر دانشجوی کارشناسی در روز مراجعه، $R_x$ بازه زمانی را به خود اختصاص دهد و محدودیت ۴، باعث پیاپی‌بودن این بازه‌های زمانی می‌شود. همین شرایط برای دانشجویان مقطع کارشناسی ارشد و دکتری در محدودیت‌های ۵، ۶، ۷ و ۸، لحاظ شده است. برای درک بهتر این موضوع، جدول ۴، ارائه شده است. اگر فرض شود در یک روز مشخص ۵ بازه زمانی تعریف شده است، محدودیت ۵، متضمن می‌شود که به یک دانشجوی کارشناسی ارشد در صورت مراجعه به تعداد $R_y$ بازه زمانی اختصاص یابد.

محدودیت ۶، تضمین می‌کند که در صورت تخصیص $R_y$ بازه زمانی به دانشجوی کارشناسی ارشد، این بازه‌های زمانی تخصیص‌یافته به‌صورت پیاپی باشد؛ یعنی اگر یک دانشجوی کارشناسی ارشد در بازه اول یک روز مراجعه کند، در این صورت (با فرض اینکه هر دانشجوی کارشناسی ارشد به دو بازه پیاپی نیاز داشته باشد) بازه دوم نیز باید به این دانشجو تخصیص یابد. درحقیقت این محدودیت مانع از آن می‌شود که بازه‌های زمانی سوم، چهارم و پنجم به این دانشجو تخصیص یابد.

*جدول ۴. نمایش تصویری توضیحات مربوط به محدودیت‌های ۵ و ۶*

| ۱ | ۲ | ۳ | ٤ | ٥ |
|---|---|---|---|---|
| ✓ | ✓ | × | × | × |

محدودیت ۹، حاکی از تخصیص بازه‌های زمانی موردنیاز برای دانشجویان مقطع کارشناسی در طول دوره برنامه‌ریزی است. در طول این دوره دانشجویان کارشناسی $T_x$ بار به استاد خود

www.SID.ir

Archive of SID

مراجعه می‌کنند و در هر بار مراجعه به $R_x$ بازه زمانی احتیاج دارند. به‌عبارتی در طول دوره برنامه‌ریزی باید $T_x \times R_x$ بازه زمانی به هر دانشجوی مقطع کارشناسی اختصاص یابد. محدودیت‌های ۱۰ و ۱۱، به‌ترتیب همین شرایط را برای دانشجویان دوره کارشناسی ارشد و دکتری لحاظ می‌کنند. محدودیت ۱۲، مربوط به رعایت حداقل فاصله زمانی (برحسب روز) بین دو مراجعه پیاپی دانشجویان مقطع کارشناسی است. بین هر دو مراجعه دانشجویان مقطع کارشناسی باید حداقل $B_x$ روز فاصله باشد که مجموع این مراجعات طی این فاصله نباید از تعداد بازه‌های تخصیص‌یافته به دانشجویان کارشناسی بیشتر باشد. همین موضوع در محدودیت‌های ۱۳ و ۱۴، به‌ترتیب برای دانشجویان کارشناسی ارشد و دکتری ارائه شده است که در جدول ۵، مشاهده می‌شود. فرض شود زمان‌های حضور یا عدم‌حضور استاد طی ۴ روز و در هر روز ۵ بازه زمانی تعریف شده باشد. در صورت تخصیص دومین بازه از روز اول به مراجعه یک دانشجوی کارشناسی و با فرض اینکه باید حداقل ۲ روز فاصله بین مراجعات دانشجویان کارشناسی باشد، محدودیت ۱۲،مانع از آن می‌شود که در روزهای دوم و سوم بازه زمانی برای مراجعه بعدی این دانشجو تخصیص داده شود و بنابراین مراجعه این دانشجو می‌تواند در روز چهارم در یکی از بازه‌های زمانی اول، سوم و چهارم که امکان تخصیص وجود دارد، صورت گیرد.

*جدول ۵. نمایش تصویری توضیحات مربوط به محدودیت ۱۲*

| بازه / روز | ۱ | ۲ | ۳ | ٤ | ٥ |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۰ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۲ | ۱<br>× | ۱<br>× | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۳ | ۰ | ۱<br>× | ۱<br>× | ۱<br>× | ۱<br>× |
| ۴ | ۱<br>✓ | ۰ | ۱<br>✓ | ۱<br>✓ | ۰ |

**تابع هدف**

$$MinZ = 2 \times (\sum_{j=1}^{D} \sum_{k=1}^{P} k \times (\sum_{i=1}^{Nx} X_{i,j,k} + \sum_{i=1}^{Ny} Y_{i,j,k} + \sum_{i=1}^{Nz} Z_{i,j,k})) + \sum_{j=1}^{D} \sum_{k=1}^{P} k \times E_{j,k}$$

