

# مقدمه ای بر اتوماسیون و کنترل فرآیندهای صنعتی:

با معرفی کامل PLC زیمنس سری S7



تألیف:

دکتر حمید رضا تقی راد

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم به دانش پژوهان و دانشجویان  
منتظر حقیقی حضرت صاحب الامر<sup>(عج)</sup>

که با تلاش مجدانه خود زمینه ظهور آن حضرت  
را فراهم می آورند.

## پیشگفتار

با گسترش روز افزون صنایع اتوماتیک تولیدی و فرآیندهای پیشرفته صنعتی در کشور، ضرورت آشنائی دانش پژوهان و متخصصین صنایع با روشهای اتوماسیون و شناسائی و کنترل فرآیندهای صنعتی بیش از پیش مشهود می باشد. با توجه به ماهیت چند رشته ای این زمینه تخصصی و نبود مرجع واحد مهندسی به زبان فارسی، مقدمه ای بر این موضوع از ترجمه و تلخیص مراجع مرتبط و تالیف سایر بخشهای مورد نیاز، به رشته تحریر در آمده است. موضوع این نگارش طی چند سال به صورت درس "کنترل صنعتی" در دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی به همراه آزمایشگاه ارائه شده است و حجم فصول متناسب با نیاز برآزش گردیده اند. پس از چاپ اول این کتاب در سال ۱۳۸۱ و تدریس آن در دانشگاههای مختلف کشور، پیشنهادات ارزنده ای برای تصحیح و تکمیل آن از طرف اساتید گرامی و دانشجویان محترم به مؤلف رسیده است، که در این نسخه سعی شده است تا حد امکان مورد استفاده قرار گیرد.

آنچه در این کتاب فراهم آمده است از دو بخش اصلی تشکیل شده است. در فصول اول تا ششم، سیستمهای نیوماتیک، کنترل کننده های منطقی برنامه پذیر PLC و سخت افزار و نرم افزار مرتبط با PLC زیمنس S7 که به صورت متداول مورد استفاده در سیستمهای اتوماسیون صنعتی در کشور می باشند، تشریح می گردند. در فصل اول اجزاء سیستمهای نیوماتیکی معرفی گردیده و روشهای مختلف طراحی به منظور استفاده از این مجموعه ها در سیستمهای اتوماسیون صنعتی تدوین گردیده اند. در فصل دوم پس از اشاره به اصول کلی و سخت افزار PLC، روشهای عمومی برنامه نویسی آنها توضیح داده شده است. با ارائه مثالهای کاربردی متعدد، سعی شده است این مبانی برای مهندس طراح سیستمهای اتوماسیون به صورت کامل تشریح گردد. در پایان فصل نیز به اصول کلی برنامه نویسی PLC های متداول در صنایع کشور توسط زبان برنامه نویسی STEP7 توضیح داده شده است.

در اینجا بر خود واجب می دانم از کلیه کسانی که در این امر یاری نموده اند به خصوص جناب آقای مهندس پیمان شیخ الاسلامی و سرکار خانم مهندس سوده بهنام که در تهیه و تدوین فصول مرتبط با PLC زیمنس سری S7 زحمات فرارانی را متحمل شده اند تشکر و قدردانی نمایم. در فصل سوم و در بخش معرفی سخت افزار، PLC زیمنس سری S7 نخست به معرفی ساختار پایه این PLC ها که شامل ماژولهای واسطه، ماژولهای منبع تغذیه و CPU می باشد پرداخته شده است و این فصل با معرفی انواع ماژولهای I/O تکمیل شده است. در فصل چهارم شبکه های صنعتی مورد استفاده در این نوع PLC ها معرفی شده و در پایان انواع ماژولهای تابع و سیستمهای مقاوم در برابر

خطا که دارای خاصیت افزونگی می باشند، معرفی شده‌اند. در فصل پنجم و در مقدمه بخش نرم‌افزار مرتبط با این نوع PLC، ابتدا ساختار برنامه نویسی در یک کنترل کننده منطقی معرفی شده است و سپس به معرفی یکی از زبان برنامه نویسی STL پرداخته شده است. این فصل با ارائه دو پیوست و با پرداختن به اصول کار با محیط نرم‌افزاری Simatic Manager، به عنوان محیط برنامه نویسی و پیکربندی سخت‌افزار این PLC ها تکمیل شده است. در پیوست دوم زبانهای برنامه نویسی LAD و FBD نیز به صورت مقایسه ای آورده شده‌اند.

