

توسعه مدل زمانبندی دروس دانشگاهی با در نظر گرفتن ترجیحات اساتید و دانشجویان و حل آن توسط سیستم پشتیبان تصمیم گیری

شقایق وزیری*، آرش زارع طلب**، مانی شریفی***

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۹

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۱۷

چکیده

جدول زمانبندی^۱ درسی، مسئله تخصیص هفتگی یک مجموعه درس و استاد به مکان و زمان بنا بر یکسری محدودیت‌های سخت و نرم در دانشگاه می‌باشد. در هر نیمسال، مدیران گروه‌های آموزشی برای تولید جدول زمانبندی درسی از جدول‌های نیمسال‌های گذشته و روش سعی و خطا استفاده می‌کنند؛ هر چند تغییر سریع نیازمندی‌های دانشگاه در هر نیمسال، محدودیتها و قوانین حاکم سبب گردیده این روش راه حل مناسبی به شمار نمی‌آید. در این پژوهش به طراحی و توسعه مدل ریاضی دو هدفه با در نظر گرفتن ترجیحات دانشجویان و اساتید پرداختیم، از آنجایی که مدل به دلیل پیچیدگی از روش‌های مرسوم مسائل غیرخطی قابل حل نبود از الگوریتم متاهوریستک تبریدشبهی سازی شده برای حل مدل ریاضی بهره‌برده ایم. این مجموعه در بسته نرم افزار کامپیوتری با محیط کاربری توسط زبان برنامه نویسی C# و بکارگیری پایگاه داده SQL پیاده سازی شده است. این سیستم، توسط داده‌هایی که از دانشگاه آزاد گرد آمده است، امتحان گردیده و نتایج حاکی از پیشرفت چشمگیری است که نسبت به فرآیند دستی وجود دارد. در کل سیستم انعطاف پذیر و آسان برای امتحان سناریوهای مختلف زمانبندی است.

واژگان کلیدی: جدول زمانی درسی، شبیه سازی تبرید چند هدفه، تابع ترجیحات، سیستم پشتیبان تصمیم گیری

*دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، قزوین ایران
**دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم های مدیریت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
***استادیار گروه مهندسی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، قزوین ایران (نویسنده مسئول) (m.sharifi@Qiau.ac.ir)

مقدمه و مرور ادبیات

جدول زمانبندی، یکی از انواع مسائل تخصیص چند بعدی است که در زندگی روزمره به طور گسترده یافت می‌شود. از انواع آن می‌توان زمانبندی در محیط‌های تحصیلی، بیمارستان (جعفری و سلماسی، ۲۰۱۵)، لیگ‌های ورزشی (لویس و تامپسون، ۲۰۱۱)، حمل و نقل، نمایشگاه‌ها (لی و لین، ۲۰۱۰) و صنایع را نام برد. از بین انواع مسائل جدول زمانبندی، مسئله جدول زمانبندی تحصیلی توجه بسیاری را به خود جلب نموده است، مسئله جدول زمانبندی تحصیلی انواع گوناگونی دارد که شامل مسئله جدول زمانبندی درسی (مدرسه و دانشگاه) و مسئله جدول زمانبندی امتحانی می‌باشد (ورا، ۱۹۸۵). مفهوم جدول زمانبندی تحصیلی، تخصیص یکسری رویداد (درس / یا امتحان و استاد) به بازه‌ی زمانی محدود و مکان است تا جایی که یکسری محدودیت‌ها برآورده شوند. محدودیت‌هایی که در اینگونه مسائل وجود دارد معمولاً به دو گروه محدودیت‌های سخت^۱ و محدودیت‌های نرم^۲ تقسیم می‌شوند (وایت و چان، ۱۹۷۹). محدودیت‌های سخت؛ محدودیت‌هایی هستند که نمی‌بایست نقض شوند. جدول زمانبندی که کلیه محدودیت‌های سخت آن برآورده شده باشد جدول زمانبندی شدنی می‌نامند. محدودیت‌های نرم، مربوط به ترجیحاتی است که تمایل داریم برآورده شوند و اگر برآورده نشد جریمه می‌شود ولی همچنان جواب شدنی باقی می‌ماند. مسئله جدول زمانبندی درسی را نیز به دوزیر مجموعه تقسیم بندی می‌کنند: "جدول زمانبندی درسی مبتنی بر پیش ثبت نام"^۳ که در آن محدودیت‌های مسئله بر اساس اطلاعاتی که از درخواست دانشجویان برای اخذ درس حاصل می‌شود، تعریف می‌گردد "و جدول زمانبندی درسی مبتنی بر تقویم آموزشی" که محدودیت‌هایش مبتنی بر تقویم آموزشی دانشگاه تهیه شده باشد مشخص می‌گردد. به دلیل ماهیت مسئله جدول زمانبندی تحصیلی و پیچیدگی محاسبات، جزو مسائل چند جمله-ای غیرقطعی سخت^۴ NP-hard دسته بندی شده است (بروک و راس، ۱۹۹۶)، این بدان

1 Hard Constraints

2 Soft Constraints

3 Curriculum based timetabling

4 Non-Deterministic Polynomial Hard (NP-HARD)

معناست که هیچ الگوریتم مشخصی برای دستیابی به یک جواب شدنی و کارا در یک زمان چندجمله ای وجود ندارد. از دهه ۱۹۶۰ تا کنون (گاتلیب، ۱۹۶۳)، در ادبیات بسیار به این مسئله پرداخته شده است در این رابطه مرور ادبیات‌های جامعی ((چارف^۱، ۱۹۹۹) و (گو و همکاران، ۲۰۰۹)) یافت می‌شود. اهمیت این مسئله در حدی است که مسابقاتی در سطح جهانی فقط تحت عنوان جدول زمانبندی در سه بخش؛ جدول زمانبندی مبتنی بر پیش ثبت نام، جدول زمانبندی درسی مبتنی بر تقویم آموزشی و امتحانات نیز برگزار شد (گاسپرو و همکاران، ۲۰۰۷). در این مسابقات فرمول ریاضی و مجموعه داده‌هایی فراهم آمد که پس از آن در بسیاری از پژوهش‌ها به کار گرفته شدند. روش‌های مختلفی برای حل اینگونه مسائل ارائه شده است که از رنگ آمیزی گراف گرفته تا الگوریتم‌های پیچیده متاهوریستیک را شامل می‌شود ولی روش‌های متاهوریستیک به طبع موثرتر می‌باشد. به عنوان مثال، بروک و همکارانش، الگوریتم ژنتیک هیبریدی را برای حل مسئله جدول زمانبندی امتحانات پیشنهاد دادند و از روشهای مختلفی برای تولید جواب همسایگی استفاده نمودند تا از افتادن در دام بهینه محلی جلوگیری نمایند (بروک و همکاران، ۲۰۱۰). عبد الله و ترابیه، الگوریتم جستجوی ممنوعه مبتنی ممتیک را ارائه دادند (عبدالله و ترابیه، ۲۰۱۲).

فرموله نمودن مسئله جدول زمانبندی، در ادبیات بسیار پرداخته شده است و از آنجایی که سیاست‌ها و نیازمندیهای موسسات آموزشی با هم متفاوت می‌باشد منجر شده این مسئله فضای گسترده ای را دارا باشد. دیموپولو و میلیتیوس^۲، درسها را که دانشجویان یکسانی دارند و بازه‌های زمانی را گروه بندی^۳ کردند و از برنامه ریزی عدد صحیح برای تخصیص گروه‌های درسی به گروه‌های زمانی بهره بردند سپس از جوابی که از جدول زمانبندی دروس حاصل می‌شود برای تهیه جدول زمانبندی امتحانات کمک گرفتند (دیموپولو و میلیتیوس، ۲۰۰۴). وانگ^۴ در پژوهش خود به حل زیر مسئله، تخصیص استاد^۵ و زمانبندی کلاس^۱ پرداخته است.

1 Schaerf

2 Dimopoulou and Miliotis

3 grouping

4 Wang

5 Teacher assignment

(وانگ، ۲۰۰۲). گوناوان و همکارانش^۲، از یک مدل هیبریدی برای حل زیر-مسئله تخصیص استاد- زمانبندی درس^۳ استفاده کردند که شامل دو مرحله است که به ترتیب اجرا می‌شود. (گوناوان و همکاران، ۲۰۱۲). پیرا و کوستا، مدل برنامه ریزی ریاضی را برای حل مسئله جدول زمانبندی اساتید دانشگاهی در برزیل ارائه دادند (پیرا و کوستا، ۲۰۱۶).

