

# الگوریتم‌های تکاملی

مبانی، کاربردها، پیاده‌سازی

گردآورندگان:

دکتر مادی شهریار شاه‌حسینی

دکتر سید محمدباقر وسوی میرکلانی

(اعضای هیات علمی دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت ایران)

مهندس مرتضی ملاجه‌ن

(دانشجوی دکتری مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت ایران)

انتشارات علم و صنعت ایران

سال ۱۳۹۱

سرشناسه : شهریار شاه حسینی، هادی، ۱۳۴۴-

عنوان و نام پدیدآور: الگوریتم های تکاملی مبانی، کاربردها، پیاده سازی / گردآوردگان هادی شهریار شاه حسینی، سید محمدرضا موسوی میرکلائی، مرتضی ملاجعفری.

مشخصات نشر : تهران: دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۹۱.

مشخصات ظاهری : ش، ۵۹۰ ص: مصور، جدول، نمودار.

شابک : ۱۰۰۰۰۰ ریال: ۵-۲۲۷-۴۵۴-۹۶۴-۹۷۸

وضعیت فهرست : فیفا

نویسی

موضوع : الگوریتم های ژنتیک

شناسه افزوده : ملاجعفری، مرتضی، ۱۳۶۵-

شناسه افزوده : موسوی میرکلائی، سیدمحمدرضا، ۱۳۵۴-

شناسه افزوده : دانشگاه علم و صنعت ایران

رده بندی کنگره : ۳۹۱/۷۰۷، ش/۵/۴۰۲ QA

رده بندی دیودی : ۰۰۵/۱

شماره کتابشناسی ملی: ۲۷۳۸۵۱۴

• مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران - تهران - نارمک صندوق پستی ۱۶۳-۱۶۷۶۵

تلفن: ۷۷۲۴۰۴۲۵-۷۷۲۴۰۴۲۵ دورنویس:

• فروشگاه شماره ۱: میدان رسالت - خیابان هکام - خیابان دانشگاه علم و صنعت -

دانشگاه علم و صنعت ایران - تلفن: ۷۷۲۴۰۴۲۵

• فروشگاه شماره ۲: روبروی دانشگاه تهران - فروخته طبقه دوم شماره ۴۰۱

تلفن: ۵۰-۶۶۹۵۳۳۴۹

وب سایت: [Publication.iust.ac.ir](http://Publication.iust.ac.ir)



نام کتاب: الگوریتم های تکاملی مبانی، کاربردها، پیاده سازی  
گردآوردندگان: دکتر هادی شهریار شاه حسینی - دکتر سیدمحمدرضا موسوی میرکلائی -  
مهندس مرتضی ملاجعفری

چاپ اول ۱۳۹۶

شمارگان : ۵۰۰ جلد

قیمت: ۲۶۰۰۰۰ ریال

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران

\*حق چاپ برای دانشگاه علم و صنعت ایران محفوظ است.

ISBN: 978-964-454-227-5

شابک: ۵-۲۲۷-۴۵۴-۹۶۴-۹۷۸

## فهرست

|    |                                                                       |
|----|-----------------------------------------------------------------------|
| ف  | پیش‌گفتار.....                                                        |
| ۱  | فصل ۱: مقدمه‌ای بر بهینه‌سازی.....                                    |
| ۳  | ۱-۱. مقدمه.....                                                       |
| ۴  | ۲-۱. نظریات پیچیدگی محاسباتی.....                                     |
| ۵  | ۳-۱. مسائل محاسباتی.....                                              |
| ۵  | ۱-۳-۱. نمونه‌های مسائل.....                                           |
| ۵  | ۲-۳-۱. نمایش نمونه‌های مسئله.....                                     |
| ۶  | ۴-۱. مسائل تصمیم‌گیری.....                                            |
| ۷  | ۵-۱. مسائل تابعی.....                                                 |
| ۷  | ۶-۱. محاسبه‌ی اندازه‌ی یک نمونه.....                                  |
| ۸  | ۷-۱. مدل‌های ماشین و معیارهای پیچیدگی.....                            |
| ۱۰ | ۸-۱. معیارهای پیچیدگی.....                                            |
| ۱۰ | ۱-۸-۱. پیچیدگی زمانی.....                                             |
| ۱۱ | ۹-۱. بهترین حالت، بدترین حالت و حالت متوسط پیچیدگی.....               |
| ۱۲ | ۱۰-۱. کران بالا و پایین پیچیدگی مسائل.....                            |
| ۱۲ | ۱۱-۱. کلاس‌های پیچیدگی.....                                           |
| ۱۲ | ۱-۱۱-۱. تغییر کلاس‌های پیچیدگی.....                                   |
| ۱۴ | ۲-۱۱-۱. کلاس‌های پیچیدگی مهم.....                                     |
| ۱۶ | ۱۲-۱. ساده‌سازی.....                                                  |
| ۱۹ | ۱۳-۱. بررسی ناکارآمد بودن از لحاظ زمانی.....                          |
| ۱۹ | ۱۴-۱. مسائل حل نشده‌ی مهم.....                                        |
| ۱۹ | ۱-۱۴-۱. مسئله‌ی P در مقابل NP.....                                    |
| ۲۰ | ۲-۱۴-۱. وجود مسائلی در NP که نه جزء P هستند و نه جزء NP-Complete..... |
| ۲۱ | ۱۵-۱. روش‌هایی برای حل مسائل NP-Complete.....                         |
| ۲۲ | ۱۶-۱. روشهای جستجوی هوش مصنوعی.....                                   |
| ۲۴ | ۱۷-۱. انواع مسائل در هوش مصنوعی.....                                  |
| ۲۵ | ۱-۱۷-۱. جستجوی ناآگاهانه.....                                         |

|     |                                                          |
|-----|----------------------------------------------------------|
| ۲۵  | ۱-۱-۱۷-۱ الگوهای جستجوی عمومی                            |
| ۲۷  | ۲-۱-۱۷-۱ جستجوی عمقی (DFS)                               |
| ۳۳  | ۳-۱-۱۷-۱ جستجوی عمقی محدود شده (DLS)                     |
| ۳۸  | ۴-۱-۱۷-۱ جستجوی سطحی (BFS)                               |
| ۴۱  | ۵-۱-۱۷-۱ جستجوی عمقی تکرار شونده (IDS)                   |
| ۴۳  | ۶-۱-۱۷-۱ جستجوی دو طرفه                                  |
| ۴۵  | ۷-۱-۱۷-۱ جستجوی هزینه ی یکنواخت (UCS)                    |
| ۵۳  | ۲-۱۷-۱ روش های جستجوی آگاهانه                            |
| ۵۳  | ۳-۱۷-۱ روش های جستجوی مکاشفه ای                          |
| ۵۳  | ۸-۳-۱۷-۱ جستجوی اول بهترین (BEST-FS)                     |
| ۵۶  | ۹-۳-۱۷-۱ حل مسئله ی N- وزیر با استفاده از روش اول بهترین |
| ۵۹  | ۱۰-۳-۱۷-۱ جستجوی ریشه ای                                 |
| ۶۲  | ۱۱-۳-۱۷-۱ جستجوی $A^*$                                   |
| ۶۷  | ۱۲-۳-۱۷-۱ الگوریتم تهیه ورود                             |
| ۶۹  | ۱۳-۳-۱۷-۱ الگوریتم تهیه ورودی تعدیم یافت                 |
| ۷۱  | ۱۴-۳-۱۷-۱ الگوریتم جستجوی تاب                            |
| ۷۲  | ۱۸-۱ بهینه سازی                                          |
| ۷۳  | ۱-۱۸-۱ یافتن بهترین راه حل                               |
| ۷۳  | ۲-۱۸-۱ بهینه سازی چیست؟                                  |
| ۷۵  | ۳-۱۸-۱ مقایسه ی ریشه یابی با بهینه سازی                  |
| ۷۵  | ۴-۱۸-۱ انواع بهینه سازی                                  |
| ۷۸  | ۱۹-۱ الگوریتم های جستجوگر حداقل                          |
| ۷۹  | ۱-۱۹-۱ جستجوی جامع                                       |
| ۸۲  | ۲-۱۹-۱ بهینه سازی تحلیلی                                 |
| ۸۵  | ۳-۱۹-۱ روش غیرمرکب سرازیری نلدر-میلد                     |
| ۹۱  | ۴-۱۹-۱ بهینه سازی مبتنی بر کمینه سازی خط                 |
| ۹۷  | ۲۰-۱ روش های بهینه سازی طبیعی                            |
| ۹۸  | ۲۱-۱ بهینه سازی زیستی: انتخاب طبیعی                      |
| ۱۰۶ | ۲۲-۱ الگوریتم ژنتیک                                      |
| ۱۰۹ | کتاب نامه                                                |
| ۱۱۳ | تمرین                                                    |
| ۱۱۵ | فصل ۲: الگوریتم ژنتیک گسسته                              |

