به کارگیری تکنیک تجزیه و تحلیل دسته‌ای[1] در برنامه ریزی آموزش دانشگاهی

سید تقی اخوان نیاکی* و سیدحسین ایران منش**
دانشکدهٔ مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف
(دریافت مقاله: ۱۳۷۴/۱۲/۲۶ - دریافت نسخهٔنهایی: ۱۳۷۵/۱۰/۹)

چکیده - در این مقاله با به کارگیری تکنیک تجزیه و تحلیل دسته‌ای که در طراحی یک سیستم خبره برای برنامه ریزی آموزش دانشگاهی مطرح است، مسئلهٔ بزرگ ارائه تقویم هفتگی دروس به چندین مسئلهٔ مستقل که هریک تعداد درس و استاد کمتری را شامل می‌شود، تفکیک شده است به طوری که امکان استفاده از روشهای برنامه ریزی ریاضی با اعداد صحیح (که عمدتاً کارایی آنها با افزایش تعداد متغیرها شدیداً کاهش می‌یابد) با کاهش محدودیتها و متغیرها فراهم شود. ایدهٔ اصلی در این پروژه بر مبنای پایگاههای دانش استوار است که در زمینهٔ تکنولوژی گروهی توسعه یافته‌اند. مضافاً در این مقاله مجموعهٔ فوق در قالب یک نرم افزار کامپیوتری که دارای مشخصات یک سیستم خبره است عرضه شده و نحوهٔ عملکرد آن از طریق یک مطالعهٔ موردی (برنامهٔ هفتگی دروس و اساتید دورهٔ کارشناسی دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی شریف) ارزیابی شده است.

An Application of Cluster Analysis Technique in Educational Planning

Seyed H. Iran-Manesh and Seyed T. A. Niaki
Department of Industrial Engineering, Sharif University of Technology

ABSTRACT- ***In this paper an application of the cluster analysis technique in educational planning is demonstrated by means of a developed computer software with some characteristics of an expert system. The main idea is based on the knowledge-based systems which have been applied in group technology. The software is applied to the weekly schedules of the courses and professors of the Industrial Engineering Department of Sharif University of Technology. The results show that the technique can be applied to reduce the number of variables and constraints of a zero-one programming model of an educational planning (a typical example of an assignment problem).***

---

* استادیار ** کارشناس ارشد

۱ـ مقدمه

امروزه طراحی و استفاده از سیستمهای خبره در زمینه‌های مختلف صنعتی، اجتماعی، اقتصادی، پزشکی و غیره توسعه یافته است. دلایل زیادی از قبیل سرعت عمل، استفاده از شیوه‌های تقریباً بهینه، کاهش هزینه‌ها، استاندارد و یکنواخت شدنها، و غیره این توسعه را توجیه می‌کنند. در این راستا استفاده و توسعهٔ این تکنولوژی در زمینه‌های مختلف مربوط به برنامه ریزی آموزش دانشگاهی ضروری احساس می‌شود. یکی از مشکلات اساسی در برنامه ریزی آموزش دانشگاهی، تدوین تقویم هفتگی ارائهٔ دروس، تخصیص کلاسها، تنظیم برنامهٔ امتحانی، و غیره است که در آن برنامه‌ریز با حجم وسیعی از دروس دانشگاهی مواجه است. علاوه بر این هنگام برنامه ریزی محدودیتهایی از قبیل زمان ارائه، وجود کلاسها، ظرفیت هر درس، وجود استاد و غیره باید مد نظر باشد که این خود به مشکلات برنامه ریزی می‌افزاید. این برنامه ریزی با توجه به افزایش روز افزون رشته های تحصیلی و مقاطع تحصیلی و گرایشهای مختلف، تنوع دروس، افزایش تعداد دانشجویان، محدودیتهای مختلف فضا و زمان و استاد، به روشهای سنتی مشکل و وقتگیر شده است. علاوه بر این ارائهٔ برنامهٔ مناسب سهم به‌سزایی در بالا رفتن کیفیت آموزش، استفادهٔ بهینه از امکانات آموزشی، صرفه جویی در وقت و غیره دارد.

اولین مشکلی که در یک دانشگاه در خصوص یک برنامهٔ مناسب جلوه می‌کند آن است که برنامه ریز با تعداد بسیار زیادی از درسهای دانشگاهی مربوط به رشته های مختلف مواجه است. در یک رشتهٔ تحصیلی ماهیت واحدهای درسی تشکیل دهندهٔ ترمهای تحصیلی مختلف به گونه‌ای است که از دانشکده‌ها، مراکز، کارگاهها، و آزمایشگاههای مختلف در سطح دانشگاه سرویس می‌گیرد. در نتیجه اگر برنامه ریزی به صورت جداگانه در سطح هر دانشکده صورت گیرد، برنامهٔ حاصل به دلیل عدم اطلاع و هماهنگیهای لازم از نظر زمان ارائه دارای تناقضهایی خواهد بود و عدم استفاده از دید سیستمی و برنامه ریزی کلان در سطح دانشگاه موجب توزیع نامتناسب دروس و بالطبع همگون نبودن تعداد دانشجویان در روزهای مختلف هفته و کاهش بهره‌وری امکانات و سرویسهایی نظیر سالن غذاخوری، سرویسهای رفت و آمد، کتابخانه، کلاسهای درس، سایتهای کامپیوتری و غیره خواهد شد.

نکتهٔ حائز اهمیت دیگر این است که حتی برنامه ریزی در سطح یک دانشکده برای چند رشتهٔ تحصیلی مشابه نیز کاری پیچیده و دشوار است و استفاده از مدلهای مختلف برنامه ریزی ریاضی اکثراً به دلیل حجم زیاد متغیرهای تصمیم عملی نخواهد بود. لذا ضرورت دارد به کمک شیوهٔ مناسبی اقدام به شکستن مسئله به اجزای کوچکتر کرد تا بدون آنکه به وابستگی و دید سیستمی برنامه ریزی در سطح دانشگاه خللی وارد شود، مسئلهٔ برنامه ریزی ساده تر شود و محدودیتهای مختلف در برنامه ریزی بهتر در نظر گرفته شود. این مقاله به طراحی شیوهٔ تفکیک دروس به گروههای مستقل از نظر برنامه ریزی می‌پردازد.

در زمینه‌های تخصیص استاد و یا تخصیص کلاس مطالعاتی انجام شده است [۷] اما در مورد زمان ارائهٔ درس تحقیقات کمتری صورت گرفته است. معتبرزاده [۸] با بهره‌گیری از الگوریتم کورلپ[۲] و جانمایی و داده‌های پیش ثبت نام در زمینهٔ زمان ارائهٔ دروس پیشنهاداتی ارائه داده است. در مجموع می‌توان اذعان داشت که در زمینهٔ ساده‌سازی مسئلهٔ برنامه‌ریزی آموزش به عنوان یک محور و با اتکا به دیدگاه تحلیل دسته‌بندی توجه کمتری شده است. اصولاً تحقیقاتی با این دید که برنامهٔ ارائهٔ دروس اساتید و نیز دروس دانشجویان در قالب یک الگوی ترمی باید بهترین توزیع هفتگی را داشته باشد و محدودیتهای عدم همزمانی در برنامهٔ اساتید و یا برنامهٔ ترمی دانشجویان نیز رعایت شود، انجام نشده است. در این مقاله یک مدل صفر و یک نیز برای برنامه‌ریزی با دید بلوک‌بندی ساعات هفتگی و واحدهای درسی ارائه شده است که دارای منطقی ساده است و نظرگاه مناسبی در جهت توسعهٔ آتی است. در مجموع این مدل به همراه مقولهٔ تفکیک سلولی می‌تواند به عنوان یک محور تحقیقی در پژوهشهایی که در این زمینه صورت می‌پذیرد، مورد استفاده قرار گیرد.