در سه فصل پایانی توجه خود را به مدلسازی، شناسائی و کنترل فرآیندهای صنعتی بوسیله کنترل کننده های PID جلب می کنیم. مدلسازی فرآیندهای صنعتی کلید اصلی شناخت این سیستمها و طراحی کنترل کننده مناسب برای آن می باشد. این مدلسازی یا با استفاده از اصول مهندسی در زمینه های مختلف انجام گردیده و یا با آزمایش و شناسائی صورت می پذیرد. در فصل هفتم روشهای مدلسازی فرآیندهای متنوع صنعتی از جمله سیستمهای مکانیکی، الکترو - مکانیکی، هیدرولیکی و حرارتی را با استفاده از اصول و مبانی دینامیک جامدات و سیالات، الکترونیک، ترمودینامیک و انتقال حرارت بیان گشته و مدلهای این سیستمها به فرم نهائی جهت طراحی کنترل کننده مناسب تعبیر می گردند. با مقایسه مدل این سیستمهای متنوع مشاهده می شود که علیرغم اصول بکار گرفته شده مختلف، کلیه مدلها به فرم سیستمهای رسته یک یا دو با تأخیر قابل نمایش می باشند. این مشاهده طراح را به صورت منطقی به این جهت سوق می دهد که از این مدلها به فرم مدل تیپ استفاده نموده و با استفاده از آزمایش پارامترهای آن را برای هر فرآیند شناسائی نماید. روشهای شناسائی زمانی و فرکانسی با استفاده از این ایده کلی در فصل هشتم تشریح گردیده اند. این روشها عموماً برای طراحی کنترل کننده های PID مناسب می باشند. علاوه بر آن با معرفی دو پارامتر بی بعد به صورت کمی سیستمها را دسته بندی نموده و سهولت طراحی و پیاده سازی کنترل کنند های مناسب را طبقه بندی می نمائیم. در انتهای این فصل روشهای پارامتریک شناسائی سیستمها را که در آنها از تکنیکهای مدرن و دیجیتال استفاده شده اند معرفی می گردند.

در فصل پایانی کتاب نیز معرفی دقیقی از کنترل کننده های PID صورت می پذیرد. پس از ارائه اصول طراحی کنترل کننده های PID روشهای پیاده سازی این کنترل کننده در صنعت به صورت الکتریکی، الکترونیکی، نیوماتیکی و دیجیتالی معرفی می گردند. سپس به روشهای تنظیم این کنترل کننده بر اساس متدهای شناسائی ارائه شده در فصل چهارم پرداخته، و روشهای مختلف طراحی و تنظیم را با یکدیگر مقایسه می نمائیم. در انتهای این فصل نیز با معرفی مشکلات عملی پیاده سازی کنترل کننده های انتگرال گیر روشهای رفع آن ارائه گردیده و همچنین روشهای طراحی کنترل کننده PID برای سیستمهای با تأخیر معرفی خواهند شد.

با توجه به ساختار تدوین شده در این کتاب سعی شده است توجه دو طیف از مخاطبین را به استفاده از این کتاب جلب نماییم. فصول اول، دوم و سه فصل پایانی این کتاب به صورت کاملاً مستقل می تواند به عنوان مرجع مناسبی برای درس کنترل صنعتی در دوره کارشناسی مهندسی برق و مکترونیک مورد استفاده قرار گیرد. مفاد این فصول متناسب با ایت امر و با ارائه این درس در سالهای اخیر در دانشگاههای صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، امیر کبیر و صنعتی شریف مورد برآزش و تکمیل قرار گرفته است. مسلماً استفاده از این کتاب نیاز به کتب مرجعی را که در بخش مراجع هر فصل معرفی شده اند مرتفع نساخته و این کتاب به عنوان راهنمایی به مدرسین محترم و دانشجویان گرامی پیشنهاد می شود.

