مدیریت صنعتی
دانشکدهٔ مدیریت دانشگاه تهران
دورهٔ ۶، شمارهٔ ۲
تابستان ۱۳۹۳
ص. ۴۱۰-۳۸۵

ارائهٔ یک الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب ـ نسخهٔ ۲ (NSGA-II) برای مدل یکپارچهٔ انتخاب اعضای تیم‌های تحقیق و توسعه

غلامحسین نیکوکار[۱]، یاسر علیدادی تلخستانی[۲]، محمد مهدوی مزده[۳]، سید جلال موسوی[۴]

چکیده: معیار عملکرد اصلی در سازمان‌های مبتنی بر تحقیق و توسعه، عموماً آمار پروژه‌های موفق است. انتخاب مناسب اعضا می‌تواند در موفقیت پروژه‌ها سهم بسزایی داشته باشد، اما همان‌طور که انتخاب افرادی خاص کاهش‌دهندهٔ ریسک پروژه می‌شود، حضور مکرر این افراد در پروژه‌های مشابه، سبب تمرکز دانش‌شده و سازمان را با خطری جدی روبه‌رو می‌کند. بنابراین انتخاب اعضای تیم‌های تحقیق و توسعه به نحوی که زوایای کیفی پروژه و دانش سازمان، هر دو کانون توجه قرار گیرند، حائز اهمیت است. در حالت کلی این نوع مسائل جزء مسائل پیچیدهٔ حوزهٔ تحقیق در عملیات به‌شمار می‌رود. چون معمولاً در واقعیت تعداد ترکیبات ممکن بسیار زیاد است، روش‌های بهینه‌سازی مبتنی بر شمارش یک‌به‌یک، از حل جامع این‌گونه مسائل عاجزند. به‌همین دلیل از الگوریتم‌های فراابتکاری، مثل الگوریتم ژنتیک، شبیه‌سازی تبرید، شبکه‌های عصبی و... برای حل استفاده می‌شود. در پژوهش پیش رو، مدلی بر این اساس معرفی‌شده و یک الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب ـ نسخهٔ ۲ برای حل آن توسعه داده می‌شود.

***واژه‌های کلیدی:** الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب ـ نسخهٔ ۲ (NSGA-II)، انتخاب اعضا، گروه تحقیق و توسعه (R&D)، مدیریت دانش، تصمیم‌گیری چندهدفه.*

۱. دانشیار مدیریت سیستم، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران
۲. دانشجوی دکتری مدیریت منابع انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، ایران
۳. استادیار دانشکدهٔ مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
۴. دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، گرایش سیستم و بهره‌وری، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۰۲/۱۹
تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۲/۱۲/۰۴
نویسندهٔ مسئول مقاله: یاسر علیدادی تلخستانی
E-mail: yasseralidadi@gmail.com

مقدمه

انتخاب اعضای تیم‌های تحقیق و توسعه یکی از دغدغه‌های اساسی سازمان‌هایی است که کارکنان زیادی دارند. انتخاب مناسب اعضا می‌تواند در موفقیت پروژه‌ها سهم بسزایی داشته باشد. تعداد زیادی از پژوهشگران در این زمینه فعالیت کرده‌اند و نتایج چشمگیری نیز به‌دست آورده‌اند. عمدهٔ پژوهش‌های انجام‌گرفته، فقط به تحلیل نظری مشکل پرداخته‌اند و جنبهٔ عملی و اجرایی اندکی دارند (تسنگ، هوانگ، چو و گانگ، ۲۰۰۴)؛ در حالیکه حل این مشکل می‌تواند سبب موفقیت هرچه بیشتر پروژه‌های مربوطه باشد (رادین، داینتی و نیل، ۲۰۰۴).

انتخاب اعضای تیمهای تحقیق و توسعه، مسئله‌ای پیچیده محسوب می‌شود که معمولاً ملزم به در نظرگرفتن چندین شاخص است و یکی از این شاخص‌های مهم، دانش و مدیریت دانش است. باید دقت شود که با انتخاب صحیح افراد در پروژه‌های مشخص، می‌توان دانش را در سازمان به‌طور مطلوب انتقال داد و از تمرکز روی چند نفر خاص، جلوگیری کرد. تا کنون روش‌های اندکی برای حل مسئلهٔ انتخاب اعضای تیم‌های تحقیق و توسعه با استفاده از اطلاعات فردی و ارتباطی به‌وجود آمده‌اند (بایکوزکان، فیزاقلو و نبول، ۲۰۰۸، وانگ و چن، ۲۰۰۷، شا و چه، ۲۰۰۵). عده‌ای در پژوهش خود از روش برنامه‌ریزی آرمانی[1] برای انتخاب اعضا استفاده کرده‌اند. پژوهش آنها در زمینهٔ سرمایه‌گذاری مشترک بین‌المللی بود (حاجی دیمیتروف و گئورگیوف، ۲۰۰۲).

استفاده از روش‌های بالا برای حل مسئلهٔ انتخاب اعضای تیم‌های تحقیق و توسعه با استناد به اطلاعات فردی و ارتباطی، به‌طور مستقیم و بدون تغییر، ناممکن است و باید تغییرات اساسی در آنها ایجاد شود. از آنجاکه اساساً روش‌های موجود استفاده از اطلاعات ارتباطی را در رویهٔ خود قرار نداده‌اند، باید اطلاعاتی که استفاده می‌شود، به‌صورت جدیدی فرمت‌بندی شود. در حالت کلی این نوع مسائل جزء مسائل پیچیده[2] در حوزهٔ تحقیق در عملیات به‌شمار می‌رود و میزان پیچیدگی آن متناسب با مفروضات و متغیرهای آن تغییر می‌کند. چون معمولاً در واقعیت تعداد ترکیبات ممکن بسیار زیاد است، روش‌های بهینه‌سازی مبتنی بر شمارش یک‌به‌یک، از حل جامع این‌گونه مسائل عاجزند. به‌همین دلیل از الگوریتم‌های فراابتکاری مثل الگوریتم ژنتیک (GA)[3]، شبیه‌سازی تبرید (SA)[4]، شبکه‌های عصبی (NN)[5] و... برای حل استفاده می‌شود.

---

1. Goal Programming
2. NP-Hard
3. Genetic Algorithm
4. Simulated Annealing
5. Neural Network

در ادامه به تشریح مسئلهٔ مدل ریاضی پرداخته و الگوریتم مد نظر برای حل آن معرفی می‌شود، در پایان نیز با استفاده از یک آزمایش موردی، الگوریتم را توسعه داده و از آن امتحان به عمل آمده است که نتایج آن گزارش شده‌اند.

پیشینهٔ نظری پژوهش

محققان زیادی روی موضوع «تیم‌های تحقیق و توسعه» کار کرده‌اند. تعدادی از آنها مطالعات خود را روی عوامل مؤثر بر تیم‌های تحقیقاتی متمرکز کرده‌اند. برای مثال، انگیزش (گالاستد، ۲۰۰۳)، محرک تنش‌زا (اکگون، بایرن، لین و کسکین، ۲۰۰۷؛ گالاستد، ۲۰۰۳)، حمایت مدیریت (اکگون و همکاران، ۲۰۰۷؛ لوی و اسلم، ۱۹۹۵)، فرهنگ کار تیمی (لوی و اسلم، ۱۹۹۵) و غیره. برخی روی ویژگی‌هایی همچون منابع انسانی، روحیهٔ کار گروهی، نقش رهبری (بارزاک و ویلمون، ۲۰۰۳؛ چن و چن، ۲۰۰۷؛ ساتی، ۱۹۸۰) و... کار کرده‌اند. در اکثر پروژه‌ها به ترکیبی از مهارت‌های فنی گوناگون نیاز است و این مهارت‌هاست که منجر به نتیجهٔ نهایی می‌شود. ارتباط و همکاری بین اعضای یک تیم منجر به نتایج فراوانی ازجمله فهم متقابل، رضایت از انجام کار، اعتماد دوطرفه، کاهش ریسک، کاهش زمان توافق و درنهایت کمک به پیشرفت هرچه بیشتر کار می‌شود. هرچه افراد همکار در فعالیت‌های قبلی مشارکت بیشتری داشته باشند، تعامل کاراتری از خود نشان می‌دهند و در نتیجه به پیشرفت پروژه کمک بیشتری خواهند کرد. با این تفاسیر، اطلاعات مربوط به همکاری‌های گذشتهٔ افراد با هم (اطلاعات ارتباطی)، می‌تواند مرجع معتبر و مهمی برای تصمیم‌گیری در مورد ترکیب تیمهای تحقیق و توسعه باشد. درنتیجه، علاوه‌بر اطلاعات فردی باید به اطلاعات ارتباطی افراد نیز توجه شود. مسئلهٔ انتخاب اعضای تیمهای تحقیق و توسعه به‌طور گسترده‌ای با سرمایه‌گذاری‌های روزافزون حوزهٔ تحقیق و توسعه آمیخته است. برای مثال، چین در سال‌های اخیر برای بالابردن ظرفیت نوآوری بنیادی در سطح ملی، دولت و شرکت‌های بخش خصوصی، سرمایهٔ بسیار زیادی به حوزهٔ R&D تزریق کرده است. تنها در سال ۲۰۰۶، مبلغی بیش از ۳۰۰/۳۱ میلیارد یوان در حوزهٔ R&D در چین سرمایه‌گذاری شده که این میزان برابر با ۱/۴۲درصد تولید ناخالص داخلی این کشور است.[1] با این سرمایه‌گذاری، ۱۴۰۹ پروژهٔ ملی در زمینهٔ تکنولوژی‌های کلیدی[2]، ۲۸۴۱ پروژه R&D ملی در زمینهٔ تکنولوژی‌های پیشرفته[3]، ۷۳ پروژهٔ ملی پژوهشی در زمینه‌های پایه‌ای و بنیادی[4]، ۱۰۲۷۱ پروژهٔ ملی در حوزهٔ علوم پایه و طبیعی[5] و... انجام

1. http://www.stats.gov.cn
2. http://kjzc.jhgl.org
3. http://www.863.org.cn
4. http://www.973.gov.cn
5. http://www.nsfc.gov.cn

گرفت. از سوی دیگر همزمان با افزایش رقابت جهانی، سازمان‌های بیشتری خود را در زمینهٔ R&D فعال نشان داده‌اند. هزینه‌های R&D در این‌گونه سازمان‌ها در سال ۲۰۰۶، افزون‌بر ۲۱۳/۴۵ میلیارد یوان بوده است.

در این مقاله رویکرد اصلی استفاده از الگوریتم ژنتیک است. الگوریتم ژنتیک در شبیه‌سازی کامپیوتری استفاده می‌شود. جمعیت تلخیص‌یافته، ترکیبی از کروموزوم، ژن یا ژنوم و راه حل‌های ممکن (افراد، مخلوقات یا انواع پدیده‌ها) بوده و برای یک مسئلهٔ بهینه‌سازی، جواب‌های بهتری می‌یابد (کائور، پالسینگ و بهاردواج، ۲۰۱۴).