۲ـ روش کار

در این مقاله ابتدا شیوه‌های مختلف دسته بندی و نقشی که آنها

جدول ۱ - مدل اولیهٔ اخذ درس

درس / محدودیت	محدودیت ۱	محدودیت ۲	محدودیت ۳	محدودیت ۴	محدودیت ۵	محدودیت ۶
الف	۱					۱
ب		۱		۱		
ج		۱	۱	۱		
د					۱	۱
ه	۱				۱	۱
و	۱		۱	۱		۱

در ارتباط با این تحقیق می‌توانند داشته باشند مورد بررسی قرار گرفته‌اند و پس از آن یک شیوهٔ مناسب انتخاب شده است. در این خصوص سه روش ماتریسی، برنامه‌ریزی ریاضی، و روش گرافیکی بررسی شده‌اند. سپس محدودیتهای مختلف برای تشکیل سلولها در نظر گرفته شده‌اند. حال باید استراتژی مناسب برای تلفیق شیوهٔ دسته بندی و اثر محدودیتها را انتخاب کرد. در این جهت از یک سیستم خبره استفاده شده است. اجزای اصلی سیستم خبره متشکل از **بانک دانش**[۳]، **بانک داده**[۴] و **مکانیزم استنتاج**[۵] طراحی و سازماندهی شده‌اند. آنگاه برنامه نویسی و آزمون سیستم به کمک زبان Lisp صورت گرفته است. در پایان با استفاده از داده‌های واقعی به بررسی نتایج پرداخته و کارایی نرم افزار حاصل ارزیابی شده است. در این رابطه، برنامه ریزی دروس دورهٔ کارشناسی دانشکدهٔ مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی شریف ابتدا از طریق یک مدل برنامه ریزی صفر و یک انجام و اشکالات آن بررسی شده و آنگاه این برنامه ریزی با استفاده از نرم افزار موجود انجام و سپس مقایسهٔ نتایج صورت گرفته است.

۳- بررسی نحوهٔ به کارگیری تکنیک تحلیل دسته‌ای جهت تفکیک دروس به گروه های قابل برنامه ریزی مستقل

در روش تحلیل دسته‌ای سعی می‌شود که اشیاء بر اساس خصوصیتهایشان به گروه های مشابه دسته بندی شوند. این روش در زمینه های بسیاری مانند بیولوژی، پزشکی، شناسایی اطلاعات، شناسایی مدلها، تجزیه و تحلیل جریان مواد، تکنولوژی گروهی، انتخاب وظایف، مهندسی کنترل، سیستمهای اتوماتیک، و سیستمهای خبره کاربرد داشته است.

برای روشن شدن مطلب و کاربرد این تکنیک در مسائل مربوط به آموزش دانشگاهی فرض کنید که مدل اخذ درس برای یک دانشجوی معمولی در طول هشت نیمسال تحصیل دانشگاهی در دست است. این مدل با توجه به روابط پیش نیازی و تعداد واحدهای گذرانده شده توسط دانشجو تنظیم شده است و دارای ترکیب متناسبی از دروس ساده، معمولی، و سخت در هر ترم است. به علاوه اساتید ارائه دهندهٔ هر درس از قبل مشخص شده‌اند. همین طور فرض کنید که هدف ارائهٔ دروس فوق به نحوی باشد که دروس تشکیل دهندهٔ یک نیمسال تحصیلی و نیز برنامهٔ یک استاد دارای بهترین توزیع در طول یک هفته باشند و ضمناً هیچگونه تناقضی در زمان ارائه (از لحاظ همپوشانی) و در تاریخ امتحان نداشته باشند. به عنوان مثال فرض کنید شش درس مختلف موجود در جدول ۱ قرار است شش محدودیت ترم یا استاد را در برنامه‌ریزی رعایت کنند. بدیهی است در این حالت برنامه‌ریزی باید با در نظر گرفتن شش محدودیت برای شش درس انجام شود.

حال چنانچه به کمک تحلیل دسته‌ای موفق شویم جدول (۱) را به جدول (۲) تبدیل کنیم، دیده می‌شود که درسهای (ب-ج-و) و درسهای (و-الف-د-ه) تمایل به تشکیل یک سلول درس (Course-Cell=CC) را دارند ولی درس (و) مانع از تشکیل سلول می‌شود. چنین درسی را درس گلوگاهی نامگذاری می‌کنیم.

چنانچه این درس در دو گروه ارائه شود و محدودیتها از نوع محدودیتهای مدل ترمی دانشجو باشند، می‌توان دو سلول جداگانه را مشابه جدول (۳) تشکیل داد و ترمهای هم خانواده (Term-Family) را در آنها گنجاند.

جدول ۲ - معرفی درس گلوگاهی

درس / محدودیت	محدودیت ۲	محدودیت ۴	محدودیت ۳	محدودیت ۱	محدودیت ۵	محدودیت ۶
ب	۱	۱				
ج	۱	۱	۱			
و		۱	۱	۱		۱
الف				۱		۱
د					۱	۱
ه				۱	۱	۱

جدول ۳ - معرفی ترمهای هم خانواده

درس / محدودیت	محدودیت ۲	محدودیت ۴	محدودیت ۳	محدودیت ۱	محدودیت ۵	محدودیت ۶
ب	۱	۱				
ج	۱	۱	۱			
و ۱		۱	۱			
و ۲				۱		۱
الف				۱		۱
د					۱	۱
ه				۱	۱	۱

در بسیاری از مواقع ممکن است محدودیتهایی یافت شوند که مانع تفکیک پذیری کامل شوند. به عنوان نمونه اگر نتیجه به صورت جدول ۴ باشد، به دلیل وجود درس (ب) در ترم شش نمی‌توان این دو سلول را به صورت کامل تفکیک کرد.

در این حالت ترم شش را از جدول خارج کرده و در لیست "ترمهای در انتظار" قرار می‌دهیم. آنگاه هر سلول به صورت جداگانه برنامه‌ریزی می‌شود و در صورتی که محدودیت شش راضی شده باشد و درس (ب) با درسهای (و۲ -الف-د-ه) همزمانی نداشته باشد، برنامه قابل قبول خواهد بود و در غیر این صورت اصلاحاتی بر مبنای استراتژی کمترین تغییر در جهت راضی کردن محدودیت لازم خواهد بود. در این مورد چنانچه برنامه‌ریزی سلول درسی (ب-ج-و ۱) در روزهای فرد و سلول (و ۲- الف-د-ه) در روزهای زوج انجام شود، محدودیت شش نیز ارضا خواهد شد و برنامهٔ حاصل قابل قبول خواهد بود.

در این مقاله سعی شده است تا سلولهایی از دروس به نحوی انتخاب شوند که مدلهای برنامه‌ریزی مرتبط با آنها ارتباطی با سایر مدلهای مربوط به سایر سلولها نداشته باشند. بنابراین لازم نیست تا برنامه ریز همهٔ مدلهای مربوط به نیمسالهای مختلف را مد نظر قرار دهد و برای آنها نیز برنامه ریزی کند. بلکه صرفاً توجه خود را به دروس مشخص شده در سلولهای کوچکتر و ارتباطات آنها معطوف دارد. بدین ترتیب علاوه بر اینکه ابعاد مسئلهٔ برنامه ریزی کوچک می‌شود برنامه ریزی به مراتب آسانتر صورت می‌گیرد. در این زمینه سیستم خبرهٔ ارائه شده برای دسته‌بندی از یک مکانیزم استنتاج و یک سری قواعد که در بانک دانش سازماندهی شده‌اند بهره می‌گیرد. دانش زمینهٔ این سیستم عمدتاً برگرفته از سیستمهای بانک دانشی[۶] است‌که در زمینهٔ تکنولوژی گروهی ارائه و توسعه یافته‌اند [۲].

۳-روش دسته بندی به کار گرفته شده

با بررسیهای به عمل آمده و با توجه به سادگی برنامه نویسی و مزایای خاصی که روش تشخیص گروهی[۷] دارد، این روش برای

جدول ۴ - معرفی ترمهای در انتظار

درس / محدودیت	محدودیت ۲	محدودیت ۴	محدودیت ۳	محدودیت ۱	محدودیت ۵	محدودیت ۶
ب	۱	۱				۱
ج	۱	۱	۱			
و ۱		۱	۱			
و ۲				۱		۱
الف				۱		۱
د					۱	۱
ه				۱	۱	۱

تفکیک سلولی ماتریس درس ـ ترم و یا درس ـ استاد در نظر گرفته شده است. سادگی مکانیزم عمل در روش فوق به علاوه فرایند گام به گام در شکل گیری سلولها و از طرف دیگر امکان تشخیص سطرهای گلوگاهی ماتریس (سطرهای شامل دروس گلوگاهی) و نیاز به حافظهٔ کمتر، از مزایای این روش در تفکیک سلولی دروس است. لذا روش فوق به عنوان مبنای طراحی الگوریتم دسته بندی در این مقاله انتخاب شده است که به شرح مختصر آن پرداخته می‌شود.