از طرف دیگر مخاطب دیگر این کتاب کارشناسان محترمی می باشند که در صنایع اتوماسیون کشور مشغولیت می باشند. امروزه هیچ کارخانه یا خط تولیدی وجود ندارد که در بخشهای مختلف آن به نوعی از اتوماسیون صنعتی استفاده نشده باشد و PLC ها به عنوان یک کنترل کننده برنامه پذیر و ماژولار در سیستمهای اتوماسیون صنعتی، نقش مهمی را ایفا می کنند. یکی از متداول ترین PLC های مورد استفاده در بخش وسیعی از صنایع اتوماسیون کشور محصولات شرکت زیمنس می باشد. این محصولات در ابتدا در سری S5 در سطح کشور گسترش یافته است که در سالهای اخیر PLC های سری S7 که بسیاری از نواقص و محدودیتهای موجود در سری S5 را جبران نموده است در کشور به صورت وسیع مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به نبود مرجع مناسبی در این زمینه به زبان فارسی در بخشهای دوم تا ششم این کتاب سعی شده است پس از معرفی اصول برنامه ریزی این تجهیزات، معرفی سخت افزار و نرم افزار و قابلیت های مختلف PLC های S7-300 و S7-400 به رشته تحریر قرار گیرد.

در اینجا بر خود واجب می دانم از کلیه کسانی که در این امر یاری نموده اند به خصوص جناب آقای مهندس پیمان شیخ الاسلامی و سرکار خانم مهندس سوده بهنام که در تهیه و تدوین فصول مرتبط با PLC زیمنس سری S7 زحمات فرارانی را متحمل شده اند تشکر و قدردانی نمایم و امیدوارم این مجموعه در خدمت دانش پژوهان و متخصصین صنعتی کشور قرار گیرد.

حمید رضا تقی راد

مرداد ۱۳۸۸

جدول اختصارات

ADC	Analog to Digital Converter	GD	Global Data
AS-Interface	Actuator-Sensor Interface	HMI	Human Machine Interface
C bus	Communication bus	I/O	Input/output
CC	Central Controller	IM	Interface Module
CFC	Continuous Function Chart	LAD	LADder logic
CP	Communication Processor	MPI	Multi Point Interface
CPU	Central processing Unit	OB	Organization Block
CR	Central Rack	OP	Operator Panel
DAC	Digital to Analog Converter	PG	ProGramming device
DB	Data Block	PII	Process Image Input
DP	Distributed Peripheral	PLC	Programmable Logic Controller
ER	Expansion Rack	PROFIBUS	PROcess Field BUS
EU	Expansion Unit	PS	Power Supply
FB	Function Block	PtP	Point to Point
FBD	Function Block Diagram	SFB	System Function Block
FC	Function	SFC	Sytem Function
FDL	Fieldbus Data Link	SM	Signal Module
FM	Function Module	STL	STatement List
FMS	Fieldbus Message Specification	TOD	Time Of Day

## فهرست

پیشگفتار.....	۱
جدول اختصارات.....	۴
فهرست.....	۵
فصل اول: اتوماسیون توسط سیستم‌های نیوماتیک.....	۱۶
۱-۱ مقدمه.....	۱۶
۲-۱ اجزاء سیستم نیوماتیک.....	۱۶
۱-۲-۱ انواع شیرهای نیوماتیک.....	۱۶
۲-۲-۱ نحوه فعال سازی شیرهای کنترلی.....	۲۰
۳-۲-۱ عملگرهای نیوماتیکی.....	۲۲
۳-۱ کنترل وضعیت جکهای نیوماتیک.....	۲۷
۱-۳-۱ کنترل حرکت یک جک یک طرفه.....	۲۷
۲-۳-۱ کنترل حرکت یک جک دوطرفه.....	۲۷
۳-۳-۱ کنترل شیر با استفاده از فشار پیلوت.....	۲۸
۴-۳-۱ کنترل اتوماتیک عملیات.....	۲۹
۴-۱ کنترل حرکت ترتیبی چند جک نیوماتیک.....	۳۱
۱-۴-۱ حرکت ترتیبی دو جک.....	۳۱
۲-۴-۱ ایجاد دو حرکت همزمان.....	۳۴
۵-۱ مدارهای موازی.....	۳۵
۱-۵-۱ طراحی مدار موازی.....	۳۶
۲-۵-۱ ترتیب طراحی شیرهای مدار موازی.....	۳۷
۶-۱ جمع بندی.....	۳۹
مسائل.....	۴۰
مراجع.....	۴۲
فصل دوم: کنترل کننده های منطقی برنامه پذیر PLC.....	۴۴
۱-۲ مقدمه.....	۴۴
۱-۱-۲ اصول PLC.....	۴۴
۲-۱-۲ شماتیک کلی PLC.....	۴۶
۳-۱-۲ نمایش منطق به صورت نردبانی.....	۴۷

