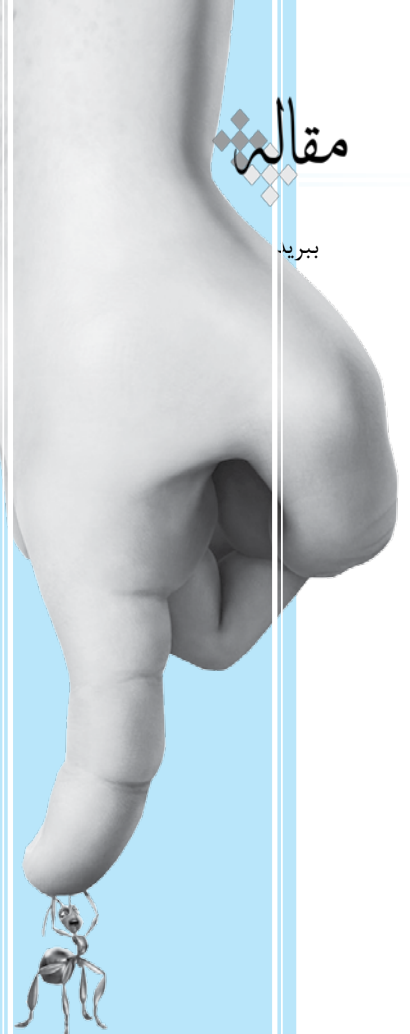


ترجمه و تالیف:

کامبیز فرقاندوست حقیقی\*

توحید کاظمی\*\*

# الگوریتم مورچه‌ها در علوم مالی



## مقدمه

امروزه دنیای علم در حل مسائل خود به الهام از طبیعت تمایل یافته است. ایده‌ی طراحی این روش‌ها که با نام "الگوریتم‌های فراابتکاری" معروف‌اند از منابع متنوعی چون عملکرد نورون‌ها، فرایند تکاملی، مدل‌های تعامل اجتماعی میان موجودات زنده و سامانه‌ی ایمنی بدن سرچشمه می‌گیرد. در این میان "الگوریتم مورچگان" به عنوان فن حل مسئله از رفتار مورچه‌های طبیعی الهام می‌گیرد. این الگوریتم زیرگروهی از "هوش انبوه‌زی" است که بر اساس میزان فرومون ترشح یافته توسط مورچه بر اجزاء راه حل عمل می‌کند و با به‌هنگام‌رسانی راه حل اولیه در هر تکرار الگوریتم امکان دستیابی به جواب بهینه‌تر را فراهم می‌سازد.

با توجه به گسترش کاربرد الگوریتم‌های فراابتکاری در حوزه‌های مالی و متناسب بودن الگوریتم مورچگان در حل مسائل گسسته

است، از ترکیب سه الگوریتم "جمعیت‌مدار"، "بهینه‌سازی" و "دسته‌بندی" شکل گرفته است. از جمله محاسن این الگوریتم "بازخورد مثبت" و "پردازش توزیع یافته" است. بازخورد مثبت موجب کشف سریع جواب مناسب می‌شود و پردازش توزیع یافته از همگرایی زودرس به جواب بهینه جلوگیری می‌کند (ح. توحیدی و دیگران، ۱۳۸۶). در مقاله‌ی حاضر دو الگوریتم غذاجویی و دسته‌بندی مورچه بررسی می‌شود.

## الگوریتم غذاجویی مورچه

یکی از روش‌های تغییر محیط برای ایجاد ارتباط میان اعضا (ارتباط غیرمستقیم)، علامت‌گذاری توسط ترشح نوارهای هورمونی است. به طور طبیعی مورچه‌ها هنگام راه‌پیمایی مقدار مشخصی فرومون در مسیر

مقاله‌ی حاضر به معرفی، تشریح و بررسی کاربردهای آن در مسائل مالی می‌پردازد.

## الگوریتم مورچگان

الگوریتم مورچگان به عنوان یکی از فنون حل مسئله از زندگی طبیعی مورچه‌ها الهام می‌گیرد. این روش اولین بار در ۱۹۹۲ توسط مارکو دوریگو در پایان‌نامه‌ی دکترای وی برای حل مسئله‌ی فروشنده‌ی دوره‌گرد مطرح شد. این الگوریتم که زیر گروه "هوش انبوه‌زی"

شده روی قطعه‌ی مذبور، وابسته است. قطعه‌ی بهتر، حاوی فرومون بالاتری خواهد بود.