در الگوریتم CI ابتدا ماتریس درس ـ ترم $[a_{ij}]$ تشکیل می‌شود. این ماتریس به گونه‌ای شکل می‌گیرد که عناصر آن در محل تلاقی درس و ترمی که در آن درس ارائه می‌شود عدد یک در غیر این صورت عدد صفر! معمولاً وقتی که این ماتریس ساخته می‌شود سلولهای درسی قابل شناسایی نیستند. الگوریتم CI این ماتریس را به یک شکل ساخت یافته‌تر (در صورت امکان به صورت بلوکهای قطری) تبدیل می‌کند. این کار با جابه‌جا کردن سطرها و ستونهای ماتریس در جهت استخراج سلولهای مستقل درسی صورت می‌گیرد. بدین صورت که ماتریس درس - ترم با کشیدن خطوط افقی و عمودی مناسب مرتب خواهد شد. قدمهای این الگوریتم به قرار زیر است [۱و۳]:

قدم ۰ - عدد تکرار (K) را برابر یک قرار دهید.

قدم ۱ - هر ردیف i از ماتریس $A^{(K)}$ (ماتریس A در تکرار Kام) را انتخاب و یک خط افقی h_i از آن عبور دهید.

قدم ۲ - برای هر عنصر که توسط خط افقی h_i قطع شده است، یک خط عمودی v_j رسم کنید.

قدم ۳ - برای هر عنصر که توسط خط عمودی v_j قطع شده است، یک خط افقی h_k رسم کنید.

قدم ۴ - قدمهای دو و سه را آن‌قدر تکرار کنید تا هیچ عنصر یک در ماتریس $A^{(K)}$ که فقط توسط یک خط قطع شده‌باشد، پیدا نشود. تمام عناصر یک در ماتریس $A^{(K)}$ که توسط دو خط قطع شده‌اند سلول درسی CC-K و ترمهای هم خانوادهٔ TF-K را تشکیل می‌دهند.

قدم ۵ - ماتریس $A^{(K)}$ را با حذف سطرها و ستونهای خط کشی شده به ماتریس $A^{(K+1)}$ تبدیل کنید.

قدم ۶ - اگر ماتریس $A^{(K+1)}$ برابر صفر است، توقف کنید. در غیر این صورت K را به K+1 تبدیل کنید و به قدم یک‌برگردید.

۴ـ بررسی محدودیتهای سیستم

به منظور کنترل تراکم دانشجو در روزهای مختلف هفته و نیز به منظور استفاده هرچه بیشتر از امکانات موجود، سیستم باید طوری طراحی شود که در آن سه محدودیت تعداد دانشجو (C_1)، تعداد واحدهای هر سلول (C_2)، و تعداد دروس هر سلول (C_3) در نظر گرفته شوند. ارضای محدودیت اول باعث همگون شدن دانشجویان در روزهای مختلف هفته، ارضای محدودیت دوم باعث سهولت تخصیص دروس در روزهای زوج و فرد، و ارضای محدودیت آخر باعث سهولت در برنامه ریزی می‌شود.

۵ـ طراحی اجزای اصلی نرم افزار

داده‌های مورد نیاز سیستم به دو دسته تقسیم می‌شوند. دستهٔ

اول داده‌های مربوط به دروس و دستهٔ دوم داده‌های مربوط به ترم هستند. علاوه بر این می‌توان حداکثر تعداد درسها در یک سلول و همین‌طور حداکثر ظرفیت در دسترس ایام هفته (زوج و فرد) را به صورت اختیاری به سیستم افزود. پس از فرایند دسته‌بندی، نتایج زیر توسط سیستم چاپ می‌شود :

– سلولهای درسی شکل یافته: برای هر سلول لازم است شمارهٔ سلول، لیست درسها، شمارهٔ خانوادهٔ ترمها و لیست ترمها در خانواده وجود داشته باشد.

– لیست ترمهای در انتظار: این لیست ترمهایی را شامل می‌شود که یا به دلیل تلاقی با بیش از یک سلول موجب ممانعت از گروه‌بندی می‌شوند و یا داخل شدن آنها در یک سلول سبب عدم ارضای یکی از محدودیتها می‌شود.

– لیست دروس تخصیص نیافته: این لیست از لیست ترمهای در انتظار نتیجه می‌شود.

– لیست دروس گلوگاهی: این لیست شامل درسها در ترمهایی است که بیش از یک سلول را در بر دارند و لازم است دو گروه از این درسها داشت تا تفکیک سلولی ممکن باشد.

– حداکثر تعداد درسها در یک سلول: این عدد، حداکثر تعداد درسها در سلولهای درسی را پس از فرایند دسته‌بندی مشخص می‌کند.

کلیات اجزای اصلی نرم افزار شامل بانک داده، بانک دانش، مکانیزم استنتاج، الگوریتم دسته بندی، و قسمت پردازندهٔ درخواست به صورت زیر طراحی شده است :

۵-۱ اجزای بانک داده : برخی از اجزای بانک داده توسط کاربر به عنوان ورودی تهیه می‌شود و پاره‌ای نیز توسط سیستم تشکیل می‌شوند. لیستی از موضوعها[8] و چارچوبها[9] در بانک داده به قرار زیر است:

■ **چارچوب درس** : اطلاعات مختلف در ارتباط با یک درس را در بر دارد و از شکل کلی زیر برخوردار است :

(Course # i ((terms ((t # 1 t - number) ... (t # j t - number))) (max - number - student X))))

Course # i : شمارهٔ درس i (شناسهٔ چارچوب)

t # j : ترم شمارهٔ j که درس i در آن ارائه می‌شود

t - number : تعداد دانشجویان در ترم j که درس i را اخذ خواهند کرد

max - number - student : حداکثر تعداد دانشجویان که می‌توانند درس را بگیرند (اختیاری)

■ **چارچوب ترم** : اطلاعات مختلف در خصوص ترم را در بر دارد و از شکل کلی زیر برخوردار است :

(term # j ((primary - plan (c # ۱ ... c # i ...)) , (f_r y) , (f_a z)))

که در این خصوص :

term # j : ترم شمارهٔ j (شناسهٔ چارچوب)

برنامهٔ اولیه[10] : الگوی اولیه اخذ واحد در قالب ترم j (به صورت داده)

c # i : درس شمارهٔ i

f_a : ساعات لازم برای ارائه در روزهای فرد در هفته

f_r : ساعات لازم برای ارائه در روزهای زوج در هفته

توجه : در مواردی که علاقه‌مند به ارائهٔ درس در روزهای زوج و یا فرد هستیم می‌توان یکی از f_r یا f_a را صفر گرفت و در مواردی که هر دو مقدار دارند سیستم یکی از آنها را انتخاب خواهد کرد. از نظر نظری متفاوت بودن این دو عدد مشکلی برای سیستم ایجاد نخواهد کرد.

■ **ماتریس درس – ترم** : این ماتریس توسط سیستم بر مبنای داده های ورودی تهیه می‌شود و شکل کلی زیر را دارد:

((C # 1 ((t # 1 t - number) (t # 2 t number) ...))

(C # i ...

۵-۲ قواعد به کار رفته در بانک دانش : بانک دانش ترکیبی از یک سری **قواعد ساخت**[11] است. این قواعد سه نوع هستند: ۱ – قواعد پیش پردازشی[12]، ۲ – قواعد مربوط به درس جاری[13]، ۳ – قواعد مربوط به سلول درس[14]. قواعد پیش پردازشی، اطلاعات لازم مربوط به بانک داده راکه توسط کاربر وارد نشده است پردازش

و تولید می‌کنند. قواعد مربوط به درس جاری مشخصات درس جاری را، که قصد ورود به سلول را دارد، بررسی می‌کند. مثلاً نوع درس از لحاظ گلوگاهی بودن بررسی می‌شود. قواعد مربوط به سلول درسی نقض محدودیتهای تشکیل سلول را بررسی کرده ترمهایی که موجب این محدودیتها می‌شوند را کنار می‌گذارد.

