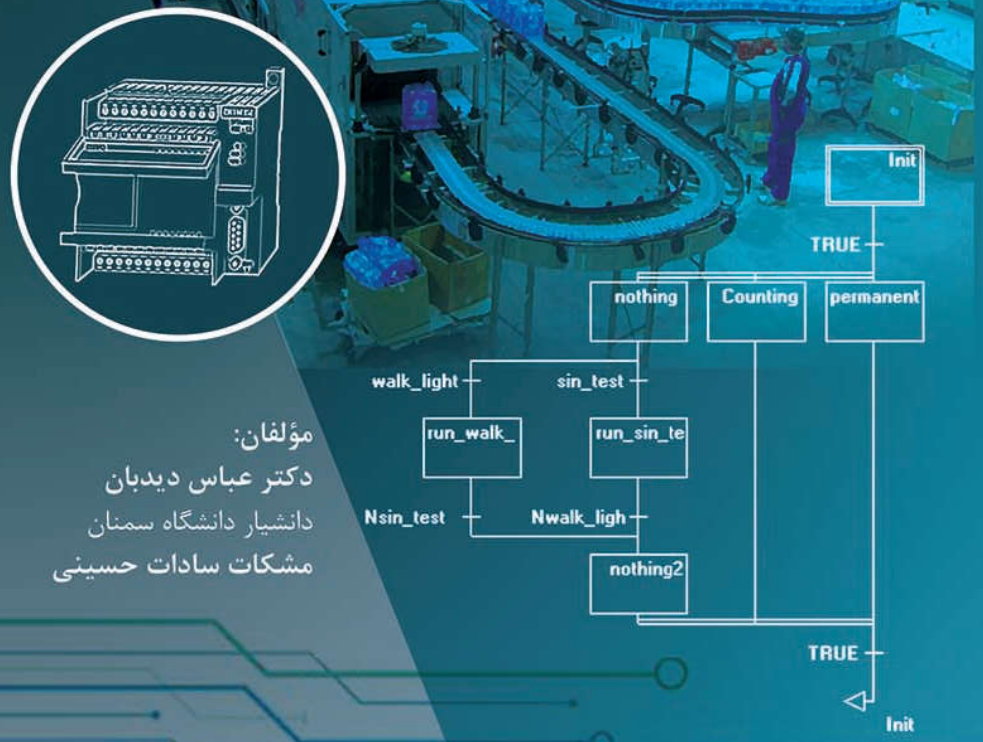
دیدگاه های نوین در کنترل سیستم های صنعتی



مؤلفان:
دکتر عباس دیدبان
دانشیار دانشگاه سمنان
مشکات سادات حسینی

دانشگاه سمنان

دیدگاه های نوین در کنترل سیستم های صنعتی

مؤلفان: دکتر عباس دیدبان ، مشکات سادات حسینی

۱۴۰۱
انتشارات دانشگاه سمنان

New perspectives In Controlling Industrial Systems

Semnan University

آشنایی با PLC و برنامه نویسی راحت و آسان آن، امروزه یکی از دغدغه های مهندسین و به صورت خاص مهندسین برق و کنترل است. آشنایی مختصر با PLC مهارتی است که غالب دانشجویان مهندسی برق بدست می آورند اما سوالی که باقی می ماند اینست که چگونه می توان برنامه PLC را برای یک سیستم صنعتی به صورت اصولی و بدون سعی و خطا نوشت. آنچه در این کتاب به آن پرداخته شده ضمن معرفی مقدمات لازم برای آشنایی با اتوماسیون صنعتی، دیدگاهی نو را در باره چگونگی برنامه نویسی PLC ارائه می دهد

by: Abbas Dideban (Ph.D)
Associate professor of Semnan University
Meshkat Hoseini

Semnan University Press
ISBN:978-622-7237-57-3
2023

دیدگاه‌های نوین در کنترل سیستم‌های صنعتی

مؤلفان:

دکتر عباس دیدبان

دانشیار دانشگاه سمنان

مشکات سادات حسینی

سرشناسه	: دیدبان، عباس، ۱۳۵۱-	
عنوان و نام پدیدآور	: دیدگاه‌های نوین در کنترل سیستم‌های صنعتی/ مولفان عباس دیدبان، مشکات‌سادات حسینی ؛ ویراستار ادبی سیدحسین طباطبایی	
مشخصات نشر	: سمنان: دانشگاه سمنان ، انتشارات، ۱۴۰۱.	
مشخصات ظاهری:	: ۴۱۲ ص.: مصور (بخشی رنگی)، جدول، نمودار.	
شابک	: ۹۷۸-۶۲۲-۷۲۳۷-۵۷-۳	وضعیت فهرست نویسی: فیپا
یادداشت	: واژه‌نامه. یادداشت: کتابنامه: ص.۳۵۹ - ۳۶۴.	یادداشت: نمایه.
موضوع	: کنترل‌کننده‌های برنامه‌پذیر	Programmable controllers
	کنترل فرایندها – خودکاری	Process control -- Automation
	مهندسی کنترل	Automatic control
	الکترونیک صنعتی	Industrial electronics
	نظریه گراف	Graph theory
	شبکه‌های پتری	Petri nets
شناسه افزوده	: حسینی، مشکات‌سادات، ۱۳۶۸-	شناسه افزوده: دانشگاه سمنان. انتشارات
رده بندی کنگره	: TJ۲۲۳	شماره کتابشناسی ملی: ۹۱۵۳۶۳۷
رده بندی دیویی	: ۶۲۹/۸۹۵	اطلاعات رکورد کتابشناسی : فیپا

دیدگاه‌های نوین در کنترل سیستم‌های صنعتی

مؤلفان: دکتر عباس دیدبان، مشکات سادات حسینی
ویراستار ادبی: دکتر سیدحسین طباطبائی
نوبت چاپ: اول- زمستان ۱۴۰۱
ناشر: انتشارات دانشگاه سمنان
شمارگان: ۲۰۰جلد
قیمت: ریال

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۷۲۳۷-۵۷-۳ :ISBN

حق چاپ محفوظ و متعلق به انتشارات دانشگاه سمنان می باشد.

مراکز پخش: سمنان: روبروی پارک سوکان- پردیس شماره ۱ – انتشارات دانشگاه سمنان- تلفن: ۲۳۳۱۵۳۲۲۷۰.

وب سایت:www.press.semnan.ac.ir

تهران: میدان انقلاب – ابتدای خیابان ۱۲ فروردین – پلاک ۹- انتشارات سیمای دانش تلفن : ۱۵-۰۲۱۶۶۹۶۶۱۱۴

پیش‌گفتار

رشد سریع اقتصادی جهان در قرن بیستم، افزایش تقاضای کالای صنعتی تولیدی و افزایش دستمزدها، تولیدکنندگان را بر آن داشت تا از طرفی به فکر افزایش میزان تولید و از طرف دیگر به فکر کاهش هزینه‌ها و در نتیجه کاهش قیمت تمام شده محصول باشند. از آنجایی‌که حضور نیروی انسانی دارای معایبی از جمله کاهش بازدهی(به دنبال خستگی و درنتیجه کاهش میزان تولید محصولات صنعتی) است، نیاز به جایگزینی نیروی انسانی به شدت احساس می‌شد. این موضوع می‌توانست سرعت تولید را نیز افزایش دهد. برای دست‌یافتن به این هدف، نیاز به جایگزینی سیستم‌های کنترل خودکار جدید به جای سیستم‌های سنتی که نیروی انسان نقش اصلی را در آن ایفا می‌کرد، بود. با استفاده از این سیستمهای جدید، خطای اپراتور و محدود بودن توان اپراتور در تولید، به حداقل می‌رسید. لذا متخصصین، کنترل‌کننده‌هایی ارائه داده‌اند که نقش اپراتور کمتر و دقت کنترل افزایش پیدا کند. همچنین این کنترل‌کننده‌ها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که به آسانی جایگزین اپراتور در کارخانجات و در نتیجه باعث به حداقل رسیدن هزینه‌های مربوطه می‌گردند. در همین راستا، سیستم‌ها نیز باید به گونه‌ای طراحی شوند تا بوسیله کنترل‌کننده‌های مذکور، قابل کنترل باشند. واژه اتوماسیون صنعتی[1] بیانگر همین مفهوم است. درواقع به بهره‌گیری از کامپیوتر و وسایل الکترونیکی قابل برنامه‌ریزی مانند PLC[2]-ها، برای کنترل ماشین آلات صنعتی در اجرای یک فرآیند در صنعت که قبلا توسط انسان انجام می‌پذیرفت، اتوماسیون صنعتی گفته می شود. اولین بار در سال ۱۹۶۰ میلادی از اتوماسیون صنعتی در صنعت خودروسازی استفاده شد. بطور معمول کارخانجات خودروسازی هنگام تغییر مدل بیش از یک ماه متوقف می‌شدند. بنابراین استفاده از اتوماسیون صنعتی برای کاهش این زمان، بسیار مؤثر عمل کرد. با افزایش بازدهی، اتوماسیون صنعتی راه خود را در دیگر زمینه‌های صنعت پیدا کرده و هر روز شاهد استفاده از این مفهوم در زمینه‌های مختلف هستیم. از کارخانه‌ها تا محلی که در آن زندگی می-کنیم. به علت حضور در جنبه‌های مختلف زندگی، نیاز به شناخت و درک آن، به شدت

---

[1] Industrial Automation

[2] Programmble Logic Controller

احساس می‌شود. اگر چه طراحی کنترل‌کننده و اجرای کنترل خودکار در پروسه‌های صنعتی مانند کنترل دما ، کنترل سرعت و ... دارای تئوری و مبانی علمی بسیار قوی بوده و سبب ایجاد یک گرایش به نام کنترل در رشته‌های مهندسی برق و مکانیک شده است. اما طراحی و اجرای اتوماسیون صنعتی بیشتر به عنوان یک مهارت تلقی شده که البته نیاز به دانش پایه مهندسی برق نیز دارد. با ارائه تئوری کنترل نظارتی در اواخر دهه ۱۹۸۰ میلادی توسط وانهام و شاگردانش[1] این امکان فراهم شد تا با استفاده از ابزار مدل سازی اتوماتا و تئوری‌های ارائه شده، امکان استفاده از روشهای سیستماتیک و الگوریتمیک جهت برنامه نویسی PLC و اجرای اتوماسیون فراهم شود. در ادامه در سال‌های بعد این تئوری‌ها توسعه یافته و به عنوان ابزاری سودمند در طراحی و اجرای اتوماسیون صنعتی مورد استفاده قرار گرفتند. امروزه با توسعه زبان‌های برنامه نویسی PLC، و شبکه‌های صنعتی، امکان پیاده‌سازی این روشها به راحتی فراهم شده است. برای آشنایی با مبانی این تئوری، مباحث این کتاب در دوبخش ارائه خواهد شد. در بخش اول که شامل فصل-های اول تا چهارم می باشد معرفی مختصری از ابزارها و المان‌های مورد نیاز در کنترل صنعتی انجام می شود. این بخش برای دانشجویان رشته کارشناسی مهندسی برق قابل استفاده می باشد. در ادامه در فصل‌های بعد روش‌های وتکنیک‌های جدیدی در طراحی کنترل کننده برای سیستم‌های صنعتی ارائه خواهد شد که این مباحث بیشتر برای دانشجویان دوره‌های تکمیلی و یا دانشجویان علاقه‌مند به مباحث پیشرفته‌تر و تحقیقاتی در حوزه‌های اتوماسیون صنعتی قابل بهره‌برداری می‌باشد. همچنین این کتاب یک مرجع مناسب و قابل استفاده برای دانشجویان رشته مکاترونیک می‌باشد. بر این اساس در این کتاب ابتدا در فصل اول به ارائه ساختار کلی سیستم‌های صنعتی و مقدمات لازم جهت آشنائی با این سیستم‌ها پرداخته می‌شود. در ادامه در فصل دوم به معرفی اجزاء سیستم-های صنعتی می‌پردازیم. قبل از پرداختن به نحوه طراحی کنترل‌کننده، لازم است تا با اجزا و جایگاه هریک از این اجزاء در سیستم‌های صنعتی آشنایی مناسبی پیدا کنیم. به دلیل اهمیت کنترل‌کننده‌های منطقی قابل برنامه‌ریزی، معرفی این جزء از سیستم‌های صنعتی در یک فصل جداگانه و در فصل سوم انجام شده‌است. از آنجا که در این کتاب از

---

[1] Wonham

ابزارهای گرافیکی جهت مدل‌سازی سیستم‌ها استفاده می شود، در فصل چهارم، به آشنائی مختصری با تئوری گراف پرداخته می‌شود. گراف، ابزاری عمومی در مدل‌سازی می‌باشد که با استفاده از آن امکان مدل‌سازی گرافیکی سیستم و انتخاب راه حل بهینه فراهم می‌شود. در فصل پنجم به بحث مدل‌سازی و روش‌های مختلف آن پرداخته خواهد شد. پس از آشنائی با مبحث مدل‌سازی سیستم‌های صنعتی، به معرفی ابزاری سودمند در مدل‌سازی سیستم‌های صنعتی با عنوان اتوماتا در فصل ششم خواهیم پرداخت. از اتوماتا در مدل‌سازی سیستم‌های گسسته پیشامد استفاده زیادی شده و تئوری کنترل نظارتی در این سیستم‌ها، در ادامه بر روی این ابزار مدل‌سازی اجرا شده است. آشنائی با ابزار دیگری در مدل‌سازی گرافیکی سیستم‌های صنعتی با عنوان شبکه‌های پتری در فصل هفتم انجام خواهد شد. در فصل هشتم تئوری کنترل نظارتی و طراحی کنترل‌کننده با استفاده از شبکه‌های پتری را توضیح خواهیم داد. در ادامه در فصل نهم به بررسی پیاده-سازی کنترل‌کننده‌ها با استفاده از PLC می‌پردازیم. در ابتدا با استفاده از مدل‌سازی اتوماتا، کنترل‌کننده طراحی می‌شود. سپس با تبدیل مدل اتومات به دیاگرام نردبانی، برنامه کنترلی قابل استفاده در PLC آماده می شود. همچنین در پیوست نیز نحوه استفاده از تعدادی از نرم افزارهای موجود در رابطه با مدل سازی با اتومات و شبکه‌های پتری و PLC بیان خواهد شد.

در یک جمع‌بندی کلی، آنچه در این کتاب مورد نظر است ارائه روش‌هائی برای مدل-سازی گرافیکی سیستم‌ها و طراحی کنترل‌کننده با استفاده از این مدل‌سازی می‌باشد. هدف اصلی این کتاب ارائه روش‌هائی نوین در طراحی و آنالیز کنترل کننده‌ها در سیستم-های صنعتی است. افرادی که با مباحث پایه کنترل صنعتی آشنا هستند نیاز به مطالعه فصل‌های دوم و سوم ندارند. از فصل تئوری گراف نیز مباحث مقدماتی آن مورد نیاز می باشد اما جهت کامل بودن مباحث مطرح شده، این فصل کامل‌تر ارائه شده است. مطالعه فصل‌های پنجم تا آخر می تواند خوانندگان محترم را با روش متفاوتی در طراحی کنترل-کننده (برنامه نویسی) برای کنترل کننده‌های منطقی قابل برنامه‌ریزی آشنا کند. امید است مباحث این کتاب مورد استفاده خوانندگان محترم واقع شده و نویسندگان را از نقطه نظرات ارزشمند خود آگاه سازند. در انتها لازم می دانیم از تلاش کلیه دانشجویان ارشد و دکترایی که از حاصل تلاش آنها در این کتاب استفاده شده است، علی الخصوص آقایان

دکتر میثم زارعی ، دکتر محسن کیانی و دکتر علیرضا آهنگرانی فراهانی تشکر و قدردانی شود.

عباس دیدبان – مشکات سادات حسینی

پاییز ۱۴۰۱

فهرست مطالب

فصل اول : آشنایی با سیستمهای صنعتی ۱۵

۱-۱- مقدمه ۱۵
۱-۲-تعریف سیستم و انواع آن ۱۶
۱-۳- مفهوم کنترل ۲۳
۱-۴- انواع سیستمهای کنترل صنعتی ۲۵
۱-۴-۱- سیستمهای رویداد -گسسته ۲۶
۱-۴-۲- سیستمهای کنترل پیوسته ۲۹
۱-۴-۳- سیستمهای ترکیبی ۳۰
۱-۵- ساختار یک سیستم صنعتی ۳۱
۱-۶- جمع‌بندی ۳۳
۱-۷- تمرین‌ها ۳۴

فصل دوم : آشنایی با اجزاء سیستمهای صنعتی ۳۷

۲-۱- مقدمه ۳۷
۲-۲- اجزاء یک سیستم صنعتی ۳۷
۲-۳- حسگرها و انواع آن ۳۸
۲-۳-۱- مشخصات استاتیکی ۳۹
۲-۳-۲- مشخصات دینامیکی ۴۲
۲-۴- انواع دسته‌بندی حسگرها ۴۴
۲-۴-۱- دسته‌بندی حسگرها براساس نوع کمیت اندازه‌گیری ۴۴
۲-۴-۲- دسته‌بندی حسگرها براساس نوع عملکرد ۴۵
۲-۴-۳- دسته‌بندی حسگرها براساس نوع کاربرد ۴۵
۲-۵- حسگرهای اندازه‌گیری موقعیت ۴۶
۲-۵-۱- پتانسیومتری یا مقاومتی ۴۶
۲-۵-۲- حسگرهای نوری ۵۱
۲-۵-۲-۱- انکودرهای نوری مطلق ۵۲
۲-۵-۲-۲- انکودرهای نوری افزایشی ۵۴

۲-۵-۳- حسگرهای خازنی ۵۷
۲-۵-۴- حسگرهای مغناطیسی ۵۸
۲-۶- حسگرهای اندازه‌گیری نیرو ۶۴
۲-۶-۱- کرنش‌سنج ۶۵
۲-۶-۲- پیزوالکتریک‌ها ۷۱
۲-۷- حسگرهای اندازه‌گیری فشار ۷۳
۲-۷-۱- حسگرهای لوله باردون ۷۴
۲-۷-۲- حسگرهای بالشتکی اندازه‌گیری فشار ۷۵
۲-۷-۳- حسگرهای فشار نیمه‌رسانا ۷۶
۲-۸- حسگرهای اندازه‌گیری جریان مایع وگاز ۷۶
۲-۸-۱- جریان سنج اوریفیس ۷۷
۲-۸-۲- لوله ونتوری ۷۸
۲-۸-۳- جریان سنج‌های مغناطیسی ۷۹
۲-۸-۴- جریان سنج‌های آلتراسونیک ۸۰
۲-۸-۵- حسگرهای جریان توربینی ۸۱
۲-۹- حسگرهای اندازه‌گیری دما ۸۲
۲-۹-۱- ترموکوپل ۸۳
۲-۹-۲- آشکارسازهای مقاومتی دما ۸۴
۲-۹-۳- مقاومتهای گرمایی ۸۵
۲-۹-۴- حسگرهای دمایی مدارمجتمع ۸۶
۲-۹-۵- حسگرهای الکترومغناطیس دمایی ۸۷
۲-۱۰- عملگرها ۸۸
۲-۱۰-۱- محرکهای الکتریکی ۸۹
۲-۱۰-۲- محرکهای پنوماتیکی ۹۲
۲-۱۰-۳- محرکهای هیدرولیکی ۹۳
۲-۱۱- مدارات آماده سازی سیگنال ۹۴
۲-۱۱-۱- مدار پل وتسون ۹۵
۲-۱۱-۲- تقویت‌کننده‌های ابزار دقیق ۹۶
۲-۱۱-۳- تقویت کننده‌های غیر خطی ۹۷

۲-۱۱-۴- مدار انتگرال گیر و مشتق گیر ۹۸
۲-۱۱-۵- مدار مبدل ولتاژ و جریان..... ۱۰۰
۲-۱۱-۶- مدارتبدیل و جداسازی سیگنالهای دیجیتال ۱۰۳
۲-۱۱-۷- مدارهای دارای پسماند یا خاصیت اشمیت تریگر ۱۰۴
۲-۱۱-۸- حفاظت در مقابل نویز وخطای تغذیه ۱۰۵
۲-۱۲-مدارات راه انداز..... ۱۰۸
۲-۱۲-۱- راه انداز با خروجی دو وضعیتی (دیجیتال)..... ۱۰۹
۲-۱۲-۲- راه اندازهای غیر دو وضعیتی ۱۱۰
۲-۱۲-۳- راه انداز موتور DC ۱۱۱
۲-۱۳- کنترل کننده‌ها..... ۱۱۳
۲-۱۴- نمایشگر و ثبت کننده..... ۱۱۳
۲-۱۵- جمع بندی ۱۱۵
۲-۱۶- تمرین‌ها..... ۱۱۵

فصل سوم : کنترل‌کننده‌های منطقی قابل برنامه‌ریزی..... ۱۱۷

۳-۱- مقدمه..... ۱۱۷
۳-۲- تفاوت کامپیوترهای شخصی و PLC..... ۱۱۸
۳-۳- چرا کامپیوترهای صنعتی را PLC می‌نامند؟..... ۱۱۹
۳-۴- تاریخچه PLC..... ۱۱۹
۳-۵- قابلیتها و امکانات مورد نیاز یک PLC..... ۱۲۰
۳-۵-۱- ایمنی نسبت به نویز ۱۲۰
۳-۵-۲- ساختمان مدولار ۱۲۱
۳-۵-۳- سطوح سیگنال استاندارد..... ۱۲۱
۳-۵-۴- سهولت برنامه‌ریزی و تغییر برنامه..... ۱۲۲
۳-۵-۵- سهولت و سادگی زبانهای برنامه‌نویسی..... ۱۲۲
۳-۶- اجزای اصلی تشکیل دهنده سیستم PLC..... ۱۲۲
۳-۶-۱- پردازشگر..... ۱۲۳
۳-۶-۲- حافظه..... ۱۲۳
۳-۶-۳- سیستم ورودی و خروجی..... ۱۲۴