|     |                                         |
|-----|-----------------------------------------|
| ۱۱۷ | ۲-۱- انتخاب طبیعی بر روی کامپیوتر       |
| ۱۱۹ | ۲-۲- مؤلفه‌های یک الگوریتم ژنتیک دودویی |
| ۱۲۱ | ۲-۲-۲- انتخاب متغیرها و تابع هزینه      |
| ۱۲۵ | ۲-۲-۳- کدگذاری و کدگشایی متغیر          |
| ۱۳۱ | ۲-۲-۴- انتخاب طبیعی برای نسل بعد        |
| ۱۳۳ | ۲-۲-۵- انتخاب والدین                    |
| ۱۳۸ | ۲-۲-۶- ادغام                            |
| ۱۴۰ | ۲-۲-۷- جهش                              |
| ۱۴۲ | ۲-۲-۸- نسل بعدی                         |
| ۱۴۵ | ۲-۲-۹- همگرایی                          |
| ۱۴۷ | ۲-۳- بهینه‌سازی یک تابع ساده            |
| ۱۵۸ | سخن آخر                                 |
| ۱۶۱ | کتاب‌نامه                               |
| ۱۶۳ | تمرین                                   |

|     |                                                          |
|-----|----------------------------------------------------------|
| ۱۶۵ | فصل ۳: الگوریتم ژنتیک پیوسته                             |
| ۱۶۷ | ۳-۱- مقدمه                                               |
| ۱۶۸ | ۳-۲- مؤلفه‌های یک الگوریتم ژنتیک پیوسته                  |
| ۱۶۹ | ۳-۲-۲- متغیرها و تابع هزینه برای مثال ارائه شده در فصل ۱ |
| ۱۷۰ | ۳-۲-۳- دقت، قیدها و کدگذاری متغیرها                      |
| ۱۷۰ | ۳-۲-۴- جمعیت اولیه                                       |
| ۱۷۱ | ۳-۲-۵- انتخاب طبیعی                                      |
| ۱۷۳ | ۳-۲-۶- جفت‌گیری                                          |
| ۱۷۴ | ۳-۲-۷- ادغام                                             |
| ۱۷۸ | ۳-۲-۸- جهش‌ها                                            |
| ۱۸۱ | ۳-۲-۹- نسل بعدی                                          |
| ۱۸۴ | ۳-۲-۱۰- همگرایی                                          |
| ۱۸۵ | ۳-۳- سخن آخر                                             |
| ۱۸۷ | کتاب‌نامه                                                |
| ۱۸۹ | تمرین                                                    |

|     |                       |
|-----|-----------------------|
| ۱۹۱ | فصل ۴: کاربردهای پایه |
| ۲۱۹ | ۴-۱- مقدمه            |

|     |                                             |
|-----|---------------------------------------------|
| ۱۹۴ | ۲-۴ "MARY HAD A LITTLE LAMB"                |
| ۱۹۸ | ۳-۴ خلاقیت الگوریتمی - هنر ژنتیکی           |
| ۲۰۳ | ۴-۴ بازی حدس زدن یک کلمه                    |
| ۲۰۷ | ۵-۴ مکان‌یابی مناسب برای یک واحد اورژانس    |
| ۲۱۱ | ۶-۴ طراحی آنتن آرایه‌ای                     |
| ۲۱۷ | ۷-۴ تکامل تدریجی اسب‌ها                     |
| ۲۲۴ | ۸-۴ خلاصه                                   |
| ۲۲۵ | کتاب‌نامه                                   |
| ۲۲۷ | فصل ۵: افزاین‌کی پیچیدگی                    |
| ۲۲۹ | ۱-۵ مقدمه                                   |
| ۲۲۹ | ۲-۵ کار با توابع پیرامینه                   |
| ۲۳۲ | ۳-۵ بهینه‌سازی چارمنظ                       |
| ۲۳۴ | ۲-۳-۵ مجموع توابع مزین زن‌دی شده            |
| ۲۳۴ | ۳-۳-۵ بهینه‌سازی پارتو                      |
| ۲۳۷ | ۴-۵ GA مرکب                                 |
| ۲۴۱ | ۵-۵ کدهای گری                               |
| ۲۴۴ | ۶-۵ روش‌های دیگر کدگذاری کروموزوم           |
| ۲۴۷ | ۷-۵ اندازه‌ی زن                             |
| ۲۴۸ | ۸-۵ همگرایی                                 |
| ۲۵۱ | ۹-۵ ادغام‌های دیگر برای GAهای دودویی        |
| ۲۶۰ | ۱۰-۵ جمعیت                                  |
| ۲۶۵ | ۱۱-۵ جهش                                    |
| ۲۶۹ | ۱۲-۵ مسائل جایگشت                           |
| ۲۷۳ | ۱۳-۵ انتخاب مشخصه‌های GA                    |
| ۲۸۵ | ۱۴-۵ GA پیوسته در مقابل GA گسسته            |
| ۲۸۶ | ۱۵-۵ الگوریتم‌های ژنتیک آشفته               |
| ۲۸۷ | ۱۶-۵ عملگرهای پیشرفته                       |
| ۲۸۸ | ۱-۱۶-۵ دوگانی، غالب و مغلوب                 |
| ۲۹۱ | ۲-۱۶-۵ مالتی پلوتید یا چندگانی              |
| ۲۹۳ | ۳-۱۶-۵ وارونگی و مرتب‌سازی مجدد             |
| ۲۹۴ | ۴-۱۶-۵ نیچ و گونه‌پروری                     |
| ۲۹۶ | ۱-۴-۱۶-۵ نیچ و گونه‌پروری در مسائل چند قیدی |

|     |                                                                            |
|-----|----------------------------------------------------------------------------|
| ۲۹۹ | ۵-۱۶-۵- تراکم                                                              |
| ۲۹۹ | ۵-۱۶-۶- اشتراک                                                             |
| ۳۰۱ | ۵-۱۶-۷- نیچ و گونه‌پروری در مسائل تک‌قیدی                                  |
| ۳۰۲ | ۵-۱۶-۸- جلوگیری از ازدواج با محارم                                         |
| ۳۰۳ | ۵-۱۷- الگوریتم‌های متاژنتیک                                                |
| ۳۰۳ | ۵-۱۸- نگاشت نژادمانه به رخ‌مانه                                            |
| ۳۰۵ | ۵-۱۹- الگوریتم‌های ژنتیک موازی                                             |
| ۳۰۶ | ۵-۱۹-۱- مزایای GA موازی                                                    |
| ۳۰۶ | ۵-۱۹-۲- روش‌هایی برای GA موازی                                             |
| ۳۱۱ | ۵-۱۹-۳- افزایش سرعت پیش‌بینی شده                                           |
| ۳۱۴ | ۵-۱۹-۴- مثالی از یک GA موازی                                               |
| ۳۱۵ | ۵-۱۹-۵- چگونه GA موازی مورد استفاده قرار گیرند                             |
| ۳۱۷ | کتاب‌نامه                                                                  |
| ۳۲۱ | تمرین                                                                      |
| ۳۲۵ | فصل ۶: کاربردهای پیشرفته                                                   |
| ۳۲۷ | ۶-۱- مقدمه                                                                 |
| ۳۲۸ | ۶-۲- مسئله‌ی فروشنده‌ی دوره‌گرد                                            |
| ۳۳۱ | ۶-۳- بازگشت به مسئله‌ی مکان‌یابی برای یک واحد اورژانس                      |
| ۳۳۲ | ۶-۴- رمزگشایی یک پیغام محرمانه                                             |
| ۳۳۵ | ۶-۵- طراحی خط سیر روبات                                                    |
| ۳۴۲ | ۶-۶- طراحی حرکت مخفی (رادارگریز)                                           |
| ۳۴۶ | ۶-۷- ساخت مدل‌های معکوس دینامیکی - حالت خطی                                |
| ۳۵۰ | ۶-۸- ساخت مدل‌های معکوس دینامیکی - حالت غیرخطی                             |
| ۳۵۵ | ۶-۹- ترکیب GA با شبیه‌سازی - مدل‌سازی دستگاه اندازه‌گیری آلودگی هوا        |
| ۳۶۰ | ۶-۱۰- مسائل زمان‌بندی                                                      |
| ۳۶۲ | ۶-۱۰-۱- الگوریتم ژنتیک برای مسئله‌ی زمان‌بندی کارها بر روی ماشین‌ها (JSSP) |
| ۳۶۵ | ۶-۱۱- بهینه‌سازی شبکه‌های عصبی مصنوعی بوسیله‌ی GA                          |
| ۳۶۸ | ۶-۱۲- حل معادلات دیفرانسیل جزئی غیرخطی مرتبه بالا                          |
| ۳۷۳ | کتاب‌نامه                                                                  |
| ۳۷۵ | فصل ۷: مقدمه‌ای بر الگوریتم‌های تکامل‌پذیر                                 |
| ۳۷۷ | ۷-۱- مقدمه                                                                 |
| ۳۷۷ | ۷-۲- روش شبیه‌سازی تبرید تدریجی در یک نگاهی کلی                            |

