

مقدمه‌ای بر سیستم‌های نهفته

با رویکرد سیستم‌های سایر - فیزیکی

و

نگاهی بر ملاحظات بی‌درنگ

ادوارد اشتردلی - سانجیت آرونکومار سه‌شیا

سید امیر اصغری

استادیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه خوارزمی

سپیده شریفانی

کارشناسی مهندسی کامپیوتر

نیاز دانش

سرشناسه	لی، ادوارد اشفورد : Lee, Edward Ashford
عنوان و نام پدیدآور	مقدمه‌ای بر سیستم‌های نهفته: با رویکرد سیستم‌های سایبر- فیزیکی و نگاهی بر ملاحظات بی‌درنگ/ ادوارد اشفورد لی، سانجیت آرونکومار سه‌شیا؛ مترجمین سیدامیر اصغری، سپیده شریفانی.
مشخصات نشر	تهران: نیاز دانش، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	۵۲۰ ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	978-600-7724-66-8
وضعیت فهرست‌نویسی	فیفا
یادداشت	عنوان اصلی: Introduction to embedded systems a cyber physical systems approach, 2011.
موضوع	سیستم‌های کامپیوتری درون‌های : Embedded computer systems
شنا افزوده	سه‌شیا، سانجیت آرونکومار، ۱۹۶۸ - م. Seshia, Sanjit Arunkumar
شماره افزوده	شریفانی، سپیده، ۱۳۶۳ - مترجم
شنا افزوده	اصغری، سیدامیر، ۱۳۶۳ - مترجم
رده‌بندی کنگره	۱۳۹۵ ۹ل۹/س/TK۷۸۹۵
رده‌بندی دی	۰۰۴/۶۵
شماره کتاب‌نویسی	۴۲۹۲۰۴۳



نام کتاب	مقدمه‌ای بر سیستم‌های نهفته
نویسندگان	با رویکرد سیستم‌های سایبر- فیزیکی و نگاهی بر ملاحظات بی‌درنگ
مترجمین	ادوارد اشفورد لی، سانجیت آرونکومار سه‌شیا
مدیر اجرایی - ناظر بر چاپ	سید امیر اصغری - سپیده شریفانی
ناشر	حمیدرضا محمد شیراز - محمد شمس
صفحه‌آرا	نیاز دانش
نوبت چاپ	واحد تولید انتشارات نیازدانش
شمارگان	دوم - ۱۳۹۸
قیمت	۱۰۰ نسخه
	۶۵۰۰۰۰ ریال

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۷۷۲۴-۶۶-۸	ISBN: 978-600-7724-66-8
-------------------------	-------------------------

هرگونه چاپ و تکثیر (اعم از زیراکس، بازنویسی، ضبط کامپیوتری و تهیه‌ی CD) از محتویات این اثر بدون اجازه‌ی کتبی ناشر ممنوع است. منخلفان به موجب بند ۵ از ماده‌ی ۲ قانون حمایت از مؤلفان، مصنفان و هنرمندان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند. کلیه حقوق این اثر برای ناشر محفوظ است.

آدرس انتشارات: تهران، میدان انقلاب، خیابان ۱۲ فروردین، تقاطع وحید نظری، پلاک ۲۵۵، طبقه ۱، واحد ۲
 ۰۲۱-۶۶۴۷۸۱۰۶-۶۶۴۷۸۱۰۸-۰۹۱۲۷۰۷۳۹۳۵

www.Niyez-Danesh.com

مشاوره جهت نشر: ۰۹۱۲ - ۲۱۰۶۷۰۹

مقدمه مترجمین

کتاب "مقدمه‌ای بر سیستم‌های نهفته، با رویکرد سیستم‌های سایر فیزیکی و نگاهی بر ملاحظات بی‌درنگ" کتابی است که بر روی دو مفهوم کلیدی تمرکز می‌کند: سیستم‌های نهفته و دیگری سیستم‌های بی‌درنگ که در غالب کاربردها، این دو سیستم بصورت تلفیقی و تحت عنوان سیستم‌های بی‌درنگ نهفته مورد استفاده قرار می‌گیرند.

