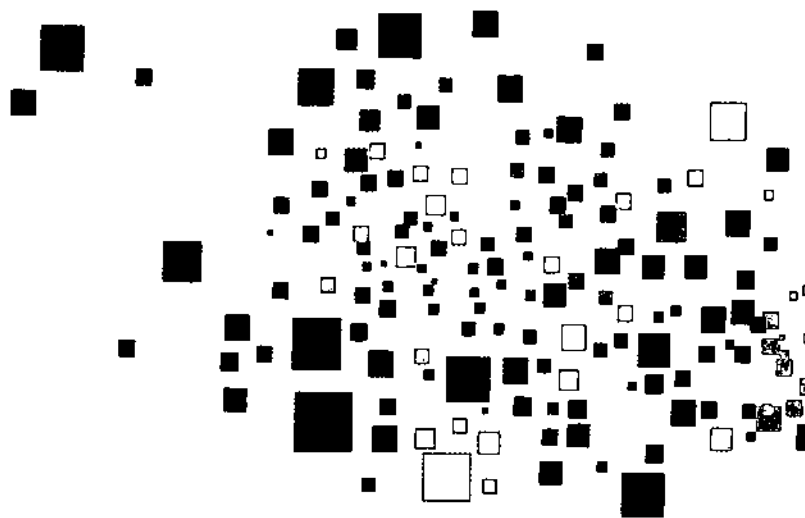




داده‌ساختارها و مبانی الگوریتم‌ها

محمد قدسی

استاد دانشکده‌ی مهندسی کامپیوتر دانشگاه صنعتی شریف

داده ساختارها و مبانی الگوریتم‌ها

مؤلف: محمد قدسی

ویراستار: محمدامین صادقی

ناشر: مؤسسه فرهنگی فاطمی

چاپ اول، ۱۳۸۸

شابک ۹۷۸-۹۶۴-۳۱۸-۵۴۹-۷

ISBN 978-964-318-549-7

تیراژ: ۳۰۰۰ نسخه

قیمت: ۱۳۰۰۰ تومان

آماده‌سازی پیش از چاپ: واحد تولید مؤسسه فرهنگی فاطمی

- مدیر فنی تولید: فرید مصلحی

- طراح جلد: علیرضا طاهرنجمی

- نمونه‌خوان: شقایق میرصیافی

- نظارت بر چاپ: علی محمدپور

لیتوگرافی: صاحب

چاپ و صحافی: چاپخانه‌ی خاشع

کلیه‌ی حقوق برای مؤسسه فرهنگی فاطمی محفوظ است.

مؤسسه فرهنگی فاطمی تهران، کدبستی ۱۴۱۵۸۸۴۷۴۱، میدان دکتر فاطمی،

خیابان جویبار، کوچه‌ی میرهادی، شماره‌ی ۱۴ تلفن و نمابر: ۸۸۹۶۱۴۲۲ - ۸۸۹۶۴۷۷۰

info@fatemi.ir



قدسی، محمد، ۱۳۴۱-

داده ساختارها و مبانی الگوریتم‌ها / مؤلف محمد قدسی. - تهران: فاطمی، ۱۳۸۸.

پانزده، ۵۰۷ ص: مصور (رنگی)، جدول، نمودار.

ISBN 978-964-318-549-7

فهرست‌نویسی بر اساس اطلاعات فیا.

کتابخانه: ص. ۴۹۹.

نمایه.

۱. ساختار داده‌ها - مسائل، تمرین‌ها و غیره (عالی)، ۲. الگوریتم‌های کامپیوتری، ۳. الگوریتم‌های کامپیوتری - مسائل،

تمرین‌ها و غیره (عالی)، الف. صادقی، محمدامین، ویراستار: ب. عتوان.

