ارائه یک روشی براساس الگوریتم نیروی گرانشی توسعه یافته برای حل مسئله زمانبندی

عزیز نوروزی نودهی
عباس طلوعی اشلقی (نویسنده مسئول)
دانشگاه ازاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات ،گروه مدیریت صنعتی ،تهران ،ایران

چکیده

امروزه با توسعه صنعتی، مسئله محدودیت منابع بحرانی‌تر شده است و ماشین‌ها، نیروی کار و تسهیلات نیز علاوه بر زمان به‌عنوان منبعی بحرانی در فعالیت‌های تولیدی شناخته می‌شوند. زمانبندی صحیح این منابع منجر به افزایش کارایی و سودآوری می گردد. زمانبندی، تعیین اولویت‌ها یا مرتب‌کردن فعالیت‌ها به منظور برآورده ساختن نیازمندی‌ها، محدودیت‌ها و اهداف معین است. از آنجایی که زمان همواره منبعی محدود بوده، فعالیت‌ها باید به گونه‌ای زمانبندی شوند تا از مصرف بهینهٔ این منبع، اطمینان حاصل شود.الگوریتم نیروی گرانشی نیز مانند دیگر الگوریتم‌های تکاملی از طبیعت الهام می‌گیرد. تاثیر جاذبه بر اجسام به صورت متقابل و اعمال نیروی گرانشی به تمامی اجسام موجود در فضا ایده اصلی این الگوریتم می‌باشد. بدیهی است این نیرو باعث تغییر سرعت اجسام و کشیده شدن آنها به سمت اجسام بزرگتر می‌شود که در طبیعت می‌توان به رابطه زمین، ماه، اشیای زمینی و دیگر اجسام و اجرام آسمانی موجود اشاره نمود.در این تحقیق پس از مروری بر ادبیات موضوعی، یک مسئله زمانبندی جدول زمانی دروس دانشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است که با استفاده از یک الگوریتم پیشنهادی بر مبنای اصول الگوریتم نیروی گرانشی تجزیه و تحلیل شده است. در این الگوریتم به دو روش می‌توان نیروی گرانشی میان پاسخ‌ها را محاسبه کرد.در روش اول یک پاسخ از فضای همسایگی محلی پاسخ جاری انتخاب شده و نیروی گرانشی بین این دو پاسخ محاسبه می‌شود.در روش دوم، نیروی گرانشی بین تمام پاسخ‌های همسایه در فضای همسایگی پاسخ جاری محاسبه می‌شود و به یک پاسخ همسایه محدود نمی شود با مقایسه این روش این نتیجه حاصل شد که روش اول برتری نسبی از نظر پارامتر سرعت رسیدن به جواب و کیفیت جوتب دارد.

واژگان کلیدی: زمانبندی[۱]، مدلسازی[۲]، الگوریتم نیروی گرانشی[۱].

[۱]-Scheduling
[۲]-Modeling

[1]-MILP

مقدمه

مسئله‌های زمان‌بندی و برنامه ریزی، سازگارسازی و هماهنگ نمودن مجموعه ای از نهادها مانند رخدادها، فعالیت‌ها، افراد، ابزار و دستگاه‌ها، خودروها، مکان‌ها و مانند اینها در یک الگوی مکان زمان است .در این دسته از مسئله‌ها هدف این است که منابع در دسترس به بهترین روش ممکن مورد بهره برداری قرار گیرند و محدودیتها و شرایط موجود مورد توجه قرار گرفته و برآورده شوند. یکی از دسته‌های خاص مسایل زمان بندی را جدول بندی زمانی مینامند .جدولبندی زمانی، در واقع زمان بندی مجموعه ای از رویدادهای هم پیوند، در کمترین بازه‌های زمانی است به گونه ای که منابع مورد نیاز همزمان توسط بیش از یک رویداد استفاده نشوند .نمونهای از موقعیتهایی که با مسئله جدو ل بندی زمانی درگیر هستند، سازما ن‌های آموزشی هستند .این سازمان‌ها در طول سال تحصیلی با مسایل زمان بندی گوناگونی مانند زمان بندی سخنرانیها، سمینارها، آزمایشگاه‌ها، کلاس‌های درس، و امتحان‌ها روبه رو هستند

طراحی جدول زمان بندی، اساسا از وظایف پیچیده و وقت گیر برای پرسنل مسوول می باشد که از طرفی انجام خودکار آن گامی در جهت کاهش بار کاری پرسنل و از سوی دیگر یک نمونه مطلوب برای امتحان روش‌های برنامه ریزی و ارضای محدودیت‌ها در هوش مصنوعی است. در این پژوهش، ابتدا الگوریتم‌های فراابتکاری مطالعه و بررسی شده، سپس در مساله بهینه سازی جدول زمانی دروس الگوریتم نیروی گرانشی مورد استفاده قرار گرفته است. در این الگوریتم به دو روش می‌توان نیروی گرانشی میان پاسخ‌ها را محاسبه کرد.در روش اول یک پاسخ از فضای همسایگی محلی پاسخ جاری انتخاب شده و نیروی گرانشی بین این دو پاسخ محاسبه می‌شود.در روش دوم، نیروی گرانشی بین تمام پاسخ‌های همسایه در فضای همسایگی پاسخ جاری محاسبه می‌شود و به یک پاسخ همسایه محدود نمی شود با مقایسه این روش این نتیجه حاصل شد که روش اول برتری نسبی از نظر پارامتر سرعت رسیدن به جواب و کیفیت جوتب دارد.

