



ساختمان دانه ها و الگوریتم ها

مؤلف:

دکتر محسن ابراهیمی مقدم

مهندس آذرخش کی پور

مهندس امیر حسین عبدی

سرشناسه	ابراهیمی مقدم، محسن
عنوان و نام پدیدآور	ساختمان داده‌ها و الگوریتم‌ها / مؤلف محسن ابراهیمی مقدم. آذرخش کی‌پور، امیرحسین عیدی.
مشخصات نشر	تهران؛ دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، بسیج دانشجویی، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری	[۴۶۲] ص: مصور، جدول.
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۶۹۲۷-۴۳-۵ : ۱۹۵۰۰۰ ریال
وضعیت فهرست‌نویسی	فیا
یادداشت	چاپ قبلی: سازمان بسیج دانشجویی، ۱۳۹۱.
موضوع	ساختمان داده‌ها - راهنمای آموزشی (عالی)
موضوع	ساختمان داده‌ها - مسائل، تمرین‌ها و غیره (عالی)
موضوع	ساختمان داده‌ها - آزمون‌ها و تمرین‌ها (عالی)
شناسه افزوده	کی‌پور، آذرخش، ۱۳۵۷ -
شناسه افزوده	عیدی، امیرحسین، ۱۳۵۷ -
شناسه ورود	دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی. بسیج دانشجویی
رده‌بندی کلاس	۱۳۹۳ الف ۲ س / ۹ / ۷۶ QA
رده‌بندی دیویدی	۰۰۵/۷۳۰
شماره کتاب‌شناسی	۳۴۲۹۰۰۰
تاریخ درخواست	۱۳۹۲/۱۲/۱۱
تاریخ پاسخگویی	۱۳۹۲/۱۲/۱۹

نام کتاب	ساختمان داده‌ها و الگوریتم‌ها
مؤلف	محسن ابراهیمی مقدم
ناشر	بسیج دانشجویی دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی
نوبت چاپ	اول
سال و محل نشر	تهران، ۱۳۹۲
ناظر فنی چاپ	حمیدرضا پوری‌عقوبی - علی غزالی
صفحه‌آرایی	علی‌اکبر هدایتی
طراح جلد	محمد رضا حاج محمدحسینی
تیراژ	۲۰۰۰ جلد
قیمت	۱۹۵۰۰ تومان

هرگونه چاپ و تکثیر از این اثر ممنوع و به موجب بند ۵ ماده ۲ قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و پیگرد قانونی دارد.
نشانی: خیابان شریعتی، نرسیده به پل سید خندان، دانشکده برق دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، مرکز خدمات آموزشی تهران
تلفن: ۸۸۴۶۴۷۸۰-۸۸۴۶۴۳۵

پس از چاپ کتب هوش مصنوعی از مجموعه کتب «رشته مهندسی کامپیوتر» (مرکز خدمات آموزشی نصیر) بار دیگر توفیق یافتیم تا با انتشار کتاب ساختمان داده‌ها و الگوریتم‌ها که به قلم توانای استاد گرانقدر و فرهیخته جناب آقای دکتر محسن ابراهیمی مقدم تألیف شده است. این مجموعه را توسعه دهیم.

«مرکز خدمات آموزشی نصیر» وابسته به بسیج دانشجویی دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، اولین مرکز آموزشی در حیطه‌ی آمادگی آزمون‌های کارشناسی ارشد در کشور است که از شروع فعالیت‌های آن قریب به بیست سال می‌گذرد. این مرکز که در سال ۱۳۷۱ توسط دانشجویان بسیجی دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی ایجاد و بنیاد نهاده شد در طی این سال‌ها همواره در حال رشد، ترقی و تعالی بوده است و علاوه بر توسعه حیطه فعالیت‌ها و گسترش کمی مخاطبان، کیفیت آموزش و سطح علمی آن همواره روند رو به رشدی را داشته است با توجه به این که این مرکز زیرمجموعه بسیج دانشجویی می‌باشد، اصلی‌ترین هدف خود را خدمت‌رسانی، عدالت آموزشی و ارتقاء علمی دانشجویان قرار داده است و از این جهت شاخص‌ترین مرکز آموزشی در میان مؤسسات مشابه است. این کیفیت را تر از یک ادعا می‌باشد؛ از این رو همواره به‌عنوان مرکزی خوش‌نام و موفق در میان اساتید و دانشجویان محترم مطرح بوده است. به‌علاوه چون مسئولین و کادر این مرکز خود نیز اغلب از دانشجویان دانشگاه‌های تهران هستند، بیشتر این اساتید را با دانشجویان مخاطب دارند و همواره از نقطه‌نظر آنان استفاده می‌کنند. در زیر نکاتی برای آشنایی بیشتر شما مخاطب گرامی با این مرکز ذکر می‌شود:

(۱) استفاده از اساتید مجرب و توانمند از دانشگاه‌های تهران که به‌لحاظ علمی جزو سرآمدترین اساتید کشور می‌باشند؛ از اصلی‌ترین اهداف و غیبت این مرکز است. اعتقاد ما این است که به این هدف مقدس و والا و این موفقیت هرگز نائل نمی‌شدیم مگر با مساعدت و تلاش و همکاری صادقانه اساتید گران‌قدر که در این راه، تمامی پتانسیل و انگیزه‌ی خود را در سربوهای فعالیت‌های مرکز قرار داده‌اند.