طبیعت راه جالبی برای یک راه حل بهینه (از هر مشکلی) انتخاب می‌کند. از طریق نسل‌ها، بهترین و مناسب‌ترین راه حل‌ها برای بقا انتخاب و حفظ‌شده و بقیهٔ گزینه‌ها، دور انداخته می‌شوند. مناسب‌ترین راه حل‌ها، بار دیگر به‌طور مستمر نمو می‌یابند، به‌صورتی که زمینهٔ آزمون طبیعی مشکل‌تر می‌شود. این فرایند تقریباً بی‌عیب و مداوم است که بهینه‌ترین نتایج از آن منتج می‌شود. ما تمامی این فرایند را برای بقای متناسب‌ترین راه حل انجام می‌دهیم (سامانتا، ۲۰۱۴).

به‌طور کلی تشریح الگوریتم ژنتیک با گام‌های زیر ممکن می‌شود (بهاسین، کومار و مونجال، ۲۰۱۳):

الف) زایش جمعیت: مقداری از کروموزوم‌ها ایجاد می‌شوند. جمعیت به‌طور کلی، زوج هستند.

ب) عملگر تقاطع: از میان کروموزوم‌های بالا، دو کروموزوم انتخاب‌شده و یک نقطهٔ تقاطع با کمک جمعیت جدید ایجاد می‌شود. اگرچه تقاطع دودویی یا چندتایی رایج هستند.

پ) عملگر جهش: جهش به تلنگرهای ناگهانی یک تعداد تصادفی از کروموزوم‌ها اشاره دارد که به‌ایجاد یک دسته جدید از کروموزوم‌ها منجر می‌شود.

ت) بازتولید: عمل بازتولید به ما کمک می‌کند تا تناسب کروموزوم‌ها دائماً تکرار شود تا جایی که تناسب جمعیت به حد بالغ‌شدن برسد.

پیشینهٔ تجربی پژوهش

با توجه به آنچه پیش از این در مجله‌های علمی و پژوهشی کشور مطرح شده است، می‌توان به برخی از مقاله‌های علمی اشاره کرد که با استفاده از الگوریتم‌های ریاضی و ابتکاری به حل مسائل سازمانی پرداخته‌اند. در اینجا به‌طور مختصر به چند مقاله اشاره می‌شود.

«به‌کارگیری روش بهبودیافتهٔ تخصیص بدیهی (AD) با ترکیب دو حالت فازی و قطعی در انتخاب عرضه‌کنندگان زنجیرهٔ تأمین» عنوان مقاله‌ای است که به‌دنبال مسئلهٔ انتخاب تأمین‌کننده بوده است. از آنجاکه تصمیم‌گیرنده ناچار به ارزیابی توأمان تأمین‌کنندگان بر اساس معیارهای چندگانه و گاهی متعارض است، به آن همچون مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره

(MADM) نگاه می‌شود. یکی از محدودیت‌های روش‌های MADM، در این است که این دسته از روش‌ها برای انتخاب تأمین‌کننده، گزینه‌های موجود برای انتخاب را فقط با یکدیگر مقایسه می‌کنند و به مقایسهٔ اهداف و خواسته‌های مطلوب بنگاه مشتری در هر شاخص نمی‌پردازند. یکی از روش‌های سودمند برای حل این کاستی، روش تخصیص بدیهی AD است. انواع گوناگون روش‌های تخصیص بدیهی در این راستا ضعف‌هایی دارند که در پژوهشگران در پژوهش خود کوشش کرده‌اند تا با اتخاذ صورت اصلاح‌شده‌ای از این روش در دو حالت قطعی و فازی، پس از شناسایی شاخص‌های اصلی در انتخاب تأمین‌کننده، به حل مسئلهٔ انتخاب تأمین‌کننده برای زنجیرهٔ تأمین بپردازند. از آنجا که ارزیابی هر شاخص نیازمند داده‌هایی هم به شکل دقیق و قطعی و هم به شکل فازی است، با استفاده از صورتی ادغام‌شده از روش تخصیص بدیهی با هر دو نوع از داده‌های پیش‌گفته، به حل مسئله پرداخته شده است. در پایان نیز به‌منظور حصول اطمینان از سودمندی روش پیشنهادی، به یک مطالعهٔ موردی نیز اشاره کرده و نتایج، با نتایج حاصل از روش تخصیص خطی (LAM) مقایسه شده‌اند (شاه‌بندرزاده، جعفرنژاد و رئیسی، ۱۳۹۰).

«موازنهٔ خط مونتاژ با رویکرد الگوریتم ژنتیک» عنوان مقالهٔ دیگری است که به‌طور خلاصه بیان می‌کند، در هر فرایند تولید، تعدادی ماشین‌آلات و تجهیزات و همچنین میزان نسبتاً ثابتی از نیروی انسانی موجود است که برای انجام عملیات تولید از آنها استفاده می‌شود. در بسیاری از موارد با بررسی نحوهٔ کار یک فرایند، مشاهده می‌شود که تعدادی از ماشین‌آلات کار نمی‌کنند و تعداد دیگری از تجهیزات یکسره مشغول به‌کار بوده و در اطراف آنها مقدار زیادی از قطعات، آماده بسته‌شدن روی ماشین برای انجام عملیات هستند. در مقابل، تعدادی از کارگران به‌شدت مشغول کارند و حجم چشمگیری از کار انجام‌نشده در کنار آنها انباشته شده است. وجود زمان‌های بیکاری یا وجود کار بیش از حد، (نبود توازن و تعادل در فرایند تولید)، از جمله عواملی هستند که مشکلاتی را برای مدیریت سیستم ایجاد می‌کنند. برای رفع این معضلات مدیر ناچار به ارائهٔ راهکارهایی برای بهبود وضع موجود است. یکی از راهکارهایی که مدیر می‌تواند برای رفع مشکل عدم توازن و تعادل در فرایند تولید از آن استفاده کند، بحث موازنه یا متعادل‌سازی خط تولید است. پژوهشگران برای حل مسئلهٔ موازنهٔ خط مونتاژ، از روش الگوریتم ژنتیک استفاده کرده‌اند. الگوریتم ارائه‌شده، روش جدیدی را به هنگام انجام عملیات تقاطع و ترکیب کروموزوم‌های والد برای تولید فرزند و ایجاد جهش در کروموزوم‌ها، معرفی کرده است و درنهایت،کارایی جواب‌های به‌دست آمده از روش الگوریتم ژنتیک با روش عددی مقایسه شده‌اند (فقیه و منتظری، ۱۳۸۷).

مقالهٔ دیگر، مقاله‌ای با عنوان «برنامه‌ریزی یکپارچهٔ تأمین، تولید و توزیع زنجیرهٔ تأمین با به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک» است که در آن می‌خوانیم، امروزه عرصهٔ تولید و خدمات با تغییر الگوی رقابت از میان شرکت‌های مستقل با رقابت میان زنجیره‌های تأمین مواجه است. در چنین شرایطی، اهمیت جریان مواد در زنجیرهٔ تأمین از میان جریان‌های سه‌گانهٔ مالی، اطلاعاتی و مواد، شایان توجه است. در اغلب واحدهای تولیدی ایران، هنوز از دیدگاه سنتی برای برنامه‌ریزی تأمین، تولید و توزیع استفاده می‌شود؛ یعنی هریک از این اجزا به‌طور مستقل برای فعالیت خود اقدام به برنامه‌ریزی می‌کنند. این امر در اکثر مواقع سبب افزایش هزینه‌های کل زنجیرهٔ تأمین می‌شود. در این پژوهش پس از بررسی مدل‌های گوناگون ارائه‌شده در خصوص جریان مواد در زنجیرهٔ تأمین، با رویکردی یکپارچه به مدل‌سازی جریان مواد در طول زنجیرهٔ تأمین در بخش‌های تأمین، تولید و توزیع در کارخانهٔ کاچیران پرداخته شده است. پژوهشگران پس از حل مدل با الگوریتم ژنتیک، بهترین جواب رضایت‌بخش که کمترین میزان هزینه را دربردارد، انتخاب کرده‌اند. سپس برای اعتبارسنجی، مدل ارائه‌شده با میزان واقعی متغیرها در بازهٔ زمانی مطالعه، مقایسه‌شده که نتایج حاکی از کاهش هزینه در مدل ارائه شده بوده است (صادقی‌مقدم، مؤمنی و نالچیگر، ۱۳۸۸).

هدف اصلی مقالهٔ پیش رو، جلوگیری از تجمیع دانش نزد افراد خاص است تا ضمن نگاه به انتخاب علمی کارکنان دانشی و درنتیجه تضمین موفقیت اجرای پروژه‌ها، از اشتراک دانش در میان تمامی اعضای تیم اطمینان حاصل شود. روش به‌کار رفته در این پژوهش نیز متفاوت با مقاله‌های بالا است و از الگوریتم‌های فراابتکاری، مثل الگوریتم ژنتیک (GA)، برای حل استفاده شده است.

در این پژوهش، یک مدل ریاضی برای مسئلهٔ انتخاب اعضای تیم‌های تحقیق و توسعه پیشنهاد داده شده است که در یک زمان هم اطلاعات فردی، هم اطلاعات ارتباطی بین افراد و هم موارد مربوط به عدم تمرکز دانش روی افراد خاص را در نظر گرفته و با توجه به اهمیت هر سه نوع اطلاعات، حل عددی را هدایت می‌کند تا به جواب مناسب برسد. مسئلهٔ انتخاب اعضای تیم‌های تحقیق و توسعه را در نظر بگیرید. فرض کنید که تصمیم‌گیرنده باید q_h عضو را از میان n نفر نامزد برای t تیم انتخاب کند؛ به‌طوری که: $2 \le \left(\sum_{h=1}^{t} q_h\right) \le n$. پارامترها و متغیرهای این مسئله این‌گونه به شرح زیر تشریح شده‌اند:

رابطهٔ ۱) مجموعهٔ n نفر نامزد برای انتخاب‌شدن در تیم $P = \{P_i \mid i = 1,\ldots,n\}$

رابطهٔ ۲) مجموعهٔ t تیم برای تصمیم‌گیری $T = \{T_h \mid h = 1,\ldots,t\}$

رابطهٔ ۳) $S = \{Q_{r,h} | r = 1,..., q_h \quad , \quad h = 1,..., t\}$ مجموعهٔ q_h نفر انتخاب‌شده در تیم h

رابطهٔ ۴) $I = \{I_g | g = 1,..., l\}$ مجموعهٔ l مشخصهٔ فردی که I_gها مستقل از یکدیگرند

رابطهٔ ۵) $C = \{C_k | k = 1,..., m\}$ مجموعهٔ m مشخصهٔ ارتباطی که C_kها مستقل از یکدیگرند

بردار وزن مشخصه‌های فردی که می‌تواند به‌صورت مستقیم تعیین شود یا به‌طور غیر مستقیم از روش AHP محاسبه شود (ساتی، ۱۹۸۰).