۵۰	۲-۲ سخت افزار PLC
۵۰	۱-۲-۲ مقدمه
۵۲	۲-۲-۲ ورودیهای دیجیتال ایزوله نوری
۵۳	۳-۲-۲ رله های خروجی
۵۴	۴-۲-۲ خروجیهای ترانزیستوری
۵۴	۵-۲-۲ خروجی ترایاک Triac
۵۵	۶-۲-۲ پورتهای آنالوگ
۵۶	۳-۲ برنامه نویسی PLC
۶۲	۲-۴ مثالهای برنامه نویسی
۶۲	۱-۴-۲ روشن و خاموش کردن دو خروجی با یک کلید
۶۲	۲-۴-۲ جمع کردن چندین "و" AND و "یا" OR
۶۳	۳-۴-۲ جمع کردن یک بلوک منطقی
۶۳	۴-۴-۲ قطع کردن مدار لچ توسط خروجی غیر واقعی AR
۶۴	۵-۴-۲ قطع کردن مدار لچ توسط شمارنده
۶۴	۶-۴-۲ خاموش کردن و تحریک یک تایمر با یک ورودی
۶۵	۷-۴-۲ ایجاد یک پالس توسط دو تایمر
۶۵	۸-۴-۲ تایمر D-OFF
۶۶	۹-۴-۲ روشن کردن ترتیبی خروجیها توسط تایمر D-OFF
۶۷	۱۰-۴-۲ روشن کردن ترتیبی توسط شیفت رجیستر
۶۸	۵-۲ مثالهای کاربردی
۶۸	۱-۵-۲ حرکت دادن یک عملگر هیدرولیک یا نیوماتیک
۷۰	۲-۵-۲ حرکت ترتیبی اتوماتیک سه جک هیدرولیکی - نیوماتیکی
۷۱	۳-۵-۲ روشن و خاموش کردن یک موتور الکتریکی
۷۲	۴-۵-۲ کنترل دما به صورت ON/OFF
۷۴	۶-۲ مثالهای صنعتی
۷۴	۱-۶-۲ شمارش و دسته بندی
۷۵	۲-۶-۲ ربات جایا کننده محصول
۷۸	۳-۶-۲ سیستم جداسازی ضایعات
۸۰	۴-۶-۲ سیستم کنترل خط تولید اتوماتیک
۸۲	۸-۲ جمع بندی
۸۳	مسائل
۹۱	مراجع

فصل سوم: PLC زیمنس سری S7: سخت افزار	۹۳
۱-۳ مقدمه	۹۳
۲-۳ نصب و آدرس دهی ماژولها در PLC های S7-300	۹۵
۱-۲-۳ نصب و آدرس دهی ماژولها در PLC های S7-300	۹۶
۱-۲-۳ نحوه نصب ریل و قرار گرفتن ماژولها بر روی آن در S7-300	۹۶
۲-۲-۳ نصب ماژولها بر روی ریل	۹۷
۳-۲-۳ قوانین حاکم بر نصب ماژولها	۹۸
۴-۲-۳ انواع ماژولهای واسطه در S7-300	۹۸
۵-۲-۳ آدرس دهی ماژولها و کانالهای ورودی و خروجی ماژولهای سیگنال در ساختار S7-300	۹۹
۳-۳ نصب و آدرس دهی ماژولها در PLC های S7-400	۱۰۳
۱-۳-۳ عملکرد و ساختار انواع راکها در S7-400	۱۰۴
۲-۳-۳ انواع راکهای موجود در S7-400	۱۰۶
۳-۳-۳ اتصال راک مرکزی به راکهای گسترش دهنده	۱۰۷
۴-۳-۳ چیدمان ماژولها بر روی راک	۱۱۰
۵-۳-۳ آدرس دهی ماژولها و کانالهای ورودی و خروجی آنها در S7-400	۱۱۱
۴-۳ معرفی ماژولهای منبع تغذیه و CPU	۱۱۳
۱-۴-۳ انواع ماژولهای تغذیه در S7-300	۱۱۴
۲-۴-۳ انواع ماژولهای منبع تغذیه در S7-400	۱۱۵
۳-۴-۳ معرفی CPU های S7 300 / 400	۱۱۹
۵-۳ معرفی انواع ماژولهای سیگنال	۱۲۵
۱-۵-۳ مقدمه	۱۲۵
۲-۵-۳ ماژولهای سیگنال دیجیتال	۱۲۶
۳-۵-۳ ماژولهای سیگنال آنالوگ	۱۳۶
۴-۵-۳ انواع وقفهها در ماژولهای سیگنال آنالوگ	۱۴۷
۶-۳ جمع بندی	۱۵۵
مراجع	۱۵۶
فصل چهارم: PLC زیمنس سری S7: شبکه های صنعتی	۱۵۸
۱-۴ مقدمه	۱۵۸
۱-۱-۴ تکنیکهای دسترسی به شبکه	۱۵۹
۲-۱-۴ ساختار شبکه ها و واسط انتقال داده ها	۱۶۰
۳-۱-۴ سرویسهای ارتباطی SIMATIC S7	۱۶۲
۴-۱-۴ سرویس ارتباطی GD	۱۶۳