طبقه بندی قواعد در دسته‌های مختلف دارای دو مزیت خواهد بود. اولاً از آنجا که مکانیزم استنتاج فقط قواعدی را فعال می‌کند که مربوط به زمینهٔ[15] جاری باشد، لذا کارایی جستجو برای دستیابی به قواعد کاربردی افزایش می‌یابد. ثانیاً تفکیک قواعد، آنها را قابل فهمترساخته و بالطبع از نظر تغییرات و اصلاح نیز ساده خواهد بود.

هر قاعده مشتمل بر سه جزء " شمارهٔ قاعده ، شرایط و نتیجه " خواهد بود. این سه جزء در یک لیست سازماندهی شده‌اند و توسط مکانیزم استنتاج تمیز داده می‌شوند. شماره‌گذاری قواعد از سه رقم تشکیل شده است که رقم اول کلاس مربوطه را نشان می‌دهد و دو رقم دیگر شمارهٔ قاعده در کلاس مربوطه را بیان می‌کنند. هر شرط یک قاعده می‌تواند مقداری را مستقیماً در بانک داده چک کند و یا یک روال را فراخوان کند و مقدار برگردانده شده را مقایسه کند و یا ترکیبی از هر دو باشد. قبل از پرداختن به قواعد موجود در بانک داده لازم است تعدادی تعریف که مورد نیازند معرفی شوند :

درس جاری : درسی است که برای داخل شدن در سلول شکل یافته تحت بررسی است.

لیست درسهای کاندید : لیستی است از درسهای کاندید که به سلول درس تشکیل شده وارد می‌شوند.

لیست درسهای کاندید موقت : لیستی از همهٔ درسهایی است که در ترمهایی حضور دارند که درس جاری در آن ترمها وجود دارد. (یعنی رابطه‌ای بین درس جاری و این درسها به لحاظ گروه بندی وجود دارد).

لیست ترمهای کنار گذاشته شده (در انتظار) : لیستی است حاوی ترمهایی که از ماتریس خارج شده‌اند.

لیست درسهای گلوگاهی موقت : این دروس ممکن است بعد از این که بعضی از ترمها از ماتریس خارج شدند از حالت گلوگاهی خارج شوند.

قواعد موجود در بانک داده به قرار زیرند :

قواعد پیش پردازشی (کلاس ۱):

قاعدهٔ ۱۰۱ – اگر T=T است (یک قاعدهٔ قطعی) آنگاه موضوعهای اولیه را در بانک داده راه اندازی کنید.

قاعدهٔ ۱۰۲ – اگر حداکثر اشتراک بین سلولی[16] تعریف نشده است و تعداد کل دروس بیشتر از ۵۰ است، آنگاه icm را معادل ۳٪ قرار دهید. توجه کنید که حداکثر اشتراک بین سلولی از رابطهٔ

$$icm = (\frac{n_1}{n}) * ۱۰۰$$

به دست می‌آید که در آن n_1 تعداد ترمهایی است که همپوشانی دارند و n تعداد کل ترمهای در نظر گرفته شده است.

قاعدهٔ ۱۰۳ – اگر حداکثر تعداد درسها در یک سلول تعریف نشده است، آنگاه همهٔ ترمهایی که به درسهایی بیش از حداکثر تعداد دروس سلول نیاز دارند را از ماتریس خارج کنید و در لیست ترمهای در انتظار قرار دهید.

قاعدهٔ ۱۰۴ – اگر تعداد ترمها کمتر از ۲۰ است آنگاه icm را برابر ۲۵ قرار دهید.

قاعدهٔ ۱۰۵ – اگر تعداد ترمها بین ۲۰ و ۵۰ است آنگاه icm را برابر ۵ قرار دهید.

قاعدهٔ ۱۰۶ – اگر تعداد ترمها بزرگتر از ۵۰ است آنگاه icm را برابر ۳ قرار دهید.

قواعد مربوط به درس جاری (کلاس ۲):

قاعدهٔ ۲۰۱ – اگر هیچ درسی در سلول K (CC-K) وجود ندارد و تعداد دروس کاندید موقت به‌علاوه درس جاری بزرگتر از تعداد دروس در یک سلول‌اند، آنگاه درس جاری را به لیست دروس گلوگاهی اضافه کنید و به قدم یک الگوریتم دسته‌بندی بروید.

قاعدهٔ ۲۰۲ – اگر حداکثر تعداد دروس در یک سلول تعریف نشده است و شباهت بین درس جاری و سلول K کمتر از شباهت درس بعدی که انتخاب شده است نسبت به درس جاری باشد و تعداد ترمهایی که باید توسط درس جاری و دروس موجود در سلول ارائه شوند کمتر و یا مساوی حداکثر اشتراک بین سلولی است، آنگاه ترمهای مذکور را در لیست ترمهای در انتظار قرار دهید و لیست دروس کاندید موقت را خالی کنید و درس جاری را null قرار دهید و به قدم شش الگوریتم دسته‌بندی بروید.

قاعدهٔ ۲۰۳ – اگر تعداد دروس در سلول K و لیست دروس کاندید

موقت و لیست دروس کاندید بزرگتر از حداکثر تعداد دروس در سلول درس است و تعداد ترمهایی که توسط درس جاری و دروس سلول K ارائه می‌شوند کمتر یا مساوی حداکثر اشتراک بین سلولی (icm) باشد، آنگاه ترمهای مزبور را در لیست ترمهای در انتظار قرار دهید ولیست دروس کاندید موقت را خالی کنید و درس جاری را null قرار دهید و به قدم ۵ الگوریتم دسته‌بندی بروید.

سایر قواعد این کلاس نیز مشابه قواعد فوق عمل می‌کنند. به این صورت که قسمت شرط قواعد ۲۰۴، ۲۰۵، ۲۰۶، ۲۰۷ و ۲۰۸ مشتمل بر ترکیبهای دیگری از ارتباط بین مجموع دروس در سه‌لیست تعداد دروس در سلول K ، لیست دروس کاندید موقت و لیست دروس کاندید نسبت به حداکثر تعداد دروس در سلول و نیز ارتباط حداکثر اشتراک بین سلولی با تعداد ترمهایی هستند که در درس جاری و سلول K ارائه می‌شوند که حسب مورد به یکی از گامهای ۵، ۶ و ۱ الگوریتم دسته‌بندی منجر خواهند شد.

قواعد مربوط به سلول درس (کلاس ۳)

قاعدهٔ ۳۰۱ - اگر درسهایی وجود دارند که محدودیت ظرفیت درس را نقض می‌کنند، آنگاه ترمهایی که شامل این دروس هستند را از خانواده خارج کنید و در لیست ترمهای در انتظار قرار دهید.

قاعدهٔ ۳۰۲ - اگر تعداد واحدهای ارائه شده در هر سلول از حداکثر ساعات موجود روزهای زوج تجاوز کند، آنگاه ارائهٔ درس را در روزهای فرد مورد بررسی قرار دهید طوری که محدودیت مزبور راضی شود.

۵-۳ مکانیزم استنتاج : یکی از مزایای این سیستم سادگی مکانیزم استنتاج آن است . در اینجا از **استراتژی جلو رو**[17] استفاده شده است. در این استراتژی ابتدا با دریافت یک درخواست از قسمت پردازندهٔ درخواست دستهٔ خاصی از قواعد فعال می‌شود. بخش فعالساز قواعد، در دستهٔ تعیین شده جستجو کرده در صورتی که شرایط قاعده‌ای ارضا شود آن قاعده واکنش نشان می‌دهد و در غیر این صورت پیام مناسبی به الگوریتم می‌فرستد.

۵-۴ پردازندهٔ درخواست : قسمت پردازندهٔ درخواست وظیفهٔ سازماندهی ارتباط بین الگوریتم و بانک دانش برای ارسال درخواست و فراخوان قواعد را به عهده دارد.

۵-۵ الگوریتم دسته بندی : مراحل کلی الگوریتم به صورت زیر است :

قدم ۰ - شمارندهٔ مراحل (K) مساوی یک قرار می‌گیرد، ماتریس تلاقی درس - ترم ساخته می‌شود و درخواستی برای پردازش مقدماتی به قسمت پردازندهٔ درخواست فرستاده می‌شود.

قدم ۱ - درسی که در بیشترین تعداد ترمها ارائه می‌شود و متعلق به لیست درسهای گلوگاهی موقت نیست انتخاب می‌شود و در لیست درسهای کاندید قرار می‌گیرد.