یک سیستم نهفته، یک سیستم کامپیوتری با یک هدف و کاربرد مشخص در یک سیستم مکانیکی و یا الکتریکی است که معمولاً دارای ملاحظات بی‌درنگ است، از آن جهت به این سیستم‌ها، سیستم‌های نهفته گفته می‌شود که بخشی از یک سیستم کامل سخت‌افزاری و یا مکانیکی هستند. سیستم‌های نهفته، بسیاری از سیستم‌هایی که روزانه مورد استفاده قرار می‌گیرند را کنترل می‌کنند و غالب میکروکنترلرهایی که ساخته می‌شوند، بخشی از یک سیستم نهفته هستند، بخشی از مشخصه‌های مشترک سیستم‌های نهفته، هنگامی که آنها را با سیستم‌های همه-منظوره مقایسه می‌کنیم، عبارتند از: توان مصرفی کم، سایز کوچک، رنج‌های عملیات محدود و مشخص و هزینه ساخت اندک.

مفهوم مهم دیگری که در این کتاب مورد بررسی قرار می‌گیرد، سیستم بی‌درنگ است. در علم کامپیوتر، محاسبات بی‌درنگ (RTCC: Real-Time Computing) و یا محاسبات واکنشی (Reactive Computing)، سیستم‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری را توصیف می‌کند که ملاحظات بی‌درنگ در آنها وجود دارد. این سیستم‌ها بایستی این تضمین را ارائه کنند که خروجی صحیح سیستم در یک بازه مشخصی حتماً تولید شود؛ چرا که تولید این خروجی در خارج از این بازه، حتی اگر صحیح نیز باشد، مطلوب نخواهد بود. این آستانه‌های زمانی، سرحد زمان (Deadline) نامیده می‌شوند. پاسخ‌های سیستم‌های بی‌درنگ به رویدادها معمولاً از مرتبه میلی‌ثانیه و میکروثانیه هستند. یک سیستم نهفته را معمولاً تحت این تعریف نیز می‌شناسند: "سیستمی که محیط را از طریق دریافت داده‌ها، پردازش آنها و سپس برگرداندن سریع تاثیر پردازش این داده‌ها به محیط، کنترل می‌کند."

مفهوم سیستم بی‌درنگ نهفته، یک مفهوم علمی تجمعی است که علوم متفاوتی را الزاماً در برمی‌گیرد. به همین دلیل، این کتاب می‌تواند مرجع مناسبی برای دانشجویان رشته‌های مهندسی کامپیوتر، مهندسی برق، مهندسی مکانیک، مهندسی هوا و فضا، مهندسی مکترونیک و مهندسی پزشکی باشد.

این کتاب مشتمل بر ۱۶ فصل و ۲ پیوست است که از میان فصل‌های کتاب، یک فصل از کتاب طراحی سیستم‌های نهفته پتر مارودل (Peter/ Marudel) نیز به کتاب اصلی برای تکمیل مباحث افزوده شده است.

از آنجا که ترجمه، نسبتاً امری سلیقه‌ای است، در صورتی که تصور می‌رود، مفهوم بخوبی انتقال داده نشده و از شیوایی لازم برخوردار نیست، بسیار خوشحال و سپاسگزار خواهیم شد که نظرات سازنده خود را جهت تصحیح و تکمیل کتاب پیش‌رو به آدرس پست الکترونیکی زیر بفرستید:

asghari@khu.ac.ir

سید امیر اصغری

استادیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه خوارزمی

www.ketab.ir

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

فصل ۱

مقدمه

۱-۱ کاربردها

بحث جانبی: در مورد مهم سیستم‌های سایبرفیزیکی

۲-۱ یک نمونه برجسب

۳-۱ فرآیند طراحی

۱-۳-۱ مدل‌سازی

۲-۳-۱ طراحی

۳-۳-۱ آنالیز

۴-۱ خلاصه

بخش اول / مدل‌سازی رفتارهای دینامیک

فصل ۲

دینامیک‌های پیوسته

۱-۲ مکانیک‌های نیوتنی

۲-۲ مدل‌های اکتور

۳-۲ مشخصه‌های سیستم

۱-۳-۲ سیستم‌های علی

۲-۳-۲ سیستم‌های بدون حافظه

۳-۳-۲ خطی بودن و تغییرناپذیری با زمان

۴-۳-۲ پایداری

۴-۲ کنترل بازخوردی

۵-۲ خلاصه

تمرین‌ها

فصل ۳ دینامیک‌های گسسته

- ۵۳ ۱-۳ سیستم‌های گسسته
- ۵۳ بحث جانبی: بیشتر بدانید: سیگنال‌های گسسته
- ۵۵ بحث جانبی: بیشتر بدانید: مدل‌سازی اکورها به عنوان توابع
- ۵۶ ۲-۳ نماد یا نشانه‌گذاری حالت
- ۵۷ ۳-۳ ماشین‌های حالت محدود
- ۵۸ ۱-۳-۳ گذرها
- ۵۹ ۲-۳-۳ هنگامی که یک ماشین حالت عکس‌العمل نشان می‌دهد، هیچ چیزی در تعریف حالت آن در نظر گرفته نمی‌شود.
- ۶۲ بحث جانبی: بیشتر بدانید: هیستریس
- ۶۲ ۳-۳-۳ توابع به روزرسانی
- ۶۴ بحث جانبی: ابرر نیز می‌تواند از FSM پشتیبانی می‌کند
- ۶۵ ۴-۳-۳ قطعیت و پایداری
- ۶۷ ۴-۳ ماشین‌های حالت توسعه داده شده
- ۶۷ بحث جانبی: ماشین‌های مور و میل
- ۶۸ ۵-۳ عدم قطعیت
- ۷۲ ۱-۵-۳ مدل فرمال
- ۷۴ ۲-۵-۳ کاربردهای عدم قطعیت
- ۷۵ ۶-۳ رفتارها و ردها
- ۷۶ ۷-۳ خلاصه
- ۷۸ تمرین‌ها
- ۸۰

فصل ۴ سیستم‌های هیبریدی

- ۸۵ ۱-۴ مدل‌های مودال
- ۸۵ ۱-۱-۴ مدل اکور برای ماشین‌های حالت
- ۸۵ ۲-۱-۴ ورودی‌های پیوسته
- ۸۶ ۳-۱-۴ پالایش حالت
- ۸۷ ۲-۴ کلاس‌های سیستم‌های هیبریدی
- ۸۹ ۱-۲-۴ اتوماتای زمان‌بندی شده
- ۸۹ ۲-۲-۴ دینامیک‌های مرتبه بالاتر
- ۹۳

۹۸	۴-۲-۳ کنترل نظارتی
۱۰۳	۴-۲-۳ خلاصه
۱۰۵	تمرین‌ها

۱۱۱	فصل ۵ ترکیب ماشین‌های حالت
۱۱۲	۵-۱ ترکیب همروند
۱۱۳	۵-۱-۱ ترکیب همگام پهلوی به پهلوی
۱۱۵	۵-۱-۲ ترکیب ناهمگام پهلوی به پهلوی
۱۱۷	بحث جانبی: زمان بندی معنی‌ها برای ترکیب ناهمگام
۱۱۷	۵-۱-۳ متغیرهای اسرائیکی
۱۲۰	۵-۱-۴ ترکیب ترتیبی
۱۲۳	۵-۱-۵ ترکیب کلی
۱۲۴	۵-۲ ماشین‌های حالت ساده
۱۲۸	۵-۳ خلاصه
۱۲۹	تمرین‌ها

۱۳۱	فصل ۶ مدل‌های همروند محاسباتی
۱۳۲	۶-۱ ساختار مدل‌ها
۱۳۴	۶-۲ مدل‌های همگام-واکنشی
۱۳۴	بحث جانبی: شبکه‌های اک تور به عنوان سیستمی از روابط
۱۳۵	بحث جانبی: معنی‌های نقطه ثابت
۱۳۶	۶-۱-۱ مدل‌های بازخورد
۱۳۸	۶-۲-۱ مدل‌های خوش‌فرم و بد فرم
۱۳۹	۶-۲-۳ ایجاد یک نقطه ثابت
۱۴۱	۶-۳ مدل‌های محاسباتی جریان داده
۱۴۱	۶-۳-۱ اصول جریان داده
۱۴۲	بحث جانبی: زبان‌های همگام-واکنشی
۱۴۵	۶-۳-۲ جریان داده همگام
۱۴۹	۶-۳-۳ جریان داده پویا
۱۵۱	۶-۳-۴ جریان داده ساختاریافته