۱۶۶	۲-۴ انواع شبکه ها
۱۶۶	۱-۲-۴ شبکه MPI
۱۶۷	۲-۲-۴ شبکه PROFIBUS
۱۶۹	۳-۲-۴ شبکه Industrial Ethernet
۱۷۰	۴-۲-۴ اتصال نقطه به نقطه
۱۷۰	۵-۲-۴ شبکه AS-Interface
۱۷۱	۳-۴ انواع پردازنده های ارتباطی
۱۷۲	۱-۳-۴ پردازنده ارتباطی CP 341 و CP 340
۱۷۳	۲-۳-۴ پردازنده ارتباطی CP 441
۱۷۳	۳-۳-۴ پردازنده ارتباطی CP 342-2
۱۷۴	۴-۳-۴ پردازنده ارتباطی CP 343-5 و CP 443-5
۱۷۶	۴-۴ نحوه ایجاد شبکه
۱۷۷	۱-۴-۴ لوازم مورد نیاز برای ایجاد شبکه
۱۷۸	۲-۴-۴ تجهیزات قابل نصب در شبکه
۱۷۸	۳-۴-۴ آدرسهای MPI و PROFIBUS-DP
۱۷۹	۴-۴-۴ قوانین حاکم بر قرار گرفتن گره های مختلف در شبکه
۱۸۰	۵-۴ سیستمهای H و F و ماژولهای تابع
۱۸۰	۱-۵-۴ مقدمه
۱۸۱	۲-۵-۴ سیستمهای H
۱۸۷	۳-۵-۴ سیستمهای F
۱۸۸	۴-۵-۴ ماژولهای تابع
۱۹۹	۶-۴ جمع بندی
۲۰۰	مراجع
۲۰۲	فصل پنجم: PLC، زیمنس سری S7: ساختار نرم افزاری
۲۰۲	۱-۵ مقدمه
۲۰۲	۲-۵ ساختار برنامه در PLCهای S7-300
۲۰۲	۱-۲-۵ اجزای مختلف برنامه کاربر و انواع بلوکهای مورد استفاده در STEP7
۲۰۴	۲-۲-۵ متغیرهای بلوک
۲۰۶	۳-۲-۵ توضیحاتی در مورد نحوه استفاده FBها از DBهای خاص
۲۰۸	۴-۲-۵ توالی فراخوانی بلوکها
۲۰۹	۳-۵ نحوه ذخیره برنامه کاربر در حافظه CPU و فضاهای حافظه مختلف
۲۰۹	۱-۳-۵ انواع فضاهای حافظه
۲۱۵	۲-۳-۵ توضیحاتی در مورد جدول تصویر ورودی/خروجیهای فرآیند

