

به نام خدا

اصول ساختمان داده ها

(به همراه مسائل ACM)

تألیف:

دکتر فاطمه راجی

هیأت علمی مهندسی نرم افزار دانشگاه اصفهان

مهندس جمشید مظفری

کارشناسی ارشد مهندسی نرم افزار دانشگاه اصفهان

سرشناسه : راجی، فاطمه، ۱۳۶۱ -

عنوان و نام پدیدآور : اصول ساختمان داده‌ها (به همراه سوالات مسابقات برنامه‌نویسی ACM)

تألیف فاطمه راجی، جمشید مظفری.

مشخصات نشر : اسفهان: جهاد دانشگاهی، واحد اسفهان، ۱۳۹۷.

مشخصات ظاهری : ف.، ۱۳۶۷ص:، مصور.

شابک : ۹۷۸-۶۰۰-۳۱۸-۲۳۸-۷

موضوع : ساختار داده‌ها — راهنمای آموزشی (عالی)

موضوع : الگوریتم‌های کامپیوتری — راهنمای آموزشی (عالی)

موضوع : ساختار داده‌ها — مسائل، تمرین‌ها و غیره (عالی)

موضوع : الگوریتم‌های کامپیوتری — مسائل، تمرین‌ها و غیره (عالی)

موضوع : برنامه‌نویسی — منابع

شماره افزوده : مظفری، جمشید، ۱۳۷۲ -

شماره افزوده : جهاد دانشگاهی، واحد اسفهان

رده بندی کنگره : ۹۷۶ ۱۳۹۷ ۰۸۲۲

رده بندی دیویی : ۷۳۰۷۶/۰۰۵

شماره کاتالوژی ملی : ۵۳۸۵۷۷۸

جهاد دانشگاهی

انتشارات

اسفهان - بعد از سه راه سیمین، کوچه ۱۰۹

تلفن: ۰۳۱۳۷۷۷۵۸۲ ۰۹۱۳۱۷۰۳۵۹۷



نام کتاب: پریدن از صخره

نویسنده: دیوید دیدا، موسی مسگرزاده

مترجم: موسی مسگرزاده

طراح جلد و صفحه آرا: مهسا مسگرزاده

نوبت چاپ: اول

تاریخ نشر: ۱۳۹۷

تیراژ: ۱۰۰۰ نسخه

ناظر فنی: علیرضا جنت

قیمت: ۲۴۰۰۰ تومان

این اثر مشمول قانون حمایت مؤلفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ است، هر کس تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه مؤلف (ناشر) نشر، پخش یا عرضه کند مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

ز	پیش گفتار
ش	مسابقات برنامه نویسی ACM
۱	فصل ۱- تحلیل و زمان اجرای الگوریتم ها
۱	۱-۱ مقدمه
۲	۲-۱ تحلیل الگوریتم
۳	۳-۱ محاسبات مهم ریاضی جهت محاسبه زمان اجرا
۵	۴-۱ نرخ رشد توابع
۶	۱-۴-۱ تابع ثابت
۶	۲-۴-۱ تابع لگاریتمی
۶	۳-۴-۱ تابع خطی
۶	۴-۴-۱ تابع خطی لگاریتمی
۷	۵-۴-۱ تابع درجه دو
۷	۶-۴-۱ تابع درجه سه و بالاتر
۷	۷-۴-۱ تابع نمایی
۸	۵-۱ نمادهای مجانبی
۸	۱-۵-۱ نماد مجانبی O
۹	۲-۵-۱ نماد مجانبی Ω
۱۰	۳-۵-۱ نماد مجانبی Θ
۱۰	۱-۳-۵-۱ حل چند مثال
۱۱	۴-۵-۱ نماد مجانبی $\mathcal{O}$
۱۲	۵-۵-۱ نماد مجانبی $\mathcal{O}$
۱۲	۶-۱ خواص نمادها
۱۲	۷-۱ استفاده از حد در زمان اجرا
۱۳	۸-۱ محاسبه زمان اجرای الگوریتم ها
۱۶	۹-۱ الگوریتم های بازگشتی