(۲) رویکرد ما همواره افزایش سطح کیفی فعالیت‌ها و ادعا می‌کنیم که آن با کمترین هزینه می‌باشد که با تحقق آن هدف اصلی ما که خدمت‌رسانی و ارتقاء هرچه بیشتر علمی دانشجویان این مرکز و بوم در کنار عدالت آموزشی می‌باشد محقق می‌شود.

(۳) با توجه به برگزاری ۲۰ سال کلاس‌های آموزشی و ۱۰ سال آزمون‌های آموزشی، تجربه‌ی گران‌بهای اندوخته‌ایم که یکی از عوامل اصلی موفقیت روزافزون ما است. این تجربیات که سایر مؤسسات نیز در پاره‌ای از موارد از آن استفاده کرده و الگو گرفته‌اند، همواره مرکز خدمات آموزشی نصیر را در جایگاه پیشروترین مؤسسه آموزشی کارشناسی ارشد قرار داده است.

(۴) با توجه به اهداف مذکور هزینه خدمات ارائه شده کمترین مقدار را در میان تمامی مؤسسات مشابه دارا می‌باشد، که این اختلاف عمیق بعضاً باعث تعجب و ایجاد سؤال برای مخاطبانی که تازه با این مرکز آشنا شده‌اند ولی پس از آشنایی بیشتر با این مجموعه پاسخ سؤال خود را دریافت نموده‌اند.

با عطف به سابقه درخشان این مرکز در طی این سال‌ها و ضعف موجود در زمینه‌ی کتاب‌های کارشناسی ارشد

به لحاظ کیفی، این مجموعه تصمیم گرفت که در این زمینه نیز وارد شده و افتخاری دیگر به افتخارات خود بیفزاید.

«مجموعه کتاب‌های کارشناسی ارشد نصیر» که از این پس به تدریج در اختیار علاقمندان قرار خواهد گرفت. مجموعه‌ای بی‌نظیر با رویکردی نوین و ویژگی‌های منحصر به فرد به‌طوری که داوطلبان بعد از مراجعه به آن نیاز به استفاده از منابع دیگر نخواهند داشت. نظر به همکاری اساتید گران‌قدری که با خود کوله‌باری از تجربه ارزشمند علمی در سطح دانشگاه‌ها و کلاس‌های مرکز خدمات آموزشی نصیر را دارند و رعایت بالاترین کیفیت در صفحه‌آرایی و چاپ، دانشجویان عزیز لذت واقعی یادگیری را خواهند چشید. در این جا لازم است از زحمات فراوان استاد گران‌قدر جناب آقای دکتر محسن ابراهیمی‌مقدم در تألیف این اثر ارزشمند کمال قدردانی بنماییم.

در این مجموعه فعالیت‌های این مرکز را تقدیم می‌کنیم به شهدای دفاع مقدس، این شمع‌های همیشه فروزان، به سبب آنکه با مقاومت مردانه خود حماسه‌ای جاوید آفریدند.

مرکز خدمات آموزشی نصیر

www.ketab.ir

درس ساختمان داده‌ها و الگوریتم‌ها که به داده ساختارها نیز مشهور است، از مهم‌ترین دروس رشته مهندسی کامپیوتر در تمامی گرایش‌هاست. بی‌شک داشتن اطلاعات کامل و جامع و تسلط بر مباحث مطرح در این درس، نه تنها به دانشجویان کمک شایانی در فراگیری سایر دروس خواهد کرد، بلکه باعث ایجاد دیدی ژرف و منعطف در حوزه مسائل رشته مهندسی کامپیوتر خواهد شد. اهمیت درس ساختمان داده‌ها تا بدانجاست که تقریباً در تمامی آزمون‌های ورودی مقاطع مختلف رشته مهندسی کامپیوتر، سؤالات این درس مورد آزمون قرار می‌گیرد. به‌رغم اهمیت فوق‌العاده و مباحث جذاب درس و همچنین وجود منابع گسترده به زبان انگلیسی، منابع فارسی مناسب و قابل اطمینان باشند بسیار اندک و در حد یک یا دو کتاب می‌باشد.

لذا در این کتاب بر آن شدیم، تا ضمن تألیف مجموعه‌ای جامع و کامل که تمامی سرفصل‌های درس را به خوبی می‌پوشاند با رویکردی آموزشی مطالب ارائه شوند. به صورتی که دانشجو بتواند با مطالعه مباحث این کتاب مفاهیم درس را به خوبی فراگرفته و بر آنها مسلط شود. امید است با توجه به نحوه ارائه مطالب و ترتیب آنها، این کتاب بتواند به عنوان منبع مناسب درسی در آزمون‌های مقاطع مختلف رشته مهندسی کامپیوتر برای دانشجویان به کار گرفته شود.