ورمونت و همکارانش، در سال ۲۰۱۶، مدل برنامه ریز عدد صحیح دو که در آن تداخل استاد و ترجیحات آنها را با تخصیص درس به بازه زمانی و کلاس حداقل و همچنین کلاس‌ها را به درس‌های بازه‌زمانی اختصاص دادند به گونه‌ای که جریان حرکت دانشجویان بین کلاس‌ها حداقل شود. سانگ و همکارانش، در سال ۲۰۱۷، الگوریتمی را برای حل مسئله جدول زمانبندی ارائه دادند که به مدیران و برنامه‌ریزهای دانشگاه کمک می‌کند که در انرژی ساختمان دانشگاه نیز صرفه‌جویی کنند. گو^۴ و همکارانش در سال ۲۰۱۷، برای حل مسئله جدول زمانبندی درسی پس از ثبت نام دو الگوریتم محلی را با هم ترکیب کردند. ناتاگا^۵ نیز در سال ۲۰۱۷ برای حل مسئله جدول زمانبندی درسی پس از ثبت نام از جستجوی محلی استفاده کرده‌است. فونسکا^۶ و همکارانش، ۲۰۱۷، برش‌های جدید و تکنیک‌های پیش پردازش و تغییر فرمول اصلی را برای مسئله جدول زمانبندی درسی ارائه دادند. از آنجایی که هدف از مسئله جدول زمانبندی تخصیص مجموعه‌ای از درس‌ها به بازه‌زمانی و کلاس است، بگر^۷ و همکارانش، ۲۰۱۸، این مسئله را به دو بخش زمانبندی و تخصیص کلاس تقسیم کردند. آنها از الگوریتم بندر برای تولد شکاف‌هایی که زمانبندی و تخصیص کلاس را به هم مرتبط می‌کرد، استفاده کردند.

در حالی که شاید ایجاد جدول زمانبندی یک مسئله بسیار ساده به نظر آید اما مشاهده شده است که زمانی محدودیت‌های چندگانه‌ای همچون دانش و ترجیحات استاد، درخواست و

1 Class scheduling

2 Gunawan et al.

3 Teacher Assignment-Course Scheduling

4 Goh

5 Nagata

6 Fonseca

7 Bagger

توقع دانشجویان برای ارائه درس‌ها، سیاست‌ها و استانداردهای تقویم آموزشی موسسات، تجهیزات و امکانات موجود، به همان نسبت منحصر به فرد بودن مدیریت هر موسسه آموزشی را شامل می‌شود (چارف، ۱۹۹۹). هر نیمسال تحصیلی، در موسسات آموزشی، برای تدوین جدول زمانی، منابع انسانی و زمان زیادی صرف می‌شود. معمولاً، از روش‌های دستی و سعی و خطا برای تولید جدول زمانی استفاده می‌شود. در نهایت جدول زمانی تولید شده ممکن است رضایت اساتید و دانشجویان را برآورده نسازد، حاوی خطای انسانی باشد و یا منجر به ازدحام دانشجویان در بعضی از روزهای درسی شود که می‌تواند ترافیک را باعث شود. از این رو ارائه مدل ریاضی و مکانیزه کردن آن با رعایت محدودیت‌ها و قوانین حاکم با صرف زمان اندک جدول زمانی را پیشنهاد دهد، می‌تواند کمک شایانی باشد. در این راستا، همواره کمبود یک مدل ریاضی که ترجیحات هر یک از افراد ذینفع (استاد، برنامه ریز درسی و دانشجو) لحاظ نماید و نرم افزاری که قابلیت وفق پذیری با تغییرات موجود را برای تولید جدول زمانی داشته باشد، به چشم می‌خورد. در این پژوهش قصد داریم با کمک گرفتن از الگوریتم‌های فرا ابتکاری نرم افزار سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری را ارائه دهیم که به صورت نیمه خودکار (تعامل کاربر و کامپیوتر) با گردآوری اطلاعات و محدودیت‌های موجود در مسئله، به تخصیص درس به استاد در بازه زمانی پردازد و گزینه‌های مختلفی را در اختیار برنامه‌ریز موسسات آموزشی قرار دهد.

ما در این پژوهش در ابتدا با شناسایی نیازمندیهای مسئله در دنیای واقعی (دانشگاه آزاد اسلامی) و ادبیات موضوع، ابعادی از مسئله را شناسایی کردیم که تا کنون در ادبیات موضوع بدان پرداخته نشده است و متناسب با آن مدل دو هدفه ریاضی را ارائه داده‌ایم که علاوه بر تخصیص درس به استاد و زمان و مکان، ترجیحات استاد و دانشجو را نیز در نظر می‌گیرد، این مدل با آنچه که در دانشگاه‌های کشور اتفاق می‌افتد مشابهت دارد. سپس، سیستم کامپیوتری را طراحی و ایجاد کردیم که به کمک الگوریتم دوفازی و مدل ریاضی جدول زمانبندی درسی را ارائه می‌دهد. الگوریتم دوفازی، در فاز اول یک سری جواب‌های شدنی را تولید می‌کند سپس در فاز بعدی جواب‌ها را به کمک الگوریتم MOSA بهبود می‌بخشد. در

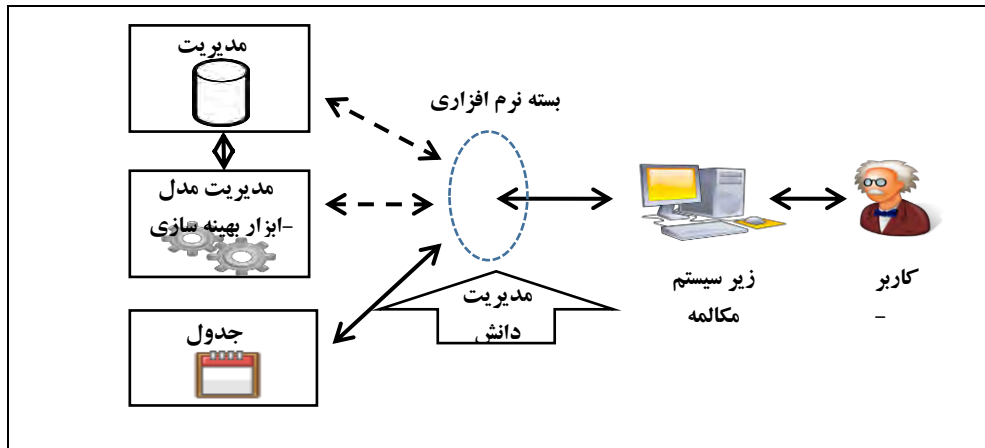
کل طراحی و ایجاد این سیستم مزیت‌های را همچون، صرفه جویی در زمان بیکاری دانشجویان، در نظر گرفتن ترجیحات اساتید، صرف زمان و انرژی کمتر نیروی انسانی در تولید جدول زمانی، کاهش خطاهای انسانی و امکان امتحان نمودن سناریوهای مختلف داراست. در ادامه این پژوهش خواهیم داشت، بخش ۲، جزئیات دستیابی به محدودیت‌های سخت و نرم و بسته نرم افزاری تشریح شده است، بخش ۳، مدل ریاضی به همراه توضیحات ارائه گردیده است، روش حل و نحوه پیاده سازی در بخش ۴ می‌باشد. در نهایت، در بخش ۵ خلاصه مقاله و پژوهش‌هایی که می‌تواند در آینده انجام شود، توضیح داده شده است.

بیان مسئله

اگر چه در غالب تئوری بسیار به مسئله جدول زمانبندی درسی پرداخته شده است ولی هیچگاه این روش‌ها کاربردی نگردید، می‌توان اینگونه نتیجه گرفت که مسئله جدول تنها با پرداختن به محدودیت‌ها و منابع قابل حل نیست لذا می‌بایست ترجیحات افراد را در آن لحاظ نمود.

سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری

سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری DSS این امکان را در اختیار مدیران قرار می‌دهد که با استفاده از روش‌های ریاضی مدل سازی، ابعاد عملیاتی یک سیستم را در محیط و زبان کامپیوتر پیاده نمایند (توریان، ۱۹۹۵ یکی از انواع برنامه نویسی خطی الگوریتم‌های فراابتکاری می‌باشد (پاور و شاردادا، ۲۰۰۷). در این تحقیق قصد داریم که با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری مسئله‌ی جدول زمانی درسی (استاد- درس- بازه زمانی) را در یک دانشگاه فرضی به صورت نیمه خودکار (تعامل انسان و کامپیوتر) حل کنیم. چارچوب نظری این تحقیق به صورت کلی را در شکل (۱) مشاهده می‌فرمایید.



شکل ۱. چارچوب نظری تحقیق

الف) زیر سیستم مدیریت داده^۱ که خود از عناصر زیر تشکیل شده است: پایگاه داده شامل بانک اطلاعاتی جهت گرد آوری اطلاعات مربوط به دوره درسی، اساتید، محدودیت‌ها و غیره می‌باشد. ب) زیر سیستم‌های مدیریت مدل^۲ که خود از عناصر زیر تشکیل شده است. زبان مدل سازی؛ از زبان برنامه نویسی سی شارپ که خود یک زبان برنامه نویسی شی گرا^۳ است نوشته شده است. مدل پیشنهاددهنده؛ جدول زمانی به صورت خودکار تولید می‌شود، کاربر می‌تواند سناریوهای متفاوت که به گزینه‌های مختلفی ختم می‌شود، امتحان نماید. ج) زیر سیستم مدیریت دانش^۴؛ برای وزن دهی به معیارهای ارزیابی اساتید از نظر شخص خبره استفاده می‌گردد. د) زیر سیستم تعامل یا مکالمه؛ کاربر؛ کاربر این سیستم پشتیبان تصمیم گیری عمدتاً می‌تواند مدیر موسسه آموزشی و یا شخص برنامه ریز جدول زمانی، که با محدودیت‌ها و نیازمندی‌های جدول زمانی درسی موسسه آموزشی آشنا است، باشد.