قدم ۲ - از لیست درسهای کاندید، درسی که بیشترین شباهت را به سلول K دارد انتخاب می‌شود. اگر سلول خالی است، درس برگزیده در قدم یک‌انتخاب می‌شود . خط افقی h_i به گونه ای که i شمارهٔ درس انتخاب شده باشد، رسم می‌شود.

قدم ۳ - برای هر نقطهٔ برخورد خط افقی h_i با کمیت غیر صفر، خط عمودی v_j رسم می‌شود. ترمهایی که توسط خطوط عمودی مشخص می‌شوند کاندید های ممکن برای ترمهای هم خانوادهٔ K هستند. درسهایی که در این ترمها وجود دارند و در لیست درسهای کاندید نیستند، در لیست درس های کاندید موقت قرار می‌گیرند. درس جاری از لیست درسهای کاندید جدا می‌شود.

قدم ۴ - سیستم بانک دانش، عمل تحلیل درس جاری انتخاب شده را انجام می‌دهد و یکی از دو عمل زیر در نهایت انجام می‌شود:

* به‌قدم پنج می‌رویم (درس جاری در سلول داخل می‌شود)
* به قدم یک می‌رویم (درس جاری درسلول وارد نمی‌شود)

قدم ۵ - درس جاری به سلول K اضافه می‌شود و ترمهای مربوط نیز به خانوادهٔ K اضافه می‌شوند. اگر لیست درسهای کاندید تهی است به قدم شش می‌رویم و در غیر این صورت به قدم دو می‌رویم.

قدم ۶ - سیستم بانک دانش عمل تحلیل سلول درسی K را برای عدم ارضای محدودیتهای C_1 تا C_3 انجام داده و سعی می‌کند محدودیت‌ها را ارضاء کند. درسهای سلول K و ترمهای هم خانوادهٔ K از ماتریس خارج می‌شوند.

قدم ۷ - اگر ماتریس خالی نیست به شمارندهٔ K یکی

اضافه می‌شود و به قدم یک می‌رویم، در غیر این صورت متوقف می‌شویم.

۶ـ برنامه نویسی سیستم

به دلیل مناسب بودن زبان برنامه نویسی Lisp برای **اجرای روالی**[18]، الگوریتم دسته بندی ، و **اجرای اعلانی**[19] قواعد، این زبان برای برنامه نویسی انتخاب شده است که به دلیل حجیم بودن بانک داده روی VAX برنامه نویسی و اجرا شده است.

۷ – ارائهٔ یک مدل برنامه ریزی و کاربرد سیستم

در قسمتهای قبل ساختار کلی نحوهٔ عملکرد نرم افزار توضیح داده شد. در این بخش برای روشن شدن مزایای طبقه بندی و تحلیل دسته‌ای ابتدا به ارائهٔ یک مدل برنامه ریزی صفر و یک جهت برنامه ریزی دروس یک سلول می‌پردازیم ، آنگاه در قالب یک مثال کاربردی نشان می‌دهیم که چگونه با به کارگیری نرم افزار، استفاده از مدل فوق با کاهش متغیرها و محدودیتهای مسئلهٔ اصلی امکانپذیر خواهد بود.

۷–۱ استفاده از یک مدل برنامه ریزی صفر و یک : این مدل نوعی مدل تخصیص است که در آن ابتدا تمامی دروس به بلوکهای نیم ساعتی شکسته می‌شوند. سپس ایام هفته نیز به قطعات نیم ساعتی تقسیم می‌شوند و مسئله به صورت تخصیص در خواهد آمد. دلیلی که برای این نوع بلوک بندی وجود دارد این است که امکان ایجاد انواع شکستها برای واحدهای درسی مختلف (۱ ، ۲ ، ۳ و ۴ واحدی) را فراهم خواهد کرد.

در این مدل هدف این است که میانگین تعداد روز حضور اساتید به ازای واحدهای ارائه شده و همچنین میانگین تعداد روز حضور دانشجو به ازای الگوی ترمی حداقل شود. بالطبع این نوع تابع هدف سبب ایجاد پیوستگی و کاهش فواصل خالی در برنامهٔ استاد و دانشجو خواهد شد و از ارائهٔ درس به صورت منفرد و پراکنده جلوگیری خواهد کرد. از آنجایی که میانگین تعداد روز حضور اساتید و دانشجویان را می‌توان از نظر کمینه کردن، معادل مجموع تعداد روز حضور دانست، لذا تابع هدف به شکل یک مجموع که در ضمیمهٔ ۲ آمده است، ارائه شده است. محدودیتهایی که در این مدل باید رعایت شوند به شرح زیر است :

۱ – محدودیت تعداد واحد درس

۲ – محدودیت عدم انطباق همزمانی در الگوهای ترمی دانشجو و نیز دروس ارائه شده توسط یک استاد

۳ – ممنوعیت ارائهٔ یک درس در یک روز به صورت نیم ساعتی و چهار ساعتی

۴ – مجموع دروس تخصیص یافته به یک بلوک زمانی باید کمتر از تعداد کلاسهای موجود در آن بلوک باشد.

۵ – پیوستگی بلوکهای یک درس که در یک روز برنامه ریزی می‌شوند

برای ساده ساختن فرمولهای مدل، دامنهٔ برنامه ریزی ساعات صبح و از ساعت ۷/۵ تا ۱۲/۵ و مشتمل بر ده بلوک نیم ساعتی است. چنانچه ابعاد برنامه ریزی پنج روز هفته، یعنی شنبه تا چهار شنبه باشد، پنجاه بلوک نیم ساعتی برای برنامه ریزی خواهیم داشت که بلوکهای یک تا ده به روز شنبه، یازده تا بیست به روز یکشنبه و همین‌طور به سایر بلوکها شماره تخصیص داده می‌شود. به علاوه برای ساده سازی فرض کنید هر درس به هشت بلوک نیم ساعتی بتواند شکسته شود. بدیهی است برخی از بلوکها به دلیل محدودیت حجم واحد تخصیص نخواهند یافت و در عمل علاوه بر اینکه اندیس گذاری متغیرها ساده تر شده، مشکلی هم ایجاد نخواهد شد.

نحوهٔ عمل در خصوص محدودیتهای اول، دوم، سوم و چهارم روشن است. در خصوص محدودیت پنجم سعی می‌شود اختلاف بین دو شمارهٔ شروع یک درس با ختم همان درس را در یک روز حداقل کنیم. بدیهی است در این صورت پیوستگی بیشتری ایجاد خواهد شد. به علاوه برای اینکه حداقل شدن با قوت بیشتری تثبیت شود، ضریب بیشتری در تابع هدف برای این اختلاف اعمال خواهد شد و با این روش به صورت غیر مستقیم محدودیت فوق راضی می‌شود.

ذکر این نکته ضروری است که اگر چه با این روش پیوستگی تضمین نمی‌شود ولی تعداد محدودیتهایی که به مدل اضافه می‌شود خیلی کمتر از روشهای مستقیم است. یک روش مستقیم می‌تواند به این ترتیب باشد که حالات مختلف شکست را برای درسهای چهار،سه و دو واحدی، بررسی کرده سپس شرایطی را بین بلوکهای درس به طور متوالی قرار دهد، به گونه‌ای که اگر اولین بلوک

تخصیص پیدا کرد بلوکهای بعدی نیز لزوماً مقدارشان یک شود و تخصیص یابند تا پیوستگی تضمین شود. بدیهی است این روش مستلزم درک و اعمال محدودیتهای تفکیک منطقی دروس و سپس اعمال دسته محدودیتهای بین بلوکهای هر تفکیک برای ایجاد پیوستگی تا نقطهٔ شکست است که محدودیتهای زیادی به مسئله اضافه خواهد کرد و به همین دلیل از روش غیر مستقیم استفاده شده است.

در ضمیمهٔ ۱، لیستی از متغیرهای مدل برنامه ریزی صفر و یک آورده شده است، ضمیمهٔ دو شامل مدل مزبور است، و در ضمیمهٔ ۳، محاسبات مربوط به تعداد متغیرها و محدودیتهای مدل صفر و یک آورده شده است. همان‌طور که در این محاسبات به چشم می‌خورد، ابعاد مسئله در قالب تعداد متغیرها و محدودیتها بسیار بزرگ است طوری که جواب بهینهٔ مسئله با امکانات موجود به سادگی به دست نمی‌آید.