در راستای افزایش جنبه آموزشی کتاب حاضر، سعی شده است در انتهای هر فصل تمرین‌هایی برای دانشجویان ارائه شود. به کلیه دانشجویان محترم توصیه می‌شود، ضمن مطالعه مطالب کتاب حتماً نسبت به حل تمرین‌ها اقدام نمایند تا فرآیند یادگیری کامل‌تر شود. علاوه بر این سؤالات آزمون‌های مختلف رشته مهندسی کامپیوتر به صورت موضوعی طبقه‌بندی شده و در انتهای هر فصل ارائه شده است ضمن اینکه پاسخ آنها نیز به صورت تشریحی برای استفاده بهتر و درک بالاتر ارائه شده است.

در پایان از زحمات کلیه افرادی که در تألیف این کتاب و ویرایش آن در طی حدود دو سال تلاش فراوانی داشته‌اند تشکر و قدردانی می‌کنم. از جمله این افراد می‌توان آقایان مهندس آذرخش کی‌پور و مهندس امیرحسین عبدی اشاره کرد که زحمات فراوان در تهیه مطالب و ویرایش و برایش آنها کشیدند و اگر زحمات ایشان نبود قطعاً این کتاب را پایانی نبود. علاوه بر ایشان از زحمات آقایان فواد شعرباغیان که زحمت ویرایش نهایی کتاب را بر عهده داشته‌اند، تشکر و قدردانی فراوان دارم. در انتها از حمید آقای زنگی در فرآیند رسم شکل‌ها تشکر و قدردانی می‌کنم. همچنین از تلاش و زحمت کلیه دانشجویان دانشگاه شهید بهشتی که به نوعی با ارسال بازخوردهای مناسب سعی در غنی کردن کتاب مذکور نموده‌اند تشکر و قدردانی می‌شود.

از کلیه خوانندگان عزیز و محترم استدعا دارم چنانچه نظر و پیشنهادی در کتاب مشاهده کردید یا دیدی را مشاهده می‌کنند- که قطعاً در چاپ اول ناگزیر است- در راه اعتلای علمی کتاب، آن موارد را از طریق پست الکترونیکی m_moghadam@sbu.ac.ir برای اینجانب ارسال نمایند تا در ویرایش‌های بعدی مورد توجه قرار گیرد.

محسن ابراهیمی مقدم

اسفندماه نود و یک

۱	مقدمه
۵	بخش اول: تحلیل الگوریتم‌ها
۷	فصل ۱: مفاهیم مقدماتی در تحلیل الگوریتم‌ها
۷	۱-۱ مقدمه
۹	۲-۱ تحلیل پیچیدگی زمانی الگوریتم‌های تریبی
۴	۱-۲-۱ محاسبه‌ی تابع مربوط به پیچیدگی زمانی الگوریتم
۵	۲-۲-۱ حالت‌های مختلف ورودی
۵	۱-۲-۲-۱ بهترین حالت
۶	۲-۲-۲ بدترین حالت
۶	۱-۲-۲-۱ حالت میانگین
۷	۱-۱ تحلیل الگوریتم‌ها
۱	۳-۱ تحلیل الگوریتم مربوط به درجی
۷	۴-۱ نمادهای مجزا
۷	۱-۴-۱ نماد O
۸	۱-۴-۱ خصوصیات نماد O
۹	۲-۴-۱ نماد Ω
۱۰	۱-۲-۴-۱ خصوصیات نماد Ω
۱۰	۳-۴-۱ نماد Θ
۱۱	۱-۳-۴-۱ خصوصیات نماد Θ
۱۱	۴-۴-۱ نماد ω
۱۲	۱-۴-۴-۱ خصوصیات نماد ω
۱۳	۵-۴-۱ نماد $\ominus$
۱۳	۱-۵-۴-۱ خصوصیات نماد $\ominus$
۱۳	۵-۱ خصوصیات مربوط به رابطه‌ی بین نمادها
۱۴	۶-۱ اصول محاسبه‌ی مرتبه‌ی توابع
۱۸	۷-۱ تحلیل استهلاکی توابع
۱۹	تمرینات
۱۵	منابع
۱۶	سؤالات کنکور فصل ۱
۱۲	حل سؤالات کنکور فصل ۱

۹	فصل ۲: الگوریتم‌های بازگشتی
۹	۱-۲ اصل استقرای ریاضی
۰	۱-۲-۱ استقرای ساده‌ی ریاضی
۱	۱-۲-۲ استقرای قوی ریاضی
۲	۲-۲ توابع بازگشتی
۳	۳-۲ الگوریتم‌های بازگشتی
۶	۴-۲ تحلیل برنامه‌های بازگشتی
۴	تمرینات
۵	۵-۲ روش‌های حل روابط بازگشتی
۵	۱-۵-۲ حل دقیق رابطه‌ی بازگشتی
۷	۲-۵-۲ روش جانشینی (روش مبتنی بر حدس)
۰	۱-۲ روش تغییر متغیر
۱	۲-۵-۲ روش درخت بازگشت
۵	۳-۵-۲ ضمیمه‌ی ۱
۸	منابع
۹	سؤالات کنکور فصل ۲
۰	حل سؤالات کنکور فصل ۲
۹	بخش دوم: مباحث مقدماتی ساختمان‌های داده
۱	فصل ۳: ساختمان‌های داده‌های مقدماتی
۱	۱-۳ مقدمه
۲	۲-۳ موضوعات اصلی در بررسی ساختمان‌های داده
۳	۳-۳ مروری بر ساختمان‌های داده
۴	۴-۳ نوع داده‌ی انتزاعی
۵	۵-۳ ابزارهای زبان‌های برنامه‌نویسی
۵	۶-۳ آرایه
۰	۱-۶-۳ برخی از الگوریتم‌های ضروری در آرایه‌ها
۰	۱-۶-۳-۱ یافتن عنصر بیشینه و عنصر کمینه
۱	۱-۶-۳-۲ جستجوی دودویی
۲	تمرینات
۲	۷-۳ ماتریس‌ها
۳	۱-۷-۳ ماتریس پایین‌مثلثی
۴	۲-۷-۳ ماتریس قطری