الگوریتم نیروی گرانشی یا جستجوی محلیGLSA یک الگوریتم جدید است که همانطور که از نام آن پیداست یک روش جستجوی محلی اکتشافی است. علاوه بر این، این الگوریتم در گروه آن دسته از روش‌هایی که از برخی فرآیندهای طبیعی یا فیزیکی تقلید می‌کنند (مثل سرد کردن شبیه سازی شده و الگوریتم ژنتیک)، تعلق دارد.

آیا اجرای نیروی گرانشی ، برای حل یک مشکل واقعی در دنیای بیرون قادر به تولید راه حل‌های معتبر می‌شود؟ اگر اینگونه باشد، راه‌حل‌ها با کیفیتی تولید خواهد شد؟ چه مدت طول می‌کشد که یک راه حل پیدا شود؟ آیا ممکن است قادر به پیدا کردن "مطلوب" باشد؟ ممکن است الگوریتم در یک مدار در اطراف برخی از راه حل‌های بدون توقف گیر کند؟ تنها راه برای پاسخ به این پرسش‌ها این است که راه حلی پیدا کنیم و آنرا در برابر عوامل طبیعی امتحان کنیم. اما سوالی دیگر وجود دارد که نیاز است اول پاسخ داده شود: چرا این الگوریتم؟ در حال حاضر تعدادی از الگوریتم‌های موجود، برای حل مشکلات بهینه سازی ترکیبی کار می‌کنند که برخی از آنها سوابق بسیار خوبی در تولید راه‌حل‌های با کیفیت بالا دارند. با توجه این وضعیت، چه سودی خواهد داشت که الگوریتم‌های دیگری را به آنها اضافه کنیم؟

پاسخ به این سوال دو قسمتی میباشد. اول، اگر تحقیق بیشتری شود آشکار است که نیروی گرانشی می‌تواند بهتر از الگوریتم‌های دیگر نتیجه دهد، سپس سوال می‌شود: چرا از آن استفاده نمیشود؟ باید گفت نیروی گرانشی خوب انجام نشده است. نوشته‌های زیادی با نمونه‌هایی از الگوریتم که به طور کلی هنوز نسبتا ضعیف هستند و هنوز هم می‌توانند به عنوان اسنادی مفید برای دستورالعمل‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرند، وجود دارد.

-در این طرح هدف استفاده از الگوریتم نیروی گرانشی برای حل مساله زمانبندی است که برای اولین بار صورت می‌گیرد. الگوریتم نیروی گرانشی نیز مانند دیگر الگوریتم‌های تکاملی از طبیعت الهام می‌گیرد. تاثیر جاذبه بر اجسام به صورت متقابل و اعمال نیروی گرانشی به تمامی اجسام موجود در فضا ایده اصلی این الگوریتم می‌باشد. بدیهی است این نیرو باعث تغییر سرعت اجسام و کشیده شدن آنها به سمت اجسام بزرگتر می‌شود که در طبیعت می‌توان به رابطه زمین، ماه، اشیای زمینی و دیگر اجسام و اجرام آسمانی موجود اشاره نمود.

-در الگوریتم نیروی گرانشی فضای جستجو به عنوان کهکشان تصور می‌شود و راه حل‌های موجود در فضای جستجو به مانند اجسام داخل کهکشان هستند. هر یک از این اجسام نیروی متقابلی برهم وارد می‌سازند که برای به دست آوردن این نیرو از قانون جاذبه نیوتن به همراه اندکی تغییر برای مسائل $F = \frac{m-n}{r^2}$ استفاده می‌شود. این نیرو بر اساس فرمول برابر است با تفاضل مقدار تابع ارزیابی پاسخ نامزد و پاسخ جاری تقسیم بر شعاع همسایگی به نمای دو. از آنجا که سرعت بالای الگوریتم نیروی گرانشی به سبب جستجوی محلی می‌باشد، ایجاد و انتخاب

همسایگی و همچنین انتخاب شروط صحیح برای همسایه بودن راه حل‌ها در این الگوریتم از اهمیت بالایی برخوردار است. علاوه بر سرعت بالا در رسیدن به پاسخ بهینه، الگوریتم با توجه به خواص ذاتی جاذبه از رسیدن و ماندن در یک بهینه محلی اجتناب می‌کند. هر چقدر راه حل‌ها به پاسخ بهینه نزدیک شوند به طبع نیروی بیشتر و در نتیجه سرعت بیشتری دارند. همچنین اگر راه حلی در خلاف جهت شی بزرگتر (پاسخ بهینه) حرکت کند، الگوریتم مسیر غلط را در پیش بگیرد ، نیروی گرانشی حاصل از شی بزرگتر از سرعت آن کم کرده و آن را متوقف می‌کند. اجازه طی کردن مسیر غلط را نمی دهد.