-
- 1 Data Management
 - 2 Model management
 - 3 Object Oriented
 - 4 Knowledge management

ورودی‌های اولیه، مفاهیم و مفروضات

به صورت کلی مفروضاتی که در مدل لحاظ شده‌است به شرح زیر است.

- کلاس‌ها با امکانات و ظرفیت یکسان در نظر گرفته شده است.
- ساعت حضور اساتید در دانشگاه، دروسی که قادر به تدریس آنها هستند و ترجیح استاد برای تدریس درس به صورت پیش فرض مشخص است.
- کلیه بازه‌های زمانی یکسان در نظر گرفته شده است و روزهای برگزاری کلاس‌ها مشخص و ثابت می‌باشد.
- گروه‌های درسی و درس‌های مربوط به هر گروه درسی مشخص و ثابت است.
- اساتید از لحاظ معیارهای مختلف (رتبه علمی، سابقه کار، نوع استخدام و ...) با هم متفاوت هستند و وزن‌های مختلفی دارند و تعداد دانشجویان هر گروه درسی مشخص و ثابت است.

محدودیت‌های سخت و نرم

همانطور پیش از آن گفته شد مسئله زمانبندی دروس دانشگاهی شامل محدودیت سخت و نرم است. با بهره‌گیری از محدودیت‌های سختی که در ادبیات موضوع وجود دارد و همچنین فضای حاکم در دانشگاه آزاد اسلامی ایران به محدودیت‌های جدول (۱) و جدول (۲) دست یافتیم. محدودیت‌های سخت؛ ما در این تحقیق، به کلیه محدودیت‌های سخت موجود در (جدول (۱))، در مدل پایبند بوده ایم.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جدول ۱. محدودیت‌های سخت در نظر گرفته شده

محدودیت	توضیح
HC ₁	کلیه دروس یک گروه درسی می‌بایست به یک پریود زمانی جدا از هم تخصیص داده شود.
HC ₂	تنها یک درس می‌تواند در یک زمان داخل یک کلاس برگزار شود.
HC ₃	درس‌هایی که توسط استاد مشخصی تدریس می‌شوند می‌بایست در پریودهای زمانی متفاوتی ارائه شوند.
HC ₄	اگر استادی برای تدریس درس در یک پریود زمانی حضور نداشته باشد نمی‌تواند در طول آن زمان درس را به استاد تخصیص داد.
HC ₅	تعداد درس‌هایی که به صورت موازی در یک زمان تدریس می‌شود، نمی‌بایست از تعداد کلاس‌ها تجاوز کند.
HC ₆	اگر درسی به استادی تخصیص داده شود استاد می‌بایست توانایی تدریس درس را داشته باشد.
HC ₇	کلیه درس‌های هر گروه درسی می‌بایست در جدول زمانبندی درسی هفتگی وجود داشته باشد.
HC ₈	استاد در یک بازه زمانی نمی‌تواند بیشتر از یک درس را تدریس کند.

محدودیت‌های نرم؛ محدودیت‌های نرم در مسئله جدول زمانبندی درسی در موسسات آموزشی مختلف، می‌تواند متفاوت باشد. محدودیت‌های نرم در نظر گرفته شده در این پژوهش با توجه به نیازمندی‌های دانشگاه آزاد گردآوری شده است (جدول (۲)).

جدول ۲. محدودیت‌های نرم در نظر گرفته شده در مدل

محدودیت	توضیح
SCS ₁	برنامه درسی هر یک از گروه‌ها در تعداد روزهای کمتری ارائه شود (فشرده تر باشد).
SCS ₂	اگر بیشتر از یک درس از گروه در یک روز ارائه شد، فاصله بین ارائه درس‌ها کم باشد.
SCT ₃	به ترجیحات استادی که وزن (مرتبه علمی) بالاتری دارد، بیشتر پرداخته شود.
SCT ₄	اساتیدی که بیشتر در دانشگاه حضور دارند به نسبت تعداد درس‌های بدان‌ها تخصیص داده شود.
SCT ₅	درسهایی که برای استاد اولویت بیشتری دارد به استاد تخصیص داده شود.

که محدودیت‌های SCS₁ و SCS₂ محدودیت‌های نرمی هستند که ترجیحات دانشجویان در آنها لحاظ شده است و محدودیت‌های SCT₃، SCT₄ و SCT₅ متعلق به اساتید هستند.

مدلسازی ریاضی مسئله زمانبندی درسی دانشگاهی

در ادامه پارامترها، متغیرهای تصمیم و مدل ریاضی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط غیر خطی (MINLP) که با توجه به محدودیت‌های سخت و نرم بخش قبلی فرموله شده است، می‌پردازیم.

شاخص‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم

پارامترها و متغیرهای کار گرفته شده در سرتاسر مدل به شرح در جدول (۳) آورده شده است:

جدول ۳. شاخص‌های مدل‌ها

شاخص	توضیح شاخص
I	شاخص مربوط به استاد $i \in \{1, 2, \dots, n\}$; $ I = n$;
K	شاخص مربوط به گروه درسی $k \in \{1, 2, \dots, q\}$; $ K = q$;
J	شاخص مربوط به درس $j \in \{1, 2, \dots, m\}$; $ J = m$;
D	شاخص روزهای کاری $d \in \{1, 2, \dots, s\}$; $ D = s$;
T	شاخص بازه زمانی $t \in \{1, 2, \dots, p\}$; $ T = p$;
X_{ijklt}	۱، اگر به استاد i ام درس j ام از گروه درسی k ام در بازه زمانی t ام از روز کاری d ام تخصیص داده شود؛ ۰ در غیر اینصورت؛
Avl_{idt}	۱، اگر استاد i ام در بازه زمانی t ام از روز کاری d ام در دانشگاه حضور داشته باشد؛ ۰، در غیر اینصورت؛
$Skill_{ij}$	۱، اگر استاد i ام مهارت تدریس درس j ام را داشته باشد؛ ۰، در غیر اینصورت؛
Cr_{jk}	۱، اگر درس j ام در گروه درسی k ام وجود داشته باشد؛ ۰، در غیر اینصورت؛
h_{kd}	۱، اگر از گروه k در روز d درس داشته باشد؛ ۰، در غیر اینصورت؛
Z'_{tkd}	۱، اگر از گروه k در روز d درس هم در بازه زمانی t و هم t' داشته باشد؛ ۰، در غیر اینصورت؛
Γ_k	تعداد روزهایی که در فشرده ترین حالت کلیه دروس گروه k می‌تواند برگزار شود؛
w_i	وزن استاد که بر اساس AHP مشخص شده است؛
Ord_{ij}	اولویت استاد i ام در تدریس درس j ام را داشته باشد؛
Pr_{ij}	امتیازی که در تخصیص درس j به استاد i کسب می‌شود؛
L_{kd}	فاصله هر درس از درس بعدی گروه k ، در روز d است؛

امتیاز هر درس از درس بعدی گروه k ، در روز d است؛	L'_{kd}
عدد ثابتی است که نمایشگر تعداد کلاس‌ها است؛	nR
عدد ثابتی است که نمایشگر تعداد بازه‌های زمانی در هر روز است؛	P
عدد ثابت، بینهایت بزرگ است؛	M
عدد ثابتی، که در سیستم امتیازدهی به اولویت اساتید در نظر گرفته می‌شود ($\Lambda = 10$)؛	Λ

مدل ریاضی

مدل ریاضی به صورت کلی در ادامه آورده شده است.

