دانشکده عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

موازنه چندمنظوره زمان - هزینه - کیفیت

با استفاده از الگوریتم چند جامعه‌ای مورچه‌ها

نگارش:

امیدرضا شغلی

اساتید راهنما:

دکتر عباس افشار - دکتر علی کاوه

فروردین ماه ۱۳۸٦

تقدیم به پدر و مادر عزیز و مهربانم

چکیده

برنامه ریزان صنعت ساخت همواره با چالش تخصیص بهینه منابع به پروژه ها مواجه بوده اند تا بدین وسیله بین اهداف مختلف و اغلب در تضاد پروژها توازن برقرار سازند. زمان، هزینه و کیفیت تحویل پروژه ها جزء اهداف مهم هر پروژه ای می باشند. ظهور قراردادهای نوین مهندسی که افزایش کیفیت اجرایی پروژه ها را همزمان با کاهش زمان و هزینه آنها مدنظر قرار می دهند پژوهشگران را به سوی توسعه مدلهایی که عامل کیفیت را علاوه بر زمان و هزینه لحاظ می کنند هدایت می کند. در این پژوهش یک رهیافت فراکاوشی جدید با عنوان الگوریتم چندجامعه ای مورچه ها (MPA-ACO) با رویکر تبادل تصادفی اطلاعات جوامع برای بهینه سازی سه هدفه مساله موازنه زمان - هزینه - کیفیت مورد استفاده قرار گرفته است. علاوه بر این یک الگوریتم نخبه گرای ژنتیک (NAGA) برای حل مساله استفاده شده است تا هر چه بیشتر عملکرد الگوریتم (MPA-ACO) مورد ارزیابی و مقایسه قرار گیرد. در پایان دو مثال موردی از پروژه های ساخت برای نشان دادن قابلیت و عملکرد الگوریتمهای پیشنهادی و همچنین مقایسه عملکرد آنها با نتایج الگوریتم های موجود ارائه شده است.

کلمات کلیدی: موازنه زمان، هزینه و کیفیت - بهینه سازی چند هدفه - مجموعه جوابهای پارتو - الگوریتم جامعه مورچه ها – الگوریتم چند جامعه ای مورچه ها

تقدیر و تشکر

- برخود لازم می‌دانم مراتب سپاس و قدردانی خویش از اساتید گرانقدرم آقایان پروفسور افشار و پروفسور کاوه را به‌خاطر رهنمودهایشان ابراز نمایم.

- از تمامی دوستان و همکارانی که در دوره این فعالیت پژوهشی با راهنماییها و همکاریهایشان به پیشبرد این تحقیق کمک کردند، صمیمانه سپاسگزارم.