احتمال انتخاب قطعه‌ی  $i$  از میان یک مجموعه از قطعات راه حل، توسط مورچه‌ی عضو گروه با در نظر گرفتن دو متغیر  $Ti$  (کیفیت فرومون قطعه  $i$ ) و  $kT$  (کیفیت فرومون هر یک از قطعات مجموعه) تعیین می‌شود.

پس از طراحی راه حل مسئله توسط مورچه‌ها، فرومون ترشح شده طی دو مرحله "ترشح" و "تبخیر" در معادله‌ای به‌هنگام می‌شود (A. Brabozan, et al, ۲۰۰۶). در این معادله، تخصیص ضریب منفی به متغیر نرخ تبخیر، احتمال کشف راه حل بهتر، مناسب‌تر و متفاوت‌تر را افزایش می‌دهد.

## کاربرد مالی الگوریتم غذاجویی مورچه

مسئله در یک فضای دو بعدی به صورت "بهترین زمان اعمال اختیار معامله سهام" تعریف می‌شود. در این مسئله محور عمودی نماینده‌ی قیمت دارایی، محور افقی نماینده‌ی زمان و هر نقطه نماینده‌ی قیمت دارایی مورد نظر در تاریخ متناظر است. اختیار معامله از نوع قابل اعمال قبل از سررسید است و نقطه‌ی بهینه، بهترین زمان اعمال اختیار معامله است.

دارنده‌ی اختیار معامله می‌تواند با تعیین سود مورد نظر یا بازه‌ی زمانی اعمال اختیار، فضای جواب مسئله را محدود کند. محدودیت مسئله به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$V_{def} \leq X - S \leq V_{opt}$$

که در آن،  $V_{def}$  نماینده ارزش اولیه،  $V_{opt}$  نماینده ارزش بهینه،  $X$  قیمت تعیین شده،  $S$  ارزش دارایی و  $X-S$  نیز نماینده سود است.

## مدل مورچه

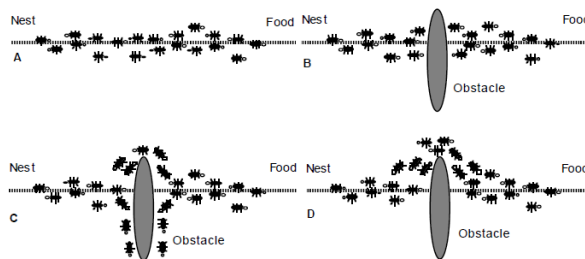
الگوریتم با تزریق مورچه‌ها از "تاریخ روز"، به صفحه‌ی دو بعدی آغاز می‌شود. در این مرحله نقاط دارای ارزش غیر صفر اولیه هستند و مورچه‌ها مسیرهای تصادفی را به سمت مقصد نامشخص می‌پیمایند. احتمال حرکت مورچه  $k$  از نقطه  $r$  به نقطه‌ی  $s$  با استفاده از شکل توسعه یافته‌ی معادله اساسی الگوریتم غذاجویی مورچه و با توجه به ماهیت و محدودیت‌های مسئله قابل تعریف است. این معادله با توجه به متغیرهای زیر توسعه می‌یابد:

مقدار فرومون، تفاوت ارزش سهام بین دو نقطه، مقیاس ارتباط بین کیفیت فرومون و ارزش سهام.

طی این پیمایش مورچه با توجه به محدودیت مسئله، بهترین نقطه را شناسایی می‌کند و عمل به‌هنگام‌رسانی را انجام می‌دهد. این به‌هنگام‌رسانی را "به‌هنگام‌رسانی جزئی" می‌گویند. مورچه بهترین نقطه‌ی شناسایی شده در مسیر را گزارش می‌کند. بهترین نقاط یافته شده در تمام مسیرها با یکدیگر مقایسه می‌شوند. بهترین نقطه و بهترین

حرکت خود ترشح می‌کنند. از طرفی با درک محیط به پیروی از مسیر پر فرومون‌تر تمایل دارند. با استفاده از این رفتار ابتدایی می‌توان تشریح کرد که مورچه‌ها چگونه کوتاه‌ترین مسیر را انتخاب می‌کنند.