|     |                                                              |
|-----|--------------------------------------------------------------|
| ۳۷۹ | ۱-۲-۷- معیار متروپلیس.....                                   |
| ۳۷۹ | ۲-۲-۷- اجرای الگوریتم شبیه سازی تبرید تدریجی.....            |
| ۳۸۰ | ۳-۲-۷- شروط تعادل و توقف در شبیه سازی تبرید تدریجی.....      |
| ۳۸۱ | ۴-۲-۷- رابطه بین شبیه سازی تبرید تدریجی و حرارت فیزیکی.....  |
| ۳۸۱ | ۵-۲-۷- شبه‌کدی برای الگوریتم شبیه سازی تبرید تدریجی.....     |
| ۳۸۲ | ۶-۲-۷- برنامه سرد کردن در شبیه‌سازی تبرید تدریجی.....        |
| ۳۸۳ | ۷-۲-۷- تابع هزینه و همسایگی در شبیه‌سازی تبرید تدریجی.....   |
| ۳۸۴ | ۳-۷- الگوریتم بهینه‌سازی گروهی ذرات در یک نگاه کلی.....      |
| ۳۸۷ | ۱-۳-۷- حرکت، دسته جمعی ذرات.....                             |
| ۳۹۰ | ۲-۳-۷- بکارگیری PSO در آموزش شبکه‌های عصبی.....              |
| ۳۹۴ | ۴-۷- الگوریتم بهینه سازی مورچگان.....                        |
| ۳۹۴ | ۱-۴-۷- مطالعه رفتار یوانان.....                              |
| ۳۹۵ | ۲-۴-۷- اصول پایه، سیرپای، مورچه‌ها به سوی غذا.....           |
| ۳۹۶ | ۳-۴-۷- بهینه سازی ساده کلونی مورچه.....                      |
| ۳۹۸ | ۴-۴-۷- مراحل الگوریتم SACO.....                              |
| ۳۹۸ | ۵-۴-۷- معایب الگوریتم SACO.....                              |
| ۳۹۹ | ۵-۷- بکارگیری الگوریتم ACO برای مسائل شبیه بندی داده‌ها..... |
| ۴۰۴ | ۱-۵-۷- مراحل الگوریتم ACO برای خوشه بندی داده‌ها.....        |
| ۴۰۵ | ۱-۱-۵-۷- چگونگی تولید راه حل ها.....                         |
| ۴۰۶ | ۲-۱-۵-۷- چگونگی محاسبه شایستگی.....                          |
| ۴۰۹ | ۳-۱-۵-۷- جستجوی محلی.....                                    |
| ۴۱۱ | ۲-۵-۷- الگوریتم ACO اصلاح شده برای دسته بندی داده‌ها.....    |
| ۴۱۴ | ۳-۵-۷- پیاده سازی الگوریتم های دسته بندی بررسی شده.....      |
| ۴۱۷ | ۶-۷- الگوریتم‌های فرهنگی.....                                |
| ۴۱۷ | ۷-۷- روش‌های تکاملی.....                                     |
| ۴۱۸ | ۸-۷- آینده‌ی الگوریتم‌های ژنتیک.....                         |
| ۴۲۱ | کتاب‌نامه.....                                               |
| ۴۲۵ | تمرین.....                                                   |
| ۴۲۷ | پیوست‌ها.....                                                |
|     | پیوست الف                                                    |
| ۴۲۹ | توابع آزمون.....                                             |
| ۴۲۹ | کتاب‌نامه.....                                               |

## پیوست ب

|     |                                                                   |
|-----|-------------------------------------------------------------------|
| ۴۳۵ | کد متلب.....                                                      |
| ۴۳۵ | برنامه ی ۱: الگوریتم ژنتیک دودویی.....                            |
| ۴۳۹ | برنامه ی ۲: تبدیل کروموزوم های دودویی به کروموزوم های پیوسته..... |
| ۴۳۹ | برنامه ی ۳: الگوریتم ژنتیک پیوسته.....                            |
| ۴۴۲ | برنامه ی ۴: الگوریتم ژنتیک پارتو.....                             |
| ۴۴۶ | برنامه ی ۵: الگوریتم ژنتیک جایگشتی.....                           |
| ۴۴۹ | برنامه ی ۶: تابع هزینه ی مسئله ی فروشنده ی دوره گرد.....          |
| ۴۴۹ | برنامه ی ۷: بهینه سازی هجوم ذرات.....                             |
| ۴۵۱ | برنامه ی ۸: بهینه سازی اجتماع مورچه ها.....                       |
| ۴۵۳ | برنامه ی ۹: زبایع آزمون.....                                      |

## پیوست پ

|     |                                              |
|-----|----------------------------------------------|
| ۴۵۵ | کد فرترن با کارایی بالا.....                 |
| ۴۵۵ | پیااده سازی موازی الگوریتم ژنتیک پیوسته..... |

## پیوست ت

|     |                                                        |
|-----|--------------------------------------------------------|
| ۴۶۳ | پیااده سازی الگوریتم ژنتیک با استفاد از متا.....       |
| ۴۶۴ | ساختار داده ها.....                                    |
| ۴۶۴ | کروموزوم ها.....                                       |
| ۴۶۴ | رخ مانه ها.....                                        |
| ۴۶۵ | مقادیر تابع هدف.....                                   |
| ۴۶۶ | مقادیر شایستگی.....                                    |
| ۴۶۶ | چندین خرده جمعیت.....                                  |
| ۴۶۷ | نواع جعبه ابزار.....                                   |
| ۴۷۳ | جعبه ابزار واسط گرافیکی کاربر برای الگوریتم ژنتیک..... |
| ۴۷۵ | الف. جمعیت.....                                        |
| ۴۷۵ | ب. مقایس گذاری شایستگی.....                            |
| ۴۷۵ | پ. انتخاب.....                                         |
| ۴۷۶ | ت. تولید مثل.....                                      |
| ۴۷۶ | ث. جهش.....                                            |
| ۴۷۶ | ج. ادغام.....                                          |
| ۴۷۷ | چ. مهاجرت.....                                         |
| ۴۷۷ | ح. تابع مرکب.....                                      |

|     |                                                      |
|-----|------------------------------------------------------|
| ۴۷۷ | خ. معیار توقف.....                                   |
| ۴۷۸ | معیار توقف.....                                      |
| ۴۷۸ | د. اجرا و شبیه‌سازی.....                             |
| ۴۷۸ | اجرای الگوریتم.....                                  |
| ۴۷۸ | مسائل حل شده با استفاده از مطلب.....                 |
| ۴۷۸ | مسئله‌ی ۱:.....                                      |
| ۴۸۲ | مسئله‌ی ۲:.....                                      |
| ۴۹۱ | مسئله‌ی ۳:.....                                      |
| ۴۹۷ | مسئله‌ی ۴:.....                                      |
| ۵۰۱ | مسئله‌ی ۵:.....                                      |
| ۵۰۴ | مسئله‌ی ۶:.....                                      |
| ۵۰۶ | مسئله‌ی ۷:.....                                      |
| ۵۰۷ | مسئله‌ی ۸:.....                                      |
| ۵۰۹ | مسئله‌ی ۹:.....                                      |
| ۵۱۱ | مسئله‌ی ۱۰:.....                                     |
| ۵۱۳ | مسئله‌ی ۱۱:.....                                     |
| ۵۱۵ | مسئله‌ی ۱۲:.....                                     |
| ۵۱۷ | بهبودسازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک در C/C++..... |

#### پیوست ث

|     |                                                          |
|-----|----------------------------------------------------------|
| ۵۱۷ | مقدمه.....                                               |
| ۵۱۸ | مسئله‌ی فروشنده‌ی دوره‌گرد (TSP).....                    |
| ۵۲۶ | مسئله‌ی تطبیق کلمه.....                                  |
| ۵۳۷ | معمای غیر قابل حل زندانی.....                            |
| ۵۴۳ | بیشینه‌سازی تابع $f(x) = x^2$ .....                      |
| ۵۵۱ | کمینه‌سازی یک تابع سینوسی دارای قید.....                 |
| ۵۵۱ | شرح مسئله.....                                           |
| ۵۶۱ | بیشینه‌سازی تابع $fx = x * \sin 10 * \pi * x + 10$ ..... |
| ۵۷۰ | حل معادله‌ی درجه دوم.....                                |
| ۵۷۷ | واژه‌نامه.....                                           |

## فهرست تصاویر

- شکل (۱-۱) یک مسئله‌ی تصمیم‌گیری برای هر ورودی تنها دو خروجی ممکن دارد: بله یا خیر (۰ یا ۱)..... ۶
- شکل (۲-۱) نمایش هنرمندانه‌ای از ماشین تورینگ..... ۹
- شکل (۳-۱) پیش‌ارتباط کلاس‌های پیچیدگی..... ۱۶
- شکل (۴-۱) نمودار اولیه برای انواع کلاس‌های پیچیدگی..... ۱۸
- شکل (۵-۱) ترتیب جستجو الگو، بتم DFS بر روی یک درخت کوچک..... ۲۸
- شکل (۶-۱) مراحل مختلف تبدیل گراف هنگام جستجوی عمقی گراف برای یافتن جمله‌ی «جستجوی عمقی گراف»..... ۳۰
- شکل (۷-۱) گرافی با ۵ گره..... ۳۳
- شکل (۸-۱) مراحل مختلف شکستن درخت جستجو برای یافتن مسیری از گره‌ی ۶ به گره‌ی ۵ در شکل ۷-۱..... ۳۴
- شکل (۹-۱) ترتیب جستجو برای یک درخت استفاده از جستجوی عمقی محدود شده (عمق=۲)..... ۳۵
- شکل (۱۰-۱) حل مسئله‌ی شکل (۷-۱) استفاده از روش جستجوی عمقی محدود شده..... ۳۷
- شکل (۱۱-۱) ترتیب جستجو در الگوریتم جستجوی سطحی..... ۳۸
- شکل (۱۲-۱) نحوه‌ی پیمایش درخت شکل ۷-۱ به روش جستجوی سطحی..... ۴۰
- شکل (۱۳-۱) استفاده از IDS به صورت مکرر عمق را افزایش می‌دهد..... ۴۱
- شکل (۱۴-۱) تلاقی دو پیمایش در روش جستجوی دو طرفه بیانان گراف و در گره‌ی H..... ۴۴
- شکل (۱۵-۱) مثالی برای نمایش چگونگی یافتن مسیر توسط روش جستجوی هزینه‌ی یکنواخت..... ۴۵
- شکل (۱۶-۱) همسایه‌ی گره‌ی مبدا..... ۴۶
- شکل (۱۷-۱) مراحل یافتن مسیر توسط روش جستجوی سطحی..... ۴۷
- شکل (۱۸-۱) مراحل یافتن مسیر توسط روش جستجوی عمقی محدود شده..... ۴۸
- شکل (۱۹-۱) مسیر یافته شده توسط روش جستجوی عمقی محدود شده..... ۴۸
- شکل (۲۰-۱) نسبت دادن شماره به هر یک از خانه‌های فضای مسئله..... ۴۹
- ..... ۵۰
- شکل (۲۱-۱) درخت به دست آمده از روش جستجوی هزینه‌ی یکنواخت..... ۵۰
- شکل (۲۲-۱) یک صفحه‌ی شطرنجی برای مسئله‌ی N- وزیر با  $N=4$ ..... ۵۶
- شکل (۲۳-۱) نمایش صفحه‌ی شطرنجی برای مسئله‌ی N- وزیر با  $N=4$ ..... ۵۷
- شکل (۲۴-۱) نمای گرافیکی درخت جستجو برای حل مسئله‌ی N- وزیر با  $N=4$ ..... ۵۸
- شکل (۲۵-۱) درخت به دست آمده با استفاده از تابع مکاشفه‌ای در روش جستجوی حریصانه..... ۶۰

