



ویراست سوم

مقدمه‌ای بر

# الگوریتم‌ها

جلد اول

ترجمه: مهندس علی دهقان طرزه

زیر نظر

دکتر یحیی تابش

(عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی شریف)

نویسندگان: کریم

لیزرسون

ریوست

استین

|                     |                                                                    |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------|
| عنوان و نام پدیدآور | مقدمه‌ای بر الگوریتم‌ها/توماس کرمن ... [و دیگران]؛ مترجم علی دهقان |
| وضعیت ویراست        | ویراست سوم                                                         |
| مشخصات نشر          | تهران: نص، ۱۳۸۹.                                                   |
| مشخصات ظاهری        | ۲ جلدی، مصور؛ جدول، نمودار، دو رنگ                                 |
| شابک                | ۱۲۰۰۰۰ ریال (شابک: ج ۱) ISBN: 978-964-410-258-5                    |
| وضعیت فهرست نویسی   | فپبا.                                                              |
| یادداشت             | عنوان اصلی: Introduction to algorithms, 3rd ed, c2009.             |
| یادداشت             | توماس ایچ. کرمن، چارلز لیزرسون، رونالد ریوست...                    |
| موضوع               | برنامه‌نویسی                                                       |
| موضوع               | الگوریتم‌های کامپیوتری                                             |
| شناسه افزوده        | کرمن، تامس                                                         |
| شناسه افزوده        | دهقان، علی، ۱۳۶۴ - مترجم                                           |
| رده‌بندی کنگره      | ۱۳۸۹ ۶۷ م / ۷۶/۶ QA                                                |
| رده‌بندی دیویی      | ۰۰۵۶۱                                                              |
| شماره کتابخانه ملی  | ۲۰۷۳۹۱۴                                                            |



موسسه علمی فرهنگی

مقدمه‌ای بر الگوریتم‌ها / جلد ۱ (ویراست سوم)

توماس کرمن / چارلز لیزرسون / رونالد ریوست / کلیفورد استین

مهندس علی دهقان طرز - با نظارت دکتر یحیی تابش

چاپ اول: پاییز ۸۹

تیراژ: ۲۵۰۰

ناشر: «نص»

قیمت: ۱۲۰۰۰ تومان

طراحی، چاپ، صحافی: موسسه علمی فرهنگی «نص»

دفتر: تهران، میدان انقلاب، خ میری جواد، پست بین، شماره ۶ - فروشگاه ۱: تهران - ضلع جنوب شرقی میدان انقلاب، شماره ۱۵۰۰/۳

تلفن: ۶۶۴۰۵۳۷۲

تلفن: ۶۶۴۱۲۳۸۵ - ۶۶۴۰۵۳۷۲ - ۶۶۵۳۸۸۲ فاکس: ۶۶۹۵۷۶۹۰

م.س.پ. ۱۳۱۲۵-۸۶۲ - فروشگاه ۲: بزد - فلکه اطلسی - بلوار دانشگاه - ترسیده به مجتمع خورشید

ایمیل: info@nasspub.com

تلفن: ۰۳۵۱-۸۲۵۷۱۰۵

کتابفروشی بزرگ نص

وب سایت: www.nass.ir

|                              |                         |
|------------------------------|-------------------------|
| شابک ج ۱: ۹۷۸-۹۶۴-۴۱۰-۲۵۸-۵  | ISBN: 978-964-410-258-5 |
| شابک دوره: ۹۷۸-۹۶۴-۴۱۰-۲۶۰-۸ | ISBN: 978-964-410-260-8 |

## مقدمه دکتر یحیی تابش

الگوریتم یکی از مهم‌ترین مفاهیم علوم عقلی و ابداعات بشری است. هزاران سال است که ریاضی‌دانان، فلاسفه و دانشمندان علوم مختلف بر تفکر ساختار یافته (یا تفکر الگوریتمی) در توسعه‌ی دانش اتفاق نظر داشته‌اند. در سده‌های اخیر با رشد روزافزون ریاضی و علوم طبیعی، الگوریتم به شاخه‌ای مستقل و بالنده از علوم تبدیل شده است. با ابداع ماشین‌های محاسبه و ظهور رایانه، الگوریتم باز هم نقش برجسته‌تری در کاربرد و تکوین علوم پیدا کرده است.