۱-۳-۶-۳- مدولهای ورودی و خروجی دیجیتال ۱۲۴
۳-۶-۳-۲- مدولهای ورودی و خروجی آنالوگ ۱۲۹
۳-۳-۶-۳- واحد برنامه‌ریزی ۱۳۰
۴-۳-۶-۳- منبع تغذیه ۱۳۱
۳-۷- زبانهای برنامه نویسی PLC ۱۳۲
۳-۷-۱- زبان دیاگرام نردبانی ۱۳۲
۳-۷-۲- انواع متغیرهای مورد استفاده در زبانهای برنامه‌نویسی PLC ۱۳۳
۳-۷-۳- دستورات مورد استفاده در زبانهای برنامه نویسی PLC ۱۳۶
۳-۷-۴- زمان‌سنج ۱۳۸
۳-۷-۴- شمارنده ۱۴۰
۳-۷-۵- توابع ویژه ۱۴۲
۳-۸- نحوه اجرای برنامه در PLC ۱۴۳
۳-۹- جمع بندی ۱۴۳
۳-۱۰- تمرینها ۱۴۴

فصل چهارم : آشنائی با تئوری گراف ۱۴۷

۴-۱- مقدمه ۱۴۷
۴-۲- کاربرد گراف ۱۴۸
۴-۳- تعریف گراف ۱۴۹
۴-۴- انواع گراف ۱۵۳
۴-۵- الگوریتم‌های مهم ۱۶۰
۴-۵-۱- الگوریتم عمومی ۱۶۱
۴-۵-۲- الگوریتم بلمن- فورد ۱۶۳

فصل پنجم : مدلسازی سیستمهای صنعتی ۱۷۱

۵-۱- مقدمه ۱۷۱
۵-۲- انواع متغیرهای سیستم ۱۷۲
۵-۳- مدلسازی با توابع ریاضی ۱۷۴
۵-۳-۱- معادلات تفاضلی ۱۷۵
۵-۳-۲- معادلات دیفرانسیل ۱۷۶

۵-۴- مدل سازی گرافیکی ۱۷۷
۵-۴-۱- اتوماتا ۱۷۸
۵-۴-۲- شبکه‌های پتری ۱۸۱
۵-۴-۳- باند گراف ۱۸۴
۵-۴-۳-۱- اصول روش های باند گراف ۱۸۴
۵-۵- جمع بندی ۱۸۷
۵-۶- تمرین‌ها ۱۸۸

فصل ششم :نظریه زبانها و ماشینها وتئوری کنترل نظارتی ۱۹۱

۶-۱- مقدمه ۱۹۱
۶-۲- سیستمهای رویداد - گسسته ۱۹۲
۶-۳- زبان در سیستمهای رویداد-گسسته ۱۹۴
۶-۴- تعاریف و علائم زبان ۱۹۶
۶-۵- معرفی اتوماتای محدود و معین ۱۹۹
۶-۶- عملگر های موجود در یک زبان ۲۰۴
۶-۶-۱- عمگرهای روی زبان ۲۰۵
۶-۶-۲- نوشتن زبان با قاعده از روی مدل اتوماتا ۲۰۷
۶-۷- ترکیب همزمان دو اتوماتا ۲۰۷
۶-۸- کنترل نظارتی در سیستمهای رویداد-گسسته ۲۱۱
۶-۹- انواع پیشامدها ۲۱۲
۶-۹-۱- پیشامدهای قابل کنترل و غیرقابل کنترل ۲۱۳
۶-۹-۲- تعریف پیشامدهای قابل مشاهده و غیرقابل مشاهده ۲۱۴
۶-۱۰- کنترل پذیری در سیستمهای گسسته-پیشامد ۲۱۶
۶-۱۱- الگوریتم کومار ۲۲۱
۶-۱۲- پیاده‌سازی کنترل‌کننده ۲۲۳
۶-۱۲-۱-پیاده سازی با استفاده از زبان دیاگرام نردبانی ۲۲۴
۶-۱۲-۲-پیاده سازی با استفاده از زبان FBD ۲۲۵
۶-۱۳- کاربرد اتوماتا در تحلیل سیستمها ۲۲۵
۶-۱۳-۱- زنجیره مارکوف ۲۲۷

۶-۱۴- جمع بندی ۲۳۲
۶-۱۵- تمرینها ۲۳۳

فصل هفتم : شبکه‌های پتری ۲۳۵

۷-۱- مقدمه ۲۳۵
۷-۲- مدلسازی با شبکه‌های پتری ۲۳۶
۷-۳- تعاریف و ویژگیهای شبکه پتری ۲۴۰
۷-۳-۱- مکانها، گذرگاه‌ها و کمان‌ها ۲۴۰
۷-۳-۲- ماتریس تلاقی ۲۴۵
۷-۳-۳- توصیف ریاضی شبکه پتری ۲۴۸
۷-۳-۴- آتش کردن یک گذرگاه ۲۵۰
۷-۳-۵- جدول توصیف شبکه‌پتری ۲۵۲
۷-۳-۶ - ترکیب همزمان شبکه‌های پتری ۲۵۶
۷-۳-۷ -گراف قابل دسترس ۲۶۳
۷-۳-۸- گراف همپوشانی ۲۶۸
۷-۳-۹- انواع شبکه‌های پتری ۲۷۱
۷-۳-۱۰- زنده بودن و قفل‌شدگی ۲۷۶
۷-۳-۱۱- ناوردائی، ناوردائی جزئی و همبستگی ۲۷۸
۷-۴- تئوری کنترل نظارتی با استفاده از شبکه های پتری ۲۸۱
۷-۴-۱- کمانهای محدود کننده و مجوز دهنده ۲۸۱
۷-۴-۲- بیان ضوابط با استفاده از شبکه های پتری ۲۸۲
۷-۵- جمع بندی ۲۸۳
۷-۶- تمرین‌ها ۲۸۴

فصل هشتم : طراحی و بهبود کنترل‌کننده درسیستمهای رویداد-گسسته ۲۸۷

۸-۱- مقدمه ۲۸۷
۸-۲- طراحی کنترل کننده در حضور پیشامدهای غیر قابل کنترل ۲۸۸
۸-۳- اصلاح یا طراحی کنترل‌کننده برای پیشگیری از قفل‌شدگی ۲۹۴
۸-۴- طراحی کنترل‌کننده با بیان ضوابط در قالب قیود محدود کننده ۲۹۵
۸-۴-۱- نامعادلات محدودکننده ۲۹۵

۸-۴-۲- بیان ضوابط با استفاده از قیود محدود کننده ۲۹۷
۸-۴-۳- تحمیل نامعادلات محدودکننده بر سیستم توسط مکانهای کنترلی ۲۹۸
۸-۵- طراحی کنترل‌کننده برای جلوگیری از آتش کردن گذرگاهها در شرایط ۳۰۵
۸-۶- طراحی کنترل‌کننده با استفاده از تئوری ناحیه ۳۱۰
۸-۷- کنترل‌کننده بهینه ۳۱۴
۸-۷-۱- کنترل‌کننده دارای خصوصیت حداکثر درجه آزادی ۳۱۵
۸-۸- کاهش تعداد مکانهای کنترلی ۳۱۷
۸-۸-۱- کاهش تعداد نامعادلات با استفاده از خصوصیت ناوردایی جزئی ۳۱۷
۸-۸-۲- کاهش تعداد نامعادلات با استفاده از مفهوم ابر حالت ۳۲۰
۸-۸-۳- کاهش تعداد نامعادلات در شبکه های پتری غیر تک نشانه ۳۲۳
۸-۹- جمع‌بندی ۳۳۰
۸-۱۰- تمرینها ۳۳۰

فصل نهم :پیاده‌سازی کنترل‌کننده‌های طراحی شده با شبکه‌های پتری ۳۳۳

۹-۱- مقدمه ۳۳۳
۹-۲-پیاده‌سازی با زبان دیاگرام نردبانی ۳۳۳
۹-۳- مشخص کردن شرط آتش شدن گذرگاهها ۳۳۵
۹-۴-الگوریتم تبدیل مدل پتری به برنامه دیاگرام نردبانی ۳۳۶
۹-۵- زبان برنامه نویسی SFC ۳۴۱
۹-۵-۱- معرفی اجزای SFC ۳۴۳
۹-۵-۲- انواع بلوک عمل ۳۴۴
۹-۵-۳- انواع گذرگاه ۳۵۰
۹-۵-۴-شرط آتش شدن گذرگاه در SFC ۳۵۱
۹-۶- طراحی وپیاده سازی یک سیستم چراغ راهنما ۳۵۱
۹-۷- جمع بندی ۳۵۴
۹-۸- تمرینها ۳۵۴

علائم اختصاری ۳۵۷
فهرست منابع و مآخذ ۳۵۹
پیوست الف ۳۶۵

پیوست ب ۳۸۱
واژه نامه فارسی به انگلیسی ۳۹۹
واژه نامه انگلیسی به فارسی ۴۰۳
نمایه ۴۰۷

فصل اول

آشنایی با سیستم‌های صنعتی

۱-۱- مقدمه

بشر از دیرباز همواره برای رفع نیازهای خود به دنبال ساخت ابزار جدید بوده است. این احساسِ نیاز، موجب سیر تکاملی ساخت ابزار جدید شده و در نهایت انقلاب صنعتی را رقم زده است. در ابتدا تصور بشر بر آن بود که هرچه بیشتر از منابع و نیروی انسانی بهره بِبَرَد، امکانات گسترده‌تری را می‌تواند برای خود فراهم کند. اما با گذشت زمان، افزایش تقاضا و نیاز به تولید محصولات با کیفیت مرغوب، تحولی دیگر صورت گرفت. در سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۶۰ میلادی و در پی مشکلات پدید آمده در صنعت خودروسازی، اولین اثرات اتوماسیون صنعتی را می‌توان مشاهده کرد. در این زمان موازنه بین تقاضای مردمی و تولید خودرو دچار مشکل شد. چراکه که برای تغییر مدل محصول، کارخانه مدت نسبتاً طولانی از فعالیت محروم می‌شد و درنتیجه بازدهی کاهش پیدا می‌کرد. با ورود سیستم‌های اتوماسیون به چرخه صنعت شاهد تغییرات شگرفی شدیم. در این زمان برای افزایش بازدهی و کیفیت، سیستم‌های موجود خودکار شده و واژه اتوماسیون تحقق پیدا کرد. اتوماسیون در لغت به معنای عمل کردن بدون عامل خارجی و یا با کمترین تأثیر از عامل خارجی است و منظور از عامل خارجی همان انسان است. بنابراین در این

دوره با شکل جدیدی از سیستم‌ها روبرو هستیم. سیستم‌هایی که قابلیت تلفیق با یکدیگر و کنترل را دارند. برای بیان دقیق‌تر ابتدا با مفهوم سیستم آشنا می‌شویم. برای سیستم تعاریف مختلفی ارائه شده است که در تمامی آنها دو مشخصه اصلی وجود دارد. اول آنکه سیستم مجموعه‌ای از اجزاء است که این اجزاء با هم در ارتباط هستند و دوم آنکه یک سیستم دارای یک هدف یا وظیفه است که قصد اجرای آن را دارد.

با توجه به تعریف سیستم، دسته بندی‌های مختلفی را می‌توان برای سیستم‌های صنعتی در نظر گرفت. همچنین برای استفاده از سیستم‌های صنعتی باید بتوان آنها را بطور مناسب کنترل کرد. امروزه سیستم‌های مختلفی در انواع صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرد که در این فصل به معرفی و آشنایی مختصر با این سیستم‌های صنعتی می‌پردازیم.

۱-۲-تعریف سیستم و انواع آن

برای آشنایی با سیستم‌های صنعتی، در ابتدا نیاز است تا مفهوم سیستم را بشناسیم. بطور کلی سیستم را می‌توان اینگونه تعریف کرد [۱]:

تعریف ۱-۱- سیستم مجموعه‌ای از اجزاء است که برای رسیدن به یک هدف مشخص، با یکدیگر کار می‌کنند.

حال می‌توان گفت سیستم‌های صنعتی، به سیستم‌هایی گفته می‌شود که در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند. در یک سیستم، اطلاعات از بخش ورودی به سیستم داده می‌شود. صحت این اطلاعات به شناخت ما از سیستم بازمی‌گردد. هرچه شناخت سیستم دقیق‌تر باشد، کار کنترل و درنهایت عملکرد سیستم بهبود می‌یابد. این اطلاعات ارسالی توسط سیستم، مورد پردازش قرار گرفته و درنهایت سیستم نسبت به اطلاعات ورودی پاسخ می‌دهد. معمولاً اطلاعات ورودی به سیستم، فرمان‌های کنترلی است که در گذشته بوسیله نیروی انسانی به سیستم منتقل می‌شد ولی امروزه این کار به صورت اتوماسیون می‌باشد. مثالی برای درک بهتر این موضوع، بیان می‌شود.

مثال۱-۱: فرض کنید سیستم گرمایش موجود در خانه شما بخاری است. اگر گرما از دید شما زیاد باشد، کاری که انجام می‌دهید کاهش شعله بخاری است. درواقع سیستم

یک سیستم صنعتی از لحاظ فیزیکی، از قسمت‌های مختلفی تشکیل شده است که در این بخش بطور خلاصه به آنها اشاره کرده ودر فصل بعد، بطور مفصل آن‌ها را بررسی می‌کنیم.

۱-۵- ساختار یک سیستم صنعتی

در بخش‌های پیشین بیان کردیم که هر سیستم کنترل دارای سه بخش ورودی، پردازش و خروجی می‌با شد. بخش ورودی، و ضعیت فرآیند و ورودی‌های کنترلی اپراتور را تعیین کرده و می‌خواند. در این ق سمت، ح سگرهای موجود در سی ستم، کمیت‌های فیزیکی را به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل می‌کنند. در صنعت، حسگرهای زیادی برای پارامترهای فیزیکی نظیر دما، فشار، مکان، سرعت، شتاب و ... وجود دارند. خروجی مبدل‌ها ممکن است گسسته یا پیوسته باشد.

بخش خروجی یک سیستم کنترلی، فرمان‌های تولید شده را به فرآیند، اعمال می‌کند. در یک کارخانه عملگرهایی وجود دارند که این کار را انجام می‌دهند. از جمله این عملگرها می‌توان به پمپ‌ها، موتورها و رله‌ها اشاره کرد.

در بخش پردازش با توجه به ورودی‌ها، پا سخ‌ها و خروجی‌های لازم ساخته می شود. در این قسمت، کنترل یا به‌صورت سخت‌افزاری و یا به صورت برنامه‌پذیر قرار دارد. بنابراین در این بخش سیستم‌های الکترونیک یا کامپیوتر کنترل‌کننده قرار گرفته‌اند.

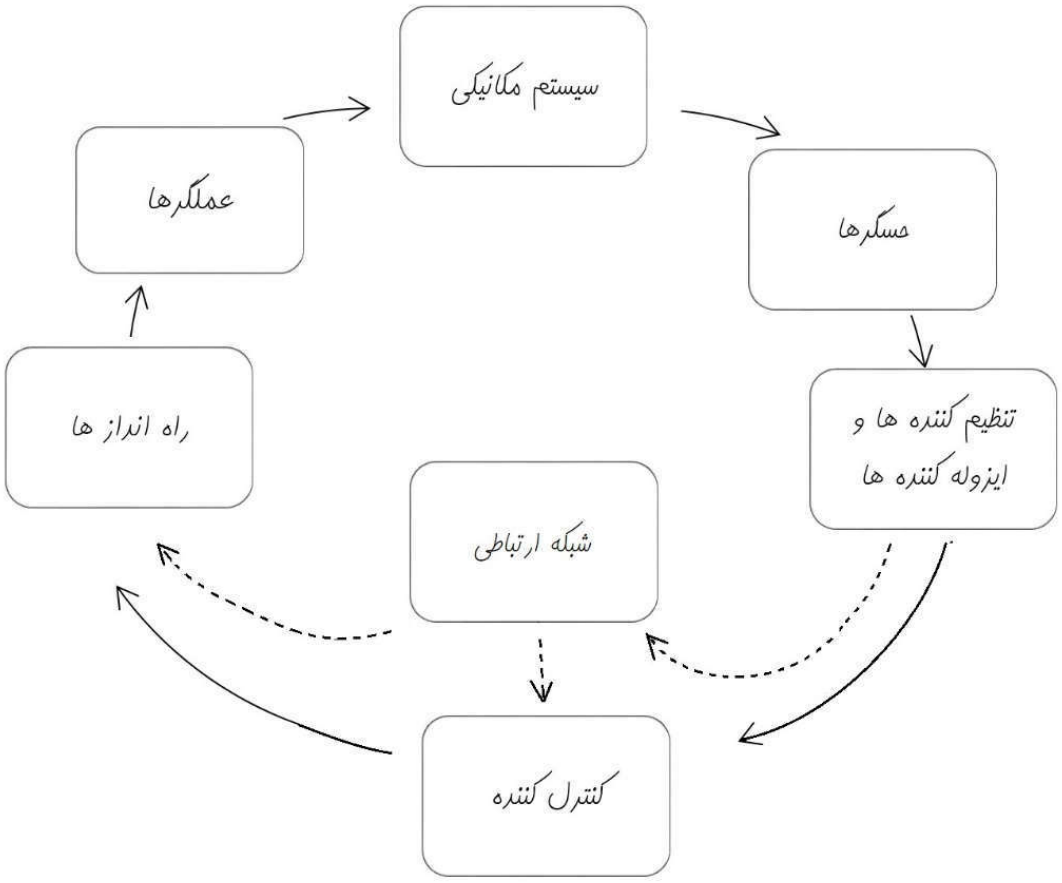
ممکن ا ست اجزا یک سیستم در یک مکان قرار ندا شته و در فوا صل دور از یکدیگر قرار گرفته باشند در این حالت می توان از یک ساختار شبکه‌ای جهت ارتباط حسگرها ، عملگرها(محرکها) و کنترل‌کننده ا ستفاده کرد. این شبکه می تواند یک شبکه محلی یا احیانا اینترنت با شد. اگر چه قابلیت اطمینان استفاده از اینترنت هنوز در حد استفاده در شبکه‌های صنعتی برای کنترل نمی‌باشد. با این حال با توجه به هوشمند شدن عملگرها وبعضا حسگرها، استفاده از ساختار کنترل شبکه‌ای، روز به روز در حال افزایش می‌باشد.

بطور دقیق‌تر اجزاء سیستم صنعتی را می‌توان به ۷ قسمت زیر دسته‌بندی کرد:

- حسگرها و میکروسوئیچ‌ها
- تنظیم‌کننده سیگنال

- سیستم‌های الکترونیک یا کامپیوتر کنترل کننده
- راه‌اندازها
- عملگرها
- شبکه ارتباطی
- سیستم مکانیکی

اگر بخواهیم جایگاه این اجزاء را بصورت دقیق‌تر بررسی کنیم، به بلوک دیاگرامی مشابه شکل ۱-۹ خواهیم رسید.



شکل ۱-۹ : اجزاء یک سیستم صنعتی

این بلوک دیاگرام بیان می‌کند که حسگرها وضعیت سیستم را رویت کرده و پس از تنظیم دامنه سیگنال‌های انالوگ و جداسازی سیگنال‌های دیجیتال، اطلاعات را به کنترل کننده که می تواند یک سیستم دیجیتالی یا آنالوگ باشد خواه مستقیم یا از

طریق یک شبکه می‌فرستند . قسمت کنترلی، سیگنال مناسب جهت خروجی‌ها را ساخته و مجددا یا مستقیم یا در بستر یک شبکه برای مدارات راه‌انداز ارسال می‌کند. در نهایت تو سط مدارات راه انداز این سیگنال برای عملگرها آماده می شود. در مرحله بعد، عملگر وارد عمل شده و روی فرآیند، فعالیت مربوطه را انجام می‌دهد. اتصال اجزا سیستم از طریق شبکه می تواند مسائلی مانند تاخیر، از دست رفتن اطلاعات و ناپایداری در کنترل را سبب شود. چنانچه زمان تاخیر در بازه زمان استاندارد یک زمان مرور[1] بوده وقابلیت اطمینان ارسال داده هم مناسب باشد در بحث مورد نظر در این کتاب خللی ایجاد نمی‌شود. لذا در این کتاب به آن پرداخته نشده است.

۱-۶- جمع‌بندی

آنچه در این فصل بدان پرداخته شد، مقدمه‌ای بر آشنایی با انواع سیستم و اجزاء آنها است. در این فصل دانستیم که به هر مجموعه‌ای از المان‌ها که در ارتباط با هم کار می‌کنند و هدفی مشخص را دنبال می‌کنند، سیستم گفته می‌شود. در ادامه با انواع سیستم‌ها آشنا شدیم. دانستیم که سیستم‌ها را می‌توان از نگاه‌های مختلف تقسیم‌بندی کرد از جمله: سیستم‌های خطی و غیرخطی، سیستم‌های متغیر با زمان یا ثابت با زمان، سیستم‌های پیوسته یا گسسته، سیستم‌های حلقه‌باز یا حلقه بسته، سیستم‌های تک ورودی و تک خروجی یا چند ورودی و چند خروجی. در ادامه مفهوم کنترل بیان شد. دیدیم که کنترل مبین فرآیندی است که طی آن یک متغیر(که در کنترل مرسوم معمولاً خطا می‌باشد) یا وضعیت سیستم، در یک مقدار(که معمولاً صفر است) یا شرایط مطلوب، قرار می‌گیرد. اهمیت وجود کنترل را بیان کردیم و گفتیم برای بهره‌وری بیشتر و بازدهی بالاتر یک سیستم، به دنبال کنترل آن هستیم. به دنبال آن انواع سیستم‌های کنترلی بیان شد. بطور کلی از دو دیدگاه مختلف می‌توان سیستم‌های کنترلی را دسته‌بندی کرد. در مهمترین دیدگاه، این دسته‌بندی شامل سیستم‌های کنترلی گسسته پیشامد، پیوسته و ترکیبی می‌باشد. در انتها بیان شد که آنچه بیشتر در این کتاب بدان

---

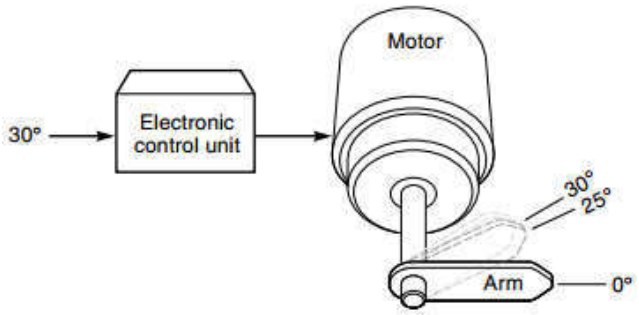
[1] Scane time

پرداخته می شود، سیستم‌های دینامیکی رویداد- گسسته می‌باشد. در فصل‌های بعدی، بطور دقیق به آشنایی با اجزاء مختلف سیستم‌های صنعتی می‌پردازیم.