۲۱۸	.....	۳-۳-۵ ساختار و عملکرد کارتهای حافظه
۲۱۹	.....	۴-۳-۵ فضای حافظه دارای قابلیت خود نگهداری در S7-300/400
۲۲۰	.....	۴-۵ سیستمهای چند پردازشی
۲۲۰	.....	۵-۵ انواع OB ها
۲۲۶	.....	۱-۵-۵ انواع خطاها
۲۲۹	.....	۶-۵ مدهای کاری CPU ها
۲۳۰	.....	۱-۶-۵ مد STOP
۲۳۰	.....	START-UP
۲۳۵	.....	۳-۶-۵ مد RUN
۲۳۶	.....	۴-۶-۵ مد HOLD
۲۳۷	.....	۵-۶-۵ نحوه تغییر مد کاری CPU
۲۳۹	.....	۷-۵ جمع بندی
۲۳۹	.....	مراجع
۲۴۱	.....	<b>فصل ششم: PLC زیمنس سری S7: زبان برنامه نویسی گزاره ای</b>
۲۴۱	.....	۱-۶ مقدمه
۲۴۱	.....	۲-۶ ساختار و اجزای گزاره ها
۲۴۱	.....	۱-۲-۶ ساختار یک گزاره
۲۴۳	.....	۲-۲-۶ انباره ها
۲۴۴	.....	۳-۲-۶ پشته تو در تو
۲۴۴	.....	۴-۲-۶ کلمه وضعیت
۲۴۶	.....	۳-۶ روشهای آدرس دهی
۲۴۶	.....	۱-۳-۶ آدرس دهی فوری
۲۴۷	.....	۲-۳-۶ آدرس دهی مستقیم
۲۴۷	.....	۳-۳-۶ روش آدرس دهی غیرمستقیم حافظه
۲۴۹	.....	۴-۳-۶ روش آدرس دهی غیرمستقیم ثباتی با فضای حافظه معلوم
۲۵۰	.....	۵-۳-۶ روش آدرس دهی غیرمستقیم ثباتی با فضای حافظه کد شده
۲۵۲	.....	۴-۶: عملیات قابل انجام بر روی انباره ها و دستورات ثباتهای آدرس
۲۵۴	.....	۵-۶ دستورات منطقی بیتی
۲۵۵	.....	۱-۵-۶ عبارات تو در تو و دستور AND قبل از OR
۲۵۶	.....	۲-۵-۶ دستورات آشکارساز لبه
۲۵۷	.....	۴-۵-۶ دستورات نقیض سازی، ست کردن، پاک کردن و ذخیره بیت RLO

- ۶-۶ تایمر ..... ۲۵۸
- ۶-۶-۱ فضای حافظه تایمر ..... ۲۵۸
- ۶-۶-۲ دستورات تایمرها ..... ۲۵۹
- ۶-۷ شمارنده ..... ۲۶۶
- ۶-۷-۱ فضای حافظه شمارنده ..... ۲۶۶
- ۶-۷-۲ دستورات شمارنده ..... ۲۶۶
- ۶-۸ دستورات بارگذاری (L) و انتقال (T) ..... ۲۷۰
- ۶-۸-۱ بارگذاری و انتقال ..... ۲۷۰
- ۶-۸-۲ خواندن بیت‌های کلمه وضعیت یا انتقال به بیت‌های کلمه وضعیت ..... ۲۷۱
- ۶-۸-۳ بارگذاری مقدار تایمر و مقدار شمارنده در ACCU1 ..... ۲۷۱
- ۶-۸-۴ بارگذاری و انتقال مقادیر AR1 و AR2 ..... ۲۷۱
- ۶-۸-۵ بارگذاری اندازه و شماره بلوک داده در ACCU1 ..... ۲۷۲
- ۶-۹ دستورات ریاضی اعداد صحیح ..... ۲۷۲
- ۶-۹-۱ دستورات چهار عمل اصلی ..... ۲۷۲
- ۶-۹-۲ جمع یک عدد صحیح ۱۶ بیتی ثابت با ACCU1 ..... ۲۷۴
- ۶-۱۰ عملیات اعداد ممیز شناور ..... ۲۷۴
- ۶-۱۰-۱ چهار عمل اصلی ..... ۲۷۴
- ۶-۱۰-۲ عملیات ریاضی قابل اجرا بر روی اعداد ممیز شناور ..... ۲۷۵
- ۶-۱۱ دستورات مقایسه‌ای ..... ۲۷۶
- ۶-۱۲ دستورات فرمت اعداد ..... ۲۷۸
- ۶-۱۲-۲ تبدیل اعداد ممیز شناور به اعداد صحیح ۳۲ بیتی ..... ۲۸۰
- ۶-۱۲-۳ تعویض جای بیت‌های ACCU1 ..... ۲۸۱
- ۶-۱۲-۴ حساب متمم اعداد ..... ۲۸۲
- ۶-۱۳ دستورات منطقی کلمه ای ..... ۲۸۳
- ۶-۱۴ دستورات شیفت و چرخش ..... ۲۸۴
- ۶-۱۴-۱ دستورات شیفت ..... ۲۸۴
- ۶-۱۴-۲ دستورات چرخش ..... ۲۸۷
- ۶-۱۵ دستورات بلوک داده ..... ۲۸۸
- ۶-۱۵-۱ دستور باز کردن بلوک داده (OPN) ..... ۲۸۸
- ۶-۱۵-۳ بارگذاری اندازه و شماره بلوک داده در ACCU1 ..... ۲۸۹
- ۶-۱۶ دستورات پرش ..... ۲۸۹
- ۶-۱۶-۱ دستورات پرش غیرشرطی ..... ۲۸۹