فهرست مطالب

۱- کلیات ۲

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- اهداف تحقیق ٤

۱-۳- محدوده کار ٤

۱-٤- ساختار پایان‌نامه ٥

۲- الگوریتم بهینه سازی فراکاوشی جامعه مورچه ها ۷

۲-۱- الگوریتمهای فراکاوشی ۷

۲-۲- پایه و اساس بیولوژیکی ۸

۲-۳- مروری بر الگوریتم های موجود جامعه مورچه ها ۱۱

۲-٤- روش تصمیم‌گیری مورچه‌ها ۱۳

۲-٥- به‌هنگام سازی فرامان ۱۷

۲-٦- شباهتها و تفاوتهای بین مورچه‌های واقعی و مصنوعی ۱۹

۲-۷- گامهای حل مساله با **ACO** ۲۱

۲-۸- موازی‌گرایی در حل مسایل ۲۳

۲-۸-۱- الگوریتم‌های چندجامعه‌ای ۲۳

۲-۸-۲- کاربردهای موجود ACO در حل مسائل ۲٦

۳- بهینه سازی چندمنظوره ۲۹

۳-۱- بهینه سازی چندمنظوره ۲۹

۳-۲- تعاریف بهینه سازی چندهدفه ۳۱

۳-۳- الگوریتم تکاملی ژنتیک ۳۳

٣-٣-١- ساختار و اجزا الگوریتم های بهینه سازی چندهدفه مبتنی بر الگوریتم ژنتیک ٣٥

٣-٤- ساختار الگوریتم چندهدفه پیشنهادی بر مبنای الگوریتم ژنتیک ٤٦

٤- بهینه‌سازی چند هدفه؛ رهیافت الگوریتم جامعه مورچه ها ٥٠

٤-١- الگوریتم‌های توسعه‌یافته چندهدفه بر اساس جامعه مورچه‌ها ٥٠

٤-١-١- الگوریتم MOAQ ٥٠

٤-١-٢- الگوریتم Bi-criterian Ant ٥١

٤-١-٣- الگوریتم P-ACO ٥١

٤-١-٤- الگوریتم MACS ٥١

٤-١-٥- الگوریتم COMPETants ٥٢

٤-٢- طبقه بندی الگوریتمهای موجود ٥٢

٤-٣- ارزیابی و مقایسه کارایی الگوریتم های چندهدفه ٥٣

٤-٤- ساختار الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه پیشنهادی ٥٤

٤-٥- استراتژی‌های توسعه همگرایی و افزایش مرغوبیت جوابها ٥٨

٤-٥-١- فرایند ارتقا فرامان ٥٨

٤-٥-٢- دوباره سازی فرامان ٥٩

٤-٥-٣- فرایند کمترین مقدار فرامان مجاز ٦٠

٤-٥-٤- ترکیب روشهای بهترین در تکرار و بهترین در کل ٦٠

٤-٥-٥- تبادل تصادفی پاسخهای بهینه بین جوامع ٦٢

٥- کاربرد الگوریتم‌های توسعه یافته درحل مساله موازنه زمان - هزینه - کیفیت ٦٤

٥-١- شرح مساله بهینه‌سازی سه هدفه زمان-هزینه-کیفیت ٦٤

٥-١-١- مروری بر مدلهای موجود و اهمیت مدل مورد بررسی ٦٤

٥-١-٢- متغیرهای تصمیم در مساله زمان – هزینه – کیفیت ٦٦

٥-١-٣- توابع هدف در مدل زمان – هزینه – کیفیت ٦٧

٥-٢- مثال موردی اول ٦٩

٥-٢-١- شرح مثال موردی ٦٩

٥-٢-٢- صحت سنجی و مقایسه نتایج الگوریتم ٧١

٥-٢-٣- استفاده از الگوریتم پیشنهادی جامعه مورچه ها و نتایج ٧٢

٥-٣- مثال موردی دوم ٧٣

۵-۳-۱- شرح مثال موردی ۷۳
۵-۳-۲- کاربرد الگوریتم ژنتیک پیشنهادی(NAGA) در حل مثال موردی دوم ۷۶
۵-۳-۳- استفاده از الگوریتم چندجامعه‌ای مورچه‌ها(MPA-ACO) در حل مساله سه هدفه زمان-هزینه-کیفیت ۷۹
۵-٤- جمع‌بندی و مقایسه ۸۲
٦- نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۸۵
٦-۱- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۸۵
٦-۲- پیشنهادات ۸٦

فهرست جدول‌ها

جدول۲-۱- کاربردهای گزارش شده از الگوریتم بهینه سازی جامعه مورچه ها (اقتباس از Dorigo,۲۰۰٤) ۲۷
جدول ۳-۱- الگوریتمهای معروف بهینه سازی چند هدفه بر مبنای الگوریتم ژنتیک(اقتباس از .Konak et al) ٤٥
جدول ٤-۱- طبقه بندی الگوریتمهای چندهدفه جامعه مورچه ها ٥۲
جدول ٥-۱- مدلهای موجود که سعی در حل مسائل موازنه زمان –هزینه و زمان –هزینه –کیفیت داشته اند ٦٦
جدول ٥-۲- اطلاعات تفصیلی مثال موردی اول ۷۰
جدول ٥-۳- نتایج حاصل از کاربرد الگوریتم مورچه پیشنهادی در مقایسه با رویکرد MAWA توسط Zheng ۷۲
جدول ٥-٤- نمونه ۱٥ پاسخ از میان ۱۰۳ پاسخ غیرمغلوب بدست امده از اجرای الگوریتم ۷۳
جدول ٥-٥- گزینه های ممکن تخصیص منابع و اطلاعات مربوط به زمان، هزینه و کیفیت متناظر آنها
(اقتباس از El-Rayes et al. ۲۰۰٥) ۷٥