۱-۷- تمرین‌ها

۱) سیستم را تعریف کرده و اجزاء آن را نام ببرید.

۲) سیستم شکل زیر را درنظر بگیرید. این شکل، یک موتورالکتریکی را نشان می‌دهد که وظیفه آن حرکت بازوی روبات است. آزمایش‌ها نشان می‌دهد که موتور در هنگام کار با سرعت زاویه‌ای $\frac{5^\circ}{s}$ بازوی روبات را حرکت می‌دهد. فرض کنید بخواهیم این بازو به اندازه ۳۰درجه، تغییر زاویه دهد. روش عملکرد این سیستم را توضیح دهید و بلوک دیاگرام آن را رسم کنید. اگر هوا سرد باشد، موتور نمی‌تواند دقیقاً در هر ثانیه، ۵درجه تغییر وضعیت داشته باشد و بجای رسیدن بازو به ۳۰درجه، به ۲۵ درجه می‌رسد و مقداری خطا وجود دارد. راه‌حل چیست؟



شکل۱-۱۰ :سیستم حلقه باز موتورالکتریکی و بازوی ربات

۳) مشخص کنید هرکدام از سیستم‌های زیر حلقه باز است یا حلقه بسته.

الف) تنظیم ارتفاع آب موجود در یک تانکر.

ب) خاموش کردن آبگرمکن بعد از ۱۰ دقیقه.

ج) کنترل یک دستگاه برش چوب برای برش طبق الگوی دریافتی.

۴) انواع دسته‌بندی سیستم را نام برده و زیرگروه‌های هر دسته‌بندی را بیان کنید.

۵) مفهوم کنترل چیست و ضرورت وجود آن چه می‌باشد؟

۶) انواع سیستم‌های کنترلی را نام برده و تعریف کنید.
۷) تفاوت سیستم‌های کنترلی آنالوگ و دیجیتال را شرح دهید.
۸) بلوک دیاگرام یک سیستم صنعتی را رسم کنید.

فصل دوم

آشنایی با اجزاء سیستم‌های صنعتی

۲-۱- مقدمه

یک سیستم صنعتی را می‌توان یک سیستم الکترومکانیکی نامید. زیرا تواماً دارای بخش الکتریکی و بخش‌های مکانیکی می‌باشد. درک عملکرد بخش‌های مکانیکی یک سیستم، ساده‌تر از بخش‌های الکتریکی است چراکه در بخش مکانیکی، عملکرد، قابل مشاهده است. در فصل قبل، بلوک دیاگرام یک سیستم صنعتی نشان داده شد. بخش‌های ذکر شده، درواقع همان بخش‌های الکتریکی و مکانیکی می‌باشند که درکنار یکدیگر سیستم صنعتی را شکل داده‌اند. در این فصل می‌خواهیم با نحوه عملکرد هرکدام از این قسمت‌ها بطور جداگانه آشنا شویم.

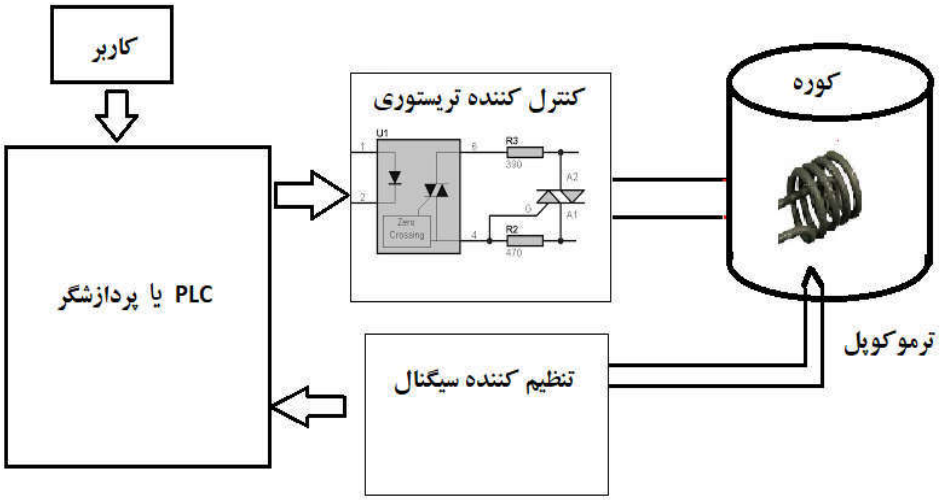
۲-۲- اجزاء یک سیستم صنعتی

بار دیگر، به بلوک دیاگرام سیستم صنعتی شکل ۱-۹ بنگرید. همانطور که دیدیم، اجزاء این سیستم صنعتی را می‌توان به شش یا هفت دسته؛ حسگرها ، مدارات تنظیم-کننده، کنترل‌کننده یا پردازشگر، مدارات راه‌انداز، عملگرها، شبکه و قسمت مکانیکی تقسیم بندی کرد. برای استفاده بهینه از سیستم‌های صنعتی لازم است تا شناخت مناسبی

از این اجزاء حاصل شود. موضوع طراحی اجزاء مکانیکی، مورد بحث این کتاب نمی باشد. اما معرفی مختصری از سایر اجزاء یک سیستم صنعتی در این فصل و فصل بعد انجام می‌شود. برای اطلاعات بیشتر و شناخت کامل‌تر می‌توان به مراجع تخصصی مراجعه نمود.

در ابتدا با مثالی ساده با اجزاء یک سیستم صنعتی آشنا می‌شویم.

مثال ۲-۱: شکل ۲-۱ را در نظر بگیرید. این شکل یک سیستم کنترل دمای کوره را نشان داده که دارای یک عملگر با عنوان المنت حرارتی، یک مجموعه تریستور به همراه مدار راه‌انداز آن برای کنترل توان المنت، یک ترموکوپل جهت اندازه‌گیری دما، یک مدار الکترونیکی جهت تبدیل خروجی ترموکوپل به ولتاژ مورد استفاده میکرو یا PLC و یک قسمت پردازشگر جهت دریافت پروسه دمایی از کاربر و اجرای آن می‌باشد.



شکل۲-۱: یک سیستم نمونه صنعتی

در قسمت‌های بعدی نگاهی دقیق‌تر به انواع حسگرها، محرک‌ها، مبدل‌ها ، راه‌اندازها و مدارات تنظیم کننده سیگنال می‌اندازیم.

۲-۳- حسگرها[1] و انواع آن

حسگر، آنچنان که از نامش پیداست، حس‌کننده‌ای است که کمیت‌های فیزیکی نظیر فشار، حرارت، رطوبت، دما و ... را به کمیت‌های الکتریکی پیوسته (آنالوگ) یا

[1] Sensors

غیرپیوسته (دیجیتال) تبدیل می‌کند. درواقع یک وسیله الکتریکی است که تغییرات فیزیکی یا شیمیایی را اندازه‌گیری کرده و آن را به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌کند.

این ابزار، به شکل‌هایی مختلف در زندگی روزمره ما هم استفاده می‌شود. برای نمونه به بدن خود انسان بنگرید. فرض کنید براثر برخورد سطح پوست، با جسم تیزی همچون چاقو، دست دچار آسیب می‌شود. در حالت عادی، اعصاب سطح پوست که دچار آسیب شده است، همانند حسگر عمل کرده و این آسیب را به مغز گزارش می‌دهد. ما این گزارش را با درد احساس می‌کنیم. این مثال، دید واضحی نسبت به حسگر به ما می‌دهد. فرض کنید ظرفی داریم که دیواره آن تاریک است و درون آن به سختی دیده می‌شود و ما می‌خواهیم داخل این ظرف را از مایعی پر کنیم. برای اطمینان از آنکه ظرف از مایع مورد نظر پر شده است، می‌توانیم از دست خودمان استفاده کنیم. دستمان را درون ظرف قرار می‌دهیم. هرگاه دستِ ما به سطح آب رسید و خیس شد، ظرف از مایع پر شده است. بنابراین خیسی دست ما بعنوان یک حسگر عمل می‌کند. می‌توانید نمونه‌های دیگری را مثال بزنید.

با نگاهی دوباره به بلوک دیاگرام مدل سیستم صنعتی، خواهید دید که حسگر و مبدل، یکی از اجزا آن است. حسگرها انواع مختلفی هستند. از جمله مهمترین آنها می‌توان به میکروسوئیچ‌های حدی، حسگرهای دما، فشار، حرکت و ... اشاره کرد. در ادامه این فصل، به بررسی مختصری از آن می‌پردازیم. برای اطلاعات بیشتر در این زمینه می توانید به مرجع [۲] مراجعه نمائید. آنچه حائز اهمیت است، دانستن این نکته می‌باشد که تمامی نمونه‌بردارها و مبدل‌ها همچون خبرنگار رفتار می‌کنند و دارای دو ویژگی مهم هستند. هر حسگر و مبدل، نباید اثری روی خروجی داشته باشد و نه اثر بارگذاری روی سیگنال ورودی. مبدل یا حسگر، علاوه بر نداشتن اثر بارگذاری روی خروجی و سیگنال، دارای ۲ دسته مشخصه استاتیکی و دینامیکی نیز می‌باشد که به بررسی آن می‌پردازیم.

۲-۳-۱- مشخصات استاتیکی

این مشخصه رابطه حالت پایدار بین پارامتر فیزیکی در ورودی و مقدار سیگنال الکتریکی در خروجی می‌باشد. مشخصات استاتیکی حسگر درواقع سازنده را ملزم به

تنظیم حسگر یا مبدلِ ساخته شده می‌کند که بر مبنای رفتار آن، جدولی در اختیار استفاده کننده قرار می‌گیرد. این جدول شامل موارد زیر است:

- دقت[1]: اولین مشخصه استاتیکی یک حسگر، دقت است که بیانگر مشخصه‌ای از مبدل می‌باشد که برمبنای آن، ویژگی‌های مبدل در شرایط دامنه کامل تغییرات بیان می‌شود. به مشخصه استاتیکی دقت می‌توان واژه‌هایی نظیر خطای مطلق[2] یا درصد خطای مقیاس کامل را نسبت داد. بنابراین سازنده باید برای هر مبدل، یک کمیت تحت عنوان دقت مشخص نماید.

مثال۲-۲: یک حسگر اندازه‌گیری وزن دارای ظرفیت ۳۰ کیلوگرم در حداکثر حالتش است. روی بدنه این حسگر، دقت ۰٫۱٪ نوشته شده است. حداکثر خطا در آن چقدر است؟

جواب:

$$0.1 \times \frac{1}{100} \times 30kg = 0.03kg = 30g$$

این حسگر در حداکثر مقدار اندازه‌گیری خود (۳۰کیلوگرم)، حداکثر ۳۰ گرم خطا دارد.

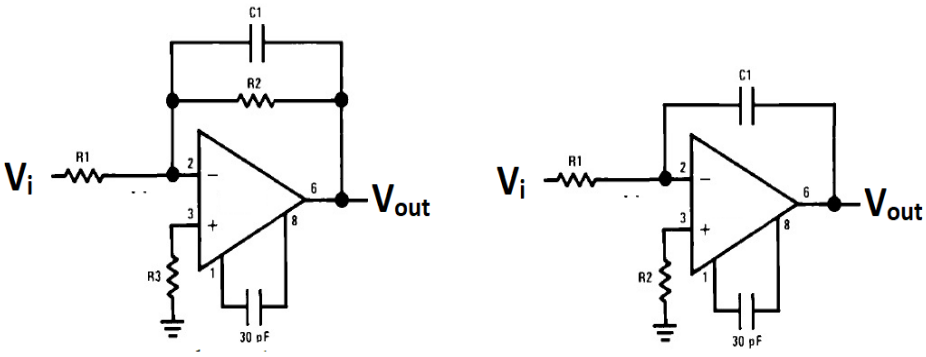
- تفکیک پذیری[3]: دومین مشخصه مبدل‌ها و حسگرها، تفکیک‌پذیری یا رزولو شن می‌با شد. حداقل تغییری که یک مبدل می‌تواند حس کند و آن را به خروجی ببَرَد، تفکیک‌پذیری نام دارد. درواقع در سیستم‌های دیجیتال، وضوح، معمولاً به کم‌اهمیت‌ترین بیت ارجاع داده می‌شود، زیرا این مقدار، کمترین مقدار تغییر ممکنِ قابلِ گزارش است. برای درک بهتر، می‌توان اینگونه بیان کرد که بیشینه مقدار یک عدد ۸ بیتی، مقدار دهدهی ۲۵۵ است. بدین معنا که ۲۵۵ "گام" امکان‌پذیر گوناگون برای ولتاژ خروجی، وجود دارد. تفاوت میان گام‌ها در کم‌اهمیت‌ترین بیت است. باتوجه به اینکه کوچکترین مقدار مجاز افزایش، یک گام ا ست، و ضوح، ۱ ق سمت از ۲۵۵ یا ۰/۳۹٪ ا ست این و ضوح برای بسیاری از کابردها منا سب ا ست، با این وجود اگر به و ضوح بیشتری نیاز

---

[1] Accuracy
[2] Absolute Error
[3] Resolution

۲-۱۱-۵- مدار مبدل ولتاژ و جریان

سیگنال جابجا شده بین دو زیر سیستم صنعتی می‌تواند از نوع ولتاژ یا جریان باشد. اگر چه در نگاه اولیه کار با ولتاژ راحت‌تر به نظر می‌رسد اما استفاده از جریان در این تبادل سیگنال دارای مزایایی می‌باشد:



الف) مدار انتگرال گیر ایده‌ال ب) مدار انتگرال گیر عملی

شکل ۲-۴۷ : مدار انتگرال‌گیر

- با توجه به امپدانس بالای سیستم‌های جریانی، مقاومت مسیر تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر روی سیگنال انتقال یافته ندارد. و طولانی یا کوتاه بودن فاصله انتقال اثر قابل ملاحظه‌ای ندارد.
- امکان اضافه شدن نویز به سیگنال انتقالی کمتر می‌باشد. از آنجایی‌که سیگنالهای القا شده بر روی مدارهای الکترونیکی بیشتر به صورت ولتاژ ظاهر می شود، این القا نقش موثر در تغییر سیگنالهای انتقال یافته ندارد.
- قابلیت اطمینان انتقال سیگنال بیشتر است.از آنجاییکه در حالت جریان سیگنال بین ۴ تا ۲۰ میلی آمپر تغییر می کند به راحتی می‌توان قطع بودن مسیر را از صفر بودن سیگنال تشخیص داد. و این موضوع به اطمینان از حضور سیگنال درست کمک می‌کند.

خیلی از سیستم‌های کنترل صنعتی با توجه به مزایای استفاده از سیستم جریانی به جای ولتاژی، از قطعات و ماژولهایی استفاده می کنند که با جریان کار می‌کنند. اما خیلی از حسگرها و ماژول دارای خروجی ولتاژی هستند و برای اینکه بخواهیم آن را به سیستم-های جریانی مانند PLC متصل نماییم نیازمند یک تبدیل ولتاژ به جریان هستیم. هم چنین استفاده از این تبدیل باعث می شود که سیگنال دریافتی دارای خطای کمتری نسبت به حالت ولتاژی باشد. برای این منظور می‌توان با استفاده از یک مدار الکترونیکی این کار را انجام داد. مدارات با خروجی جریان را می‌توان به دو دسته بار شناور و بار زمین شده تقسیم کرد. شکل ۲-۴۸ دو نمونه از این مدارها را نمایش می دهد. در مدار ۲-۴۸ الف بار R_L قسمتی از مدار است و هیچ یک از دو سر بار به زمین وصل نشده است. در این مدار ولتاژ دو پایه تقویت کننده عملیاتی برابر بوده و در نتیجه داریم:

$$I_O = \frac{V_i}{R_1} \qquad (۲۵-۲)$$

می بینیم که این مقدار تابعی از مقاومت بار نبوده ودر نتیجه خروجی ما از جنس جریان خواهد بود. برای مدار ۲-۴۸ ب نیز داریم:

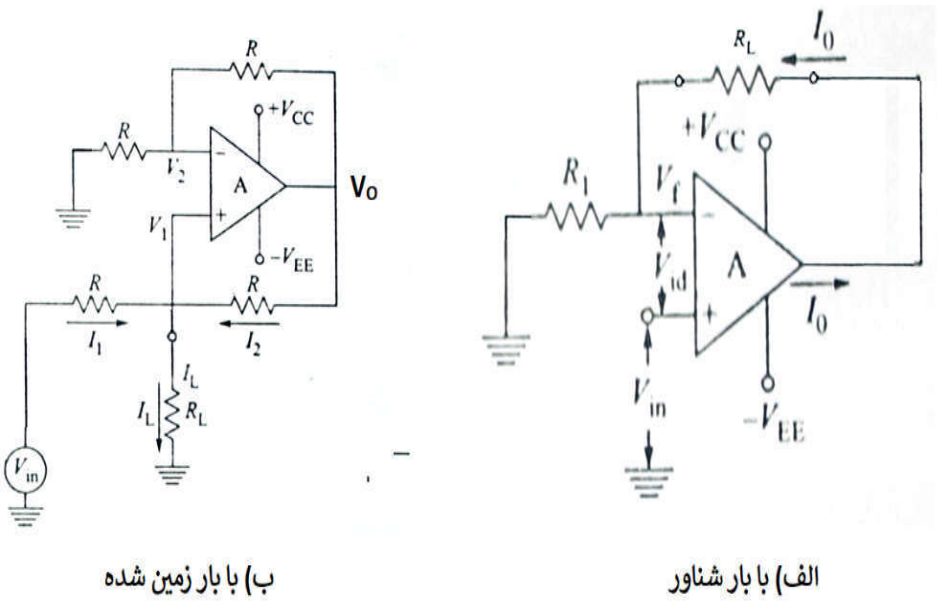
$$I_1 = \frac{V_i - V_1}{R}$$

$$V_O = 2 \times V_1 \qquad V_1 = V_2$$

$$I_2 = \frac{(2V_1 - V_1)}{R} = \frac{V_1}{R}$$

$$I_L = I_1 - I_2 = \frac{V_i - V_1}{R} - \frac{V_1}{R} = \frac{V_i}{R}$$

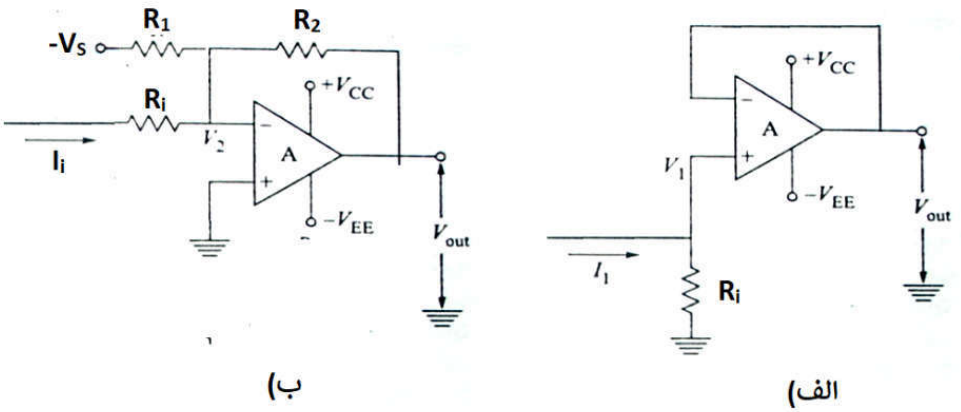
در نتیجه در این مدار نیز I_L تابع مقاومت R_L نبوده و در نتیجه خروجی مدار جریان می‌باشد. مزیت این مدار نسبت به مدار۲-۴۸ الف اینست که یک سر بار به زمین وصل شده است.



ب) با بار زمین شده الف) با بار شناور

شکل ۲-۴۸ : مبدل ولتاژ به جریان [۸]

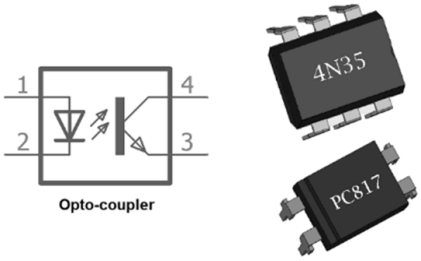
مدارهای فوق فقط کار تبدیل ولتاژبه جریان را انجام می‌دهند ولی افست ۴ میلی آمپر را به سیگنال اضافه نمی کنند. برای این کار لازم است تا ابتدا به سیگنال به اندازه ۲۵ درصد اضافه شده یعنی سیگنال ۰ تا ۱۰ ولت به سیگنال ۲,۵ ولت تا ۱۲,۵ ولت تبدیل شده و سپس به جریان تبدیل شود. بر عکس کاربرد فوق در مواقعی لازم است تا یک سیگنال جریان را به ولتازتبدیل کنیم این کار به راحتی با قرار دادن یک مقاومت در مسیر جریان قابل انجام می‌باشد. ولی چنانچه بخواهیم اثر بارگذاری را حذف کنیم می‌توان از یک مدار بافر استفاده کرد. (شکل ۲-۴۹ الف) همچنین برای حذف جریان ۴ میلی آمپر لازم است تا از مدار تقویت کننده عملیاتی با قابلیت جمع‌کنندگی سیگنال که همان تقویت کننده با بهره منفی می‌باشد استفاده کرد. البته توجه داشته باشید که در این حالت مدار دارای بهره منفی است. (شکل ۲-۴۹ ب)



شکل۲-۴۹ : مبدل جریان به ولتاژ [۸]

۲-۱۱-۶- مدارتبدیل و جداسازی سیگنالهای دیجیتال

بعضی از اطلاعات دریافتی از سیستم‌های صنعتی از طریق کلیدهای روشن-خاموش دریافت می‌شود، در مواقعی لازم است تا این سیگنالها در سیستم کنترل کننده کامپیوتری یا الکترونیکی دریافت شود. از آنجا که معمولا در داخل سیستم‌های صنعتی موتورهای الکتریکی و سایر عملگرهای ولتاژ بالا وجود دارد لازم است تا سیگنالهای دریافتی از آنها مستقیما به بردهای الکترونیکی وصل نشود. در این مواقع از مدارات جدا کننده استفاده می شود. المان الکتریکی مورد استفاده برای این منظور از اتصال دهنده نوری(اپتوکوپلر)[1] یا جدا کننده نوری(اپتو ایزولاتور)[2] نامیده می شود (شکل۲-۵۰).



