



# ساختمان داده ها و الگوریتم ها

دکتر محسن ابراهیمی مقدم

مهندس آذرخش کی پور

مهندس امیر حسین عبدی

بسمه تعالی

|                      |                                                                                                                            |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| سرشناسه              | : ابراهیمی مقدم، محسن                                                                                                      |
| عنوان و نام پدیدآور  | : ساختمان داده‌ها و الگوریتم‌ها / مؤلفان محسن ابراهیمی مقدم، آذرخش کی‌پور، امیرحسین عیدی؛ با همکاری مرکز خدمات آموزشی نصیر |
| مشخصات نشر           | : تهران؛ سازمان بسیج دانشجویی، 1391                                                                                        |
| مشخصات ظاهری         | : بیست و دو، [704] ص.؛ مصور (بخشی رنگی)، جدول، نمودار                                                                      |
| چک                   | : 978-964-8290-92-9                                                                                                        |
| وضعیت فهرست‌نویسی    | : فیا                                                                                                                      |
| یادداشت              | : کتابنامه                                                                                                                 |
| موضوع                | : ساختار داده‌ها -- راهنمای آموزشی (عالی)                                                                                  |
| موضوع                | : ساختار داده‌ها -- مسائل، تمرین‌ها و غیره (عالی)                                                                          |
| موضوع                | : ساختار داده‌ها -- آزمون‌ها و تمرین‌ها (عالی)                                                                             |
| موضوع                | : الگوریتم‌های کامپیوتری -- راهنمای آموزشی (عالی)                                                                          |
| موضوع                | : الگوریتم‌های کامپیوتری -- مسائل، تمرین‌ها و غیره (عالی)                                                                  |
| موضوع                | : الگوریتم‌های کامپیوتری -- آزمون‌ها و تمرین‌ها (عالی)                                                                     |
| شناسه افزوده         | : کی‌پور، آذرخش، 1357 -                                                                                                    |
| شناسه افزوده         | : عیدی، امیرحسین، 135 -                                                                                                    |
| شناسه افزوده         | : دانش‌آه صنعتی برق دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، بسیج دانشجویی، مرکز خدمات آموزشی نصیر                              |
| شناسه افزوده         | : سازمان بسیج دانشجویی                                                                                                     |
| رده‌بندی کنگره       | : QA 9/76 1391 2 - 2                                                                                                       |
| رده‌بندی دیویی       | : 73076/005                                                                                                                |
| شماره کتاب‌شناسی ملی | : 2995015                                                                                                                  |

|               |                                                         |
|---------------|---------------------------------------------------------|
| نام کتاب      | : ساختمان داده‌ها و الگوریتم‌ها                         |
| مؤلف          | : محسن ابراهیمی مقدم، آذرخش کی‌پور، امیرحسین عیدی       |
| ناشر          | : سازمان بسیج دانشجویی با همکاری مرکز خدمات آموزشی نصیر |
| نوبت چاپ      | : اول                                                   |
| سال و محل نشر | : تهران، 1391                                           |
| ناظر فنی چاپ  | : محسن کنگرانی فراهانی                                  |
| تیراژ         | : 2000 جلد                                              |
| قیمت          | : 21000 تومان                                           |
| شابک          | : ISBN 978-964-8290-92-9                                |

\* هرگونه چاپ و تکثیر از این اثر ممنوع و به موجب بند 5 ماده 2 قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان پیگرد قانونی دارد.  
نشانی: خیابان شریعتی، نرسیده به پل سید خندان، دانشکده برق دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، مرکز خدمات آموزشی نصیر  
تلفن: 88466935-88464780