-تخصیص یک عملیات از یک کار به ماشین = یک پاسخ

-هر ترکیبی از عملیات وماشین‌های ممکن =فضای جستجو

-مجموعه پاسخ‌ها به شرط تخصیص تمامی عملیات = یک راه حل برای مسئله

-هر جرم پاسخ مسئله با یک سرعت به سمت جواب می‌رود.

خصوصیات جدول زمانی دانشکده فناوری اصلاعات و کامپیوتر

ویژگیهای جدول زمانی دروس در حقیقت به دو گروه عمده قابل تفکیک می‌باشند:

-ویژگیهای عمومی تمام جداول زمانی دروس

-ویژگیهای مخصوص یک یا گروهی از مراکز آموزشی

ویژگیها عمومی تمام جداول زمانی، عمدتا به محدودیتهایی اشاره می‌کند که منطق طراحی جدول زمانی را نقض می‌نمایند. به همین دلیل عمدتا شامل محدودیت‌های سخت می‌باشند. ویژگیهای مخصوص برخی مراکز آموزشی به دلیل تمرکز بر روی افزایش کیفیت کار آموزشی، عمدتا محدودیت‌های نرم را بیان می‌نمایند. باید توجه داشت که، ممکن است یک خصوصیت در یک مرکز آموزشی دارای اهمیت بالایی بوده و به عنوان محدودیت سخت در نظر گرفته شود اما در جای دیگری از اهمیت کمتری برخوردار باشد و در گروه محدودیت‌های نرم قرار گیرد. وجود اینگونه تفاوتها مانع از ایجاد یک نرم‌افزار عمومی جهت تهیه جداول زمانی شده است.

به دلیل وجود نگرش متفاوت، حتی در افراد مربوط به یک قسمت از دانشگاه در خصوص میزان اهمیت محدودیت‌ها، عملا تفکیک‌بندی دقیقی در خصوص نوع محدودیت‌ها نمی‌توان ارائه داد اما بر اساس دیدگاه کلی موجود، ویژگیهای جدول زمانی دروس در دانشگاه صنعتی شاهرود، در قالب دو گروه محدودیت‌های سخت(رعایت آنها الزامی است) و محدودیت‌های نرم(رعایت آنها کیفیت جدول را افزایش می‌دهد) بیان می‌گردد.

محدودیتهای سخت

مهمترین محدودیتهای سخت اعمال شده در تهیه جدول زمانی دروس، عبارتند از:

۱-یک استاد نمی تواند در هر بازه زمانی از هفته بیش از یک درس ارائه دهد.
۲-یک اتاق نمی تواند در هر بازه زمانی از هفته محل برگزاری بیش از یک درس باشد.
۳-هر درس باید در اتاقی متناسب با امکانات مورد نیاز آن درس برگزار شود.(دروس آزمایشگاهی، تئوری و صمعی-بصری باید در محیط‌های مربوط به خود تشکیل شوند)
۴-هر درس برای استاد باید در بازه‌های زمانی که برایش امکان پذیر است ارائه شود.
۵-برخی از دروس به دلیل ارائه شدن همزمان برای گروهی از دانشجویان نباید با یکدیگر تداخل داشته باشند.(این گروه بندی بر اساس ترم تحصیلی دانشجویان و برنامه ترمی ارائه شده از سوی دانشکده می‌باشد)
۶-برخی از دروس به دلیل هم نیاز بودن و ارائه همزمان نباید برای دانشجویان تداخل داشته باشند.
۷- یک درس نباید در بازه زمانی که دانشکده از قبل برای خود رزرو کرده، قرار گیرد.
۸- تمامی دروس باید در جدول زمانی گنجانده شوند.

محدودیتهای دیگری نیز مطرح شده است اما بسیاری از آنها یا در درون محدودیتهای فوق بیان می‌گردند یا در محدوده کاری تهیه جداول زمانی نیستند. به عنوان مثال این محدودیت که " یک دانشجو در یک زمان نمی تواند در دو کلاس حضور داشته باشد " از یک سو مربوط به قسمت انتخاب واحد می‌باشد که مرتبط با طراحی جدول دورس نمی‌باشد و از سوی دیگر در محدودیت ۴ به نحوی به آن اشاره شده است و ارضاء این محدودیت نیاز دانشجو برای گرفتن دو درس در یک ساعت را بر طرف می‌نماید.

محدودیتهای نرم

مهمترین محدودیتهای نرم مورد توجه در طراحی جدول زمانی دروس، عبارتند از:

۱-برای دروس سه واحدی تئوری باید دو ساعت در یک کلاس و دو ساعت دیگر با فاصله حداقل یک روز از ساعات قبلی در نظر گرفته شود.
۲-دروس آزمایشگاهی نباید ساعت ۲۰-۱۸ هر روز تشکیل شود.
۳-هر استاد در یک روز نباید بیش از ۴ ساعت درس ارائه دهد.
۴-نباید فاصله‌ای بین دروس ارائه شده هر استاد در یک روز وجود داشته باشد.