۷-۲ کاهش ابعاد مسئله با استفاده از نرم افزار طراحی شده

در اینجا برای روشن شدن نحوهٔ به کارگیری سیستم در کاهش ابعاد مسئلهٔ مربوط به مدل ارائه شده فرض کنید که هدف برنامه ریزی دروس تخصصی رشته مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی شریف به کمک مدل برنامه ریزی صفر و یک است. در جدول (۵)، بیست‌وهفت درس مختلف به همراه اساتید ارائه دهندهٔ دروس و نیز محدودیتهایی در قالب بیست‌ودو محدودیت عدم انطباق همزمانی آمده است. از این بیست‌ودو محدودیت، ده محدودیت مربوط به الگوهای ترمی و دوازده محدودیت مربوط به اساتید است. به علاوه فرض کنید که از داده های مربوط به پیش ثبت نام صرف نظر شود. چنانچه مسئلهٔ فوق را بخواهیم به کمک مدل صفر و یک ارائه شده حل کنیم تعداد محدودیتها و متغیرها با استفاده از ضمیمهٔ ۳ به صورت زیر خواهد بود:

$W = ۵ \ , \ T = ۲۲ \ , \ N = ۲۷ \ \leftarrow$ تعداد محدودیتها = ۲۲۰۷۳

و تعداد متغیرها = ۱۲۳۰۰

در نتیجه، حل مسئله به دلیل تعداد بسیار زیاد متغیرها و محدودیتها با امکانات کامپیوتری موجود بسیار دشوار است و لازم است ابعاد مسئله با استفاده از نرم افزار ارائه شده کاهش یابد.

با تغییر حداکثر تعداد درس هر سلول (max- cc - k- size) جوابهای مختلفی که هر یک منجر به تعدادی ترم در انتظار و نیز بعضاً منجر به تعدادی دروس استفاده نشده می‌شوند با استفاده از نرم افزار حاصل شده است. نتایج حاصل در جدول (۶) خلاصه شده است. توجه داشته باشید که در برخی موارد جوابهای حاصل علی‌رغم تشکیل سلولهای زیاد نتوانسته است توزیع یکنواختی در هر سلول ایجاد کند. یعنی یک سلول دارای درسهای زیاد و بقیه دارای درسهای کمتری هستند. جدول مربوط به جوابهای حاصل شده در شکلهای (۱) و (۲) آمده است.

در مورد ترمها یا اساتید در انتظار که اشتراک بین سلولی دارند می‌توان بدین گونه برخورد کرد که ابتدا برای یک سلول با افزودن محدودیتهای مربوط به این ترمها یا اساتید، مسئله را حل کرد. به عنوان نمونه در مورد مثال دو سلولی در شکل ۱ دو محدودیت $S۴ = \{ ۱۶ , ۱۲ , ۱۴ \}$ و $S۱۲ = \{ ۱ , ۳ , ۱۶ \}$ به محدودیتهای سلول (۱) اضافه می‌شود. پس از حل این مسئله می‌توان با افزودن محدودیتهایی در نقاط شروع ترمهای در انتظار، سلول دوم را نیز حل کرده و به جوابهای قابل قبول دست یافت. مثلاً فرض کنید که پس از حل، درس نوزده (برنامه ریزی تولید) در روزهای شنبه در بلوکهای سه، چهار و پنج (۹ تا ۱۰/۵ صبح) و در دوشنبه بلوکهای سی و سه، سی و چهار و سی و پنج (۹ تا ۱۰/۵ صبح) برنامه‌ریزی شده باشد. در این صورت در مورد درس پانزده (تحقیق در عملیات ۱) که به دلیل محدودیت استاد سیزده نباید همزمانی وجود داشته باشد، محدودیتهای زیر به مسئلهٔ مربوط به سلول دوم اضافه می‌شود:

$SAT_{13} = ۱$ $\quad$ $MINSAT_{10} \leq ۲$

$MINSAT_{10} \geq ۷$

$MON_{13} = ۱$ $\quad$ $MINSAT_{10} \leq ۳۲$

$MINSAT_{10} \geq ۳۷$

همین طور در مورد ترمها و اساتید در انتظار دیگر باید جوابها به مسئلهٔ دوم منتقل شود.

ذکر این نکته ضروری است که به دلیل زیاد بودن تعداد درسهای هر سلول دامنهٔ برنامه ریزی را باید به کل هفته ($W = ۵$) تعمیم داد که در این صورت حداقل تعداد متغیرها و محدودیتها با صرف نظر کردن محدودیتهایی که از جوابهای مدل قبل حاصل می‌شود به صورت زیر محاسبه می‌شود:

جدول ۵ - دروس تخصصی دانشکده صنایع

شماره	عنوان درس	الگوهای ترمی مربوط به دروس تخصصی (تولید و تحلیل)										اساتید ارائه دهنده درس										
		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲
۱	زبان تخصصی	۱					۱						۱										
۲	آمار مهندسی	۱					۱									۱							
۳	اقتصاد عمومی ۱	۱					۱						۱										
۴	اقتصاد مهندسی		۱					۱				۱											
۵	روشهای تولید۱		۱																			۱	
۶	اقتصاد عمومی ۲		۱					۱					۱								۱		
۷	ارزیابی کار و زمان			۱					۱														
۸	روشهای تولید ۲			۱																		۱	
۹	اصول حسابداری			۱					۱									۱					
۱۰	تحقیق در عملیات ۱			۱				۱															
۱۱	اصول مدیریت			۱					۱				۱										
۱۲	طرحریزی واحدهای صنعتی				۱					۱							۱						
۱۳	مهندسی فاکتورهای انسانی				۱						۱	۱											
۱۴	کنترل پروژه				۱					۱							۱						
۱۵	کنترل موجودی ۱				۱				۱						۱								
۱۶	کنترل کیفیت				۱					۱													
۱۷	برنامه ریزی تعمیرات					۱												۱					
۱۸	سیستمهای کامپیوتری در صنایع					۱													۱				
۱۹	برنامه ریزی تولید					۱								۱									
۲۰	کنترل موجودی ۲					۱									۱								
۲۱	روشهای ساخت						۱														۱		
۲۲	تحلیل سیستمها								۱														۱
۲۳	تحقیق در عملیات ۲									۱										۱			
۲۴	تئوری صف										۱									۱			
۲۵	سیستمهای کامپیوتری در برنامه ریزی										۱								۱				
۲۶	اصول شبیه سازی										۱					۱							
۲۷	سیستمهای اطلاعات مدیریت										۱								۱				
	گرایش / اساتید	تولید صنعتی									تحلیل سیستمها	خیور	چمران	کیانفر	حجی	محلوجی	قاسمی	مصطفوی	خالصی‌زاده	مدرس	اشراق	صفائیه	کیانفر

جدول ۶ - خلاصه جوابهای اجرای سیستم به ازای

مقادیر حداکثر درس سلول (max-cc-k-size)

حداکثر تعداد درس	تعداد سلولها	تعدادترمهای درانتظار	تعداددرسهای استفاده‌نشده
۲۷	۱	۰	۰
۲۶	۳	۹	۳
۲۵	۱	۳	۲
۲۴	۱	۴	۳
۲۳	۲	۴	۱
۲۲	۴	۴	۰
۲۱	۴	۴	۱
۲۰	۵	۵	۰
۱۹	۲	۵	۰
۱۸	۲	۵	۰
۱۷	۲	۵	۰
۱۶	۲	۵	۲
۱۵	۲	۵	۲
۱۴	۲	۵	۲
۱۳	۳	۵	۰
۱۲	۳	۵	۰
۱۱	۳	۶	۲
۱۰	۵	۷	۱
۹	۴	۷	۱

سلول ۱ : (cc۱) W = ۵ , N = ۱۵ , T = ۱۱

۶۸۰۵ = تعداد متغیرها ۱۲۲۶۳ = تعداد محدودیتها

سلول ۲ : (cc۲) W = ۵ , N = ۱۲ , T = ۷

۵۴۳۵ = تعداد متغیرها ۹۷۸۸ = تعداد محدودیتها

دیده می‌شود که ابعاد مسئله تقریباً به نصف تبدیل شده است ولی هنوز به دست آوردن جواب مسئله مشکل است.