## فهرست

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| پیشگفتار .....                                            | 1  |
| مقدمه .....                                               | 7  |
| بخش اول: تحلیل الگوریتم‌ها .....                          | 9  |
| فصل 1: مفاهیم مقدماتی در تحلیل الگوریتم‌ها .....          | 9  |
| 1-1 مقدمه .....                                           | 12 |
| 2-1 تحلیل پیچیدگی زمانی الگوریتم‌های ترتیبی .....         | 18 |
| 1-2-1 محاسبه‌ی تابع مربوط به پیچیدگی زمانی الگوریتم ..... | 20 |
| 2-2-1 حالت‌های مختلف ورودی .....                          | 20 |
| 1-2-2-1 بهترین حالت .....                                 | 20 |
| 2-2-2-1 بدترین حالت .....                                 | 21 |
| 3-2-2-1 حالت میانگین .....                                | 23 |
| 3-2-1 تحلیل تفصیلی الگوریتم‌ها .....                      | 30 |
| 3-1 تحلیل الگوریتم مرتب‌سازی درجی .....                   | 38 |
| 4-1 نمادهای مجانبی .....                                  | 40 |
| 1-4-1 نماد $O$ .....                                      | 41 |
| 1-1-4-1 خصوصیات نماد $O$ .....                            | 41 |
| 2-4-1 نماد $\Omega$ .....                                 | 42 |
| 1-2-4-1 خصوصیات نماد $\Omega$ .....                       |    |

|     |                                         |
|-----|-----------------------------------------|
| 43  | 3-4-1 نماد 0                            |
| 43  | 1-3-4-1 خصوصیات نماد 0                  |
| 44  | 4-4-1 نماد 0                            |
| 45  | 1-4-4-1 خصوصیات نماد 0                  |
| 46  | 5-4-1 نماد 0                            |
| 46  | 1-5-4-1 خصوصیات نماد 0                  |
| 47  | 5-1 خصوصیات مربوط به رابطه‌ی بین نمادها |
| 49  | 6-1 اصول محاسبه‌ی مرتبه‌ی توابع         |
| 55  | 7-1 تحلیل استهلاکی توابع                |
| 59  | تمرینات                                 |
| 65  | منابع                                   |
| 66  | سؤالات کنکور فصل 1                      |
| 75  | حل سؤالات کنکور فصل 1                   |
| 87  | فصل 2: الگوریتم‌های بازگشتی             |
| 88  | 1-2 اصل استقرای ریاضی                   |
| 88  | 1-1-2 استقرای ساده ریاضی                |
| 90  | 2-1-2 استقرای قوی ریاضی                 |
| 90  | 2-2 توابع بازگشتی                       |
| 93  | 3-2 الگوریتم‌های بازگشتی                |
| 97  | 4-2 تحلیل برنامه‌های بازگشتی            |
| 109 | تمرینات                                 |
| 111 | 5-2 روش‌های حل روابط بازگشتی            |
| 111 | 1-5-2 حل دقیق رابطه‌ی بازگشتی           |
| 114 | 2-5-2 روش جانشینی (روش مبتنی بر حدس)    |
| 119 | 3-5-2 روش تغییر متغیر                   |
| 121 | 4-5-2 روش درخت بازگشت                   |
| 125 | 5-5-2 قضیه‌ی اصلی                       |
| 129 | تمرینات                                 |
| 130 | منابع                                   |
| 131 | سؤالات کنکور فصل 2                      |
| 145 | حل سؤالات کنکور فصل 2                   |