برای هر درس چند استاد در نظر گرفته شده است. لذا محدودیت‌هایی نظیر حداقل و حداکثر تعداد واحدهای هر استاد در هر ترم نیز به محدودیت‌های فوق افزوده می‌شود.. اما در این

نوشتار، به دلیل اینکه دروس ارائه شده توسط هر استاد در یک ترم، از قبل مشخص می‌شود، حالتی که در آن استاد حق انتخاب چند درس از بین دروس قابل ارائه را داشته باشد در نظر گرفته نشده است

امکانات و پارامترهای دانشکده

داده‌های زیر بر اساس اطلاعات جمع آوری شده در سال ۸۸ با اعمال مقداری تغییر، از قبیل در نظر گرفتن دروس متفاوت برای گروه‌های مختلف یک درس، بیان گردیده است.

نمونه مورد آزمایش در این تحقیق شامل امکانات و پارامترهای زیر می‌باشد :

۱- استاد

۲- عنوان درس (۳۶ درس تئوری و ۱۶ درس آزمایشگاهی)

۳- ساعت درسی

۴- اتاق برای دروس تئوری و صمعی-بصری

۵- اتاق با امکانات آزمایشگاهی مختلف برای دورس آزمایشگاهی مختلف

۶- بازه زمانی دو ساعته در روز

۷- روز کاری

پارامترهای ورودی:

داده‌های اولیه مورد نیاز مسئله به صورت زیر می‌باشد:

- **اطلاعات استاد :**

نام استاد، بازه‌های زمانی امکان پذیر برای استاد

- **اطلاعات درس :**

نام درس، ترم ارائه شده، تعداد واحد

- **اطلاعات کلاس :**

نام کلاس، نوع کلاس

- **اطلاعات زمان :**

شماره روز، شماره پریود

- **اطلاعات دروس ارائه شده ترمی :**

شامل مجموعه اطلاعات کلاس، اطلاعات درس و اطلاعات استاد

پیاده سازی الگوریتم نیروی گرانشی برای مسئله جدول زمانی دروس

برای پیاده سازی این الگوریتم از محیط VS و زبان برنامه نویسی C# استفاده شده است. برای رعایت خصوصیات شی‌گرایی برنامه، به ازای هر یک از پارامتری ورودی (اتاق درس، استاد، درس، و بازه‌های زمانی) یک کلاس[۱] و یک مجموعه[۲] در نظر گرفته شده است. با توجه به تعریف مسئله

[۱] Class

[۲] Collection

جدول زمانی دروس کـه در صـفحات قبلـی ذکـر شده، برای قابل فهم تر شدن پیاده‌سازی با ترکیب مجموعه‌های اتاق درس و بازه‌های زمـانی، کـلاس ClassPeriod و مجموعه ClassPeriods و با ترکیـب مجموعـه‌هـای اسـتاد و درس، کـلاس Professor Course و مجموعـه Professor Courses ایجاد شده است.

همانطور که گفته شد برای استفاده از الگوریتم نیروی گرانشی با چندین پارامتر انتخابی مواجه هستیم که از جمله آنها می‌توان به تاثیر نیروی گرانشی بر یک شی یا تمامی اشیا همسایه اشاره کرد. در برنامه نوشته شده، ما تاثیر این پارامترها را بررسی نمودیم که در این قسمت به بیان آنها و دیگر توابع برنامه می‌پردازیم.

سرعت اولیه

به هر یک از اشیا (اعضای مجموعه استاد - درس) یک سرعت اولیه تصادفی نسبت می‌دهیم.

سپس با استفاده از تابع ارزیابی مقـدار خطـای پاسخهای جاری را محاسبه می‌کنیم. با توجـه بـه متغیر تصادم برای هر یک از اعضای کلاس – بازه زمـانی و اسـتاد – درس، بـرای آنهـایی کـه محدودیتی را نقض نمودند پاسخهای جانشـینی را از همسایگی آنها انتخـاب مـی‌کنـیم و آنهـا را بـه عنوان پاسخ‌های نامزد نامگذاری مـی‌کنـیم. حـال مقدار خطای این مجموعه از پاسخ‌هـا را محاسـبه می‌کنیم و در صورت کم شدن این مقـدار آنهـا را جایگزین پاسخ‌های اولیه می‌نماییم.