۱۵۲	۵-۳-۶ شبکه‌های پردازش
۱۵۴	۴-۶ مدل‌های محاسباتی زمان‌بندی شده
۱۵۴	بحث جانبی: شبکه‌های پتری
۱۵۶	بحث جانبی: مدل‌های زمانی
۱۵۷	۱-۴-۶ مدل‌های تحریک‌شده زمانی
۱۵۸	۲-۴-۶ سیستم‌های رویداد گسسته
۱۵۹	۳-۴-۶ سیستم‌های زمان پیوسته
۱۶۲	۵-۶ خلاصه
۱۶۳	تمرین‌ها

بخش دوم: طراحی سیستم‌های نهفته

۱۶۹	فصل ۷ پردازنده‌های نهفته
۱۷۰	۱-۷ انواع پردازنده‌ها
۱۷۰	۱-۱-۷ میکروکنترلرها
۱۷۱	۲-۱-۷ پردازنده‌های DSP
۱۷۲	بحث جانبی: میکروکنترلرها
۱۷۳	بحث جانبی: پردازنده‌های DSP
۱۷۶	۳-۱-۷ پردازنده‌های گرافیکی
۱۷۷	۲-۷ موازی‌سازی
۱۷۷	بحث جانبی: بافرهای چرخشی
۱۷۸	۱-۲-۷ موازی‌سازی در برابر همروندی
۱۸۰	۲-۲-۷ ایجاد خط‌لوله
۱۸۴	۳-۲-۷ موازی‌سازی سطح دستورالعمل
۱۸۹	۴-۲-۷ معماری‌های چند هسته‌ای
۱۹۰	بحث جانبی: اعداد نقطه ثابت
۱۹۲	بحث جانبی: محاسبات نقطه ثابت در برنامه‌نویسی C
۱۹۳	۳-۷ خلاصه
۱۹۴	تمرین‌ها

۱۹۵	فصل ۸ معماری‌های حافظه
۱۹۶	۸-۱ تکنولوژی‌های حافظه
۱۹۶	۸-۱-۱ حافظه RAM
۱۹۷	۸-۱-۲ حافظه غیرفرار
۱۹۹	۸-۲ سلسله‌مراتب حافظه
۱۹۹	۸-۲-۱ نگاشت‌های حافظه
۲۰۱	بحث جانبی: معماری هاروارد
۲۰۲	۸-۲-۲ فایل‌های رجیستر
۲۰۲	۸-۲-۳ حافظه‌های حرکت‌نویس و نهان
۲۰۸	۸-۳ مدل‌های حافظه
۲۰۸	۸-۳-۱ آدرس‌های حافظه
۲۰۹	۸-۳-۲ پشته‌ها
۲۱۰	۸-۳-۳ واحدهای حفاظت از حافظه
۲۱۰	۸-۳-۴ تخصیص حافظه پویا
۲۱۲	۸-۳-۵ مدل حافظه زبان C
۲۱۳	۸-۴ خلاصه
۲۱۴	تمرین‌ها

۲۱۷	فصل ۹ ورودی و خروجی
۲۱۸	۹-۱ سخت‌افزار ورودی-خروجی
۲۱۸	۹-۱-۱ مدولاسیون پهنای پالس
۲۲۰	۹-۱-۲ ورودی-خروجی دیجیتال همه-منظوره
۲۲۲	۹-۱-۳ واسطه‌های سریال
۲۲۷	۹-۱-۴ واسطه‌های موازی
۲۲۸	۹-۱-۵ گذرگاه‌ها
۲۲۹	۹-۲ نرم‌افزار ترتیبی در دنیای ارتباطات همروند
۲۳۰	۹-۲-۱ وقفه‌ها و استثناء‌ها
۲۳۲	۹-۲-۲ اتمیک بودن
۲۳۳	بحث جانبی: میانی: تایمرها
۲۳۴	۹-۲-۳ کنترلرهای وقفه