|     |                                                       |
|-----|-------------------------------------------------------|
| 159 | بخش دوم: مباحث مقدماتی ساختمان‌های داده               |
| 161 | فصل 3: ساختمان‌های داده‌های مقدماتی                   |
| 161 | 1-3 مقدمه                                             |
| 163 | 2-3 موضوعات اصلی در بررسی ساختمان‌های داده            |
| 165 | 3-3 مروری بر ساختمان‌های داده                         |
| 165 | 4-3 نوع داده‌ی انتزاعی                                |
| 167 | 5-3 ابزارهای زبان‌های برنامه‌نویسی                    |
| 168 | 6-3 آرایه                                             |
| 175 | 1-6 بخشی از الگوریتم‌های ضروری در آرایه‌ها            |
| 175 | 1-1-6-3 یافتن عنصر بیشینه و عنصر کمینه                |
| 176 | 2-1-6-3 جستجوی دودویی                                 |
| 178 | تمرینات                                               |
| 178 | 7-3 ماتریس‌ها                                         |
| 179 | 1-7-3 ترانسپوزیشن مثلثی                               |
| 182 | 2-7-3 ماتریس قطری                                     |
| 183 | 3-7-3 ماتریس اسپارس                                   |
| 188 | 1-3-7-3 ترانهایی ماتریس اسپارس                        |
| 194 | 2-3-7-3 جمع دو ماتریس اسپارس                          |
| 198 | 3-3-7-3 ضرب دو ماتریس اسپارس                          |
| 199 | 4-3-7-3 مقایسه‌ی نمایش ماتریس به صورت معمولی و اسپارس |
| 200 | تمرینات                                               |
| 202 | منابع                                                 |
| 203 | سؤالات کنکور فصل 3                                    |
| 204 | حل سؤالات کنکور فصل 3                                 |
| 207 | فصل 4: لیست                                           |
| 207 | 1-4 نوع داده‌ی انتزاعی لیست                           |
| 207 | 1-1-4 تعریف لیست                                      |
| 208 | 2-1-4 تعریف استقرایی لیست                             |
| 209 | 3-1-4 عملیات نوع داده‌ی انتزاعی لیست                  |
| 218 | تمرینات                                               |
| 220 | 2-4 پیاده‌سازی لیست‌ها                                |

|     |                                                           |
|-----|-----------------------------------------------------------|
| 220 | 1-2-4 پیاده‌سازی آرایه‌ای لیست‌ها                         |
| 226 | 2-2-4 پیاده‌سازی لیست با استفاده از اشاره‌گر              |
| 227 | 1-2-2-4 پیاده‌سازی لیست با استفاده از لیست پیوندی یک‌طرفه |
| 241 | 2-2-2-4 پیاده‌سازی لیست با استفاده از لیست پیوندی دوطرفه  |
| 249 | 3-2-2-4 پیاده‌سازی لیست با استفاده از اشاره‌گرهای اندیسی  |
| 253 | 4-2-2-4 مقایسه‌ی پیاده‌سازی‌های لیست                      |
| 254 | تمرینات                                                   |
| 257 | 3-4 انواع دیگر لیست                                       |
| 257 | 1-3-4 لیست چرخشی (دوار)                                   |
| 261 | 3-4 لیست عمومی                                            |
| 263 | تمرینات                                                   |
| 263 | سؤالات کنکور فصل 4                                        |
| 265 | حل سؤالات کنکور فصل 4                                     |
| 267 | فصل 5: صف                                                 |
| 271 | 1-5 مقدمه                                                 |
| 272 | 2-5 تعریف                                                 |
| 273 | 3-5 عملیات صف                                             |
| 274 | 4-5 نوع داده‌ی انتزاعی صف                                 |
| 276 | 5-5 پیاده‌سازی صف با لیست آرایه‌ای                        |
| 281 | 6-5 پیاده‌سازی صف با آرایه‌ی حلقوی                        |
| 284 | 7-5 پیاده‌سازی صف با لیست پیوندی                          |
| 289 | 8-5 صف‌های چندگانه                                        |
| 289 | 1-8-5 طراحی اول برای صف دوگانه                            |
| 292 | 2-8-5 طراحی دوم برای صف‌های چندگانه                       |
| 294 | 3-8-5 طراحی سوم برای صف‌های چندگانه چرخشی                 |
| 296 | تمرینات                                                   |
| 298 | منابع                                                     |
| 299 | سؤالات کنکور فصل 5                                        |
| 300 | حل سؤالات کنکور فصل 5                                     |
| 301 | فصل 6: پشته                                               |