رابطهٔ ۶) $V = (v_1, v_2,..., v_l)^T$

که v_g نشان‌دهندهٔ وزن مشخصهٔ فردی I_g است؛ به‌طوری که:

رابطهٔ ۷) $\sum_{g=1}^{l} v_g = 1 \quad , \quad 0 \le v_g \le 1 \quad ; \quad g = 1,2,..., l.$

بردار وزن مشخصه‌های ارتباطی که می‌تواند به‌صورت مستقیم تعیین شود یا به‌طور غیر مستقیم از روش AHP محاسبه شود (ساتی، ۱۹۸۰).

رابطهٔ ۸) $W = (w_1, w_2,..., w_m)^T$

که w_k نشان‌دهندهٔ وزن مشخصه‌های ارتباطی C_k است؛ به‌طوری که:

رابطهٔ ۹) $\sum_{k=1}^{m} w_k = 1 \quad , \quad 0 \le w_k \le 1 \quad ; \quad k = 1,2,...,m.$

ماتریس تصمیم انتخاب اعضا که در آن x_{ih} = ۱ است، اگر نفر P_i عضو تیم T_h باشد و در غیر این صورت x_{ih} = ۰.

رابطهٔ ۱۰) $X = [x_{i,h}]_{n \times t}$

فرض‌کنید $D = [d_i^g]_{n \times l}$ یک ماتریس و معرف اطلاعات فردی نامزدها باشد. بدین صورت که، d_i^g مقدار عددی مربوط به مشخصهٔ فردی I_g و در ارتباط با فرد P_i باشد. مشخصه‌های فردی در دنیای واقعی می‌توانند شامل عملکردهای پژوهشی، تخصص مربوطه، و ... باشند. اطلاعات فردی در مسائل مختلف با توجه به نوع مسئله و شرایط خاص آن، متفاوت خواهد بود.

در مسائل واقعی انتخاب اعضای تیم‌های تحقیق و توسعه، اطلاعات مربوط به مشخصه‌های فردی به انواع مختلف اطلاعات هم مربوط می‌شود؛ به این معنی که اطلاعات مربوط به مشخصه‌های فردی می‌تواند عینی یا ذهنی باشد. برای مثال، امتیازات علمی جزء اطلاعات عینی محسوب می‌شود؛ در حالیکه نظرات همکاران جزء اطلاعات ذهنی محسوب می‌شود. همچنین، اطلاعات هم می‌تواند کیفی باشد و هم کمی. تعداد عملکردهای پژوهشی (مستندات و نتایج

منتشرشده) جزء اطلاعات کمی محسوب می‌شود؛ در حالیکه امتیازات علمی جزء اطلاعات کیفی است. این رویه در مورد اطلاعات و مشخصه‌های ارتباطی و دانشی نیز صادق است. در این پژوهش به اطلاعات ذهنی و کیفی در دامنه‌ای از ۱ تا ۱۰ عددی داده می‌شوند (۱ به معنی خیلی بد تا ۱۰ به معنی خیلی خوب). با توجه به اینکه باید تعداد زیادی از انواع اطلاعات، چه فردی، چه ارتباطی و چه دانشی، با هم تجمیع شده و بر اساس کل آنها تصمیم‌گیری انجام شود، باید اعداد نرمال‌سازی شوند تا فرایند حل مسئله انطباق بیشتری با واقعیت پیدا کند. با توجه به روش Hwang and Yoon هر آرایهٔ ماتریسی $D=[d_i^g]_{n\times l}$ می‌تواند نرمال‌سازی شده و از طریق رابطهٔ ۱۱ آرایهٔ متناظری را در ماتریس $D'=[d_i'^g]_{n\times l}$ تولید کند.

برای مشخصه‌های بر مبنای سود:

$$d_i'^g=\frac{d_i^g-d^{g\min}}{d^{g\max}-d^{g\min}}$$

رابطهٔ ۱۱)

$$i=1,\dots,n \quad , \quad g=1,\dots,l$$

برای مشخصه‌های بر مبنای هزینه

$$d_i'^g=\frac{d^{g\max}-d_i^g}{d^{g\max}-d^{g\min}}$$

رابطهٔ ۱۲)

$$i=1,\dots,n \quad , \quad g=1,\dots,l$$

به طوری که:

$$d^{g\max}=\max\left\{d_i^g \middle| i=1,\dots,n\right\},\ g=1,\dots,l\ ,$$

رابطهٔ ۱۳)

$$d^{g\min}=\min\left\{d_i^g \middle| i=1,\dots,n\right\},\ g=1,\dots,l\ ,$$

براساس وزن پیشنهاد شده، مقدار شاخص اطلاعات فردی فرد P_i برای تیم T_h به‌صورت رابطهٔ ۱۴ محاسبه می‌شود.

$$\varphi_{i,h}=\sum_{g=1}^{l}v_g d_i'^g \quad , \quad i=1,\dots,n \quad , \quad h=1,\dots,t.$$

رابطهٔ ۱۴)

بدین ترتیب هرچه $\varphi_{i,h}$ بیشتر باشد، فرد P_i شانس بیشتری برای عضویت در تیم T_h را پیدا خواهد کرد (البته با توجه به اینکه تا اینجا فقط اطلاعات فردی در نظر گرفته شده است). فرض کنید $A^k=[a_{ij}^k]_{n\times m}$ ماتریس اطلاعات ارتباطی است که در آن آرایهٔ $a_{ij}^k\ (i\neq j)$ یک‌سری اعداد را شامل می‌شود که معرف نوع و کیفیت ارتباط بین افراد نامزد P_i و P_j می‌شود، البته در

زمینهٔ مشخصهٔ ارتباطی C_k. در محیط پیرامون ما مشخصه‌ها و اطلاعات ارتباطی در مواردی همچون کارایی پژوهشی، ارتباطات و تعاملات مربوط به دانش، فرهنگ سازگاری و... خود را نشان می‌دهند. درنهایت این تصمیم‌گیرنده است که با توجه به مسائل و شرایط موجود، مشخصه‌های مورد نظر خود را برای مدل‌سازی مسئله انتخاب می‌کند. ذکر این نکته نیز لازم است که در مشخصه‌های ارتباطی در نظر گرفته‌شده، ما برگشت‌پذیری را لحاظ نکرده‌ایم. برای مثال، ممکن است شخص P_i به شخص P_j کمک کند، اما عکس آن اتفاق نیفتد؛ یعنی P_{ji} به P_i کمکی نکند. از آنجایی که هر فرد P_i نمی‌تواند با خودش ارتباط معنی‌داری داشته باشد، درنتیجه: $a_{ii}^k = '-'$. یعنی عناصر قطر اصلی ماتریس $A^k = [a_{ij}^k]_{n\times n}$ خنثی هستند. با توجه به روش پیشنهاد شده توسط Hwang and Yoon، تمامی عناصر ماتریس $A^k = [a_{ij}^k]_{n\times m}$ پس از نرمال‌سازی، ماتریس $A'^k = [a_{ij}'^k]_{n\times m}$ را شکل می‌دهند. رابطهٔ ۱۵ تا ۱۷ این تبدیل را نشان می‌دهند:

برای مشخصه‌های بر مبنای سود:

$$a_{ij}'^k = \frac{a_{ij}^k - a^{k\min}}{a^{k\max} - a^{k\min}} \quad , \quad i,j = 1,\ldots,n; \quad i \neq j \quad ; \quad k = 1,\ldots,m. \qquad \text{رابطهٔ ۱۵)}$$

برای مشخصه‌های بر مبنای هزینه:

$$a_{ij}'^k = \frac{a^{k\max} - a_{ij}^k}{a^{k\max} - a^{k\min}} \quad , \quad i,j = 1,\ldots,n; \quad i \neq j \quad ; \quad k = 1,\ldots,m. \qquad \text{رابطهٔ ۱۶)}$$

به طوری که:

$$a^{k\max} = \max\left\{a_{ij}^k \,|i,j = 1,\ldots,n; \quad i \neq j\right\} \quad , \quad k = 1,\ldots,m. \qquad \text{رابطهٔ ۱۷)}$$

$$a^{k\min} = \min\left\{a_{ij}^k \,|i,j = 1,\ldots,n; \quad i \neq j\right\} \quad , \quad k = 1,\ldots,m.$$

با توجه به وزن پیشنهاد شده، مقدار نهایی شاخص اطلاعات ارتباطی افراد P_i و P_j برای تیم T_h به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$\phi_{i,j,h} = \sum_{k=1}^{m} w_k a_{ij}'^k \quad , \quad i,j = 1,\ldots,n \quad , \quad i \neq j \quad , \quad h = 1,\ldots,t. \qquad \text{رابطهٔ ۱۸)}$$

هرچه مقدار $\phi_{i,j,h}$ بیشتر باشد، وضعیت ارتباطی بین دو فرد P_i و P_j بهتر خواهد بود و شانس کنار هم قرار گرفتن این دو فرد در تیم T_h بیشتر می‌شود (فقط اطلاعات ارتباطی در نظر

گرفته شده است). قبلاً فرض کردیم که $D = \left[d_i^g\right]_{n\times l}$ ماتریس معرف اطلاعات فردی نامزدها است؛ به‌طوری که d_i^g مقدار عددی مربوط به مشخصهٔ فردی I_g و در ارتباط با فرد P_i باشد. فرض کنید مشخصهٔ فردی lام (I_l) مربوط به فاکتور دانش باشد، از آن می‌توان برای بررسی میزان تمرکز استفاده کرد؛ بدین صورت که اگر در چند نفر خاص این مشخصه زیاد باشد و در بقیهٔ افراد کم، و فاصلهٔ زیادی بین این دو گروه ایجاد شود، می‌توان گفت که دانش در انحصار آن چند نفر قرار گرفته و برعکس. از آنجا که این مشخصه جزء مشخصه‌های فردی در نظر گرفته‌شده، در محاسبه‌های مربوط به اطلاعات دانشی از همان مشخصه استفاده شده و دیگر متغیر جدیدی معرفی نمی‌شود. در نتیجه d_i^l مقدار عددی مشخصهٔ مربوط به فاکتور دانش بوده و در ارتباط با فرد iام درنظر گرفته می‌شود. تنها تفاوت این مرحله با محاسبات قبلی در این است که دانش افزوده‌شده ملاک است و نتایج باید بر اساس آیندهٔ پیش‌رو و دانش آتی افراد باشد. بدین منظور بردار K شاخص دانش آتی افراد لحاظ می‌شود و رابطهٔ ۱۹ به‌دست می‌آید.