بـا اسـتفاده از فرمـول ۴-۱۱ مقـدار نیـروی گرانشی را برای هر یک از اعضا محاسبه کرده و بر آنها اعمال می‌کنیم.

$$F = \frac{G*(FitnessNew - Fitness)}{R*R} \qquad ۱۱-۴$$

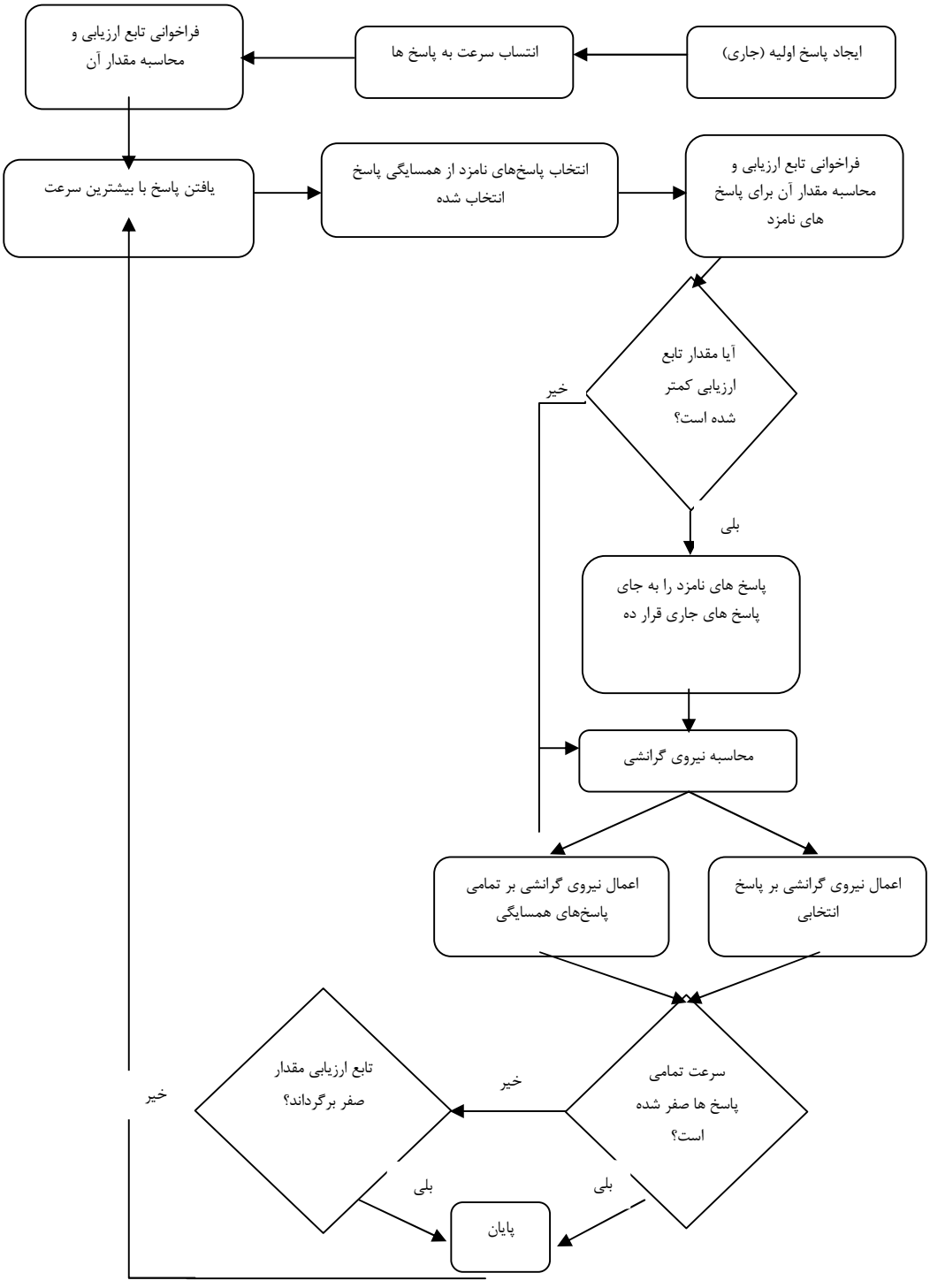
در این الگوریتم به دو روش می‌توان نیروی گرانشی میان پاسخ‌ها را محاسبه کرد.در روش اول یک پاسخ از فضای همسایگی محلی پاسخ جاری انتخاب شده و نیروی گرانشی بین این دو پاسخ محاسبه می‌شود.در روش دوم، نیروی گرانشی بین تمام پاسخ‌های همسایه در فضای همسایگی پاسخ جاری محاسبه می‌شود و به یک پاسخ همسایه محدود نمی شود.

انتخاب همسایگی

با ایجاد پاسخ‌های اولیه و انتساب سرعت به هر یک از پاسخ‌ها، تابع ارزیابی را اجرا کرده و مقدار آن را برای این اشیا (پاسخ‌ها) را به دست آورده و همچنین پاسخ‌های دارای تصادم را شناسایی می‌کنیم. سپس برای پاسخهایی که محدودیتی را نقض کرده اند، اشیا دیگری را به عنوان پاسخ نامزد انتخاب کرده و موقتا به جای پاسخ‌های جاری قرار می‌دهیم. بر اساس این پاسخ‌ها مقدار