۱۲۴	۳-۷-۳ ماتریس اسپارس
۱۲۹	۱-۳-۷-۳ ترانهادهی ماتریس اسپارس
۱۳۲	۲-۳-۷-۳ جمع دو ماتریس اسپارس
۱۳۵	۳-۳-۷-۳ ضرب دو ماتریس اسپارس
۱۳۵	۴-۳-۷-۳ مقایسه‌ی نمایش ماتریس به صورت معمولی و اسپارس
۱۳۶	تمرینات
۱۳۸	منابع
۱۳۹	سؤالات کنکور فصل ۳
۱۴۰	حل سؤالات کنکور فصل ۳
۱۴۳	فصل ۴: لیست
۱۴۳	۱-۴ نوع داده‌ی انتزاعی لیست
۱۴۳	۱-۴-۱ لیست
۱۴۴	۱-۴-۲ تعریف استقرایی لیست
۱۴۴	۱-۴-۳ لیست‌های داده‌ی انتزاعی لیست
۵۱	تمرینات
۵۲	۲-۴ پیاده‌سازی لیست
۵۲	۱-۲-۴ پیاده‌سازی لیست‌های انتزاعی
۵۵	۲-۲-۴ پیاده‌سازی لیست با اشاره از اشاره‌گر
۵۶	۱-۲-۲-۴ پیاده‌سازی لیست با استفاده از لیست پیوندی یک‌طرفه
۶۵	۲-۲-۲-۴ پیاده‌سازی لیست با استفاده از لیست پیوندی دوطرفه
۷۰	۳-۲-۲-۴ پیاده‌سازی لیست با استفاده از اشکال‌گرهای اندیسی
۷۲	۴-۲-۲-۴ مقایسه‌ی پیاده‌سازی‌های لیست
۷۳	تمرینات
۷۴	۳-۴ انواع دیگر لیست
۷۴	۱-۳-۴ لیست چرخشی (دوار)
۷۷	۲-۳-۴ لیست عمومی
۷۸	تمرینات
۷۹	منابع
۸۰	سؤالات کنکور فصل ۴
۸۲	حل سؤالات کنکور فصل ۴
۸۵	فصل ۵: صف
۸۵	۱-۵ مقدمه
۸۶	۲-۵ تعریف

۳-۵	عملیات صف
۴-۵	نوع داده‌ی انتزاعی صف
۵-۵	پیاده‌سازی صف با لیست آرایه‌ای
۶-۵	پیاده‌سازی صف با آرایه‌ی حلقوی
۷-۵	پیاده‌سازی صف با لیست پیوندی
۸-۵	صف‌های چندگانه
۱-۸-۵	طراحی اول برای صف دوگانه
۲-۸-۵	طراحی دوم برای صف‌های چندگانه
۳-۸-۵	طراحی سوم برای صف‌های چندگانه چرخشی
	تمرینات
	منابع
	سؤالات کنکور فصل ۵
	سؤالات کنکور فصل ۵
	فصل ۶: پشته
۱-۶	نوع داده‌ی پشته
۱-۱-۶	تعریف پشته
۲-۱-۶	توابع پشته
۲-۶	پیاده‌سازی پشته
۱-۲-۶	پیاده‌سازی آرایه‌ای پشته
۲-۲-۶	پیاده‌سازی پشته با استفاده از لیست پیوندی
	تمرینات
۳-۶	تبدیل زیربرنامه‌های بازگشتی به غیربازگشتی
۱-۳-۶	مراحل فراخوانی زیربرنامه‌ها
۲-۳-۶	حذف فراخوانی‌های بازگشت انتهایی
۳-۳-۶	حذف فراخوانی‌های بازگشتی در حالت کلی
۴-۶	نمایش عبارت‌های ریاضی
۱-۴-۶	شیوه‌های نمایش عبارت‌های ریاضی
۱-۱-۴-۶	نمایش میان‌وندی
۲-۱-۴-۶	نمایش پیشوندی
۳-۱-۴-۶	نمایش پسوندی
۲-۴-۶	تبدیل نمایش‌های مختلف عبارت‌ها به یکدیگر
۱-۲-۴-۶	الگوریتم تبدیل عبارت میان‌وندی به پسوندی با استفاده از پشته
۲-۲-۴-۶	الگوریتم ارزیابی عبارت‌های پسوندی با استفاده از پشته
۳-۲-۴-۶	الگوریتم ارزیابی عبارت‌های پیشوندی با استفاده از پشته