$$Max f_1 = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot \left(\left(\frac{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^q \sum_{d=1}^s \sum_{t=1}^p X_{ijkdt}}{\sum_{d=1}^s \sum_{t=1}^p Avl_{idt}} \right) \cdot \left(\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^q \sum_{d=1}^s \sum_{t=1}^p X_{ijkdt} \cdot Pr_{ij} \right) \right) \quad (1)$$

$$Max f_2 = \left(\sum_{k=1}^q \frac{1}{\sum_{d=1}^s h_{kd} - \Gamma_k} \right) \cdot \left(\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{d=1}^s \sum_{t=1}^p X_{ijkdt} \cdot h_{kd} \times L'_{kd}}{P} \right)$$

$$Subject\ to : \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^q X_{ijkdt} \leq 1 \quad \forall i \in I, d \in D, t \in T. \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^q X_{ijkdt} \leq nR \quad \forall d \in D, t \in T. \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^q \sum_{d=1}^s \sum_{t=1}^p X_{ijkdt} \leq Skill_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J. \quad (4)$$

$$Pr_{ij} = \begin{cases} \frac{\Lambda - 2 \times (Ord_{ij} - 1)}{\Lambda} \\ 0 \quad otherwise, \end{cases} \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^q X_{ijkdt} \leq Avl_{idt} \quad \forall i \in I, d \in D, t \in T. \quad (6)$$

$$Cr_{jk} - (1 - Cr_{jk}) \times M \leq \sum_{i=1}^n \sum_{d=1}^s \sum_{t=1}^p X_{ijkdt} \quad \forall k \in K, j \in J. \quad (۷)$$

$$Cr_{jk} \times M \leq \sum_{i=1}^n \sum_{d=1}^s \sum_{t=1}^p X_{ijkdt} \quad \forall k \in K, j \in J. \quad (۸)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m X_{ijkdt} \leq 1 \quad \forall k \in K, d \in D, t \in T. \quad (۹)$$

$$h_{kd} \leq \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^p X_{ijkdt} \leq h_{kd} \cdot P \quad \forall k \in K, \forall d \in D, \quad (۱۰)$$

$$\Gamma_k = \left\lfloor \frac{\sum_{j=1}^m Cr_{jk}}{P} \right\rfloor - 1 \quad \forall k \in K, \quad (۱۱)$$

$$L_{kd} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^{p-1} \min \left\{ \sum_{t'=t+1}^p (t' - t) \cdot Z'_{tt'hd} \right\} \quad \forall k \in K, \forall d \in D, \quad (۱۲)$$

$$L'_{kd} = \frac{P + 1 - L_{kd}}{P} \quad \forall k \in K, \forall d \in D, \quad (۱۳)$$

$$Z_{tt'kd} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m X_{ijkdt} \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m X_{ijkdt'} \quad \forall k \in K, \forall d \in D, t = \{1, \dots, p-1\}, \quad (۱۴)$$

$$t' = \{t+1, \dots, p\}$$

$$Z'_{tt'kd} = P - (P-1)Z_{tt'kd} \quad \forall k \in K, \forall d \in D, t = \{1, \dots, p-1\}, t' = \{t+1, \dots, p\}, \quad (۱۵)$$

$$X_{ijkdt} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K, d \in D, t \in T \quad (۱۶)$$

$$Avl_{idt} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, d \in D, t \in T. \quad (۱۷)$$

$$Skill_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in J. \quad (۱۸)$$

$$Cr_{jk} \in \{0, 1\} \quad j \in J, k \in K. \quad (۱۹)$$

$$h_{kd} \in \{0, 1\} \quad k \in K, d \in D. \quad (۲۰)$$

هدف اول این مدل ماکزیمم کردن ترجیحات اساتید است که محدودیت‌های SCt_3 ، SCt_4 و SCt_5 را در جدول (۳) شامل می‌شوند از رابطه (۱) بدست می‌آید که می‌توان را به سه بخش تقسیم بندی کرد. قسمت اول، از آنجایی که اساتید از لحاظ معیارهای مختلف من جمله، سابقه کاری، درجه علمی و غیره با هم متفاوت هستند معمولاً مدیران موسسات آموزشی تمایل دارند استادی با اولویت بالاتر میزان رضایت بیشتری از تقویم آموزشی داشته باشد. مسئله ارزیابی اساتید مسئله پیچیده است که می‌توان این مسئله را به عنوان یک مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره، در نظر گرفت. معیارهایی که برای ارزیابی اساتید در این پژوهش در نظر گرفته شده است عبارت از مقالات و کتب چاپ شده در نشریه‌های علمی، سابقه کار، مرتبه علمی و ساعات کاری است. از آنجایی هر یک از این معیارها، از لحاظ درجه اهمیت با هم برابر نیستند از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای وزن دهی به معیارها استفاده می‌شود (قدسی - پور و ابریان، ۲۰۰۷)، کاربر (مدیر یا شخص برنامه ریز) معیارهایی که ارزیابی وجود دارد را ابتدا انتخاب می‌کند سپس به صورت زوجی هر یک از معیارها با هم مقایسه می‌شوند، اطلاعات هر یک از اساتید از پایگاه داده خوانده می‌شود و در وزن ضرب می‌شود تا در نهایت وزن هر یک از اساتید W_i تعیین می‌گردد (محدودیت نرم SCt_3) (ایسمایلووا^۱ و همکاران، ۲۰۰۷). قسمت دوم: از آن جایی که نمی‌توان زمان حضور اساتید را بدان‌ها دیکته کرد. جدول (۴)، حضور اساتید در دانشگاه را به صورت شماتیک نمایش می‌دهد. این جدول برای استاد #۱ هفت روز درسی را در پریودهای زمانی سه ساعته، که شروع آن‌ها در ساعت ۷:۰۰، ۱۰:۰۰، ۱۳:۰۰ و ۱۶:۰۰ است، نمایش می‌دهد. اگر استاد در ساعت‌های حضوری را که مشخص کرده است، از ابتدای بازه زمانی سه ساعته تا زمان خاتمه حضور داشته باشد، مقدار یک، بدین معنی که در این بازه زمانی، درس می‌تواند به استاد تخصیص یابد در غیر اینصورت مقدار صفر را می‌گیرد.

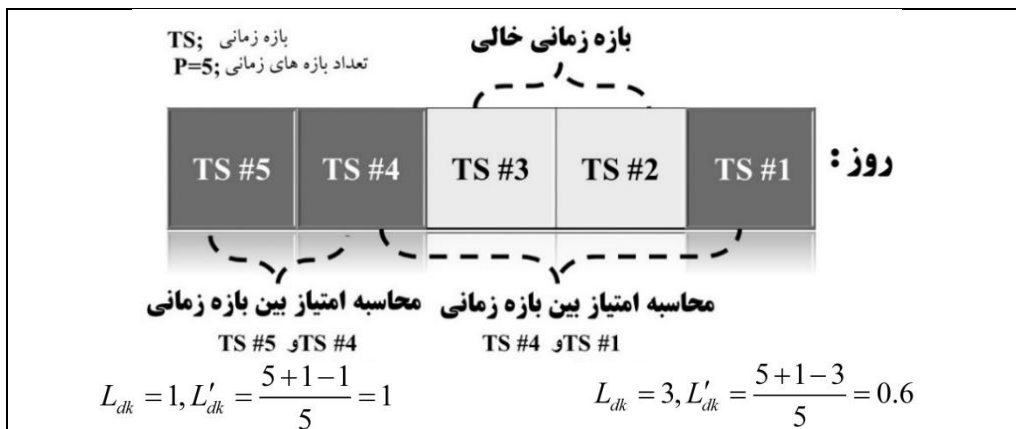
جدول ۴. (الف) حضور اساتید در دانشگاه، (ب) جدول ترجیحات اساتید.

استاد #۱								استاد #۲	استاد #۱		
روز پریود زمانی	شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	چهارشنبه	پنجشنبه	جمعه				
7:00- 10:00	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	-	۱	درس-۱	گروه I
	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۲	۲	درس-۲	
	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	-	-	درس-۳	
10:00- 13:00	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۲	۲	درس-۲	گروه II
	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	-	-	درس-۳	
13:00- 16:00	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۳	۳	درس-۵	
16:00- 19:00	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۳	۳	درس-۵	
(الف)								(ب)			

تمایل داریم استادی که زمان بیشتری در دانشگاه حضور دارد به نسبت، دروس بیشتری برای تدریس به استاد تخصیص داده شود. بنابراین هر چقدر نسبت X_{ijkl} تعداد درس‌هایی که به استاد تخصیص داده می‌شود به AVL_{idt} بیشتر باشد، مقدار تابع هدف نیز بهینه تر است که قسمت B مدل بدین مهم اشاره دارد (محدودیت نرم $SC1_4$). قسمت سوم، معمولاً اساتید I مهارت تدریس بیش از یک درس J را دارند به عنوان مثال $Skill_1 = \{J_1, J_2, J_5\}$ اشاره دارد به استاد سوم #۱ مهارت تدریس درس‌های اول، دوم و پنجم از لیست دروس را داراست این امر مسئله ای است که معمولاً در ادبیات در نظر گرفته نمی‌شود و پیش فرض بر آن است که هر درس تنها توسط یک استاد تدریس می‌گردد. در بین این دروس اولویت Ord تدریس درس برای استاد، متفاوت است. ترجیحات استاد برای هر درس از بالاترین اولویت که مقدار یک را دارد، آغاز می‌شود و به همین منوال ادامه دارد. به عنوان مثال، در جدول (۴) قسمت (ب) اولویت تدریس درس-۲ برای استاد #۱ مقدار دو را دارد یعنی در اولویت دوم تدریس است و در بخش هر چقدر اولویت درسی که به استاد تخصیص می‌یابد بیشتر باشد اولویت بالاتری دارد. هدف دوم به ترجیحات دانشجویان می‌پردازد؛ همانگونه که در قسمت-های گذشته توضیح داده شد، از ترجیحات دانشجویان این است که برنامه درسی آنها فشرده