۱-۹-۱ قالب الگوریتم‌های بازگشتی..... ۷

۱-۹-۲ بازگشتی خطی..... ۱۸

۱-۹-۳ بازگشتی دودویی..... ۱۹

۱-۹-۴ بازگشتی چندگانه..... ۲۰

۱-۹-۵ حل چند مثال..... ۲۱

۱-۵-۹-۱ الگوریتم جمع اعداد ۱ تا n ۲۱

۱-۵-۹-۲ الگوریتم محاسبه توان..... ۲۲

۱-۵-۹-۳ الگوریتم محاسبه ترکیب..... ۲۲

۱-۵-۹-۴ الگوریتم برج هانوی..... ۲۳

۱۰-۱ محاسبه زمان اجرای الگوریتم‌های بازگشتی..... ۲۴

۱-۱۰-۱ روش جایگزینی..... ۲۶

۱-۱۰-۲ روش درخت بازگشتی..... ۲۷

۱-۱۰-۳ روش قضیه اصلی..... ۲۹

۱-۱۰-۴ روش معادله مشخصه..... ۲۹

۱۱-۱ تمرینات..... ۳۲

۱۲-۱ سؤالات عملی ACM..... ۳۴

فصل ۲-۲ آرایه‌ها و کاربرد آن..... ۴۳

۱-۲ مقدمه..... ۴۳

۲-۲ آرایه..... ۴۳

۲-۲-۱ نمایش آرایه‌ها در حافظه..... ۴۴

۲-۲-۲ پیمایش آرایه یک بعدی..... ۴۵

۲-۲-۳ جستجو در آرایه..... ۴۶

۲-۲-۱ الگوریتم جستجوی خطی..... ۴۶

۲-۲-۲ الگوریتم جستجوی دودویی..... ۴۶

۲-۲-۴ درج عنصر..... ۴۸

۲-۲-۵ حذف عنصر..... ۴۸

۲-۳ آرایه‌های چند بعدی..... ۴۹

۵۱.....	۲-۴ کاربرد آرایه‌ها.....
۵۱.....	۲-۴-۱ ماتریس‌ها.....
۵۳.....	۲-۴-۲ نمایش چند جمله‌ای‌ها.....
۵۳.....	۲-۴-۳ ماتریس بالامثلی و پایین مثلثی.....
۵۴.....	۲-۴-۴ ماتریس سه قطری.....
۵۵.....	۲-۴-۵ ماتریس خلوت.....
۵۶.....	۲-۵ آرایه‌ها در جاوا.....
۵۷.....	۲-۶ تمرینات.....
۵۸.....	۲-۷ سزالات عملی ACM.....
۶۷.....	فصل ۳- لیست پیوندی.....
۶۷.....	۳-۱ مقدمه.....
۶۷.....	۳-۲ مفهوم ارجاع.....
۶۸.....	۳-۳ پیاده‌سازی لیست پیوندی یک‌طرفه.....
۷۰.....	۳-۳-۱ درج یک گره در ابتدای لیست.....
۷۱.....	۳-۳-۲ درج یک گره بعد از یک گره خاص با داشتن ارجاع.....
۷۱.....	۳-۳-۳ درج یک گره بعد از یک گره خاص با داشتن اندیس.....
۷۲.....	۳-۳-۴ حذف یک گره از ابتدای لیست.....
۷۳.....	۳-۳-۵ حذف یک گره بعد از یک گره خاص با داشتن ارجاع.....
۷۳.....	۳-۳-۶ حذف یک گره بعد از یک گره خاص با داشتن اندیس.....
۷۴.....	۳-۴ لیست پیوندی حلقوی.....
۷۵.....	۳-۵ لیست پیوندی دوطرفه.....
۷۶.....	۳-۵-۱ درج یک گره در ابتدای لیست.....
۷۶.....	۳-۵-۲ درج یک گره بعد از یک گره خاص با داشتن ارجاع.....
۷۷.....	۳-۵-۳ درج یک گره بعد از یک گره خاص با داشتن اندیس.....
۷۷.....	۳-۵-۴ حذف یک گره از ابتدای لیست.....
۷۸.....	۳-۵-۵ حذف یک گره بعد از یک گره خاص با داشتن ارجاع.....
۷۸.....	۳-۵-۶ حذف یک گره بعد از یک گره خاص با داشتن اندیس.....