در مورد سه سلول درسی (شکل ۲) می‌توان هر سلول را به دو روز در هفته تخصیص داد و از این طریق مشکل انطباق ترمهایی که اشتراک سلولی دارند راکاهش داد. در این مورد می‌توان سلول درسی یک را به روزهای یکشنبه و سه شنبه ، سلول درسی دو را به روزهای شنبه و دوشنبه و سلول درسی سه را به روزهای دوشنبه و چهارشنبه تخصیص داد. در این صورت حداقل تعداد متغیرها و محدودیتها بدون در نظر گرفتن ترمهای در انتظار به صورت زیر محاسبه می‌شود :

سلول ۱ : (cc۱) W = ۲ , N = ۹ , T = ۷

۱۶۳۴ = تعداد متغیرها ۷۳۱۳ = تعداد محدودیتها

سلول ۲ : (cc۲) W = ۲ , N = ۱۱ , T = ۹

۱۹۹۸ = تعداد متغیرها ۳۶۵۹ = تعداد محدودیتها

سلول ۳ : (cc۳) W = ۲ , N = ۷ , T = ۵

۱۲۷۰ = تعداد متغیرها ۲۳۲۷ = تعداد محدودیتها

در این مورد نیز ابتدا سلول درسی دو را حل کرده و درسهایی که مربوط به دوشنبه است و در ترمهای در انتظار نیز وجود دارند به محدودیتهای سلول سه منتقل کرده و این سلول را نیز جداگانه حل می‌کنیم. سلول درسی یک نیز جداگانه حل می‌شود و جوابهای حاصل قابل قبول خواهد بود.

دیده می‌شود که حداقل تعداد متغیرها و محدودیتهای مدل هنوز خیلی زیاد است و عملاً نمی‌توان با نرم‌افزار های در دسترس مسئله را حل کرد. اما ابعاد مسئله شدیداً نسبت به حالت اولیه کاهش پیداکرده است و به هر حال هدف اصلی پروژه که کاهش ابعاد مسئله است حاصل شده است.

۸ ـ نتیجه گیری و زمینه‌های توسعه

به نظر می‌رسد دیدگاه تفکیک سلولی دروس یک فرض لازم در تسهیل به کار گیری و توسعهٔ مدلهای ریاضی است. در این راستا خوشبختانه روش ارائه شده به دلیل اینکه از سیستم VAX و نرم افزار LISP 3.0 برای اجرا استفاده می‌کند، می‌تواند بدون محدودیت در سطح کلیه دروس دانشگاه به کار رود و عمل تفکیک را انجام دهد. ولی دستیابی به تفکیک مطلوب کاری وقتگیر است و محتاج اجراهای متوالی و بررسی کیفیت جوابها است. لذا به کار گیری نرم افزار تدوین شده برای تفکیک سلولی ترمهای دانشجویی به دلیل ثبات آن مقرون به صرفه و اقتصادی است، چراکه فقط لازم است یک بار انجام شود. ولی برای اساتید به دلیل وجود تغییرات

	درس	TF1									TF2									ترم / استاد در انتظار				
		1	6	15	10	19	18	9	5	16	2	7	11	21	3	8	20	22	13	4	14	12	17
سلول درسی ۱ (CC1)	1	1	1																			1	
	3	1	1																			1	
	2	1	1	1																			
	26			1	1																		
	24				1	1																	
	25				1		1																
	27				1		1																
	23					1		1															
	18						1		1														
	17								1														1
	19								1										1				
	16							1												1		1	
	12							1		1										1			
	14							1		1										1			
	20								1								1						
سلول درسی ۲ (CC2)	4										1	1											
	6										1	1										1	
	13												1							1			
	5										1			1									
	21											1		1									
	10											1			1								1
	8													1	1								
	11														1	1						1	
	9														1	1							1
	7															1	1						
	15															1				1	1		
	22															1		1					

شکل ۱ – تشکیل دو سلول با به کارگیری حداکثر درس سلول برابر ۱۸ (setq max-cc-k-size '18)

درس		TF1						TF2						TF3						ترم / استاد در انتظار					
		1	6	15	10	19	18	2	7	11	21	13	16	8	22	20	17	14	9	5	12	3	4
1	سلول درسی ۱ (CC1)	1	1																		1		
3		1	1																		1		
2		1	1	1																			
26				1	1																		
24					1	1																	
25					1		1																
27				1			1																
23						1													1				
18							1													1			
4	سلول درسی ۲ (CC2)							1	1	1	1												1
6								1	1												1		
5								1			1												
21									1		1												
13										1													1
8											1											1	
10									1			1										1	
16												1							1				1
19												1								1			
12								1											1				1
14								1											1				1
22	سلول درسی ۳ (CC3)													1	1								
11														1							1	1	
7														1		1						1	
9														1			1					1	
17																	1			1			
15														1				1					1
20																		1		1			

شکل ۲ - تشکیل سه سلول با به کارگیری حداکثر درس سلول برابر ۱۲ (setq max-cc-k-size '12)

ترمی مشکل است مگر اینکه دروس اساتیدی در سیستم وارد شود که ثبات نسبی دارند. این ثبات نسبی معمولاً در مورد بسیاری از دروس صادق است و به همین دلیل نرم افزار می‌تواند به صورت اقتصادی در مورد آنها اجرا شود. در مجموع محورهای توسعه و تحقیقات آتی می‌تواند به صورت زیر خلاصه شود :

۱ـ طراحی نرم افزار رابط کاربر[۲۰] به منظور ایجاد فایلهای ورودی سیستم از یک بانک داده.

۲ـ طراحی نرم افزاری که مستقیماً اقدام به ایجاد فایلهای ورودی مدل صفر و یک از همان بانک داده کند.

۳ـ مطالعه پیرامون نحوهٔ تخصیص سلولی کلاس در نرم افزار و همین‌طور در مدل صفر و یک.

۴ـ افزودن برنامهٔ زمانبندی امتحانات به عنوان یک مبحث تکمیلی در برنامه ریزی آموزش دانشگاهی.

واژه نامه:

1- cluster analysis
2- CORELAP algorithm
3- knowledge base
4- data base
5- Inference Engine
6- knowledge based systems (K.B.S)
7- cluster identification (CI)
8- Object
9- Frame
10- primary plan
11- production rules
12- preprocessing rules
13- Current course rules
14- course cell rules
15- context
16- intercellular maximum
17- forward chaining strategy
18- procedural run
19- declarative run
20- user interface

مراجع

1. Evert, B., *Cluster Analysis*, Halsted Press, New York, 1980.
2. Jackson, P., *Introduction to Expert System*, Addison-Wesley Publishing Company, 1990.
3. Kusiak, A., *Intelligent Manufacturing System*, Prentice-Hall International Editions, 1990.
4. Meyer, W., *Expert System in Factory Management Knowledge Based CIM*, Ellis, Honwood, 1990.
5. Ritzman, L. , J. Bradford, & R. Jacobs, " A Multiple Objective Approach to Space Planning for Academic Facilities " , Management Science, 25(q), pp. 895-906, 1978.
6. Winston, P. H., and B. K. P., Horn, *Lisp*, 3rd. edition, Addison-Wesley Publishing Company.

۷ـ ایرانمنش، س. ح.، " طراحی یک سیستم خبره‌برای برنامه ریزی آموزش دانشگاهی،" رسالهٔ کارشناسی ارشد مهندسی صنایع ، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۷۳.

۸ـ معتبرزاده، ا.، " به کارگیری الگوریتم کورلپ در تعیین برنامهٔ هفتگی،" گزارش نخستین همایش دانشجویی مهندسی صنایع، مجلهٔ صنایع ، دانشگاه صنعتی شریف، سال دوم شمارهٔ ۲، ۱۳۷۲.

۹ـ حسینی انواری، ح.، " کاربرد سیستمهای اطلاعاتی در قالبسازی،" مجلهٔ صنایع‌دانشگاه‌صنعتی شریف، سال دوم، شمارهٔ ۲، ۱۳۷۲.

ضمیمهٔ ۱ : متغیرهای مدل برنامه ریزی صفر و یک

i = شمارهٔ بلوک نیم ساعتی در یکی از ایام هفته (شماره های یک تا ده مربوط به شنبه و ... چهل و یک تا پنجاه مربوط به چهارشنبه است.)