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱ نمونه ای از همکاری مورچه ها در حل مسایل(ساخت پل)..... ۹
شکل ۲-۲ نمونه رفتار واقعی مورچه ها ۱٤
شکل ۲-۳ گامهای لازم در یک فرآیند مدلسازی توسط ACO..... ۲۲
شکل ۲-٤ رفتار مورچه های مصنوعی در برخورد با مساله مسیریابی در مساله معروف پل که توسط نرم افزار antsim شبیه سازی شده است. ۲۳
شکل ۳-۱- روشهای رتبه بندی پارتو مورد استفاده در الگوریتمهای چندهدفه ژنتیک (اقتباس از .Konak et al) ۳۹
شکل ۳-۲- روشهای ایجاد پراکندگی و توزیع یکنواخت در رویه پارتو الگوریتم های چندهدفه ژنتیک
(اقتباس از .Konak et al) ٤۱
شکل ۳-۳- فلوچارت مراحل الگوریتم ژنتیک پیشنهادی..... ٤۷
شکل ٤-۱- در شکل (الف)، از آنجایی که هر کدام از مقادیر A حداقل بر یکی از مقادیر B غلبه می کنند، جواب A بر B برتری و مجموعهٔ A بر B ارجحیت دارد. در شکل (ب)، دو مجموعه جواب A و B غیر قابل مقایسه‌اند ۵۳
شکل ٤-۲- روند شماتیک تبادل تصادفی بین جوامع ۵۵
شکل ٤-۳- – فلوجارت الگوریتم پیشنهادی چندجامعه ای مورچه ها با سه جامعه زمان، هزینه و کیفیت ۵۷
شکل ۵-۱- سیر زمانی شیوه های قراردادی در دنیا ٦۵
شکل ۵- ۲- مدل بهینه سازی زمان – هزینه – کیفیت ٦۷
شکل ۵-۳- گراف معادل مساله بهینه سازی جهت مدلسازی الگوریتم جامعه مورچه ها..... ۷۱
شکل ۵-٤- شبکه تقدمی - تاخری فعالیتهای مثال موردی (اقتباس از .Hegazy et al) ۷٤
شکل ۵-۵- ساختار کروموزوم و ژن های الگوریتم NAGA..... ۷٦
شکل ۵-٦- رویه پارتو حاصل از حل مثال موردی (ب) توسط الگوریتم پیشنهادی NAGA..... ۷۷
شکل ۵-۷- کانتور پاسخهای غیرمغلوب حاصل از حل مثال موردی دوم توسط الگوریتم پیشنهادی NAGA ۷۸
شکل ۵-۸- رویه پارتو حاصل از حل مثال موردی دوم توسط الگوریتم پیشنهادی MPA-ACO..... ۸۰
شکل ۵- ۹-کانتور پاسخهای غیرمغلوب حاصل از حل مثال موردی (ب) توسط الگوریتم MPA-ACO..... ۸۱
شکل ۵- ۱۰- مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم NAGA با الگوریتم MPA-ACO ۸۲

فصل اول:
کلیات

۱ - کلیات

۱-۱- مقدمه

یکی از مهمترین جنبه های برنامه ریزی و کنترل پروژه های ساخت، آگاهی نسبت به موازنه بهینه بین اهداف مهم پروژه می باشد. تا کنون تحقیقات وسیعی در جهت حل مساله موازنه زمان-هزینه صورت گرفته است. بدون درنظر گرفتن هزینه بالاسری،کاهش زمان انجام فعالیتهای پروژه منجر به افزایش هزینه های پروژه خواهد شد که این امر به دلیل افزایش منابع تخصیص یافته جهت تسریع انجام فعالیتها می باشد. در حقیقت مدلهای زمان - هزینه به دنبال مجموعه راه حلهای بهینه از تخصیص منابع به فعالیتها می باشند که در هر یک از این جوابها، زمان و هزینه کمترین مقدار را دارا باشند.