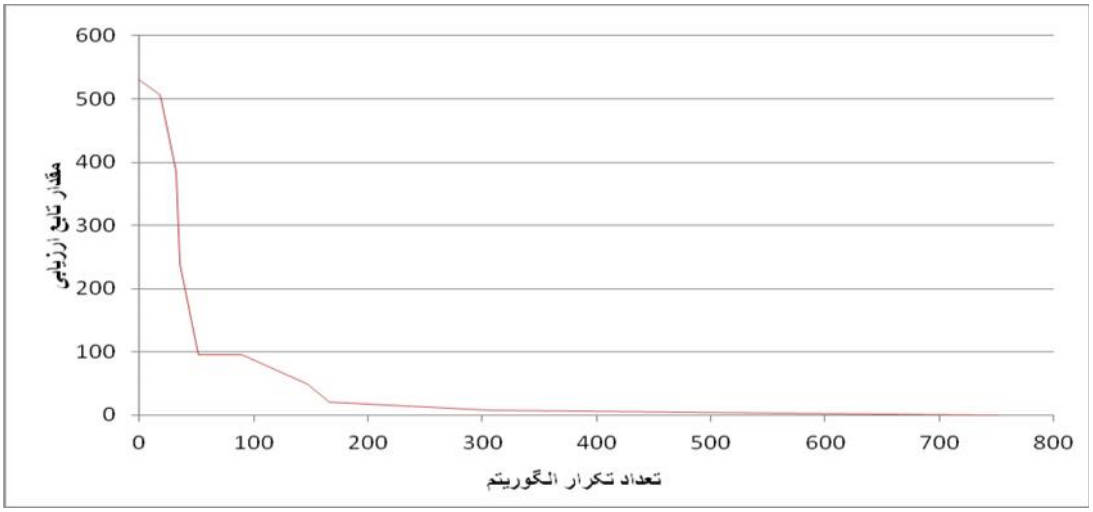
تابع ارزیابی را به دست آورده که اگر این مقدار حاکی از بهتر شدن پاسخ‌ها و مقدار آن باشد این اشیا ماندگار می‌شوند.

این گامها تا شرط پایان الگوریتم که رسیدن به تابع ارزیابی با مقدار ۰ و یا صفر شده سرعت تمامی پاسخ‌ها می‌باشد ادامه می‌یابد.

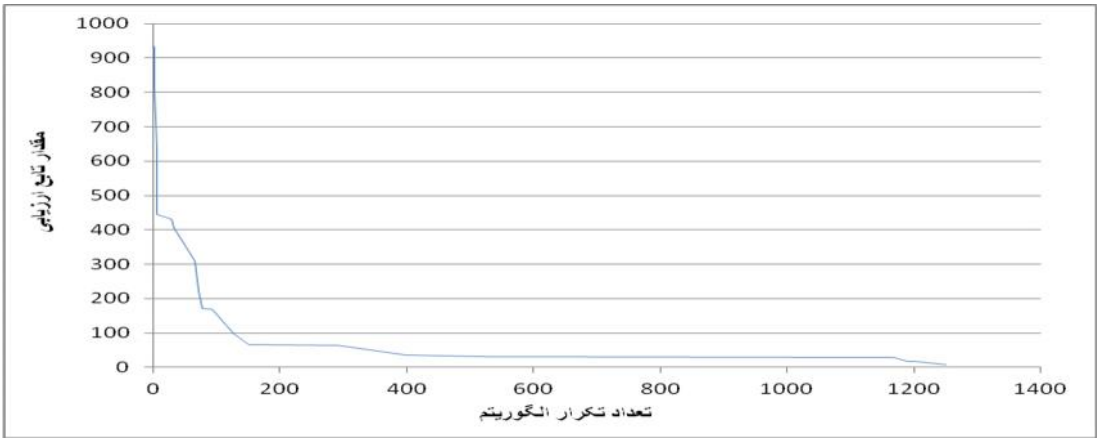


قابل ذکر است برای روش اول در ۴۳ مورد از ۵۰ بار اجرای الگوریتم، تمامی محدودیت‌های سخت و نرم ارضا شده و در باقی موارد ۱ یا ۲ مورد برخورد مشاهده شده است.برای روش دوم نیز، الگوریتم ۴۱ بار مسئله را به بهترین نحو حل کرده ولی در باقی موارد برخوردهای بیشتری مشاهده می‌شود.