تابع هدف این مسئله به‌صورت هم‌زمان سه موضوع را دنبال می‌کند: نخست آنکه توزیع مراجعات دانشجویان در روزهای مختلف (اعم از مراجعات عادی و اضطراری) تا حد امکان

www.SID.ir

Archive of SID

یکنواخت صورت بگیرد (برای مثال، اگر قرار است ۵ دانشجو به استاد مراجعه کنند، این مراجعات به‌جای آنکه در یک روز انجام شود، باید در ۵ روز مختلف و در هر روز یک مراجعه صورت گیرد تا توزیع مراجعات یکنواخت شده باشد)؛ دوم آنکه مراجعات دانشجویان در ساعات اولیه در هر روز صورت بگیرد (یعنی اگر یک دانشجو امکان حضور مراجعه هم در بازه نیم‌ساعته اول و هم در بازه نیم‌ساعته چهارم را داشته باشد، بازه نیم‌ساعته اول به مراجعه وی تخصیص داده شود)؛ سوم اینکه زمان‌های اختصاص‌یافته به مراجعات اضطراری در نخستین بازه‌های زمانی قابل‌تخصیص بعد از مراجعات عادی باشد. تحقق این سه موضوع در تابع هدف مطرح‌شده در پژوهش امکان‌پذیر است.

با توجه به تابع هدف ارائه‌شده، اگر یک مراجعه عادی (مراجعات دانشجویان کارشناسی، کارشناسی ارشد یا دکتری) در بازه زمانی $k$ صورت بگیرد، مقدار تابع هدف به اندازه $2k$ افزایش می‌یابد. ازآنجاکه تابع هدف مینیمم‌سازی است، این امر نخست باعث می‌شود مراجعات به سمت بازه‌های اول در هر روز سوق داده شود، دوم اینکه موجب یکنواختی توزیع مراجعات دانشجویان می‌شود. از طرفی اگر مراجعه اضطراری به بازه $k$ اختصاص یابد، تابع هدف به اندازه $k$ افزایش می‌یابد. این موضوع موجب می‌شود تا مراجعات اضطراری به نخستین بازه قابل‌تخصیص بعد از مراجعات عادی تخصیص داده شوند.

**پیچیدگی اندازه مدل.** در این بخش به‌منظور بررسی پیچیدگی اندازه مدل، روابط کمّی برای نمایش تعداد متغیرها و محدودیت‌های مدل در حالت کلی ارائه می‌شود.

تعداد متغیرهای مسئله: $(N_x + N_y + N_z + L) * P * D + (N_x + N_y + N_z) * D$

تعداد محدودیت‌های تولیدشده به‌ازای محدودیت ۱: $D$

تعداد محدودیت‌های تولیدشده به‌ازای محدودیت ۲: $D * P$

تعداد محدودیت‌های تولیدشده به‌ازای محدودیت‌های ۳، ۵ و ۷: $D * (N_x + N_y + N_z)$

تعداد محدودیت‌ها به‌ازای محدودیت ۴: $D * N_x * (P - R_x) * \frac{P-R_x+1}{2}$

تعداد محدودیت‌ها به ازای محدودیت ۶: $D * N_y * (P - R_y) * \frac{P-R_y+1}{2}$

تعداد محدودیت‌ها به‌ازای محدودیت ۸: $D * N_z * (P - R_z) * \frac{P-R_z+1}{2}$

تعداد محدودیت‌های تولیدشده به‌ازای محدودیت‌های ۹، ۱۰ و ۱۱: $(N_x + N_y + N_z)$

تعداد محدودیت‌ها به‌ازای محدودیت ۱۲: $N_x * (D - B_x)$

تعداد محدودیت‌ها به‌ازای محدودیت ۱۳: $N_y * (D - B_y)$

تعداد محدودیت‌ها به‌ازای محدودیت ۱۴: $N_z * (D - B_z)$

www.SID.ir

Archive of SID

## ٤. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

در این بخش به‌منظور اعتبارسنجی مدل مطرح‌شده، دو مثال عددی ساده در ابعاد کوچک و متوسط ارائه شده است که توسط نرم‌افزار LINGO نسخه ۱۷ ارزیابی می‌شوند. یکی از دلایل بررسی مسائل کوچک آن است که فضای جواب آنقدر گسترده نباشد تا بتوان آن را به‌منظور تأیید همه شرایط مطرح‌شده و موردنظر طراح مسئله بررسی کرد. جدول ۶، اطلاعات مربوط به مسئله مراجعات دانشجویان در ابعاد کوچک را نشان می‌دهد.

*جدول ۶. مشخصات مسئله مراجعات دوره‌ای کوچک*

| انواع دانشجویان | تعداد بازه موردنیاز | تعداد دانشجویان | تعداد مراجعات در طول دوره | فاصله زمانی بین مراجعات (روز) |
|---|---|---|---|---|
| کارشناسی | ۱ | ۲ | ۳ | ۱ |
| کارشناسی ارشد | ۲ | ۳ | ۲ | ۲ |
| دکتری | ۳ | ۲ | ۱ | ۳ |

در این مثال ساده فرض شده است که برنامه‌ریزی باید در یک دوره ۷ روزه انجام شود که در هر روز ۶ بازه زمانی وجود دارد و وقت استاد در تمام بازه‌های زمانی آزاد است. در این صورت جواب مسئله که توسط نرم‌افزار لینگو حل شده است در جدول ۷، مشاهده می‌شود.