با گذشت زمان و ظهور قراردادهای نوین مهندسی علاوه بر عوامل زمان و هزینه، عامل کیفیت نیز مطرح شده است. منظور نمودن عامل کیفیت با وجود مشکلاتی که در جهت کمی ساختن آن برای فعالیتهای پروژه های ساخت وجود دارد می تواند به مدیران پروژه ها کمک کند تا راه حلهایی را جستجو کنند که در عین کاهش زمان و هزینه پروژه سبب افزایش کیفیت آنها شود.

بهینه سازی زمان-هزینه-کیفیت یک روند انتخاب رویکردهای ساخت مناسب به منظور یافتن ترکیبهای بهینه زمان، هزینه و کیفیت جهت تحویل پروژه می باشد. نظر به اینکه یک رابطه سازش پنهان میان زمان، هزینه و کیفیت پروژه برقرار است, اینکه نتیجه فشرده سازی زمانبندی یک پروژه تا چه حد منجر به افزایش یا کاهش هزینه کل پروژه (هزینه های مستقیم و غیر مستقیم) و یا عملکرد کیفی آن می شود, دشوار است.

با توجه به گزارشهای اندک در زمینه موازنه سه هدفه زمان - هزینه - کیفیت به مرور اجمالی روشهای دو بعدی زمان - هزینه ارائه شده می پردازیم. در چند دهه اخیر روشهای مختلفی جهت بهینه سازی زمان و هزینه ساخت, ارائه شده است. آنها را می توان به طور کلی به دو دسته کاوشی[۱] و ریاضی[۲] تقسیم بندی نمود. نمونه هایی از روشهای کاوشی عبارتند از :

[۱] - heuristics
[۲] - mathematical

روش فوندال (Fondahl ۱۹۶۱)[۱۶] ، روش سازه ای پراگر (Prager ۱۹۶۳) [۴۷] ، مدل شیب هزینه مؤثر(الگوریتم زیمنس) (Siemens ۱۹۷۱) [۴۸] و روش سختی مصلحی (Moselhi ۱۹۹۳) [۴۰].

این روشها در نتیجه رویکرد عملی محققین با حل مسأله موازنه زمان-هزینه و تلاشهای شخصی آنان در ارائه الگوریتمهای مناسب در جهت حل مسأله بوجود آمده اند. به طور کلی می توان گفت:

"قوانین مورد نیاز برای توسعه منطقی و تحلیل این روشها با نتایج تجربی تأیید شده اند."[۴۸]

همچنین روشهای ریاضی ارائه شده جهت حل مسئله موازنه زمان-هزینه عبارتند از:

روش برنامه ریزی خطی (LP) (Kelly ۱۹۶۱, Henderickson۱۹۸۹,Pagnoni ۱۹۹۰) [۳۱, ۲۶, ۴۹] ، روش برنامه ریزی عدد صحیح (IP) (Mayer and Shaffer ۱۹۶۳, Patterson and Huber ۱۹۷۴) [۳۹, ۵۰] و روش برنامه ریزی ترکیبی خطی و عدد صحیح (Leu et al ۱۹۹۵.) [۳۵]. در هر یک از این روشها, مسأله موازنه زمان-هزینه با یک مدل برنامه ریزی ریاضی, بهینه سازی می شود. بهینه سازی موازنه زمان-هزینه به دلیل امکان انتخاب ترکیبی از گزینه های لازم برای انجام فعالیتها در هر زمان شدنی انجام پروژه, از نوع بهینه سازی ترکیبی[۳] و در زمره مسائل می بهینه سازی می باشد.