شکل ۲-۵۰ : اتصال دهنده نوری

[1] Optocoupler

[2] Opto-Isolator

۶) از یک RTD پلاتینیومی ۱۰۰ اهمی برای اندازه‌گیری دمای یک کوره استفاده شده است. اگر مقاومت کنونی حسگر ۱۲۵ اهم باشد، دمای کوره چقدر است؟

۷) می‌خواهیم با استفاده از یک حسگر فشار، ارتفاع مایع موجود در یک مخزن را اندازه‌گیری کنیم. چگالی مایع $۵۰۰۰ {}^{N}/_{m^3}$ است. درصورتی که فشار خوانده شده توسط حسگر ۱۰۰۰۰ پاسکال باشد، ارتفاع مایع را اندازه‌گیری کنید.

۸) از یک صفحه اریفیس برای اندازه‌گیری دبی جریان آب در لوله‌ای با قطر ۳ اینچ استفاده شده است. قطر سوراخ صفحه اریفیس ۲,۵ اینچ می‌باشد. اختلاف فشار در دوطرف این صفحه ۰/۲psi است. دبی جریان را بصورت تقریبی محاسبه کنید.

۹) اصول کار لوله ونتوری را توضیح دهید.

۱۰) مطلوب است طراحی یک مدار با استفاده از تقویت کننده ابزار دقیق که بتواند سیگنال الکتریکی مناسب بین ۰ تا ۵ ولت را برای یک لود سل دارای ۴ کرنش سنج با مقاومت ۱ کیلو اهم و دامنه تغییرات ۴ درصد فراهم کند. اگر این لودسل متعلق به یک ترازوی ۲۵ کیلویی با دقت ۱۰ گرم باشد دقت اندازه‌گیری مقاومت کرنش سنجها چه مقدار باید باشد.

۱۱) مطلوب است طراحی یک مدار جهت تبدیل سیگنال -۵ تا +۵ ولت به ۴ تا ۲۰ میلی آمپر.

۱۲) مطلوب است بررسی و نحوه عملکرد جریان هرزگردی در مدارات پل تمام تریستوری و نیمه تریستوری

۱۳) مطلوب است شمای سخت افزاری مدار یک راه انداز موتور DC با قابلیت چپگرد و راستگرد با استفاده از یک سیستم میکروکنترلری.

فصل سوم

کنترل‌کننده‌های منطقی قابل برنامه-ریزی

۳-۱- مقدمه

همانطور که در ساختار سیستم‌های صنعتی دیدیم، یکی از اجزای اصلی این سیستم‌ها، کنترل کننده می‌باشد. با پیشرفت تکنولوژی و نیاز به انجام کارهای دقیق و پیچیده، پروسه طراحی و ساخت تابلوهای کنترل صنعتی با مشکلات زیادی روبرو شد. حجم این تابلوهای کنترل بسیار بزرگ شده وکار طراحی وتعمیر ونگهداری آن نیز با مشکلات جدی روبرو گردید. ظهور کامپیوتر وپردازنده، راه را برای استفاده از یک وسیله جدید درکنترل سیستم‌های‌صنعتی هموار کرد.

درابتدا پردازنده‌ها بیشتر در کارهای محاسباتی مورد استفاده قرار می‌گرفتند وباتوجه به هزینه‌های زیاد آن، استفاده از پردازنده‌ها درهرکاری ممکن نبود اما با پیشرفت علم وتکنولوژی هزینه ساخت پردازنده‌ها کاهش یافته و استفاده از آن در کارهای صنعتی امکان‌پذیر شد.

دستگاهی که جهت کنترل سیستم‌های صنعتی مورد استفاده قرارگرفت در قالب نامی جدید با عنوان کنترل کننده منطقی قابل برنامه‌ریزی[1](PLC) به بازارا عرضه شد

---

[1] Programmable Logic Controller

که در این فصل ضمن معرفیPLC به بیان مزیت‌ها و قابلیت‌های آن جهت استفاده در طراحی کنترل‌کننده خواهیم پرداخت.

۳-۲- تفاوت کامپیوترهای شخصی وPLC

شاید این سوال مطرح باشد که چرا از کامپیوتر بجای PLC در صنعت استفاده نمی‌شود. پاسخ این سوال تاحدی روشن است. اگر دقت کنیم متوجه می‌شویم که وسایل ارتباطی در کامپیوتر به گونه‌ای طراحی شده است که قابلیت استفاده توسط فرد را مهیا می‌کند. بطور مثال در کامپیوتر فرمان‌ها توسط صفحه کلید یا موشواره اعمال شده وخروجی سیستم بر صفحهٔ نمایش یا چاپگر قرار می‌گیرد. اما در یک سیستم صنعتی ورودی وخروجی‌ها به گونه‌ای هستند که مورد استفاده سیستم صنعتی قرار گیرد. در سیستم صنعتی فرمان‌ها توسط سیگنال‌های روشن وخاموش ویا مقادیر پیوسته ولتاژ و جریان صادر شده و خروجی‌ها نیز با فرمانهای روشن وخاموش و مقادیرپیوسته ولتاژ و جریان به سیستم اعمال می‌شوند. علاوه بر این کامپیوترهای شخصی جهت استفاده در ادارات، منازل و دانشگاها که غالباً محیط‌های کم نویز هستند استفاده می‌گردد. اما محیط‌های صنعتی غالباً محیط‌های آغشته به نویز شدید می‌باشند. به همین جهت سیستمی هم که در آنجا مورد استفاده قرار می‌گیرد باید از ایمنی بالایی در مقابل نویز برخوردار باشد. تفاوت دیگری که بین یک کامپیوتر شخصی وPLC وجود دارد در این است که برنامه‌های اجرا شده در کامپیوترشخصی ممکن است دائماً در حال تغییر باشد واستفاده کننده از آن، با توجه به نیاز، برنامه‌های مختلفی را در آن اجرا کند اما یک PLC اگر چه باید دارای این قابلیت باشد که برنامه داخل آن تغییر کند اما معمولاً پس از برنامه‌ریزی، نیاز به تغییرات مداوم ندارد و درنتیجه هریک از این سیستم‌ها باید نیازهای خود را برآورده کنند. تفاوت دیگری که بین یک کامپیوتر شخصی وPLC میتوان اشاره کرد در این است که ارتباط کامپیوتر با ورودی و خروجی‌ها معمولاً ارتباط الکتریکی نیست، بعبارت دیگر، ارتباط مطمئنی می‌باشد. این در حالی است که در سیستم‌های صنعتی چنین اتفاقی نمی‌افتد و لازم است پیش‌بینی‌های لازم برای داشتن ارتباط ایمن برقرار شود.

۳-۳- چرا کامپیوترهای صنعتی را PLC می‌نامند؟

همانطور که قبلاً نیزگفته شـــدPLC مخفف عبارات کنترل‌کننده‌های منطقی قابل برنامه‌ریزی است. از آنجا که پردازنده‌ها نقش کنترل سیستم را در صنعت بر عهده دارند به آنها کنترل کننده[1] گفته می شود. همچنین از مزیتهای مهم PLCقابلیت برنامه‌ریزی آن است و می‌توان آن را متناسب با نیاز هر پروسه صنعتی برنامه‌ریزی کرد. بنابراین به آن قابل برنامه‌ریزی[2] گفته می‌شود چرا که PLC بعنوان یک وسیله عمومی ساخته شده و پس از برنامه ریزی، در یک ســیســتم خاص مورد اســتفاده قرار می‌گیرد و با توجه به اینکه PLCها در ابتدا فقط قادربه دریافت فرمان‌های روشن وخاموش و اعمال فرمان‌های روشن و خاموش و انجام عملیات منطقی بودند به اسم آن اصطلاح منطقی[3] هم اضافه شده است. البته آنچه در حال حاضر بعنوان PLC مورد استفاده قرار می‌گیرد نه تنها قادر به پردازش عملیات منطقی هستند بلکه قادر به دریافت سیگنال‌های آنالوگ وانجام عملیات مختلف ریاضی نیز می‌باشند. سیستمهای فعلی در اصل کنترل‌کننده‌های قابل برنامه‌ریزی[4] (PC) هستند اما با توجه به پیشینه تاریخیPLC ، به این سیستمها نیز PLC گفته می‌شود.

۳-۴- تاریخچه PLC

نخستین گام‌ها برای ساخت و استفاده از PLC در اواخر دهه ۱۹۶۰ و اوایل دهۀ ۱۹۷۰ میلادی برداشته شد. شرکت مُدیکان[5] از اولین شرکت‌هایی بود که اقدام به ساخت PLC کرد و در ادامه شرکت‌های مختلفی به تکاپو افتاده و با فاصله کمی اقدام به ساخت PLC کردند که می توان به آلن برادلی[6]، جنرال الکتریک[7]، زیمنس[8] ،اُمرون[9] و... اشاره کرد. علاوه بر شرکت‌های یادشده، در داخل کشور هم شرکتهایی اقدام به طراحی وساخت PLC نموده‌اند که می‌توان از شرکت‌های کنترنیک، فراروش، صنعت فردا و ... نام برد. اگر

---

[1] Controller
[2] Programmable
[3] Logic
[4] Programmable Controller
[5] MODICAN
[6] Allen Bradley
[7] General Electric
[8] SIEMENS
[9] OMRON

چه این PLC ها قادر به رقابت با نمونه‌های خارجی خود نیستند اما در برخی موارد می‌توان با اعمال شرایط از آنها استفاده کرد.

اولین نمونه‌های PLC تنها ورودی و خروجی‌های دیجیتال و دستورات منطقی ساده را انجام می‌داد. اما بعد از گذشت زمان، بتدریج نمونه‌های کاملتری نیز عرضه شد که تعداد ورودی و خروجی‌های بیشتری داشته و از ورودی و خروجی‌های آنالوگ ودستورات پیچیده‌تری بهره‌گیری می‌کرد. قدمهای بعدی امکان تشکیل شبکه‌هایی از PLC های کوچک برای کنترل پروسه‌های بزرگ و بکارگیری کارتهای هوشمند ورودی خروجی و کارت ارتباطی را فراهم ساخت.

در حال حاضر از کوچکترین موارد کنترلی تا بزرگترین خطوط تولید توسط PLC ها با اندازه‌های مختلف، کوچک، متوسط و بزرگ جهت کنترل، استفاده می شود. همچنین PLCها با بهره گیری از زبانهای سطح بالا، پردازش موازی، ایجاد شبکه‌های محلی، سهم عمده‌ای در کنترل سیستمهای صنعتی برعهده دارند.

۳-۵- قابلیتها و امکانات مورد نیاز یک PLC

ازآنجا که PLCها اصولاً سیستم‌های کامپیوتری هستند که برای کار در محیطهای صنعتی طراحی شده‌اند و باید توان جایگزینی در سیستم‌های قدیمی کنترلی را دارا باشند، لذا قابلیتها و امکاناتی را برای PLCها باید در نظر گرفت تا این جایگزینی به درستی انجام شود. دراین بخش به این موارد اشاره کرده و شرح مختصری از هریک را ارائه خواهیم کرد.

۳-۵-۱- ایمنی نسبت به نویز

محیط صنعتی به دلیل وجود دستگاه‌های مختلف که با ولتاژها و جریان‌های بالا کار می‌کنند و بر محیط اطراف خود تأثیرات الکترومغناطیسی گسترده‌ای می گذارند، محیطی آلوده به نویز تلقی می‌شود. بدیهی است برای آنکه PLC قادر به کنترل مناسبی بر ورودی سیستم باشد، لازم است نویزپذیری آن به شدت پایین باشد. بنابراین یکی از ویژگی‌های PLC تأثیرپذیری پایین از نویزهای محیط صنعتی است. لذا در طراحی و

پیاده‌سازی آن باید نکاتی را در نظر گرفت که تاثیر پذیری این سیستم‌های دیجیتالی از نویز بسیار پایین باشد. همچنین از آنجا که سیستم‌ها دیجیتالی می‌باشند تأثیر نویز ممکن است سبب تغییر ناخواسته یک خروجی شده و سیستم را دچار اختلال اساسی کند. به همین جهت ایمنی نسبت به نویز در این سیستم‌ها از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد.

۳-۵-۲- ساختمان مدولار[1]

همانطورکه قبلاً هم اشاره شد، PLC یک سیستم عمومی است که انتظار می‌رود از عهدهٔ کنترل سیستم‌های مختلف برآید. ساختار مدولار این امکان را فراهم می‌آورد که کم و زیاد کردن واحدها، ایجاد تغییرات و انعطاف در برابر سیستم‌های مختلف بسادگی امکان‌پذیر باشد در PLC های جدید با توجه به این ساختار مدولار می‌توان براحتی و با هزینه کم واحدهای مختلف زیررا به سیستم اضافه کرد :

- واحد ورودی دیجیتال[2]
- واحد ورودی آنالوگ[3]
- واحد خروجی دیجیتال[4]
- واحد خروجی آنالوگ[5]
- واحد تغذیه
- و سایر واحدهای کنترلی خاص

۳-۵-۳- سطوح سیگنال استاندارد

ساختمان مدولار PLC و امکان گسترش و اضافه کردن مدول‌های مختلف، باعث ایجاد نیاز به یک استاندارد برای سطوح ولتاژ و اتصالات می‌گردد تا بهنگام اتصال و ترکیب واحدهای مختلف با یکدیگر، مشکلی بوجود نیاید و با هم سازگارباشند. در اتصال

---

[1] Modular
[2] Digital Input
[3] Analog Input
[4] Digital Output
[5] Analog Output

۳) می‌خواهیم برنامه کنترلی یک چراغ راهنما عابر پیاده فرمانپذیر را طراحی کنیم سیستم به این صورت عمل می‌کند که هرگاه عابر پیاده قصد عبور از خیابان را داشت کلیدی را فشرده و چراغ راهنما برای اتومبیل‌ها ابتدا زرد (۵ ثانیه) و سپس قرمز می‌شود (۳۰ ثانیه)، همچنین ۵ ثانیه بعد از قرمز شدن چراغ برای ماشین‌ها، چراغ عابر پیاده به مدت ۲۰ ثانیه سبز می‌شود سپس قرمز شده و ۵ ثانیه بعد چراغ مربوط به ماشینها سبز می‌شود. اگر چنانچه بعد از قرمز شدن چراغ عابر پیاده مجدداً درخواستی اعمال شود ۴۰ ثانیه بعد اجرا خواهد شد (یعنی حداقل ۳۵ ثانیه چراغ اتومبیل‌ها سبز خواهد بود) مطلوب است برنامه دیاگرام نردبانی این سیستم.

۴) مطلوب است برنامه دیاگرام نردبانی یک کنترل کننده درب اتوماتیک.

فصل چهارم

آشنائی با تئوری گراف

۴-۱- مقدمه

همواره بشـــر به دنبال یافتن راهی برای زندگی راحت‌تر و بهتر می‌باشـــد. در طبیعت سیستم‌های بسیاری وجود دارد که هرکدام ویژگی‌های خاص خود را دارا هستند. برای رســـیدن به این مهم، به دنبال راهی برای کنترل ســـیســـتم‌های پیرامون خود هســـتیم. روش‌های مختلفی برای کنترل سیستم‌ها وجود دارد ولی آنچه که بدان باید توجه کرد، چگونگی کنترل سیستم است. برای این منظور، در مرحله اول باید سیستم را به خوبی شـــناخت تا بتوان مدلســـازی و به تَبَع آن، کار کنترلی را انجام داد. یکی از بهترین روش‌های مدلسازی شناخته شده، استفاده از گراف می‌باشد چراکه در این روش، المان‌ها بطور ملموسی که شیده شده و از لحاظ دیداری نیز برخلاف دیگر روش‌های مدل سازی، تک‌تک اجزاء قابل درک می‌باشـــند. به همین دلیل، اســـاس روش‌های مدل‌ســـازی مورد استفاده در این کتاب بر پایه تئوری گراف[1] بنا نهاده شده است. بدین منظور، به معرفی مختصـــری از تئوری گراف می‌پردازیم. علاقه‌مندان جهت اطلاعات بیشـــتر می توانند به مراجع [۱۲] و [۱۳] مراجعه نمایند.

---

[1] Graph Theory

۴-۲- کاربرد گراف

از گراف‌ها برای حل مسائل زیادی در ریاضیات و علوم کامپیوتر استفاده می‌شود. ساختارهای زیادی را می‌توان به کمک گراف‌ها به نمایش درآورد. برای مثال، از گراف‌ها در شبکه‌ها، طراحی مدارهای الکتریکی، اصلاح هندسی خیابان‌ها برای حل مشکل ترافیک و.... می‌توان استفاده کرد. مهم‌ترین کاربرد گراف، مدل‌سازی پدیده‌های گوناگون و بررسی بر روی آنهاست. با گراف می‌توان به راحتی حتی یک نقشه بسیار بزرگ یا شبکه‌ای عظیم را در درون یک ماتریس کوچک به نمایش درآورد. در این قسمت به بررسی گراف‌هایی می‌پردازیم که می‌توان آن‌ها را به نحوی روی صفحه کشید که یال‌ها، جز در محل رأس‌ها یکدیگر را قطع نکنند. این نوع گراف در ساخت جاده‌ها و حل مسأله کلاسیک و قدیمی سه خانه و سه چاه آب به کار می‌رود. یکی دیگر از کلمه‌های مهمی که در این تئوری استفاده می‌شود واژه درخت[1] است. درخت و ماتریسِ[2] درخت در رشته‌های مختلفی مانند شیمی، مهندسی برق و علم محاسبه کاربرد دارد. اولین بار کیرشهف[3] در سال ۱۸۴۷ میلادی هنگام حل دستگاه‌های معادلات خطی مربوط به شبکه‌های الکتریکی، درخت‌ها را کشف و نظریه درخت‌ها را مطرح کرد. کیرشهف در سال ۱۸۵۷ میلادی درخت‌ها را در ارتباط با شمارش ایزومرهای مختلف هیدروکربن‌ها کشف کرد. بطور مثال اگر هزینه کشیدن راه آهن بین هر دو شهر از p شهر مفروض مشخص باشد، ارزان‌ترین شبکه ای که این p شهر را به هم وصل می‌کند با مفهوم یک درخت از مرتبه p ارتباط نزدیک دارد. همچنین می‌توان وضعیت مربوط به شبکه‌های برق‌رسانی، لوله‌کشی نفت، لوله‌کشی گاز و ایجاد کانال‌های آبرسانی را نیز درنظر گرفت. در ادامه، قبل از اجرایی کردن یک شبکه نظیر شبکه راه‌آهن، باید برآورد هزینه‌ای انجام شود. همواره به دنبال راهی برای کاهش این هزینه‌ها می‌گردیم. برای تعیین یک شبکه با نازلترین هزینه از قاعده‌ای به نام الگوریتم صرفه‌جویی استفاده می‌شود که کاربردهای بسیاری نیز دارد. گراف‌ها دارای مزایای مختلفی هستند که شفاف‌تر کردن و واضح‌تر کردن تصویر و کاهش مصرف زمان پردازشگر

---

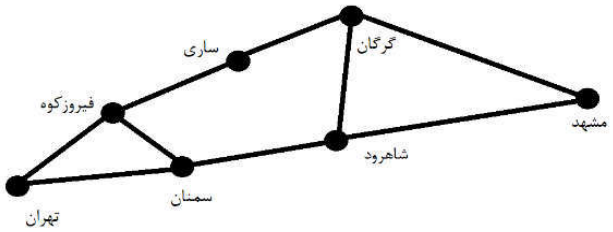
[1] Tree
[2] Matrix
[3] Gustav Kirchhoff

به عنوان یکی از اصلی‌ترین مزایای آنها به‌شمار می‌رود. اکنون که با کاربردهای اولیه این نظریه آشنا شدیم، در بخش بعد به اجزاء آن و انواع مختلف موجود می‌پردازیم.

۴-۳- تعریف گراف

آغاز نظریه گراف به سده هجدهم بر می‌گردد. اویلر[1] ریا ضیدان بزرگ، مفهوم گراف را برای حل مسئله پل‌های کونیگ‌سبرگ[2] ابداع کرد. اما رشد و پویایی این نظریه عمدتاً مربوط به نیم سده اخیر و با رشد علم انفورماتیک بوده‌است. نظریه گراف یکی از پر کاربردترین نظریه ها در شاخه های مختلف علوم مهندسی (مانند عمران)، باستان‌شناسی (کشف محدوده یک تمدن) و ... است.

هر گراف شامل دو مجموعه است. مجموعه رئوس و مجموعه یال‌ها که رأس‌ها را به یکدیگر متصل می‌کند. برای درک شهودی بهتر، می‌توان مثال شکل ۴-۱ را درنظر گرفت. فرض کنید که مجموعه شهرهای یک استان، رئوس یک گراف می‌با شد. در این حالت، جاده‌های بین این شهرها را می‌توان یال‌های این گراف در نظر گرفت.