۲۴	تمرینات
۲۶	منابع
۲۷	سؤالات کنکور فصل ۶
۲۸	حل سؤالات کنکور فصل ۶
۲۳۱	فصل ۷: درخت
۳۱	۱-۷ مقدمه
۳۱	۲-۷ مفاهیم پایه
۳۳	۳-۷ تعریف‌ها
۳۹	۴-۷ گونه‌نگی نمایش درخت
۳۹	۱-۴-۷ نمایش با پرانتزگذاری
۴۰	۲-۴-۷ استفاده از لیست پیوندی
۴۰	۱-۲-۷ نمایش درخت با درجه‌ی محدود
۴۱	۲-۴-۷ نمایش درخت عمومی با درخت دودویی معادل
۴۲	۳-۴-۷ نمایش درخت با استفاده از آرایه
۴۳	۵-۷ درخت دودویی
۴۴	۶-۷ پیاده‌سازی انواع درخت
۴۴	۱-۶-۷ پیاده‌سازی درخت دودویی پیوندی
۴۴	۱-۱-۶-۷ نوع داده‌ی تراز درخت دودویی پیوندی
۴۵	۲-۱-۶-۷ عملیات مربوط به درخت دودویی پیوندی
۴۶	۲-۶-۷ پیاده‌سازی درخت عمومی پیوندی به وسیله‌ی درخت دودویی معادل
۴۷	۳-۶-۷ پیاده‌سازی درخت دودویی با آرایه
۴۹	۴-۶-۷ پیاده‌سازی درخت عمومی با آرایه
۵۰	۱-۴-۶-۷ عملیات مربوط به درخت عمومی آرایه‌ای
۵۲	۷-۷ پیمایش درخت
۵۳	۱-۷-۷ پیمایش میان‌ترتیب
۵۴	۲-۷-۷ پیمایش پیش‌ترتیب
۵۴	۳-۷-۷ پیمایش پس‌ترتیب
۵۶	۴-۷-۷ جستجوی عمقی
۵۷	۵-۷-۷ جستجوی سطحی
۵۸	۶-۷-۷ پیمایش سطح‌ترتیب
۵۸	۷-۷-۷ بازسازی درخت با استفاده از پیمایش‌ها
۶۱	۸-۷ طراحی بهینه‌ی درخت‌های ساخته شده با اشاره‌گر (درخت پیوندی)
۶۱	۱-۸-۷ اشاره‌گر به پدر
۶۲	۲-۸-۷ نخ‌کشی درخت دودویی

۴	۳-۸-۷ نخ‌کشی درخت عمومی
۵	۹-۷ درخت عبارت
۶	تمرینات
۸	منابع
۹	سؤالات کنکور فصل ۷
۴	حل سؤالات کنکور فصل ۷
۳	فصل ۸: فرهنگ داده‌ها
۳	۱-۸ فرهنگ داده‌ها
۳	۱-۱-۱ تعریف فرهنگ داده‌ها
۴	۲-۱-۸ توابع فرهنگ داده‌ها
۶	۲-۸ درخت جستجوی دودویی
۶	۳-۸ تعریف درخت جستجوی دودویی
۷	۲-۱-۸ پیش‌های درخت جستجوی دودویی
۸	۱-۸ پیاده‌سازی درخت جستجوی دودویی
۹	۴-۲-۸ جستجوی درخت جستجوی دودویی
۰	۴-۲-۸ پیچیدگی زمانی الگوریتم جستجو در درخت جستجوی دودویی
۱	۲-۴-۲-۸ درخت جستجوی دودویی دارای کم‌ترین میانگین تعداد مقایسه‌ها
۴	۵-۲-۸ یافتن عنصرهای بیشترین کمینه‌ی درخت جستجوی دودویی
۵	۶-۲-۸ یافتن پدر یک گره در درخت جستجوی دودویی
۶	۷-۲-۸ یافتن عنصرهای بعدی و پیش‌یک عنصر در درخت جستجوی دودویی
۷	۸-۲-۸ درج در درخت جستجوی دودویی
۹	۹-۲-۸ حذف از درخت جستجوی دودویی
۲	تمرینات
۴	۳-۸ درخت ای‌وی‌ال
۵	۱-۳-۸ تعریف درخت ای‌وی‌ال
۶	۲-۳-۸ پیاده‌سازی درخت ای‌وی‌ال
۶	۳-۳-۸ ارتفاع درخت ای‌وی‌ال
۷	۴-۳-۸ الگوریتم جستجو در درخت ای‌وی‌ال
۷	۵-۳-۸ الگوریتم چرخش در درخت جستجوی دودویی
۱	۶-۳-۸ درج در درخت ای‌وی‌ال
۲	۷-۳-۸ حذف از درخت ای‌وی‌ال
۲	۴-۸ درخت قرمز-سیاه
۲	۱-۴-۸ تعریف درخت قرمز-سیاه
۳	۲-۴-۸ پیاده‌سازی درخت قرمز-سیاه