*جدول ۷. نتیجه حل مسئله زمان‌بندی مراجعات دوره‌ای کوچک*

| مقدار تابع هدف | تعداد متغیرها | تعداد محدودیت‌ها | مدت زمان حل( ثانیه) |
|---|---|---|---|
| ۱۳۹ | ۱۱۵۵ | ۵۹۵۸ | ۰۱ |

جدول زمانی بهینه این مثال نیز در جدول ۸، ارائه شده است. عددهای ذکرشده داخل علامت‌های ()، [] و {} به‌ترتیب نشان‌دهنده شماره دانشجویان مقطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری است که به آن بازه زمانی اختصاص یافته‌اند؛ همچنین نماد $E$ نشان‌دهنده تخصیص بازه موردنظر به مراجعه اضطراری در هر روز است. برای مثال، دانشجوی شماره ۱ کارشناسی ارشد باید در روز اول، وقت‌های اول و دوم مراجعه کند. این موضوع با دو مقدار [۱] که به شماره دانشجو اشاره دارد و در سلول‌های ۱ و ۲ از سطر مربوط به روز اول قرار گرفته است، مشخص می‌شود. مراجعه دوم همین دانشجو نیز در روز پنجم بازه‌های ۲ و ۳ صورت می‌گیرد (هاشور خاکستری کمرنگ). به‌عنوان مثالی دیگر مراجعه دانشجوی اول دکتری در روز چهارم و بازه‌های ۱، ۲ و ۳ صورت می‌گیرد (این مراجعات در جدول با هاشور خاکستری پررنگ

www.SID.ir

Archive of SID

مشخص شده است). سلول‌های خالی نیز نشان‌دهنده عدم‌تخصیص بازه‌های زمانی برای مراجعات دانشجویان، علی‌رغم وقت آزاد استاد است.

*جدول ۸. نمایش تصویری جواب بهینه مسئله مراجعات دوره‌ای کوچک*

| بازه / روز | ۱ | ۲ | ۳ | ٤ | ٥ | ٦ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| شنبه | [۱] | [۱] | [۳] | [۳] | E | |
| یکشنبه | [۲] | [۲] | (۱) | (۲) | E | |
| دوشنبه | {۲} | {۲} | {۲} | E | | |
| سه‌شنبه | {۱} | {۱} | {۱} | (۱) | E | |
| چهارشنبه | (۲) | [۱] | [۱] | E | | |
| شنبه | [۲] | [۲] | (۱) | E | | |
| یکشنبه | (۲) | [۳] | [۳] | E | | |

در مثال دوم، ابعاد مسئله نسبت به مثال قبل بزرگ‌تر است. دوره زمانی برنامه‌ریزی برابر با ۱۵ روز است و در هر روز ۲۰ بازه زمانی نیم‌ساعته وجود دارد. جدول ۹، مشخصات و اطلاعات مربوط به مسئله مراجعات در ابعاد متوسط را نشان می‌دهد. وقت‌های آزاد استاد در جدول ۱۰ با عدد ۱ نمایش داده شده است (فرض می‌شود برنامه زمانی حضور یا عدم‌حضور استاد در دانشگاه از شنبه تا چهارشنبه در طول سه هفته یکسان است؛ بنابراین به‌اختصار برنامه زمانی یک هفته استاد در جدول ۱۰، نمایش داده شده است). در این جدول وقت‌های آزاد با عدد ۱ و وقت‌های غیرآزاد با علامت ضربدر نشان داده می‌شود. جدول ۱۱، نیز نشان دهنده جواب مسئله مراجعات دوره‌ای متوسط است.

*جدول ۹. مشخصات مسئله مراجعات دوره‌ای متوسط*

| انواع دانشجویان | تعداد بازه موردنیاز | تعداد دانشجویان | تعداد مراجعات در طول دوره | حداقل فاصله زمانی بین مراجعات (روز) |
|---|---|---|---|---|
| کارشناسی | ۱ | ۵ | ۵ | ۱ |
| کارشناسی ارشد | ۲ | ۴ | ۴ | ۲ |
| دکتری | ۳ | ۳ | ۲ | ۳ |

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱۰. ماتریس زمان‌بندی حضور استاد در مسئله مراجعات دوره‌ای متوسط

| بازه / روز | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ | ۱۳ | ۱۴ | ۱۵ | ۱۶ | ۱۷ | ۱۸ | ۱۹ | ۲۰ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| شنبه | ۱ | ۱ | ۱ | × | × | × | × | × | ۱ | ۱ | ۱ | × | × | × | × | × | × | × | × | × |
| یکشنبه | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | ۱ | ۱ |
| دوشنبه | × | × | × | × | × | × | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | × | × | × | × | × | × | × | × | × |
| سه‌شنبه | × | × | × | × | × | × | ۱ | ۱ | ۱ | × | × | × | × | × | × | × | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ |
| چهارشنبه | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × |

جدول ۱۱. نتیجه حل مسئله زمان‌بندی مراجعات دوره‌ای متوسط

| مقدار تابع هدف | تعداد متغیرها | تعداد محدودیت‌ها | مدت زمان حل( ثانیه) |
|---|---|---|---|
| ۱۲۱۲ | ۴۰۰۵ | ۱۷۶۱۶ | ۰۲ |

جدول زمانی بهینه مراجعات دوره‌ای در اندازه متوسط در جدول ۱۲، نشان داده شده است.

