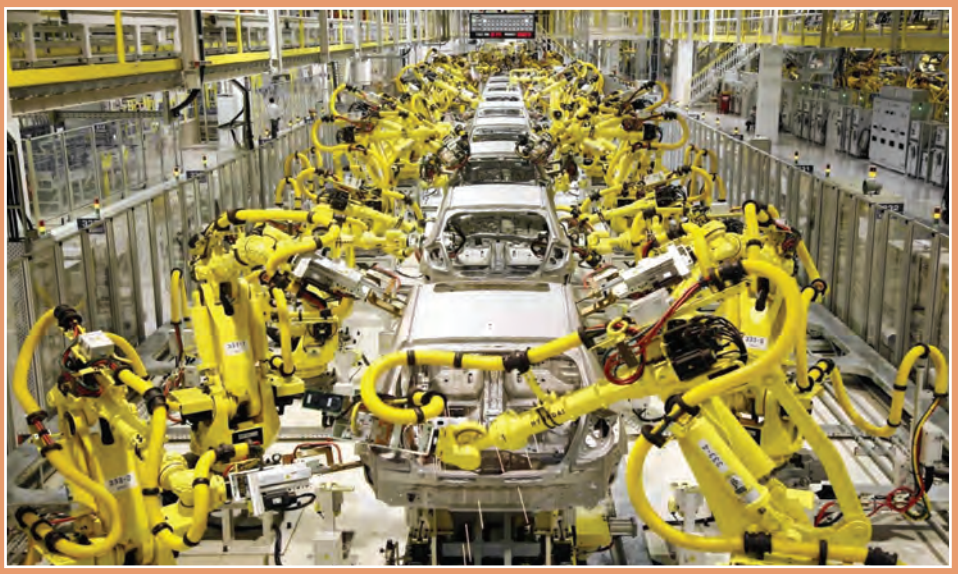
فصل ۵

کنترل

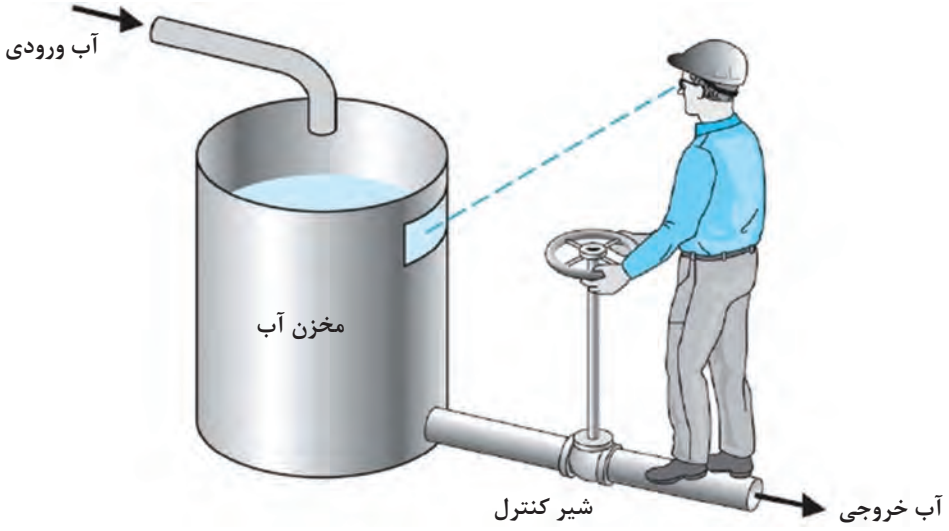


- مفهوم کنترل را توضیح دهد.
- کاربرد کنترل را بیان کند.
- وظایف حسگرها در سیستم‌های کنترل را شرح دهد.
- کاربرد کنترل در سیستم مدیریت ساختمان را بیان کند.
- انواع محرک‌ها در سیستم‌های کنترلی را نام ببرد.
- مدل‌سازی سیستم‌های مکاترونیکی را تعریف نماید.
- مفهوم سیستم را بیان کرده و نمودار بلوکی آنها را رسم کند.

مقدمه‌ای بر کنترل

کنترل چیست؟

کنترل شاخه‌ای از علوم مهندسی است که به کنترل رفتار سیستم‌ها با کمک ورودی و پس‌خورد (Feedback) خروجی آنها می‌پردازد. پس‌خورد یا فیدبک توسط حسگرها حاصل می‌شود. در واقع فیدبک به نوعی آگاهی از رفتار سیستم است.



شکل ۱ـ۵ـ کنترل دستی ارتفاع آب

علم کنترل یکی از جذاب‌ترین علوم در مهندسی است و در سایر علوم مهندسی نظیر برق، مکانیک، هوافضا، شیمی و ... به‌صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل بالا فرایند کنترل سطح آب یک مخزن را نشان می‌دهد. هدف این فصل کنترل خودکار یا اتوماتیک و بدون نیاز به انسان است. فیدبک در شکل بالا توسط چشم کاربر حاصل می‌شود و با آگاهی از سطح مخزن شیر را باز یا بسته می‌کند. این کنترل به‌صورت دستی صورت گرفته است.

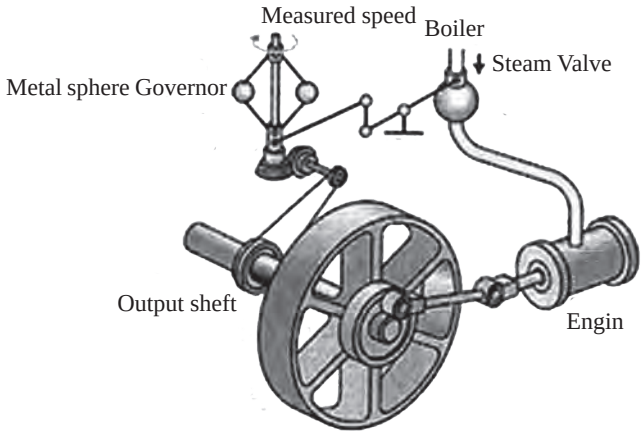
در این فصل ابزارهای لازم جهت کنترل خودکار سیستم‌ها بیان می‌شوند. در کنترل خودکار احتیاج به کاربر نیست و تمام فرایند کنترل به‌صورت خودکار اجرا می‌شود.

تاریخچه کنترل

ارسطو(Aristotle) در کتاب اول، در باب «سیاست» چنین می‌نویسد: اگر هر وسیله‌ای به‌صورت خودکار می‌توانست کار خود را مستقل از انسان انجام دهد مثلاً چنگ بدون دخالت دست انسان می‌نواخت آنگاه نه رئیسی در کار بود و نه برده داری!

جملهٔ ارسطو در ۳۸۰ سال قبل از میلاد به‌صورت شفاف هدف اصلی علم کنترل را نشان می‌دهد. می‌توان چنین برداشت کرد که هدف اصلی علم کنترل را می‌توان خودکار کردن کارها و فرایندها جهت افزایش

کیفیت زندگی بشر دانست.
تلاش‌های صورت گرفته جهت ساخت سامانه‌های خودکار مکانیکی دارای تاریخچه‌ای جالب و طولانی می‌باشد. در واقع واژه «اتوماسیون(Automation)» تا دهه ۴۰ میلادی رایج نبود. تا آنکه در آن زمان توسط کمپانی Ford motor برای نام‌گذاری فرایندی استفاده شد که طی آن ماشینی یک قطعه را از یک ایستگاه کاری به ایستگاه کاری دیگر جهت مونتاژ انتقال داده و سپس آن قطعه را دقیقاً در محل معینی برای انجام مراحل آتی مستقر می‌گرداند. با این وجود، توسعه موفقیت‌آمیز سامانه‌های خودکار مکانیکی قبل از آن مقطع نیز اتفاق افتاده بود. به‌طور مثال، کاربردهای ابتدایی سامانه‌های کنترل خودکار در یونان و در سال ۳۰۰ قبل از میلاد با توسعه مکانیسم‌های تنظیم کننده (Regulator) شناور به اجرا در آمد. ساعت آبی (Ktesibios) که در آن از تنظیم کننده شناور آب استفاده شده، و یک چراغ نفتی شناور که از آن جهت ایجاد سطحی ثابت استفاده می‌شده است دو نمونه دیگر هستند. بعدها و در قرن اول میلادی، Heron در اسکندریا کتابی به‌نام «نیوماتیکا» (Pneumatica) انتشار داد که طی آن گونه‌های مختلف مکانیسم‌های تنظیم سطح آب را با استفاده از تنظیم‌کننده‌های شناور تشریح نمود.
در اروپا و روسیه بین قرون ۱۷ و ۱۹ میلادی تجهیزات مهم بسیاری اختراع شدند که بعضاً مرتبط با کنترل بوده‌اند. کورنلیت دربل(Cornelis Derbel) تنظیم کننده حرارتی اختراع کرد که در واقع جزء اولین سیستم‌های پسخور، درآن دوره محسوب می‌شد. به دنبال آن Dennis Papis (۱۶۴۷ـ۱۷۲۰) تنظیم کننده ایمنی فشار جهت دیگ‌های بخار را در سال ۱۶۸۱ میلادی اختراع نمود. تنظیم کننده فشاری وی بیشتر مشابه شیر فشار دیگ‌های زودپز امروزی بوده است.
تکامل بعدی در اتوماسیون با پیشرفت‌های حاصل در نظریه کنترل مربوط به گاورنر (flyball) جیمز وات در سال ۱۷۶۹ میلادی می‌باشد. گاورنر (flyball) که در شکل ۲ـ۵ آمده است، جهت کنترل سرعت موتور بخار استفاده می‌شود. با اندازه‌گیری سرعت شفت خروجی و به‌کارگیری حرکت (flyball) شیر میزان بخار ورودی به موتور به‌طور خودکار کنترل می‌شود. با افزایش سرعت موتور، کره‌های فلزی روی گاورنر بلند شده و از محور شفت فاصله می‌گیرند و به این ترتیب راه شیر بسته می‌شود. با کاهش سرعت موتور کره‌های فلزی روی گاورنر پایین می‌آیند و راه شیر سوخت باز می‌شود. این نمونه‌ای از سامانه کنترل پسخور است که سیگنال بازخورد و راه انداز کنترل به‌طور کامل در یک سخت‌افزار مکانیکی کوپل می‌شوند.