۱۴	۸-۴-۳ توابع درخت قرمز- سیاه
۱۴	۸-۵-۲ درخت ۳-۲
۱۵	۸-۵-۱ تعریف درخت ۳-۲
۱۶	۸-۵-۲ توابع درخت ۳-۲
۱۷	۸-۶-۶ درخت بی
۱۷	۸-۶-۱ تعریف درخت بی
۱۸	۸-۶-۲ توابع درخت بی
۱۸	تمرینات
۲۰	۸-۷-۷ جدول های درهم
۲۰	۸-۷-۱ تعریف جدول درهم
۲۱	۸-۷-۲ تعریف برخورد
۲۲	۸-۷-۳ انتخاب توابع درهم ساز
۲۳	۸-۷-۴ درخت سازی باز
۲۴	۸-۷-۱ سازی جدول درهم در روش درهم سازی باز
۲۴	۸-۷-۴ توابع پایه ی جدول درهم در روش درهم سازی باز
۲۵	۸-۷-۵ درهم سازی بسته
۲۵	۸-۷-۱-۵ روش روش سعی
۲۸	۸-۷-۵-۲ توابع پایه ی جدول درهم در روش کاوش خطی
۳۰	۸-۷-۵-۳ روش کاوش مرحله ی ۲
۳۲	۸-۷-۵-۴ روش درهم سازی بوکان
۳۲	۸-۷-۶ درهم سازی کامل
۳۳	۸-۸ مقایسه ی فرهنگ های داده ای
۳۴	تمرینات
۳۶	منابع
۳۷	سؤالات کنکور فصل ۸
۴۵	حل سؤالات کنکور فصل ۸
۵۵	فصل ۹: صف الویت
۵۵	۹-۱ مقدمه
۵۶	۹-۲ تعریف هرم
۵۷	۹-۳ عملیات مربوط به هرم
۵۷	۹-۳-۱ درج در هرم
۵۸	۹-۳-۱-۱ پیاده سازی عملیات درج در هرم
۵۹	۹-۳-۲ عملیات خروج از هرم
۶۰	۹-۳-۱-۲ پیاده سازی عملیات خروج از هرم

۴-۹	ساخت هرم	۱
۵-۹	مرتب‌سازی با استفاده از هرم	۲
	تمرینات	۳
	منابع	۵
۶	سؤالات کنکور فصل ۹	۶
۹	حل سؤالات کنکور فصل ۹	۹
	فصل ۱۰: گراف	۳
۱-۱۰	تعریف گراف	۳
۱-۱-۱۰	گراف جهت‌دار و غیرجهت‌دار	۴
۲-۱-۱۰	تعریف‌ها	۵
۲-۱	پایاده‌سازی گراف	۷
۱-۱۰	پایاده‌سازی گراف با استفاده از ماتریس مجاورت	۷
۲-۲-۱۰	پایاده‌سازی گراف با استفاده از لیست مجاورت	۸
۳-۱۰	مسئله کوتاه‌ترین مسیر در گراف	۹
۱-۳-۱۰	مسئله جستجوی سطحی	۹
۱-۳-۱۰	پایاده‌سازی الگوریتم جستجوی سطحی	۱۰
۲-۳-۱۰	روش جستجوی عمیق	۳
۱-۲-۳-۱۰	پایاده‌سازی الگوریتم جستجوی عمیق	۳
	تمرینات	۶
	منابع	۹
	سؤالات کنکور فصل ۱۰	۱۰
	حل سؤالات کنکور فصل ۱۰	۳
	فصل ۱۱: الگوریتم‌های مرتب‌سازی	۵
۱-۱۱	مقدمه	۵
۱-۱-۱۱	ویژگی‌های الگوریتم‌های مرتب‌سازی	۵
۱-۱-۱-۱۱	مرتب‌سازی داخلی / خارجی	۶
۲-۱-۱-۱۱	مرتب‌سازی مقایسه‌ای / غیر مقایسه‌ای	۶
۳-۱-۱-۱۱	مرتب‌سازی درجا / برون‌جا	۶
۴-۱-۱-۱۱	مرتب‌سازی پایدار / ناپایدار	۶
۲-۱۱	مرتب‌سازی درجی	۷
۱-۲-۱۱	پایاده‌سازی مرتب‌سازی درجی	۸
۲-۲-۱۱	تحلیل الگوریتم مرتب‌سازی درجی	۸
۳-۲-۱۱	ویژگی‌های مرتب‌سازی درجی	۹