جدول ۱۲. نمایش تصویری جواب بهینه مسئله مراجعات دوره‌ای متوسط

| بازه / روز | ۱ | ۲ | ۳ | ٤ | ٥ | ٦ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ | ۱۳ | ۱٤ | ۱٥ | ۱٦ | ۱۷ | ۱۸ | ۱۹ | ۲۰ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| شنبه | {۲} | {۲} | {۲} | × | × | × | × | × | [۱] | [۱] | E | × | × | × | × | × | × | × | × | × |
| یک شنبه | (۳) | [۳] | [۳] | (۴) | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | (۵) | E |
| دوشنبه | × | × | × | × | × | × | [۲] | [۲] | (۱) | (۲) | E | × | × | × | × | × | × | × | × | × |
| سه شنبه | × | × | × | × | × | × | {۱} | {۱} | {۱} | × | × | × | × | × | × | × | (۳) | (۴) | E | |
| چهارشنبه | {۳} | {۳} | {۳} | (۲) | [۴] | [۴] | E | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × |
| شنبه | [۱] | [۱] | (۴) | × | × | × | × | × | [۲] | [۲] | E | × | × | × | × | × | × | × | × | × |
| یک شنبه | (۱) | (۵) | (۳) | (۲) | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | E | |
| دوشنبه | × | × | × | × | × | × | [۳] | [۳] | [۴] | [۴] | E | × | × | × | × | × | × | × | × | × |
| سه شنبه | × | × | × | × | × | × | (۵) | (۲) | (۴) | × | × | × | × | × | × | × | [۱] | [۱] | (۱) | E |
| چهارشنبه | {۲} | {۲} | {۲} | (۳) | [۲] | [۲] | E | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × |
| شنبه | (۲) | [۳] | [۳] | × | × | × | × | × | [۴] | [۴] | E | × | × | × | × | × | × | × | × | × |
| یک شنبه | (۵) | {۱} | {۱} | {۱} | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | E | |
| دوشنبه | × | × | × | × | × | × | {۳} | {۳} | {۳} | (۱) | E | × | × | × | × | × | × | × | × | × |
| سه شنبه | × | × | × | × | × | × | (۵) | [۳] | [۳] | × | × | × | × | × | × | × | [۲] | [۲] | (۴) | E |
| چهارشنبه | [۲] | [۳] | [۱] | [۱] | (۱) | (۳) | E | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × |

**مطالعه موردی.** در این بخش با استفاده از مدل طراحی‌شده و با دردست‌داشتن برنامه زمانی حضور یکی از استادان منتخب «دانشگاه یزد»، اقدام به برنامه‌ریزی و حل مسئله پژوهش حاضر برای یک ترم ( معادل ۱۶ هفته کاری) شده است. جدول ۱۳، برنامه یک هفته کاری (معادل شنبه تا چهارشنبه) در ۲۲ بازه زمانی در هر روز این استاد را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است این مدل در نسخه ۱۷ نرم‌افزار LINGO و توسط لپ‌تاپ DELL INSPIRON 1545 با پردازنده

www.SID.ir

Archive of SID

CORE i2 و با حافظه ۳ گیگا بایت، حل شده و در زمان ۸۶ ثانیه به حل بهینه سراسری رسیده است.

*جدول ۱۳ . ماتریس زمان‌بندی حضور استاد در طول یک هفته کاری(معادل ۵ روز)*

| بازه / روز | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ | ۱۳ | ۱۴ | ۱۵ | ۱۶ | ۱۷ | ۱۸ | ۱۹ | ۲۰ | ۲۱ | ۲۲ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| شنبه | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ |
| یکشنبه | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ |
| دوشنبه | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ |
| سه‌شنبه | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ |
| چهارشنبه | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × |

داده‌های مربوط به این مسئله شامل تعداد دانشجویان هر مقطع، تعداد مراجعات آن‌ها در طول دوره برنامه‌ریزی، فاصله زمانی بین مراجعات و نیز تعداد بازه موردنیاز برای هر نوع دانشجو در جدول ۱۴، ارائه شده است.

*جدول ۱۴. مشخصات مسئله مراجعات دوره‌ای دانشجویان برای ۱۶ هفته کاری*

| انواع دانشجویان | تعداد بازه موردنیاز | تعداد دانشجویان | تعداد مراجعات در طول دوره | حداقل فاصله زمانی بین مراجعات (روز) |
|---|---|---|---|---|
| کارشناسی | ۱ | ۸ | ۱۰ | ۱ |
| کارشناسی ارشد | ۲ | ۶ | ۱۲ | ۲ |
| دکتری | ۳ | ۵ | ۶ | ۳ |

اطلاعات مربوط به مدت زمان اجرای مدل و مقدار تابع هدف در جدول ۱۵، ارائه شده است.