تدریس الگوریتم‌ها به عنوان یک درس پایه برای دانشجویان علوم نظری و کاربردی و کامپیوتر از اواسط سده بیستم در دانشگاه‌ها هم رواج یافت. به دنبال این موضوع، کتاب‌های متعددی با موضوع «الگوریتم‌ها» تألیف شد و در دسترس دانشگاهیان قرار گرفت. مؤلفین این کتاب‌ها افرادی توانا و شایسته بودند، و کتاب‌هایشان در زمان خود مورد استقبال دانشجویان و اساتید قرار گرفت. با ارائه کتاب «مقدمه‌ای بر الگوریتم‌ها» در سال ۱۹۹۰، نوشته‌ی کریم و همکاران به سرعت توجه علاقه‌مندان به این اثر جلب شد. در مدت کوتاهی این کتاب به پرفروش‌ترین کتاب الگوریتم‌ها تبدیل شد و به عنوان مرجع درسی در بهترین دانشگاه‌های سراسر دنیا مورد استفاده قرار گرفت. در اکثر دانشگاه‌های ایران هم این کتاب جای خود را به عنوان مرجع دو درس «ساختار داده‌ها و الگوریتم‌ها» و «طراحی و تحلیل الگوریتم‌ها» باز کرد، که به همین ضرورت از ویرایش‌های قبلی آن چند ترجمه به زبان فارسی صورت گرفته است.

کتابی که در دست دارید، ترجمه‌ای از آخرین ویرایش (ویرایش سوم) کتاب زبان انگلیسی با سال انتشار ۲۰۰۹ می‌باشد. در ترجمه‌ی کتاب سعی شده که در عین دقت در انتقال درست و علمی مطلب، سادگی و رسایی نشر حفظ شود. انتخاب معادل‌ها و واژه‌های مناسب یکی از دغدغه‌های هر مترجم کتاب‌های تخصصی است، که مترجم این کتاب به خوبی از عهده‌ی آن برآمده است.

به علت ماهیت خاص کتاب، مطالب آن نسبتاً سنگین است و در نتیجه خواندن آن می‌تواند برای دانشجو خسته‌کننده باشد. به همین علت با ابتکار ناشر، کتاب به صورت دو رنگ چاپ شده تا به سهولت در خواندن کتاب کمک کند. طی سال‌ها تدریس در دانشگاه صنعتی شریف، متوجه شده‌ام که کتاب خوب در ارتقاء سطح آموزش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. امیدوارم این کتاب هم بتواند به نوبه‌ی خود سهمی در بهبود توان علمی کشور داشته باشد.

دکتر یحیی تابش

عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی شریف

## مقدمه‌ی مترجم

از ابتدای پیدایش بشر، یکی از دغدغه‌های مهم انسان (و شاید مهم‌ترین آن‌ها) یافتن معنی، هدف، یا انگیزه‌ای برای زیستن روی کره‌ی خاکی بوده است. هدفی که تمامی ادیان بر روی آن تمرکز داشته‌اند، و متفکران مختلف در طول سالیان، راه‌کارهای گوناگونی برای دستیابی به آن ارائه کرده‌اند. چیزی که اکثر این ادیان و مکاتب در آن اتفاق نظر داشته‌اند، نقش خود فرد در تعیین هدف زندگی است، که از طرف بسیاری از پیروان این مکاتب نادیده گرفته می‌شود. هیچ مکتبی نمی‌تواند دستورالعملی جامع برای دستیابی تک‌تک افراد به تعالی ارائه دهد، چرا که هر کس در آفرینش منحصر به فرد است و باید نقشی متفاوت در این دنیا ایفا کند، و درک این نقش میسر نخواهد شد مگر از طریق تفکر و تعقل خود فرد (حقیقتی که تمامی ادیان الهی به آن تأکید دارند). وظیفه‌ی مکاتب فقط ارائه‌ی رویکرد کلی است، و در نهایت این شماست که می‌توانید مسیر دقیق رشد خود را تعیین کنید.