شکل ۴-۱ : گراف شهرها

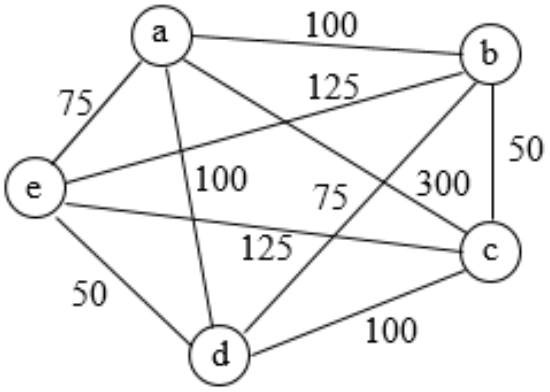
روابط میان رأس‌های یک گراف را می‌توان با کمک ماتریس بیان کرد. برای نمایش تصویری گراف‌ها، معمولاً از نقطه یا دایره برای کشیدن رأس‌ها و از کمان یا خط راست برای کشیدن یال بین رأس‌ها استفاده می‌شود.(شکل ۴-۲).

---

[1] Leonhard Euler

[2] Seven Bridges of Konigsberg

پیشنهادی شما چیست؟ فاصله بدست آمده چقدر است؟ (فاصله‌های نوشته شده بر حسب کیلومتر می‌باشد)



شکل۴-۲۴: گراف تمرین۴

فصل پنجم

مدل‌سازی سیستم‌های صنعتی

۵-۱- مقدمه

مدل‌سازی یکی از ابزارهای مهم و کارگشا در تحلیل و کنترل سیستم‌های صنعتی است. درواقع برای آنکه بتوانیم یک سیستم بزرگ و پیچیده را به راحتی تحلیل و کنترل کنیم، می‌توان از مدلسازی بهره برد. با استفاده از ابزار مدلسازی، می‌توان سیستم را در مقیاسی کوچک و قابل درک به‌راحتی بررسی کرد. آنچه که برای ما بسیار مهم است، دقت در مدلسازی است. درواقع هرچقدر مدل سیستم، دقیق‌تر باشد، کار تجزیه و کنترل آن نیز به صورت دقیق‌تری انجام می‌پذیرد. میزان دقت در مدلسازی بسته به شناخت ما از سیستم است. بدین معنا که هرچقدر سیستم را بهتر بشناسیم، کار مدل‌سازی آن، راحت‌تر است. افزایش دقت، نیاز به ابزار ریاضی برای تشریح این رفتار را تشدید می‌کند. بدین صورت که اگر بتوانیم با استفاده از یک رابطه ریاضی، عملکرد سیستم را به‌طور کامل نشان دهیم، نسبت به زمانی که تنها یک مدل گرافیکی ساده از سیستم در دسترس باشد دقت در مدلسازی بیشتر می‌شود. بسته به نیاز، روش‌های مختلفی برای اینگونه مدلسازی وجود دارد. بطور مثال، رابطه ریاضی بین ورودی و خروجی یک سیستم که با عنوان مدلسازی ورودی-خروجی شناخته می‌شود. این نوع مدلسازی تنها

ورودی و خروجی سیستم را مدل کرده و با قسمت‌های داخلی سیستم کاری ندارد. اما درحالتی که متغیرهای حالت سیستم برای ما از اهمیت بالاتری برخوردار باشد، می‌توان از مدلسازی حالت سیستم بهره برد. همچنین مدل سازی را می‌توان به سه دسته مدل سازی با استفاده از معادلات ریاضی ، مدل سازی گرافیکی و مدل سازی ترکیبی ریاضی – گرافیکی تقسیم بندی کرد. در این فصل به بررسی نمونه‌هایی از روش‌های مدلسازی سیستم‌های صنعتی می‌پردازیم. اما قبل از ورود به بحث‌های تخصصی، لازم است با انواع سیستم‌ها و راه‌های مدلسازی و کنترل آنها آشنا شوید.

۵-۲- انواع متغیرهای سیستم

مفهوم متغیر به پدیده‌ای اشاره می‌کند که بتوان آن را مشاهده و یا اندازه‌گیری کرد. با این تعریف پدیده‌های مختلفی را در اطرف خود مشاهده می‌کنید که مفهوم متغیر را می‌توان به آنها اختصاص داد. ازجمله سرعت، دما، قد، وزن، دبی، و ضعیت چراغ راهنما و... متغیرها نیز دارای دسته‌بندی‌های متفاوتی هستند اما یکی از مهمترین این دسته‌بندی‌ها، انواع گسسته[1] و پیوسته[2] متغیرهاست. در مطالعه بر روی پدیده‌های فیزیکی مانند جابجایی، سرعت و شتاب در اجسام صلب یا فشار و دما و دبی در گازها، با متغیرهای پیوسته سروکار داریم. این کمیت‌ها در هر لحظه از زمان می‌توانند مقداری به خود بگیرند و محدودیتی برای آن مقدار وجود ندارد. برای سیستم‌هایی با چنین کمیت‌های پیوسته، ابزارهای ریاضی فراوان و تکنیک‌های مختلفی برای مدلسازی، تجزیه و کنترل وجود دارد. بعنوان مثال معادلات دیفرانسیل معمولی و نسبی، زیرساخت اصلی برای تجزیه و کنترل اینگونه سیستم‌ها به شمار می‌آیند.

با وارد شدن بیش از پیش کامپیوتر و تکنولوژی به زندگی انسان، می‌توان به دو نکته اشاره کرد. اول آنکه بسیاری از کمیاتی که ما با آنها سروکار داریم گسسته هستند. بعنوان مثال می‌توان به شمارش اعداد صحیح (چه تعداد قطعه در انبار موجود است، چه تعداد تماس تلفنی فعال است) اشاره کرد. دوم آنکه بسیاری از فرآیندهایی که با آن‌ها سروکار داریم به پیشامدهایی مانند فشردن یک کلید یا سبز شدن چراغ راهنما،

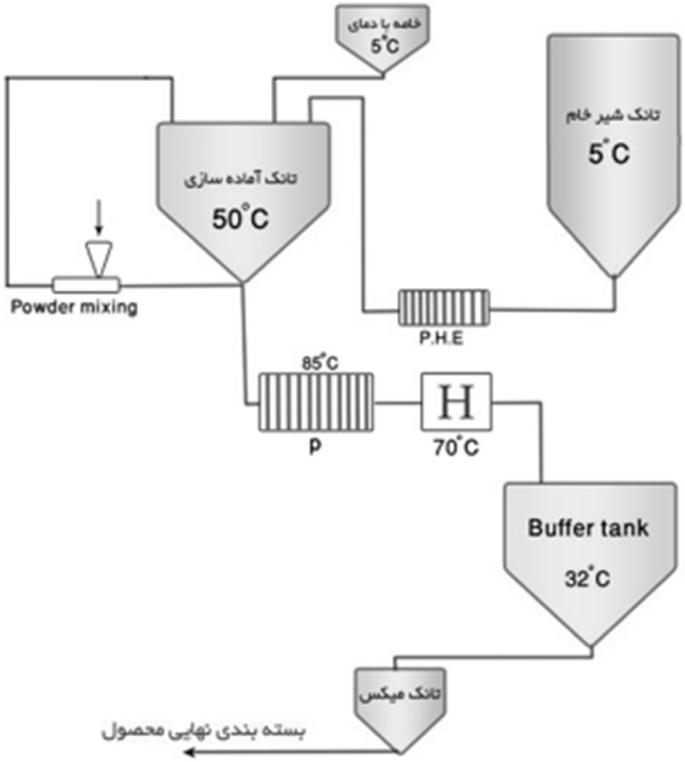
---

[1] Discrete Variable

[2] Continuous Variable

وابســـته‌اند. در حقیقت بیشـــتر تکنولوژی‌های ابداع شـــده بر پایه رخداد یا به اصـــطلاح پیشامد-محور[1] هستند (بویژه کامپیوترهای دیجیتال). برای مثال می توان به شبکه‌های مخابراتی، تجهیزات تولیدی یا یک برنامه اجرایی در کامپیوتر ا شاره نمود. در شکل ۱-۳ می‌توانید به راحتی تفاوت میان متغیرهای گسسته و پیوسته را مشاهده کنید.

مثال ۵-۱: شکل ۵-۱ نمایی از خط تولید پنیر را نشان می‌دهد. می‌خواهیم متغیرهای گسسته و پیوسته را در این سیستم شناسایی کنیم.



شکل ۵-۱: نمایی از خط تولید پنیر

جواب: اگر به شکل به صورت دقیق بنگریم، در مرحله اول شیر به عنوان متغیر پیوسته در تانک ذخیره شده است. پس از گذر از مرحله P.H.E خامه نیز بعنوان متغیر پیوسته با شیر در تانک آماده‌سازی قرار می‌گیرند. باید توجه داشت که رسیدن به دمای ۵درجه سانتیگراد و خاموش شدن عمل سرد کردن، خود می‌تواند بعنوان متغیر گسسته شناخته

[1] Event based

شود. پس از قرار گرفتن مخلوط در تانک آماده‌سازی، حسگرسطحی جهت تأیید پر بودن روشن می‌شود. عملکرد این حسگر نیز به صورت گسسته می‌باشد. درمرحله بعد دستگاه گرم کردن مخلوط شروع به کار میکند (گسسته) و حسگر دما با رسیدن به دمای ۵۰ درجه روشن شده و دستگاه گرم‌کن خاموش می‌شود (گسسته). سپس مخلوط (پیوسته) به همراه مقدار مشخصی پودر مخصوص (این مقدار مشخص توسط حسگر با عملکرد گسسته تعیین می‌شود) وارد محفظه‌ای با دمای ۸۵ درجه سانتیگراد می‌شود و این پروسه به همین صورت ادامه دارد.

با توجه به مثال ۵-۱ متوجه شـــدید که با دقت در یک ســـیســـتم، متغیرهای آن می‌توانند پیوســته، گســسته و یا هر دو را به همراه داشــته باشــند. درواقع در این مثال دیدید که عملکرد بسیاری از حسگرها به صورت دو بخشی خاموش و روشن می‌باشد. بنابراین می‌توان آنها را به فرم گســسته درنظر گرفت. از طرفی حســگرهای دیگری نیز وجود دارند که دائماً کار اندازه‌گیری را انجام می‌دهند. بنابراین عملکرد آنها به صـــورت پیوســته تعریف می‌شــود. برای درک بهتر می‌توان به تفاوت میان حســگرهای تشــخیص سطح اشاره کرد. فرض کنید حسگرتعیین سطحی در دیواره داخلی یک لوله در فاصله معینی تا کف آن، قرار گرفته اســت. تا زمانی که آب ریخته شــده به درون این ظرف به ارتفاعی که حسگر در آنجا قرار دارد، نرسد، حسگر روشن نمی‌شود. بنابراین عملکرد این حسگر به صورت گسسته و دوبخشی (خاموش و روشن) است. اما حسگر تعیین سطحی را درنظر بگیرد که ارتفاع آب درون همان ظرف را باید دائماً گزارش کند. در این حالت عملکرد حسگر به صورت پیوسته می‌باشد و هر زمان که بخواهیم می‌توانیم ارتفاع آب درون ظرف را بدانیم.

۵-۳- مدل‌سازی با توابع ریاضی

یکی از بهترین روش‌های مدلســازی ســیســتم‌ها که می‌تواند با توجه به شــناخت سیستم، از دقت بالایی نیز برخوردار باشد، مدلسازی ریاضی است. فرآیند تلاش در مسیر ایجاد و انتخاب معادل‌های (تقریبی) ریاضی برای پدیده‌ها را مدلسازی ریاضی می‌نامند. در مواردی که میســـر باشـــد، مدل‌های ریاضـــی، هم پدیده‌های طبیعی جهان و هم ساخته‌های خود انسان را در همه مقیاس‌ها و اندازه‌ها نمایش می‌دهند.

چنانچه سیستم مورد نظر ما دارای متغیرهای پیوسته در زمان باشد، برای مدلسازی ریاضی آن، می‌توان از معادلات دیفرانسیلی بهره برد. همانطور که از نامش پیداست، اینگونه معادلات، به صورت جزئی می‌توانند رفتار سیستم را بررسی کنند. اما چنانچه رفتار سیستم در فواصل گسسته زمانی به‌وقوع بپیوندد، دیگر مدل دیفرانسیلی کاربرد ندارد و مدل مربوطه به صورت معادله تفاضلی خواهد بود. درواقع معادلات تفاضلی به نوعی در کنار معادلات دیفرانسیلی قرار دارند که از آنها برای مدل نمودن رفتارهایی سود می‌جوییم که بطورگسسته در زمان بیان می‌شوند، صورت می‌پذیرند. هر دو دسته این معادلات، روش‌ها و ابزارهای بسیار مؤثر و پرتوانی را برای مطالعه تغییرات و نیز تبیین و پیش‌بینی امور مدلسازی در اختیار ما قرار می‌دهند.

۵-۳-۱- معادلات تفاضلی[1]

بیان کردیم که اگر سیستمی به صورت گسسته رفتار کند و این تغییرات وابسته به حالت‌های قبلی سیستم باشد، می‌توان برای مدل‌سازی، از معادلات تفاضلی بهره برد. درواقع در یک تعریف کلی می‌توان گفت در الگوهای ریاضی گاهی اوقات یک متغیر را می‌توان تابعی از همان متغیر در زمان‌های قبل یا بعد دانست. به صورت ریاضی، اگر y_t را مقدار متغیر y در زمان t تعریف کنیم، یک تابع ریاضی بر حسب مقادیر y_t در زمان‌های قبل و بعد را می‌توان بدین صورت نوشت:

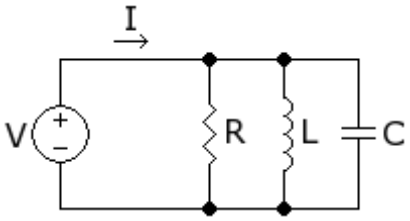
$$y_t = f(y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_{t-n}) \qquad (۵-۱)$$

در این معادله مقدار y_t در هر زمان، تابعی از مقدار y در n دوره زمانی قبل می‌باشد. اینگونه معادلات اصطلاحاً معادلات تفاضلی نامیده می‌شوند.

همانند سایر توابع ریاضی، معادلات تفاضلی دارای اشکال خطی و غیرخطی بوده و مرتبه معادله برابر با حداکثر تأخیر زمانی نسبی متغیرهای معادله است (تفاوت بزرگترین وکوچکترین اندیسِ متغیرِ اندیس‌دار). اخیرا ابزار گرافیکی برگرفته شده از شبکه‌های پتری معرفی شده است که می تواند معادلات تفاضلی را به صورت گرافیکی پیاده سازی نماید [۱۵] و [۱۶].

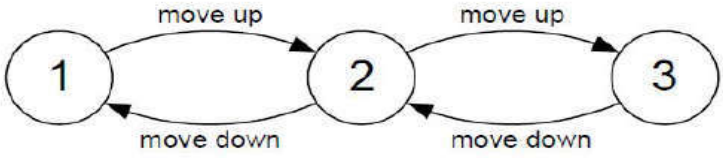
---

[1] Recursive Equations



شکل ۵-۱۳: مدار الکتریکی تمرین ۳

۴) مدل گسسته-پیشامد یک آسانسور به صورت شکل ۵-۱۴ نشان داده شده است. آسانسور برای یک ساختمان ۳ طبقه می‌باشد. حرکت آسانسور به سمت بالا یا پایین با فشردن دکمه مربوطه صورت می‌پذیرد. بدیهی است که آسانسور در هر لحظه، تنها در یک طبقه می‌تواند قرار گیرد.



شکل ۵-۱۴: مدل گسسته-پیشامد آحسگر تمرین۴

الف) با نامگذاری مجموعه حالت‌ها و پیشامدها، تابع گذرگاه اتومات را مشخص کنید.

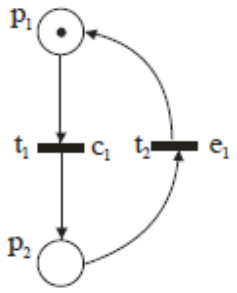
ب) با توجه به تعریف اتومات قطعی، مدل قطعی آسانسور را رسم کنید.

۵) تابع گذرگاه یک اتومات به فرم زیر می‌باشد. با توجه به این روابط، مدل اتومات را رسم کنید.

$$f_{nd}(1.b) = \{2\} \;.\; f_{nd}(1.\varepsilon) = \{3\} \;.\; f_{nd}(2.a) = \{2.3\} \;.$$
$$f_{nd}(2.b) = \{3\} \quad f_{nd}(3.a) = \{1\}$$

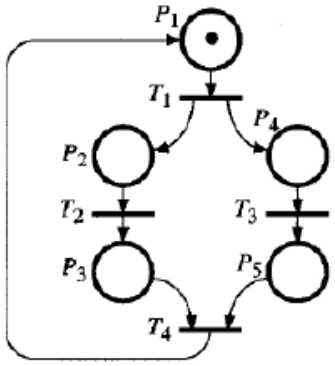
اتومات قطعی است یا غیرقطعی و چرا؟

۶) مدل پتری یک ماشین به صورت شکل ۵-۱۵ نشان داده شده است. این ماشین در دو وضعیت آماده به کار و درحال کار می‌تواند باشد. d_1 پیشامد آغاز به کار ماشین، f_1پیشامد پایان کار روی قطعه، p_1، نشان‌دهنده آماده به کار بودن و p_2 درحال کاربودن ماشین است. توابع w^+ و w^- که همان توابع ورودی و خروجی ماشین می‌باشد را با توجه به تعریف شبکه پتری، مشخص کنید.



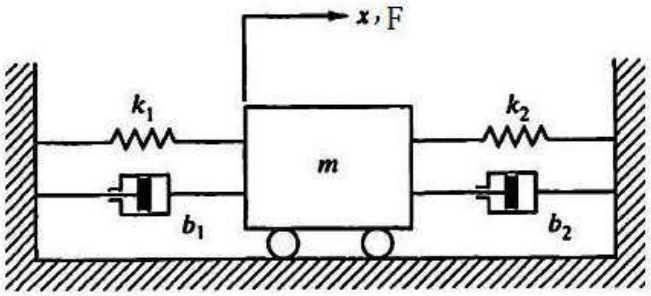
شکل ۵-۱۵: مدل شبکه پتری ماشین تمرین ۶

۷) شبکه پتری شکل ۵-۱۶ را درنظر بگیرید. عناصر شبکه پتری را با توجه به شکل، بنویسید.



شکل۵-۱۶: شبکه پتری تمرین ۷

۸) سیستم مکانیکی شکل ۵-۱۷را درنظر بگیرید. در ابتدا مدل الکتریکی این سیستم را بدست آورده و سپس با استفاده از آن، مدل باند گراف را ترسیم کنید.



شکل ۵-۱۷: سیستم مکانیکی جرم و فنر و دمپر تمرین ۸

فصل ششم

نظریه زبان‌ها و ماشین‌ها وتئوری کنترل نظارتی

۶-۱- مقدمه

نظریه زبان‌ها و ماشین‌ها موضوعی شناخته شده در علوم کامپیوتر می‌باشد اما در علم کنترل و خودکارسازی، موضوعی آشنا برای تمام متخصصین نیست. در فصل‌های قبل، مقدمه‌ای از این نظریه بیان شد اما در این فصل به توجه به نیازی که برای طراحی کنترل کننده در سیستم‌های گسسته- پیشامد به آن داریم، شرح کاملتری از آن متناسب با نیاز داده خواهد شد البته برای اطلاعات جامع و کامل می توانید به مرجع [1] مراجعه نمایید.

اتوماتا[1] ابزاری برای بیان ارتباط بین اجزای یک مجموعه است که مانند همه زبان‌ها از حروف و کلمات تشکیل شده است. چنانچه بین دو جزء از سیستم (یا مثلاً دو نفر)، مجموعه‌ای از این کلمات جابجا شود، این دو، می‌توانند ارتباط هدفداری را داشته باشند. اما در سیستم‌های صنعتی این حروف و کلمات را چگونه می‌توان تعریف کرد؟ موضوع مورد بحث ما در این قسمت، بر روی گروه خاصی از سیستم‌های صنعتی با عنوان سیستم-های گسسته پیشامد خواهد بود که در فصل اول به معرفی آن پرداختیم.

به سیستم صنعتی بنگرید. می‌توان گفت که یک سیستم صنعتی، مجموعه‌ای از سیستم‌های کنترلی است که برای رسیدن به یک هدف مشترک (تولید یک محصول

---

[1] Automata

صنعتی)، با یکدیگر در ارتباطند. این ارتباط را می‌توان بوسیله یک زبان بیان کرد. حروف یک زبان در یک سیستم صنعتی عبارت است از مجموعه پیشامدهایی که در آن سیستم می‌تواند به وقوع بپیوندد و کلمات، توالی مجموعه‌ای از این پیشامدها است که در آن سیستم، قابل وقوع خواهد بود. مجموعه کلماتی که اجازه وقوع آن‌ها در یک سیستم کنترل شده، داده می‌شود، تشکیل یک زبان را خواهد داد.

در هنگام ارزیابی حالت یک سیستم پیشامد گسسته، اولین توجه ما به توالی حالت‌های ایجاد شده و حوادث وابسته‌ای است که این حالت‌ها را ایجاد می‌کند. ما به این موضوع که چه زمانی یک سیستم وارد یک حالت خاص می‌شود، یا چه مدت در یک حالت قرار می‌گیرد، توجهی نداریم. فرض می‌کنیم که رفتار سیستم گسسته پیشامد، به فرم رشته‌هایی از حوادث[1]، بصورت $\{e_1. e_2. \ldots . e_n\}$ شرح داده می‌شوند. این رشته‌ها، ترتیب اتفاق افتادن حوادث را نشان می‌دهند اما هیچ اطلاعاتی در مورد زمان وقوع این حوادث در اختیار ما قرار نمی‌دهند.

بحث نمایش زبان‌ها با استفاده از مدل مناسب، موضوعی کلیدی برای آنالیز وکنترل سیستم‌های گسسته پیشامد است. اتوماتا، ابزاری کاربردی است که رفتار اینگونه سیستم‌ها را بخوبی توصیف می‌کنند. برای مطالعه سیستم‌های گسسته پیشامد، در ابتدا باید اتومات را که ابتدایی‌ترین ابزار برای توصیف این قبیل سیستم‌ها هستند، بررسی کنیم. سپس در فصل بعد، مدل پیشرفته‌تری به نام شبکه‌های پتری را برای توصیف سیستم‌های گسسته پیشامد، شرح می‌دهیم.