شکل ۲ـ۵ـ نمایی از گاورنر جیمز وات

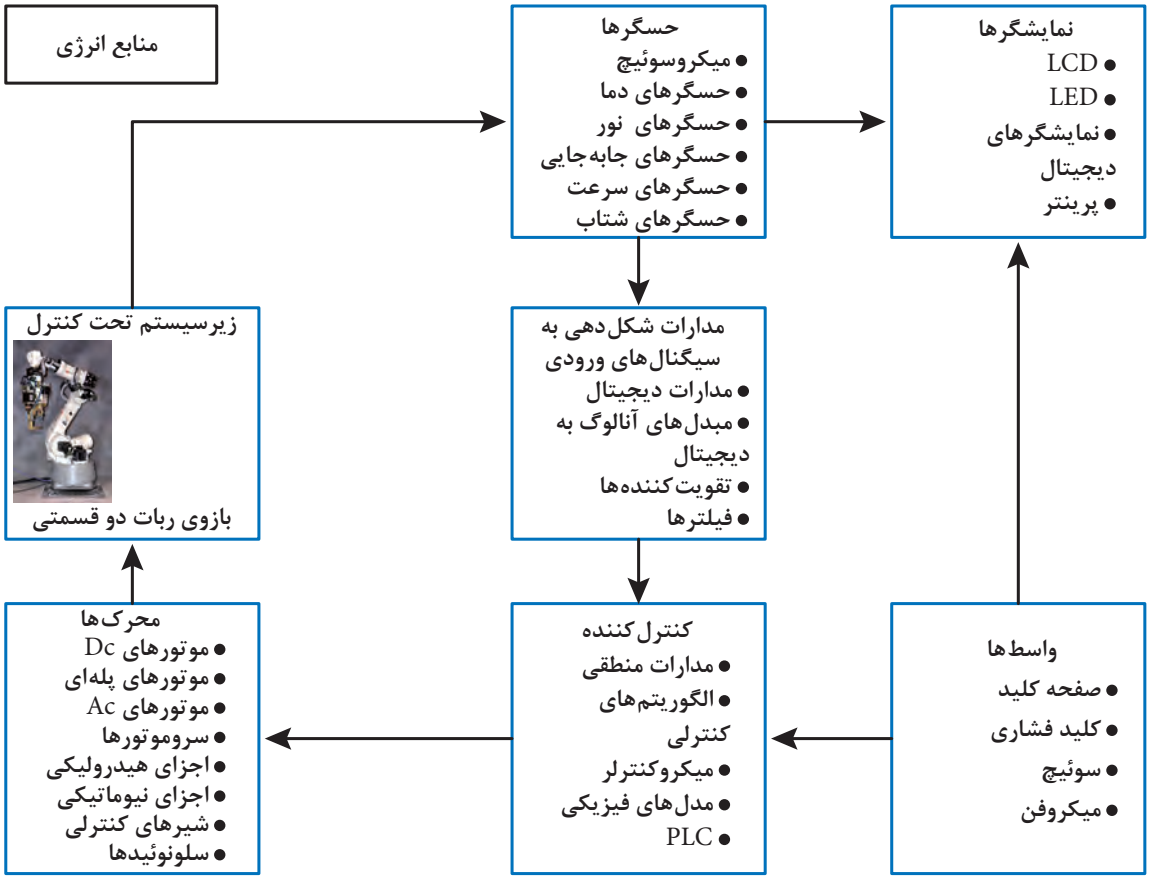
کاربرد کنترل، پاندول معکوس

سیستم

در این بخش به تعریف سیستم[1] پرداخته می‌شود. برای این منظور ابتدا باید مفهوم سیستم تعریف گردد. سیستم مجموعه‌ای از اجزای مختلف است که برای هدف خاصی کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. قلب، مغز و منظومه شمسی سیستم‌های طبیعی هستند. خودرو، هواپیما، کشتی، ربات، پالایشگاه‌ها و کارخانه‌ها از جمله سیستم‌های مصنوعی هستند که توسط انسان ساخته شده‌اند. یک سیستم که خود جزئی از یک سیستم بزرگ‌تر است، **زیر سیستم** نامیده می‌شود. به‌طور مثال، قلب خود یک سیستم است که جزئی از یک سیستم بزرگ‌تر یعنی بدن است. پس هنگام بررسی بدن، قلب یک زیر سیستم برای بدن محسوب می‌شود.پ

اجزای سیستم کنترلی

درشکل زیر **اجزای یک سیستم کنترلی** آورده شده است. توجه شود که ممکن است سیستم کنترلی برخی از این اجزا را نداشته باشد.



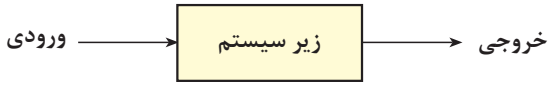
شکل ۳ـ۵ـ اجزای یک سیستم کنترلی

۱ـ System

به عنوان مثال، در یک پهپاد، حسگرها موقعیت و ارتفاع را اندازه‌گیری می‌کنند. ولتاژ خروجی حسگرها پس از تقویت شدن و حذف نوسانات غیر مجاز به کنترل‌کننده ارسال می‌شود. کنترل کننده با توجه به موقعیت جاری و موقعیت مطلوب پهباد تصمیم‌گیری می‌نماید که با چه توانی موتورهای پهپاد را به حرکت در آورد و زاویه هریک از بالک‌ها چگونه باشد تا پهپاد به موقعیت مطلوب برسد.

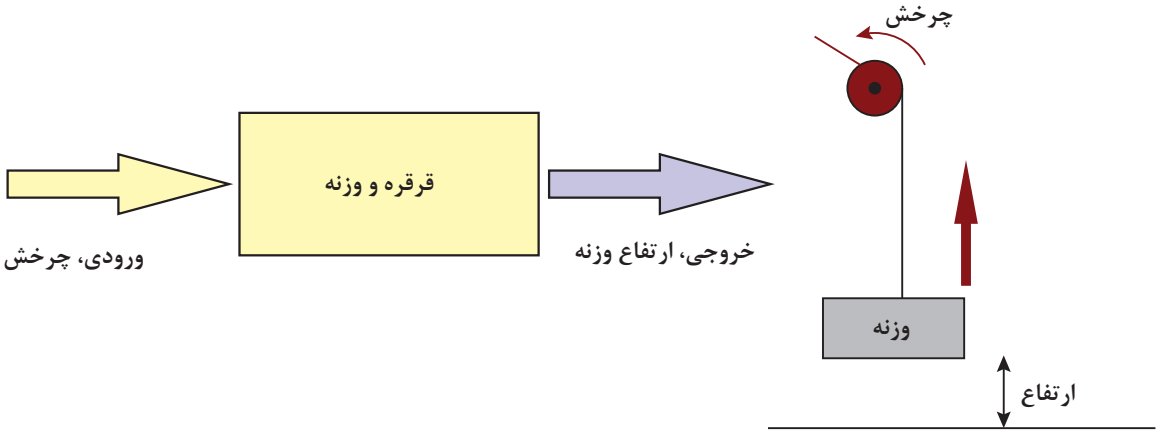
نمودار بلوکی

برای اینکه بتوانیم تأثیر متقابل قسمت‌های مختلف یک سیستم مکاترونیکی را درک کنیم از **نمودارهای بلوکی** (Block Diagram) استفاده می‌کنیم. نمودار بلوکی از بلوک‌های مجزا تشکیل شده است که در آن ارتباط میان بلوک‌ها با **خطوط جهت‌دار** نمایش داده می‌شوند. هر بلوک نشان‌دهندهٔ یک زیرسیستم است. یک زیرسیستم می‌تواند چند ورودی و چند خروجی داشته باشد. اما اغلب زیرسیستم‌های مکاترونیکی را می‌توان با بلوک‌هایی که دارای یک ورودی و یک خروجی است نمایش دهیم. ورودی سیگنالی است که از بیرون بر سیستم اثر می‌گذارد و باعث تغییر در سیستم می‌شود. خروجی رفتاری است که یک سیستم نشان می‌دهد.



شکل ۴ـ۵ـ نمودار بلوکی یک زیرسیستم

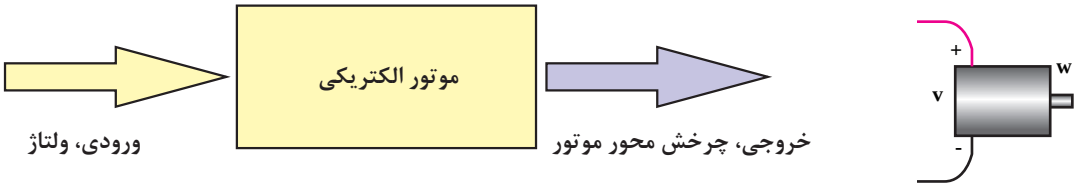
زیرسیستم **قرقره و وزنه** را در نظر بگیرید. قرقره با چرخش سبب جمع شدن نخ می‌شود و وزنه به سمت بالا حرکت می‌کند.



شکل ۵ـ۵ـ نمودار بلوکی مربوط به زیر سیستم قرقره و وزنه

ورودی را با θ و خروجی را با h نمایش می‌دهیم. این بدین معناست که با چرخاندن قرقره می‌توان ارتفاع وزنه را کنترل کرد. به جهت فلش‌های کشیده شده توجه کنید. توجه شود که ورودی‌ها و خروجی‌های یک سیستم یکتا نیست؛ مثلاً برای همین سیستم قرقره و وزنه، می‌توان گشتاور وارد شده بر قرقره را به‌عنوان ورودی و سرعت حرکت وزنه را به‌عنوان خروجی تلقی کرد.

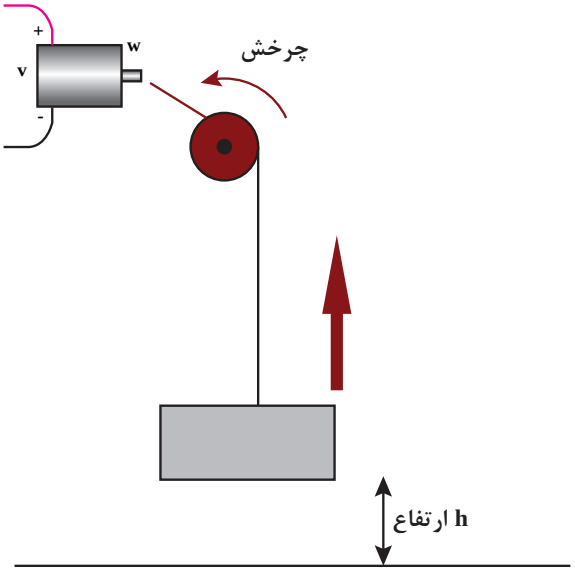
حال زیرسیستم **موتور الکتریکی** را در نظر بگیرید. این زیر سیستم را می‌توان با یک بلوک نمایش داد که دارای یک ورودی و یک خروجی می‌باشد. ورودی یک موتور الکتریکی ولتاژ و خروجی آن چرخش محور موتور است.



شکل ۶ـ۵ـ نمودار بلوکی مربوط به زیر سیستم موتور الکتریکی

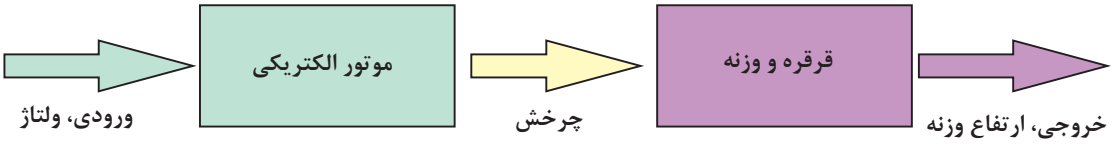
ورودی را با V و خروجی را با θ نمایش می‌دهیم. این بدین معناست که با دادن ولتاژ به یک موتور می‌توان میزان چرخش محور موتور را تغییر داد. به جهت فلش‌های کشیده شده توجه کنید.