۲۳۵	۴-۲-۹ مدل سازی وقفه ها
۲۳۹	۳-۹ واسط آنالوگ / دیجیتال
۲۳۹	۱-۳-۹ تبدیلات دیجیتال به آنالوگ و آنالوگ به دیجیتال
۲۴۱	۲-۳-۹ مشروط سازی سیگنال
۲۴۴	۳-۳-۹ نمونه برداری و بدنامی
۲۴۶	بحث جانبی: بیشتر بدانید: قطارهای ضربه ای
۲۴۷	۴-۹ خلاصه
۲۴۸	تمرین ها

فصل ۱۰ چند وظیفه ای

۲۵۵	۱-۱۰ برنامه های دستوری
۲۵۷	بحث جانبی: لیست های پیوندی در زبان C
۲۶۰	۲-۱۰ رشته نخ ها
۲۶۱	۱-۲-۱۰ ایجاد رشته نخ ها
۲۶۱	۲-۲-۱۰ پیاده سازی رشته نخ ها
۲۶۳	۳-۲-۱۰ انحصار متقابل
۲۶۵	۴-۲-۱۰ بن بست
۲۶۸	بحث جانبی: سیستم عامل ها
۲۶۸	۵-۲-۱۰ مدل های سازگاری حافظه
۲۷۰	۶-۲-۱۰ مشکلات رشته نخ ها
۲۷۱	۳-۱۰ فرایندها و پاس دهی پیام
۲۷۳	۴-۱۰ خلاصه
۲۷۹	تمرین ها
۲۸۰	

فصل ۱۱ زمان بندی

۲۸۳	۱-۱۱ مبانی زمان بندی
۲۸۴	۱-۱-۱۱ تصمیمات زمان بندی
۲۸۶	۲-۱-۱۱ مدل های وظیفه
۴۸۸	۳-۱-۱۱ مقایسه زمان بندها
۲۸۹	۴-۱-۱۱ پیاده سازی یک زمان بند

۲۹۱	۱۱-۲ زمان بندی نرخ یکپناخت
۲۹۲	۱۱-۳ زمان بندی در ابتدا اولین سرحد زمانی
۲۹۷	۱۱-۳-۱ EDF همراه با حق تقدم ها
۲۹۹	۱۱-۴ زمان بندی و انحصار متقابل
۲۹۹	۱۱-۴-۱ وارونگی اولویت
۳۰۱	۱۱-۴-۲ پروتکل وراثت اولویت
۳۰۱	۱۱-۴-۳ پروتکل سقف اولویت
۳۰۴	۱۱-۵ زمان بندی سیستم های چندپردازنده
۳۰۵	۱۱-۵-۱ ناهنجاری های زمان بندی
۳۰۸	۱۱-۶ خلاصه
۳۰۸	بحث جانبی: منابع بیشتر
۳۱۰	تمرین ها

فصل ۱۲ سیستم عامل ها و میان افزارها

۳۱۳	۱۲-۱ پیش بینی زمان های اجرا
۳۱۴	۱۲-۲ سیستم عامل های نهفته
۳۱۵	۱۲-۲-۱ نیازمندی های کلی
۳۱۶	۱۲-۲-۲ سیستم عامل های بی درنگ
۳۱۹	۱۲-۳ میان افزار
۳۲۰	۱۲-۳-۱ پایگاه های داده بی درنگ
۳۲۰	۱۲-۴ پیاده سازی سیستم های نهفته: هم طراحی سخت افزار خنرم افزار
۳۲۳	۱۲-۴-۱ مدیریت همروندی سطح وظیفه
۳۲۷	۱۲-۴-۲ بهینه سازی های سطح بالا
۳۲۷	۱۲-۴-۲-۱ تبدیل نقطه شناور به نقطه ثابت
۳۲۸	۱۲-۴-۲-۲ تبدیلات حلقه ساده
۳۳۰	۱۲-۵ پارتیشن بندی سخت افزار خنرم افزار
۳۳۱	۱۲-۵-۱ COOL
۳۴۱	۱۲-۶ کامپایلرهای سیستم های نهفته
۳۴۲	۱۲-۶-۱ کامپایلر آگاه به انرژی
۳۴۵	۱۲-۶-۲ کامپایلر پردازنده هایی با سیگنال دیجیتال
۳۴۷	۱۲-۶-۳ عملیات کامپایلر در پردازنده های چندرسانه ای

