

# الگوریتم‌های تکاملی و محاسبات زیستی

(ویراست دوم)

نویسندگان:

دکتر محمد صنیعی آباده

(عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت مدرس)

مهندس زهره جبل عاملیان

نیاز دانش



## پیشگفتار

در سال‌های اخیر، استفاده از الگوریتم‌های تکاملی و دیگر فرامکاشف‌های زیستی، برای حل مسائل گوناگون جستجو و بهینه‌سازی‌های پیوسته و گسسته، به طور شگفت‌آوری رشد فزاینده‌ای داشته است. مهمترین عاملی که سبب شده است استفاده از این الگوریتم‌ها به این اندازه مورد توجه جوامع علمی مختلف باشد، سادگی اعمال شدن و کاربرد آنها برای حل مسائل با ماهیت بسیار متفاوت است.

الگوریتم‌های فرامکاشف‌های، همانند روش‌های تکاملی و دیگر الگوریتم‌های ملهم از طبیعت، الگوریتم‌هایی هستند که جواب‌هایی با کیفیت بالا و در زمانی قابل قبول برای مسائل جستجوی بسیار پیچیده ارائه می‌نمایند. هر چند استفاده از این الگوریتم‌ها هیچ‌گونه ضمانتی را برای یافتن پاسخ بهینه به دست نمی‌دهد، لیکن توانایی بی‌بدیل این الگوریتم‌ها در کشف پاسخ‌های نزدیک به بهینه در زمانی نسبتاً کوتاه، موجبات شهرت فراوان آنها را فراهم ساخته است.

امروزه، از این الگوریتم‌ها برای حل بسیاری از مسائل جستجو و بهینه‌سازی در طیف وسیعی از علوم متنوع بهره‌برداری می‌شود. این الگوریتم‌ها، در پروژه‌های تحقیقاتی، پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد و رساله‌های دکتری خیلی از رشته‌ها از قبیل مهندسی کامپیوتر، برق، مکانیک، عمران، صنایع، ریاضیات، فیزیک، شیمی، کشاورزی، اقتصاد، مدیریت و غیره به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

با رجوع به مقالات و پژوهش‌های بسیار جدید، مشاهده می‌شود که تعداد الگوریتم‌های فرامکاشف‌های مبتنی بر رفتار زیست‌شناختی موجودات رشد چشمگیری داشته است. الگوریتم‌های مبتنی بر زندگی کرم‌های شب‌تاب، گربه‌سانان، مگس‌های میوه، فاخته‌ها، خفاش‌ها و میگوها تنها چند نمونه از فرامکاشف‌های جدید ارائه شده هستند. متأسفانه، با وجود رشد چشمگیر این الگوریتم‌ها، هیچ کتابی به زبان فارسی و یا حتی لاتین نمی‌توان یافت که توانسته باشد به نحوی شایسته به تشریح عملکرد رفتاری و نیز تفاوت الگوریتم‌های زیستی پرداخته باشد.

با توجه به مطالب مطرح شده، نیاز به منبعی که بتواند پاسخ‌گوی پرسش‌های بی‌شمار دانشجویان در این حوزه بوده و نیز قادر باشد به عنوان مرجعی قابل اعتماد جهت معرفی توسط اساتید محترم دروس پردازش تکاملی و محاسبات زیستی مورد استفاده قرار گیرد، بیش از پیش احساس می‌شود. کتاب حاضر به عنوان پاسخی به این نیاز ارائه شده است.

مهمترین ویژگی‌های این کتاب، که آن را در مقایسه با تمام کتاب‌های مشابه داخلی و حتی خارجی منحصر به فرد ساخته است، عبارتند از:

۱- ارائه ۴۵ روش جستجوی فرامکاشفه‌ای که عبارتند از:

۱-۱ الگوریتم‌های جستجوی فرامکاشفه‌ای پایه شامل (۲ روش): جستجوی تپه‌نوردی و جستجوی تصادفی (این الگوریتم‌ها در فصل اول ارائه شده‌اند).