اکنون می‌خواهیم به وسیلهٔ یک موتور الکتریکی و یک قرقره، وزنه را بالا بکشیم. بالابرهای استفاده شده برای جابه‌جایی مصالح و آسانسورها بدین ترتیب کار می‌کنند. برای این کار لازم است محور موتور را به قرقره متصل کنیم. بعد از اتصال محور موتور به قرقره با روشن کردن موتور وزنه به سمت بالا یا پایین حرکت می‌کند که به جهت چرخش موتور بستگی دارد.



شکل ۷ـ۵ـ اتصال دو زیر سیستم موتور الکتریکی و قرقره و وزنه

با توجه به شکل ۷ـ ۵، با اتصال این دو زیر سیستم یک سیستم بزرگ‌تر به نام بالابر حاصل شده است که ورودی آن ولتاژ و خروجی آن ارتفاع وزنه است. خروجی زیر سیستم اول، چرخش محور، به‌عنوان ورودی زیر سیستم دوم یعنی چرخش قرقره عمل می‌کند.



شکل ۸ـ۵ـ سیستم بالابر الکتریکی که از دو زیر سیستم کوچک‌تر تشکیل شده است.

برای کنترل ارتفاع وزنه می‌توانیم ولتاژ موتور را تغییر دهیم. در سیستم‌های کنترلی، متغیری که قصد داریم تا آن را به مقدار دلخواه تغییر دهیم **خروجی کنترلی** و متغیری که با آن می‌توان خروجی سیستم را تغییر داد **ورودی کنترلی** است. در سیستم بالابر الکتریکی، خروجی کنترل شده ارتفاع وزنه، و ورودی کنترلی ولتاژ موتور الکتریکی است.

شکل ۹ـ۵ـ نمونه‌ای از یک بالابر صنعتی

نکته

نمودار بلوکی تنها توابع و مسیر حرکت منطقی ورودی‌ها و خروجی‌ها را نشان می‌دهد و نوع ورودی‌ها و خروجی‌ها را مشخص نمی‌کند. همچنین نحوهٔ اتصالات الکتریکی و مکانیکی در نمودار بلوکی مشخص نمی‌شود.

فکر کنید

زیر سیستمی مثال بزنید که ورودی آن چرخش باشد و خروجی آن ولتاژ باشد، یعنی بالعکس موتور الکتریکی عمل کند.

کار در خانه

گیربکس یا جعبه دنده مجموعه‌ای از چرخ دنده‌هاست که برای تغییر مقدار سرعت و گشتاور مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شکل الف دو چرخ دنده را مشاهده می‌کنید که با هم درگیر هستند. وقتی چرخ دندهٔ کوچک ۱۰ دور می‌چرخد، چرخ دندهٔ بزرگ تنها یک دور می‌چرخد. این دو چرخ دنده یک گیربکس ساده محسوب می‌شود.

۱ـ شکل ب مربوط به یک موتور الکتریکی دارای گیربکس است. این سیستم را به دو زیرسیستم موتور و گیربکس تقسیم کنید و نمودار بلوکی آن را رسم کنید.

شکل الف

شکل ب

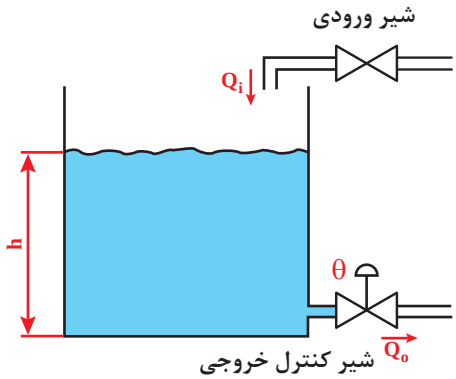
شکل ۱۰ـ۵

۲ـ اگر رابطهٔ سرعت موتور(دور بر دقیقه) و ولتاژ ورودی (ولت) آن به‌صورت $n=10\times V$ باشد و رابطهٔ سرعت ورودی و خروجی گیربکس به‌صورت $n_{out}=0/1\times n_{in}$ باشد، رابطهٔ بین ولتاژ موتور گیربکس‌دار و سرعت آن را به‌دست آورید.

کنترل حلقه باز و حلقه بسته

سیستم‌های کنترلی از جنبه‌های مختلف دسته‌بندی می‌شوند. از این جمله می‌توان سیستم‌های کنترل دستی (Manual Control System) ، خودکار (Automatic Control System)، سیستم‌های حلقه باز (Open Loop) وحلقه بسته (Closed Loop) را نام برد. نام دیگر سیستم کنترل حلقه بسته سیستم کنترل پسخور (Feedback) است.

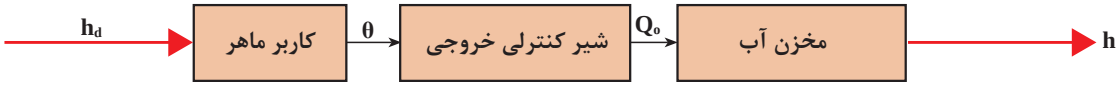
مخزن آب روباز شکل زیر را در نظر بگیرید.



شکل۱۱ـ۵ـ مخزن آب روباز

آب از شیر ورودی با دبی (Q_i) وارد مخزن می‌شود و با دبی (Q_o) از آن خارج می‌گردد. اگر دبی آب خروجی بیشتر از دبی آب ورودی باشد سطح آب در مخزن (h) پایین می‌رود. اگر دبی آب ورودی بیشتر از دبی آب خروجی باشد سطح آب مخزن بالا می‌رود. با توجه به شکل ۱۱ـ ۵ دبی آب ورودی قابل کنترل نیست (چون دستگیره‌ای برای کنترل ندارد)، ولی دبی آب خروجی با استفاده از تغییر زاویه (θ) شیر کنترلی خروجی قابل تنظیم است. هدف این است که سطح آب مخزن را در ارتفاع مطلوب (h_d) تنظیم شود.

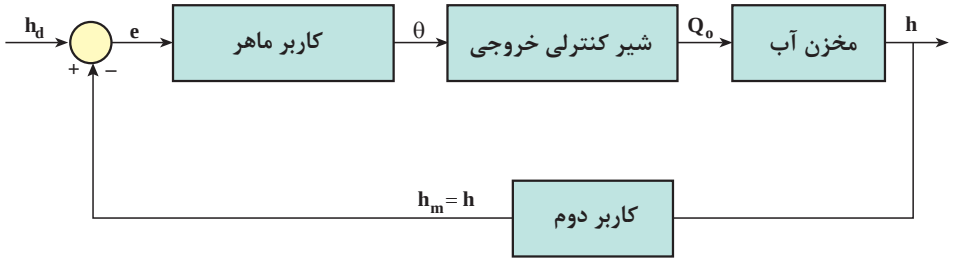
از آنجا که هدف، تنظیم سطح مخزن با استفاده از تنظیم دبی خروجی است پس از دیدگاه کنترلی h خروجی و Q_o ورودی زیر سیستم مخزن هستند. همچنین، θ و Q_o به ترتیب ورودی و خروجی زیر سیستم شیر کنترلی می‌باشند. برای انجام کنترل از کاربر ماهر استفاده شده است که طبق تجربه می‌داند شیر کنترلی را در چه زاویه‌ای قرار دهد تا سطح آب به ارتفاع h_d برسد. نمودار بلوکی این سیستم در شکل زیر آورده شده است.



شکل ۱۲ـ۵ـ دیاگرام بلوکی مخزن در حالت کنترل حلقه باز

دراین سیستم کاربر از مقدار سطح واقعی آب (h) در هر لحظه اطلاعی ندارد و فقط براساس تجربه عمل می‌کند. به این سیستم کنترل، **سیستم کنترل حلقه باز** می‌گویند.

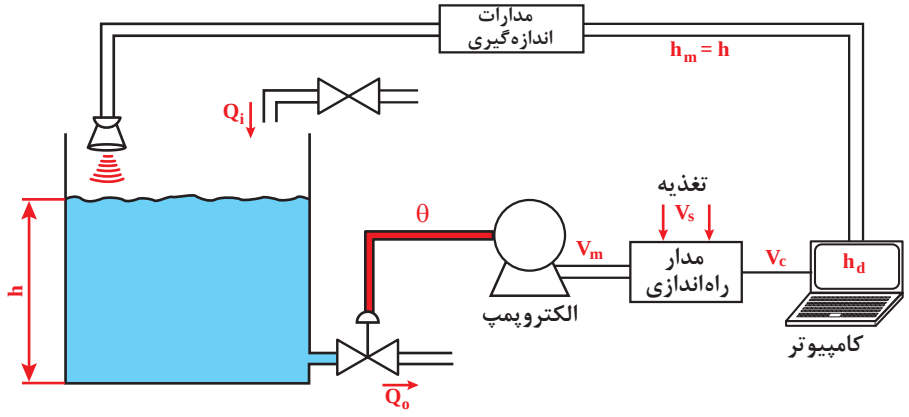
حال نفر دومی بالای مخزن می‌رود و با استفاده از شاخصی که در مخزن نصب شده سطح واقعی آب را خوانده و مقدار آن را هر لحظه به کاربر ماهر پایینی مخزن اطلاع می‌دهد. اگر $h_d > h$ باشد، کاربر ماهر شیر کنترلی را کمی می‌بندد و اگر $h_d < h$ باشد شیر کنترلی را کمی باز می‌کند. نمودار بلوکی این سیستم در زیر آورده شده است.



شکل۱۳ـ۵ـ دیاگرام بلوکی کنترل سطح آب مخزن در حالت حلقه بسته

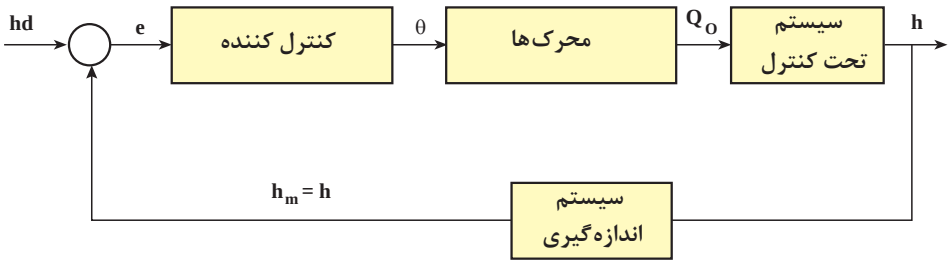
به این سیستم کنترلی **سیستم حلقه بسته یا سیستم پسخور** می‌گوییم. اگر در اثر عواملی چون بارندگی یا نشتی مخزن h تغییر کند، کاربر دوم آن را اندازه می‌گیرد و به اطلاع کاربر ماهر می‌رساند و زاویه شیر کنترلی مجدداً تنظیم می‌شود. خطای سیستم کنترل حلقه بسته کمتر و مقاومت آن در برابر عوامل مزاحم بسیار زیاد است. بخش اصلی سیستم حلقه بسته، پسخور آن است. پسخور باعث می‌شود کنترل کننده (کاربر ماهر) بتواند با توجه به خروجی لحظه‌ای حاصل شده، عمل کنترلی خود را تنظیم کند.