نقاط ضعف روشهای ریاضی و کاوشی در بسیاری از مواردمستند شده است [۵۶]. اما ضعف عمده این روشها, ناتوانی آنها در بهینه سازی همزمان بیش از یک هدف می باشد. آنچه ضروریست, یک روش بهینه سازی چند هدفه برای بهینه سازی زمان-هزینه (TCO) است, که امکان آزادی عمل بیشتر, جهت سیر میان راه حلهای ممکن به منظور کاهش احتمال افتادن در بهینه های محلی را داشته باشد [۳۳].

روشهای مورد استفاده در این تحقیق جهت بهینه سازی سه هدفه زمان - هزینه - کیفیت فراکاوشی بوده و ازمیان روشهای فراکاوشی روش چندجامعه ای مورچه ها مورد استفاده قرار گرفته است. الگوریتم بهینه سازی جامعه مورچه ها که در سال ۱۹۹۲ در قالب رساله آقای Dorigo مطرح شد. الگوریتم مورچه ها روشی است که در آن از رفتار طبیعی مورچه ها در یافتن نزدیک ترین راه جهت حمل غذا به لانه الهام گرفته شده است. در این پژوهش این ایده در قالب چندین جامعه از مورچه ها با هدفهای مختلف در کنار روشی جدید برای تبادل اطلاعات در حل مساله چندهدفه به کار گرفته شده است. مساله مورد نظر با الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک نیز بررسی خواهد شد.

[۳] -Combinatorial optimization

تحقیق حاضر با تبیین مدل سه هدفه موازنه زمان - هزینه - کیفیت به دنبال کشف جوابهای بهینه/نزدیک به بهینه در فضای جستجوی بسیار بزرگ -که به عنوان نمونه برای یک پروژه با تعداد ۱۸ فعالیت و ٤ گزینه تخصیص منابع برای هر فعالیت این فضا بیش از شش و نیم میلیارد حالت انتخاب خواهد داشت - خواهد پرداخت. جهت تحقق این امر از الگوریتم فراکاوشی چند جامعه مورچه ها استفاده شده و راهکارهایی جهت بهبود نتایج حاصله ارائه خواهد شد.

۱-۲- اهداف تحقیق

تا کنون الگوریتم های بسیاری در جهت حل مساله موازنه زمان - هزینه ارائه شده است. با این وجود گزارشهای اندکی در زمینه در نظر گرفتن عامل کیفیت در کنار زمان و هزینه به طور همزمان گزارش شده است. با ظهور قراردادهای نوین مهندسی که در آنها پارامتر کیفیت نیز مطرح می باشد. می توان گفت در آینده پروژه های ساخت توسط عواملی انجام خواهد شد که در کنار انجام سریع و کم هزینه آنها بتوانند کیفیت اجرا را نیز ارتقا دهند. یکی از اهداف تحقیق حاضر دخیل نمودن عامل کیفیت در پروژه های ساخت و مدل سازی حل چنین مساله ای برای رسیدن به موازنه ای سه هدفه می باشد.

از طرف دیگر، با توجه به کاربرد وسیع و موفقیت آمیز الگوریتم های فراکاوشی در حل مسائل پیچیده بهینه سازی, از اوایل دهه ۹۰ تحقیقات وسیعی در رابطه با کاربرد این الگوریتمها در بهینه سازی توابع چند هدفه صورت پذیرفته و در این راستا نتایج بسیار جالبی نیز گزارش شده است. اکثریت این الگوریتم ها مبتنی بر الگوریتم تکاملی ژنتیک می باشند. دیگر هدف تحقیق حاضر توسعه یک مدل بهینه سازی چند هدفه است, که از الگوریتم فراکاوشی جامعه مورچه ها بهره گرفته و به الگوریتم چند جامعه ای مورچه ها تعمیم داده شود. الگوریتم مورد نظر باید قابلیت لحاظ کردن سه هدف همزمان را با الگوهای متفاوت مبادله اطلاعات جوامع مورچه ها را داشته و در مساله موازنه زمان - هزینه - کیفیت کارا باشد.