۲-۱ الگوریتم‌های تکاملی شامل (۱۲ روش): الگوریتم ژنتیک، برنامه‌نویسی ژنتیک، استراتژی تکامل، برنامه‌نویسی تکاملی، تکامل تفاضلی، الگوریتم ممتیک، الگوریتم فرهنگی، الگوریتم ژنتیک تاگوچی، الگوریتم هم‌تکاملی، الگوریتم تکاملی دیپلوئیدی، بهینه‌سازی تولیدمثل غیرجنسی و سیستم ایمنی مصنوعی (این الگوریتم‌ها در فصل سوم ارائه شده‌اند).

۳-۱ فرامکاشفه‌های زیستی شامل (۲۲ روش): بهینه‌سازی کلونی مورچگان، کلونی زنبور مصنوعی، بهینه‌سازی کلونی موربان، بهینه‌سازی کندوی زنبورعسل، بهینه‌سازی جامعه علامت-محور، بهینه‌سازی ازدحام ذرات، الگوریتم رقابت استعماری، الگوریتم کرم شب‌تاب، الگوریتم قورباغه جهنده، بهینه‌سازی ازدحام گربه‌ها، الگوریتم بهینه‌سازی مگس میوه، الگوریتم بهینه‌سازی فاخته، الگوریتم بهینه‌سازی غذایابی باکتری، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ماهی‌ها، الگوریتم خفاش، بهینه‌سازی گله شیرها، بهینه‌سازی جستجوی گروهی، بهینه‌سازی گروه میگوها و جستجوی شکار، الگوریتم تکامل گرادیان، جستجوی جانداران همزیست و الگوریتم رقابت لیگ فوتبال. (این الگوریتم‌ها در فصل پنجم ارائه شده‌اند).

۴-۱ فرامکاشفه‌های غیرزیستی شامل (۹ روش): تبرید شبیه‌سازی شده، الگوریتم جستجوی گرانشی، الگوریتم بهینه‌سازی مغناطیسی، بهینه‌سازی افراطی، جستجوی هارمونی، الگوریتم جستجوی گردابی، جستجوی ممنوعه، جستجوی پراکنده و جستجوی محلی مکرر (این الگوریتم‌ها در فصل ششم ارائه شده‌اند).

۲- معرفی یک طبقه‌بندی جدید برای الگوریتم‌های زیستی (روش‌های مبتنی بر هوش جمعی) شامل: الگوریتم‌های علامت-محور و الگوریتم‌های تقلید محور. این طبقه‌بندی به همراه لیست الگوریتم‌های مربوط به هر طبقه در فصل اول به تفصیل تشریح شده است.

۳- معرفی یک طبقه‌بندی جدید برای الگوریتم‌های غیرزیستی شامل: الگوریتم‌های مبتنی بر علم فیزیک و سایر الگوریتم‌های زیستی. این طبقه‌بندی به همراه لیست الگوریتم‌های مربوط به هر طبقه در فصل اول توضیح داده شده است.

۴- ارائه یک شبه‌کد استاندارد برای تمام ۴۵ الگوریتم فرامکاشفه‌ای ارائه شده در کتاب. منظور از شبه‌کد استاندارد این است که با رعایت یک سری اصول مشخص در نوشتن شبه‌کدها، سعی شده است که به خواننده کتاب برای درک هر الگوریتم و امکان مقایسه تفاوت‌های آن با دیگر الگوریتم‌ها کمک شود.

۵- استفاده از مراجع متعدد، معتبر و بسیار جدید در تبیین هر چه بهتر الگوریتم‌های مطرح شده در کتاب (چندین الگوریتم فرامکاشفه‌ای مطرح شده در کتاب بسیار جدید بوده و برای اولین بار، طی سال‌های ۲۰۱۱ الی ۲۰۱۵ ارائه شده‌اند).