هر دو سیستم‌های کنترل گفته شده برای مخزن از نوع **کنترل دستی** هستند و به نیروی انسانی نیاز دارند. برای کاهش نیروی انسانی و افزایش دقت عملکرد از سیستم کنترل خودکار استفاده می‌شود.



شکل ۱۴ـ۵ـ نمایی از سیستم کنترل خودکار (و حلقه بسته) مخزن آب

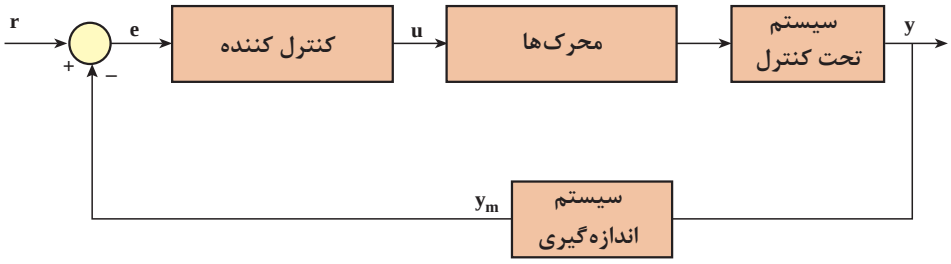
در این سیستم h_d توسط کاربر تعیین می‌شود. همچنین، از یک حسگر فراصوت جهت اندازه‌گیری سطح آب مخزن استفاده شده است. خروجی حسگر h ارتفاع مخزن است. کنترل کننده با توجه به اختلاف h_d و h $(e = h_d - h)$ میزان باز یا بسته بودن شیر θ را تعیین می‌کند. نمودار **بلوکی سیستم کنترل خودکار** مخزن آب در زیر رسم شده است.



شکل ۱۵ـ۵ـ نمودار بلوکی سیستم کنترل خودکار (و حلقه بسته) مخزن آب

در این سیستم اگر h_d تغییر کند به طور خودکار ولتاژها و سیگنال‌های قسمت‌های مختلف تغییر می‌کنند تا اختلاف h و h_d کاهش یابد.

اکثر سیستم‌های کنترلی و سیستم‌های مکاترونیکی از نوع سیستم حلقه بسته و خودکار هستند. در شکل (۱۶ـ۵) دیاگرام بلوکی یک سیستم کنترل خودکار حلقه بسته را در حالت کلی مشاهده می‌نمایید.

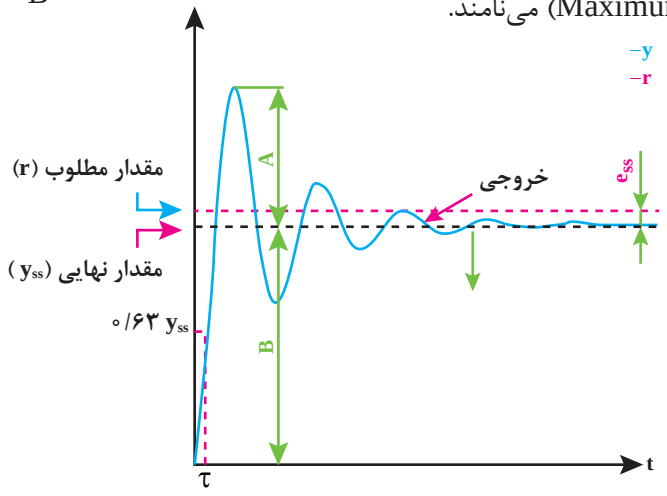


شکل ۱۶ـ۵ـ نمودار بلوکی سیستم کنترل خودکار حلقه بسته

r ورودی مرجع (Reference Input) یا ورودی مطلوب، e خطا (Error)، u ورودی کنترلی یا عمل کنترل (Control Action)، y خروجی (Output)، y_m خروجی اندازه‌گیری شده (Measured Output) هستند. به سیستم اصلی تحت کنترل plant یا سیستم می‌گویند. زیرسیستم‌های یک سیستم حلقه بسته کنترل‌کننده (Controller)، محرک‌ها (Actuator)، سیستم تحت کنترل و سیستم اندازه‌گیری (Measurement System) هستند. در بخش‌های بعدی هریک از این زیر سیستم‌ها توصیف شده‌اند.

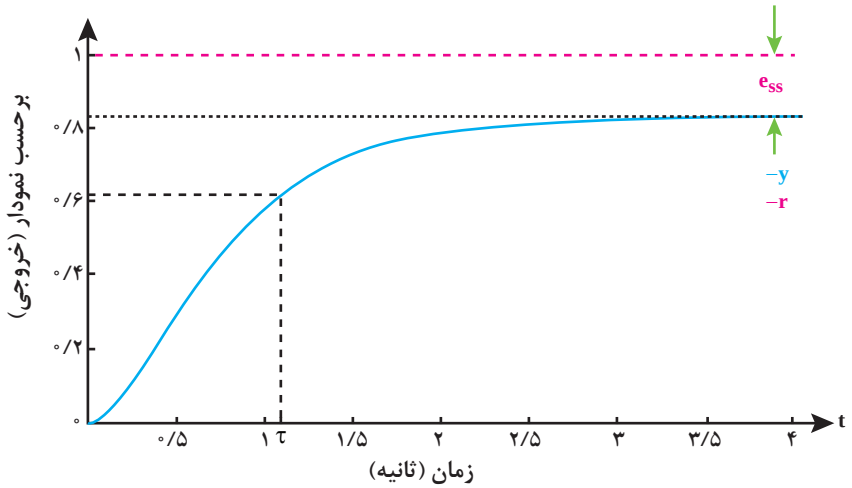
ویژگی‌های خروجی سیستم کنترلی

خروجی y می‌تواند ارتفاع مخزن، سرعت موتورالکتریکی و یا خروجی هر سیستم مکاترونیکی تحت کنترل باشد. مقداری که y در زمان‌های طولانی به آن می‌رسد را مقدار نهایی (y_{ss}) می‌نامند. مناسب است که **خطای حالت دائمی** (Steady State Error) ($e_{ss} = r - y_{ss}$) تا حد ممکن کوچک باشد. در بهترین حالت e_{ss} صفر است. مدت زمانی که طول می‌کشد تا خروجی به $0/63\ y_{ss}$ برسد را **ثابت زمانی** (Time Constant) (τ) می‌نامند. به‌طور سرانگشتی بعد از 4τ خروجی به مقدار نهایی خود می‌رسد. هرچه τ کوچک‌تر باشد یعنی خروجی سریع‌تر به مقدار نهایی می‌رسد و سیستم سریع‌تر است. در شکل نسبت $\frac{A}{B}\times 100$ را **درصد بالازدگی** (Maximum Overshoot) (Mp) می‌نامند.



شکل ۱۷ـ۵ـ نمودار زمانی خروجی سیستم کنترلی با نمایش ویژگی‌های خروجی

فرض کنید هدف تنظیم دور موتور به ۱۰۰ دور بر دقیقه است. وجود بالازدگی به این معنا است که دورموتور افزایش می‌یابد و پس از رسیدن به ۱۰۰، حول آن نوسان می‌کند و پس از گذشت مدتی، ثابت می‌ماند. به رفتار خروجی در شکل ۱۷ـ۵ **پاسخ زیرمیرا** (Underdamped) می‌گویند. نوع دیگر از پاسخ **فوق میرا** (Overdamped) است که در شکل ۱۸ـ۵ نمایش داده شده است.

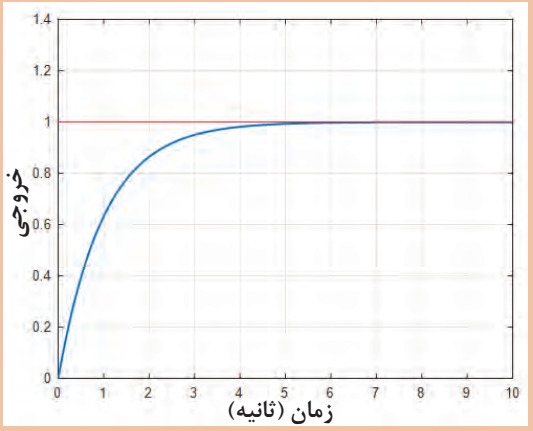


شکل ۱۸ـ۵ـ پاسخ خروجی فوق میرا

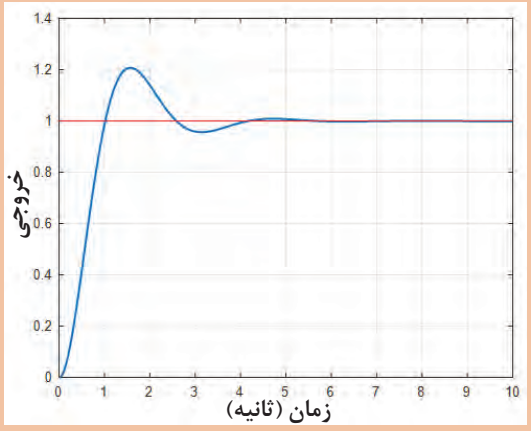
دراین پاسخ بالازدگی صفر است. اگر طراحی کنترل‌کننده نامناسب باشد خروجی با گذشت زمان افزایش می‌یابد تا جایی که سیستم حلقه بسته معیوب یا دچار نقص گردد. در این حالت **سیستم ناپایدار** (Unstable) شده است.

تمرین کنید

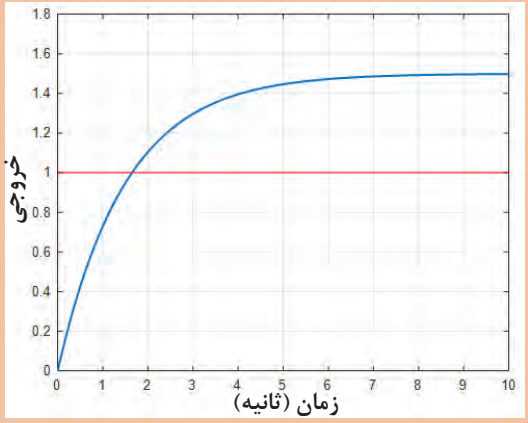
نمودارهای شکل الف، ب، ج و د خروجی ۴ سیستم متفاوت را نشان می‌دهند. این خروجی می‌تواند سطح یک مخزن و یا خروجی هر سیستم مکاترونیکی دیگر باشد.