*جدول ۱۵. نتیجه حل مسئله زمان بندی مراجعات دوره‌ای دانشجویان برای ۱۶ هفته کاری*

| مقدار تابع هدف | تعداد متغیرها | تعداد محدودیت‌ها | مدت زمان حل( ثانیه) |
|---|---|---|---|
| ۳۶۸۲ | ۳۶۰۸۰ | ۱۸۰۵۴۵ | ۸۶ |

ازآنجاکه طول دوره برنامه‌ریزی برابر با یک نیم‌سال تحصیلی (۱۶ هفته) است، برای جلوگیری از طولانی‌شدن متن مقاله، برای نمونه جدول ۱۶، نتیجه و خروجی حاصل از حل مدل ارائه‌شده برای هفته چهارم این مسئله را نشان می‌دهد. در جدول ۱۷، نیز برنامه زمانی مراجعات دانشجوی پنجم کارشناسی ارشد در طول دوره، یعنی ۱۶ هفته، ارائه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱۶. زمان‌بندی مراجعات دانشجویان در هفته چهارم

| بازه / روز | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ | ۱۳ | ۱۴ | ۱۵ | ۱۶ | ۱۷ | ۱۸ | ۱۹ | ۲۰ | ۲۱ | ۲۲ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| شنبه | {۳} | {۳} | {۳} | (۴) | (۲) | (۷) | (۳) | (۱) | [۶] | [۶] | E | | | | | | | | | | | |
| یکشنبه | [۲] | [۲] | (۸) | (۶) | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | E | | | | | | |
| دوشنبه | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | E | | | | | | |
| سه‌شنبه | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | E | | | | | | |
| چهارشنبه | [۳] | [۳] | (۳) | (۴) | (۶) | (۱) | E | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × |

جدول ۱۷. زمان‌بندی مراجعه دوره‌ای دانشجوی شماره ۵ کارشناسی ارشد

| شماره دانشجو | هفته | روز | بازه زمانی |
|---|---|---|---|
| ۵ | ۱ | ۱ | ۱۰ و ۹ |
| ۵ | ۲ | ۱ | ۷ و ۶ |
| ۵ | ۲ | ۵ | ۴ و ۳ |
| ۵ | ۳ | ۵ | ۴ و ۳ |
| ۵ | ۵ | ۲ | ۲ و ۱ |
| ۵ | ۵ | ۵ | ۳ و ۲ |
| ۵ | ۷ | ۲ | ۲ و ۱ |
| ۵ | ۱۱ | ۱ | ۲ و ۱ |
| ۵ | ۱۲ | ۱ | ۴و۵ |
| ۵ | ۱۳ | ۱ | ۷و۸ |
| ۵ | ۱۵ | ۲ | ۱و۲ |
| ۵ | ۱۶ | ۱ | ۶و۷ |

**آزمون مدل با تغییر در پارامترهای مسئله.** با مشاهده نتایج به‌دست‌آمده از اجرای مدل، این سؤال پیش خواهد آمد که در شرایط متفاوت پارامترهای مسئله، نتایج به‌دست‌آمده چگونه تغییر خواهند کرد. برای پاسخ به این سؤال، مدل ارائه‌شده برای ۱۶ هفته کاری، معادل یک ترم دانشگاهی، با توجه به اطلاعات جدول ۱۴، چندبار اجرا شد و در هر بار یکی از پارامترها تغییر کرد تا بتوان نتایج را با یکدیگر مقایسه کرد. معیار این مقایسه، اطلاعات خروجی مثال عددی است که در جدول ۱۸، ارائه شده است.

در ستون سمت چپ ، انواع اجراها آورده شده است.

ـ اجرای A همان اجرای مثال در شرایط مدل‌سازی مسئله برای ۱۶ هفته کاری است.

ـ اجرای B، پارامتر مربوط به تعداد دانشجویان کارشناسی را افزایش می‌دهد.

ـ اجرای C، پارامتر مربوط به تعداد دانشجویان کارشناسی ارشد را افزایش می‌دهد.

ـ اجرای D، پارامتر مربوط به تعداد دانشجویان دکتری را افزایش می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID

ـ اجرای E، تعداد مراجعات دانشجویان کارشناسی را در طول دوره برنامه‌ریزی افزایش می‌دهد.
ـ اجرای F، تعداد مراجعات دانشجویان کارشناسی ارشد را در طول دوره برنامه‌ریزی افزایش می‌دهد.
ـ اجراهای G و H، تعداد مراجعات دانشجویان دکتری را در طول دوره برنامه‌ریزی افزایش می‌دهد.
ـ اجرای I تعداد بازه‌های زمانی حضور استادان در دانشگاه را افزایش می‌دهد.