- شکل (۱-۲۶) مثالی برای تشریح روند حل مسئله توسط روش  $A^*$  ..... ۶۳
- شکل (۱-۲۷) مربع خاکستری بیانگر مربع آغازین است و حاشیه‌ی تیره رنگ آن نشان دهنده‌ی این است که این مربع به فهرست CLOSED اضافه شده است ..... ۶۴
- شکل (۱-۲۸) نمایش مقادیر  $H$ ,  $G$  و  $F$  به ترتیب در گوشه‌های سمت چپ پایین، راست پایین و راست بالای هر مربع ..... ۶۶
- شکل (۱-۲۹) مراحل رسیدن به جواب در روش  $A^*$  ..... ۶۶
- شکل (۱-۳۰) یافتن جواب توسط روش  $A^*$  ..... ۶۷
- شکل (۱-۳۱) نمایش مفهوم محلی بودن بهینگی ..... ۶۸
- شکل (۱-۳۲) نمایش تابع یا فرآیندی که باید بهینه شود. بهینه سازی ورودی را تغییر می دهد تا به خروجی مطلوب دست یابد ..... ۷۴
- شکل (۱-۳۰) نتایج از الگوریتم‌های بهینه سازی ..... ۷۶
- شکل (۱-۳۴) نمودار سه رابطه‌ی (۱-۳) که در آن متغیرهای  $x$  و  $y$  با دقت ۰.۱ نمونه برداری شده‌اند ..... ۸۰
- شکل (۱-۳۵) نمودار نتایج (۱-۳) ..... ۸۰
- شکل (۱-۳۶) دستکاری - غیر - جب اولیه در حالت دو بعدی، یعنی مثلث، در تلاش برای یافتن کمینه ..... ۸۶
- شکل (۱-۳۷) مسیر دو بعدی حرکت - رکت - رکت در سرازیری برای احاطه کردن کمینه ..... ۸۸
- شکل (۱-۳۸) مسیر سه بعدی حرکت - غیر - رکت در سرازیری برای احاطه کردن کمینه ..... ۸۸
- شکل (۱-۳۹) مسیری که روش جستجوی اختصاات ممکن است در یک سطح هزینه‌ی درجه دوم طی کند ..... ۹۱
- شکل (۱-۴۰) مسیری که ممکن است روش ریزش روی سطح هزینه‌ی درجه دوم طی کند ..... ۹۲
- شکل (۱-۴۱) روندنمای الگوریتم جستجوی خط ..... ۹۳
- شکل (۱-۴۲) مسیری که ممکن است روش تندترین نزول روی یک سطح هزینه‌ی درجه دوم طی کند ..... ۹۴
- شکل (۱-۴۳) مسیری که یک الگوریتم جهات مزدوج ممکن است بر روی سطح یک تابع هزینه‌ی درجه دوم طی کند ..... ۹۶
- شکل (۱-۴۴) نمایش حالت‌های مختلف  $RH$  برای فرزند والدینی که گروه خود را هر دوی آنها  $Rt$  است ..... ۱۰۱
- شکل (۱-۴۵) نمایش حالت‌های مختلف  $RH$  برای فرزند والدینی که گروه خود را یکی از آنها  $Rt$  و  $It$  است ..... ۱۰۱
- شکل (۲-۱) شباهت بین  $GA$  دودویی و ژنتیک زیستی ..... ۱۱۸
- شکل (۲-۲) روندنمای یک  $GA$  دودویی ..... ۱۱۹
- شکل (۲-۳) نمای سه بعدی سطح هزینه با نمایی از لانگر پیک ..... ۱۲۰
- شکل (۲-۴) نقشه‌ی ارتفاعی یا نقشه‌ی جغرافیایی سطح هزینه در اطراف لانگر پیک ..... ۱۲۱
- شکل (۲-۵) این شکل یک دمانج نمادین را برای ایستاسی نشان می دهد که طبق آن الگوریتم‌های جستجوگر کمینه برای ایستاسی کم بهتر از بقیه عمل می کنند، در حالی که الگوریتم‌های جستجوی تصادفی برای ایستاسی بسیار زیاد بهترین هستند. الگوریتم‌های  $GA$  در محدوده‌ی وسیعی از ایستاسی متوسط تا زیاد بهترین کارایی را دارند ..... ۱۲۴
- شکل (۲-۶) یک تابع بسل و یک مدل کوانتیزه شده‌ی ۶ بیتی از آن ..... ۱۲۵

- شکل (۲ - ۷) چهار مقدار پیوسته از متغیرها به همراه سطوح کوانتیزاسیون نشان داده شده است. کروموزوم یا ژن بیانگر سطح کوانتیزاسیونی هستند که مقدار متغیر در آن واقع می‌شود. هر کروموزوم متناظر با یک مقدار پایین، میانی و بالا در سطح کوانتیزاسیون است. معمولاً مقدار میانی سطح کوانتیزاسیون برای نسبت دادن به متغیر انتخاب می‌شود. ۱۲۷
- شکل (۲ - ۸) نقشه‌ی ارتفاعی از سطح هزینه به همراه ۸ عضو از جمعیت اولیه که با نقاط پر رنگ مشخص شده‌اند. ۱۳۱
- شکل (۲ - ۹) افراد دارای بهترین خصوصیات باقی می‌مانند و گونه‌های نامناسب و نامطلوب در طبیعت از بین می‌روند. به همین ترتیب در GA نیز کروموزوم‌های دارای بیشترین هزینه حذف می‌شوند. ۱۳۲
- شکل (۲ - ۱۰) نمودار احتمال انتخاب برای ۸ والد با استفاده از پنج روش انتخاب. ۱۳۸
- شکل (۲ - ۱۱) دو والد برای تولید دو فرزند با یکدیگر ادغام می‌شوند. این فرزندان در جمعیت قرار می‌گیرند. ۱۳۹
- شکل (۲ - ۱۲) نقشه‌ی ارتفاعی سطح هزینه با ۸ عضو در پایان نسل اول. ۱۴۲
- شکل (۲ - ۱۱) نقشه‌ی ارتفاعی سطح هزینه با ۸ عضو در پایان نسل دوم. ۱۴۴
- شکل (۲ - ۱۴) نقشه‌ی ارتفاعی سطح هزینه با ۸ عضو در پایان نسل سوم. ۱۴۶
- شکل (۲ - ۱۵) نمودار هزینه‌ی متوسط و هزینه‌ی کمینه برای هر نسل. ۱۴۷
- شکل (۲ - ۱۶) نمودار تابع رابطه (۱۶ - ۱). ۱۴۷
- شکل (۲ - ۱۷) کد نرم‌افزار متد برای یک C++ بسیار ساده. ۱۵۹
- شکل (۳ - ۱) روندنمای GA پیوسته. ۱۶۸
- شکل (۳ - ۲) نقشه‌ی ارتفاعی تابع هزینه با جمعیت اولیه،  $(Npop = ۸)$  که با نقاط پر رنگ نشان داده شده‌اند. ۱۷۲
- شکل (۳ - ۳) نقشه‌ی ارتفاعی تابع هزینه به همراه جمعیت در پایان نسل اول. ۱۸۱
- شکل (۳ - ۴) نقشه‌ی ارتفاعی تابع هزینه به همراه جمعیت پس از نسل دوم. ۱۸۳
- شکل (۳ - ۵) نقشه‌ی ارتفاعی تابع هزینه به همراه جمعیت پس از نسل سوم. ۱۸۴
- شکل (۳ - ۶) نمودار متوسط و حداقل هزینه‌ها به عنوان تابعی از نسل‌ها. نگرشیم پس از سه نسل همگرا شده است. ۱۸۵
- شکل (۴ - ۱) آهنگ ((مری به بره داره)). ۱۹۵
- شکل (۴ - ۲) هزینه‌ی حداقل و متوسط به صورت تابعی از نسل‌ها زمانی که پیوتر جواب درست را می‌داند (همه ی نت‌های «مری به بره داره»). ۱۹۶
- شکل (۴ - ۳) هزینه‌ی حداقل و متوسط به صورت تابعی از نسل‌ها زمانی که فرد اساساً تمام قضاوت تابع هزینه باشد (قضاوت بر اساس نزدیک بودن آهنگ متناظر با یک کروموزوم با آهنگ اصلی «مری به بره داره» می‌باشد). ۱۹۶
- شکل (۴ - ۴) قطعه‌ی هنری برخالی اولیه، تولید شده توسط GA. ۲۰۰
- شکل (۴ - ۵) قطعه‌ی هنری برخالی نهایی پس از ۶ بار تکرار. شماره‌ی ۱۲ به عنوان بهترین انتخاب شد. ۲۰۰
- شکل (۴ - ۶) یک رویکرد تکرارکننده به خلاقیت که نظر انسان را با GA ترکیب می‌کند. ۲۰۲
- شکل (۴ - ۷) سطح هزینه برای کلمه‌ی دو حرفی «che» و با توجه به تابع هزینه‌ی بیان شده در رابطه‌ی (۴ - ۳). در این مورد،  $۶۷۶=۲۶۲$  ترکیب ممکن برای بررسی وجود دارد. ۲۰۴
- شکل (۴ - ۸) سطح هزینه برای کلمه‌ی دو حرفی «che»، با توجه به تابع هزینه‌ی بیان شده در رابطه‌ی (۴ - ۴). ۲۰۶
- شکل (۴ - ۹) مدلی از یک شهر به ابعاد  $۱۰ \times ۱۰$  کیلومتر که به ۱۰۰ مربع مساوی تقسیم شده است. ۲۰۸