۰۰۵/۷۳۰۷۶

Q۸۷۶/۹/ص ۱۳۸۸

کتابخانه‌ی ملی ایران

۱۷۰۲۱۲۵

فهرست

پیش‌گفتار مؤلف

سیزده

۱ معرفی

۱

۱-۱ یک مثال: برنامه‌ریزی چراغ‌های راهنما ۳

۱-۱-۱ یک راه‌حل حریصانه برای مسئله ۶

۱-۱-۲ داده‌های مسئله ۸

۲-۱ گونه‌های مختلف داده ۱۵

۱-۲-۱ داده‌گونه‌ی انتزاعی ۱۱

۲-۲-۱ داده‌ها در زبان‌های شیء‌گرا ۱۱

۳-۱ زبان برنامه‌نویسی استفاده‌شده در این کتاب ۱۳

♦ تمرین‌های فصل ۱ ۱۴

♦ پروژه‌های برنامه‌نویسی فصل ۱ ۱۵

۲ مبانی استقرا و شمارش

۱۷

۱-۲ استقرای ریاضی ۱۷

۱۹	.....	استقرای ضعیف	۱-۱-۲
۱۹	.....	استقرای قوی	۲-۱-۲
۲۰	.....	مثال‌هایی از استقرا	۳-۱-۲
۲۶	.....	خطاهای معمول در اثبات با استقرا	۴-۱-۲
۲۸	.....	تمرین‌های بخش ۱-۲	◁

۳۲	.....	مبانی روش‌های شمارش	۲-۲
۳۵	.....	ترتیب و ترکیب	۱-۲-۲
۳۷	.....	ترتیب دوری و حلقوی	۲-۲-۲
۴۱	.....	تناظر یک‌به‌یک	۳-۲-۲
۴۴	.....	مسئله‌های توپ و ظرف	۴-۲-۲
۴۶	.....	شمول و عدم شمول	۵-۲-۲
۴۸	.....	اصل لانه کبوتری	۶-۲-۲
۵۰	.....	تمرین‌های بخش ۲-۲	◁

۳ روش‌های تحلیل الگوریتم‌ها

۵۵	.....		
۵۶	.....	زمان اجرای برنامه‌ها	۱-۳
۵۷	.....	مثال: مرتب‌سازی درجی	۱-۱-۳
۶۲	.....	مثال: مرتب‌سازی درجی دودویی	۲-۱-۳
۶۳	.....	تمرین‌های بخش ۱-۳	◁

۶۵	.....	پیچیدگی الگوریتم‌ها	۲-۳
۶۸	.....	تمرین‌های بخش ۲-۳	◁

۶۹	.....	تابع‌های رشد	۳-۳
۷۶	.....	تمرین‌های بخش ۳-۳	◁

۷۹	.....	روش‌های تحلیل الگوریتم‌ها	۴-۳
۸۰	.....	تحلیل الگوریتم‌های ترتیبی	۱-۴-۳
۸۲	.....	تمرین‌های زیربخش ۱-۴-۳	◁
۸۴	.....	تحلیل الگوریتم‌های بازگشتی	۲-۴-۳
۹۴	.....	تمرین‌های زیربخش ۲-۴-۳	◁
۹۵	.....	روش‌های حل رابطه‌های بازگشتی	۵-۳
۹۶	.....	حدس و استقرا	۱-۵-۳
۹۹	.....	تکرار با جای‌گذاری	۲-۵-۳
۱۰۰	.....	درخت بازگشت	۳-۵-۳
۱۰۲	.....	قضیه‌ی اصلی	۴-۵-۳
۱۰۵	.....	حل مستقیم یک رابطه‌ی بازگشتی	۵-۵-۳
۱۰۷	.....	تمرین‌های بخش ۵-۳	◁
۱۰۸	.....	رابطه‌های بازگشتی همگن	۶-۳
۱۱۵	.....	تمرین‌های بخش ۶-۳	◁
۱۱۶	.....	تحلیل سرشکنی	۷-۳
۱۱۸	.....	روش‌های تحلیل سرشکنی	۱-۷-۳
۱۲۰	.....	روش تابع پتانسیل	۲-۷-۳
۱۲۳	.....	تمرین‌های بخش ۷-۳	◁
۱۲۴	.....	تمرین‌های فصل ۳	◇
۱۲۹	.....	داده‌ساختارهای ساده	۴
۱۳۰	.....	دسته‌بندی داده‌ساختارها	۱-۴
۱۳۱	.....	لیست‌ها	۲-۴