|     |                                                                         |
|-----|-------------------------------------------------------------------------|
| 301 | 1-6 نوع داده‌ی انتزاعی پشته                                             |
| 301 | 1-1-6 تعریف پشته                                                        |
| 302 | 2-1-6 توابع پشته                                                        |
| 304 | 2-6 پیاده‌سازی پشته                                                     |
| 305 | 1-2-6 پیاده‌سازی آرایه‌ای پشته                                          |
| 308 | 2-2-6 پیاده‌سازی پشته با استفاده از لیست پیوندی                         |
| 309 | تمرینات                                                                 |
| 311 | 3-6 تبدیل زیربرنامه‌های بازگشتی به غیربازگشتی به کمک پشته               |
| 312 | 1-3-6 مراحل فراخوانی زیربرنامه‌ها                                       |
| 312 | 2-3-6 حذف فراخوانی‌های بازگشت انتهایی                                   |
| 313 | 3-3-6 حذف فراخوانی‌های بازگشتی در حالت کلی                              |
| 319 | 4-6 نمایش عبارت‌های ریاضی                                               |
| 319 | 1-4-6 شیوه‌های نمایش عبارت‌های ریاضی                                    |
| 319 | 1-1-6 نمایش میان‌وندی                                                   |
| 320 | 2-1-6 نمایش نمادین پس‌وندی                                              |
| 321 | 3-1-4-6 نمایش پسوندی                                                    |
| 322 | 2-4-6 تبدیل نمایش‌های مختلف عبارت‌ها یکدیگر                             |
| 325 | 1-2-4-6 الگوریتم تبدیل عبارت‌های میان‌وندی به پسوندی با استفاده از پشته |
| 327 | 2-2-4-6 الگوریتم ارزیابی عبارت‌های پسوندی با استفاده از پشته            |
| 329 | 3-2-4-6 الگوریتم ارزیابی عبارت‌های پیش‌وندی با استفاده از پشته          |
| 330 | تمرینات                                                                 |
| 332 | منابع                                                                   |
| 334 | سؤالات کنکور فصل 6                                                      |
| 336 | حل سؤالات کنکور فصل 6                                                   |
| 339 | فصل 7: درخت                                                             |
| 339 | 1-7 مقدمه                                                               |
| 339 | 2-7 مفاهیم پایه                                                         |
| 342 | 3-7 تعریف‌ها                                                            |
| 352 | 4-7 چگونگی نمایش درخت                                                   |
| 353 | 1-4-7 نمایش با پرانتزگذاری                                              |
| 353 | 2-4-7 استفاده از لیست پیوندی                                            |

- 354..... 1-2-4-7 نمایش درخت با درجه‌ی محدود
- 355..... 2-2-4-7 نمایش درخت عمومی با درخت دودویی معادل
- 356..... 3-4-7 نمایش درخت با استفاده از آرایه
- 358..... 5-7 درخت دودویی
- 360..... 6-7 پیاده‌سازی انواع درخت
- 360..... 1-6-7 پیاده‌سازی درخت دودویی پیوندی
- 360..... 1-1-6-7 نوع داده‌ی انتزاعی درخت دودویی پیوندی
- 361..... 2-1-6-7 عملیات مربوط به درخت دودویی پیوندی
- 364..... 2-6-7 پیاده‌سازی درخت عمومی پیوندی به وسیله‌ی درخت دودویی معادل
- 365..... 6-7 پیاده‌سازی درخت دودویی با آرایه
- 367..... 4-6-7 پیاده‌سازی درخت عمومی با آرایه
- 370..... 1-4-6 عملیات مربوط به درخت عمومی آرایه‌ای
- 373..... 7-7 نمایش درخت
- 373..... 1-7-7 پیمایش ان ترتیب
- 375..... 2-7-7 پیمایش پیش ترتیب
- 375..... 3-7-7 پیمایش پس‌ترتیب
- 378..... 4-7-7 جستجوی عمق
- 380..... 5-7-7 جستجوی سطحی
- 382..... 6-7-7 پیمایش سطح‌ترتیب
- 382..... 7-7-7 بازسازی درخت با استفاده از پیمایش‌ها
- 386..... 8-7 طراحی بهینه‌ی درخت‌های ساخته شده با اشاره (درخت پیوندی)
- 386..... 1-8-7 اشاره‌گر به پدر
- 387..... 2-8-7 نخ‌کشی درخت دودویی
- 392..... 3-8-7 نخ‌کشی درخت عمومی
- 393..... 9-7 درخت عبارت
- 394..... تمرینات
- 397..... منابع
- 398..... سوالات کنکور فصل 7
- 405..... حل سوالات کنکور فصل 7
- 421..... فصل 8: فرهنگ داده‌ها
- 421..... 1-8 فرهنگ داده‌ها