- شکل (۴ - ۱۰) سطح هزینه‌ی مربوط به تابع هزینه‌ی (۴-۶) ..... ۲۰۹
- شکل (۴ - ۱۱) مدلی از یک شهر به ابعاد  $10 \times 10$  کیلومتر که به ۱۰۰ مربع مساوی تقسیم شده است به همراه یک رودخانه و دو پل ..... ۲۱۰
- شکل (۴ - ۱۲) سطح هزینه‌ی مربوط به تابع هزینه‌ی (۴-۶) و قیدهای اضافه شده، یعنی رودخانه و پل‌ها ..... ۲۱۰
- شکل (۴ - ۱۳) نمودار هزینه‌ی حداقل جمعیت به صورت تابعی از نسل‌ها برای GAهای دودویی و پیوسته که بر روی مسئله‌ی مکان‌یابی برای واحد اورژانس اعمال شدند. نتایج حاصل محاسبه‌ی میانگین ۲۰ اجرای مختلف است. ۲۱۱
- شکل (۴ - ۱۴) نمودار طرح انتشار امواج آنتن (پاسخ آنتن در برابر زاویه) که پرتوهای جانبی و پرتوی اصلی را نشان می‌دهد. .... ۲۱۲
- شکل (۴ - ۱۵) ما یک آرایه‌ی خطی از آنتن‌های مجزا ..... ۲۱۳
- شکل (۴ - ۱۶) نمودار طرح انتشار امواج آنتن آرایه‌ای دوجمله‌ای. به عدم وجود پرتوهای جانبی توجه کنید. .... ۲۱۴
- شکل (۴ - ۱۷) نمودار میانگین (خط چین) و حداقل (خط پیوسته) هزینه‌ی جمعیت به صورت تابعی از نسل‌ها برای GA پیوسته که بر روی مسئله‌ی آنتن اعمال شد ..... ۲۱۶
- شکل (۴ - ۱۸) نمودار میانگین (خط چین) و حداقل (خط پیوسته) هزینه‌ی جمعیت به عنوان تابعی از نسل‌ها برای GA دودویی که بر روی مسئله‌ی راجع آنتن اعمال شد ..... ۲۱۶
- شکل (۴ - ۱۹) همگرایی GA دودویی و پیوسته به صورت تابعی از نسل‌ها، هنگامی که پس از ده مرتبه اجرا، میانگین گرفته شد ..... ۲۱۷
- شکل (۵ - ۱) جواب‌های مسئله‌ی MOO برای (۵-۵). نمای پارتو خطی است که بوسیله‌ی جواب‌های بهینه تشکیل می‌شود. نقطه‌ی شکل گرفته توسط کمینه هر در تابع امت‌گذاری شده است ..... ۲۳۳
- شکل (۵ - ۲) روندنمای GA پارتو ..... ۲۳۹
- شکل (۵ - ۳) جمعیت نهایی و نمای پارتو یافته شده توسط GA ..... ۲۴۰
- شکل (۵ - ۴) به طور متوسط، GA مرکب، کمینه را در تعداد بسیار کمتر از فراوانی‌های تابع نسبت به GA معمولی می‌یابد ..... ۲۴۰
- شکل (۵ - ۵) نمودار تبدیل یک کد دودویی به یک کد گری ..... ۲۴۳
- شکل (۵ - ۶) نمایش تبدیل یک کد گری به یک کد دودویی ..... ۲۴۳
- شکل (۵ - ۷) کدگذاری دودویی ..... ۲۴۵
- شکل (۵ - ۸) کدگذاری هشت هشتی ..... ۲۴۵
- شکل (۵ - ۹) کدگذاری در مبنای شانزده ..... ۲۴۶
- شکل (۵ - ۱۰) کدگذاری با استفاده از اعداد صحیح / حقیقی ..... ۲۴۶
- شکل (۵ - ۱۱) کدگذاری مقدار ..... ۲۴۷
- شکل (۵ - ۱۲) اتر مکعب برای یک الگو با یک تا سه رقم دودویی ..... ۲۴۹
- شکل (۵ - ۱۳) والدین (دو نقطه‌ی بزرگتر) و فرزندان ممکن‌شان (نقاط کوچک‌تر) در ادغام تک نقطه‌ای برای یک GA دودویی با ۳ بیت در کروموزوم‌ها ..... ۲۵۲

- شکل (۵ - ۱۴) والدین (دو نقطه‌ی بزرگ) و فرزندان ممکن‌شان (خطوط) برای ادغام تک نقطه‌ای برای یک  $GA$  پیوسته ۲۵۳
- شکل (۵ - ۱۵) والدین (دو نقطه‌ی بزرگ) و فرزندان ممکن‌شان (خطوط) برای ادغام تک نقطه‌ای برای یک  $GA$  پیوسته با  $\beta = 1/1$  ..... ۲۵۳
- شکل (۵ - ۱۶) دو والد و فرزندان بالقوه ناشی از ادغام دو نقطه‌ای در یک  $GA$  دودویی ..... ۲۵۴
- شکل (۵ - ۱۷) سه والد و فرزندان بالقوه حاصل از ادغام سه نقطه‌ای در یک  $GA$  دودویی ..... ۲۵۵
- شکل (۵ - ۱۸) دو والد و فرزندان بالقوه ناشی از ادغام یکنواخت با یک  $GA$  دودویی ..... ۲۵۶
- شکل (۵ - ۱۹) دو والد و فرزندان بالقوه ناشی از ادغام یکنواخت با یک  $GA$  دودویی ..... ۲۵۷
- شکل (۵ - ۲۰) دو والد و فرزندان بالقوه ناشی از ادغام یکنواخت با یک  $GA$  دودویی ..... ۲۵۸
- شکل (۵ - ۲۱) دو والد و فرزندان ممکن با استفاده از یک عدد تصادفی برای  $\beta$  در  $GA$  پیوسته ..... ۲۵۹
- شکل (۵ - ۲۲) دو والد و فرزندان ممکن با استفاده از دو عدد تصادفی مستقل برای  $\beta$  در  $GA$  پیوسته ..... ۲۶۰
- شکل (۵ - ۲۳) نمونه‌ها: روش‌ها: نمونه‌برداری امکان‌پذیر با ۱۶ نمونه ..... ۲۶۲
- شکل (۵ - ۲۴) حالت‌های ممکن ناشی از اعمال یک جهش بر روی کروموزومی که با ۱۲ بیت نشان داده شده است ..... ۲۶۶
- شکل (۵ - ۲۵) حالت‌های ممکن ناشی از اعمال دو جهش بر روی کروموزومی که با ۱۲ بیت نشان داده شده است ..... ۲۶۷
- شکل (۵ - ۲۶) حالت‌های ممکن ناشی از اعمال سه جهش بر روی کروموزومی که با ۱۲ بیت نشان داده شده است ..... ۲۶۷
- شکل (۵ - ۲۷) حالت‌های ممکن ناشی از اعمال یک جهش بر روی کروموزومی در  $GA$  پیوسته ..... ۲۶۸
- شکل (۵ - ۲۸) متوسط تعداد فراخوانی‌های مورد نیاز تا رسیدن به سطحی پایین‌تر از  $1/5$  - با مقادیر مختلفی از اندازه‌ی جمعیت و نرخ جهش به هنگام بهینه‌سازی (۱-۱) ..... ۲۸۰
- شکل (۵ - ۲۹) متوسط تعداد فراخوانی‌های مورد نیاز تا رسیدن به سطحی پایین‌تر از  $1/5$  - با مقادیر مختلفی از اندازه‌ی جمعیت و نرخ جهش به هنگام بهینه‌سازی (۱-۱) ..... ۲۸۱
- شکل (۵ - ۳۰) متوسط تعداد فراخوانی‌های مورد نیاز تا رسیدن به سطحی پایین‌تر از  $1/5$  - با مقادیر مختلفی از اندازه‌ی جمعیت و نرخ جهش به هنگام بهینه‌سازی (۱-۱) ..... ۲۸۱
- شکل (۵ - ۳۱) نمودار همگرایی  $GA$  دودویی در مقابل  $GA$  پیوسته برای رابطه‌ی (۱-۱) ..... ۲۸۵
- شکل (۵ - ۳۲) به هر بیت در  $mGA$  اطلاعات مکانی نسبت داده شده است ..... ۲۸۶
- شکل (۵ - ۳۳) ادغام با  $mGA$  ..... ۲۸۶
- شکل (۵ - ۳۴) فرزندان حاصل با مکان‌هایی دارای مشخصات معمول، بیش از حد معمول و کمتر از حد معمول ..... ۲۸۷
- شکل (۵ - ۳۵) نقشه‌ی غلبگی ..... ۲۹۰
- شکل (۵ - ۳۶) ماتری پلوتید نوع ۱ ..... ۲۹۲
- شکل (۵ - ۳۷) ماتری پلوتید نوع ۲ ..... ۲۹۲
- شکل (۵ - ۳۸) دورنمای جواب یک تابع چندقیدی ..... ۲۹۸
- شکل (۵ - ۳۹) نتیجه‌ی حاصل از جفت‌گیری والدین مستقر در دو قله‌ی مختلف. همان گونه که ملاحظه می‌شود، فرزند آن‌ها در دره‌ی میان دو والدش قرار گرفته است. ..... ۲۹۸