۶-۳ لیست پیوندی عمومی ۸

۷-۳ عملیات‌های دیگر بر روی لیست پیوندی ۰

۱-۷-۳ حذف عناصر تکراری ۰

۲-۷-۳ معکوس کردن لیست پیوندی ۱

۸-۳ کاربردهای لیست پیوندی ۲

۱-۸-۳ نمایش چندجمله‌ای‌ها ۲

۲-۸-۳ مسئله زوزفوس ۳

۹-۳ لیست پیوندی در جاوا ۴

۱۰-۳ تمرینات ۵

۱۱-۳ سؤالات عملی ACM ۶

فصل ۴- پشته، صف و درهم‌سازی ۱

۱-۴ مقایسه ۱

۲-۴ پشته ۱

۱-۲-۴ پیاده‌سازی پشته با استفاده از آرایه ۲

۱-۲-۴-۱ درج در پشته (push) ۳

۲-۲-۴ حذف از پشته (pop) ۳

۲-۲-۴ پشته چندگانه ۵

۱-۲-۴-۱ درج در پشته (push) ۶

۱-۱-۱-۱ حذف از پشته (pop) ۶

۳-۲-۴ پیاده‌سازی پشته با استفاده از لیست پیوندی ۸

۱-۳-۲-۴ درج در پشته (push) ۸

۲-۱-۱-۱ حذف از پشته (pop) ۹

۴-۲-۴ حل چند مثال ۱۰

۳-۴ پیمایش‌های مختلف یک عبارت ۱۰۲

۱-۳-۴ تبدیل عبارت میانوندی به پیشوندی و پسوندی ۱۰۲

۲-۳-۴ تبدیل عبارت پسوندی به میانوندی با پرانتز کامل ۱۰۳

۳-۳-۴ تبدیل عبارت پیشوندی به میانوندی با پرانتز کامل ۱۰۴

- ۱۰۵..... ۴-۳-۴ تبدیل نگارش میانوندی (نه لزوماً با پرائتر کامل) به عبارت پسوندی
- ۱۰۷..... ۵-۳-۴ تبدیل عبارت پسوندی به پیشوندی
- ۱۰۸..... ۴-۴ صف
- ۱۰۹..... ۱-۴-۴ پیاده‌سازی صف با استفاده از آرایه
- ۱۰۹..... ۱-۱-۴-۴ enqueue تابع
- ۱۱۰..... ۲-۱-۴-۴ dequeue تابع
- ۱۱۱..... ۲-۴-۴ صف حلقوی
- ۱۱۲..... ۱-۲-۴-۴ enqueue تابع
- ۱۱۲..... ۲-۲-۴-۴ dequeue تابع
- ۱۱۳..... ۳-۴-۴ پیاده‌سازی صف با استفاده از لیست پیوندی
- ۱۱۳..... ۱-۳-۴-۴ enqueue تابع
- ۱۱۴..... ۲-۳-۴-۴ dequeue تابع
- ۱۱۴..... ۵-۴ درهم‌سازی
- ۱۱۴..... ۱-۵-۴ مفهوم درهم‌سازی
- ۱۱۵..... ۲-۵-۴ مسئله برخورد
- ۱۱۶..... ۱-۲-۵-۴ پراکنده کردن رکوردها
- ۱۱۶..... ۲-۲-۵-۴ استفاده از حافظه اضافی
- ۱۱۶..... ۳-۵-۴ زنجیرسازی
- ۱۱۷..... ۱-۳-۵-۴ درج
- ۱۱۷..... ۲-۳-۵-۴ حذف
- ۱۱۸..... ۳-۳-۵-۴ جستجو
- ۱۱۸..... ۴-۵-۴ آدرس‌دهی باز
- ۱۱۹..... ۱-۴-۵-۴ درج
- ۱۱۹..... ۲-۴-۵-۴ حذف
- ۱۱۹..... ۳-۴-۵-۴ جستجو
- ۱۲۰..... ۵-۵-۴ تابع واری
- ۱۲۰..... ۱-۵-۵-۴ کاوش خطی