- 421 ..... 1-1-8 تعریف فرهنگ داده‌ها
- 422 ..... 2-1-8 توابع فرهنگ داده‌ها
- 426 ..... 2-8 درخت جستجوی دودویی
- 426 ..... 1-2-8 تعریف درخت جستجوی دودویی
- 427 ..... 2-2-8 پیمایش‌های درخت جستجوی دودویی
- 429 ..... 3-2-8 پیاده‌سازی درخت جستجوی دودویی
- 430 ..... 4-2-8 جستجو در درخت جستجوی دودویی
- 432 ..... 1-4-2-8 پیچیدگی زمانی الگوریتم جستجو در درخت جستجوی دودویی
- 433 ..... 2-4-2-8 درخت جستجوی دودویی دارای کم‌ترین میانگین تعداد مقایسه‌ها
- 438 ..... 5-8 یافتن عنصرهای بیشینه و کمینه‌ی درخت جستجوی دودویی
- 439 ..... 6-8 یافتن پدر یک گره در درخت جستجوی دودویی
- 440 ..... 7-2-8 یافتن عنصرهای بعدی و پیشین یک عنصر در درخت جستجوی دودویی
- 443 ..... 8-8 درج در درخت جستجوی دودویی
- 445 ..... 9-2-8 حذف از درخت جستجوی دودویی
- 450 ..... تمرینات
- 453 ..... 3-8 درخت ای‌وی‌ال
- 454 ..... 1-3-8 تعریف درخت ای‌وی‌ال
- 456 ..... 2-3-8 پیاده‌سازی درخت ای‌وی‌ال
- 457 ..... 3-3-8 ارتفاع درخت ای‌وی‌ال
- 458 ..... 4-3-8 الگوریتم جستجو در درخت ای‌وی‌ال
- 458 ..... 5-3-8 الگوریتم چرخش در درخت جستجوی ای‌وی‌ال
- 464 ..... 6-3-8 درج در درخت ای‌وی‌ال
- 465 ..... 7-3-8 حذف از درخت ای‌وی‌ال
- 465 ..... 4-8 درخت قرمز - سیاه
- 465 ..... 1-4-8 تعریف درخت قرمز - سیاه
- 467 ..... 2-4-8 پیاده‌سازی درخت قرمز - سیاه
- 467 ..... 3-4-8 توابع درخت قرمز - سیاه
- 469 ..... 5-8 درخت 3-2
- 469 ..... 1-5-8 تعریف درخت 3-2
- 471 ..... 2-5-8 توابع درخت 3-2
- 471 ..... 6-8 درخت بی