۴۰۰	.....	۳-۱۱ مرتب‌سازی حبابی
۴۰۱	.....	۱-۳-۱۱ پیاده‌سازی مرتب‌سازی حبابی
۴۰۱	.....	۲-۳-۱۱ تحلیل الگوریتم مرتب‌سازی حبابی
۴۰۲	.....	۳-۳-۱۱ ویژگی‌های مرتب‌سازی حبابی
۴۰۲	.....	۴-۱۱ مرتب‌سازی انتخابی
۴۰۳	.....	۱-۴-۱۱ پیاده‌سازی مرتب‌سازی انتخابی
۴۰۳	.....	۲-۴-۱۱ تحلیل الگوریتم مرتب‌سازی انتخابی
۴۰۴	.....	۳-۴-۱۱ ویژگی‌های مرتب‌سازی انتخابی
۴۰۴	.....	۵-۱۱ مرتب‌سازی صدفی
۴۰۵	.....	۱-۵-۱۱ پیاده‌سازی مرتب‌سازی صدفی
۴۰۶	.....	۲-۵-۱۱ تحلیل الگوریتم مرتب‌سازی صدفی
۴۰۷	.....	۳-۵-۱۱ ویژگی‌های مرتب‌سازی صدفی
۴۰۷	.....	۱-۱۱ مرتب‌سازی هرمی
۴۰۹	.....	۱-۱۱ پیاده‌سازی مرتب‌سازی هرمی
۴۰۹	.....	۲-۶-۱۱ تحلیل الگوریتم مرتب‌سازی هرمی
۴۰۹	.....	۳-۶-۱۱ ویژگی‌های مرتب‌سازی هرمی
۴۱۰	.....	۷-۱۱ مرتب‌سازی ادغامی
۴۱۱	.....	۱-۷-۱۱ پیاده‌سازی مرتب‌سازی ادغامی
۴۱۳	.....	۲-۷-۱۱ تحلیل الگوریتم مرتب‌سازی ادغامی
۴۱۳	.....	۳-۷-۱۱ ویژگی‌های مرتب‌سازی ادغامی
۴۱۴	.....	۸-۱۱ مرتب‌سازی سریع
۴۱۴	.....	۱-۸-۱۱ نحوه‌ی تعیین محور
۴۱۶	.....	۲-۸-۱۱ پیاده‌سازی مرتب‌سازی سریع
۴۱۸	.....	۳-۸-۱۱ تحلیل الگوریتم مرتب‌سازی سریع
۴۱۸	.....	۱-۳-۸-۱۱ تحلیل بهترین حالت
۴۱۹	.....	۲-۳-۸-۱۱ تحلیل بدترین حالت
۴۱۹	.....	۳-۳-۸-۱۱ تحلیل حالت میانی
۴۲۰	.....	۴-۸-۱۱ ویژگی‌های مرتب‌سازی سریع
۴۲۰	.....	۹-۱۱ مرتب‌سازی شمارشی
۴۲۱	.....	۱-۹-۱۱ پیاده‌سازی مرتب‌سازی شمارشی
۴۲۲	.....	۲-۹-۱۱ تحلیل الگوریتم مرتب‌سازی شمارشی
۴۲۲	.....	۳-۹-۱۱ ویژگی‌های مرتب‌سازی شمارشی
۴۲۳	.....	۱۰-۱۱ مرتب‌سازی مبنایی
۴۲۴	.....	۱۰-۱۰-۱۱ پیاده‌سازی مرتب‌سازی مبنایی

۲۵	۱۱-۱۰-۲ تحلیل الگوریتم مرتب‌سازی مبنایی
۲۵	۱۱-۱۰-۳ ویژگی‌های مرتب‌سازی مبنایی
۲۵	۱۱-۱۰-۴ الگوریتم بازگشتی مرتب‌سازی مبنایی
۲۶	۱۱-۱۱ جمع‌بندی مرتب‌سازی‌ها
۲۷	تمرینات
۲۹	منابع
۳۰	سؤالات کنکور فصل ۱۱
۳۷	حل سؤالات کنکور فصل ۱۱
۴۷	پیوست ۱: نوع داده‌ی اشاره‌گر
۴۷	۱-۱ تعریف اشاره‌گر
۴۹	الف-۲ نحوه‌ی کار با اشاره‌گرها
۴۹	الف-۱ خرد کردن محتوای آدرس مورد اشاره‌ی اشاره‌گرها
۵۰	ب-۲-۱ پی‌پی اشاره‌گرها
۵۰	الف-۱ مقدار پی‌پی اشاره‌گرها
۵۱	الف-۲-۲ تعریف آدرس‌های حافظه
۵۳	منابع
۵۴	پیوست ۲: تحلیل استهلاکی
۵۴	ب-۱ تعریف تحلیل استهلاکی
۵۴	ب-۲ روش‌های تحلیل استهلاکی
۵۵	ب-۳ تحلیل تجمعی
۵۶	تمرینات
۵۷	منابع
۵۸	سؤالات کنکور پیوست ۲
۵۹	حل سؤالات کنکور پیوست ۲
۶۱	پیوست ۳: فراخوانی با مقدار و فراخوانی با ارجاع
۶۱	ب-۱ فراخوانی با مقدار
۶۱	ب-۲ فراخوانی با ارجاع

الگوریتم‌های این کتاب، به صورت شبه‌کد^۱ بیان شده‌اند. این شبه‌کدها در قالبی شبیه به زبان‌های برنامه‌نویسی رایج چون C، Java و Pascal آمده است. بنابراین، در صورت آشنایی اندک با این زبان‌ها، می‌توان به سادگی آن‌ها را درک نمود.

به منظور رفع هرگونه ابهام در فهم شبه‌کدها، توضیح مختصری در مورد هر یک از عناصر مورد استفاده، در ادامه آمده است.

۱. هدف اصلی شبه‌کد بیان الگوریتم است. بنابراین، به منظور تمرکز بیش‌تر بر الگوریتم، از جزئیات پیاده‌سازی چشم‌پوشی می‌شود.

۲. در شبه‌کد، به منظور سادگی و کوچک‌تر شدن الگوریتم، از بررسی برخی خطاها صرف‌نظر می‌شود.

۳. در برخی مواقع، به جای استفاده از کد، از جملات قابل فهمی استفاده می‌شود که علاوه بر سادگی، گویایی آن را نیز می‌افزاید.