۲۰	۴-۵-۲ کاوش مربعی
۲۱	۴-۵-۳ کاوش دوبل
۲۲	۴-۵-۶ توابع درهم‌ساز معروف
۲۲	۴-۵-۱ روش میانه مجذور
۲۲	۴-۵-۲ روش تقسیم
۲۳	۴-۵-۳ روش ناکردن
۲۴	۴-۶ پشته، صف و درهم‌سازی در جاوا
۲۴	۴-۶-۱ کلاس Stack
۲۴	۴-۶-۲ کلاس Queue
۲۴	۴-۶-۳ کلاس Hashtable
۲۵	۴-۷ تمرینات
۲۷	۴-۸ سوالات عملی ACM
۳۳	فصل ۵-۵ درخت‌ها
۳۳	۵-۱ مقدمه
۳۳	۵-۱-۱ تعاریف اولیه درخت
۳۳	۵-۱-۲ درخت
۳۴	۵-۱-۳ مفاهیم اصلی درخت‌های پدر فرزندی
۳۵	۵-۲ پیمایش درخت‌ها
۳۵	۵-۲-۱ پیمایش عمقی
۳۵	۵-۲-۱-۱ پیمایش پیشوندی
۳۶	۵-۲-۱-۲ پیمایش میانوندی
۳۶	۵-۲-۱-۳ پیمایش پسوندی
۳۶	۵-۳ درخت دودویی
۳۸	۵-۳-۱ پیاده‌سازی درخت دودویی
۳۹	۵-۳-۲ پیمایش پیشوندی درخت دودویی
۴۰	۵-۳-۲-۱ پیمایش میانوندی درخت دودویی
۴۰	۵-۳-۲-۲ پیمایش پسوندی درخت دودویی

- ۱۴۱..... ۳-۳-۵ درخت نخى
- ۱۴۲..... ۱-۳-۳-۵ نخ كشى درخت دودوى براى پيمائش ميانوندى
- ۱۴۳..... ۴-۵ كاربردهاى درخت دودوى
- ۱۴۳..... ۱-۴-۵ درخت عبارت
- ۱۴۵..... ۲-۴-۵ تبديل پيمائش هاى مختلف بهم
- ۱۴۵..... ۱-۲-۴-۵ تبديل ميانوندى با پرائنز كامل به درخت عبارت
- ۱۴۶..... ۲-۲-۴-۵ تبديل با پرائنز كامل به صورت بازگشتى
- ۱۴۷..... ۳-۲-۴-۵ تبديل با پرائنز كامل به صورت غيربازگشتى
- ۱۴۹..... ۴-۲-۴-۵ تبديل عبارت پسوندى به درخت عبارت
- ۱۴۹..... ۵-۲-۴-۵ تبديل با كمك پشته
- ۱۵۰..... ۶-۲-۴-۵ الكوريتم بازگشتى
- ۱۵۰..... ۵-۵ درخت دودوى جستجو
- ۱۵۲..... ۱-۵-۵ جستجو
- ۱۵۲..... ۱-۱-۵-۵ الكوريتم جستجو در درخت دودوى جستجو به صورت بازگشتى
- ۱۵۳..... ۲-۱-۵-۵ الكوريتم جستجو در درخت دودوى جستجو به صورت غيربازگشتى
- ۱۵۴..... ۲-۵-۵ يافتن عنصر كمينه
- ۱۵۴..... ۱-۲-۵-۵ يافتن عنصر كمينه به صورت بازگشتى
- ۱۵۴..... ۲-۲-۵-۵ يافتن عنصر كمينه به صورت غيربازگشتى
- ۱۵۵..... ۳-۵-۵ اضافه كردن عنصر جديد
- ۱۵۵..... ۱-۳-۵-۵ اضافه كردن عنصر جديد بازگشتى بدون پدر
- ۱۵۶..... ۲-۳-۵-۵ اضافه كردن عنصر جديد بازگشتى به همراه پدر
- ۱۵۷..... ۳-۳-۵-۵ اضافه كردن عنصر جديد غيربازگشتى به همراه پدر
- ۱۵۸..... ۴-۵-۵ حذف كوچكترين عنصر
- ۱۵۹..... ۵-۵-۵ يافتن عنصر بعدى
- ۱۶۰..... ۶-۵-۵ حذف عنصر
- ۱۶۲..... ۶-۵ درخت AVL
- ۱۶۳..... ۱-۶-۵ تابع height