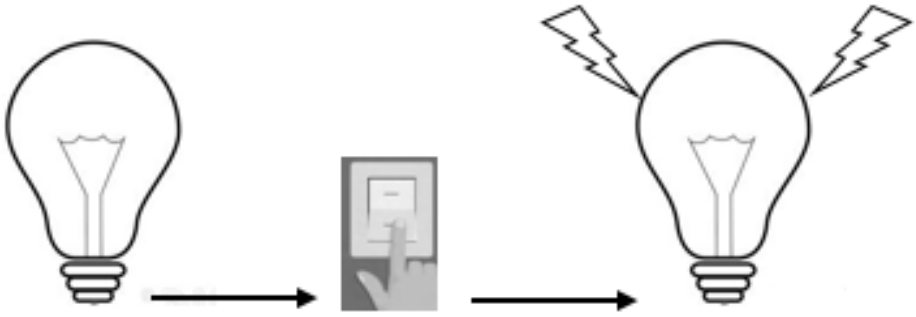
۶-۲- سیستم‌های رویداد - گسسته

سیستم‌های رویداد - گسسته (DES) کلاس خاصی از انواع سیستم‌ها هستند. این نوع از سیستم، مدل مناسبی برای بسیاری از سیستم‌هایی است که تغییرات در آنها به صورت گسسته اتفاق می‌افتد. برخی اوقات برای راحتی مطالعه بر روی سیستم‌های پیوسته، آنها را به صورت گسسته و یا ترکیبی از پیوسته و گسسته درنظر می‌گیرند.

---

[1] Event

برای آنکه بتوانیم با مفهوم پیشامد یا رویداد آشنا شویم، در ابتدا باید مفهوم حالت را بشناسیم. یک حالت، یک ترکیب واحد از اطلاعات است که می‌تواند به همراه ورودی‌های سیستم، خروجی سیستم را مشخص کند. برای مثال، یک لامپ را درنظر بگیرید که دارای دو حالت روشن و خاموش است. می‌توانیم با استفاده از پدیده‌ای ، یک گذر بین دو حالت لامپ ایجاد کنیم. به این پدیده، پیشامد گفته می‌شود. فرض می‌شود که پیشامد در یک لحظه اتفاق می‌افتد و باعث گذر از یک حالت به حالت دیگر می‌شود. در مثالی که بیان شد، قطع و وصل کلید، همان پیشامدی است که باعث گذر از یک حالت به حالت دیگر می‌شود. شکل ۶-۱ لامپ خاموشی را نشان میدهد که با فشردن کلید، (یک پیشامد گسسته) از حالت خاموش به حالت روشن تغییر وضعیت می‌دهد.



شکل ۶-۱: تغییر حالت لامپ با وقوع پیشامد

تعریف۶-۱: یک سیستم رویداد - گسسته، یک سیستم پیشامدگرا با فضای حالت گسسته است که سیر تحول حالت آن کاملاً بستگی به وقوع پیشامدهای ناهمگام[1] با زمان دارد.

با توجه به این تعریف، بسیاری از سیستم‌های ساخت انسان مانند شبکه‌های ارتباطی و کامپیوتری، ربات‌ها، سیستم‌های ساخت و تولید، حمل‌ونقل و ترافیک خودکار، در این گروه قرار می‌گیرد. سیستم‌های رویداد - گسسته دارای دو ویژگی اساسی است:

[1] Asynchronous

أ. مجموعه حالت‌ها، گسسته است.

ب. انتقال حالت، پیشامدگرا است.

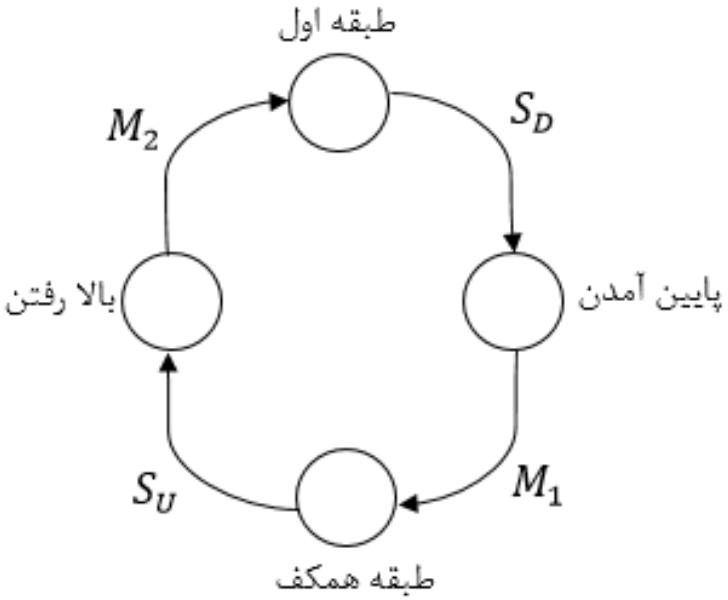
ویژگی اول، سیستم‌های رویداد - گسسته را از سیستم‌های پیوسته-حالت متمایز می-کند و ویژگی دوم مشخص می‌کند که سیستم تنها می‌تواند در نقاط گسسته، که همان وقوع پیشامدهای غیرهمگام می‌باشد، تغییرکند. سیستم‌های رویداد - گسسته بسیاری از سیستم‌های واقعی را شامل می‌شوند. حتی گاهی اوقات، به دلیل سادگی و قابلیت‌های مطالعه، به بعضی سیستم‌های پیوسته نیز از دید رویداد - گسسته نگاه می‌شود.

۶-۳- زبان در سیستم‌های رویداد-گسسته

با مفهوم سیستم‌های رویداد - گسسته آشنا شدیم. موضوع مورد توجه در این قسمت، تعریف روش‌هایی برای بیان این سیستم‌هاست. یکی از روش‌های متداول مطالعه رفتار منطقی سیستم‌های رویداد - گسسته ، براساس نظریه زبان‌ها و ماشین‌ها است. هر سیستم رویداد - گسسته ، مجموعه حوادثی به نام $\sum$ دارد که وابسته به آن می‌باشد. ازطرفی هر زبانی متشکل از تعدادی حرف و کلمه است. در این نظریه نیز دسته $\sum$، الفبای یک زبان و توالی حوادث، کلمات آن می‌باشند. برای درک بهتر موضوع، این بحث را با مثالی ادامه می‌دهیم.

فرض کنید سیستم مورد بحث، یک آسانسور می‌باشد که بین دو طبقه یک ساختمان در حرکت است. فرض کنید فردی در طبقه همکف منتظر آسانسور است و می‌خواهد به طبقه اول برود. در ابتدا آسانسور در طبقه اول می‌باشد. هنگامی که فرد، دکمه آسانسور را فشار می‌دهد، آسانسور از وضعیت اولیه خارج شده و با پیشامد (فرمان حرکت به سمت طبقه همکف)، پایین می‌آید. بنابراین از حالت ۲ به حالت ۱، با پیشامد فشردن دکمه، تغییر وضعیت می‌دهد. سپس فرد درون آسانسور با فشردن دکمه طبقه ۱، باعث ایجاد پیشامدی دیگر برای تغییر وضعیت آسانسور می شود. بدین معنی که با دریافت دستور، آسانسور شروع به حرکت کرده و به طبقه اول رفته و سپس متوقف می شود. فشردن دکمه طبقه مورد نظر، پیشامدهای ما و تغییر وضعیت آسانسور همان حالت‌های

سیستم است. اگر بخواهیم به‌طور دقیق‌تر مدل آسانسور را نشان دهیم، می‌توان برای عملکرد بالا رفتن و پایین رفتن آسانسور نیز پیشامد درنظر گرفت. به شکل ۶-۲ دقت کنید. درنظر داشته باشید که مدل نشان‌داده شده بدون درنظر گرفتن باز و بسته شدن درها و دریافت تقاضا با فشردن شاسی، برای سهولت کار، می‌باشد.



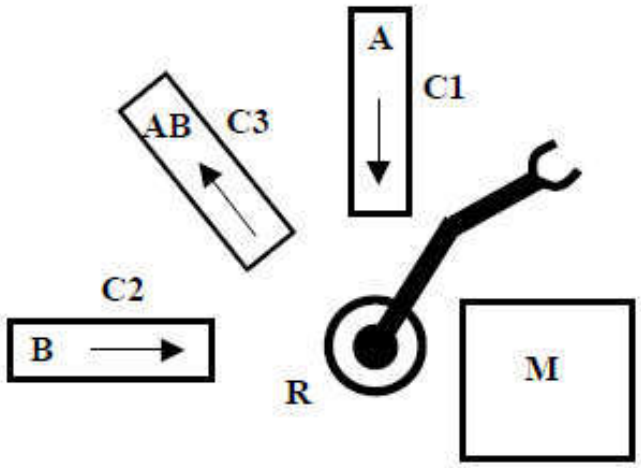
شکل ۶-۲: مدل ساده شده رویداد - گسسته سیستم آسانسور دو طبقه

در این شکل پیشامدهای بیان شده بدین صورت تعریف می‌شود:

$$S_D = Start - Down$$
$$S_U = Start - Up$$
$$M_1 = Down - Switch$$
$$M_2 = Up - Switch$$

اگر شروع بالا رفتن آسانسور را از طبقه همکف به طبقه اول با پیشامد S_U و پایین آمدن از طبقه اول به طبقه همکف را با S_D و رسیدن به طبقه همکف را با M_1 و رسیدن به طبقه اول را با M_2 نشان دهیم، در این صورت $\sum$ مجموعه پیشامدها زبان مورد استفاده در آسانسور خواهد بود.

$$\sum = \{S_D, S_U, M_1, M_2\}$$



شکل۶-۲۵ : سیستم تولیدی شامل ۳ نوار نقاله و یک ربات و یک ماشین

۴) می خواهیم کنترل کننده خودکار سیستم راهبند ورودی یک درب پارکینگ را طراحی کنیم درب ورودی پارکینگ دارای دو راهبند بوده که هیچگاه با یکدیگر بالا نیستند ۵ حسگر آشار ساز حضور که دوتای انها در محل راهبندها و یکی قبل از راهبند اول، دیگری بین دو راهبند و سومی بعد از راهبند سوم قرار دارد. هر راهبند قادر است با یک فرمان رو به بالا حرکت کرده و هنگام دریافت سیگنال از یک میکرو سوئیچ su یا با فرمان کنترل کننده متوقف شود و با یک فرمان رو به پایین حرکت کرده و متقابلا هنگام دریافت سیگنال از یک میکرو سوئیچ sd یا با فرمان کنترل کننده متوقف شود. خروجی یک حسگر نمایشگر پر بودن پارکینگ است. همچنین پارکینگ دارای یک چراغ راهنمایی است که در حالت عادی قرمز بوده و در صورت رسیدن خودرو و داشتن ظرفیت سبز می شود. مطلوب است مدل اتومات راهبندها و چراغ راهنما و ضوابط با مشخص کردن لیست پیشامدها.

فصل هفتم

شبکه‌های پتری

۷-۱- مقدمه

در فصل‌های قبل بیان کردیم که بشر همواره به دنبال راهی برای کنترل سیستم‌های پیرامون خود جهت بهره‌وری هرچه بیشتر از آنها برای سهولت در کارهایش است. روش‌های مختلف شناسایی و مدلسازی سیستم‌ها، در فصل‌های گذشته بیان شد و با یکی از روشهای مفید و گویای مدلسازی با نام مدلسازی گرافیکی آشنا شدید. دلیل این امر واضح است. چرا که یکی از اولین راه‌ها برای برقراری ارتباط با یکدیگر، از طریق تصاویر است. بطور مثال، برای اینکه منظورمان را از لغتی مانند "ماشین" به طرف مقابل بر سانیم، چندین راه وجود دارد. می‌توانیم آن لغت را بنویسیم و یا شکلی شبیه آن را نقا شی کنیم که طبعاً ر سم گرافیکی، باعث درک راحت‌ترو سریعتر مفهوم می شود. در اینجا هم فرض را برآن می‌گذاریم که خیلی از افراد، با اجزای سیستم‌های صنعتی به صورت تخصصی آشنایی ندارند. پس با روش گرافیکی، تعیین و آشنایی با چند علامت، درک این مسائل را آسان می‌کنیم.

کارل آدام پتری[1] در سال ۱۹۶۲ میلادی، شبکه‌های پتری[2] را به منظور مدلسازی فرآیندهای شیمیایی معرفی کرد. ویژگی‌های سودمند شبکه‌های پتری در مقایسه با ابزارهای مدلسازی پیشین خود، مانند اتوماتِ محدود، باعث شد تا این ابزار گرافیکی مورد توجه قرار بگیرد. بزرگترین مشکل ابزار مدلسازی اتوماتا، انفجار حالت در سیستم‌های بزرگ بود که در شبکه‌های پتری برطرف شد. درواقع به کمک شبکه‌های پتری، می‌توان دینامیک سیستم را به صورت گرافیکی نمایش داد. این قابلیت در سیستم‌های مقیاس گسترده و پیچیده، به منظور مدیریت بهینه و کنترل، بسیار سودمند است. امروزه از شبکه‌های پتری در مدلسازی و کنترل انواع سیستم‌ها ([۳۱]و [۳۲]) همچنین اشکار سازی خرابی و افزایش قابلیت اطمینان [۳۳] مورد استفاده قرار می گیرد.

۷-۲- مدل‌سازی با شبکه‌های پتری

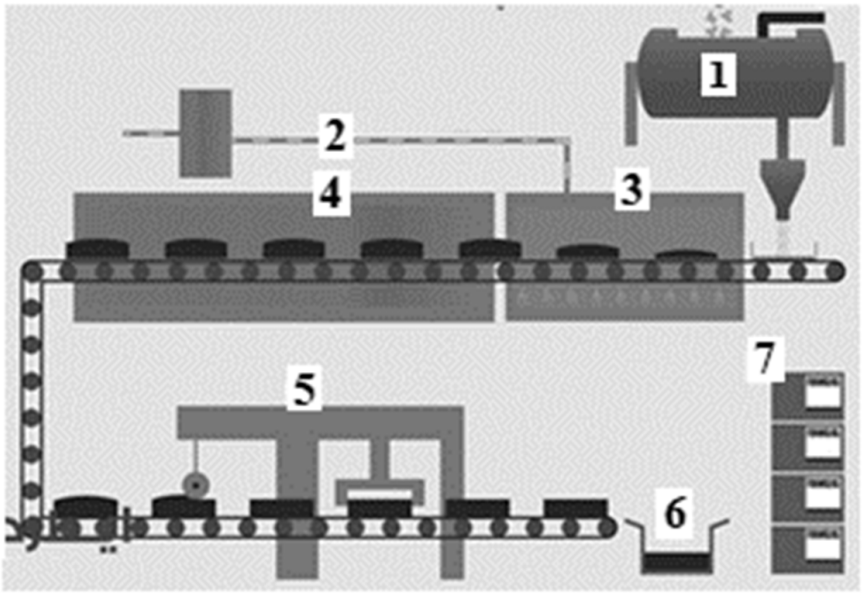
خیلی از سیستم‌های اطراف ما، سیستم‌های پیشامد گسسته هستند. بدین مفهوم که اگر نگاهی دقیق به آنها داشته باشیم، می‌توان حالت‌های آن‌ها را به صورت صفر و یک بیان کرد. بطور مثال، یک سیستم تولید محصولی خاص (مثلاً تولید یک قطعه صنعتی)، در هر مرحله، همانند یک سیستم گسسته رفتار می‌کند. با فشردن دکمه سبز، توسط اپراتور، دستگاه شروع به کار می‌کند. مواد اولیه روی قالب ریخته می‌شود. وقتی مواد به حد مشخصی رسید، آنگاه قالب روی ریل حرکت کرده و ... . با دقت به مراحل گفته شده، می‌توان به صورت گسسته به هریک از آنها نگریست. برای درک بهتر، خط تولید فوم‌گلاس از ضایعات شیشه نشان داده شده در شکل ۷-۱ را بررسی می‌کنیم.

نحوه تولید فوم شیشه به این صورت است که پودر ساییده شده شیشه، به‌همراه یک ماده گازآور مانند ذغال سنگِ آسیاب شده، به درون قالب فلزی ریخته می شود. سپس قالب به درون کوره با دمای ۱۰۰۰درجه سانتیگراد وارد شده و حرارت زیاد، پودر شیشه را ذوب می‌کند و درعین حال، در اثر سوختن ذغال‌سنگ، گازهایی تولید می‌شوند. خروج

---

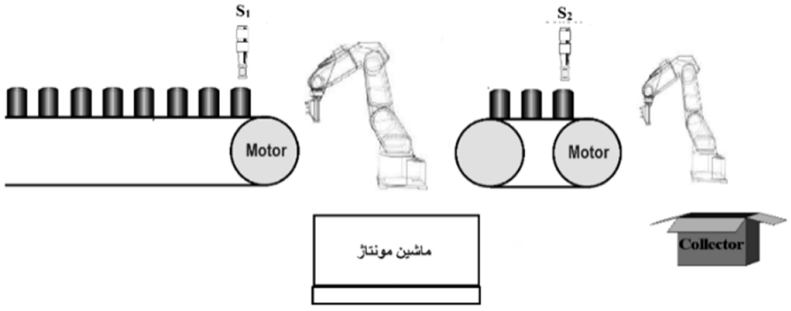
[1] Carl Adam Petri

[2] Petri Nets



شکل۷-۱: خط تولید فوم‌گلاس از ضایعات شیشه

گازها از مذاب شیشه، باعث بوجود آمدن ساختار سلولی شیشه می‌شود. پس از کوره، قالب به مرحله سردسازی آرام می‌رسد. هرچه سرعت سردشدن کمتر باشد، یکنواختی و همگونی ساختار سلولی شیشه، بهبود می‌یابد. پس از سرد شدن کامل شیشه، بلوک‌ها از قالب خارج شده و در صورت نیاز، با اره به ابعاد نهایی بریده و سپس بسته‌بندی می‌گردند. در هر مرحله بیان شده، حسگری جهت نشان دادن وضعیت، وجود دارد. بطور مثال، در قسمت ابتدایی، حسگر تعیین سطحی قرار گرفته است که پودر ساییده شده شیشه در مخزن دارای حسگر تا جایی ریخته می شود که قبلاً مشخص شده است. به این معنا که زمانی‌که مقدار پودر شیشه، به سطح معین رسید و حسگر آن را احساس کرد، ریختن پودرشیشه قطع می‌شود. به همین ترتیب می‌توان تک‌تک مراحل ذکر شده را به صورت پیشامد گسسته، نشان داد. با این فرض، می‌توان این سیستم را با استفاده از هر دو نوع مدلسازی اتوماتا و شبکه‌های پتری، مدل کرد. سیستم شکل۱-۷ دارای قسمت‌های زیادی است. بنابراین، اگر بخواهیم با استفاده از مدلسازی اتوماتا، آن را مدل کنیم، حالت‌های سیستم بسیار زیاد می شود. قبلاً بیان کردیم که برای ترکیب همزمان پیشامدها در مدلسازی اتوماتا، باید حالت‌های مختلف درهم ضرب شود که این امر باعث انفجار حالت در سیستم‌های دارای تعداد حالت زیاد می شود. بنابراین در سیستم مورد



شکل ۷-۳۵: شمای کلی سیستم تمرین ۱

۲) مطلوب است مدل پتری آسانسور دو طبقه تمرین ۶-۱

۳) مطلوب است مدل پتری خط تولید تمرین ۶-۳.

۴) می خواهیم سیستم حفاظت در مقابل دزدی یک ساختمان را طراحی کنیم برای این منظور از مدل سازی با شبکه پتری استفاده نموده ایم . این سیستم دارای ۳ حسگر آشکار سازی حرکت (M_i $(i = 1\text{-}3)$ می باشد . حسگرهای طوری قرار گرفته اند که هنگام ورود شخص حداقل دو تای آنها در فاصله زمانی حداکثر ۱۰ ثانیه عمل می کنند. در نتیجه در صورت فعال شدن یکی از آنها چنانچه دومی در فاصله ۱۰ ثانیه عمل نکند این سیگنال صرفنظر می شود. ولی چنانچه دومی نیز عمل کرد آلارمی به مدت ۲۰ ثانیه به صدا در آمده و بعد از آن پروسه از نو تکرار می شود. این سیستم با دریافت سیگنال a_1 فعال شده و با دریافت سیگنال I_1 غیر فعال می شود (فعال و غیر فعال سازی بوسیله سیستم تشخیص رمز انجام می شود.) همچنین پس از دریافت سیگنال فعال سازی تا ۳۰ ثانیه حسگرهای آشکار سازی بررسی نمی‌شوند . مطلوب است مدل پتری سیستم.

فصل هشتم

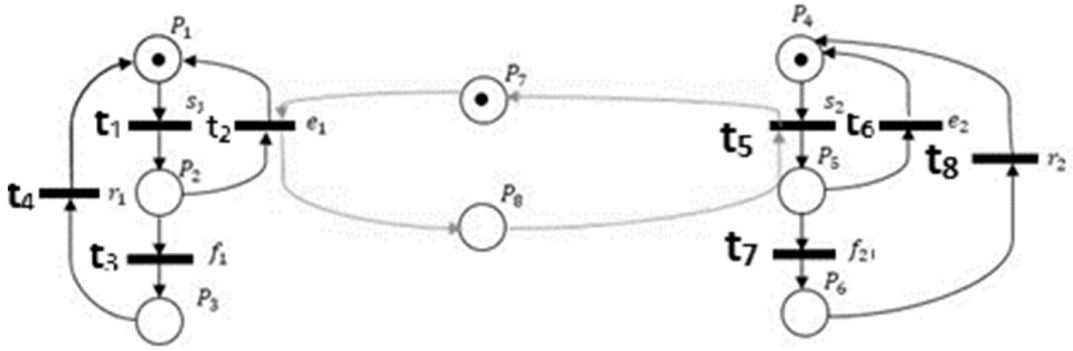
طراحی و بهبود کنترل‌کننده درسیستم-های رویداد-گسسته

۸-۱- مقدمه

در فصل قبل با نحوه مدل‌سازی سیستم‌های صنعتی با شبکه‌های پتری آشنا شدیم. دیدیم که با ترکیب مدل ضوابط و مدل اجزاء پروسس، می‌توان یک مدل کنترل‌شده تحت شرایطی بدست آورد. اما چند مسئله اساسی وجود دارد اولاً آیا پیشامدهای مشترک در همزمان‌سازی قابل کنترل هستند یا خیر؟ ثانیاً آیا امکان بیان ضوابط با مدل پتری همیشه وجود دارد؟ ثالثاً آیا سیستم دارای قفل شدگی هست یا نه؟ پاسخ این سوال‌ها همیشه مثبت نبوده و لذا رسیدن به کنترل‌کننده نهایی مطلوب با ترکیب مدل ضوابط و پروسس همیشه قابل تحقق نیست. در این فصل ابتدا به حل مشکل گذرگاه‌های غیرقابل کنترل پرداخته و سپس مسئله قفل‌شدگی در سیستم‌های تولیدی را بیان کرده و در ادامه شیوه‌های مختلف بیان ضوابط در سیستم‌های رویداد – گسسته را بیان خواهیم کرد. در انتها نیز به روشهای مختلف پیشگیری از حالات ممنوع اشاره خواهیم کرد.