این کتاب در سه بخش به تشریح الگوریتم‌های تکاملی و محاسبات زیستی می‌پردازد. در بخش اول که از یک فصل با عنوان الگوریتم‌های جستجو تشکیل شده است، خواننده کتاب با مفاهیم پایه‌ای مربوط به انواع روش‌های جستجو آشنا می‌شود و مخصوصاً راه تحلیل درست الگوریتم‌های جستجوی فرامکاشفه‌ای را با توجه به دو قابلیت پوی<sup>۱</sup> و انتفاع<sup>۲</sup> فرا می‌گیرد. بخش دوم کتاب، الگوریتم‌های تکاملی را مورد بحث و بررسی قرار می‌دهد. این بخش، خود شامل فصل‌های دوم و سوم است. فصل دوم، به تشریح مفاهیم بنیادین پردازش تکاملی پرداخته و خواننده کتاب را با وجه اشتراک همه فرامکاشفه‌های تکاملی آشنا می‌کند. انواع مختلفی از فرامکاشفه‌های تکاملی در فصل سوم تشریح شده‌اند. در نهایت بخش سوم کتاب، به محاسبات زیستی اختصاص یافته است. این بخش از سه فصل چهارم، پنجم و ششم تشکیل شده است. در فصل چهارم، مباحث کلیدی مرتبط با رفتار اجتماعی خودسازمانده و هم‌افزا در موجودات، تحت عنوان هوش جمعی ارائه شده است. فصل پنجم به ارائه انواع گوناگون روش‌های جستجوی زیستی پرداخته است. در نهایت فصل ششم، به منظور درک هر چه روشن‌تر الگوریتم‌های زیستی و تفاوت آنها با سایر الگوریتم‌ها، اقدام به تشریح روش‌های جستجوی فرامکاشفه‌ای غیرزیستی نموده است.

به یقین، این کتاب خالی از اشکال و خطا نیست. پس مزید امتنان است تلاش خوانندگانی که ما را از طریق ناشر، از این اشکالات و خطاها مطلع می‌نمایند. در انتها امیدواریم که مطالب این کتاب بتواند پاسخ‌گوی نیاز اساتید، دانشجویان و افراد علاقمند به روش‌های جستجوی فرامکاشفه‌ای باشد و موجبات تعالی دانش آنها را در این حوزه فراهم سازد.

محمد صنیعی آباده

تابستان ۱۳۹۴

<sup>۱</sup> Exploration

<sup>۲</sup> Exploitation



## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱۳	<b>بخش اول: مفاهیم پایه</b>
۱۵	<b>فصل اول: الگوریتم‌های جستجو</b>
۱۵	۱-۱ مقدمه
۱۵	۲-۱ انواع الگوریتم‌های جستجو
۱۶	۱-۲-۱ جستجوی تحلیلی
۱۷	۲-۲-۱ جستجوی ناآگاهانه
۲۰	۳-۲-۱ جستجوی آگاهانه
۲۲	۳-۱ الگوریتم‌های فرامکاشفه‌ای
۲۲	۱-۳-۱ فضای جستجو و دورنمای برازش
۲۴	۲-۳-۱ قابلیت‌های پویا و ارتفاع
۳۱	۳-۳-۱ طبقه‌بندی الگوریتم‌های فرامکاشفه‌ای
۳۷	۴-۱ مسائل
۳۷	۵-۱ مراجع
۳۹	<b>بخش دوم: الگوریتم‌های تکاملی</b>
۴۱	<b>فصل دوم: پردازش تکاملی</b>
۴۱	۱-۲ مقدمه
۴۱	۲-۲ نظریه داروین
۴۷	۳-۲ مفاهیم پایه
۴۹	۴-۲ مراحل یک الگوریتم تکاملی
۵۱	۵-۲ روش‌های نمایش کروموزوم
۵۲	۶-۲ جمعیت اولیه
۵۳	۷-۲ تابع برازش
۵۴	۸-۲ عملگر انتخاب
۵۴	۱-۸-۲ انتخاب تصادفی
۵۵	۲-۸-۲ انتخاب نسبی
۵۶	۳-۸-۲ انتخاب رتبه‌ای
۵۷	۴-۸-۲ انتخاب مسابقه‌ای
۵۷	۵-۸-۲ انتخاب برشی