۶۳	.....	۲-۶-۵	تابع	setHeight
۶۴	.....	۳-۶-۵	تابع	getBalance
۶۴	.....	۴-۶-۵	دوران راست	
۶۵	.....	۵-۶-۵	دوران چپ	
۶۵	.....	۶-۶-۵	دوران راست چپ	
۶۶	.....	۷-۶-۵	دوران چپ راست	
۶۶	.....	۸-۶-۵	تابع	checkBalance
۶۷	.....	۹-۶-۵	افزودن گره جدید	
۶۷	.....	۷-۵	هرم	
۶۹	.....	۸-۵	صف اولویت	
۷۰	.....	۱-۸-۵	تابع	maxHeapify
۷۱	.....	۲-۸-۵	تابع	IncreaseKey
۷۲	.....	۳-۸-۵	تابع	Insert
۷۳	.....	۴-۸-۵	تابع	buildHeap
۷۳	.....	۵-۸-۵	تابع	extractMax
۷۴	.....	۹-۵	پیمایش سطحی	
۷۵	.....	۱-۹-۵	پیمایش سطحی در هرم	
۷۵	.....	۲-۹-۵	پیمایش سطحی در درخت‌های دودویی	
۷۶	.....	۱۰-۵	درخت عمومی	
۷۶	.....	۱-۱۰-۵	پیاده‌سازی با ارجاع	
۷۷	.....	۲-۱۰-۵	تبدیل درخت عمومی به درخت دودویی معادل	
۷۸	.....	۳-۱۰-۵	پیمایش درخت دودویی معادل	
۷۸	.....	۱-۳-۱۰-۵	پیمایش پیشوندی	
۷۹	.....	۲-۳-۱۰-۵	پیمایش میانوندی	
۷۹	.....	۳-۳-۱۰-۵	پیمایش پسوندی	
۸۰	.....	۱۱-۵	درخت و صف اولویت در جاوا	
۸۰	.....	۱-۱۱-۵	کلاس	TreeSet