۲۹۱	۲-۱۶-۶ دستورات پرش شرطی وابسته به بیت RLO.....
۲۹۱	۳-۱۶-۶ دستورات پرش شرطی وابسته به بیت‌های BR، OV، OS کلمه وضعیت.....
۲۹۱	۴-۱۶-۶ دستورات پرش شرطی وابسته به بیت‌های CC0 و CC1.....
۲۹۲	۵-۱۶-۶ دستور حلقه: LOOP.....
۲۹۳	۱۷-۶ دستورات فراخوانی یک بلوک.....
۲۹۳	۱-۱۷-۶ فراخوانی تابع و بلوک تابع توسط دستور CALL.....
۲۹۴	۲-۱۷-۶ فراخوانی تابع و بلوک تابع توسط دستورهای UC و CC.....
۲۹۴	۱۸-۶ انواع داده و پارامتر.....
۲۹۵	۱-۱۸-۶ داده‌های ابتدایی.....
۲۹۶	۱۹-۶ جمع بندی.....
۲۹۷	مراجع.....
۲۹۹	فصل هفتم: مدلسازی فرآیندهای صنعتی.....
۲۹۹	۱-۷ مقدمه.....
۲۹۹	۱-۱-۷ معادلات حالت.....
۳۰۱	۲-۷ مدلسازی سیستم‌های صنعتی.....
۳۰۱	۱-۲-۷ مدلسازی سیستم‌های الکترو مکانیکی.....
۳۰۵	۲-۲-۷ مدلسازی سیستم‌های مکانیکی (روش لاگرانژ).....
۳۰۸	۳-۲-۷ مدلسازی سیستم‌های هیدرولیکی.....
۳۱۱	۳-۷ خطی سازی ریاضی.....
۳۱۳	۱-۳-۷ مثال ۱: ارتفاع آب در مخزن روباز.....
۳۱۴	۲-۳-۷ مثال ۲: پاندول معکوس.....
۳۱۵	۳-۳-۷ نمایش سیستم به صورت تابع تبدیل.....
۳۱۷	۴-۷ مدلسازی سیستم‌های هیدرولیکی.....
۳۱۷	۱-۴-۷ کنترل سطح سیال در مخزن.....
۳۱۷	۲-۴-۷ کنترل سطح مخزن توسط پمپ.....
۳۲۱	۳-۴-۷ کنترل فشار درام (مخزن بسته).....
۳۲۴	۴-۴-۷ کنترل دبی جریان در خط لوله.....
۳۲۶	۵-۷ مدلسازی فرآیندهای حرارتی.....
۳۲۷	۱-۵-۷ هدایت حرارتی Conduction.....
۳۲۷	۲-۵-۷ انتقال حرارت جابجائی Convection.....
۳۲۸	۳-۵-۷ انتقال حرارت تشعشع.....
۳۲۸	۴-۵-۷ مکانیزم فرآیندهای انتقال حرارت.....