۵۸	۹-۲ عملگرهای تولیدمثل.....
۵۹	۱-۹-۲ باز ترکیب و جهش در نمایش دودویی.....
۵۹	۲-۹-۲ باز ترکیب و جهش در نمایش اعداد حقیقی.....
۶۱	۳-۹-۲ باز ترکیب و جهش در نمایش جایگشت عناصر.....
۶۴	۴-۹-۲ باز ترکیب و جهش در نمایش درختی.....
۶۵	۱۰-۲ مرحله جایگزینی.....
۶۵	۱-۱۰-۲ جایگزینی حالت پایدار.....
۶۵	۲-۱۰-۲ جایگزینی نسلی.....
۶۶	۱۱-۲ شرایط توقف.....
۶۶	۱۲-۲ مباحث پیشرفته در پردازش تکاملی.....
۶۷	۱-۱۲-۲ کنترل قابلیت‌های پویا و انتفاع.....
۷۱	۲-۱۲-۲ نظریه اسکیم.....
۷۶	۳-۱۲-۲ الگوریتم‌های تکاملی موازی.....
۷۹	۴-۱۲-۲ بهینه‌سازی چند-هدفه تکاملی.....
۸۱	۱۳-۲ مسائل.....
۸۱	۱۴-۲ مراجع.....

### ۸۳ فصل سوم: فرامکاشفه‌های تکاملی.....

۸۳	۱-۳ مقدمه.....
۸۳	۲-۳ الگوریتم ژنتیک.....
۹۳	۳-۳ برنامه‌نویسی ژنتیک.....
۹۸	۴-۳ استراتژی تکامل.....
۱۰۰	۵-۳ برنامه‌نویسی تکاملی.....
۱۰۲	۶-۳ تکامل تفاضلی.....
۱۰۵	۷-۳ الگوریتم‌های ممتیک.....
۱۰۸	۸-۳ الگوریتم‌های فرهنگی.....
۱۱۳	۹-۳ الگوریتم ژنتیک ناگوچی.....
۱۱۷	۱۰-۳ الگوریتم هم‌تکاملی.....
۱۲۴	۱۱-۳ الگوریتم تکاملی دیپلوئیدی.....
۱۲۸	۱۲-۳ بهینه‌سازی تولیدمثل غیرجنسی.....
۱۳۰	۱۳-۳ سیستم ایمنی مصنوعی.....
۱۳۶	۱۴-۳ مسائل.....
۱۳۶	۱۵-۳ مراجع.....

۱۴۷	بخش سوم: محاسبات زیستی
۱۴۹	فصل چهارم: هوش جمعی
۱۴۹	۱-۴ مقدمه
۱۴۹	۲-۴ الهام از رفتارهای گروهی موجودات
۱۵۲	۳-۴ الگوریتم‌های علامت-محور (کلونی مورچگان)
۱۵۷	۱-۳-۴ بهینه‌سازی کلونی مورچه ساده
۱۶۲	۲-۳-۴ سیستم مورچه
۱۶۴	۳-۳-۴ سیستم مورچه نخیه
۱۶۵	۴-۳-۴ سیستم مورچه مبتنی بر رتبه
۱۶۵	۵-۳-۴ سیستم مورچه MAX-MIN
۱۶۷	۶-۳-۴ سیستم کلونی مورچه
۱۶۹	۷-۳-۴ سیستم مورچه ANT-Q
۱۷۱	۸-۳-۴ سیستم مورچه سریع
۱۷۱	۹-۳-۴ سیستم مورچه ANTabu
۱۷۲	۱۰-۳-۴ سیستم مورچه ANTS
۱۷۳	۱۱-۳-۴ تنظیم پارامترها در سیستم‌های مورچه
۱۷۴	۱۲-۳-۴ مراحل یک الگوریتم علامت-محور
۱۷۶	۴-۴ الگوریتم‌های تقلید-محور (ازدحام ذرات)
۱۷۷	۱-۴-۴ بهینه‌سازی ذرات اولیه
۱۷۸	۲-۴-۴ الگوریتم PSO بهینه سراسری
۱۸۰	۳-۴-۴ الگوریتم PSO بهینه محلی
۱۸۱	۴-۴-۴ مقایسه الگوریتم‌های gbest PSO و lbest PSO
۱۸۵	۵-۴-۴ مقداردهی اولیه ذرات
۱۸۶	۶-۴-۴ شرایط توقف
۱۸۹	۷-۴-۴ ساختارهای شبکه اجتماعی ذرات
۱۹۲	۸-۴-۴ روش‌های تقویت بهینه‌سازی ازدحام ذرات
۲۰۱	۹-۴-۴ تنظیم پارامترها در بهینه‌سازی ازدحام ذرات
۲۰۳	۱۰-۴-۴ مراحل یک الگوریتم تقلید-محور
۲۰۶	۵-۴ مسائل
۲۰۶	۶-۴ مراجع