۸-۲- طراحی کنترل کننده در حضور پیشامدهای غیر قابل کنترل

وجود پیشامدهای غیر قابل کنترل سبب می شود تا در هنگام ترکیب اجزاء و ضوابط، مدل بد ست آمده یک مدل پتری که تغییرات حالت در آن بر ا ساس قوانین شبکه‌های پتری با شد، ایجاد نشود. به این مدل شبکه پتری، شبه پتری[1] گفته می شود [۳۹]. به مثال۷-۵ (دو ماشـــین و یک بافر در بین آنها) توجه کنید. مدل پتری ترکیب اجزاء سیستم با فرض غیرقابل کنترل بودن e_1 مجدداً در شکل ۸-۱ نشان داده شده است.



شکل ۸-۱ : مدل شبه پتری ترکیب دوماشین و بافر

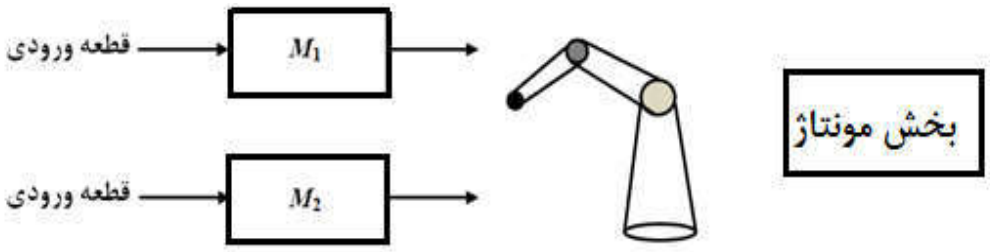
اگر پیشامدهای e_1 و e_2 غیر قابل کنترل فرض شوند، گذرگاه t_2 به شرط نشان‌دار بودن p_2 و بدون توجه به وجود یا عدم وجود نشانه در مکان p_7 آتش خواهد شد. در این صورت مقررات شبکه پتری نقده و به همین جهت به این مدل شبه پتری گفته می‌شود. حالاتی که پس از ترکیب همزمان اجزاء پرو سس و ضوابط در آنها مقررات شبکه پتری نقض می‌شـود به عنوان حالات ممنوع[2] شـناخته شـده و باید شـبیه آنچه در الگوریتم کومار در مدلســازی اتومات انجام شــد، در این حالت هم از وقوع آن پیش‌گیری شــود. متا سفانه در شبکه‌های پتری الگوریتمی شبیه کومار که در شبکه‌های پتری قابل اجرا با شد وجود ندارد. در این حالت لازم ا ست تا گراف قابل د سترس شبکه‌های پتری (که همان مدل اتومات سیستم می‌با شد) را ر سم نموده و الگوریتم کومار را برروی آن اجرا

[1] Quasi Petri

[2] Forbidden states

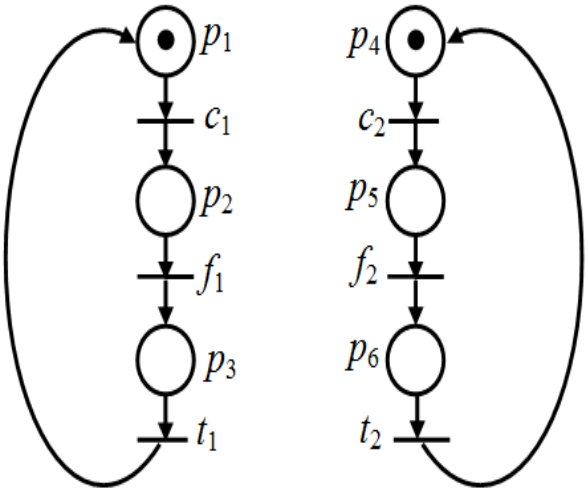
کنیم. اما مشکل اساسی که وجود دارد اینست که تغییرات مطلوب در مدل اتومات سیستم انجام شده و انتقال این تغییرات به فضای پتری همیشه کار ساده و راحتی نیست. پیشگیری از ورود به حالات ممنوع در شبکه‌های پتری با دو شیوه کلی انجام می‌شود. روش اول اضافه کردن یک کنترل‌کننده برخط بر روی سیستم است به طوری که مانع از آتش شدن گذرگاه‌های قابل کنترلی شود که در صورت آتش شدن آنها سیستم مستقیماً یا پس از طی یک رشته پیشامد غیر قابل کنترل وارد حالت‌های ممنوع می شود [۴۰]و [۴۱]. در ادامه به بررسی یک نمونه از این نوع کنترل خواهیم پرداخت. روش دوم اصلاح یا ترمیم مدل پتری است، بطوری که وارد این حالت‌ها نشود. از آنجا که این روشها نیز به صورت عمومی در طراحی کنترل‌کننده برای پیشگیری از ورود به حالت‌های ممنوع استفاده می‌شود ([۴۲] و [۴۳])، در قسمت‌های بعد به بررسی روش‌های مختلف انجام آن خواهیم پرداخت. برای درک بهتر اثر گذرگاه‌های غیر قابل کنترل، مثال ۸-۱ در زیر مورد بررسی قرار می گیرد.

مثال ۸-۱ : یک سیستم تولیدی متشکل از دو ماشین مستقل M_1 و M_2 و یک ربات و یک میز مونتاژ که محصول نهایی را آماده می‌کند، در نظر بگیرید (شکل ۸-۲). چرخه عملکرد هر ماشین بدین صورت است که با وقوع حادثه c_i $(i=1, 2)$، ماشین شروع به کارمی‌کند و زمانی که کار خاتمه می‌یابد (وقوع حادثه f_i)، قطعه تولید شده بوسیله ماشین، توسط ربات به قسمت مونتاژ منتقل می‌شود و یک چرخه جدید با اتفاق افتادن حادثه t_i مشابه بالا ایجاد می شود. در این مثال فقط حوادث c_1 و c_2 قابل کنترل هستند و حوادث غیر قابل کنترل شامل حوادث f_1، f_2، t_1 و t_2 می‌باشند [۳۹] .



شکل ۸-۲: شمای سیستم مثال ۸-۱

مدل شبکه پتری فرآیندها برای این سیستم در شکل ۸-۳ نشان داده شده است. در این مدل، نشانه‌دار بودن مکان‌های p_1 و p_4 بدین معنی است که سیستم در حالت اولیه خود قرار دارد. نشانه‌دار بودن مکان‌های p_2 و p_5 بدین معنی است که ماشین در حال انجام کار برای ساختن قطعه مربوط به خود می‌باشد و نشانه‌دار شدن مکان‌های p_3 و p_6 به معنی پایان کار هر ماشین و ساخته شدن قطعه مربوط و آماده انتقال بودن قطعه می‌باشد.



شکل ۸-۳: مدل شبکه پتری فرآیند سیستم تولید مثال ۸-۱

مدل مشخصات مطلوب این سیستم در شکل ۸-۴ نشان داده شده است که مشخص می‌کند ربات باید در ابتدا محصول ماشین M_1 و سپس محصول ماشین M_2 را منتقل کند. یعنی در اینجا لازم است که ابتدا ماشین M_1 کارش را تمام کند و ربات قطعه آن را تحویل بگیرد و بعد از پایان کار ربات، ماشین M_2 کارش را تمام کند تا ربات بتواند قطعه آن را تحویل بگیرد.

۳) سیستم تولیدی را در نظر بگیرید که دارای ۳ ماشین است برای ساخت یک محصول لازم است دو قطعه ماشینکاری شده بوسیله ماشین یک و یک قطعه ماشینکاری شده بوسیله ماشین ۲ توسط ماشین ۳ مونتا ژ شود و قطعه نهائی ساخته شود. هر ماشین با یک فرمان قابل کنترل c_i شروع به کار کرده و با سیگنال غیر قابل کنترل f_i کارش را تمام می کند. در بین ماشین یک و ماشین ۳ و همینطور ماشین دو و ماشین ۳ یک بافر با ظرفیت نامحدود و در خروجی ماشین ۳ یک بافر با ظرفیت محدود قرار دارد. یک ربات کار بارگیری و تخلیه ماشین ۳ را با فرمان t_i انجام می دهد انتهای کار ربات با سیگنال f_4 خواهد بود. برای عملکرد مناسب ماشین ۳ لازم است ابتدا دو قطعه ماشین یک در دو انتقال جداگانه و سپس قطعه ماشین ۲ به ماشین ۳ منتقل شده و سپس ماشین بافر ماشین ۳ تخلیه شود. مطلوب است

الف) مدل پتری اجزا سیستم و ضوابط

ب) مدل نهائی

فصل نهم

پیاده‌سازی کنترل‌کننده‌های طراحی شده با شبکه‌های پتری

۹-۱- مقدمه

در فصل‌های قبل دیدیم که چگونه می‌توان یک سیستم صنعتی را با ابزار شبکه‌های پتری مدل‌سازی نموده و سپس کنترل‌کننده مناسب برای این سیستم جهت برآورده شدن ضوابط مورد نظر طراحی نمود. اما این کنترل‌کننده را چگونه می‌توانیم پیاده‌سازی نماییم. این سوالی است که در این فصل به آن پاسخ خواهیم داد. پیاده سازی شبکه‌های پتری با دو زبان دیاگرام نردبانی (LD) و زبان نمودار عملکردهای متوالی (SFC) می‌باشد. زبان نمودار عملکردهای متوالی، در واقع توسعه یافته شبکه‌های پتری است که جهت پیاده سازی در PLC مناسب سازی شده است. در این فصل ابتدا پیاده سازی با زبان دیاگرام نردبانی را بیان کرده سپس به تبدیل مدل پتری به زبان SFC خواهیم پرداخت.

۹-۲-پیاده‌سازی با زبان دیاگرام نردبانی

زبان دیاگرام نردبانی (LD) یکی از زبان‌های رایج در برنامه نویسی کنترل‌کننده‌های منطقی برنامه پذیر است. LD یک زبان گرافیکی است که از ابزار نرم افزاری مانند رله‌ها، رله‌های زمانی و شمارنده برای برنامه نویسی تشکیل شده است. عیب این زبان اینست که نمی تواند پدیده‌هایی مانند توالی (یعنی اینکه برای انجام یک کار چند مرحله باید به ترتیب اجرا شود) ، همزمانی (دو فرایند مجزا و مستقل بدون وابستگی مراحل تکیمل

خود را به ترتیب اجرا می کنند) و همگامی (اگر برای رفتن به مرحله جدیدی از کار باید مرحله ۱ و ۲ هردو بطور کامل تکمیل شـوند، این دو مرحله باید همگام شـوند) را بطور ملموس نشـان دهد. به همین دلیل، فهم برنامه نوشـته شـده به این زبان دشـوار بوده و برر سی و عیب یابی آن به دلیل عدم دا شتن انعطاف، زمانبر و د شوار ا ست. بویژه برای برنامه نویسی سیستم‌های پیچیده و بزرگ، برنامه نوشته شده بسیار بزرگ و عیب یابی، م ستند سازی و تغییرات آینده آن نیز به همان ن سبت پیچیده تر می شود. همچنین با وجود استاندارد، گاهی در جابجایی برنامه از یک PLC ساخته شده توسط یک شرکت به PLC شرکت دیگر دشواری‌هایی وجود دارد .

برای حل م شکلات این زبان، یک راه، ا ستفاده از طراحی کنترل کننده در چارچوب تئوری کنترل نظارتی بر پایه شبکه‌های پتری و سپس پیاده سازی آن با تبدیل شبکه پتری به LD است [۶۴]. بنابراین با این روش، برنامه ایجاد شده با مدلسازی پتری نیازی به جزئیات برنامه نویسـی ندارد و همچنین دارای یک قالب باز اسـت و می توان آن را با تبدیل به زبان LD بر روی هر PLC ای از هر شرکت سازنده ای پیاده سازی نمود. برای این هدف شبکه پتری تو سعه داده شده ا ست بطوری که بتوانند بر خلاف شبکه‌های پتری معمولی، با محرک‌ها و حسـگرها ارتباط برقرار کنند. این نوع از PN، شـبکه پتری کنترلی یا PNC نام دارد. هدف از این کار، ایجاد م شخ صه‌های ا ضافی در شبکه پتری معمولی برای تسهیل در خواندن از حسگر در گذرگاه‌ها و کنترل محرک در هر دو حالت سـیگنال لبه و سـطح و تبدیل آن به LD اسـت. در حقیقت از آنجا که در شـبکه پتری جزئیات پیاده سازی در نظر گرفته ن شده ا ست، این امکانات به PN ا ضافه شده تا کار تبدیل ساده تر شود .

در این مدل پتری لازم اسـت تا وضـعیت خروجی‌ها در هریک از حالت‌ها مشـخص باشد. همچنین عملکرد زمانسنجها و سایر عملیات منطقی وریاضی مورد نیاز باید در هر مکان شبکه پتری م شخص با شد. در PNC، می توان به یک مکان عمل اخت صاص داد. اگر گذرگاه خروجی دارای شرط یا پی شامد با شد، عمل ماندگار نامیده می شود چرا که پس از اینکه مکان کنترل دارای نشـانه شـد، عمل فعال می‌ماند تا اینکه نشـانه از مکان خارج شود. اگر در گذرگاه خروجی یک مکان، شرطی وجود نداشته باشد، بنابراین نشانه تنها برای زمان کوتاهی می تواند در این مکان باقی بماند. عمل اختصـــاص یافته به این

۹-۷- جمع بندی

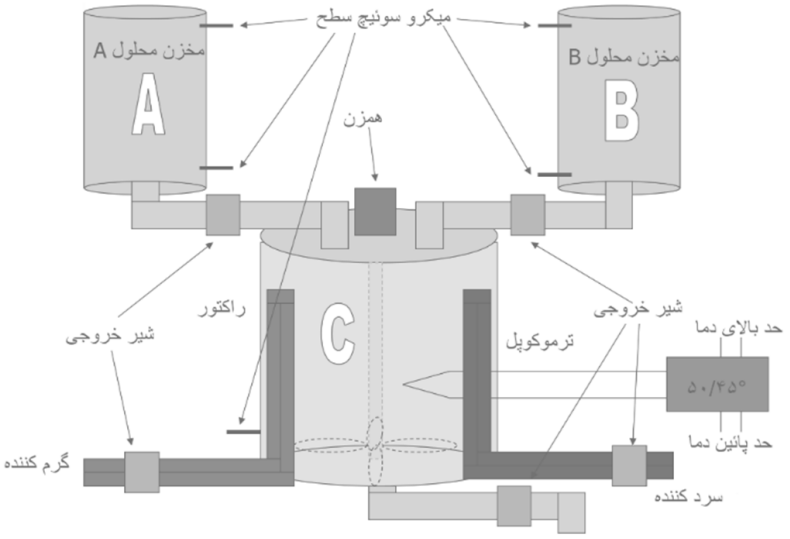
در این فصل دیدیم که چگونه می توان کنترل کننده طراحی شده با استفاده از شبکه‌های پتری را به برنامه LD و SFC تبدیل کرد. مدل سازی با پتری این امکان را فراهم می کند که در ابتدای کار طراحی کنترل کننده را بدون درگیری با جزئیات برنامه نویسی انجام داده و در انتها با اضافه کردن جزئیات برنامه نویسی، به سادگی برنامه معادل SFC را بنویسیم.

۹-۸- تمرین‌ها

۱) مطلوب است برنامه SFC تمرین ۶-۳ با مشخص کردن کامل تمام ورودی و خروجی‌ها

۲) مطلوب است برنامه SFC و LD کنترل یک آسانسور دو طبقه

۳) می‌خواهیم سیستم اتوماسیون تولید یک ماده شیمیایی را طراحی کنیم برای تولید این ماده شیمیایی، ابتدا محلول A به مقدار معین وارد راکتور C شده و سپس محلول B وارد می‌شود. با ورود محلول B همزن روشن شده و سیستم کنترل دما نیز فعال می شود بطوری که دما را در محدوده ۴۵ درجه تا ۵۰ نگه دارد.(سیستم کنترل دما دارای یک سیستم گرمکن و یک سیستم سرد کن می‌باشد). پس از اتمام ورود محلول B ، دما بمدت ۳۰ دقیقه در محدوده مورد نظر کنترل شده وسپس پخت به پایان رسیده محلول از راکتور خارج می شود. مطلوب است طراحی برنامه SFC سیستم اتوماسیون مورد نظر با اجزای نشان داده شده در شکل زیر:



شکل ۹-۲۰: سیستم مورد نظر در تمرین ۳

علائم اختصاری

AC:	Alternating Current
AFCET:	Association Française de Cybernétique Economique et Technique
CCW:	Counterclockwise
DC:	Direct Current
EPROM:	Erasable Programmable Read-Only Memory
FBD:	Functional Block Diagram
GRAFCET:	GRAphe Fonctionnel de Commande Etape Transition
HMI:	Human-Machine Interface
IL:	Instruction List
LD:	Ladder Diagram
LSB:	Least Significant Byte
LVDT:	Linear Variable Differential Transformer
PLC:	Programmable Logic Controller
PN:	Petri Nets
RAM:	Random Access Memory
RVDT:	Differential Transformer Variable Rotary
SFC:	Sequential Function Chart

فهرست منابع و مآخذ

[1] C. G. Cassandras and S. Lafortune , Introduction to Discrete Event Systems, newyork: Speringer, 2008.

[2] I. Sinclair, Sensors and Transducers, london: Elsevier, 2001.

[3] I. Texas, "LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors datasheet (Rev. H)," Texas Instruments, 21 12 2017. [Online]. Available: https://www.ti.com/product/LM35. [Accessed 05 11 2021].

[4] C. Johnson, "Effect of piezoelectric actuation on curved beams and single lap joints"," LSU Master's Theses, louisiana, 2011.

[5] techniqa, "روش حجمی اندازه گیری دبی," techniqa, 11 07 2015. [Online]. Available: http://www.techniqa.ir/blog/. [Accessed 05 11 2021].

[6] payasens, "فلومتر," payasens, 1 1 2020. [Online]. Available: https://www.payasense.com/فلومتر/. [Accessed 05 11 2021].

[7] M. jazmi, "Calibration and Measurement," 1 5 2017. [Online]. Available: http://calibration-info.blogfa.com/tag/توربینی-سنج-جریان. [Accessed 5 11 2021].

[8] J. T. Humphries and . L. P. Sheets, Industrial Electronics, Clifton Park: Cengage Learning, Inc, 1989.

[9] polyspede., "HP series," 1 1 2021. [Online]. Available: http://www.polyspede.com/?p=379. [Accessed 5 11 2021].

[10] ع .دیدبان" ,طراحی وساخت کنترل کننده منطقی قابل برنامه ریزی "دانشگاه صنعتی شریف ,پایاننامه کارشناسی ارشد ,۱۳۷۶.

[11] Delta, "DVP-PLC Application Manual: Programming," 9 6 2020. [Online]. Available: https://downloadcenter.deltaww.com/en-US/DownloadCenter. [Accessed 6 11 2021].

[12] D. Brent and West, Introduction to graph theory, Upper Saddle River: Prentice hall, 2001.

[13] M. S. Rahman, Basic graph theory, Dhaka: Springer, 2017.

[14] Mathematics, "Determine the number of paths of length 2 in a complete graph of n nodes," 1 1 2021. [Online]. Available: https://math.stackexchange.com/questions/1129911/determine-the-number-of-paths-of-length-2-in-a-complete-graph-of-n-nodes. [Accessed 6 11 2021].

[15] A. Ahangarani Farahani and A. Dideban, "Continuous-Time Delay-Petri Nets as a new tool to Design State Space Controller," *Information Technology and Control,* vol. 45, no. 4, pp. 401 - 411, 2016.

[16] A. Ahangarani Farahani and A. Dideban, "Hybrid Time Delay Petri Nets as a Mathematical Novel Tool to Model Dynamic System with Current Sample Time," *Control and Optimization in Applied Mathematics ,* vol. 3, no. 1, pp. 45-64, 2018.

[17] A. Dideban and m. Sabouri Rad , "Electrical Circuit Modelling with Petri Net by Using of Control Arcs," *Journal of Modeling in Engineering,* vol. 11, no. 4, pp. 39-47, 2014.

[18] R. David and H. Alla, Discrete, Continuous, and Hybrid Petri Nets, Berlin: springer, 2010.

[19] B. Hrúz and M.C. Zhou, Modeling and Control of Discrete-event Dynamic Systems, London: Springer, 2007.

[20] A. Dideban, "Synthesis of discrete controller by simplification of constraints and conditions," Joseph Fourier university, Grenoble, 2007.

[21] W. M. Wonham, "Posted Research Material on Supervisory Control of Discrete-Event Systems," University of Toronto, 28 09 2020. [Online]. Available: https://www.control.utoronto.ca/DES/Research.html. [Accessed 14 11 2021].

[22] P. J. Ramadge and W. M. Wonham, "Modular Feedback Logic for Discrete Event Systems," *SIAM Journal of Control and Optimization,* vol. 25, no. 5, pp. 1202-1218, 1987.

[23] P. J. Ramadge and W. M. Wonham, "Supervisory Control of a Class of Discrete Event Processes," *SIAM Joural of Control and Optimization,,* vol. 25, no. 1, pp. 206-230, 1987.