هنگامی که مورچه به دنبال یک منبع غذایی می‌گردد، هریک از مورچه‌های عضو، نواری مستقیم از هورمون شیمیایی فرومون را از لانه تا منبع غذای از خود ترشح می‌کند (شکل A۱). زمانی که مانعی در مسیر حرکت مورچه‌ها قرار می‌گیرد، نوار فرومون را قطع می‌کند (شکل B۱). مورچه‌های پیشرو قادر به ردیابی نوار فرومون قبلی نخواهند بود لذا به طور اتفاقی یکی از دو مسیر کوتاه یا بلند را انتخاب می‌کنند. در این حالت می‌توان فرض کرد نیمی از مورچه‌ها مسیر کوتاه‌تر و نیمی دیگر مسیر بلندتر را طی خواهند کرد (شکل C۱). به دلیل تراکم بیشتر مورچه‌ها در مسیر کوتاه‌تر، فرومون با سرعت و قوت بیشتری ترشح می‌شود. در نتیجه غلظت فرومون ترشح شده در مسیر کوتاه‌تر در هر بازه‌ی زمانی بیشتر از غلظت فرومون ترشح شده در مسیر بلندتر خواهد بود. بدین ترتیب تعداد بیشتری از مورچه‌ها مسیر کوتاه‌تر را ترجیح می‌دهند و طی این بازخورد مثبت همه‌ی مورچه‌ها به سرعت به سمت مسیر کوتاه‌تر سوق داده می‌شوند (شکل M. Dorigo, et al (D, ۱۹۹۷). با عبور مورچه‌ها از مسیر نزدیک‌تر، فرومون این مسیر به عنوان مسیر بهتر تقویت می‌شود و بر کیفیت و غلظت آن افزوده می‌شود ولی فرومون مسیر دورتر، تبخیر می‌شود و از کیفیت آن کاسته می‌شود.



شکل (۱) - رفتار غذاجویی مورچه‌ها (M. Dorigo, et al, ۱۹۹۷)

با بهره‌گیری از رفتار غذاجویی مورچه، الگوریتم‌هایی با اهداف بهینه‌سازی طراحی می‌شود که به آن Ant Colony Optimisation می‌گویند. در این الگوریتم مجموعه‌ای از مورچه‌های مصنوعی به صورت اتفاقی راه‌حلی برای مسئله طراحی می‌کنند. این مورچه‌ها برای طراحی راه‌حل از نوار مصنوعی فرومون که در روند الگوریتم تغییر می‌یابد استفاده می‌کنند. هر راه حل از قطعات جداگانه‌ای تشکیل می‌شود. طی مرحله‌ی طراحی، هر مورچه با استفاده از ترکیب این قطعات، راه‌حل کامل را طراحی خواهد نمود.

در ابتدای الگوریتم، تمام قطعات راه‌حل دارای ارزش غیر صفر هستند. انتخاب قطعه برای ساخت راه‌حل توسط مورچه به کیفیت فرومون ترشح

مورچه شناسایی می‌شود. بهترین مورچه، مورچه‌ای است که بهترین نقطه را شناسایی نموده است. به‌هنگام رسانی کلی توسط بهترین مورچه صورت می‌پذیرد. پس از پیمایش کامل و به‌هنگام رسانی کلی تفاوت میان فرومون‌ها ظاهر می‌شود.

در تکرارهای بعدی الگوریتم مورچه‌ها با درک اثر فرومون به سمت بهترین نقطه هدایت می‌شوند. الگوریتم تا یافتن بهینه‌ترین جواب ادامه می‌یابد (S. Kumar, etal, ۲۰۰۸).

### الگوریتم دسته‌بندی

الگوریتم‌های دسته‌بندی متعددی با الهام گرفتن از رفتار مورچه‌ها طراحی شده‌اند. اساس طراحی این الگوریتم برداشت بسیار ساده‌ای از دو عمل "برداشتن" و "انداختن" شی توسط مورچه و دسته‌بندی اشیاء در گروه‌های مشابه است. برای مثال می‌توان به دسته‌بندی لاروها براساس اندازه در گروه‌های مشابه و رفتار ازاله جسد (جمع‌آوری اجساد) اشاره کرد.

به شرح زیر می‌توان از عمل "برداشتن" و "انداختن" مورچه‌های واقعی، در طراحی الگوریتم دسته‌بندی استفاده کرد.

رفتار مورد نظر در یک مجموعه از بردارهای  $n$  بعدی، بررسی می‌شود. ابتدا لازم است یک معیار اندازه‌گیری برای فاصله تعریف شود. بدین ترتیب سعی می‌شود تا فضای  $n$  بعدی به نحوی در یک صفحه‌ی دو بعدی پیاده شود که بردارهای همسایه در فضای  $n$  بعدی،

در صفحه‌ی دو بعدی نیز هم‌چنان همسایه باشند.