۱۸۰	TreeMap کلاس ۲-۱۱-۵
۱۸۰	PriorityQueue کلاس ۳-۱۱-۵
۱۸۱	 ۱۲-۵ تمرینات
۱۸۲	 ۱۳-۵ سؤالات عملی ACM
۱۹۳	 فصل ۶- گراف‌ها
۱۹۳	 ۱-۶ مقدمه
۱۹۳	 ۲-۶ مفاهیم گراف
۲۰۱	 ۳-۶ نمایش گراف
۲۰۱	 ۱-۳-۶ ماتریس مجاورتی
۲۰۲	 ۲-۳-۶ ماتریس برخورد
۲۰۳	 ۳-۳-۶ لیست یال
۲۰۴	 ۴-۳-۶ لیست مجاورتی
۲۰۵	 ۵-۳-۶ نگاشت مجاورتی
۲۰۶	 ۳-۶ پیمایش گراف‌ها
۲۰۷	 ۱-۴-۶ الگوریتم پیمایش عمقی
۲۰۹	 ۱-۱-۴-۶ چند مثال از پیمایش عمقی
۲۰۹	 ۲-۴-۶ الگوریتم پیمایش سطحی
۲۱۱	 ۱-۲-۴-۶ چند مثال از پیمایش سطحی
۲۱۲	 ۵-۶ لیست یال
۲۱۴	 ۶-۶ افزایش مجموعه‌ها
۲۱۶	 ۱-۶-۶ عمل جستجو
۲۱۸	 ۲-۶-۶ عمل اجتماع
۲۲۰	 ۷-۶ درخت پوشای کمینه
۲۲۱	 ۱-۷-۶ الگوریتم پریم
۲۲۳	 ۲-۷-۶ الگوریتم کروسکال
۲۲۶	 ۸-۶ کوتاهترین مسیرها
۲۲۶	 ۱-۸-۶ کوتاهترین مسیر یا روش پیمایش سطحی

۲۸	۲-۸-۶ الگوریتم داجسترا
۳۰	۳-۸-۶ الگوریتم فلوید وارشال
۳۳	۹-۶ تمرینات
۳۴	۱۰-۶ سؤالات عملی ACM
۳۴	فصل ۷- روش‌های مرتب‌سازی
۳۴	۱-۷ مقدمه
۳۴	۲-۷ مفاهیم مرتب‌سازی
۳۶	۳-۷ الگوریتم‌های مرتب‌سازی
۳۶	۱-۳-۷ مرتب‌سازی انتخابی
۳۸	۲-۳-۷ مرتب‌سازی حبابی
۳۹	۳-۳-۷ مرتب‌سازی درجی
۵۱	۴-۳-۷ مرتب‌سازی هرمی
۵۲	۵-۳-۷ مرتب‌سازی درختی
۵۴	۶-۳-۷ مرتب‌سازی ادغامی
۵۷	۷-۳-۷ مرتب‌سازی سریع
۶۰	۸-۳-۷ اثبات کعبه زمان اجرای الگوریتم‌های مرتب‌سازی در بدترین حالت
۶۲	۹-۳-۷ الگوریتم مرتب‌سازی شمارشی
۶۴	۱۰-۳-۷ مرتب‌سازی پایهای
۶۶	۱۱-۳-۷ مرتب‌سازی در جاوا
۶۷	۴-۷ تمرینات
۶۸	۵-۷ سؤالات عملی ACM

پیش‌گفتار

ساختمان داده یکی از درس‌های پایه‌ای رشته‌های مهندسی کامپیوتر، فناوری اطلاعات، علوم کامپیوتر و غیره می‌باشد. بطوریکه می‌توان آن را یکی از مهمترین دروس این رشته‌ها معرفی کرد. درس ساختمان داده، بر روی عملیات معمول انواع ساختارهای داده در کاربردهای مختلف، تمرکز دارد. در این راستا انواع ساختارهایی که به کمک آن‌ها می‌توان داده‌های مختلف را ذخیره‌سازی کرد، معرفی می‌شوند و الگوریتم‌های مختلف ذخیره، افزودن، حذف، جستجو و غیره برای هر ساختار داده توضیح و پیاده‌سازی می‌شوند. به دلیل استفاده فراوان از مباحث ریاضیات گسسته مانند درخت‌ها و گراف‌ها، درس ساختمان داده نیازمند دانش کافی از درس ریاضیات گسسته است. از طرف دیگر، دانش کافی از درس ساختمان داده، لازمه فهم و درک درس طراحی الگوریتم‌ها می‌باشد.