رابطهٔ ۱۹)
$$K = \left(k_1^l, k_2^l, \ldots, k_n^l\right)^T$$
$$k_i^l = d_i^l + \alpha_h \quad , \quad i = 1, \ldots, n.$$

α_h مقدار افزایشی برای شاخص دانش است که پس از پایان دورهٔ پروژه در تیم h برای افراد تیم مربوطه ایجاد می‌شود و به مقدار دانش آنها، d_i^l افزوده می‌شود. این مقدار می‌تواند به‌صورت ضریب وابسته به شاخص d_i^l، یا مقدار ثابت تعریف شود. با توجه به اینکه باید تعداد زیادی از انواع اطلاعات، چه فردی، چه ارتباطی و چه دانشی، با هم تجمیع شده و بر اساس کل آنها تصمیم‌گیری انجام شود، باید اعداد نرمال‌سازی شوند تا فرایند حل مسئله انطباق بیشتری با واقعیت پیدا کند. بردار $K = (k_1^l, k_2^l, \ldots, k_n^l)^T$ بعد از نرمالیزه‌شدن(مطابق با روش توضیح داده شده در بخش‌های قبلی) بردار $K' = (k_1'^l, k_2'^l, \ldots, k_n'^l)^T$ را تولید می‌کند. بر اساس این فرض که باید توزیع دانش در سازمان از کمترین تا بیشترین حد به‌صورت خطی باشد، بایستی افراد سازمان را به‌ترتیب از کمترین سطح دانش $k'^{l\min}$ تا بیشترین سطح آن $k'^{l\max}$ مرتب کنیم، یعنی:

رابطهٔ ۲۰)
$$r_1 < r_2 \quad \rightarrow \quad \frac{k_{r_1}'^l - k_{r_2}'^l}{r_1 - r_2} \geq 0 \quad , \quad r_1, r_2 = 1, \ldots, n.$$

بعد از مرتب‌شدن افراد سازمان، بر اساس سطح دانش، k'^l، شاخص زیر برای اطلاعات دانشی فرد P_r، تعریف می‌شود:

رابطهٔ ۲۱)
$$\psi_r = \left| k'^{l\min} + \left(\frac{r-1}{n-1}\right)\left(k'^{l\max} - k'^{l\min}\right) - k'^{l}_{r} \right| \quad , \quad r = 1,\ldots,n.$$

که در آن:

رابطهٔ ۲۲)
$$k'^{l\max} = \max\left\{ k'^{l}_{r} \middle| r = 1,\ldots,n \right\}$$
$$k'^{l\min} = \min\left\{ k'^{l}_{r} \middle| r = 1,\ldots,n \right\}$$

هرچه ψ_r کمتر باشد، فرد P_r شانس بیشتری برای عضویت در تیم‌های مد نظر پیدا خواهد کرد. برای حل مسئلهٔ انتخاب اعضای تیم‌های تحقیق و توسعه براساس اطلاعات فردی، ارتباطی و دانشی، اطلاعات با هم درنظر گرفته شده و مدلی چندهدفه در غالب رابطهٔ ۲۳ ایجاد می‌شود.

رابطهٔ ۲۳)
$$\begin{aligned}
&Maximize \quad Z_1 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{h=1}^{t} \varphi_{i,h} x_{i,h} \\
&Maximize \quad Z_2 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{n}\sum_{h=1}^{t} \phi_{i,j,h} x_{i,h} x_{j,h} \\
&Minimize \quad Z_3 = \sum_{i=1}^{n} \psi_i \\
&Subject\ to \quad \sum_{i=1}^{n} x_{i,h} = q_h \,, \\
&\qquad \sum_{h=1}^{t} x_{i,h} \le 1 \,, \\
&\qquad 2 \le \textstyle\sum_{h=1}^{t} q_h \le n \,, \\
&\qquad x_{i,h} \in \{0,1\} \quad , \quad i = 1,\ldots,n \quad , \quad h = 1,\ldots,t.
\end{aligned}$$

در مدل فوق همهٔ اطلاعات فردی، ارتباطی و دانشی، همزمان برای انتخاب بهترین q_h عضو از بین n نفر نامزد برای t تیم، استفاده شده‌اند. بر این اساس، اهداف و محدودیت‌ها می‌توانند با محیط واقعی به خوبی تطبیق داده شوند. در رابطهٔ ۲۳، منطقهٔ جواب، تابعی از پارامترهای n، q_h و t است. فرض کنید که R نشان‌دهندهٔ تعداد جواب‌های ممکن در منطقهٔ جواب باشد، در نتیجه:

رابطهٔ ۲۴)

$$R = C_n^{q_1} C_{n-q_1}^{q_2} \cdots C_{n-q_1-\cdots-q_{t-1}}^{q_t}$$
$$= \frac{n!}{q_1!(n-q_1)!} \times \frac{(n-q_1)!}{q_2!(n-q_1-q_2)!} \times \cdots \times \frac{(n-q_1-q_2-\cdots-q_{t-1})!}{q_t!(n-q_1-q_2-\cdots-q_t)!}$$

از آنجا که $C_n^{q_h} = C_n^{n-q_h}$، می‌توان نتیجه گرفت ($n-q_h \le n/2$) یا ($q_h \le n/2$). در مواردی که q_h خیلی کوچکتر از n باشد؛ یعنی $q_h \ll n$، می‌توان R را از رابطهٔ ۲۵ تقریب زد.

رابطهٔ ۲۵)

$$R = \frac{n!}{q_1!(n-q_1)!} \times \frac{(n-q_1)!}{q_2!(n-q_1-q_2)!} \times \cdots \times \frac{(n-q_1-q_2-\cdots-q_{t-1})!}{q_t!(n-q_1-q_2-\cdots-q_t)!}$$
$$= \frac{n(n-1)\ldots(n-q_1-q_2-\cdots q_t+1)}{q_1!q_2!\cdots q_t!} \approx n(n-1)\ldots(n-q_1-q_2-\cdots q_t+1) \approx n^{\sum_{h=1}^{t} q_h}$$

با توجه به رابطه ۲۵، منطقهٔ جواب تقریباً نسبت مستقیمی با $\sum_{h=1}^{t} q_h$ دارد؛ یعنی با افزایش $\sum_{h=1}^{t} q_h$، مقدار R به‌طور فزاینده‌ای رشد می‌کند. چون مسئلهٔ انتخاب اعضا بر اساس اطلاعات ارتباطی یک مسئلهٔ پیچیده (NP-Hard) است، حل مدل ترکیبی فوق نمی‌تواند آسان‌تر از مدل انتخاب اعضا باشد. برای مسئله‌ای با مقیاس کوچک، روش شمارش سنتی مناسب به نظر می‌رسد، اما برای مسائل با مقیاس بزرگ، به الگوریتم‌های بهینه‌سازی هوشمند نیاز است (گوپتا، شیشودیا و شخون، ۲۰۰۱).

روش‌شناسی پژوهش

برای حل این نوع مدل‌ها باید از بهینه‌سازی ترکیباتی استفاده کرد. مطالعات انجام‌شده در این زمینه، با هدف توسعهٔ روش‌های مؤثر برای پیدا کردن مقادیر حداقل یا حداکثر توابعی با متغیرهای مستقل زیاد انجام شده‌اند. از آنجا که بسیاری از مسائل بهینه‌سازی ترکیباتی در کلاس مسائل NP-Complete یا NP-Hard قرار دارند، نمی‌توان به‌کمک الگوریتم‌های معمولی آنها را حل کرد. بنابراین برای بهینه‌سازی این‌گونه مسائل، از روش‌های ابتکاری یا فوق ابتکاری[1] استفاده می‌شود. روش فوق ابتکاری راهبردی است که سایر روش‌های ابتکاری را برای رسیدن به جواب‌هایی فراتر از جواب‌هایی که در یک جست‌وجوی محلی تولید می‌شود، به‌کار می‌گیرد. این روش‌ها سبب همگرایی جواب‌ها به یک بهینهٔ کلی می‌شوند، اما نمی‌توانند جواب

1. Meta-heuristic

بهینه را تضمین کنند؛ به همین دلیل به آنها جواب‌های تقریبی یا ابتکاری گفته می‌شود. از آنجایی که روش‌های حل دقیق برای مسائل بهینه‌سازی ترکیبی قابلیت کاربرد عملی ندارند، لذا انواع روش‌های فوق ابتکاری در این زمینه توسعه داده شده است.

با بررسی الگوریتم‌های ابتکاری چندهدفه، روش NSGA-II[1] برای این مسئله انتخاب شد. مزیت روش NSGA-II در استفاده از فاصلهٔ ازدحام برای حفظ تنوع پاسخ‌های واقع بر جبههٔ پارتو است؛ به همین دلیل این الگوریتم انتخاب شد. روش NSGA-II را دب و همکارانش پیشنهاد کردند (کوئلو، لامون، ولدویزن، ۲۰۰۷). در این روش، ابتدا کروموزوم‌های موجود در جمعیت اولیه برای تولید کروموزوم‌های جدید استفاده می‌شوند. این کروموزوم‌های جدید جمعیت دوم را تشکیل می‌دهند. این دو جمعیت با هم ادغام‌شده و جمعیت سوم به تعداد دو برابر کروموزوم‌ها را تولید می‌کنند. رتبه‌بندی غیرپست روی جمعیت سوم اعمال می‌شود. جواب‌های واقع شده در جبهه‌های دارای سطح ۱ تا سطحی که تأمین‌کنندهٔ تعداد کروموزوم مورد نیاز در جمعیت باشد، انتخاب شده و سایر کروموزوم‌ها حذف می‌شوند. در بسیاری از موارد ممکن است وضعیتی ایجاد شود که تعداد کروموزوم‌های جبههٔ آخر بیشتر از تعداد لازم برای تکمیل جمعیت باشد؛ در این صورت تعدادی از کروموزوم‌ها باید حذف شوند. شیوهٔ نمایش جمعیت برای مسئله به این صورت پیشنهاد شده است: یک ماتریس با h ردیف و n ستون در نظر گرفته می‌شود که هر ستون نشان‌دهندهٔ یکی از افراد نامزدشده است. آرایه‌های این ماتریس مقادیر۰ یا ۱ به خود می‌گیرند؛ به این معنا که برای ردیف h هرگاه فرد iام در تیم انتخاب شود، مقدار ستون iام هم ۱ می‌شود و برعکس. تعداد کل ۱ها در هر ردیف برابر تعداد اعضای تیم h و q_h است. همچنین تعداد کل ۱ها در هر ستون مساوی۰ یا ۱ است؛ به این معنا که هر فرد یا در هیچ تیمی انتخاب نشده یا فقط در یک تیم انتخاب می‌شود. جمعیت اولیه در نسل اول به‌صورت تصادفی تولید می‌شود. بعد از تولید نسل اول، به ارزیابی جواب‌های تولیدشده در این نسل پرداخته می‌شود. این ارزیابی بر اساس توابع هدفی است که در بخش‌های قبلی تعریف شده‌اند. پس از ارزیابی نسل اولیه، جواب‌های واقع‌شده در سطح ۱ مشخص‌شده و تا جایی که تعداد آنها بهN برسد از آنها کاسته می‌شود. در حذف کروموزوم‌ها، تنوع جواب‌های باقی‌مانده ملاک است. سپس با توجه به عملگرهای ژنتیکی، اقدام به تولید نسل بعدی می‌شود. برای تولید نسل بعد از عملگرهای تزویج و جهش استفاده می‌شود. برای تولید نسل از استراتژی انتخاب مسابقه‌ای بر اساس ازدحام استفاده می‌شود. y درصد از تولید نسل از طریق تزویج انجام می‌شود و باقی از طریق جهش. برای انجام تزویج در مورد هر کروموزوم نسل بعد بدین صورت عمل می‌شود: دو کروموزوم از

1. Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm

نسل فعلی به‌صورت تصادفی انتخاب‌شده و پس از انتخاب دو کروموزوم (به‌منزلهٔ دو والد)، بر اساس تصادف قطعه‌ای از یکی با دیگری ترکیب می‌شود و کروموزوم جدید را تشکیل می‌دهد. درصد باقی‌مانده توسط عملگر دیگر، یعنی جهش ایجاد می‌شود که در آن به‌صورت تصادفی مقدار یکی از ژن‌ها برای یک کروموزوم خاص تغییر می‌یابد. این روند تا زمانی که به تعداد معینی از نسل‌ها برسیم، ادامه می‌یابد و این تعداد برابر F است.