۱-۳- محدوده کار

- تبیین تعاریف لازم در محدوده بهینه سازی چند هدفه و مقایسه نتایج الگوریتمهای بهینه سازی چندهدفه

- آشنایی با الگوریتمهای فراکاوشی علی الخصوص الگوریتم جامعه مورچه ها
- آشنایی با ساختار الگوریتم های موجود مبتنی بر الگوریتم ژنتیک
- آشنایی با ساختار الگوریتمهای موجود مبتنی بر الگوریتم مورچه ها
- ارائه الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک
- ارائه الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر جامعه مورچه ها
- پیشنهاد روشی جدید در تبادل اطلاعات بین جامعه مورچه ها
- صحت سنجی نتایج الگوریتمهای پیشنهادی

۱-٤- ساختار پایان‌نامه

پایان نامه حاضر در قالب شش فصل ارایه خواهد شد. فصل جاری به معرفی هدف تحقیق، محدوده کار و متدولوژی پژوهش پرداخته است. در فصل دوم الگوریتم فراکاوشی جامعه مورچه ها به عنوان یک رهیافت جدید در حل مسائل بهینه سازی تشریح خواهد شد. در فصل سوم با عنوان بهینه سازی چندهدفه، نخست تعاریف بهینه سازی چندهدفه که مستقل از نوع رهیافت فراکاوشی می باشند تبیین شده و سپس با دیدگاهی ساختارگرا روشهای موجود در بهینه سازی چندهدفه مبتنی بر الگوریتم ژنتیک مورد طبقه بندی و بررسی قرارگرفته است. در پایان این فصل الگوریتم پیشنهادی ژنتیک این تحقیق تشریح شده است. الگوریتم نوین بهینه سازی چندهدفه جامعه مورچه ها موضوع فصل چهارم این پژوهش می باشد. پس از معرفی الگوریتمهای موجود جامعه مورچه ها ساختار الگوریتم پیشنهادی و سیاستهای افزایش مرغوبیت نتایج الگوریتم مذکور ارائه خواهد شد. در فصل پنجم مساله موازنه زمان-هزینه-کیفیت و اهمیت آن تشریح شده و نتیجه کاربرد الگوریتمهای توسعه یافته مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و جامعه مورچه ها در حل مساله بهینه سازی سه هدفه زمان-هزینه-کیفیت گزارش خواهد شد. در نهایت فصل پایانی به ارائه نتیجه گیری و پیشنهادات تخصیص یافته است.

فصل دوم:
الگوریتم بهینه سازی فراکاوشی
جامعه مورچه ها

۲- الگوریتم بهینه سازی فراکاوشی جامعه مورچه ها

۲-۱- الگوریتمهای فراکاوشی

الگوریتم های فراکاوشی یک نام معمول برای روشهایی است که عموما برگرفته از طبیعت هستند. در ۲۰ سال گذشته، نمونه هایی از الگوریتم های حل تقریبی ایجاد شده است که اساساً سعی در ترکیب اصول اولیه روشهای کاوشی و رسیدن به یک جستجوی موثر و کارا در محدوده مورد نظر را دارد. امروزه این روشها عمدتاً به روشهای فراکاوشی موسوم هستند[۱۸]. واژه *Metaheuristic* ابتدا توسط Glover معرفی گردید که از دو واژه یونانی تشکیل شده است. کلمه *Heuristic* از فعل *Heuriskein* به معنی "*یافتن*" مشتق شده و پیشوند *Meta* نیز به معنی "*فرا*" و یا در "*سطحی بالاتر*" می باشد. پیش از معرفی این واژه، روشهای فراکاوشی به نام روشهای *کاوشی نوین*[٤] نامیده می شدند. *الگوریتم جامعه مورچه ها*[٥] و *محاسبات تکاملی*[٦] (شامل *الگوریتم ژنتیک*[٧]، *جستجوی موضعی تکراری*[٨]، *نورد شبیه سازی شده*[٩]، *جستجوی ممنوعه*[١٠] و ...) نمونه هایی از این روشها هستند. تا به امروز تعریف مشخص و جامعی از

[٤]- Modern Heuristic
[٥]- Ant Colony Optimization
[٦]- Evolutionary Computation
[٧]- Genetic Algorithm
[٨]- Iterated Local Search
[٩]- Simulated Annealing
[١٠]- Tabu Search

الگوریتم های فراکاوشی ارائه نشده است، اما به طور خلاصه می توان مشخصه های اساسی روشهای فراکاوشی را به صورت زیر بیان نمود[۱۸]:

۱- هدف اصلی در این روشها، کاوش موثر و کارآ در فضای جستجو به جای یافتن صرف جوابهای بهینه (یافتن جوابهای نزدیک به بهینه) می باشد.