|     |                                                     |
|-----|-----------------------------------------------------|
| 472 | 1-6-8 تعریف درخت بی                                 |
| 473 | 2-6-8 توابع درخت بی                                 |
| 474 | تمرینات                                             |
| 477 | 7-8 جدول‌های درهم                                   |
| 477 | 1-7-8 تعریف جدول درهم                               |
| 479 | 2-7-8 تعریف برخورد                                  |
| 480 | 3-7-8 انتخاب تابع درهم‌ساز                          |
| 481 | 4-7-8 درهم‌سازی باز                                 |
| 482 | 1-4-7-8 پیاده‌سازی جدول درهم در روش درهم‌سازی باز   |
| 482 | 2-4-7-8 توابع پایه‌ی جدول درهم در روش درهم‌سازی باز |
| 484 | 5-7-8 درهم‌سازی بسته                                |
| 485 | 1-5-7-8 روش کاوش خطی                                |
| 490 | 2-5-8 توابع پایه‌ی جدول درهم در روش کاوش خطی        |
| 493 | 3-5-7-8 روش کاوش درجه‌ی 2                           |
| 496 | 4-5-7-8 روش درهم‌سازی دوگانه                        |
| 496 | 6-7-8 درهم‌سازی کامل                                |
| 498 | 8-8 مقایسه‌ی فرهنگ‌های دایره‌ای                     |
| 499 | تمرینات                                             |
| 501 | منابع                                               |
| 503 | سؤالات کنکور فصل 8                                  |
| 515 | حل سؤالات کنکور فصل 8                               |
| 529 | فصل 9: صف الویت                                     |
| 529 | 1-9 مقدمه                                           |
| 530 | 2-9 تعریف هرم                                       |
| 532 | 3-9 عملیات مربوط به هرم                             |
| 532 | 1-3-9 درج در هرم                                    |
| 534 | 1-1-3-9 پیاده‌سازی عملیات درج در هرم                |
| 535 | 2-3-9 عملیات خروج از هرم                            |
| 537 | 1-2-3-9 پیاده‌سازی عملیات خروج از هرم               |
| 538 | 4-9 ساخت هرم                                        |
| 540 | 5-9 مرتب‌سازی با استفاده از هرم                     |

|     |                                                  |
|-----|--------------------------------------------------|
| 543 | تمرینات                                          |
| 545 | منابع                                            |
| 546 | سؤالات کنکور فصل 9                               |
| 551 | حل سؤالات کنکور فصل 9                            |
| 559 | فصل 10: گراف                                     |
| 559 | 1-10 تعریف گراف                                  |
| 560 | 1-1-10 گراف جهت‌دار و غیر جهت‌دار                |
| 562 | 2-1-10 تعریف‌ها                                  |
| 565 | 10 پیاده‌سازی گراف                               |
| 565 | 1-10 پیاده‌سازی گراف با استفاده از ماتریس مجاورت |
| 566 | 2-1-10 پیاده‌سازی گراف با استفاده از لیست مجاورت |
| 567 | 3-10 جستجو در گراف                               |
| 568 | 1-3-10 روش جستجوی سطحی                           |
| 569 | 1-3-10 پیاده‌سازی الگوریتم جستجوی سطحی           |
| 573 | 2-3-10 روش جستجوی عمیق                           |
| 574 | 2-3-10 پیاده‌سازی الگوریتم جستجوی عمیق           |
| 578 | تمرینات                                          |
| 581 | منابع                                            |
| 582 | سؤالات کنکور فصل 10                              |
| 586 | حل سؤالات کنکور فصل 10                           |
| 589 | فصل 11: الگوریتم‌های مرتب‌سازی                   |
| 589 | 1-11 مقدمه                                       |
| 590 | 1-1-11 ویژگی‌های الگوریتم‌های مرتب‌سازی          |
| 590 | 1-1-1-11 مرتب‌سازی داخلی / خارجی                 |
| 590 | 2-1-1-11 مرتب‌سازی مقایسه‌ای / غیر مقایسه‌ای     |
| 591 | 3-1-1-11 مرتب‌سازی درجا / برون‌جا                |
| 591 | 4-1-1-11 مرتب‌سازی پایدار / ناپایدار             |
| 592 | 2-11 مرتب‌سازی درجی                              |
| 593 | 1-2-11 پیاده‌سازی مرتب‌سازی درجی                 |
| 594 | 2-2-11 تحلیل الگوریتم مرتب‌سازی درجی             |
| 595 | 3-2-11 ویژگی‌های مرتب‌سازی درجی                  |