یافته‌های پژوهش

برای ارزیابی عملکرد روش فوق ابتکاری توسعه داده شدهٔ این تحقیق، از یک طرح برای تولید داده‌های آزمایشی استفاده شده است. این طرح بر این اساس تدوین شده است که ابتدا داده‌های لازم برای ایجاد یک مسئله فراهم می‌شود و سپس با تعیین دامنهٔ مقادیر برای آنها و همچنین اندازهٔ مد نظر برای مسئله، به تولید داده و دسته‌بندی مسائل پرداخته خواهد شد. داده‌های مسئله عبارتند از: تعداد نامزدها، تعداد تیم‌ها، تعداد اعضای هر تیم، تعداد مشخصه‌های فردی، تعداد مشخصه‌های ارتباطی، مقادیر مشخصه‌های فردی، مقادیر مشخصه‌های ارتباطی. اندازهٔ مسئله عامل مهمی است؛ به‌طوری که هرچه بزرگ‌تر باشد، تلاش محاسباتی بیشتری برای حل آن توسط الگوریتم لازم است. اندازهٔ مسئله در اینجا به‌وسیلهٔ پنج پارامتر تعیین می‌شود: ۱. تعداد افراد نامزدشده؛ ۲. تعداد تیم‌ها؛ ۳. مجموع تعداد اعضای تیم‌ها؛ ۴. تعداد مشخصه‌های فردی و ۵. تعداد مشخصه‌های ارتباطی.

همچنین بر اساس تحقیقات مشابه، سه اندازهٔ مختلف؛ یعنی کوچک، متوسط و بزرگ برای این مسئله لحاظ می‌شود. دامنهٔ هر پارامتر برای تعیین اندازهٔ مسئله به‌صورت جدول ۱ در نظر گرفته شده است.

جدول ۱. عوامل و سطوح مد نظر برای تولید مسائل

		اندازهٔ مسئله		
		کوچک	متوسط	بزرگ
عوامل	تعداد افراد نامزد	۱۰	۳۰	۱۰۰
	تعداد تیم‌ها	۱	۲	۵
	مجموع تعداد اعضای تیم‌ها	۳	۲۰	۷۵
	تعداد مشخصه‌های فردی	۲	۳	۵
	تعداد مشخصه‌های ارتباطی	۱	۲	۵

با توجه به اینکه مقادیر در نظر گرفته شده برای مشخصه‌های فردی و ارتباطی نرمالیزه می‌شوند، لذا اهمیت چندانی ندارند و در ساخت مسائل برای سادگی بین ۱ تا ۱۰ و تابع توزیع صحیح یکنواخت درنظر گرفته می‌شوند. مسئلهٔ طراحی‌شده از لحاظ اندازه، در حد بزرگ بوده و پنج عامل اساسی آن به شرح جدول ۲ تعریف شده است.

جدول ۲. تعریف عوامل مسئله

عوامل	مقدار
تعداد افراد نامزد	۱۰۰
تعداد تیم‌ها	۵
مجموع تعداد اعضای تیم‌ها	۷۵
تعداد مشخصه‌های فردی	۵
تعداد مشخصه‌های ارتباطی	۵

همچنین جمعیت هریک از پنج تیم تیم به شرح جدول ۳ است.

جدول ۳. جمعیت تیم‌های پروژه

تیم	۱	۲	۳	۴	۵
مقدار	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵

وزن تمام پنج مشخصهٔ فردی یکسان و برابر با ۰/۲ فرض شده و در مورد مشخصه‌های ارتباطی نیز همین رویه برقرار است. α_h (مقدار افزایشی برای شاخص دانش) برابر با $۰/۱ \times d_{\mathrm{i}}^{\mathrm{l}}$ در نظر گرفته شده است. یعنی فرض شده که با انجام هر پروژه، دانش هر فرد به میزان ۱۰درصد افزایش می‌یابد. مقدار N برای الگوریتم، ۵۰ در نظر گرفته شده است. شایان به یادآوری است که در حذف کروموزوم‌ها، تنوع جواب‌های باقی‌مانده ملاک قرار می‌گیرد. توقف الگوریتم نیز در زمانی حاصل می‌شود که تعداد نسل‌ها به ۱۰۰۰۰ برسد. با وارد کردن اطلاعات اولیه و فرضیه‌هایی که بیان شد، پس از اجرای الگوریتم توسعه داده شده، دسته جوابی به شرح جدول ۴ به‌دست آمد. از بین ۵۰ جواب به‌دست‌آمده در آخرین نسل، تنها ۷ جواب غیر پست وجود داشت (جدول ۵).

جدول ٤. دسته جواب به‌دست‌آمده

No	Z۱	Z۲	Z۳	No	Z۱	Z۲	Z۳
۱	۳۷/۱۸	۶۵۵/۲	۲۵/۸۱	۲۶	۳۷/۲۲	۶۵۶/۶۳	۲۴/۵۶
۲	۳۷/۴۶	۶۵۴/۰۷	۲۴/۹۱	۲۷	۳۷/۶۳	۶۴۵/۹۳	۲۴/۸۷
۳	۳۷/۱۴	۶۴۸/۷۷	۲۶/۷۶	۲۸	۳۷/۵۶	۶۵۰/۳۸	۲۶/۱۶
۴	۳۶/۳۳	۶۴۷/۲۲	۲۳/۵۹	۲۹	۳۷/۳۱	۶۵۳/۱۲	۲۶/۰۸
۵	۳۶/۰۵	۶۶۱/۰۶	۲۶/۲۱	۳۰	۳۷/۶۹	۶۴۶/۶۷	۲۵/۲۶
۶	۳۷/۴۶	۶۵۷/۱۸	۲۴/۸۵	۳۱	۳۶/۶۲	۶۴۳/۵۴	۲۵/۷۵
۷	۳۷/۴	۶۵۴/۹۹	۲۶/۵۳	۳۲	۳۷/۱۹	۶۴۶/۶۳	۲۴/۱۳
۸	۳۶/۹۴	۶۴۳/۸۱	۲۴/۸۷	۳۳	۳۷/۱۸	۶۵۴/۸۴	۲۳/۷۶
۹	۳۷/۷	۶۶۰/۳۴	۲۵/۵۴	۳۴	۳۷/۱۷	۶۵۱/۳۱	۲۵/۷۳
۱۰	۳۶/۹۵	۶۵۲/۳۷	۲۳/۳۵	۳۵	۳۶/۹	۶۵۲/۱۹	۲۵/۷۴
۱۱	۳۷/۱۳	۶۶۰/۹۷	۲۳/۶۷	۳۶	۳۷/۸۱	۶۶۱/۰۴	۲۴/۱۹
۱۲	۳۶/۴۲	۶۵۳/۹۶	۲۷/۷۴	۳۷	۳۷/۰۸	۶۵۳/۴	۲۵/۷۶
۱۳	۳۶/۶۶	۶۶۰/۰۶	۲۶/۱۶	۳۸	۳۷/۱۱	۶۵۴/۵۸	۲۶/۷۲
۱۴	۳۸/۲۴	۶۴۵/۷	۲۵/۹۱	۳۹	۳۷/۴۳	۶۴۶/۱۴	۲۶/۳
۱۵	۳۷/۲۷	۶۵۴/۸۶	۲۷/۴۵	۴۰	۳۷/۳	۶۶۳/۲۹	۲۶/۴۴
۱۶	۳۶/۱۵	۶۴۸/۶۳	۲۶/۳	۴۱	۳۷/۲۲	۶۵۳/۸۱	۲۵/۰۳
۱۷	۳۸/۲۶	۶۵۵/۸۴	۲۳/۶۹	۴۲	۳۷/۰۶	۶۶۳/۹۴	۲۵/۵۳
۱۸	۳۷/۳۱	۶۵۴/۷۶	۲۷/۸۳	۴۳	۳۸/۵۷	۶۵۹/۸۲	۲۳/۸۶
۱۹	۳۷/۸۶	۶۵۵/۱۱	۲۸/۱۱	۴۴	۳۷/۱۹	۶۵۹/۴	۲۵/۲۵
۲۰	۳۷/۶۱	۶۵۶/۱۷	۲۵/۲۲	۴۵	۳۷/۱۵	۶۴۳/۰۴	۲۵/۷۱
۲۱	۳۶/۷۹	۶۴۶/۸۷	۲۶/۵۹	۴۶	۳۷/۸۴	۶۵۲/۱۵	۲۶/۴۲
۲۲	۳۶/۶۱	۶۶۳/۲۲	۲۵/۵۸	۴۷	۳۶/۹۷	۶۵۵/۲۵	۲۶/۳۸
۲۳	۳۷/۱۹	۶۵۵/۵۵	۲۳/۸۶	۴۸	۳۷/۴۳	۶۵۷/۱۶	۲۵/۰۵
۲۴	۳۸/۵	۶۴۵/۳۲	۲۵/۴۱	۴۹	۳۷/۶۳	۶۴۹/۴۴	۲۶/۲۲
۲۵	۳۷/۱	۶۵۵/۲۲	۲۶/۵۹	۵۰	۳۶/۹	۶۵۰/۷۶	۲۴/۵۳

جدول ۵. جواب‌های غیر پست آخرین نسل

No	Z۱	Z۲	Z۳
۱۰	۳۶/۹۵	۶۵۲/۳۷	۲۳/۳۵
۱۱	۳۷/۱۳	۶۶۰/۹۷	۲۳/۶۷
۱۷	۳۸/۲۶	۶۵۵/۸۴	۲۳/۶۹
۳۶	۳۷/۸۱	۶۶۱/۰۴	۲۴/۱۹
۴۰	۳۷/۳	۶۶۳/۲۹	۲۶/۴۴
۴۲	۳۷/۰۶	۶۶۳/۹۴	۲۵/۵۳
۴۳	۳۸/۵۷	۶۵۹/۸۲	۲۳/۸۶