- شکل (۵ - ۴) شبه کد روش جلوگیری از ازدواج محارم ..... ۳۰۲
- شکل (۵ - ۴۱) طرح کلی از سه نوع الگوریتم GA موازی: (الف) مدل ارباب-برده که در آن جمعیت دسته‌بندی می‌شود، (ب) مدل جزیره‌ای با چندین خرده‌جمعیت و نقل و انتقالات مابین آن‌ها و (ج) مدل سلولی که در آن انتخاب در محدوده‌ی همسایگی رخ می‌دهد. .... ۳۱۰
- شکل (۵ - ۴۲) افزایش سرعت فرضی GA با  $Npop=100$  ..... ۳۱۲
- شکل (۵ - ۴۳) افزایش سرعت فرضی GA با  $Npop=1000$  ..... ۳۱۳
- شکل (۵ - ۴۴) تعداد بهینه‌ی پردازنده‌ها برای GA ارباب-برده به صورت تابعی از  $Npop$  و  $Tf/Tc$  ..... ۳۱۳
- شکل (۵ - ۴۵) منحنی افزایش سرعت برای GA موازی مثال مورد نظر ..... ۳۱۵
- شکل (۶ - ۱) نمودار ۱۳ شهر که در یک مستطیل چیده شده‌اند. فروشنده از مبدا آغاز، تمام ۱۳ شهر را یک مرتبه بازدید می‌کند. به نقطه‌ی شروع بازمی‌گردد. جواب آشکار همان طی کردن محیط مستطیل است که دارای مسافتی برابر ۱۴ می‌باشد. .... ۳۲۹
- شکل (۶ - ۲) همگرایی الگوریتم ژنتیک، زمانی که ۱۳ شهر بر روی محیط مستطیل نشان داده شده در شکل ۶-۱ قرار دارند. .... ۳۳۰
- شکل (۶ - ۳) همگرایی GA برای مسئله فروشنده‌ی دوره‌گرد دارای ۲۵ شهر. .... ۳۳۰
- شکل (۶ - ۴) پاسخ GA برای مسئله فروشنده‌ی دوره‌گرد دارای ۲۵ شهر. .... ۳۳۱
- شکل (۶ - ۵) نمودار همگرایی برای مسئله واحد فروشنده فصل ۴ زمانی که از کد گری استفاده شود. .... ۳۳۲
- شکل (۶ - ۶) الگوریتم ژنتیک پیغام «bonny and amy love our children» را در ۶۸ نسل رمزگشایی کرد. .... ۳۳۳
- شکل (۶ - ۷) الگوریتم ژنتیک پیغام «jake can go out with my beautiful pets and quickly drive to see you» را ظرف ۸۶ نسل پیدا کرد. .... ۳۳۴
- شکل (۶ - ۸) تصویر دو بعدی بازوی یک روبات با دو مفصل. اتصال ۱ جواب را نگاه مختصات ۰ و اتصال ۲ حول دستگاه مختصات ۱ می‌چرخد. یک مبدا دستگاه مختصات ۳ در اندام انتهایی است. .... ۳۳۶
- شکل (۶ - ۹) بازوی روبات شکل ۶-۸ که با استفاده از دو بازه خط بسیار ساده تر ترسیم شده است. .... ۳۳۷
- شکل (۶ - ۱۰) مانع نقطه‌ای در نمودار پایین‌تر به یک منحنی در فضای پیکربندی در نمودار بالا تبدیل شده است. این منحنی در درون یک ناحیه‌ی بیضی که با خط چین مشخص شده، احاطه شده است. این بیضی در فضای پیکربندی محدوده‌ای را به وجود می‌آورد که بازوی روبات نمی‌تواند از میان آن عبور کند. .... ۳۳۸
- شکل (۶ - ۱۱) بهترین مسیر بین موانع پس از پایان نسل ۱ دارای طولی برابر ۱۱/۰۶ واحد است. .... ۳۳۹
- شکل (۶ - ۱۲) بهترین مسیر بین موانع پس از پایان نسل ۱۰ دارای طولی برابر ۹/۶۵۶ واحد است. .... ۳۴۰
- شکل (۶ - ۱۳) بهترین مسیر بین موانع پس از پایان نسل ۱ دارای طولی برابر ۷/۳۲ واحد است. .... ۳۴۱
- شکل (۶ - ۱۴) بهترین مسیر بین موانع پس از پایان نسل ۱۰ دارای طولی برابر ۶/۴۳ واحد است. .... ۳۴۱
- شکل (۶ - ۱۵) حرکت واقعی بازوی روبات در میان موانع فضای واقعی (که با + نشان داده شده‌اند). علامت‌های + به نواحی بیضی شکل نشان داده شده در فضای پیکربندی تبدیل می‌شوند (شکل‌های ۶-۱۳ و ۶-۱۴). .... ۳۴۲
- شکل (۶ - ۱۶) سطح مقطع راداری یک نوار کاملاً رسانا با پهنای ۶۸. .... ۳۴۴

- شکل (۶-۱۷) نمایش یک نوار کاملاً رسانا با بارهای مفارمتی کاملاً متقارن که بر روی لبه‌های قرار گرفته‌اند ..... ۳۴۴
- شکل (۶-۱۸) سطح مقطع راداری نواری به عرض ۶۸ با ۸ بار مقاومتی که بر روی لبه‌ها واقع شده‌اند. سطح بین پرتوی جانبی بیشینه و قله‌ی پرتوی اصلی برابر  $-۳۳/۹۸\text{dB}$  است که کاهشی برابر  $۲۰/۷۸\text{dB}$  را نشان می‌دهد ..... ۳۴۵
- شکل (۶-۱۹) منحنی ماریچ که توسط  $X, Y, Z = (\sin t, \cos t, t)$  و  $t = [0, 10\pi]$  تعیین می‌شود ..... ۳۴۸
- شکل (۶-۲۰) سیر تکاملی هزینه‌ی کمیته‌ی الگوریتم ژنتیکی که مدل معکوس دینامیکی منحنی ماریچ شکل ۶-۱۹ را تولید می‌کند ..... ۳۴۹
- شکل (۶-۲۱) تناسب یک مدل دینامیکی الگوریتم ژنتیک بر اساس سری‌های زمانی منحنی ماریچ شکل ۶-۱۹ ..... ۳۴۹
- شکل (۶-۲۲) تناسب دینامیکی حداقل مربعات خطی یک مدل بر اساس سری‌های زمانی منحنی ماریچ شکل ۶-۱۹ ..... ۳۵۰
- شکل (۶-۲۳) سری‌های زمانی بیانگر تغییرات شکار و شکارچی در طول زمان با توجه به رابطه‌ی (۶-۷) ..... ۳۵۱
- شکل (۶-۲۴) فضای حالت نشان دهنده‌ی تعاملات شکار و شکارچی ..... ۳۵۱
- شکل (۶-۲۵) تناسب سری‌های زمانی حداقل مربعات با مدل شکار-شکارچی ..... ۳۵۳
- شکل (۶-۲۶) سری‌های زمانی تعاملات شکار-شکارچی که توسط الگوریتم ژنتیک محاسبه شده است ..... ۳۵۳
- شکل (۶-۲۷) رابطه‌ی شکار-شکارچی در فضای حالت که توسط مدل غیرخطی که پارترهایش بوسیله‌ی GA مناسب‌سازی شده‌اند محاسبه شده است ..... ۳۵۴
- شکل (۶-۲۸) سیر تکاملی هزینه‌ی کمیته‌ی پارترهای مدل غیرخطی که توسط GA مناسب‌سازی شده‌اند ..... ۳۵۵
- شکل (۶-۲۹) منابع آلودگی هوا در کشور ایران، ارائه‌ی گراف با # مشخص شده است ..... ۳۵۷
- شکل (۶-۳۰) روند تصمیم‌گیری‌ها در SSP (الف) تصمیم ماشین ۰ کار ۱ را دریافت می‌کند؛ (ب) تصمیم ۲ ماشین ۱ می‌تواند کارهای ۰، ۱ یا ۳ را دریافت کند؛ (ج) ماشین ۲ می‌تواند کارهای ۲ یا ۳ را دریافت کند ..... ۳۶۳
- شکل (۶-۳۱) تصویر یک نورون زیستی (بالا) و طرح کلی از شبکه‌ی عصبی مصنوعی ..... ۳۶۵
- شکل (۶-۳۲) شبکه‌ی عصبی دولایه که برای محاسبه‌ی تناسب با رابطه‌ی (۶-۱۴) بکار گرفته شد ..... ۳۶۷
- شکل (۶-۳۳) مقایسه‌ی تابع دقیق رابطه‌ی (۶-۱۴) با تقریب حاصل شبکه‌ی عصبی آموزش دیده توسط GA مرکب ..... ۳۶۷
- شکل (۶-۳۴) موج معادله‌ی کورتوخ و دریس. خط یکپارچه: جواب صریح، خط چین: جواب الگوریتم ژنتیک ..... ۳۷۰
- شکل (۶-۳۵) موج معادله‌ی کورتوخ و دریس که توسط الگوریتم ژنتیک محاسبه شده است ..... ۳۷۱
- شکل (۶-۳۸) پیدا کردن کمیته عمومی توسط روش شبیه‌سازی تبرید تدریجی ..... ۳۸۴
- شکل (۱) ابزار الگوریتم ژنتیک ..... ۴۷۴
- شکل (۲) انتخاب ..... ۴۷۵
- شکل (۳) تولید مثل ..... ۴۷۶
- شکل (۴) جهش ..... ۴۷۶
- شکل (۵) ادغام ..... ۴۷۶
- شکل (۶) مهاجرت ..... ۴۷۷
- شکل (۷) تابع مرکب ..... ۴۷۷
- شکل (۸) معیار توقف ..... ۴۷۷