باشد بدین معنا که تعداد روزهای کمتری را دانشگاه حضور بیابند و این امکان وجود داشته باشد که در یک روز، درس‌های بیشتری را انتخاب کنند. در یک گروه درسی مجموعه‌ای از دروس ارائه می‌شود که درس‌هایی که در یک گروه ارائه می‌شوند، نمی‌توانند به صورت موازی باشند، هر یک می‌بایست در یک بازه زمانی جدا از هم ارائه شوند. ایده آل‌ترین حالت ممکن آنست که کلیه دروس یک گروه به صورت متوالی، بدون آنکه بازه زمانی فاصله وجود داشته باشد، تخصیص داده شود. برای محاسبه اینکه ایده آل‌ترین حالت برای هر گروه امکان دارد در چند روز ارائه شود از رابطه (۱۱) استفاده کرده ایم. در این رابطه، حد بالای تقسیم، مجموع Cr_{jk} درسهایی که در هر گروه ارائه میشود بر P تعداد بازه‌های زمانی در روز، بدست می‌آوریم. از آنجایی که قصد داریم از Γ_k برای محاسبه فاصله آنچه که در جواب برای هر گروه اتفاق می‌افتد از حالت ایده آل استفاده کنیم، تعداد روزهای ایده آل را منهای یک می‌کنیم. به عنوان مثال اگر در گروهی ۱۰ درس برای ارائه وجود داشته باشد و تعداد بازه‌های زمانی در هر روز برابر چهار باشد، ایده آل‌ترین حالت ممکن آن است که کلیه درس‌های این گروه در $\lceil 10/4 \rceil$ در سه روز ارائه شود. واضح است که هر چه مقدار کسر $\sum_{k=1}^q 1 / \sum_{d=1}^s h_{kd} - \Gamma_k$ بزرگتر باشد به ماکزیمم کردن تابع هدف کمک می‌کند. که محدودیت‌های نرم SCS_1 و SCS_2 هستند. محدودیت اساتید در رابطه (۲) نشان داده شده است، محدودیت سخت HC_3 که در کلیه مسائل مربوط به جدول زمانبندی درسی یافت می‌شود این است که استاد نمیتواند بیشتر از یک درس در هر زمان به صورت موازی تدریس کند. محدودیت تعداد کلاس‌ها (محدودیت سخت HC_5)، در مدل در نظر گرفته شده به صورت رابطه (۳) نشان داده شده است و بیانگر آن است که تعداد درس‌هایی که به صورت موازی در هر زمان تخصیص داده می‌شوند نمی‌بایست از تعداد کلاس‌ها در نظر گرفته شده، تجاوز کند. اگر درسی به استادی تخصیص داده شود می‌بایست این درس در مجموعه دروسی که استاد مهارت تدریس دارد، وجود داشته باشد (محدودیت سخت HC_6) این محدودیت در رابطه (۴) قابل مشاهده است. سیستم امتیاز دهی به درس‌ها، در رابطه (۵) حاصل می‌شود بدین

صورت که Λ مقدار ثابتی است و Ord_{ij} اولویت درس j ام در تدریس برای استاد i ام، نمایش می‌دهد. به عنوان مثال، اگر $\Lambda = 10$ ، در نظر بگیریم اگر درس j اولویت دوم را برای استاد i ، داشته باشد Pr_{ij} برابر با $10 - 2 \times (2 - 1)$ می‌شود. اگر در تقویم آموزشی درسی به استادی تخصیص داده می‌شود تنها در زمان‌هایی که استاد در دانشگاه حضور دارد که محدودیت حضور استاد توسط رابطه (۶) تضمین می‌شود (محدودیت سخت HC₄). در هر گروه درسی، برای گروهی از دانشجویان مجموعه از دروس ارائه می‌شود، بدین منظور که برخورد بین برنامه انتخابی دانشجویان یک گروه بوجود نیاید (بیشتر از یک درس از هر گروه در یک زمان ارائه نشود). روابط (۷) و (۸)، تضمین می‌کنند که کلیه دروسی که در هر گروه درسی قرار دارند، حتماً ارائه شوند (محدودیت سخت HC₇). رابطه (۹) به محدودیت سخت HC₈ اشاره دارد که به یک استاد در یک بازه زمانی نمی‌تواند بیشتر از یک درس تخصیص داده شود. محدودیت (۱۰)، دامنه متغیرهای تصمیم مسئله، مشخص می‌کند. رابطه (۱۱) مقدار متغیر Γ_k که در تابع وجود دارد، محاسبه می‌کند. همانگونه که در (شکل (۱)) مشاهده می‌فرمایید، جدول نمایش داده شده یک روز درسی را از یک گروه درسی را نمایش می‌دهد. که سه درس از این گروه در بازه‌های زمانی TS #1، TS #4 و TS #5 برگزار می‌شود. ما توقع داریم که هر چه فاصله زمانی بین ارائه درس‌ها کمتر باشد، امتیاز بیشتری را کسب کند. بنابراین مقدار امتیاز L'_{dk} بین دو بازه زمانی TS #4 و TS #5 که پشت سر هم ارائه شدند برابر ۱ و امتیاز TS #1 و TS #4 که دوباره زمانی اختلاف دارند ۰٫۶ است. اگر در یک روز برای یک گروه بیشتر از یک درس وجود داشته باشد، تمایل داریم فاصله بین آنها را حداقل کنیم برای این منظور ابتدا فاصله هر درس با درس بعدی برای هر گروه، در هر روزی که بیشتر از یک درس برای ارائه است، بدست می‌آوریم. رابطه (۱۲) تضمین می‌کند که تنها فاصله هر درس با درس بعدی از همان گروه، در یک روز درسی، محاسبه شود. چون تابع هدف حداکثر سازی است، بنابراین هر چه فاصله بین دو درس (هر درس تنها با درسی که بعد از خود درس قرار دارد) کمتر باشد امتیاز بیشتری را با توجه به رابطه (۱۳) کسب می‌کند.



شکل ۲. امتیاز دهی به گروه در یک روز درسی

رابطه (۱۴) و (۱۵)، تضمین می کند که تنها فاصله زمانی هر درس با درسی بعدی از همان گروه که در آن روز ارائه شده است، محاسبه گردد و در نهایت محدودیت های (۱۶) تا (۲۰) متغیرهای باینری را تعریف می کند.

حل مسئله

در این بخش به حل مدل ارائه شده پرداختیم. حل این مسئله از طریق روشهای دقیق قابل حل نمی باشد. اولاً، تعداد متغیرهای مسئله می تواند بسیار زیاد شود. ثانیاً، بعضی قسمت های مدل ریاضی غیر خطی^۱ است به عنوان مثال در تابع ترجیحات اساتید، رعایت این مهم که به استادی که بیشتر در دانشگاه حضور دارد درس های بیشتری تخصیص داده شود، منجر به غیر خطی شدن مدل گردیده است.

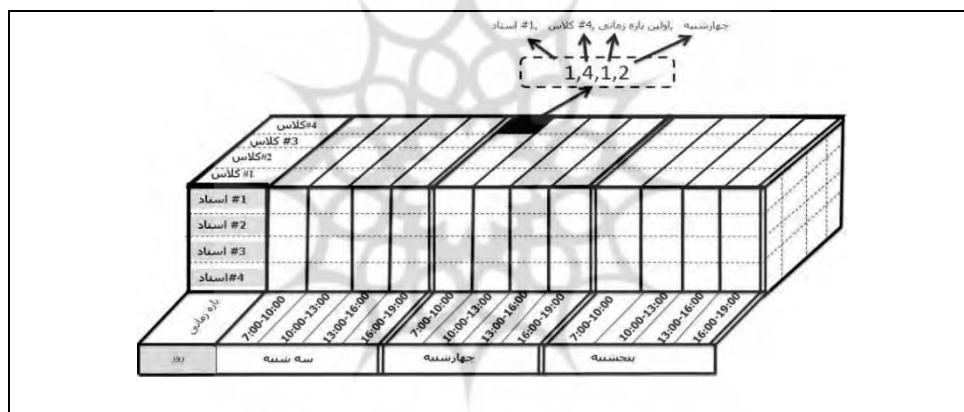
الگوریتم شبیه سازی تبرید

الگوریتم شبیه سازی تبرید یک الگوریتم بر اساس جستجوی محلی است که عملکرد خوبی در بهینه سازی مسائل پیچیده غیرخطی ایفا می کند (اگلس^۲، ۱۹۹۰؛ کیرکپاتریک^۱ و همکاران،

1 Non-linear

2 Eglese

همکاران، ۲۰۱۲). مدلی که در این تحقیق استفاده گردیده است را می توان در یک ماتریس سه بعدی به تصویر کشید که مثالی کوچکی از آن را در (شکل ۳) مشاهده می فرمایید. محور افقی نشان دهنده روز و بازه های زمانی های موجود در روز است که هر بازه زمانی در روز یک پیوند زمانی را می دهد. محور عمودی نشان دهنده از اساتید هستند. محور سوم نیز تعداد کلاس های موجود می باشد. به عنوان مثال، (۱،۴،۱،۲) نمایانگر یک جایگاه از ماتریس که به استاد اول در کلاس چهارم از بازه زمانی اول روز دوم، اشاره دارد. که می تواند به آن درس دوم از گروه سوم، در صورت حضور استاد اول و اگر استاد توانایی درس دوم را داشته باشد، تخصیص داده می شود. پس از تخصیص دیگر در این ردیف هیچ درسی به این استاد، نمی تواند تخصیص داده شود (استاد در یک زمان نمی تواند در بیش تر از یک کلاس، تدریس کند). همچنین در این ردیف، درس دیگری از این گروه درسی نمی تواند وجود داشته باشد.