|     |                                         |
|-----|-----------------------------------------|
| 595 | 3-11 مرتب‌سازی حبابی                    |
| 597 | 1-3-11 پیاده‌سازی مرتب‌سازی حبابی       |
| 598 | 2-3-11 تحلیل الگوریتم مرتب‌سازی حبابی   |
| 599 | 3-3-11 ویژگی‌های مرتب‌سازی حبابی        |
| 599 | 4-11 مرتب‌سازی انتخابی                  |
| 600 | 1-4-11 پیاده‌سازی مرتب‌سازی انتخابی     |
| 601 | 2-4-11 تحلیل الگوریتم مرتب‌سازی انتخابی |
| 601 | 3-4-11 ویژگی‌های مرتب‌سازی انتخابی      |
| 602 | 5-11 مرتب‌سازی صدقی                     |
| 603 | 1-5-11 پیاده‌سازی مرتب‌سازی صدقی        |
| 604 | 2-5-11 تحلیل الگوریتم مرتب‌سازی صدقی    |
| 606 | 3-5-11 ویژگی‌های مرتب‌سازی صدقی         |
| 607 | 6-11 مرتب‌سازی هرمی                     |
| 609 | 1-6-11 پیاده‌سازی مرتب‌سازی هرمی        |
| 609 | 2-6-11 تحلیل الگوریتم مرتب‌سازی هرمی    |
| 610 | 3-6-11 ویژگی‌های مرتب‌سازی هرمی         |
| 610 | 7-11 مرتب‌سازی ادغامی                   |
| 612 | 1-7-11 پیاده‌سازی مرتب‌سازی ادغامی      |
| 615 | 2-7-11 تحلیل الگوریتم مرتب‌سازی ادغامی  |
| 616 | 3-7-11 ویژگی‌های مرتب‌سازی ادغامی       |
| 616 | 8-11 مرتب‌سازی سریع                     |
| 617 | 1-8-11 نحوه‌ی تعیین محور                |
| 619 | 2-8-11 پیاده‌سازی مرتب‌سازی سریع        |
| 623 | 3-8-11 تحلیل الگوریتم مرتب‌سازی سریع    |
| 623 | 1-3-8-11 تحلیل بهترین حالت              |
| 623 | 2-3-8-11 تحلیل بدترین حالت              |
| 624 | 3-3-8-11 تحلیل حالت میانگین             |
| 625 | 4-8-11 ویژگی‌های مرتب‌سازی سریع         |
| 625 | 9-11 مرتب‌سازی شمارشی                   |
| 627 | 1-9-11 پیاده‌سازی مرتب‌سازی شمارشی      |
| 628 | 2-9-11 تحلیل الگوریتم مرتب‌سازی شمارشی  |

|          |                                                    |
|----------|----------------------------------------------------|
| 628..... | 11-9-3 ویژگی‌های مرتب‌سازی شمارشی                  |
| 629..... | 11-10 مرتب‌سازی مبنایی                             |
| 630..... | 11-10-10 پیاده‌سازی مرتب‌سازی مبنایی               |
| 631..... | 11-10-2 تحلیل الگوریتم مرتب‌سازی مبنایی            |
| 632..... | 11-10-3 ویژگی‌های مرتب‌سازی مبنایی                 |
| 632..... | 11-10-4 الگوریتم بازگشتی مرتب‌سازی مبنایی          |
| 632..... | 11-11 جمع‌بندی مرتب‌سازی‌ها                        |
| 634..... | تمرینات                                            |
| 637..... | منابع                                              |
| 638..... | سؤالات کنکور فصل 11                                |
| 649..... | حل سؤالات کنکور فصل 11                             |
| 663..... | پیوست 1: نوع داده‌ای اشاره‌گر                      |
| 663..... | الف-1 تعریف اشاره‌گر                               |
| 666..... | الف-2 نحوه‌ی کار با اشاره‌گرها                     |
| 666..... | الف-2-1 خواندن محتوای آدرس مورد اشاره‌ی اشاره‌گرها |
| 667..... | الف-2-2 کپی اشاره‌گرها                             |
| 668..... | الف-2-3 مقایسه‌ی اشاره‌گرها                        |
| 669..... | الف-2-4 تخصیص و آزادسازی حافظه                     |
| 671..... | منابع                                              |
| 673..... | پیوست 2: تحلیل استهلاکی                            |
| 673..... | ب-1 تعریف تحلیل استهلاکی                           |
| 674..... | ب-2 روش‌های تحلیل استهلاکی                         |
| 674..... | ب-3 تحلیل تجمعی                                    |
| 675..... | تمرینات                                            |
| 676..... | منابع                                              |
| 677..... | سؤالات کنکور پیوست 2                               |
| 677..... | حل سؤالات کنکور پیوست 2                            |
| 679..... | پیوست 3: فراخوانی با مقدار و فراخوانی با ارجاع     |
| 679..... | پ-1 فراخوانی با مقدار                              |
| 680..... | پ-2 فراخوانی با ارجاع                              |