|     |                                                                                |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------|
| ۴۷۸ | شکل ۹) پنجره‌ی اجرا.                                                           |
| ۴۸۹ | شکل ۱۰) بهینه‌سازی تابع هدف با استفاده از GA.                                  |
| ۴۹۰ | شکل ۱۱) بهینه‌سازی با استفاده از GA مرکب - FMINUNC.                            |
| ۴۹۰ | شکل ۱۲) بهینه‌سازی با استفاده از جستجوی الگو.                                  |
| ۴۹۶ | شکل ۱۳) تابع هدف هموار.                                                        |
| ۴۹۷ | شکل ۱۴) تابع هدف تصادفی.                                                       |
| ۵۰۱ | شکل ۱۵) تعریف تابع درجه دوم.                                                   |
| ۵۰۶ | شکل ۱۶) نمودار بهترین شایستگی برای تابع Rastrigins.                            |
| ۵۰۷ | شکل ۱۷) نمودارهای مختلف در حین بهینه‌سازی تابع $f(x_1, x_2) = 3x_1 + 9x_2^3$ . |
| ۵۰۸ | شکل ۱۸) تعریف تابع خطی.                                                        |
| ۵۰۹ | شکل ۱۹) نمودار بهترین شایستگی بهترین عضو جمعیت برای تابع خطی ارائه شده.        |
| ۵۰۹ | شکل ۲۰) M-file نشان‌دهنده تابع درجه دوم تعریف شده.                             |
| ۵۱۰ | شکل ۲۱) ابزار الگوریتم ژنتیک برای حل معادله‌ی درجه دوم.                        |
| ۵۱۰ | شکل ۲۲) پاسخ خروجی (بهترین شایستگی) برای تابع $f(x) = x^2 + 3x + 2$ .          |
| ۵۱۱ | شکل ۲۳) نتایج حاصل برای تابع $f(x_1, x_2) = 4x_1 + 5x_2^2$ .                   |
| ۵۱۱ | شکل ۲۴) M-file مین تابع تعریف شده‌ی مورد نظر.                                  |
| ۵۱۲ | شکل ۲۵) ابزار الگوریتم ژنتیک برای مسئله‌ی مورد نظر.                            |
| ۵۱۲ | شکل ۲۶) پاسخ خروجی (بهترین عضو و بهترین شایستگی).                              |
| ۵۱۳ | شکل ۲۷) نتایج حاصل برای تابع $f(x_1, x_2) = 4x_1 + 5x_2^2$ .                   |
| ۵۱۳ | شکل ۲۸) M-file بیانگر تابع سینوسی.                                             |
| ۵۱۴ | شکل ۲۹) ابزار الگوریتم ژنتیک برای حل معادله‌ی سینوسی.                          |
| ۵۱۵ | شکل ۳۰) ابزار الگوریتم ژنتیک برای تابع کسینوسی.                                |
| ۵۱۶ | شکل ۳۱) پاسخ خروجی (بهترین شایستگی) برای تابع $f(x) = 1/\cos x$ .              |
| ۵۱۶ | شکل ۳۲) نتایج حاصل برای تابع $f(x) = 1/\cos x$ .                               |

## پیش‌گفتار

این کتاب بر روی روش‌های فرا فلسفه‌ای و به طور خاص الگوریتم‌های ژنتیک متمرکز است. مخاطبین آن افرادی هستند که به گونه‌ای با مسائل بهینه‌سازی سر و کار دارند و یا دانشجویانی که دارای دانش پایه‌ای در علوم رایانه و به خصوص الگوریتم‌ها هستند. اهمیت این کتاب در معرفی تاریخچه، مبانی، مباحث نظری ساده تا پیشرفته، کاربردها و در نهایت پیاده‌سازی الگوریتم‌های ژنتیک است.

برای شروع، اطلاعاتی راجع به کلاس‌های ریاضی، روش‌های جستجو در هوش مصنوعی، روش‌های بهینه‌سازی سنتی، اطلاعات پایه‌ای در زمینه‌ی ژنتیک و تکامل زیستی و تاریخچه‌ای در مورد الگوریتم‌های بهینه‌سازی طبیعی ارائه شده است. سپس الگوریتم ژنتیک به طور مفصل شرح داده شده و برای درک آن مثال‌های کاربردی فراوانی به همراه کدهای پیاده‌سازی به زبان‌های برنامه‌نویسی مختلف در اختیار خواننده قرار گرفته است. روند کتاب به گونه‌ای طراحی شده است تا خواننده با شروع از مطالب مقدماتی و سپس پیش رفتن گام به گام به سمت مباحث پیشرفته، خودآموزی پیش روی خود داشته باشد که وی را از مطالعه‌ی منابع دیگر بی‌نیاز سازد. مطالب این کتاب برای دانشجویان ترم‌های آخر دوره‌ی کارشناسی و سال‌های اول تحصیلات تکمیلی مناسب است. برای درس پردازش تکاملی این کتاب می‌تواند به طور کامل در یک نیمسال تحصیلی مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر آن می‌تواند به عنوان کتاب مکمل جهت دروس دیگری همچون الگوریتم‌ها، روش‌های بهینه‌سازی ترکیبی، هوش مصنوعی و ... نیز به کار رود.

کتاب با پیش‌نیازهایی همچون نظریه‌ی پیچیدگی محاسباتی و کاربرد روش‌های مکاشفه‌ای و فرامکاشفه‌ای در هوش مصنوعی آغاز می‌شود. پس از آن تاریخچه‌ی مختصری در مورد چگونگی پیدایش بهینه‌سازی الهام گرفته شده از طبیعت ارائه می‌گردد.

پس از بیان مقدمات لازم، مراحل مختلف یک الگوریتم ژنتیک گسسته ارائه می‌شود. به موازات آن برخی دستورهای اولیه جهت پیاده‌سازی مراحل ذکر شده در محیط متلب در اختیار قرار داده می‌شوند تا خواننده در کنار مطالب نظری، از مزایای شبیه‌سازی و درک عملی مباحث مطرح شده بهره‌مند شود.

در ادامه نوع دیگری از الگوریتم ژنتیک به نام الگوریتم ژنتیک پیوسته ارائه می‌شود که با حل مسائل مشابه آن‌چه توسط الگوریتم ژنتیک گسسته نیز حل شد، سعی در نشان دادن ویژگی‌ها و برتری‌های هر یک در شرایط و مسائل مختلف شده است. پس از بیان مفاهیم اولیه و پایه‌ای، حدین مثال کاربردی ساده به همراه پیاده‌سازی و نتایجشان ارائه گردیده است.

مطالبی که در ادامه مطرح شده‌اند شامل مفاهیم پیشرفته جهت افرادی است که می‌خواهند از الگوریتم ژنتیک در سطح بالاتر، برای حل مسائل پیچیده‌تر و رسیدن به نتایج مطلوب‌تر استفاده کنند. پس از بیان این مباحث، برای روشن شدن مطالب ارائه شده و همچنین نمایش قدرت الگوریتم‌های ژنتیک به مسائل کاربردی پیشرفته‌تر پرداخته شده است.

در این مقطع، مباحث مربوط به الگوریتم‌های ژنتیک به پایان رسیده و کتاب با ارائه‌ی شرح مختصری راجع به چند الگوریتم بهینه‌سازی طبیعتی دیگر ادامه می‌یابد. برای هر چه کاربردی‌تر شدن کتاب، آموزش جعبه‌ابزار الگوریتم‌های ژنتیکی نرم‌افزار متلب به همراه پیاده‌سازی‌های فراوانی از مسائل متنوع به زبان‌های متلب، فورتن، C++ و C ارائه گردیده است تا حد امکان نیازهای خواننده برطرف شود. C++

این کتاب سرشار از عبارات و اصطلاحات تخصصی در زمینه‌ی زیست‌شناسی، ریاضیات و علوم رایانه است که در فارسی تا به حال معادل‌های گویا و رسایی برای آن‌ها یافت نشده است. گاه معادل‌های فارسی جدید ساخته شده و گاهی نیز چاره‌ای جز استفاده از اصطلاحات به زبان اصلی نبوده است. برای تفهیم هر چه بیشتر این عبارات و اصطلاحات، در پایان کتاب واژه‌نامه‌ی نسبتاً جامعی ارائه شده است که امید است خواننده با مراجعه به آن مشکلی در فهم مطالب کتاب پیدا نکند.