شکل ۳. نمایش کروموزوم مسئله جدول زمانبندی درسی مبتنی بر تقویم آموزشی

ساختارهای همسایگی را می توان برای الگوریتم تبرید شبيه سازی در جدول (۵) آوردیم. در ایجاد ساختارهای همسایگی، زمانی که جواب جدید تولید شد، شدنی بودن جواب چک می شود در صورتی که جواب شدنی نباشد از جمعیت حذف می گردد. به این روش مواجهه با محدودیت ها "جریمه مرگ" گفته می شود (میکالویکز، ۱۹۹۵).

جدول ۵. ساختارهای همسایگی

شناسه	شرح
Nbs_1	از بین دروسی که استاد تدریس می‌کند درسی را به صورت تصادفی انتخاب کرده به بازه زمانی خالی دیگری که استاد در دانشگاه حضور دارد، انتقال می‌دهیم. (شکل (۴) شماره ۱)
Nbs_2	از بین دروسی که یک استاد تدریس می‌کند دو درس را به صورت تصادفی انتخاب کرده و جابه‌جا می‌کنیم. (شکل (۴) شماره ۲)
Nbs_3	دو استاد را انتخاب کرده اگر از بین دروس هر دو استاد مهارت تدریس دارند درسی وجود دارد که هر دو استاد تدریس می‌کنند ولی دپارتمان‌های آنها متفاوت است، دپارتمان‌ها جابه‌جا می‌شود. (شکل (۴) شماره ۳)
Nbs_4	دو استاد را انتخاب کرده اگر از بین دروسی که هر دو استاد مهارت تدریس دارند درسی وجود دارد که یکی از اساتید تدریس می‌کند درس را از آن استاد گرفته و به یکی از بازه‌های زمانی که استاد دیگر در دانشگاه حضور دارد تخصیص می‌دهیم. (شکل (۴) شماره ۴)

۱

حضور اساتید در دانشگاه		استاد #۱			استاد #۲		
روز	بازه زمانی	دروس	دروس	دروس	دروس	دروس	
۱	7:00-10:00	درس ۱ گروه ۲	۱	۱	۱	۱	
۱	10:00-13:00	درس ۲ گروه ۳	۱	۱	۱	۱	
۱	13:00-16:00	درس ۲ گروه ۱	۱	۱	۱	۱	
۱	16:00-19:00	۱	۱	۱	۱	۱	

حضور اساتید در دانشگاه		استاد #۱			استاد #۲		
روز	بازه زمانی	دروس	دروس	دروس	دروس	دروس	
۱	7:00-10:00	درس ۱ گروه ۲	درس ۲ گروه ۱	۱	۱	۱	
۱	10:00-13:00	درس ۲ گروه ۳	۱	۱	۱	۱	
۱	13:00-16:00	۱	۱	۱	۱	۱	
۱	16:00-19:00	۱	۱	۱	۱	۱	

۲

حضور اساتید در دانشگاه		استاد #۱			استاد #۲		
روز	بازه زمانی	دروس	دروس	دروس	دروس	دروس	
۱	7:00-10:00	درس ۲ گروه ۱	۱	۱	۱	۱	
۱	10:00-13:00	۱	۱	۱	۱	۱	
۱	13:00-16:00	۱	۱	۱	۱	۱	
۱	16:00-19:00	درس ۱ گروه ۲	۱	۱	۱	۱	

حضور اساتید در دانشگاه		استاد #۱			استاد #۲		
روز	بازه زمانی	دروس	دروس	دروس	دروس	دروس	
۱	7:00-10:00	درس ۱ گروه ۲	۱	۱	۱	۱	
۱	10:00-13:00	۱	۱	۱	۱	۱	
۱	13:00-16:00	۱	۱	۱	۱	۱	
۱	16:00-19:00	درس ۲ گروه ۱	۱	۱	۱	۱	

۳

حضور اساتید در دانشگاه		استاد #۱			استاد #۲		
روز	پارک	بازار	میدان	بازار	بازار	بازار	
7:00-10:00	۱	۰	۱	۱	۰	۰	
10:00-13:00	۰	۰	۰	۰	۰	۰	
13:00-16:00	۰	۰	۰	۰	۰	۰	
16:00-19:00	۰	۰	۰	۰	۰	۰	

۴

حضور اساتید در دانشگاه		استاد #۱			استاد #۲		
روز	پارک	بازار	میدان	بازار	بازار	بازار	
7:00-10:00	۰	۰	۰	۰	۰	۰	
10:00-13:00	۰	۰	۰	۰	۰	۰	
13:00-16:00	۰	۰	۰	۰	۰	۰	
16:00-19:00	۰	۰	۰	۰	۰	۰	

شکل ۴. ساختار همسایگی

در الگوریتم SA، دما به صورت تدریجی، طوری کاهش می یابد

$$\lim_{i \rightarrow 0} Temp_i = 0 \quad Temp_i > 0, \forall i$$

استفاده کردیم. در تابع تبرید هندسی دما از رابطه $(Temp = \alpha \times Temp \quad \alpha \in (0,1))$ به روز رسانی می شود. این رویکرد رایج ترین تابع تبرید است. تجربه نشان داده است که α باید در بازه $[0.5, 0.99]$ قرار داده شود.

در الگوریتم شبیه سازی تبرید با توجه به معیار پذیرش تصمیم گیری می شود که آیا جواب جدید جایگزین جواب فعلی شود. مطابق رویه به روزرسانی آرشیو جواب های خوب در یک آرشیو خارجی نگه داری می شود. استفاده از آرشیو برای نگه داری جوابهای بهینه می باشد. شرط خاتمه ای که برای این الگوریتم به کار گرفته شده است، رسیدن به یک تعداد تکرار از پیش تعیین شده که در هر دما، یک سری از همسایگی ها بررسی می شود. هنگامی که جواب بهتر یافت شد، ذخیره می گردد. سپس مقدار دما کاهش می یابد و دوباره وارد حلقه تکرار می شود. این فرآیند تا زمانی ادامه دارد که دما به دمای اولیه برسد و الگوریتم MOSA متوقف می شود.

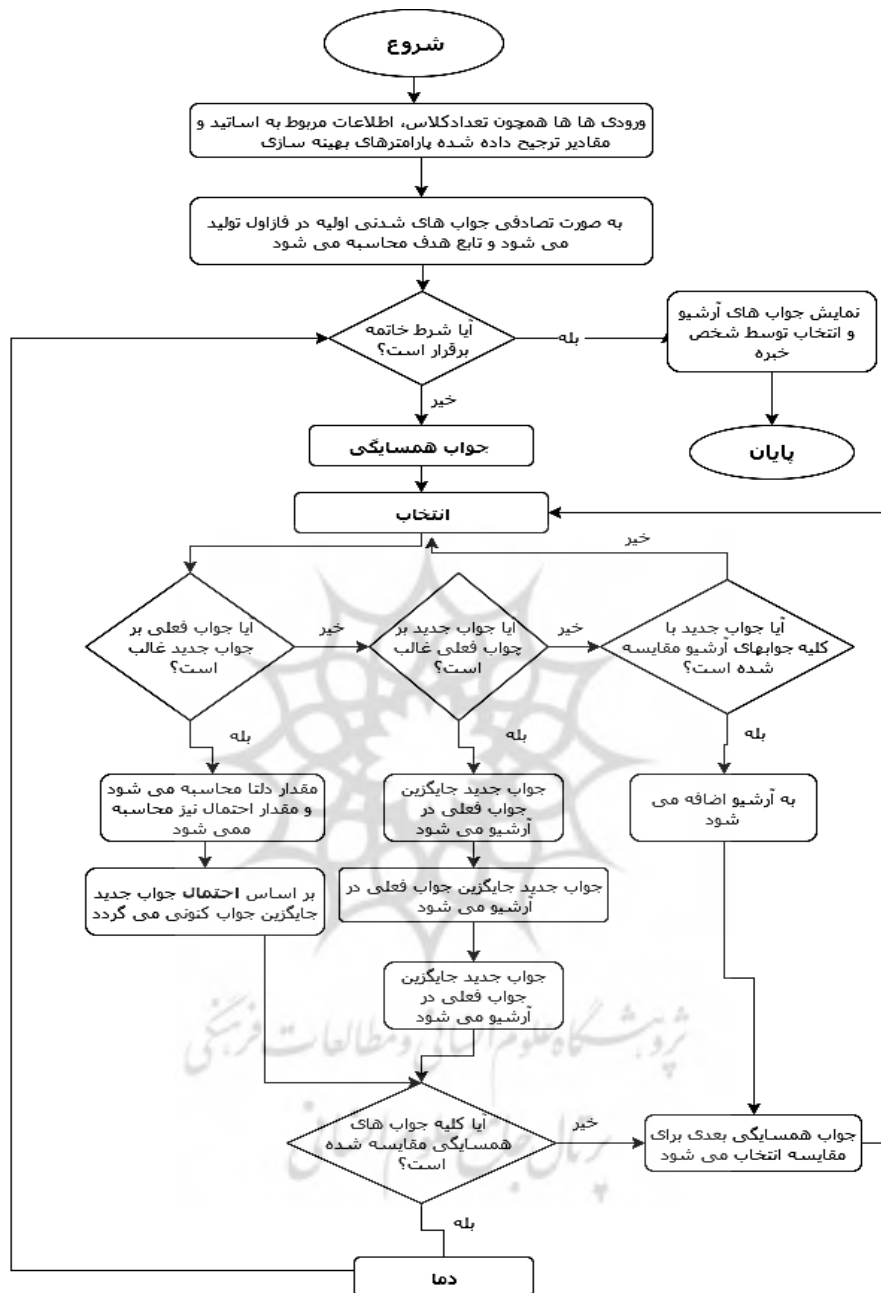
فلوچارت مدل سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری

هدف از مدل سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری ارائه شده فراهم نمودن جواب نزدیک به بهینه جدول زمانبندی درسی با توجه به ترجیحات شخص خبره (برنامه‌ریز) است. در ادامه به تشریح فلوچارت مدل سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری که در شکل (۵) نشان داده شده است، می‌پردازیم.

در ابتدا ورودی تعداد شمارنده تکرار الگوریتم، تعداد جواب‌ها و تعداد همسایگی‌ها در هر تکرار، اندازه آرشیو، دمای اولیه، تعداد کلاس‌ها، درس، گروه‌های درسی، درس‌ها، اساتید، وزن اساتید، زمان‌هایی که در دانشگاه حضور دارند و اولویت در تدریس درس را به عنوان ورودی به سیستم داده می‌شود و یا مقادیر قبلی حفظ می‌شود. پیش از بکارگیری الگوریتم MOSA به صورت تصادفی جواب‌های اولیه که همه شدنی هستند، تولید می‌شود تابع هدف آن‌ها محاسبه می‌شود و در آرشیو قرار می‌گیرند

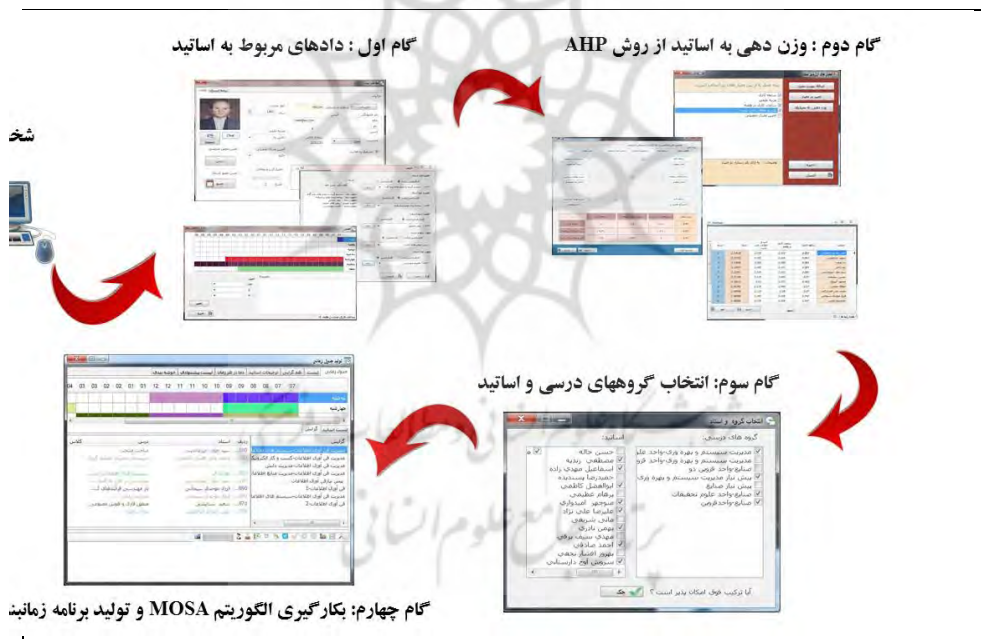
تست مدل

یکی از موضوعات بسیار مهم در پژوهش اکتشافی اجرای مدل در محیط پژوهش و ارزیابی و مقایسه دقیق آن با وضعیت جاری است. برای انجام این مرحله از داده‌های موجود در دانشگاه آزاد اسلامی دانشکده مدیریت علوم تحقیقات تهران و دانشکده صنایع واحد قزوین استفاده کردیم. برای اعتبارسنجی مدل اراده شده مثال‌هایی در اندازه‌های کوچک، متوسط و بزرگ تولید شد و جواب‌های بدست آمده از روش دستی و نرم‌افزار با هم مقایسه شده است.



شکل (۵) - فلوچارت مدل سیستم پشتیبان تصمیم گیری

به منظور هر چه کاربردی شدن پژوهش فوق بسته نرم‌افزاری به وسیله زبان برنامه نویسی سی شارپ C# با Microsoft Visual Studio IDE 2008 و پایگاه داده Microsoft SQL server 2008 ایجاد شده است. پروسیسور Intel® Core™ i5 CPU M520 @ 2.40GHz 2.40 GHz کامپیوتری که برنامه اجرا شده است. این بسته نرم‌افزاری از چهار گام اصلی تشکیل شده است (شکل ۶). در گام اول شخص خبره اطلاعات مربوط به اساتید شامل اطلاعات شخصی و سوابق کاری، روزهایی که استاد در دانشگاه حضور دارد و درس‌هایی که استاد مهارت تدریس دارد به ترتیب اولویت به روز رسانی می‌کند. گام دوم کلیه اساتید بر اساس معیارهای انتخاب شده توسط شخص خبره و روش AHP وزن‌دهی می‌شوند. گام سوم گروه‌های درسی و اساتید انتخاب می‌شوند و در گام با بهره‌گیری MOSA به صورت خودکار جواب‌های شدنی تولید می‌شود.



شکل ۶. نحوه پیاده‌سازی بسته نرم‌افزاری

نتایج به دست آمده به دو صورت؛ برنامه هر یک از گروه‌ها (الف) در شکل (۷) و برنامه هر یک از اساتید (ب) در شکل (۷)، نمایش داده می‌شوند. با انتخاب هر یک از این موارد در لیست ۱، برنامه هفتگی استاد یا گروه درسی در قسمت ۲ و شرح آن در قسمت ۳، به نمایش در می‌آید. در قسمت ۱، دو برگه استاد و گرایش وجود دارد که با انتخاب هر یک از آنها لیست کامل اساتید و دانشجویان نمایش داده می‌شود. قسمت ۲، جدول روز و بازه زمانی است که هر سطر نشان دهنده روز و ستون بازه زمانی را نشان می‌دهد. خانه‌های رنگی در این جدول نشان از تخصیص درس به آن بازه زمانی دارد. هر رنگ در این جدول دارای رنگ معادل در قسمت ۳، است. در قسمت ۳ نیز اگر در قسمت ۱، گروه درسی انتخاب شده باشد، درس و استاد و اگر استاد انتخاب شده باشد، درس و گروه درسی را نشان می‌دهد. به عنوان مثال، در شکل (۷) بخش (ب)، با انتخاب نام استاد فرزاد موحدی سبحانی در قسمت ۱، قسمت ۲ نشان می‌دهد که روزهای سه‌شنبه از ساعت ۷ الی ۱۳ و پنجشنبه ۱۰ الی ۱۹ درس تخصیص داده است. قسمت ۳، درس نام درس و گروه درسی را نمایش می‌دهد.



(الف)



(ب)

شکل ۷. فرم نمایش جواب (الف) برنامه زمانبندی هر گروه درسی (ب) برنامه زمانبندی هر استاد.

نتایج بدست آمده در قالب یک فایل Excel ارائه می شود که در جدول (۶) بخشی از آن آورده شده است.