۴. توضیحات اضافی که در قالب زیر بیان می‌شود:

```
// This is a comment about this algorithm
```

۵. توابع و رویه‌ها به صورت زیر بیان می‌گردند:

```
FunctionName(arg11, arg12, ... : Type1, arg21, arg22, ... :  
    Type2; ...) : retType  
{  
    // Function body  
}
```

که در آن FunctionName، بیان‌گر نام تابع بوده و متغیرهای ورودی تابع، داخل پرانتز در ادامه‌ی آن آورده می‌شوند. در انتها نیز نوع داده‌ی بازگردانده شده توسط تابع می‌آید که با نماد دوت نقطه (:) از متغیرهای ورودی جدا شده است. این قسمت، در رویه‌ها- که فاقد مقدار بازگردانده شده هستند- وجود ندارد. اگر تابعی بیش از یک خروجی داشته باشد، نوع این خروجی‌ها به صورت زیر مشخص می‌شود:

```
FunctionName(arguments) : [retType1, retType2, ...]  
{  
    // Function body  
}
```

۶. بدنه‌ی عبارت‌هایی مانند if، while و for تورفته نوشته می‌شود. همچنین در صورتی که بدنه‌ی این عبارات شامل بیش از یک دستور باشد، این دستورات بین دو نماد { و } قرار می‌گیرند.

۷. حلقه‌ی for بدین صورت تعریف می‌شود:

```
for loopCounter = start to/downto end do  
{  
    // for body  
}
```

که در آن loopCounter متغیری از نوع integer بوده و در هر دور اجرای حلقه یک واحد به مقدار آن اضافه (در صورت استفاده از to) و یا از مقدار آن کاسته (در صورت استفاده از downto) می‌شود. حالت دیگر تعریف حلقه‌ی for به صورت زیر است:

```
for loopCounter = start to/downto end step st do
{
    // for body
}
```

که در آن st مقدار افزایش یا کاهش loopCounter را در هر دور اجرای حلقه تعیین می‌کند. به عبارت دیگر، در هر دور اجرای حلقه، عدد st به مقدار loopCounter اضافه (در صورت استفاده از to) و یا از مقدار آن کاسته (در صورت استفاده از downto) می‌شود. ۸. حلقه‌ی while و عبارت شرطی if مشابه هم تعریف می‌گردند:

```
while booleanExpression do
{
    // while body
}
if booleanExpression then
{
    // if body
}
```

و در هردوی آن‌ها، در صورتی بدنه‌ی دستور اجرا می‌شود که عبارت منطقی ۱ booleanExpression، صحیح باشد.

۹. تعریف متغیرها در هر جایی از شبه‌کد می‌تواند به شکل زیر صورت گیرد:

```
var variableName : VariableType;
var variableName1, variableName2, ... : VariableType;
```

۱۰. تعریف آرایه

```
var arrayName : ElementType[arraySize];
var arrayName : ElementType[lowIndex..highIndex];
```

در حالت اول تعریف آرایه، اندیس‌ها آرایه از ۱ تا arraySize است، در حالی که در حالت دوم، اندیس‌های آن از lowIndex تا highIndex خواهد بود.

۱۱. نمادهای ++ و -- در کنار نام یک متغیر، به ترتیب به معنی افزودن و کاستن یک واحد از مقدار متغیر مورد نظر است این نمادها به این صورت استفاده می‌شوند:

```
variableName++;
variableName--;
```

۱۲. سایر عملگرهای مورد استفاده در شبه کد عبارتند از:

عملگرهای منطقی $<, =, >, \leq, \geq, \neq$

عملگر انتساب $=$

عملگر دستیابی به عناصر آرایه $[]$

۱۳. در صورتی که پیش از نام متغیر ورودی تابع عبارت ref آورده شود، به این معنی است که هرگونه تغییر در مقدار این متغیر، مستقیماً در مقدار آن در خارج از تابع تأثیر می‌گذارد.

یکی از کاربردهای متغیرهای تعریف شده با ref، زمانی است که تابع مورد بحث، باید بیش از یک مقدار را بازگرداند. در این حالت، با ارسال متغیرهایی به صورت ref به تابع و تغییر مقدار آن‌ها در تابع، مشکل حل می‌شود.

```
FunctionName(ref name : Type; ...) : ReturnType  
{  
    // Function body  
}
```

۱۴. تعریف یک ساختار (یک رکورد^۱) در شبه کدها به صورت زیر است:

```
Type NewType = Record  
{  
    VariableName1, VariableName2, ..., Type1;  
    VariableName21, VariableName22, ..., Type2;  
    ...  
}
```

۱۵. دستور return در هر جای تابع باعث خروج از تابع می‌شود. این دستور به صورت زیر استفاده می‌شود:

```
return;  
return ReturnValue;  
return [ReturnValue1, ReturnValue2, ...];
```

حالت اول برای توابع بدون خروجی (رویه‌ها) است. حالت دوم برای تابع باعث خروجی و حالت سوم برای توابع با بیش از یک خروجی استفاده می‌شود.

۱۵. پیغام‌های خطا در شبه کدها باعث خروج از تابع می‌شوند و به صورت زیر می‌توانند استفاده شوند:

```
Error( "Error Description" );
```

۱۵. خطوط شبه کد شماره‌گذاری شده‌اند تا به سادگی قابل ارجاع باشند.

^۱ Assignment operator
^۲ Structure
^۳ Record