۳۴۸	۴-۶-۱۲ عملیات کامپایل در پردازنده‌های VLIW
۳۴۹	۵-۶-۱۲ عملیات کامپایل در پردازنده‌های شبکه
۳۴۹	۶-۶-۱۲ نسل کامپایلر، کامپایلرهای هدفیات و کشف فضای طراحی
۳۵۰	۷-۱۲ مقیاس‌بندی ولتاژ و مدیریت توان
۳۵۰	۱-۷-۱۲ مقیاس‌بندی پویای ولتاژ
۳۵۴	۲-۷-۱۲ مدیریت پویای توان (DPM)
۳۵۴	۸-۱۲ جریان‌ها و ابزارهای طراحی واقعی
۳۵۴	۱-۸-۱۲ روش SpecC
۳۵۵	۲-۸-۱۲ جریان ابزار IMEC
۳۵۸	۳-۸-۱۲ جریان طراحی COSYMA
۳۶۰	۴-۸-۱۲ جریان II
۳۶۱	۵-۸-۱۲ جریان طراحی OCTOPUS

بخش سوم / آنالیز و صحت‌سنجی

۳۶۵	فصل ۱۳ نامتغیرها و منطق زمانی
۳۶۶	۱-۱۳ نامتغیرها
۳۶۸	۲-۱۳ منطق زمانی خطی
۳۶۹	۱-۲-۱۳ فرمول‌های منطق گزاره‌ای
۳۷۰	۲-۲-۱۳ فرمول‌های LTL
۳۷۳	بحث جانبی: بیشتر بدانید: منطق‌های زمانی جایگزین
۳۷۴	۳-۲-۱۳ استفاده از فرمول‌های LTL
۳۷۶	۳-۱۳ خلاصه
۳۷۶	بحث جانبی: ویژگی‌های ایمنی و ویژگی‌های عملیاتی
۳۷۸	تمرین‌ها

فصل ۱۴ هم‌ارزی و پالایش

۳۸۱	۱-۱۴ مدل‌ها به عنوان مشخصه
۳۸۲	بحث جانبی: انتزاع و پالایش
۳۸۳	۲-۱۴ پالایش و هم‌ارزی نوع

۳۸۶	۳-۱۴ هم‌ارزی زبان و محصورسازی آن
۳۸۹	بحث جانبی: دنباله‌های محدود یا متناهی و حالت‌های پذیرش
۳۹۰	بحث جانبی: زبان‌های منظم و عبارات منظم
۳۹۱	۴-۱۴ شبیه‌سازی
۳۹۱	بحث جانبی: بیشتر بدانید: زبان‌های منظم امگا
۳۹۳	۴-۱۴ روابط شبیه‌سازی
۳۹۵	۴-۱۴ مدل فرمال
۳۹۶	۴-۱۴ انتقال‌پذیری
۳۹۷	۴-۱۴ عدم منحصر به فردی روابط شبیه‌سازی
۳۹۸	۴-۱۴ شبیه‌سازی در مقایسه با محصورسازی زبان
۳۹۹	۵-۱۴ شبیه‌سازی دنبانه
۴۰۱	۶-۱۴ خلاصه
۴۰۲	تمرین‌ها