۱۳۲	پیاده‌سازی لیست‌های پیوندی	۱-۲-۴
۱۳۳	اعمال اصلی بر روی لیست خطی	۲-۲-۴
۱۳۷	عملیات دیگر بر روی لیست‌ها	۳-۲-۴
۱۴۳	پیاده‌سازی لیست‌ها با اشاره‌گرهای اندیسی	۴-۲-۴
۱۴۸	تمرین‌های زیربخش ۴-۲-۴	<
۱۴۹	پشته‌ها	۵-۲-۴
۱۵۵	تمرین‌های زیربخش ۵-۲-۴	<
۱۵۶	صف	۶-۲-۴
۱۵۹	کاربردهایی از لیست‌ها	۳-۴
۱۶۰	مرتب‌سازی ادغامی	۱-۳-۴
۱۶۳	لیست‌های کلی	۲-۳-۴
۱۶۸	تبدیل الگوریتم‌های بازگشتی به غیربازگشتی	۳-۳-۴
۱۷۵	تمرین‌های بخش ۳-۴	<
۱۸۰	درخت‌ها	۴-۴
۱۸۱	تعریف‌های اولیه در درخت‌ها	۱-۴-۴
۱۸۳	پیمایش درخت‌ها	۲-۴-۴
۱۸۴	درخت دودویی معادل	۳-۴-۴
۱۸۵	اعمال مختلف بر روی درخت	۴-۴-۴
۱۸۸	پیاده‌سازی درخت‌ها	۵-۴-۴
۱۹۲	درخت دودویی	۶-۴-۴
۱۹۵	درخت‌های عبارت	۷-۴-۴
۱۹۹	تبدیل نگارش‌های مختلف عبارت به هم	۸-۴-۴
۲۱۰	تِرای، درختی برای ذخیره‌ی رشته‌ها	۹-۴-۴
۲۱۲	تمرین‌های بخش ۴-۴	<

۲۱۴	درخت دودویی جست و جو	۵-۴
۲۱۷	۱-۵-۴ اعمال مختلف بر روی درخت دودویی جست و جو	
۲۲۸	۲-۵-۴ میانگین ارتفاع درخت دودویی جست و جو	
۲۳۱	تمرین های بخش ۵-۴	◁
۲۳۴	صف اولویت	۶-۴
۲۳۴	۱-۶-۴ تعریف و ویژگی های هرم بیشینه	
۲۳۶	۲-۶-۴ پیاده سازی هرم بیشینه و انجام اعمال مختلف	
۲۴۳	تمرین های بخش ۶-۴	◁
۲۴۷	تمرین های فصل ۴	◇
۲۵۱	پروژه های برنامه نویسی فصل ۴	◇
۲۶۱	درهم سازی	۵
۲۶۲	۱-۵ جدول آدرس دهی مستقیم	
۲۶۳	تمرین های بخش ۱-۵	◁
۲۶۴	۲-۵ جدول های درهم سازی	
۲۶۴	۳-۵ روش زنجیره ای برای حل برخورد	
۲۶۸	تمرین های بخش ۳-۵	◁
۲۶۹	۴-۵ توابع درهم سازی	
۲۶۹	۱-۴-۵ روش تقسیم	
۲۷۰	۲-۴-۵ روش ضرب	
۲۷۲	۵-۵ درهم سازی سراسری	
۲۷۷	تمرین های بخش ۵-۵	◁

۲۷۸	 آدرس‌دهی باز	۶-۵
۲۸۱	 واریسی خطی	۱-۶-۵
۲۸۲	 واریسی درجه‌ی ۲	۲-۶-۵
۲۸۲	 درهم‌سازی دوگانه	۳-۶-۵
۲۸۳	 تحلیل آدرس‌دهی باز	۴-۶-۵
۲۸۶	 تمرین‌های بخش ۶-۵	◁

۲۸۶	 درهم‌سازی کامل	۷-۵
۲۹۱	 تمرین بخش ۷-۵	◁

۲۹۲	 درهم‌سازی پویا	۸-۵
۲۹۳	 فقط درج	۱-۸-۵
۲۹۶	 درج و حذف با هم	۲-۸-۵
۳۰۱	 تمرین‌های بخش ۸-۵	◁
۳۰۲	 تمرین‌های فصل ۵	◇

۶ مرتب‌سازی و مرتبه‌ی آماری ۳۰۵

۳۰۶	 دسته‌بندی و کران پایین	۱-۶
۳۱۲	 تمرین‌های بخش ۱-۶	◁

۳۱۳	 مرتب‌سازی خطی	۲-۶
۳۱۳	 مرتب‌سازی شمارشی	۱-۲-۶
۳۱۵	 مرتب‌سازی مبنایی	۲-۲-۶
۳۱۶	 مرتب‌سازی سطلی	۳-۲-۶
۳۱۹	 تمرین‌های بخش ۲-۶	◁