همان‌طور که مشاهده می‌شود، جواب‌ها تنوع و پراکندگی مناسبی دارند. عوامل گوناگونی در فرایند دستیابی یک الگوریتم به جواب‌های مناسب و مطلوب مؤثرند. از جمله این عوامل، منطق به‌کاررفته در توسعهٔ الگوریتم و مقادیر تخصیص داده شده به پارامترهای الگوریتم است. از آنجا که با ترکیبات مختلف پارامترهای درگیر در اجرای یک الگوریتم می‌توان به جواب‌هایی با کیفیت متفاوت دست یافت، در ادامهٔ این بخش، روی تنظیم پارامترهای الگوریتم تمرکز شده است. چنانچه ترکیب پارامترهای مؤثر در اجرای الگوریتم به درستی انتخاب نشود، جواب‌های به‌دست‌آمده از کیفیت لازم برخوردار نخواهند بود. به همین دلیل در این قسمت سعی شده با استفاده از یک روش سیستماتیک، ضمن شناسایی پارامترهای مؤثر در عملکرد الگوریتم، مقادیر مناسب آنها برای اجرا تعیین شود. برای یافتن پارامترهایی که دستیابی به هدف با کیفیت بالاتر را امکان‌پذیر می‌کنند، باید چنین روندی را دنبال کرد: پس از انتخاب مسئلهٔ نمونه، باید عوامل مؤثر در عملکرد الگوریتم را شناسایی کرد. به‌منظور شناسایی این عوامل از طراحی و تحلیل آزمایش‌های (DOE)[1] استفاده می‌شود. برای اجرای یک طرح آزمایش ابتدا باید عوامل و سطوح آنها را تعیین کرد. در مورد الگوریتم NSGA-II چهار عامل به‌منزلهٔ عوامل تشکیل‌دهندهٔ طرح آزمایش در نظر گرفته شده است که برای هر یک از این عوامل، سطحی اختصاص داده خواهد شد. این عوامل به شرح جدول ۶ هستند.

جدول ٦. عوامل مؤثر بر جواب مسئله

ردیف	عامل	علامت اختصاری
۱	جمعیت اولیه	M
۲	تعداد جواب منتخب	N
۳	درصد تزویج	Y
۴	آخرین نسل	F

بنا به فلسفهٔ تاگوچی، در طراحی پارامتر یک الگوریتم، هدف تعیین سطح عوامل کنترل است؛ به‌طوری که الگوریتم نسبت به پارامترهایش کمترین حساسیت را داشته باشد. برای این کار باید با توجه به تعداد عوامل و سطوح در نظر گرفته شده، آرایه‌های استاندارد متعامد مربوطه را استخراج کرد و بر اساس آنها آزمایش‌ها را انجام داد. هریک از آزمایش‌ها ۱۰ بار تکرار شد. بر اساس نتایج، روش تاگوچی روند خود را طی کرده و پارامترها را تنظیم کرد. بر این اساس برای هریک از عوامل مذکور سطوحی در نظر گرفته می‌شود. این سطوح که با تکرار و تجربه حاصل

1. Design and Analysis of Experiments

شده‌اند برای مسئلهٔ با اندازه بزرگ، به شرح جدول ۷ هستند. بعد از اینکه سطوح مشخص شدند، اقدام به بررسی پارامترها از طریق روش تاگوچی می‌شود.

جدول ۷. عوامل مؤثر بر جواب مسئله و سطوح مربوطه

ردیف	عامل	علامت اختصاری	سطوح مقداری		
			۱	۲	۳
۱	جمعیت اولیه	M	۵۰	۱۰۰	۲۰۰
۲	تعداد جواب منتخب	N	۲۵	۵۰	۷۵
۳	درصد تزویج	y	۶۰	۷۵	۹۰
۴	توقف (تعداد نسل)	F	۷۵۰۰	۱۰۰۰۰	۱۲۵۰۰

برای این کار باید با توجه به تعداد عوامل و سطوح در نظر گرفته شده، آرایه‌های استاندارد متعامد مربوطه (جدول ۸) را استخراج کرد و بر اساس آنها آزمایش‌ها را انجام داد.

جدول ۸. آرایه‌های استاندارد متعامد $L_۹(۳^٤)$

آزمایش	عامل			
	M	N	y	F
۱	۱	۱	۱	۱
۲	۱	۲	۳	۲
۳	۱	۳	۲	۳
۴	۲	۱	۳	۳
۵	۲	۲	۲	۱
۶	۲	۳	۱	۲
۷	۳	۱	۲	۲
۸	۳	۲	۱	۳
۹	۳	۳	۳	۱

براساس الگوی تاگوچی و آرایه‌های استاندارد متعامد، $L_۹(۳^۴)$ سطوح آزمایشی اختصاص یافت و ۹ آرایه تعریف شد. بر اساس این ۹ آرایه، ۹ آزمایش ترتیب داده شد و هریک از آزمایش‌ها ۱۰بار تکرار شدند. بعد از اجرای مقادیر S/N، مدت زمان حل الگوریتم (Time)، و میانگین فاصلهٔ ازدحام (d) محاسبه شدند. اعداد به‌دست‌آمده در جداول ۹ تا ۱۲ آمده است. در ادامه مقدار S/N برای تمامی سطوح مربوط به هر یک از عوامل، محاسبه شده و سپس با

یکدیگر مقایسه شده‌اند. این مقایسه در شکل‌های ۱و ۲ نشان داده شده است. همین رویه برای مقدار میانگین مربوط به زمان حل (Time) و میانگین مقدار فاصلهٔ ازدحام (d)، تکرار شده و نتایج در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. همچنین اطلاعات عددی نیز در جدول ۱۳ آورده شده‌اند.

جدول ۹. مقادیر محاسبه شده برای مقدار فاصلهٔ ازدحام (d)

Senario	عامل				Trial for "d"									
	M	N	y	F	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰
۱	۱	۱	۱	۱	۴/۵۱	۵/۷۲	۳/۱۹	۱/۳۷	۲/۶۸	۵/۳۷	۸/۲۸	۱/۸۳	۱/۷۳	۹/۱۸
۲	۱	۲	۳	۲	۵/۹۷	۵/۶	۱۰/۰۵	۳/۲	۸/۰۲	۵/۲	۷/۴۱	۶/۵۵	۳/۲۶	۱/۸۱
۳	۱	۳	۲	۳	۴/۷۷	۹/۴۸	۳/۳۴	۲/۸۶	۱/۲۲	۵/۸۹	۶/۲۴	۷/۶۴	۸/۴۹	۴/۹
۴	۲	۱	۳	۳	۵/۲۸	۱/۰۱	۳/۷	۸/۸۷	۴/۱	۶/۷۴	۶/۳۳	۷/۳۷	۶/۹۳	۲/۷۸
۵	۲	۲	۲	۱	۷/۹۸	۱۰/۸۵	۶/۳۷	۷/۴۲	۹/۰۱	۶/۱۸	۵/۲۵	۵/۴	۵/۵۶	۶/۸۹
۶	۲	۳	۱	۲	۵/۰۹	۸/۳	۴/۴۶	۹/۹	۴/۵۳	۱۰/۵۶	۴/۰۱	۴/۵۲	۷/۷۶	۸/۸۶
۷	۳	۱	۲	۲	۲/۹۵	۹/۰۷	۳/۸	۵/۲۷	۹/۰۳	۹/۱۸	۷/۶۵	۴/۴۸	۶/۶۶	۴/۵۸
۸	۳	۲	۱	۳	۳/۹۵	۱/۲۶	۴/۶۴	۹/۱۲	۷/۹۳	۷/۲۴	۳/۴۲	۹/۳۴	۷/۷۹	۵/۹۶
۹	۳	۳	۳	۱	۱/۰۴	۷/۳۷	۵/۷۲	۱/۷۷	۹/۲۵	۷/۸۱	۵/۲۲	۷/۴۸	۶/۸۹	۴/۵۹

جدول ۱۰. مقادیر محاسبه شده برای زمان حل الگوریتم (*Time*) بر حسب ثانیه

Senario	عامل				Trial for "Time"									
	M	N	y	F	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰
۱	۱	۱	۱	۱	۱۱۳	۱۰۷	۳۵	۷۶	۳۶	۳۹	۸۶	۱۲۰	۳۵	۸۹
۲	۱	۲	۳	۲	۴۶	۴۱	۵۹	۳۹	۳۲	۲۵	۲۹	۴۱	۴۵	۵۱
۳	۱	۳	۲	۳	۵۸	۳۲	۳۹	۵۳	۴۱	۲۷	۳۴	۳۸	۳۹	۳۹
۴	۲	۱	۳	۳	۳۷	۳۱	۴۰	۹۴	۴۶	۳۴	۸۱	۵۷	۲۸	۶۵
۵	۲	۲	۲	۱	۲۸	۳۶	۳۷	۲۵	۴۱	۲۶	۴۳	۳۵	۴۸	۳۹
۶	۲	۳	۱	۲	۶۱	۹۶	۷۶	۸۳	۴۶	۲۷	۵۱	۳۵	۴۱	۵۳
۷	۳	۱	۲	۲	۹۰	۳۵	۴۶	۹۵	۳۱	۵۸	۲۸	۶۰	۴۷	۳۵
۸	۳	۲	۱	۳	۱۰۷	۱۰۱	۸۹	۹۳	۸۸	۴۳	۸۰	۸۲	۱۰۶	۱۰۴
۹	۳	۳	۳	۱	۵۷	۶۴	۹۳	۸۱	۶۷	۳۶	۱۲۴	۳۳	۸۲	۵۴

جدول ۱۱. مقدار S/N محاسبه‌شده برای مقدار فاصلهٔ ازدحام (d)

Senario	عامل				Trial for "S/N of d"				
	M	N	y	F	۱	۲	۳	٤	٥
۱	۱	۱	۱	۱	۰/۰۴۹۲	۰/۰۳۰۶	۰/۰۹۸۳	۰/۵۳۲۸	۰/۱۳۹۲
۲	۱	۲	۳	۲	۰/۰۲۸۱	۰/۰۳۱۹	۰/۰۰۹۹	۰/۰۹۷۷	۰/۰۱۵۵
۳	۱	۳	۲	۳	۰/۰۴۴	۰/۰۱۱۱	۰/۰۸۹۶	۰/۱۲۲۳	۰/۶۷۱۹
۴	۲	۱	۳	۳	۰/۰۳۵۹	۰/۹۸۰۳	۰/۰۷۳	۰/۰۱۲۷	۰/۰۵۹۵
۵	۲	۲	۲	۱	۰/۰۱۵۷	۰/۰۰۸۵	۰/۰۲۴۶	۰/۰۱۸۲	۰/۰۱۲۳
۶	۲	۳	۱	۲	۰/۰۳۸۶	۰/۰۱۴۵	۰/۰۵۰۳	۰/۰۱۰۲	۰/۰۴۸۷
۷	۳	۱	۲	۲	۰/۱۱۴۹	۰/۰۱۲۲	۰/۰۶۹۳	۰/۰۳۶	۰/۰۱۲۳
۸	۳	۲	۱	۳	۰/۰۶۴۱	۰/۶۲۹۹	۰/۰۴۶۴	۰/۰۱۲	۰/۰۱۵۹
۹	۳	۳	۳	۱	۰/۹۲۴۶	۰/۰۱۸۴	۰/۰۳۰۶	۰/۳۱۹۲	۰/۰۱۱۷