حتماً تا به حال با افرادی مواجه شده‌اید که صرفاً به خاطر فشار اطرافیان، احساس ناتوانی یا دلایل دیگر، در زمینه‌ای تحصیل یا کار می‌کنند که به آن علاقه ندارند. این تلاش معمولاً نتیجه‌ای ندارد جز سرخوردگی و هدر رفتن استعدادها و درونی فرد. نیت از نگارش این مقدمه هم چیزی نیست جز واداشتن خودم و شما به لحظه‌ای تأمل. تأمل در مسیری که در پیش گرفته‌ایم و در آن گام برمی‌داریم. تأمل در مورد این که آیا این مسیر ما را به رشد و تعالی فردی نزدیک می‌کند یا نه. این که آیا تا کنون سعی کرده‌ایم به فلسفه‌ی وجودی خود پی ببریم، یا ما هم جزء افرادی هستیم که ناخواسته و بدون هدف در مسیری که دیگران برای ما تعیین کرده‌اند گام برمی‌داریم.

به هیچ وجه انتظار ندارم نظرات این حقیر را بپذیرید، بلکه فقط امیدوارم مشوقی باشم برای تفکر بیشتر در مورد راهی که تا کنون پیموده‌ایم و مسیری که پیش رو داریم، چرا که تفکر لازمی حصول آگاهی است و حرکت ناآگاهانه به مقصد درستی منتهی نخواهد شد. از این رو تقاضا دارم قبل از خواندن این کتاب (یا انجام هر کار دیگر) لحظه‌ای صادقانه در مورد اهدافی که در زندگی دارید بیاندیشید، و همواره سعی کنید فقط در راستای نیل به آن اهداف حرکت کنید. امیدوارم خواندن این کتاب برای شما گامی باشد در همین راستا.

+++

تمام دغدغه‌ی این جانب در برگردان این اثر، انتقال صحیح و روان مفاهیم ارائه شده در کتاب بوده است. در این راستا از ترجمه‌ی کلمه به کلمه به شدت پرهیز کرده، و نهایت تلاش خود را به کار برده‌ام که قبل از آغاز ترجمه‌ی هر بخش، ابتدا به دقت و با جزئیات تمام مطالب آن را مرور کنم تا بتوانم به درستی آن‌ها را به خواننده منتقل کنم. امیدوارم این تلاش نتیجه‌بخش بوده، و گامی باشد هر چند ناچیز در راستای آموزش علاقه‌مندان به مبحث الگوریتم. در انتها از شما خواننده‌ی عزیز تقاضا دارم که در بهبود این اثر یاری خود را از ما دریغ نکنید. مسلماً این اثر بدون نقص نیست، ولی بهره‌مندی از دیدگاه‌های سازنده‌ی شما خوانندگان ما را به ارتقای سطح کیفی ترجمه در چاپ‌های آتی دلگرم می‌کند. در صورت مشاهده‌ی هر گونه خطا در نگارش یا ترجمه و یا داشتن هر گونه پیشنهاد یا انتقاد، لطفاً به آدرس‌های زیر ارسال فرمائید.

ali.dehghan.tarzeh@gmail.com  
info@nasspub.com

# مقدمه نویسندگان

## مقدمه

قبل از به وجود آمدن کامپیوترها، الگوریتم‌ها وجود داشتند. اکنون که کامپیوترها به وجود آمده‌اند، وجود الگوریتم‌ها بسیار پررنگ‌تر از قبل شده است، چرا که در قلب محاسبات کامپیوتری قرار دارند. کتاب حاضر، مقدمه‌ای است جامع برای آموزش مدرن الگوریتم‌های کامپیوتری. این کتاب الگوریتم‌های بسیاری معرفی و آن‌ها را به صورت عمیق بررسی می‌کند، ولی با این حال این معرفی طوری است که طراحی و تحلیل آن‌ها برای خوانندگان تمام سطوح قابل دسترس است. سعی شده است که بدون از دست رفتن عمق بررسی یا دقت ریاضی، توضیحات به صورت مقدماتی باشد تا برای تمام خوانندگان قابل فهم باشد.