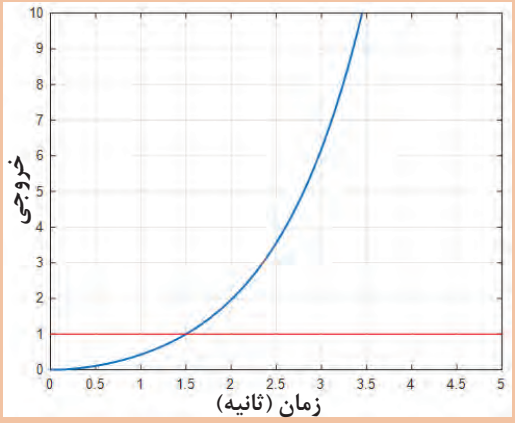
الف



ب



د



ج

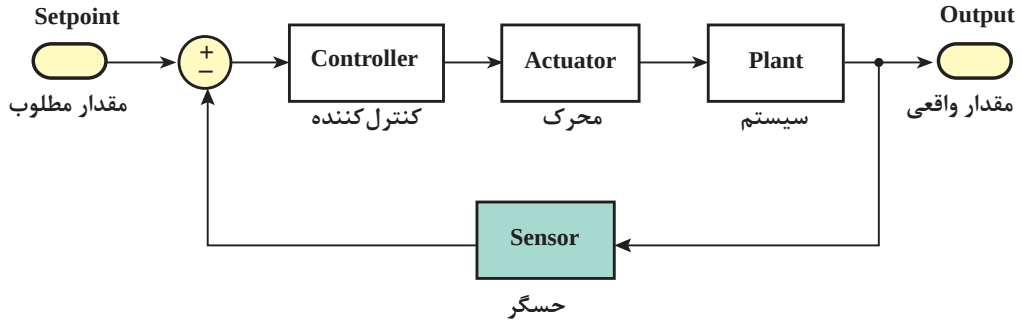
	شکل الف	شکل ب	شکل ج	شکل د
نوع پاسخ (فوق میرا، زیرمیرا و ناپایدار)				
خطای حالت دائمی				
درصد بالا زدگی				
ثابت زمانی				

جدول مربوط به ویژگی‌های خروجی ۴ سیستم مختلف را پر کنید. توجه کنید که خط قرمز به معنای مقدار مطلوب سیستم (r) است.

حسگرها در سیستم‌های کنترلی

حسگر به معنی **حس کننده** می‌باشد. کمیت‌هایی نظیر دما، فشار، سرعت و ... به وسیلهٔ حسگرها اندازه‌گیری می‌شوند. حسگرها از موادی ساخته می‌شوند که به **تغییر** یک کمیت حساس‌اند. حسگرهای دما به دما حساس هستند و می‌توانند دما را با روش‌های مختلفی اندازه بگیرند.

امروزه حسگرها در زندگی ما نقش مهمی دارند. به‌طور مثال حسگر دمایی که در یخچال خانهٔ شما وجود دارد به شما کمک می‌کند تا دمای یخچال را به‌صورت مطلوبی تنظیم نمایید یا وقتی وارد اتاقی می‌شوید و چراغ‌های اتاق به‌صورت خودکار روشن می‌شوند، حسگر موجود در اتاق، حضور شما را در اتاق احساس می‌کند و فرمان روشن شدن چراغ را می‌دهد.

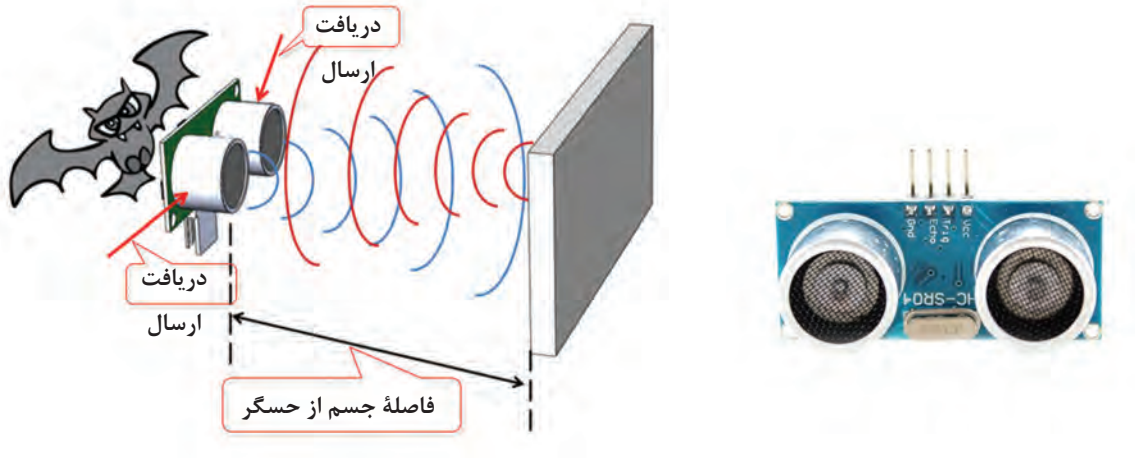


شکل ۱۹ـ۵ـ نقش حسگر در یک حلقهٔ کنترلی

الهام از طبیعت: حسگر فراصوت

خفاش‌ها در تاریکی شب به‌وسیله ارسال امواج فراصوت و دریافت آن می‌توانند مسیریابی کنند. این امواج صوتی توسط گوش انسان قابل شنیدن نیست. این مکانیزم در حسگرهای فراصوت استفاده می‌شود. در این حسگرها با ارسال امواج فراصوت و اندازه‌گیری زمان رفت و برگشت، می‌توان به فاصلهٔ اجسام پی برد.

در یک آزمایش با ارسال یک موج صوتی مدت زمان ۰/۰۱ ثانیه طول کشید تا موج ارسالی پس از برخورد به جسم مورد نظر باز گردد. با فرض اینکه سرعت صوت در هوا ۳۴۰ متر بر ثانیه است فاصلهٔ جسم از حسگر را به‌دست می‌آوریم.



شکل ۲۰ـ۵ـ مقایسهٔ حسگر فراصوت و خفاش

حل: با توجه به اینکه زمان رفت و برگشت برابر می‌باشد پس زمان رفت یا برگشت برابر ۰/۰۰۵ ثانیه $= \frac{۰/۰۱}{۲} =$ زمان است. پس نتیجه می‌شود:

فاصله = زمان × ۳۴۰ = ۰/۰۰۵ × ۳۴۰ = ۱/۷ متر

تمرین کنید

در یک سنسور فراصوت فاصلهٔ جسم از سنسور ۳۴ متر است. زمان رفت و برگشت موج صوتی ارسال شده از حسگر فراصوت، پس از برخورد به جسم و بازگشت به حسگر چقدر است؟

سیستم مدیریت خانه (خانه هوشمند)

کاربرد حسگرها در خانه‌های هوشمند

شما با تلفن همراهتان می‌توانید لامپ‌ها، تلویزیون، یخچال، کولر و ... را تحت کنترل داشته باشید. در این صورت به‌راحتی از هر جای خانه به تمام امکانات خانه دسترسی دارید و تمام کنترل‌کننده‌های از راه دور دستگاه‌های مختلف تجمیع می‌شوند.

اما آیا هدف از اتوماتیک کردن خانه‌ها تنها افزایش آسایش است؟ به‌طور کلی علاوه‌بر **آسایش، امنیت، کاهش مصرف انرژی و کاهش هزینه‌ها** از اهداف و مزایای مهم سیستم مدیریت خانه هستند.

وظایف سیستم مدیریت ساختمان (BMS)

کنترل سیستم‌های روشنایی
کنترل تأسیسات سرمایش و گرمایش
کنترل تردد ساکنان و وسایل نقلیه
نظارت تصویری
اعلام و اطفای حریق
ایجاد امنیت و حفاظت پیرامون
کاهش مصرف انرژی

شکل۲۱ـ۵ـ حسگرهای استفاده شده در یک خانهٔ هوشمند

حسگر تشخیص دود

حسگر تشخیص حرکت

حسگر گازهای شهری

حسگر اثر انگشت

حسگر باز شدن درب و پنجره

حسگر نور

شکل ۲۲ـ۵ـ قسمت‌های مختلف خانهٔ هوشمند

کار گروهی

هریک از حسگرهای موجود در جدول در کدام بخش از سیستم مدیریت هوشمند خانه می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند؟

	تنظیم روشنایی	سیستم دزدگیر	سیستم اعلان حریق	کنترل ورود و خروج
حسگر دما	خیر	خیر	بلی	خیر
حسگر گاز شهری				
حسگر اثر انگشت				
حسگر دود				
حسگر شکسته شدن شیشه				
حسگر مونوکسید کربن				
حسگر تشخیص حرکت				

تحقیق کنید

در مورد روش‌هایی که در یک خانهٔ هوشمند استفاده می‌شود تا مصرف آب، برق و گاز کاهش پیدا کند تحقیق کنید.

کنترل روشنایی منزل با تلفن همراه

نوآوری

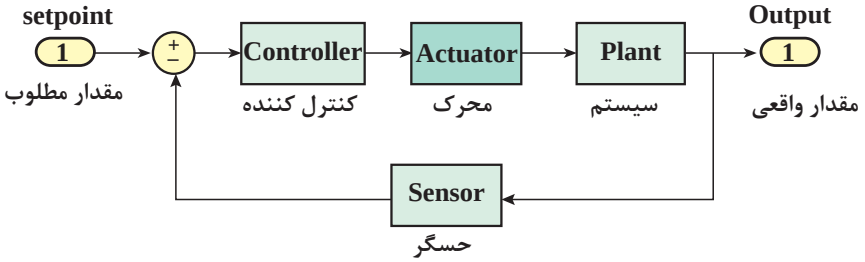
- فرض کنید وقتی از بیرون به خانه بر می‌گردید بخاری نیم ساعت قبل روشن شده است و دمای مطلوب شما را فراهم کرده است. همچنین قهوه ساز به‌صورت خودکار قهوه را برای شما آماده کرده است. تمام این کارها با یک پیام کوتاه به پنل مرکزی کنترل هوشمند خانه به‌راحتی میسر می‌شود.
- فرض کنید شما پدر یا مادر پیری در منزل دارید که وقتی بیرون می‌روید همیشه نگران سلامتی آنها هستید. در یک خانهٔ هوشمند به وسیلهٔ حسگرهای حرکتی و حسگرهایی که علایم حیاتی را کنترل می‌کنند شما می‌توانید وضعیت والدین خود را از هرجای شهر به‌وسیلهٔ اینترنت بررسی کنید.
- قطعاً وقتی شما به مطالعه می‌پردازید نور بیشتری احتیاج دارید تا زمانی که مشغول تماشای تلویزیون هستید. شما می‌توانید تنظیمات مربوط به حالت مطالعه و حالت تماشای تلویزیون را برای پنل مرکزی کنترل هوشمند خانه تعریف کنید. در این صورت هنگام مطالعه نور اتاق‌ها تنظیم می‌شوند.
- شما برای مدتی مجبور به ترک منزل هستید و نگران گل‌های زیبای منزلتان هستید. در یک خانهٔ هوشمند چنین نگرانی‌هایی وجود ندارد زیرا شما با مکانیزم‌های موجود می‌توانید آبیاری گلدان‌ها را به ابزارهای هوشمند بسپارید.
- امنیت در یک خانه برای ساکنان آن خانه آرامش می‌آورد. دریک خانهٔ هوشمند به وسیلهٔ تکنولوژی حسگرها می‌توان امنیت خانه را تأمین کرد. امروزه حسگرهایی تولید شده‌اند که به وسیلهٔ آنها می‌توان حرکت افراد ناشناس در خانه، باز شدن درب و پنجره، شکسته شدن شیشه و... را شناسایی کرد و زنگ خطر را به‌صدا در آورد.