[24] Z. Ma, Z. Li and A. Giua, " Characterization of Admissible Marking Sets in Petri Nets With Conflicts and Synchronizations," *Transactions on Automatic Control,* vol. 62, no. 3, pp. 1329-1341, 2017.

[25] Cai, Kai, and W. M. Wonham. "Supervisory control of discrete-event systems." In Encyclopedia of Systems and Control. London, UK: Springer, 2020.

[26] A. Dideban and H. Zeraatkar, "Petri Net controller synthesis based on decomposed manufacturing models," *ISA Transactions,* vol. 77, pp. 90-99, 2018.

[27] R. Kumar and L. E. Holloway, "Supervisory control of deterministic Petri nets with regular specification languages," *IEEE Transactions on Automatic Control,* vol. 41, no. 2, pp. 245-249, 1996.

[28] H. Dierks, "PLC-automata: a new class of implementable," *Theoretical Computer Science,* vol. 253, pp. 61-93, 2001.

[29] V. Deligiannis and S. Manesis, "Implementing global automata in PLCs based on the IEC 61131-3 programming norm," *International Journal of Industrial and Systems Engineering,* vol. 6, no. 2, pp. 163-186, 2010.

[30] J. Yoo, S. Cha, C. H. Kim and D. Y. Song, "Synthesis of FBD-based PLC design from NuSCR formal specification," *Reliability Engineering & System Safety,* vol. 87, no. 2, pp. 287-294, 2005.

[31] S. F. Ashrafian and A. Dideban, "Using of supervisory control theory in emergency shout down control system of an off-shore gas platform," *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège,* vol. 85, no. Special edition, pp. 756-765, 2016.

[32] S. Rezig, C. Ghorbel, Z. Achour and N. Rezg, "PLC-based implementation of supervisory control for flexible manufacturing systems using theory of regions," *International Journal of Automation,* vol. 13, no. 5, pp. 619-640, 2019.

[33] P. Nazemzadeh, A. Dideban and M. Zareiee, "Fault Modeling in Discrete Event Systems Using Petri Nets," *ACM Transactions on Embedded Computing Systems,* vol. 12, no. 1, pp. 1-12, 2013.

[34] Menezes, P. Blauth , Costa and J. Félix, "SYNCHRONIZATION IN PETRI NETS," *Fundamenta Informaticae,* vol. 26, no. 1, pp. 11-22, 1996.

[35] Y. Huang, M. Jeng , X. Xie and S. Chung, "Deadlock prevention policy based on Petri nets and siphons," *International Journal of Production Research,* vol. 39, no. 2, pp. 283-305, 2001.

[36] Z. W. Li, N. Q. Wu and M. C. Zhou, "Deadlock control of automated manufacturing systems based on Petri nets-A literature review," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews,* vol. 42, no. 2, pp. 437-462, 2012.

[37] A. Dideban, M. Zareiee and H. Alla, "Controller Synthesis with Highly Simplified Linear Constraints," *Asian Journal of Control,* vol. 15, no. 1, pp. 80-94, 2013.

[38] N. Busi, "Analysis issues in Petri nets with inhibitor arcs," *Theoretical Computer Science,* vol. 275, no. 1-2, pp. 127-177, 2002.

[39] A. Dideban and H. Alla, "From forbidden state to linear constraints for the optimal supervisory control," *Control Engineering and Applied Informatics,* vol. 7, no. 3, pp. 48-55, 2005.

[40] A. Dideban and H. Alla, "Solving the problem of forbidden states by feedback control logical synthesis," in *The 32nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Paris, 2006.

[41] A. Ghaffari, N. Rezg and X. Xie, "Feedback control logic for forbidden-state problems of marked graphs: application to a real manufacturing system," *IEEE Transactions on Automatic Control,* vol. 48, no. 1, pp. 18-29, 2003.

[42] J. O. Moody and P. Antsaklis, "Petri net supervisor for DES with uncontrollable and unobservable transition," *IEEE Transacions on Automatic Control,* vol. 45, no. 3, pp. 462-476, 2000.

[43] M. Uzam, "On suboptimal supervisory control of petri nets in the presence of uncontrollable transitions via monitor places," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* vol. 47, pp. 567-579, 2010.

[44] Y. Chen , L. Zhiwu , M. Khalgui and O. Mosbah, "Design of a Maximally Permissive Liveness-Enforcing Petri Net Supervisor for Flexible Manufacturing Systems," *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering,* vol. 8, no. 2, pp. 374-393, 2011.

[45] S. Wang, Y. Dan and S. Carla, "A Novel Approach for Constraint Transformation in Petri Nets With Uncontrollable Transitions," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems,* vol. 48, no. 8, pp. 1403-1410, 2018.

[46] S. Wang, Y. Dan, M. C. Zhou and S. Carla, "Characterization of Admissible Marking Sets in Petri Nets with Uncontrollable

Transitions," *IEEE Transactions on Automatic Control,* vol. 61, no. 7, pp. 1953-1958, 2016.

[47] F. Basile, , P. Chiacchio and A. Giua, "Suboptimal supervisory control of Petri nets in presence of uncontrollable transitions via monitor places," *automatica,* vol. 42, no. 6, pp. 995-1004, 2006.

[48] A. Ghaffari, R. Nidhal and X. Xiaolan , "Design of a live and maximally permissive Petri net controller using the theory of regions.," *IEEE Trans. Robotics Autom.,* vol. 19, no. 1, pp. 137-141, 2003.

[49] A. Giua, , F. DiCesare and M. Silva, "Generalized mutual exclusion constraints on nets with uncontrollable transitions", USA, 974-979, (1992).," in *In Proc. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, Chicago, 1992.

[50] A. Dideban and H. Alla, "Reduction of Constraints for Controller Synthesis based on Safe Petri Nets," *Automatica,* vol. 44, no. 7, pp. 1697-1706, 2008.

[51] K. Yamalidou, J. Moody, M. Lemmon and P. Antsaklis, "Feedback control of Petri Nets based on place invariants," *Automatica,* vol. 32, no. 1, pp. 15-28, 1996.

[52] م .زارعی" ,طراحی و بهینه سازی کنترل کننده در سیستمهای گسسته پیشامد مدل شده با شبکه های پتری ",دانشگاه سمنان ,رساله دکتری ,۱۳۹۲.

[53] A. Dideban and H. Alla, "Feedback control logic synthesis for non safe Petri nets. INCOM," in *13th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing*, Moscow, 2009.

[54] H. Vasiliu, A. Dideban and H. Alla, "Control Synthesis for Manufacturing Systems Using Non-Safe Petri Nets," *Control Engineering and Applied Informatics,* vol. 11, no. 2, pp. 43-50, 2009.

[55] A. I. Vasiliu , A. Dideban and H. Alla , "Control Synthesis for Manufacturing Systems Using Non-Safe Petri Nets," *Journal of Control Engineering and Applied Informatics,* vol. 11, no. 2, pp. 43-50, 2009.

[56] M. Zareiee, A. Dideban and . A. A. Orouji, "Time Management Approach on a Discrete Event Manufacturing System Modeled by Petri Net," *International Journal of Industrial Engineering & Production Research,* vol. 22, no. 2, pp. 115-121, 2011.

[57] M. Yazdani and A. Dideban, "Suboptimal time management of discrete event systems with uncontrollable events modeled by Petri nets," *Asian Journal of Control,* vol. 22, no. 3, pp. 1099-1111, 2020.

[58] M. Zareiee, A. Dideban and A. A. Orouji, "Safety analysis of discrete event systems using a simplified Petri net controller," *ISA Transactions,* vol. 53, no. 1, pp. 44-49, 2014.

[59] F. Basile, P. Chiacchio and A. Giua, "An Optimization Approach to Petri Net Monitor Design," *IEEE Transactions on Automatic Control,* vol. 52, no. 2, pp. 306-311, 2007.

[60] A. Dideban, "Synthèse optimale d'un contrôleur par construction l'ensemble minimal de contraints," *Journal Européen des Systèmes Automatisés (JESA),* vol. 39, no. 3, pp. 127-141, 2005.

[61] M. Zareiee, A. Dideban, A. A. Orouji and H. Soleymanpour, "Simplification of a Petri Net Controller in Industrial Systems by Using an Optimization Algorithm," *Intternattiionall Journall off Industtriiall Engiineeriing & Producttiion Research,* vol. 24, no. 1, pp. 59-70, 2013.

[62] Y. Chen, Z. Li and M. Zhou, "Optimal Supervisory Control of Flexible Manufacturing Systems by Petri Nets: A Set Classification Approach,," *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering,* vol. 11, no. 2, pp. 549-563, 2014.

[63] A. Dideban, M. Zareiee and A. A. Orouji, "A Simple Petri Net Controller by Solving Some Integer Linear Programming Problems," *Journal of Control Engineering and Applied Informatics,* vol. 16, no. 4, pp. 3-11, 2014.

[64] S. S. Peng and M. C. Zhou, "Ladder diagram and Petri-net-based discrete-event control design methods," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews),* vol. 34, no. 4, pp. 523-531, 2004.

[65] A. Dideban, M. Kiani and H. Alla, "Implementation of Petri Nets Based Controller using SFC," *Control Engineering and Applied informatics,* vol. 13, no. 4, pp. 82-92, 2011.

پیوست الف

آشنایی با نرم افزار

TCT

نرم‌افزار TCT

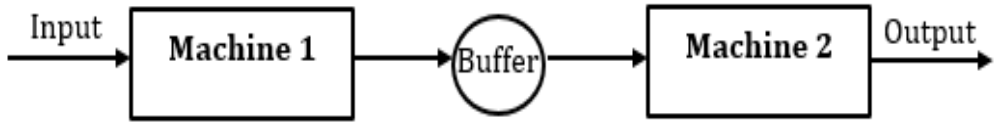
نرم‌افزار TCT، نرم‌افزاری ساده برای پیاده‌سازی زبان اتوماتا است. درواقع در بسیاری موارد، هنگامی که تعداد کلمات در زبان اتوماتا زیاد باشد، این نرم‌افزار به راحتی با چند دستور ساده، قابلیت مدلسازی سیستم را دارد. بدین منظور در جهت یادگیری کار با این نرم‌افزار، با تکرار مثال ۶-۱۰، به صورت قدم‌به‌قدم، کار آموزش را درپیش می‌گیریم.

مثال الف-۱ : فرض کنید سیستمی به صورت شکل الف-۱ در دسترس است که مشخصات کلی آن به شرح زیر است؟

الف) دارای دو ماشین است که به صورت مستقل عمل می‌کنند.

ب) ظرفیت بافر ۱ است.

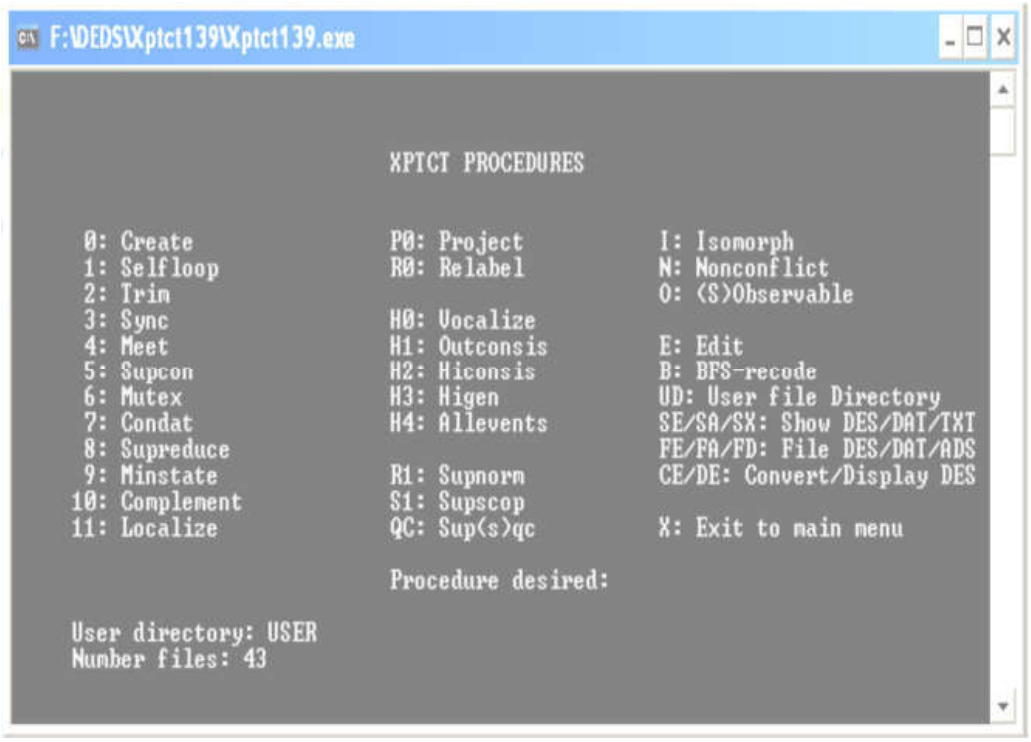
حال با استفاده از نرم‌افزار مناسب، مدل اتوماتای محدود آن را بدست آورده و رسم کنید.



شکل الف -۱ : سیستم توصیف‌شده در مسئله

قبل از حل مسئله، قابل ذکر است که نرم‌افزار مورد استفاده در این قسمت به نام Xptct139 می‌باشد که از سایت آقای دکتر وانهام (Wonham) دریافت شده است.

حل: بعد از دانلود نرم‌افزار و باز کردن آن، محیط کلی نرم‌افزار به صورت شکل الف - ۲ دیده می‌شود:



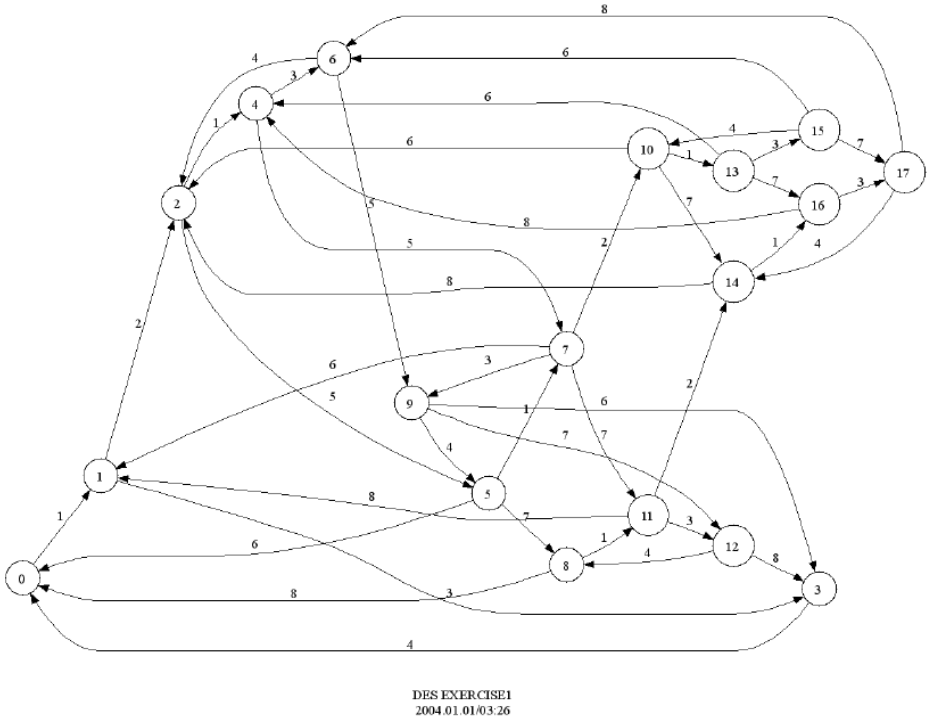
شکل الف- ۲ : محیط کلی نرم‌افزار TCT

ساختار اجزاء سیستم: در ابتدا نحوه ساخت هز جزء از سیستم را آموزش داده و در بخش دوم به چگونگی ترکیب این اجزاء و دستیابی به نتیجه نهایی می‌پردازیم.

گام اول:

در ابتدای کار باید سیستم بالا را که شامل سه بخش ماشین۱، بافر و ماشین ۲ می‌باشد، به صورت جزء به جزء و کاملاً مستقل از هم، مدلسازی کنیم که به این کار مدلسازی اجزاء گفته می‌شود. مدل اولیه این اجزاء در شکل الف-۳ مشخص شده است.

حال با انجام مرحله دوم، فایل کلی ساخته می‌شود. می‌توان به همان روشی که قبلاً گفته شد، شکل آن را نیز مشاهده کرد. شکل نهایی در شکل الف – ۲۳ آورده شده است.



شکل الف-۲۳: شکل نهایی اتوماتای محدود

پیوست ب

آشنایی با نرم افزار

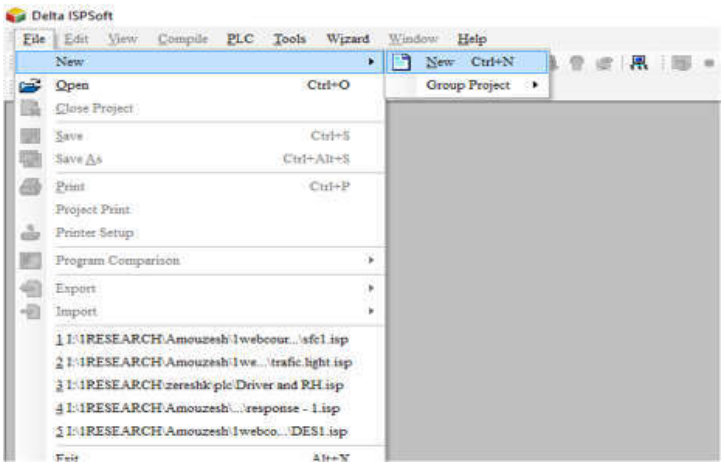
ISPSOFT

نرم افزار ISPSOFT

این نرم افزار متعلق به شرکت دلتا بوده و به صورت رایگان از سایت این شرکت قابل بارگیری است برای این منظور کافی است به آدرس سایت این شرکت که در حال حاضر https://downloadcenter.deltaww.com/en-US/ می‌باشد مراجعه نموده و با جستجوی کلمه کلیدی ISPSOFT این نرم افزار را دانلود و نصب نمایید. برای کار با این نرم افزار نیاز به یک نرم افزار واسط جهت ارتباط کامپیوتر با PLC یا با محیط شبیه سازی به نام COMMGR نیز هست که با جستجوی نام آن در همان سایت قابل بارگیری خواهد بود. پس از نصب این دو نرم افزار می‌توانید از این محیط برنامه‌نویسی جهت نوشتن برنامه با زبانهای دیاگرام نردبانی(LD) ، لیست عبارات(IL) و زبان نمودار عملکردهای متوالی(SFC) استفاده کرد. در این قسمت به آشنایی مختصر با ورود به محیط برنامه نویسی و ایجاد یک برنامه ساده با زبان SFC پرداخته شده است. جهت کار با این محیط برنامه نویسی گامهای زیر را انجام دهید

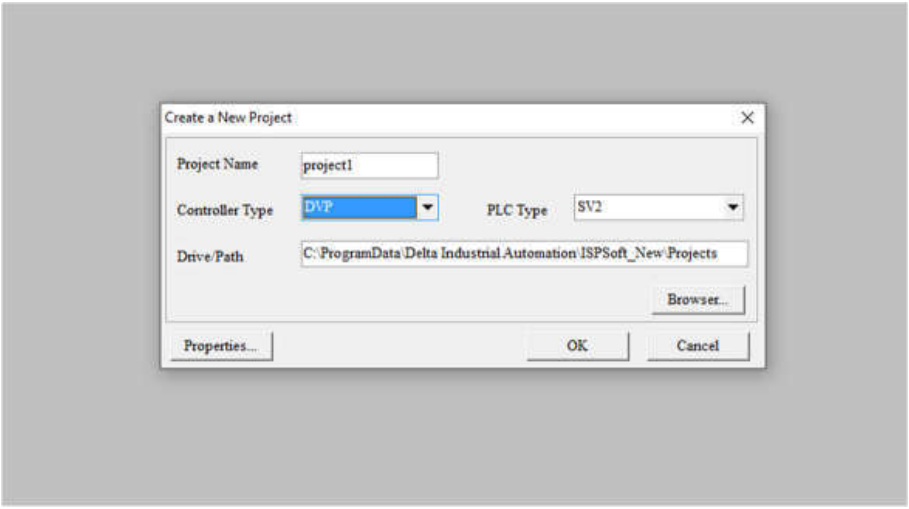
گام اول : نرم افزار ISPSOFT را اجرا کنید

در منوی فایل یک پروژه جدید ایجاد کنید (شکل ب-۱)



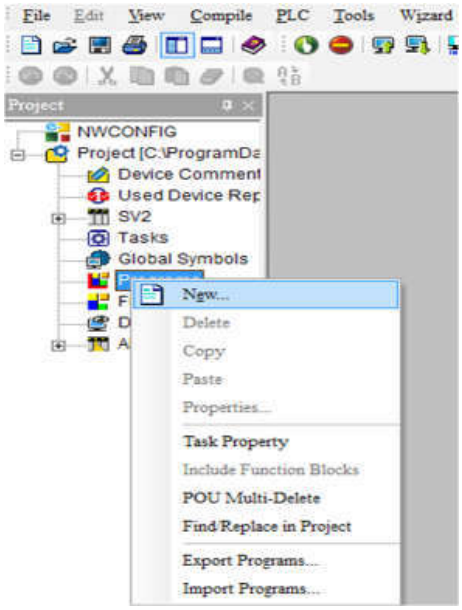
شکل ب-۱: ایجاد یک پروژه جدید

گام دوم : نوع کنترل کننده و PLC را متناسب بانوع دلخواه خود انتخاب کرده مسیر ذخیره سازی فایل‌های خود را مشخص کنید. (شکل ب-۲)



شکل ب-۲ : انتخاب نوع کنترل کننده و PLC

گام سوم: بر روی Programs کلیک راست کرده وبرنامه جدید ایجاد کنید. (شکل ب-۳)



شکل ب-۳: ایجاد برنامه جدید