Senario	عامل				Trial for "S/N of d"				
	M	N	y	F	٦	۷	۸	۹	۱۰
۱	۱	۱	۱	۱	۰/۰۳۴۷	۰/۰۱۴۶	۰/۲۹۸۶	۰/۳۳۴۱	۰/۰۱۱۹
۲	۱	۲	۳	۲	۰/۰۳۷	۰/۰۱۸۲	۰/۰۲۳۳	۰/۰۹۴۱	۰/۳۰۵۲
۳	۱	۳	۲	۳	۰/۰۲۸۸	۰/۰۲۵۷	۰/۰۱۷۱	۰/۰۱۳۹	۰/۰۴۱۶
۴	۲	۱	۳	۳	۰/۰۲۲	۰/۰۲۵	۰/۰۱۸۴	۰/۰۲۰۸	۰/۱۲۹۴
۵	۲	۲	۲	۱	۰/۰۲۶۲	۰/۰۳۶۳	۰/۰۳۴۳	۰/۰۳۲۳	۰/۰۲۱۱
۶	۲	۳	۱	۲	۰/۰۰۹	۰/۰۶۲۲	۰/۰۴۸۹	۰/۰۱۶۶	۰/۰۱۲۷
۷	۳	۱	۲	۲	۰/۰۱۱۹	۰/۰۱۷۱	۰/۰۴۹۸	۰/۰۲۲۵	۰/۰۴۷۷
۸	۳	۲	۱	۳	۰/۰۱۹۱	۰/۰۸۵۵	۰/۰۱۱۵	۰/۰۱۶۵	۰/۰۲۸۲
۹	۳	۳	۳	۱	۰/۰۱۶۴	۰/۰۳۶۷	۰/۰۱۷۹	۰/۰۲۱۱	۰/۰۴۷۵

جدول ۱۲. مقدار S/N محاسبه‌شده برای زمان حل الگوریتم (Time)

Senario	عامل				Trial for "S/N of Time"				
	M	N	y	F	۱	۲	۳	٤	٥
۱	۱	۱	۱	۱	۱۲۷۶۹	۱۱۴۴۹	۱۲۲۵	۵۷۷۶	۱۲۹۶
۲	۱	۲	۳	۲	۲۱۱۶	۱۶۸۱	۳۴۸۱	۱۵۲۱	۱۰۲۴
۳	۱	۳	۲	۳	۳۳۶۴	۱۰۲۴	۱۵۲۱	۲۸۰۹	۱۶۸۱
۴	۲	۱	۳	۳	۱۳۶۹	۹۶۱	۱۶۰۰	۸۸۳۶	۲۱۱۶
۵	۲	۲	۲	۱	۷۸۴	۱۲۹۶	۱۳۶۹	۶۲۵	۱۶۸۱
۶	۲	۳	۱	۲	۳۷۲۱	۹۲۱۶	۵۷۷۶	۶۸۸۹	۲۱۱۶
۷	۳	۱	۲	۲	۸۱۰۰	۱۲۲۵	۲۱۱۶	۹۰۲۵	۹۶۱
۸	۳	۲	۱	۳	۱۱۴۴۹	۱۰۲۰۱	۷۹۲۱	۸۶۴۹	۷۷۴۴
۹	۳	۳	۳	۱	۳۲۴۹	۴۰۹۶	۸۶۴۹	۶۵۶۱	۴۴۸۹

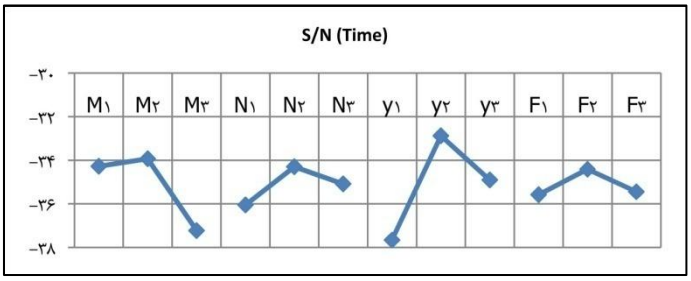
ادامهٔ جدول ۱۲

Senario	عامل					Trial for "S/N of Time"				
	M	N	y	F	٦	۷	۸	۹	۱۰
۱	۱	۱	۱	۱	۱۵۲۱	۷۳۹۶	۱۴۴۰۰	۱۲۲۵	۷۹۲۱
۲	۱	۲	۳	۲	۶۲۵	۸۴۱	۱۶۸۱	۲۰۲۵	۲۶۰۱
۳	۱	۳	۲	۳	۷۲۹	۱۱۵۶	۱۴۴۴	۱۵۲۱	۱۵۲۱
۴	۲	۱	۳	۳	۱۱۵۶	۶۵۶۱	۳۲۴۹	۷۸۴	۴۲۲۵
۵	۲	۲	۲	۱	۶۷۶	۱۸۴۹	۱۲۲۵	۲۳۰۴	۱۵۲۱
۶	۲	۳	۱	۲	۷۲۹	۲۶۰۱	۱۲۲۵	۱۶۸۱	۲۸۰۹
۷	۳	۱	۲	۲	۳۳۶۴	۷۸۴	۳۶۰۰	۲۲۰۹	۱۲۲۵
۸	۳	۲	۱	۳	۱۸۴۹	۶۴۰۰	۶۷۲۴	۱۱۲۳۶	۱۰۸۱۶
۹	۳	۳	۳	۱	۱۲۹۶	۱۵۳۷۶	۱۰۸۹	۶۷۲۴	۲۹۱۶

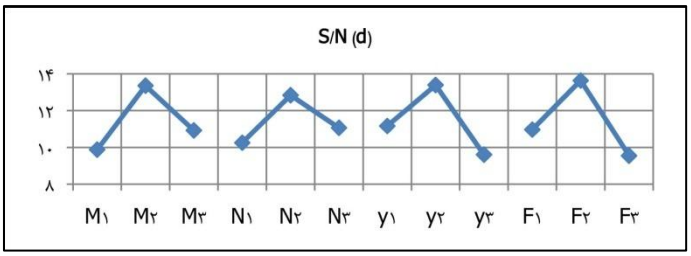
جدول ۱۳. اطلاعات عددی مربوط به طرح تاگوچی مسئلهٔ بزرگ

فاکتور	d	Time	S/N (d)	S/N (Time)
M۱	۵/۱۹	۵۱/۴۶	۹/۸۷	-۳۴/۲۷
M۲	۶/۴۰	۴۸/۰۰	۱۳/۳۵	-۳۳/۹۳
M۳	۶/۰۱	۷۰/۳۰	۱۰/۹۲	-۳۷/۲۲
N۱	۵/۳۲	۵۹/۱۳	۱۰/۲۵	-۳۶/۰۵
N۲	۶/۲۸	۵۵/۳	۱۲/۸۳	-۳۴/۲۹
N۳	۵/۹۹	۵۵/۳۳	۱۱/۰۶	-۳۵/۰۸
y۱	۵/۷۵	۷۳/۲۶	۱۱/۱۶	-۳۷/۶۵
y۲	۶/۲۸	۴۲/۷۶	۱۳/۳۸	-۳۲/۸۷
y۳	۵/۵۷	۵۳/۷۳	۹/۶۰	-۳۴/۹۰
F۱	۵/۷۳	۵۹/۵	۱۰/۹۷	-۳۵/۵۷
F۲	۶/۲۵	۵۰/۰۶	۱۳/۶۳	-۳۴/۴۱
F۳	۵/۶۱	۶۰/۲	۹/۵۵	-۳۵/۴۴

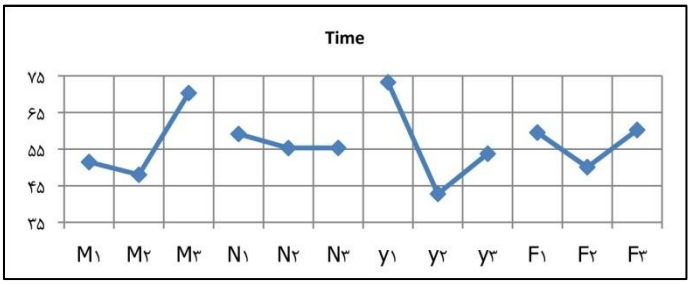
در هر چهار شکل مذکور عوامل مؤثر در ۳ سطح آورده شده و مقادیر به‌دست‌آمده برای تمامی سطوح رسم شده‌اند. از مقایسهٔ این چهار شکل با یکدیگر، سطوح بهینه تعیین می‌شوند.



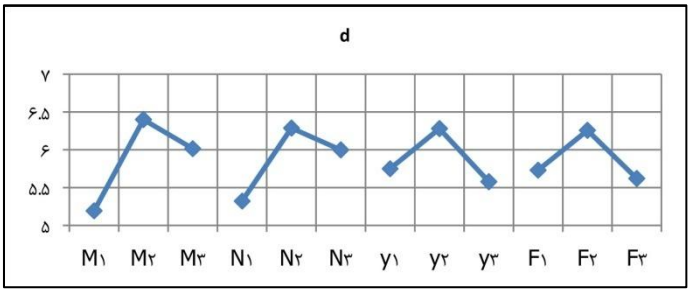
شکل ۱. مقدار S/N محاسبه‌شده برای زمان حل الگوریتم (*Time*)



شکل ۲. مقدار S/N محاسبه‌شده برای مقدار فاصلهٔ ازدحام (*d*)



شکل ۳. مقدار میانگین محاسبه‌شده برای زمان حل الگوریتم (*Time*)



شکل ٤. مقدار میانگین محاسبه‌شده برای مقدار فاصلهٔ ازدحام (*d*)

با مقایسهٔ سطوح هر عامل، پارامترهای بهینه برای مسئلهٔ با اندازه بزرگ تعیین شدند. برای فاکتور مربوط به زمان حل الگوریتم (*Time*) باید مقدار حداقل را درنظر گرفت و برای فاکتورهای دیگر مقدار حداکثر را اختصاص داد. بدین ترتیب با مقایسهٔ اطلاعات حاصل‌شده، می‌توان برای تمامی اندازه‌های مسئله سطوح بهینه را محاسبه کرد. این نتایج مطابق با جدول ۱۴ است.