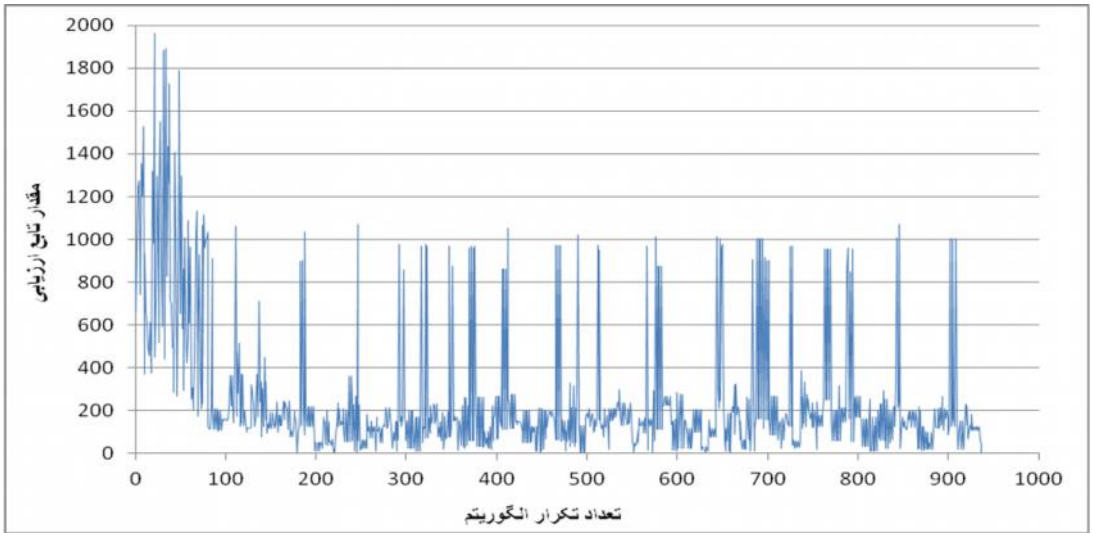
منحنی تغییرات مربوط به روشهای گفته شده و تاثیر آنها بر مقدار تابع ارزیابی در نمودارهای- زیر - نشان داده شده است. با نگاهی به نمودار - اول و دوم- ممکن است به این نتیجه برسیم که این دو روش تفاوت چندانی ندارند اما اگر میانگین مقادیر تابع ارزیابی را در نمودار - - در نظر بگیریم، می‌یابیم که بازه تغییرات این مقدار برای روش دوم بسیار بیشتر از روش اول است. بطوریکه انحراف معیار برای روش ۱، ۲۰۰ و برای روش ۲، ۲۹۲ می‌باشد. همچنین زمان پایان الگوریتم برای روش دوم ۲۳ ثانیه و برای روش اول ۸ ثانیه می‌باشد.



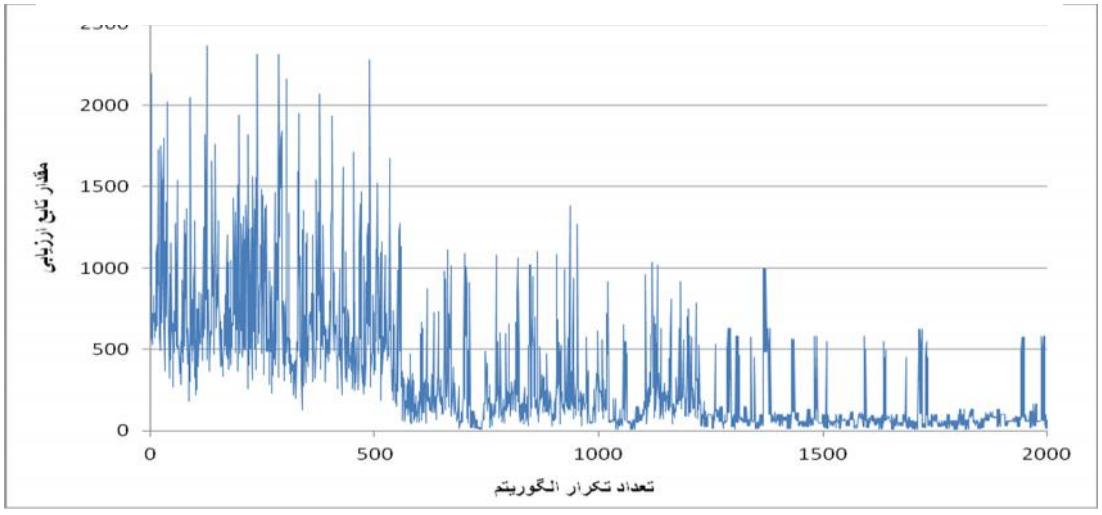
نمودار بهترین مقدار تابع ارزیابی برای روش اول



نمودار بهترین مقدار تابع ارزیابی برای روش دوم



نمودار میانگین مقدار تابع ارزیابی برای روش اول



نمودار میانگین مقدار تابع ارزیابی برای روش دوم

۳-۵) یافته‌های تحقیق

«زمانبندی»، تعیین اولویت‌ها یا مرتب‌کردن فعالیت‌ها به منظور برآورده ساختن نیازمندی‌ها، محدودیت‌ها و اهداف معین است. از آنجایی که «زمان» همواره منبعی محدود بوده، فعالیت‌ها باید به گونه‌ای زمانبندی شوند تا از مصرف بهینهٔ این منبع، اطمینان حاصل شود. تعیین برنامه زمانبندی و توالی عملیات در سازمان به عنوان یکی از عوامل کلیدی موفقیت محسوب می‌گردد. زیرا موجب جلوگیری از انباشت سرمایه، تقلیل ضایعات، کاهش و یا حذف بیکاری ماشین‌آلات، پاسخگوئی بموقع به سفارشات مشتریان و تامین مواد اولیه و قطعات مورد نیاز در زمان مناسب می‌شود.