۲- روشهای فراکاوشی سیاستها و راهکارهایی هستند که فرآیند جستجو را هدایت می نمایند.

۳- روشهایی که الگوریتم های فراکاوشی را پایه گذاری می نمایند از روشهای ساده جستجوی موضعی تا فرآیندهای پیچیده یادگیری، متغیر می باشند.

٤- الگوریتم های فراکاوشی تقریبی بوده و اغلب غیرقطعی هستند.

٥- این الگوریتم ها ممکن است با استفاده از مکانیزم هایی، از گیرافتادن در محدوده های محصور در فضای جستجو رهایی یابند.

٦- الگوریتم های فراکاوشی وابسته به نوع مساله نیستند.

۷- روشهای فراکاوشی پیشرفته تر، از تجربیات جستجو (به شکل حافظه) جهت هدایت جستجو استفاده می نمایند.

به طور خلاصه می توان گفت که الگوریتم های فراکاوشی راهکارهای پیشرفته ای جهت کاوش فضای جستجو با استفاده از روشهای مختلف هستند. نکته حائز اهمیت در این روشها، تعادل پویا بین *تشتط*[۱۱] و *تشدد*[۱۲] می باشد. واژه تشتط عموماً به کاوش فضای جستجو اشاره داشته و تشدد نشان دهنده بهره برداری از تجربیات انباشته شده جستجو می باشد و ایجاد تعادل بین این دو عامل بسیار مهم است. زیرا از یک طرف حرکت را به سمت محدوده هایی از فضای جستجو سوق می دهد که جوابهای مرغوب تری در آنها یافت شده اند و از طرف دیگر باعث عدم اتلاف زمان بیشتر در بخشی از فضای جستجو می گردد که پیش از آن کاوش شده و یا شامل جوابهای نامرغوب تری می باشد.

۲-۲- پایه و اساس بیولوژیکی

باوجود اینکه تنها ۲% از حشرات به صورت اجتماعی زندگی می کنند اما این تعداد حدود ۵۰% کل تعداد حشرات را تشکیل می دهند (Arnett ۱۹۸۵). این حشرات اجتماعی شامل مورچه ها، موریانه ها،

[۱۱]- Diversification
[۱۲]- Intensification

انواع زنبورهای معمولی و زنبورهای عسل و ... می باشند که در جوامعی که توسط اجزاء و افراد مختلف آنها ساخته شده اند زندگی می کنند. جوامع حشرات قادر به حل بهینه مسائل مختلفی می باشند که هر یک از اجزاء آنها به تنهایی این قابلیت را دارا نمی باشند. به عنوان نمونه می توان به یافتن کوتاهترین مسیر بین لانه و منبع غذایی، تخصیص وظایف در جامعه و دسته بندی در زمان سازماندهی اتاقکهای مربوط به بچه ها در کندوی زنبورها اشاره نمود. در خصوص مورچه ها علاوه بر یافتن کوتاهترین مسیر بین لانه تا منبع غذا می توان به ساختن پل در مسیرهای عبوری (شکل ۲-۱)، همکاری در حمل مواد حجیم و نیز کوچ کردن از یک محل به محل دیگر اشاره نمود. جامعه حشرات بیش از ۱۰۰ میلیون سال است که تجربه حل اینگونه مسائل را دارند.