هر فصل یک الگوریتم، یک تکنیک طراحی، یک حوزه‌ی کاربرد، یا یک موضوع مربوط را ارائه می‌کند. الگوریتم‌ها به زبان انگلیسی و به شکل سودو کد طراحی شده‌اند تا برای تمام کسانی که به صورت سطحی با برنامه‌نویسی آشنایی دارند، قابل فهم باشد. کل کتاب حاوی بیش از ۲۴۴ شکل است که نحوه‌ی اجرای الگوریتم‌ها را مشخص می‌کنند. از آنجایی که کارایی را به عنوان یک معیار طراحی می‌شناسیم، تحلیل دقیق زمان اجرای تمام الگوریتم‌ها را در کتاب گنجانده‌ایم.

ساختار متن کتاب طوری است که برای استفاده در واحدهای درسی الگوریتم‌ها یا ساختمان داده‌ها در مقاطع تحصیلی کارشناسی و یا کارشناسی ارشد قابل استفاده باشد. چون در کتاب بحث‌هایی در مورد مطالب مهندسی در طراحی الگوریتم‌ها، و همچنین جنبه‌های ریاضی وجود دارد، می‌توان از آن به عنوان خودآموز هم استفاده کرد.

## برای آموزگاران

این کتاب طوری طراحی شده است که هم فراگیر باشد و هم کامل. برای درس‌های مختلفی این کتاب را مفید خواهید یافت، از یک واحد ساختمان داده‌ها در دوره‌ی کارشناسی تا یک واحد الگوریتم در دوره‌ی کارشناسی ارشد. از آنجایی که محتویات این کتاب بسیار بیشتر از مطالب مورد نیاز در یک درس در طول یک ترم است، باید به آن به صورت یک «قفسه» نگاه کنید، که می‌توانید مطالبی را که بیشترین همخوانی را با واحد مورد نظر شما دارد، انتخاب کرده و آموزش دهید.

احتمالاً مرتب کردن فصول به طور دلخواه، به طوری که با درس شما متناسب باشد، برای شما کار ساده‌ای خواهد بود. فصول نسبتاً مستقل هستند، و بنابراین نیازی نیست که نگران وجود وابستگی‌های غیر منتظره از فصلی به فصل دیگر باشید. در هر فصل، ابتدا مطالب ساده‌تر و سپس مطالب سخت‌تر گنجانده شده‌اند، به همراه بخش‌بندی‌هایی که مرز مطالب را مشخص می‌کنند. در یک درس در دوره‌ی کارشناسی، ممکن است بخواهید که فقط از بخش‌های اول یک فصل استفاده کنید، و در یک درس در دوره‌ی کارشناسی ارشد، ممکن است بخواهید تمام فصل را پوشش دهید.

کتاب شامل بیش از ۹۲۰ تمرین و بیش از ۱۴۰ مسئله است. هر بخش با چند تمرین، و هر فصل با چند مسئله به پایان می‌رسد. معمولاً تمرین‌ها سؤال‌های کوتاهی هستند که تسلط اولیه بر روی مباحث را آزمایش می‌کنند. بعضی از آن‌ها تمرین‌های خودآموز ساده هستند، در حالی که بعضی دیگر مقداری محکم‌تر هستند، و می‌توان از آن‌ها به عنوان تکلیف استفاده کرد. مسئله‌ها بررسی‌های موردی ظریف‌تری هستند که معمولاً مطالب جدیدی را معرفی می‌کنند؛ آن‌ها معمولاً شامل چندین سؤال هستند که دانشجو را طی مراحل مورد نیاز برای رسیدن به یک جواب کلی راهنمایی می‌کند.

بخش‌ها و تمرین‌هایی که ستاره (\*) دارند، بیشتر برای دانشجویان دوره‌ی کارشناسی ارشد مناسب هستند تا دانشجویان دوره‌ی کارشناسی. یک بخش ستاره‌دار لزوماً مشکل‌تر از یک بخش بدون ستاره نیست، ولی ممکن است به درک مطالب پیشرفته‌تری نیاز داشته باشد. متشابهاً، تمرین‌های ستاره‌دار ممکن است به یک پیش‌زمینه‌ی قبلی و یا خلاقیت بالاتر از سطح متوسط احتیاج داشته باشند.