۳۲۲	.....	مرتب‌سازی مقایسه‌ای	۳-۶
۳۲۳	.....	مرتب‌سازی سریع	۱-۳-۶
۳۳۰	.....	مرتب‌سازی سریع تصادفی	۲-۳-۶
۳۳۲	.....	تمرین‌های زیربخش ۲-۳-۶	◁
۳۳۳	.....	مرتب‌سازی هرمی	۳-۳-۶
۳۳۸	.....	تمرین‌های زیربخش ۳-۳-۶	◁
۳۳۹	.....	الگوریتم فورد-جانسون	۴-۶
۳۴۵	.....	تمرین‌های بخش ۴-۶	◁
۳۴۵	.....	میانها و مرتبه‌های آماری	۵-۶
۳۴۶	.....	کمینه و بیشینه	۱-۵-۶
۳۴۷	.....	یافتن هم‌زمان بیشینه و کمینه	۲-۵-۶
۳۴۹	.....	انتخاب در زمان میانگین خطی	۳-۵-۶
۳۵۲	.....	تمرین‌های زیربخش ۳-۵-۶	◁
۳۵۳	.....	انتخاب خطی در بدترین حالت	۴-۵-۶
۳۵۵	.....	تمرین‌های بخش ۵-۶	◁
۳۵۹	.....	مرتب‌سازی خارجی	۶-۶
۳۶۰	.....	مرتب‌سازی ادغامی خارجی	۱-۶-۶
۳۶۴	.....	مرتب‌سازی خارجی چندفازه	۲-۶-۶
۳۶۶	.....	تمرین‌های بخش ۶-۶	◁
۳۶۷	.....	تمرین‌های فصل ۶	◇
۳۷۴	.....	پروژه‌های برنامه‌نویسی فصل ۶	◇
۳۷۹	.....	داده‌ساختارهای پیشرفته	۷
۳۸۰	.....	مجموعه‌های مجزا	۱-۷

۳۸۲	۱-۱-۷	داده‌ساختار مبتنی بر لیست
۳۸۶	۲-۱-۷	داده‌ساختار مبتنی بر درخت
۳۸۹	۳-۱-۷	پیاده‌سازی با «فشرده‌سازی مسیر»
۳۹۱	تمرین‌های بخش ۱-۷	◁
۳۹۲	۲-۷	درخت دودویی جست‌وجوی بهینه
۳۹۶	۱-۲-۷	راه‌حل بازگشتی
۳۹۸	۲-۲-۷	راه‌حل پویا
۴۰۱	تمرین‌های بخش ۲-۷	◁
۴۰۲	۳-۷	درخت‌های دودویی جست‌وجو با ارتفاع لگاریتمی
۴۰۳	۱-۳-۷	درخت قرمز-سیاه
۴۱۷	تمرین‌های زیربخش ۱-۳-۷	◁
۴۲۰	۲-۳-۷	گسترش درخت قرمز-سیاه: درخت مرتبه‌ی آماری
۴۲۳	تمرین‌های زیربخش ۲-۳-۷	◁
۴۲۴	۳-۳-۷	گسترش درخت قرمز-سیاه: درخت بازه
۴۲۸	تمرین‌های زیربخش ۳-۳-۷	◁
۴۲۹	۴-۳-۷	درخت ای.وی.ال
۴۳۶	۴-۷	درخت ۲-۳
۴۴۱	۵-۷	درخت «بی»
۴۴۵	◊	تمرین‌های فصل ۷
۴۵۰	◊	پروژه‌های برنامه‌نویسی فصل ۷

۴۶۳

پیوست‌ها

۴۶۵

۱ نمونه‌ای از برنامه‌ی جاوا

۴۷۱	۲ نمادها و تابع‌های مهم
۴۷۹	۳ واژه‌نامه‌ی فارسی به انگلیسی
۴۸۹	۴ واژه‌نامه‌ی انگلیسی به فارسی
۴۹۹	کتاب‌نامه
۵۰۱	فهرست الفبایی

پیش گفتار مؤلف

در مورد داده ساختارها و طراحی الگوریتم‌ها کتاب‌های زیادی به زبان فارسی نوشته یا ترجمه شده است. اما اغلب این کتاب‌ها یا بیش‌تر به بیان مفاهیم داده ساختارها می‌پردازند یا تأکید خود را به طراحی الگوریتم‌ها معطوف می‌کنند. یکی از هدف‌های این کتاب، تلفیق این دو موضوع با هم در قالب یک کتاب پایه است. در این کتاب ضمن آن‌که می‌خواهیم شما را با اکثر مطالب داده ساختارهای کامپیوتر، در سطح پایه و پیش‌رفته آشنا کنیم، در همه‌ی مراحل نگاهی الگوریتمی به موضوعات مورد بحث داریم.