شکل۲-۱ نمونه ای از همکاری مورچه ها در حل مسایل(ساخت پل)

در یک مجموعه حشرات جهت همکاری برای حل یک مساله، شکلی از ارتباط مورد نیاز است. این ارتباط می تواند مستقیم و یا غیر مستقیم باشد. به عنوان مثال زمانی که زنبوری یک منبع غذایی را پیدا کند با انجام رقصهای خاص، مسیر و فاصله منبع غذایی تا سایر زنبورها را نمایش می دهد (Von Frisch, ۱۹٦۷). این یک نمونه کاملاً مشهود از ارتباط مستقیم است که در این حالت سایر زنبورها از رقص زنبور مورد نظر مستقیماً محل و فاصله منبع غذایی را درک می کنند.

ارتباط غیر مستقیم بین افراد یک جامعه، زیرکانه تر بوده و نیاز به آن دارد که یکی از افراد با اصلاح و تغییر محیط، راهی برای هشدار به سایر افراد جهت عبور از این محیط اصلاح شده در مرحله بعد ایجاد نماید. یکی از این نمونه ها جایگذاری فرامان توسط نوع بخصوص مورچه ها است. وقتی مورچه ای به

دنبال غذا می گردد، در طول مسیر حرکت خود، ماده بوداری به نام فرامان از خود به جا می گذارد که سایر مورچه هایی که در جستجوی غذا هستند را تشویق (نه اجبار) به عبور از آن مسیر می نماید. این فرآیند اصلاح محیط جهت تشویق تغییر در رفتار برای ایجاد ارتباط، *Stigmergy* نامیده شده که اولین بار توسط (۱۹۵۹) Grasse معرفی گردید.

Stigmergy پایه و اساس سازماندهی در بسیاری از جوامع مورچه هاست. در حالیکه مورچه ها عموماً یک ملکه دارند که وظیفه آن تخمگذاری است و مسئولیتی در قبال سازماندهی جامعه ندارد، اما آنها یک جامعه خود نظم هستند. واژه خود *نظم*[۱۳] (SO) جهت تشریح رفتارهای پیچیده ای مورد استفاده قرار می گیرد که از تقابل عواملی ساده ایجاد می شوند. بر پایه این خصوصیت، مورچه ها در مقابله با مسائل روزمره قابلیت حل آنها را پیدا می کنند. یکی از فوائد مهم این ویژگی در آن است که یک جامعه مورچه حتی در صورتیکه تعداد زیادی از مورچه ها قابلیت مشارکت خود را در طول زمان از دست دهند باز هم رفتار معنی داری از خود نشان خواهد داد.

جهت فهم بهتر مکانیزم فرآیند یافتن کوتاهترین فاصله بین لانه تا منبع غذایی توسط یک جامعه مورچه، آزمایشات زیادی توسط Goss و همکارانش در سال ۱۹۸۹، Denenburg و همکارانش در سال ۱۹۹۰، صورت گرفت. در یکی از آزمایشات (Denenburg et al. ۱۹۹۰) [٦٤] از یک مسیر *پل مزدوج*[۱۴] بین لانه و محل غذا که هر دو مسیر دارای یک طول بودند استفاده شد.

برای شروع کار، مورچه ها جهت یافتن غذا رها شدند. درصد مورچه هایی که هر کدام از دو مسیر را انتخاب نمودند در طول زمان اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که پس از مقداری نوسان در ابتدای کار، مورچه ها به سمت یکی از مسیرها (با یک احتمال مساوی در تکرارهای مختلف) همگرا شدند. در ابتدای آزمایش، هیچ فرامانی بر روی مسیرها موجود نبوده و انتخاب هر یک از مسیرها با احتمال مساوی صورت می گیرد. ویژگی تصادفی انتخاب مسیر، پس از مرحله ابتدایی باعث آن شد که مورچه های بیشتری یکی از مسیرها را انتخاب نمایند. در طول عبور مورچه ها، میزان فرامان جایگذاری شده افزایش یافته و نهایتاً مقدار فرامان در یک مسیر بسیار بیشتر از مسیر دیگر می شود. این عمل باعث عبور بیشتر مورچه ها از آن مسیر می گردد.

[۱۳] Self Organized
[۱۴] Double Bridge