*جدول ۱۸. نتایج چندین اجرای متفاوت از مدل*

| اجرای نوع | پارامتر $N_x$ | پارامتر $N_y$ | پارامتر $N_z$ | پارامتر $T_x$ | پارامتر $T_y$ | پارامتر $T_z$ | پارامتر $K$ | جواب بهینه | زمان حل |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | ۸ | ۶ | ۵ | ۱۰ | ۱۲ | ۶ | ۲۲ | ۳۶۸۲ | ۱:۲۶ |
| B | ۵۰ | ۶ | ۵ | ۱۰ | ۱۲ | ۶ | ۲۲ | ۱۸۴۱۰ | ۹:۵۱ |
| C | ۸ | ۱۲ | ۵ | ۱۰ | ۱۲ | ۶ | ۲۲ | ۷۸۸۲ | ۱۲:۴۱ |
| D | ۸ | ۶ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۲ | ۶ | ۲۲ | ۶۱۰۰ | ۵:۱۸ |
| E | ۸ | ۶ | ۵ | ۲۰ | ۱۲ | ۶ | ۲۲ | ۵۷۸۲ | ۷:۴۸ |
| F | ۸ | ۶ | ۵ | ۱۰ | ۲۴ | ۶ | ۲۲ | ۸۱۸۰ | ۳۷:۵۵ |
| G | ۸ | ۶ | ۵ | ۱۰ | ۱۲ | ۱۲ | ۲۲ | ۶۱۰۰ | ۵:۵۲ |
| H | ۸ | ۶ | ۵ | ۱۰ | ۱۲ | ۳۰ | ۲۲ | Infeasible | ----- |
| I | ۸ | ۶ | ۵ | ۱۰ | ۱۲ | ۶ | ۲۴ | ۶۰۷۶ | ۵:۲۲ |

**یافته‌های مدیریتی.** محدودیت منابع و نیز چگونگی تخصیص بهینه منابع همواره یکی از مسائل مهم و اساسی در سازمان‌ها، به‌خصوص سازمان‌های خدماتی، به‌شمار می‌رود. دانشگاه‌ها و مراکز آموزش عالی نیز همانند سایر سازمان‌های خدماتی با مسائل متنوعی در زمینه تخصیص بهینه منابع مواجه هستند. در این میان زمان یکی از مهم‌ترین منابع مورداستفاده مراکز آموزش عالی است که لزوم تخصیص بهینه آن به مسائل متنوع زمان‌بندی منجر می‌شود. مسئله ارائه‌شده در این پژوهش، ارائه زمان‌بندی مناسب در برنامه استادان دانشگاه است که باعث می‌شود از زمان حضور استادان و دانشجویان در دانشگاه‌ها استفاده بهینه صورت گیرد. این مسئله یک مسئله جدید در حوزه مسائل زمان‌بندی خدمات دوره‌ای است که پیش از این موردتوجه قرار نگرفته است. این پژوهش موفق شد مسئله مطرح‌شده در این حوزه را به یک مدل ریاضی خطی تبدیل کند و علی‌رغم پیچیدگی‌های ساختار آن، به‌دلیل NP-Hard بودن مسئله، در مدت زمان کم و با استفاده از رایانهٔ عادی آن را حل کند. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که پیچیدگی مسئله موجب طولانی‌شدن زمان حل آن نمی‌شود و نیازی به راه‌حل‌های پیچیده نیست و مکانیزم‌های ساده قابلیت حل این‌گونه مسائل را دارند.

www.SID.ir

Archive of SID

## ۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

همان‌طور که گفته شد در مطالعات پیشین به حل مسائل جدول زمان‌بندی در ۴ حوزه آموزشی، بهداشت و درمان، حمل‌ونقل و ورزش پرداخته شده است. در این پژوهش، شکل جدیدی از مسائل زمان‌بندی دوره‌ای پیشنهاد شده است که در آن مراجعات دوره‌ای دانشجویان به استادان مدنظر قرار گرفته و این موضوع تاکنون در مبانی نظری پژوهش وجود نداشته است. دانشجویان باید در طول دوره برنامه‌ریزی تعداد مشخصی مراجعه به استادان داشته باشند و بین این مراجعات فاصله‌های زمانی مشخص رعایت شود. هدف مسئله این است که مراجعات دانشجویان تا حد امکان به‌صورت یکنواخت در طول دوره برنامه‌ریزی توزیع شده باشد؛ ضمن آنکه زمان‌هایی که برای مراجعات اضطراری در هر روز در نظر گرفته می‌شود، در انتهای مراجعات برنامه‌ریزی‌شده قرار بگیرد. برای این امر چند مثال عددی و یک مثال واقعی با درنظرگرفتن ۱۶ هفته تحصیلی و سه نوع دانشجو اعم از کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری ارائه شد.