بردارها در صفحه به صورت نامرتب و به شکل نقاط دو بعدی پراکنده‌اند. مورچه‌ها براساس قاعده‌ی ساده‌ی "بردار" و "رها کن" برنامه‌ریزی شده‌اند. به طوری که عمل "برداشتن" را در

صورت عدم وجود نقطه‌ی مشابه در همسایگی نقطه‌ی مورد نظر و عمل "انداختن" را زمانی انجام می‌دهند که به یک همسایگی از نقاط مشابه نقطه‌ی موردنظر برسند. طی فرایند "برداشتن" و "انداختن" مورچه‌ها تا حد امکان سعی می‌کنند تا طرح اولیه از صفحه‌ی دو بعدی حاوی نقطه‌ها را به صورتی تغییر دهند که نقاط مشابه در یک مجموعه دسته‌بندی شوند.

### مدل مورچه:

این الگوریتم بر اساس مدل‌های دنبورگ طراحی شده است که ایده‌ی زیر را محقق می‌سازد:

در صورتی که در همسایگی نقطه‌ی  $i$  نقاط مشابه دیگری وجود نداشته باشد، نقطه‌ی  $i$  "برداشته" می‌شود و در همسایگی نقاط مشابه "انداخته" می‌شود.

### مدل دنبورگ

براساس این مدل، مورچه‌ها در یک صفحه‌ی دو بعدی  $X$  و  $Y$  به طور نامنظم از محل استقرار خود در یکی از ۴ جهت راست، چپ، بالا و پایین حرکت می‌کنند. اگر یک مورچه بی‌بار با یک جسد روبه‌رو شود احتمال "برداشتن" آن با  $ppick$  و در تکرار بعدی الگوریتم احتمال "انداختن" آن با  $pdrop$  نشان داده می‌شود. هر یک از این احتمالات با در نظر گرفتن تراکم اشیاء و نقاط مشابه نقطه‌ی  $i$  به عنوان یکی از متغیرهای اساسی به عنوان عدد آستانه و

احتمال برخورد هر یک از مورچه‌ها در یک واحد زمانی با یک نقطه‌ی مشابه نقطه‌ی  $i$  به عنوان متغیر دیگر تعریف می‌شوند.

### کاربرد مالی الگوریتم دسته‌بندی

مسئله به صورت "پیش‌بینی ورشکستگی شرکت‌ها" تعریف می‌شود. یک مجموعه از ۱۷۸ شرکت انتخاب شده‌اند که در این مجموعه هر شرکت ورشکسته با یک شرکت در حال فعالیت متناظر شده است. این تناظر براساس صنعت، اندازه‌ی شرکت (درآمد فروش سه سال قبل از ورشکستگی) انجام شده است. ورشکستگی در این مجموعه بر اساس مدل آلتمن تعریف می‌گردد و بردارها در فضای پنج بعدی برای هر شرکت تعریف می‌شود. بردارها به صورت نقاط در صفحه‌ی دو بعدی پیاده می‌شوند. مجموعه‌ی متشکل از ۸۹ زوج شرکت، به شکل داده‌هایی به طور نامرتب در صفحه پراکنده شده‌اند. هر مؤسسه در فضای دو بعدی توسط ۱ نقطه‌ی  $O_i$  نشان داده می‌شود. این نقاط به طور اتفاقی در سطح صفحه پراکنده و طی اجرای الگوریتم در گروه‌های مشابه دسته‌بندی می‌شوند.

طی طراحی الگوریتم مناسب برای حل مسئله‌ی مذکور می‌توان کاربرد مدل دنبورگ را با افزودن مقیاس عدم تجانس یا مقیاس فاصله عمومیت بخشید. بدین منظور مدل لومر و فائیتا ۱۲ تعریف می‌شود. به منظور تشریح این مدل دو شی  $O_i$  و  $O_j$  را در نظر بگیرید. می‌توان فرض کرد مورچه در نقطه‌ی  $r$  در زمان  $t$  مستقر است. در همین نقطه مورچه با شی  $O_i$  مواجه می‌شود. تراکم موضعی شی  $O_i$  در نقطه‌ی  $r$  با در نظر گرفتن متغیرهای فاصله‌ی میان دو شی  $O_i$  و  $O_j$  و ضریب تعادلی عدم تجانس میان اشیاء، محاسبه می‌شود.

در شروع الگوریتم تعداد ثابتی از مورچه‌ها در صفحه‌ی دو بعدی مستقر می‌شوند، در



- توانایی الگوریتم مورچگان در انجام محاسبات توزیع یافته
- انعطاف پذیری این الگوریتم در ترکیب با سایر الگوریتم‌ها.