جدول ۱۴. پارامترهای بهینه

ردیف	عامل	علامت اختصاری	پارامترهای بهینه		
			مسئلهٔ کوچک	مسئلهٔ متوسط	مسئلهٔ بزرگ
۱	جمعیت اولیه	M	۲۰	۷۰	۱۰۰
۲	تعداد جواب منتخب	N	۱۰	۳۵	۵۰
۳	درصد تزویج	y	۵۰	۷۰	۷۵
۴	آخرین نسل	F	۲۵۰	۸۰۰۰	۱۰۰۰۰

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

یکی از معضلات سازمان‌های دانش‌بنیان که برمبنای انجام پروژه‌های تحقیقاتی فعالیت می‌کنند، ترک خدمت کارکنان دانشی در سازمان است. این کارکنان، خام و بدون تجربهٔ عملیاتی وارد سیستم می‌شوند و پس از سال‌ها اکتساب تجربه و هزینه‌زایی برای سازمان، به راحتی یا برحسب حوادث رخ‌داده، از مجموعه خارج می‌شوند. از نظر محققان، حل این مسئله فقط در صورتی امکان‌پذیر است که از تجمیع دانش در نزد افراد خاص جلوگیری شود. در عین حال این راه حل باید به‌گونه‌ای اجرا شود که فرصت موفقیت پروژه را نیز از بین نبرد. از این رو با کمک سیستم جامع تصمیم و با استفاده از روش‌های ریاضی، درصدد حل مسئلهٔ فوق برآمدیم.

مدل ریاضی استفاده شده برای انتخاب اعضای تیم‌های تحقیق و توسعه، از سه عامل کلیدی اطلاعات فردی، اطلاعات ارتباطی (بین افراد) و اطلاعات دانشی بهره می‌برد. با توجه به ماهیت خاص مسئله، به‌ناچار از الگوریتم‌های فراابتکاری بهره جسته و با بررسی الگوریتم‌های مربوطه، روش NSGA-II برای حل این مسئله انتخاب و توسعه داده شد.

براساس تنوع مقادیر داده‌ها، برای مسئله سه اندازه (کوچک، متوسط و بزرگ) فرض‌کرده و پس از طرح مسائل آزمایشی جداگانه برای هر یک، به حل آنها اقدام شد. در این مرحله با استفاده از یک روش سیستماتیک، ضمن شناسایی پارامترهای مؤثر در عملکرد الگوریتم، مقادیر مناسب آنها برای اجرا مشخص شد. بدین ترتیب پارامترهای بهینهٔ الگوریتم برای حل مسئله در سه اندازهٔ بزرگ، متوسط و کوچک تعیین شدند. به این منظور مدل و روش حل به‌صورت یک

بستهٔ نرم‌افزاری پیشنهاد شد. در این بسته باید اطلاعات پروژه‌ها و افراد مد نظر به‌راحتی وارد شوند. کاربر باید فقط دغدغهٔ جمع‌آوری اطلاعات را داشته باشد. خروجی حاصله، ترکیب‌های پیشنهادی برای تیم پروژه‌ها را بیان می‌کند و مدیران می‌توانند از نتایج برای چینش افراد استفاده کنند. از آنجا که این پژوهش بیشتر روی مدل‌سازی و ارائهٔ روش تمرکز دارد، پیدا کردن بهترین الگوریتم اولویت نداشته و می‌توان به‌طور مفصل آن را در پژوهش دیگری بررسی کرد.

مطالعات قبلی که در بخش پیشینهٔ پژوهش بررسی شدند با انسان و نیروی انسانی و ویژگی‌های آن سروکار نداشتند و از لحاظ روش نیز، روش‌های ریاضی گوناگونی را به‌کار بردند. پژوهش اول (شاه‌بندرزاده و همکاران، ۱۳۹۰) به‌دنبال انتخاب عرضه‌کنندگان بود و از روش تخصیص بدیهی AD برای انتخاب تأمین‌کنندگان استفاده کرده است. این مقاله با ترکیب دو حالت فازی و قطعی کوشیده است تا محدودیت موجود در تکنیک‌های MADM به‌کار رفته در مسائل انتخاب عرضه‌کنندگان زنجیرهٔ تأمین، برطرف شود و به‌منظور ارزیابی مناسب گزینه‌ها در هر دو نوع، از معیارهای کمی و کیفی داده‌های دقیق و فازی به‌صورت همزمان بهره گرفته است.

در پژوهش دوم (فقیه و منتظری، ۱۳۸۷)، برای رفع مشکل عدم توازن و تعادل در فرایند تولید و موازنهٔ خط مونتاژ، از روش الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. در این پژوهش روی خط مونتاژ موتوسیکلت بررسی‌هایی انجام‌گرفته و درنهایت بیکاری پنهان و آشکار خط مونتاژ را شناسایی‌کرده و برای رفع آن برنامه‌ریزی شده است.

در پژوهش سوم (صادقی‌مقدم، مؤمنی و نالچیگر، ۱۳۸۸) با رویکردی یکپارچه، به مدل‌سازی جریان مواد در طول زنجیرهٔ تأمین در بخش‌های تأمین، تولید و توزیع در کارخانهٔ کاچیران پرداخته شده است. مدل‌سازی زنجیرهٔ تأمین کاچیران، به صورت برنامه‌ریزی صفر و یک انجام گرفته و کلیهٔ متغیرها عدد صحیح بودند. تابع هدف مدل زنجیرهٔ تأمین کاچیران به‌دنبال حداقل‌کردن هزینه‌های مرتبط با زنجیرهٔ تأمین است. درنهایت مشخص شد که از چه تأمین‌کننده‌ای و به چه میزانی قطعات خریداری شود تا تابع هدف در حالت رضایت‌بخش خود باشد. همچنین مقادیر ساخت محصول نهایی، میزان نگهداری موجودی محصول نهایی در انبار و ... مشخص شده است.

پیشنهاد می‌شود برای کارهای مرتبط آتی در زمینهٔ هرچه بهینه‌ترکردن روش حل تلاش شود. آنچه مسلم است بهینگی هرچه بیشتر، ولو به مقدار ناچیز، در مقیاس بزرگ کانون توجه قرار خواهد گرفت؛ به این معنا که اگر مسائل در ابعاد بزرگ و واقعی دیده شوند، می‌توان تأثیرات حتی بسیار کوچک را لمس کرد و به این امر واقف شد که بهینگی جواب حتی به مقدار ۱ درصد می‌تواند به میزان زیادی برای سازمان سود داشته باشد. در نظر گرفتن این قضیه در طولانی‌مدت

این مقدار را چندین برابر نیز خواهد کرد. بدین منظور پیشنهاد می‌شود که از سایر روش‌های فراابتکاری برای حل این نوع مسائل استفاده شده و جواب‌های به‌دست‌آمده مقایسه شوند. سعی در ارائهٔ الگوریتم‌های دقیق برای حل این مسائل نیز می‌تواند نتایج خوبی را دربرداشته باشد.

با توجه به نتایج این پژوهش به محققان آینده پیشنهاد می‌شود که برحسب نوع سازمان (خدماتی، بازرگانی و تولیدی) به بررسی این الگوریتم بپردازند. همچنین سازمان‌های دانش‌بنیان می‌توانند در تشکیل تیم‌های مجری پروژه، ضمن در نظر گرفتن سه عامل کلیدی فوق، اطلاعات دیگری چون اطلاعات مالی، فرهنگی، ساختاری و ... را نیز به این الگوریتم بیفزایند و تأثیر آن را بر بهبود خروجی‌های سیستم محاسبه کنند.

منابع

شاه‌بندرزاده، ح.؛ جعفرنژاد، ا. و رئیسی، ر. (۱۳۹۰). به‌کارگیری تکنیک بهبودیافتهٔ تخصیص‌بدیهی (*AD*) با ترکیب دو حالت فازی و قطعی در انتخاب عرضه‌کنندگان زنجیرهٔ تأمین. *نشریهٔ مدیریت صنعتی*، ۳ (۷): ۵۴– ۳۷.

صادقی مقدم، م. ر.؛ مؤمنی، م. و نالچیگر، س. (۱۳۸۸). برنامه‌ریزی یکپارچهٔ تأمین، تولید و توزیع زنجیرهٔ تأمین با بکارگیری الگوریتم ژنتیک. *نشریهٔ مدیریت صنعتی*، ۱ (۲): ۸۸–۷۱.

فقیه، ن. و منتظری، م. م. (۱۳۸۷). موازنهٔ خط مونتاژ با رویکرد الگوریتم ژنتیک. *نشریهٔ مدیریت صنعتی*، ۱ (۱): ۱۲۴– ۱۰۷.

Akgün, E. A., Byrne, J. C., Lynn, G. S. & Keskin, H. (2007). Team stressors, management support, and project and process outcomes in new product development projects. *Technovation*, 27 (10): 628–639.

Barczak, G. & Wilemon, D. (2003). Team member experiences in new product development views from the trenches. *R&D Management*, 33(5): 463-479.

Bhasin, H., Kumar, N., Munjal, D. (2013). Hybrid Genetic Algorithm For Maximum Clique Problem. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management* 2(4): 421-425.

Büyüközkan, G., Feyzioğlu, O. & Nebol, E. (2008). Selection of the strategic alliance partner in logistics value chain. *International Journal of Production Economics*, 113 (1): 148–158.

Chen, W. T. & Chen, T. T. (2007). Critical success factors for construction partnering in Taiwan. *International Journal of Project Management*, 25 (5): 475-484.

Coello, C. A. & Lamont G. B. & Veldhuizen D. A. (2007). *Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems*. 2nd Edition, Springer.

Gällstedt, M. (2003). Working conditions in projects perceptions of stress and motivation among project team members and project manager. *International Journal of Project Management*, 21 (1): 449-455.

Gupta, R. K., Shishodia, S. & Sekhon, G. S. (2001). Optimization of grinding process parameters using enumeration method. *Journal of Materials Processing Technology*, 112(1): 63-67.

Hajidimitriou, Y. A. & Georgiou, A. C. (2002). A goal programming model for partner selection decisions in international joint ventures. *European Journal of Operational Research*, 138(3): 649–662.

Hwang, C. L. & Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. Springer, Berlin.

Kaur, A., Palsingh, H., Bhardwaj, A. (2014). Analysis of economic loud dispatch using genetic Algorithm. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management*, 3(3): 240-246.

Levi, D & Slem, C. (1995). Team work in research and development organizations: The characteristics of successful teams. International *Journal of Industrial Ergonomics*, 16(1): 29-42.

Nosratinia, A. & Hunter, T. E. (2007). Grouping and partner selection in cooperative wireless networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 25(2): 369-378.

Raidén, A. & Dainty, A. & Neale, R. H. (2004). Current barriers and possible solutions to effective project team formation and deployment within a large construction organization. *International Journal of Project Management*, 22 (4): 309-316.

Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. McGraw Hill, New York.

Samanta, S. (2014). Genetic Algorithm: An Approach of Optimization. *International Journal of Latest Trends in engineering & Technology*, 3(3): 127-136.

Sha, D. Y. & Che, Z. H. (2005). Virtual integration with a multi-criteria partner selection model for the multi-echelon manufacturing system. I*nternational Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25(7-8): 793-802.

Tseng, T. L. & Huang, C. C. & Chu, H. W. & Gung, R. R. (2004). Novel approach to multi-functional project team formation. International *Journal of Project Management*, 22(2): 147–159.

Wang, T. C. & Chen, Y. H. (2007). Applying consistent fuzzy preference relations to partnership selection. *Omega*, 35(4): 384-388.