۴۰۷	فصل ۱۵ آنالیز دسترس‌پذیری و واریسی مدل
۴۰۸	۱-۱۵ سیستم‌های باز و بسته
۴۰۹	۲-۱۵ آنالیز دسترس‌پذیری
۴۰۹	۱-۲-۱۵ صحت‌سنجی Gp
۴۱۲	۲-۲-۱۵ واریسی مدل حالت-صریح
۴۱۳	۳-۲-۱۵ واریسی مدل نمادین
۴۱۶	۳-۱۵ انتزاع در واریسی مدل
۴۱۹	۴-۱۵ ویژگی‌های عملیاتی واریسی مدل
۴۲۰	۱-۴-۱۵ ویژگی‌ها به عنوان اتوماتا
۴۲۲	۲-۴-۱۵ یافتن چرخه‌های پذیرش
۴۲۵	۵-۱۵ خلاصه
۴۲۵	بحث جانبی: بیشتر بدانید: واریسی مدل در واقعیت
۴۲۷	تمرین‌ها

۴۲۹	فصل ۱۶ آنالیز کمی
۴۳۰	۱-۱۶ مسائل قابل توجه

۴۳۰	۱-۱-۱۶ آنالیز حالت-حدی
۴۳۱	۲-۱-۱۶ آنالیز آستانه
۴۳۲	۳-۱-۱۶ آنالیز حالت-متوسط
۴۳۲	۲-۱۶ برنامه‌ها به عنوان گراف
۴۳۳	۱-۲-۱۶ بلوک‌های پایه‌ای
۴۳۳	۲-۲-۱۶ گراف‌های کنترل جریان
۴۳۴	۳-۲-۱۶ فراخوانی‌های تابع
۴۳۶	۳-۱۶ فاکتورهای تعیین‌کننده زمان اجرا
۴۳۶	۱-۳-۱۶ محدودیت‌های حلقه
۴۳۹	۲-۳-۱۶ فضای مسیر نمایی
۴۳۹	۳-۳-۱۶ امکان‌پذیری مسیر
۴۴۱	۴-۳-۱۶ سلسله‌مراتب حافظه
۴۴۲	۴-۱۶ مبنای آنالیز زمان اجرا
۴۴۲	۱-۴-۱۶ فرمول‌بندی بهینه‌سازی
۴۴۵	۲-۴-۱۶ محدودیت‌های جریان مطلق
۴۴۸	۳-۴-۱۶ محدودیت‌هایی برای بلوک‌های پایه‌ای
۴۵۱	۵-۱۶ برخی از مسائل آنالیز کمی دیگر
۴۵۱	۱-۵-۱۶ آنالیز محدودیت حافظه
۴۵۱	بحث جانبی: ابزارهایی برای آنالیز زمان اجرا
۴۵۳	۲-۵-۱۶ آنالیز توان و انرژی
۴۵۳	۶-۱۶ خلاصه
۴۵۴	تمرین‌ها

بخش چهارم / پیوستها

۴۵۹	پیوست الف / مجموعه‌ها و توابع
۴۵۹	الف-۱ مجموعه‌ها
۴۶۰	الف-۲ روابط و توابع
۴۶۴	الف-۲-۱ محدودیت و تصویرسازی
۴۶۵	الف-۳ دنباله‌ها
۴۶۵	بحث جانبی: مفهوم نمایی برای مجموعه‌های توابع
۴۶۷	تمرین‌ها

۴۶۸	پیوست ب پیچیدگی و محاسبه پذیری
۴۶۹	ب-۱ اثربخشی و پیچیدگی الگوریتم‌ها
۴۷۰	ب-۱-۱ نماد O بزرگ
۴۷۲	ب-۲ مسائل، الگوریتم‌ها و برنامه‌ها
۴۷۳	ب-۲-۱ محدودیت‌های اساسی برنامه‌ها
۴۷۴	ب-۳ ماشین‌های تورینگ و تصمیم‌ناپذیری
۴۷۶	ب-۳-۱ ساختار یک ماشین تورینگ
۴۷۸	ب-۳-۲ مسائل تصمیم‌پذیر و تصمیم‌ناپذیر
۴۷۹	بحث جانبی: بیش از حدانندگی توابع و مجموعه‌های بازگشتی
۴۸۱	ب-۴ مسائل خواننده و NP
۴۸۴	ب-۵ خلاصه
۴۸۵	تمرین‌ها
۴۸۷	شاخص نمادگذاری
۴۸۹	مراجع
۵۰۱	واژه‌نامه فارسی به انگلیسی
۵۱۱	واژه‌نامه انگلیسی به فارسی