## برای دانشجو

امیدواریم که این کتاب یک معرفی لذت‌بخش در زمینه‌ی الگوریتم‌ها برای شما فراهم کرده باشد. سعی کرده‌ایم که تمام الگوریتم‌ها را قابل فهم و جذاب توصیف کنیم. برای کمک به شما وقتی که به الگوریتم‌های مشکل یا ناآشنا بر می‌خورید، هر کدام از الگوریتم‌ها به صورت قدم به قدم توصیف شده است. همچنین توضیحات دقیقی از ریاضیات مورد نیاز برای تحلیل الگوریتم فراهم شده است. اگر از قبل با یک موضوع آشنایی دارید، ساختار فصل‌ها را طوری خواهید یافت که می‌توانید از بخش‌های مقدماتی صرف نظر کرده و به سرعت به بخش‌های پیش‌رفته‌تر برسید.

حجم این کتاب زیاد است، و احتمالاً در کلاس شما فقط بخشی از مطالب آن پوشش داده خواهد شد. با این حال، سعی شده است که کتاب هم اکنون به عنوان یک کتاب درسی، و بعداً به عنوان یک مرجع ریاضی و یا یک راهنمایی مهندسی برای شما قابل استفاده باشد.

پیش‌زمینه‌های مورد نیاز برای این کتاب چیست؟

- باید مقداری تجربه‌ی برنامه‌نویسی داشته باشید. به خصوص، باید با رویه‌های بازگشتی و ساختمان‌های داده‌ی ساده مانند آرایه‌ها و لیست‌های پیوندی آشنا باشید.
- باید تا حدودی در اثبات کردن به وسیله‌ی استقرا مهارت داشته باشید. مقدار کمی از کتاب به پیش‌زمینه‌ای مقدماتی در حسابان نیاز دارد. غیر از آن، قسمت‌های I و VIII تمام تکنیک‌های ریاضی مورد نیاز را به شما آموزش می‌دهند.

## برای کاربران

دامنه‌ی وسیع مطالب این کتاب، آن را به یک راهنمای مناسب بر روی الگوریتم‌ها تبدیل کرده است. از آن جایی که مطالب هر فصل نسبتاً مستقل است، می‌توانید فقط بر روی مباحثی تمرکز کنید که مورد نیاز شما هستند.

اکثر الگوریتم‌هایی که در مورد آن‌ها بحث می‌کنیم، در عمل کاربردهای فراوانی دارند. بنابراین در کتاب به مسائل پیاده‌سازی و مهندسی هم اشاره شده است. معمولاً برای الگوریتم‌های کمی که فقط کاربرد نظری دارند، جایگزین‌های کاربردی هم ارائه خواهیم کرد.

اگر می‌خواهید هر یک از الگوریتم‌ها را پیاده‌سازی کنید، ترجمه‌ی سودوکد به زبان برنامه‌نویسی مورد نظر خود را کاری نسبتاً سراسر است خواهید یافت. سودوکدها طوری طراحی شده‌اند که الگوریتم‌ها را به صورت واضح و مختصر شرح دهند. به همین دلیل در آن‌ها به مدیریت خطا (error-handling) و مسائل مهندسی نرم‌افزار که به فرض‌های خاص در مورد محیط برنامه‌نویسی نیاز دارند، اشاره نشده است. سعی شده است که توصیف هر الگوریتم ساده و مستقیم باشد تا خصوصیات منحصر به فرد یک زبان برنامه‌نویسی خاص، شفافیت آن را از بین نبرد.