۳۳۲	۶-۷ جمع بندی
۳۳۳	مسائل
۳۴۸	مراجع
۳۵۰	فصل هشتم: روشهای شناسائی فرآیند
۳۵۰	۱-۸ مقدمه
۳۵۱	۱-۸ مدلهای دینامیکی
۳۵۱	۱-۲-۸ پاسخ گذرا
۳۵۲	۲-۲-۸ پاسخ فرکانسی
۳۵۳	۳-۸ روشهای پاسخ پله
۳۵۳	۱-۳-۸ مدل دو پارامتری یا دو جزئی
۳۵۵	۲-۳-۸ مدلهای سه جزئی
۳۵۷	۳-۳-۸ مدل چهار جزئی
۳۵۹	۴-۳-۸ مدل سیستم های انتگرال گیر
۳۶۰	۵-۳-۸ مدل سیستمهای نوسانی
۳۶۱	۴-۸ روشهای پاسخ فرکانسی
۳۶۲	۱-۴-۸ روش پاسخ فرکانسی زیگلر-نیکولز Z.N.
۳۶۴	۲-۴-۸ روش فیدبک رله
۳۶۵	۵-۸ روشهای شناسایی پارامتریک
۳۶۵	۱-۵-۸ مدلهای پارامتریک
۳۶۷	۲-۵-۸ روش تخمین کمترین مربعات L.S.
۳۶۸	۳-۵-۸ (مثال ۱) نمایش گرافیکی روش L.S.
۳۶۹	۴-۵-۸ (مثال ۲) مدل دینامیکی
۳۷۰	۶-۸ خلاصه و جمع بندی
۳۷۱	مسائل
۳۷۷	مراجع
۳۷۹	فصل نهم: طراحی، تنظیم و پیاده سازی کنترل کننده PID
۳۷۹	۱-۹ تعاریف و مفاهیم
۳۷۹	۱-۱-۹ ترم تناسبی کنترل کننده PID
۳۸۱	۱-۲-۹ ترم انتگرال گیر
۳۸۲	۳-۱-۹ ترم مشتق گیر

۳۸۴	۲-۹ در چه فرآیندهایی کنترل کننده PID کافی است؟
۳۸۵	۳-۹ پیاده سازی کنترل کننده ها
۳۸۵	۱-۳-۹ کنترل کننده های الکتریکی
۳۸۷	۲-۳-۹ کنترل کننده های الکترونیکی
۳۹۱	۳-۳-۹ کنترل کننده های نیوماتیکی
۳۹۷	۴-۳-۹ کنترل کننده های میکروپروسسوری
۴۰۲	۴-۹ طراحی کنترل کننده PID
۴۰۲	۱-۴-۹ مقدمه
۴۰۵	۲-۴-۹ روشهای تنظیم زیگلر-نیکولز Ziegler-Nichols
۴۱۵	۳-۴-۹ روش زیگلر-نیکولز تعمیم یافته
۴۱۷	۴-۴-۹ کارآیی روش زیگلر-نیکولز
۴۲۱	۵-۴-۹ روشهای طراحی IAE, ISE, ITAE
۴۲۶	۶-۴-۹ روش طراحی Chien-Hrones-Reswick
۴۲۷	۷-۴-۹ روش طراحی Cohen-Coon
۴۲۸	۸-۴-۹ روش تنظیم λ
۴۳۱	۵-۹ جمع شوندهای انتگرال گیر Integrator Windup
۴۳۵	۶-۹ کنترل سیستمهای با تأخیر
۴۳۸	مسائل
۴۴۴	مراجع
۴۴۶	پیوست الف : معرفی نرم افزار SIMATIC Manager
۴۴۶	الف-۱: مقدمه
۴۴۷	الف-۲: ایجاد یک پروژه اتوماسیون
۴۴۸	الف-۲-۱: ایجاد یک پروژه با استفاده از Wizard
۴۵۱	الف-۲-۲: ایجاد یک پروژه به روش مستقیم
۴۵۳	الف-۳: معرفی پنجره پروژه
۴۵۳	الف-۴: جدول نمادها و جدول معرفی متغیرهای بلوک
۴۵۵	الف-۵: برنامه نویسی به زبانهای LAD/STL/FBD
۴۶۱	الف-۶: استفاده از بلوک تابع و تابع و بلوکهای داده در برنامه
۴۷۳	الف-۷: پیکربندی سخت افزار با استفاده از نرم افزار STEP7
۴۷۹	الف-۷-۱: نحوه ایجاد شبکه

الف-۸: درخواست راهنمایی از SIMATIC Manager	۴۸۱
پیوست ب: المانها و جعبه های دستوری زبانهای LAD و FBD	۴۸۳
ب-۱: ساختار زبان برنامه نویسی نردبانی (LAD)	۴۸۳
ب-۲: پارامترهای EN و ENO جعبه های دستوری	۴۸۳
ب-۳: ساختار زبان برنامه نویسی نموداری (FBD)	۴۸۴
ب-۴: روشهای آدرس دهی در زبان LAD و FBD	۴۸۴
ب-۵: نمادهای دستورات STEP7 به زبانهای LAD و FBD	۴۸۵
فهرست راهنما	۴۹۸