[www.ketab.ir](http://www.ketab.ir)

## پیشگفتار

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 دانشجو یان 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 سوالات این درس مورد آزمون قرار می‌گیرد. به‌رغم اهمیت فوق‌العاده و مباحث جذاب درس و همچنین وجود منابع گسترده به زبان انگلیسی، منابع فارسی مناسب که قابل اطمینان باشند بسیار اندک و محدود یا دو کتاب می‌باشد.

لذا در این کتاب بر آن شدیم، تا ضمن تألیف مجموعه‌ای جامع و کامل به تمامی سرفصل‌های درس را به خوبی می‌پوشاند، با رویکردی آموزشی مطالب ارائه شوند به نحوی که دانشجو بتواند با مطالعه مباحث این کتاب مفاهیم درسی را به خوبی فرا گرفته 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 به‌کار 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 به آقایان مهندس آذرخش کی‌پور و مهندس امیرحسین عبدی اشاره کرد که زحمات فراوان در تهیه مطالب، نگارش و ویرایش آنها کشیدند و اگر زحمات ایشان نبود قطعاً این کتاب را پایانی نبود. علاوه بر ایشان از زحمات آقای مرزبان که زحمت ویرایش نهایی کتاب را بر عهده داشته‌اند، تشکر و قدردانی فراوان دارم. در انتهای زحمات خانم باباخانی و آقای زنگی که در فرآیند صفحه‌آرایی و رسم شکل‌ها حضور فعال داشته و با توجه به ویرایش‌های فراوان انجام شده در کتاب، بارها مجبور به دوباره‌کاری شده‌اند، تشکر و قدردانی می‌کنم. همچنین از تلاش و زحمت کلیه دانشجویان کارشناسی دانشکده 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 استنداد دارم چنانچه نظر و پیشنهادی در کتاب و یا ایرادی در آن مشاهده می‌کنند - که قطعاً در چاپ اول نگزیر است - در راه اعتلای علمی کتاب، آن موارد را از طریق پست الکترونیکی [m\\_moghadam@sbu.ac.ir](mailto:m_moghadam@sbu.ac.ir) برای اینجانب ارسال نمایند تا در ویرایش‌های بعدی مورد توجه قرار گیرد.

حسن ابراهیمی مقدم

ماه نود و یک

## مقدمه

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

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

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

2. در شبه‌کد، به منظور ساده‌تر شدن و کوچک‌تر شدن الگوریتم، برخی از خطاها صرف‌نظر می‌شود.

3. در برخی مواقع، به جای استفاده از کد، از جملات قابل فهمی استفاده می‌شود که علاوه بر ساده‌تر کردن شبه‌کد، خوانایی آن را نیز می‌افزاید.

4. توضیحات اضافی در شبه‌کد، در قالب زیر بیان می‌شود:

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

5. 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 ادامه بیان آورده می‌شوند. در انتها نیز نوع داده‌ی بازگردانده شده توسط تابع می‌آید که با نماد دو نقطه (:) از متغیرهای ورودی جدا شده است. این قسمت، در رویه‌ها- که فایده مقایسه با فرآیند برگردانده شده هستند- وجود ندارد. اگر تابع بیش از یک خروجی داشته باشد، نوع این خروجی‌ها به صورت زیر مشخص می‌شود:

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

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

7. حلقه‌ی *for* بدین صورت تعریف می‌شود:

```
for (type counter = start to/downto end do
    // for body
}
```