جدول ۶. قسمتی از جواب حاصل شده از بکارگیری نرم افزار

ردیف	درس	استاد	گروه	روز	ساعت
1	مباحث منتخب	نازنین پيله وری	مدیریت فن آوری اطلاعات- سیستم های اطلاعات پیشرفته	سه شنبه	۱۶ الی ۱۸:۳۰
2	سیستم پشتیبان تصمیم گیری	سعید ستایشی	مدیریت فن آوری اطلاعات- سیستم های اطلاعات پیشرفته	چهارشنبه	۱۳ الی ۱۵:۳۰
3	سیستم خبره	سعید ستایشی	مدیریت فن آوری اطلاعات- سیستم های اطلاعات پیشرفته	چهارشنبه	۱۶ الی ۱۸:۳۰
4	سیستم های اطلاعاتی استراتژیک	رضا رادفر	مدیریت فن آوری اطلاعات- سیستم های اطلاعات پیشرفته	چهارشنبه	۱۰ الی ۱۲:۳۰
5	مهندسی نر افزار به کمک کامپیوتر	علی رضا پور ابراهیمی	مدیریت فن آوری اطلاعات- سیستم های اطلاعات پیشرفته	سه شنبه	۱۳ الی ۱۵:۳۰
6	باز مهندسی فرآیندهای کسب و کار	فرزاد موحدی سبحانی	مدیریت فن آوری اطلاعات- سیستم های اطلاعات پیشرفته	جمعه	۱۳ الی ۱۵:۳۰

معتبر بودن نتایج از جدول زمانی تولید شده، کاملاً جنبه بصری دارد و قابل مقایسه با آنچه که در دنیای واقعی اتفاق می‌افتد می‌باشد. پر واضح است که این روش نسبت به روش مرسوم دستی برای تولید جدول زمانبندی درسی هفتگی، سرعت و کارایی بالایی برخوردار است و از خطاهایی انسانی نیز به دور است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

مسئله جدول زمانبندی درسی مبتنی بر تقویم آموزشی، تخصیص چند بعدی پیچیده‌ای است که هیچ تابع هدف مشخصی ندارد و از هر موسسه آموزشی به موسسه دیگر با توجه به قوانین، محدودیت‌ها و منابع می‌تواند متفاوت باشد. علاوه بر آن لحاظ نمودن ترجیحات افراد ذینفع نیز بر پیچیدگی‌های مسئله می‌افزاید. برای حل این مسئله معمولاً از روش سعی و خطا و یا از برنامه زمانی نیمسال‌های گذشته بهره می‌جویند که نتایج حاصل خالی از خطا نیست. از ضعف‌های موجود، آن است که تحقیقات صورت گرفته بیشتر در پی ایجاد جواب‌های شدنی است و کمتر به عنصر انسانی پرداخته می‌شود. بدین منظور در این پژوهش، پیش از ارائه مدل ریاضی به کمک شناسایی نیازمندی‌های دانشگاه آزاد اسلامی ایران در مدل ریاضی پیشنهادی استفاده نماییم.

در این تحقیق مدل ریاضی را بر اساس محدودیت‌های سخت و نرم شناسایی شده را فرموله کرده ایم. بسته نرم‌افزاری را طراحی و ایجاد کردیم که اطلاعات را از کاربر دریافت می‌کند سپس جدول زمانبندی درسی را ارائه می‌دهد. برای این منظور از الگوریتم دو مرحله استفاده می‌کند که در مرحله نخست تعدادی جواب شدنی که در آن کلیه محدودیت سخت برآورده شده به صورت تصادفی تولید می‌گردد. در مرحله دوم، جواب‌های بدست آمده از مرحله اول با توجه به در نظر گرفتن مدل ریاضی دو هدفه‌ای که ترجیحات اساتید و دانشجویان در آن لحاظ شده است، بهبود می‌یابند.

با توجه به نتایج و یافته‌های این تحقیق و مواردی که مورد بررسی قرار گرفت، می‌توان پیشنهاداتی را برای تحقیقات آتی و در ارتباط با مسئله جدول زمانبندی درسی ارائه داد می

توان از این مدل برای حل مسائل جدول زمانبندی دیگر همانند ارائه جدول زمانبندی کاری پرستاران، کارمندان، قطارها، هواپیما و یا مسائل جریان کارگاهی با در نظر گرفتن عنصر انسانی استفاده نمود.



منابع

Abdullah S, Turabieh H. On the use of multi neighbourhood structures within a Tabu-based memetic approach to university timetabling problems. *Information Sciences*. 2012 May 15;191:146-68.

Bagger, Niels-Christian F., Matias Sørensen, and Thomas R. Stidsen. "Benders' decomposition for curriculum-based course timetabling." *Computers & Operations Research* 91 (2018): 178-189 .

Burke EK, Eckersley AJ, McCollum B, Petrovic S, Qu R. Hybrid variable neighbourhood approaches to university exam timetabling. *European Journal of Operational Research*. 2010 Oct 1;206(1):46-53.

Carter M, Laporte G. Recent developments in practical course timetabling. *Practice and Theory of Automated Timetabling II*. 1998:3-19.

de Werra D. An introduction to timetabling. *European journal of operational research*. 1985 Feb 1;19(2):151-62.

Deb, K., & Sundar, J. (2006, July). Reference point based multi-objective optimization using evolutionary algorithms. In *Proceedings of the 8th annual conference on Genetic and evolutionary computation* (pp. 635-642). ACM.

Di Gaspero, L., McCollum, B., & Schaerf, A. (2007). The second international timetabling competition (ITC-2007): *Curriculum-based course timetabling (track 3)*. Technical Report QUB/IEEE/Tech/ITC2007/CurriculumCTT/v1. 0, Queen's University, Belfast, United Kingdom.

Dimopoulou M, Miliotis P. An automated university course timetabling system developed in a distributed environment: A case study. *European Journal of Operational Research*. 2004 Feb 16;153(1):136-47.

e Costa CA, Oliveira MD. A multicriteria decision analysis model for faculty evaluation. *Omega*. 2012 Aug 31;40(4):424-36.

Eglese RW. Simulated annealing: a tool for operational research. *European journal of operational research*. 1990 Jun 15;46(3):271-81.

Fonseca, George HG, et al. Integer programming techniques for educational timetabling. *European Journal of Operational Research* 262.1 (2017): 28-39.

Ghodsypour SH, O'Brien C. A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming. *International journal of production economics*. 1998 Sep 20;56:199-212.

Goh, Say Leng, Graham Kendall, and Nasser R. Sabar. Improved local search approaches to solve the post enrolment course timetabling problem. *European Journal of Operational Research* 261.1 (2017): 17-29.

Gotlieb, C. C. (1963). The construction of class-teacher timetables. In *IFIP congress* (Vol. 62, pp. 73-77).

Gunawan A, Ng KM, Poh KL. A hybridized Lagrangian relaxation and simulated annealing method for the course timetabling problem. *Computers & Operations Research*. 2012 Dec 31;39(12):3074-88.

Ismayilova NA, Sağır M, Gasimov RN. A multiobjective faculty-course-time slot assignment problem with preferences. *Mathematical and Computer Modelling*. 2007 Oct 31;46(7):1017-29.

Jafari H, Salmasi N. Maximizing the nurses' preferences in nurse scheduling problem: mathematical modeling and a meta-heuristic algorithm. *Journal of Industrial Engineering International*. 2015 Sep 1;11(3):439-58.

Kirkpatrick S, Gelatt CD, Vecchi MP. *Optimization by simulated annealing. science*. 1983 May 13;220(4598):671-80.

Lee HY, Lin YC. A decision support model for scheduling exhibition projects in art museums. *Expert Systems with Applications*. 2010 Mar 31;37(2):919-25.

Lewis R, Thompson J. On the application of graph colouring techniques in round-robin sports scheduling. *Computers & Operations Research*. 2011 Jan 31;38(1):190-204.

McCollum B, Burke EK. The practice and theory of automated timetabling. *Annals of Operations Research*. 2014 Jul 1;218(1):1-2.

Michalewicz, Zbigniew. "A survey of constraint handling techniques in evolutionary computation methods." *Evolutionary programming 4* (1995): 135-155.

Nagata, Y. (2018). Random partial neighborhood search for the post-enrollment course timetabling problem. *Computers & Operations Research, 90*, 84-96..

Pereira, V., & Gomes Costa, H. (2016). Linear integer model for the course timetabling problem of a faculty in Rio de Janeiro. *Advances in Operations Research*, 2016.

Power DJ, Sharda R. Model-driven decision support systems: Concepts and research directions. *Decision Support Systems*. 2007 Apr 30;43(3):1044-61.

Qu, R., Burke, E. K., McCollum, B., Merlot, L. T., & Lee, S. Y. (2009). A survey of search methodologies and automated system development for examination timetabling. *Journal of scheduling*, 12(1), 55-89.

Schaerf, A. (1999). A survey of automated timetabling. *Artificial intelligence review*, 13(2), 87-127.

Song, K., Kim, S., Park, M., & Lee, H. S. (2017). Energy efficiency-based course timetabling for university buildings. *Energy*, 139, 394-405.

Turban E. *Decision support and expert systems: management support systems*. Prentice Hall PTR; 1990 Nov 1.

Van Laarhoven PJ, Aarts EH, Lenstra JK. Job shop scheduling by simulated annealing. *Operations research*. 1992 Feb;40(1):113-25.

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.

Wang YZ. An application of genetic algorithm methods for teacher assignment problems. *Expert Systems with Applications*. 2002 May 31;22(4):295-302.

White G, Chan PW. Towards the construction of optimal examination schedules. *INFOR: Information Systems and Operational Research*. 1979 Aug 1;17(3):219-29.