$i = ۱, ۵۰, ...$

j = شمارهٔ درس $j = ۱, ..., N$

N = تعداد درس

M = تعداد کلاسهای در دسترس

t = شمارهٔ استاد یا ترم دانشجو $t = ۱, ..., T$

U_j = حجم واحد درس j

S_t = مجموعهٔ حاوی شماره درسهایی که مربوط به استاد t یا ترم t دانشجوست.

X_{ijk} (متغیر تصمیم) = این متغیر مقدارش یک است اگر بلوک k ام درس j به محل i تخصیص یابد و در غیر این صورت صفر.

$WED_t, .., SAT_t$ = این متغیر مقدارش یک است اگر درسی مربوط به استاد t یا ترم t دانشجو در شنبه ، ... ، چهارشنبه ارائه شود و در غیر این صورت صفر.

$MAXWED_j, ..., MAXSAT_j$ = زمان ختم درس j ام در روز شنبه، ... ، چهارشنبه به صورت شمارهٔ بلوک هفته.

$MINWED_j, ..., MINSAT_j$ = زمان شروع درس j ام در روز شنبه، ... ، چهارشنبه به صورت شمارهٔ بلوک هفته.

$BITWED_{lj}, ..., BITSAT_{lj}$ = متغیر های صفر و یک برای تبدیل عدد صحیح $MAXWED_j ..., MAXSAT_j$,

$BTWED_{lj}, ..., BTSAT_{lj}$ = متغیر های صفر و یک برای تبدیل عدد صحیح $MINWED_j, ..., MINSAT_j$

ضمیمهٔ ۲ : مدل برنامه ریزی صفر و یک

$$\text{Min} \sum_{t=۱}^{T} (SAT_t + ... + WED_t) - ۱۰۰ (\sum_{j=۱}^{N} (MAXSAT_j - MINSAT_j) + ... + \sum_{j=۱}^{N} (MAXWED_j - MINWED_j))$$

S.T.

$$۲\, SAT_t \le \sum_{i=۱}^{۱۰} \sum_{j \varepsilon S_t} \sum_{k=۱}^{۸} X_{ijk} \le ۶\, SAT_t \qquad t = ۱, ..., T \qquad (۱)$$

$$۲\, WED_t \le \sum_{i=۴۱}^{۵۰} \sum_{j \varepsilon S_t} \sum_{k=۱}^{۸} X_{ijk} \le ۶\, WED_t \qquad t = ۱, ..., T$$

$$\sum_{i=۱}^{۵۰} \sum_{k=۱}^{۸} X_{ijk} = ۲\, U_j \qquad j = ۱, ..., N \qquad (۲)$$

$$\sum_{i=۱}^{۶۰} \sum_{j \varepsilon S_t} X_{ijk} \le ۱ \qquad t = ۱, ..., T ;\ K = ۱, ..., ۸ \qquad (۳)$$

$$\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{8} X_{ijk} \le M \qquad i = 1, \dots, 50 \qquad (4)$$

$$i\,X_{ijk} \le MAXSAT_j \qquad i = 1, \dots, 10\ ;\ j = 1, \dots, N\ ;\ k = 1, \dots, 8 \qquad (5)$$

$$i\,X_{ijk} \le MAXWED_j \qquad i = 1, \dots, 10\ ;\ j = 1, \dots, N\ ;\ k = 1, \dots, 8$$

$$i\,X_{ijk} \ge MINSAT_j \qquad i = 1, \dots, 10\ ;\ j = 1, \dots, N\ ;\ k = 1, \dots, 8$$

$$i\,X_{ijk} \ge MINWED_j \qquad i = 1, \dots, 10\ ;\ j = 1, \dots, N\ ;\ k = 1, \dots, 8$$

$$MAXSAT_j = BITSAT_{1j} + 2\,BITSAT_{2j} + 4\,BITSAT_{3j} + 8\,BITSAT_{4j} + 16\,BITSAT_{5j} \qquad (6)$$

$$j = 1, \dots, N$$

$$MAXWED_j = BITWED_{1j} + 2\,BITWED_{2j} + 4\,BITWED_{3j} + 8\,BITWED_{4j} + 16\,BITWED_{5j}$$

$$MINSAT_j = BTSAT_{1j} + 2\,BTSAT_{2j} + 4\,BTSAT_{3j} + 8\,BTSAT_{4j} + 16\,BTSAT_{5j}$$

$$j = 1, \dots, N$$

$$MINWED_j = BTWED_{1j} + 2\,BTWED_{2j} + 4\,BTWED_{3j} + 8\,BTWED_{4j} + 16\,BTWED_{5j}$$

$$X_{ijk};\ SAT_t, \dots, WED_t\ ;\ BITSAT_{lj}, \dots, BITWED_{lj}\ ;\ BTSAT_{lj}, \dots, BTWED_{lj} = 0, 1$$

$$i = 1, \dots, 50\ ;\ t = 1, \dots, T\ ;\ l = 1, \dots, 5\ ;\ j = 1, \dots, N\ ;\ k = 1, \dots, 8$$

محدودیت دستهٔ اول عدم همزمانی در الگوهای ترمی و دروس یک استاد را تضمین کرده و از طرف دیگر ارائهٔ درس به صورت نیم ساعتی و چهار ساعتی را ممنوع می‌کند. محدودیتهای دستهٔ دوم میزان واحد درس و ارائهٔ آن را تضمین می‌کند. محدودیت دستهٔ چهارم زمان شروع و ختم درس را به دست آورده و در تابع هدف، فاصلهٔ آن را حداقل می‌کند. محدودیتهای آخرین دسته نیز برای تبدیل مقادیر صحیح به صفر و یک در مدل قرار داده شده است.

در مورد محدودیت تعداد کلاس، برخورد دیگری نیز می‌تواند صورت گیرد و آن عبارت است از متناسب سازی تعداد دروس تخصیص یافته به بلوکهای مختلف زمانی از طریق کاهش حداکثر مقدار آن و چنانچه بخواهیم این برخورد را اعمال کنیم کافی است در تابع هدف مقدار M را قرار دهیم. بدیهی است استفاده از متغیرهایی برای تبدیل عدد صحیح M به صفر و یک نیز ضرورت دارد.

ضمیمهٔ ۳: محاسبهٔ تعداد متغیرها و محدودیتهای مدل صفر و یک

ابعاد مدل به سه پارامتر تعداد درس (N)، تعداد استاد یا ترم دانشجو (T) و تعداد روزهای هفته (W)، بستگی دارد. در این صورت تعداد متغیرها به صورت زیر محاسبه می‌شود :

تعداد بلوکهای درس = ۸ N (هر درس به هشت بلوک نیم ساعتی مجاز شکسته می‌شود.)

تعداد بلوکهای هفته = ۱۰ W (هر روز به ده بلوک نیم ساعتی از ساعت ۷/۵ تا ۱۲/۵ شکسته می‌شود.)

تعداد متغیرهای X_{ijk} = ۸۰ N * W (حاصل ضرب تعداد بلوکهای درس در تعداد بلوکهای هفته)

تعداد متغیرهای ایام هفته = W * T (مربوط به متغیرهای SAT_t , ... , WED_t)

تعداد متغیرهای بلوک زمان شروع و ختم درس = ۵ * N * W * ۲

(هر درس در هر روز هفته دارای دو بلوک شروع و ختم است که برای تبدیل به صفر و یک نیز پنج متغیر لازم است)

مجموع متغیرها = ۹۰ N W + W T

تعداد محدودیتها نیز به صورت زیر محاسبه می‌شود.

با توجه به محدودیتهای دستهٔ (۱) محدودیت ارائهٔ درس = ۲ * T * W

با توجه به محدودیتهای دستهٔ (۲) محدودیت تساوی واحد = N

با توجه به محدودیتهای دستهٔ (۳) محدودیت همزمانی = ۸ T

با توجه به محدودیتهای دستهٔ (۴) محدودیت کلاس = ۱۰ * W

با توجه به محدودیتهای دسته (۵) محدودیت بلوک شروع و ختم = ۱۰ * W * N * ۸ * ۲

مجموع محدودیتها = ۲ T W + N + ۸ T + ۱۶۰ W N + ۱۰ W