کار تهیه‌ی محتوای این کتاب را از سال ۱۳۷۴ و با تهیه‌ی جزوه‌هایی از مطالبی که در آن‌زمان تدریس می‌کردم آغاز نمودم. این مطالب را به تدریج با تدریس درس‌هایی در دانشکده‌ی مهندسی کامپیوتر دانشگاه صنعتی شریف، چون «روش‌های حل مسئله»، «ساختمان داده‌ها»، «ساختمان داده‌ها و الگوریتم‌ها»، «طراحی و تحلیل الگوریتم‌ها»، «مبانی علم کامپیوتر ۱ و ۲» تکمیل، و از آن‌ها دو جزوه‌ی درسی تهیه کردم.

حدود ۱۰ سال پیش تصمیم گرفتم این جزوه‌ها را که بی‌غلط هم نبودند، به دو کتاب تبدیل کنم، اما هرگز فکر نمی‌کردم که تهیه‌ی اولین کتاب از این مجموعه بیش از ۱۰ سال به طول انجامد. طی دو سال اخیر ساعت‌های بسیار زیادی بر روی این کتاب کار کرده‌ام و به مرور، این کتاب به عنوان یک محصول مهم از زندگی علمی‌ام درآمد و تکمیل آن به صورت یک کتاب درسی کامل و منسجم، شامل تمرین‌ها و پروژه‌های مناسب یکی از هدف‌هایم شد.

در تهیه‌ی مطالب این کتاب از بخش‌هایی از کتاب‌های [۱۱]، [۲]، [۱۳]، [۳] و [۴] (و ویرایش سال ۲۰۰۱ آن [۵] که به کتاب CLRS مشهور است) و چند کتاب دیگر مانند [۱]، [۹]، [۱۲] و [۱۴] که به ترتیب زمانی از سی سال پیش، به عنوان مراجع درس‌های خود به کار برده‌ام استفاده کرده‌ام. در این میان، از کتاب CLRS بیش‌تر استفاده شده است. مثلاً بخش‌هایی از فصل سوم (روش‌های تحلیل الگوریتم‌ها)، فصل پنجم (درهم‌سازی)، فصل ششم (مرتب‌سازی و مرتبه‌ی آماری) و بخش‌هایی از فصل هفتم (داده ساختارهای پیشرفته) برگرفته از مطالب این کتاب است.

نقش الهیاد کامپیوتر در تکمیل محتوای این کتاب انکارناپذیر است. ۱۸ سال خدمت در الهیاد کامپیوتر ایران و سروکار داشتن با دانش‌آموزان و دانش‌جویان خوش‌فکر و تیزهوشی که درگیر این الهیاد بودند، به من نکات بسیاری آموخته است. برخی از ایده‌های

نو در این کتاب و تعدادی از تمرین‌ها (اکثر تمرین‌های فصل ۲) و پروژه‌ها، حاصل این تعامل است. مثلاً، بخش‌هایی از فصل ۲، مبتنی بر کتاب [۱۸] است.

در این کتاب، برخی از تمرین‌ها که مشکل‌ترند با علامت ستاره (*) و آن‌هایی که بسیار مشکل هستند با علامت دو ستاره (**) مشخص شده‌اند.

من سال‌هاست که این کتاب را تقریباً به‌طور کامل، در درسی به‌همین نام تدریس می‌کنم. این اولین درسی است که دانش‌جویان رشته‌ی مهندسی کامپیوتر، پس از گذراندن دروس «مبانی کامپیوتر» و «ساختارهای گسسته» می‌گیرند و به‌طور جدی با این مفاهیم آشنا می‌شوند. این کتاب برای همه‌ی دانش‌جویان رشته‌های مهندسی و علوم کامپیوتر و همچنین، دانش‌آموزانی که خود را برای ورود به دوره‌های المپیاد کامپیوتر آماده می‌کنند، مناسب خواهد بود.

به‌زودی اسلایدهایی را که برای آن تهیه کرده‌ام در وبگاهی که به‌منظور پشتیبانی از کتاب توسط انتشارات فاطمی طراحی و راه‌اندازی خواهد شد در اختیار علاقه‌مندان قرار خواهم داد. از خوانندگان محترم تقاضا می‌کنم اشکال‌های احتمالی کتاب را از طریق همین وبگاه با من در میان بگذارند.