شکل ۲۳ـ۵ـ افزایش امنیت و آسایش با به‌کارگیری حسگرها در خانه

محرک‌ها در سیستم‌های کنترلی

عملگر در واقع قسمتی از سیستم کنترلی است که وظیفهٔ اجرای دستورات کنترل‌کننده را دارد. بدن ما تحت‌کنترل فرمان‌های مغز است. وقتی مغز فرمان می‌دهد که جسمی از روی زمین برداشته شود، دست‌ها که عامل برداشته شدن آن جسم هستند، به‌عنوان محرک شناخته می‌شوند.

وقتی شما قصد دارید دمای اتاق خود را تنظیم کنید بخاری به‌عنوان یک محرک محسوب می‌شود که می‌تواند دمای اتاق شما را تغییر دهد. شما با کنترل مقدار شعلهٔ بخاری می‌توانید به دمای مطلوب برسید. در اینجا بخاری نقش محرک را در کنترل دمای اتاق دارد.



شکل ۲۴ـ۵ـ نقش محرک در یک حلقهٔ کنترلی

محرک‌ها به‌صورت کلی به سه دسته تقسیم می‌شوند:

۱ـ عملگرهای الکتریکی: عملگرهای الکتریکی از طریق **انرژی الکتریکی** کار انجام می‌دهند. موتورهای الکتریکی انرژی برق را به انرژی حرکتی تبدیل می‌کنند و گرمکن‌ها انرژی الکتریکی را به حرارت تبدیل می‌کنند.

۲ـ عملگرهای هیدرولیکی: عملگرهای هیدرولیکی با به‌کارگیری **مایعات تراکم‌ناپذیر نظیر روغن،** سبب جابه‌جایی و حرکت می‌گردند. سیلندرها، شیرها و موتورهای هیدرولیکی به‌عنوان بخشی از عملگرهای هیدرولیک شناخته می‌شوند.

۳ـ عملگرهای پنوماتیکی: عملگرهای پنوماتیکی از **هوای فشرده** استفاده می‌کنند. هوای فشرده به‌راحتی از طریق لوله می‌تواند در سرتاسر کارخانه جریان داشته باشد و در مخازن مخصوص ذخیره گردد. به دلیل فراوانی هوا، استفاده از این محرک‌ها بسیار رایج است.

بازوی رباتیکی

تحقیق کنید

امروزه ربات‌های صنعتی در اتوماسیون بسیار استفاده می‌شوند. در مورد مزایای استفاده از ربات‌ها در صنعت تحقیق کنید و به کلاس گزارش دهید. عملگرهای این ربات‌ها از چه نوعی‌اند؟ الکتریکی، هیدرولیکی یا پنوماتیکی؟

شکل ۲۵ـ۵

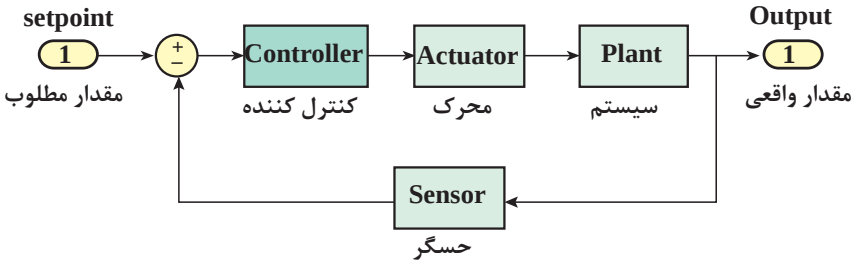
شکل ۲۶ـ۵ـ انواع محرک‌ها در سیستم‌های کنترلی

کنترل‌کننده

در یک سیستم تحت کنترل، کنترل‌کننده نقش **مغز متفکر** را دارد که با توجه به رفتار سیستم و ورودی‌ها و خروجی‌های آن، تصمیم‌گیری می‌کند تا شرایط مطلوبی که هدف سیستم رسیدن به آن است میسر گردد. این تصمیم‌گیری به وسیلهٔ شناختی که از سیستم موجود است حاصل می‌شود. این شناخت اغلب از طریق روابط فیزیک حاکم بر سیستم حاصل می‌شود؛ مثلاً کنترل کننده‌ای که سرعت یک موتور را کنترل می‌کند را در نظر بگیرید. این کنترل‌کننده باید از رفتار موتور و مشخصات آن آگاهی داشته باشد تا بتواند دستورات لازم را برای آن ارسال کند. هر موتور الکتریکی دارای پارامترهایی می‌باشد که مانند شناسنامه برای یک فرد عمل می‌کنند. این پارامترها برای کنترل سرعت موتور ضروری هستند. این پارامترها شامل ولتاژ، جریان، گشتاور، توان و... هستند. قطعاً پارامترهای موتور الکتریکی استفاده شده در یک پهپاد با پارامترهای موتور الکتریکی استفاده شده در یک ربات صنعتی تفاوت دارد.

کنترل‌کننده‌ها دارای الگوریتم‌های متفاوتی هستند که نقش‌ها و ویژگی‌های متفاوتی دارند. کنترل‌کننده با استفاده از یک سری روابط ریاضی می‌تواند هدف مطلوب سیستم را برآورده سازد. مقدار مطلوب با مقدار واقعی مقایسه می‌شود و در صورت برابر نبودن سیگنالی با عنوان خطا به کنترل کننده ارسال می‌شود. کنترل‌کننده با توجه به **خطا** تصمیم لازم را اتخاذ می‌کند و از طریق محرک، سیستم را به سمت هدف اصلی

که برابر شدن مقدار واقعی با مقدار مطلوب است سوق می‌دهد.



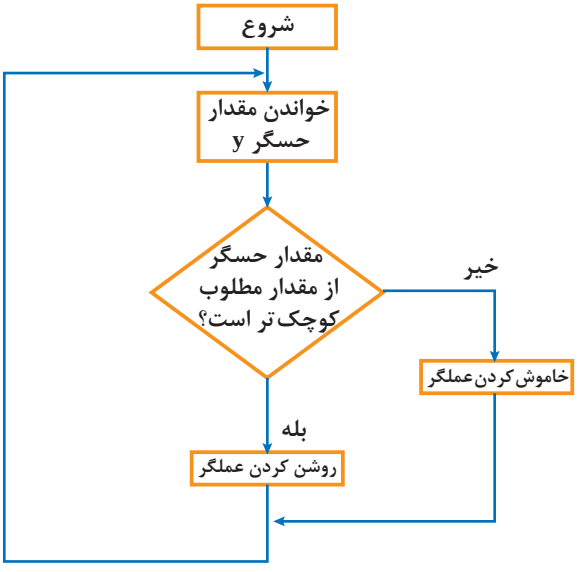
شکل ۲۷ـ۵ـ نقش کنترل کننده در یک حلقهٔ کنترلی

فکر کنید

با توجه به نقش کنترل‌کننده در یک حلقهٔ کنترلی به سؤالات زیر پاسخ دهید:
سیگنال ورودی کنترل کننده چه نام دارد؟ مفهوم خطای صفر از لحاظ فیزیکی چیست؟ توضیح دهید.
در بدن انسان کدام جزء نقش کنترل‌کننده را دارد؟ چشم و گوش در سیستم بدن انسان چه نقشی دارند؟

کنترل کنندهٔ روشن/خاموش

یکی از ساده‌ترین الگوریتم‌های کنترلی که در صنعت هم مورد استفاده قرار می‌گیرد به‌صورت شکل زیر است. این کنترل کننده همان‌طور که از نامش پیداست با روشن و خاموش کردن محرک، فرایند کنترل را انجام می‌دهد. این الگوریتم بدین صورت عمل می‌کند که ابتدا حسگر مقدار خروجی را اندازه می‌گیرد. سپس این مقدار با مقدار مطلوب مقایسه می‌شود. در صورت بزرگ‌تر بودن خروجی از مقدار مطلوب فرمان خاموش کردن محرک را می‌دهد و در صورت کوچک‌تر بودن فرمان روشن شدن محرک را می‌دهد.



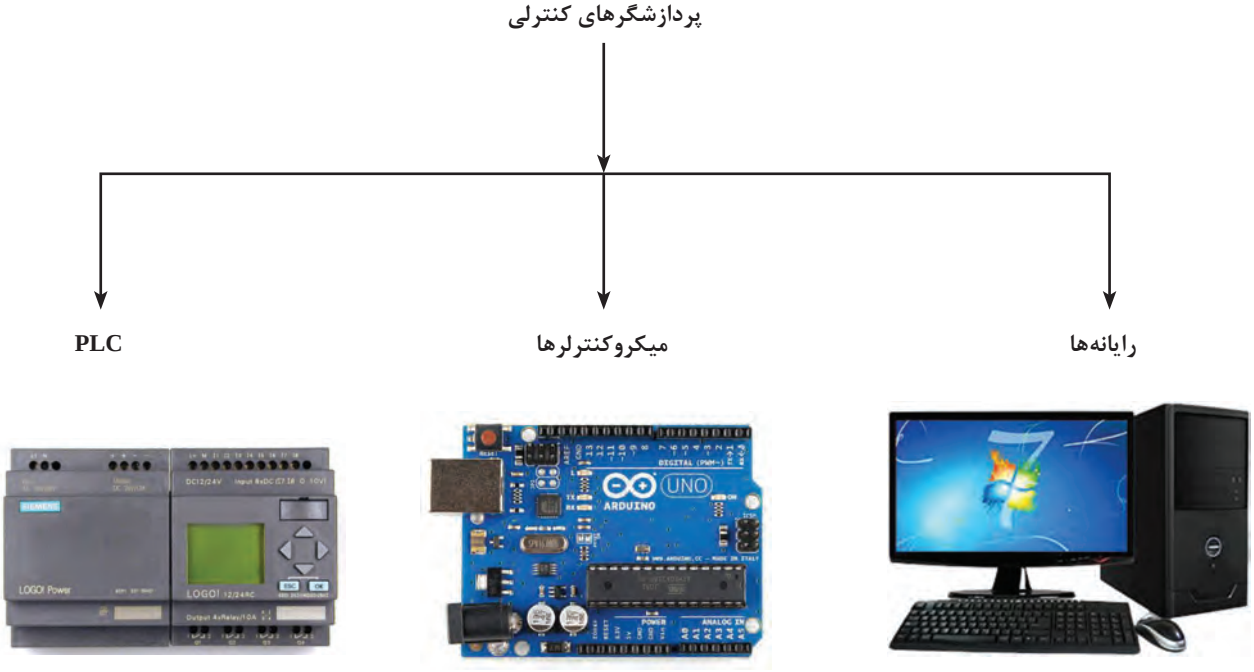
شکل ۲۸ـ۵ الگوریتم کنترل‌کنندهٔ روشن/خاموش

کنترل دمای اتاق را در نظر بگیرید. فرض کنید شما مسئول کنترل دمای اتاق به مقدار مطلوب ۲۸ درجهٔ سانتی‌گراد هستید. شما به کمک مقداری که دماسنج اتاق نمایش می‌دهد از وضعیت دمای اتاق آگاه می‌شوید و تصمیم می‌گیرید که بخاری باید روشن یا خاموش شود. در صورتی که دمای اتاق بالاتر از مقدار مطلوب شما یعنی ۲۸ درجه سانتی‌گراد باشد شما بخاری را خاموش می‌کنید و در صورتی که دمای اتاق کمتر از ۲۸ درجهٔ سانتی‌گراد باشد، بخاری را روشن می‌کنید. این دقیقاً همان کاری است که یک کنترل‌کنندهٔ روشن/ خاموش به‌صورت خودکار انجام می‌دهد.