## ۲۱۷ فصل پنجم: فرامکاشفه‌های زیستی

۲۱۷	۱-۵ مقدمه
۲۱۷	۲-۵ الگوریتم‌های علامت-محور
۲۱۷	۱-۲-۵ بهینه‌سازی کلونی مورچگان
۲۲۰	۲-۲-۵ بهینه‌سازی کندوی زنبور عسل
۲۲۳	۳-۲-۵ بهینه‌سازی جامعه علامت-محور
۲۲۴	۴-۲-۵ کلونی زنبور مصنوعی
۲۲۸	۵-۲-۵ بهینه‌سازی کلونی موریانه
۲۳۲	۳-۵ الگوریتم‌های تقلید-محور
۲۳۲	۱-۳-۵ بهینه‌سازی ازدحام ذرات
۲۳۴	۲-۳-۵ الگوریتم رقابت استعماری
۲۴۰	۳-۳-۵ الگوریتم کرم شب‌تاب
۲۴۳	۴-۳-۵ الگوریتم قورباغه جهنده
۲۴۵	۵-۳-۵ بهینه‌سازی ازدحام گربه‌ها
۲۵۰	۶-۳-۵ الگوریتم بهینه‌سازی مگس میوه
۲۵۲	۷-۳-۵ الگوریتم بهینه‌سازی فاخته
۲۵۷	۸-۳-۵ الگوریتم بهینه‌سازی غذایابی باکتری
۲۶۱	۹-۳-۵ الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ماهی‌ها
۲۶۵	۱۰-۳-۵ الگوریتم خفاش
۲۶۷	۱۱-۳-۵ بهینه‌سازی گله شیرها
۲۷۲	۱۲-۳-۵ بهینه‌سازی جستجوی گروهی
۲۷۷	۱۳-۳-۵ بهینه‌سازی گروه میگوها
۲۸۳	۱۴-۳-۵ جستجوی شکار
۲۸۹	۱۵-۳-۵ الگوریتم تکامل گرادیان
۲۹۳	۱۶-۳-۵ جستجوی جانداران همزیست
۲۹۶	۱۷-۳-۵ الگوریتم رقابت لیگ فوتبال
۳۰۰	۴-۵ مسائل
۳۰۱	۵-۵ مراجع

## ۳۰۳ فصل ششم: فرامکاشفه‌های غیرزیستی

۳۰۳	۱-۶ مقدمه
۳۰۳	۲-۶ الگوبرداری از علم فیزیک
۳۰۳	۱-۲-۶ تبرید شبیه‌سازی شده

۳۰۵.....	۲-۲-۶ الگوریتم جستجوی گرانشی.....
۳۱۳.....	۳-۲-۶ الگوریتم بهینه‌سازی مغناطیسی.....
۳۱۶.....	۴-۲-۶ بهینه‌سازی افراطی.....
۳۱۸.....	۵-۲-۶ جستجوی هارمونی.....
۳۲۴.....	۶-۲-۶ الگوریتم جستجوی گردابی.....
۳۲۸.....	۳-۶ سایر الگوریتم‌های غیرزیستی.....
۳۲۸.....	۱-۳-۶ جستجوی ممنوعه.....
۳۳۰.....	۲-۳-۶ جستجوی پراکنده.....
۳۳۱.....	۳-۳-۶ جستجوی محلی مکرر.....
۳۳۲.....	۴-۶ مسائل.....
۳۳۲.....	۵-۶ مراجع.....
<b>۳۳۵.....</b>	<b>پیوست.....</b>
۳۳۶.....	تابع Ackley.....
۳۳۷.....	الگوریتم ژنتیک.....
۳۳۹.....	بهینه‌سازی ازدحام ذرات.....
۳۴۰.....	جستجوی تصادفی.....
۳۴۱.....	الگوریتم قورباغه جهنده.....
۳۴۲.....	الگوریتم کرم شب‌تاب.....