کتاب حاوی مسائل کاربردی فراوانی است که به طور عمده از فصل ۴ آغاز می‌شوند. در این فصل مثال‌ها به گونه‌ای طراحی شده‌اند تا خواننده درک روشنی از الگوریتم ژنتیک و کاربرد آن به دست آورد. مجموعه‌ی بعدی مسائل در فصل ۶ ارائه شده‌اند و شامل مسائل عملی‌تر و پیشرفته‌تر می‌باشند. مسائل هر یک از فصل‌ها با دقت انتخاب شده‌اند به گونه‌ای که فهم آن‌ها فقط به مطالبی بستگی دارد که قبل از ارائه‌ی آن مسئله شرح داده شده است. بنابراین خواننده می‌تواند بدون نیاز به مراجعه به بخش‌های بعد، به مطالعه و پیاده‌سازی مسائل هر قسمت بپردازد. هر فصل کتاب شامل مسائل مرتبط با مطالب همان فصل است. اگرچه این کتاب می‌تواند به تنهایی برای درک و یادگیری مفاهیم الگوریتم‌های ژنتیک به کار رود اما به راستی که خواننده به همراه آن از یک برنامه‌ی شبیه‌ساز نیز استفاده کند. در حال حاضر نرم‌افزارهای فراوانی جهت شبیه‌سازی موجود می‌باشند که رایج‌ترین آن‌ها نرم‌افزار متلب است.

## چشم‌انداز فصل‌ها

چشم‌انداز فصل‌های کتاب در ادامه ارائه شده است. هدف از ارائه‌ی این قسمت کمک به خواننده است تا بتواند برای مطالعه‌ی مطالب مورد نیازش تصمیم‌گیری کند. فصل ۱ مقدمه است و شامل مطالبی است که ممکن است خوانندگان زیادی از قبل با آن‌ها آشنا باشند. با این وجود، توصیه می‌شود که حتی خوانندگان مجرد نیز از خواندن این فصل به طور کامل صرف نظر نکنند. مطالب ارائه شده در فصل‌های این کتاب، به طور خلاصه به شرح زیر است:

**فصل ۱** نگاه مختصری راجع به نظریه‌ی پیچیدگی محاسباتی، روش‌های جستجوی هوش مصنوعی و بهینه‌سازی سنتی به همراه تاریخچه‌ای در مورد الگوریتم‌های بهینه‌سازی طبیعی ارائه می‌کند. خواننده با خواندن این فصل با کلاس‌ها و روش‌های پیچیدگی آشنا می‌شود و به ناکارآمد بودن روش‌های بهینه‌سازی سنتی و اهمیت روش‌های تکاملی پی می‌برد.

**فصل ۲** مفهوم الگوریتم ژنتیک و مراحل لازم برای یک الگوریتم ژنتیک گسسته را به همراه یک مثال ساده بیان می‌کند. خواننده با دنبال کردن مطالب این فصل نه تنها مفهوم الگوریتم ژنتیک را به خوبی درک خواهد کرد بلکه با مزایای آن نسبت به روش‌های سنتی آشنا خواهد شد و قادر خواهد بود تا با پایان فصل، یک الگوریتم ژنتیک دودویی ساده را پیاده‌سازی کند.

**فصل ۳** دو هدف را دنبال می‌کند: یکی بیان الگوریتم ژنتیک پیوسته و دیگری نشان دادن مزایا و معایب آن در مقایسه با الگوریتم ژنتیک گسسته. خواندن مطالب این فصل برای درک مباحث ارائه شده در بخش‌های بعدی کتاب ضروری است.

**فصل ۴** به ارائه مثال‌های کاربردی و پایه‌ای می‌پردازد که با استفاده از مطالب بیان شده در دو فصل قبل به راحتی قابل حل می‌باشند. این فصل نشان می‌دهد که چگونه می‌توان از الگوریتم‌های ژنتیک برای حل مسائل ساده بهره برد و آن‌ها را برای مسائلی که پیش رو دارند، منادب‌سازی کنیم.

**فصل ۵** در مورد مباحث پیشرفته در الگوریتم‌های ژنتیک است. در این فصل مطالبی ارائه می‌شوند که کارایی و قدرت این الگوریتم‌ها را به شدت افزایش می‌دهند. مطالبی همچون الگوریتم‌های ژنتیک مازی، الگوریتم ژنتیک آشفته، الگوریتم ژنتیک مرکب، تاثیر چگونگی انتخاب مولفه‌ها در الگوریتم بر کارایی آن و... از جمله‌ی مباحث مطرح شده در این فصل است.

**فصل ۶** به ارائه مثال‌های پیشرفته و کاربردی‌تری در زمینه‌های مختلف از مهندسی گرفته تا مدیریت، موسیقی و هنر می‌پردازد. فهم این مسائل مستلزم مطالعه و یادگیری مطالب ارائه شده در فصل ۵ است.

**فصل ۷** جدا از فصل‌های ۲ تا ۶ است و در آن با الگوریتم ژنتیک نمی‌پردازد بلکه خواننده را با روش‌های بهینه‌سازی طبیعی دیگر مثل تبرید تدریجی، اجتماع مورچه‌ها و راهبردهای تکاملی آشنا و وی را به سمت مطالعه‌ی روش‌های مصنوعی دیگر جهت بهینه‌سازی سوق می‌دهد.

**پیوست‌ها:** در ادامه‌ی کتاب ۵ پیوست ارائه شده است. پیوست ۱ شامل ۱۲ تابع آزمون معتبر است که می‌توان از آن‌ها برای سنجش برنامه‌های نوشته شده و یادگیری مطالب کتاب بهره برد. پیوست‌های ب و پ به ترتیب شامل کدهای متلب و فورترن الگوریتم‌های ارائه شده در فصل‌های ۲، ۳ و ۵ می‌باشند. در پیوست ت جعبه‌ابزار الگوریتم‌های تکاملی نرم‌افزار متلب به همراه مثال‌هایی آموزش داده شده است. آخرین پیوست یعنی پیوست ث نیز به پیاده‌سازی مسائل بهینه‌سازی متنوع با استفاده از زبان‌های ++C و C می‌پردازد.

**واژه‌نامه:** در پایان کتاب نیز به جهت تفهیم هر چه بیشتر عبارات و اصطلاحات تخصصی به کار رفته در طول فصل‌ها، واژه‌نامه‌ی نسبتاً جامعی ارائه شده است که امید است خواننده با مراجعه به آن مشکلی در فهم مطالب کتاب پیدا نکند.

## روند پیشنهادی جهت مطالعه‌ی کتاب

این کتاب به خواننده، مبانی، مفاهیم پیشرفته، کاربردها و نحوه‌ی پیاده‌سازی الگوریتم‌های ژنتیک را می‌آموزد. برای فهم کامل همه‌ی موضوعات، یا برای یک درس جهت تدریس در یک نیمسال برای دانشجویان تحصیلات تکمیلی؛ توصیه می‌شود که کتاب به طور کامل مطالعه شود. اما برای برپایه‌سازی برخی از نیازهای خاص، مطالعه‌ی برخی از فصل‌ها کفایت می‌کند. خوانندگانی که صرفاً علاقه‌مند به یادگیری و آشنایی با مفاهیم الگوریتم ژنتیک است می‌تواند فقط به مطالعه‌ی فصل‌های ۱ تا ۳ بپردازد. در صورتی که به مطلب خاصی نیاز پیدا کند می‌تواند از سایر فصل‌های کتاب به عنوان مرجع بهره بگیرد. کسانی که با الگوریتم ژنتیک آشنا هستند برای یادگیری مباحث تکمیلی و پیشرفته می‌توانند تنها فصل ۵ را مطالعه کنند. آن دسته از خوانندگان که مایلند علاوه بر مباحث نظری، با کاربردهای الگوریتم ژنتیک نیز آشنا شوند مطالعه‌ی فصل‌های ۴ و ۵ به آن‌ها توصیه می‌شود. گروهی از خوانندگان این کتاب را محققانی تشکیل می‌دهند که علاوه بر یادگیری و آشنایی با مفاهیم نظری الگوریتم ژنتیک، جهت برآورده‌سازی نیازهای پژوهشی و تحقیقاتی خود به یادگیری نحوه‌ی پیاده‌سازی این الگوریتم‌ها نیز نیاز دارند. برای این دسته از خوانندگان مطالعه‌ی پیوست‌های کتاب با توجه به نوع زبان برنامه‌نویسی که انتخاب می‌کنند توصیه می‌شود.

امید است که این کتاب برای دانشجویان، محققان و پژوهشگران مفید باشد و به عنوان گام کوچکی آنان را در مسیر اهداف علمی و عملی‌شان یاری رساند. واضح است که کارهایی از این دست خالی از عیب و نقص نیستند و بنابراین خوانندگان با ارائه‌ی نظرات خود مولفین کتاب را در رفع اشکال‌ها و نواقص احتمالی و بهبود نسخه‌های بعدی کتاب یاری خواهند کرد.