سیستم کنترل دیگ بخار

پردازشگرهای کنترلی

در قسمت قبل دیدیم که الگوریتم‌های کنترلی نظیر روشن/ خاموش سیستم‌ها را کنترل می‌کنند. الگوریتم‌های کنترلی برای اجرا شدن نیاز به یک پردازشگر دارند. پردازشگرها شامل رایانه‌ها، میکروکنترلرها، کنترل‌کننده‌های منطقی برنامه‌پذیر PLC (programmable logic controller) قادرند تا انواع الگوریتم‌های کنترلی و توابع ریاضی پیچیده را اجرا کنند.



شکل ۲۹ـ۵

آیا می‌دانید که

موشک‌های کنترل شونده یکی از عناصر مهم توان نظامی یک کشور است. جمهوری اسلامی ایران برای حفظ اقتدار و امنیت کشور موشک‌های قدرتمندی نظیر موشک شهاب، عماد و سجیل را طراحی و ساخته است. در این موشک‌ها الگوریتم‌های کنترلی پیشرفته‌ای در نظر گرفته شده است.
کنترل موشک‌ها از طریق رایانه‌های بزرگی که در محل پرتاب موشک هستند صورت می‌گیرند. هدف کنترل در این موشک‌ها، اهداف متحرک یا ثابت است.

شکل ۳۰ـ۵ـ آزمایش موشک توسط جمهوری اسلامی ایران

شبه دستور

شبه دستور(pseudo code)، روشی سریع، فشرده و غیر رسمی برای توضیح یک الگوریتم کامپیوتری است که از ساختارهای معمول بعضی از زبان‌های برنامه نویسی استفاده می‌کند که برای خوانده شدن توسط انسان و نه ماشین طراحی شده است.
سیستم کنترل دمای اتاق را در نظر بگیرید. این سیستم شامل حسگر، کولر گازی ، میکروکنترلر و اتاق می‌باشد.
شبه دستور مربوط به کنترل کنندهٔ روشن/ خاموش به‌صورت زیر است:
این شبه دستور قابل پیاده‌سازی مستقیم برروی رایانه‌ها، میکروکنترلرها و PLCها را ندارد. اما می‌توان با توجه به زبان‌های برنامه‌نویسی مختلف، شبه دستور را به دستور واقعی و قابل اجرا تبدیل کرد.

۱ـ شروع
۲ـ مقدار مطلوب دما را بخوان
۳ـ مقدار حسگر را بخوان
۴ـ خطا را محاسبه کن (مقدار حسگر ـ مقدار مطلوب = خطا)
۵ـ اگر خطا مثبت است کولر را خاموش کن. (دمای محیط که به‌وسیله حسگر به‌دست آمده از دمای مطلوب پایین‌تر است).
۶ـ اگر خطا منفی است کولر را روشن کن. (دمای محیط که به‌وسیله حسگر به‌دست آمده از دمای مطلوب بالاتر است).
۷ـ پایان

تمرین کنید

شبه دستور مربوط به سنسور فراصوت را تکمیل کنید.

۱ـ شروع
۲ـ زمان‌سنج (تایمر) را ... و موج صوتی را ارسال کن. (فعال ـ غیرفعال)
۳ـ به محض بازگشت موج صوتی زمان‌سنج را ... کن. (فعال ـ غیرفعال)
۴ـ زمان به‌دست آمده را تقسیم بر ... کن. (دو ـ ده)
۵ـ عدد حاصل از قسمت چهار را در ... ضرب کن. (۳۴۰ ـ ۳۴)
۶ـ عدد حاصل از قسمت پنج را به‌عنوان فاصله نمایش بده.
۷ـ پایان

تثبیت کنندهٔ تصویر دوربین با آردوینو

فعالیت عملی

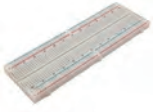
کنترل دستی سرعت آرمیچر

وسایل لازم: یک عدد آرمیچر کوچک (موتور الکتریکی جریان مستقیم) ـ چهار عدد باتری قلمی ۱/۵v ـ یک عدد پتانسیومتر یک کیلو اهم ـ برد بورد

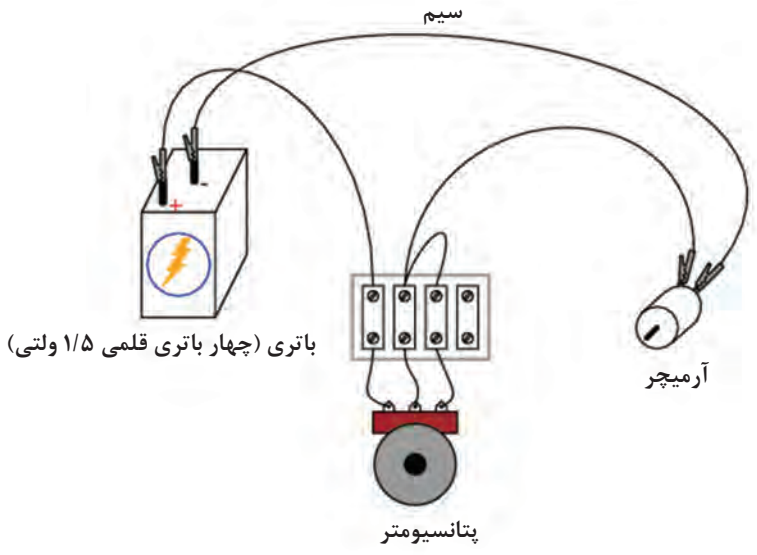
ابتدا چهار باتری قلمی ۱/۵ ولتی را سری (پشت سرهم) کنید و با چسب شیشه‌ای به هم بچسبانید. این کار سبب می‌شود که یک باتری ۶ ولتی داشته باشیم. سپس مانند شکل ۶ سیم‌بندی‌ها را انجام دهید. شما با چرخاندن پتانسیومتر می‌توانید سرعت آرمیچر را کنترل کنید.

سؤالات

۱ـ با چرخاندن پتانسیومتر، بیشترین سرعت در چه حالتی رخ می‌دهد؟ کمترین سرعت چطور؟
۲ـ آیا این سیستم حلقه بسته است؟چرا؟

آرمیچر	
باتری قلمی	
پتانسیومتر	
برد بورد	

جدول ۱ـ۵ قطعات لازم برای آزمایش



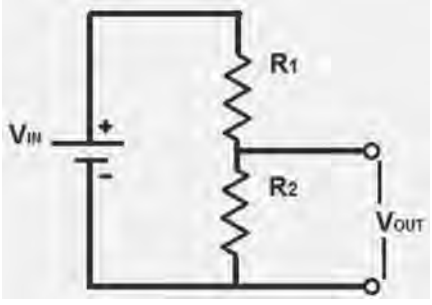
شکل ۳۱ـ۵ نحوهٔ سیم‌بندی سیستم کنترل سرعت

مدل‌سازی سیستم‌های کنترلی

بیان پدیده‌ها با معادلات ریاضی، مدل‌سازی نامیده می‌شود. مدل ریاضی در علوم جغرافیا، بیولوژی، زمین‌شناسی، رایانه، مهندسی و حتی اقتصاد و روان‌شناسی کاربرد دارد. از مزایای مدل‌سازی می‌توان بیان پدیده‌ها، مطالعه در مورد تأثیر اجزای مختلف بر روی سیستم و پیش‌بینی رفتار سیستم را نام برد. در واقع مدل‌سازی یک سیستم به ما کمک می‌کند تا با دانستن ورودی، خروجی سیستم را تعیین کنیم.

شکل ۳۲ـ۵ـ مدل‌سازی سیستم‌های کنترلی

مثلاً در یک مدار تقسیم ولتاژ داریم:



شکل ۳۳ـ۵ـ مدار مقسم ولتاژ

از دانسته‌های قبل که از بخش الکترونیک به‌دست آورده‌ایم می‌توانیم رابطهٔ بین ورودی و خروجی را به‌صورت زیر بنویسیم:

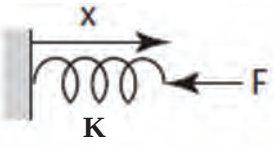
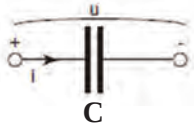
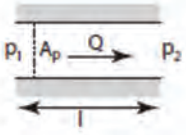
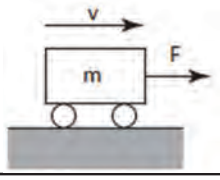
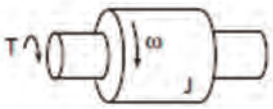
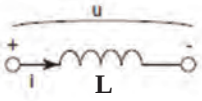
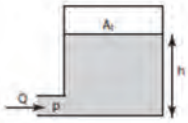
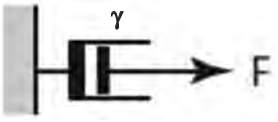
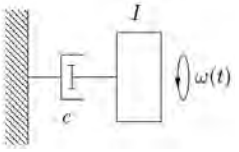
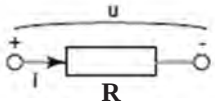
$$Vout = \frac{R_2}{R_1 + R_2} Vin$$

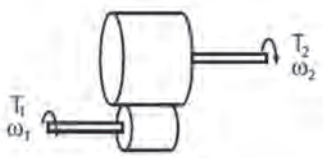
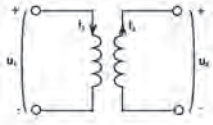
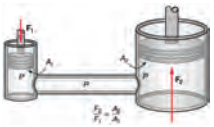
اگر R_1=۳۰ ,R_2=۱۰ اهم باشند، رابطهٔ بین ورودی و خروجی به‌صورت زیر حاصل می‌شود:

Vout=۰/۲۵Vin

بنابراین اکنون با دانستن ورودی می‌توانیم خروجی را به‌دست آوریم. همچنین تأثیر اجزای سیستم را می‌توانیم مشاهده کنیم؛ مثلاً با افزایش R_2 خروجی سیستم افزایش می‌یابد.

معرفی اجزای مختلف حوزهٔ مکانیک خطی و دورانی، الکتریکی و سیالات

حوزه انرژی	مکانیک خطی	مکانیک دورانی	الکتریکی	سیالات
ذخیره کنندهٔ انرژی	فنر خطی 	فنر پیچشی	خازن 	لوله حاوی سیال 
	جرم 	جرم چرخان 	سلف 	مخزن سیال 
مصرف کنندهٔ انرژی	دمپر 	دمپر پیچشی 	مقاومت الکتریکی 	مقاومت سیال

مبدل‌ها	اهرم	گیربکس	ترانسفورمر	جک هیدرولیکی
				
تعریف متغیرها	در این جدول F نیرو، X جابه‌جایی، V سرعت، K ضریب سختی فنر، m جرم، γ ضریب ویسکوزیته است. دمپر از حرکت سریع جلوگیری می کند. به‌عنوان مثال از دمپر برای ضربه‌گیر درب‌های ورود و خروج استفاده می‌شود.	در این جدول T گشتاور، ω سرعت دورانی، J لختی دورانی، K سختی فنر، θ زاویهٔ چرخش و C ضریب ویسکوزیتهٔ دمپر پیچشی است. لختی دورانی در حرکت دورانی، مشخصهٔ یک جسم چرخان است و مانند جرم در حرکت خطی عمل می‌کند. یعنی هرچه لختی دورانی بیشتر باشد، چرخاندن جسم دشوارتر است.	در این جدول u ولتاژ، i جریان، R مقاومت، L اندوکتانس سلف، t زمان و C ظرفیت خازن است.	در این جدول P فشار سیال، Q دبی سیال، A سطح مقطع، l طول، F نیرو و R مقاومت لولهٔ حاوی سیال است.