نتایج حل مثال‌های عددی نشان داد که نحوه تعریف محدودیت‌ها و تابع هدف مؤثر است و به نتایج مطلوب در مسائل مختلف منجر می‌شود. نقطه قوت مدل ارائه‌شده آن است که مسئله مراجعات دوره‌ای در قالب یک مدل برنامه‌ریزی خطی صفر و یک محض فرموله شده است و این امر باعث می‌شود زمان حل مسئله حتی برای مسائل واقعی نیز بسیار کوتاه و اثربخش باشد. ازآنجاکه مسئله پژوهش حاضر زمان‌بندی خدمات دوره‌ای است، کاربرد آن محدود به حوزه دانشگاه و تنظیم برنامه زمانی استادان نمی‌شود و از آن می‌توان در تمامی سازمان‌های خدماتی که مشتریان آن‌ها نیازمند دریافت خدمات به‌صورت دوره‌ای هستند، مانند مراجعات دوره‌ای موکلین به وکلا و همچنین مراجعات دوره‌ای بیماران به پزشکان استفاده کرد.

در مسئله مراجعه بیماران به پزشکان مانند پژوهش حاضر می‌توان انواع مختلف بیماران را در نظر گرفت که هر کدام نیازمند بازه‌های زمانی مشخصی هستند. به‌علاوه می‌توان تعدادی بازه اضطراری در هر روز برای مراجعات برنامه ریزی نشده در نظر گرفت. مسئله ارائه‌شده در این پژوهش به‌صورت خطی ارائه شده است؛ بنابراین برای پژوهش‌های آتی استفاده از روش‌های ابتکاری به‌منظور کاهش زمان حل مسئله پیشنهاد می‌شود. در استفاده عملی از این مدل به استفاده‌کنندگان پیشنهاد می‌شود که می‌توان دوره‌های کوتاه‌مدت‌تر، مثل ماهیانه (نه لزوماً ۱۶ هفته و برای یک ترم) را برای برنامه‌ریزی در نظر گرفت تا زمان اجرای نرم افزار مطلوب باشد و با دریافت بازخورد از برنامه‌های جاری، اصلاحاتی برای دوره‌های آتی در صورت لزوم در نظر گرفت. در این پژوهش، مدلی برای تنظیم برنامه زمانی مراجعه دانشجویان به یک استاد ارائه شده است. از آنجایی که دانشجویان ممکن است در یک روز به بیش از یک استاد مراجعه کنند، می‌توان پیشنهاد داد که در پژوهش‌های آتی مدلی ارائه شود که هم‌پوشانی حداکثری در برنامه

www.SID.ir

Archive of SID

زمان‌بندی مراجعات یک دانشجو به چند استاد را لحاظ کند. این امر موجب می‌شود دانشجویانی که نیازمند مراجعه دوره‌ای به بیش از یک استاد را دارند، در روزها و بازه‌هایی این مراجعات تخصیص داده شود که استادان مربوطه در دانشگاه حضور دارند.

www.SID.ir

Archive of SID

## منابع

1. Akbari, M., Dorri Nokarani, B., Zandieh, M. (2012). Scheduling Working Shifts for Multi-skilled Workforces with Genetic Algorithm Approach. *Journal of Industrial Management Perspective*, *2(3),* 87-102 (In Persian).
2. Al-Betar, M. A., Khader, A. T., & Zaman, M. (2012). University course timetabling using a hybrid harmony search metaheuristic algorithm. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, *42(5),* 664-681.
3. Al-Yakoob, S. M., & Sherali, H. D. (2006). Mathematical programming models and algorithms for a class–faculty assignment problem. *European Journal of Operational Research*, *173(2),* 488-507.
4. Bar-Noy, A., Bhatia, R., Naor, J., & Schieber, B. (2002). Minimizing service and operation costs of periodic scheduling. *Mathematics of Operations Research*, *27(3),* 518-544.
5. Darvish, A., Towhidkhah, F., Khayati, R., Keyhanian S. (2009). Designing Nursing Work Scheduler Intelligent System Based on Genetic Algorithm. *Journal of Hayat, 15(2),* 23-37 (In Persian).
6. Eskandari, H., Bahrami, M. (2017). Multi-objective Operating Room Scheduling Using Simulation-based Optimization. *Journal of Industrial Enginearing*, *51(1),* 1-13 (In Persian).
7. Fatemi Ghomi, S., Arabzadeh, E., Karimi, B. (2018). A Multi Period Routing and Scheduling optimization Model for Home health Care Problem. *Industrial Management Studies*, *16(48),* 1-30 (In Persian).
8. Framinan, J. M., & Perez-Gonzalez, P. (2018). Order Scheduling with Tardiness Objective: Improved Approximate Solutions. *European Journal of Operational Research*, *266(3),* 840-850.
9. Gunawan, A., Ng, K. M., & Ong, H. L. (2008). A Genetic Algorithm for the Teacher Assignment Problem for a University in Indonesia. *Information and Management Sciences*, *19(1),* 1-16.
10. Ho, S. C., & Leung, J. M. (2010). Solving a Manpower Scheduling Problem for Airline Catering Using Metaheuristics. *European Journal of Operational Research*, *202(3),* 903-921.
11. Imani Imanlu, M., Atighehchian, A. (2017). Daily Operating Rooms Scheduling Under Uncertainty Using Simulation Based Optimization Approach. *Journal of Industrial Management Perspective*, *7(2),* 53-82 (In Persian).
12. Javanshir, H., Khatami Fivouzabadi, A., Fatemi, S. (2013). Scheduling of Suburban Trains by Considering Emergency Stops and Intersectios Based on Simulated Annealing Algorithm. *Industrial Management Studies*, *12(34),* 41-88 (In Persian).
13. Kang, L., & Zhu, X. (2017). Strategic timetable scheduling for last trains in urban railway transit networks. *Applied Mathematical Modelling*, *45*, 209-225.
14. Kargar, B., Pishvaee, M., Barzinpour, F. (2017). A Multi-Objective Mathematical Model for Organ Allocation to Patients in Iran Organ Transplantation Network. *Journal of Industrial Management Perspective, 7(3),* 151-177 (In Persian).
15. Kendall, G., Knust, S., Ribeiro, C. C., & Urrutia, S. (2010). Scheduling in sports: An annotated bibliography. *Computers & Operations Research*, *37(1),* 1-19.