سپاس‌گزاری

در تهیه‌ی اولین نسخه‌ی جزوه‌ی درسی‌ام افراد بسیاری کمک کردند. برخی از آنان هم‌اکنون مدارج عالی را به‌اتمام رسانده و استاد دانشگاه یا پژوهشگر برجسته‌ای هستند و برای من افتخاری است که زمانی استاد آن‌ها بوده‌ام. این افراد، به‌ترتیب حروف الفبا عبارت‌اند از: مسعود اسدپور، سیدعلی اکرمی‌فر، اختای ایلغمی، جلال بنایی بروجنی، روزبه پورنادر، طلا تفضلی، آرش رجاییان، آرش رستگار، حبیب رستمی، ساسان دشتی‌نژاد، آزاده شاکری، افسانه فضلی، هشام فیلی، حجت قادری، محمدرضا قهرمانی، مسلم کاظمی، شهاب کمالی، سولماز کلاهی، ناصر عزتی، علی‌رضا ملک‌زاده، محمد مهدیان، مهران مهر، محمودرضا صانعی‌پور، محمدرضا صلواتی‌پور، ابوالفضل هادی اسفنگره، شیوا نجاتی و احسان نوربخش.

برخی دیگر نقش بیش‌تری داشتند: وهاب میررکنی، در رسم اولیه‌ی تعدادی از شکل‌ها و تهیه‌ی مطالب اولیه‌ی بخش ۳-۶؛ و سارا احمدیان، نیما پوردامغانی و هدا اکبری هم در تهیه و ترجمه‌ی برخی از تمرین‌ها و بخش‌هایی از کتاب مرا یاری دادند.

پروژه‌های فصل‌ها منتخبی از تمرین‌های برنامه‌نویسی است که در زمان تدریس این درس‌ها به دانش‌جویان واگذار کرده‌ام؛ کیان میرجلالی در زمانی که دستیار درس من بود

تعدادی از آن‌ها را تهیه کرد.

آتنا احمدی نیز در برگردان خودکار واژه‌نامه‌های پیوست کتاب مرا یاری داد. این کتاب بیش از ۷ بار ویرایش شد تا به شکل نهایی در آمد. محمد امین صادقی، ویراستار علمی کتاب، درستی الگوریتم‌ها و رویه‌ها را بررسی کرد و پیشنهادهای سودمندی داد. پیش از آن نیز، وحید لیاقت و مرجان قزوینی نژاد فصل‌هایی از کتاب را بازخوانی کرده بودند.

آقای فرید مصلحی، مدیر فنی تولید انتشارات فاطمی، نسخه‌های نهایی کتاب را چند بار بازبینی کرد و با تیزبینی خود نکته‌های مفید زیادی را متذکر شد. شکل نهایی کتاب مدیون دقت ایشان است.

از همه‌ی این عزیزان صمیمانه متشکرم.

کل این کتاب را خود تایپ و تماماً با استفاده از نرم‌افزار فارسی‌تک حروف‌چینی کرده‌ام، که کاری سنگین و همراه با صرف وقت زیاد بود. در این رابطه، بهداد اسفهدی در حل برخی مشکلات مرا یاری کرد. نرم‌افزار فارسی‌تک زیر نظر این‌جانب و به‌وسیله‌ی گروه پروژه‌ی فارسی‌تک تهیه شد و از سال ۱۳۷۵ به‌صورت رایگان در اختیار عموم قرار گرفته است. از اعضای این گروه نیز تشکر می‌نمایم.

شکل‌ها را با نرم‌افزار xfig در محیط cygwin خود رسم کرده‌ام. در انتها، آقای مصطفی نوری‌بایگی رنگ‌های شکل‌ها را متناسب با نظر ناشر اصلاح کرد.

بخشی از وقت خود را در زمانی که پژوهشگر مقیم در پژوهشکده‌ی علوم کامپیوتر پژوهشگاه دانش‌های بنیادی بودم و با کسب اجازه، صرف اتمام این کتاب کردم. از این پژوهشکده هم تشکر می‌کنم.

در انتها، از همسر مهربان و دختران عزیزم که با بردباری خود مرا در تهیه‌ی این کتاب حمایت کردند سپاس‌گزاری می‌کنم.

محمد قدسی،

دانشکده‌ی مهندسی کامپیوتر،

دانشگاه صنعتی شریف

sharif.edu/~ghodsi

شهریور ۱۳۸۸