در ظاهر تنوع معادلات ریاضی پدیده‌های فیزیکی بسیار زیاد و پیچیده است، اما در واقع تمام عناصر با توجه به نوع بازخوردشان نسبت به انرژی مدل‌سازی می‌شوند؛ مثلاً یک عنصر انرژی را ذخیره می‌کند و دیگری آن را مصرف می‌کند.

فکر کنید

لزوم استفاده از مبدل‌ها در هر حوزه را با ذکر مثال شرح دهید.

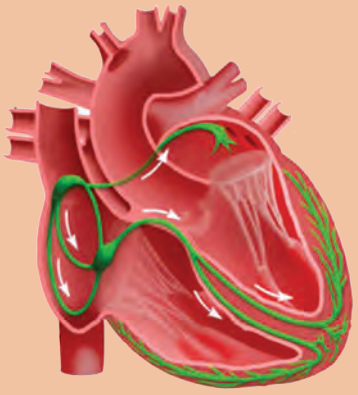
فکر کنید

چه ابزاری برای تولید انرژی در حوزهٔ مکانیک دورانی و الکتریکی وجود دارد؟

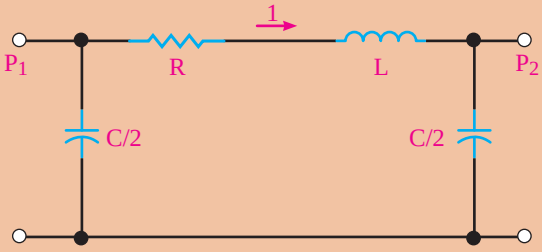
بیشتر بدانید

در علوم مختلف از مدل‌سازی برای بررسی عوامل تأثیرگذار بر روی یک سیستم استفاده می‌شود. در شکل الف صفحهٔ بعد، زیرسیستم قلب را مشاهده می‌کنید. شکل ب مدل الکتریکی یک رگ خونی است. مدل کامل الکتریکی قلب بسیار پیچیده است. برای بررسی عوامل تأثیرگذار در عملکرد قلب از مدل‌های الکتریکی، مکانیکی یا هیدرولیکی آن استفاده می‌کنند. در اینجا خون معادل جریان الکتریکی و قلب مانند منبع تغذیه‌ای است که جریان الکتریکی را در مدار جاری می‌کند. افزایش بیش از حد مقاومت سبب انتقال ناچیز جریان الکتریکی در مدار می‌شود. گرفتگی رگ‌های خونی را می‌توان با یک مقاومت بزرگ مدل‌سازی کرد.

به‌نظر شما بیماری‌های ناشی از افزایش مقاومت رگ خونی چیست؟



الف



ب

ارزشیابی پایانی فصل پنجم

۱ موارد زیر را تعریف کنید.

الف) کنترل حلقه بسته　　ب) کنترل حلقه باز　　ج) محرک

د) حسگر　　ه) زیر سیستم　　و) کنترل کننده

۲ سیستم کنترل سطح مخزن آب را در نظر بگیرید. در این سیستم ارتفاع آب مخزن خروجی سیستم تحت کنترل است. برای ارتفاع آب، واژه‌های زیر را با مثال شرح دهید.

الف) خطای حالت ماندگار ارتفاع آب مخزن　　ب) بالازدگی ارتفاع آب مخزن

ج) ثابت زمانی ارتفاع آب مخزن　　د) ناپایدار بودن ارتفاع آب مخزن

۳ سیستم کنترل زاویهٔ آنتن که در شکل الف نمایش داده شده است را در نظر بگیرید.

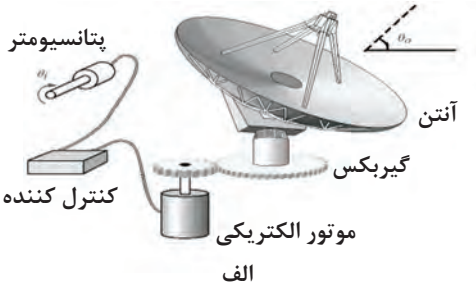
الف) وظیفهٔ هریک از اجزای این سیستم را شرح دهید.

ب) ورودی و خروجی سیستم را تعیین کنید.

ج) آیا سیستم حلقه بسته است؟ چرا؟

د) نمودار بلوکی این سیستم را رسم کنید و ورودی و خروجی هر زیرسیستم آن را تعیین کنید.

ه) موارد الف تا د را برای شکل ب نیز انجام دهید.



الف

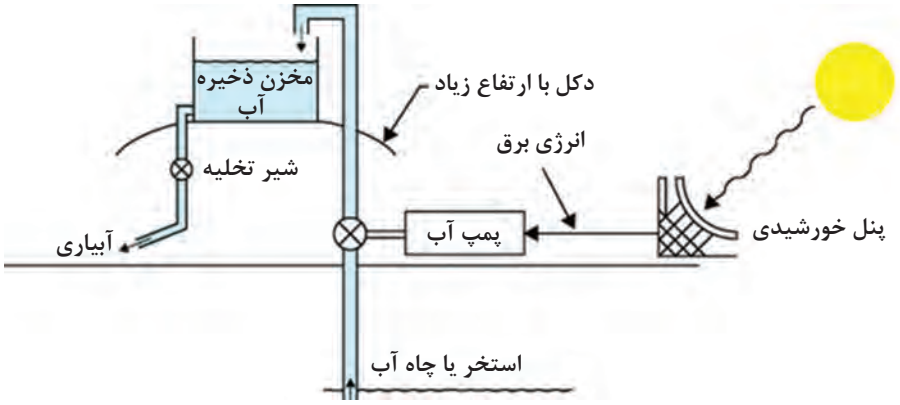
ب

۴ سیستم آبیاری قطره‌ای را در نظر بگیرید. این سیستم به‌وسیلهٔ یک پنل خورشیدی، انرژی خورشید را به انرژی الکتریکی تبدیل کرده و سپس پمپ با انرژی الکتریکی حاصل از پنل خورشیدی، آب را از ارتفاع کم، نظیر یک استخر به ارتفاع زیاد پمپ می‌کند. با توجه به شکل زیر به سؤالات پاسخ دهید.

الف) چرا مخزن ذخیرهٔ آب را در ارتفاع قرار می‌دهند؟

ب) نمودار بلوکی هر یک از زیر سیستم‌های آبیاری قطره‌ای را رسم کنید و ورودی و خروجی آن را مشخص نمایید.

ج) با توجه به سؤال ۴، ایده‌ای ارائه دهید تا پنل خورشیدی در طول روز، خورشید را تعقیب کرده و بیشترین بهره را از نور خورشید داشته باشد.

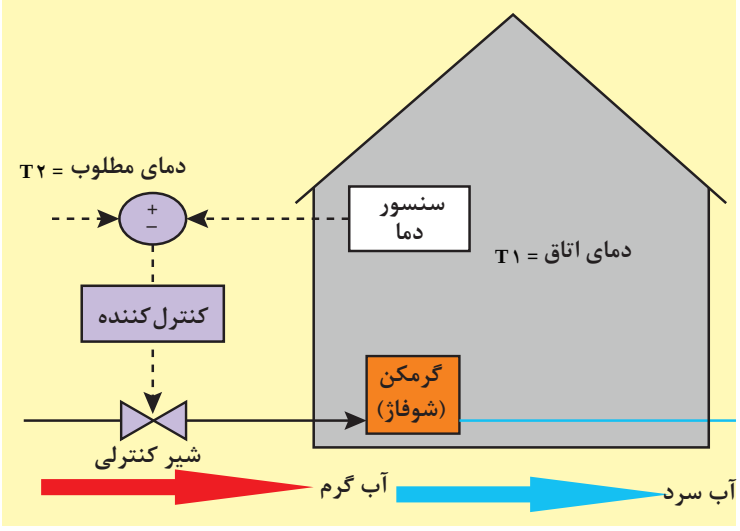


۵ سیستم کنترل دمای اتاق را در نظر بگیرید. این سیستم شامل حسگر دما، گرمکن با شیر کنترلی، کنترل‌کننده و یک اتاق می‌باشد. شیر می‌تواند کاملاً باز یا کاملاً بسته باشد.

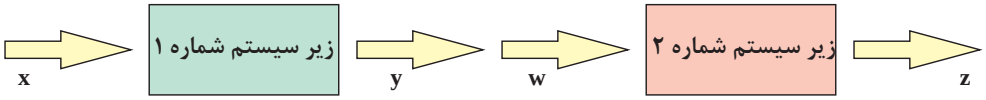
الف) نمودار بلوکی حلقه بستهٔ سیستم را رسم کنید.

ب) فلوچارت کنترل به روش روشن/ خاموش را برای دمای مطلوب ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد رسم کنید.

ج) شبه دستور مربوط به کنترل به روش روشن/ خاموش را بنویسید.



۶ در یک خانهٔ هوشمند نیاز به دزدگیر به‌شدت احساس می‌شود. برای طراحی یک دزدگیر ساده می‌توانید از یک حسگر باز شدن درب، یک میکروکنترلر و یک آژیر صدا استفاده کنید.
الف) شبه دستور مربوط به این سیستم را به گونه‌ای بنویسید که در صورت باز شدن درب ورودی آژیر روشن شود.
ب) فرض کنید برای امنیت بیشتر، از دو حسگر بر روی دو درب مختلف استفاده می‌کنید. شبه دستور قسمت الف را برای این حالت بنویسید.
۷ چگونه می‌توان از حسگر فراصوت برای تشخیص ضخامت ورق‌های فولادی استفاده کرد؟ با رسم شکل توضیح دهید.
راهنمایی: از دو حسگر فراصوت استفاده کنید.
۸ نمودار بلوکی زیرسیستم‌های زیر را در نظر بگیرید.



که رابطهٔ بین ورودی و خروجی آنها به‌صورت $y=2x+1$ و $z=w^2$ است. در صورتی‌که این دو زیرسیستم را به‌صورت سری به‌هم متصل کنیم رابطهٔ بین x و z را به‌دست آورید.
۹ فنر و دمپر خطی و چرخشی چه کاربردهایی دارند، مثال بزنید.
۱۰ بال اسکرو (Ball Screw) در شکل زیر وسیله‌ای است که حرکت چرخشی موتورهای الکتریکی را به حرکت خطی تبدیل می‌کند. بال اسکرو مانند پلی بین مکانیک چرخشی و مکانیک خطی عمل می‌کند. وسیله‌ای نام ببرید که حرکت خطی را به حرکت چرخشی تبدیل کند.