# فهرست مطالب

## بخش اول - مبنای ..... ۱۴

فصل ۱- نقش الگوریتم‌ها در محاسبات ..... ۱۷

۱-۱ الگوریتم‌ها ..... ۱۷

۲-۱ الگوریتم به عنوان یک فناوری ..... ۲۳

فصل ۲- آغاز ..... ۲۹

۱-۲ مرتب‌سازی درجی ..... ۲۹

۲-۲ تحلیل الگوریتم‌ها ..... ۳۶

۳-۲ طراحی الگوریتم‌ها ..... ۴۲

فصل ۳- رشد توابع ..... ۵۵

۵-۳ مقدمه ..... ۵۵

۱-۳ نمادهای حدی ..... ۵۶

۲-۳ نمادهای استاندارد و توابع متعارف ..... ۶۵

فصل ۴- تقسیم و حل ..... ۷۷

۱-۴ مسئله‌ی زیرآرایه‌ی بیشینه ..... ۸۰

۲-۴ الگوریتم استراسن برای ضرب ماتریس‌ها ..... ۸۷

۳-۴ روش جانشین‌سازی برای حل روابط بازگشتی ..... ۹۵

۴-۴ روش درخت بازگشتی برای حل بازگشت‌ها ..... ۱۰۰



|          |                                                                    |
|----------|--------------------------------------------------------------------|
| ۱۰۵..... | ۵-۴ قضیه‌ی اصلی برای حل رابطه‌های بازگشتی.....                     |
| ۱۰۹..... | ۶-۴* اثبات قضیه‌ی اصلی.....                                        |
| ۱۲۳..... | فصل ۵- تحلیل احتمالاتی و الگوریتم‌های تصادفی.....                  |
| ۱۲۳..... | ۱-۵ مسئله‌ی استخدام.....                                           |
| ۱۲۷..... | ۲-۵ متغیرهای تصادفی شاخص.....                                      |
| ۱۳۱..... | ۳-۵ الگوریتم‌های تصادفی.....                                       |
| ۱۳۸..... | ۴-۵* تحلیل احتمالاتی و استفاده‌های بیشتر متغیرهای تصادفی شاخص..... |

## بخش دوم - مرتب‌سازی و آمار ترتیبی..... ۱۵۴

|          |                                             |
|----------|---------------------------------------------|
| ۱۶۱..... | فصل ۶- مرتب‌سازی هرمی.....                  |
| ۱۶۱..... | ۵-۶ مقدمه.....                              |
| ۱۶۲..... | ۱-۶ هرم‌ها.....                             |
| ۱۶۴..... | ۲-۶ حفظ خصوصیت هرم.....                     |
| ۱۶۶..... | ۳-۶ ساختن هرم.....                          |
| ۱۶۹..... | ۴-۶ الگوریتم مرتب‌سازی هرمی.....            |
| ۱۷۱..... | ۵-۶ صف‌های اولویت.....                      |
| ۱۷۹..... | فصل ۷- مرتب‌سازی سریع.....                  |
| ۱۷۹..... | ۱-۷ تعریف مرتب‌سازی سریع.....               |
| ۱۸۴..... | ۲-۷ کارایی مرتب‌سازی سریع.....              |
| ۱۸۸..... | ۳-۷ یک نسخه‌ی تصادفی از مرتب‌سازی سریع..... |
| ۱۸۹..... | ۴-۷ تحلیل مرتب‌سازی سریع.....               |
| ۲۰۱..... | فصل ۸- مرتب‌سازی در زمان خطی.....           |
| ۲۰۱..... | ۵-۸ مقدمه.....                              |
| ۲۰۲..... | ۱-۸ کران‌های پایین برای مرتب‌سازی.....      |
| ۲۰۴..... | ۲-۸ مرتب‌سازی شمارشی.....                   |
| ۲۰۷..... | ۳-۸ مرتب‌سازی مینایی.....                   |
| ۲۱۱..... | ۴-۸ مرتب‌سازی سطلی.....                     |
| ۲۲۳..... | فصل ۹- میانه‌ها و شاخص‌های ترتیبی.....      |
| ۲۲۳..... | ۵-۹ مقدمه.....                              |

|          |                                           |     |
|----------|-------------------------------------------|-----|
| ۲۲۴..... | مقادیر کمینه و بیشینه.....                | ۱-۹ |
| ۲۲۵..... | انتخاب با زمان اجرای مورد انتظار خطی..... | ۲-۹ |
| ۲۳۰..... | انتخاب در بدترین حالت زمان اجرای خطی..... | ۳-۹ |