امروزه مطالعات انجام شده بر روی الگوریتم مورچگان بر حوزه‌های مختلف بانکداری، تجارت الکترونیک، بازاریابی، کشف تقلب، مدیریت و تحلیل ریسک، زنجیره‌ی تأمین و پردازش شبکه‌ای سرایت کرده است. علاوه بر این با توجه به رفتار غذاجویی مورچه، پیروی از رد فرومون و انتخاب مسیر کوتاه‌تر، ماهیت صرفه‌جویی و بهره‌وری در طبیعت به خوبی مورد توجه قرار گرفته است که می‌تواند در سایر موارد به خوبی الگوبرداری شود. این امر خود مؤید توانایی‌های این الگوریتم و علاقه دنیای تجارت نسبت به استفاده‌ی هر چه بیشتر از مزایای این الگوریتم است. در اینجا لازم می‌داند خاطر نشان نماید که در زمینه‌های مشابه کارهایی در ایران انجام شده که از میان آنها موضوع "موانع به کارگیری NNA در حسابرسی مستقل" قابل تصریح است.

\* عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز  
\*\* دانشجوی کارشناسی ارشد حسابداری

## منابع و مآخذ

- در تهیه‌ی این مقاله از مآخذ [۶] استفاده‌ی زیادی شده است.
- [۱] م.م. سپهری، "آشنایی با الگوریتم مورچگان و کاربردهای آن"، انتشارات فرهنگ منهای، تهران، ۱۳۸۷.
  - [۲] م. مترلینگ، "نبور غسل، مورچگان و موریانه"، ۱۳۸۶، نگارستان کتاب، ۲۶۸-۲۶۸.
  - [۳] ی. باقری، "مکان‌یابی با استفاده از الگوریتم مورچگان"، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه تهران، دانشکده مدیریت، پاییز ۱۳۸۷.
  - [۴] ح. توحیدی، ح. نظام آبادی پور و سعید سریزدی، "انتخاب ویژگی با استفاده از الگوریتم جمعیت مورچگان باینری"، هشتمین کنفرانس سیستم‌های هوشمند، دانشگاه فردوسی مشهد، شهریور ۱۳۸۶.
  - [۵] یادداشت‌هایی از کلاس آقای دکتر کامبیز فرقاندوست حقیقی.
  - [6] A. Brabozan and M. O'Neill. "Biologically Inspired Algorithms for Financial Modeling", Springer, New York, 2006.
  - [7] S. Kumar, K. Thulasiram and P. Thulasiram, "A Bioinspired Algorithm to Price Options", ACM, Montreal, QC, Canada, 2008, May 12-13
  - [8] M. Dorigo and L. M. Gambardella, "Ant colonies for the traveling salesman problem", Accepted for publication in BioSystems, 1997.
  - [9] "Bio-Inspired Business Systems", www.softcomputing.net, march, 12, 2009.

- هر تکرار الگوریتم هر مورچه ممکن است:
- حامل نقطه Oi باشد:

- (۱) نقطه‌ی Oi را در همسایگی یک منطقه‌ی خالی "می‌اندازد"
  - (۲) نقطه‌ی Oi را در همسایگی نقاط مشابه "می‌اندازد"
  - (۳) نقطه‌ی Oi را در همسایگی یک گروه از نقاط مشابه "می‌اندازد"
- مورچه حامل نقطه‌ی Oi نباشد:
  - (۱) نقطه‌ی Oi را که در همسایگی نقاط مشابه قرار ندارد "برمی‌دارد"
  - (۲) نقطه‌ی نامشابه را از همسایگی گروه نقاط مشابه "برمی‌دارد".
- الگوریتم به نحوی عمل می‌کند که فاصله میان دسته‌های مشابه کم‌تر از فاصله میان دسته‌های مختلف باشد. طی اجرای الگوریتم، به دلیل این که اعضای مشابه نزدیک هم گردآوری شده‌اند، طی شکل‌گیری دسته‌ها، احتمال "برداشتن" نقاط کاهش می‌یابد. خروجی الگوریتم یک نقشه دیداری از تک تک مؤسسات است که در گروه‌های مشابه دسته‌بندی شده‌اند (A. Brabozan, et al, ۲۰۰۶).

## نتیجه‌گیری

- سه ویژگی مهم زیر بر قابلیت حل مسئله الگوریتم مورچگان در دنیای واقعی، متغیر و پیچیده امروز می‌افزاید:
- گستردگی محیط‌های مبتنی بر فناوری اطلاعات