در کتاب حاضر در هفت فصل سعی شده تا ساختار داده‌های مهم به همراه الگوریتم‌های مختلف مربوطه به بیانی ساده، روشن و بدون پیچیدگی‌های ریاضی توضیح داده شوند. در فصل اول در مورد نحوه آنالیز و تحلیل الگوریتم‌ها و روش‌های مختلف تحلیل الگوریتم‌ها توضیحاتی ارائه شده است. روش‌های ارائه شده در این فصل، در تحلیل تمامی الگوریتم‌های فصول بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در فصل دوم در مورد آرایه‌ها که ساده‌ترین نوع ساختمان داده‌ها می‌باشد، توضیحاتی بیان شده است. در فصل سوم، ساختمان داده لیست پیوندی ارائه شده است بطوریکه پیش‌نیاز مناسبی برای ساختمان داده‌های فصول بعدی می‌باشد. در فصل چهارم، برخی ساختمان داده‌های پرکاربرد مانند پشته، صف و درهم‌سازی را که با استفاده از ساختمان داده‌های آرایه و لیست پیوندی پیاده‌سازی می‌شوند، بیان شده است. در فصل پنجم، ساختمان داده درخت که یکی از بهترین ساختمان داده‌ها در علم کامپیوتر است به همراه فواید متعدد آن نسبت به ساختمان داده‌های فصول قبل توضیح داده شده است. در فصل ششم، ساختمان داده گراف که یکی از پرکاربردترین ساختمان داده‌ها در علم کامپیوتر است، به همراه الگوریتم‌های مختلف و معروف مرتبط با این ساختمان داده معرفی شده است. در نهایت در فصل هفتم در مورد الگوریتم‌های مرتب‌سازی توضیح داده شده است.

ساختار هر فصل این کتاب به این صورت است که در ابتدای هر فصل، پس از بیان مقدمه‌ای کوتاه، مباحث اصلی به همراه مثال و الگوریتم‌های مربوطه بیان می‌شوند. شایان ذکر است که تمامی الگوریتم‌های ارائه شده در کتاب به زبان جاوا پیاده‌سازی شده است. علاوه بر اینکه قبل از اتمام مباحث هر فصل، چگونگی پیاده‌سازی ساختمان داده مربوطه در جاوا با استفاده از کلاس‌های آماده آن به همراه توضیحات تعدادی از توابع کلاس‌ها معرفی شده‌اند. در انتهای هر فصل ابتدا ده تمرین از مسئله‌هایی که نیاز به فکر و تأمل خواننده را دارد قرار گرفته است. سپس چند مسئله ACM مرتبط با مباحث ارائه شده در هر فصل به همراه راهنمایی جهت حل آنها آورده شده است تا به درک عمیق‌تر مباحث فصل، کمک به‌سزایی بکنند.

با توجه به مطالب ارائه شده، این کتاب به دانشجویان مهندسی کامپیوتر، فناوری اطلاعات و غیره به عنوان منبعی مناسب برای درس ساختمان داده توصیه می‌شود. همچنین با توجه به نگرشی که در ارائه مطالب هر فصل به همراه سؤالات ACM طبقه‌بندی شده، وجود دارد این کتاب به عنوان منبعی مناسب برای آماده‌سازی دانشجویان جهت مسابقات ACM پیشنهاد داده می‌شود.

در انتها مراتب تشکر خود را از جناب آقای دکتر محمدسعید احسانی که ویراستاری علمی کتاب را انجام دادند
سرکار خانم زهرا سینایی که در طراحی شکل‌ها و ویراستاری کتاب کمک به‌سزایی مبذول داشتند و همچنین از مسئولین
محترم جهاد دانشگاهی اصفهان که نشر این کتاب را تقبل فرمودند اعلام می‌داریم.

دکتر فاطمه راجی

تابستان ۱۳۹۷

www.ketab.ir