## بخش سوم - ساختمان‌های داده..... ۲۳۸

|          |                                                            |  |
|----------|------------------------------------------------------------|--|
| ۲۴۳..... | فصل ۱۰- ساختمان‌های داده‌ی مقدماتی.....                    |  |
| ۲۴۳..... | ۱-۱۰ پشته و صف.....                                        |  |
| ۲۴۷..... | ۲-۱۰ لیست‌های پیوندی.....                                  |  |
| ۲۵۲..... | ۳-۱۰ پیاده‌سازی اشاره‌گرها و اشیا.....                     |  |
| ۲۵۶..... | ۴-۱۰ نمایش درخت‌های ریشه‌دار.....                          |  |
| ۲۶۳..... | فصل ۱۱- جداول درهم.....                                    |  |
| ۲۶۳..... | ۵-۱۱ مقدمه.....                                            |  |
| ۲۶۴..... | ۱-۱۱ جداول آدرس مستقیم.....                                |  |
| ۲۶۶..... | ۲-۱۱ جداول درهم.....                                       |  |
| ۲۷۲..... | ۳-۱۱ توابع درهم‌ساز.....                                   |  |
| ۲۸۰..... | ۴-۱۱ آدرس‌دهی باز.....                                     |  |
| ۲۸۸..... | ۵-۱۱* درهم‌سازی کامل.....                                  |  |
| ۲۹۷..... | فصل ۱۲- درخت‌های جستجوی دودویی.....                        |  |
| ۲۹۷..... | ۵-۱۲ مقدمه.....                                            |  |
| ۲۹۸..... | ۱-۱۲ درخت جستجوی دودویی چیست؟.....                         |  |
| ۳۰۱..... | ۲-۱۲ جستجوهای مختلف در درخت‌های جستجوی دودویی.....         |  |
| ۳۰۵..... | ۳-۱۲ درج و حذف.....                                        |  |
| ۳۱۰..... | ۴-۱۲* درخت‌های جستجوی دودویی به صورت تصادفی ساخته شده..... |  |
| ۳۱۹..... | فصل ۱۳- درختان قرمز- سیاه.....                             |  |
| ۳۱۹..... | ۱-۱۳ خصوصیات درختان قرمز- سیاه.....                        |  |
| ۳۲۳..... | ۲-۱۳ دوران‌ها.....                                         |  |
| ۳۲۵..... | ۳-۱۳ درج.....                                              |  |
| ۳۳۳..... | ۴-۱۳ حذف.....                                              |  |

|          |                                        |
|----------|----------------------------------------|
| ۳۴۹..... | فصل ۱۴- ساختمان‌های داده‌ی تکمیلی..... |
| ۳۵۰..... | ۱-۱۴ شاخص‌های تربیتی پویا.....         |
| ۳۵۵..... | ۲-۱۴ نحوه‌ی تکمیل یک ساختمان داده..... |
| ۳۵۸..... | ۳-۱۴ درختان بازه‌ای.....               |

## بخش چهارم - تکنیک‌های پیشرفته‌ی تحلیل و طراحی ۳۶۸

|          |                                             |
|----------|---------------------------------------------|
| ۳۷۱..... | فصل ۱۵- برنامه‌ریزی پویا.....               |
| ۳۷۱..... | ۵-۱۵ مقدمه.....                             |
| ۳۷۲..... | ۱-۱۵ برش میله.....                          |
| ۳۸۲..... | ۲-۱۵ ضرب زنجیره‌ی ماتریس‌ها.....            |
| ۳۹۰..... | ۳-۱۵ عناصر برنامه‌ریزی پویا.....            |
| ۴۰۲..... | ۴-۱۵ طولانی‌ترین زیردنباله‌ی مشترک.....     |
| ۴۰۹..... | ۵-۱۵ درخت‌های جستجوی دودویی بهینه.....      |
| ۴۲۷..... | فصل ۱۶- الگوریتم‌های حریصانه.....           |
| ۴۲۷..... | ۵-۱۶ مقدمه.....                             |
| ۴۲۸..... | ۱-۱۶ یک مسئله‌ی انتخاب فعالیت.....          |
| ۴۳۶..... | ۲-۱۶ عناصر استراتژی حریصانه.....            |
| ۴۴۱..... | ۳-۱۶ کدهای هافمن.....                       |
| ۴۵۰..... | ۴-۱۶ ★ مبانی تنوری برای متدهای حریصانه..... |
| ۴۵۷..... | ۵-۱۶ ★ یک مسئله‌ی انتخاب فعالیت.....        |
| ۴۶۵..... | فصل ۱۷- تحلیل سرشکن.....                    |
| ۴۶۵..... | ۵-۱۷ مقدمه.....                             |
| ۴۶۶..... | ۱-۱۷ تحلیل متراکم.....                      |
| ۴۷۰..... | ۲-۱۷ متد حسابداری.....                      |
| ۴۷۳..... | ۳-۱۷ متد پتانسیل.....                       |
| ۴۷۷..... | ۴-۱۷ جداول پویا.....                        |