مسأله ایجاد جداول زمانبندی از دسته مسائل بحث برانگیز ی است که در حوزه‌های کاربردی مختلف راه حل‌های متنوعی برای آن ارائه شده

است . از مهمترین این حوزه‌ها، زمانبندی دروس دانشگاهی ست . مبنای حل مسئله جدول زمانبندی در پروژه حاضر، از روش الگوریتم جدید نیروی گرانشی است که گامی جدید در بهبود فرایند آموزش توسط یکی از جدیدترین روش‌های مورد بحث می باشد.

در این تحقیق یک مدل ریاضی جدول زمانی کلاسها، به منظور تعیین زمانبندی بهینه کلاسها در دانشگاه ارائه شده است. این مدل، ساختاری برای زمانبندی ارائه شده تمامی پارامترها و متغیرهای مدل "قطعی" هستند. جمع آوری اطلاعات و داده‌های مورد نظر از طریق مشاهده فرآیندها و مراجعه به سوابق، دستورالعمل‌های آموزشی صورت پذیرفت.

منابع و مراجع

۱- استانفیلد، ویلیام، صبوری، محمد، علمی غروی، حمیده، ژنتیک/ اصول و مسائل، انتشارات فاطمی، ۱۳۷۹، قسمت فرهنگ اصطلاحات

۲. Alessio Plebe and Angelo Marcello Anile,"A NeuralNetwork Based Approach to theDouble Traveling Salesman Problem", *This is a preprint of the extended article on Neural Computation*,۲۰۰۱.

۳.Barry Lynn Webster, "Solving Combinatorial Optimization Problems Using a New Algorithm Based on Gravitational Attraction",Ph.D., thesis, Melbourne, Florida Institute of Technology, May ۲۰۰۴.

۴.Burke, Edmund, Elliman, David, Weare, Rupert, A Genetic Algorithm Based University Timetabling System, Department of Computer Science-University of Nottingham, ۲۰۰۲

۵.Esmat Rashedi, Hossein Nezamabadi-pour and Saeid Saryazdi,"GSA: A Gravitational Search Algorithm Department of Electrical Engineering", Shahid Bahonar University of Kerman, P.O. Box ۷۶۱۶۹-۱۳۳, Kerman, Iran ۲۰۰۹

۶.Foziahanif khan, Nasiruddin khan and syedinayatullah, "Solving TSP

problem BY using genetic algorithm.", International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS, Vol: ۹ No: ۱۰, ۲۰۰۹.

۷.Hejazi, Seyyed, Reza and Soltani, Reza, "The implementation of combined ant colony and genetic algorithm for solving traveling salesman problem", ۴th International Industrial Engineering Conference, ۲۰۰۵.

۸.Hongwei Moand and Lifang Xu,"Biogeography Migration Algorithm for Traveling Salesman Problem," ICSI, pp. ۴۰۵-۴۱۴, ۲۰۰۹.

۹.Konar, Amit, Artificial Intelligence and Soft Computing: Behavioral and Cognitive Modeling of the Human Brain, Department of Electronics and Tele-communication Engineering Jadavpur University- Calcutta-India, ۱۹۹۹, Ch۱۵-Genetic Algorithms: p۴۶۷-۴۹۳

۱۰.Kuswadi, Son, Basuki, Achmad, NUH, Mohammad, Saito, Osami, A Genetic Algorithm For Polytechnic Time Tabling (EEPIS Timetabling Case Study), Rudi Lumanto, ۲۰۰۱

۱۱.Nagham Azmi AL-Madi and Ahamad Tajudin Khader,"The Traveling Salesman Problem as a Benchmark Test for a Social-Based Genetic Algorithm," Journal of Computer Science, vol. ۴ (۱۰), pp. ۸۷۱-۸۷۶, ۲۰۰۸.

۱۲. Russell, Stuart, Norvig, Peter, Artificial Intelligence A Modern Approach, Prentice Hall, ۱۹۹۵, p۶۱۹ (Section ۲۰.۸ - Genetic Algorithms and Evolutionary Programming)

۱۳. S. Raja Balachandar and K. Kannan," Randomized gravitational emulation search algorithm for symmetric traveling salesman problem", Department of Mathematics, SASTRA University, Thanjavur ۶۱۳ ۴۰۲, India, (۲۰۰۷).

۱۴.Voudouris, chris, Edward Tsang, "Guided Local Search", Technical Report CSM-۲۴۷, Department of Computer Science, University of Essex, UK, August ۱۹۹۵.

۱۵.Wilson, Robert, Keil, Frank, The MIT encyclopedia of the cognitive sciences, MIT Press, ۱۹۹۹, p۲۹۳-۲۹۵ (Evolutionary Computation)

۱۶.Wall, Matthew, GAlib: A C++ Library of Genetic Algorithm Components, Mechanical Engineering Department - Massachusetts Institute of Technology, August ۱۹۹۶, p۳

۱۷.Zhang, Mengjie, Overview of Genetic Algorithms, Victoria University Of Wellington-School

of Mathematics-Statistics and Computer Science, ۲۰۰۲

۱۸.Zhenchao Wang, HaibinDuan, and Xiangyin Zhang, "An Improved Greedy Genetic Algorithm for Solving Travelling Salesman Problem", Fifth International Conference on Natural Com*putation*, ۲۰۰۹