www.SID.ir

Archive of SID

16. Khatami Fivouzabadi, A., Rahimi, M., Mohtashami, A. (2006). Modeling the problem of courses timetabling in a small educational institute. *Industrial Management Studies*, *5(14),* 29-54 (In Persian).
17. Leung, J. Y. (Ed.). (2004). *Handbook of scheduling: algorithms, models, and performance analysis*. CRC press.
18. Nasrollahi, M. (2014). Modeling the Nurse Scheduling in Different Shifts of Babolsar Shafa Hospital. *Health Information Management, 11(7),* 985-994 (In Persian).
19. Núñez-del-Toro, C., Fernández, E., Kalcsics, J., & Nickel, S. (2016). Scheduling policies for multi-period services. *European Journal of Operational Research*, *251(3),* 751-770.
20. Penn, M. L., Potts, C. N., & Harper, P. R. (2017). Multiple criteria mixed-integer programming for incorporating multiple factors into the development of master operating theatre timetables. *European Journal of Operational Research*, *262(1),* 194-206.
21. Remzi H. Arpaci-Dusseau; Andrea C. Arpaci-Dusseau. (2015). Chapter: Scheduling: Introduction, Section 7, 6: A New Metric: Response Time".
22. Sajadi, A., Ketabi, S., Atighehchian, A. (2018). Determining the Optimal Surgical Case-Mix and Capacity Assignment for Surgical Services in Hospitals Using Simulated Annealing. *Industrial Management Journal, 10(4),* 63-650 (In Persian).
23. Saviniec, L., Santos, M. O., & Costa, A. M. (2018). Parallel local search algorithms for high school timetabling problems. *European Journal of Operational Research*, *265(1),* 81-98.
24. Schaerf, A. (1999). A survey of automated timetabling. *Artificial intelligence review*, *13(2),* 87-127.
25. Shang, H. Y., Huang, H. J., & Wu, W. X. (2019). Bus timetabling considering passenger satisfaction: An empirical study in Beijing. *Computers & Industrial Engineering*.
26. Sørensen, K. S., Perumal, S. S., Larsen, J., Lusby, R. M., &Riis, M. (2019). A matheuristic for the driver scheduling problem with staff cars. *European Journal of Operational Research*, *275(1),* 280-294.
27. Topaloglu, S. (2009). A shift scheduling model for employees with different seniority levels and an application in healthcare. *European Journal of Operational Research*, *198(3),* 943-957.
28. Vermuyten, H., Lemmens, S., Marques, I., & Beliën, J. (2016). Developing compact course timetables with optimized student flows. *European Journal of Operational Research*, *251(2),* 651-661
29. Yaghini, M., Mohammadzadeh, A. (2011). A Train Scheduling by Considering the Train Stops for Prayer. *Journal of Industrial Engineering, 45(1),* 103- 116 (In Persian).

www.SID.ir

Archive of SID

# Providing a Mathematical Model for Solving the Problem of Timetabling of Periodical Services

**Ali Reza Naser Sadrabadi*, Setareh Boshrouei Shargh**, Seyed Heidar Mirfakhredini*****

**Abstract**

Periodical services are scheduled in various methods throughout different industries and services. Customers or clients periodically visit institutions or service providers to request for a service. Examples are patients referring to physicians or university students to lecturers. This paper proposes a novel model for the scheduling of the periodical services that university students may inquire from their lecturers. The timing of the schedule should accommodate an even distribution of office visits, intervals between the visits, and continual visits, which may require longer time slots. Although the problem has a complex structure, a pure linear integer model is formulated to yield a satisfactory schedule. The solution is verified using two numerical examples and one real example on LINGO (version 17). The results indicate that the model enjoys an acceptable processing time while meeting all constraints, and may be employed successfully on a large scale.

**Keywords: Integer Linear Programming; Optimization; Service Scheduling; Periodical Issues; Mathematical Modeling.**

Received: Dec. 01, 2018, Accepted: Feb. 14, 2020.
* Assistant Professor, Yazd University (Corresponding Author).
Email: alireza_naser@yazd.ac.ir
** M.A., Yazd University.
*** Associate Professor, Yazd University.

www.SID.ir